

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบระบบเก็บพลังงานความร้อนแบบพาราโบลิกเพื่อทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง

Design of Parabolic –Trough Heat Collecting System for High Temperature Water Heating



นายปองพล	รุ่งรัตน์รัชชัย
นางสาวปัญญาลลิต	วิสุทธิมณีมัย
นายสมิชนัน	เพชรดี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 49835
วัน,เดือน,ปี. ๒ ๒๓.๙. 2547

b.....
i.....

การออกแบบระบบเก็บพลังงานความร้อนแบบพาราโบลิกเพื่อทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง

Design of Parabolic –Trough Heat Collecting System for High Temperature Water Heating

นายปองพล	รุ่งรัตน์วิชชัย
นางสาวปัญญาลิต	วิสุทธีมณีมัย
นายสมิชนัน	เพชรดี

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เกียรติศักดิ์	รุ่งนระแสง
----------------------	------------

b 41372588

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การออกแบบระบบเก็บพลังงานความร้อนแบบพาราโบลิคเพื่อทำน้ำ
ร้อนที่อุณหภูมิสูง

ผู้จัดทำ

- | | |
|--------------------|-----------------|
| 1. นายปองพล | รุ่งรัตน์รัชชัย |
| 2. นางสาวปัญญ์ลลิต | วิสุทธีรมณีเมย์ |
| 3. นายสมิชนัน | เพ็ชรดี |



.....
(อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

การออกแบบระบบเก็บพลังงานความร้อนแบบพาราโบลิกเพื่อทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง

นายปองพล รุ่งรัตน์รัชชัย
นางสาวปัญญ์ลลิต วิสุทธิมณีมัย
นายสมิชนัน เพ็ชรดี

อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบสร้างและทดลองเกี่ยวกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก เพื่อศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูลในการทดสอบประสิทธิภาพ และศึกษาความเป็นไปได้ของการนำความร้อนมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการแปรรูปอาหาร ชุดทดลองที่สร้างขึ้นเป็นรางรับแสง แบบพาราโบลิก ทำด้วยแผ่นเหล็กไร้สนิม ผิวมันวาว ขนาดพื้นที่รับแสง 2.98 ตารางเมตร มีระยะโฟกัส 50 เซนติเมตร ที่ระยะโฟกัสมีท่อสีดำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร เคลือบด้วยสีดำ วางทับกับระยะโฟกัสไปตลอดแนวรับแสง ใช้น้ำมัน ASAE1051 เป็นสารทำงาน เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากรางรับแสง ติดตั้งชุดบังคับติดตามดวงอาทิตย์สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของรางรับแสง หลังจากการสร้างชุดทดลองเสร็จสิ้น ได้ทำการทดลอง โดยการนำชุดทดลองออกไปรับแสงอาทิตย์ โดยตั้งเครื่องในแนวเหนือ-ใต้ ทำการปรับค่าอัตราการไหลของ น้ำมัน 0.03, 0.045 และ 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที และทดลองแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที จากการทดลองวิเคราะห์ผลพบว่า สามารถทำอุณหภูมิน้ำมันได้สูงสุด 79.9 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที คิดเป็นพลังงานสะสม 8930.053 จูล สามารถอุ่นน้ำให้มีอุณหภูมิแตกต่างสูงสุดได้ 6.1 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง 2.28 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำมัน 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

คำสำคัญ พลังงานแสงอาทิตย์, ตัวรับแสงแบบพาราโบลิก, การทำน้ำร้อน

Design of Parabolic –Trough Heat Collecting System for High Temperature Water Heating

Mr. Pongpol Rungrattawatchai

Miss Punlalit Wisutmaneemai

Mr. Smith Phetdi

Mr. Kiattisak Roonprasang Advisor

2002

Abstract

This research work is to design and perform an experiment about parabolic trough focusing collector in order to study and collect data for testing an efficiency. To study the probability of using advantage in food processing. Stainless steel sheet were selected as the reflective surface of parabolic trough that has 2.98 m² collecting area. The focus is placed in 50 cm. distance. At the focus has a black painted copper absorber tube of 19 mm. diameter. The ASAE1051 oil was fed through the absorber tube for exchange heating from the trough. The trough was incorporated to a sun tracking mechanism in order to track the sun. The trough was placed in the N-S horizontal axis for experiment, varies oil and water flow rate to compare temperature different. The result shows that, it can make the maximum oil temperature about 79.9 °C, when the flow rate is around 0.06 kg/s. The Q total is 8930.053 J. The maximum temperature different between inlet and outlet water temperature is about 6.1 °C and average is about 2.28 °C , when the flow rate oil is 0.045 kg/s

Keywords Solar Energy, Parabolic-Trough, Water Heating

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำต้องขอบคุณบุคคลต่าง ๆ ที่มีส่วนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ดังรายนามต่อไปนี้ อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ คณะพลังงานและวัสดุ สำหรับข้อมูลในการทำโครงการ คุณเสกสรรค์ ดีณี และ คุณอรรถวิทย์ จำเพียร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สำหรับชุดติดตามดวงอาทิตย์ คณาจารย์ทุก ๆ ท่าน ที่ช่วยอบรมสั่งสอนให้มีความรู้ และมีทักษะในการประกอบอาชีพ คุณอำนาจ กูตะคุ สำหรับข้อเสนอแนะด้านการปฏิบัติงาน โรงประลองกำลัง เพื่อน และ น้อง ๆ ที่คอยถามไถ่ และช่วยเหลือโครงการด้านต่าง ๆ พ่อ และแม่ บุคคลที่สำคัญที่สุดที่ช่วยสนับสนุนด้านต่าง ๆ จนลูกประสบความสำเร็จ และต้องขอบคุณคนอื่น ๆ อีกมากมายที่ไม่อาจนำมากล่าวไว้ในที่นี้ได้ทั้งหมดที่มีส่วนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสารและแหล่งข้อมูล	4
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	4
2.2 ดวงอาทิตย์	4
2.3 ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์	4
2.4 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์พิจารณาที่ผิวโลก	5
2.5 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องมือ	5
2.6 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์	6
2.7 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิค	7
2.8 ตรวจสอบเอกสาร	7
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ	10
3.1 แหล่งกำเนิดความร้อน และการประยุกต์ใช้กับอาหาร	10
3.2 ทฤษฎีของการรวมรังสี	12
3.3 อัตราส่วนความเข้มของการรวมรังสี	13
3.4 ค่าความร้อนจำเพาะของสารทำงานและน้ำ	14
3.5 สมการแสดงความร้อนใช้ประโยชน์	14
บทที่ 4 การคำนวณ ออกแบบ และสร้างชุดทดลอง	15
4.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้าง โครงสร้างตัวรับรังสี	15
4.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบลิค	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ระบบคำนวณความร้อน	16
4.4 การคำนวณเพื่อการออกแบบวางรับแสงแบบพาราโบลิค	17
บทที่ 5 วิธีการทดลอง และการจัดเก็บข้อมูล	22
5.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่	22
5.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลมวลของน้ำมัน	22
5.3 การสอบเทียบสายเทอร์โมคัปเปิล	25
5.4 ชุดทดลองตัวรับรังสี	26
5.5 การทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการรับรังสีของตัวรับรังสี	27
5.6 การทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	28
5.7 ผลการทดลองจากการวัดอุณหภูมิของสารทำงานและน้ำตามจุดต่าง ๆ	29
บทที่ 6 สรุป และข้อเสนอแนะ	36
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก.	39
ภาคผนวก ข.	42
ภาคผนวก ค.	44
ภาคผนวก ง.	77
ภาคผนวก จ.	80
ภาคผนวก ฉ.	81
บรรณานุกรม	83

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.1 ขนาดต่างๆของรางพาราโบลิก	19
รูปที่ 4.2 การหาระยะทางบนส่วนโค้งของรางพาราโบลิก	19
รูปที่ 4.3 ระยะความโค้งของผิวรับรังสีที่โฟกัสเท่ากับ 49°	20
รูปที่ 4.4 ระยะความโค้งของผิวรับรังสีที่โฟกัสเท่ากับ 51°	20
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่	23
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและอัตราการใช้มวล	24
รูปที่ 5.3 แผนผังการติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ ในชุดทดลอง	26
รูปที่ 5.4 แผนผังการทำงานของระบบน้ำมัน	27
รูปที่ 5.5 แผนผังการทำงานของระบบน้ำร้อน	28
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการใช้ 0.03 กิโลกรัมต่อวินาที	30
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการใช้ 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที	31
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการใช้ 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที	32
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำงาน และน้ำ	33
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความร้อนสะสมกับช่วงเวลา	35
รูปที่ ก.1 โครงสร้างแบบภาพไอโซเมตริก	39
รูปที่ ก.2 โครงสร้างแบบภาพด้านบน	40
รูปที่ ก.3 โครงสร้างแบบภาพด้านข้าง	40
รูปที่ ก.4 โครงสร้างแบบภาพด้านหน้า	41
รูปที่ ข.1 กราฟแสดงค่าที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์และเทอร์โมคัปเปิลทั้ง 6 สาย	43
รูปที่ ฉ.1 ภาพแสดงชุดติดตามแสงอาทิตย์ที่ประกอบเข้ากับชุดทดลอง	81
รูปที่ ฉ.2 ภาพแสดงชุดทดลองที่เสร็จสมบูรณ์	81
รูปที่ ฉ.3 ภาพแสดงขณะเก็บผลการทดลอง	82
รูปที่ ฉ.4 ภาพแสดงขณะเก็บผลการทดลอง	82

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการแปรรูปมันฝรั่ง	11
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงวัสดุที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างตัวรับรังสี	15
ตารางที่ 4.2	แสดงค่า x และ y ที่ค่าต่างๆ โดยค่า y เริ่มต้นที่ -100 ถึง 100	18
ตารางที่ ง.1	ตารางแสดงค่าพลังงานที่ถ่ายเทมายังพื้นโลกในแต่ละวัน	72

รายการสัญลักษณ์

A_{sc}	=	พื้นที่ผิวรับรังสีที่ตั้งฉากกับรังสีตกกระทบ
A_r	=	พื้นที่ผิวของท่อรับรังสี
C	=	ค่าความยาวโฟกัส (m)
C_{p0}	=	ค่าคงที่ของสารทำงาน (kJ/kg.°C)
C_{pw}	=	ค่าคงที่ของน้ำ (kJ/kg.°C)
D	=	ความกว้างของรางพาราโบลิก
d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อรับรังสี
L	=	ความยาวของท่อรับรังสี
m	=	มวลของสารทำงาน (kg)
X, Y	=	ค่าคงที่ตามแกน X และ Y
Q_r	=	ความร้อนที่ได้รับจริง (J)
Q_{sc}	=	ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังพื้นโลก (J)
T	=	อุณหภูมิ (°C)
ΔT	=	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออก (°C)
η	=	ประสิทธิภาพ

สัญลักษณ์กำกับล่าง

r	=	reciever
sc	=	solar collector

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ความร้อนเป็นพลังงานพื้นฐานที่มนุษย์รู้จัก และถูกนำมาใช้ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ตั้งแต่การตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ เป็นต้น จนกระทั่งในปัจจุบันมนุษย์ได้นำเทคโนโลยี และเทคนิคในการแปรรูปความร้อนไปเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม สาธารณูปโภค หรือแม้แต่ความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน ในปัจจุบันความร้อนที่ถูกนำมาใช้นั้นส่วนใหญ่เป็นความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นหลัก เชื้อเพลิงสามารถจำแนกได้หลายประเภทดังนี้ เชื้อเพลิงฟอสซิล ได้จากการทับถมของชั้นหิน ซากพืช ซากสัตว์เป็นเวลาหลายล้านปี ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ซึ่งใช้ในระดับอุตสาหกรรม ส่วนเชื้อเพลิงอีกประเภทได้แก่ เชื้อเพลิงจากไม้ และถ่านไม้ ซึ่งได้จากการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อได้มาซึ่งเชื้อเพลิง นับวันความต้องการบริโภคพลังงานในชีวิตประจำวันของมนุษย์ยิ่งเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าเชื้อเพลิงทั้งหลายนับวันมีแต่จะหมด แต่โลกไม่สามารถสร้างหรือผลิตทดแทนขึ้นในระยะเวลาอันสั้นนี้ได้ ดังนั้นจึงเกิดความไม่สมดุลขึ้นระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม ผลที่ตามมาคือการเสื่อมดุลของระบบนิเวศวิทยา นอกเหนือจากปัญหาการหมดไปของเชื้อเพลิงแล้ว โลกยังต้องประสบกับปัญหาภาวะซึ่งเป็นปัญหาต่อเนื่องมาจากปัญหาเชื้อเพลิง เหตุก็เพราะว่า ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะเกิดก๊าซพิษขึ้นมา เช่น ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ น้ำ และเถ้าถ่าน เป็นต้น ปัญหาทางด้านพลังงานที่เกิดขึ้นทำให้มนุษย์ตระหนักถึงความสำคัญของพลังงาน และแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทน แหล่งพลังงานธรรมชาติหลายๆ แหล่งถูกนำมาทดลองเพื่อใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน เช่น พลังงานจากน้ำ พลังงานลม และพลังงานจากแสงอาทิตย์

พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากแหล่งธรรมชาติทั่วไปและเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดสิ้น อีกทั้งเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ ความร้อนจากแสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้งานเชิงความร้อนได้โดยตรง รูปแบบของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ พอจะแยกได้เป็น 2 ประเภท ที่สำคัญดังนี้

1. การเปลี่ยนรูปโดยตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์
2. การเปลี่ยนรูปไปใช้ประโยชน์เชิงความร้อน ได้แก่ การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการทำน้ำอุ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานจากดวงอาทิตย์ถูกส่งมายังโลกเป็นจำนวนมหาศาลในแต่ละวันแต่มนุษย์ยังสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้เพียงเล็กน้อยในแต่ละวัน ดังนั้นหากสามารถวิจัย และพัฒนาโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้ ก็จะทำให้ประหยัดพลังงานหลัก และลดมลพิษที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรมากมาย ดังนั้นจึงมีโรงงานอุตสาหกรรมอาหารเป็นจำนวนมากเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนและกระบวนการอื่น ๆ ซึ่งต้องใช้ความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร นับได้ว่าโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมีปริมาณการใช้พลังงานมาก จึงน่าเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งเกิดประโยชน์ด้านพลังงาน และเพื่อปรับปรุงให้สามารถใช้งานในจริงในอนาคตต่อไป

ตัวรับรังสีแบบรวมรังสีดวงอาทิตย์ (Concentrator Collector) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยมีหลักการสำคัญก็คือ ใช้การสะท้อนรังสีไปรวมกันที่เป้าดูดรังสีซึ่งมีพื้นที่เล็กๆ ให้มีอัตราส่วนรวมรังสีที่มากขึ้น และมีการสูญเสียความร้อนจากพื้นที่เล็กๆของเป้าดูดรังสีนี้น้อยลง รูปแบบของการใช้ตัวรับรังสีแบบรวมรังสีดวงอาทิตย์ และนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ก็คือตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา (Parabolic - Trough Solar Collector) ที่สามารถทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงปานกลางมาทดลองใช้ทำน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตอาหารในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดภาระการใช้งานของเครื่องต้มน้ำซึ่งใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบและวิธีการที่เหมาะสมในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนในอุตสาหกรรมอาหาร
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำน้ำร้อนอุณหภูมิสูงจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

1.3 ขอบเขต

1. ศึกษาและวิเคราะห์การถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นบนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์
2. ศึกษาและทดลอง ที่สามารถนำมาใช้ในงานออกแบบระบบรางรับแสงแบบพาราโบลา ซึ่งสามารถทำน้ำร้อนให้สูงเพียงพอที่จะในกระบวนการผลิตอาหารเป็นหลัก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากโครงการวิจัยนี้จะสามารถบ่งบอกถึงศักยภาพของการนำพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้สำหรับการทำความร้อนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง โดยใช้เครื่องเก็บพลังงานแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา ที่สร้างขึ้นจากการวิจัยจะทำให้ทราบผลของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความร้อน รวมถึงขนาดของพื้นที่รับแสงที่เพียงพอในการผลิตน้ำร้อนในอุณหภูมิ และปริมาณที่ต้องการในกระบวนการผลิตอาหาร ซึ่งจะนำไปสู่การวางแผนการวิจัย และพัฒนาเพื่อให้บรรลุถึงการใช้ประโยชน์ได้จริงในเชิงอุตสาหกรรมในขั้นต่อไป

บทที่ 2

ตรวจเอกสารและแหล่งข้อมูล

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

โลกของเราได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในอัตราเฉลี่ย 1.71×10^{14} กิโลวัตต์ คิดเป็นประมาณ 30,000 เท่าของพลังงานที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ การที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน จำเป็นจะต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดจนอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการรับแสงอาทิตย์ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีค่าความเข้มต่ำในการใช้งานที่ต้องการอุณหภูมิสูง ๆ จึงจะต้องมีอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์ แล้วสามารถทำให้มีความเข้มสูงขึ้นอีกหลายๆเท่าตัวของความเข้มขั้นปกติจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้

2.2 ดวงอาทิตย์ [10]

มีข้อพิจารณาที่สำคัญที่สุดสำหรับดวงอาทิตย์ก็คือ พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ส่งออกมา นั้นเกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัวนิวเคลียร์ของไฮโดรเจนไปเป็นฮีเลียม แล้วรวมตัวกันอยู่เป็นก๊าซร้อนในลักษณะทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 กิโลเมตร อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทางเฉลี่ยประมาณ 1.5×10^8 กิโลเมตร จุดศูนย์กลางมีความร้อนมากที่สุดประมาณ 24×10^6 องศาเซลวิน แล้วจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงชั้นนอกสุดอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวประมาณ 5,762 เคลวิน ส่งพลังงานออกมาในอัตรา 3.8×10^{23} กิโลวัตต์ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงมวลไปเป็นพลังงานในอัตรา 4.3×10^9 กิโลกรัมต่อวินาที

2.3 ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ [12, 13]

เนื่องจากดวงอาทิตย์ส่งพลังงานออกมาทุกทิศทุกทาง เท่ากับพลังงานที่ถูกส่งออกมาจากวัตถุดำ (Black Body) ที่อุณหภูมิ 5,762 เคลวิน จึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานขึ้นโดยการหาค่าพลังงานจากดวงอาทิตย์ต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ตั้งฉากกับการแผ่รังสีมีชื่อว่า Solar Constant (I_{sc}) ที่ตำแหน่งกลางระหว่างระยะห่างดวงอาทิตย์และโลกซึ่งวัดได้ $1,353 \text{ W/m}^2$ โดยเฉลี่ย รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านลงมายังพื้นโลกนั้นจะผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลมาจาก การที่รังสีแสงอาทิตย์ถูกดูดซึมและถูกทำให้กระจัดกระจายโดยบรรยากาศ ผลของการดูดซึมของก๊าซต่าง ๆ เช่น O_3 , O_2 , H_2O , CO_2 ดังนั้น โอโซนจึงเป็นตัวกรองรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้อย่างดี การที่ปัจจุบันชั้นบรรยากาศกำลังสูญเสียโอโซนอย่างรวดเร็วจึงเป็นสิ่งที่น่าวิตก และควรได้รับการแก้ไขอย่างโดยด่วน รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านลงมายังพื้นโลกนั้นเป็นรังสีรวม (Total Radiation) ประกอบด้วยรังสีตรง (Beam

Radiation) และรังสีสะท้อน (Diffuse Radiation) สาเหตุจากโมเลกุลขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงของฝุ่น ควัน ละออง มวลของเมฆ เป็นตัวทำให้รังสีกระจาย ส่วนก๊าซ O_3 , O_2 , H_2O , CO_2 เป็นตัวดูดกลืนรังสีไว้ ดังนั้นส่วนที่เหลือคิดเป็นพลังงานได้ 163.2×10^{12} กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน หรือประมาณ 60×10^{15} กิโลวัตต์ ชั่วโมง/ปี และหากนำมาใช้งานที่อุปกรณ์การแปลงพลังงานที่มีประสิทธิภาพ 0.05 แล้วจะได้พลังงานถึง 300×10^{13} กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี

2.4 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์พิจารณาที่ผิวโลก [12]

เนื่องจากบรรยากาศของโลกประกอบไปด้วยก๊าซต่าง ๆ ไอน้ำ ฝุ่น และอนุภาคอื่น ๆ อีก จำนวนมาก ทำให้รังสีที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บางส่วนถูกดูดกลืน กระจาย มีทิศทางเบี่ยงเบนไป รังสีที่สามารถเดินทางมาถึงพื้นผิวโลกจึงเหลือเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการแผ่รังสีที่ผิวโลกจึงมีหลายลักษณะเนื่องจากการผ่านชั้นบรรยากาศโลก สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การแผ่รังสีแบบเป็นลำแสงตรง (Beam Radiation) เป็นรังสีที่โลกได้รับโดยตรง รังสีไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง
2. การแผ่รังสีแบบการแพร่กระจาย (Diffuse Radiation) ผิวโลกได้รับสีนี้หลังจากที่รังสีเปลี่ยนทิศทางไปจากเดิมแล้ว อันเนื่องจากการสะท้อน (Reflection) และการกระจาย (Scattering) เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์กระทบกับบรรยากาศของโลก
3. การแผ่รังสีทั้งหมด (Total Radiation) คือผลรวมของการแผ่รังสีแบบลำแสง กับ การแผ่รังสีแบบการแพร่กระจาย บางที่เรียกกันว่า Global Radiation

2.5 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องมือ [13]

พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนที่สามารถนำมาใช้งานได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด ตามความยาวคลื่น คือ

1. พลังงานคลื่นชนิดคลื่นสั้นหรือพลังงานแบบรังสีตรง (Beam Radiation) พลังงานชนิดนี้ได้มาจากการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
2. พลังงานชนิดคลื่นยาว (ความยาวคลื่นมากกว่า 30 ไมโครเมตร) หรือพลังงานแบบรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) พลังงานชนิดนี้ไม่ได้แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์โดยตรง แต่มาจากแหล่งอื่นที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์จนตัวเองมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจึงแผ่รังสีมายังเลนส์รับแสง

สำหรับวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (บรรยากาศที่ปกคลุมผิวขณะนั้นประกอบไปด้วยปริมาณไอน้ำหรือเมฆน้อย) พลังงานที่ได้รับเกือบทั้งหมดเป็นแบบคลื่นสั้น ส่วนในวันที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใส พลังงานที่ได้รับจะเป็นชนิดคลื่นยาวมากกว่ามากกว่าคลื่นสั้น จะมากน้อยกว่าเท่าไรขึ้นกับความไม่แจ่มใสของท้องฟ้า แต่ถ้าขณะใดก็ตามที่ปริมาณเมฆหนาจนไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ นั้นหมายถึงจะไม่มีพลังงานชนิดคลื่นสั้น

เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์ทั้งหมด (Total or Global Solar Radiation) จะวัดพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบรังสีตรง และแบบกระจายเครื่องมือที่ใช้วัดคือ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer)
2. เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง แบบนี้วัดพลังงานแบบคลื่นสั้นหรือแบบรังสีตรง เครื่องมือที่ใช้วัดคือ ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)

ณ ตำแหน่ง และเวลาเดียวกัน ปริมาณส่วนที่อ่านโดยไพราโนมิเตอร์จะมีค่าสูงกว่าแบบไพร์เฮลิโอมิเตอร์ ปริมาณส่วนที่มากกว่าคือพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย

2.6 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ [3]

รูปแบบของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ พอจะแยกได้เป็น 2 ประเภท ที่สำคัญดังนี้

1. การเปลี่ยนรูปโดยตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ การใช้สารกึ่งตัวนำบางชนิดเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มากตกกระทบเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เป็นระบบที่สะดวกไม่ยุ่งยากต่อการใช้งาน แต่จะมีข้อเสียที่ต้นทุนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังสูงอยู่ เช่นระบบ Photovoltaic และระบบ Thermionic

2. การเปลี่ยนรูปไปใช้ประโยชน์เชิงความร้อน (Thermal Application) คือ การใช้ตัวรับแสงซึ่งเป็นวัสดุสีดำดูดคลื่นรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้วัสดุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วสารทำงานภายในวัสดุนั้น เพื่อถ่ายเทความร้อนไปใช้งาน แบ่งลักษณะของตัวรับรังสีได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

- 2.1 ตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ (Flat Plate Collector) ใช้กับงานที่ต้องการช่วงอุณหภูมิไม่สูง โดยรับรังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์ได้ทั้งหมด โดยไม่สัมพันธ์กับสภาพท้องฟ้า และการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

- 2.2 ตัวรับรังสีแบบรวมแสง (Concentrating Collector) ใช้กับงานที่ต้องการช่วงอุณหภูมิใช้งานสูง โดยใช้หลักการรวมแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวสะท้อนรังสีซึ่งมีพื้นที่มากสะท้อนรวมไปยังเป้ารับรังสีซึ่งเป็นวัสดุสีดำด้าน ซึ่งมีพื้นที่น้อยกว่า แต่รังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ประโยชน์ได้กับตัวรับรังสีแบบนี้จะเป็นเฉพาะรังสีตรง (Direct solar radiation) เท่านั้น โดยไม่สามารถรวมรังสีกระจาย (Diffuse solar radiation) หลักการของตัวรับรังสีแบบรวมแสงคือ ระบบหนึ่งๆจะประกอบไปด้วยหน่วยย่อยหลายๆหน่วยต่ออนุกรมหรือขนานกัน โดยแต่ละหน่วยรับรังสีจะประกอบด้วยตัวรับรังสีและตัวสะท้อนรังสีการรับ รังสีที่สะท้อนมาจากตัวสะท้อนรังสีจะมี 2 ลักษณะคือ แบบวางรังสีเป็นจุด (Point focusing) และการรวมรังสีเป็นเส้น (Line focusing) โดยระบบจะมีชุดบังคับติดตามดวงอาทิตย์ (Sun Tracking) เพื่อให้ติดตั้งฉากกับระนาบของตัวรับรังสีตลอดเวลา อาจแบ่งระบบนี้ออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

ก.ประเภทที่มีการรวมแสงเป็นจุด (Point focusing)

ก.1 แบบจานพาราโบลิก (Parabolic dish type)

ก.2 แบบอ่างครึ่งทรงกลม (Hemispherical type)

ข.ประเภทที่มีการรวมรังสีเป็นเส้น (Line focusing)

ข.1 แบบกระจกและรางพาราโบลิก (Hybrid type)

ข.2 แบบรางพาราโบลิก (Parabolic trough type) ซึ่งเป็นแบบในการศึกษาในครั้งนี้

2.7 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก (Parabolic-Trough Solar Collector)

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิกประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

2.3.1 ตัวรวมแสง (Concentrator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สะท้อนหรือหักเหแสงให้ตกไปที่เป้ารับแสง เพื่อเพิ่มความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์บนเป้ารับแสง

2.3.2 ท่อรับแสง (Receiver) เป็นส่วนที่รับเอาพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งมาจากตัวรวมแสง แล้วมาทำการเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นความร้อน ที่เป้ารับแสงนี้จะประกอบด้วยท่อดูดแสง (Absorber) ทำหน้าที่ในการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

2.8 ตรวจสอบเอกสาร

Federal Technology Alert, United State of America's Department of Energy [1] ได้ทำการวิจัยและทดสอบระบบเก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิค Parabolic – Trough Solar Collector สำหรับการทำไอน้ำที่อุณหภูมิ 271 °C หรือสูงกว่าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นระบบเสริมที่ทำงานร่วมกับระบบที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ ในเวลากลางวันที่มีท้องฟ้าโปร่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวได้ถึง 354 MW จากห้องทดลองที่ตั้งอยู่รัฐโคโรลาโด

เจอร์แจ่มเวหา [3] ได้ทำการศึกษาศักยภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิกที่มีพารามิเตอร์เป็น จำนวนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, ท่อไฟเร็กซ์ที่ใช้หุ้มท่อ, ฟิล์มสะท้อนรังสี FEK-244 โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิกมีขนาดกว้าง 2.13 เมตร ยาว 3 เมตร และติดตั้งเข้ากับชุดบังคับสำหรับติดตามดวงอาทิตย์ ทำการวิเคราะห์ระบบราง 3 แบบคือ แบบ ก. ระบบรางพาราโบลิก 3 ราง ต่ออนุกรมกัน ไม่มีท่อแก้วสวมรอบท่อรับรังสี ไม่ติดฟิล์ม แบบ ข. ระบบรางพาราโบลิก 3 ราง ต่ออนุกรมกัน มีท่อแก้วสวมรอบท่อรับรังสี ไม่ติดฟิล์ม แบบ ค. ระบบรางพาราโบลิก 2 ราง ต่ออนุกรมกัน มีท่อแก้วสวมรอบท่อรับรังสี ติดฟิล์ม ผลการทดสอบประสิทธิภาพช่วงขณะของระบบรางรับรังสี ที่ความเข้มข้นการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ 700 วัตต์/ตารางเมตร ประสิทธิภาพของระบบรางพาราโบลิกแบบ ก. ข. และ ค. เท่ากับ 0.0014, 0.0024, 0.0049 ตามลำดับ และ ผลการทดสอบประสิทธิภาพเฉลี่ยตลอดวันของระบบรางรับรังสี ที่ความเข้มข้นการแผ่รังสี

โดยตรงจากดวงอาทิตย์ 260.18 วัตต์/ตารางเมตร ประสิทธิภาพของระบบรางพาราโบลิคแบบ ก. ข. และ ค. เท่ากับ 0.0009, 0.0017, 0.0034 ตามลำดับ

เสาวณี โยคเสนาะกุล [4] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำความร้อนที่ได้จากการรวมแสงแบบรางพาราโบลิคมาใช้ประโยชน์ โดยมีขนาดพื้นที่รับแสง 6.39 ตารางเมตร ใช้แผ่นสเตนเลสสตีลเป็นแผ่นสะท้อนแสงติดตั้งอยู่ในแนวอนทิสเหนือ-ใต้ ด้านหนึ่งประกอบเข้ากับชุดบังคับให้หมุนเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปตะวันตก ในความเร็วรอบ 15 องศาต่อชั่วโมง เพื่อให้แสงสะท้อนไปรวมกันที่โฟกัสซึ่งเป็นท่อกลมขนาด 25 มม. เคลือบสีดำด้าน มีท่อแก้วไฟเร็กซ์ขนาด 10 ซม. สวมรอบเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากผิวท่อสู่บรรยากาศ การรวมแสงให้อัตราความเข้มข้นประมาณ 20 เท่า ผลการทดลองเมื่อท้องฟ้าแจ่มใสในช่วงเวลา 11.00-14.00 น. ค่าเฉลี่ยการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ประมาณ 783 วัตต์ ต่อตารางเมตร ได้ค่าอุณหภูมิบริเวณรวมแสงเฉลี่ยรอบท่อรับแสงประมาณ 180 องศาเซลเซียส เปอร์เซนต์ความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณรวมแสงรอบท่อประมาณ 3-5%.

