

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2551

โครงการวิจัยที่ 3055 - 3729

เรื่อง การลดการใช้เชื้อเพลิงใน Boiler โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Reduction of Fuel Used in Boiler by Solar Energy

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวศิริลักษณ์ อธิคมวิศิษฐ์ Miss Siriluk Atikomwisit

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

ธันวาคม 2551



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2551

โครงการวิจัยที่ 3055 - 3729

เรื่อง การลดการใช้เชื้อเพลิงใน Boiler โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Reduction of Fuel Used in Boiler by Solar Energy

นางสาวศิริลักษณ์ อธิคมวิศิษฐ์

Miss Siriluk Atikomwisit

รศ.ดร.ไพโรจน์ วิริยจารี

Assoc.Prof.Dr.Pairote Wiriyaicharee

นางสาวณัฐพร จำมื่นไวย

Miss Natthaphon Chamuonwai

นายภัทรพล ปัญญาคาบ

Mr.Pattarapol Panyakab

นายสมพงษ์ พรหมดองวัน

Mr.Sompong Promlaongwon

ได้รับทุนวิจัยสนับสนุนจากมูลนิธิโครงการหลวง

ธันวาคม 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาออกแบบระบบการป้อนน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำและติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มาทำการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตไอน้ำด้วยเครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อลดเวลาในการทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ และมีแรงดันเท่ากับ 4 บาร์ แล้วนำพลังงานความร้อนไอน้ำไปใช้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

จากการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในการผลิตไอน้ำแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน แล้วทำการออกแบบระบบการป้อนน้ำร้อน โดยใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1,000 ลิตร ใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ รวม 12.60 ตารางเมตร สามารถทำให้น้ำก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำมีอุณหภูมิ 40 - 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน จากการเปรียบเทียบผลการใช้เชื้อเพลิงต่อปริมาณน้ำป้อนในการผลิตไอน้ำก่อนและหลังจากการใช้ระบบการป้อนน้ำร้อน พบว่าการใช้ระบบการป้อนน้ำร้อนสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงได้ร้อยละ 19.12

โครงการทดลอง

Abstract

The objective of this research project was to study and design of “hot-water feeding system” to boiler and to set up the solar collector to be used for reducing fuel in the boiler. This could be done by using solar collector to increase water temperature before being feed for producing steam in boiler. Time can be reduced when water is changed into steam with 4 bar of pressure. Then, energy from steam could be used with engine in production processing.

From the experiment, data collected from the amount of water to be used for producing steam per day for the duration of two months were monitored, in addition, hot water feeding system design has been made by using solar collector with 1,000 liters capacity together with 12.60 square-meters of solar collector. This can produce hot water of 40 – 70 degree Celsius before being fed into boiler which depends on solar quantity each day. The use of fuel comparing with amount of water to be fed in for steam producing before and after hot water feeding system was found to reduce 19.12 % of fuel in hot water feeding system.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทนำ	1
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	32
ผลการวิจัย	34
วิจารณ์และสรุปผลวิจัย	42
กิตติกรรมประกาศ	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รูปภาพ	48
ภาคผนวก ข. การเก็บข้อมูล	53
ภาคผนวก ค. ตารางไอน้ำ	67
ภาคผนวก ง. งบประมาณโครงการวิจัย	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย	9
2	ข้อมูลการใช้น้ำการใช้พลังงาน และการประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์	10
3	ผลการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ เชื้อเพลิง เพื่อหาขนาดของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์	34
4	ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนการใช้เชื้อเพลิง Boiler	39
5	ข้อมูลก่อนและหลังการติดตั้ง ระบบป้อนน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงใน Boiler	41
ข1	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน ตุลาคม	54
ข2	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน พฤศจิกายน	55
ข3	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน ธันวาคม	56
ข4	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน มกราคม	57
ข5	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน กุมภาพันธ์	58
ข6	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน มีนาคม	59
ข7	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน เมษายน	60
ข8	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน พฤษภาคม	61
ข9	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน มิถุนายน	62
ข10	ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันและน้ำ ใน boiler เดือน กรกฎาคม	63
ข11	ข้อมูลปริมาณการใช้แก๊สและน้ำ ใน boiler เดือน กรกฎาคม	64
ข12	ข้อมูลปริมาณการใช้แก๊สและน้ำ ใน boiler เดือน สิงหาคม	65
ค1	ตารางไอน้ำ (IS UNITS)	68
ค2	ตารางไอน้ำ (IMPERIAL UNITS)	70
ง1	งบประมาณโครงการวิจัย	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสาน พลังงานความร้อนเหลือทิ้ง	3
2	แสดงการติดตั้งแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบชนิดมีแผ่นปิดใส	5
3	การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Plate heat exchanger	6
4	แสดงระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสาน ณ โรงพยาบาลแก่ง อ. แก่ง จ. ระยอง	7
5	แสดงระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสาน ณ. โรงแรมคูสิตไฮสปีดแลนด์รีสอร์ท จ. เชียงราย	8
6	แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ และศักยภาพเชิงพลังงาน	9
7	ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งตามลักษณะการไหลเวียน ของไหลที่ผ่านแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์	11
8	ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับ โลก	13
9	แสดงความสัมพันธ์ของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	14
10	แสดงรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นราบและพื้นเอียง	15
11	แสดงระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	17
12	แสดงส่วนประกอบ และจำนวนพลังงานความร้อนที่สูญเสียไป ของแผงรับแสงอาทิตย์ชนิดเหลวเป็นตัวรับพลังงานความร้อน	18
13	โครงสร้างของแผงรับแสงอาทิตย์ทั่วไป	19
14	แสดงส่วนประกอบถังน้ำร้อนขนาด 500 ลิตร	19
15	ความร้อนที่อยู่ในไอน้ำ	21
16	การเปรียบเทียบความร้อนแฝงของไอน้ำที่กลั่นตัวที่ความดันบรรยากาศ และที่ 7 บาร์(100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	22
17	อัตราการไหลของน้ำที่ระบายทิ้ง (Blow down)	27
18	เชื้อเพลิงสูญเสียเนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไป	29
19	แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก1	การสร้างฐาน แผง Solar collector	49
ก2	การสร้างฐาน แผง Solar collector	49
ก3	การติดตั้งฐาน แผง Solar collector	49
ก4	การประกอบแผง Solar collector	49
ก5	การเดินท่อไปยังแผง Solar collector	49
ก6	การติดตั้งปั้มและระบบป้อนน้ำ	49
ก7	การติดตั้งปั้มและระบบป้อนน้ำ	49
ก8	แผง Solar collector	49
ก9	เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Solar Integrator) โดยวัดรังสีแสงอาทิตย์รวมต่อหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร	50
ก10	เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ขนาด 0.75 ตัน	50
ก11	หัว Burner oil preheater ยี่ห้อ Olympia	50
ก12	เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K มีช่วงการวัดอุณหภูมิ ตั้งแต่ -270 ถึง 1,372 องศาเซลเซียส	51
ก13	มาตรวัดปริมาณการไหลของน้ำ โดยหน่วยวัดปริมาตรน้ำหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร	51
ก14	มาตรวัดปริมาณการไหลของน้ำมัน โดยหน่วยวัดปริมาตรน้ำมันหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร	51
ก15	เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ Data logger	52
ก16	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของบริษัท TSUS International ,co.ltd ขนาด 1,000 ลิตร	52
ก17	ปั้มป้อนน้ำเข้าสู่แผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	52

