



## ผลของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสี

บุษราพร นาถมทอง

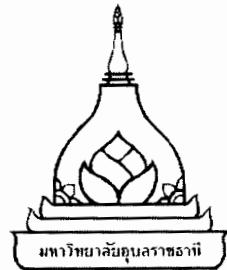
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
ปีการศึกษา 2558  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



## EFFECT OF POROUS MEDIA ON SOLAR COLLECTOR EFFICIENCY

BUSSRAPORN NATHOMTONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
MAJOR IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2015  
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ในรับรองวิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง ผลของวัสดุพูนที่มีต่อประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสี

ผู้วิจัย นางสาวบุษราพร นาถมทอง

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บันฑิต ฤกตากม

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อําไฟศักดิ์ ทีบุญมา

กรรมการ

ดร.อภินันต์ นามเขต

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อําไฟศักดิ์ ทีบุญมา)

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

คณะปศติคณวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2558

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง “ผลของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสี” สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิ่มไพรักษ์ ทีบุญมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการสนับสนุนเกี่ยวกับเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคุณ ประธานกรรมการสอบ และ ดร.อภินันต์ นามเขต กรรมการสอบ ที่กรุณาสละเวลาامر่วมในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณต่อภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอุปกรณ์การทดลอง ขอขอบคุณกลุ่มวิจัย APEC ที่เอื้อเพื่อสถานที่และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายนี้ คุณความดีและประโยชน์ใดๆ อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้ประสาสน์วิชาความรู้ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

บุษราพร นาถมทอง

ผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

**เรื่อง** : ผลของวัสดุพูนที่มีต่อประสิทธิภาพแพงเก็บรังสี  
**ผู้วิจัย** : บุษราพร นาถมทอง  
**ชื่อปริญญา** : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
**สาขาวิชา** : วิศวกรรมเครื่องกล  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จำไพบูลดี ทีบุญมา  
**คำสำคัญ** : ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, แพงเก็บรังสีอาทิตย์, วัสดุพูน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุพูนที่มีต่อประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตาข่ายสแตนเลส เศษเหล็ก และหินกรวดเป็นวัสดุพูน โดยทำการทดลองตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ ความเข้มของรังสี  $400 - 1,000 \text{ W/m}^2$  ความเร็วลม  $0.5 - 2.0 \text{ m/s}$  และความพรุน  $0.4 - 0.8$  สำหรับเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบในการศึกษานี้ คือ ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีอาทิตย์ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีอาทิตย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมหรือความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแพงเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีวัสดุพูนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแพงเก็บรังสีอาทิตย์ที่ไม่มีวัสดุพูน โดยแพงเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพูนจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลม  $2 \text{ m/s}$  และความเข้มของรังสี  $800 \text{ W/m}^2$  สุดท้ายสามารถเขียนสมการประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีอาทิตย์กรณีใช้วัสดุพูนที่ศึกษาในงานนี้ เป็นตามฟอร์มตามรูปแบบสมการของ Hottel-Whillier-Bliss ได้ดังนี้

$$\eta_{\text{rock } \phi=0.44} = 0.51 - 112.11 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{rock } \phi=0.52} = 0.47 - 118.78 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{wire mesh } \phi=0.63} = 0.62 - 107.2 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{wire mesh } \phi=0.75} = 0.56 - 110.28 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{steel } \phi=0.55} = 0.65 - 101.22 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{steel } \phi=0.64} = 0.61 - 108.27 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

## ABSTRACT

TITLE : EFFECT OF POROUS MEDIA ON SOLAR COLLECTOR EFFICIENCY  
 AUTHOR : BUSSRAPORN NATHOMTONG  
 DEGREE : MASTER OF ENGINEERING  
 MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING  
 ADVISOR : ASST.PROF. UMPHISAK TEEBOONMA, Ph.D.  
 KEYWORDS : THERMAL EFFICIENCY, SOLAR COLLECTOR, POROUS MEDIA

The effect of porous media on solar collector efficiency is investigated in this research. In this research, stainless steel cross mesh, scrap and pebbles was selected as porous media. The experiments were conducted on the following conditions: solar radiation of 400-1,000 W/m<sup>2</sup>, air velocity of 0.5-2.0 m/s and porous porosity of 0.4-0.8. The criterion for comparing study was solar collector efficiency. It was revealed from the experimental results that solar collector efficiency increases with the increment of air velocity or solar radiation. Additionally, it was found that the solar collector combined with porous media yields the efficiency higher than that without porous media. It should be noted that the maximum solar collector efficiency is 61% on the conditions of scrap porous media, 2 m/s of air velocity and 800 W/m<sup>2</sup> of solar radiation. Finally, the efficiency of solar collector combined with porous media in this work can be written in form of Hottel-Whillier-Bliss equation as the followings:

$$\eta_{\text{rock } \phi=0.44} = 0.51 - 112.11 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{rock } \phi=0.52} = 0.47 - 118.78 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{wire mesh } \phi=0.63} = 0.62 - 107.2 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{wire mesh } \phi=0.75} = 0.56 - 110.28 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{steel } \phi=0.55} = 0.65 - 101.22 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{steel } \phi=0.64} = 0.61 - 108.27 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

สารบัญ	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับແຜງເກີບຮັງສືອາທິຕົ່ງ	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับວັດພຽນ	7
2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพແຜງເກີບຮັງສື	11
2.4 การถ่ายเทความร้อน	14
2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของແຜງເກີບຮັງສື	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 ชุดทดลองແຜງເກີບຮັງສືອາທິຕົ່ງ	34
3.2 ວັດພຽນ	36
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่รับ	38
3.4 วิธีการทดลอง	38
<b>บทที่ 4 ผลและวิจารณ์</b>	
4.1 ประสิทธิภาพແຜງເກີບຮັງສືກົດທີ່ໄມ້ມີວັດພຽນ	40
4.2 ประสิทธิภาพແຜງເກີບຮັງສືກົດທີ່ໃຫ້ທຶນກວດເປັນວັດພຽນ	44

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุน	54
4.4 ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุน	63
4.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุน	71
4.6 สมการความสัมพันธ์ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุน	79
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการวิจัย	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>92</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ก ลักษณะการวางแผนวัสดุพรุน	97
ข รายการบทความวิจัย	101
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>116</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าการนำความร้อนของสารบางชนิด	17
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไอลบางชนิด	19
4.1 สรุปผลการทดลอง	89

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องทำน้ำร้อน	5
2.2 ลักษณะทั่วไปของแผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบ (Flate plate collector)	5
2.3 โครงสร้างของวัสดุพรุนแบบต่างๆ	8
2.4 หลักการทำงานของวัสดุพรุน	9
2.5 ลักษณะตาข่ายของวัสดุพรุน	10
2.6 แผงเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีแบบไม่มีวัสดุพรุน	12
2.7 แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุเป็นรูพรุน	13
2.8 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี	15
2.9 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำความร้อนของสารชนิดต่างๆ กับอุณหภูมิ	16
2.10 การพัฒนาชั้นขอบเขตในการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับ	19
2.11 การไอลوخานกับผนังร้าบ	20
2.12 แผงเก็บรังสีแบบร่องรูปตัววี	25
2.13 โครงสร้างของแผงเก็บรังสีแบบที่ 1, 2 และแบบที่ 3	25
2.14 ลักษณะของแผงเก็บรังสีแบบใหวนกลับและมีครีบติด	26
2.15 แผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบมีการใหวนกลับของอากาศที่มีวัสดุพรุน	27
2.16 ชุดทดสอบแผงเก็บรังสีอาทิตย์และลักษณะผิวดูดกลืนแบบ Matrix	27
2.17 การจำลองแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบใหวนกลับที่มีวัสดุพรุนและชุดทดลองที่ใช้แสงอาทิตย์เทียม	28
2.18 แผนภาพของแผงเก็บรังสีแบบร่องวีที่มีโครงข่ายความร้อนแบบที่ 1 และแบบที่ 2	29
2.19 แผนภาพของแผงเก็บรังสีแบบร่องวีที่มีโครงข่ายความร้อนแบบที่ 3	30
2.20 ชุดทดลองแผงเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีวัสดุเก็บความร้อน	31
2.21 แผนภาพชุดทดลอง	32
3.1 ชุดทดลองแผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบ	35
3.2 ตัวอย่างวัสดุพรุนที่ทำการทดลอง ทำจากหินกรวดขนาด 2.1 และ 3.0 cm.	36
3.3 ตัวอย่างวัสดุพรุนที่ทำการทดลอง ทำจากสแตนเลส 18 และ 44 PPI	36
3.4 ตัวอย่างวัสดุพรุนที่ทำการทดลอง ทำจากเศษเหล็ก	37
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเร็วลม	41

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผล้งงานความร้อนและความเร็วลม	42
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลม	42
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ ความเข้มของรังสี	43
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี	44
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ ความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.44	46
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างผล้งงานความร้อนและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.44	47
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.44	47
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ ความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.52	48
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างผล้งงานความร้อนและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.52	48
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.52	49
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ ความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.44	50
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุน เท่ากับ 0.44	51
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ ความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.52	51
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุน เท่ากับ 0.52	52
4.16 การเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสี และความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52	53
4.17 การเปรียบเทียบระหว่างผล้งงานความร้อนและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52	53
4.18 การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.64	66
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.64	66
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ ความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55	67
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุน เท่ากับ 0.55	68
4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ ความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.64	68
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุน เท่ากับ 0.64	69
4.42 การเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสี และความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64	70
4.43 การเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64	70
4.44 การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64	71
4.45 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแพงเก็บรังสี ที่ความเร็วลม 0.5 m/s	72
4.46 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแพงเก็บรังสี ที่ความเร็วลม 1.0 m/s	73
4.47 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแพงเก็บรังสี ที่ความเร็วลม 1.5 m/s	73
4.48 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแพงเก็บรังสี ที่ความเร็วลม 2.0 m/s	74
4.49 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุน ที่ความเร็วลม 0.5 m/s	74
4.50 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุน ที่ความเร็วลม 1.0 m/s	75

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.51 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุนที่ความเร็วลม 1.5 m/s	75
4.52 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุนที่ความเร็วลม 2.0 m/s	76
4.53 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีที่ความเข้มของรังสี $400 \text{ W/m}^2$	76
4.54 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีที่ความเข้มของรังสี $600 \text{ W/m}^2$	77
4.55 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีที่ความเข้มของรังสี $800 \text{ W/m}^2$	77
4.56 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุนที่ความเข้มของรังสี $400 \text{ W/m}^2$	78
4.57 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุนที่ความเข้มของรังสี $600 \text{ W/m}^2$	78
4.58 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุนที่ความเข้มของรังสี $800 \text{ W/m}^2$	79
4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$	81
4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44	81
4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.52	82
4.62 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52	82

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.63	84
4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.75	85
4.65 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75	85
4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55	86
4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.64	86
4.68 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$ ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64	87
4.69 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$	87
ก.1 ลักษณะการวางแผนการเก็บรังสีในแบบตาข่ายสแตนเลส	98
ก.2 ภาพตัดขวางลักษณะการวางแผนการเก็บรังสีในแบบตาข่ายสแตนเลส	98
ก.3 ลักษณะการวางแผนการเก็บรังสีในแบบเศษเหล็ก	99
ก.4 ภาพตัดขวางลักษณะการวางแผนการเก็บรังสีในแบบเศษเหล็ก	99
ก.5 ลักษณะการวางแผนการเก็บรังสีในแบบทินกราวด์	100
ก.6 ภาพตัดขวางลักษณะการวางแผนการเก็บรังสีในแบบทินกราวด์	100

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นในการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีแนวความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับการเติบโตทางเศรษฐกิจในแต่ละปี จากรายงานพลังงานประจำปีของกระทรวงพลังงานพบว่าประเทศไทยมีการใช้พลังงานในช่วงไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2557 มีปริมาณ 18,950 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2556 ร้อยละ 1.2 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) พลังงานที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่มาจากพลังงานสิ้นเปลืองที่เป็นพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานอันดับต้นๆ ของประเทศไทย นำไปใช้ทั้งด้านอุตสาหกรรมการผลิต การขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และยังใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน แต่เชื้อเพลิงประเภทนี้มีราคาแพงและยังส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานชนิดใหม่เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่น่าสนใจที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมดอีกทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่าย การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเรียกว่า แผงเก็บรังสี (Solar collector) ซึ่งความร้อนที่ได้จะถูกถ่ายเทให้กับของเหลวหรืออากาศที่ไหลผ่านแผงเก็บรังสี พลังงานความร้อนที่ได้นี้ ก็จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม ได้แก่ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การใช้ผลิตน้ำร้อน การให้ความร้อนภายในอาคาร เป็นต้น แผงเก็บรังสีแบบแผ่นรับ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงพลังงานแสงอาทิตย์อิฐรูปแบบหนึ่งที่มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นเวลานาน เนื่องจากแผงเก็บรังสีประเภทนี้มีข้อดี คือ ผลิตได้ง่าย สามารถรับรังสีกระจายได้ทั่วทั้งภาระ ตรง เป็นอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษา ไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง แต่อย่างไร ก็ตามยังมีปัญหาหลักๆ คือ จะมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำ เพราะเกิดการสูญเสียความร้อนซึ่งเป็นผลมาจากการอิทธิพลของอากาศแวดล้อมและลมที่พัดผ่าน จึงเป็นผลทำให้เกิดการพากความร้อนที่พื้นผิว ด้านบนของแผงเก็บรังสีไปยังสภาวะแวดล้อม (พุทธิ มาเนตร และคณะ, 2548) โดยอุปกรณ์สำหรับ แผงเก็บรังสีที่สำคัญ คือแผ่นปิดคลุมด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสี เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่รับพลังงานแสงอาทิตย์และป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านบน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนและลดการสูญเสียความร้อนจากการพากความร้อนด้านบนแผงเก็บ

รังสี ในอดีตที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ทำการศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสี โดยศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เมื่อว่าจะเป็น (Karim and Hawlader, 2006) การศึกษาประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีโดยปรับปรุงแผ่นดูดกลืนรังสีเป็นแบบร่องรูปตัววี (Fudholi et al., 2011) การศึกษาประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแบบให้หวานกลับและมีครีบติด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องมาจากพื้นที่ผิวสัมผัสถกับอากาศเพิ่มขึ้น และนอกจากแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงแผ่นดูดกลืนรังสีดังกล่าวข้างต้นแล้วนั้น นักวิจัยยังได้คิดหาแนวทางการประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อใช้เป็นแผ่นดูดกลืนรังสี (Mohamad, 1996) การนำเสนอแนวทางการลดความร้อนที่สูญเสียจากการจีบด้านบนแผงเก็บรังสีอาทิตย์โดยการนำวัสดุพรุนมาใช้แทนที่แผ่นดูดกลืนรังสี (Sopian et al., 1999) การศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสีแบบให้หวานกลับของอากาศที่มีและไม่มีวัสดุพรุน เนื่องจากวัสดุพรุนมีลักษณะเด่นๆ คือ มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง (Area to volume ratio) และค่าการนำความร้อน (Conductivity) ของวัสดุพรุนมีค่าสูงกว่าค่าการนำความร้อนของของเหลวสั่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนสูงออกจากน้ำวัสดุพรุนยังมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาความร้อน (Convection) และการแผรังสีความร้อน (Radiation) ได้เป็นอย่างดี (กนกกาญจน์ ว่องวัชรพร, 2556) อย่างไรก็ตามวัสดุพรุนก็ยังมีผลต่อความดันตกคร่อม (Pressure drop) ที่เพิ่มสูงขึ้น เช่นกัน จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงแผ่นดูดกลืนรังสี และในงานวิจัยที่ใช้วัสดุพรุนเป็นแผ่นดูดกลืนรังสียังมีน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุพรุนมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีให้ดียิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความเร็วลมที่มีผลต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเข้มของรังสีที่มีผลต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของวัสดุพรุนที่มีผลต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 แผงเก็บรังสีอาทิตย์ที่ศึกษาเป็นแบบแผ่นราบ (Flat plate collector)
- 1.3.2 วัสดุพรุนที่ใช้ศึกษาทดลอง ได้แก่ ตาข่ายสแตนเลส, หินตู้ปลาหรือหินกรวด และเศษเหล็ก ซึ่งจะมีค่าความพรุนอยู่ในช่วง 0.4-0.8
- 1.3.3 ความเร็วลมที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0.5-2.0 m/s
- 1.3.4 ความเข้มของรังสีอยู่ในช่วง 400-1,000 W/m<sup>2</sup>

#### 1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1.4.1 รวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหนังสือหรือวารสาร
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างชุดทดลอง
- 1.4.3 ทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ
- 1.4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 1.4.5 เขียนสรุปรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

#### 1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 1.5.1 แฟรงก์บังสีอาทิตย์แบบแผ่นร้าบ
- 1.5.2 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger)
- 1.5.3 แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม
- 1.5.4 คอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลและวิเคราะห์ผล

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบผลของความเร็วลมที่มีต่อประสิทธิภาพแฟรงก์บังสี
- 1.6.2 ทราบผลของความเข้มของรังสีที่มีต่อประสิทธิภาพแฟรงก์บังสี
- 1.6.3 ทราบผลของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแฟรงก์บังสี
- 1.6.4 ได้องค์ความรู้ในการเพิ่มประสิทธิภาพแฟรงก์บังสีด้วยวัสดุพรุน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผงเก็บรังสี วัสดุพื้น และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดตามหัวข้อดังต่อไปนี้

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับแผงเก็บรังสีอาทิตย์

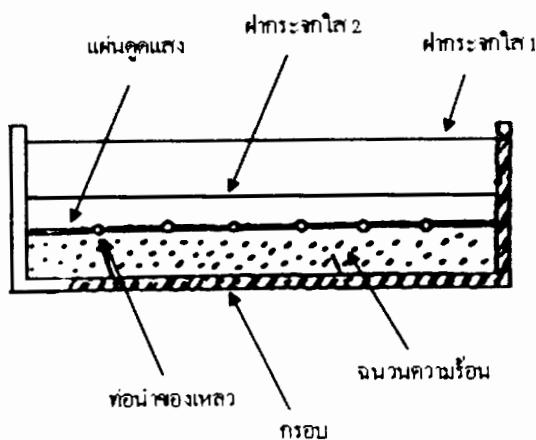
2.1.1 แผงเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทหนึ่ง ที่ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนจากของแข็งไปยังตัวกลางหรือของเหลวผ่านแผงเก็บรังสี ซึ่งส่วนใหญ่ของเหลวที่นิยมคือ อากาศ น้ำ และน้ำมัน แผงเก็บรังสีแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แผงเก็บรังสีประเภทที่เก็บอุณหภูมิต่ำ และประเภทที่เก็บอุณหภูมิสูง ซึ่งแผงเก็บรังสีประเภทที่เก็บอุณหภูมิต่ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.1.1.1 แผงเก็บรังสีแบบหลอดสูญญากาศ สามารถรับรังสีได้ทั้งรังสีตรงและรังสีกระเจา แผงเก็บรังสีแบบหลอดสูญญากาศมีลักษณะเป็นหลอดแก้วสองชั้น ระหว่างชั้นเป็นสูญญากาศ ภายในเคลื่อนด้วยสารดูดกลืนรังสีที่มีคุณลักษณะดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดี และมีการสูญเสียความร้อนจากการแผรังสีน้อย แผงเก็บรังสีแบบนี้จะให้อุณหภูมิของเหลวสูงกว่าแผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบ

2.1.1.2 แผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบ แผงเก็บรังสีแบบนี้เป็นแบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด จะมีลักษณะเป็นกล่องที่หุ้มฉนวนไว้ ภายในบรรจุแผ่นดูดกลืนความร้อนซึ่งจะเป็นแผ่นที่มีสีทึบหรือสี

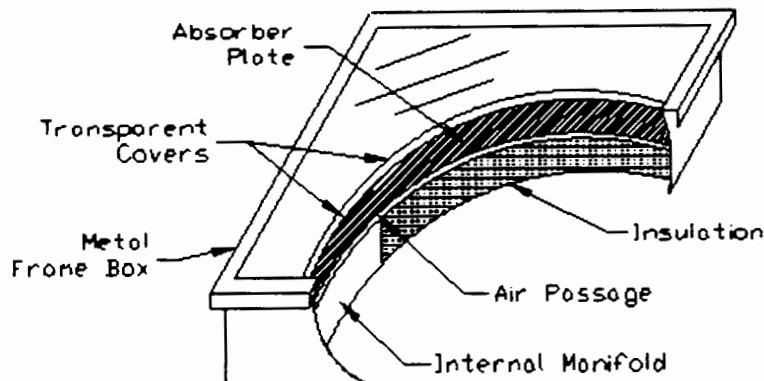
2.1.2 แผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบ (Flat plate collector) สามารถแบ่งตามประเภทของเหลวทำงานได้ 2 ประเภท คือ น้ำ และอากาศ

2.1.2.1 แผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบที่ใช้น้ำเป็นของเหลวทำงาน จะทำเป็นเครื่องทำน้ำร้อน อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้มักต่ำกว่า 90°C เหมาะสำหรับใช้ตามบ้านเรือนหรืออุตสาหกรรมบางประเภท ลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนแสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องทำน้ำร้อน

2.1.2.2 แผงเก็บรังสีแบบแผ่นราบที่ใช้อากาศเป็นของเหลวทำงาน ใช้สำหรับปรับอากาศให้อุ่นและใช้ให้ความชื้นจากอาหาร และเมล็ดพืช ลักษณะทั่วไปของแผงเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (Flat plate collector) แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของแผงเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (Flat plate collector)

หลักการทำงานของแผงเก็บรังสีแบบแผ่นราบคือ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบมาอย่างแผงเก็บรังสีและทะลุผ่านแผ่นปิดได้ด้านบนมาระบบทะแหน่งดูดกลืนรังสี เมื่อแผ่นดูดกลืนรังสีได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายจะเปลี่ยนจากพลังแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจึงทำให้อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสีเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งด้านล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีและด้านข้างของแผ่นปิดจะเป็นฉนวนกันความร้อน จึงช่วยลดการสูญเสียความร้อนโดยการนำ นอกจากร่องป้องกันลมไม่ให้กระทบกับแผ่นดูดกลืนรังสีได้โดยตรงทำให้ช่วยลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสี

และเมื่อแผ่นดูดกลืนรังสีมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นก็จะถ่ายเทความร้อนไปยังของเหลวที่อยู่ภายในแผงเก็บรังสี เมื่อของเหลวที่อยู่ภายในถูกแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะสามารถนำไปใช้งานต่อไป แผงเก็บรังสีจะประกอบไปด้วยแผ่นปิดใต้ด้านบนซึ่งทำจากกระจกใสหรือพลาสติกใสจะป้องกันรังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นสั้น ทำให้รังสีอาทิตย์ตกรอบหมายังแผ่นดูดกลืนรังสีได้มาก และเมื่อแผ่นดูดกลืนรังสีทำสีดำหรือเคลือบด้วยสารเลือกรังสีได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสีสูงขึ้นและแผ่รังสีความร้อนออกมายังรูปของรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรดไปกระทบกับแผ่นปิดใต้ด้านบนซึ่งที่แผ่นดูดกลืนรังสีถูกทำให้อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสีสูงขึ้นจะมีคุณสมบัติที่บ่งบอกว่ารังสีความร้อนที่เป็นคลื่นยาว (รังสีอินฟราเรด) จะทำให้รังสีอินฟราเรดสะสมท่อนกลับเข้าไปในแผ่นดูดกลืนรังสีอีกซึ่งมีผลให้อุณหภูมิระหว่างแผ่นปิดใต้ด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีสูงขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect)

ส่วนประกอบหลักของระบบทำความร้อนด้วยแผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบ มีรายละเอียดต่อไปนี้

(1) แผ่นปิดคลุมโปร่งใส (Transparent cover) จะวางไว้เหนือแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศโดยการพา และการแผ่รังสี การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อให้ดูดกลืนความร้อนมากขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนกระจกที่ใช้ปิดคลุมซึ่งอาจจะมีมากกว่าหนึ่งแผ่น แผ่นปิดคลุมอาจใช้แผ่นพลาสติกใสแทนได้แต่พลาสติกไม่มีอายุการใช้งานสั้น เนื่องจากจะสูญเสียคุณสมบัติความโปร่งใสทีละน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลงเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามแผ่นพลาสติกมีราคาถูกกว่ากระจก

(2) แผ่นดูดกลืนรังสี (Absorbing plate) ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดูดกลืน เอาไว้ให้กับอากาศมีลักษณะเป็นแบบแผ่นร้าบ (Flat) ลอนลูกฟูก (Corrugated) ห่อ (Tubes) แผ่นครีบ (Fins) เป็นต้น วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นทองแดง อะลูมิเนียม และเหล็กกล้า

(3) ฉนวน (Insulation) ส่วนใหญ่จะใช้เซรามิก (Ceramic fiber) ไยแก้ว (Fiber glass) และโฟมพลาสติก (Plastic foam) อยู่ทั้งด้านข้างและด้านล่าง จะทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อนอันเนื่องจากการนำความร้อน

(4) ตัวเรือน (Metal flame box) ทำหน้าที่เก็บรวมส่วนประกอบต่างๆ ของแผงเก็บรังสีช่วยป้องกันฝุ่นละออง และความชื้นของอากาศแผงเก็บรังสีสำหรับทำความร้อนไม่จำเป็นต้องมีการแข็ง เช่น และเกิดปัญหาจากการกัดกร่อนน้อยมาก ซึ่งอากาศที่ร้อนไม่ก่อให้เกิดความเสียหายที่ร้ายแรง

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับวัสดุพูน

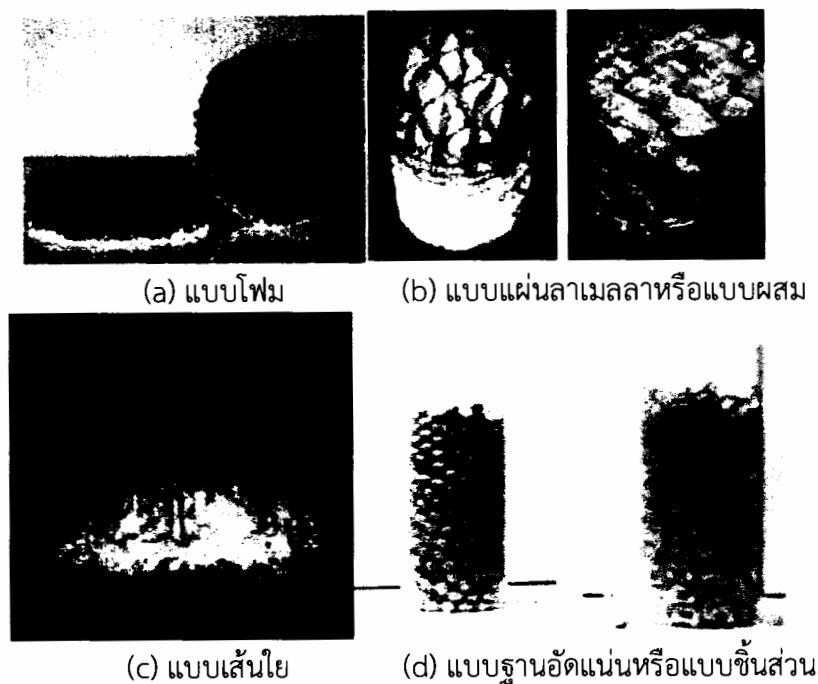
วัสดุพูน คือ วัสดุที่มีอิเล็กทรอนิกส์ช่องว่าง (Space) แทรกไปปะปนอยู่ในเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็ง หากพิจารณาวัสดุใดๆ ที่มีหนึ่งหน่วย ค่าความพรุน (Porosity) จะนิยามด้วยอัตราส่วนระหว่างปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมด (ปริมาตรทึบ) ดังนั้นวัสดุที่มีค่าความพรุนสูงๆ นั่นคือ วัสดุนั้นมีปริมาตรช่องว่างเยอะ ในทางตรงกันข้ามหากมีค่าความพรุนต่ำ แสดงว่าวัสดุนั้นไม่ค่อยมีช่องว่างและถ้ามีค่าเป็นศูนย์จะเป็นวัสดุทึบ ด้วยโครงสร้างดังกล่าวทำให้วัสดุพูนมีคุณลักษณะเด่นๆ สองอย่าง คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยปริมาตรสูง ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก และ การถ่ายเทความร้อนจะไม่มีเพียงการนำแต่จะมีการแพร่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุทึบทั่วไป ทำให้สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาและการแพร่รังสีความร้อน (การนำความร้อน) ได้เป็นอย่างดี หากพิจารณาถึงการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพูนจะแบ่งได้เป็น 4 โครงสร้างดังนี้ (บัณฑิต กฤตตาม, 2554)

(1) โครงสร้างแบบโฟม (Foam structure) หรือเซลลูลาร์แบบเปิด (Open-cellular) เนื้อของแข็งของวัสดุจะถูกเป็นเส้นใยโดยที่มีช่องว่างเป็นโพรงทรงกลมแบบเซลล์แทรกอยู่ภายในเส้นใย ดังกล่าวส่งผลให้เซลลูลาร์เปิดมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบห้าเหลี่ยมสิบหน้า (Pentagonal dodecahedron) มีค่าความพรุนมากกว่า 0.8 เป็นวัสดุโลหะที่มีรูพรุนจำนวนมาก มีเนื้อโลหะอยู่ประมาณ 5-25 เปอร์เซ็นต์กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ โฟมโลหะประกอบด้วยอากาศร้อยละ 75-95 ของปริมาตร ทำให้มีน้ำหนักเบา ความดันต่อกรัมของแก๊สหรืออากาศที่เหลือผ่านมีค่าต่ำ มีพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยปริมาตรที่สูงมาก เป็นต้น

(2) โครงสร้างแบบแผ่น lame หรือแบบผสม (Lamella or mixer structure) ทำจากโลหะและเซรามิกส์ มีค่าความพรุนสูงมากอยู่ในช่วง 0.95-0.99 ซึ่งทำให้แพร่รังสีได้ดีเยี่ยมการนำความร้อนของแผ่น lame ทำได้ไม่ดีแต่ด้วยพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยปริมาตรที่สูงส่งผลให้แผ่น lame สามารถถ่ายความร้อนด้วยวิธีการแพร่รังสีได้อย่างดีเยี่ยมและความดันต่อกรัมของแก๊สหรืออากาศที่เหลือผ่านมีน้อยมากประยุกต์ใช้กับเครื่องปฏิกรณ์เคมี หัวเผาที่มีรูพรุน ฉนวนกันความร้อนและเพอร์ฟิล์เจอร์ของเตาเผา เป็นต้น

(3) โครงสร้างแบบเส้นใย (Wire mesh structure) มีคุณสมบัติคล้ายแบบแผ่น lame แต่แบบเส้นมีช่วงความพรุนต่ำกว่า 0.75-0.95 และมักมีปัญหาด้านความแข็งแรงทนทาน

(4) โครงสร้างแบบฐานอัดแน่นหรือแบบชิ้นส่วน (Packed bed or discrete element) มีค่าความพรุนต่ำประมาณ 0.3-0.7 ส่วนใหญ่มักใช้ชิ้นส่วนที่มีรูปทรงกลม แต่มีการใช้ในรูปทรงอื่นๆด้วยจุดเด่นของวัสดุชนิดนี้คือ มีความแข็งแรง ทนทานต่อการซ้อคทางอุณหภูมิ และสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุได้เป็นอย่างดี แต่จะมีความดันต่อกรัมสูง มีการแพร่รังสีและการพาความร้อนต่ำ

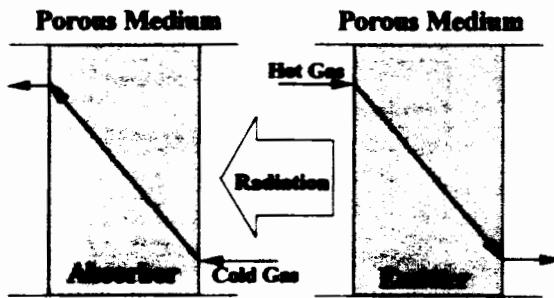


ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของวัสดุพรุนแบบต่างๆ

ที่มา: บันทึก กฤตาคม, 2554

### 2.2.1 หลักการหมุนเวียนความร้อนด้วยวัสดุพรุน

วัสดุพรุนสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ เนื่องจากมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ระหว่างความร้อนในรูปของการพาและ การแผ่รังสี เนื่องจาก วัสดุพรุนเป็นของแข็งที่มีรูพรุนซึ่งของเหลวสามารถไหลผ่านได้ทำให้มีข้อดี คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ทำให้มีความสามารถในการพาความร้อนได้ดี รวมทั้งลักษณะที่เป็นของแข็งจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อนสูง ดังนั้นในการถ่ายเทความร้อนจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีหลักการทำงานดังแสดง ในภาพที่ 2.4 เมื่ออากาศร้อนไหลผ่านวัสดุพรุนทางขวามือ วัสดุพรุนจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนเรือนทางไปของอากาศร้อนเอาไว้ส่วนหนึ่งแล้วเปลี่ยนพลังงานส่วนที่ดูดกลืนมาเป็นการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเรียกว่าลักษณะเช่นนี้ว่าเป็นตัวแผ่รังสี (Emitter) แผ่รังสีมายังวัสดุพรุนทางด้านซ้ายซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี (Absorber) ดังนั้นอากาศร้อนที่ไหลผ่าน ตัวแผ่รังสีจะมีอุณหภูมิลดลง และเมื่ออากาศเย็นไหลผ่านตัวรับรังสีอากาศเย็นจะดูดความร้อนที่ดูดกลืนไว้ทำให้อากาศมีเรือนทางไป และอุณหภูมิสูงขึ้น จากหลักการดังกล่าวจึงได้นำวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในครั้งนี้



ภาพที่ 2.4 หลักการทำงานของวัสดุพรุน

### 2.2.2 การคำนวณหาค่าความพรุนของวัสดุพรุนทางทฤษฎี

ค่าความพรุนของวัสดุพรุน คือ ปริมาตรซ่องว่างของวัสดุพรุน ( $V_{space}$ ) ต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุพรุน เนื่องจากปริมาตรทั้งหมดของวัสดุพรุนเท่ากับผลรวมของปริมาตรของเนื้อวัสดุพรุนและปริมาตรของซ่องว่างดังสมการ (กฤชาดา เหงี่ยมไพบูล, 2551)

$$(V_{total}) = (V_{porous}) + (V_{space})$$

ดังนั้นค่าความพรุน ( $\phi$ ) ของวัสดุพรุนคำนวณได้จากการ

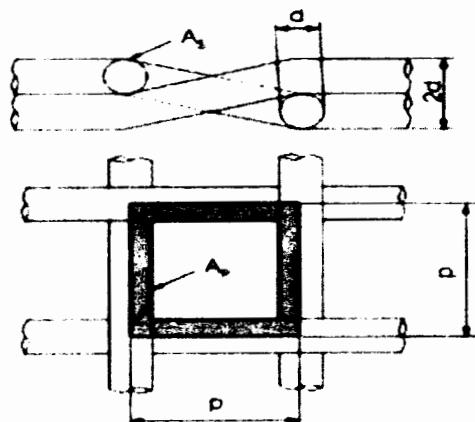
$$\phi = 1 - VF$$

เมื่อค่า Solid volume fraction (VF) คือปริมาตรเนื้อวัสดุพรุน ( $V_{porous}$ ) ต่อปริมาตรทั้งหมด ( $V_{total}$ ) ในจำนวนแผ่นของวัสดุพรุนทั้งหมด คำนวณได้จากการ

$$VF = \frac{V_{porous}}{V_{total}} = \frac{\frac{\pi}{4} d_w^2 \times 4p}{p^2 \times 2d_w} = \frac{\frac{\pi}{4} d_w^2 \times 2p}{p^2 \times 2d_w} = \frac{\pi d_w}{4p}$$

เมื่อ

$(V_{total})$	คือ ปริมาตรทั้งหมดของเนื้อวัสดุพูน, ( $m^3$ )
$(V_{porous})$	คือปริมาตรเนื้อวัสดุพูน, ( $m^3$ )
$d_w$	คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพูน, (m)
$p$	คือระยะพิเศษ, (m)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะตาข่ายของวัสดุพูน

นอกจากนี้การคำนวณหาค่าความพรุนยังคำนวณได้จากสมการ ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าความพรุนของวัสดุพูนโดยการคำนวณร่วมกับการทดลองโดยวิธีการแทนที่ของน้ำ โดยค่า  $V_s$  ที่ได้ใช้วิธีการวัดโดยการแทนที่ของน้ำ ส่วนค่า  $V_{total}$  อาจใช้วิธีการคำนวณหรือวิธีการแทนที่ของน้ำได้

$$\phi = 1 - \frac{V_s \times N}{V_{total}}$$

เมื่อ

$N$	คือ จำนวนแผ่นของวัสดุพูน
$V_s$	คือ ปริมาตรของเข็งจำนวนหนึ่งแผ่น, ( $m^3$ )
$V_{total}$	คือ ปริมาตรทั้งหมดของวัสดุพูน, ( $m^3$ )

### 2.2.3 การคำนวณหาค่าความพรุนของวัสดุพูนโดยวิธีการแทนที่ของน้ำ

การคำนวณหาค่าความพรุนของวัสดุพรุนที่ใช้ในการทดลองโดยวิธีการแทนที่ของน้ำเป็นการแทนน้ำหนักของวัสดุพรุนโดยอาศัยการแทนที่ของน้ำในช่องว่าง ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะได้ค่า Solid volume fraction (VF) ซึ่งเป็นปริมาตรของเนื้อวัสดุพรุน (Porous volume) ต่อปริมาตรทั้งหมด (Total volume) โดยใช้สมการ

$$VF = \frac{V_{porous}}{V_{total}}$$

ปริมาตรของวัสดุพูนทั้งหมด (Total volume) คำนวณจากสมการ

$$V_{total} = \frac{\pi}{4} d_w^2 l$$

၁၅

1 คือ ความหนารวมของวัสดุพรม, (m)

$d_w$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพรุน, (m)

แทนค่า  $V_{total}$  ที่ได้จากการลงในสมการ จะได้ค่า Volume fraction และแทนค่าลงในสมการ จะได้ค่าความพรุนของวัสดุพรุนอกรกma

### 2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพผังเก็บรังสี

เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีโดยใช้อากาศเป็นตัวพากความร้อน จึงจำเป็นต้องให้อากาศผ่านแผ่นดูดกลืนรังสีนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่ใช้พื้นที่รับแสงเท่าเดิม จะสามารถจำแนกแห่งเก็บรังสีตามลักษณะการประยุกต์ใช้งานได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

### 2.3.1 ແຜນເກີບຮັງສີທີ່ມີແຜ່ນດົດກລິນຮັງສີແບບໄໝມີວັດທຸນ

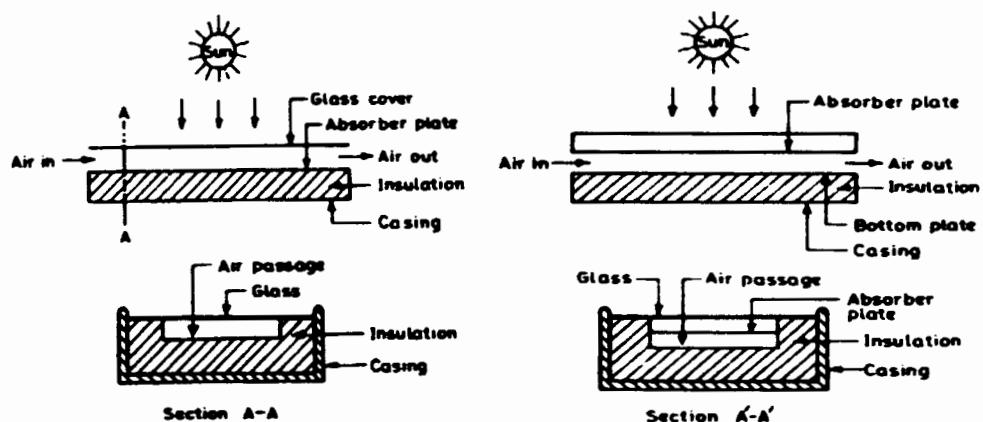
แผนเก็บรังสีแบบนี้อาจาจะให้ผลผ่านผิวด้านบนและผิวด้านล่างของแผ่นดูดกลืนรังสี ซึ่งอาจาคที่ให้ผลผ่านผิวด้านบนจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนด้านบนของแผนเก็บรังสีเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในงานที่ต้องการอุณหภูมิสูง ลักษณะของแผนเก็บรังสีรูปแบบทั่วไปอาจาจะให้ ผ่านที่ข้างบนหรือที่ข้างล่างเพียงอย่างเดียวเท่านั้นจะเรียกว่า การให้ผลแบบทางเดียว และแบบอาจาจะให้ผลทั้งข้างบนและข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีจะเรียกว่า การให้ผลแบบสองทางแสดงดังภาพที่ 2.6 ในกรณีที่แผนเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีเป็นแผ่นราบ ถ้าไม่ทำสีดำหรือพื้นผิวไม่เคลือบด้วยสาร

เลือกรังสีส่วนมากจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าอากาศที่อุณหภูมิและความเข้มของแสงเดียวกัน แต่ยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของแผ่นดูดกลืนรังสีให้ดีขึ้นได้ โดยหลักการของการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

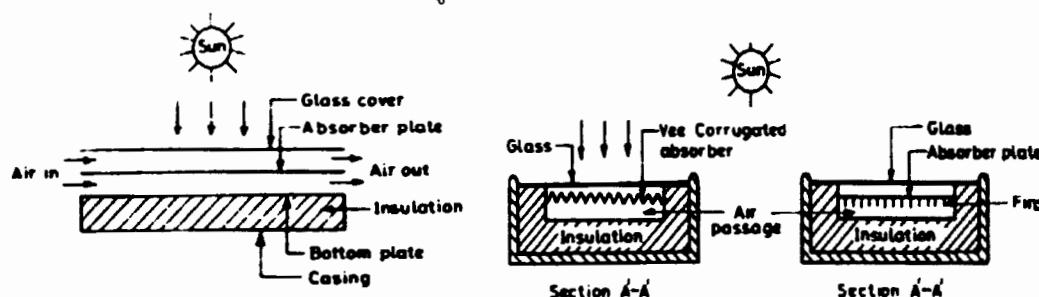
(1) การทำให้พื้นผิวของแผ่นดูดกลืนรังสีมีความหมายหรือชุยะเพื่อให้อากาศที่หล่อผ่านในลักษณะการไหลแบบบีบปูนจะทำให้การพาราความร้อนดีขึ้น

(2) การใส่ครีบเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศที่หล่อผ่านจะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น

(3) การเพิ่มพื้นที่รับแสงของแผ่นดูดกลืนรังสี โดยแผ่นดูดกลืนรังสีที่มีลักษณะเป็นลูกฟูกหรือตัววีซึ่งแบ่งเก็บรังสีแบบนี้ออกจากจะช่วยเพิ่มพื้นที่รับแสงแล้วยังช่วยลดการสะท้อนรังสีอีกด้วย



(a) แผ่นดูดกลืนรังสีแบบแผ่นราบ

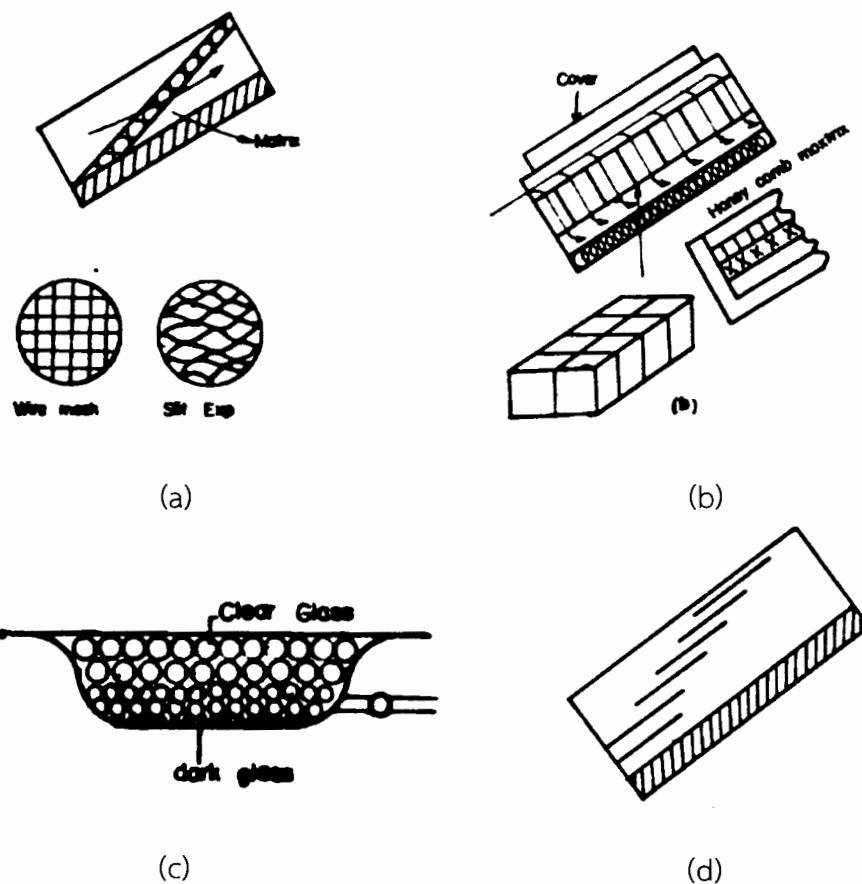


(b) แผ่นดูดกลืนรังสีแบบครีบ (fin) และแบบลูกฟูกหรือตัววี (V-corrugated)