จินตนา เข้มเจริญวงศ์ [5] ได้ศึกษาและวิจัยเรื่อง ตัวรับแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิคที่ใช้ อะลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นแผ่นสะท้อนแสง รางรับแสงแบบพาราโบลิคขนาดพื้นที่รับแสง 3.36 ตารางเมตร โครงรองรับทำด้วยอะลูมิเนียมเส้นเพื่อลดน้ำหนักของตัวรับแสง อัตราส่วนความเข้มข้นของการรวมแสงมีค่าประมาณ 13 รางรับแสงติดตั้งในแนวทิศเหนือ-ใต้ ใช้วิธีหมุนแกนของรางด้วยมือเพื่อเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ทุกๆ 5 นาที จากการทดสอบปรากฏว่าได้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการรวมรังสีประมาณ 226 องศาเซลเซียส

สุวรรณ พันธุ์ม่วง และ สุรินทร์ ยั่งยืน[11] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของตัวรับรังสีแบบรางรวมแสงแบบพาราโบลิคโดยมีท่อคู่รังสีมีท่อแก้วสวมเพื่อลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนจากลม ทำการทดสอบโดยปั้มน้ำซึ่งเป็นสารทำงานที่อัตราไหลประมาณ 20-130 ลิตร/ชั่วโมง ไหลผ่านท่อคู่รังสี โดยรางพาราโบลิคเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ผลการทดลองแสดงว่า ขณะที่การไหลเพิ่มขึ้นค่าความต่างของน้ำที่ออกและเข้าที่ท่อคู่แสงจะน้อยลง ในขณะเดียวกัน ประสิทธิภาพจะสูงขึ้น ที่ปริมาณแสงอาทิตย์ในแนวราบเฉลี่ยในแนวราบประมาณ 700 วัตต์/ตารางเมตร ที่อัตราการไหล 22.85, 55 และ 130 ลิตร/ชั่วโมง ค่าอุณหภูมิแตกต่างของน้ำที่เข้าและออก 33, 20 และ 10 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณ 25, 28 และ 37% ตามลำดับ

เกรียงไกร คำรงค์รัตน์ วรรณชิต วิเศษสมภักย์ ธนิต เหล่าตระกูล บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย และ ไวยม้น จรรย์รุ่งกุล [7] ได้สร้างตัวรับแสงแบบรางพาราโบลาขนาด กว้าง 6.39 ตารางเมตรโดยสร้างเพิ่มขึ้นอีก 2 ชุด ใช้แผ่นสเตนเลสตีลเป็นแผ่นสะท้อนแสง ท่อรับแสงที่เป่ารับแสงซึ่งได้ทำสีดำ เป็นท่อไอน้ำขนาด 25.4 มม. โดยตัวหนึ่งจะต่ออนุกรมกับตัวเดิม ซึ่งใช้แผ่นสะท้อนและท่อรับแสงเป็นขนาดเดียวกัน แต่ที่ท่อรับแสงได้ปรับปรุงโดยสวมท่อแก้วขนาด 100 มม. และทั้ง 2 ตัวจะติดตามพระอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปตะวันตกตลอดเวลา ส่วนอีกตัวหนึ่งจะติดตั้งในทิศตะวันออกและตะวันตกและจะติดตามดวงอาทิตย์ในทิศเหนือ-ใต้โดยใช้มือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของท่อรับแสงเมื่อสวมและไม่สวมท่อแก้วเป็น 284 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของท่อรับแสงของตัวที่ตามดวงอาทิตย์ในแนวทิศเหนือใต้เป็น 179 องศาเซลเซียส

ทฤษฎีและหลักการ

3.1 แหล่งกำเนิดความร้อน และการประยุกต์ใช้กับอาหาร [14]

ต้นทุนเรื่องพลังงานที่สูงขึ้นในกระบวนการแปรรูปอาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกกระบวนการแปรรูปซึ่งต้องร่วมพิจารณาพร้อมกับต้นทุนของอาหารและผลกำไรที่จะได้รับ เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน เช่น ต้นทุน ความปลอดภัย ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในอาหาร ความยืดหยุ่นในการใช้งาน เงินลงทุนหรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสำหรับเครื่องถ่ายเทความร้อน แหล่งกำเนิดความร้อนที่มีใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารในอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้

1. ไฟฟ้า
2. ก๊าซ (ก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว)
3. น้ำมันเชื้อเพลิงเหลว

มีการใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น แอนทราไซต์ ถ่านหิน ไม้ และถ่านในปริมาณที่ไม่มาก ในการให้ความร้อนนั้นมียู้อยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ

3.1.1 วิธีให้ความร้อนโดยตรง

ในการให้ความร้อนโดยตรงนั้นสามารถใช้ได้เฉพาะก๊าซหรือเชื้อเพลิงเหลวเนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงอื่นอาจเกิดปัญหาเรื่องการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีการประยุกต์ใช้ความร้อนโดยตรงกับเตาอบสำหรับการใช้ไฟฟ้าจะแตกต่างกับการใช้เชื้อเพลิงอื่นนั่นคือต้องใช้เครื่องปั้นไอน้ำซึ่งได้รับความร้อนจากเชื้อเพลิง หรือการใช้ปฏิกิริยานิวเคลียร์เพื่อผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการใช้ไฟฟ้าโดยตรงทำได้ในกรณีของการให้ความร้อนโดยวิธีไดอิเล็กตริกหรือการใช้รังสีไมโครเวฟ

3.1.2 วิธีให้ความร้อนโดยทางอ้อม

การให้ความร้อนโดยทางอ้อมต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อไม่ให้อาหารสัมผัสกับผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ ระบบแบบที่ง่ายที่สุดจะประกอบด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้แผ่นโลหะและให้ความร้อนโดยพลังงานจากการแผ่รังสีของแผ่นโลหะ ระบบให้ความร้อนโดยอ้อมที่ใช้ทั่วไปมากที่สุดในการแปรรูปอาหารคือการใช้ไอน้ำที่ผลิตโดยหม้อต้มไอน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ห่างออกไปจากพื้นที่ของการแปรรูป เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่สอง จะถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำไปยังอาหารภายใต้สภาวะที่ถูกรักษา หรืออาจมีการฉีดไอน้ำเข้าไปในอาหาร อาจมีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนอีกชุดซึ่งจะถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำไปยังอากาศเพื่อทำให้อาหารแห้งหรือให้ความร้อนแก่

อาหารภายใต้สภาวะที่แห้ง Farrall (1979) ได้รายงานข้อดีของการใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนในกระบวนการแปรรูปและอธิบายเครื่องมือผลิตและการจัดการไอน้ำชนิดต่าง ๆ

การให้ความร้อนโดยอ้อมด้วยการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้เครื่องให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดหรือใช้ความต้านทานไฟฟ้าซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้เส้นลวดนิเกิล และโครเมียมที่บรรจุอยู่ในแผ่นของแข็งซึ่งติดอยู่กับผนังของแจ็กเก็ตซึ่งหุ้มอยู่รอบภาชนะในเครื่องทำความร้อน ซึ่งจุ่มอยู่ในอาหาร เครื่องทำความร้อนแบบนี้ใช้สำหรับการให้ความร้อนเฉพาะที่หรือสลับเป็นช่วง ๆ

การประหยัดพลังงาน ในการสำรวจอุตสาหกรรมอาหารในปี 1981 โดยประชาคมเศรษฐกิจยุโรป พบว่าการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันมาก การไม่สมดุลจะใช้กำลังงาน (Power Input) ต่ำที่สุด (586 เมกะจูลล์ต่อตันของผลิตภัณฑ์) และการแปรรูปโกโก้และช็อกโกแลตจะใช้พลังงานสูงสุด (8,335 เมกะจูลล์ต่อตันของผลิตภัณฑ์) ตารางที่ 3.1 เป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการแปรรูปมันฝรั่งด้วยกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการแปรรูปมันฝรั่ง

	การใช้พลังงาน (เมกะจูลล์/ตัน)				
	การอบแห้งด้วยลมร้อน	การอบแห้งแบบระเหิด	การบรรจุกระป๋อง	รีทอร์ทแพทช์	การแช่เยือกแข็ง
การแปรรูป	8	42	6	4	5
การบรรจุ	1	2	14	7	7
การเก็บรักษา	0.1	0.1	0.1	0.1	32
การเก็บรักษาที่บ้าน	0	0	0	0	24
การขนส่ง	2	2	8	8	8
รวม	11	46	28	18	52

ที่มา : Olabode และคณะ (1997) ในรายงานของ Kefford (1982)

ในการแปรรูปอาหารทั่วไป พลังงานส่วนใหญ่ 58% (หรือ 40-80%) ถูกใช้ไปในกระบวนการแปรรูปจริง และ 11% (หรือ 15-40%) ใช้ไปในการบรรจุ 12% (หรือ 0.56-30%) ในการขนส่ง 15% ในการเตรียมน้ำสะอาดและสูงถึง 85% สำหรับการเก็บรักษา เชื้อเพลิงที่ต้องใช้สำหรับหม้อต้มไอน้ำคิดเป็น 8.6-97.2% ของพลังงานที่ต้องใช้ทั้งหมดในโรงงานในขณะที่การใช้หม้อต้มไอน้ำคิดเป็น 45% เท่านั้นเนื่องจากการควบคุมหม้อต้มไอน้ำให้มีความร้อนต่ำในระหว่างช่วงการผลิต (เช่น กะเย็นหรือกะกลางคืน) นอกจากนั้นน้ำที่กลั่นตัวแล้วเพียง 58% เท่านั้นที่นำกลับมาใช้

ได้ใหม่ในหม้อต้มไอน้ำ ทำให้สูญเสียความร้อนภายในน้ำที่กลั่นตัวโดยเฉลี่ยแล้ว 40% ของการสูญเสียความร้อนในโรงงานเกิดในไอน้ำ และ 10-20% เกิดในน้ำร้อน

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ชัดว่าการประหยัดพลังงานในโรงงานแปรรูปอาหารส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการใช้หม้อต้มไอน้ำ การใช้ไอน้ำหรือร้อนและการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ มีการตรวจและการติดตามการใช้พลังงาน เพื่อชี้ว่าจะสามารถประหยัดพลังงานในพื้นที่หรือเครื่องอะไรได้บ้าง ดังนั้นถ้าเราสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้สำหรับเชื้อเพลิง ที่ใช้ในหม้อต้มไอน้ำได้นอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการแปรรูปแล้วยังเป็นการรักษาทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย

ระบบปรับแสงแบบรางพาราโบลิกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในส่วนนี้ได้ ทั้งนี้นอกจากจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงลงแล้ว ยังไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย เราอาจใช้ระบบปรับแสงแบบรางพาราโบลิกในการอุ่นน้ำร้อนก่อนเข้าหม้อต้มไอน้ำ หรืออาจนำน้ำร้อนที่ได้ออกจากระบบปรับแสงแบบรางพาราโบลิกมาให้ความร้อนโดยตรงกับตัวผลิตภัณฑ์ เช่น การลวกทำลายเอนไซม์บางชนิด หรือทางอ้อม โดยนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์หรือสเตอริไลส์ เป็นต้น

การเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวรับรังสีแบบพาราโบลิกมาเป็นความร้อนจะต้องมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

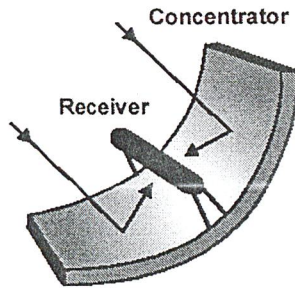
3.2 ทฤษฎีของการรวมรังสี

การรวมรังสีของรางพาราโบลิกซึ่งมีทอกลมเป็นเป้ารับรังสี สามารถพิจารณาได้จากสมการพาราโบลา

$$Y^2 = 4CX \quad (3.1)$$

เมื่อ X, Y = ค่าคงที่ตามแกน X และ Y
 C = ค่าความยาวโฟกัส (m)

โดยจุดยอดอยู่ที่จุด $0,0$ และ C คือระยะจากจุดยอดถึงจุดโฟกัส จากสมการดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณ เพื่อออกแบบรางรับแสงแบบพาราโบลิก ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4



รูปที่ 3.1 การรวมรังสีของรางพาราโบลิกที่มีท่อกลมเป็นเป้ารับรังสี

3.3 อัตราส่วนความเข้มของการรวมรังสี (Concentration ratio : CR.)

คืออัตราส่วนของพื้นที่ผิวรับแสงที่ตั้งฉากกับรังสีตกกระทบต่อพื้นที่ของท่อรับรังสี ในการหาค่าอัตราส่วนความเข้มของการรวมรังสี จะต้องมีข้อสมมติฐานที่ใช้ในการหาค่าดังกล่าวคือ

1. พลังงานแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบนผิวรังสีจะต้องสะท้อนออกหมด
2. พื้นที่ของท่อดูดแสงมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวของตัวรับรังสี คือถือว่าท่อรับรังสีไม่ทำให้เกิดเงาบนตัวรับรังสี
3. การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ขนานกับแนวแกนของรางพาราโบลิกที่รับรังสี และรางพาราโบลิกมีลักษณะสมมาตร

จะได้ค่าอัตราส่วนความเข้มของการรวมรังสี

$$CR. = \frac{A_a}{A_r} \quad (3.2)$$

เมื่อ	A_a	=	พื้นที่ผิวรับรังสีที่ตั้งฉากกับรังสีตกกระทบ
	A_r	=	พื้นที่ผิวของท่อรับรังสี
	L	=	ความยาวของท่อรับรังสี
	D	=	ความกว้างของรางพาราโบลิก
	d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อรับรังสี

จะได้

$$CR. = \frac{D}{\pi d} \quad (3.3)$$

3.4 ค่าความร้อนจำเพาะของสารทำงาน และน้ำ [15]

$$Cp_o = (0.0042 \times T) + 1.795 \quad (3.4)$$

$$Cp_w = (-1 \times 10^{-11} T^5) + (5 \times 10^{-9} T^4) - (8 \times 10^{-7} T^3) + (7 \times 10^{-5} T^2) - 0.0028T + 4.2178 \quad (3.5)$$

เมื่อ Cp_o = ค่าคงที่ของสารทำงาน (kJ/kg.°C)
 Cp_w = ค่าคงที่ของน้ำ (kJ/kg.°C)
 T = อุณหภูมิ (°C)

3.5 สมการแสดงความร้อนใช้ประโยชน์

3.5.1 สมการแสดงความร้อนที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์

กำหนดข้อพิจารณาความร้อนที่ได้จากท่อรับรังสี คือ สารทำงานไม่มีการเปลี่ยนสถานะดังนั้นตามกฎทางเทอร์โมไดนามิกส์จะได้

$$Q_r = m Cp_o \Delta T \quad (3.6)$$

เมื่อ Q_r = ความร้อนที่ได้รับจริง (J)
 m = มวลของสารทำงาน (kg)
 Cp_o = ค่าคงที่ของสารทำงาน (kJ/kg.°C)
 ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออก (°C)

3.5.2 สมการแสดงประสิทธิภาพของรางพาราโบลิก

ประสิทธิภาพในทางทฤษฎีของรางรับรังสีหาได้จากอัตราส่วนของความร้อนตามทฤษฎีที่ได้จากรางต่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่รางได้รับ

$$\eta = (Q_r / Q_{sc}) \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพ
 Q_r = ความร้อนที่ได้รับจริง (J)
 Q_{sc} = ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังพื้นโลก (J)

บทที่ 4

การคำนวณ ออกแบบ และสร้างชุดทดลอง

ชุดทดลองที่ใช้ในงานวิจัยจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้

4.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างตัวรับรังสี

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงวัสดุที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างตัวรับรังสี

ลำดับ	ชิ้นส่วน	ชนิด	จำนวน
1.	ลื้อ	เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร	1 ลื้อ
2.	เหล็กกล่อง	ขนาด 1 นิ้ว × 1 นิ้ว	2 เส้น
3.	เหล็กกล่อง	ขนาด 1 นิ้ว × 2 นิ้ว	3 เส้น
4.	ปั้มน้ำมันเครื่อง		1 ตัว
5.	ฉนวนใยแก้ว	หนา 1.5 เซนติเมตร	
6.	เหล็กแผ่นรูปพาราโบลา	หนา 3 มิลลิเมตร	2 แผ่น
7.	ถังสะสมความร้อน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร	1 ถัง
8.	แผ่นเหล็กไร้สนิม	ขนาด 2.4 × 1.2 เมตร	1 แผ่น
9.	ท่อเหล็ก	ขนาด 6/8 นิ้ว	1 เส้น
10.	ข้อต่อ 90°	ขนาด 6/8 นิ้ว	2 ตัว
11.	ข้อต่อ 90°	ขนาด 4/8 นิ้ว	2 ตัว
12.	ท่อสั้น	ขนาด 4/8 นิ้ว	6 ตัว
13.	ข้อต่อลด	ขนาด 6/8 นิ้ว - ขนาด 4/8 นิ้ว	2 ตัว
14.	สายเทอร์โมคัปเปิล	ชนิด K และ ชนิด J	1 เส้น
15.	ท่อทองแดง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 มิลลิเมตร	2.5 เมตร
16.	สายยางทนความร้อน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร	2.5 เมตร
17.	สายรัด	ขนาด 4/8 นิ้ว	10 ตัว
18.	มอเตอร์	ขนาด 0.5 HP	1 ตัว
19.	ชุดติดตามดวงอาทิตย์		1 ชุด

4.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบลิก

วางรับแสงแบบพาราโบลิกประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ต่าง 5 ส่วน ดังนี้

1. โครงสร้าง

โครงสร้างรองรับภาครับรังสีทำเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว \times 1 นิ้ว และ 1 นิ้ว \times 2 นิ้ว ทำการเชื่อมยึดติดกันเป็นโครงสร้างและยึดติดกับล้อยด้วยสกรูเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย ภาครับรังสีขึ้นรูปเป็นลักษณะโค้งพาราโบลิกด้วยเหล็กแผ่นขนาด 4 มิลลิเมตร และเชื่อมติดกับเหล็กเพลลาเพื่อใช้ในการหมุน โครงสร้างและภาครับรังสียึดติดกันด้วยตุ้กตา โดยที่ปลายข้างหนึ่งประกอบเข้ากับชุดติดตามดวงอาทิตย์

2. แผ่นเหล็กไร้สนิม

ผิวรับรังสีทำด้วยแผ่นเหล็กไร้สนิม โดยใช้สแตนเลสแผ่นขนาดมาตรฐาน (4 ฟุต \times 8 ฟุต) จำนวน 1 แผ่น จะทำให้ผิวรับรังสีมีขนาดกว้าง 1.22 เมตร และยาว 2.44 เมตร และยึดติดกับภาครับรังสีด้วยหมุดย้ำ

3. ท่อรับรังสี

ท่อรับรังสีเป็นท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 19.05 มิลลิเมตร พันสีดำ โดยรอบของท่อรับรังสี เพื่อทำหน้าที่เพิ่มการดูดซับรังสีแรงอาทิตย์ที่สะท้อนจากการสะท้อนจากผิวรับรังสี ภายในมีสารทำงานเป็นน้ำมันไหลอยู่

4. ถังสะสมความร้อน

ถังสะสมความร้อนเป็นถังสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ภายในถังมีเครื่องสูบน้ำมันเครื่องภายใน ถังถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว

5. ระบบท่อ

ท่อเป็นท่อเหล็กหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนขณะแลกเปลี่ยนความร้อน

4.3 ระบบฉนวนความร้อน (Insulation Systems)

ระบบฉนวนความร้อนนั้นประกอบไปด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ หลายชนิดผสมกันซึ่งมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำลงไปอีก วัสดุที่ใช้ในการทดลองเพื่อเป็นระบบกันความร้อน ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass) ซึ่งใช้หุ้มถังสะสมความร้อนและระบบท่อ ข้อดีของฉนวนใยแก้วคือ ไม่เปลี่ยนแปลงสภาพเมื่อถูกความร้อนนาน ๆ แต่มีข้อเสียคือ ใยแก้วจะดูดความชื้นได้มาก ถ้ามีความชื้นสูงถึงร้อยละ 70 - 80 เช่นประเทศไทยในตอนเย็น อากาศที่เย็นจะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำทำให้อุณหภูมิในท่อลดลงได้ และทำให้ใยแก้วเสื่อมสภาพเร็วกว่ากำหนด

4.4 การคำนวณเพื่อการออกแบบรางรับแสงแบบพาราโบลิก

การคำนวณรางรับแสงแบบพาราโบลิก สามารถคำนวณระยะวางท่อ ได้จากสมการที่ 3.1

$$Y^2 = 4CX$$

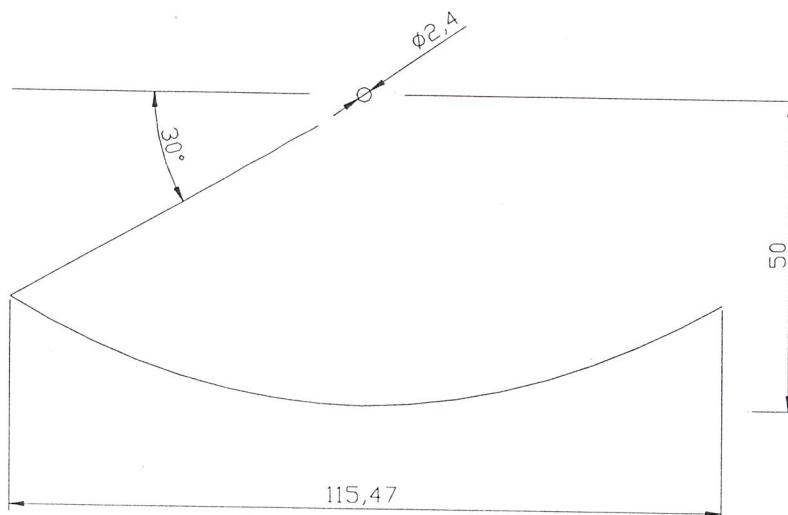
เนื่องจากเราใช้แผ่นสแตนเลสขนาดมาตรฐาน (กว้าง 122 เซนติเมตร) มาทำผิวรับรังสี ดังนั้นเพื่อใช้ประโยชน์ให้ได้สูงสุดจะได้ค่า $C = 0.50$ เมตร (แสดงไว้ในหัวข้อต่อไป) เมื่อนำ ค่า c เท่ากับ 0.5 เมตร มาแทนในสมการ จะได้ค่า x และ y ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า x และ y ที่ค่าต่างๆ โดยค่า y เริ่มต้นที่ -100 ถึง 100

y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
-100.00	50.00	-66.00	21.78	-32.00	5.12	2.00	0.02	36.00	6.48	70.00	24.50
-99.00	49.01	-65.00	21.13	-31.00	4.81	3.00	0.05	37.00	6.85	71.00	25.21
-98.00	48.02	-64.00	20.48	-30.00	4.50	4.00	0.08	38.00	7.22	72.00	25.92
-97.00	47.05	-63.00	19.85	-29.00	4.21	5.00	0.13	39.00	7.61	73.00	26.65
-96.00	46.08	-62.00	19.22	-28.00	3.92	6.00	0.18	40.00	8.00	74.00	27.38
-95.00	45.13	-61.00	18.61	-27.00	3.65	7.00	0.25	41.00	8.41	75.00	28.13
-94.00	44.18	-60.00	18.00	-26.00	3.38	8.00	0.32	42.00	8.82	76.00	28.88
-93.00	43.25	-59.00	17.41	-25.00	3.13	9.00	0.41	43.00	9.25	77.00	29.65
-92.00	42.32	-58.00	16.82	-24.00	2.88	10.00	0.50	44.00	9.68	78.00	30.42
-91.00	41.41	-57.00	16.25	-23.00	2.65	11.00	0.61	45.00	10.13	79.00	31.21
-90.00	40.50	-56.00	15.68	-22.00	2.42	12.00	0.72	46.00	10.58	80.00	32.00
-89.00	39.61	-55.00	15.13	-21.00	2.21	13.00	0.85	47.00	11.05	81.00	32.81
-88.00	38.72	-54.00	14.58	-20.00	2.00	14.00	0.98	48.00	11.52	82.00	33.62
-87.00	37.85	-53.00	14.05	-19.00	1.81	15.00	1.13	49.00	12.01	83.00	34.45
-86.00	36.98	-52.00	13.52	-18.00	1.62	16.00	1.28	50.00	12.50	84.00	35.28
-85.00	36.13	-51.00	13.01	-17.00	1.45	17.00	1.45	51.00	13.01	85.00	36.13
-84.00	35.28	-50.00	12.50	-16.00	1.28	18.00	1.62	52.00	13.52	86.00	36.98
-83.00	34.45	-49.00	12.01	-15.00	1.13	19.00	1.81	53.00	14.05	87.00	37.85
-82.00	33.62	-48.00	11.52	-14.00	0.98	20.00	2.00	54.00	14.58	88.00	38.72
-81.00	32.81	-47.00	11.05	-13.00	0.85	21.00	2.21	55.00	15.13	89.00	39.61
-80.00	32.00	-46.00	10.58	-12.00	0.72	22.00	2.42	56.00	15.68	90.00	40.50
-79.00	31.21	-45.00	10.13	-11.00	0.61	23.00	2.65	57.00	16.25	91.00	41.41
-78.00	30.42	-44.00	9.68	-10.00	0.50	24.00	2.88	58.00	16.82	92.00	42.32
-77.00	29.65	-43.00	9.25	-9.00	0.41	25.00	3.13	59.00	17.41	93.00	43.25
-76.00	28.88	-42.00	8.82	-8.00	0.32	26.00	3.38	60.00	18.00	94.00	44.18
-75.00	28.13	-41.00	8.41	-7.00	0.25	27.00	3.65	61.00	18.61	95.00	45.13
-74.00	27.38	-40.00	8.00	-6.00	0.18	28.00	3.92	62.00	19.22	96.00	46.08
-73.00	26.65	-39.00	7.61	-5.00	0.13	29.00	4.21	63.00	19.85	97.00	47.05
-72.00	25.92	-38.00	7.22	-4.00	0.08	30.00	4.50	64.00	20.48	98.00	48.02
-71.00	25.21	-37.00	6.85	-3.00	0.05	31.00	4.81	65.00	21.13	99.00	49.01
-70.00	24.50	-36.00	6.48	-2.00	0.02	32.00	5.12	66.00	21.78	100.00	50.00
-69.00	23.81	-35.00	6.13	-1.00	0.01	33.00	5.45	67.00	22.45		
-68.00	23.12	-34.00	5.78	0.00	0.00	34.00	5.78	68.00	23.12		
-67.00	22.45	-33.00	5.45	1.00	0.01	35.00	6.13	69.00	23.81		