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง เป็นโรงงานผลิตอาหารแปรรูป โดยใช้ Boiler ขนาด 0.75 ตัน เป็นจุดกำเนิดไอน้ำ สำหรับให้พลังงานความร้อนแก่เครื่องจักรผลิตอาหาร ได้แก่ เครื่องนึ่งข้าวเหนียว เครื่องทอดสุญญากาศ เครื่องไล่อากาศ และเครื่องฆ่าเชื้อ โดย Boiler ที่ใช้ จะต้องใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่น้ำ เพื่อสร้างไอน้ำส่งไปยังเครื่องจักรดังกล่าว

ในปัจจุบันราคาน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น เป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานจำนวนมาก และเป็นต้นทุนของผลิตภัณฑ์ แต่ละชนิดในสัดส่วนที่สูง

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติเป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความคิดเห็นว่าควรจะนำพลังงานทดแทนอื่น ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ด้วยคำนึงถึงความประหยัด และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพราะน้ำมันดีเซลเป็นทรัพยากรของโลกที่มีวันหมดได้ และการลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล จะส่งผลให้สามารถลดมลพิษอันเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้

นอกจากนี้ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่ Boiler ยังส่งผลให้ประหยัดไฟฟ้าจากการลดเวลาในการผลิตไอน้ำ ซึ่งการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า ถือเป็นการส่งเสริมการลดมลพิษ อันเกิดจากการผลิตไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง

คณะผู้วิจัยตระหนักว่าการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในอุตสาหกรรม เป็นการนำทรัพยากรที่มีอยู่แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดความสิ้นเปลืองของการเผาผลาญน้ำมันที่นับวันจะยังมีราคาเพิ่มขึ้นและสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ผลงานวิจัยนี้จะทำให้โรงงานสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง อีกทั้งข้อมูลงานวิจัยและระบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นในครั้งนี่ยังสามารถใช้เป็นต้นแบบให้กับผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความสนใจที่จะใช้พลังงานทดแทนให้เป็นประโยชน์ต่อธุรกิจต่อไป



วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาจำนวนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) ที่เหมาะสมกับกำลังการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำของโรงงาน
2. เพื่อดำเนินการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเหมาะสม
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์

ขอบเขตของโครงการ

1. การหาจำนวนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) ที่เหมาะสมกับกำลังการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำของโรงงาน
2. การดำเนินการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเหมาะสม
3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วน โดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ทำให้ลดการใช้น้ำมัน ลดปัญหามลพิษ และลดต้นทุนการผลิตของโรงงานได้