ภาพที่ 2.6 แบ่งเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีแบบไม่มีวัสดุพูน

### 2.3.2 แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพรุน (Collector with porous)

วัสดุพรุนสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ เนื่องจากมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดีระหว่างเอนทัลปีของของไอลกับพลังงานในรูปของการแผ่รังสี (Thermal radiation) โดยผ่านกลไกของการพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เนื่องจากวัสดุพรุนเป็นของแข็งที่มีรูพรุนซึ่งของไอลสามารถไหลผ่านได้ทำให้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากทำให้เกิดการพาความร้อนได้ดี รวมถึงลักษณะที่เป็นของแข็งจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการแผ่รังสีสูง (กนกกาญจน์ ว่องวัชรพร, 2556) ด้วยเหตุนี้การใช้วัสดุพรุน จึงเป็นเหมือนการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อน และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบและเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่ทางออกอีกด้วยแต่แผงเก็บรังสีแบบนี้ก็มีข้อบกพร่องที่เป็นอุปสรรค ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพคือ ความดันของอากาศภายในแผงเก็บรังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับอุณหภูมิ ด้านล่างจะลดลง ซึ่งลักษณะของแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพรุนดังภาพที่ 2.7a สามารถลดข้อบกพร่องดังกล่าวได้ดังนี้ (ชัยวัฒน์ นิยมการ, 2523)



ภาพที่ 2.7 แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุเป็นรูพรุน

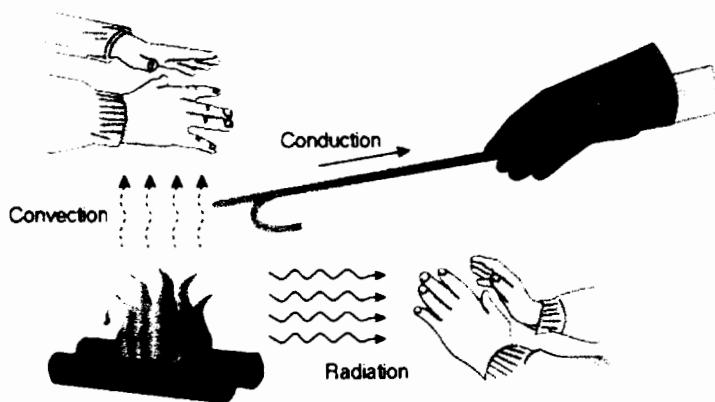
(1) เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านไปยังแผ่นดูดกลืนจะถูกดูดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุพรุนอากาศเย็นที่เข้าสู่แสงเก็บรังสีจะอยู่บริเวณเหนือแผ่นดูดกลืนรังสีและจะได้รับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนนี้โดยที่ชั้นบนจะเย็นกว่าชั้นล่าง ดังนั้นอากาศที่ผ่านแผ่นดูดกลืนนี้จะรับความร้อนไปประสิทธิภาพของแสงเก็บรังสีจะขึ้นอยู่กับลักษณะแผ่นดูดกลืนรังสีนี้ เช่น ต้องมีความหนาเท่าไร มีความหนาแน่นหรือรูพรุนควรเป็นเท่าไร จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาค้นคว้าต่อไป

(2) ถ้าให้อากาศไหลผ่านด้านล่างของผิวสัมผัสจะพบว่าแรงเสียดทานของอากาศที่ผ่านรูพรุนจะน้อยกว่าแผ่นดูดกลืนรังสีแบบแผ่นราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้อากาศเป็นตัวพารามิเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 2.7b นอกจากนี้หากชั้นของเศษแก้ว โดยชั้นบนเป็นกระจกโปร่งใสชั้nl่างเป็นกระจกใส ด้ำ ดังภาพที่ 2.7c และแผ่นกระจกที่วางเหลือมัน กัน ดังภาพที่ 2.7d ก็ถือว่าเป็นแผ่นดูดกลืนรังสีที่มีลักษณะเป็นรูพรุนเช่นเดียวกันซึ่งอากาศที่ผ่านแสงเก็บรังสีจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นความร้อนที่ได้นอกจากนำมาใช้ทำอากาศร้อนแล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ ได้ เช่น

- (2.1) การให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ที่เป็นประเภทที่มีอากาศหนาเย็น
- (2.2) นำความร้อนมาใช้ในการทำเครื่องปรับอากาศ โดยใช้ในระบบดูดซึม
- (2.3) ใช้ในงานด้านการเกษตร เช่น การทำความร้อนในเรือนกระจก
- (2.4) ใช้อาหารร้อนในแหล่งพลังงานสำหรับการทำความร้อนของเครื่องยนต์

## 2.4 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่อได้กําตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลางการถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ ภาพที่ 2.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในแบบต่าง ๆ เมื่อมีเกรดเดียนท์อุณหภูมิ (Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่นิ่ง เช่น ของแข็ง หรือของเหลว เทอมของกระบวนการนำความร้อน (Conduction) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านตัวกลาง ในขณะที่การพาความร้อน (Convection) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวและของเหลวที่เคลื่อนที่เมื่อมีอุณหภูมิแตกต่างกัน ส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิหนึ่งจะปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมานอกจากนั้นในสภาวะที่ปราศจากตัวกลางใด ๆ จะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้



ภาพที่ 2.8 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี

#### 2.4.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน (Heat conduction) คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกันแต่มีอุณหภูมิแตกต่างกันในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสารโดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่จะเกิดขึ้นได้มากในตัวกลางที่เป็นของแข็งโดยเฉพาะกับตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในของเหลว ของแข็ง และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature Gradient)  $dT/dx$  คูณกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่าน ซึ่งความสามารถในการนำความร้อนของสาร วัดด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) หรือใช้อักษรย่อว่า k เป็นคูณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่มีความร้อนเคลื่อนที่ผ่านอัตราการนำความร้อนจึงมีค่าเป็น

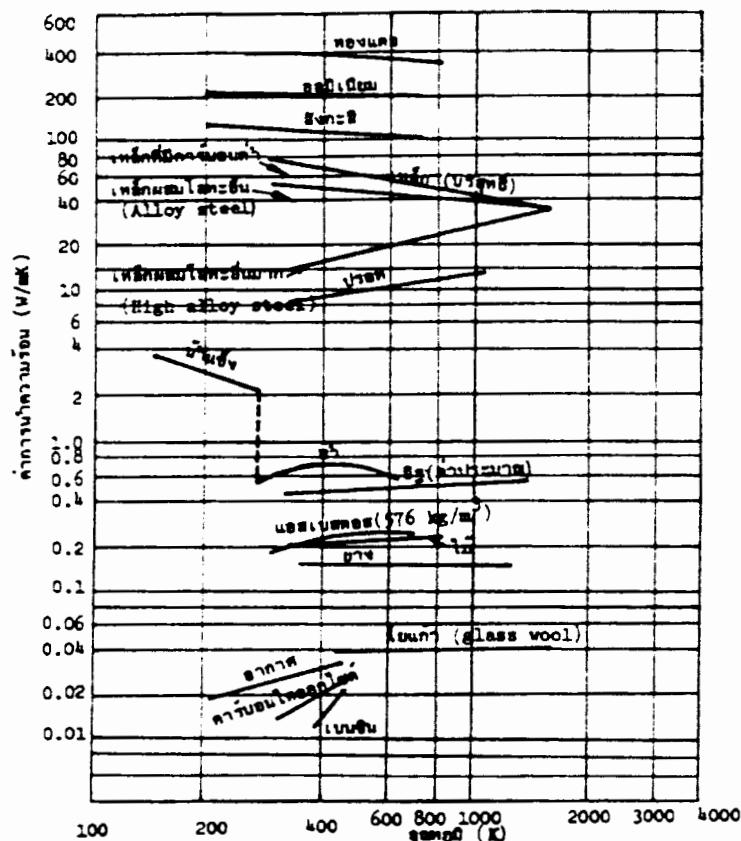
$$Q_{cond} = -kA \left( \frac{dT}{dx} \right)$$



เมื่อ

$Q_{cond}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน, (W)
$A$	คือ	พื้นที่การถ่ายเทความร้อน, ( $m^2$ )
$T$	คือ	อุณหภูมิ, (K)
$x$	คือ	ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน, (m)
$k$	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, (W/mK)

การนำความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของแข็ง เมื่อโมเลกุลของแข็งนั้นๆ ได้รับความร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้แก่โมเลกุลในชั้นถัดไปในลักษณะพลังงานความสั่นสะเทือน (Vibration energy) พลังงานความร้อนก็จะเคลื่อนที่ลีกเข้าไปในเนื้อของแข็งเรื่อยๆ นอกจากนี้การนำความร้อนยังอาจเกิดจากการขยับความร้อนของอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในของแข็ง เมื่ออิเล็กตรอนได้รับความร้อนก็จะมีพลังงานมากขึ้นและเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่เย็นกว่าซึ่งจะนำเอาพลังงานความร้อนไปสู่บริเวณที่เย็นกว่าด้วย โดยทั่วไปจะพบว่าโลหะนำความร้อนได้ดีกว่าอลูมิเนียมจากโลหะมีโมเลกุลเรียงกันอยู่ย่างเป็นระเบียบความร้อนจึงถูกถ่ายเทผ่านไปในลักษณะของพลังงานความสั่นสะเทือนได้อย่างรวดเร็ว และโลหะยังมีจำนวนอิเล็กตรอนอยู่มากมายซึ่งจะช่วยในการขยับพลังงานความร้อนได้เป็นอย่างดี ส่วนอลูมิเนียมมีโมเลกุลจะเรียงตัวกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบไม่สะดวกในการสั่นสะเทือนเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลไปได้และโลหะมีอิเล็กตรอนอยู่น้อยมาก การศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนในสารนั้นสามารถเปรียบเทียบจากค่า  $k$  ของสารเหล่านั้นโดยสารที่มีค่า  $k$  สูงจะเรียกว่า สารตัวนำ (Conductor) และสารที่มีค่า  $k$  ต่ำ จะเรียกว่า ฉนวน (Insulator) ตัวอย่างค่า  $k$  บางชนิดแสดงได้ดังภาพที่ 2.9 และตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำความร้อนของสารชนิดต่างๆ กับอุณหภูมิ  
ที่มา: นักสิทธิ์ ครุฑนา, 2553

### ตารางที่ 2.1 ค่าการนำความร้อนของสารบางชนิด

วัตถุ	ค่าการนำความร้อน ( $k$ ), W/mK
โลหะบริสุทธิ์	35-430
โลหะผสม	20-200
โลหะเหลว	9-90
คอนกรีต	0.814-1.4
ไม้เนื้ออ่อน	0.100
ไม้เนื้อแข็ง	0.140-0.170
ฉนวน	0.02-0.40

ที่มา: นักศิษย์ คุวัฒนา, 2553

#### 2.4.2 การพาความร้อน

การพาความร้อน (Heat convection) คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของเหลว ซึ่งของเหลวจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง การถ่ายเทความร้อนโดยการพาประกอบด้วยกลไก 2 อย่าง คือ พลังงานเกิดการถ่ายเทอันมีผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุล และผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของของเหลว การถ่ายเทในลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ เช่น ในระบบที่มีเกรเดียนท์อุณหภูมิจะมีการถ่ายเทความร้อนได้และเนื่องจากโมเลกุลในกลุ่มของเหลวจะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอยู่ด้วย ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุลและการเคลื่อนที่ของของเหลวเป็นส่วนใหญ่ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบบออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การพาตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection) และการพาโดยการบังคับ (Forced convection)

2.4.2.1 การพาตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของเหลว โดยที่ของเหลวไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวตามกลไกภายนอก วัตถุซึ่งมีผิวเรียบอยู่ในของเหลวซึ่งอยู่นิ่งถ้าอุณหภูมิของผิวสูงกว่าอุณหภูมิของของเหลว ความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของเหลวที่ชิดกับผิว ทำให้ความหนาแน่นของของเหลวที่อยู่ชิดผิวต่ำลง ซึ่งทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของเหลวลอยตัวขึ้นของของเหลวที่อยู่ต่ำกว่าก็จะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่และทำให้เกิดการหมุนเวียนความร้อนของของเหลว

เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนในกรณีขึ้นอยู่กับปริมาณต่างๆ หลายปริมาณ เช่น คุณสมบัติต่างๆ ของของเหลว ขนาดและลักษณะของของแข็ง อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างของเหลวและพื้นผิว นอกจากนี้สมประสิทธิ์การขยายตัวของสารซึ่งมีผลต่อแรงผลอยตัวของสารก็ยังมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วย

2.4.2.2 การพาโดยการบังคับ (Forced convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของเหลวโดยของเหลวถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือ เครื่องสูบน้ำ เมื่อของเหลวมีความเร็วจำเป็นจะต้องทราบกลไกในการเคลื่อนที่ของของเหลว ก่อน โดยปกติจะแบ่งการไหลของของเหลวออกเป็น 2 แบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ในการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งของไหลจะเป็นชั้นๆ ขนาดกับความร้อนจะถ่ายเทจากผิวของแข็งโดยการนำและถ่ายเทต่อๆ กันไปในของไหลโดยการนำผ่านชั้นของของไหล ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่มีรีบเรียงจะมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลด้วย การเคลื่อนที่ของความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดจากอนุภาคของของไหลที่ได้รับความร้อนมาแล้วเคลื่อนที่นำความร้อนไปยังที่อื่น ดังนั้นยิ่งการไหลแบบปั่นป่วนมากเท่าใดการเคลื่อนที่ของความร้อนจะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

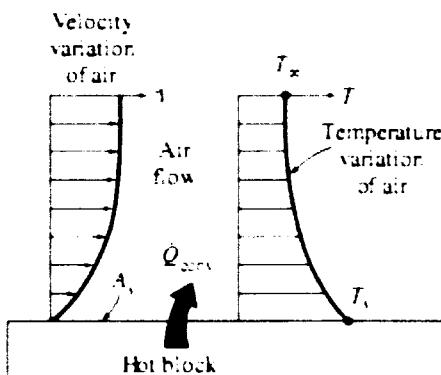
หากพิจารณาการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกัน ดังภาพที่ 2.10 แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างพื้นผิวของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านไปบนแผ่นวัตถุ ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความเร็วและอุณหภูมิจุดที่น่าสังเกตคือ ความเร็วจะลดน้อยลงในทิศทางที่วิ่งเข้าสู่ผิวของวัตถุด้วยผลของการถ่ายเท่านี้ ความเร็วจะลดน้อยลงในทิศทางที่วิ่งเข้าสู่ผิวของแข็งของไหลชั้นที่อยู่ติดกับผิวนั้นมีความเร็วเป็นศูนย์ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ระหว่างผิวของแข็งและผิวนั้นจะต่ำกว่าการถ่ายเทความร้อนแบบการนำอย่างเดียว ของไหลที่มีความเร็วสูงจะให้ค่าความลาดชันของอุณหภูมิสูงทำให้มีอัตราการนำความร้อนสูงตามไปด้วย ตาราง 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลบางชนิด

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาณั้นเป็นสิ่งง่ายๆ เมื่อพิจารณาแล้วมีหลายรายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพาณั้น เช่น คุณสมบัติต่างๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ฯลฯ ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของแข็งและของไหล เป็นต้น นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพา ดังนี้

$$Q_{conv} = hA\Delta T$$

เมื่อ

$Q_{conv}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน, (W)
$h$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$ )
$A$	คือ	พื้นที่การถ่ายเทความร้อน, ( $\text{m}^2$ )
$\Delta T$	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิ, (K)



ภาพที่ 2.10 การพัฒนาขั้นของเขตในการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับ

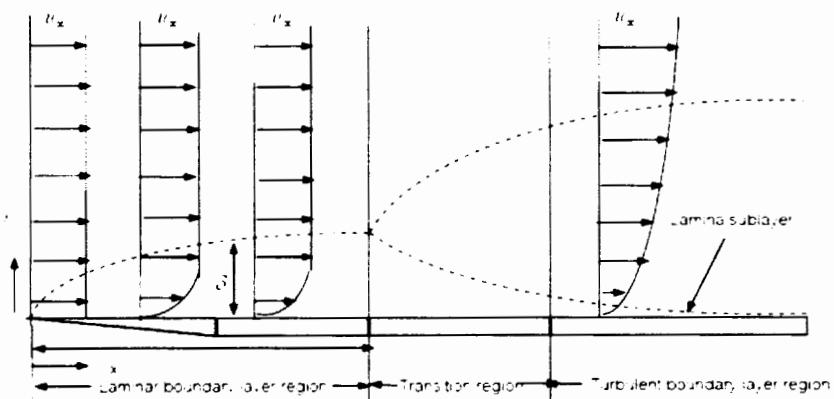
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไอลบางชนิด

ประเภทการพาความร้อนของ ของไอลบางชนิด	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย, (W/m <sup>2</sup> K)
การพาความร้อนแบบอิสระ, อากาศ	5-25
การพาความร้อนแบบอิสระ, น้ำ	20-100
การพาความร้อนแบบบังคับ, อากาศ	10-200
การพาความร้อนแบบบังคับ, น้ำ	50-10,000
น้ำกำลังเดือด	3,000-100,000
ไอของน้ำที่กำลังกลั่นตัว	5,000-100,000

การพาความร้อนภายนอก (External convection heat transfer) เกิดจากของไอลเป็นสารตัวกลางโดยของไอลมีได้ถูกจำกัดให้ไอลในบริเวณที่กำหนด แต่เป็นการไอลผ่านผิวนอกของของแข็ง เช่น การไอลผ่านผนังร้าบ การไอลตั้งจากกับวัตถุรูปทรงกระบอก การไอลของของไอลมากระหบกับของแข็งรูปร่างลักษณะต่างๆ ในทิศทางใดก็ได้ การพิจารณาการไอลของของไอลผ่านผนังร้าบดังแสดงในภาพที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าการที่มีผนังอยู่ในของไอลทำให้ความเร็วของของไอลส่วนที่อยู่ใกล้กับผนังเปลี่ยนไป เมื่อพิจารณาแล้วอาจจะแบ่งของไอลออกเป็นสองบริเวณ บริเวณแรกอยู่ใกล้กับผนังเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากการที่ผนังร้าบมาอยู่ในของไอลทำให้ความเร็วของของไอลในบริเวณนี้เปลี่ยนไป บริเวณที่สองเป็นบริเวณที่ของไอลไม่ได้รับอิทธิพลจากผนังร้าบ

ของไอลบริเวณแรกซึ่งได้รับอิทธิพลจากผนังนั้นเรียกว่า บาวดารีแลเยอร์ (Boundary layer) จะเห็นจากภาพที่ 2.11 ว่าความเร็วของของไอลที่ผ่านผนังนี้มีค่าเป็นศูนย์แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับความเร็วของของไอลภายนอก บาวดารีแลเยอร์ ( $u_\infty$ ) หรือที่เรียกว่า ความเร็วของฟรีสตรีม

(Free stream velocity) จะเห็นได้ว่า บ่าวดารีแล耶อร์เกิดขึ้นที่ปลายของผนังแล้วค่อยๆ มีความหนามากขึ้นไปตามทิศทางการไหลของของไหล ในช่วงแรกบ่าวดารีแล耶อร์จะเป็นแบบลามินาร์เมื่อบ่าวดารีแล耶อร์มีความหนามากขึ้นถึงจุดๆ หนึ่งการไหลจะเริ่มเปลี่ยนไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนและบ่าวดารีแล耶อร์จะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นเทอร์บูเลนท์บ่าวดารีแล耶อร์ (Turbulent boundary layer) การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไป ในช่วงการเปลี่ยนแปลงนี้การไหลจะเป็นแบบราบรื่นและปั่นป่วนสมกับบริเวณที่เรียกว่า traction zone (Transition zone) ถึงแม้ว่าการไหลจะเปลี่ยนจากรอบเรียบเป็นปั่นป่วนแล้ว การไหลในชั้นบางๆ ของของไหลส่วนที่อยู่ติดกับผนังก็ยังเป็นแบบราบรื่นอยู่ บริเวณนี้มีชื่อเรียกว่า ลามินาร์สันแล耶อร์ (Laminar sublayer)



ภาพที่ 2.11 การไหลบนผนังราบ

เนื่องจากการไหลแบบราบรื่นคือ การไหลที่ของไหลเคลื่อนที่เป็นชั้นๆ ไม่มีการเคลื่อนไหวของอนุภาคของไหลในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางของการไหลๆ การถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของบ่าวดารีแล耶อร์ และตั้งฉากกับผนังในกรณีของลามินาร์บ่าวดารีแล耶อร์จึงเป็นการเคลื่อนที่แบบการนำความร้อน เมื่อการไหลของของไหลเปลี่ยนไปเป็นแบบปั่นป่วนแล้วจะมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในทิศทางอื่นนอกจากทิศทางของการไหลการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น ภาพที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่ามีบ่าวดารีแล耶อร์อยู่สามแบบ คือ แบบลามินาร์ เทอร์บูเลนท์ และ traction zone ปริมาณที่มีความสำคัญมากในการที่จะกำหนดว่า บ่าวดารีแล耶อร์จะเป็นแบบไหน คือ เรยโนลด์สnumbeR ซึ่งจำนวนเลขเรยโนลด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางห่อ และ ความหนาแน่นของของไหล เราอาจเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็น

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

เมื่อ

$Re$	คือ	ค่าตัวเลขเรย์โนล์ด (Reynolds Number)
$V$	คือ	ความเร็วการไหล, (m/s)
$D_h$	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางเสมอ (Hydraulic diameter), (m)
$\rho$	คือ	ความหนาแน่นของไหล, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\mu$	คือ	ความหนืดของไหล, ( $\text{kg}/\text{m s}$ )

ได้มีการกำหนดค่าเรย์โนล์ดนัมเบอร์สำหรับばかりเรียลแอเรอ์แบบต่างๆ ในกรณีของการไหลขานกับผนังราบไว้ดังนี้

ばかりเรียลแอเรอ์แบบลามินาร์  $0 < Re < 5 \times 10^5$

ばかりเรียลแอเรอ์แบบทรายชิ้น  $5 \times 10^5 < Re < 3 \times 10^5$

ばかりเรียลแอเรอ์แบบเทอร์บูลันท์  $Re > 5 \times 10^5$

หากผิวของผนังหยาบมากばかりเรียลแอเรอ์แบบลามินาร์จะเริ่มเปลี่ยนเป็นแบบทรายชิ้นที่เรย์โนล์ดนัมเบอร์ต่ำลงกว่า  $5 \times 10^5$  สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของค่า Nusselt number โดยใช้สมการของฮิลเพ็ท (Hilpert equation)

$$Nu = \frac{hD_h}{k} = C Re^m Pr^{1/3}$$

โดยทั่วไปแล้วการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนซึ่งมีเทอมของค่าตัวเลขเรย์โนล์ด (Re) ค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nu) และค่าตัวเลขพรันด์เกิล (Pr) ได้ดังสมการ

$$h = \frac{k}{D_h} C Re^m Pr^{1/3}$$

เมื่อ

$Nu$	คือ	ค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number)
$h$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )
$D_h$	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางเสมอ (Hydraulic diameter), (m)
$k$	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ( $\text{W}/\text{mK}$ )
$C, m$	คือ	ค่าคงที่ซึ่งจะแปลงไปตามค่าตัวเลขเรย์โนล์ด
$Re$	คือ	ค่าตัวเลขเรย์โนล์ด (Reynolds number)
$Pr$	คือ	ค่าตัวเลขพรันด์เกิล (Prandtl number)

### 2.4.3 การแผ่รังสี

การแผ่รังสี (Radiation) คือ การที่พลังงานถูกปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิที่แน่นอน โดยวัตถุนั้นอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ที่ได้พลังงานของสนับสนุนการแผ่รังสีมีการถ่ายเทโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่า โฟตอน (Photons) ในขณะที่การถ่ายเทพลังงานโดยการนำหรือการพาความร้อนจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเท แต่การถ่ายเทโดยการแผ่รังสีไม่ต้องอาศัยตัวกลางใดๆ และจะเกิดการถ่ายเทได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่เป็นสูญญาติ รังสีความร้อนได้สามารถแผ่ออกไปได้มากที่สุด (Maximum flux,  $W/m^2$ ) นั้นเป็นไปตามสมการซึ่งเรียกว่า สตีเฟนและโบลซ์แมน (Stefan and Boltzmann Law) เป็นพลังงานที่แผ่ออกมาต่อหนึ่งหน่วยเวลาและต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

$$Q_{rad} = \sigma \epsilon A T^4$$

เมื่อ

$Q_{rad}$	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี, (W)
$\sigma$	คือ	ค่าคงที่ของสตีเฟนและโบลซ์แมน (Stefan and Boltzmann) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$
$\epsilon$	คือ	ค่าการแผ่รังสี (emissivity) ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงถึงประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุดจะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ
$A$	คือ	พื้นที่ผิวของตัวแผ่รังสีความร้อน, ( $m^2$ )
$T$	คือ	อุณหภูมิของผิวที่แผ่รังสีความร้อน, (K)

### 2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสี

การดำเนินการอยู่ภายใต้เงื่อนไขสภาวะคงที่ซึ่งประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีมีการอธิบายโดยการสมดุลพลังงานที่ระบุว่า การกระจายของพลังงานแสงอาทิตย์ไปอยู่ในรูปของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ การสูญเสียความร้อนและการสูญเสียเชิงแสง (จังจิตรา ทรัลลาก, 2541) สามารถเขียนความสัมพันธ์ความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จากสมการ (2.1)

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (2.1)$$

และคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้โดยใช้สมการ (2.2)

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I} = \frac{\dot{m} c_p (T_o - T_i)}{A_c I} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$\eta$	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บรังสี, (%)
$Q_u$	คือ	พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์, (kJ/s)
$\dot{m}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลผ่านแผงเก็บรังสี, (kg/s)
$c_p$	คือ	ค่าความถ่วงความร้อนจำเพาะของอากาศ, (J/kg°C)
$T_i$	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ทางออกของแผงเก็บรังสี, (°C)
$T_o$	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ทางเข้าของแผงเก็บรังสี, (°C)
$A_c$	คือ	พื้นที่ของแผงเก็บรังสี, ( $m^2$ )
$I$	คือ	ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบ, (W/m <sup>2</sup> )

ซึ่งในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีจะพิจารณาที่การถ่ายโอนความร้อนที่สภาวะคงที่ (Steady state) โดยใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss ในการหาค่าพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งถูกเสนอโดย Duffie และ Beckman (Duffie and Beckman, 1991; ณัฐนี วรยศ, 2552) ดังสมการ (2.3)

$$Q_u = A_c F_R [I(\tau\alpha)_e - U_L (T_i - T_a)] \quad (2.3)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่งจึงสามารถหาได้จากสมการ (2.4)

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{I} \quad (2.4)$$

เมื่อ

$Q_u$	คือ	พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์, (kJ/s)
$A_c$	คือ	พื้นที่ของแผงเก็บรังสี, ( $m^2$ )
$I$	คือ	ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบ, (W/m <sup>2</sup> )
$\eta$	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บรังสี, (-)
$F_R$	คือ	แฟคเตอร์การดึงความร้อนของแผงเก็บรังสีอาทิตย์, (-)
$(\tau\alpha)_e$	คือ	สัมประสิทธิ์การส่องผ่านและการดูดกลืนประสิทธิผล, (-)
$U_L$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม, (W/m <sup>2</sup> K)

$T_i$	คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่ทางออกของแผงเก็บรังสี, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_a$	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

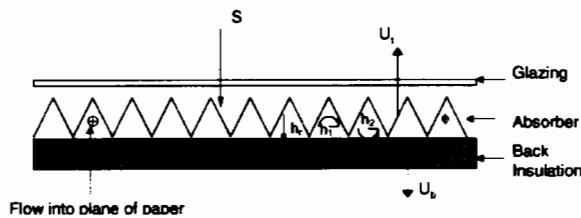
ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความสนใจในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีอาทิตย์ โดยศึกษาในลักษณะศึกษาเชิงทดลองและศึกษาเชิงแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อต้องการทำความเข้าใจและหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพ และอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบดั้งเดิม จึงมีงานวิจัยหลายชิ้นได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแผงเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีแบบไม่มีวัสดุพรุน และแผงเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีแบบมีวัสดุพรุน ซึ่งจะมีรายละเอียดงานวิจัยดังต่อไปนี้

### 2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผงเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีแบบไม่มีวัสดุพรุน

Naphon and Kongtragoon (2003) ได้ศึกษาลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสีโดยทดลองจำนวน 5 รูปแบบ แล้วนำผลการทดลองของแต่ละแบบมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบแผงเก็บรังสี ซึ่งรูปแบบทั้งหมดนี้มีการปรับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ 0.00265, 0.00795, 0.01325, 0.01855, และ 0.02385  $\text{kg/s}$  เพราะจะส่งผลต่ออุณหภูมิของระบบโดยตรงคืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศลดลง เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและระยะช่องว่างของการไหลของอากาศจะเป็นตัวแปรหนึ่งของการถ่ายเทความร้อนของแผ่นดูดกลืนรังสีไปยังอากาศ แวดล้อม จากผลการทดลองของแผงเก็บรังสีในแต่ละแบบพบว่า กรณีการไหลของอากาศในแผงเก็บรังสีแบบใหม่กลับจะมีอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น เนื่องจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ได้รับรังสีอาทิตย์ไว้แล้วถ่ายเทความร้อนได้ทั้งข้างบนและข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอีกเหตุผลหนึ่ง คือ การสูญเสียความร้อนที่ข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีมีค่าต่ำกว่าที่ผิวกระจก ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศลดลง ผลการศึกษาลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสี พบว่า แผงเก็บรังสีแบบกระจกชั้นเดียวมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากการพากความร้อนแบบบังคับทำให้การสูญเสียความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่สูงทำให้แผ่นดูดกลืนรังสีมีค่าดูดกลืนรังสีต่ำลงส่งผลให้กระแสของอากาศที่ไหลผ่านแผงเก็บรังสีมีอุณหภูมิต่ำลง และพบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มจำนวนแผ่นปิดใส

Karim and Hawlader (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแบบร่องรูปตัววี สำหรับประยุกต์ใช้ในการอบแห้ง ผลจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแบบร่องรูปตัววีเพิ่มขึ้นจาก 41 เปอร์เซ็นต์ ถึง 71 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหล 0.01  $\text{kg/m}^2\text{s}$  และ 0.054  $\text{kg/m}^2\text{s}$

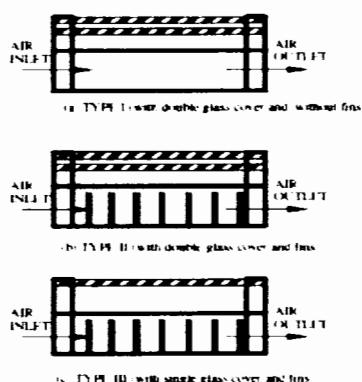
ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผงเก็บรังสีแบบธรรมดาก็พบว่า มีประสิทธิภาพมากกว่าอยู่ 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการไหลที่  $0.035 \text{ kg/m}^2\text{s}$  จะทำให้ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแบบร่องรูปตัววีดีที่สุด



ภาพที่ 2.12 แผงเก็บรังสีแบบร่องรูปตัววี

ที่มา: Karim and Hawlader, 2006

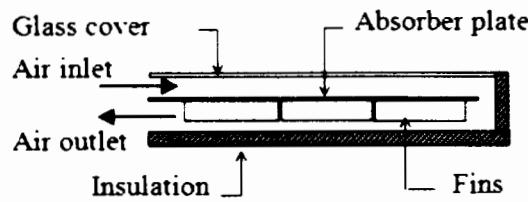
Alta et al. (2010) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีรูปแบบต่างๆ โดยทำการออกแบบแผงเก็บรังสีและแบ่งการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ แผงเก็บรังสีที่มีกระจากปิดคลุ่ม 2 ชั้นมีครีบติด (แบบที่ 1) แผงเก็บรังสีที่มีกระจากปิดคลุ่ม 2 ชั้นไม่มีครีบ (แบบที่ 2) และแผงเก็บรังสีที่มีกระจากปิดคลุ่ม 1 ชั้นมีครีบติด (แบบที่ 3) ซึ่งได้กำหนดให้แผงเก็บรังสีทั้ง 3 แบบมีพื้นที่ 0, 15 และ 30 องศา ที่อัตราการไหลของอากาศ  $25, 50, 100 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  จากผลการทดสอบแผงเก็บรังสีทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า แผงเก็บรังสีแบบที่ 2 มีประสิทธิภาพมากกว่าและผลต่างของอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและออกมีค่าสูงกว่าแบบอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าการไหลเรียนของอากาศภายในแผงเก็บรังสีมีบทบาทสำคัญมากกว่าจำนวนของแผ่นกระจากปิดคลุ่ม ในกรณีอัตราการไหลของอากาศมีค่าต่ำๆ จะส่งผลต่อผลต่างของอุณหภูมิมาก และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีดีขึ้น



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของแผงเก็บรังสีแบบที่ 1, 2 และแบบที่ 3

ที่มา: Alta et al., 2010

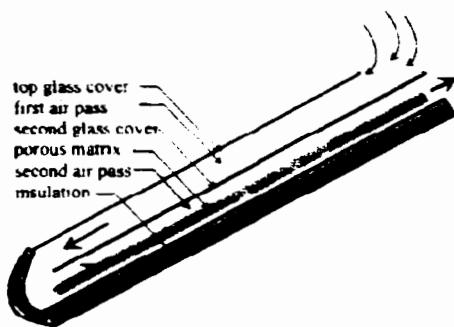
Fudholi et al. (2011) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแบบไอลวนกลับและมีครีบติด ดังภาพที่ 2.14 ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่ารังสีต่ำกระหบบที่  $400-800 \text{ W/m}^2$  และอัตราการไหลที่  $0.04-0.1 \text{ kg/s}$  จากการทดลองนั้นประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสีแบบไอลวนกลับและมีครีบติดดีที่สุดประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหล  $0.07-0.08 \text{ kg/s}$  และที่อัตราการไหล  $0.04-0.08 \text{ kg/s}$  จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.14 ลักษณะของแผงเก็บรังสีแบบไอลวนกลับและมีครีบติด  
ที่มา: Fudholi et al., 2011

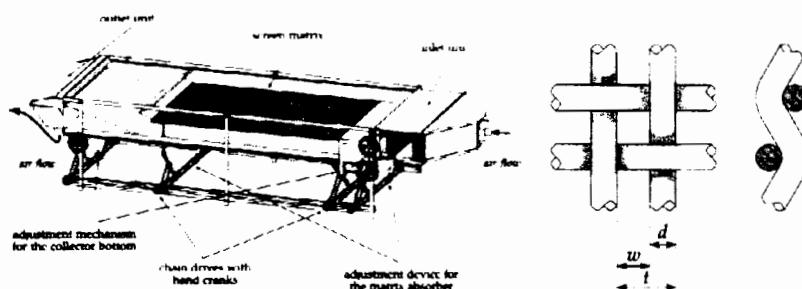
### 2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผงเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีแบบมีวัสดุพูน

Mohamad (1996) นำเสนอแนวทางการลดความร้อนที่สูญเสียจากการปิดด้านบน แผงเก็บรังสีอาทิตย์และเพื่อเพิ่มการสกัดความร้อนจากการดูดกลืนรังสี จึงได้ออกแบบแผงเก็บรังสีอาทิตย์ที่จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากอากาศแวดล้อมด้วยการบังคับให้อากาศไหลผ่านกระจากปิดดังภาพที่ 2.15 พลังงานจะถูกสกัดผ่านกระจากปิดคลุมก่อนที่จะผ่านไปยังแผ่นดูดกลืนรังสี ความร้อนที่ถูกสกัดจะถูกใช้ในการอุ่นอากาศ วิธีนี้ต้องใช้กระจากปิดสองชั้นหรือพลาสติกปิดคลุมอย่างได้อย่างหนึ่ง ซึ่งการจัดเรียงรูปแบบนี้เรียกว่า แบบมีการไอลวนกลับ เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการดูดกลืนรังสีไปยังอากาศ จึงได้นำวัสดุพูนมาใช้เป็นแผ่นดูดกลืนรังสี โดยมีอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกันในช่วง  $0.005-0.2 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$  มีระยะห่างของช่องว่างระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสี 2 ค่า คือ 2.5 และ 5 cm แผงเก็บรังสีอาทิตย์นี้มีการทดลองอยู่ 4 แบบ ได้แก่ แบบมีกระจากชั้นเดียว แบบมีกระจากสองชั้น แบบมีการไอลวนกลับของอากาศที่มีวัสดุพูน และแบบมีการไอลวนกลับของอากาศที่ไม่มีวัสดุพูน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบทั้ง 4 แบบ ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเกิน 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบมีการไอลวนกลับของอากาศที่มีวัสดุพูน จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบธรรมด้า



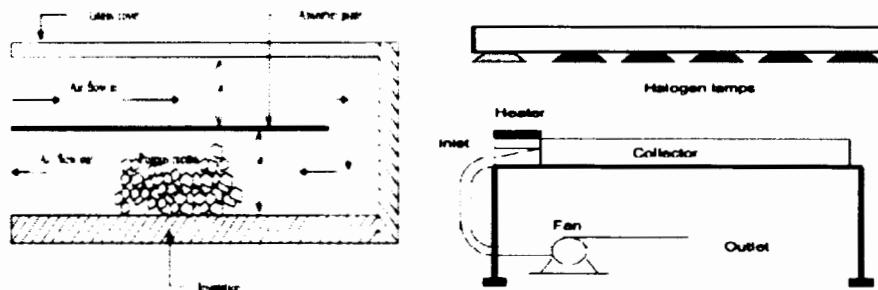
ภาพที่ 2.15 แผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบมีการไหลวนกลับของอากาศที่มีวัสดุพูน  
ที่มา: Mohamad, 1996

Kolb et al. (1998) ศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีด้วยผิวดูดกลืนแบบ Matrix ถูกออกแบบเพื่อแก้ปัญหาทางกายภาพและปัญหาทางเทคนิคของแผงเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ซึ่งแผ่นดูดกลืนรังสีแบบ Matrix จะประกอบด้วย แผ่นโลหะสองแผ่นวางขนานกันโดยแกนกลางทำจาก ลวดทองแดงที่سانกันเป็นตาข่ายระหว่างแผ่นโลหะด้านบนกับด้านล่างซึ่งโลหะนี้จะมีสีดำจากการ ออกซิไดซ์หรือจากอุตสาหกรรมการชุบสังกะสี แผ่นดูดกลืนรังสีจะมีพื้นที่รับแสงที่  $1\text{m} \times 1.5\text{m}$  ค่าพลังความร้อนโดยการจำลองจากแสงอาทิตย์เที่ยมเฉลี่ยประมาณ  $800\text{ W/m}^2$  โดยมีอัตราการไหล ของอากาศอยู่ระหว่าง  $10\text{ g/s}$  และ  $55\text{ g/s}$  หรือ  $6.7\text{ g/(sm}^2)$  และ  $36.7\text{ g/(sm}^2)$  ตามลำดับ ซึ่ง ช่องว่างระหว่างกระจาภกับแผ่นดูดกลืนรังสีที่  $20\text{ mm}$ . และช่องว่างระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่น รองรับด้านล่างที่  $130\text{ mm}$ . ที่ความเร็วทางเข้าและทางออกเฉลี่ยในช่วง  $0.06\text{ m/s}$  กับ  $2.3\text{ m/s}$  และ ความเร็วลมเฉลี่ยใน Matrix อยู่ระหว่าง  $0.5\text{ cm/s}$  และ  $3\text{ cm/s}$  จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพ ความร้อนดีขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราการไหลของมวลอากาศ แรงเสียดทานจะต่ำที่อัตราการไหลของมวล สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นราบแบบทั่วไปแล้วแผ่นดูดกลืนรังสีเป็นแบบ Matrix สามารถที่จะให้ความร้อน ที่อุณหภูมิสูงกว่า



ภาพที่ 2.16 ชุดทดสอบแผงเก็บรังสีอาทิตย์และลักษณะผิวดูดกลืนแบบ Matrix  
ที่มา: Kolb et al., 1998

Sopian et al. (1999) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสีแบบไอลวนกลับของอากาศที่มีและไม่มีวัสดุพูนโดยวัสดุพูนที่เลือกใช้ในการศึกษา คือ ฟอยเหล็ก (steel wool) ในการทดสอบจะใช้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมแทนแสงจากธรรมชาติ มีค่ารังสีเฉลี่ยสูงสุดที่  $600 \text{ W/m}^2$  ซึ่งแผงเก็บรังสีประกอบด้วยแผ่นกระจกปิดคลุมด้านบน แผ่นอลูมิเนียมทำสีดำถูกใช้เป็นแผ่นดูดกลืนรังสี งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของระยะของช่องว่างระหว่างกระจกกับแผ่นดูดกลืนรังสี ( $d_1$ ) อุปในช่วง  $3.5\text{-}10.5 \text{ cm}$ . และช่องว่างระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นรองรับด้านล่าง ( $d_2$ ) อุปในช่วง  $7.0\text{-}14.0 \text{ cm}$ . ดังภาพที่ 2.17 โดยที่อัตราการไหลของอากาศอยู่ระหว่าง  $0.03\text{-}0.07 \text{ kg/s}$  ผลจากการศึกษาพบว่าแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพูนจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะของช่องว่างมีขนาดเล็ก ( $d_1=3.5 \text{ cm}$ . และ  $d_2=7.0 \text{ cm}$ .) ที่อัตราการไหลมากกว่า  $0.05 \text{ kg/s}$  หากเปรียบเทียบกับแผงเก็บรังสีแบบธรรมดา พบร้า แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพูนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ประมาณ 20-70 เปอร์เซ็นต์

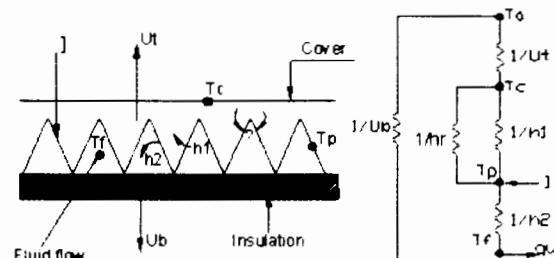


ภาพที่ 2.17 การจำลองแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบไอลวนกลับที่มีวัสดุพูนและชุดทดลองที่ใช้แสงอาทิตย์เทียม  
ที่มา: Sopian et al., 1999

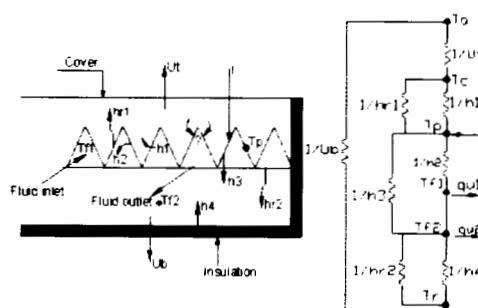
Naphon (2005) ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทวนยผลของการนำความร้อนของวัสดุพูนที่มีต่อลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสี โดยนำผลจากการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองของ Sopian et al., 1999 จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความยาวของแผงเก็บรังสี หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีที่มีและไม่มีวัสดุพูนพบว่า แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพูนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงเก็บรังสีที่ไม่มีวัสดุพูนที่  $25.9 \text{ เปอร์เซ็นต์}$  และสังเกตได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นที่ค่าการนำความร้อนของวัสดุพูนสูง เนื่องจากการนำความร้อนของวัสดุพูนมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสี เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูล

การทดลองของ Sopian et al., 1999 จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 18.4 และ 4.3 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผงเก็บรังสีที่มีและไม่มีวัสดุพูนตามลำดับ

Bashria et al. (2007) ศึกษาเชิงทฤษฎีเพื่อหาผลกระทำของอัตราการไหลเชิงมวล ความลึกของช่องการไหล และความยาวของแผงเก็บรังสีที่มีต่อประสิทธิภาพทางความร้อน และความดันต่อกรุ่นผ่านแผงเก็บรังสีที่มีแผ่นดูดกลืนรังสีแบบร่องตัววีที่มีการไหลทางเดียวและไหลวนกลับของอากาศ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับแผงเก็บรังสีนี้ โดยแผงเก็บรังสีประกอบด้วยสามแผ่นปิด แผ่นปิด แผ่นดูดกลืนรังสีร่องวี และแผ่นหลังหรือด้านหลัง อากาศจะไหลผ่านช่องว่างด้านบนแผ่นดูดกลืนรังสีและแผ่นรองรับด้านล่างในแบบที่ 1 และจากนั้นก็ไหลวนกลับมาผ่านช่องว่างด้านล่างระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีและแผ่นรองรับด้านล่างในแบบที่ 2 และในแบบที่ 3 จะดำเนินการเหมือนกับแบบที่ 2 แต่ช่องว่างด้านล่างจะถูกบรรจุด้วยวัสดุพูนมีค่าความพรุนที่ 0.8 ความเข้มของรังสีต่อกำลังที่  $500 \text{ W/m}^2$  ความเร็วลม  $1.5 \text{ m/s}$  ที่อัตราการไหลเชิงมวลอยู่ในช่วง  $0.02\text{-}0.08 \text{ kg/s}$  จากการศึกษาผลกระทำของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันได้ข้อสรุปว่าแผงเก็บรังสีในแบบที่ 3 จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดรองลงมาคือ แผงเก็บรังสีแบบที่ 2 และแผงเก็บรังสีแบบที่ 1 ตามลำดับ