ขนาดของมุมระหว่างขอบผิวรับรังสีกับจุดศูนย์กลางที่รับรังสีเท่ากับ 30° เพื่อให้ได้รางที่มีขนาดเหมาะสมและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำค่า X และ Y แทนในจุดต่างๆและตัดส่วนที่เกิน

จากมุมมองที่ได้กล่าวมาแล้วโดยใช้โปรแกรมการออกแบบ AutoCAD จะได้ลักษณะดังรูปที่ 4.1 การคำนวณหาความโค้งนั้นโปรแกรมการออกแบบสามารถคำนวณออกมาได้ดังรูปที่ 4.2 จะได้ระยะทางบนส่วนโค้งเท่ากับ 121.4638 เซนติเมตร



รูปที่ 4.1 ขนาดต่างๆของรางพาราโบลิค

```

AutoCAD Text Window - D:\Users\nut\Project\F50-3D.DWG
Edit
Command: _list
Select objects: 1 found

Select objects:

                LWPOLYLINE Layer: "Plate"
                  Space: Model space
                Handle = 74
    Open
Constant width    0.0000
                area    1278.4019
                length  121.4638

    at point X= -57.6573 Y= 16.7115 Z= 0.0000
    at point X= -50.0000 Y= 12.5000 Z= 0.0000
    at point X= -40.0000 Y= 8.0000 Z= 0.0000
    at point X= -30.0000 Y= 4.5000 Z= 0.0000
    at point X= -20.0000 Y= 2.0000 Z= 0.0000
    at point X= -10.0000 Y= 0.5000 Z= 0.0000
    at point X= 0.0000 Y= 0.0000 Z= 0.0000
    at point X= 10.0000 Y= 0.5000 Z= 0.0000
    at point X= 20.0000 Y= 2.0000 Z= 0.0000
    at point X= 30.0000 Y= 4.5000 Z= 0.0000
    at point X= 40.0000 Y= 8.0000 Z= 0.0000
    at point X= 50.0000 Y= 12.5000 Z= 0.0000
    at point X= 57.6573 Y= 16.7115 Z= 0.0000
Command: |

```

รูปที่ 4.2 การหาระยะทางบนส่วนโค้งของรางพาราโบลิค

```

AutoCAD Text Window - D:\users\nut\Project\F=49.dwg
Edit
Command: _list
Select objects: 1 found

Select objects:

                LWPOLYLINE Layer: "0"
                        Space: Model space
                Handle = 2C
                Open
Constant width    0.0000
                area    1229.0348
                length   119.0051

at point X= -56.4797 Y=  16.3914 Z=  0.0000
at point X= -50.0000 Y=  12.7550 Z=  0.0000
at point X= -40.0000 Y=   8.1630 Z=  0.0000
at point X= -30.0000 Y=   4.5920 Z=  0.0000
at point X= -20.0000 Y=   2.0410 Z=  0.0000
at point X= -10.0000 Y=   0.5100 Z=  0.0000
at point X=  0.0000 Y=   0.0000 Z=  0.0000
at point X=  10.0000 Y=   0.5100 Z=  0.0000
at point X=  20.0000 Y=   2.0410 Z=  0.0000
at point X=  30.0000 Y=   4.5920 Z=  0.0000
at point X=  40.0000 Y=   8.1630 Z=  0.0000
at point X=  50.0000 Y=  12.7550 Z=  0.0000
at point X=  56.4797 Y=  16.3914 Z=  0.0000

Command:

```

รูปที่ 4.3 ระยะความโค้งของผิวรับรังสีที่โฟกัสเท่ากับ 49°

```

AutoCAD Text Window - D:\users\nut\Project\F=51.dwg
Edit
Command: _list
Select objects: 1 found

Select objects:

                LWPOLYLINE Layer: "0"
                        Space: Model space
                Handle = 2C
                Open
Constant width    0.0000
                area    1328.0271
                length   123.9367

at point X= -58.8464 Y=  17.0250 Z=  0.0000
at point X= -50.0000 Y=  12.2550 Z=  0.0000
at point X= -40.0000 Y=   7.8430 Z=  0.0000
at point X= -30.0000 Y=   4.4120 Z=  0.0000
at point X= -20.0000 Y=   1.9610 Z=  0.0000
at point X= -10.0000 Y=   0.4900 Z=  0.0000
at point X=  0.0000 Y=   0.0000 Z=  0.0000
at point X=  10.0000 Y=   0.4900 Z=  0.0000
at point X=  20.0000 Y=   1.9610 Z=  0.0000
at point X=  30.0000 Y=   4.4120 Z=  0.0000
at point X=  40.0000 Y=   7.8430 Z=  0.0000
at point X=  50.0000 Y=  12.2550 Z=  0.0000
at point X=  58.8464 Y=  17.0250 Z=  0.0000

Command:

```

รูปที่ 4.4 ระยะความโค้งของผิวรับรังสีที่โฟกัสเท่ากับ 51°

ค่าระยะความโค้งที่ได้เนื่องจากความยาวโฟกัสที่ $49^{\circ},51^{\circ}$ มีค่าเท่ากับ 119.0051 และ 123.9367 เซนติเมตรตามลำดับจากค่าที่ได้จะเห็นว่าค่าที่เราเลือกโฟกัสที่ 50° (ระยะความโค้งเท่ากับ 121.4638 เซนติเมตร) นั้นมีความเหมาะสมแล้วกับความกว้างของแผ่นสแตนเลสที่มีอยู่ (กว้าง 122 เซนติเมตร) เพื่อที่จะได้ใช้คุ้มค่าที่สุด

สรุปลักษณะที่สำคัญของรางพาราโบลิก

ขนาดความกว้างของราง	1.215	เมตร
ขนาดความยาวของราง	2.44	เมตร
ความยาวโฟกัส	0.50	เมตร
ขนาดของท่อดูดแสง	0.01905	เมตร

บทที่ 5

วิธีการทดลองและการจัดเก็บข้อมูล

5.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่

การทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่
จุดประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่
วัสดุและอุปกรณ์

1. มอเตอร์
2. อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
3. เครื่องวัดความเร็วรอบแบบมือถือ

วิธีการทดลอง

1. ต่อชุดมอเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบและเปิดมอเตอร์ที่ความถี่ 10 เฮิรต์
2. อ่านค่าความเร็วรอบจากเครื่องวัดความเร็วรอบแบบมือถือและทำซ้ำอีก 2 ครั้ง
3. เปลี่ยนความถี่ พร้อมทั้งทำซ้ำตามข้อ 2 และ 3
4. นำข้อมูลไปสร้างกราฟความสัมพันธ์

5.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลมวลของน้ำมันเครื่อง

การทดลองที่ 2 การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำมันเครื่อง

จุดประสงค์

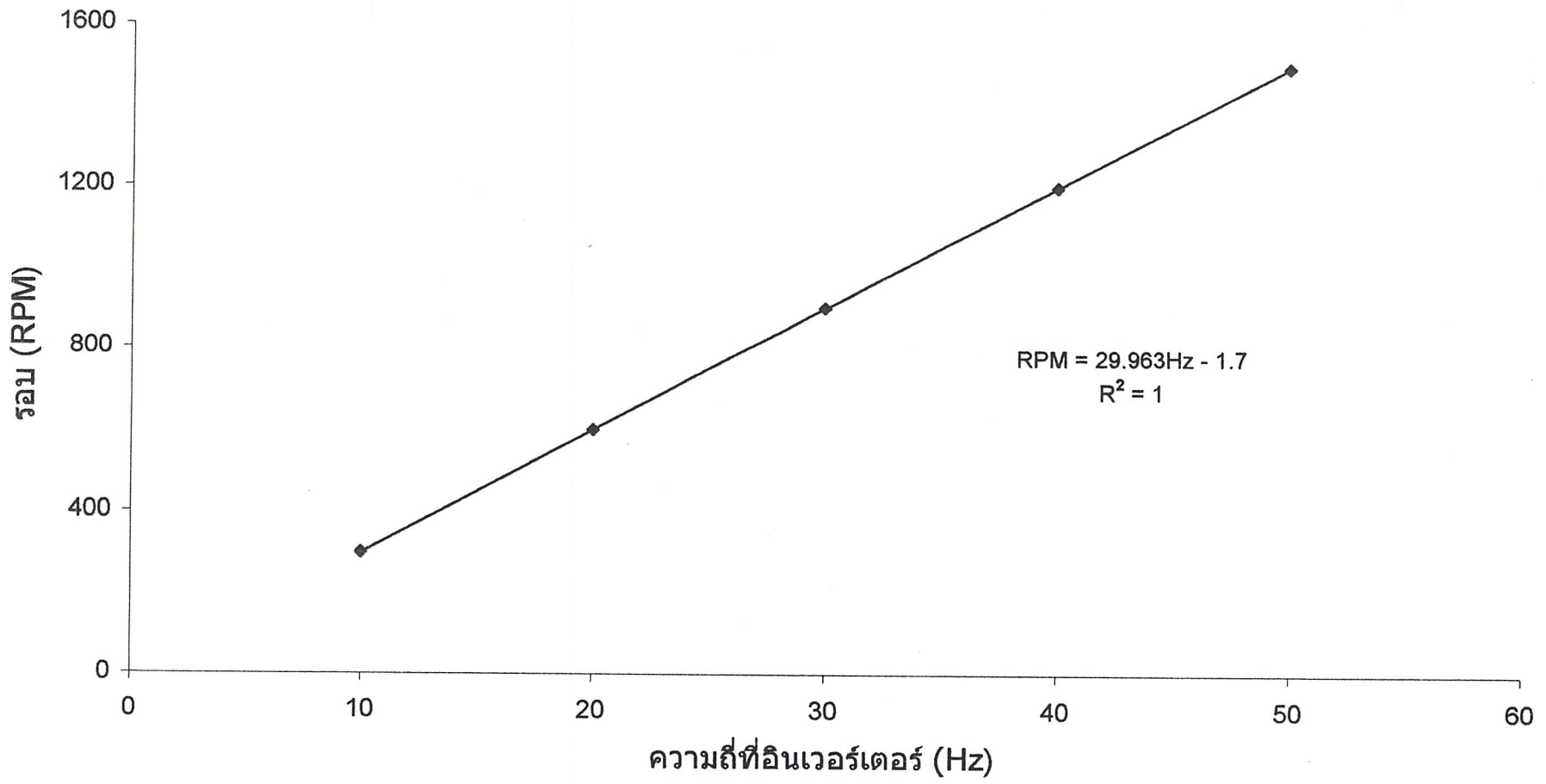
1. เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำมันเครื่องที่รอบทำงานต่าง ๆ

วัสดุและอุปกรณ์

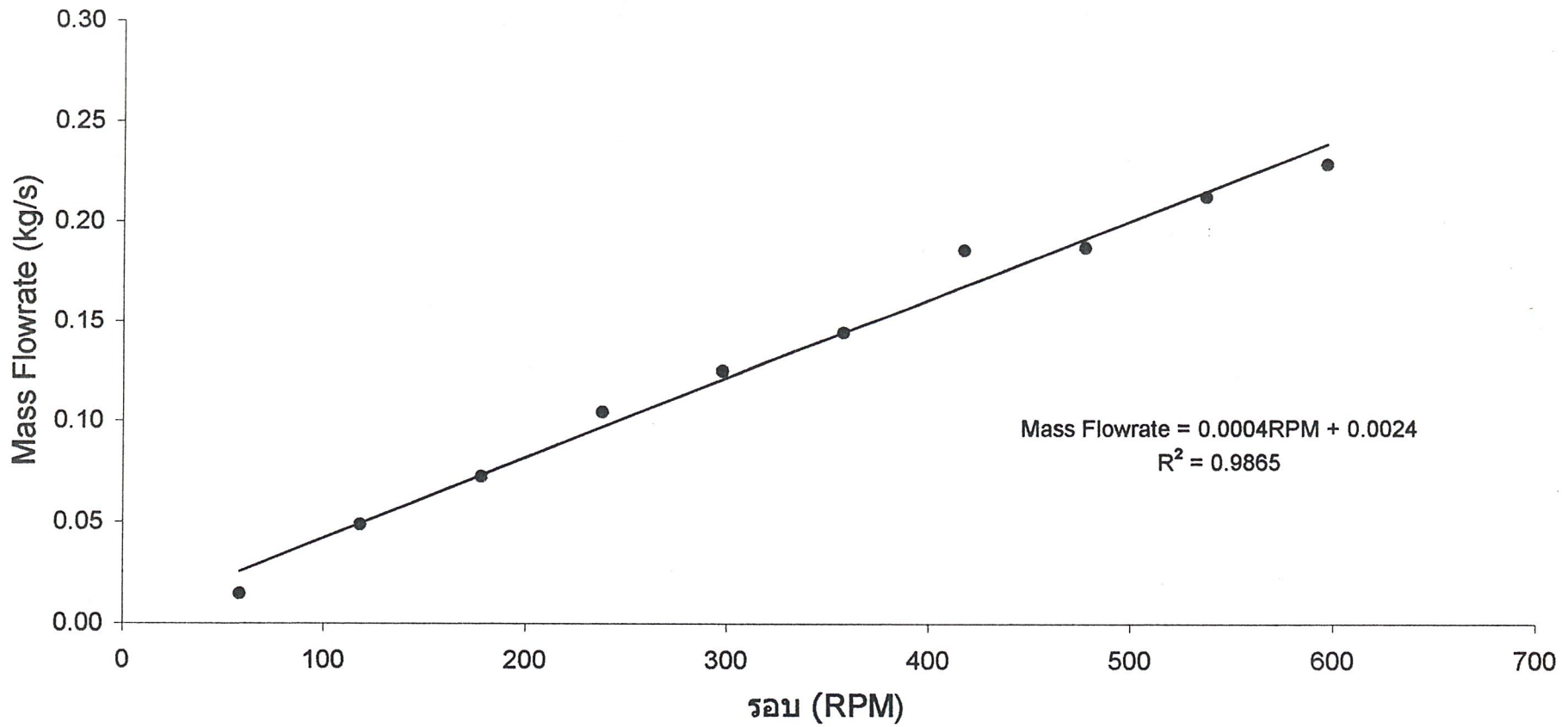
1. บีกเกอร์
2. นาฬิกาจับเวลา
3. ชุดทดลอง

วิธีการทดลอง

1. เดินเครื่องรอกจนกระทั่งน้ำมันเริ่มไหลลงที่
2. ตวงน้ำมัน 500 มิลลิลิตร พร้อมทั้งจับเวลาและทำซ้ำอีก 2 ครั้ง
3. เปลี่ยนอัตราการไหล พร้อมทั้งทำซ้ำตามข้อ 2 และ 3
4. นำข้อมูลไปสร้างกราฟความสัมพันธ์



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและความถี่



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและอัตราการไหลมวล

5.3 การสอบเทียบสายเทอร์โมคัปเปิล

การทดลองที่ 3 การสอบเทียบสายเทอร์โมคัปเปิล

จุดประสงค์

1. เพื่อสอบเทียบสายเทอร์โมคัปเปิลให้มีความแม่นยำ
2. เพื่อลดค่าผิดพลาดจากการวัดอุณหภูมิจากสายเทอร์โมคัปเปิล

วัสดุและอุปกรณ์

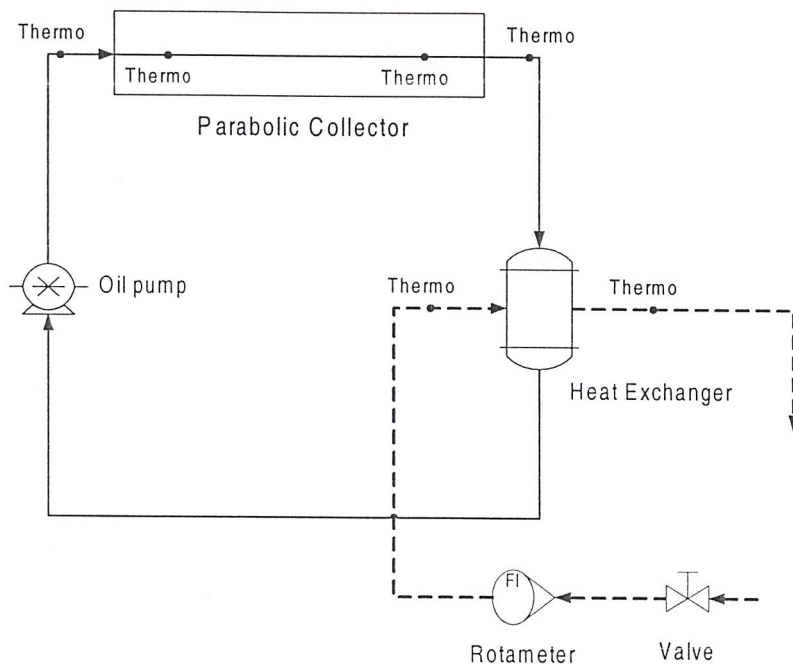
1. Data Logger
2. เทอร์โมมิเตอร์ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
3. สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด J และ K
4. บีกเกอร์
5. น้ำแข็ง
6. น้ำ
7. ตะเกียงเบนเซน

วิธีการทดลอง

1. เติมน้ำและน้ำแข็งลงในบีกเกอร์ นำเทอร์โมมิเตอร์และสายเทอร์โมคัปเปิลจุ่มลงในบีกเกอร์ และทำการวัดอุณหภูมิ ที่เทอร์โมมิเตอร์และสายเทอร์โมคัปเปิล ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง
2. เปลี่ยนจากน้ำเย็นเป็นน้ำที่อุณหภูมิห้องและน้ำร้อน ตามลำดับ
3. ทำซ้ำและนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์

5.4 ชุดทดลองตัวรับรังสี

ชุดรับรังสีแบบรางพาราโบลิกจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



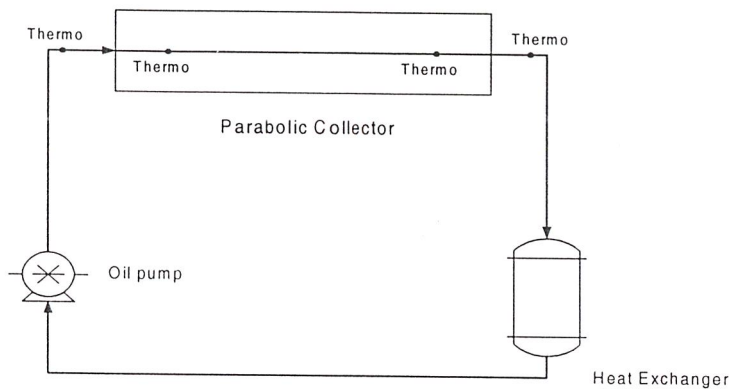
รูปที่ 5.3 แผนผังการติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ ในชุดทดลอง

การวัดค่าที่ทำการทดลองจะทำการวัดค่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

- | | | |
|-----------|---|---|
| Thermo 1 | - | การวัดอุณหภูมิของสารทำงาน (น้ำมัน) ก่อนผ่านตัวรับรังสี |
| Thermo 2 | - | การวัดอุณหภูมิของจุดโฟกัสบนรางรับแสงด้านทางเข้า |
| Thermo 3 | - | การวัดอุณหภูมิของจุดโฟกัสบนรางรับแสงด้านทางออก |
| Thermo 4 | - | การวัดอุณหภูมิของสารทำงาน (น้ำมัน) หลังผ่านตัวรับรังสี |
| Thermo 5 | - | การวัดอุณหภูมิของสารทำงาน (น้ำ) ก่อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน |
| Thermo 6 | - | การวัดอุณหภูมิของสารทำงาน (น้ำ) หลังผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน |
| Rotameter | - | การวัดอัตราการไหลของสารทำงาน (น้ำ) |

5.5 การทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการรับรังสีของตัวรับรังสี

การทดลองที่ 2 การทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพการรับรังสีของตัวรับรังสี



รูปที่ 5.4 แผนผังการทำงานของระบบน้ำมัน

จุดประสงค์

1. เพื่อหาประสิทธิภาพของตัวรับรังสีเมื่อตัวรับรังสีทำงาน
2. เพื่อหาอุณหภูมิสูงสุดของสารทำงานที่ผ่านตัวรับรังสี
3. เพื่อหาปริมาณความร้อนสูงสุดที่สารทำงานได้รับ
4. เพื่อทดลองหาเวลาที่ทำให้สารทำงานมีอุณหภูมิสูงสุด

วัสดุและอุปกรณ์

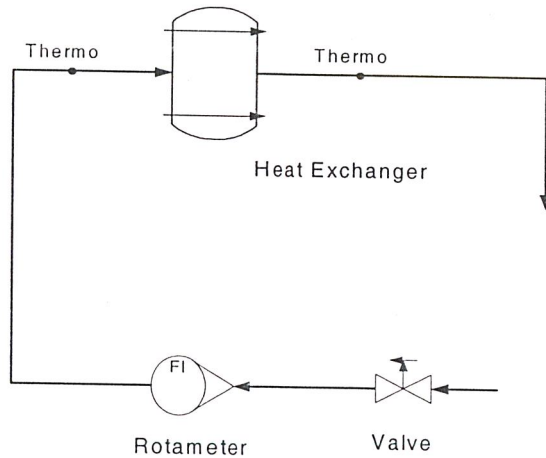
1. ชุดทดลองที่ตัวรับรังสีทำงานทั้งสองชุด
2. สารทำงาน (น้ำมัน)
3. เทอร์โมคัปเปิลชนิด J และ K
4. Data Logger

วิธีทดลอง

1. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับชุดทดลองและ Data Logger
2. เติมน้ำมันเข้าเก็บน้ำมันประมาณ 30 ลิตร และเปิดวาล์วเพื่อให้ น้ำมันไหลไปยังโรตาริเตอร์น้ำมัน
3. เปิดเครื่องสูบลูกให้ทำงานและปรับการไหลของสารทำงานให้คงที่ในขณะที่ชุดทดลองตั้งอยู่ในแนวแสงอาทิตย์
4. บันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทุก ๆ นาที ระหว่างเวลา 10.00 น. ถึง 14.00 น.
5. ปรับอัตราการไหลของสารทำงานและปรับแต่งทิศทางการไหลของสารทำงาน
6. บันทึกค่าต่าง ๆ หลังจากการปรับอัตราการไหลของสารทำงานและทิศทางการไหล

5.6 การทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การทดลองที่ 3 การทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 5.5 แผนผังการทำงานของระบบน้ำร้อน

จุดประสงค์

1. เพื่อหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
2. เพื่อหาอุณหภูมิสูงสุดของสารทำงาน
3. เพื่อหาปริมาณความร้อนสูงสุดที่สารทำงานได้รับ

วัสดุและอุปกรณ์

1. ชุดทดลองที่ตัวรับรังสีทำงาน
2. สารทำงานทั้งสองชนิด
3. เทอร์โมคัปเปิลชนิด J และ K
4. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
5. Data Logger

วิธีทดลอง

1. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับชุดทดลองและ Data Logger
2. เติมน้ำเข้าเก็บน้ำประมาณ 30 ลิตร และเปิดวาล์วเพื่อให้สารทำงานไหลไปยังโรตอมิเตอร์ทั้งสองตัว
3. เปิดเครื่องสูบล้างและปรับการไหลของสารทำงานให้คงที่ในขณะที่ชุดทดลองตั้งอยู่ในแนวแสงอาทิตย์
4. บันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทุก ๆ นาที ระหว่างเวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น.

5.7 ผลการทดลองจากการวัดอุณหภูมิของสารทำงานและน้ำตามจุดต่างๆ

ผลการทดลองที่ได้จากการอ่านค่าจาก Data Logger และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกราฟเพื่อศึกษาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารทำงาน และของน้ำตามจุดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปข้างต้น จากการกราฟเปรียบเทียบสามารถหาค่าอุณหภูมิสูงสุดของสารทำงาน และของน้ำที่แต่ละอัตราการไหลดังแสดงเป็นหัวข้อดังนี้

- อัตราการไหล 0.03 กิโลกรัมต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.6

อุณหภูมิที่ผิวท่อเฉลี่ย 119.74 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของสารทำงานสูงสุด 79.3 องศาเซลเซียส

- อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.7

อุณหภูมิที่ผิวท่อเฉลี่ย 70.2 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของสารทำงานสูงสุด 64 องศาเซลเซียส

- อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.8

อุณหภูมิที่ผิวท่อเฉลี่ย 85.35 องศาเซลเซียส

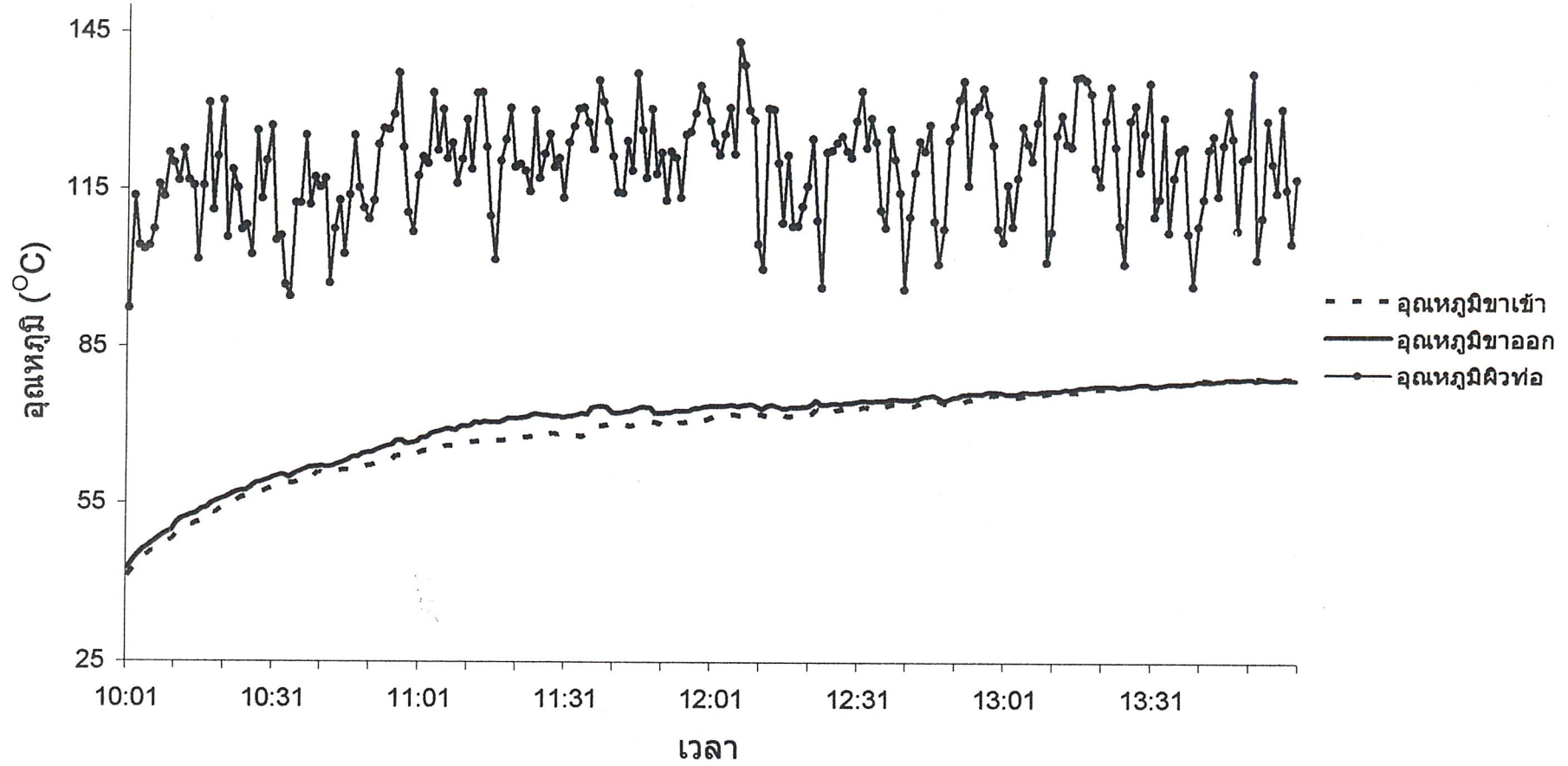
อุณหภูมิของสารทำงานสูงสุด 71 องศาเซลเซียส

- การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันในถังเก็บ กับน้ำที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.9