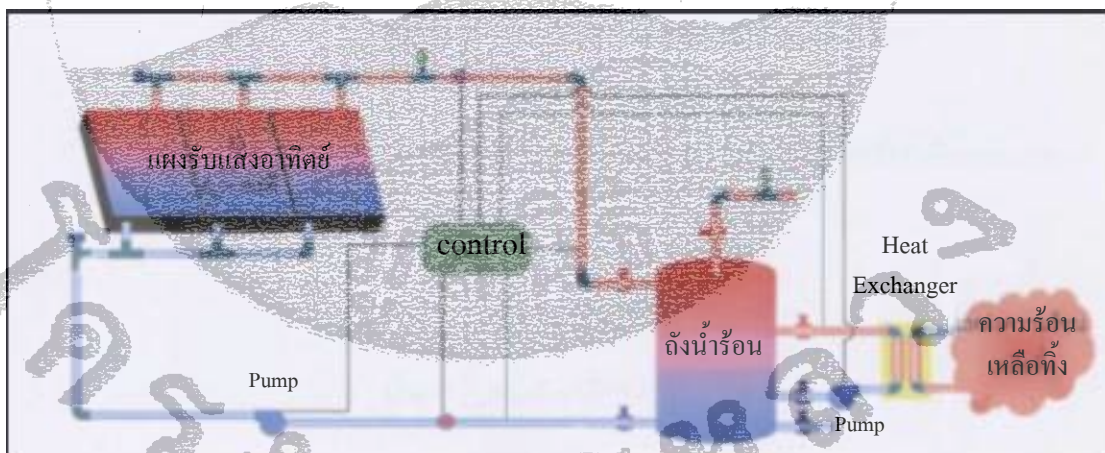
ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

การใช้น้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็น พลังงานที่ได้เปล่าสะอาดและไม่ทำลายสภาพแวดล้อม ซึ่งเครื่องทำน้ำร้อนขนาด 1 ตารางเมตร จะสามารถให้พลังงานความร้อนแก่น้ำ 13.60 เมกะจูลต่อวัน ซึ่งเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซล 0.70 ลิตร ไม้ฟืน 2.50 กิโลกรัม ไฟฟ้า 50 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และแก๊ส LPG 0.70 กิโลกรัม

ประเทศไทยมีรังสีดวงอาทิตย์สูงเกือบตลอดทั้งปี จึงมีศักยภาพที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี โดยพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์มีค่าประมาณ 17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้ได้ในรูปความร้อนและ ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (วัฒนพงษ์, 2550)

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยมีหลายรูปแบบที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบเชิงธุรกิจ หรือกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตประจำวัน สำหรับการนำพลังงานไฟฟ้าไปผลิตน้ำร้อนนั้นถือว่าการใช้พลังงานที่ไม่คุ้มค่า เพราะว่าพลังงานไฟฟ้าถือเป็นพลังงานชั้นดี (High - grade energy) แต่หากนำพลังงานไฟฟ้าไปผลิตความร้อนซึ่งถือเป็นพลังงานชั้นต่ำ (Low - grade energy) นั้นคงจะไม่เหมาะสมกับคุณค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตมาได้

ในการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับกิจกรรมต่างๆ เช่น อาบน้ำ ชักล้าง การประกอบอาหาร และอุตสาหกรรมบางประเภทที่ไม่ต้องการอุณหภูมิน้ำร้อนเกิน 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานอื่นที่มีความเหมาะสมและมีศักยภาพในการนำมาใช้งานแต่ไม่ใช่พลังงานที่ได้จากไฟฟ้า จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศ ดังเช่นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตน้ำร้อนและใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากชุดเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็นหรือการใช้ปั๊มความร้อนเป็นพลังงานเสริมหรือในลักษณะแบบผสมผสาน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งแทนที่การผลิตน้ำร้อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงพลังงานสิ้นเปลืองอื่นๆ (เศรษฐพงษ์, 2544)



ภาพที่ 1 แสดงระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

สำหรับการใช้น้ำร้อนในปัจจุบันมีลักษณะและปริมาณใช้งานแตกต่างกันไปตามประเภทกิจกรรมต่างๆ เช่น โรงพยาบาลหรือโรงแรมจะมีความต้องการใช้น้ำร้อนในปริมาณที่ค่อนข้างสูง การผลิตน้ำร้อนส่วนใหญ่นิยมใช้ไฟฟ้าเนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน ในกรณีที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนในปริมาณที่สูงมากอาจใช้หม้อต้ม (Boiler) ที่ใช้น้ำมันเตาหรือน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยทั่วไปโรงพยาบาลและโรงแรมหลายแห่งมีอาคารที่มีพื้นที่หลังคามากพอที่จะใช้รับแสงอาทิตย์และมีการใช้งานระบบทำความเย็นมาก เช่นเครื่องปรับอากาศ ซึ่งน่าจะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบลักษณะอาคาร ชนิดและตำแหน่งติดตั้งของระบบทำความเย็น การใช้งานและเงื่อนไขต่าง ๆ ของแต่ละสถานที่ถึงแม้ในบางกรณีการใช้ระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์และการผลิตน้ำร้อนจากความร้อนเหลือทิ้งหรือปั๊มความร้อนอาจไม่เพียงพอหรือครอบคลุมทั้งปริมาณและอุณหภูมิที่ต้องการใช้งานทั้งหมด แต่การนำแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนเหลือทิ้งหรือปั๊มความร้อนมาใช้ผสมผสานกับการผลิตน้ำร้อนจากเชื้อเพลิงพลังงานก็จะสามารถลดภาระต่างๆ ในด้านค่าใช้จ่ายจากพลังงานเชื้อเพลิงลงได้บางส่วน และประการสำคัญก็คือ เป็นการนำพลังงานความร้อนจากธรรมชาติและพลังงานจากความร้อนเหลือทิ้งหรือปั๊มความร้อนมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานร่วมกับศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงพยาบาลและโรงแรมซึ่งเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานในโรงพยาบาลและโรงแรมที่ได้ทำการศึกษา มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ ดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