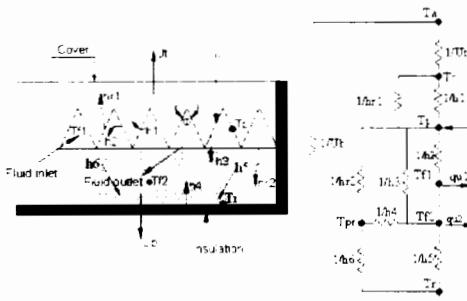


(a) แบบที่ 1



(b) แบบที่ 2

ภาพที่ 2.18 แผนภาพของแผงเก็บรังสีแบบร่องวีที่มีโครงข่ายความร้อนแบบที่ 1 และแบบที่ 2  
ที่มา: Bashria et al., 2007



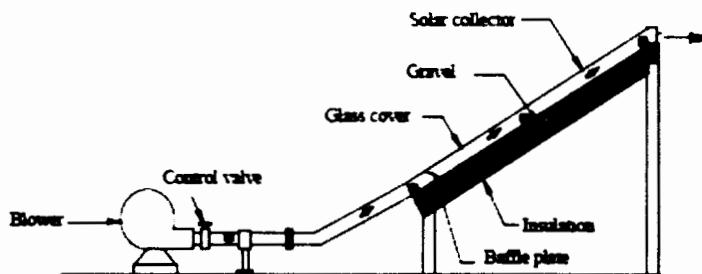
(c) แบบที่ 3

ภาพที่ 2.19 แผนภาพของแผงเก็บรังสีแบบร่องวีที่มีโครงข่ายความร้อนแบบที่ 3  
ที่มา: Bashria et al., 2007

Sopian et al. (2009) ได้ศึกษาเพิ่มเติมในเชิงของการทดลองและทฤษฎีที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสีแบบใหม่ควบคู่กับการทดลองแบบเดิม ซึ่งได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้หลักการสมดุลพลังงานแบบไม่คงที่ ได้ดำเนินงานวิจัย เมื่อกับ Sopian et al., 1999 แต่ต่างกันที่ค่าความพรุนของวัสดุพรมโดยจะกำหนดค่าความพรุนในช่วง 70-90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการคำนวณที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่มี จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ผลการคำนวณทางทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และยังพบอีกว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสีแบบใหม่ควบคู่กับการทดลองแบบเดิมสูงกว่าแผงเก็บรังสีแบบธรรมดากว่า 60-70 เปอร์เซ็นต์

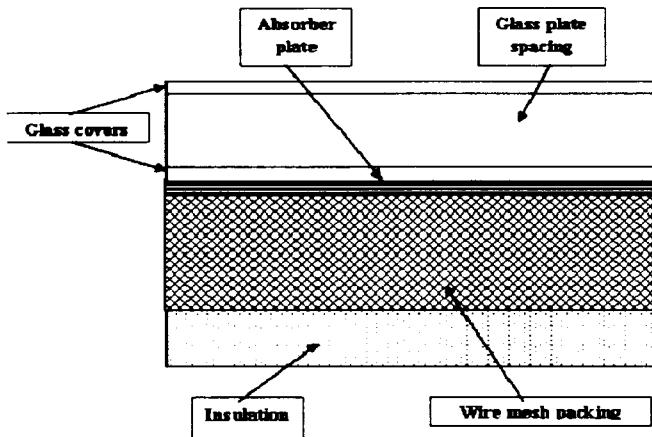
Yousef and Adam (2009) ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนและความดันต่ำคร่อมของแผงเก็บรังสีที่มีและไม่มีวัสดุพรม โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคืออัตราการไหลที่ 0.02-0.07 kg/s ระยะของช่องการไหล และความยาวของแผงเก็บรังสี ซึ่งได้ทำการทดลองกับแผงเก็บรังสี 3 แบบ คือ แบบการไหลทางเดียว แบบการไหลวงกลับ และแบบการไหลวนกลับที่มีวัสดุพรม (ไอล์แก๊ส) จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ความดันต่ำคร่อมเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในทางตรงกันข้ามเมื่อระยะห่างของช่องการไหลเพิ่มและความยาวของแผงเก็บรังสีสั้นๆ จะทำให้ความดันต่ำคร่อมมีน้อย และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีทั้ง 3 แบบ พบร่วงว่าประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแบบใหม่ควบคู่กับที่มีวัสดุพรมจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นกว่าแบบไม่มีวัสดุพรมถึง 8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากวัสดุพรมจะช่วยเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนจึงทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นแต่ก็ส่งผลให้ความดันต่ำคร่อมเพิ่มสูงขึ้นตาม

Saravanakumar and Mayilsamy (2010) ได้ทำการศึกษาพัฒนาและทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีและไม้มีวัสดุเก็บสะสมความร้อน ระบบประกอบด้วย แผงเก็บรังสีแผ่นราบที่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนและพัดลมแบบแรงเหวี่ยง โดยการทดลองจะใช้แผงเก็บรังสีขนาด  $2 \times 1 \text{ m}^2$  มีแผ่นดูดกลืนรังสีทำจากแผ่นทองแดงทาสีดำ และมีช่องว่างระหว่างกระจักปิดคู่ลุ่มด้านบนกับแผ่นดูดกลืนรังสีที่  $25 \text{ mm}$ . ดังภาพที่ 2.20 โดยศึกษาว่าวัสดุเก็บสะสมความร้อน 4 ชนิดได้แก่ ทราบ ทราบที่มีเศษเหล็ก และทราบที่มีเศษเหล็กจากการทดลองพบว่า แผงเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีที่ไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนและทราบมีเศษเหล็กจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ทางออกของแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบมีวัสดุเก็บสะสมความร้อนภายในซึ่งได้แก่ ทราบ ทราบที่มีเศษเหล็ก และ ทราบที่มีเศษเหล็ก และแบบไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อน พบร้า ในช่วงรังสีต่ำที่สุด  $900 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิทางออกและประสิทธิภาพของแผงเก็บที่มีวัสดุเก็บความร้อนมีค่าสูงกว่าแบบที่ไม่มีประมาณ  $10-20 \text{ เปอร์เซ็นต์}$



ภาพที่ 2.20 ชุดทดลองแผงเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีวัสดุเก็บความร้อน  
ที่มา: Saravanakumar and Mayilsamy, 2010

Lalji et al. (2011) ได้ทำการพัฒนาแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบแพคเบดโดยใช้ลวดตาข่ายแบบเมทริกซ์สีดำเป็นวัสดุพื้นที่ใช้เก็บสะสมความร้อน ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนและการเสียดทาน คือ ค่าเรย์โนลต์ของแพคเบด และค่าความพรุน โดยการทดลองใช้ลวดตาข่ายรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีความพรุน  $0.96-0.98$  และได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ได้แก่ ชุดแรกทดลองโดยใช้ลวดตาข่ายหนา 6 ชั้น, ชุดที่สองใช้ลวดตาข่ายหนา 5 ชั้น, 4 ชั้น และ 3 ชั้น ตามลำดับ ที่อัตราการไหล  $0.0261-0.031 \text{ kg/s}$  ผลการทดลองพบว่า ค่าเรย์โนลต์เป็นตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานสำหรับแผงเก็บรังสีแบบแพคเบด ซึ่งค่าเรย์โนลต์เพิ่มขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่ม และการถ่ายเทความร้อนจะสูงที่สุดในลวดตาข่ายหนา 6 ชั้น มีค่าความพรุนต่ำที่  $0.961$  และมีอัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง ( $a_v = 335 \text{ mm}^2$ )



ภาพที่ 2.21 แผนภาพชุดทดลอง

ที่มา: Lalji et al., 2011

Velmurugan and Ramesh (2011) ได้ศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของแพนเก็บรังสีโดยใช้ลวดตาข่าย โดยแพนเก็บรังสีทำจากแผ่นเหล็กкар์บอนต่ำมีขนาด  $2.4 \times 0.9$  m. เอียงทำมุม 18 องศา กับแนวระดับ มีกระจักปิดคลุมสองแผ่นลวดตาข่ายถูกวางไว้ระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีและกระจักปิดแผ่นที่สอง มีระยะห่างระหว่างกระจักปิดคลุมแผ่นที่หนึ่งและแผ่นที่สองเป็น 20 mm. ซึ่งการทดลองจะดำเนินการภายใต้ 2 เงื่อนไขที่แตกต่างกันคือ ความเข้มของรังสีอาทิตย์และอัตราการไอลเชิงมวลของอากาศจาก  $15.61 \text{ kg/h}$  ถึง  $20.81 \text{ kg/h}$ . จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีที่มีลวดตาข่ายสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นดูดกลืนรังสีแบบธรรมดा อาจเนื่องมาจากมีการปรับระบบจัดวางของลวดตาข่าย จึงทำให้สามารถลดความเข้มของรังสีที่สะท้อนกลับไปที่กระจักปิดและการสูญเสียความร้อนโดยการพาเก็บรังสีเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้นและอัตราการไอลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก  $15.61 \text{ kg/h}$  เป็น  $20.81 \text{ kg/h}$  จะทำให้ประสิทธิภาพของแพนเก็บรังสีลดลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มของรังสีจะมีอิทธิพลน้อยหรือแทบไม่มีเลยต่อประสิทธิภาพของแพนเก็บรังสีในขณะที่อัตราการไอลเชิงมวลของอากาศมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแพนเก็บรังสีมากกว่า อุณหภูมิของแผ่นกระจักปิดจึงลดน้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อัตราการไอลเชิงมวลของอากาศ  $15.61 \text{ kg/h}$  และความเข้มของรังสีต่ำจะทำให้มีประสิทธิภาพของแพนเก็บรังสีเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มขึ้นและอัตราการไอลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก  $15.61 \text{ kg/h}$  เป็น  $20.81 \text{ kg/h}$  จะทำให้ประสิทธิภาพของแพนเก็บรังสีลดลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มของรังสีจะมีอิทธิพลน้อยหรือแทบไม่มีเลยต่อประสิทธิภาพของแพนเก็บรังสีในขณะที่อัตราการไอลเชิงมวลของอากาศมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแพนเก็บรังสีมากกว่า

Kapardar and Sharma (2012) ได้ทำการศึกษาและทดลองเครื่องทำอากาศร้อน พลังงานแสงอาทิตย์แบบไฟฟ้าโดยใช้วัสดุพูนต่างชนิดกัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดย การเปลี่ยนตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บรังสีโดยการเปลี่ยนอัตราการไฟฟ้า เชิงมวลและการใช้ไก่แก้วและฟอยเหล็กเป็นวัสดุพูน โดยกำหนดอัตราการไฟฟ้าที่ 0.9-1.6 kg/hr จาก การทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีจะขึ้นอยู่กับอัตราการไฟฟ้า ยิ่งอัตราการไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสียิ่งเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเครื่องทำอากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดากับแบบที่มีที่ใช้ฟอยเหล็กและไก่แก้วจะพบว่า ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีที่ใช้ฟอยเหล็กจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบธรรมดากลางแบบที่ใช้ไ ก่แก้วเท่ากับ 26 และ 10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของชุดทดลอง อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง เพื่อศึกษาผลของวัสดุ พรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแสงเก็บรังสี โดยมีรายละเอียดดังนี้

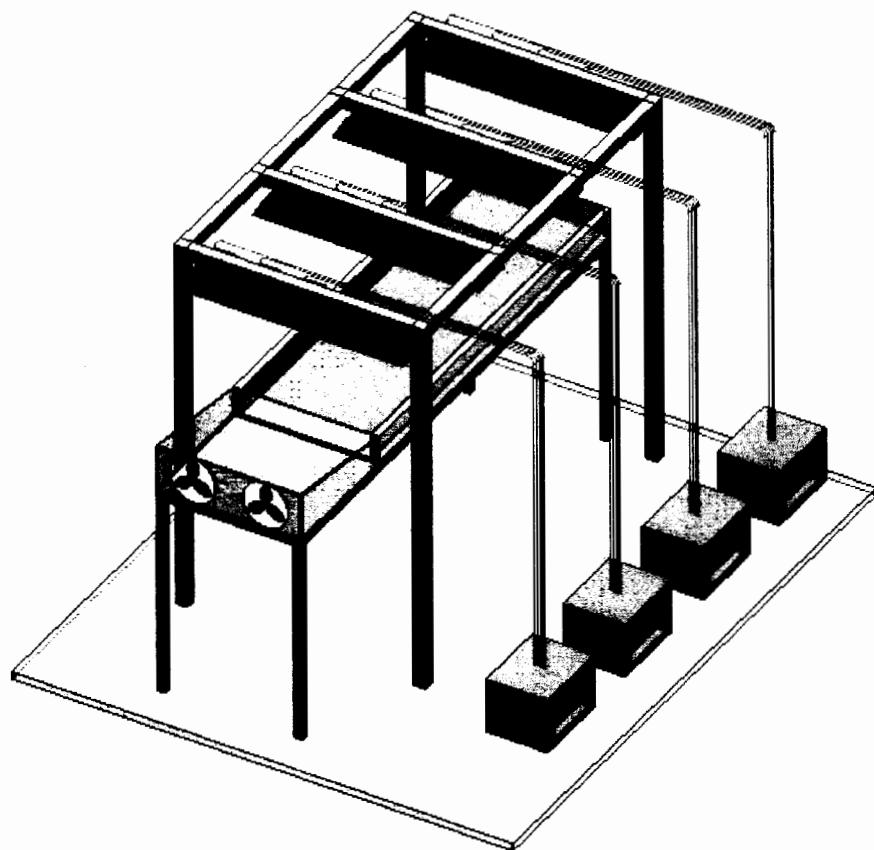
#### 3.1 ชุดทดลองแสงเก็บรังสีอาทิตย์

ภาพที่ 3.1 เป็นภาพแสดงลักษณะของชุดทดลองแสงเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักๆ คือ ชุดทดลองแสงเก็บรังสีอาทิตย์ ชุดแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม และพัดลมขับอากาศ โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

3.1.1 แสงเก็บรังสีแบบแผ่นราบ สำหรับชุดแสงเก็บรังสีอาทิตย์เป็นแบบแผ่นราบมีขนาดกว้าง 0.50 m. และยาว 1 m. ตามลำดับ โดยส่วนประกอบหลักของชุดแสงเก็บรังสี คือ โครงสร้างของแผงเก็บรังสีที่ทำมาจากไม้ ผนังด้านบนปิดด้วยกระดาษไส้หนาน 3 mm. ผนังด้านล่างทำจากอลูมิเนียมหนา 5 mm. พร้อมทั้งหุ้มฉนวนหนา 3 cm. ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนที่จะออกจากการแผงเก็บรังสีให้มีค่าน้อยที่สุด

3.1.2 พัดลมขับอากาศแบบหมุนตามแนวแกน ถูกติดตั้งอยู่ที่ทางออกของแผงเก็บรังสีโดยจะหน้าที่ดูดอากาศให้หล่อผ่านแผงเก็บรังสี

3.1.3 ชุดแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม (Solar simulator) เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความร้อนเพื่อใช้ในการทดลองแทนการรับแสงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากดวงอาทิตย์มีรังสีไม่คงที่ในแต่ละรอบวันรวมถึงความผันแปรของสภาพอากาศที่อาจจะเกิดขึ้นของวันที่ทำการทดลอง ดังนั้นเพื่อกำจัดปัญหาดังกล่าวที่อาจเกิดขึ้นจึงได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ได้มาจากการไฟฟ้าตัวเดียว โดยที่มีคุณสมบัติของแสงใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์และยังสามารถปรับระดับแสงด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่เรียกว่า Dimmer ในขณะทดสอบใช้หลอดกำเนิดแสงเป็นหลอดหลอดสปอร์ตไลท์ที่มีขนาด 500 วัตต์ จำนวน 20 หลอด



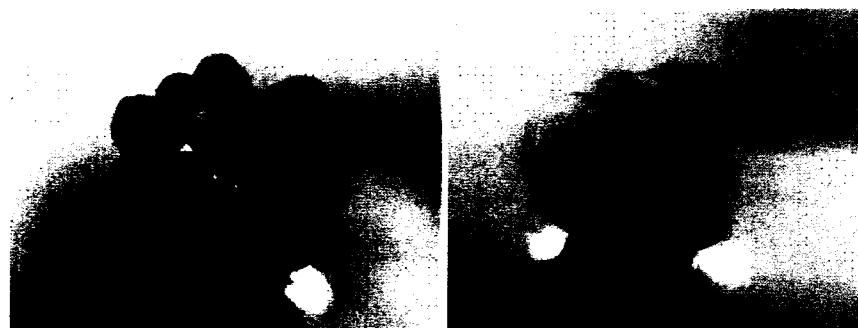
ภาพที่ 3.1 ชุดทดลองแพงเก็บรังสีแบบแผ่นร้าบ

หลักการทำงานของแพงเก็บรังสีแผ่นร้าบมีรายละเอียดเบื้องต้น คือ แสงจากสปอร์ตไลท์ทุกกระหบมายังแพงเก็บรังสีซึ่งจะมีทั้งรังสีตรงและรังสีกระจายทะลุผ่านแผ่นกระจกปิดใส่ด้านบนมากระหบยังแผ่นดูดกลืนรังสีแผ่นดูดกลืนรังสีจะเปลี่ยนจากพลังแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนในขณะที่พัดลมจะขับอากาศแผลล้อมที่อุณหภูมิต่ำให้เหลวียนผ่านทางเข้าแพงเก็บรังสีไปยังแผ่นดูดกลืนรังสีอากาศจะได้รับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีโดยการพาและการแผ่รังสีความร้อน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นและloyตัวขึ้นให้หลอกอุ่นร่างกายออกโดยมีกระจกใสปิดกันการสูญเสียความร้อนด้านบนส่วนจำนวนไฟฟ์และไม่ป้องกันการสูญเสียด้านล่างและด้านข้าง โดยกระบวนการทำงานจะเป็นไปในลักษณะนี้จนสิ้นสุดกระบวนการ และสำหรับกรณีที่มีวัสดุพรุน วัสดุพรุนจะถูกวางอยู่ภายในแพงเก็บรังสี เมื่อพัดลมขับอากาศเข้าไปในแพงเก็บรังสี อากาศจะรับความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศที่เหล่านวัสดุพรุนในรูปแบบของการพาและการแผ่รังสีความร้อน

### 3.2 วัสดุพรุน

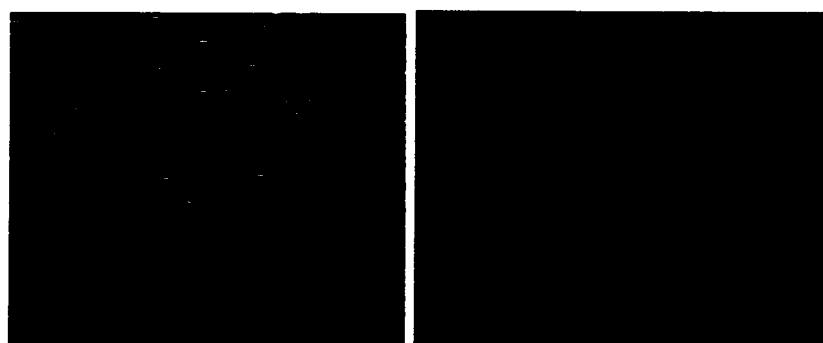
วัสดุพรุน เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการศึกษาผลของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสี โดยวัสดุพรุนที่เลือกใช้ในการศึกษาทำจากตาข่ายสแตนเลส เชิงเหล็ก และหินกรวด ที่มีความพรุนต่างกัน ดังภาพที่ 3.2-3.4

(1) หินกรวด เป็นวัสดุพรุนชนิดหนึ่งที่ได้นำมาทดลอง ซึ่งหินกรวดที่นำมาใช้มีขนาดหัวไปที่มีอยู่ตามท้องตลาดและมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 3.2 เป็นลักษณะของหินกรวด โดยจะมีขนาดต่างกันอยู่ 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.1 และ 3.0 cm. มีค่าความพรุน ( $\phi$ ) เท่ากับ 0.44 และ 0.52 ตามลำดับ ในการใส่หินกรวดในแหงเก็บรังสีจะใส่รวมกันซึ่งมีขนาดกว้าง 0.5 m. ยาว 0.5 m. และหนา 0.05 m.



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างวัสดุพรุนที่ทำการทดลอง ทำจากหินกรวดขนาด 2.1 และ 3.0 cm.

(2) ตาข่ายสแตนเลส มีลักษณะดังภาพที่ 3.3 ซึ่งจะมีขนาดต่างกัน 2 ขนาด ได้แก่ ตาข่ายสแตนเล斯ขนาด 18 และ 44 PPI ซึ่งจะตัดให้มีขนาดกว้าง 0.5 m. ยาว 0.5 m. โดยตาข่ายสแตนเลสขนาด 18 PPI จะใช้ทั้งหมด 15 แผ่น ส่วนตาข่ายสแตนเลสขนาด 44 PPI จะใช้ทั้งหมด 20 แผ่น เมื่อนำมาหาค่าความพรุน ( $\phi$ ) จะมีค่าเท่ากับ 0.63 และ 0.75



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างวัสดุพรุนที่ทำการทดลอง ทำจากตาข่ายสแตนเลสขนาด 18 และ 44 PPI

(3) เศษเหล็ก มีลักษณะดังภาพที่ 3.4 เป็นภาพตัวอย่างของเศษเหล็กที่ใช้เป็นวัสดุพรุน ในการใส่เศษเหล็กในแผงเก็บรังสีจะใส่ให้มีขนาดเหมือนกันกับการหินกรวด เมื่อนำมาเศษเหล็ก hac่าความพรุน ( $\phi$ ) จะได้เท่ากับ 0.55 และ 0.64



ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างวัสดุพรุนที่ทำการทดลอง ทำจากเศษเหล็ก

### 3.2.1 การทดลอง hac่าความพรุน

ความพรุน (Porosity,  $\phi$ ) ของวัสดุ คือ ปริมาตรหนึ่งหน่วยไดๆ ที่มีวัสดุบรรจุอยู่จะพบว่า hac่าความพรุนต่างๆ ของปริมาตรหนึ่งหน่วยนั้น จะพิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาตรซึ่งว่างเทียบกับปริมาตรหนึ่งหน่วยนั้นส่งผลให้ hac่าความพรุนจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 คือ ถ้ามีค่า  $\phi=0$  ปริมาตรหนึ่งหน่วยนั้นจะมีเนื้อวัสดุบรรจุอยู่เต็มไปหมดและไม่มีช่องว่างอยู่เลย แต่เมื่อมีค่า  $\phi$  เพิ่มขึ้น ปริมาตรหนึ่งหน่วยนั้นๆ มีเนื้อวัสดุที่บรรจุลดลงและมีช่องว่างเพิ่มมากขึ้น ถ้าค่า  $\phi=1$  แสดงว่า ปริมาตรหนึ่งหน่วยนั้นจะไม่มีเนื้อวัสดุอยู่เลยแต่จะเป็นช่องว่างทั้งหมด (พิพัฒน์ อุตสาหฯ และบันฑิต กฤตาคม, 2548)

วิธีการ hac่าความพรุนของวัสดุพรุน (ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์ และบันฑิต กฤตาคม, 2554) ในโครงการวิจัยนี้มีขั้นตอนการ hac่าความพรุนดังนี้ นำวัสดุพรุนใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร แล้วอนเติมภาชนะหลังจากนั้นเติมน้ำให้เติมภาชนะหรือถึงระดับผิวด้านบนวัสดุพรุน ทึ้งไว้เพื่อให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพรุนแล้วเทน้ำออกจากภาชนะ จากนั้นตรวจน้ำด้วยบีกเกอร์แล้วทำการเติมน้ำอีกครั้งให้เติมภาชนะจนถึงระดับผิวด้านบนของวัสดุพรุนอ่อนค่าปริมาตรน้ำที่เติมลงไปจากบีกเกอร์ ปริมาตรน้ำที่เติมลงไปนี้คือ ปริมาตรซึ่งรองว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (Void space volume,  $V_s$ ) นำค่า ปริมาตรน้ำนี้หารด้วยปริมาตรภายนอกภาชนะทั้งหมด (Total or bulk volume,  $V_T$ ) สามารถคำนวณ hac่าความพรุน ( $\phi$ ) ได้จากสมการ (3.1)

$$\text{Porosity } (\phi) = \frac{V_s}{V_T} \quad (3.1)$$

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่วัด

รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง มีดังต่อไปนี้

**3.3.1 ไฟรานอ米เตอร์ (Pyranometer)** เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าความเข้มของแสงรวมที่ต่ำกระหบบนแผงเก็บรังสี ซึ่งจะติดตั้งในระนาบเดียวกับแผงเก็บรังสี

**3.3.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)** เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับบันทึกผลอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า-ออก และภายในแผงเก็บรังสี

**3.3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)** ชนิด Chromel Alumel Type K เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 mm เป็นเครื่องมือที่ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.2.2

**3.3.4 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลวดความร้อน (Hot wire anemometer)** ยี่ห้อ Testo รุ่น 425 เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วัดความเร็วลม

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีแผ่นราบ

ในการทดสอบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีแผ่นราบมีมาตรฐานและรายละเอียดการทดสอบดังนี้

**มาตรฐานการทดสอบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสี**

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.899-2532 (ศิริวรรณ กล้าหาญ และคณะ, 2549) กำหนดรายละเอียดไว้ดังนี้

(1) ความเร็วลม  $2 \pm 0.5 \text{ m/s}$

(2) ค่ารังสีต่ำกระหบไม่น้อยกว่า  $600 \text{ W/m}^2$

(3) อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน  $30^\circ \text{C}$

(4) อัตราการไหลของของไอลต้องคงที่ตลอดการทดสอบค่าที่แนะนำประมาณ  $0.02 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$

##### 3.4.1.1 วิธีการทดสอบแผงเก็บรังสีแผ่นราบกรณีที่ไม่มีวัสดุพื้น มีขั้นตอนดังนี้

1) ตั้งค่ารังสีต่ำกระหบไม่น้อยกว่า  $400 \text{ W/m}^2$

2) ติดตั้งแผงเก็บรังสีเข้ากับชุดทดสอบประสิทธิภาพ

3) ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและรังสีต่ำกระหบอให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล (Steady state) หลังจากนั้นทำการบันทึกค่าต่างๆ

4) ปรับค่าความเร็วลมเริ่มต้นที่  $2 \text{ m/s}$

- 5) ทำการทดสอบช้าโดยการปรับค่าต่างๆ ตามเงื่อนไขดังนี้
- 5.1) แผงเก็บรังสีแบบแผ่นรามป์พื้นที่รับแสงกว้าง 0.5 m. ยาว 1.0 m.
  - 5.2) ค่ารังสีต่อกิโลเมตร 400-1,000 W/m<sup>2</sup>
  - 5.3) ค่าความเร็วลม 0.5-2.0 m/s
  - 5.4) ทำการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที
  - 5.5) ทำการทดสอบจนกระทั่งอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- 6) คำนวณหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้สมการ (2.2)

#### 3.4.1.2 วิธีการทดสอบแผงเก็บรังสีแผ่นรามป์ที่มีวัสดุพรุน

ในการทดสอบจะใช้แผงเก็บรังสีแผ่นรามป์เดิม และดำเนินการทดสอบตามวิธีการทดสอบแผงเก็บรังสีแผ่นรามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ (3.4.1.1) แต่จะมีการเพิ่มวัสดุพรุนใส่ภายในแผงเก็บรังสี โดยจะวางไว้ตรงกลางบนแผ่นดูดกลืนรังสี ซึ่งวัสดุพรุนที่ใช้มีค่าความพรุนอยู่ในช่วง 0.4-0.8 จากนั้นทำการปรับค่าต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบแล้วเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลที่ได้จากการทดสอบแผงเก็บรังสีแผ่นรามที่ไม่มีวัสดุพรุน

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของวัสดุพูนที่มีต่อประสิทธิภาพแพงเก็บรังสี โดยทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพแพงเก็บรังสี ซึ่งได้ทำการทดสอบกับแพงเก็บรังสีที่เป็นแบบแผ่นราบเรียบกรณีไม่มีวัสดุพูนและแพงเก็บรังสีกรณีมีวัสดุพูน สำหรับวัสดุพูนที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย ตาข่ายสแตนเลส เศษเหล็ก และหินกรวด โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1 ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีที่ไม่มีวัสดุพูน

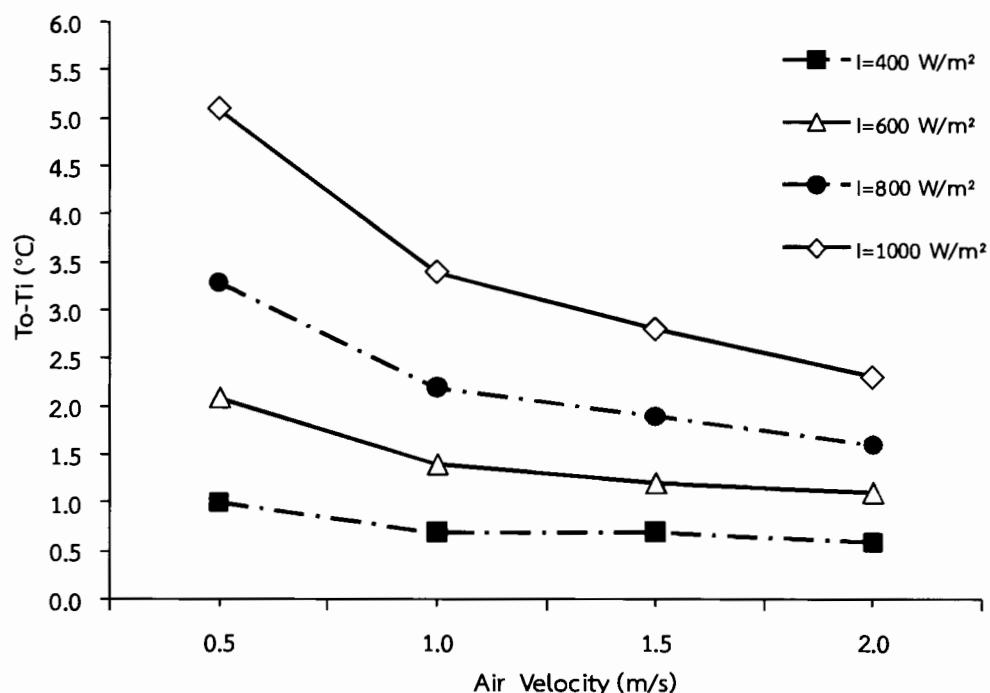
ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลของความเร็วลม ค่าความเข้มของรังสีที่มีต่อประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีโดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 ผลของความเร็วลมที่มีต่อประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีที่ไม่มีวัสดุพูน

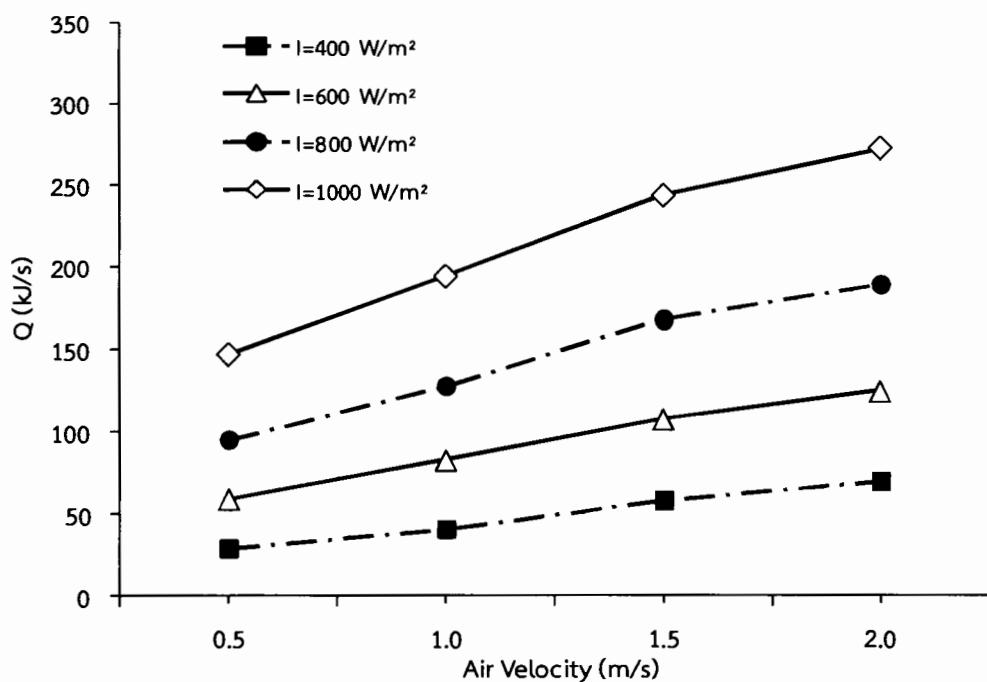
ผลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิกุนนำเสนอในรูปแบบของผลต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออกของแพงเก็บรังสี ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและความเร็วลม เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่เท่ากับ  $0.5 \text{ m/s}$  รังสีตกลงที่เท่ากับ  $400, 600, 800$  และ  $1000 \text{ W/m}^2$  พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีตกลงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากรังสีตกลงที่มายังแพงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นทำให้แพงเก็บรังสีได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ผลต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_{\text{o}} - T_{\text{i}}$ ) มีค่าเท่ากับ  $1.0, 2.1, 3.3$  และ  $5.1$  องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่รังสีตกลงคงที่ เช่น รังสีตกลงที่  $1000 \text{ W/m}^2$  จะพบว่าเมื่อความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลต่างอุณหภูมิลดลง โดยพบว่า ที่ความเร็วลมเท่ากับ  $0.5, 1.0, 1.5$  และ  $2.0 \text{ m/s}$  จะมีผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ  $5.1, 3.4, 2.8$  และ  $2.3$  องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่ตกกระทบเท่าเดิมแต่ความเร็วลมหรืออัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลต่างอุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์  $Q = \dot{m} c_p \Delta T$

ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลม จากกราฟพบว่า เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่ พบร้า ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีตกลงเพิ่มขึ้น เนื่องจากแพงเก็บรังสีได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีเพิ่มขึ้น เช่น ที่ความเร็วลมเท่ากับ  $0.5 \text{ m/s}$  พลังงานตกกระทบเท่ากับ  $400, 600, 800$

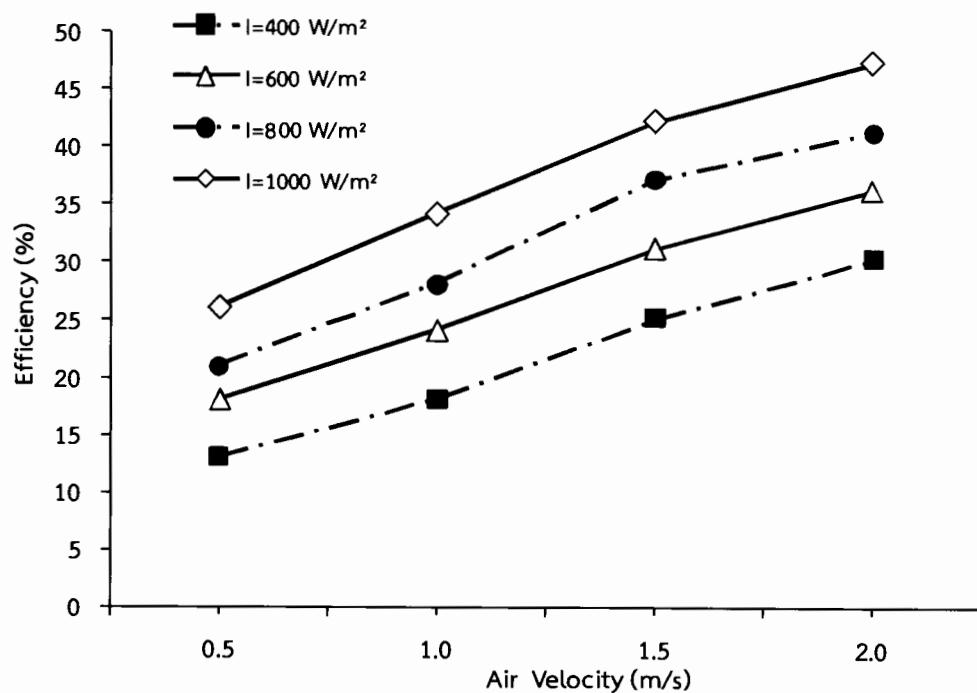
และ  $1000 \text{ W/m}^2$  แผงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 12.61, 17.26, 20.61 และ 25.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือเมื่อเพิ่มพลังตากกระแทบเพิ่มขึ้น  $200 \text{ W/m}^2$  จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 36.9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาที่พลังงานตากกระแทบทุกที่พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น พิจารณาที่พลังงานตากกระแทบท่ากับ  $1000 \text{ W/m}^2$  ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ  $2.0 \text{ m/s}$  แผงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 25.63, 33.83, 42.20 และ 47.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น  $0.5 \text{ m/s}$  จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 32 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากพลังงานความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้มากขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่มทำให้สัมประสิทธิ์การพากความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์  $Q_{conv} = hA\Delta T$  ตั้งข้อมูลในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสี และความเร็วลม



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลม

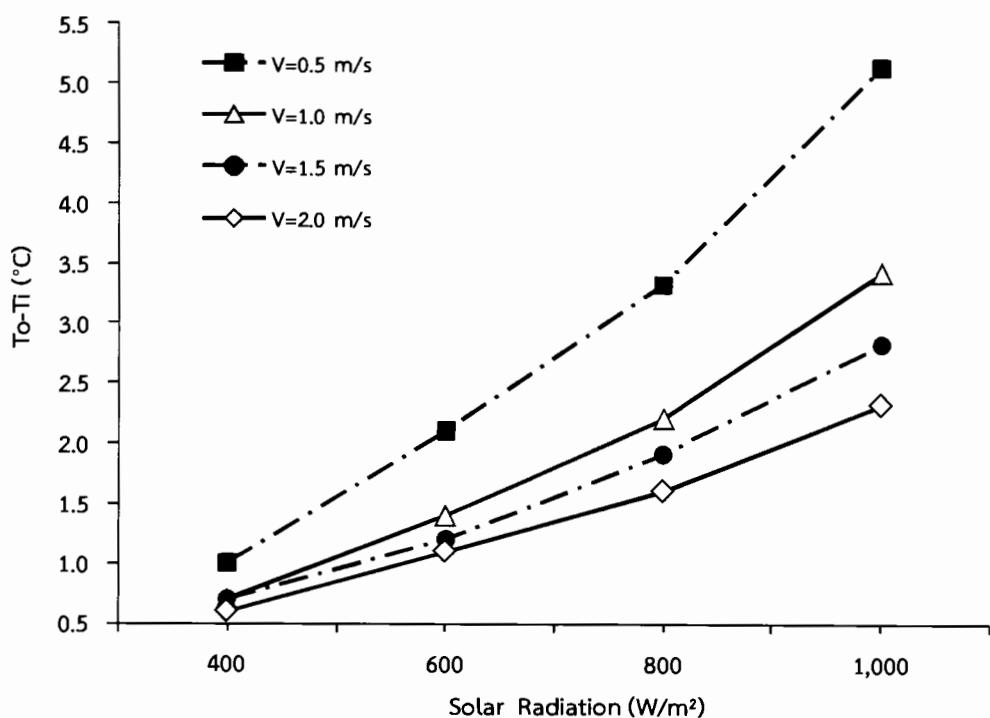


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเร็วลม

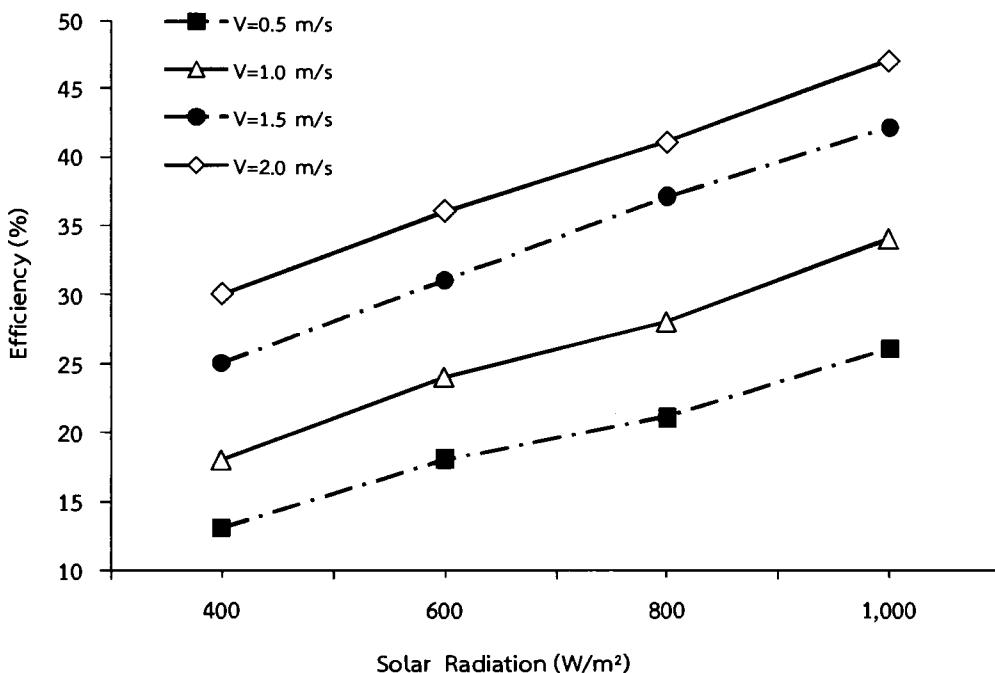
#### 4.1.2 ผลของการเปลี่ยนรังสีที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีที่ไม่มีวัสดุพูน

ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี จากภาพที่ 4.4 พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีตัดกับพื้นเพิ่มขึ้น พิจารณาที่รังสีตัดกับพื้นเท่ากับ  $1000 \text{ W/m}^2$  พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วลมหรืออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นในขณะที่รังสีที่ตัดกับพื้นบ่อยขึ้น ทำให้ความเร็วลมเป็นผลให้ผลต่างของอุณหภูมิลดลง

ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีตัดกับพื้นเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่รังสีตัดกับพื้นเท่ากับ  $1000 \text{ W/m}^2$  พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่ม เนื่องจากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้มีการถ่ายเทโดยการพาความร้อนได้ดีจึงทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี

#### 4.2 ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุน

ในหัวข้อนี้เป็นอีกหนึ่งหัวข้อที่นำเสนอในเรื่องของวัสดุพรุน ซึ่งหินกรวดได้ถูกนำมาใช้ในการทดลองเป็นวัสดุพรุน ในการทดลองใช้หินกรวด 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 2.1 และ 3.0. เชนติเมตร เมื่อนำหินกรวดมาหาค่าความพรุนจะได้ความพรุน ( $\phi$ ) เท่ากับ 0.44 และ 0.52 ซึ่งมีรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

##### 4.2.1 ผลของความเร็วลมที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุน

ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 จากภาพที่ 4.6 เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่ จะพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_{\text{O}} - T_{\text{i}}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีต่ำระบทเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก แผงเก็บรังสีได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ผลต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้น หากพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.5 m/s รังสีต่ำระบทเท่ากับ 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> จะทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_{\text{O}} - T_{\text{i}}$ ) เท่ากับ 1.4, 3.0 และ 4.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อพิจารณากรณีรังสีต่ำระบทคงที่ เช่น รังสีต่ำระบท 800 W/m<sup>2</sup> จะพบว่าเมื่อความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลต่างอุณหภูมิลดลง โดยพบว่า ที่ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จะมีผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 4.4, 3.0, 2.3 และ 1.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่ต่ำระบทเท่าเดิมแต่ความเร็วลมหรืออัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลต่างอุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์

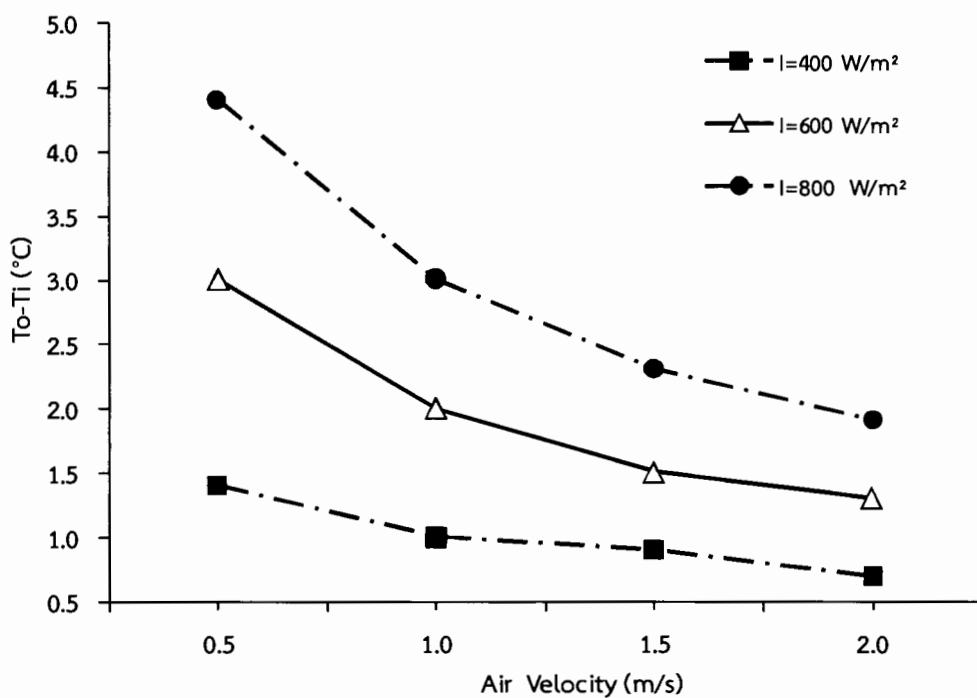
$$Q = m c_p \Delta T$$

ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 จากข้อมูลจะพบว่า เมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีต่ำคงที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่ความเร็วลมเท่ากับ 0.5 m/s เมื่อพลังงานต่ำคงที่เพิ่มขึ้น 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> แพงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 17.66, 25.29 และ 27.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือเมื่อพลังงานคงที่เพิ่มขึ้น 200 W/m<sup>2</sup> จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 43.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของความร้อนในรูปของการแผ่รังสี ในขณะเดียวกันอากาศที่ไหลผ่านจะถูกถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนมากขึ้น เช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณากรณีที่พลังงานต่ำคงที่ ผลกระทบลดลงจะพบว่าประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น พิจารณาที่พลังงานต่ำคงที่ 800 W/m<sup>2</sup> ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s แพงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 27.68, 37.89, 42.73 และ 47.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 0.5 m/s จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 36.9 เปอร์เซ็นต์ โดยเหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มคือ พลังงานความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้มากขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่ม ดังข้อมูลในภาพที่ 4.7 ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่ามากขึ้นตามความสัมพันธ์  $Q_{conv} = hA\Delta T$  และค่าเรย์โนล์ดส์ยังมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เปลี่ยนแปลงซึ่งจะเป็นไปตามความสัมพันธ์  $h = \frac{k}{D_h} C Re^{m} Pr^{1/3}$  เพราะยิ่งความเร็วลมเพิ่มขึ้นค่าเรย์โนล์ดส์การไหลของอากาศเพิ่มขึ้นเป็นผลให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น เช่นกัน