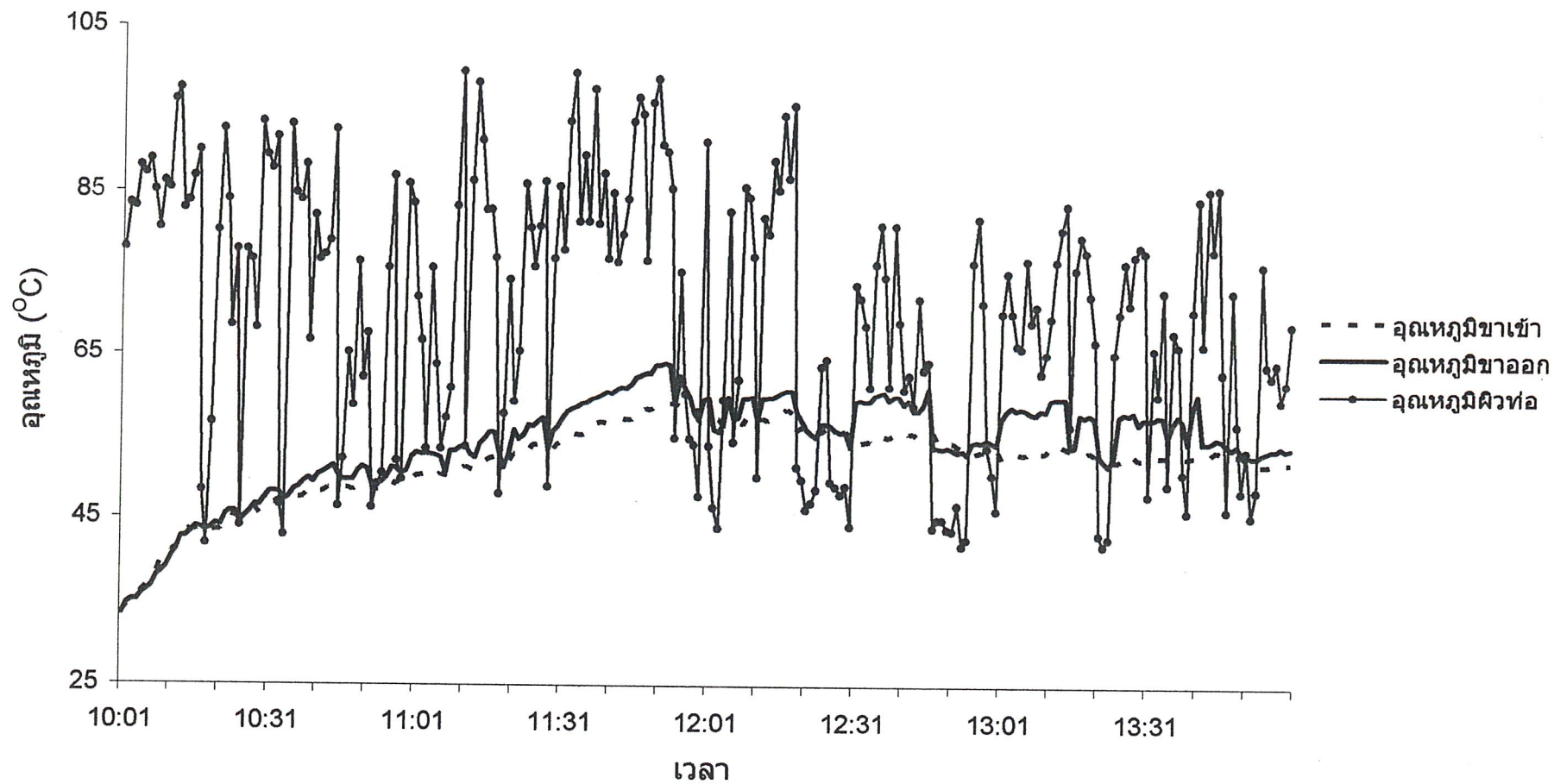
ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า และออกมีค่าเฉลี่ย 2.28 องศาเซลเซียส

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า และออกมีค่ามากที่สุด 6.1 องศาเซลเซียส

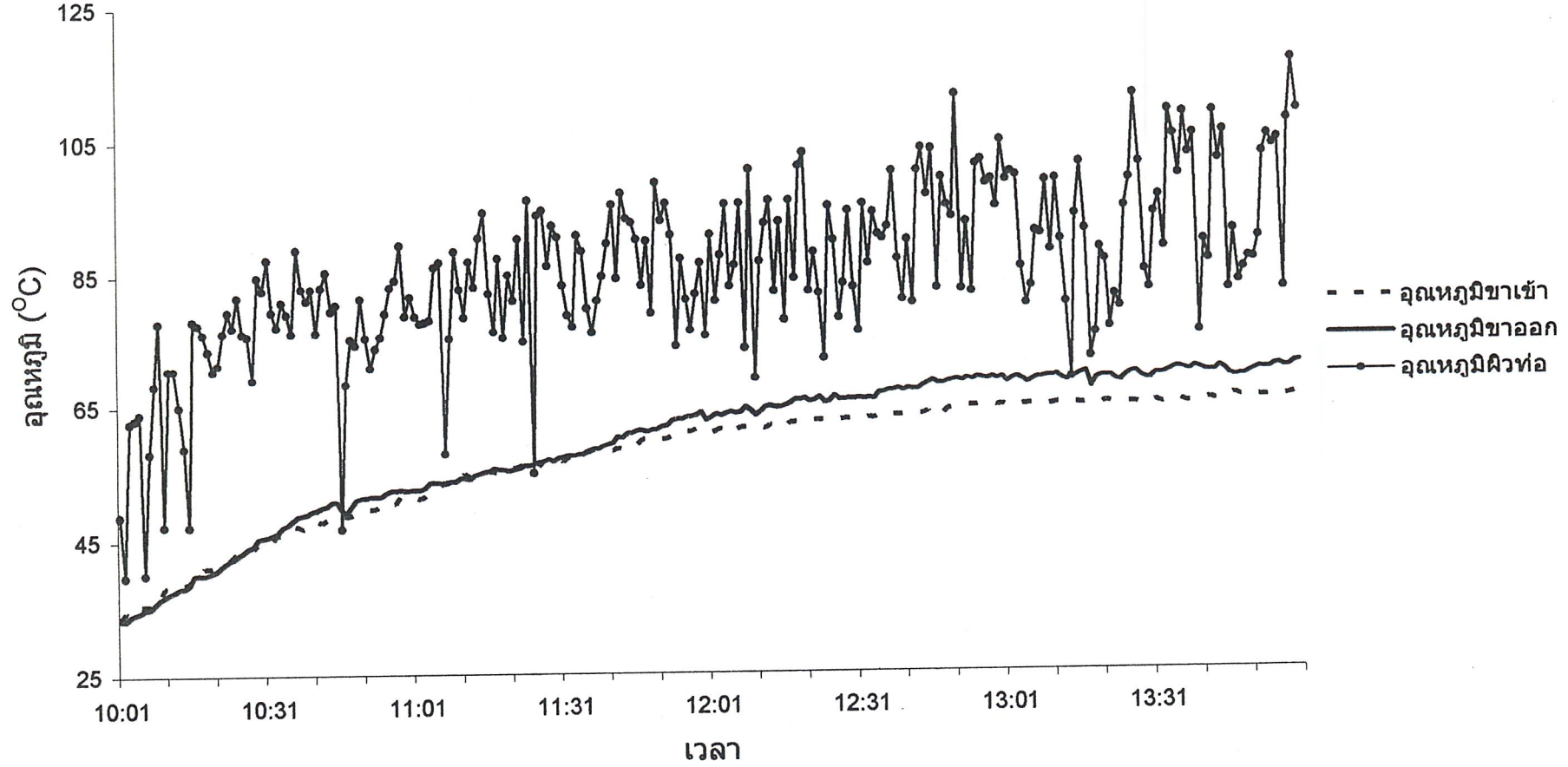
ข้อมูลจากการทดลองแต่ละอัตราการไหลได้ถูกนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ และเวลาดังรูปต่อไปนี้



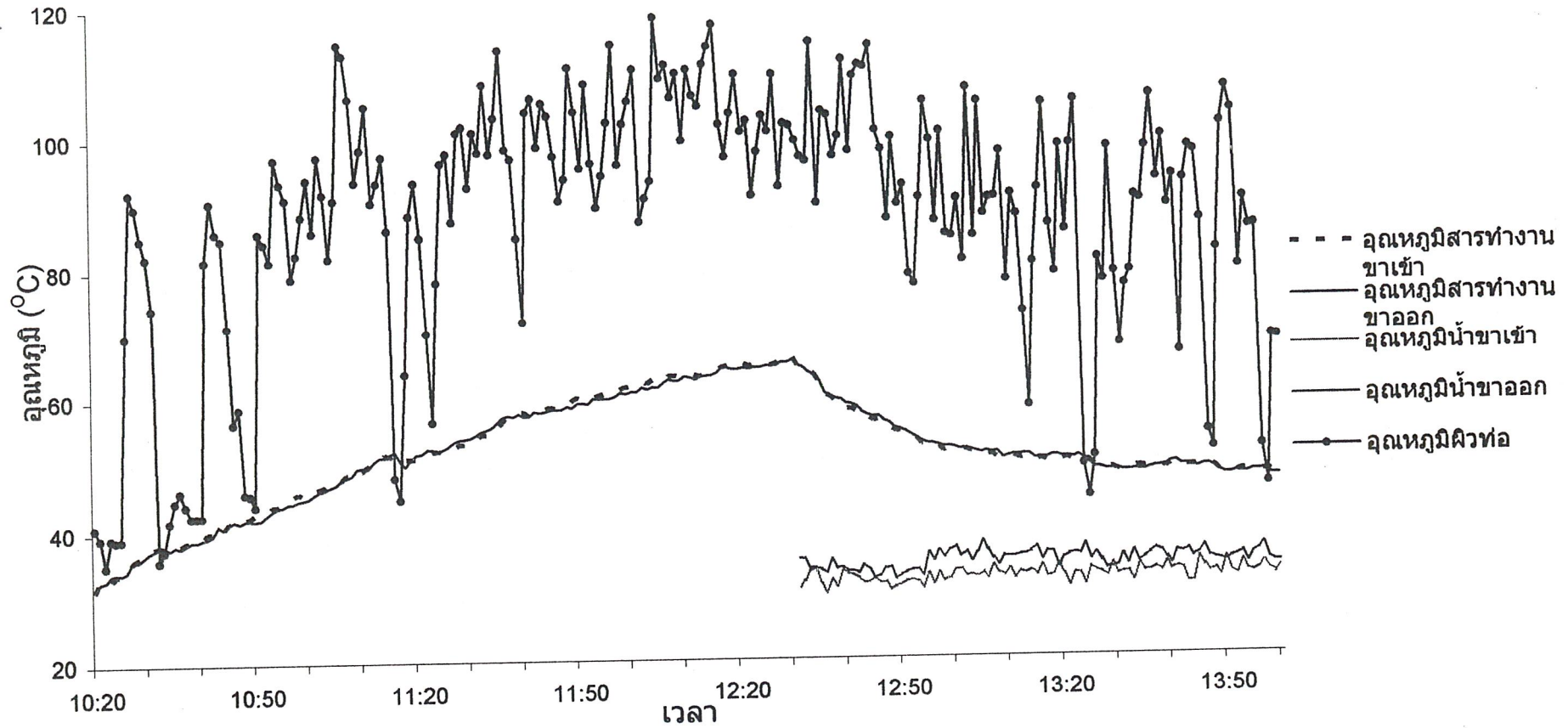
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 0.03 กิโลกรัมต่อวินาที



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที



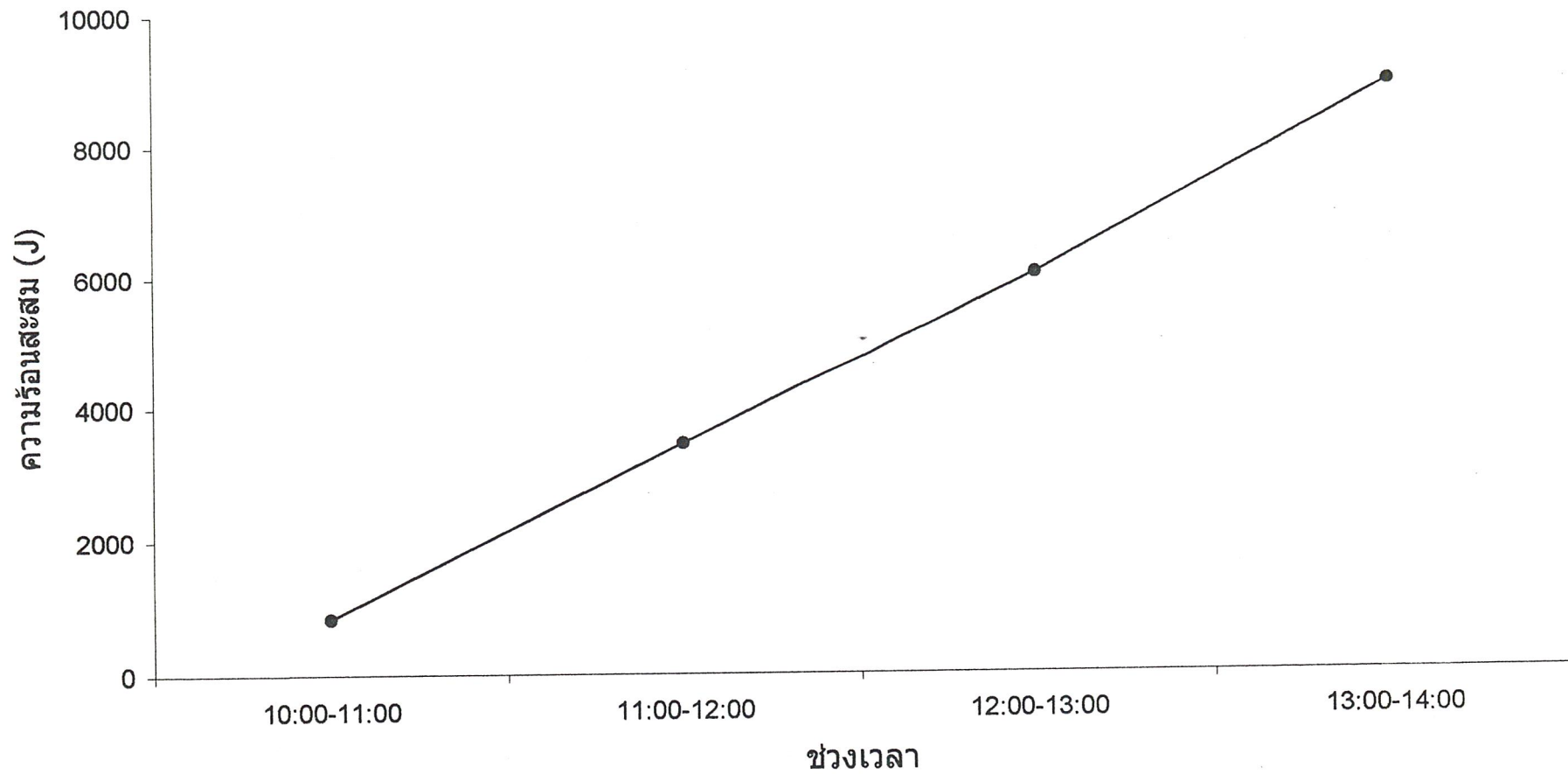
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำงานและน้ำ

จากกราฟที่ผ่านมาเป็นข้อมูลจากการทดลองซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ และแสดงออกมาในรูปแบบของกราฟเพื่อให้ได้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จะสังเกตได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ผิวท่อมีค่าที่ขึ้นลงไม่แน่นอนตลอดเวลาที่ทดลอง เนื่องจากการรับความร้อนที่ผิวท่อจะแปรผันโดยตรงกับกับปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบรางรับแสงซึ่งมีค่าไม่คงที่ขึ้น อยู่กับสภาวะทางธรรมชาติ เช่น ความโปร่งใสของท้องฟ้าในแต่ละเวลา อัตราการไหลของลมซึ่งพัดผ่านท่อ และความแม่นยำของเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ละเอียดอ่อน มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงมาก และไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากเป็นผลมาจากธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงโดยรวมพบว่าระบบชุดทดลองสามารถเก็บสะสมความร้อนได้อย่างต่อเนื่อง แม้จะมีบางช่วงเวลาที่ต้องสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อุณหภูมิของน้ำมันในถังเก็บมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้อุณหภูมิที่โฟกัสจะไม่คงที่ โดยการทดลองที่ได้ผลดีที่สุดคือผลการทดลองในวันที่ 7 เมษายน 2546 และจากการทดลองแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที ได้ความต่างอุณหภูมิสูงสุด 6.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 2.8 องศาเซลเซียส พบว่าชุดทดลองนี้ยังไม่ดีพอที่จะใช้ในการทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากค่าการไหลน้ำน้อยมาก

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลของแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาคผนวก ง. ตารางที่ ง.1 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของรางรับแสง ดังแสดงไว้ในรายการคำนวณในภาคผนวกที่ จ. สามารถหาค่าประสิทธิภาพได้ 0.021 เปอร์เซนต์ ซึ่งค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น ๆ และได้แสดงแนวโน้มของพลังงานสะสมของชุดทดลองนี้ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ไว้ในรูปแบบที่ 5.10 ซึ่งพลังงานสะสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อใช้เวลาในการเก็บรังสีเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนสะสมกับช่วงเวลา

บทที่ 6

สรุป และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

จากผลของการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำน้ำร้อนอุณหภูมิสูงจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. อุณหภูมิของน้ำมันในถังเก็บ เมื่อไหลเวียนไปรับความร้อนจากรังรับแสง จะมีแนวโน้มการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 79.9 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มค่าอัตราการไหลของน้ำมัน จะมีผลทำให้แนวโน้มของอุณหภูมิมิค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลเพิ่มก็จะมีการนำพลังงานเข้ามาสู่ถังเก็บ ในอัตราที่สูงขึ้นด้วย โดยมีพลังงานสะสมสูงสุด 8930.053 จูล
2. การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันในถังเก็บ กับน้ำที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาที มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า และออกมากที่สุด 6.1 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยโดยรวม 2.28 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อใช้วิธีการไหลเวียนน้ำ จากอุณหภูมิสูงสุดของน้ำมัน น้ำที่ได้รับความร้อนจากน้ำมัน มีความเป็นไปได้ที่จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 47.7 องศาเซลเซียส
3. จากการทดลองและวิเคราะห์ผล สามารถหาค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีได้ 0.021 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษาผ่านมา

6.2 ข้อเสนอแนะ

ชุดทดลองทำงานโดยอาศัยพลังงานธรรมชาติ ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดลองไม่สามารถเข้าสู่ระดับที่น่าพอใจ แต่เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดลองให้ดีขึ้นได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

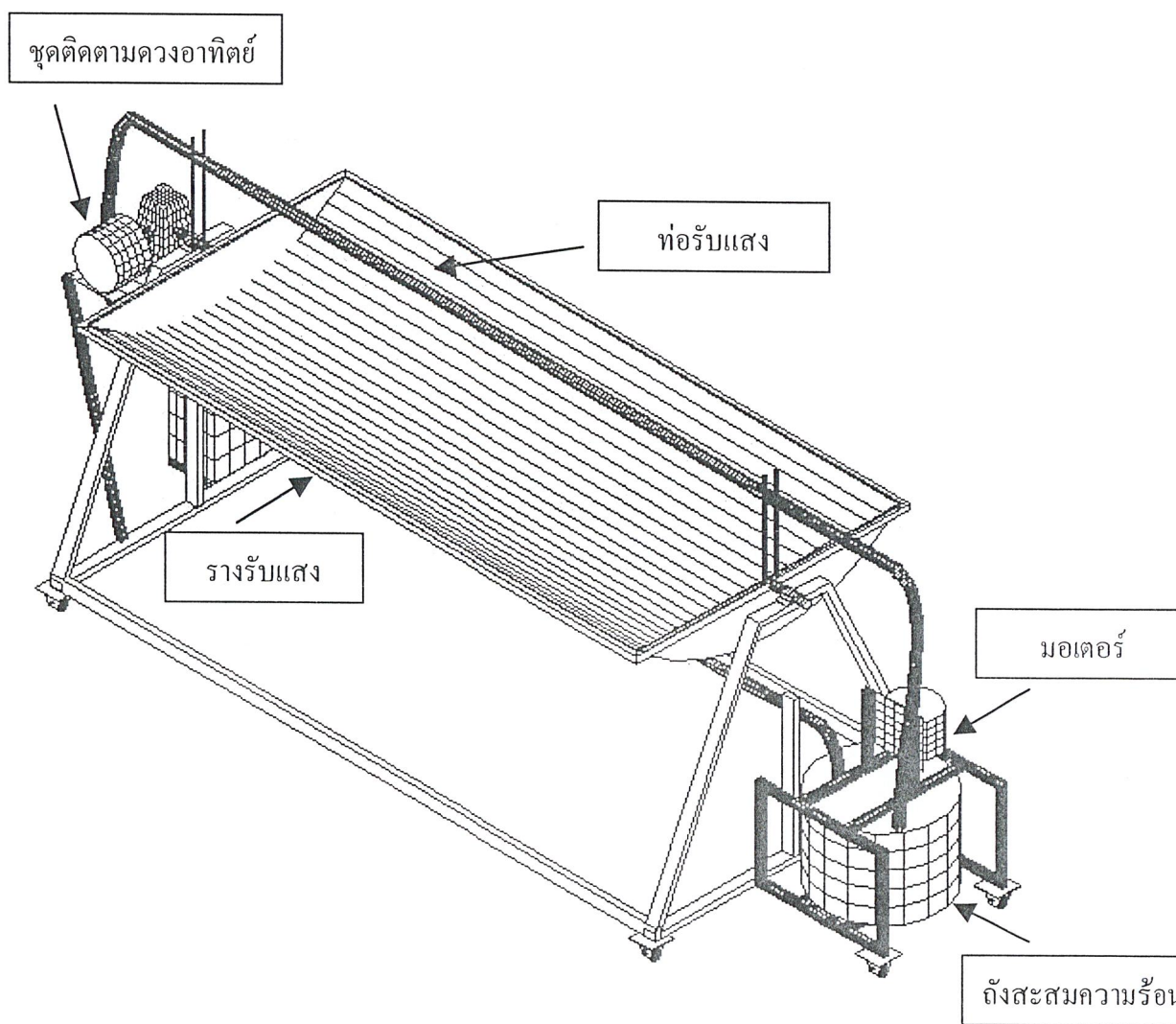
1. สามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนของชุดทดลองเนื่องจากเมื่อเวลาไหลผ่านชุดทดลอง โดยสวมท่อแก้วไฟเร็กซ์ครอบท่อทองแดงเอาไว้
2. ประสิทธิภาพจะดีขึ้นหากเราเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำแผ่นรับรังสีเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการสะท้อนรังสีที่ดีกว่านี้

3. ปรับปรุงชุดติดตามแสงอาทิตย์ให้สามารถทำงานได้ในทุกสภาพอากาศ ไม่ว่าจะแสงอาทิตย์จะเป็นรังสีตรงหรือกระจายก็ตาม
4. เพิ่มขนาดพื้นที่รับแสงขึ้นเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้โดยตรง

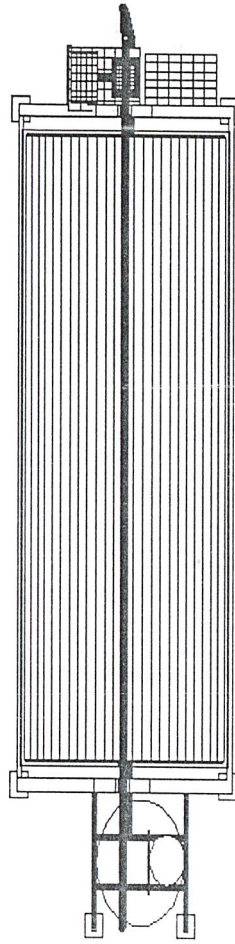
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

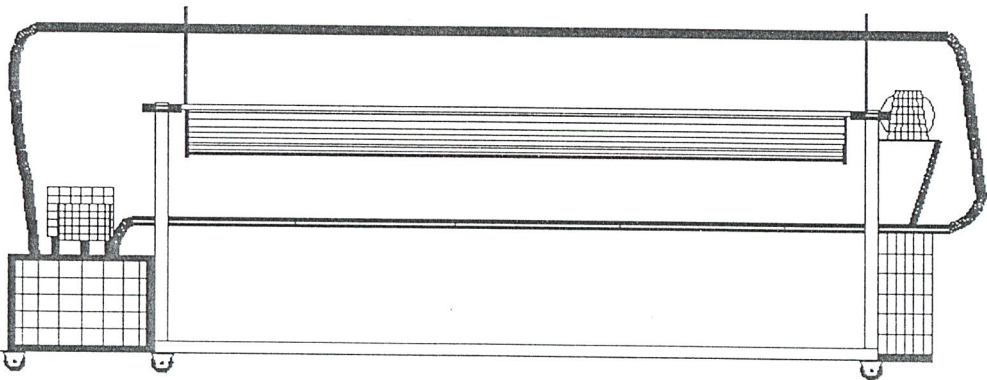
1. แบบภาพส่วนประกอบส่วนต่าง ๆ



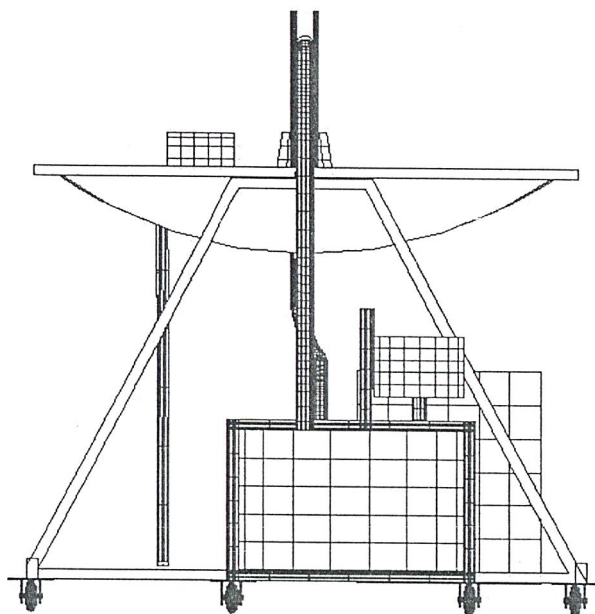
รูปที่ ก.1 โครงสร้างแบบภาพไอโซเมตริก



รูปที่ ก.2 โครงสร้างแบบภาพด้านบน



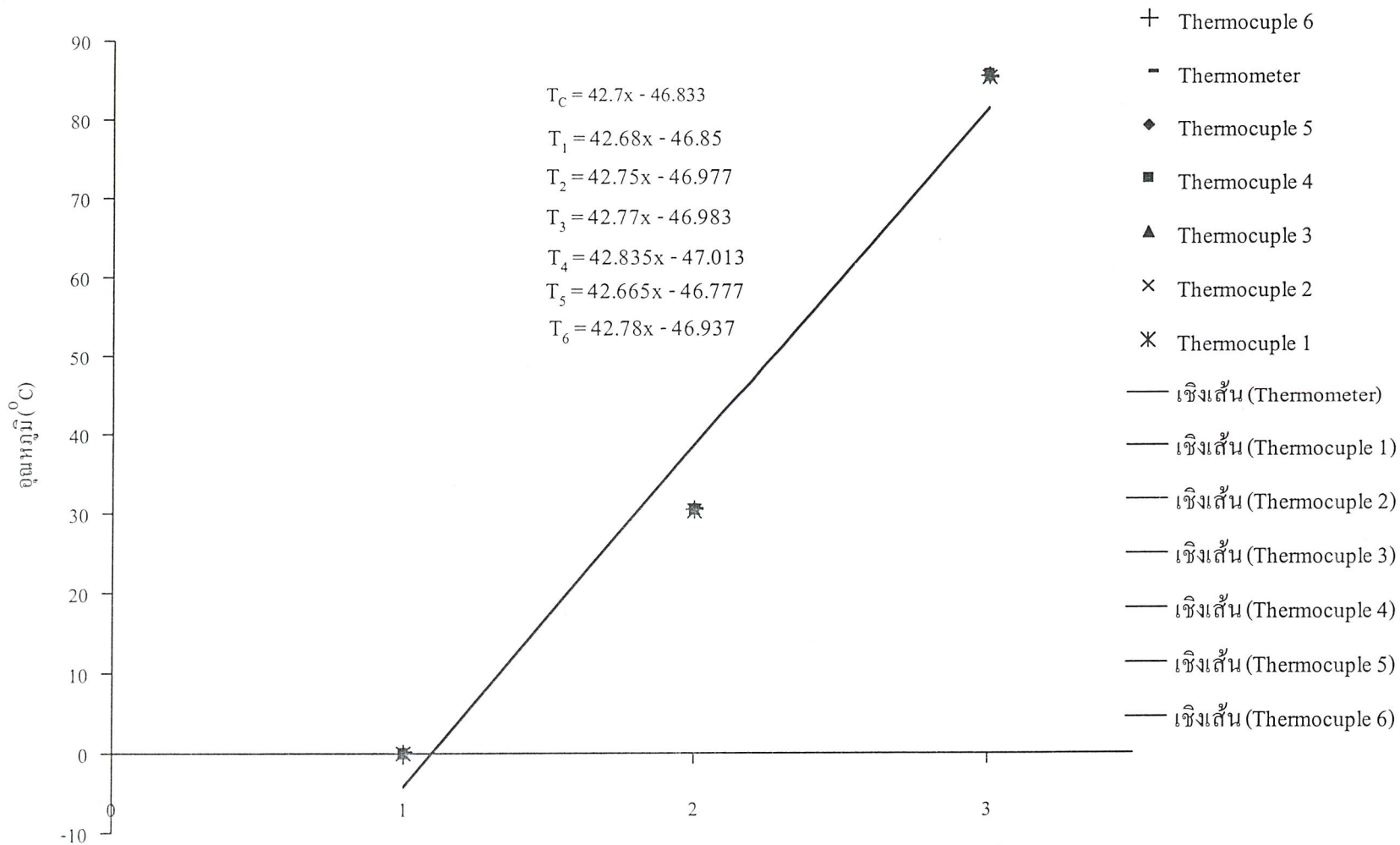
รูปที่ ก.3 โครงสร้างแบบภาพด้านข้าง



รูปที่ ก.4 โครงสร้างแบบภาพด้านหน้า

ภาคผนวก ข การสอบเทียบ

การทดลองวัดอุณหภูมิของสารทำงานและที่บริเวณผิวท่อทองแดงโดยใช้เครื่องมือวัด Data Acquisition เนื่องจากไม่สามารถติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาค่าความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ เพื่อสร้างสมการในการปรับค่าข้อมูลจากการวัดในการทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุดดังแสดงในรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงค่าที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์และเทอร์โมคัปเปิลสายทั้ง ๖ สาย

ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง

การวัดค่าต่าง ๆ ที่ทำการทดลองจะทำการวัดตามจุดต่าง ๆ ดังนี้

- | | | |
|----------|---|--|
| สายที่ 1 | - | การวัดอุณหภูมิของสารทำงาน (น้ำมัน) ก่อนผ่านตัวรับรังสี |
| สายที่ 2 | - | การวัดอุณหภูมิของจุดโฟกัสบนรางรับแสงด้านทางเข้า |
| สายที่ 3 | - | การวัดอุณหภูมิของจุดโฟกัสบนรางรับแสงด้านทางออก |
| สายที่ 4 | - | การวัดอุณหภูมิของสารทำงาน (น้ำมัน) หลังผ่านตัวรับรังสี |
| สายที่ 5 | - | การวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน |
| สายที่ 6 | - | การวัดอุณหภูมิของน้ำหลังผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน |

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01	60.9	33.7	33.4	50
10:02	64.8	34.2	33.9	50.7
10:03	66.1	34.4	34.2	52.7
10:04	70.2	34.5	34.4	56.9
10:05	63.6	34.8	34.6	58.9
10:06	73.6	34.9	34.8	59.5
10:07	71.4	35	34.9	56.2
10:08	60	35.1	35.1	49
10:09	50.2	35.5	35.4	51.2
10:10	74.6	35.6	35.6	61.4
10:11	69.4	36	35.5	68
10:12	83.3	37.1	36.1	74.5
10:13	86.9	37.3	36.8	75.8
10:14	83.2	37.3	36.9	60.1
10:15	80.5	37.1	37.2	70
10:16	86.7	38.3	38.1	71.5
10:17	81.4	39.3	38.1	64.6
10:18	83.6	39.5	38.4	66.3
10:19	84.1	40	39.3	71.6
10:20	79.7	39.5	39.5	67.3
10:21	70.6	40.3	40	65.8
10:22	66.5	41.4	40.2	65.3
10:23	63.6	41	40.6	59
10:24	61.6	41.7	41.1	59.1
10:25	38.9	42	40.8	40.3
10:26	37.4	42.1	40.3	38
10:27	35.8	41.4	40.3	35.3
10:28	36.9	41.2	40.3	35.3
10:29	37.7	40.8	40	36
10:30	38.1	40.5	39.9	35.6

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	37.3	40.3	39.8	35.3
10:32	37.2	40.9	39.6	36.9
10:33	39.1	40.2	39.7	39.1
10:34	37.2	40.1	39.8	38.1
10:35	37.8	40.4	39.8	35.8
10:36	37.2	41	39.7	35.2
10:37	47.7	40.2	39.6	42.1
10:38	44.8	39.8	39.5	40.6
10:39	37.9	40.3	39.4	34.9
10:40	36.4	40.3	39.8	35.9
10:41	37.2	40.2	39.3	36
10:42	35.9	40.1	39.1	35
10:43	37.3	40.6	38.8	36.8
10:44	66.4	40.4	39.7	61.6
10:45	56.3	39.8	39.8	49.9
10:46	61.5	40.7	40	54.6
10:47	56.6	40.7	40.1	57.7
10:48	61.1	41.2	40.3	56.3
10:49	62.1	41.5	40.5	63.8
10:50	39	41.3	40.5	41
10:51	36.2	41	39.7	36
10:52	38.3	41.2	39.9	37.5
10:53	38.7	40.9	39.8	37
10:54	41.2	41.4	40.2	38.2
10:55	42.7	41.3	40	45.8
10:56	72.1	41.4	40.7	61.2
10:57	76.3	41.5	41	60.4
10:58	67.6	41.8	41.3	72.8
10:59	74.8	41.7	41.5	69
11:00	71.7	42.4	41.3	57.1

ผลการทดลองวันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการไหล 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	39.6	41.7	41.1	40.7
11:02	36.2	41.5	40.7	36.6
11:03	44.2	41.4	40.8	41.9
11:04	37.2	41.4	40.7	36.3
11:05	57.7	41.7	40	46.9
11:06	63.9	41.9	41.2	52
11:07	37.9	41.9	40.9	38.4
11:08	39.1	42.4	41	42
11:09	41.4	42	41.2	37.7
11:10	62.8	41.9	41.6	54.7
11:11	70	42.3	41.7	65.3
11:12	65.2	42.3	41.9	62.4
11:13	76	42.7	42	65.6
11:14	74	42.4	42.3	62.5
11:15	69.1	42.3	42.3	59.9
11:16	78.3	42.7	42.3	78.8
11:17	64.6	43.1	42.8	56.7
11:18	42.1	43.7	42.7	37.2
11:19	43	42.7	39.2	36.5
11:20	36.6	43.6	42.5	38.8
11:21	42.2	43.5	42.4	41.7
11:22	46.5	43.4	42.6	46.6
11:23	38.9	43.6	42.5	38.1
11:24	36.8	43.3	42	37.4
11:25	35.9	43.4	42	35.2
11:26	52.5	42.6	41.8	50.3
11:27	56.8	42.7	41.9	58.4
11:28	65	43.5	42.5	57.4
11:29	66.3	43.6	43	59.5
11:30	60.9	43.3	43.3	60.9

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	52.7	44.1	43.3	62.4
11:32	63.5	43.9	43.7	72.1
11:33	63.4	43.8	43.8	49.7
11:34	75.4	44.2	43.7	79.8
11:35	90.5	44.1	43.6	87.4
11:36	66.8	44.6	44	62.3
11:37	74.6	44.1	44.1	79.5
11:38	75.3	44.6	43.9	107.1
11:39	60.2	44.9	44.1	74.2
11:40	60.5	44.9	43.9	84.8
11:41	76.4	45.1	44.7	87.8
11:42	71.8	45.4	45	114.8
11:43	91.6	45.6	45.3	101.3
11:44	84	45.7	45.7	101.2
11:45	81.2	46.2	45.6	95.3
11:46	78.9	46.6	46.3	73.7
11:47	81.6	47	46.3	73.8
11:48	77.7	47.2	46.9	73.9
11:49	81.6	48.2	47.2	89.3
11:50	71.6	47.4	47.3	104.4
11:51	85.8	48.2	47.8	106.6
11:52	92.8	48.3	48.1	111.3
11:53	51	48.3	48	61.8
11:54	64.4	47.9	47.4	88.7
11:55	71.1	48.5	47.9	113.6
11:56	55.2	48.5	48	11.6
11:57	51.7	48.3	48.5	67.9
11:58	43.2	48.8	48.6	43.1
11:59	49.4	48.8	47.8	54.9
12:00	89.4	48.5	48.4	127.6

ผลการทดลองวันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการไหล 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:01	86.1	48.3	48.2	135.9
12:02	53.9	48.4	48.7	93.4
12:03	53.8	48.7	49	72.8
12:04	100	49.1	48.9	113.6
12:05	94.6	49	49.2	113
12:06	106.3	48.7	49.4	134.3
12:07	40.3	49.1	49.5	42.1
12:08	41.5	48.8	48.2	39.2
12:09	43.3	48.6	47.6	40.7
12:10	67.4	48.4	48	88.4
12:11	44.3	48.4	48.3	43.4
12:12	47	47.7	48.3	60.3
12:13	46.9	47.8	48.5	31.1
12:14	50.4	48.5	48.9	59.4
12:15	47.2	48.7	49.2	77
12:16	73.1	48.9	49	95.5
12:17	104.2	49.3	49.6	131.1
12:18	108.7	49.3	49.6	118.5
12:19	81.5	49.4	49.9	150.1
12:20	67.3	49.5	50.1	106.6
12:21	893.6	49.3	50.4	134
12:22	90.6	50.4	50.6	109.9
12:23	90.7	50	50.7	100.9
12:24	49	50.9	51.2	53.8
12:25	43.8	51.1	50.1	42.4
12:26	48.5	49.5	50	60.6
12:27	64.9	49.8	50.4	65.3
12:28	74	49.9	50.7	71.7
12:29	77.3	50.5	51	72.8
12:30	79.8	50.3	51.1	101.3

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:31	52.2	50.7	51.2	62.6
12:32	47.1	51.1	50.9	48.8
12:33	44.1	50.7	50.1	45.1
12:34	62.8	50	50.6	67.4
12:35	49.3	50	50.4	44.9
12:36	44.7	49.5	48.8	45.6
12:37	40.9	48.9	48.4	40.9
12:38	50.3	49	48.7	55
12:39	67.1	49	49.6	86.4
12:40	46.1	49.1	49.5	46.8
12:41	43.2	49.3	48.4	38.7
12:42	45.4	48.6	48.3	41.9
12:43	68.1	48.7	49	87.8
12:44	84.6	49	49.2	112.8
12:45	62.8	49.3	49.7	81.6
12:46	56.2	49.7	50.1	49.8
12:47	44.5	49.4	49.1	44.4
12:48	48.2	49.6	49.1	65.8
12:49	55.5	49.2	49.5	73.7
12:50	54.5	49.7	50.2	65.7
12:51	79.3	49.8	50.5	109
12:52	51.4	49.8	50.1	51.6
12:53	71.8	49.9	50.9	128.1
12:54	61	50.4	51.1	91.7
12:55	60.6	50.3	51.4	120
12:56	72.9	50.7	51.7	115.1
12:57	58.9	50.8	51.8	82.9
12:58	58.2	51.4	52.4	63.8
12:59	60.9	51.3	53.1	86.2
13:00	89.9	52.3	53.1	129

ผลการทดลองวันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการไหล 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:01	80.4	52.2	53	116.1
13:02	60.3	52.3	53.9	91.6
13:03	62.5	52.8	54.1	76.3
13:04	58.6	53	54.2	75.4
13:05	52.3	52.8	54.5	76.3
13:06	76.2	53.3	54.3	100.9
13:07	67.7	53.2	54.7	93.3
13:08	64.3	53.8	55.1	79.5
13:09	57.1	54.2	55.8	68.3
13:10	87.7	54.4	55.6	140.6
13:11	77.9	54.3	56.1	123.4
13:12	68.1	55.4	56.9	74.8
13:13	32.7	55.6	57.1	80
13:14	101.9	55.4	57.1	89.2
13:15	100.3	55.9	57.3	95.3
13:16	110.5	56.3	57.3	145.8
13:17	96.5	56.7	58	124.3
13:18	82.8	57.1	58.3	127.4
13:19	57.1	56.5	57.8	8936
13:20	96.2	56.9	58.3	118.2
13:21	74.2	56.9	58.6	99.5
13:22	71.7	57.3	58.9	105.6
13:23	81.7	57.7	59.5	67.4
13:24	52.1	57.6	57.6	51.8
13:25	50.4	57	56.5	51.9
13:26	46.3	55.4	54.4	43.5
13:27	49.3	55.5	53.7	56.7
13:28	57.9	55	55.6	65.5
13:29	94.2	55.2	56.8	78.2
13:30	50.1	55.6	56	50

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:31	49.5	54.4	53.5	42.2
13:32	41.8	54.1	52	40.4
13:33	47.1	53.2	51.9	41.4
13:34	48.1	52.7	51.8	42.7
13:35	46.4	52.3	51.3	44.2
13:36	48	52.1	51.1	43.2
13:37	47.9	51.5	51.2	45.5
13:38	47.1	51.8	50.9	40.7
13:39	47.1	51.6	50.5	39.8
13:40	44.7	50.9	50.1	40.4
13:41	45.2	50.6	49.7	42.3
13:42	44.6	50	49.7	42.1
13:43	44.3	50.3	49	43.3
13:44	44.4	50.1	48.9	39.4
13:45	43.9	49.6	48.3	40.6
13:46	43.1	49.4	48.4	37.7
13:47	44	49	47.9	42.3
13:48	43.3	48.9	48	39.7
13:49	43.4	48	47.8	40.9
13:50	44	48.5	47.4	39.5
13:51	43.1	47.8	47	40
13:52	67.6	48	48.2	93.3
13:53	60.6	48.6	48.7	67
13:54	50.7	49.2	49.3	50.7
13:55	44.4	49.1	48.7	44
13:56	44.5	48.6	48.3	38.9
13:57	42.8	48.7	48.1	40.3
13:58	41.8	48.3	47.9	38.2
13:59	44.7	47.8	47.4	38
14:00	52.2	47.9	47.2	39.3

ผลการทดลองวันที่ 1 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการไหล 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01				
10:02				
10:03				
10:04				
10:05				
10:06				
10:07				
10:08				
10:09				
10:10				
10:11				
10:12				
10:13				
10:14				
10:15				
10:16				
10:17				
10:18				
10:19				
10:20	45	31.4	31.5	59.9
10:21	37.6	31	31.3	45.5
10:22	34.2	31	31.3	42.4
10:23	33.9	31.1	31.1	50.3
10:24	55	30.7	31.1	60.2
10:25	62.5	30.9	31.4	89.1
10:26	59	31.8	31.9	105
10:27	54.1	32.4	32.2	87.7
10:28	66.6	32.2	32.9	94.4
10:29	62.1	33.9	32.9	100.3
10:30	55.6	35.9	34.9	100.1

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	45.8	35.6	35.3	76.3
10:32	87.9	36.2	35.7	93.8
10:33	73.9	37.1	36.6	108.1
10:34	60.1	37.6	37.2	102
10:35	81.6	38.3	38	94.7
10:36	58.6	39.4	38.8	80.1
10:37	53.4	39.8	38.8	68.4
10:38	39.7	39.3	39.1	43.7
10:39	38.3	39.3	38.7	41.1
10:40	37.7	39	38.8	37.4
10:41	36.8	38.7	38.5	37.6
10:42	72.6	38.4	38.8	83.3
10:43	70.9	39.3	38.7	93.2
10:44	61.4	39.9	39.3	100.3
10:45	60.2	40.6	39.6	94.7
10:46	79.5	41.9	41.1	95.6
10:47	68.4	41.7	41	107.2
10:48	73.2	41.9	41.4	105.3
10:49	72.7	42.3	41.4	115.8
10:50	81.4	43.1	42.4	106.1
10:51	76.5	43.3	42.6	106.6
10:52	73.6	44	42.8	103.7
10:53	63.8	44.3	43.3	98.8
10:54	96.4	44.5	43.8	87.4
10:55	104.8	44.5	44	92
10:56	112.7	45.3	44.3	106.9
10:57	82.3	45.8	45.1	117.1
10:58	105.6	46.5	46.4	99.9
10:59	98.3	46.9	47	98.8
11:00	100.9	46.9	47	99.7

ผลการทดลองวันที่ 2 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการใช้ 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	89.3	47.6	47.5	112.1
11:02	76.6	48	47.8	71.5
11:03	80.6	48	47.9	110.7
11:04	105	48.6	48.4	86.3
11:05	107.5	49.3	49.6	105.7
11:06	93.2	49.7	49.8	97.1
11:07	87.6	49.8	50.1	95.5
11:08	58.8	50.5	50.4	110.8
11:09	75.1	50.7	50.6	114.8
11:10	95.8	50	51	94.3
11:11	100.2	50.3	51.1	90.2
11:12	106.5	50.3	51.1	95
11:13	114.6	50.7	51.1	90.4
11:14	109.2	50.5	52.1	101
11:15	99.5	50.9	51.9	110.3
11:16	95	51.1	52.2	98.2
11:17	98.1	52.1	53.1	104.5
11:18	99.3	52.2	52.9	102.4
11:19	118.1	51.9	53	97.6
11:20	102.9	52	53	110.5
11:21	101.5	52.2	53.6	99.8
11:22	93.2	52.8	53.8	108
11:23	84.6	53.3	54.2	117.4
11:24	51.7	54.3	55.9	62.1
11:25	48.1	53.2	53.7	50.8
11:26	47.9	53.2	53.5	49.3
11:27	50.9	53.3	53.2	65.7
11:28	61.5	52.9	53.7	53.5
11:29	46.4	52.6	53.3	54.1
11:30	47.9	52.5	53	47.5

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	46.5	52.8	52.8	47.1
11:32	47.6	52.5	52.5	48.1
11:33	46	52.5	52.3	44.8
11:34	45.9	51.3	50.9	45.8
11:35	46.3	51	50.9	45.2
11:36	48.2	51	50.7	47.3
11:37	54.6	50.6	51.5	58.8
11:38	63.1	50.9	52	83
11:39	71.8	51.4	52.1	90
11:40	69.2	51.2	52.4	97.9
11:41	85.1	51.4	52.9	96.4
11:42	80.8	52.4	53.2	92.6
11:43	70.8	52.7	53.4	92.4
11:44	56.2	53.2	54.3	61.8
11:45	50.4	53.1	53.9	54.7
11:46	46.3	51.9	52	46.5
11:47	46.3	52	51.9	44.8
11:48	47.4	51.9	51.6	45.8
11:49	46.1	51.8	51.4	45.4
11:50	45.4	51.5	51.2	43.9
11:51	43.7	50.6	49.4	41.2
11:52	43.7	50	49.1	41.6
11:53	45.7	49.9	49.3	44.1
11:54	44.9	49.7	49.4	42.2
11:55	44.1	49.9	49.4	43.1
11:56	60.8	49.4	49.7	75.4
11:57	66	50	50.1	83.9
11:58	68.2	49.2	50.8	97.6
11:59	85.8	50.4	51.1	105.7
12:00	79.5	50.9	51.7	111.3

ผลการทดลองวันที่ 2 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการใช้ 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:01	69.4	52.2	52.8	94.5
12:02	72.8	52.7	53.1	85.1
12:03	66.8	53.1	53.4	91.8
12:04	73.8	52.7	53.6	90.7
12:05	68.2	52.5	53.4	98.3
12:06	80.2	52.6	53.6	89
12:07	59	53.4	53.9	101.8
12:08	65.4	53.1	53.9	82.1
12:09	68.6	52.9	54.2	76.5
12:10	46.8	53.3	53.2	45.3
12:11	47.1	53.1	52.8	41.6
12:12	41.5	52.2	42	41.3
12:13	45.5	51.2	51.4	43.9
12:14	47	51.6	51.3	44
12:15	47.3	50.5	50.9	42.2
12:16	46.7	50.5	50.3	46.9
12:17	57.3	50.2	50.4	78.4
12:18	58.8	50.2	50.2	70
12:19	62.5	49.8	50.7	80.1
12:20	72.3	50.5	51	98.7
12:21	63.4	51	51	78.5
12:22	55	50.9	51.2	83.2
12:23	59.7	51.1	51.5	79.8
12:24	63.1	51	51.7	96.3
12:25	51.9	51.9	52	84.7
12:26	58.7	51.3	51.9	720
12:27	54	51.2	52.1	72.1
12:28	40.4	51.9	52	42.3
12:29	39.2	51.4	51.4	42.7
12:30	42.2	51.1	51.1	49.4

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:31	47.3	51	50.8	44.7
12:32	48.2	51.2	50.7	47.6
12:33	48.1	50.2	50.6	42.4
12:34	42.4	51.1	50.3	39.9
12:35	40.1	50.8	49.8	38.9
12:36	41.4	49.4	49.2	41.8
12:37	44.5	49.3	48.9	41.7
12:38	40.4	48.9	48.8	41.6
12:39	40	48.7	48.4	40.5
12:40	42.7	48.8	48.2	41.2
12:41	45.6	48.6	48.2	42.4
12:42	41.4	48.4	47.7	38.2
12:43	42.9	47.8	47.6	41
12:44	40.3	47.7	47.2	39.8
12:45	40.8	47.5	47	39.7
12:46	40.9	47.8	46.8	38.9
12:47	3805	46.9	46.6	39.2
12:48	40.2	47.1	46.3	39.7
12:49	59.8	46.6	46.2	63.4
12:50	51.2	46.7	46.4	70.8
12:51	50.5	47.2	46.5	63.8
12:52	49.7	46.8	47.1	52.8
12:53	43.5	47.1	46.9	43
12:54	48.6	47.3	47	50.7
12:55	46.1	47.2	46.8	51.2
12:56	39.7	46.5	46.4	40
12:57	42	46.5	46.2	41.8
12:58	43.1	46.7	46.4	43.3
12:59	42.3	46.4	46.1	40.9
13:00	42.6	46.7	46	41.2

ผลการทดลองวันที่ 2 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการไหล 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:01	44.9	46.4	45.8	52.9
13:02	52.3	45.9	45.8	77.1
13:03	61.5	46	45.7	78.4
13:04	56.7	46.7	46	78.7
13:05	53.8	46.4	46.2	70.1
13:06	40.1	46.9	46.2	41
13:07	43.1	46.9	46.7	39
13:08	37.7	46.7	46.1	37.3
13:09	40.2	46.3	46.2	38.2
13:10	40.2	46	45.6	38.1
13:11	39.7	46.2	45.1	37.9
13:12	40.2	45.6	45.2	37.1
13:13	42.8	45.7	45	40
13:14	41.7	45.2	44.7	40.5
13:15	39	45.2	44.6	48.2
13:16	60.4	44.8	44.2	89.7
13:17	72	46.1	44.6	79.8
13:18	60.7	45.6	44.9	70.6
13:19	46.8	45.9	45.4	72.7
13:20	58.3	46.9	45.8	78.6
13:21	42.5	46.8	46.4	49.2
13:22	39.5	46.8	46.2	42.7
13:23	41.6	46.3	46.2	40.7
13:24	41.6	46.4	46.1	41.9
13:25	54.4	45.7	45.9	77.4
13:26	55.2	45.9	45.5	75.9
13:27	59	46	45.7	73
13:28	59.2	45.9	45.9	61.1
13:29	49.7	46.3	46.2	56
13:30	50.8	46.8	46.1	50.5

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:31	58.6	47.3	47	53.4
13:32	43.1	46.8	47.1	48.5
13:33	44.3	46.6	47.1	48.9
13:34	52.1	46.4	46.9	56.7
13:35	50.4	46.9	46.6	60.2
13:36	49.9	46.5	46.3	57.1
13:37	51.4	46.6	46.2	59.8
13:38	47.7	46.2	46.2	56.1
13:39	67.9	46.5	46.3	96.2
13:40	66.8	46.5	46.3	92.2
13:41	56.1	46.6	46.4	64.3
13:42	65.2	46.4	46.2	89.5
13:43	56.7	46.5	46.4	63.1
13:44	51.3	46.5	46.4	57.8
13:45	59.2	46.6	46.3	75.9
13:46	55.9	46.5	46.4	67.9
13:47	54.7	46.5	46.3	59.1
13:48	43.6	46.5	46.2	50.7
13:49	48.5	46.3	46.2	57.5
13:50	65.4	45.7	45.5	73.7
13:51	68.5	45.9	45.9	68.8
13:52	58.9	45.9	45.9	68.5
13:53	60.2	45.9	46	68.8
13:54	66.9	46.1	46	71.4
13:55	60.7	46	46	92.1
13:56	58.2	46.2	46	78.7
13:57	51.7	46.2	46	61.5
13:58	52	46.1	45.9	55.8
13:59	50.5	46	45.9	59.9
14:00	50.1	45.9	45.8	51.9

ผลการทดลองวันที่ 2 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการใช้ไถล 0.0493 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01	70.9	41.1	42.7	113.6
10:02	88.7	42.4	44.1	138.6
10:03	87.8	44	45.3	120.7
10:04	73.3	44.8	46.2	133.6
10:05	88.9	45.3	46.9	119.2
10:06	89.9	46	47.5	124.6
10:07	89.1	46.4	48.2	142.6
10:08	88.4	47.3	49	138.8
10:09	98.8	47.6	49.5	145
10:10	87.2	48	49.9	152.8
10:11	95.5	49.3	51.4	137.7
10:12	79.2	49.7	52.1	166
10:13	69.9	50.6	52.4	163.6
10:14	66	50.8	52.8	165.3
10:15	82.4	51.3	53	120.8
10:16	97	51.6	53.9	134.4
10:17	104.5	52.1	54.1	158.3
10:18	91	53.4	55	131.1
10:19	96.2	53.2	55.4	146.3
10:20	100.9	54	55.8	162.8
10:21	86.6	54.1	56.1	124.9
10:22	94.2	54.7	56.6	143.3
10:23	74	55.2	57.1	156.5
10:24	95.9	56	57.4	118.6
10:25	71.1	56.3	57.4	145
10:26	79.2	56.3	58	125.9
10:27	103.2	56.5	58.8	149.1
10:28	87.9	57.1	59	138.5
10:29	99.5	57.4	59.4	141.5
10:30	103.3	57.8	59.7	150.9

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	91.8	58	60.1	118.6
10:32	101.1	58.4	60.4	111.1
10:33	86.8	58.4	60.4	107
10:34	107.3	58.9	60	82
10:35	116.8	58.8	60.6	107.9
10:36	120	59.2	61	104.8
10:37	128.6	59.4	61.4	122
10:38	98.5	60	61.9	125.7
10:39	125.1	60.2	62	109.6
10:40	115.9	61	62.1	114.9
10:41	114.3	60.6	62.1	120
10:42	108.6	60.7	62	85.8
10:43	114.5	60.9	62.2	100.4
10:44	122.9	61.1	62.6	102.9
10:45	88.1	61.4	62.9	117.4
10:46	91.2	61.3	63.3	136.7
10:47	108.5	61.8	63.9	142.1
10:48	91.6	61.8	63.9	139.1
10:49	109.2	61.8	64.5	113.7
10:50	106.3	62.2	64.7	112.5
10:51	92.2	62.3	64.8	133.6
10:52	110.2	62.7	65.2	137.1
10:53	104.8	62.8	65.6	148.6
10:54	103.6	63	66	149.4
10:55	82.8	63.3	66.2	176.1
10:56	125.2	64.2	67	149.4
10:57	111.3	64.1	67.1	135
10:58	104	64.3	66.4	117.3
10:59	90.9	64.1	66.6	122.9
11:00	97.8	64.4	66.8	137.4

ผลการทดลองวันที่ 5 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการใช้ 0.03 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	97.9	64.8	67.5	144.7
11:02	115.7	65.1	67.6	124.4
11:03	125.2	65	68.4	141.8
11:04	114.5	65.4	68.7	130.7
11:05	119.3	65.4	68.9	141.4
11:06	107.1	66	69.2	135
11:07	106.9	66	69.2	141
11:08	111	66	69	121.6
11:09	113.9	66.1	69.7	128
11:10	105.5	66.4	69.7	151.4
11:11	125.1	66.7	69.9	112.9
11:12	130.5	66.8	70.6	136.5
11:13	120.3	66.8	70.4	147
11:14	119.6	67	70.7	126.9
11:15	106.9	67.4	70.5	113
11:16	65.2	67	70.5	138.2
11:17	116	67	70.5	125.1
11:18	4109.4	67.1	70.9	139.9
11:19	117.8	67.1	71.3	143.6
11:20	103.9	67.5	71.2	135
11:21	103.1	67.6	71.3	136.9
11:22	101.6	67.6	71.4	135.8
11:23	105.2	67.7	71.6	124.5
11:24	100.1	67.8	72.1	160.3
11:25	103.7	68.4	72.1	130.9
11:26	120.1	68.6	71.9	123.9
11:27	111.5	68.3	71.9	140
11:28	121.2	68.5	71.6	117.6
11:29	104.9	68.2	71.7	137.4
11:30	115.2	68.5	71.4	111.9