แบบที่ 1 เทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นแบบที่สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (40 - 90 องศาเซลเซียส) โดยใช้แผงรับรังสีดวงอาทิตย์เป็นแบบแผ่นเรียบชนิดมีแผ่นปิดใส (Single glazed flat plate solar collector) และไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ (Non - tracking solar collector) สามารถผลิตน้ำร้อนได้เฉพาะในช่วงเวลากลางวันที่ท้องฟ้าโปร่งใสต้องใช้พื้นที่ติดตั้งระบบฯ แบบโล่งแจ้งไม่มีเงาบังและใช้พื้นที่มากหากต้องการปริมาณน้ำร้อนมาก โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต้องการการดูแลบำรุงรักษาระบบฯ บางครั้งโดยเฉพาะเรื่องการทำความสะดวกแผ่นปิดใส และสามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ประมาณ 70 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ในเขตภาคตะวันออก และประมาณ 55.30 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ในเขตภาคเหนือ



ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบชนิดมีแผ่นปิดใส
ที่ท่า: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

แบบที่ 2 เทคโนโลยีผลิตน้ำร้อนด้วยความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็น

เป็นแบบที่สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (40 - 90 องศาเซลเซียส) โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบ Plate heat exchanger ตัวเรือนทำจากวัสดุสแตนเลส 316L เคลือบไทเทเนียม วัสดุกันของไหลทั้งสองทำด้วยทองแดง มีอุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง -200 องศาเซลเซียส ถึง 980 องศาเซลเซียส เกิดความดันตกคร่อม (Pressure drop) อยู่ระหว่าง 40 - 80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีค่าประสิทธิภาพ (Effectiveness) ในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง ค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ผิวต่ำ มีขนาดกระทัดรัด น้ำหนักเบา สามารถผลิตน้ำร้อนได้เฉพาะในช่วงเวลาที่อุปกรณ์ส่วนที่ระบายความร้อนทั้งทำงาน ไม่ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งระบบมาก ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต้องการการดูแลบำรุงรักษาระบบเพียงเล็กน้อย สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ประมาณ 45.50 ลิตรต่อตันต่อวัน ในเขตภาคตะวันออกเฉียงและประมาณ 33.50 ลิตรต่อตันต่อวัน ในเขตภาคเหนือ

จากคุณลักษณะเชิงเทคนิคของเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนทั้ง 2 แบบ จะมีความสัมพันธ์และสอดคล้องเหมาะสมที่จะนำมาผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานกัน ดังนี้

ในส่วนของความเหมือนกัน คือ

1. สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 40 - 90 องศาเซลเซียส
2. ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
3. ต้องการการดูแลบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อย



ภาพที่ 3 แสดงการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Plate heat exchanger
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

ในส่วนของการสัมพันธ์และสอดคล้องกัน คือ

1. การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตน้ำร้อนจะสามารถผลิตได้เฉพาะในช่วงเวลากลางวันที่ท้องฟ้าโปร่งใสเท่านั้น นั่นคือในช่วงฤดูฝนการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่สามารถผลิตได้เต็มความสามารถ จำเป็นต้องใช้พลังงานเสริม
2. การใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็น สามารถผลิตน้ำร้อนได้ตลอดเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน ซึ่งโดยปกติจะทำงานได้ดีใน ฤดูร้อนและฤดูฝน แต่จะมีปัญหาในช่วงฤดูหนาวซึ่งมีอากาศเย็นทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยลงจำเป็นต้องใช้พลังงานเสริม

ดังนั้นการผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศจะผลิตน้ำร้อนได้สม่ำเสมอตลอดทั้งปี โดยไม่ต้องมีพลังงานเสริมใดๆ เพราะว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวก็จะมีปัญหาตอนฤดูฝนหรือช่วงเวลาที่ท้องฟ้าไม่โปร่งใส แต่มีพลังงานจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นมาเสริมแทนได้ นอกจากนี้พลังงานจากความร้อนเหลือทิ้งของเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นยังช่วยลดขนาดของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้อีกด้วยสำหรับระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานดังกล่าว ได้มีการติดตั้งสาริต และวิเคราะห์ระบบ ณ สถานที่ ดังนี้

1. โรงพยาบาลแกลง อ.แกลง จ.ระยอง ขนาดระบบ 3,815 ลิตรต่อวัน ใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับแสง 20 ตารางเมตร และใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องปรับอากาศขนาด 84,000 บีทียูต่อชั่วโมง จำนวน 1 ชุด (มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนไม่น้อยกว่า 1 ตารางเมตร) และใช้ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 2,000 ลิตร ซึ่งน้ำร้อนที่ได้ใช้เฉพาะกับอาคารอุบัติเหตุและอาคารผู้ป่วย