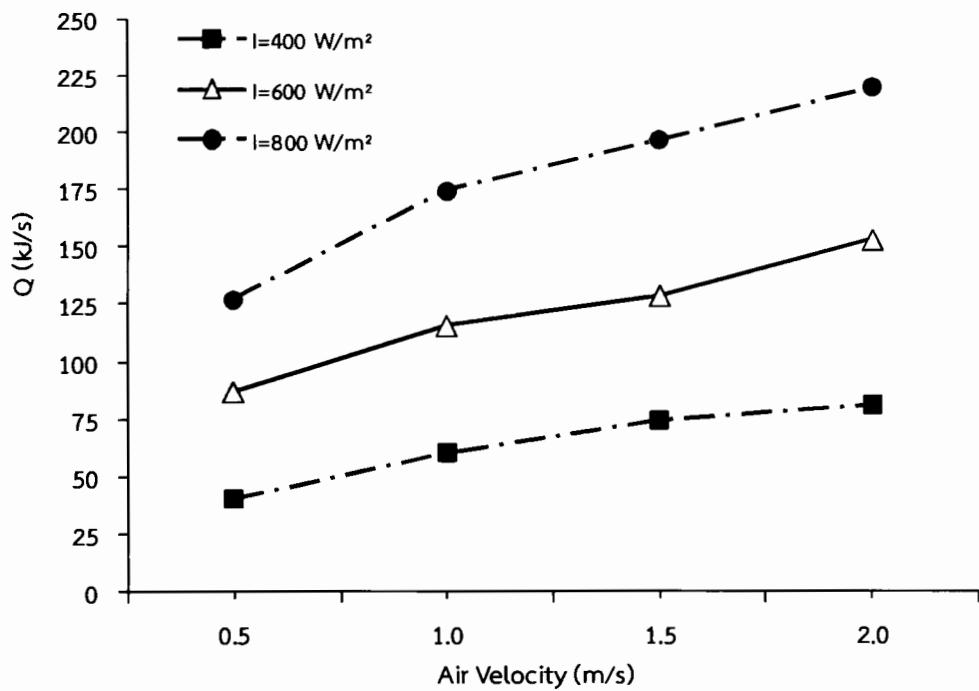
ภาพที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.52 จากภาพที่ 4.9 พบว่า กราฟมีแนวโน้มเดียวกันกับภาพที่ 4.4 หากพิจารณาที่ความเร็วลมเท่ากับ 0.5 m/s เมื่อรังสีต่ำคงที่เพิ่มขึ้น 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> จะทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิ (To-Ti) เท่ากับ 1.2, 2.4 และ 3.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และหากพิจารณากรณีรังสีต่ำคงที่เท่ากับ 800 W/m<sup>2</sup> ที่ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จะมีผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 3.8, 2.7, 2.2 และ 1.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ภาพที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.52 จากภาพที่ 4.9 พบว่า กราฟมีแนวโน้มเดียวกัน เช่นกับภาพที่ 4.6 ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่ ที่ความเร็วลมเท่ากับ 0.5 m/s เมื่อพลังงานต่ำคงที่ 400, 600

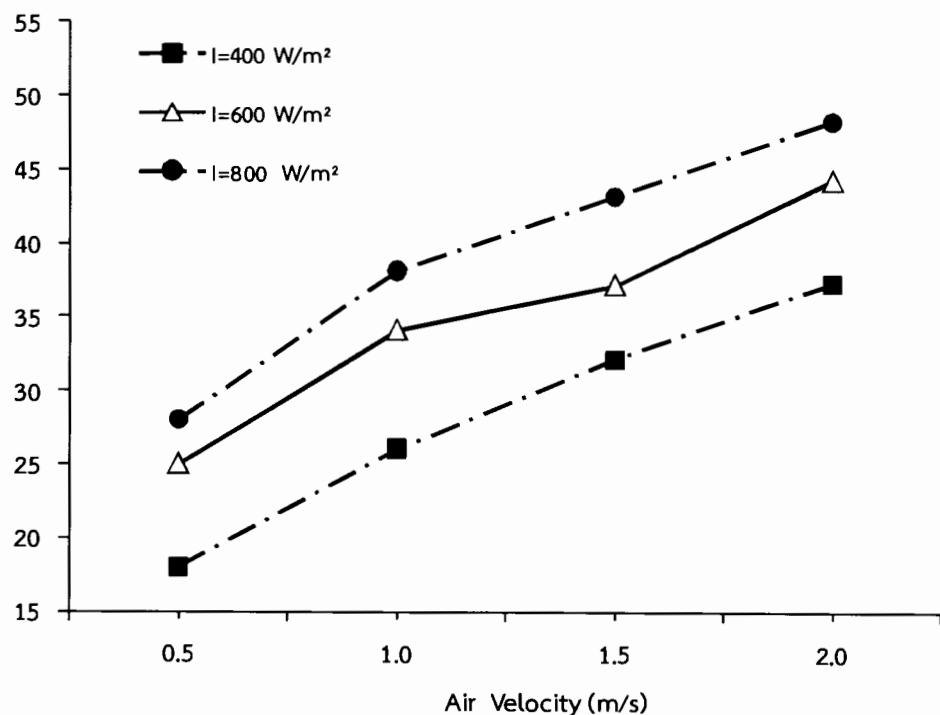
และ  $800 \text{ W/m}^2$  แผงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 15.59, 20.44 และ 23.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ หรือเมื่อพลังงานต่ำเพิ่มขึ้น  $200 \text{ W/m}^2$  จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 31.1 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาที่พลังงานต่ำที่สุดที่เท่ากับ  $800 \text{ W/m}^2$  ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ  $2.0 \text{ m/s}$  แผงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 23.88, 34.12, 41.05 และ 45.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น  $0.5 \text{ m/s}$  จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 42.9 เปอร์เซ็นต์



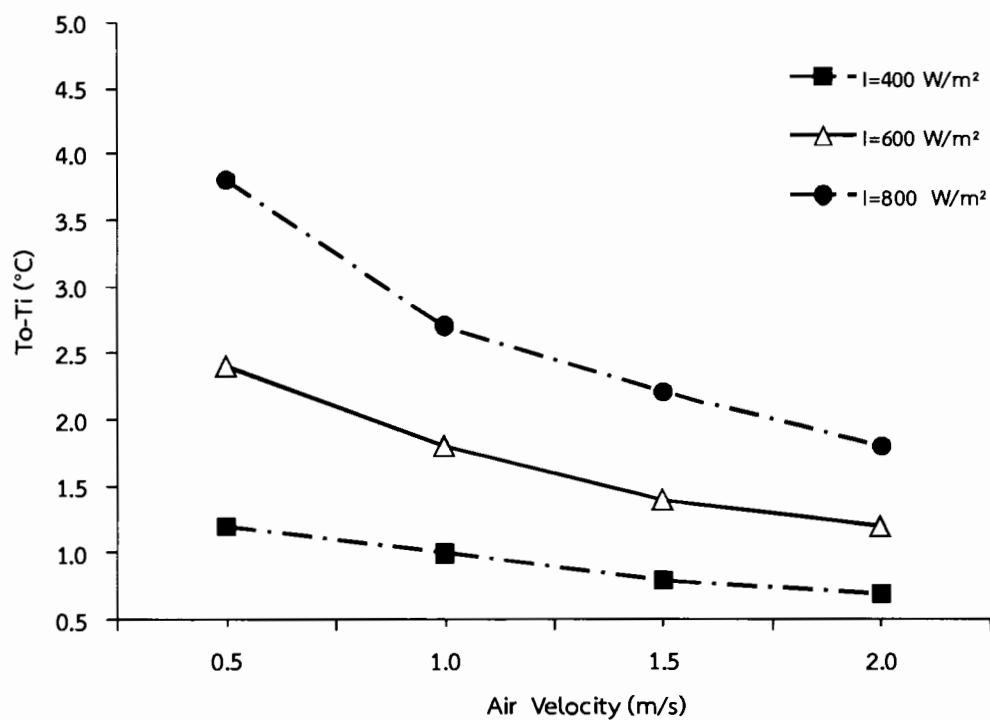
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44



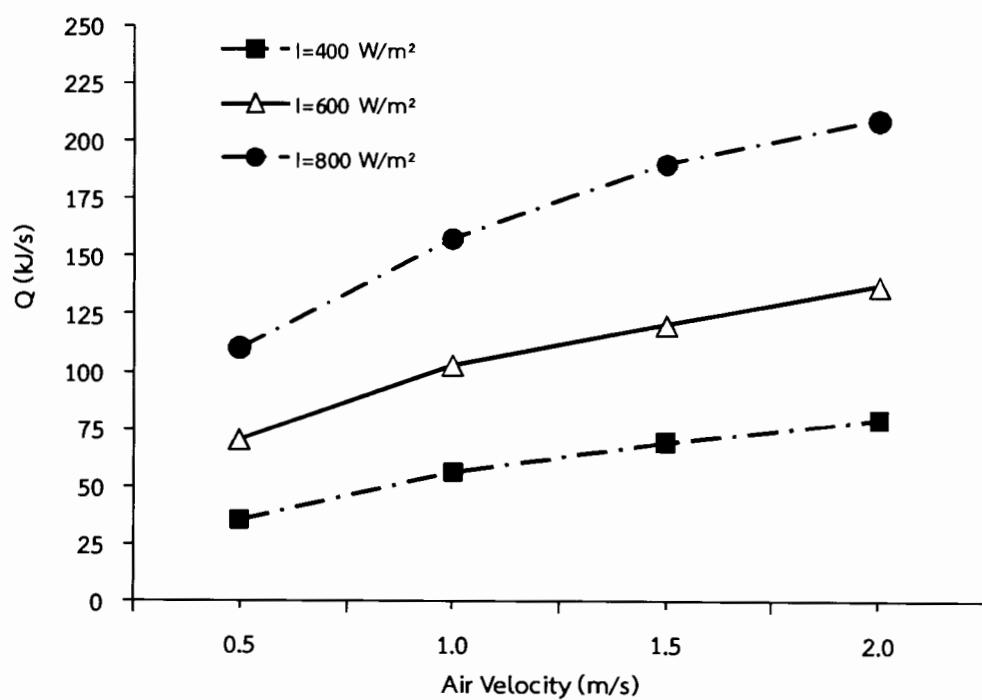
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44



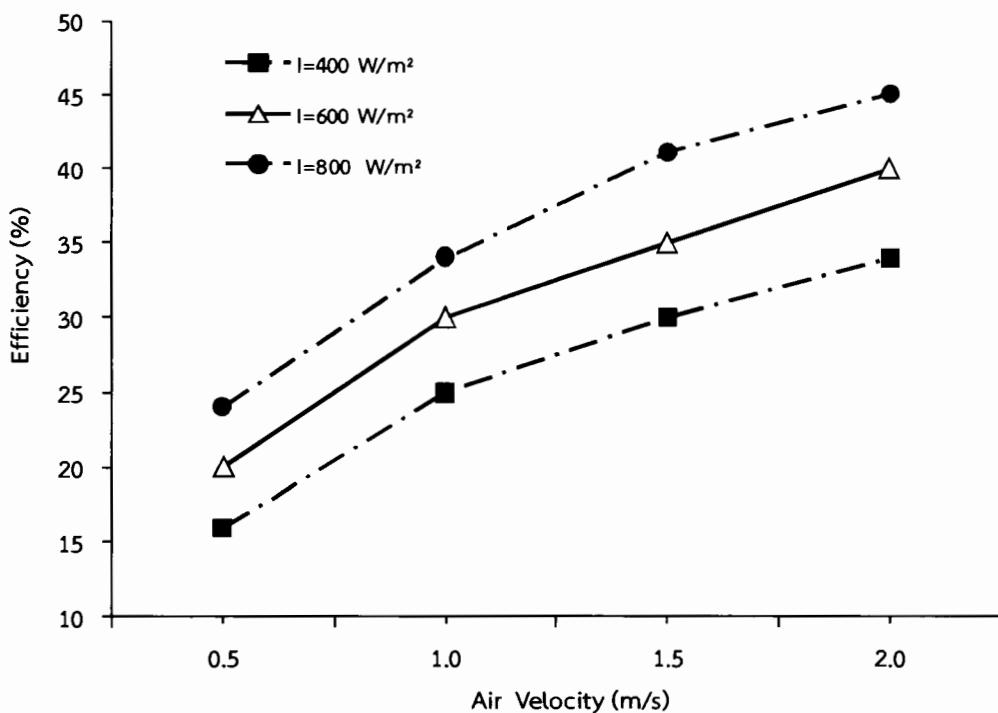
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ  
ความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.52



ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.52



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.52

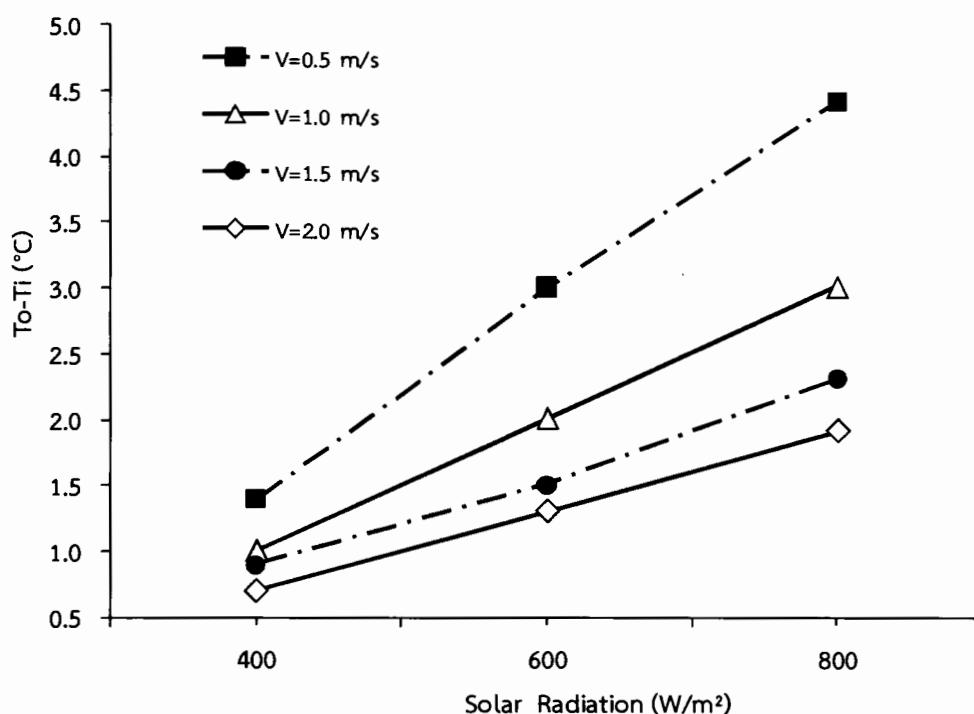
#### 4.2.2 ผลของความเข้มรังสีที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพื้น

ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 จากภาพที่ 4.12 หากพิจารณาที่ความเข้มของรังสีต่ำกระบทองที่ พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_{\text{O}} - T_{\text{i}}$ ) มีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ  $Q = \dot{m} c_p \Delta T$  เป็นผลให้สัมประสิทธิ์การพารามิเตอร์ร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ  $Q_{\text{conv}} = hA\Delta T$  และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่ จะพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_{\text{O}} - T_{\text{i}}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีต่ำกระบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแผงเก็บรังสีได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ผลต่างอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

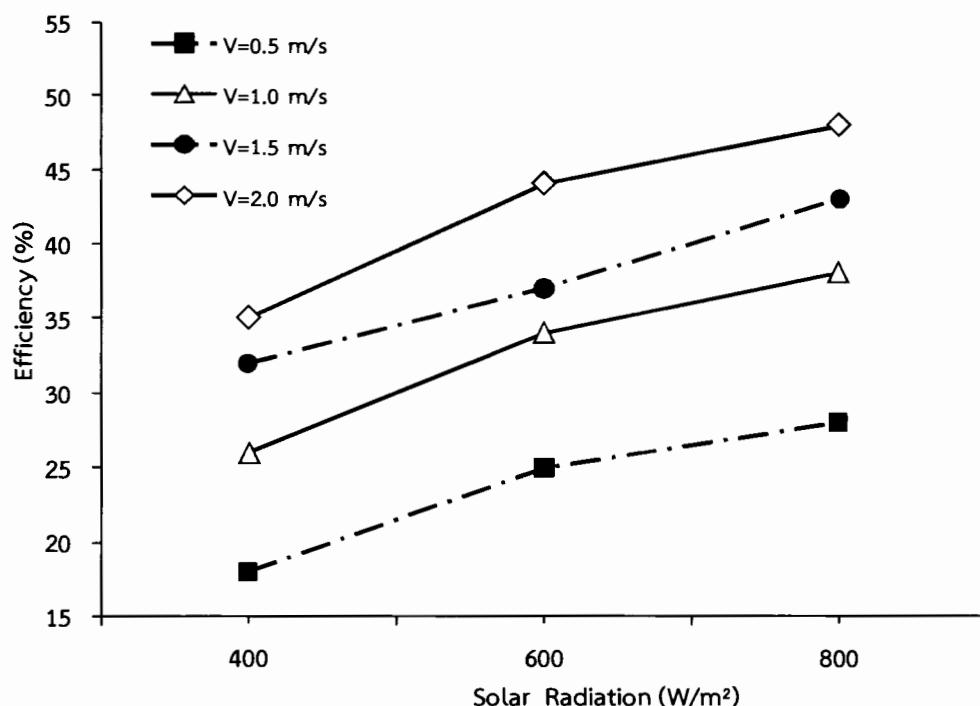
ภาพที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มของรังสีคงที่เท่ากับ  $800 \text{ W/m}^2$  พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่ม เนื่องจากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทอากาศร้อนได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่เท่ากับ  $2.0 \text{ m/s}$  พบว่า เมื่อความเข้มของรังสีต่ำกระบที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ทั้งนี้เนื่องมาจากรังสีที่ตก

กระทบมายังแผงเก็บรังสีมากขึ้น ซึ่งวัสดุพูนเป็นของแข็งที่มีรูพรุนจึงทำหน้าที่ในการดูดซับและคายความร้อนในรูปของการแผ่รังสี และเมื่ออากาศเหล่านั้นวัสดุพูนจึงทำให้เกิดการพากความร้อนได้มากขึ้นเป็นผลให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้น

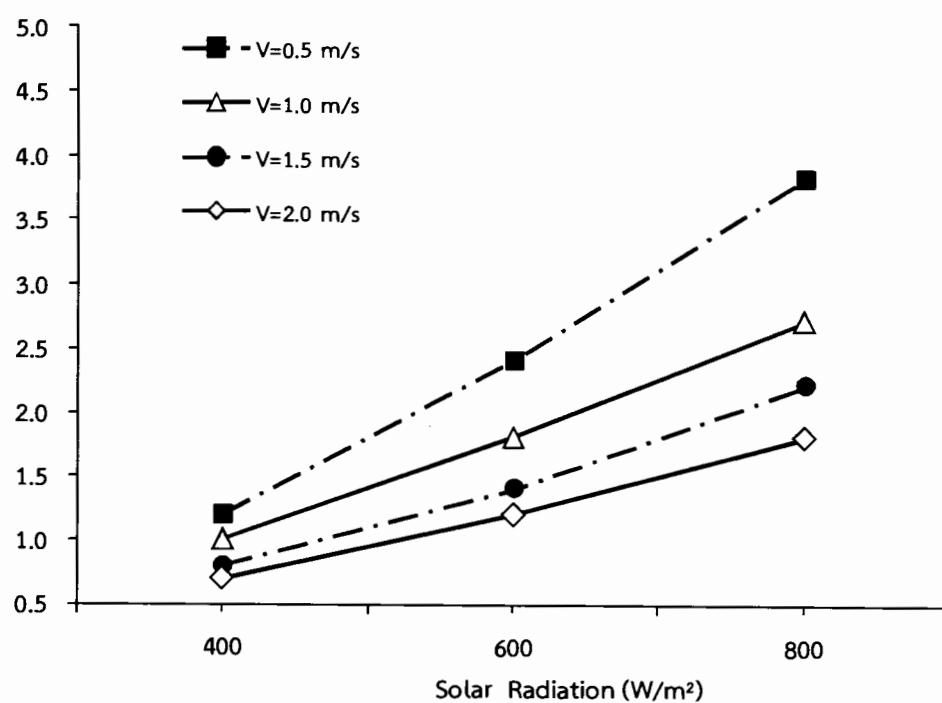
ภาพที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.52 จากผลการทดลองในภาพที่ 4.14 พบว่า グラฟมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) ที่ความพรุน 0.44 นอกจากนั้นยังพบอีกว่า ข้อมูลในภาพที่ 4.14 เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีที่ความพรุน 0.52 มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.15 ซึ่งในภาพกราฟจะมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกราฟในภาพที่ 4.14



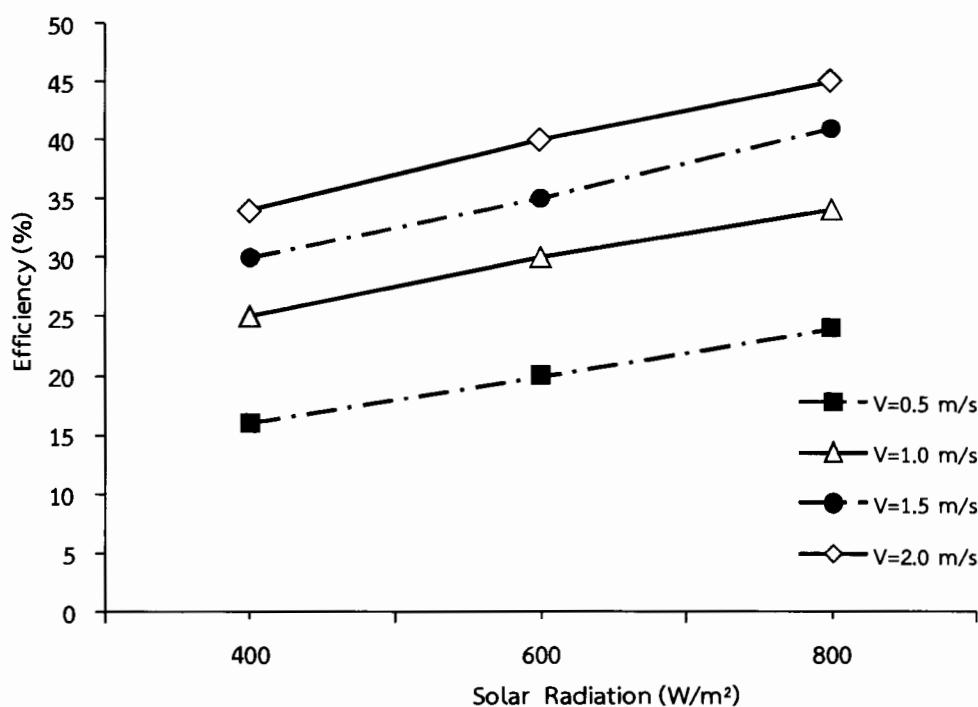
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44



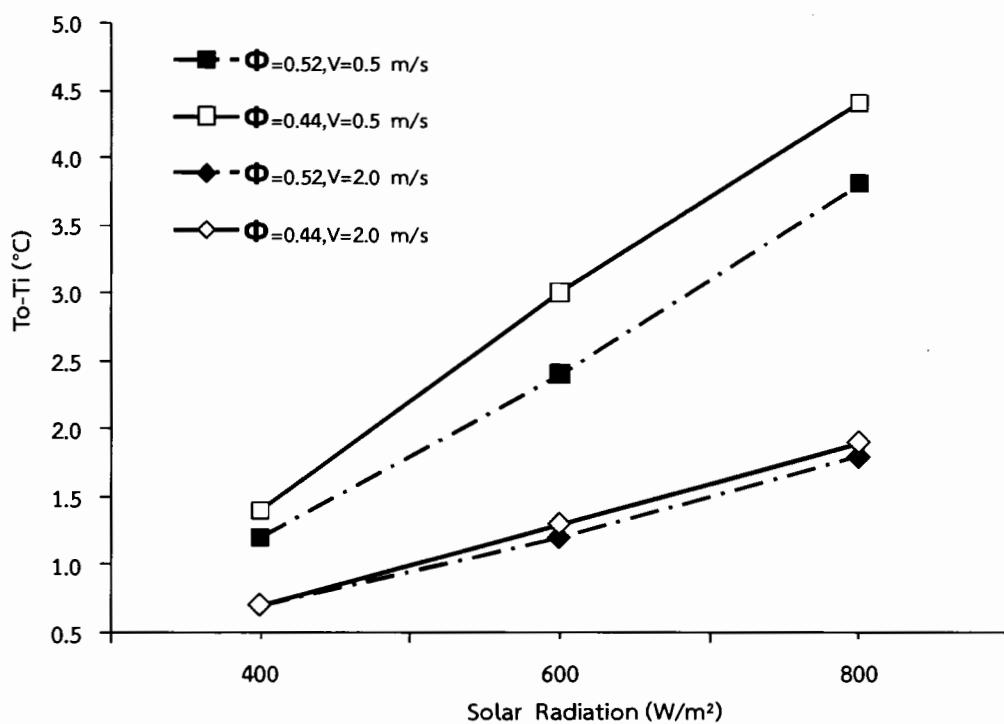
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.52



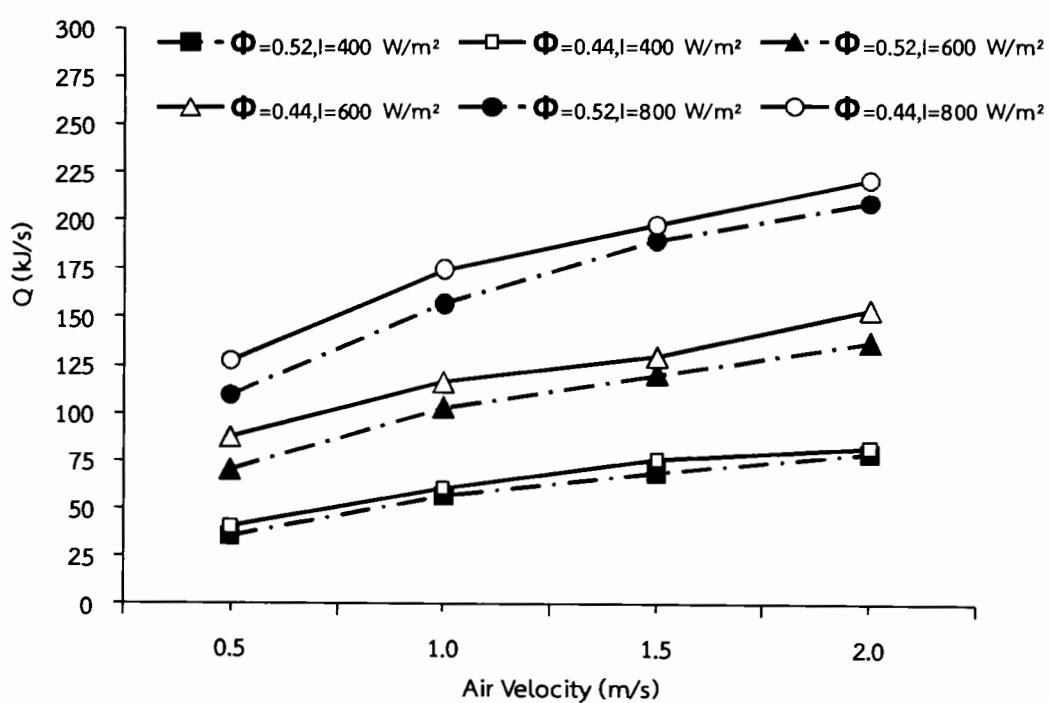
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.52

#### 4.2.3 ผลของความพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุน

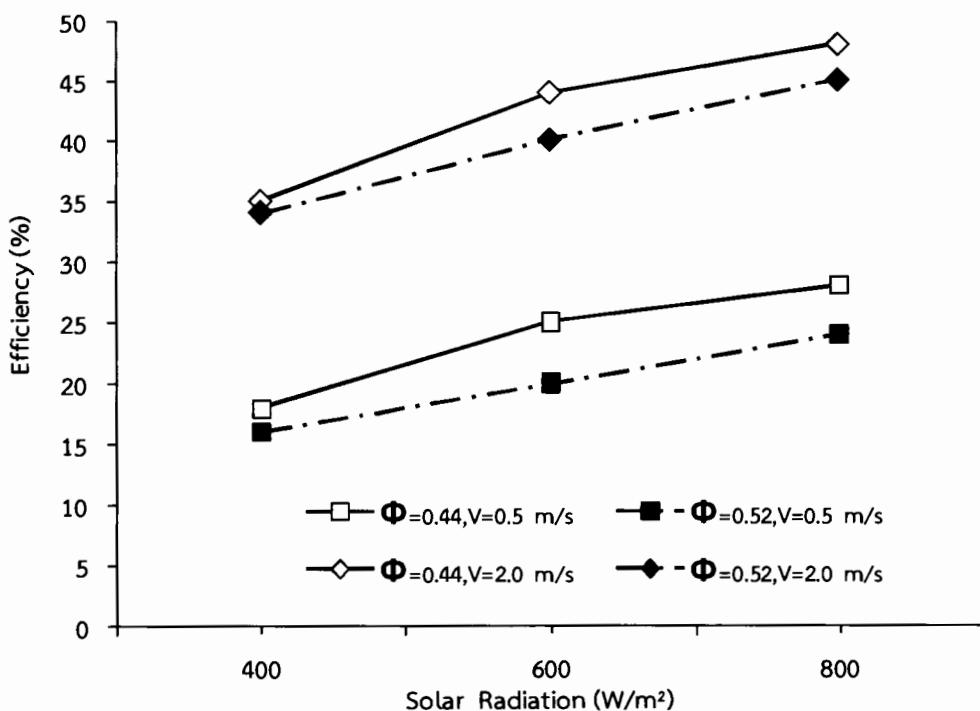
ภาพที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแห่งเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุน 0.44 และ 0.52 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มของรังสีคงที่ พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองความพรุนมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วลมหรืออัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่รังสีตกกระทบเท่าเดิมจึงทำให้ผลต่างอุณหภูมิลดลง และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วลมคงที่ พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $To-Ti$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีตกกระทบเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากพลังงานที่ตกกระทบมากขึ้นทำให้วัสดุพรุนสามารถดูดซับพลังงานและถ่ายพลังงานให้กับอากาศได้มากขึ้น หากพิจารณาเบรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิที่ความพรุน 0.44 และ 0.52 พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิที่ความพรุน 0.44 มีค่าสูงกว่าที่ความพรุน 0.52 เนื่องจากวัสดุพรุนที่มีความพรุน 0.44 มีขนาดเล็กจะเกิดช่องว่างน้อยทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงจึงสามารถถ่ายเทความร้อนโดยการนำจากเม็ดสู่เม็ดได้ดีจะเห็นได้จากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้พลังงานความร้อนสามารถถ่ายเทได้มากขึ้นดังภาพที่ 4.17 ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนภายในเนื้อวัสดุพรุนและถ่ายความร้อนให้กับอากาศได้มากกว่าที่ความพรุน 0.52 จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีที่มีความพรุน 0.44 มีค่าสูงกว่าเช่นกัน โดยจะเห็นได้จากการที่ 4.18 ซึ่งเป็นภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่มีความพรุน 0.44 และ 0.52



ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสี และความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52



ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52

#### 4.3 ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุน

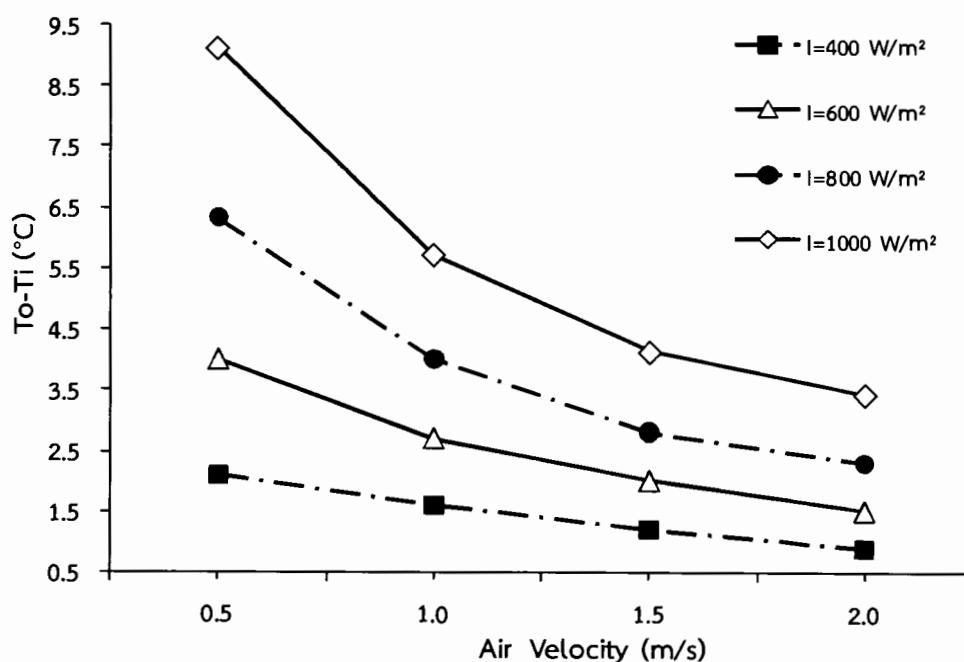
ในหัวข้อนี้ได้ใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุน โดยตาข่ายสแตนเลสที่ใช้มีขนาด 18 และ 44 PPI ซึ่งสามารถหาค่าความพรุน ( $\phi$ ) ได้เท่ากับ 0.63 และ 0.75

##### 4.3.1 ผลของการเร็วลงที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุน

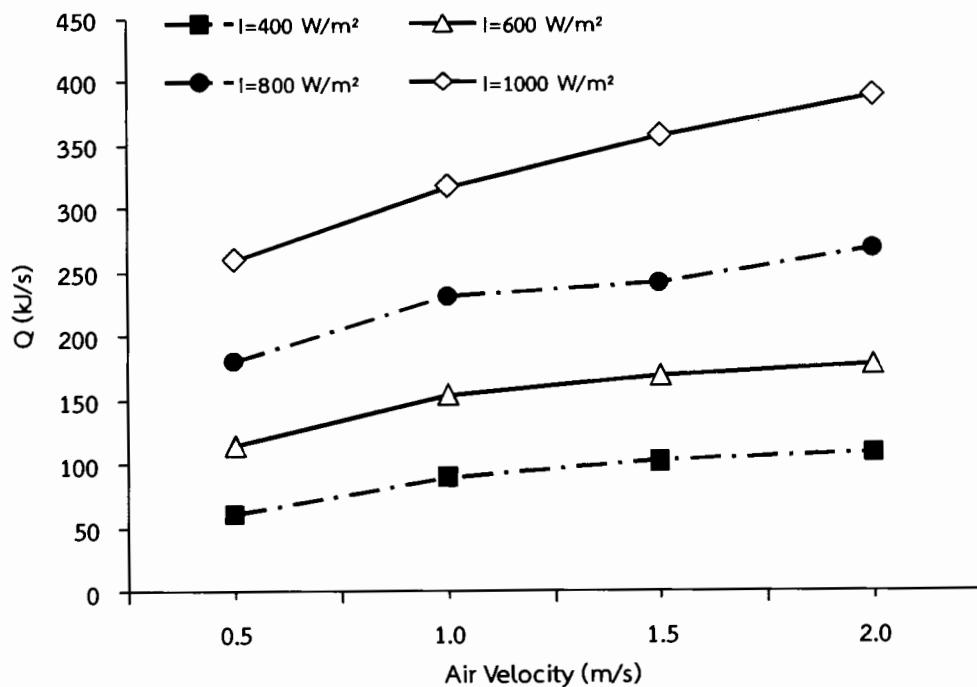
ภาพที่ 4.19 และ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเร็วลงที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75 จากผลการทดลองพบว่า กราฟมีแนวโน้มเหมือนกันกับกรณีที่ผ่านมา คือ เมื่อพิจารณาที่ความเข้มของรังสีคงที่พบว่า ความเร็วลงเพิ่มขึ้นผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าลดลง ในขณะเดียวกันหากพิจารณาที่ความเร็วลงคงที่ พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีตกกระทบเพิ่มขึ้น หากพิจารณาที่ความเร็วลงคงที่เท่ากับ  $0.5 \text{ m/s}$  เมื่อรังสีตกกระทบเท่ากับ  $400, 600, 800$  และ  $1000 \text{ W/m}^2$  ที่ความพรุน 0.63 จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) เท่ากับ 2.1, 4.0, 6.3 และ 9.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ความพรุน 0.75 จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) เท่ากับ 1.9, 3.6, 5.9 และ 8.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อพิจารณารังสีตกกระทบคงที่โดยความพรุนเท่ากับ 0.63 เช่น รังสีตกกระทบ  $1000 \text{ W/m}^2$  ที่ความเร็วลงเท่ากับ  $0.5, 1.0, 1.5$  และ  $2.0 \text{ m/s}$  จะมีผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ

9.1, 5.7, 4.1 และ 3.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อความพรุนเท่ากับ 0.75 จะมีผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 8.5, 5.2, 3.8 และ 3.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

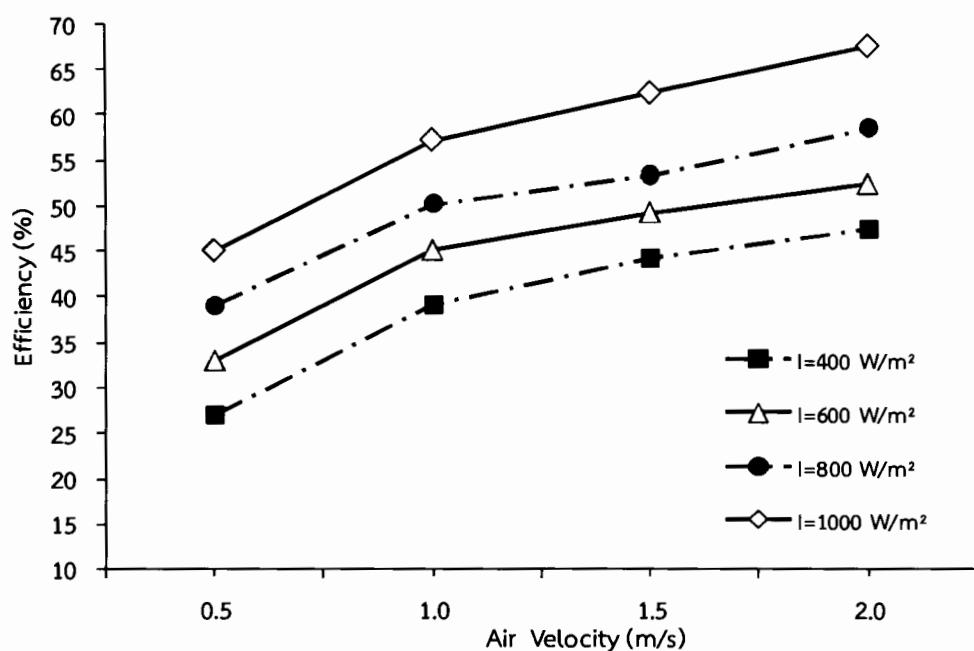
ภาพที่ 4.21 และ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75 จากผลการทดลองพบว่า กรณีแนวโน้มเหมือนกันกับกรณีที่ผ่านมา คือ ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและความเข้มของรังสีตกกระหบเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น หากพิจารณาที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 เมื่อความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.5 m/s และพลังงานตกกระหบเท่ากับ 400, 600, 800 และ 1000 W/m<sup>2</sup> แพงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 26.7, 33.25, 39.24 และ 45.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความพรุนเท่ากับ 0.75 แพงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 24.46, 30.39, 36.7 และ 42.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ ความเข้มของรังสีตกกระหบคงที่เท่ากับ 1000 W/m<sup>2</sup> ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s ที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 แพงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 45.24, 57.00, 62.06 และ 67.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความพรุนเท่ากับ 0.75 แพงเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 42.53, 51.90, 56.81 และ 61.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



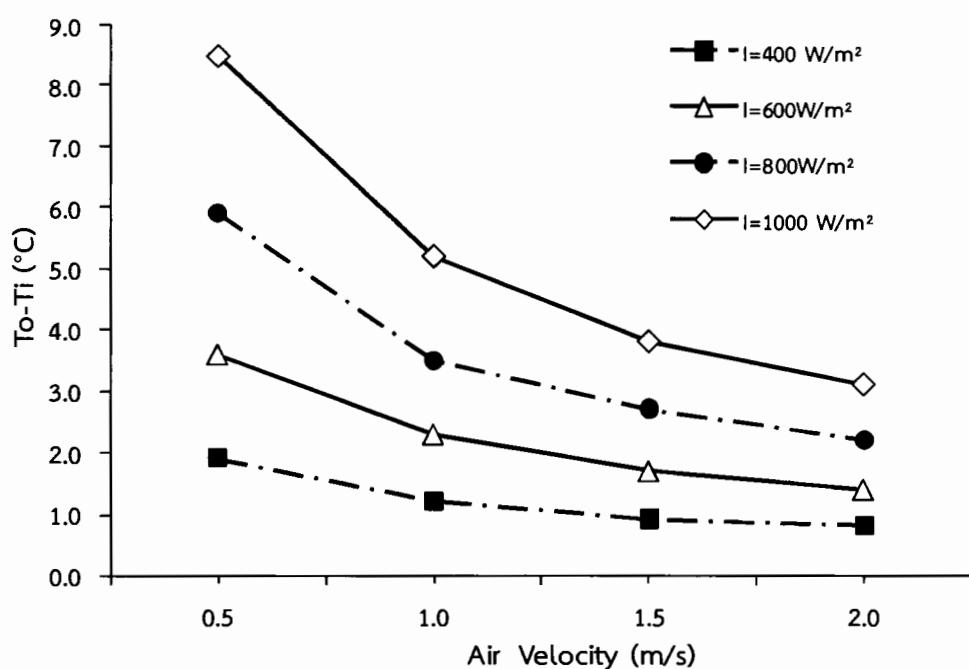
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.63



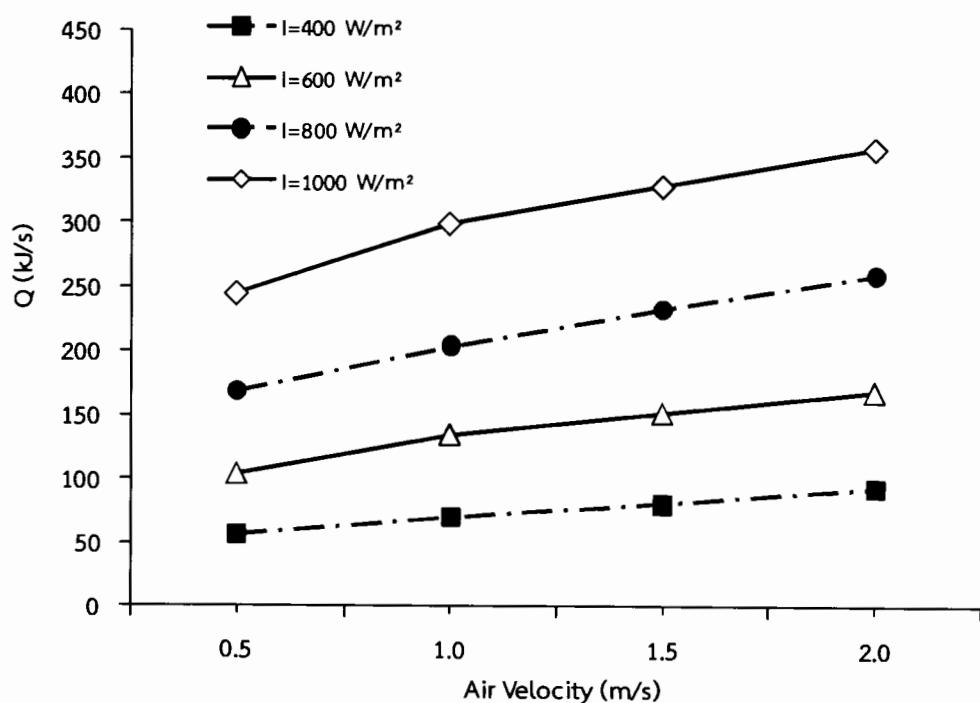
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.63