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	126.9	68.2	71.6	121.5
11:32	136	68.3	71.7	118.4
11:33	135.3	68.1	72	125.9
11:34	136.6	67.7	72.3	124.9
11:35	127.3	68.4	72.1	128.6
11:36	130.2	69.8	73.3	115.7
11:37	137.2	69.8	73.5	134.8
11:38	127.7	69.9	73.6	136.1
11:39	131.5	70.1	73.4	125
11:40	108.8	70.3	72.5	134.2
11:41	110.4	70.1	72.3	119.1
11:42	111.5	69.9	72.4	117.5
11:43	114.2	70.1	72.6	134.7
11:44	116	69.7	72.7	121.6
11:45	136.1	70.2	73.1	138.6
11:46	126.6	70.3	73.4	126.6
11:47	115	70.7	73.4	119.8
11:48	116	70.7	73.3	145.2
11:49	107.5	70.6	72.3	128.9
11:50	122.8	70.3	72.3	121.7
11:51	121.9	69.9	72.4	104.3
11:52	115.4	70.4	72.4	129.6
11:53	109.4	70.2	72.7	133.2
11:54	100.5	70.5	72.8	126.9
11:55	126.7	70.6	72.7	124.8
11:56	123.7	70.8	72.8	128.9
11:57	128.7	71.3	73.2	131
11:58	128.5	70.9	73.2	141.6
11:59	121.3	71	73.5	143.4
12:00	110.1	71.2	73.6	146.7

ผลการทดลองวันที่ 5 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการไหล 0.03 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:01	113.2	71.6	73.6	135.2
12:02	116.4	71.7	73.6	127.2
12:03	117.7	71.7	73.6	133.9
12:04	133.7	71.8	73.8	128
12:05	119.4	72.2	73.8	124.7
12:06	143.1	71.9	73.6	143.9
12:07	138.6	71.8	73.8	139.6
12:08	129.7	71.9	73.9	131.2
12:09	121.8	71.8	73.9	135.1
12:10	121.7	72.2	73.5	87.9
12:11	105.1	72.1	73.1	94.9
12:12	127.8	71.9	73.7	133.7
12:13	126.2	72	73.9	135
12:14	110.2	72.2	73.6	130.5
12:15	101.4	72.3	73.3	116.3
12:16	96.5	71.7	73.2	147.2
12:17	77.4	71.8	73.5	138.9
12:18	100.5	72.1	73.4	116.1
12:19	105.9	72.2	73.5	118.3
12:20	103	72	73.5	129
12:21	99.6	72.2	74	150.3
12:22	114.6	73.1	74.8	104
12:23	98	72.9	74	95.2
12:24	107.3	72.9	74	137.7
12:25	116	72.4	74.2	129.5
12:26	112.8	72.9	74.3	135.7
12:27	109.1	73.1	74.1	142
12:28	121.4	73.3	74.4	124
12:29	108.2	72.7	74.3	134.7
12:30	108.7	72.7	74.5	148.2

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:31	128.1	73.2	74.7	140.2
12:32	117	73.6	74.8	129.6
12:33	120.6	73.3	74.6	137.3
12:34	119.2	73.3	74.7	129.7
12:35	109.6	73.8	74.8	113
12:36	101.2	73.7	74.7	114.8
12:37	109.6	73.9	75	144.1
12:38	111.3	74.2	75	130.9
12:39	114.5	74.3	75	115
12:40	105.4	74.1	74.9	87.2
12:41	102.9	73.8	74.9	117.3
12:42	111	73.7	75	126.1
12:43	103.5	74.1	75.1	145.7
12:44	114.1	74.8	75.5	131.2
12:45	114.6	74.5	75.6	140.8
12:46	112.1	74.9	75.8	106.3
12:47	102.6	74.9	75.4	99.5
12:48	99.2	74.4	74.8	116.4
12:49	114	74.3	75	135.6
12:50	115.5	74.1	75.4	139.6
12:51	131.4	74.5	75.5	133.8
12:52	128.7	74.4	75.9	143.5
12:53	99	74.9	76	133.3
12:54	117.8	75.1	76	143.2
12:55	122	75.5	76.1	140.8
12:56	114.1	75.2	76.1	155.5
12:57	102.8	75.8	76.5	156.9
12:58	101.1	75.8	76.6	146.7
12:59	105.1	76.1	76.5	110.7
13:00	93.7	75.9	76.4	117.1

ผลการทดลองวันที่ 5 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการไหล 0.03 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:01	100.7	75.6	76.1	131.8
13:02	101.7	76	76.2	114.8
13:03	104.2	75.5	76.1	131.1
13:04	117.3	75.5	76.5	137.6
13:05	109.6	75.9	76.6	138.7
13:06	114.3	76.1	76.4	127.6
13:07	118.9	76.1	76.4	137.6
13:08	129.1	75.9	76.6	143.7
13:09	95	76.2	76.7	107.9
13:10	100.2	76.4	76.8	114.4
13:11	113.3	76.3	76.7	138.4
13:12	124.8	76.5	76.8	134.5
13:13	116.9	76.5	71.1	131.4
13:14	108.1	76.6	76.9	139.1
13:15	124.5	76.5	77.1	149
13:16	127.8	76.6	77.4	146.2
13:17	122.2	76.8	77.3	150.5
13:18	113.8	76.7	77.5	153.8
13:19	113.1	77.1	77.6	126.1
13:20	110	77.1	77.6	122.4
13:21	127.5	77.2	77.6	129.9
13:22	124.8	77.2	77.6	145.3
13:23	107.5	77.3	77.7	139.7
13:24	114.3	77.4	77.4	102.7
13:25	115.7	77.5	77.6	86.7
13:26	110.1	77.7	77.6	147.2
13:27	104	77.5	77.8	159.1
13:28	124.8	77.8	78	113.1
13:29	121.8	77.7	78	130.8
13:30	132.9	77.8	78	138.7

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:31	114.4	77.6	77.7	106.1
13:32	115	77.6	77.8	112.3
13:33	103.2	77.7	77.9	155.1
13:34	109.9	77.9	78.1	104.5
13:35	110.7	77.9	78.2	124.9
13:36	120.8	78	78.2	125
13:37	129.1	78.1	78.3	118
13:38	105	78.4	78.3	109.1
13:39	105.9	78.3	78.3	88.2
13:40	106.8	78.6	78.7	110.1
13:41	105.2	79	78.7	122.2
13:42	126.7	79	78.6	119.7
13:43	126.1	78.7	78.6	125.4
13:44	107.7	78.7	78.8	120.8
13:45	122	78.7	78.8	126.1
13:46	123.9	79.1	79.2	137.3
13:47	113	79.1	79	137.6
13:48	105	79.2	79	110.4
13:49	115.9	79	79.1	126.6
13:50	112	79.3	79.2	131.4
13:51	132.4	79.5	79.3	143.1
13:52	115.4	79.4	78.9	88.7
13:53	109.9	79.4	79.1	110.2
13:54	116.7	79.2	79.2	140.6
13:55	116.3	79.3	79	124.6
13:56	104.7	78.9	79	125.2
13:57	115.6	79.5	79.1	146.4
13:58	107.7	79.4	79.2	123.3
13:59	105.9	79.3	79	104.5
14:00	116.7	79.4	79	118.3

ผลการทดลองวันที่ 5 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการไหล 0.03 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01	74.9	32.3	32.2	100.5
10:02	77.8	31.9	32.5	95.6
10:03	73.8	33.6	33.8	107.5
10:04	80.5	33.9	33.8	102.5
10:05	71.4	33.5	33.8	112.7
10:06	80.2	35.1	34.3	88.8
10:07	78.9	35	34.8	93.8
10:08	77	35.5	35.7	100.9
10:09	80.6	36	35.7	87.8
10:10	67.2	36	35.8	84
10:11	76.9	36.9	36.6	107.7
10:12	57.3	38.3	36.9	109.1
10:13	48	38.1	37.7	94.3
10:14	76.9	39.5	38.7	97.5
10:15	88.1	40.3	39.3	101.7
10:16	90.4	41.5	40	108.2
10:17	86.7	41.1	41.2	114
10:18	88.5	42.1	41.1	103.4
10:19	64.9	42.5	42.4	115.2
10:20	74.1	42.6	42.8	68.9
10:21	89.9	43.6	43.9	102.7
10:22	84.5	44.6	44.1	97.9
10:23	94.3	44	44.7	102.6
10:24	70.4	44.7	45.2	111.7
10:25	95.3	46	46.1	109.3
10:26	98.3	46.3	46.6	88.6
10:27	98.8	45.7	47	107.1
10:28	98.1	47.5	47.7	110.1
10:29	68.5	47.7	48.7	110.1
10:30	72.6	47.3	49.7	93.8

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	100.8	47.7	50.8	110.3
10:32	109.9	48.9	50.8	108.3
10:33	102.3	49	51.5	107.7
10:34	90.8	49.5	52.2	105.3
10:35	78	49.9	53.2	94.5
10:36	89	49.8	53.5	102.6
10:37	102.1	50.2	54.1	108.9
10:38	105.1	51.2	54.4	88.7
10:39	97.7	51.1	55.1	110.8
10:40	67	51.2	55.3	120
10:41	64.8	51.8	55.8	116.7
10:42	50.2	52.4	55.6	76.5
10:43	81	51.8	55.3	87.9
10:44	82.1	52.7	55.8	107.2
10:45	84.6	53	57.3	106.9
10:46	115	54.2	57.5	113.7
10:47	99	55.2	58.4	110.4
10:48	77.9	55.2	58.9	127.7
10:49	66.2	55	59.6	123.6
10:50	62.1	55.8	59.6	106.6
10:51	86.8	56.2	59.8	93.3
10:52	80.4	57.3	61.3	94.6
10:53	108.1	56.7	61.6	118.6
10:54	98.2	58	62.2	107.2
10:55	71.9	57.7	62.3	114.1
10:56	59.1	57.4	62.5	99.2
10:57	67.7	58.3	62.4	96.9
10:58	79.3	58.6	62.9	111.4
10:59	100.1	58.7	63.9	104.8
11:00	100.9	59.6	64.1	118.3

ผลการทดลองวันที่ 7 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	79.3	60	64.5	122.7
11:02	60	59.3	64.8	125.2
11:03	61	60.3	64.3	101.7
11:04	97.5	59.2	64	81.6
11:05	70.9	60.3	64	102.7
11:06	89.6	60	64.9	109.9
11:07	96.1	59.9	65.6	109.5
11:08	103.5	61.2	66.1	119.4
11:09	69.4	60.7	66.6	129.5
11:10	65	61.1	67	118.2
11:11	59.7	61.5	66.8	93.5
11:12	107.9	61.6	66.1	73.4
11:13	78.3	61.6	67.2	106.6
11:14	85.1	62.1	68.3	107.8
11:15	99.1	61.7	68.5	114.7
11:16	94.6	63.1	69.4	101.5
11:17	79.4	63.2	69	101.8
11:18	61	63.1	69.2	106.6
11:19	57.2	62.8	68.9	82.6
11:20	86.5	62.5	67.3	77.3
11:21	90.4	62.5	68.1	84
11:22	65.8	62.6	69.3	113.9
11:23	78.1	63.6	70	115.3
11:24	93.5	63.4	69.9	103.5
11:25	91.1	63.2	70.3	114.7
11:26	67.1	63.9	70.2	102.4
11:27	62.6	63.7	70.1	96.6
11:28	58.8	63	70.1	88.4
11:29	69.2	63.5	68.8	86
11:30	95.5	63.3	69.8	107.4

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	89	63.1	71	114.3
11:32	76.3	63.2	71.3	131.9
11:33	68	64.6	71.1	120.1
11:34	59.4	64.4	70.2	90.5
11:35	82.7	63.6	69.1	114.5
11:36	98.6	64.5	71.3	105.3
11:37	81.3	64.3	70.8	110.5
11:38	71.4	63.9	70.5	118.3
11:39	77.3	64.3	70.4	101.7
11:40	58.3	63.9	68.5	81.5
11:41	58.3	63.1	67.6	73.7
11:42	86.9	63.5	67.9	76.4
11:43	77.7	64.2	69.2	95.8
11:44	77.2	64	71	98.8
11:45	77.5	63.9	71.1	103.7
11:46	77.1	63.9	70.2	95.4
11:47	63.5	63.7	69.8	98.6
11:48	63.5	64.1	69.3	100.9
11:49	59.3	63.6	69	97.2
11:50	77.4	64.4	70.8	83.1
11:51	79.6	64.3	70.3	98.5
11:52	102.4	63.7	70.9	119.1
11:53	83	65.1	71.8	118.8
11:54	74.3	65.6	71.3	121.5
11:55	69.6	64.1	71.5	112.3
11:56	63.6	64.5	71.2	93.1
11:57	57.8	64.8	67.8	73.7
11:58	65	64.1	68.8	98.5
11:59	66.2	64.1	69.5	97.3
12:00	64.9	64	69.3	89

ผลการทดลองวันที่ 7 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:01	97.6	63.6	70.8	109.63
12:02	88	64.2	71	102.9
12:03	74.5	64.2	70.7	109.3
12:04	71.7	64.1	70.1	114.2
12:05	59.2	64.2	68.8	119
12:06	71.3	64.3	67.4	78.2
12:07	71.8	63.2	68.3	61.2
12:08	61.6	63.9	68.8	91.8
12:09	64	64.4	69.1	93.5
12:10	96.2	63.9	69.5	102.9
12:11	66.5	63.7	70.7	116.5
12:12	68.5	64.7	70.3	117.7
12:13	67.3	64.1	69.3	83.4
12:14	66.5	64.6	69	82.4
12:15	75.3	63.4	69.7	104.4
12:16	70	63.6	70.8	102.1
12:17	65.9	63.7	69.9	103.7
12:18	99.1	63.7	70.1	96.7
12:19	77.5	64.4	69.9	90.8
12:20	75.5	63.9	70.1	104.8
12:21	61.9	64.5	70.4	93.6
12:22	58.5	64.5	68.9	77
12:23	76	64.7	69.5	80.4
12:24	74.5	64.3	69.8	77.4
12:25	56	64.2	68.4	79.7
12:26	63.3	64	68.9	92
12:27	63	63.9	69.2	95.1
12:28	71	63.8	69.8	87.2
12:29	70.2	63.5	70.1	87.8
12:30	64.2	63.8	70.1	99.5

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:31	76.6	63.5	70	90.3
12:32	80.7	64	70.3	86
12:33	64.4	64.6	68.9	72.2
12:34	71.2	64.3	68.7	88.9
12:35	91.4	63.9	69.6	87.5
12:36	86.6	64.1	70.3	96
12:37	89.5	63.5	70.6	100.4
12:38	71.3	63.7	70.2	94.9
12:39	90.2	63.9	70.7	110.4
12:40	78.6	65.1	71.1	105.4
12:41	91.3	64.4	70.9	95.4
12:42	73	64.9	70.6	96.6
12:43	71.5	64.7	71.1	93.5
12:44	78	65	71.2	95.6
12:45	69.1	65.1	71	103.2
12:46	88.7	65.5	71.9	106.4
12:47	85	65.2	71.4	104.3
12:48	71.8	65.8	70.9	84.1
12:49	65.7	65.1	70	82.9
12:50	66.6	65	69.8	96.6
12:51	80.8	64.7	70.9	99
12:52	74.9	64.7	71.4	93.1
12:53	77.7	64.8	71.2	92.1
12:54	70.8	65	70.8	99.8
12:55	79.6	64.7	71.4	97.4
12:56	87.3	65.2	71.4	108.2
12:57	88	65	71.4	102.7
12:58	71.5	65.5	71.6	9739
12:59	87.3	66.2	71.8	99.1
13:00	77.2	66.3	72	99

ผลการทดลองวันที่ 7 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการใช้ไฟ 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:01	83.5	65.4	71.5	101.6
13:02	89.9	65.9	71.6	97.7
13:03	90.5	66	71.4	97.8
13:04	62.6	66	71.6	109
13:05	79.9	66.5	71.7	96.5
13:06	77.1	66.1	71.6	94.1
13:07	91.9	66.6	72	124.4
13:08	78.1	66.3	72.5	100.8
13:09	72.4	66.3	71.9	101.4
13:10	58.2	65.9	71.2	82.3
13:11	90.8	66.3	72	100.4
13:12	66	66.2	71.2	80.4
13:13	91.8	66.6	71.3	86.5
13:14	81.4	66	71.8	110.9
13:15	80.7	66.7	72	109.1
13:16	88.8	66.4	72.2	110.7
13:17	102.2	66.6	72.2	115.6
13:18	89.8	67.3	72	112.6
13:19	76.1	67.1	72	110.8
13:20	89.2	66.7	72.4	129.2
13:21	99	66.9	72.4	134.6
13:22	94.2	67.2	72.6	117.6
13:23	74	67.6	72.3	117.4
13:24	97.2	67.6	73.2	123.3
13:25	102.8	68	73.2	128.8
13:26	61.9	67.4	72.4	94.3
13:27	81.3	68.2	72.7	111.3
13:28	94.4	67.9	73	121.4
13:29	97.5	67.9	73	115.9
13:30	80.5	68.7	73	116.1

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:31	58.1	67.8	73.5	122.5
13:32	103.6	68.7	73.6	107.5
13:33	91.1	68.6	73.7	101.8
13:34	77.6	68.4	73.9	106.6
13:35	86.6	68.6	74.6	122.3
13:36	93.9	68.4	74.2	120.6
13:37	83.1	69.4	75.2	116.4
13:38	92.2	69.4	75.5	115.9
13:39	79.6	69.7	76.2	111.1
13:40	79.2	69.3	76.2	116.5
13:41	72	69.9	76.8	102.5
13:42	74.2	69.5	76.1	122.1
13:43	100.5	69	76.7	122.2
13:44	85.2	70	77.7	110.4
13:45	98	69.7	76.9	102
13:46	82.1	69.3	77.8	109.2
13:47	73.4	69.4	78.1	125.5
13:48	105.7	70	78.2	115.2
13:49	73.1	70.2	77.7	77
13:50	75	70	78.1	114.2
13:51	86.1	70.3	78.3	123.5
13:52	81.6	69.4	78.4	131.6
13:53	76.3	69.4	78.5	128.6
13:54	83.1	70	78.7	121.8
13:55	90.3	70.3	78.6	112
13:56	85.4	70.3	78.3	107.3
13:57	85.3	70.2	79.3	127.1
13:58	96.7	70.5	79.5	109.5
13:59	92.4	70.7	79.9	125.1
14:00	101.1	70.8	78.5	118.9

ผลการทดลองวันที่ 7 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01	73.8	33.5	33.4	82.1
10:02	76.8	34.3	34.6	90.1
10:03	78.5	34.9	35	87.7
10:04	87.6	35.1	35	88.5
10:05	90.3	36.1	35.8	84
10:06	88.3	36.7	36.2	89.4
10:07	89.5	37.2	36.7	80.7
10:08	74.7	38.2	37.9	86.3
10:09	81.4	39.7	38.4	91
10:10	74.8	39.7	39	96
10:11	86.7	40.9	40.3	105.5
10:12	91.6	41.2	41	103.5
10:13	71.7	42.1	42.6	94.1
10:14	75.6	43.2	42.7	92
10:15	82.2	43.5	43.3	91.5
10:16	85.6	43.4	43.9	94.4
10:17	47	43.9	43.7	49.5
10:18	40.4	43.7	43.4	43.3
10:19	58	43.2	43.7	55
10:20	79.9	43.4	44.2	80.4
10:21	86.4	43.4	44.1	98.8
10:22	74.8	44.5	45.4	93.2
10:23	64.3	45.3	45.8	72.7
10:24	86.9	45.2	45.7	68.7
10:25	40.4	44.8	44.5	47.7
10:26	72.5	45.1	45.2	83.2
10:27	70.5	45.2	45.8	82.8
10:28	68.8	46.1	46.6	67.5
10:29	93.9	45.4	46.5	93.1
10:30	90	46.1	47.3	88.9

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	80.6	46.4	48.1	95.1
10:32	87.9	46.7	48.2	95.4
10:33	44.2	47.1	48	48.9
10:34	41.7	46.7	47.1	44.1
10:35	97.8	46.8	47.5	88.6
10:36	82.3	47.2	48.4	87.4
10:37	74.7	47.4	48.7	93.4
10:38	84.5	47.5	49.4	92.1
10:39	64.2	48.2	49.8	69.3
10:40	81	47.8	49.3	83.2
10:41	60.2	48.1	50.2	93.1
10:42	71.8	48.1	50.5	82.6
10:43	67.7	48.6	50.9	90.2
10:44	82.3	48.4	51.3	102.8
10:45	44.1	48.8	50.2	48.6
10:46	47.2	48.6	49.6	57
10:47	61.5	48.6	49.6	69
10:48	56.7	48.3	49.6	60.6
10:49	82.9	48.6	50.6	69.8
10:50	56.1	48.6	51.2	68.3
10:51	63.4	49	50.9	71.7
10:52	45.3	48.9	49	47.2
10:53	48.5	48.3	49	49.6
10:54	48.4	48.3	49.3	52.4
10:55	73.1	48.5	50	78.2
10:56	76.9	48.4	51.1	97.1
10:57	48	49.4	51	55.8
10:58	48.2	48.9	50.4	51.1
10:59	86.2	49.1	50.7	85.9
11:00	70.3	49.4	52.4	97

ผลการทดลองวันที่ 8 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	68.8	50.1	52.9	75.2
11:02	55.9	50.2	52.8	77.6
11:03	47.5	50.3	52.7	59.3
11:04	70.5	49.8	52.7	80.7
11:05	54.8	49.9	52.6	72.6
11:06	50.7	50.3	52.3	56
11:07	54.8	50.1	50.4	59.4
11:08	53.4	50.2	53.1	68.6
11:09	80.7	50.8	53.1	85.9
11:10	94.1	50.8	53.6	105.3
11:11	47.2	51.2	53.8	60.1
11:12	81.2	50.9	52.7	91.7
11:13	93.9	50.8	52.3	102.9
11:14	80.3	51	54	102.44
11:15	88.3	51.8	54.6	77.4
11:16	65.2	52.2	55.4	100.6
11:17	65.8	52.4	55.4	88
11:18	45.2	52.2	53	50.6
11:19	53.9	51.8	51.1	61.4
11:20	66.2	51.7	52.7	82.2
11:21	50.7	52.8	55.7	67.7
11:22	59	52.8	54.6	71.9
11:23	68.6	52.7	55.1	103.5
11:24	71.6	53.2	56.3	89.7
11:25	66.4	53.9	56.2	85.3
11:26	65.8	54	56.7	95.8
11:27	76	54.1	57.2	96.8
11:28	46.6	53.9	53.3	51
11:29	63.9*	53.4	55.6	89.8
11:30	65.7	54	56.1	105.9

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	60.3	54.5	57.1	95.5
11:32	87.5	54.8	58	99.9
11:33	95.9	55.3	58.3	103.3
11:34	66.5	55.2	58.6	96.3
11:35	75.5	55.1	59	103.6
11:36	66.2	55.5	59.1	96.7
11:37	90.1	55.7	59.6	105.2
11:38	78.4	56.6	59.8	83.9
11:39	81.5	56.7	60.1	93.3
11:40	61.4	56.5	60.5	92.2
11:41	78.8	56.5	60.3	91.1
11:42	66.4	56.8	60.8	86.4
11:43	78.4	57.2	61.1	81.2
11:44	72.2	57	61	96.2
11:45	88	57	61.5	99.4
11:46	99.7	57.8	62.3	93.6
11:47	86.7	57.9	62.5	102.6
11:48	65.7	58.4	62.8	87.5
11:49	87.3	58.2	62.8	104.8
11:50	82.8	58.7	63.7	115
11:51	88.5	58.8	63.8	93.3
11:52	86	59	64	94.1
11:53	73.6	59	63.8	97.6
11:54	54.3	59	59	55.3
11:55	60.3	58.7	62.5	90.1
11:56	53.9	58.9	61.1	66.7
11:57	52.9	58.6	59.9	56.5
11:58	53.7	58	57.9	54.2
11:59	47.1	58.3	57	48.3
12:00	82.8	57.9	59.6	99.8

ผลการทดลองวันที่ 8 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:01	48.3	57.6	59.8	59.4
12:02	45.3	57.4	55.9	47.4
12:03	44.3	57.1	55.6	43.5
12:04	56.4	56.3	56.5	62.7
12:05	71.1	56.8	59.9	94.4
12:06	53.9	56.7	57.2	54.7
12:07	55.6	56.8	57.3	68.7
12:08	68.7	56.5	59.7	102.8
12:09	67.2	57.7	59.7	101.8
12:10	78.45	57.3	59.9	75.8
12:11	49.2	57	57	50.9
12:12	72.3	57.2	59.7	91.8
12:13	68.4	56.9	59.8	91.5
12:14	90.7	57.3	59.8	87.4
12:15	74.3	57.6	60.1	96.6
12:16	79.2	57.8	60.5	109.9
12:17	84.6	58.4	60.8	89.2
12:18	88.8	57.9	60.7	102.8
12:19	47.2	55.8	58	55.4
12:20	48.7	56.2	57	50.8
12:21	44.4	55.6	56	48
12:22	45.8	56	55.4	48.1
12:23	48.7	55.3	55	48.4
12:24	69.1	55.6	56.5	58.2
12:25	65.4	56	56.5	63.7
12:26	44.6	55.6	56.4	54.4
12:27	44.8	55.9	55.8	53
12:28	45.6	55.5	55.5	50.3
12:29	48.4	55.7	55.5	49.5
12:30	43.7	55.1	53.8	44.6

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:31	64.4	54.1	59.3	82.9
12:32	57.8	54.3	59.5	86.4
12:33	57.3	54.4	59.3	80.1
12:34	65.2	54.5	59.4	57.3
12:35	56.3	54.2	60.1	96.3
12:36	70.1	55	60.4	92.1
12:37	68.8	55.1	60.6	80.5
12:38	57	54.9	59.5	65.7
12:39	67.4	55.3	60	94.7
12:40	67.1	55.5	60	71
12:41	57.6	55.9	59	64.3
12:42	56.3	55.4	59.5	69
12:43	49.8	55.5	58.2	67.8
12:44	64.1	54.9	58.2	79.9
12:45	57.8	55	58.9	68.9
12:46	59.8	55.4	61.1	68.6
12:47	44.4	55.6	53.7	43.5
12:48	44.8	54.3	53.7	45.2
12:49	46.1	54.6	53.6	43.9
12:50	44.2	54.6	53.8	43.5
12:51	45.1	54.4	53.5	42.2
12:52	49	53.9	53.2	44.4
12:53	42.2	53.5	53.4	41.5
12:54	42.5	53.5	52.9	42.7
12:55	62.8	53	54.3	90.2
12:56	73.7	53.1	54.5	90.2
12:57	68.4	53.3	54.4	74.7
12:58	48.4	53.2	54.7	59
12:59	46.1	53	54.4	54.7
13:00	41.8	53.7	54.1	50.4

ผลการทดลองวันที่ 8 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:01	57.5	52.4	57.3	83.1
13:02	62	52.6	58.2	88.5
13:03	62	52.7	58.7	78.6
13:04	53.6	53.1	58.3	79.2
13:05	58	53	58.5	74
13:06	64.5	52.9	58.3	89
13:07	61.7	53.6	57.9	76.6
13:08	61.5	53	57.8	80.8
13:09	58.6	53.1	58.3	67.4
13:10	54.9	53.1	58.2	75.7
13:11	63.9	54.1	59.6	75.5
13:12	69.6	53.7	59.8	83.8
13:13	78.3	54.1	59.7	83
13:14	79.5	53.8	59.8	87.8
13:15	58.2	53.6	53.8	54.6
13:16	67.4	53.3	53.9	84
13:17	75.9	53.2	57.8	83.5
13:18	75	52.9	57.5	80.7
13:19	70.4	53.3	57.8	74.6
13:20	59.5	52.9	57.4	74.3
13:21	43.9	52.9	52.8	42.5
13:22	41.3	53	52.1	42.5
13:23	41.1	52.5	51.6	44.4
13:24	65	52.1	52.8	65.7
13:25	68.7	52.2	57.5	71.8
13:26	70.9	52.5	58	82.1
13:27	69.3	52.1	57.8	73.5
13:28	66.2	52.9	58.1	88.5
13:29	79.4	52.4	56.7	77.6
13:30	78.9	52.4	57.3	76.8

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:31	43.3	52.7	57.2	52.7
13:32	60.7	52.7	57.3	71
13:33	55.9	52.8	57.6	64.5
13:34	68.7	52.7	57.5	77.2
13:35	48.3	52.7	55.1	50.2
13:36	65.5	52.6	56.8	70.4
13:37	59.9	52.7	57.7	72.8
13:38	46.8	52.6	57	54.5
13:39	43.2	52.6	54.4	48.7
13:40	69.3	52.8	58.4	71.9
13:41	74	52.8	60.4	94.7
13:42	64.9	52.8	54.4	68
13:43	83.5	52.8	54.4	87.7
13:44	71.7	53.1	54.6	84.4
13:45	82.7	53.5	55	88.9
13:46	55.4	53.2	54.8	70.7
13:47	44.9	53.1	54.2	47.5
13:48	73.3	53.3	53.7	72.6
13:49	51.3	53	54.2	61.9
13:50	48.7	52.9	53.3	48.2
13:51	51.8	52.6	53	54.9
13:52	45.7	52	52.8	45.2
13:53	47.1	51.8	52.7	50
13:54	79.5	51.7	53.1	73
13:55	56	51.7	53.3	71.9
13:56	63.4	51.9	53.6	61.9
13:57	67.8	51.8	53.6	60.4
13:58	66.6	52.1	54	52.4
13:59	62.1	52	53.6	61.5
14:00	76	52	53.8	61.8