ใน 2 เท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์ด้านการลงทุนโดยคิดจากขนาดความต้องการน้ำร้อนสูงสุดที่ 13,294 ลิตรต่อวัน ใช้งบลงทุน 737,000 บาท สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 13,318 ลิตรต่อวัน สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 544,861 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 5 เดือน



ภาพที่ 4 แสดงระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสาน ณ โรงพยาบาลแกลง อ. แกลง จ. ระยอง
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

2. โรงแรมคูสิตไอส์แลนด์รีสอร์ท อ. เมือง จ. เชียงราย ขนาดระบบ 4,735 ลิตรต่อวัน ใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับแสง 57 ตารางเมตร และใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องปรับอากาศขนาด 24,000 บีทียูต่อชั่วโมง (B.T.U. : British Thermal Unit เป็นหน่วยที่วัดปริมาณความร้อน โดยหลักการก็คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำที่หนัก 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์) จำนวน 2 ชุด (มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนรวมไม่น้อยกว่า 0.50 ตารางเมตร) และใช้ถังเก็บน้ำร้อนเดิมของโรงแรมขนาด 10,000 ลิตร ซึ่งน้ำร้อนที่ได้ใช้เสริมระบบทำน้ำร้อนเดิมของโรงแรม สำหรับการวิเคราะห์ด้านการลงทุนโดยคิดจากขนาดความต้องการน้ำร้อนสูงสุดที่ 33,068 ลิตรต่อวัน ใช้งบลงทุน 2,895,500 บาท สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 33,082 ลิตรต่อวัน สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 1,547,468 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 11 เดือน



ภาพที่ 5 แสดงระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสาน ณ โรงแรมดุสิตไฮสโตนอร์ธ จ.เชียงราย
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

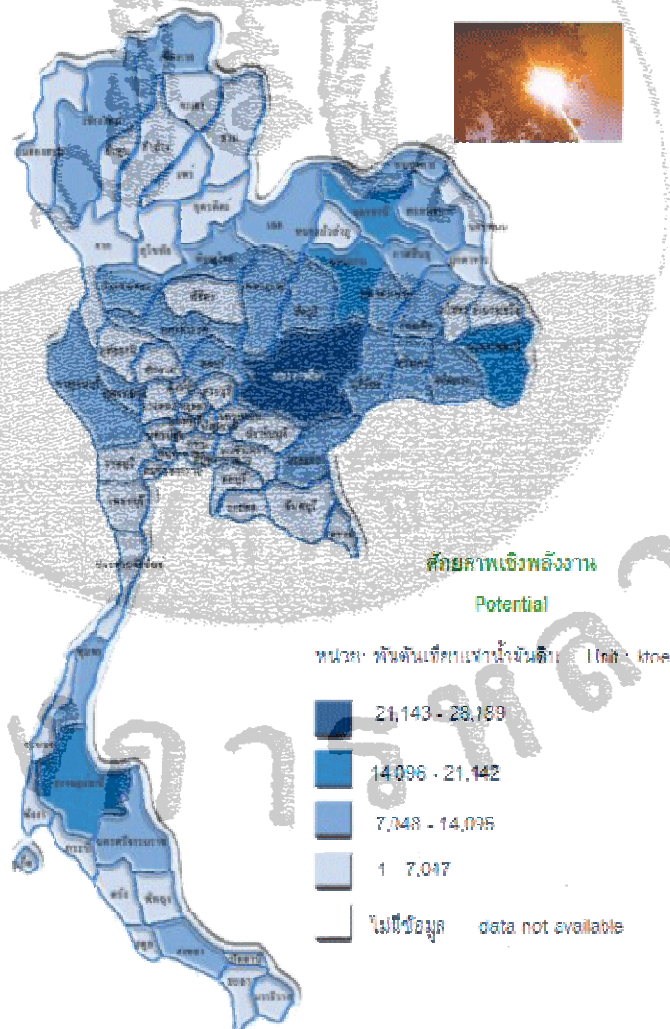
กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (2550) ได้สรุปข้อมูลเกี่ยวกับ ความเข้ม แสงเฉลี่ยรายปี และศักยภาพเชิงพลังงานทั่วประเทศไทย (ตารางที่ 1) และแสดงเป็นแผนที่พลังงาน แสงอาทิตย์ ทุกภูมิภาคในประเทศไทย พบว่าเชียงใหม่เป็นพื้นที่ ที่มีความเหมาะสมในการใช้ ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีศักยภาพเชิงพลังงานอยู่ในช่วง 14,096 - 21,142 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนอย่างหนึ่ง ประเทศไทยมีแสงอาทิตย์เกือบตลอด ทั้งปี โดยพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าประมาณ 17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นประโยชน์ได้ เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ ความร้อน โดยการใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์เป็นวิธีหนึ่งในการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ ตัวรับรังสี อาทิตย์ โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบรวม แสง ซึ่งทั้ง 2 ประเภทนี้มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ซึ่งแบบแผ่นเรียบนั้นจะรับได้ทั้งรังสีตรงและ รังสีกระจาย แต่อุณหภูมิที่ได้นั้นจะไม่สูงมากนัก ส่วนแบบรวมแสงนั้นจะได้ อุณหภูมิสูงแต่จะรับได้ เฉพาะรังสีตรงเท่านั้น จึงต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ จึงมีค่าใช้จ่ายสูงด้วย และในประเทศไทย ส่วนใหญ่รังสีอาทิตย์นั้นอยู่ในรูปรังสีกระจายเป็นส่วนใหญ่ การใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ จึงเหมาะสมกับประเทศไทยและมีค่าใช้จ่ายที่ไม่มากนัก โดยตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบผลิตน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัย หรือการอบแห้งผลิตผล ทางการเกษตรได้ กล่าวถึงตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะมีประสิทธิภาพต่ำเพราะว่าเกิดการ สูญเสียความร้อนโดยเป็นผลมาจากอิทธิพลของอากาศแวดล้อมและลมทำให้เกิดการพาความร้อนที่