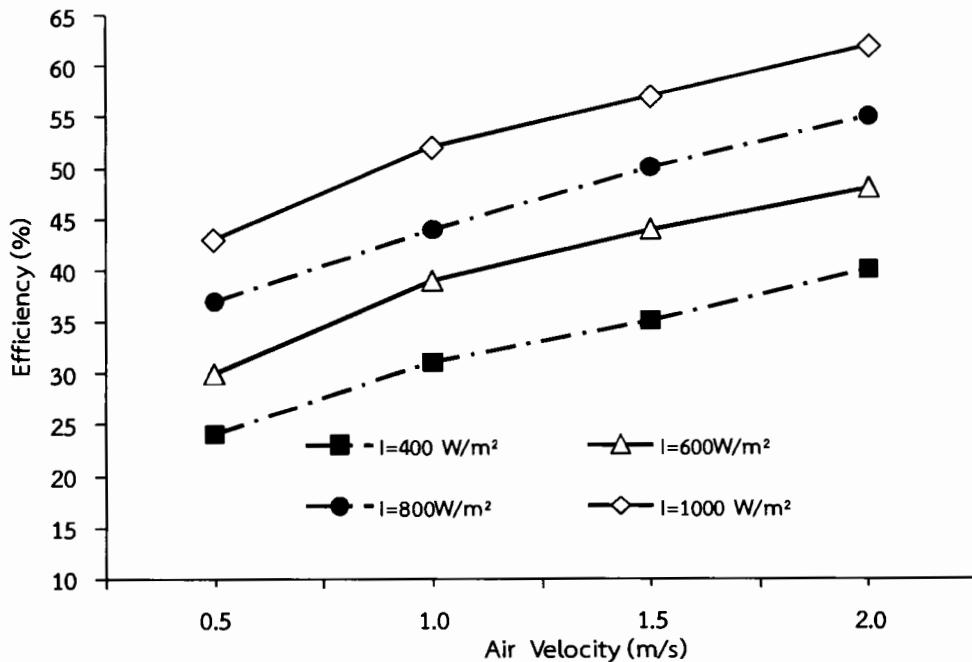
ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.63



ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแห่งเก็บรังสีและ  
ความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.75



ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.75

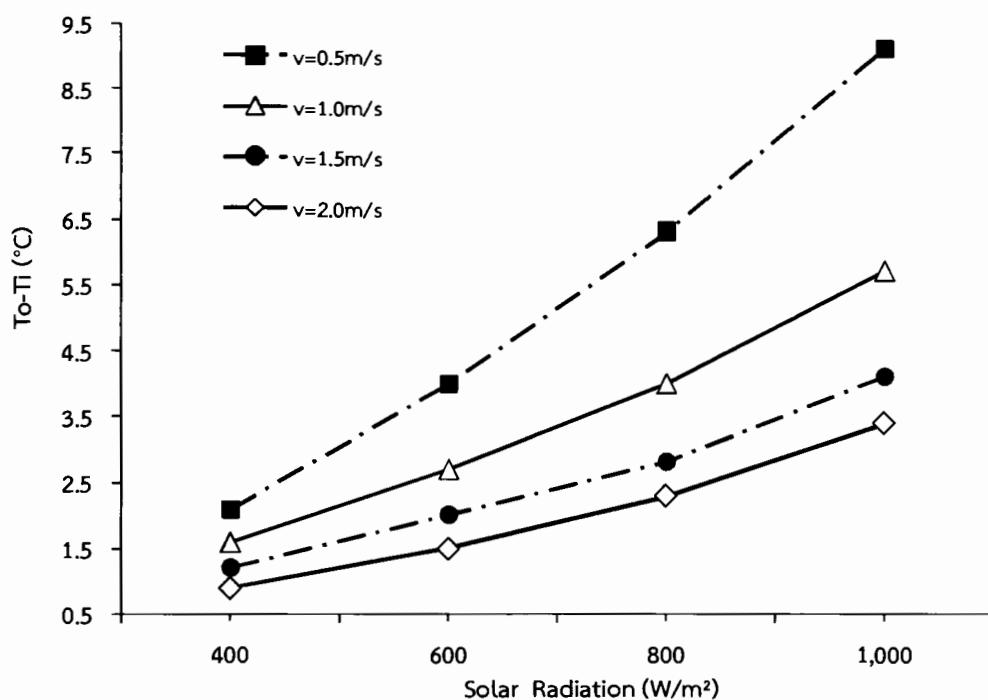


ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.75

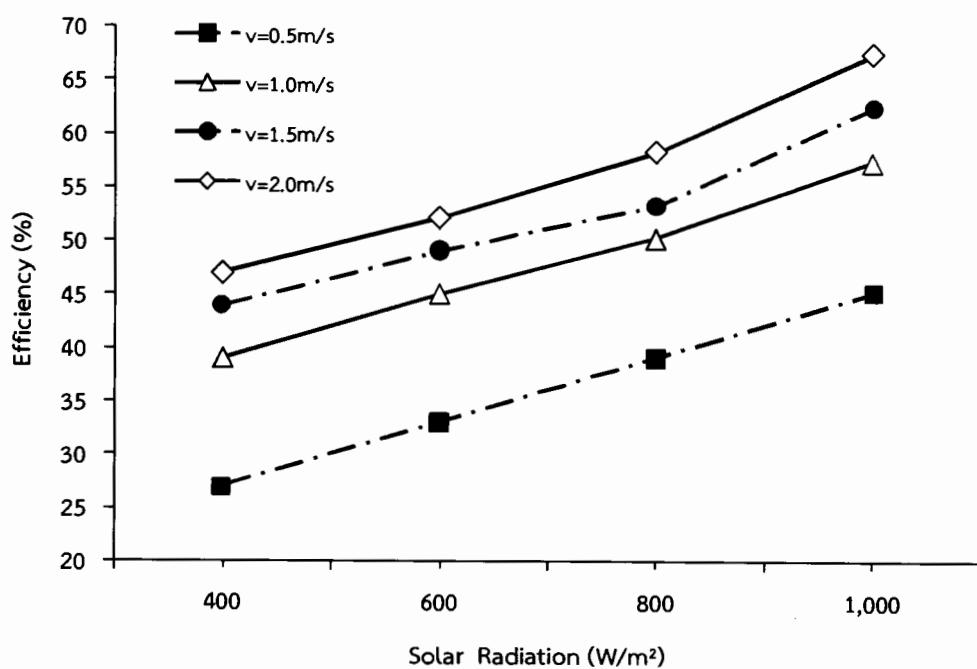
#### 4.3.2 ผลของความเข้มของรังสีที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้ตัวข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุน

ภาพที่ 4.25 และ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75 จากภาพที่ 4.25 และ 4.27 พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีตัดกระทบเพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ซึ่งกราฟจะมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีที่ผ่านมาซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันกับกรณีที่ผ่านมา

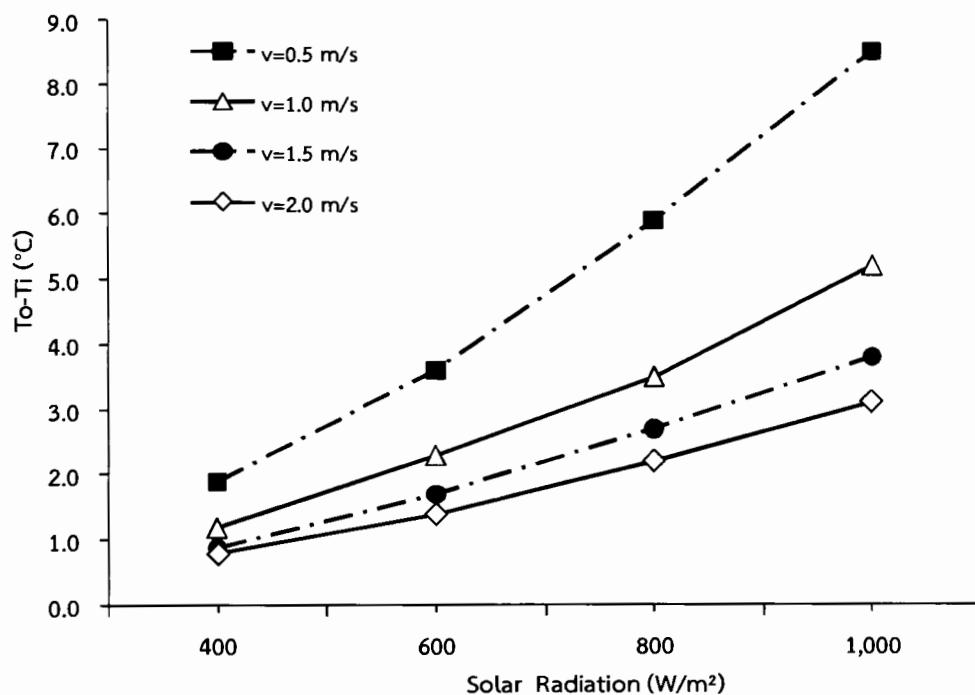
ภาพที่ 4.26 และ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75 จากข้อมูลพบว่า กราฟมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีแผงเก็บรังสีที่ใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุน คือ ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและความเข้มของรังสีตัดกระทบเพิ่มขึ้น



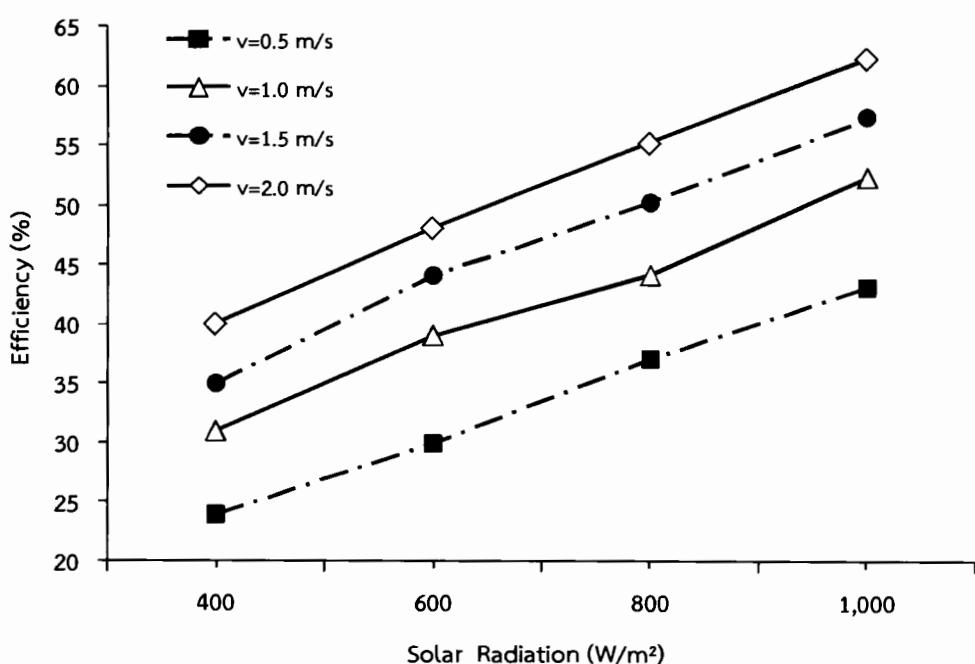
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ  
ความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.63



ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุน  
เท่ากับ 0.63



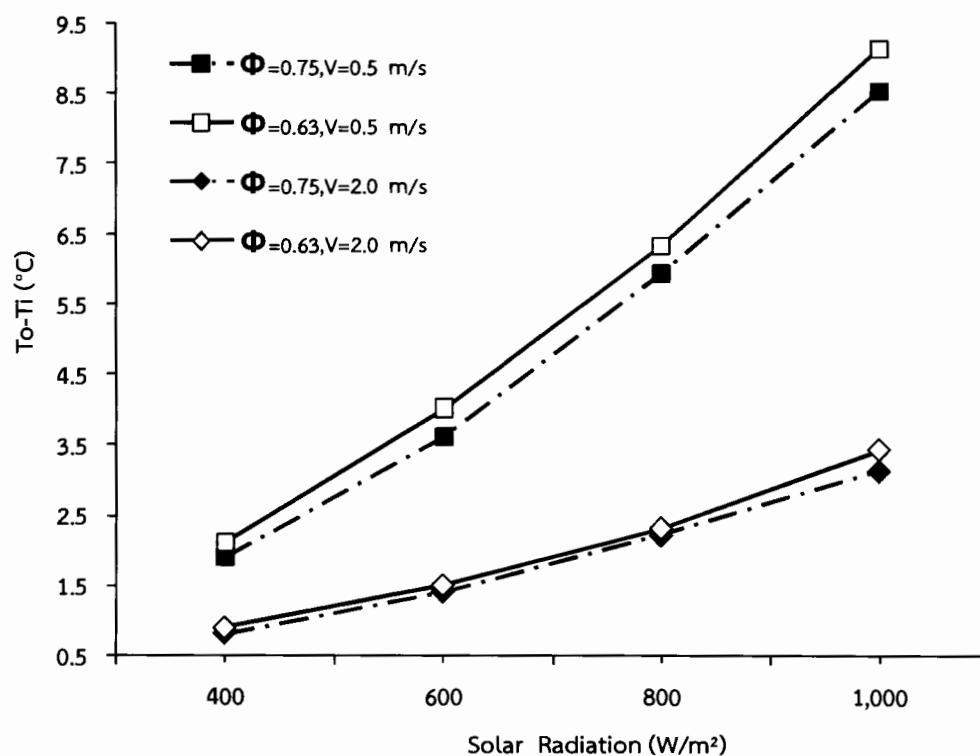
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสีและ  
ความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.75



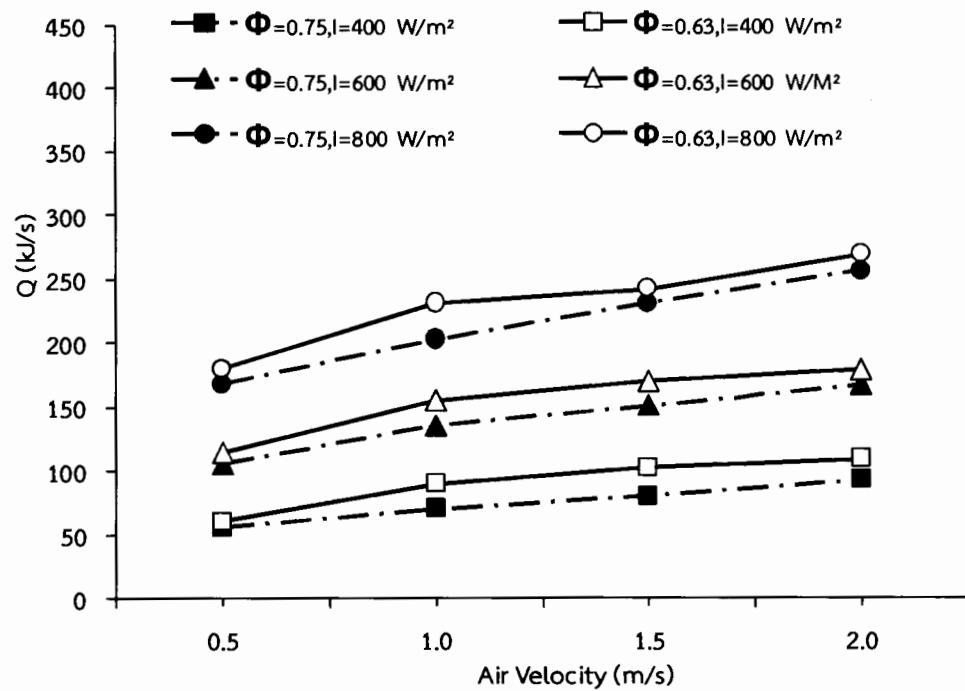
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุน  
เท่ากับ 0.75

### 4.3.3 ผลของความพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุน

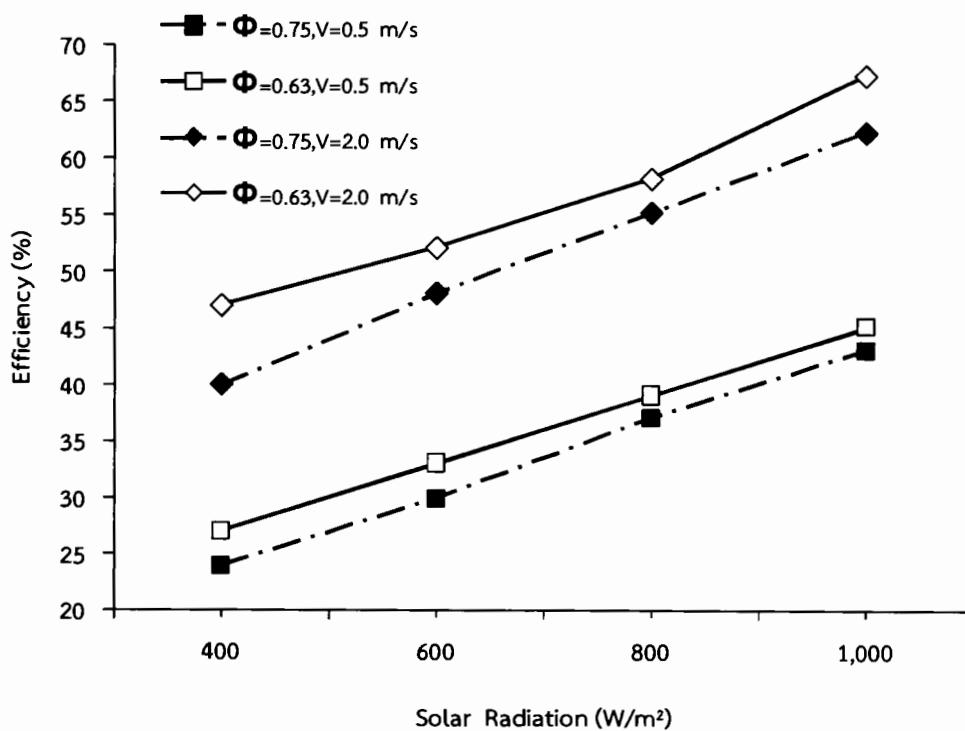
ภาพที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีที่ความเร็วลม 0.5 และ 2.0 m/s ซึ่งให้ผลผ่านวัสดุพรุนที่เป็นตาข่ายสแตนเลสชนิด 18 และ 44 PPI โดยมีความพรุน 0.63 และ 0.75 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบที่ความเข้มของรังสีและความเร็วลมคงที่ พบว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีกับวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนต่ำ ซึ่งแสดงได้จากผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกที่เพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อวัสดุพรุนมีค่าความพรุนเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนต่ำมีพื้นที่ซ่องว่างน้อย นั่นคือ พื้นที่ผิวหรือพื้นที่ดูดซับความร้อน และถ่ายเทความร้อนต่ำปริมาตรสูงกว่าเป็นผลให้ปริมาณความร้อนมีค่าสูงขึ้น จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีที่มีความพรุน 0.63 มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ความพรุน 0.75 ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 4.31 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีที่มีความพรุน 0.63 และ 0.75



ภาพที่ 4.29 การเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสี และความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75



ภาพที่ 4.30 การเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75



ภาพที่ 4.31 การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75

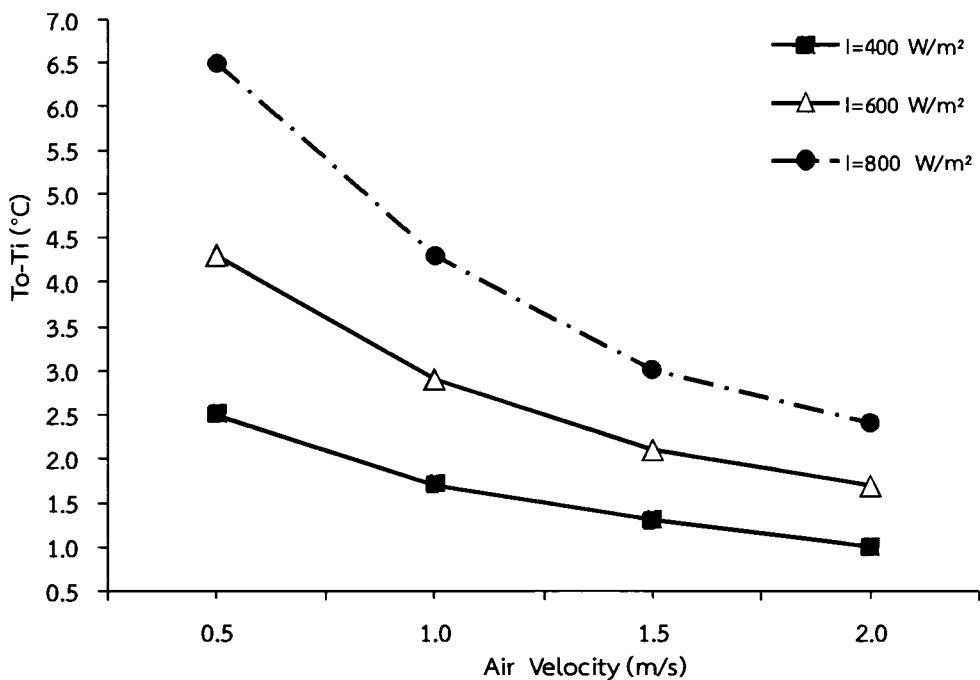
#### 4.4 ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุน

ในหัวข้อนี้ได้ใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุน ซึ่งเศษเหล็กที่เลือกนำมาใช้ในการทดลองนี้ได้จากการทดลองของเหล็กที่มาจากการกลึงและได้ความพรุน ( $\phi$ ) เท่ากับ 0.55 และ 0.64

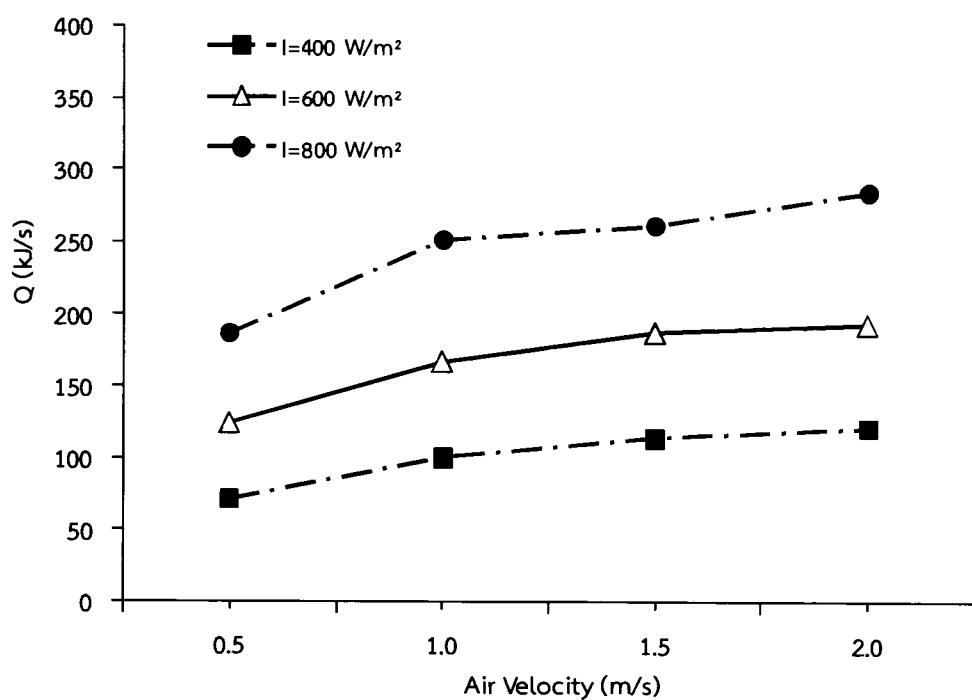
##### 4.4.1 ผลของความเร็วลมที่มีต่อประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุน

ภาพที่ 4.32 และ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแห่งเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64 จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) จะมีแนวโน้มเมื่อนอกจากกรณีที่ผ่านมา เมื่อพิจารณาความเร็วลมคงที่พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีต่ำคงที่เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 เมื่อความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.5 m/s และรังสีต่ำคงที่เท่ากับ 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) เท่ากับ 2.5, 4.3 และ 6.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ความพรุน 0.64 จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) เท่ากับ 2.3, 4.0 และ 6.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเข้มของรังสีคงที่พบว่า ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าลดลง โดยพิจารณาที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 เมื่อรังสีต่ำคงที่เท่ากับ 800 W/m<sup>2</sup> ที่ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จะมีผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 6.5, 4.3, 3.0 และ 2.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ความพรุน 0.64 จะมีผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 6.2, 4.1, 2.9 และ 2.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องมาจากพลังงานที่ตกกระแทบที่เดิม แต่ความเร็วลมหรืออัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลต่างอุณหภูมิลดลง เป็นไปตามความสัมพันธ์  $Q = mc_p \Delta T$

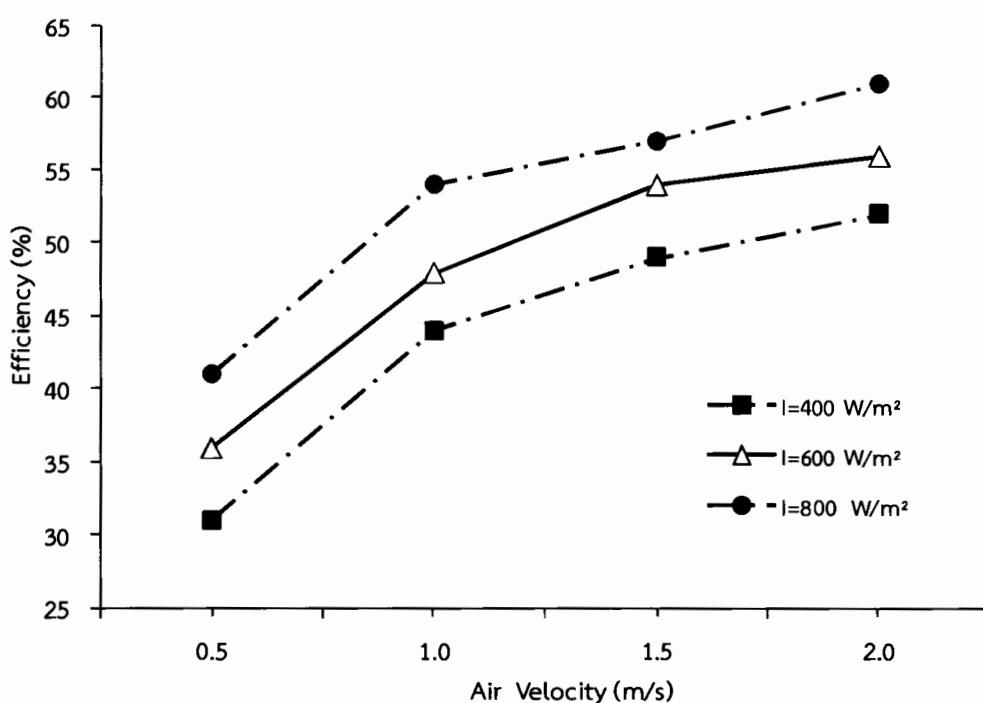
ภาพที่ 4.34 และ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64 จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีมีแนวโน้มเมื่อกลับกรณีที่ผ่านมา คือ ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและความเข้มของรังสีต่ำคงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุพรุนเป็นของแข็งที่มีรูพรุนจึงมีการดูดซับความร้อนและความร้อนโดยการแผ่รังสีได้มากเมื่ออากาศไหลผ่านจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนได้สูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์  $Q_{conv} = hA\Delta T$  เมื่อพิจารณาที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 ความเร็วลมคงที่เท่ากับ 0.5 m/s และพลังงานต่ำคงที่เท่ากับ 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> แห่งเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 31.13, 36.24 และ 40.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความพรุนเท่ากับ 0.64 แห่งเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 29.10, 33.63 และ 38.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ความเข้มของรังสีต่ำคงที่เท่ากับ 800 W/m<sup>2</sup> ความเร็วลมเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 แห่งเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 40.59, 54.48, 56.42 และ 61.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความพรุนเท่ากับ 0.64 แห่งเก็บรังสีจะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 38.83, 51.18, 54.38 และ 59.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



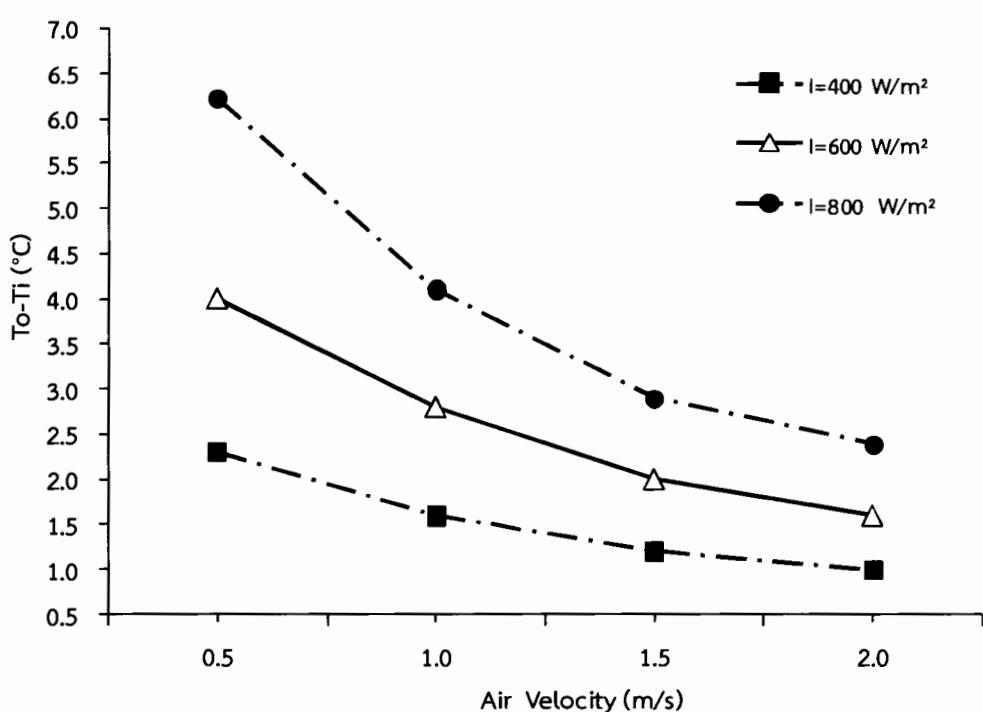
ภาพที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกແ Pang เก็บรังสีและ  
ความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.55



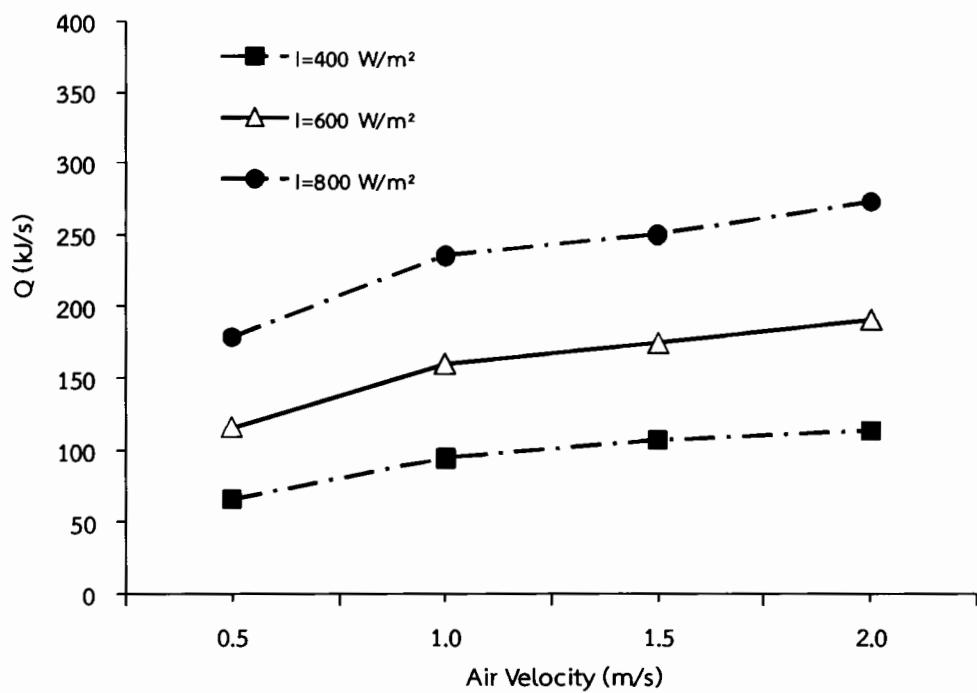
ภาพที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55



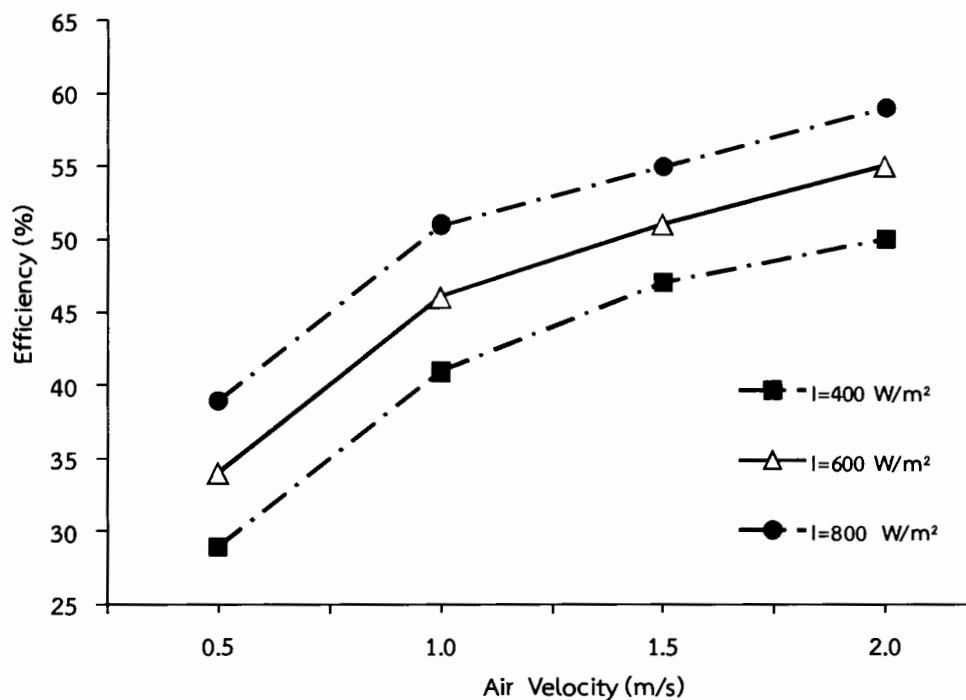
ภาพที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.55



ภาพที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.64



ภาพที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการทำงานความร้อนและความเร็วลม ที่ความพรุนเท่ากับ 0.64

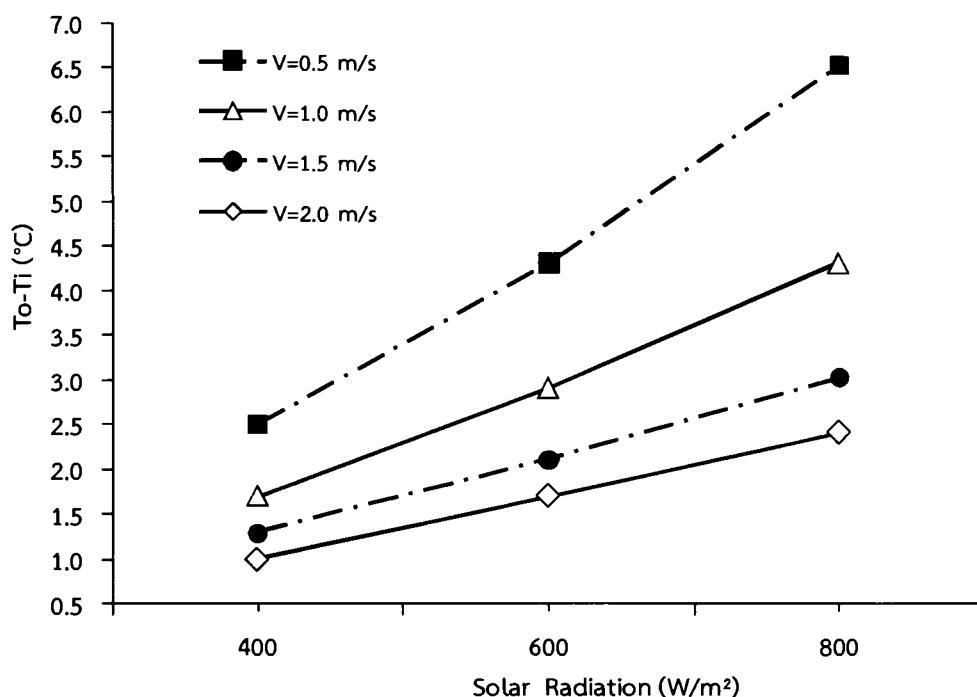


ภาพที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.64

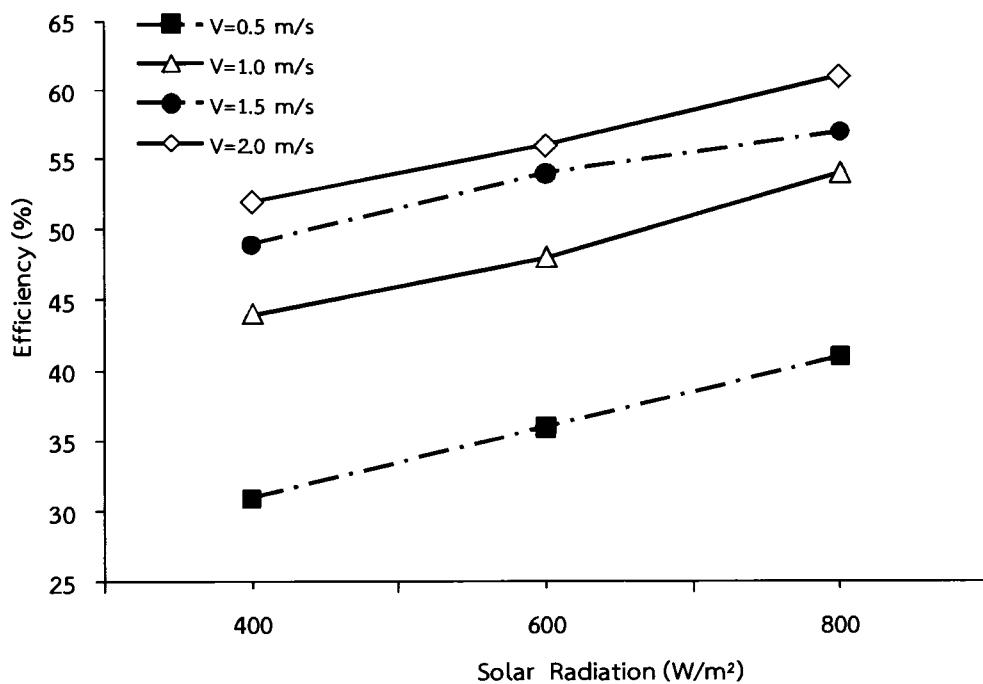
#### 4.4.2 ผลของความเข้มของรังสีที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุน

ภาพที่ 4.38 และ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64 จากข้อมูลการทดลองพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีต่鞫ระทบเพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ซึ่ง graf จะมีลักษณะเดียวกันกับแผงเก็บรังสีกรณีใช้วัสดุพรุนที่ผ่านมา

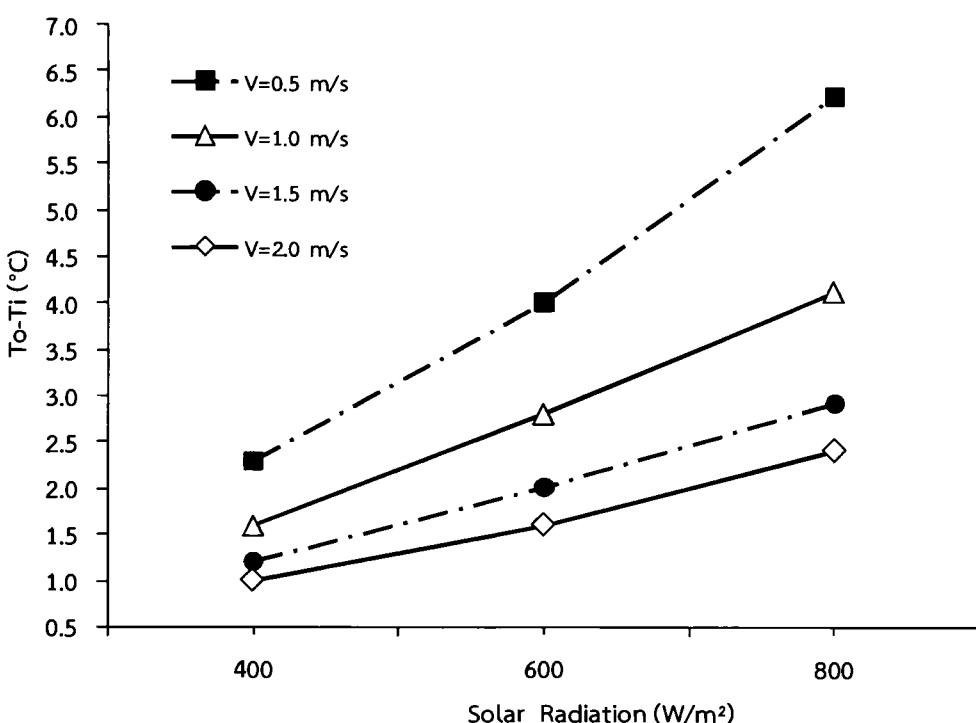
ภาพที่ 4.39 และ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64 จากข้อมูลพบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมและความเข้มของรังสีต่鞫ระทบเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีใช้วัสดุพรุนที่ผ่านมา



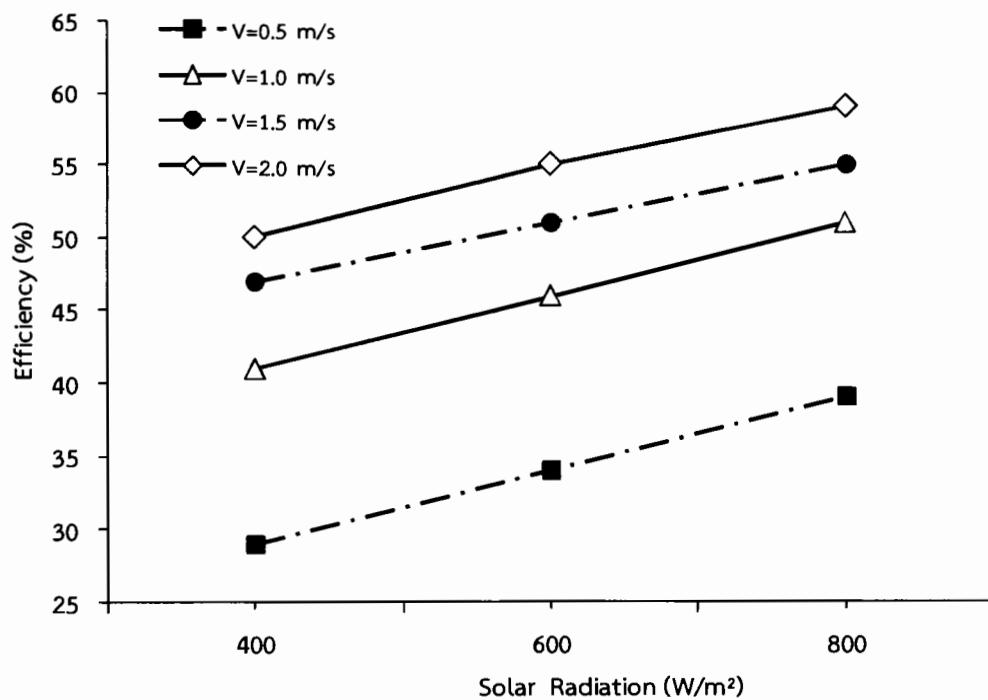
ภาพที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55



ภาพที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.55



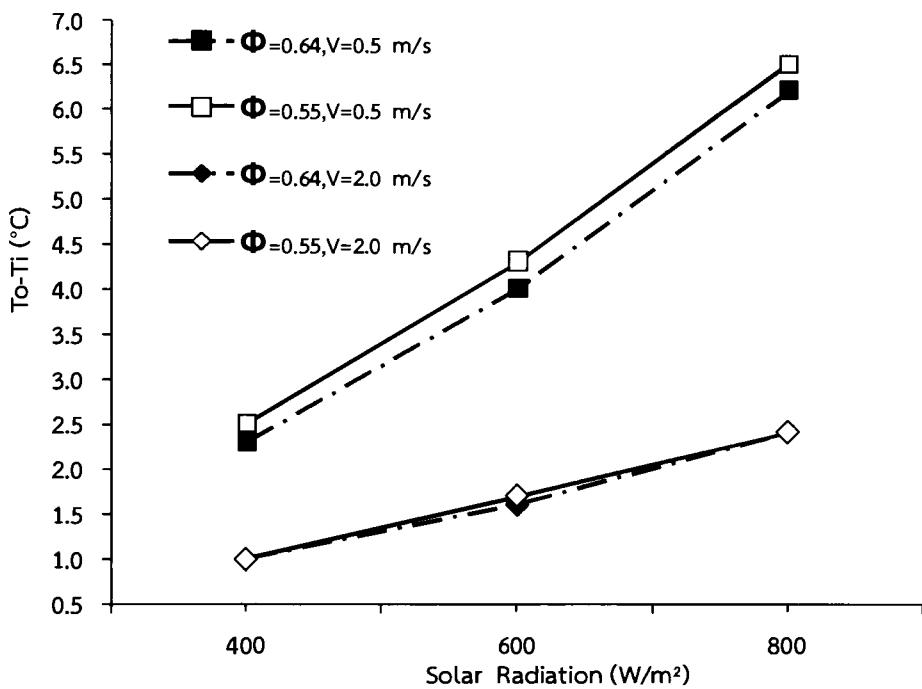
ภาพที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.64