ผลการทดลองวันที่ 8 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01	41.9	33.7	33.4	55.4
10:02	35.6	34.5	33.3	43.8
10:03	64.2	34.3	34	61.1
10:04	52.1	34.4	34.3	74.1
10:05	52.4	35.5	34.6	75.5
10:06	36.1	35.5	35	44
10:07	52.7	35.5	35.1	63.4
10:08	63.6	35.5	35.8	72.9
10:09	72.9	36.5	36.5	83.1
10:10	41.4	38.1	36.9	53
10:11	58.6	38.2	37.3	82.6
10:12	65.6	38.4	37.6	75.7
10:13	56.3	38.9	38	73.8
10:14	52.4	38.6	38.1	65.3
10:15	39.7	38.9	38.6	54.5
10:16	66.8	39.9	39.9	89.7
10:17	65.2	40.1	40	90
10:18	60.1	41.1	39.9	92.2
10:19	59.2	41	40.2	88.1
10:20	61.5	41.2	40.4	79.5
10:21	69.3	41.3	40.9	73.6
10:22	72.5	41.9	41.6	80.1
10:23	63.3	42.2	42.1	95.8
10:24	71.1	42.8	42.3	83.2
10:25	75.7	43.2	42.9	87.7
10:26	67.4	43.4	43.4	85.1
10:27	74.3	44.4	44	77.3
10:28	67.3	44	44.3	70.8
10:29	82.1	44.7	45.3	87.4
10:30	78.4	45.2	45.5	87.1

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	79.8	44.9	45.6	94.9
10:32	71.4	45	45.9	87.6
10:33	70	45.9	46.2	84.4
10:34	78.2	46.1	47	83.6
10:35	66.8	46.8	47.4	91.6
10:36	70.8	47.3	48	81.6
10:37	82.3	47.1	48.6	95.4
10:38	70.7	46.8	48.8	95.3
10:39	76.1	47	48.9	86.2
10:40	78.3	48	49.3	87.6
10:41	65.9	47.9	49.5	86.7
10:42	80.6	47.6	49.9	85.7
10:43	80.7	48.1	50.1	90.2
10:44	68.3	48.6	50.7	90.9
10:45	75	48.7	50.7	86
10:46	44.2	448.6	49.5	49.2
10:47	66.4	48.6	49	70.3
10:48	63.9	48.8	50	86.7
10:49	55	49.1	51	93.8
10:50	82.5	49	51.2	80.4
10:51	68.2	49.4	51.2	82.8
10:52	69.5	49.6	51.5	72.4
10:53	64.7	49.6	51.4	83.2
10:54	70.3	50.4	51.5	81.1
10:55	71.3	50.6	52	87.3
10:56	73.8	50.5	52.3	92.5
10:57	78.4	50.4	52.3	90.1
10:58	86.9	51.5	52.5	92.1
10:59	73.2	51.8	52.3	84.5
11:00	73.2	51.3	52.4	90.2

ผลการทดลองวันที่ 9 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	73.3	51.3	52.4	84.3
11:02	73.9	51.1	52.5	81.5
11:03	65.6	51.5	52.7	90.2
11:04	75	52.2	53.5	81.5
11:05	80.9	52.8	53.5	91.3
11:06	70.3	53	53.5	103.5
11:07	50.6	53.6	53.3	65
11:08	68.5	53.5	53.6	82.4
11:09	82.8	53.6	53.6	94.3
11:10	71.1	54.3	54.1	94.5
11:11	81.2	54.8	54.1	76.1
11:12	82.6	54.3	54	91.3
11:13	77.4	54.6	54.5	89
11:14	69.2	54.6	54.8	112
11:15	84.8	55.3	55	104
11:16	64.8	55.1	55.2	99.5
11:17	62.3	55	55.6	90.5
11:18	73.5	54.8	55.4	101.5
11:19	69.9	54.9	55.4	81.1
11:20	73.9	55.4	55.2	96
11:21	69.3	55.6	55.4	92.9
11:22	82.3	55.8	55.5	98.5
11:23	65.9	56.1	55.9	84
11:24	72.6	55.7	55.9	120
11:25	48.5	55.9	56.2	61.2
11:26	78.2	55.6	56.4	109.7
11:27	70.5	56.5	56.6	119
11:28	83.6	57	56.9	89
11:29	86.3	57.1	56.6	98.5
11:30	79	57.1	57.1	102.4

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	77.7	56.5	57.3	89.1
11:32	71.4	57.1	57.5	86.4
11:33	71.4	57.6	57.4	82.9
11:34	71.4	58.2	57.6	110.5
11:35	85.2	57.9	57.6	91.8
11:36	77.1	57.8	58.1	82.7
11:37	64.7	58.2	58.4	87.8
11:38	71.5	58.1	58.4	90.6
11:39	79.9	58.1	58.8	89.5
11:40	83	58.3	59.1	96.3
11:41	76.6	58.1	59.3	114.5
11:42	74.6	58.5	60.2	94.2
11:43	94.3	50.3	60.1	100.2
11:44	74.1	58.7	60.7	112.7
11:45	86.5	59.2	60.8	99.2
11:46	85.1	59.1	61.1	95.4
11:47	74.6	59.8	61.1	92.1
11:48	79.4	59.7	61	100.7
11:49	69.9	59.3	61.2	88.4
11:50	88.6	50.6	61.3	109.1
11:51	80.5	59.8	61.7	105.6
11:52	87.6	59.8	61.9	103.9
11:53	79.2	60.3	62.6	102.6
11:54	66.7	60.4	62.8	81.5
11:55	78	60.9	62.8	96.6
11:56	77.8	60.9	63.1	84.4
11:57	70.9	60.9	63.2	82.1
11:58	73.7	61.2	63.4	90.1
11:59	65.4	61.4	63.9	107.9
12:00	71	61.3	62.6	80.3

ผลการทดลองวันที่ 9 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:01	82.5	60.7	63	99.3
12:02	71.9	61	63.5	89.8
12:03	77.6	61.3	63.3	98
12:04	91.5	61.2	63.6	99.6
12:05	73.4	61.6	63.9	92.7
12:06	80.1	61	63.6	92.4
12:07	70.1	61.5	63.8	121.1
12:08	62.3	61.5	64.5	85
12:09	92.9	61.4	64	108.6
12:10	68.6	61.6	63.3	69.4
12:11	76.9	61.5	63.9	96.7
12:12	87.9	61.3	64.5	97.3
12:13	95.1	61.8	64.7	96.9
12:14	71.5	61.7	64.4	93
12:15	83.3	61.7	64.4	102.4
12:16	72.3	61.5	64.7	83.6
12:17	69.2	62.1	65	122.9
12:18	64.4	62.2	65.5	104.1
12:19	99	62.3	65.5	103.5
12:20	88.2	62.4	65.8	118.3
12:21	71.1	62.4	65.3	93.5
12:22	86.1	62.5	65.4	90.2
12:23	65.2	62.5	65.9	98.7
12:24	73.8	62.5	65.1	70.5
12:25	84.1	62.5	65.3	106.1
12:26	76.6	62.7	66.1	103.2
12:27	73.4	62.5	65.5	83
12:28	83.6	62.6	65.5	83.2
12:29	75	62.6	65.7	113.8
12:30	66.4	62.6	65.6	99.2

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
12:31	63.3	62.6	65.8	89.1
12:32	73.2	62.7	65.6	117.8
12:33	66.4	62.9	65.8	106.4
12:34	82.5	62.7	65.6	105.8
12:35	73.2	63.2	66.5	108.4
12:36	69.6	63	66.6	110.8
12:37	87.4	63	66.8	96.4
12:38	91.9	63.1	66.9	108.8
12:39	73.1	63.1	67.2	101
12:40	78.4	63.1	66.8	83.3
12:41	79.8	63.1	67.2	100
12:42	71.3	63	67	89.4
12:43	91.5	63.3	67.1	109.3
12:44	97.5	63.3	67.6	110.1
12:45	81.7	63.6	68	111.9
12:46	97.5	62.8	68.4	109.7
12:47	75.2	63.4	67.9	90
12:48	90.2	63.3	67.9	108.4
12:49	76.1	64	68.2	114.2
12:50	71.2	64.2	68.4	115.6
12:51	104.8	64.5	68.6	118.6
12:52	65.6	64.3	68.3	99.3
12:53	75.4	64.4	68.7	109.7
12:54	83.1	64.4	68.5	81
12:55	87.2	64.5	68.9	115.5
12:56	77.3	64.3	68.7	126.6
12:57	85.2	64.5	68.6	111.6
12:58	77.2	64.6	68.9	120.8
12:59	85.2	64.4	68.6	104.7
13:00	98.4	64.6	68.9	111.3

ผลการทดลองวันที่ 9 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:01	93.3	64.3	68.1	104.6
13:02	83.3	64.3	68.6	116.9
13:03	77.5	64.2	68.9	121.6
13:04	77	64.5	68.5	94.5
13:05	82.9	64.6	67.9	77.4
13:06	78.4	64.6	68.3	87.2
13:07	80.9	64.6	68.7	101.3
13:08	73.5	64.4	68.8	108.1
13:09	88.5	64.4	69	109.1
13:10	75.5	64.6	69	101.1
13:11	89.7	64.8	69.2	108.4
13:12	84	64.9	68.6	95.7
13:13	74.1	64.7	68.2	86.4
13:14	57.1	64.6	68.7	80.3
13:15	74.7	64.8	69	112.6
13:16	87.3	64.6	69.4	115.6
13:17	73.8	64.7	69.7	108.9
13:18	80.5	64.6	67.2	63.5
13:19	69	64.3	68.6	82.4
13:20	78.2	64.5	68.9	98.9
13:21	79.4	64.9	68.9	94.1
13:22	69.4	64.8	69	83.7
13:23	85.4	64.6	68.3	77.3
13:24	70.8	64.7	68.1	88.3
13:25	82.4	64.6	68.9	107.2
13:26	75.2	64.7	69.5	122.8
13:27	104.1	64.7	69.6	119.2
13:28	93.9	64.5	68.9	108.9
13:29	95.2	64.5	68.5	75
13:30	78.8	64.5	68.4	85.9

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
13:31	82.7	65	69.2	105
13:32	86.1	64.6	69.2	106.6
13:33	76.6	64.8	69.4	100.7
13:34	100.7	64.8	69.8	117.6
13:35	83.1	64.8	70.2	127.9
13:36	78.7	65	70.2	120.4
13:37	97.4	64.7	70	120.1
13:38	94.7	64.8	69.8	110.7
13:39	86.8	65.2	70.4	124.4
13:40	65.6	64.9	70.1	86.1
13:41	79.2	65.2	69.7	99.9
13:42	76	65.3	69.6	97.3
13:43	94.9	65	69.6	122.9
13:44	77.5	65.2	70.4	126.2
13:45	96.9	65.1	69.9	115.2
13:46	91.3	65.5	69.1	73.1
13:47	99.2	65.9	68.7	83
13:48	85	65.5	68.9	81.7
13:49	87.7	65.5	68.9	82.7
13:50	81.3	65.3	69.4	92.4
13:51	77.4	65.7	69.8	96.1
13:52	78.2	65.5	70.1	101.9
13:53	93.6	65.4	70	111.8
13:54	88.9	65.4	70	121.9
13:55	86	65.5	70.5	121.8
13:56	89.4	65.7	70.6	120.2
13:57	80.7	65.6	70.2	83.8
13:58	95.2	65.7	70.3	120.2
13:59	102.7	65.9	70.9	130.5
14:00	91.1	66	71	127

ผลการทดลองวันที่ 9 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการไหล 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01				
10:02				
10:03				
10:04				
10:05				
10:06				
10:07				
10:08				
10:09				
10:10				
10:11				
10:12				
10:13				
10:14				
10:15				
10:16	47.3	31.4	31.3	125.6
10:17	41.7	31.2	31.1	87.8
10:18	33.3	31.2	31.7	36.9
10:19	33.4	31.3	31.4	37.7
10:20	38.2	31.3	31.9	43.5
10:21	36.4	33.4	32.7	42.1
10:22	33.5	32.9	33.0	36.6
10:23	38.1	33.0	33.9	40.4
10:24	38.8	33.8	34.1	39.0
10:25	38.9	34.1	34.0	39.1
10:26	75.2	34.7	34.4	64.2
10:27	82.2	35.8	36.0	101.8
10:28	76.2	36.3	35.9	103.3
10:29	70.0	36.8	36.5	99.8
10:30	55.9	37.0	37.1	108.4

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	35.3	37.9	37.5	113.0
10:32	34.4	38.1	38.0	37.1
10:33	37.7	38.0	38.0	36.9
10:34	39.6	38.2	37.6	43.8
10:35	42.6	38.0	38.1	46.8
10:36	42.8	38.2	37.9	49.6
10:37	41.8	38.7	38.4	46.5
10:38	41.3	38.7	38.8	43.6
10:39	42.5	38.9	38.8	42.3
10:40	42.3	39.1	39.1	42.6
10:41	69.6	40.0	39.3	93.5
10:42	71.4	40.0	39.7	109.5
10:43	57.0	41.2	41.2	114.7
10:44	53.3	40.6	40.7	116.2
10:45	47.7	41.6	41.4	94.6
10:46	46.8	41.4	41.8	66.1
10:47	47.2	42.0	41.5	70.2
10:48	41.8	42.1	41.9	49.9
10:49	43.3	42.3	41.9	47.9
10:50	42.1	42.8	41.8	45.8
10:51	84.2	42.8	42.0	87.3
10:52	74.9	43.3	42.7	93.5
10:53	75.1	44.0	43.3	87.6
10:54	87.0	44.0	43.8	107.0
10:55	72.7	44.5	44.0	113.8
10:56	62.0	44.7	44.4	119.7
10:57	70.3	45.5	44.5	87.4
10:58	63.7	45.9	44.8	101.0
10:59	57.4	45.5	45.0	119.0
11:00	91.8	46.1	45.2	95.9

ผลการทดลองวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการใช้ 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	76.9	46.2	45.8	94.7
11:02	87.8	46.6	46.2	106.8
11:03	79.1	47.0	46.5	104.2
11:04	72.9	47.9	46.9	90.8
11:05	83.9	47.7	47.2	97.5
11:06	106.8	47.9	48.0	122.5
11:07	105.2	48.7	48.3	120.7
11:08	98.7	48.9	48.6	114.0
11:09	81.3	49.7	49.6	105.6
11:10	93.2	49.3	49.8	103.7
11:11	93.7	50.0	49.6	116.6
11:12	70.6	50.5	50.6	110.0
11:13	84.8	50.8	51.2	101.7
11:14	81.9	51.7	51.2	112.7
11:15	74.5	51.3	51.7	97.7
11:16	43.7	51.8	52.1	52.6
11:17	44.9	51.8	50.7	44.8
11:18	51.4	50.9	49.9	76.2
11:19	81.9	50.9	50.9	94.6
11:20	91.0	51.0	51.6	95.5
11:21	74.7	51.4	51.8	95.1
11:22	63.8	51.6	52.4	76.1
11:23	50.9	52.0	52.3	62.0
11:24	65.4	52.2	52.0	90.7
11:25	67.2	51.9	52.4	125.4
11:26	92.1	52.3	52.8	103.4
11:27	83.9	52.5	53.5	90.7
11:28	92.8	53.1	53.8	109.2
11:29	87.4	53.2	53.9	116.4
11:30	83.9	53.6	54.1	101.2

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	81.6	53.3	54.5	120.3
11:32	92.7	54.5	55.0	103.1
11:33	101.3	54.5	55.2	115.4
11:34	83.6	54.5	55.6	111.8
11:35	92.0	55.6	56.3	114.5
11:36	109.6	56.4	57.1	117.6
11:37	96.8	57.3	57.4	99.9
11:38	82.7	57.4	57.2	110.9
11:39	81.1	57.9	57.6	88.5
11:40	73.5	57.9	57.2	69.9
11:41	99.7	57.4	57.2	108.3
11:42	98.2	57.6	58.0	114.2
11:43	90.5	57.7	57.8	106.8
11:44	96.5	58.3	58.0	114.4
11:45	98.7	58.6	58.2	108.2
11:46	92.5	58.4	58.2	102.0
11:47	81.9	58.6	58.3	98.8
11:48	87.2	58.8	58.7	100.2
11:49	104.1	59.5	58.5	117.7
11:50	88.5	60.0	59.1	119.5
11:51	89.6	59.4	59.2	101.1
11:52	109.0	59.7	59.0	107.6
11:53	89.4	60.0	59.9	102.8
11:54	79.8	60.3	59.8	98.9
11:55	80.8	60.5	59.8	107.6
11:56	97.4	60.4	59.9	107.4
11:57	109.0	60.8	60.1	119.8
11:58	89.8	61.2	60.7	101.9
11:59	94.1	61.5	60.5	110.2
12:00	102.4	61.7	60.8	109.0

ผลการทดลองวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
12:01	107.1	62.2	60.8	114.0		
12:02	88.1	62.4	61.4	86.0		
12:03	88.7	62.0	61.2	92.5		
12:04	83.1	62.6	61.5	103.5		
12:05	110.5	62.3	61.4	126.5		
12:06	98.3	62.3	62.1	119.8		
12:07	109.5	63.2	62.7	113.0		
12:08	101.8	63.3	62.4	110.5		
12:09	100.9	63.1	62.5	119.0		
12:10	102.8	63.1	63.1	96.1		
12:11	104.2	63.4	62.9	116.7		
12:12	102.6	63.3	62.6	110.2		
12:13	101.6	63.1	63.1	108.0		
12:14	95.7	63.6	63.2	126.7		
12:15	105.8	63.7	63.3	122.2		
12:16	108.9	64.0	63.6	125.8		
12:17	98.3	64.4	64.3	105.6		
12:18	86.7	64.7	64.3	107.2		
12:19	87.7	64.3	64.1	119.5		
12:20	101.2	65.0	64.2	118.1		
12:21	95.0	64.9	64.3	106.6		
12:22	100.5	64.5	64.2	104.5		
12:23	89.1	64.9	64.4	92.8		
12:24	92.3	64.9	64.3	103.1		
12:25	95.9	64.8	64.6	110.5		
12:26	85.9	64.7	64.6	115.7		
12:27	107.9	64.9	64.6	111.2		
12:28	80.7	65.4	65.2	103.8		
12:29	94.6	65.1	65.1	109.3		
12:30	94.4	65.8	65.4	108.8		

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
12:31	95.1	64.3	64.7	103.6	30.9	35.3
12:32	88.2	64.3	64.3	105.4	31.8	35.1
12:33	89.7	63.8	63.6	102.7	33.2	33.8
12:34	104.8	63.3	63.2	124.3	33.8	33.8
12:35	86.4	61.9	62.3	93.1	31.4	33.6
12:36	93.5	60.2	60.4	114.3	30.0	33.0
12:37	85.8	59.8	59.9	120.6	32.0	35.0
12:38	86.2	59.0	59.5	107.7	30.9	33.7
12:39	92.4	58.9	59.4	107.5	33.5	33.9
12:40	97.3	57.9	58.8	126.3	32.8	33.2
12:41	81.5	58.0	58.6	113.8	32.7	33.3
12:42	98.3	57.5	58.3	120.2	32.2	33.0
12:43	107.3	56.4	57.4	114.6	31.4	34.1
12:44	103.6	56.7	57.0	117.7	31.6	33.4
12:45	107.9	56.1	56.7	120.0	32.1	32.2
12:46	93.8	56.3	56.8	107.9	31.4	32.6
12:47	86.6	55.3	56.1	109.1	31.5	33.6
12:48	84.1	54.8	55.7	90.4	30.3	33.7
12:49	90.8	54.6	55.0	108.6	30.8	31.9
12:50	82.8	54.4	54.7	96.2	31.2	32.6
12:51	90.1	54.0	54.4	94.6	31.7	33.0
12:52	80.3	53.3	53.9	77.2	31.8	33.3
12:53	72.9	53.3	53.4	81.6	31.5	33.3
12:54	72.6	52.4	52.9	108.2	30.6	32.5
12:55	107.2	52.3	52.6	103.3	32.8	35.9
12:56	96.4	52.1	52.5	102.0	31.1	34.8
12:57	84.2	52.3	52.3	89.5	32.8	36.1
12:58	104.3	51.3	52.0	96.8	31.6	35.2
12:59	75.8	51.6	52.1	93.9	32.1	36.2
13:00	72.0	51.6	51.9	97.0	33.2	36.7

ผลการทดลองวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการใช้ไพล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
13:01	77.1	51.3	51.6	103.1	33.2	35.3
13:02	69.2	51.6	51.6	92.5	32.3	35.9
13:03	95.5	51.2	51.5	118.8	32.5	34.6
13:04	70.2	51.2	51.3	98.8	32.2	35.7
13:05	90.5	51.1	51.0	119.8	32.7	37.5
13:06	77.6	50.6	51.3	98.0	32.0	36.1
13:07	73.2	50.8	51.0	107.3	33.8	34.9
13:08	82.8	50.2	51.2	98.0	32.7	34.0
13:09	82.3	50.1	50.2	112.4	32.3	35.2
13:10	53.2	50.2	50.4	102.3	33.2	35.1
13:11	84.9	50.4	50.7	96.7	32.0	35.1
13:12	86.7	50.0	50.6	88.7	32.8	35.5
13:13	67.5	50.2	50.8	77.9	32.6	35.5
13:14	46.7	50.1	50.7	69.5	33.1	35.9
13:15	75.5	49.5	50.0	85.3	32.3	36.6
13:16	79.0	50.0	50.2	104.3	33.8	34.7
13:17	106.2	49.6	50.1	103.3	32.0	35.8
13:18	77.0	50.1	50.4	95.4	32.3	35.8
13:19	70.6	49.7	50.5	87.1	33.9	33.6
13:20	78.9	49.8	50.2	117.6	32.5	34.8
13:21	71.0	50.1	50.3	99.6	30.6	35.4
13:22	89.7	49.5	50.1	107.1	32.6	35.6
13:23	92.5	50.2	50.4	117.9	32.5	35.5
13:24	41.2	49.7	49.9	57.0	30.8	36.9
13:25	41.0	49.4	49.8	47.6	33.4	34.6
13:26	45.6	48.7	48.5	55.1	32.8	35.5
13:27	71.4	48.5	48.5	90.3	32.6	34.4
13:28	61.3	48.2	48.3	93.8	32.0	33.2
13:29	86.2	48.5	48.2	109.5	33.9	33.2
13:30	80.7	48.1	48.3	76.7	32.3	33.6

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
13:31	71.0	48.2	48.1	63.8	32.6	35.2
13:32	76.2	48.2	48.0	77.4	32.6	33.9
13:33	72.9	48.4	48.1	84.9	31.3	35.8
13:34	100.2	48.7	48.1	80.4	33.7	34.1
13:35	87.2	48.5	48.0	92.4	32.7	34.7
13:36	82.9	48.6	48.3	112.8	32.7	35.4
13:37	90.1	48.7	48.5	121.6	33.2	36.1
13:38	95.4	48.8	48.6	90.6	32.7	35.6
13:39	101.4	48.4	48.7	97.7	34.0	34.6
13:40	70.4	48.9	49.2	107.6	32.8	33.8
13:41	94.2	49.4	49.4	92.5	33.3	35.7
13:42	62.0	49.0	48.8	70.1	33.0	35.5
13:43	79.7	48.6	48.9	105.8	30.9	35.9
13:44	96.4	48.7	48.6	99.3	31.1	34.8
13:45	90.8	48.5	48.4	103.4	34.6	35.4
13:46	76.1	48.8	48.7	97.2	33.4	36.3
13:47	55.2	49.0	48.8	52.8	32.5	34.8
13:48	49.5	48.5	48.4	53.4	32.8	34.5
13:49	61.8	47.8	47.8	102.5	32.0	34.3
13:50	80.7	47.6	47.4	122.0	34.6	34.1
13:51	90.7	47.9	47.4	123.2	32.5	34.6
13:52	71.2	47.5	47.6	135.7	32.0	34.9
13:53	63.0	47.9	47.5	96.0	34.1	35.4
13:54	80.1	47.9	47.5	99.5	32.7	34.0
13:55	69.0	47.9	47.8	102.1	32.3	35.1
13:56	92.7	47.9	47.8	78.6	32.9	35.9
13:57	42.7	47.7	47.9	60.6	33.7	36.6
13:58	44.0	47.9	47.4	47.9	32.8	34.5
13:59	78.7	47.4	47.1	58.1	32.2	33.9
14:00	75.2	46.8	47.1	61.2	33.0	34.0

ผลการทดลองวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการใช้ไพล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:01	71.6	33.6	33.1	109.6
10:02	66.3	36.8	36.6	107.1
10:03	59.8	37.4	37	109.1
10:04	77.8	37.4	37.3	105.1
10:05	69.8	37.9	37.8	104.3
10:06	75	37.9	37.8	100.8
10:07	82.5	37.9	38.4	81.4
10:08	75.9	39.5	38.9	100.2
10:09	67.7	40.6	39.9	109.7
10:10	71.7	41.1	40.6	94.7
10:11	78.2	41.3	40.9	101.3
10:12	78.3	41.3	41.1	97
10:13	86.6	41.8	41.6	114.6
10:14	70.7	42.6	42.3	97.2
10:15	77	42.9	42.6	104.1
10:16	84.5	43.4	43	106.8
10:17	77.2	43.6	43.5	95.6
10:18	86	44.1	44	116
10:19	85.4	45.3	44.5	111.1
10:20	61.7	45	45	101.8
10:21	76.5	45.98	45.5	96
10:22	62.2	46.1	45.9	95.6
10:23	84.2	46.9	46.1	113.7
10:24	81.3	47	46.6	103.3
10:25	60.7	47.4	47.1	107
10:26	87	47.6	47.3	99.2
10:27	79.3	47.8	47.4	101
10:28	79.5	48	48.1	109.3
10:29	85.8	48.8	48.7	101.8
10:30	84.6	48.9	48.8	101.6

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
10:31	101.8	49.3	49.4	105.5
10:32	90.9	49.4	49.5	97
10:33	90.6	49.9	50	86.8
10:34	95.5	50.1	50	108.5
10:35	95.2	50.6	50.7	111.3
10:36	71.5	51	51.1	98.4
10:37	86.7	51	51.1	102.7
10:38	90.6	51.3	51.8	115.3
10:39	72.1	51.8	52	98.6
10:40	84.7	51.9	52	95
10:41	82.6	52.2	52.6	98.2
10:42	80	52.3	53	95.6
10:43	76.3	52.6	53.1	97.3
10:44	87	53	53.4	106
10:45	92	53.4	53.3	115.3
10:46	87.1	53.3	53.7	99.8
10:47	92.7	53.3	54.1	106.3
10:48	73.9	53.4	54.1	92.7
10:49	88	53.5	54.5	103
10:50	86.7	53.5	54.4	102
10:51	86.6	53.9	54.7	98.9
10:52	58	53.8	55.2	106.3
10:53	92.5	54.3	55.3	99
10:54	83.6	54.4	55.5	109.7
10:55	77.8	54.5	55.9	100.7
10:56	76	55	55.9	95.7
10:57	70	55	55.8	102.7
10:58	91.1	55.1	55.8	91.7
10:59	97.2	55.1	56.1	103.4
11:00	95.6	55.2	56.3	107.9

ผลการทดลองวันที่ 18 เมษายน 2546 เวลา 10.00-11.00 ที่อัตราการใช้ไฮล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:01	76.5	55.4	56.8	98.7
11:02	97.3	56.5	56.6	101.7
11:03	96.5	56.7	56.6	100.2
11:04	74.6	56.3	56.9	108.4
11:05	93.5	56.3	57	104.6
11:06	73.9	57.5	57.4	94.5
11:07	90.7	57.1	57.4	107.2
11:08	88.4	57.7	57.4	107.7
11:09	100	57.6	57.4	111.1
11:10	88.4	57.6	57.4	124.3
11:11	76.7	58.1	57.4	88.4
11:12	102.8	58.2	58	102.5
11:13	86	58.8	58.3	115.9
11:14	90.2	58.7	58.2	106.4
11:15	77.5	58.6	58.3	106.5
11:16	82	58.6	58.3	93.6
11:17	95.4	58.9	58.3	100.8
11:18	80.7	59.1	58.3	96.45
11:19	76.8	59.5	58.8	102.4
11:20	94.2	59.6	58.5	110.7
11:21	84.5	59.9	58.8	100.1
11:22	86.2	59.8	58.9	101
11:23	100.3	60	58.8	107.7
11:24	81	60.2	59.4	112.7
11:25	103.8	60.8	59.6	109.6
11:26	106	61.1	59.7	112.9
11:27	100.5	61.4	59.6	114
11:28	98.1	61.3	59.8	114.3
11:29	101.4	61.5	60	97.9
11:30	94.6	61.5	60.1	85.8