บริเวณด้านบนของแผ่นปิดไฟ การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์จึงกระทำโดยให้เกิดการพาความร้อนทางด้านบนของแผ่นปิดไฟให้น้อยที่สุด

ตารางที่ 1 ความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย

แหล่งทางภูมิศาสตร์	ความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี (เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)	ศักยภาพเชิงพลังงาน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
ทั่วประเทศ	18.20	554,070.60



ภาพที่ 6 แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ และศักยภาพเชิงพลังงาน
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

กรณีตัวอย่าง

การประหยัดค่าใช้จ่ายของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยอุ่นน้ำก่อนป้อนเข้า Boiler (ชนิดใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง) และต้องการเพิ่มอุณหภูมิน้ำ 30 - 50 องศาเซลเซียส โดยมีช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 7.00 นาฬิกา ถึง 17.00 นาฬิกา (ใช้ Solar collectors รุ่น H - 50 พื้นที่รับรังสี 4.48 ตารางเมตร ปริมาณน้ำหมุนเวียนในแผงรับรังสี 14.40 ลิตร)

ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้น้ำการใช้พลังงาน และการประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์

รายละเอียด	ใช้น้ำ 1,000 ลิตร ต่อ ชั่วโมง	ใช้น้ำ 2,000 ลิตร ต่อ ชั่วโมง
พื้นที่ Solar collectors (ตารางเมตร)	128.28	256.02
จำนวน Solar collectors ที่ต้องใช้ (ชุด)	29.00	58.00
พลังงานที่ได้จาก Solar collectors (เมกะจูลต่อวัน)	856.80	1,713.60
พลังงานของน้ำมันดีเซล (เมกะจูลต่อลิตร)	41.00	41.00
พลังงานของน้ำมันเตา (คำนวณประสิทธิภาพ Boiler 70 %) (เมกะจูลต่อลิตร)	28.70	28.70
ประหยัดน้ำมันเตาได้ (ลิตร/วัน)	$856.80 / 28.70$ $= 29.85$	$1,713.60 / 28.70$ $= 59.71$
ราคาน้ำมันเตา (บาทต่อลิตร)	14.00	14.00
ประหยัดเงินได้ (บาทต่อวัน)	29.85×14.00 $= 417.90$	59.71×14.00 $= 835.94$
จำนวนวันทำงานตลอดทั้งปี (วัน)	300.00	300.00
ประหยัดเงินได้ (บาทต่อปี)	417.90×300.00 $= 125,370.00$	835.94×300.00 $= 250,782.00$

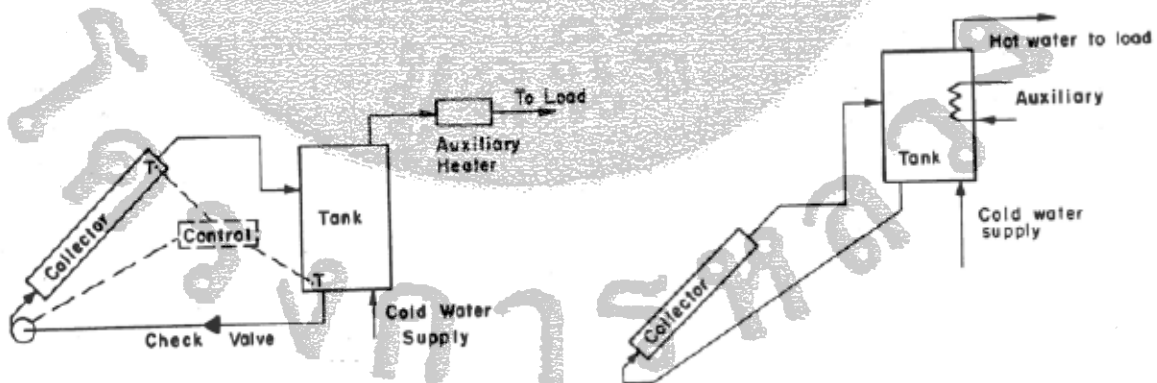
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะทำงาน โดยอาศัยหลักการไหลเวียนของน้ำตามธรรมชาติ (Natural circulation) ซึ่งถังเก็บน้ำร้อนจะอยู่สูงกว่าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยน้ำจากกันถังซึ่งเป็นน้ำเย็น จะเคลื่อนที่เข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ด้านล่างเพื่อไปรับความร้อนที่แผงรับรังสีอาทิตย์ทำให้น้ำร้อนขึ้น ความหนาแน่นจะลดลงน้ำจึงลอยตัวขึ้นโดยการแทนที่ของน้ำเย็นจากกันถัง น้ำร้อนที่ลอยตัวขึ้นจะเคลื่อนที่เข้าถังเก็บน้ำร้อนทางด้านบน เมื่อไม่มีการใช้น้ำร้อน น้ำที่ร้อนกว่าที่เคลื่อนที่ขึ้นมาจากแผงรับพลังงานรับรังสีอาทิตย์จะแทนที่น้ำด้านบนของถัง น้ำด้านบนของถังก็จะเคลื่อนที่ลงกันถังแล้วเคลื่อนที่ลงด้านล่างของแผงรับรังสีอาทิตย์ต่อไป ส่วนน้ำเย็นจากแหล่งน้ำจะเติมเข้าด้านล่างถัง น้ำร้อนถูกนำออกไปใช้จะดึงจากด้านบนของถังเก็บน้ำร้อน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์นั้น ได้จัดแบ่งตามลักษณะการไหลเวียนของของไหลทำงานที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ได้ 2 แบบ คือการไหลเวียนแบบธรรมชาติ (Thermosyphon system) และแบบไหลเวียนตามแรงดัน (Force circulation system) ดังภาพที่ 7 นอกจากนี้ยังแบ่งปลีกย่อยตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน และลักษณะของถังเก็บความร้อนที่ใช้