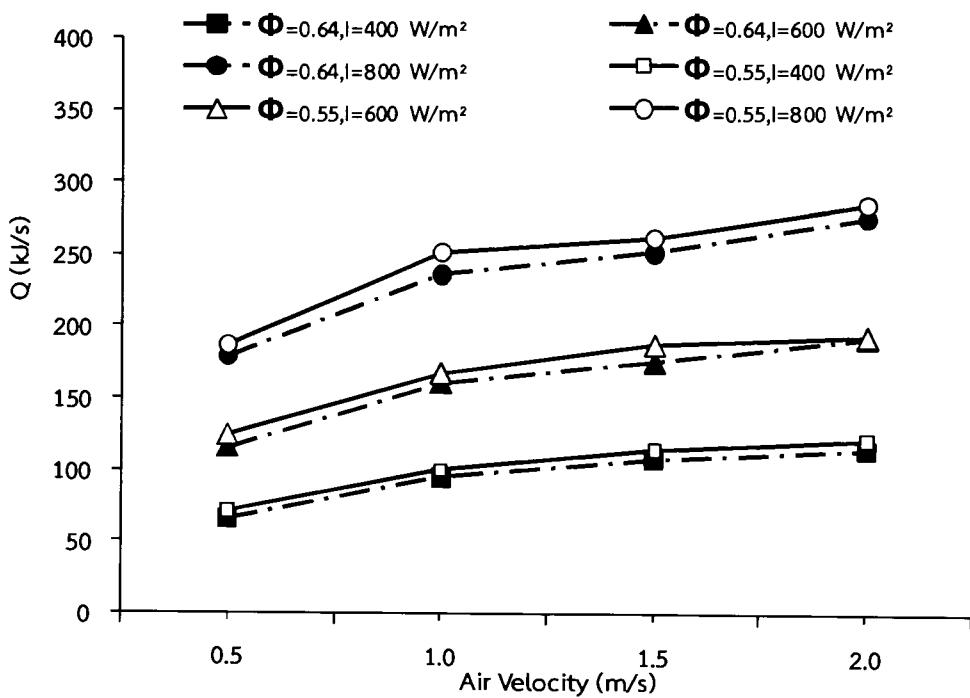
ภาพที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.64

#### 4.4.3 ผลของความพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแพลงก์บอร์นสีกรัฟฟิคใช้เคชเหล็กเป็นวัสดุพรุน

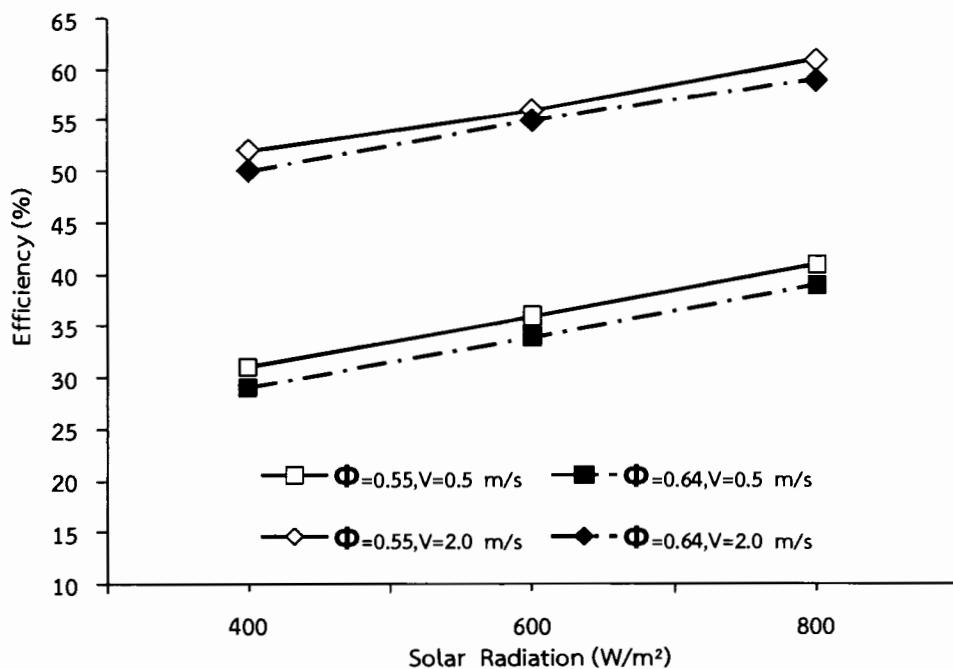
ภาพที่ 4.42 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแพงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุน 0.55 และ 0.64 จากผลการทดลองพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_{\text{O}} - T_{\text{i}}$ ) ทั้งสองความพรุนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีต่ำระดับเพิ่มขึ้น เนื่องจากรังสีต่ำระดับเพิ่มขึ้นทำให้แพงเก็บรังสีได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลดเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการพลังงานที่ต่ำระดับเท่าเดิมแต่ความเร็วลดเพิ่มขึ้นจึงทำให้ผลต่างอุณหภูมิจึงลดลงซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ หากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างความพรุน 0.55 และ 0.64 พบว่ารา้มีลักษณะเดียวกันกับกรณีที่ใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุน นั่นคือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ความพรุน 0.55 มีค่าสูงกว่า 0.64 และจากภาพที่ 4.44 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีที่มีความพรุน 0.55 และ 0.64 พบว่า ประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีที่มีความพรุน 0.44 มีค่าสูงกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ เช่นเดียวกันกับกรณีที่ใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนได้



ภาพที่ 4.42 การเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแพงเก็บรังสี และความเข้มของรังสี ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64



ภาพที่ 4.43 การเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนและความเร็วลมที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64

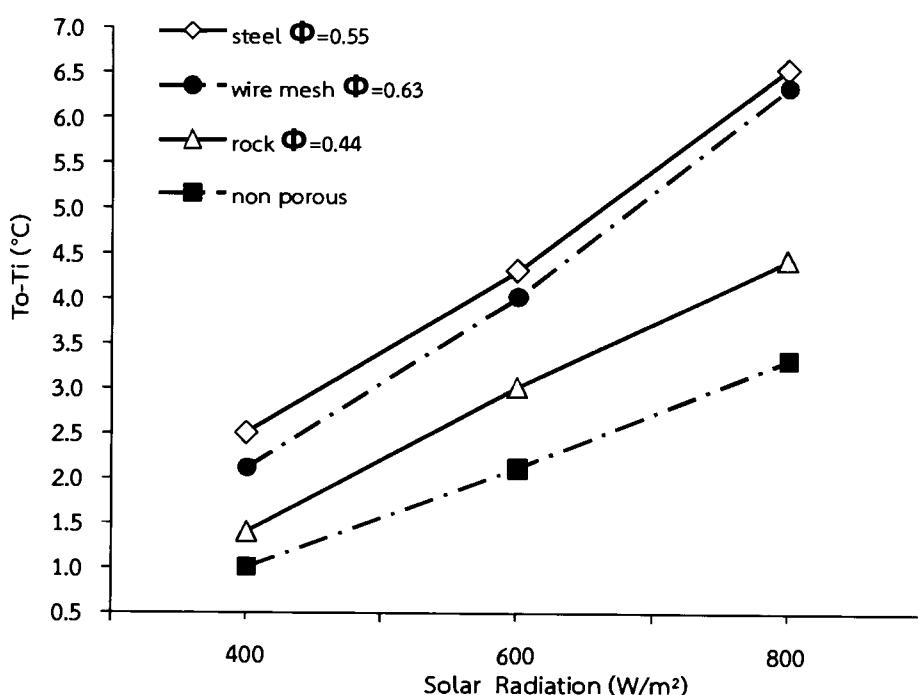


ภาพที่ 4.44 การเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีและความเข้มของรังสีที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64

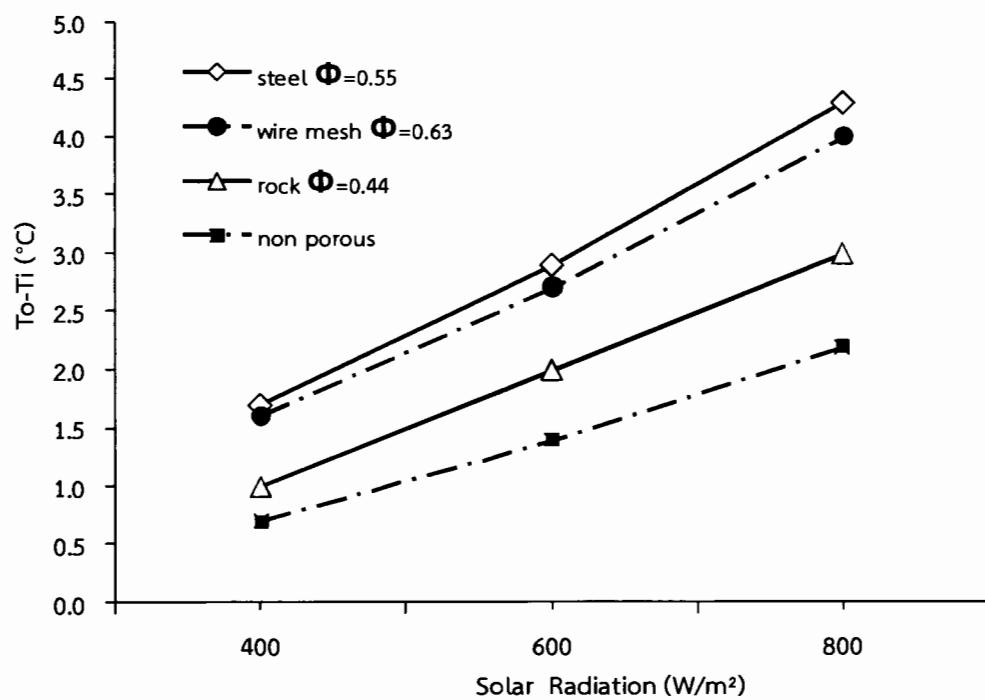
#### 4.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพุ่น

เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 4 กรณี มาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพุ่น จะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.45 จากผลการวิเคราะห์พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มมากขึ้นสำหรับทุกๆ กรณี หากพิจารณาเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสีที่มีและไม่มีวัสดุพุ่นที่สภาวะเดียวกันพบว่า แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพุ่นจะมีผลต่างของอุณหภูมิสูงกว่า ทั้งนี้เกิดจากการเพิ่มวัสดุพุ่นเป็นการเพิ่มพื้นที่สำหรับการรับพลังงานได้มากขึ้น เนื่องจากวัสดุพุ่นเป็นวัสดุที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ทำให้สามารถลดชั้นความร้อนจากการพากความร้อนของอากาศได้เป็นอย่างดีและจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีในภาพที่ 4.49 มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เช่น หากพิจารณาที่ความเร็วลม 0.5 m/s พบว่า ที่รังสีต่กระหบบที่เท่ากับ 800 W/m<sup>2</sup> วัสดุพุ่นที่เป็นเศษเหล็กจะมีประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีสูงที่สุดคือ 40.60 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ตาข่ายสแตนเลส และทินกราวด มีประสิทธิภาพเท่ากับ 39.24 และ 27.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งหากเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีไม่มีวัสดุพุ่นจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 49.2, 47.5 และ 25.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากวัสดุพุ่นชนิดเศษเหล็กมีค่าการนำความร้อนสูงทำให้มีค่าการแพร่งรังสี (emissivity) สูงเช่นกัน จึงส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพากความร้อนสูงกว่า วัสดุพุ่นที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เมื่อพิจารณาผลการทดลองในภาพที่ 4.46-4.48 ซึ่งแสดง

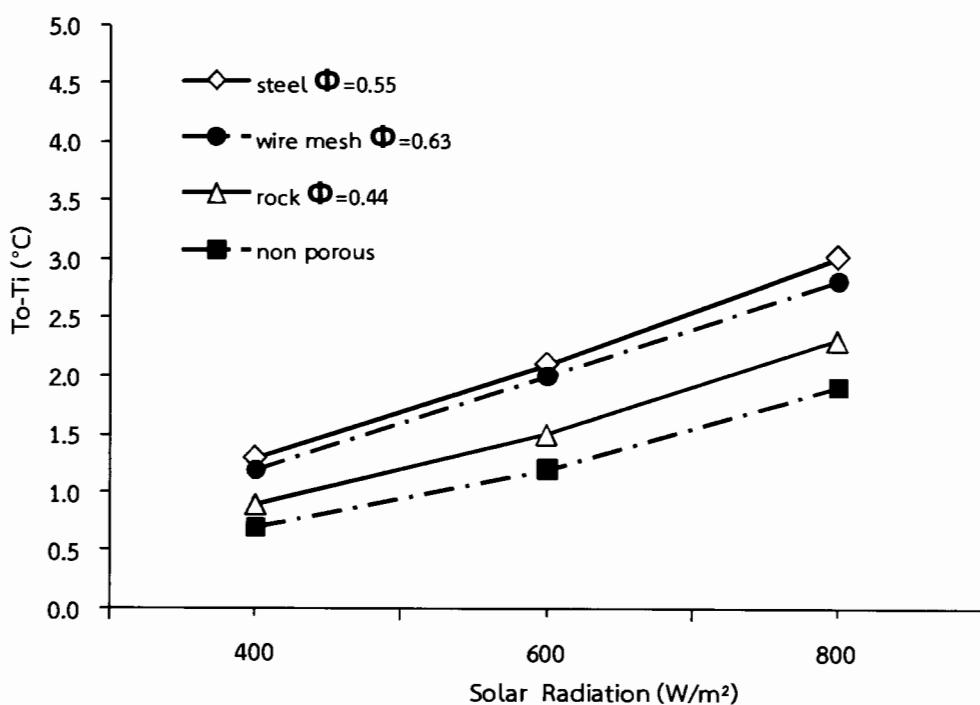
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีกับผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี และภาพที่ 4.50-4.52 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีและประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี ที่ความเร็วลมเท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s พบว่า มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองในภาพที่ 4.45 และ 4.49 (ที่ความเร็วลม 0.5 m/s) จากภาพที่ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบ ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีกรณีที่มีและไม่มีวัสดุพrun ภายใต้ความเข้มของรังสีเท่ากับ  $400 \text{ W/m}^2$  จากกราฟพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกจะลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีที่ต่ำกระหน่ำเพิ่มในทุกๆ กรณี นอกจากนั้นยังพบอีกว่า แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพrun มีผลต่างอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) สูงกว่า แผงเก็บรังสีกรณีที่ไม่มีวัสดุพrun โดยแผงเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพrun มีผลต่างอุณหภูมิ ( $T_o - T_i$ ) สูงที่สุด และหากพิจารณาภาพที่ 4.54-4.55 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีกรณีที่มีและไม่มีวัสดุพrun ภายใต้ความเข้มของรังสีเท่ากับ  $600$  และ  $800 \text{ W/m}^2$  จะเห็นได้ว่า กราฟมีแนวโน้มเดียวกันกับความเข้มของรังสีที่  $400 \text{ W/m}^2$  จากภาพที่ 4.56-4.58 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีที่มีและไม่มีวัสดุพrun ภายใต้ความเข้มของรังสี  $400, 600, 800 \text{ W/m}^2$  พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า แผงเก็บรังสีกรณีมีวัสดุพrun จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีวัสดุพrun โดยแผงเก็บรังสีที่มีเศษเหล็ก จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดสามารถอธิบายได้โดยใช้เหตุผลเดียวกันกับภาพที่ 4.49



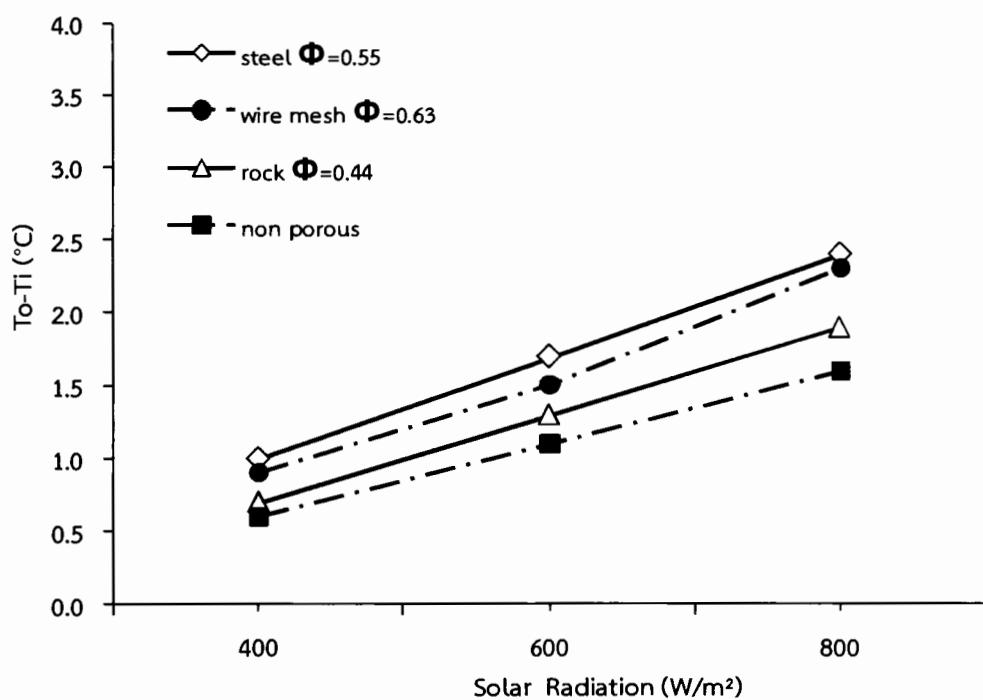
ภาพที่ 4.45 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี ที่ความเร็วลม  $0.5 \text{ m/s}$



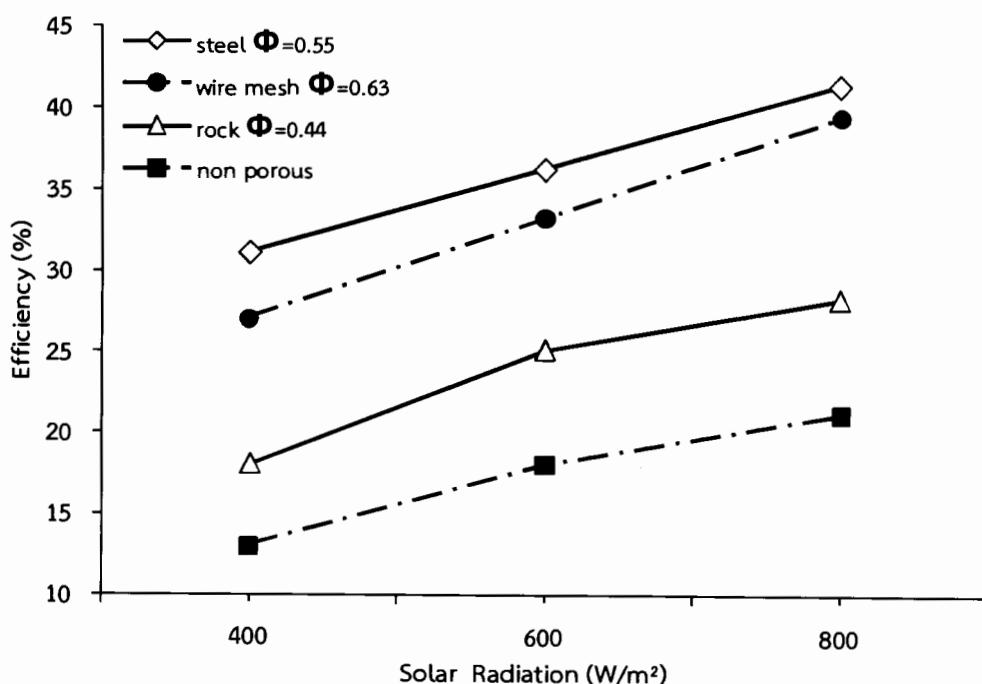
ภาพที่ 4.46 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี  
ที่ความเร็วลม 1.0 m/s



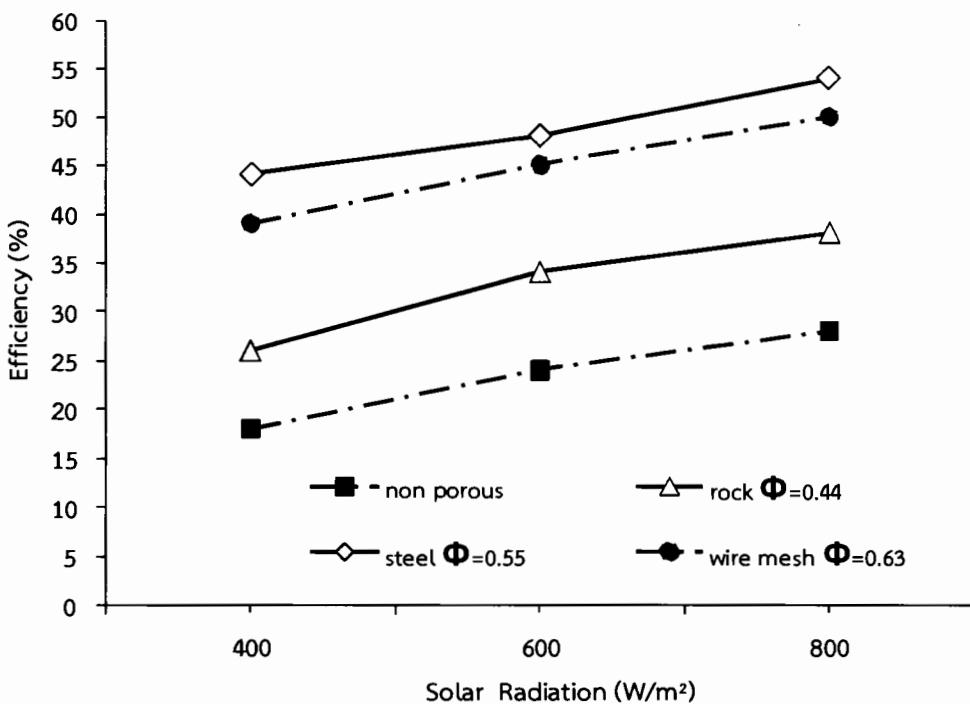
ภาพที่ 4.47 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี  
ที่ความเร็วลม 1.5 m/s



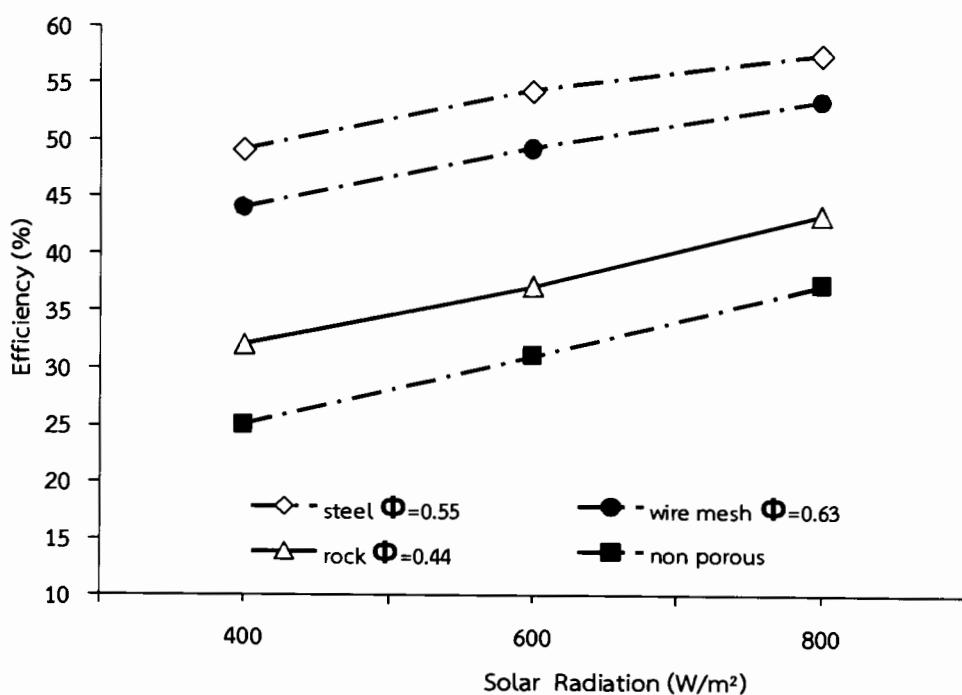
ภาพที่ 4.48 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี  
ที่ความเร็วลม  $2.0 \text{ m/s}$



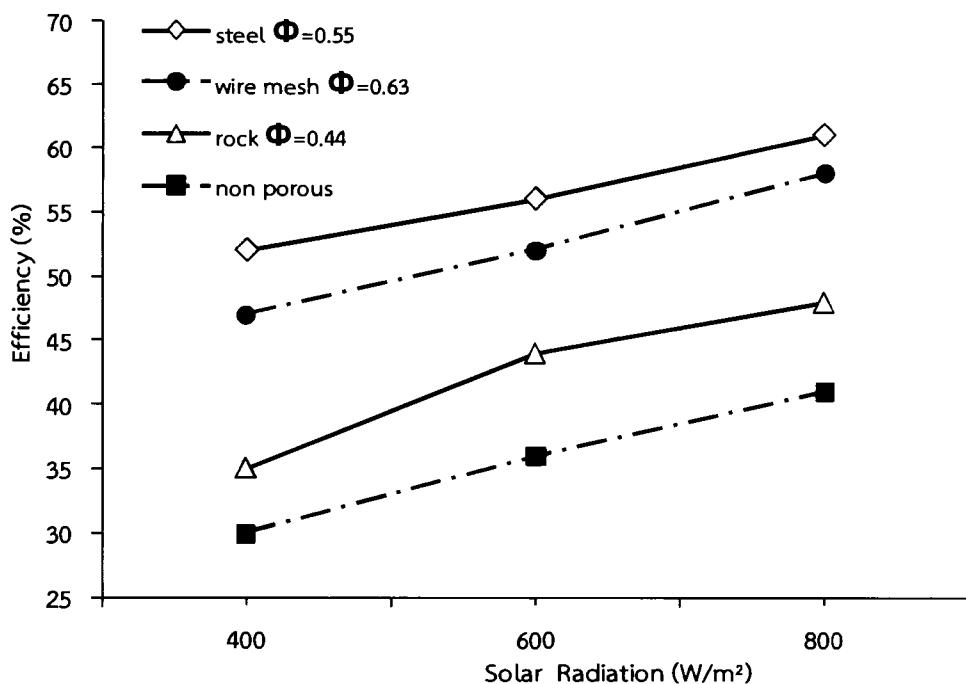
ภาพที่ 4.49 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณ์มีและไม่มีวัสดุพูน  
ที่ความเร็วลม  $0.5 \text{ m/s}$



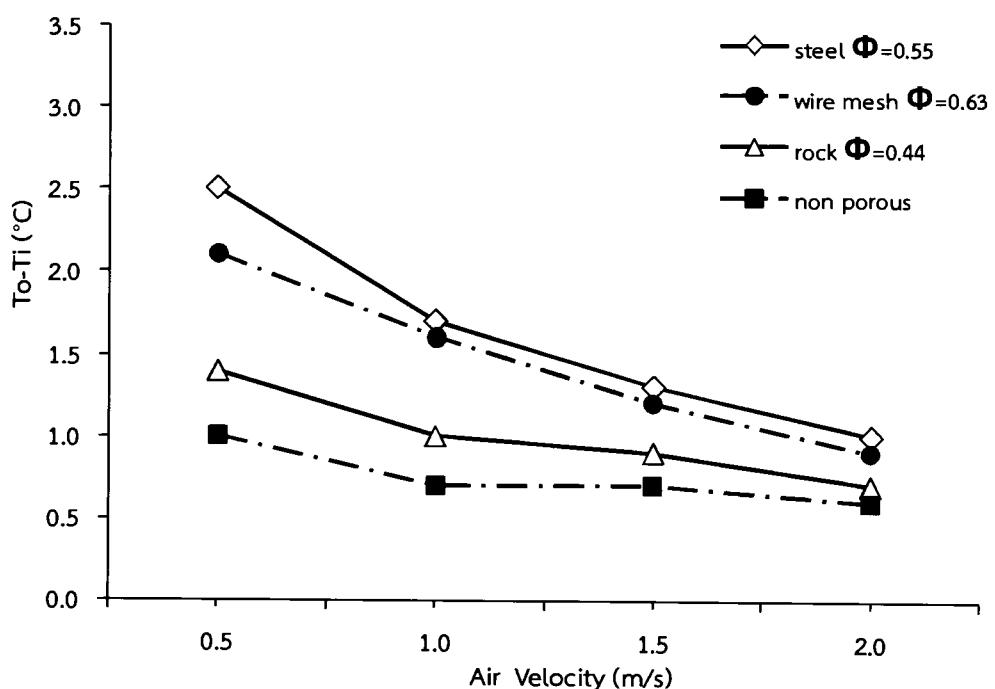
ภาพที่ 4.50 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณ์มีและไม่มีวัสดุพูน  
ที่ความเร็วลม 1.0 m/s



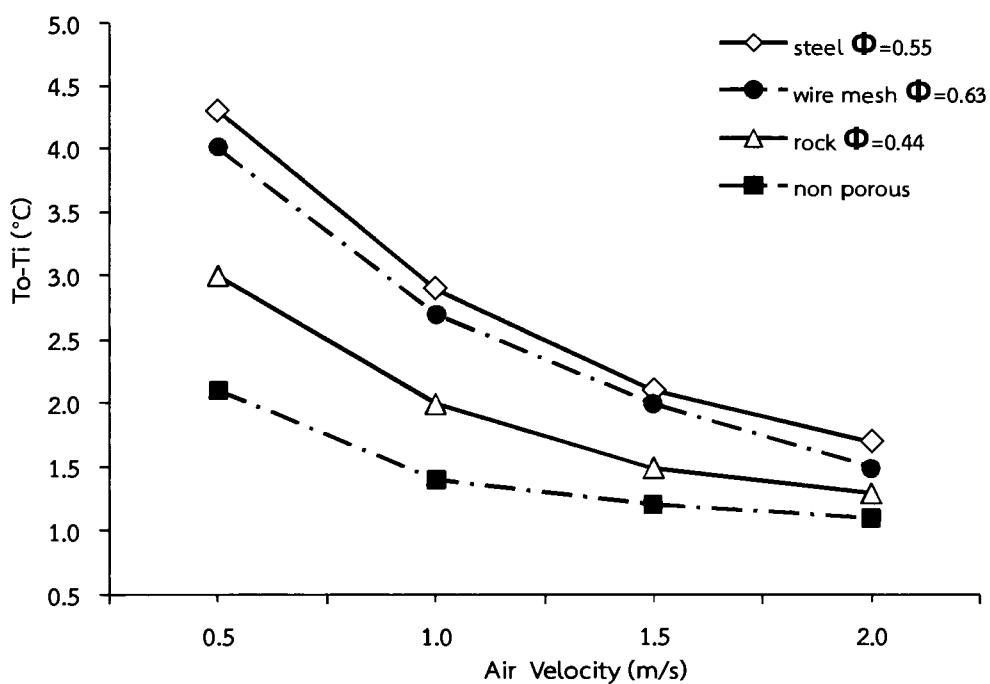
ภาพที่ 4.51 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณ์มีและไม่มีวัสดุพูน  
ที่ความเร็วลม 1.5 m/s



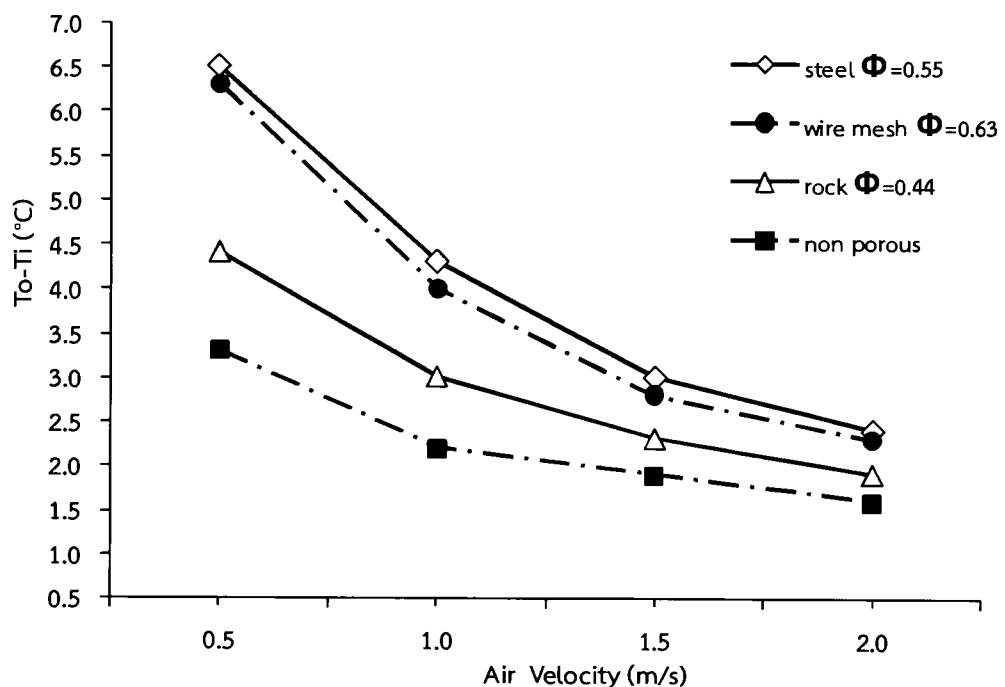
ภาพที่ 4.52 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพูน  
ที่ความเร็วลม 2.0 m/s



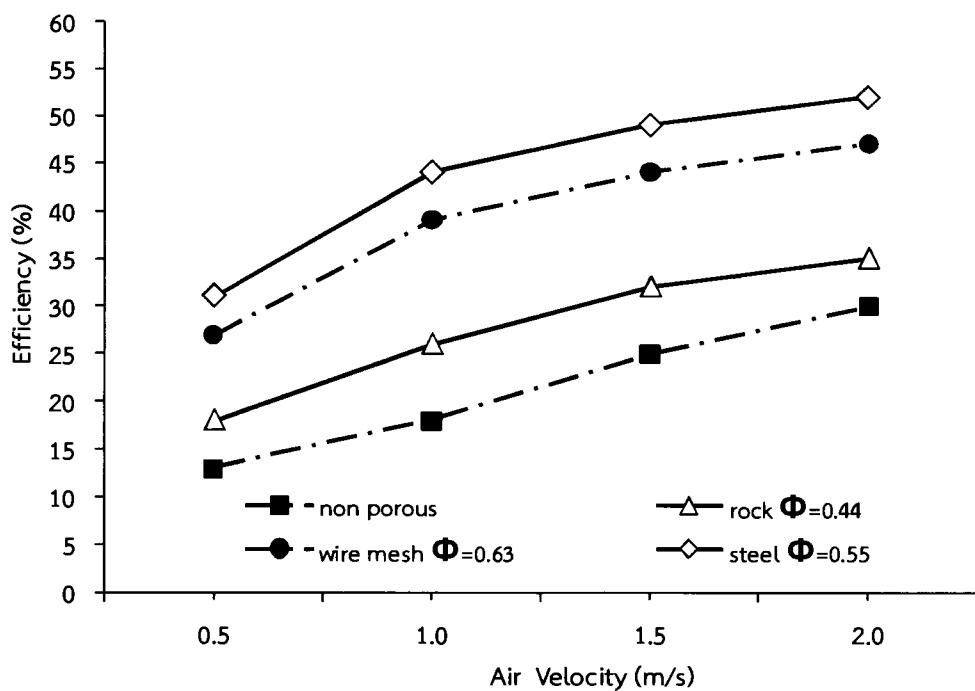
ภาพที่ 4.53 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี  
ที่ความเข้มของรังสี 400 W/m<sup>2</sup>



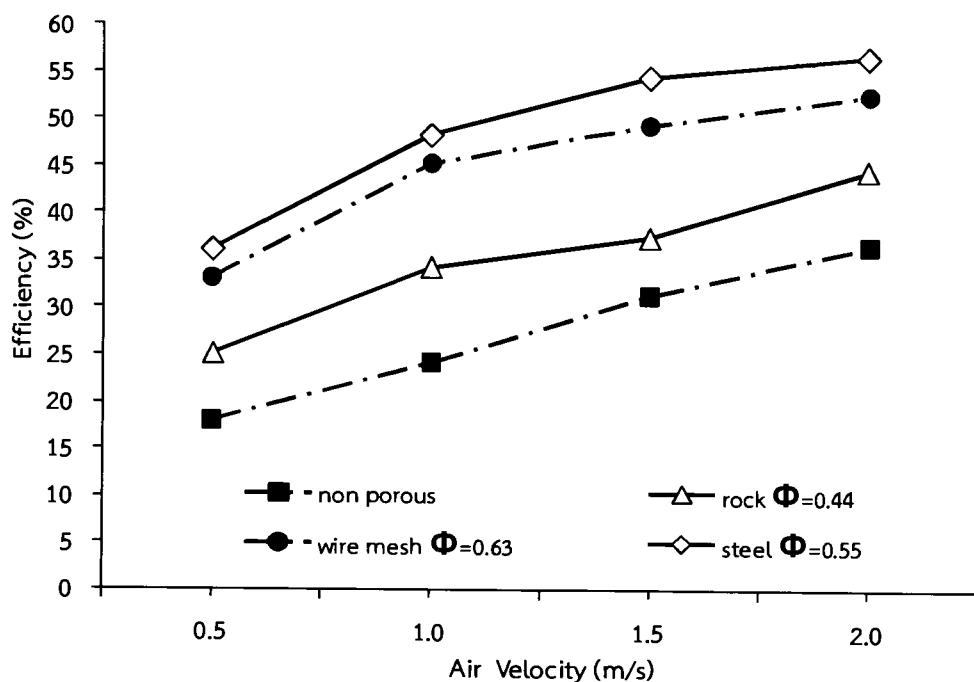
ภาพที่ 4.54 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี  
ที่ความเข้มของรังสี  $600 \text{ W/m}^2$



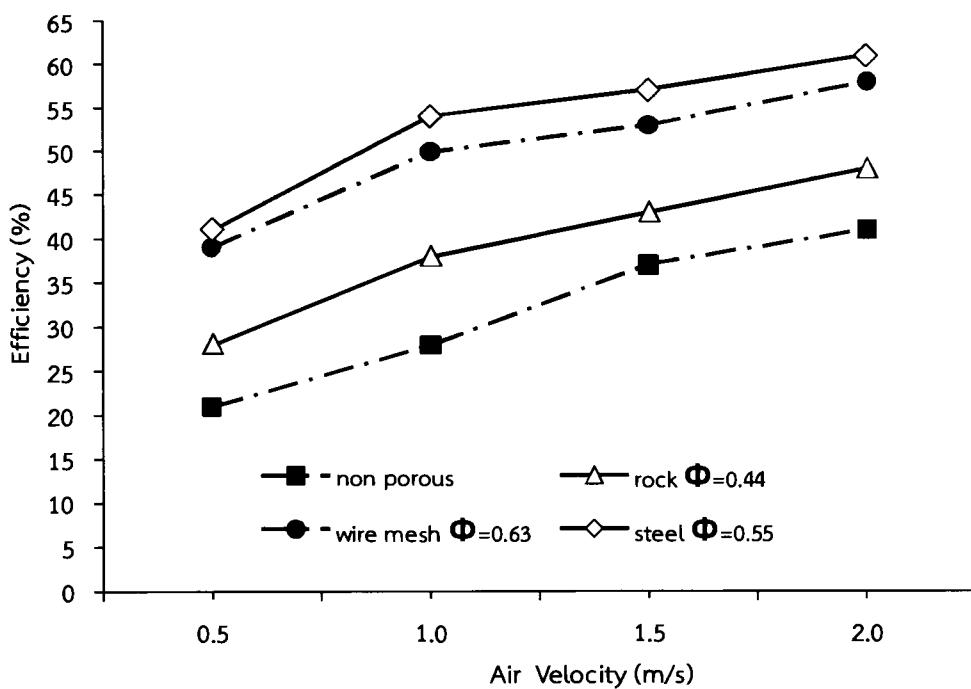
ภาพที่ 4.55 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสี  
ที่ความเข้มของรังสี  $800 \text{ W/m}^2$



ภาพที่ 4.56 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพูนที่ความเข้มของรังสี  $400 \text{ W/m}^2$



ภาพที่ 4.57 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพูนที่ความเข้มของรังสี  $600 \text{ W/m}^2$



ภาพที่ 4.58 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพูนที่ความเข้มของรังสี  $800 \text{ W/m}^2$

#### 4.6 สมการความสัมพันธ์ประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพูน

ในการทดลองหาประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีอาทิตย์จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ แพลงเก็บรังสีกรณีมีวัสดุพูน และกรณีที่ไม่มีวัสดุพูน โดยวัสดุพูนที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพได้ใช้วัสดุพูน 3 ชนิด คือ หินกรวด ตาข่ายสแตนเลส และเศษเหล็ก ซึ่งผลการทดลองจะนำเสนอในรูปของสมการ  $\eta = F_R(\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L(T_i - T_a)}{I_t}$  และกราฟผลการทดลองจะแสดงให้อยู่ในรูปของ

ประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ซึ่งมีรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

ภาพที่ 4.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ในกรณีที่ไม่มีวัสดุพูน ภายใต้ความเข้มของรังสีต่ำระดับคงที่เท่ากับ 400, 600, และ  $800 \text{ W/m}^2$  ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าประสิทธิภาพแพลงเก็บรังสีจะมีค่าลดลงเมื่อผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มของรังสีต่ำระดับที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านแพลงเก็บรังสีมีค่าสูงผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_i - T_a$ ) มีค่า

น้อย จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีมีค่าลดลง เมื่อนำเสนอผลทดลองในรูปของสมการจะได้ดังสมการ (4.1)

$$\eta_{\text{non porous}} = 0.45 - 125.18 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (4.1)$$

จากสมการสามารถอธิบายได้ว่า  $F_R(\tau\alpha)_e$  มีค่ามาก แสดงว่าแ朋เก็บรังสีมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่ออุณหภูมิทางเข้าແ朋เก็บรังสีมีอุณหภูมิเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิแวดล้อม โดยประสิทธิภาพແ朋เก็บรังสีกรณีไม่มีวัสดุพรุนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วน  $F_R U_L$  มีค่าสูง Graf จะมีความซับซ้อนมาก แสดงว่า แ朋เก็บรังสีมีการสูญเสียความร้อนสูง

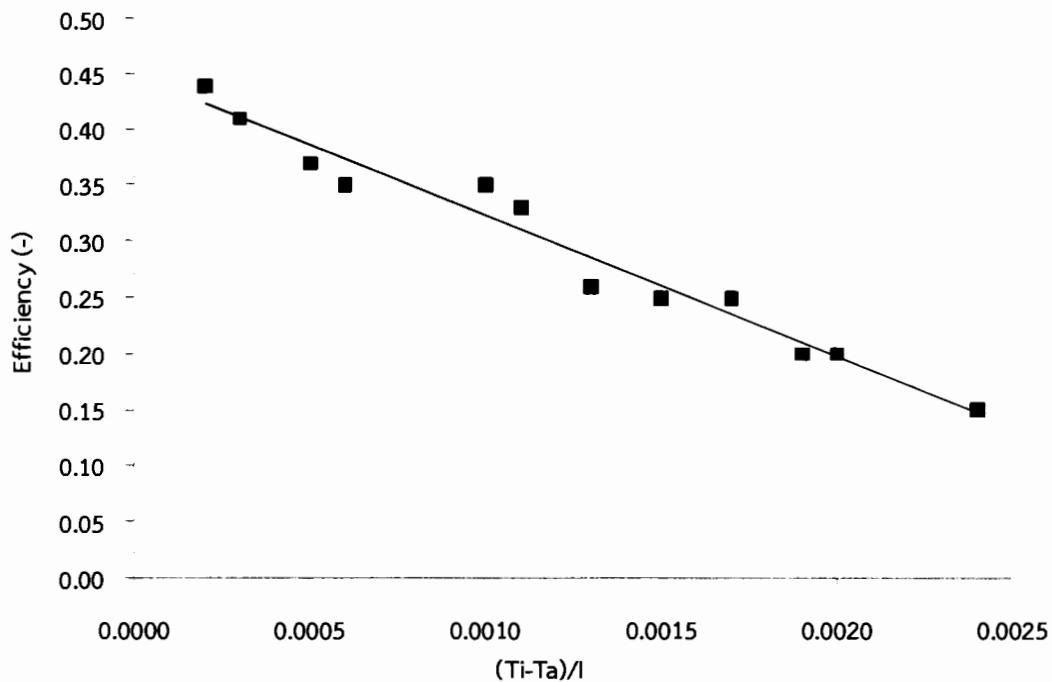
ภาพที่ 4.60 และ 4.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพແ朋เก็บรังสีกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ในกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุนที่ความพรุน 0.44 และ 0.52 ภายใต้ความเข้มของรังสีต่ำกระหบคองที่เท่ากับ 400, 600, 800 W/m<sup>2</sup> ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ประสิทธิภาพແ朋เก็บรังสีที่ความพรุน 0.44 และ 0.52 จะมีค่าลดลง เมื่อผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มของรังสีต่ำกระหบคองเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศเข้า (Ti) เพิ่ม ส่งผลให้ประสิทธิภาพແ朋เก็บรังสีมีค่าลดลง จึงเกิดการสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองสามารถเขียนในรูปสมการแสดงความสัมพันธ์ของ  $\eta$  และค่า  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุน 0.44 และ 0.52 ได้ดังนี้

$$\eta_{\text{rock } \phi=0.44} = 0.51 - 112.11 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (4.2)$$