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4
11:31	102.4	61.7	60.1	104.5
11:32	93.9	61.5	60	97.9
11:33	82	61.9	60.2	102.7
11:34	87.7	61.8	60.3	99.8
11:35	78.1	61.9	60.2	108.1
11:36	83.4	61.7	60.4	92
11:37	84.7	61.8	60.4	97.2
11:38	88.4	61.7	60.3	88.7
11:39	109.5	62.1	60	115.1
11:40	97.8	62.3	60.4	117.8
11:41	97.4	62.5	60.9	108.9
11:42	99.9	62.4	60.8	85.2
11:43	110.2	62.3	60.9	100.7
11:44	109.2	62.7	61.2	117.8
11:45	112.8	63	61.2	119.6
11:46	99.5	63.2	62	104.7
11:47	90.5	63.2	61.4	86.9
11:48	89.3	63	61.1	114
11:49	92.1	63.4	61.4	124.1
11:50	106.2	63.5	61.7	110.3
11:51	87.3	63.4	61.8	94.4
11:52	69.5	63.7	61.6	79.8
11:53	98.2	63.4	61.9	100.6
11:54	105	63.5	61.9	110.1
11:55	90.7	63.7	61.9	110.4
11:56	103	63.4	62.1	109.1
11:57	93.5	63.8	62.2	115.7
11:58	96.2	64	62.9	106.7
11:59	118	64.2	63	109.9
12:00	102.6	64.2	63.4	100.9

ผลการทดลองวันที่ 18 เมษายน 2546 เวลา 11.00-12.00 ที่อัตราการใช้ 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
12:01	104.9	64.8	63.6	116.2		
12:02	104.8	64.8	63.6	101		
12:03	88.5	64.5	63.3	111		
12:04	105.4	63.4	62.6	104.2	31.9	36.2
12:05	103.2	62.9	62.1	109.4	32.1	34.4
12:06	86.3	62.3	61.4	107.7	31.6	35.3
12:07	106.8	61.6	60.9	103.4	31.6	33.4
12:08	76.9	60.9	60.2	107.3	31.7	34.7
12:09	116.9	59.5	59.5	126.1	31.6	34.6
12:10	81	58.6	58.8	94	31.2	33.3
12:11	84.9	57.6	57.7	99.2	32.5	34.4
12:12	85.3	57.1	57.4	90.4	31.1	32.5
12:13	81.8	56.3	56.9	101.1	31.5	33.4
12:14	100.5	55.8	56.2	108.8	31	32.9
12:15	70.7	55.2	55.3	115.1	32.1	32.9
12:16	58.3	55	55.3	112.2	32.4	34.8
12:17	97	54.6	55.1	97.8	29.2	33.2
12:18	93.4	54.3	54.3	114.8	31.4	34
12:19	107.3	54.2	54.2	117.4	31.8	34.1
12:20	99.4	53.8	54	114.2	30.9	32.8
12:21	94.3	53.5	54.1	124.1	31.4	32.1
12:22	109.3	53.4	53.9	118.3	31.6	34
12:23	88	52.9	53.7	94.9	31.3	32.7
12:24	93.6	53.4	53.2	99.4	32.6	31.7
12:25	91.3	52.4	53.1	108.4	32.9	33.8
12:26	99.1	52.4	52.9	103.8	30.2	32.9
12:27	83.9	52	52.5	95.6	32.6	33
12:28	101.1	52.3	52.7	129.7	31.3	33.3
12:29	87.7	51.7	52	96.8	32.9	33.1
12:30	97.3	51.7	52.1	111.6	31.2	32.2

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
12:31	91.8	51.7	52	99.6	30.5	34
12:32	84.8	51.7	51.9	103.5	33.2	34
12:33	89.3	51.5	51.8	103.5	31.7	34.1
12:34	102.8	51.1	51.5	116.1	32.7	32.6
12:35	94.4	50.5	51.2	128.4	31.7	33.7
12:36	103.6	51.7	51.2	109.2	31.8	32.6
12:37	113.2	51.7	51.2	116.1	32	32.8
12:38	113.2	51.5	51.3	110.7	32.3	33.1
12:39	87.1	51.1	51.1	99.6	30.2	31.8
12:40	94.5	50.5	50.9	99.9	32.2	33.5
12:41	90.9	50.8	50.9	113.5	30.5	33.4
12:42	102.6	51.2	50.6	97.1	31.8	33.3
12:43	83.3	50.8	50.6	119.6	31.7	32.8
12:44	97	50.8	50.7	108.5	32.1	32.4
12:45	82.3	50.7	50.5	109.2	31.1	32.7
12:46	80.7	50.6	50.6	129.6	31.3	32.6
12:47	65.8	50.7	50.8	136.2	31.6	33.6
12:48	97.9	50.7	50.8	111.4	32.4	33.1
12:49	74.9	50.4	50.7	100.5	31.9	34.1
12:50	81.6	50.3	49.9	69.2	32.3	32.5
12:51	85.4	50.8	49.6	129.4	31.7	32.1
12:52	61.2	50.9	49.7	126.9	29.7	32.5
12:53	56.9	50.6	49.9	122.1	31.9	33.5
12:54	63	50.9	50	88.3	31.8	33.1
12:55	62.2	50.5	49.9	78.7	31.4	32.9
12:56	84.4	49.9	49.8	95.7	31.3	32.9
12:57	87.5	49.8	49.7	95.2	31.3	32.9
12:58	96	49.9	49.8	103.7	32.2	33.7
12:59	79.6	50	49.9	89.4	31.9	32.3
13:00	90.7	49.9	49.9	104.9	32	33.7

ผลการทดลองวันที่ 18 เมษายน 2546 เวลา 12.00-13.00 ที่อัตราการใช้ไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
13:01	80.1	50.2	50	109.4	32.2	33.5
13:02	100	50.3	50	114.3	31.2	32.7
13:03	102.4	50	50	113.2	31.7	32.2
13:04	76	50.1	50	107.2	31.8	32.9
13:05	79.4	49.8	49.8	90	32.6	33.1
13:06	80.7	49.7	49.5	92.2	31.5	33.1
13:07	92.4	48.9	49.2	109.2	29.9	34.3
13:08	86	49.1	49.1	103	30.4	32.8
13:09	104.2	49.2	49.2	99	30.3	33
13:10	64.3	49.2	49.2	121.5	31.4	32.6
13:11	65	49.2	49.1	123.6	30.5	32.6
13:12	87.9	49.2	48.9	104.9	33.3	33.6
13:13	82.1	48.9	49	68.5	31.6	33.1
13:14	90	49	49	94.2	32.6	33
13:15	88.8	49.3	48.9	91.5	30.9	31.2
13:16	73.5	49.3	48.9	67.3	32.3	33.3
13:17	85.5	49.1	48.7	102.5	31.5	31.6
13:18	79.7	48.9	48.7	87.2	31.8	32.4
13:19	87.3	48.9	48.9	107.6	31.3	33.4
13:20	94	49.4	48.9	100	32.9	32.5
13:21	87.3	49	49.1	97.9	31.7	33.3
13:22	66.7	49.1	48.9	92	31.4	34.2
13:23	71	49.1	48.6	72.5	31.2	31.5
13:24	60.7	48.6	48.4	66.7	31.3	32.6
13:25	75.7	48.4	48	94.9	32.3	33
13:26	98.4	48.6	48.3	105.5	31.5	31.9
13:27	88.2	48.6	48.4	103.8	31.2	33.3
13:28	100.1	48.5	48.6	95.2	32.1	33.8
13:29	89.9	49	48.6	103.6	32.3	33.4
13:30	82.7	49.1	48.6	101.3	31.9	32.8

เวลา	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 4	สายที่ 5	สายที่ 6
13:31	67.4	49	48.8	93.9	32	33
13:32	69.2	48.7	48.4	72.3	30.4	32.4
13:33	73.3	48.5	48.2	90.3	31.1	33
13:34	73	48.4	48	81.8	32	32
13:35	60	48.4	48.1	80.7	32.8	31.7
13:36	68.3	48	47.8	68.5	32.4	31.4
13:37	84.1	47.3	47.4	87.3	31.3	33.2
13:38	82.4	47.7	47.2	109.8	30.9	31.8
13:39	102.8	47.4	47.2	106.3	31.6	32.4
13:40	73.9	47.8	47.6	70.8	31.3	32.3
13:41	61.7	47.5	47.2	73.1	31.5	33.2
13:42	54.7	47.3	47.1	63.7	31.6	32.9
13:43	61.4	46.9	47	60.6	29.8	32
13:44	88.1	46.9	46.7	79.6	32.3	32.9
13:45	96.1	47	46.9	110.9	31.9	33.3
13:46	70.5	47	47.2	79.2	31	32.4
13:47	49.1	46.9	46.8	63.7	30.8	32.5
13:48	79.4	46.7	46.5	73.7	32	32.5
13:49	78.6	46.7	46.7	85.7	31.7	32.8
13:50	68.3	45.3	46.5	95.1	30.7	31.1
13:51	69.5	46.6	46.8	81.3	31.9	32.3
13:52	69	46.5	46.4	94.4	31.9	32.3
13:53	62.4	46.7	46.6	85.7	31.4	32.6
13:54	81.1	46.4	46.7	104	32.4	31.5
13:55	46.3	46.6	46.4	87.7	30.4	33.4
13:56	49.7	46.4	46.4	83.1	32.2	31.9
13:57	73.9	46.3	46.3	72.7	30.8	32.7
13:58	87.8	46.1	46.2	104.4	32	32.8
13:59	88.6	46.6	46.5	110.9	32.5	34.1
14:00	54.3	46.7	46.8	99.5	31.6	32.1

ผลการทดลองวันที่ 18 เมษายน 2546 เวลา 13.00-14.00 ที่อัตราการไหล 0.045 กิโลกรัมต่อวินาที

ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงค่าพลังงานที่ถ่ายเทมายังพื้นโลกในแต่ละวัน

Date	Time type	08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	CRR
28/3/03	G	1.372	1.387	2.803	3.192	3.578	3.161	2.108	1.597	1.204
	D	0.531	0.544	0.692	0.802	0.559	0.754	0.774	0.739	
	D(new)	0.639	0.655	0.833	0.966	0.673	0.908	0.932	0.890	
	B	0.733	0.732	1.970	2.226	2.905	2.253	1.176	0.707	
	S	0.650	0.650	1.000	0.800	1.000	0.700	0.350	0.650	
29/3/03	G	1.411	2.229	2.677	2.257	3.262	3.032	2.048	1.199	1.204
	D	0.578	0.553	0.721	0.792	0.949	0.827	0.783	0.533	
	D(new)	0.696	0.666	0.868	0.954	1.143	0.996	0.943	0.642	
	B	0.715	1.563	1.809	1.303	2.119	2.036	1.105	0.557	
	S	0.900	1.000	0.700	0.800	1.000	0.700	0.250	-	
30/3/03	G	1.288	1.478	2.401	2.468	2.996	3.160	2.664	1.629	1.205
	D	0.564	0.701	0.919	0.979	1.036	1.062	0.991	0.863	
	D(new)	0.680	0.845	1.107	1.180	1.248	1.280	1.194	1.040	
	B	0.608	0.633	1.294	1.288	1.748	1.880	1.470	0.589	
	S	0.500	0.550	0.900	0.700	1.000	1.000	0.350	0.050	
31/3/03	G	1.349	1.686	2.736	2.026	2.513	3.256	3.051	2.397	1.205
	D	0.484	0.888	0.940	0.885	0.950	0.673	0.483	0.410	
	D(new)	0.583	1.070	1.133	1.066	1.145	0.811	0.582	0.494	
	B	0.766	0.616	1.603	0.960	1.368	2.445	2.469	1.903	
	S	0.650	0.250	0.950	0.100	1.000	1.000	1.000	1.000	
1/4/03	G	1.304	2.345	3.125	3.267	2.948	3.460	2.991	2.237	1.205
	D	0.523	0.591	0.554	1.032	1.190	0.695	0.562	0.446	
	D(new)	0.630	0.712	0.668	1.244	1.434	0.837	0.677	0.537	
	B	0.674	1.633	2.457	2.023	1.514	2.623	2.314	1.700	
	S	0.700	1.000	0.800	0.350	0.950	1.000	1.000	1.000	
2/4/03	G	1.503	1.950	2.553	3.229	3.313	3.489	3.062	2.415	1.205
	D	0.304	0.418	0.654	0.522	0.539	0.322	0.266	0.252	
	D(new)	0.366	0.504	0.788	0.629	0.649	0.388	0.321	0.304	
	B	1.137	1.446	1.765	2.600	2.664	3.101	2.741	2.111	
	S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
3/4/03	G	1.532	2.430	3.129	3.618	3.591	3.496	3.095	2.462	1.205
	D	0.305	0.299	0.291	0.323	0.325	0.279	0.218	0.199	
	D(new)	0.368	0.360	0.351	0.389	0.392	0.336	0.263	0.240	
	B	1.164	2.070	2.778	3.229	3.199	3.160	2.832	2.222	
	S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

Global by S.N. CM11 955651 C.F. = 5.19 microV/(W/m²) Integrator by S.N. CC 14960060diffuse by S.N. CM11 830061 C.F. = 4.97 microV/(W/m²) Sunshine Hour Campbell-Stokes S.N. 022506CRR = correction Factor(Diffuse) , G= Global (MJ/m²) , D = Diffuse (MJ/m²) , B = Beam (MJ/m²) , S = sunshine Hour

4/4/03	G	1.579	2.412	3.002	3.395	3.218	3.146	2.959	2.262	1.205
	D	0.331	0.341	0.396	0.402	0.542	0.549	0.441	0.423	
	D(new)	0.399	0.411	0.477	0.484	0.653	0.662	0.531	0.510	
	B	1.180	2.001	2.525	2.911	2.565	2.484	2.428	1.752	
	S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
5/4/03	G									1.205
	D									
	D(new)									
	B									
	S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
6/4/03	G									1.205
	D									
	D(new)									
	B									
	S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
7/4/03	G									1.205
	D									
	D(new)									
	B									
	S	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
8/4/03	G	1.270	1.670	2.985	2.962	2.907	2.505	2.549	2.250	1.205
	D	0.514	0.643	0.717	0.821	0.892	0.896	0.700	0.507	
	D(new)	0.619	0.775	0.864	0.989	1.075	1.080	0.844	0.611	
	B	0.651	0.895	2.121	1.973	1.832	1.425	1.706	1.639	
	S	1.000	0.750	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
9/4/03	G	1.323	1.950	1.900	2.479	2.971	3.010	2.773	2.204	1.205
	D	0.665	0.671	0.779	0.887	0.903	0.764	0.530	0.483	
	D(new)	0.801	0.809	0.939	1.069	1.088	0.921	0.639	0.582	
	B	0.522	1.141	0.961	1.410	1.883	2.089	2.134	1.622	
	S	0.700	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
10/4/03	G	1.331	2.193	2.862	3.277	3.364	3.235	2.778	2.139	1.205
	D	0.598	0.631	0.641	0.637	0.636	0.627	0.609	0.520	
	D(new)	0.721	0.760	0.772	0.768	0.766	0.756	0.734	0.627	
	B	0.610	1.433	2.090	2.509	2.598	2.479	2.044	1.512	
	S	0.750	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

Global by S.N. CM11 955651 C.F. = 5.19 microV/(W/m²) Integrator by S.N. CC 14960060

diffuse by S.N. CM11 830061 C.F. = 4.97 microV/(W/m²) Sunshine Hour Campbell-Stokes S.N. 022506

CRR = correction Factor(Diffuse) , G = Global (MJ/m²) , D = Diffuse (MJ/m²) , B = Beam (MJ/m²) , S = sunshine Hour

ตารางที่ ง.1(ต่อ) ตารางแสดงค่าพลังงานที่ถ่ายเทมายังพื้นโลกในแต่ละวัน

11/4/03	G	1.539	2.311	2.941	3.329	3.363	2.902	2.789	2.123	1.205
	D	0.491	0.524	0.599	0.617	0.767	0.949	0.608	0.528	
	D(new)	0.592	0.631	0.722	0.743	0.924	1.144	0.733	0.636	
	B	0.947	1.680	2.219	2.586	2.439	1.758	2.056	1.487	
	S	0.750	1.000	1.000	1.000	0.850	1.000	1.000	1.000	

Global by S.N. CM11 955651 C.F. = 5.19 microV/(W/m²) Integrator by S.N. CC 14960060

diffuse by S.N. CM11 830061 C.F. = 4.97 microV/(W/m²) Sunshine Hour Campbell-Stokes S.N. 022506

CRR = correction Factor(Diffuse) , G= Global (MJ/m²) , D = Diffuse (MJ/m²) , B = Beam (MJ/m²) , S = sunshine Hour

ภาคผนวก จ. วิธีการคำนวณความร้อนที่ได้สูงสุด

จากการทดลองความร้อนสูงสุดที่ชุดทดลองสามารถทำได้เท่ากับ 8930.053 จูล และประสิทธิภาพชุดทดลองเท่ากับ 0.021 เปอร์เซนต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_r = m C_{p_0} \Delta T \quad (3.6)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} m &= (0.06 \text{ kg/s}) \times (3600 \text{ s/hr}) \times (4 \text{ hr}) \\ &= 864 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$C_{p_0} = 2.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 0.005 \text{ } ^\circ\text{C}$$

จะได้

$$Q_r = 8930.053 \text{ J}$$

$$\eta = (Q_r / Q_{sc}) \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ

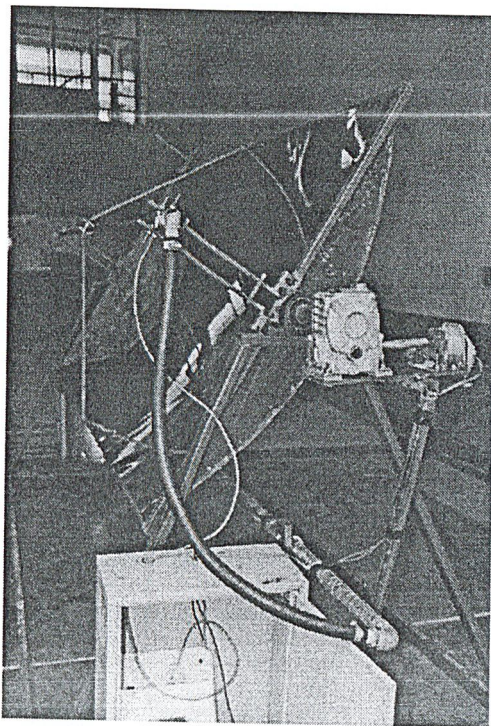
$$Q_r = 4028.85 \text{ J}$$

$$Q_{sc} = 19185000 \text{ J}$$

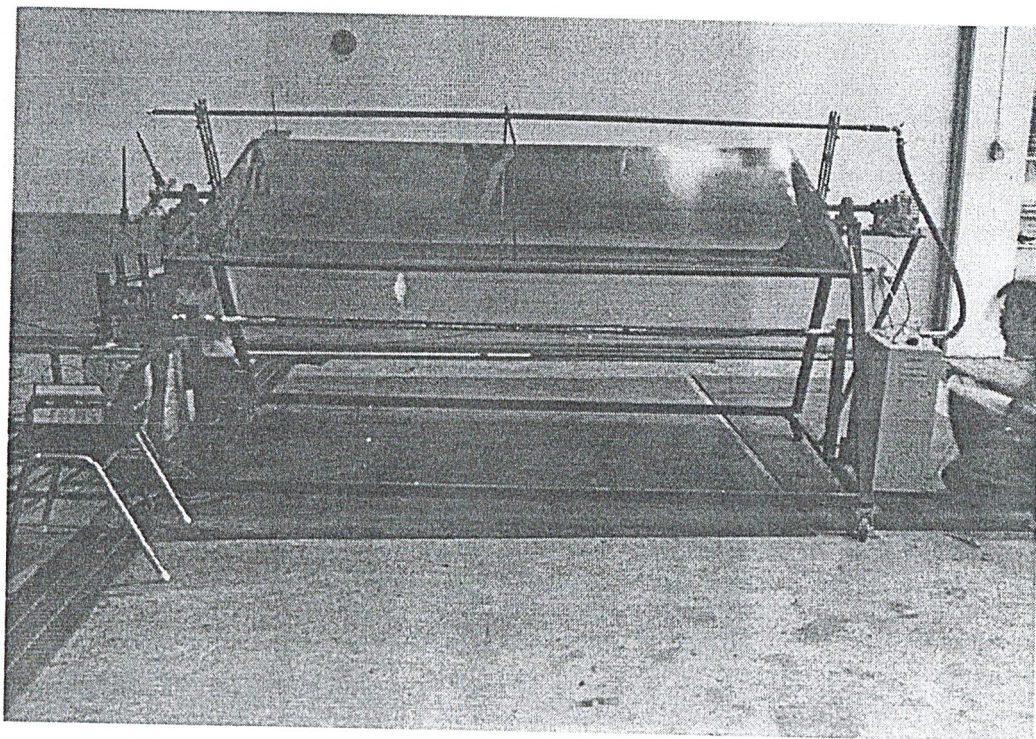
จะได้

$$\eta = 0.021$$

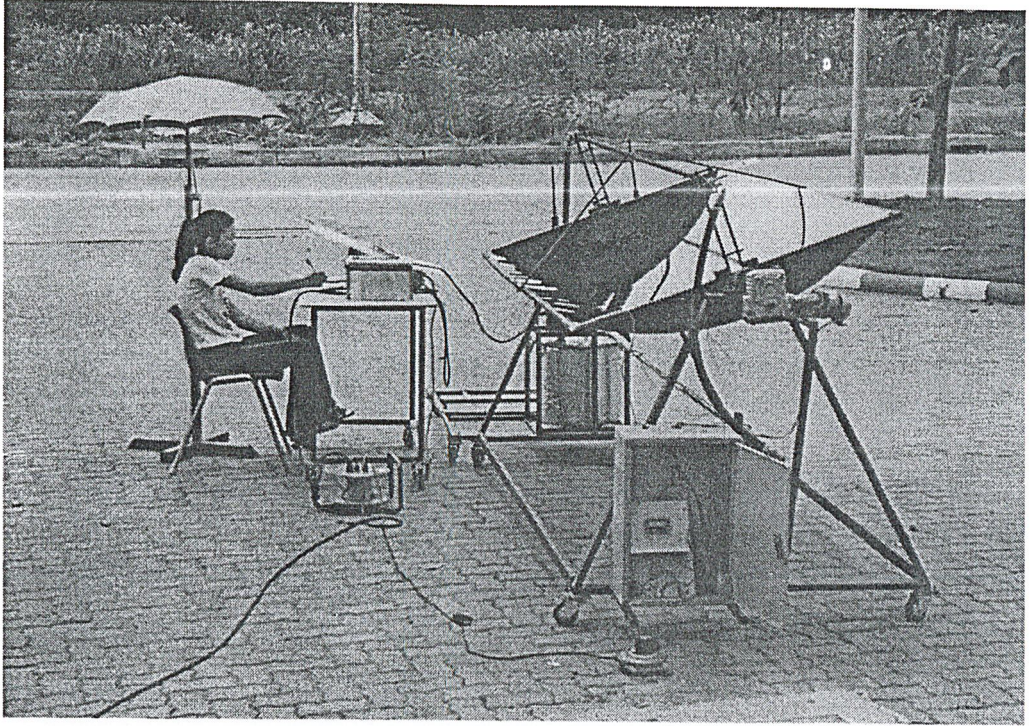
ภาคผนวก ฉ. รูปส่วนประกอบชุดทดลอง



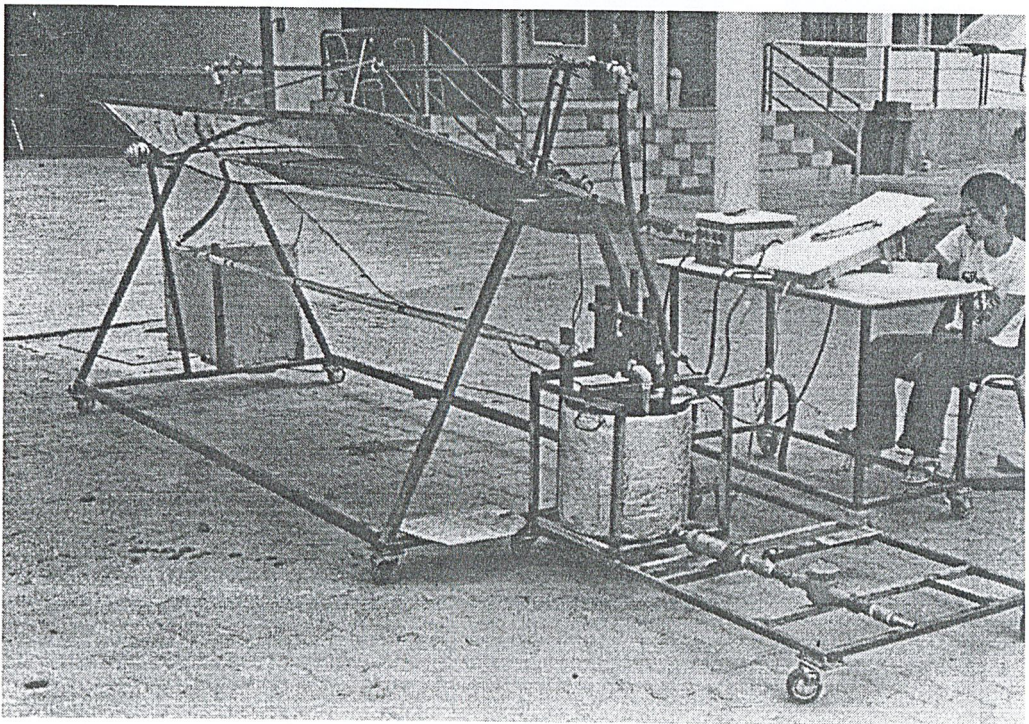
รูปที่ ฉ.1 ภาพแสดงชุดติดตามแสงอาทิตย์ที่ประกอบเข้ากับชุดทดลอง



รูปที่ ฉ.2 ภาพแสดงชุดทดลองที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ ๓.3 ภาพแสดงขณะเก็บผลการทดลอง



รูปที่ ๓.4 ภาพแสดงขณะเก็บผลการทดลอง

บรรณานุกรม

1. Federal Technology Alert, 1999, Parabolic-Trough Solar Water Heating, Department of Energy, United State of America.
2. Hank Price and David Kearney, 1999, Parabolic-Trough Technology Roadmap : A Pathway for Sustained Commercial Development and Deployment of Parabolic – Trough Technology, SunLab/NREL, Colorado, USA.
3. จเร แจ่มเวหา, 2530, “การปรับปรุงรางวัลรับรังสีแบบรางพาราโบลิก ติดตามดวงอาทิตย์”, ปรินุญยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
4. เสาวณี โยksenาะกุล, เศษ พุทธเจริญทอง, ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ และ พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, 2525, “ร่างรวมแสงพาราโบลิกแบบเคลื่อนที่ตามแสงอาทิตย์”, รายงานการวิจัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
5. จินตนา เข้มเจริญวงศ์, 2524, “ตัวรับแสงแบบรางพาราโบลิกที่ใช้ลูมินัมอะโนไดซ์เป็นแผ่นสะท้อนแสง”, ปรินุญยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
6. นงลักษณ์ จิตรน้อมรัตน์, 2524, “การศึกษาสมรรถนะของตัวรวมแสงอาทิตย์แบบรูปแบบประกอบพาราโบล่า”, ปรินุญยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
7. เกรียงไกร ดำรงรัตน์ ครอบจิต วิเศษสมภักย์ ธนิต เหล่าตระกูล บุญพงษ์ กิจวัฒน์ชัย และ ไวยมั้น จรรยาจักรกุล, 2524, “ตัวรับแสงพาราโบลิก”, ปรินุญยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
8. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และ สมเจดน์ ทองคำวงศ์, 2523, “การเลือกผิวสะท้อนแสง”, รายงานการวิจัยโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบกระจายตัวรับแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร่วมกับการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย.
9. เศษ พุทธเจริญทอง และ จรุง ตันติพิศาลกุล, 2523, “การออกแบบและสร้างชุดติดตามดวงอาทิตย์”, รายงานการวิจัยโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบกระจายตัวรับแสง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร่วมกับการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย.

10. พลทรัพย์ บุญวานิช, 2523, “เครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์-การศึกษาเปรียบเทียบ”, ปรินญา
นิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
11. สุวรรณ พันธุ์ม่วง และ สุรินทร์ ยิ่งยืน, 2522, “ตัวรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสง”, ปรินญา
นิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี.
12. มาริรา มะหนี, 2540, วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy of Engineering), ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
13. ปรินญา นิพนธ์, 2541, เครื่องอบแห้งธัญพืช, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด
กระบัง
14. J.P.Holman, 1997, Heat Transfer, McGraw Hill, New York.
15. Frank P. Incropera and David P. DeWitt, 1996, Fundamentals of Heat and Mass Transfer,
John Wiley & Sons, New York.