และ

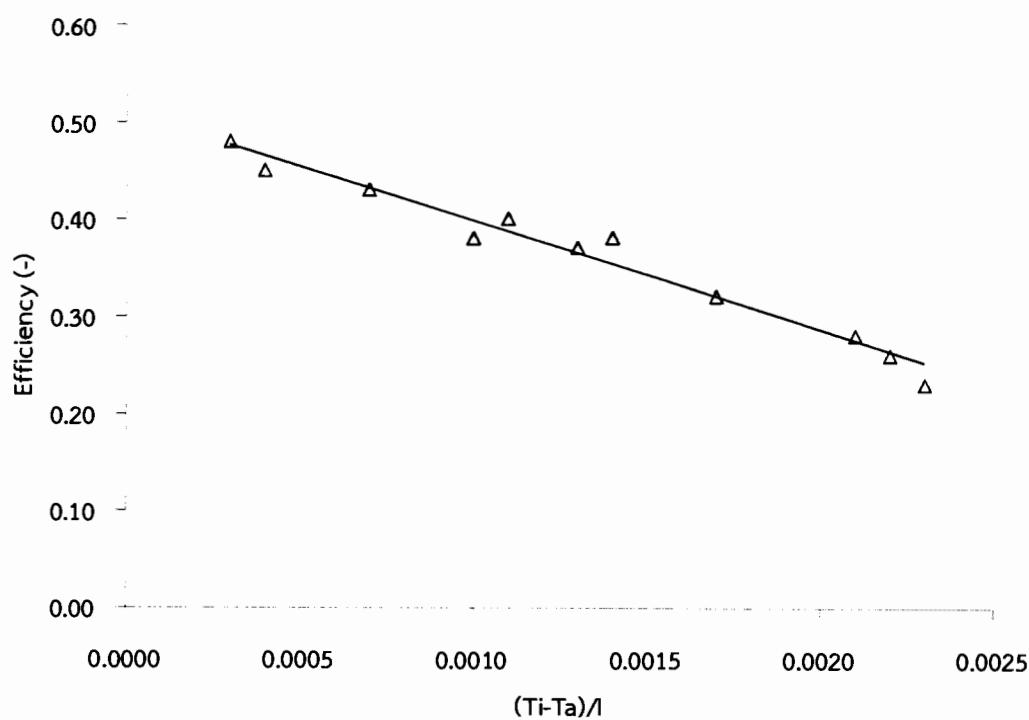
$$\eta_{\text{rock } \phi=0.52} = 0.47 - 118.78 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (4.3)$$

จากสมการพบว่า ประสิทธิภาพແ朋เก็บรังสีที่ความพรุน 0.44 มีค่าเท่ากับ 51 เปอร์เซ็นต์ และที่ความพรุน 0.52 มีประสิทธิภาพແ朋เก็บรังสีเท่ากับ 47 เปอร์เซ็นต์ หากเปรียบเทียบระหว่างແ朋เก็บรังสีที่ความพรุน 0.44 และ 0.52 พบว่า ແ朋เก็บรังสีที่มีความพรุนเท่ากับ 0.44 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ความพรุน 0.52 เนื่องจากวัสดุพรุนที่มีความพรุน 0.44 มีขนาดเล็กจะเกิดช่องว่างน้อย นั่นคือพื้นที่ผิว หรือพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนต่อบริมាពรุน ทำให้วัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนต่ำเกิดการถ่ายเทความร้อนต่อบริมាពรุนได้สูงกว่าวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนสูง เมื่อพิจารณาที่ค่า  $F_R U_L$  พบร้า ແ朋เก็บรังสีที่ความพรุน 0.44 มีการสูญเสียความร้อนต่ำกว่าที่ความพรุน 0.52 ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 4.62



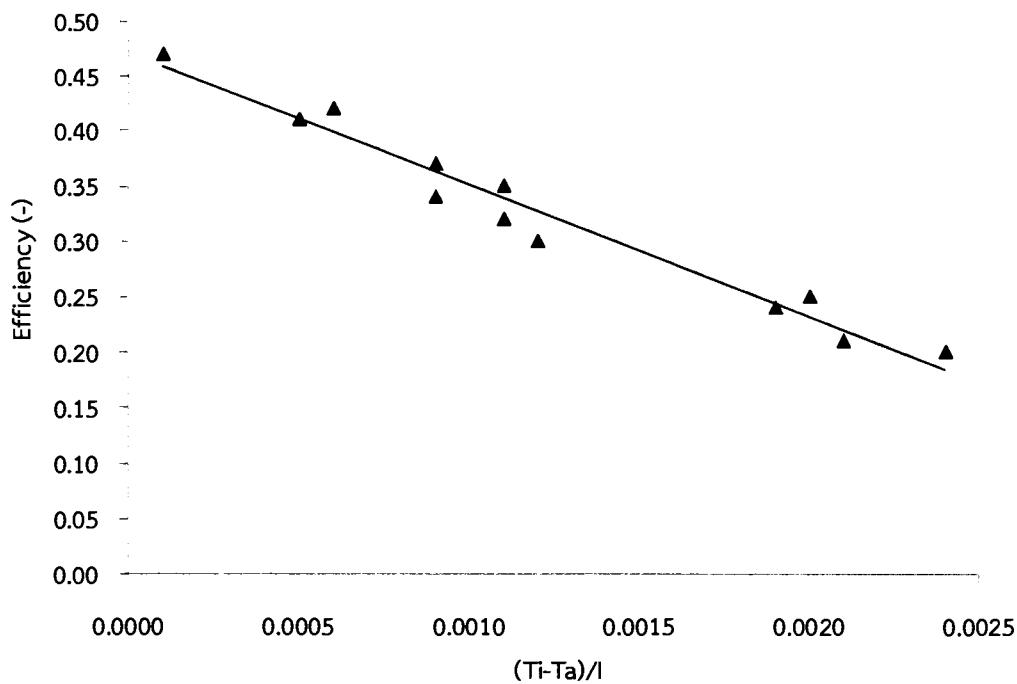
ภาพที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีไม่มีวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$

$$\text{ของอุณหภูมิ} \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$



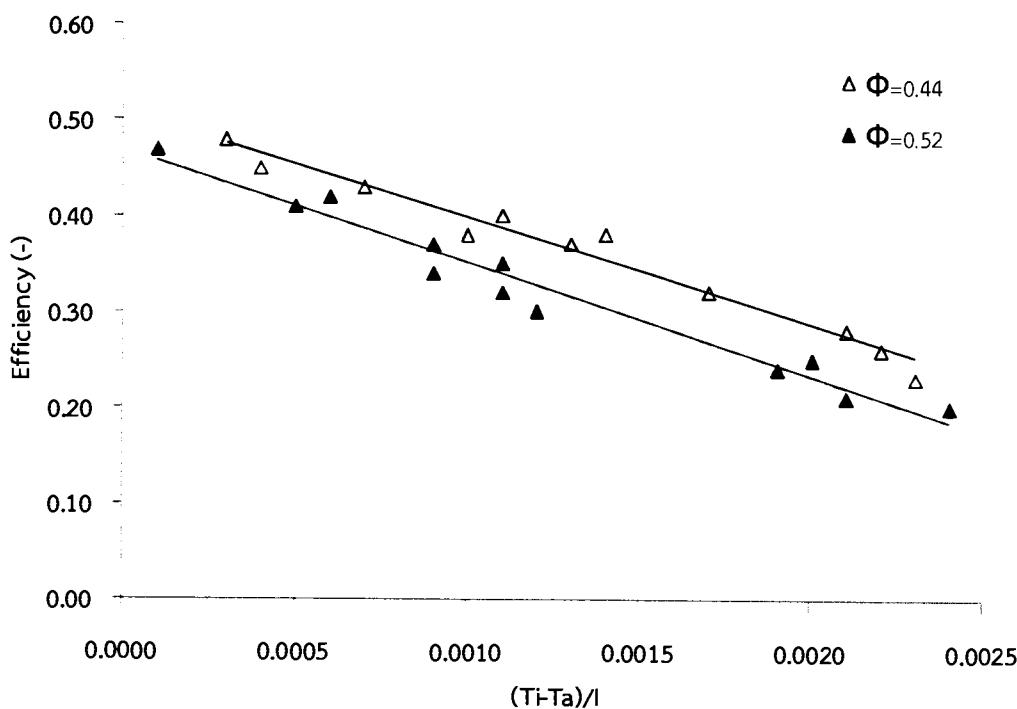
ภาพที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44

$$\text{ของอุณหภูมิ} \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \text{ ที่ความพรุนเท่ากับ } 0.44$$



ภาพที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพແຜງเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพูน

กับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.52



ภาพที่ 4.62 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพແຜງเก็บรังสีกรณีใช้หินกรวดเป็นวัสดุพูน

กับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.44 และ 0.52

ภาพที่ 4.63 และ 4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกับผลต่างของ อุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ในกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพื้นที่ความพรุน 0.63 และ 0.75 ภายใต้ ความเข้มของรังสีต่ำกระเทศคงที่เท่ากับ 400, 600, และ 800 W/m<sup>2</sup> ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จากผลการวิเคราะห์พบว่า กราฟมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถ เขียนในรูปสมการแสดงความสัมพันธ์ของ  $\eta$  และค่า  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุน 0.63 และ 0.75 ได้ ดังนี้

$$\eta_{\text{wire mesh } \phi=0.63} = 0.62 - 107.2 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (4.4)$$

และ

$$\eta_{\text{wire mesh } \phi=0.75} = 0.56 - 110.28 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (4.5)$$

จากสมการพบว่า ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีที่ความพรุน 0.63 มีค่าเท่ากับ 62 เปอร์เซ็นต์ และที่ความพรุน 0.75 มีประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีเท่ากับ 56 เปอร์เซ็นต์ หากเปรียบเทียบระหว่างแห่งเก็บรังสีที่ความพรุน 0.63 และ 0.75 พบร่วมกัน พบว่า แห่งเก็บรังสีที่มีความพรุนเท่ากับ 0.63 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ความพรุน 0.75 เนื่องจากวัสดุพื้นที่มีค่าความพรุนต่ำมีพื้นที่ช่องว่างน้อย นั่นคือ พื้นที่ผิวหรือพื้นที่ดูดซับความร้อนและถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ทำให้ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีที่ความพรุน 0.63 มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ความพรุน 0.75 ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 4.65

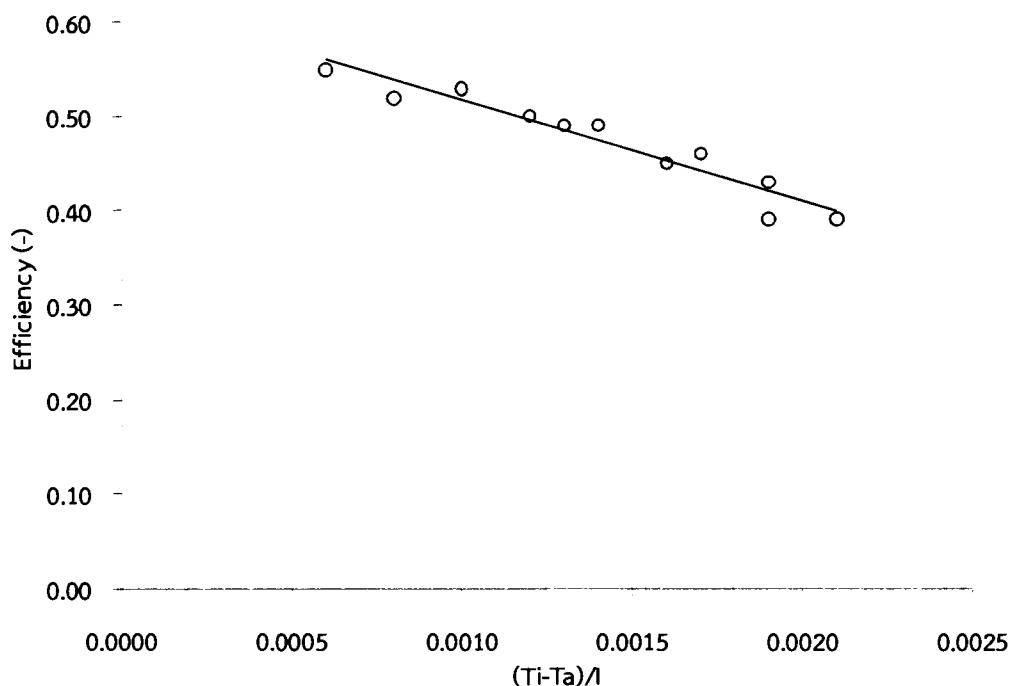
ภาพที่ 4.66 และ 4.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกับผลต่างของ อุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ในกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพื้นที่ความพรุน 0.55 และ 0.64 ภายใต้ความเข้ม ของรังสีต่ำกระเทศคงที่เท่ากับ 400, 600, 800 W/m<sup>2</sup> ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จากผลการวิเคราะห์พบว่า กราฟมีแนวโน้มเดียวกันกับกรณีที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งสามารถเขียนในรูป สมการแสดงความสัมพันธ์ของ  $\eta$  และค่า  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุน 0.55 และ 0.64 ได้ดังนี้

$$\eta_{\text{steel } \phi=0.55} = 0.65 - 101.22 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (4.6)$$

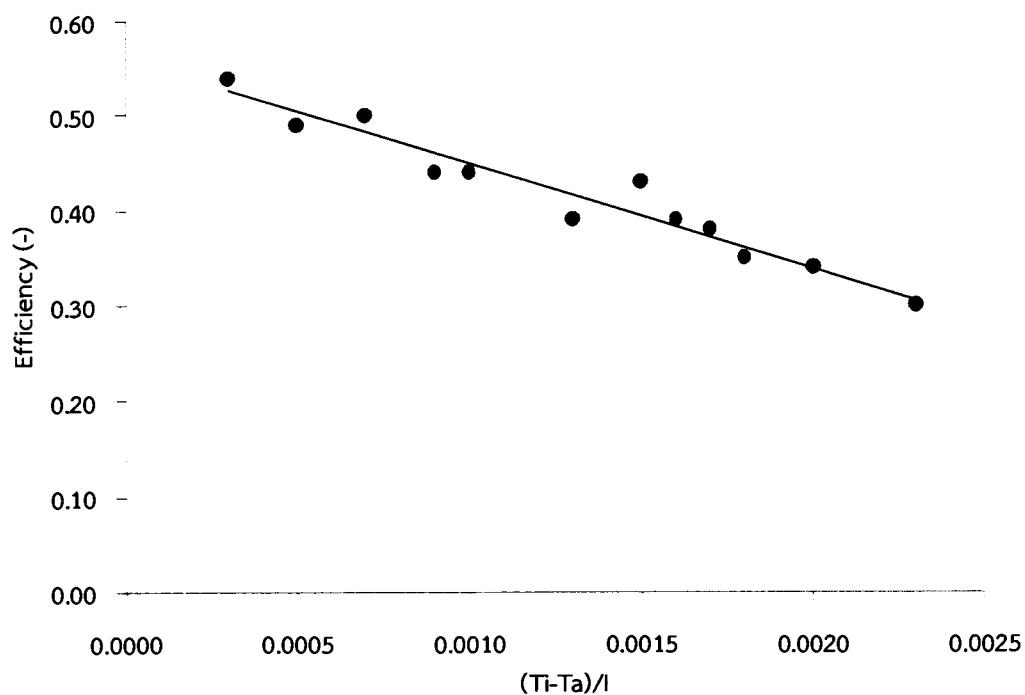
และ

$$\eta_{\text{steel } \phi=0.64} = 0.61 - 108.27 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \quad (4.7)$$

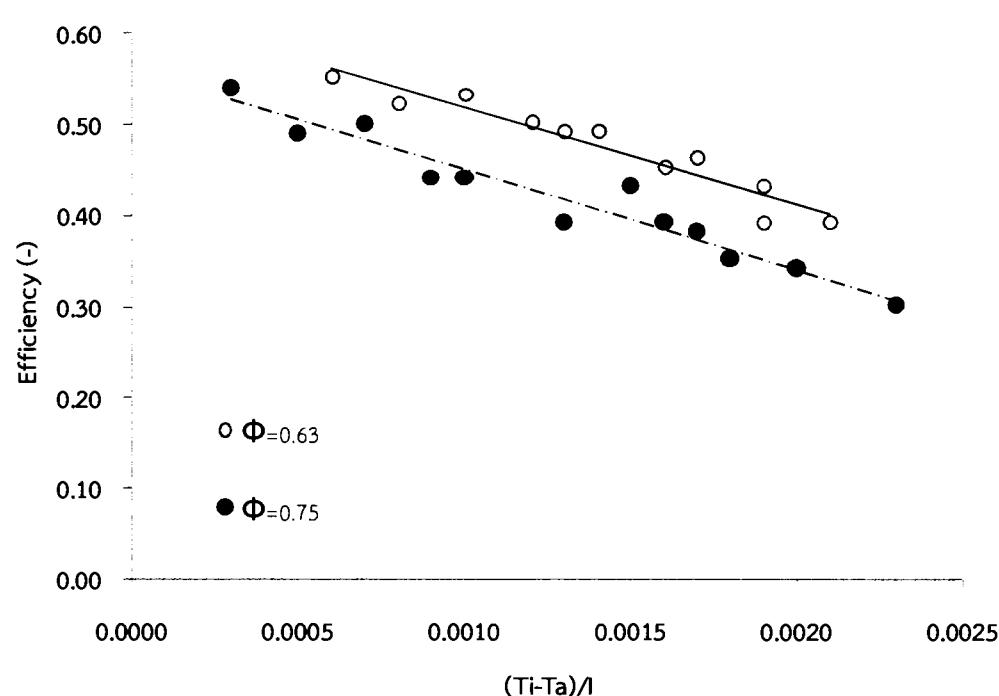
จากสมการพบว่า ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีที่ความพรุน 0.55 มีค่าเท่ากับ 65 เปอร์เซ็นต์ และที่ความพรุน 0.64 มีประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์ หากเปรียบเทียบระหว่างแห่งเก็บรังสีที่ความพรุน 0.55 และ 0.64 พบร้า ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีมีลักษณะเดียวกันกรณีที่ผ่านมา คือ ประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความพรุนลดลงดังภาพที่ 4.68 หากพิจารณาค่าการสูญเสียความร้อน พบร้า ทั้งสองความพรุนมีการสูญเสียความร้อนใกล้เคียงกัน



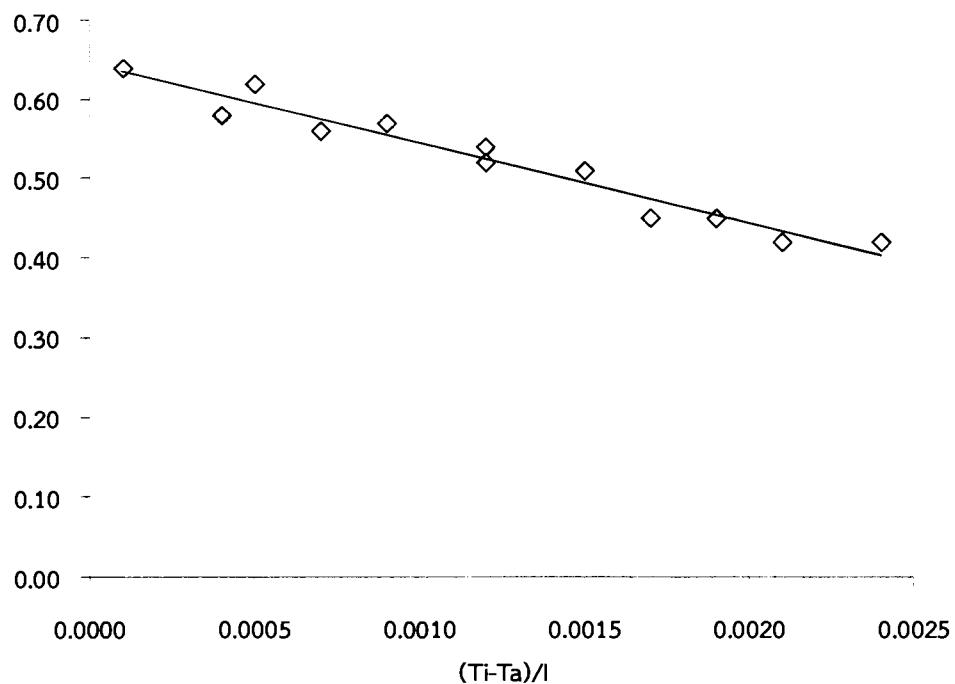
ภาพที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีกรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.63



ภาพที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีใช้ตัวข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.75

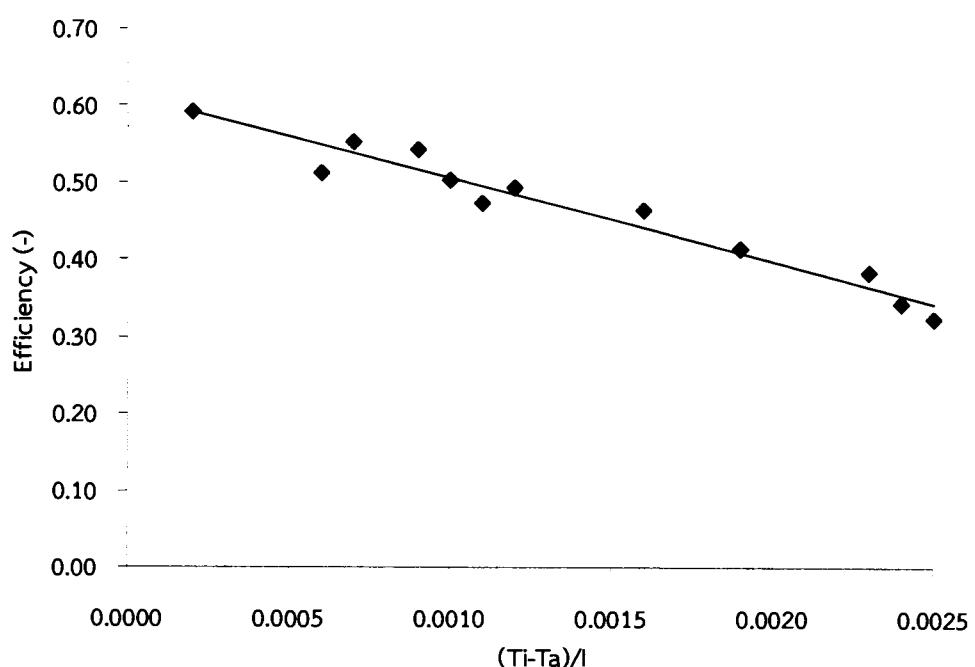


ภาพที่ 4.65 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีใช้ตัวข่ายสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.63 และ 0.75



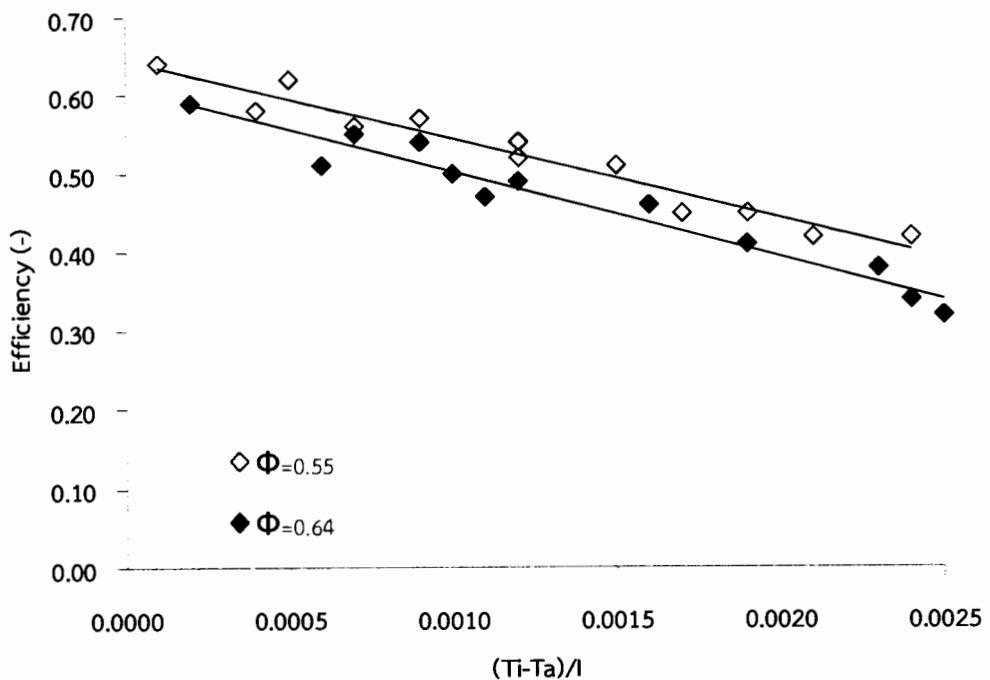
ภาพที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพูน

กับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55

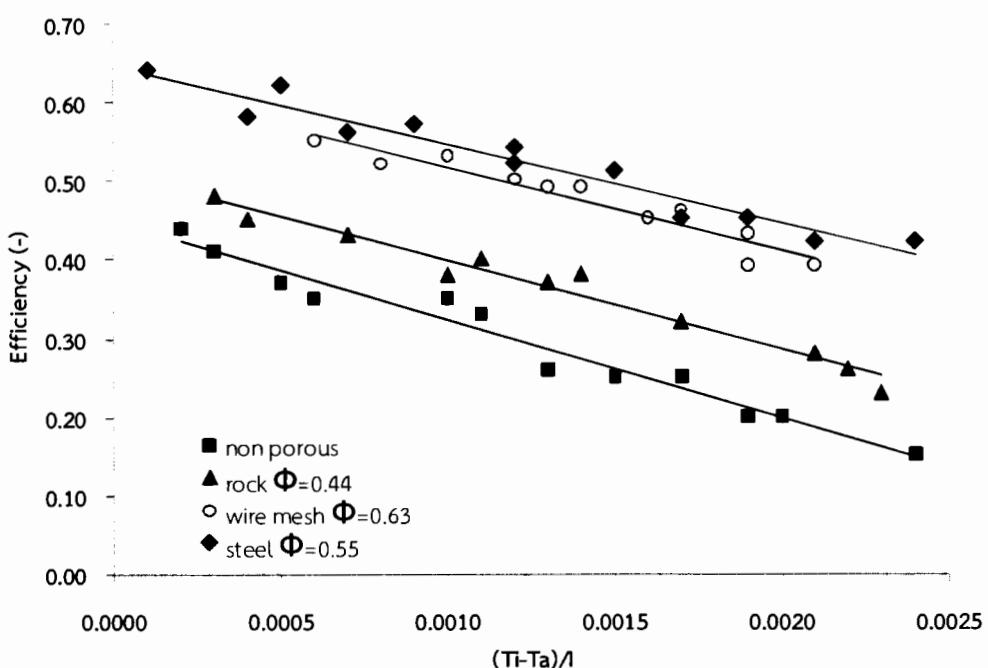


ภาพที่ 4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพูน

กับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.64



ภาพที่ 4.68 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ที่ความพรุนเท่ากับ 0.55 และ 0.64



ภาพที่ 4.69 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแพงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพรุนกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$

เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 4 กรณี ได้แก่ แผงเก็บรังสีกรณีไม่มีวัสดุพื้น กรณีใช้หินกรวดที่ความพรุน 0.44 กรณีใช้ตาข่ายสแตนเลสที่ความพรุน 0.75 และกรณีใช้เศษเหล็กที่ความพรุน 0.55 มาเขียนกราฟ จะได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.69 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีมีและไม่มีวัสดุพื้นกับผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ภายใต้ความเข้มของรังสีต่กระยะที่เท่ากับ 400, 600, 800 W/m<sup>2</sup> ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s จากภาพที่ 4.69 พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีจะมีค่าลดลงเมื่อผลต่างของอุณหภูมิ  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มของรังสีต่กระยะที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศที่หล่อผ่านแผงเก็บรังสีมีค่าสูงผลต่างของอุณหภูมิ (Ti-Ta) มีค่าน้อย จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีมีค่าลดลง จากผลการทดลองสามารถเขียนในรูปสมการแสดงความสัมพันธ์ของ  $\eta$  และค่า  $\left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$  ได้ดังนี้

$$\eta_{\text{non porous}} = 0.45 - 125.18 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{rock } \phi=0.44} = 0.51 - 112.11 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

$$\eta_{\text{wire mesh } \phi=0.63} = 0.62 - 107.2 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

และ

$$\eta_{\text{steel } \phi=0.55} = 0.65 - 101.22 \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right)$$

ผลจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

$$\eta = F_R (\tau \alpha)_e - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{I_t}$$

$$\eta = A - BX$$

$$A = F_R (\tau \alpha)_e$$

$$B = F_R U_L$$

$$X = \left( \frac{T_i - T_a}{I_t} \right)$$

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลอง

รายการ	$\phi$	A	B
กรณีไม่มีวัสดุพูน	-	0.45	125.18
หินกรวด	0.44	0.51	112.11
	0.52	47	118.78
ตาข่ายสแตนเลส	0.63	0.62	107.2
	0.75	0.56	110.28
เศษเหล็ก	0.55	0.65	101.22
	0.64	0.61	108.27

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วัสดุพรุน 3 ชนิด คือ ตาข่ายสแตนเลส เศษเหล็ก และหินกรวด มีค่าความพรุนในช่วง 0.4-0.8 โดยได้ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขความเข้มของรังสีในช่วง  $400\text{-}1000 \text{ W/m}^2$  ที่ความเร็วลม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s สามารถสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะได้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกแ朋เก็บรังสีจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มของรังสีเพิ่มในขณะเดียวกันเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นผลต่างของอุณหภูมิจะมีค่าลดลง

5.1.2 ประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีและความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น สำหรับทุกๆ กรณี

5.1.3 วัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนต่ำจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนสูง

5.1.4 การใส่วัสดุพรุนในแ朋เก็บรังสีเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งวัสดุพรุนจะดูดซับความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศในรูปของการพา และการแผรังสี จากการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีที่มีและไม่มีวัสดุ พบร้า ประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีที่มีวัสดุพรุนมีค่าสูงกว่าแ朋เก็บรังสีที่ไม่มีวัสดุพรุน โดยชนิดของวัสดุพรุนที่ทำให้ประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีสูงสุดคือ เศษเหล็ก รองลงมาคือ ตาข่ายสแตนเลส และหินกรวด ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 61, 58 และ 48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขความเร็วลม 2.0 m/s และความเข้มแสงเท่ากับ  $800 \text{ W/m}^2$

5.1.5 จากผลการศึกษาสมการความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีกรณีที่มีและไม่มีวัสดุพรุน พบร้า ประสิทธิภาพแ朋เก็บรังสีกรณีมีวัสดุพรุนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีไม่มีวัสดุพรุน นอกจากนั้นยังพบอีกว่าการใช้เศษเหล็กเป็นวัสดุพรุนทำให้แ朋เก็บรังสีมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และมีการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุดซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Hottel-Whillier-Bliss

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีความสมบูรณ์และครอบคลุมมากยิ่งขึ้น ในอนาคตควรมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขอื่นๆ เช่น

5.2.1 การเลือกวัสดุพรุนมาใช้เพื่อการถ่ายเทความร้อน ควรพิจารณาถึงความดันตากคร่อมที่อาจเกิดขึ้นด้วย ถึงแม้ว่าแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพรุนจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้เกิดความดันตากคร่อมที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

5.2.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้วัสดุพรุนที่มีโครงสร้างหรือวัสดุพรุนชนิดอื่นเพื่อใช้ในการศึกษาผลของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี

เอกสารอ้างอิง

## เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). “สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย”, สรุปสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ไตรมาสที่ 1/2557.  
[http://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=42087&filename=index](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42087&filename=index).  
 6 ตุลาคม, 2558.
- กนกกาญจน์ ว่องวัชรพร. “หัวเผาวัสดุพูนสมรรถนะสูง”, Princess of Naradhiwas University Journal. 5(1): 109-123; มกราคม-เมษายน, 2556.
- กฤษา เหวี่ยมไฟศาล. อิทธิพลของวัสดุพูนกลวงในการส่งเสริมการพากความร้อนในท่อหง  
กระบอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.
- จันจิตร หรัญญา. กระบวนการผลิตและการทดสอบอาชีวศึกษา. กรุงเทพมหานคร:  
คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.
- ชัยวัฒน์ นิยมการ. แผงรับแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร  
บัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2523.
- ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์ และบัณฑิต กฤตตาม. “การศึกษาอิทธิพลของวัสดุพูนตัวแปรร่วมสีต่อการเผ  
าใหม่ของหัวพ่นไฟชนิดวัสดุพูนโดยใช้เชื้อเพลิงเหลว”, ใน การประชุมวิชาการเครือข่าย  
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25. น. AEC03. ประจำปี: โรงเรียนอ่าววนาง  
วิลล่า, 2548.
- ณัฐนี วรยศ วิภาวดี วงศ์สุวรรณ และท่านงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. “การพัฒนาระบบท่าน้ำร้อน  
แสงอาทิตย์ในประเทศไทย”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 16(2):  
 55-69, 2552.
- ศิริวรรณ กล้าหาญ, ศิริชัย เทพฯ, รุ่งโรจน์ วงศ์ประกอบ และสงบ ข้าสกฯ. “การทดสอบตัวเก็บรังสี  
อาทิตย์แผ่นราบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 899-2532) ภายใต้ระบบ  
แสงอาทิตย์เทียม”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 29(3): 413-414; กรกฎาคม-  
กันยายน, 2549.
- นักสิทธิ์ คุ้วมนา. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพมหานคร: พิสิกส์เซ็นเตอร์, 2553.
- บัณฑิต กฤตตาม. “หัวพ่นไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพูนในหัวพ่นไฟ”, Engineering  
Journal of Siam University. 12(22): 82-83, 2554.
- พฤทธิ์ มาเนตร และคณะ. “การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์”,  
ใน การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1. น. RE06-2.  
ชลบุรี: โรงเรียนอุ่นบ้านชาเดอร์ ชีตี้ จอมเทียน, 2548.

### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- พิพัฒน์ ออมตฉaya และ บันทิต กฤตากม. รายงานการวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หินดู  
ปลาเป็นวัสดุพูนในเตาเผา. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน,  
2548.
- A. A. Mohamad. "High efficiency solar air heater", **Solar Energy**. 60(2): 71 - 76, 1996.
- Ahmad Fudholi and et al. "Analytical and experimental studies on the thermal  
efficiency of the double-pass solar air collector with finned absorber",  
**American Journal of Applied Sciences**. 8(7): 716-723, 2011.
- Ajay Kumar Kapardar and Dr. R. P. Sharma. "Experimental Investigation of solar air  
heater using porous media", **International Journal of Mechanical  
Engineering and Technology (IJMET)**. 3(2): 387-396, 2012.
- A. Kolb, E. R. F. Winter and R. Viskanta. "Experimental studies on a solar air collector  
with metal matrix absorber", **Solar Energy**. 65(2): 91 - 98, 1998.
- Bashria A, A. Yousef and Adam N. M. K Sopian, A. Zaharim and M. Alghoul. "Analysis  
of single and double passes v-grooves solar collector with and without  
porous media", **International Journal of Engineering and environment**.  
1(2): 109 - 114, 2007.
- BAA Yousef and NM Adam. "Performance analysis for flat plate collector with and  
without porous media", **Journal of Energy in Southern Africa**. 19(4) :  
32 - 42, 2009.
- Duffie A.J. and W.A. Beckman. **Solar Engineering and Thermal Process**. 2<sup>nd</sup> ed.  
New York: John Wiley & Sons, 1991.
- Deniz Alta, Emin Bilgili and C.Ertekinand Osman Yaldiz. "Experimental investigation of  
three different solar air heaters energy and exergy analyses", **Applied  
Energy**. 87(10): 2953 – 2973, 2010.
- K. Sopian, Suprantob, W.R.W. Daudb and M.Y. Othmancand B. Yatim. "Thermal  
performance of the double-pass solar collector with and without porous  
media", **Renewable Energy**. 18(4): 557 - 564, 1999.

### ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- K. Sopian, M.A. Alghoul, Ebrahim M. Alfegi, M.Y. Sulaiman and E.A. Musa. “Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous–nonporous media”, **Renewable Energy**. 34(3): 640 – 645, 2009.
- Md Azharul Karim and M.N.A. Hawlader. “Performance evaluation of a v-groove solar air collector for drying applications”, **Applied Thermal Engineering**. 26(1): 121–130, 2006.
- M. Mayerhofer, J. Govaerts, N. Parmentier, H. Jeanmart and L. Helsen. “Experimental investigation of pressure drop in packed beds of irregular shaped wood particles”, **Powder Technology**. 205(1): 30 – 35, 2011.
- M.K. Lalji, R.M. Sarviya and J.L. Bhagoria. “Experimental Investigations on packed bed solar air heater”, **Current World Environment**. 6(1): 151 - 157, 2011.
- Paisarn Naphon and Bancha Kongtragool. “Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat-plate solar air heaters”, **Int. Comm. Heat Mass Transfer**. 30(8): 1125 - 1136, 2003.
- Paisarn Naphon. “Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater”, **International Communications in Heat and Mass Transfer**. 32(1): 140 – 150, 2005.
- P T Saravanakumar and K Mayilsamy. “Forced convection flat plate solar air heaters with and without thermal storage”, **Journal of Scientific & Industrial Research**. 69(12): 966-968, 2010.
- P. Velmurugan and P. Ramesh. “Evaluation of thermal performance of wire mesh solar air heater”, **Indian Journal of Science and Technology**. 4(1): 12-14, 2011.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ลักษณะการวางแผนดุพรุน

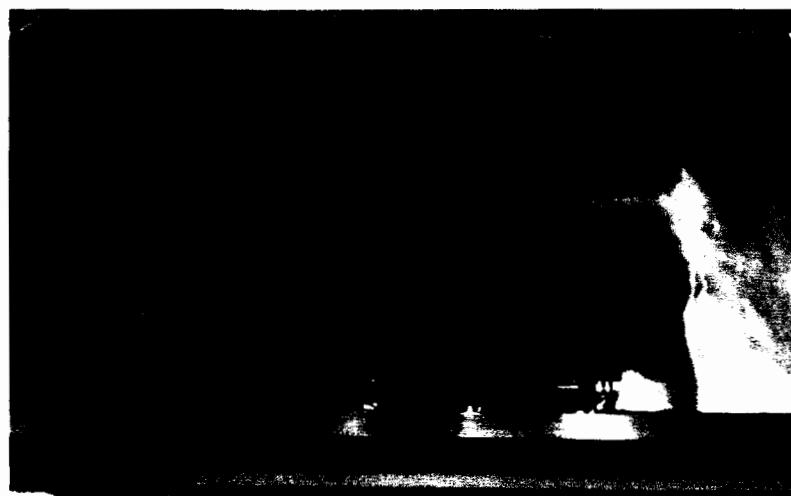
การวางวัสดุพูนในแผงเก็บรังสีจะมีลักษณะการวางดังภาพที่ ก.1-ก.4 ซึ่งในภาพจะวางไว้ตระหง琅  
แผงเก็บรังสีระหว่างทางเข้าและทางออกแผงเก็บรังสี



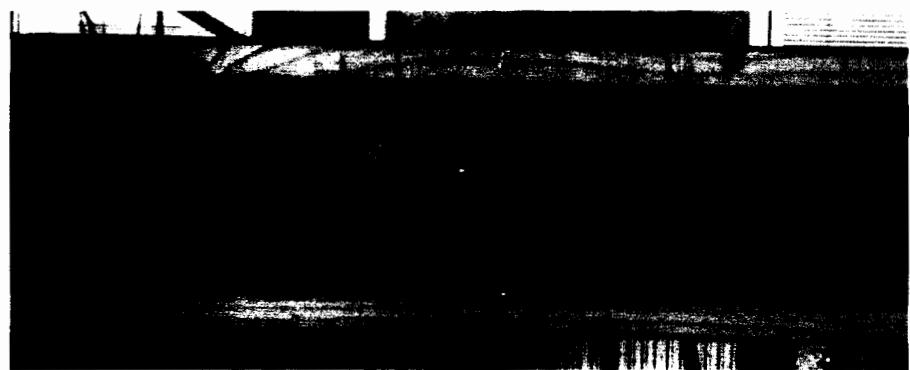
ภาพที่ ก.1 ลักษณะการวางตามข่ายสแตนเลสในแผงเก็บรังสี



ภาพที่ ก.2 ภาพตัดขวางลักษณะการวางตามข่ายสแตนเลสในแผงเก็บรังสี



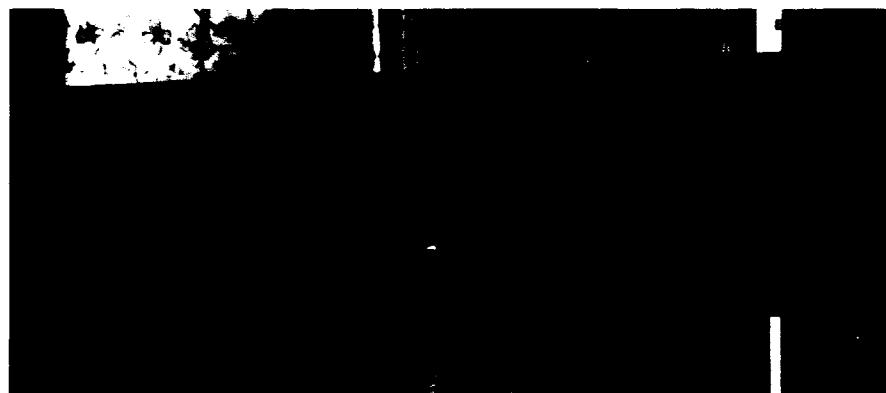
ภาพที่ ก.3 ลักษณะการวางแผนเก็บรังสี



ภาพที่ ก.4 ภาพตัดขวางลักษณะการวางแผนเก็บรังสี



ภาพที่ ก.5 ลักษณะการวางหินกรวดในแผงเก็บรังสี



ภาพที่ ก.6 ภาพตัดขวางลักษณะการวางหินกรวดในแผงเก็บรังสี

ภาคผนวก ข  
รายการบทความวิจัย

## ผลของวัสดุพูรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีแบบราบเรียบ

### Effect of Porous Media on Efficiency of Flat Plate Solar Collector

บุษราพร นาถมงคล<sup>1</sup>, อภินันต์ นามเขต<sup>2</sup>, อ้าไพฑักษ์ พิมุขยามา<sup>3</sup>

Bussaraporn Nathomtong, Apinunt Namkhat, Umphisak Teeboonma

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุพูรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีแบบราบเรียบ โดยใช้ต้นตู้ปลาเป็นวัสดุพูรุน และทำการศึกษาภายในได้เงื่อนไข รังสีตกกระทบ 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> ความเร็วลมอยู่ในช่วง 1.0-3.0 m/s และความพรุนของวัสดุเท่ากับ 0.4 - 0.6 สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบแผงเก็บรังสี กรณีมีและไม่มีวัสดุพูรุน คือ ประสิทธิภาพเรื่องความร้อนแผงเก็บรังสี

ผลจากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความชื้นของรังสีตกกระทบเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพูรุนจะมีประสิทธิภาพเรื่องความร้อนสูงกว่าแผงเก็บรังสีที่ไม่มีวัสดุพูรุนโดยเฉลี่ย 4-6 เปอร์เซ็นต์

**คำสำคัญ:** ประสิทธิภาพเรื่องความร้อน / แผงเก็บรังสีแบบราบเรียบ / วัสดุพูรุน

#### Abstract

The objective of this research was to study the effect of porous media on efficiency of flat plate solar collector. In this work, the pebble was selected as porous material. The experiments were carried out the following conditions: solar radiation of 400, 600 and 800 W/m<sup>2</sup>, air velocity of 1.0-3.0 m/s and material porosity ranging of 0.4 - 0.6. The criteria used to comparatively study the solar collector with and without porous media was thermal efficiency of solar collector.

It was found that temperature difference between inlet and outlet of solar collector increases with increment of solar radiation. Furthermore, the thermal efficiency of solar collector with porous media was approximately 4-6% higher than that of the collector without porous media.

**Keywords:** Thermal efficiency, Flat plate solar collector, Porous media

#### บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงาน ดังนั้นพลังงานอิฐปืนเป็นปัจจัยสำคัญและมีความสำคัญในการนำมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบห้ามความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ก็เป็นการใช้

ประโยชน์จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และไม่มีต้นทุนค่าใช้จ่าย ซึ่งแผงเก็บรังสีแบบแผ่นรูปเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่

<sup>1</sup>นักศึกษาปริญญาโท อาจารย์ <sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชิตาภรณ์ศรีชากล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

<sup>3</sup>Master degree student <sup>4</sup>Lecturer <sup>5</sup>Assist. Prof. Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Ubonratchathani University Ubonratchathani 34190 Thailand

ได้สามารถอ่านไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการการด่างๆ ได้ เช่น ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ใช้ ผลิตน้ำร้อน การเพิ่มความร้อนภายในอาคาร และ การใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ อย่างไรก็ตามแห้งเก็บรังสีประเกคนี้ก็มีปัญหาหลักๆ คือ จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ เพราะการพาน้ำถูกดึงความร้อนซึ่งเป็นผลมาจากการอิทธิพลของอากาศ แนวล้อมและลมที่พัดผ่าน จึงเป็นผลทำให้เกิดการพานความร้อนที่เพิ่มผิดด้านของแห้งเก็บรังสีไปยังภาวะ แนวล้อม จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดโดยการนำเอาวัสดุพูรณะประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ แห้งเก็บรังสี ซึ่งวัสดุพูรณะมีลักษณะเด่น คือ อัตราส่วน ระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสถือปัจจาระสูง และค่าการนำ ความร้อน (Conductivity) ของวัสดุพูรณะค่าสูงกว่าค่า การนำความร้อนของของไอล ซึ่งจะส่งผลให้มีค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน สูง นอกจากนี้วัสดุพูรณะมีความสามารถในการ เปลี่ยนรูปคล่องแคล่ว ความร้อนระหว่างการพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ได้เป็นอย่างดี

จากลักษณะเด่นของวัสดุพูรณะดังกล่าวจึงมี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุพูรณะในการเพิ่ม ประสิทธิภาพแห้งเก็บรังสี Mohamad<sup>1</sup> ได้นำเสนอแนว ทางการลดความร้อนที่ถูกดึงมาจากกระบวนการ แห้งเก็บรังสีอาทิตย์โดยการนำวัสดุพูรณะมาใช้แทนที่ แห่งนวัตกรรมรังสี จากการศึกษาพบว่า การนำวัสดุพูรณะ นาใช้ในแห้งเก็บรังสีจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ต่oma Kote<sup>2</sup> และค่า<sup>3</sup> ได้ ศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของแห้งเก็บรังสีด้วย ผิวนวัตกรรมรังสีแบบ Matrix จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไอลเรือง มวลเพิ่มขึ้น Sopian<sup>4</sup> และค่า<sup>5</sup> ได้ทำการศึกษา ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแห้งเก็บรังสีแบบ ไอลวงกลับของอากาศระหว่างมีและไม่มีวัสดุพูรณะ

โดยวัสดุพูรณะที่เลือกไว้ในการศึกษา คือ ฟอยล์เหล็ก (Foil wool) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการ ของช่องว่างระหว่างกระอกกับแผ่นนวัตกรรมรังสีอยู่ ในช่วง 3.5-10.5 cm. และช่องว่างระหว่างแผ่นนวัตกรรม กับแผ่นรองรับด้านล่างอยู่ในช่วง 7.0-14.0 cm. ที่ อัตราการไอลเรืองมวล 0.03-0.07 kg/s ผลจาก การศึกษาพบว่าแห้งเก็บรังสีที่มีวัสดุพูรณะทำให้ ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจะ ของช่องว่างมีขนาดเล็กที่อัตราการไอลเรืองมวล มากกว่า 0.05 kg/s และแห้งเก็บรังสีที่มีวัสดุพูรณะมี ประสิทธิภาพสูงกว่าแห้งเก็บรังสีแบบธรรมดากว่า 20-70 เปอร์เซ็นต์ Yousef<sup>6</sup> และ Adam<sup>7</sup> ได้ ทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความดัน ต่อกรอมของแห้งเก็บรังสีระหว่างมีและไม่มีวัสดุพูรณะ โดยทดลองเปรียบเทียบแห้งเก็บรังสี 3 แบบ คือ แบบ การไอลทางเดียว แบบการไอลวนกลับ และแบบการ ไอลวนกลับที่มีวัสดุพูรณะ วัสดุพูรณะที่เลือกไว้ใน การศึกษา คือ ไม้แก้ว (Glass wool) มีความพูน 0.80 จากการศึกษาพบว่า แห้งเก็บรังสีแบบไอลวนกลับมี ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบการไอลทางเดียวประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใส่วัสดุพูรณะจะทำให้ ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบไม่ใส่วัสดุพูรณะที่ 8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากวัสดุพูรณะจะช่วยเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความ ร้อนจึงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นแต่ก็ ส่งผลให้ความดันต่อกรอมเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน Saravananakumar<sup>8</sup> และ Mayilsamy<sup>9</sup> ได้ศึกษาและ ทดสอบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแห้ง เก็บรังสีอาทิตย์ที่มีและไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อน โดยการทดสอบนี้จะศึกษาวัสดุเก็บสะสมความร้อน 4 ชนิด ได้แก่ ทราย กรวด กรวดที่มีเศษเหล็ก และกรวด ที่มีเศษเหล็ก จากการทดสอบพบว่า แห้งเก็บรังสี อาทิตย์ที่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนจะมีประสิทธิภาพ สูงกว่ากรณีที่ไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนและกรวดมี เศษเหล็กจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด และยังพบอีกว่า

ในช่วงรังสีต่ำกระแทกสูงสุด  $900 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิ  
ทางออกและประดิษฐิภาพของแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุเก็บ  
สะสมความร้อนมีค่าสูงกว่าแบบที่ไม่มีวัสดุเก็บสะสม  
ความร้อนประมาณ 10-20 เทอร์ซันด์

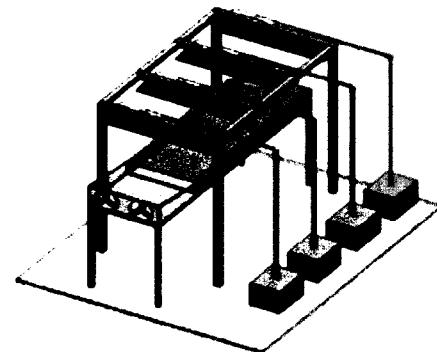
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของวัสดุพื้นที่มี  
ต่อประดิษฐิภาพแผงเก็บรังสีเพื่อเป็นแนวทางในการ  
ประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดทดลองแผงเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อใช้  
ในการศึกษาผลของวัสดุพื้นที่มีต่อประดิษฐิภาพแผง  
เก็บรังสีแบบผ่านเรียบดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยมี  
รายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการทดลองดังนี้

#### อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงชุดทดลองแผงเก็บรังสีอาทิตย์แบบผ่าน  
เรียบมีขนาดกว้าง 0.50 m. และยาว 1 m. โดยตัว  
โครงสร้างของแผงเก็บรังสีทำจากไม้ ผังด้านบนปิด  
ด้วยกระบอกไส้ทอน 3 mm. ผังด้านล่างทำจาก  
อลูมิเนียมหนา 5 mm. พร้อมทั้งหุ้มด้านหน้า 3 cm.  
เพื่อลดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศภายนอก  
ติดตั้งหัวต่อมดูดอากาศที่ทางออกแผงเก็บรังสี และ  
หลอดตาپอร์ตไฮด्रอกซิไซด์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงแห้งแกนการ  
รับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงซึ่งสามารถบันทุณความ  
เข้มแสงได้ ส่วนของวัสดุพื้นที่ใช้ต่อพื้นดินดูบลา โดยจะ  
วางไว้บนผืนดูดกลืนรังสี ต่ำหัวรับเครื่องมือวัด  
ประกอบด้วย เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ เครื่อง  
บันทึกข้อมูลยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL800 ที่มีค่า  
ความถูกต้อง  $\pm 2\%$  ใช้ต่ำหัวรับบันทึกผลอุณหภูมิของ  
อากาศแวดล้อม อุณหภูมิของอากาศทางเร้า-ออก และ  
ภายในแผงเก็บรังสีโดยต่อเข้ากับสายเทอร์โมคันเนกต์  
ชนิด เค และเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบ  
คาดความร้อน ยี่ห้อ Tesco รุ่น 425 ที่มีค่าความ  
ถูกต้อง  $\pm 0.01 \text{ m/s}$  ใช้ต่ำหัวรับวัดความเร็วลมของ  
อากาศ



รูปที่ 1 ชุดทดลองแผงเก็บรังสีอาทิตย์

#### วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ  
การทดลองแผงเก็บรังสีแบบผ่านเรียบและแบบที่มี  
วัสดุพื้นที่ ตามลักษณะ ซึ่งวัสดุพื้นที่ถูกใช้ในแผงเก็บ  
รังสี เริ่มต้นการทดลองด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ  
จากนั้นเปิดทดลองปอร์ตไฮด์และปรับความเข้มแสงให้  
มีค่าคงที่ด้วยอุปกรณ์หรือก้าลังไฟฟ้า เท่ากับ 400, 600  
และ  $800 \text{ W/m}^2$  (เป็นยานความเข้มพลังงาน  
แสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ติดตั้งกระแทกสูงสุดในแต่ละรอบ  
วัน) ทำการวัดปริมาณความเข้มแสงที่ติดตั้งใน  
แนวตั้งจากกับพื้นที่ทางของแผ่นบนผืนกระบอก โดยที่  
ตัวแทนในการวัดเพื่อให้ได้ค่าความเข้มแสงที่ใช้ใน  
การศึกษาคือ ตัวแทนด้านบนของแผ่นกระบอก  
หลังจากนั้นเปิดต่อตั้งอุณหภูมิอากาศให้ได้ความเร็วลม  
เท่ากับ  $1-3 \text{ m/s}$  ตามลักษณะ ในการทดลองจะทำการ  
บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตัวแทนต่างๆ  
ทุกๆ 1 นาที โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ทำการทดลองจนกระทั่งอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง  
การหาค่าความพรุน

วิธีการหาค่าความพรุน ( $\text{Porosity, } \varepsilon$ )<sup>12</sup> มีขั้นตอนดังนี้  
นำวัสดุพื้นที่มีดกอนอัดแน่น (กินดูป่า) ใส่ลงใน  
ในภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอนเดิมภาชนะ หลังจาก  
นั้นเติมน้ำให้เต็มภาชนะหรือถึงระดับผิวน้ำวัสดุ  
พรุน ทิ้งไว้เพื่อให้น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพรุนแล้วเท

น้ำออกจากภาชนะ จากนั้นดูว่ามีก๊อกเกอร์ แล้วทำการเดินผ่านก๊อกครึ่งไฟเดิมภาชนะจะดึงระดับผิวน้ำบนของวัสดุพูนยานค่าปริมาตรน้ำที่เดินลงไปจากบิกเกอร์ บิริมาตรน้ำที่เดินลงไปนี้คือ บิริมาตรซ่องว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (Void-space volume,  $V_v$ ) น่าค่าปริมาตรน้ำที่หารด้วยบิริมาตรภายในภายนอกค่าความพูน ( $\varepsilon$ ) ได้จากการที่ (1)

$$\text{Porosity} (\varepsilon) = \frac{V_v}{V_t} \quad (1)$$

จากการที่ (1) จะได้ค่าความพูน ( $\varepsilon$ ) เท่ากับ 0.44 และ 0.52

**การหาประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีเพื่อทราบ**  
ในการหาประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีเพื่อทราบ สามารถวัดเคราะห์ได้จากสัดส่วนของผลลัพธ์ที่น้ำไปใช้ประโยชน์ต่อผลลัพธ์ของอุณหภูมิที่เดินลงที่เด็กกระทนบแผงเก็บรังสีในช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยเรียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2)

$$\eta = \frac{q_e}{A_e I_e} = \frac{\dot{m} c_p (T_e - T_i)}{A_e I_e} \quad (2)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสี. (-)

$q_e$  คือ พลังงานความร้อนที่น้ำไปใช้ประโยชน์. (W)

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ. (kg/s)

$c_p$  คือ ค่าความอุ่นความร้อนจำเพาะของอากาศ. ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )

$T_e$  คือ อุณหภูมิทางเข้าของแผงเก็บรังสี. ( $^\circ C$ )

$T_i$  คือ อุณหภูมิทางออกของแผงเก็บรังสี. ( $^\circ C$ )

$A_e$  คือ พื้นที่ของแผงเก็บรังสี. ( $m^2$ )

$I_e$  คือ ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์รวม. ( $W/m^2$ )

ซึ่งในการวัดเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีจะพิจารณาที่การถ่ายโอนความร้อนที่สภาวะคงที่ (Steady state) โดยใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss ในการหาค่าผลลัพธ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งถูกเสนอโดย Duffie และ Beckman<sup>13</sup> ดังสมการที่ (3)

$$q_e = A_e F_R [I_e (\tau\alpha)_e - U_L (T_e - T_c)] \quad (3)$$

เมื่อ  $F_R$  คือ แฟคเตอร์การถึงความร้อนของแผงเก็บรังสีอาทิตย์. (-)

$(\tau\alpha)_e$  คือ สัมประสิทธิ์การส่องผ่านและ การดูดกลืน ประสิทธิผล. (-)

$U_L$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม. ( $W/m^2 K$ )

$T_c$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม. ( $^\circ C$ )

ดังนั้นประสิทธิภาพเรื่องความร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง จึงสามารถหาได้จากการที่ (4)

$$\eta = F_R (\tau\alpha)_e - \frac{F_R U_L (T_e - T_c)}{I_e} \quad (4)$$

### ผลการทดลอง และวิจารณ์

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของการถ่ายโอนความร้อนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีโดยใช้วัสดุพูนแบบเม็ดก้อน อัดแน่นโดยใช้พินถูปป่า ได้ผลการทดลองดังนี้

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ แผงเก็บรังสีกับ  $(\frac{T_e - T_c}{I_e})$  ที่มีและไม่มีวัสดุพูน จาก

ผลการวัดเคราะห์พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีจะมีค่าลดลงตามผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิแวดล้อมต่อค่าความเข้มของรังสีเด็กกระทนบที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกรณีไม่มีวัสดุ

พรุน พนว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเรียนในรูปแบบการได้ดังนี้

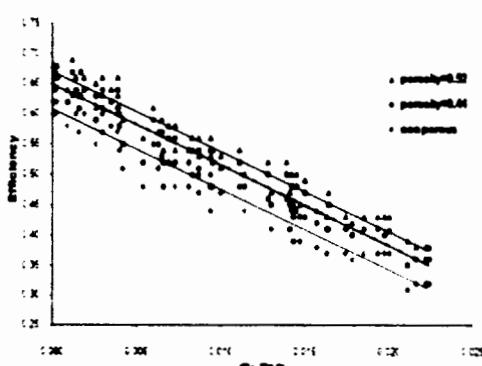
$$\eta_{\text{porosity}} = 0.61 - 13.3 \left( \frac{T_c - T_e}{I_s} \right) \quad (5)$$

และสำหรับประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีในการณ์ที่มีวัสดุพรุน พนว่า ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเท่ากับ 65 เปอร์เซ็นต์ ที่ความพรุน 0.44 และ 0.52 ตามลำดับ โดยสามารถเรียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (6) และ (7)

$$\eta_{\text{porosity}=0.44} = 0.67 - 13.24 \left( \frac{T_c - T_e}{I_s} \right) \quad (6)$$

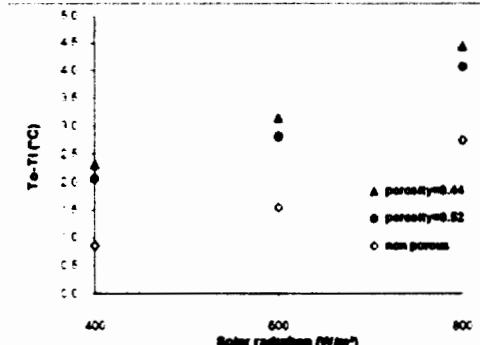
$$\eta_{\text{porosity}=0.52} = 0.65 - 13.36 \left( \frac{T_c - T_e}{I_s} \right) \quad (7)$$

หากพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพแห่งเก็บรังสีที่มีและไม่มีวัสดุพรุนที่สภาพแวดล้อม จะพบว่าแห่งเก็บรังสีที่มีวัสดุพรุนมีประสิทธิภาพสูงกว่า แบบแผ่นร้อนธรรมดายโดยเฉลี่ย 4 - 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเพิ่มวัสดุพรุนในแห่งเก็บรังสีเป็นการเพิ่มพื้นที่สำหรับการรับแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น และวัสดุพรุนยังมีค่าการนำความร้อนสูง เมื่ออากาศไหลผ่านจึงเกิดการพากความร้อนได้ดีกว่า

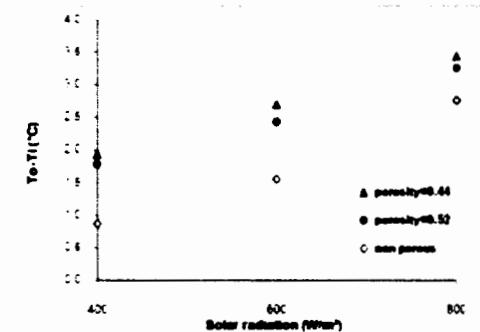


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพของแห่งเก็บรังสีกับผลต่างของ

$$\text{อุณหภูมิ} \left( \frac{T_c - T_e}{I_s} \right)$$



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิชาเข้าและ  
ชาออกของแห่งเก็บรังสีอาทิตย์ที่อัตรา<sup>การไหลเริงมวลของอากาศเท่ากับ 0.04 kg/s</sup>



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิชาเข้าและ  
อุณหภูมิชาอออกของแห่งเก็บรังสีอาทิตย์ที่อัตรา<sup>การไหลเริงมวลของอากาศเท่ากับ 0.06 kg/s</sup>

รูปที่ 3 และ 4 แสดงการเปรียบเทียบความ  
แตกต่างระหว่างอุณหภูมิชาเข้าและชาอออกของแห่ง<sup>เก็บรังสีอาทิตย์</sup>ภายใต้อัตราการไหลเริงมวลของ  
อากาศเท่ากับ 0.04 และ 0.06 kg/s ตามลำดับ สำหรับ  
กรณ์ที่มีและไม่มีวัสดุพรุน โดยมีความพรุนเท่ากับ  
0.44 และ 0.52 จากการทดลองพบว่า ผลต่างของ  
อุณหภูมิชาเข้าและชาอออกของทั้งสามกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้น  
เมื่อเพิ่มความเข้มของรังสี นอกจากนั้นยังพบว่า  
ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกจะ  
เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลเริงมวลของอากาศ

โดยที่เงื่อนไขความพรุน 0.44 และความเข้มของรังสี เท่ากับ  $800 \text{ W/m}^2$  จะมีอุณหภูมิแตกต่างถุงที่สุด เท่ากับ  $4.5^\circ\text{C}$  และ  $3.4^\circ\text{C}$  ภายใต้อัตราการไหลเชิง ขวางของอากาศเท่ากับ 0.04 และ  $0.06 \text{ kg/s}$  ตามลำดับ หากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแผงเก็บรังสีที่มีและ ไม่มีวัสดุพรุนที่ความเข้มของรังสีเท่ากันพบว่า ผลต่าง ของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของแผงเก็บรังสีที่มี ความพรุน 0.44 มีค่ามากกว่าที่ความพรุน 0.52 และ กรณีไม่มีวัสดุพรุนโดยเฉลี่ยประมาณ  $0.3^\circ\text{C}$  และ  $1.5^\circ\text{C}$  ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุพรุนที่มีความพรุน ตัวจะมีพื้นที่ซ่องว่างต่ำ นั่นคือพื้นที่ผิวหรือพื้นที่ในการ ถ่ายเทความร้อนต่อบริมราศีสูง ทำให้วัสดุพรุนที่มีค่า ความพรุนต่ำเกิดการถ่ายเทความร้อนต่อบริมราศีได้ สูงกว่าวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนสูง และกรณีไม่มีวัสดุ พรุนหรือแบบธรรมชาติ

จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการ ใช้วัสดุพรุนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีใน เรื่องของการเพิ่มพื้นที่ในการแยกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากวัสดุพรุนมีอัตราต่่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัส ต่อบริมราศีสูง จึงทำให้เกิดการกักเก็บความร้อนและ การถ่ายเทความร้อนได้ดี อย่างไรก็ตามในการนำไป ประยุกต์ใช้งานยังมีประเด็นที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย ความตันดักคร่อมที่จะเกิดขึ้นในระบบ

## สรุปผล

จากการศึกษาผลของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผง เก็บรังสีแบบรวมเรียนต่อหัวรับกระแสที่มีและไม่มีวัสดุ พรุน โดยใช้วัสดุพรุนแบบเน็ตคอมอัดแน่น (พินชูป่า) ที่มีค่าความพรุน 0.44 และ 0.52 ตามลำดับ สามารถ สรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

- ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกมีค่า เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มของรังสี โดยแผงเก็บรังสีที่มี วัสดุพรุนเท่ากับ 0.44 จะมีอุณหภูมิแตกต่างถุงกว่าแผง

เก็บรังสีที่ใช้วัสดุพรุนเท่ากับ 0.52 และแบบไม่มีวัสดุ พรุนโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $0.3^\circ\text{C}$  และ  $1.5^\circ\text{C}$  ตามลำดับ

- แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพรุนจะมีประสิทธิภาพ ถุงกว่าแผงเก็บรังสีที่ไม่มีวัสดุพรุนโดยเฉลี่ย 4 - 6 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการประเมินผลของ วัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีเบื้องต้น ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมในประเด็นและปัจจัยต่างๆ มากขึ้น ในการทดสอบจริงควรศึกษาเพิ่มเติมในประเด็น ชนิดของวัสดุพรุน, ค่าความพรุน และความตันตัก คร่อมที่เกิดขึ้นภายในแผงเก็บรังสี

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฯ วิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- ธีระศักดิ์ ทุตاجر. การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บ รังสีอาเกิดมีแผ่นรวมแบบร่องรูปตัววี สำหรับเครื่อง อบแห้งพัฒนาแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 (2552).
- ณัฐนิ วรยศ วิภาวดี วงศ์สุวรรณ และท่านเกียรติ เกียรติศิริรัตน์. การพัฒนาระบบท่านร้อน แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. วารสาร วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2009;1 6(2):55-69.
- จงจิตร์ ติรัญญา. กระบวนการพัฒนาแสงอาทิตย์ ในรูปความร้อน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2541.
- จากรุณณ์ เจริญจิต. ศักยภาพเชิงอุณหภูมิของการ ผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ในภาคอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์มนุษยา 2555; 17(2):174-181.

5. พฤทธิ์ มาเนตรัตน์ คีตอินรุทธิ์ ต่ายขาว  
ฉันทนา พันธุ์เหล็ก และ ศิริบุช จินควรักษ์. การเพิ่ม  
ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่น  
สะท้อนรังสีอาทิตย์. การประชุมเชิงวิชาการ  
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1 (2548).
6. กนกกาญจน์ วงศ์ชารพ. ทวีเมว์สสุพูน  
สมรรถนะสูง. Princess of Naradhiwas University  
Journal 2545; 1 มกราคม – เมษายน 2556. หน้า  
109 - 123.
7. Mohamad A A. High efficiency solar air heater.  
*Solar Energy* 1997; 60(2):71-76.
8. Kolb A., Winter E. R. F. and Viskanta R.  
Experimental studies on a solar air collector  
with metal matrix absorber. *Solar Energy*  
1999; 65(2):91-98.
9. Sopian K., Alghoul M.A., Ebrahim M. Alfegi,  
M.Y. Sulaiman and Musa E.A. Thermal  
performance of the double-pass solar collector  
with and without porous media. *Renewable  
Energy* 1999;18:557-564.
10. Yousef BAA and Adam NM. Performance  
analysis for flat plate collector with and without  
porous media. *Journal of Energy in Southern  
Africa* 2008;19(4):32-42.
11. Saravanakumar and Mayilsamy K. Forced  
convection flat plate solar air heaters with and  
without thermal storage. *Journal of Scientific &  
Industrial Research* 2010;69:966-968.
12. ทวีเมว์ เอ็กปาร์ดิชญ์ และ บัณฑิต กฤดาคม.  
การศึกษาอิทธิพลของวัสดุพูนด้วยผังรังสีต่อการ  
เผาไหม้ของหัวพ่นไฟชนิดรังสีพูนโดยใช้  
เชื้อเพลิงเหลว. การประชุมวิชาการเครือข่าย  
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25  
(2554).
13. Duffie, A.J. and W.A. Beckman. *Solar  
Engineering and Thermal Process.* (2nd ed.).  
John Wiley & Sons. New York;1991.

## ผลของวัสดุพูรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี

### Effect of Porous Media on Solar Collector Efficiency

นฤภาราษฎร์ นางอุษา พุ่มพูล ยศินันต์ นายเขต และ อร่าไพศาล ทิบูณุมา

ภาควิชาจิตวิทยาและภาษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
อัมเนียกรินชาร์ก ชั้นห้องเรียน 31190 โทร: 0-4535-3309 โทรสาร: 0-4535-3308

E-mail: N.bussaraporn@gmail.com

#### บทต้องอ่าน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุพูรุนที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี ให้ใช้เทคโนโลยีเป็นวัสดุพูรุน และทำการศึกษาภายใต้เงื่อนไข รังสีตกกระทบ 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> ความเร็วลมอยู่ในช่วง 1.0-3.0 m/s และความพรุนของวัสดุอยู่ในช่วง 0.6-0.7 สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบ แผงเก็บรังสีกรีฟมีและไม่มีวัสดุพูรุน คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแผงเก็บรังสี

ผลจากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกจะเพิ่มขึ้นตามรังสีตกกระทบนอกจากนั้นยังพบว่า แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพูรุนจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าแผงเก็บรังสีที่ไม่มีวัสดุพูรุนโดย เดลี่ย 10 เปอร์เซ็นต์

**คำสำคัญ:** ประสิทธิภาพเชิงความร้อน / แผงเก็บรังสีแผ่นร้อน / วัสดุพูรุน

#### Abstract

The objective of this research was to study the effect of porous media on solar collector efficiency. In this work, the iron scrap was selected as porous material. The experiments were carried out the following conditions: solar radiation of 400, 600 and 800 W/m<sup>2</sup>, air velocity of 1.0-3.0 m/s and material porosity ranging of 0.6 - 0.7. The criteria used to comparatively study the solar collector with and without porous media was thermal efficiency of solar collector.

From the study results, it was found that temperature difference of inlet-outlet collector increases with increment of solar radiation. Furthermore, the thermal efficiency of solar collector with porous media was approximately 10% higher than that of the collector without porous media.

**Keywords:** Thermal efficiency, Flat plate collector, Porous media



### 1. บทนำ

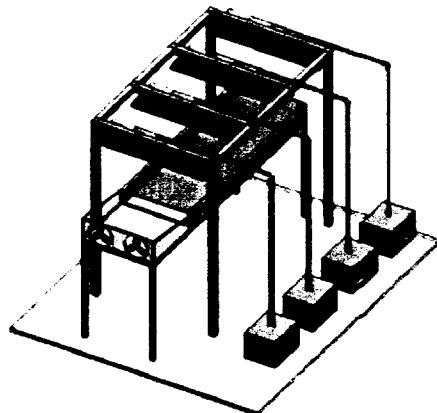
ปัจจุบันประชากรมีความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงาน ดังนั้นพลังงานจึงเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นในการนำมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ก็เป็นการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และไม่มีค่าทุนค่าใช้จ่าย ซึ่งแผงเก็บรังสีแบบแผ่นร้านเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่ได้มาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่างๆ ได้ เช่น ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ใช้ผลิตน้ำร้อน การเพิ่มความร้อนภายในอาคาร และการใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่เมื่อไรก็ตามแผงเก็บรังสีประเภทนี้ก็มีปัญหาหลักๆ คือ จะมีประสิทธิภาพใช้ความร้อนต่ำ เท่ากับการสูญเสียความร้อนซึ่งเป็นผลมาจากการอิทธิพลของอากาศแวดล้อมและลมที่พัดผ่าน จึงเป็นผลทำให้เกิดการพากความร้อนที่พื้นผิวด้านบนของแผงเก็บรังสีไปยังสภาวะแวดล้อม [1] จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดโดยการนำเอาระบบวัสดุพุ่มพุ่มมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีซึ่งวัสดุพุ่มพุ่มมีค่าสูงกว่าค่าการนำความร้อนของช่องไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทขายความร้อนโดยการพาความร้อนสูง นอกจากนี้วัสดุพุ่มพุ่มมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพาความร้อน (Conduction) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ได้เป็นอย่างดี [2]

จากลักษณะเด่นของวัสดุพุ่มพุ่มคือว่าจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุพุ่มพุ่มในการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี Mohamad [3] ได้นำเสนอแนวทางการลดความร้อนที่สูญเสียจากการกระจัดด้านบนของแผงเก็บรังสีอาทิตย์โดยการนำวัสดุพุ่มพุ่มมาใช้แทนที่แผ่นคุกกิลินรังสี จากการศึกษาพบว่า การนำวัสดุพุ่มพุ่มมาใช้ในแผงเก็บรังสีจะให้ประสิทธิภาพเพิ่มความร้อนมากกว่า 75% ต่อมาก็ Kolb และคณะ [4] ได้ศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีหัวเผาคุกกิลินรังสีแบบ Matrix จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเขิงมวลเพิ่มขึ้น Sopian และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพเพิ่มความร้อนของแผงเก็บรังสีแบบใหม่ควบคู่กับการศึกษาความร้อนของวัสดุพุ่มพุ่ม โดยวัสดุพุ่มพุ่มที่เลือกใช้ในการศึกษา คือ ฟอยล์เหล็ก (Steel wool) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการระบายของซ่องว่างระหว่างกระเจาะกับแผ่นคุกกิลินรังสีอยู่ในช่วง 3.5-10.5 cm. และซ่องว่างระหว่างวัสดุพุ่มพุ่มคุกกิลินรังสีกับแผ่นรองรับด้านล่างอยู่ในช่วง 7.0-14.0 cm ที่อัตราการไหลเขิงมวล 0.03-0.07 kg/s ผลจากการศึกษาพบว่าแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพุ่มพุ่มจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากกว่า 80 % เมื่อระบายของซ่องว่างมีขนาดเล็กที่อัตราการไหลเขิงมวลมากกว่า 0.05 kg/s และแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพุ่มพุ่มจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงเก็บรังสีแบบธรรมชาติประมาณ 20-70 % Yousef และ Adam [6] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพเพิ่มความร้อนและความต้านทานคร่องของแผงเก็บรังสีระหว่างมีและไม่มีวัสดุพุ่มพุ่ม โดยทดลองเปรียบเทียบแผงเก็บรังสี 3 แบบ คือ แบบการให้ห้องเผา แบบการให้วนกลับ และแบบการให้วนกลับที่มีวัสดุพุ่มพุ่ม วัสดุพุ่มพุ่มที่เลือกใช้ในการศึกษา คือ ไอลแก้ว (Glass wool) มีความพุ่มพุ่ม 0.80 จากการศึกษาพบว่า แผงเก็บรังสีแบบใหม่ควบคู่



กลับมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบการทดสอบเดียว ประมาณ 10-12 % และเมื่อใส่สวัสดิพุธนจะทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบไม่ใส่สวัสดิพุธที่ 8% เมื่อจากสวัสดิพุธจะช่วยเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นแต่ก็ส่งผลให้ความตันตกร่วมเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน Saravanan Kumar และ Mayilsamy [7] ได้ศึกษาและทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแม่เก็บรังสีอาทิตย์ที่มีแกนในมีวัสดุเก็บสะสมความร้อน โดยการทดสอบนี้จะศึกษาวัสดุเก็บสะสมความร้อน โดยการทดสอบนี้จะศึกษาวัสดุเก็บสะสมความร้อน 4 ชนิด ได้แก่ กระดาษ กระดาษมีเศษเหล็ก และกระดาษที่มีเศษเหล็ก จากการทดสอบพบว่า แม่เก็บรังสีอาทิตย์ที่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการณ์ที่ไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนและกระดาษมีเศษเหล็กจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด และยังพบอีกว่า ในช่วงวันสีดกกระทบสูงสุด  $900 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิทางออกและประสิทธิภาพของแม่เก็บรังสีที่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนมีค่าสูงกว่าแบบที่ไม่มีวัสดุเก็บสะสมความร้อนประมาณ 10-20 % ตั้งนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการวัดค่ารุนที่มีต่อประสิทธิภาพแม่เก็บรังสีเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

อุณหภูมิเนื้อมหนา 5 ค่า. พื้นที่ที่หุ้นหนา 3 cm. เพื่อลดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศภายในออกติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ทางออกแหงเก็บรังสี และหลอดสปอร์ตไลท์ถูกใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงแทนการรับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรงซึ่งสามารถปรับความเข้มแสงได้ ส่วนของวัสดุพุธนที่ใช้คือ เศษเหล็ก (iron scrap) โดยจะวางไว้บนที่แผ่นดูดกลืนรังสี สำหรับเครื่องมือวัดประกอบด้วย Pyranometer, เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ GRAPTEC รุ่น GL800 ต่อเข้ากับสาย Thermocouple type K และวัดความเร็วลมด้วย Anemometer



รูปที่ 1 ชุดทดลองแม่เก็บรังสีอาทิตย์

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดทดลองแม่เก็บรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการศึกษาผลของการวัดค่ารุนที่มีต่อประสิทธิภาพแม่เก็บรังสีที่ได้ถูกถ่ายทอด โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการทดลองดังนี้

### 2.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงชุดทดลองแม่เก็บรังสีอาทิตย์แบบผ่อนร้านมีขนาดกว้าง 0.50 m. และยาว 1 m. โดยตัวโครงสร้างของแม่เก็บรังสีทำจากไม้ ผนังด้านบนปิดด้วยกระจกใสหนา 3 mm. ผนังด้านล่างทำจาก



## 2.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ การทดลองเมืองเก็บรังสีแบบผ่านรำและแบบที่มีวัสดุพูน ตามลำดับ ซึ่งวัสดุพูนจะถูกนำไปในเมืองเก็บรังสี เริ่มต้นการทดลองด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ จากนั้นทำการเปิดทดลองส่วนร้อนให้รับความเข้มแสงด้วย Dimmer เท่ากับ 400, 600 และ 800 W/m<sup>2</sup> และเปิดตัวลดความต่ออากาศให้ได้ความเร็วลมเท่ากับ 1.0 - 3.0 m/s ตามลำดับ ใน การทดลองจะทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตัวแทนต่างๆ ทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Data logger ทำการทดลองจนกว่าอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Steady state)

## 2.3. การทดลองหาค่าความพรุน [8]

วิธีการหาค่าความพรุน (Porosity,  $\epsilon$ ) มีขั้นตอนดังนี้ นำวัสดุพูน (เศษเหล็ก) ใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอนเพิ่มภาชนะ หลังจากนั้นเดินเข้าไปเดินบนผิววัสดุพูน ทิ้งไว้ 5 นาทีเพื่อให้น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพูนแล้วเทน้ำออกจากภาชนะจากนั้นดูว่าห้องที่ทราบปริมาตรแน่นอนด้วยภาชนะดังในที่นี้คือ บิกเกอร์ (Beaker) แล้วทำการเติมน้ำอีกครั้งให้เต็มภาชนะทิ้งระดับผิวด้านบนของวัสดุพูนอ่อนค่าปริมาตรน้ำที่เติมลงไปจากบิกเกอร์ ปริมาตรน้ำที่เติมลงในนี้ คือ ปริมาตรซึ่งว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (Void-space volume,  $V_s$ ) นำปริมาตรน้ำนี้มาหารกับปริมาตรทรงกระบอกภายในที่จุหมด (Total or bulk volume,  $V_T$ ) จะสามารถคำนวณหาค่า  $\epsilon$  ได้จาก  $\epsilon = \frac{V_s}{V_T}$

$$\text{Porosity} (\epsilon) = \frac{V_s}{V_T} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) จะได้ค่า  $\epsilon$  เท่ากับ 0.61

## 2.4. การหาประสิทธิภาพของเมืองเก็บรังสีผ่านรำ

การหาประสิทธิภาพของเมืองเก็บรังสีผ่านรำสามารถวัดเคราะห์ได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเมืองเก็บรังสีในช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยเชื่อมความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2)

$$\eta = \frac{q_s}{A_e I_s} = \frac{\dot{m} c_p (T_s - T_i)}{A_e I_s} \quad (2)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพของเมืองเก็บรังสี, (-)

$q_s$  คือ พลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์,

(W)

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลของมวลของอากาศ, (kg/s)

$c_p$  คือ ค่าความถูกความร้อนจำเพาะของอากาศ, (J/kg°C)

$T_s$  และ  $T_i$  คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกของเมืองเก็บรังสี, (°C)

$A_e$  คือ พื้นที่ของเมืองเก็บรังสี, (m<sup>2</sup>)

$I_s$  คือ ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์บวก, (W/m<sup>2</sup>)

ซึ่งในการวัดเคราะห์ประสิทธิภาพของเมืองเก็บรังสีจะพิจารณาที่การถ่ายโอนความร้อนที่สภาวะคงที่ (Steady state) โดยใช้สมการของ Hottel-Whillier-Bliss ในการหาค่าพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งถูกเสนอโดย Duffie และ Beckman [9,10] ดังสมการที่ (3)

$$q_s = A_e F_s [I_s (ra)_s - U_s (T_s - T_e)] \quad (3)$$

เมื่อ  $F_s$  คือ แฟคเตอร์การถึงความร้อนของเมือง

เก็บรังสีอาทิตย์

$(ra)_s$  คือ สัมประสิทธิ์การส่องผ่านและการดูดกลืนประสิทธิผล



$U_L$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม,  
(W/m<sup>2</sup> K)

$T_s$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (°C) ดังนั้น  
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ ขณะใดๆจะหนึ่งเดียว  
สามารถหาได้จากสมการที่ (4)

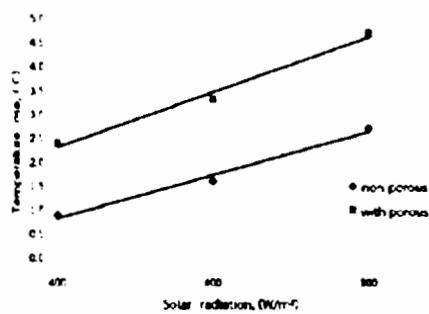
$$\eta = F_s (\tau \alpha)_s - \frac{F_s U_L (T_s - T_e)}{I_s} \quad (4)$$

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

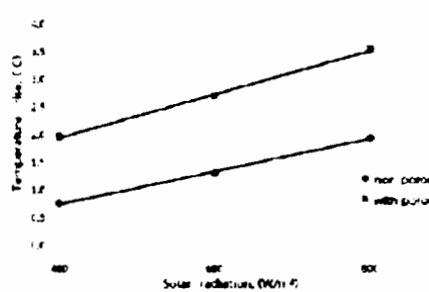
การทดลองเพื่อศึกษาผลของวัสดุพื้นที่มีต่อ  
ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี ได้ผลการทดลองดังนี้

#### 3.1 ผลพั่งของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของ แผงเก็บรังสีที่คำนวณเข้มของรังสีแดกต่างกัน

รูปที่ 2 และ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลพั่ง  
ของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีที่  
พัฒนาด้วยกระบวนการต่างๆ ภายใต้อัตราการไหลเชิงมวล  
ของอากาศเท่ากับ 0.04 และ 0.06 kg/s ที่มีและไม่มี  
วัสดุพื้น จากผลการทดลองพบว่า ผลพั่งของ  
อุณหภูมิทางเข้าและทางออกจะมีค่าเข้มข้นเมื่อความ  
เข้มของรังสีเพิ่มขึ้น นอกเหนือนั้นยังพบว่าผลพั่งของ  
อุณหภูมิทางเข้าและทางออกจะเปลี่ยนแปลงตาม  
อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศโดยค่าผลพั่งของ  
อุณหภูมิสูงสุดมีค่าเท่ากับ 4.68 และ 3.53°C ภายใต้  
อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.04 และ  
0.06 kg/s ตามลำดับ ที่ความเข้มของรังสีเท่ากับ 800  
W/m<sup>2</sup> หากพิจารณาเบรียบเทียบระหว่างแผงเก็บรังสี  
ที่มีและไม่มีวัสดุพื้นที่ความเข้มของรังสีเท่ากันพบว่า  
แผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพื้นจะมีค่าผลพั่งของอุณหภูมิ  
ทางเข้าและทางออกมากกว่าแบบแผ่นราบธรรมดาก  
โดยเฉลี่ยที่ 1-2 °C

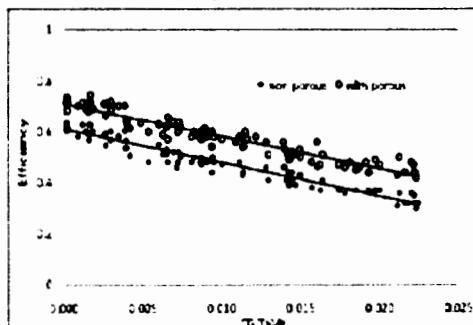


รูปที่ 2 ผลพั่งของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทาง  
ออกของแผงเก็บรังสีอากาศที่อัตราการไหล  
เชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.04



รูปที่ 3 ผลพั่งของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทาง  
ออกของแผงเก็บรังสีอากาศที่อัตราการไหล  
เชิงมวลของอากาศเท่ากับ 0.06 kg/s

#### 3.2 ผลการศึกษาเบรียบเทียบเพื่อประสิทธิภาพแผงเก็บ รังสีที่มีและไม่มีวัสดุพื้น



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพของแผงเก็บรังสีกับผลพั่ง

$$\text{ของอุณหภูมิ } \left( \frac{T_s - T_e}{I_s} \right)$$



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีกับ ( $\frac{T_s - T_e}{I_s}$ ) ที่มีและไม่มีวัสดุพุ่น เมื่อนำข้อมูลมาล็อตกราฟจะได้สมการเชิงเส้น  $y = \text{ค่าต่อ } \frac{T_s - T_e}{I_s} + \text{ค่า } y$  คือค่า  $\eta$  จากผลการวิเคราะห์พบว่า ประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีจะมีค่าลดลงตามผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิways หลอม ( $T_s - T_e$ ) ต่อค่าความเชื้อมของรังสีที่ตกกระทบเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพุ่น พบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 61 % และสามารถเชิงในรูปสมการได้ดังนี้

$$\eta_{\text{แบบ } 1} = 0.61 - 13.16 \left( \frac{T_s - T_e}{I_s} \right) \quad (5)$$

และสำหรับประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีในกรณีที่มีวัสดุพุ่น พบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 71 % ในสามารถเชิงในความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (6)

$$\eta_{\text{แบบ } 2} = 0.71 - 12.72 \left( \frac{T_s - T_e}{I_s} \right) \quad (6)$$

หากพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีที่มีและไม่มีวัสดุพุ่นที่ลักษณะเดียวกัน จะพบว่าแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพุ่นมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแผ่นรานธรรมชาติ เนื่องจากวัสดุพุ่นมีค่าการนำความร้อนสูง เมื่ออากาศไหลผ่านจึงเกิดการพาความร้อนได้ต่ำกว่าและทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยเฉลี่ยประมาณ 10 %

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของวัสดุพุ่นที่มีต่อประสิทธิภาพแผงเก็บรังสี สรุปได้ว่า การเพิ่มวัสดุพุ่นในแผงเก็บรังสีช่วยเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศที่ไหลผ่านจึงมีผลทำให้อุณหภูมิทางออกและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเช่นกัน หากพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองของแผงเก็บรังสีที่

มีและไม่มีวัสดุพุ่น พบว่าผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงเก็บรังสีที่มีวัสดุพุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น 1-2 °C ในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นเกิน 70% และมากกว่าแผงเก็บรังสีแผ่นรานธรรมชาติโดยเฉลี่ย 10 %

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พฤทธิ์ มาเนตรสินเดิม ตีต่อนิรุทธิ์ ต่ายขาว อันธนา พันธุ์เหล็ก และ ศรีนุช จินดารักษา (2548). การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, จังหวัดสระบุรี
- [2] กนกกาญจน์ วงศ์วัชรพล (2556). หัว曼วัสดุพุ่น สมรรถนะสูง, Princess of Naradhiwas University Journal, 1 มกราคม – เมษายน 2556, หน้า 109 - 123.
- [3] Mohamad A. A. (1997). High efficiency solar air heater, Solar Energy, Vol. 60(2), pp. 71 - 76.
- [4] Kolb A., Winter E. R. F. and Viskanta R. (1999). Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber, Solar Energy, Vol. 65(2), pp. 91 - 98.
- [5] Sopian K., Alghoul M.A., Ebrahim M. Alfegi, M.Y. Sulaiman and Musa E.A. (1999). Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media. Renewable Energy, Vol. 18, pp. 557-564.



- [6] Yousef BAA and Adam NM. (2008). Performance analysis for flat plate collector with and without porous media, Journal of Energy in Southern Africa, Vol. 19(1), pp. 32 – 42.
- [7] Saravanakumar and Mayilsamy K. (2010). Forced convection flat plate solar air heaters with and without thermal storage. Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 69, pp. 966 – 968.
- [8] ทวีศิลป์ เล็กประดิษฐ์ และ บัญชิต กฤตคำ (2554). การศึกษาอิทธิพลของวัสดุพื้นดินผู้รับรังสีต่อ การเผาไหม้ของหัวพ่นไฟชนิดหัวสูตรพุ่นโดยใช้เชื้อเพลิง เหลว, การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- [9] Duffie, A.J. and W.A. Beckman. (1991). Solar Engineering and Thermal Process. (2nd ed), John Wiley & Sons, New York.
- [10] ณัฐนี วรยศ วิภาวดี วงศ์สุวรรณ และทันใจเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2009). การพัฒนาระบบท่าน้ำร้อน แสงอาทิตย์ในประเทศไทย, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, Vol. 16(2), pp. 55 – 69.

### ประวัติผู้วิจัย

**ชื่อ** นางสาวบุษราพร นาถมทอง  
**วัน เดือน ปีเกิด** 5 พฤษภาคม 2534  
**ที่อยู่ปัจจุบัน** 181 หมู่ 2 ตำบลทุ่งศรีเมือง อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด 45130  
**ประวัติการศึกษา**  
 พ.ศ.2547-2552  
 มัธยมศึกษาตอนต้น- ตอนปลาย โรงเรียนสุวรรณภูมิพิทยาลัย  
 อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45130  
 พ.ศ. 2552-2556  
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาบริหารเครื่องกล  
 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