ระบบหมุนเวียนของน้ำโดยใช้แรงดันวงจรเดียว

ระบบหมุนเวียนของน้ำเป็นแบบธรรมชาติ

ภาพที่ 7 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งตามลักษณะการไหลเวียนของของไหลที่ผ่านแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2533

ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์

ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์ ในการออกแบบระบบความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะต้องมีการคำนึงถึงปริมาณความร้อน ความไม่แน่นอนของปริมาณความร้อนและลักษณะของการแผ่ความร้อน

แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกนั้นเป็นแสงแบบรวม (Total solar radiation) ประกอบด้วย แสงอาทิตย์แบบรังสีตรง (Direct solar radiation) มาจากการเดินทางของคลื่นที่นำพลังงาน แสงอาทิตย์จากดวงอาทิตย์มาตกกระทบ ณ ตำแหน่งนั้นๆ โดยตรงดังจะปรากฏเงาขึ้นเมื่อมีการบัง แสง และแบบรังสีกระจาย (Diffuse solar radiation) เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์แนวตรงที่ถูก เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยสภาพบรรยากาศและสภาพภูมิศาสตร์ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์กระจาย ทุกทิศทางทุกทาง เช่น ในขณะที่เราอยู่ที่ในร่มเรายังรับรู้ความร้อนและมีความสว่างมองเห็นได้ เป็นต้น การแผ่รังสีแบบนี้จะถูกกักเก็บไว้ด้วยการใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบราบเท่านั้น

บริเวณที่เหมาะสมที่สุดของการวางแผงรับรังสีอาทิตย์ คือบริเวณที่หันไปทางทิศใต้โดยมี มุมเอียงเท่ากับเส้นรุ้ง (Latitude) ของบริเวณนั้นๆ แผงรับรังสีอาทิตย์ที่ถูกวางให้หมุนเคลื่อนที่หันเข้า หาดวงอาทิตย์ตลอดเวลา จะได้รับพลังงานดวงอาทิตย์มากกว่าแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ไม่เคลื่อนที่และ ถูกวางให้หันหน้าไปทางทิศในมุมเอียงที่เหมาะสมถึงร้อยละ 20 ของพลังงานดวงอาทิตย์

พลังงานที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ แล้วปล่อยพลังงาน ออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กในอัตรา 3.85×10^{26} วัตต์ ปริมาณพลังงานของแสงอาทิตย์เมื่อผ่านมาสู่ โลกแล้วจะเปลี่ยนแปลงดังนี้

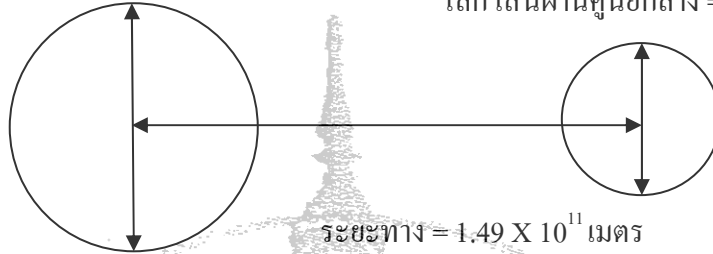
ร้อยละ 30 = ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับสู่อวกาศ

ร้อยละ 47 = ถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ และแผ่รังสีกลับสู่อวกาศอีกครั้ง

ร้อยละ 23 = ทำให้เกิดวัฏจักรในการหมุนเวียนของไอน้ำ

ดวงอาทิตย์ เส้นผ่านศูนย์กลาง = 1.39×10^9 เมตร

โลก เส้นผ่านศูนย์กลาง = 1.27×10^7 เมตร



ระยะทาง = 1.49×10^{11} เมตร

ค่าคงที่ของพลังงานแสงอาทิตย์ = 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร

ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับโลก

ที่มา: ทนงเกียรติ, 2531

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบและตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งหน่วยบรรยากาศนอกโลกต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งได้จากการสัมพันธ์ของการโคจรระหว่างดวงอาทิตย์กับโลกและถ้าใช้ระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์กับโลกจริง เรียกว่า พลังงานแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศ แต่เนื่องจากโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ฉะนั้นจึงต้องใช้ค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก เรียกว่า ค่าคงที่ของพลังงานแสงอาทิตย์ (The solar constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนบนผิวโลกจะมีความร้อนประมาณ 946 วัตต์ต่อตารางเมตร เนื่องจากการหักเหของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจากการกระจายของรังสีเมื่อกระทบบรรยากาศมีโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำและฝุ่นรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการดูดกลืนรังสีของออกซิเจน โอโซน น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ค่าพลังงานที่วัดได้บนผิวโลกมีค่าน้อยกว่าที่วัดได้จากนอกบรรยากาศโลก

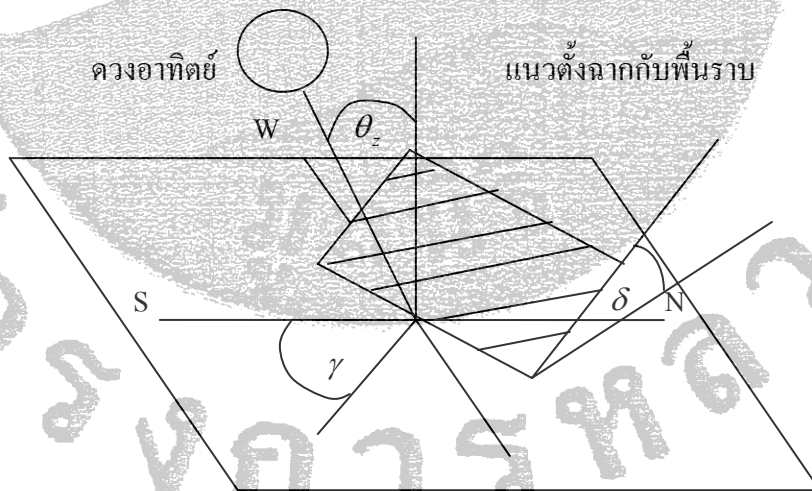
ปริมาณพลังงานที่โลกได้รับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมากหรือน้อย นอกเหนือจากค่าคงที่ของพลังงานดวงอาทิตย์แล้วปริมาณพลังงานยังขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. ความโปร่งใสของบรรยากาศเนื่องมาจากบรรยากาศประกอบด้วย ฝุ่น เมฆ ไอน้ำ และก๊าซ ซึ่งมีส่วนในการกระจายการสะท้อนและการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ ในบริเวณเมฆหนาที่บหรืออากาศซึ่งมีมลภาวะจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงน้อย

2. ความยาวนานของกลางวันมีค่าแตกต่างกันไปตามเส้นรุ้งและแต่ละฤดูกาลในวันที่มีระยะเวลากลางวันยาวนานจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก บริเวณศูนย์สูตรจะมีเวลากลางวันเท่ากับกลางวัน

3. มุมของแสงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อพื้นโลกในตอนเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะพอดี ความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์จะมีมากที่สุด แต่ในตอนเช้าและตอนเย็นรังสีจากดวงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ดังนั้นความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์จะน้อยและหลักการเดียวกันนี้จะนำไปใช้กับเส้นรุ้ง และฤดูกาลคือบริเวณที่เส้นรุ้งสูงๆในฤดูหนาวแม้เวลาเที่ยงมุมแสงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ส่วนฤดูร้อนในบริเวณเส้นรุ้งต่ำแสงอาทิตย์จะส่องในแนวเกือบตั้งฉากจึงสรุปได้ว่าถ้าแสงอาทิตย์ส่องกระทบกับพื้นโลกเป็นมุมฉากความเข้มของรังสีจะมาก บริเวณใดที่รับแสงอาทิตย์ในแนวเอียง แสงอาทิตย์จะแผ่รังสีปกคลุมเป็นบริเวณกว้างกว่าทำให้ความเข้มรังสีลดน้อยลง และในการจัดพื้นที่ผิวแผ่นราบให้รับแสงอาทิตย์เป็นมุมฉากนั้น ให้ปรับมุมเอียงประมาณเท่ากับเส้นรุ้ง ณ ที่ซึ่งติดตั้ง โดยจัดพื้นที่รับแสงหันในแนวเหนือ - ใต้ คือ ในแนวซีกโลกเหนือหันไปทางทิศใต้ และซีกโลกใต้หันไปทางทิศเหนือ

รังสีดวงอาทิตย์รวมบนพื้นเอียงโดยปกติแล้วแผงรับรังสีจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งบนผิวโลก ณ เวลาต่างๆและทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งต่างๆของดวงอาทิตย์ขณะนั้นๆ ดังแสดงในภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ต่างๆได้ดังนี้



ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

ที่มา: ทนงเกียรติ, 2531

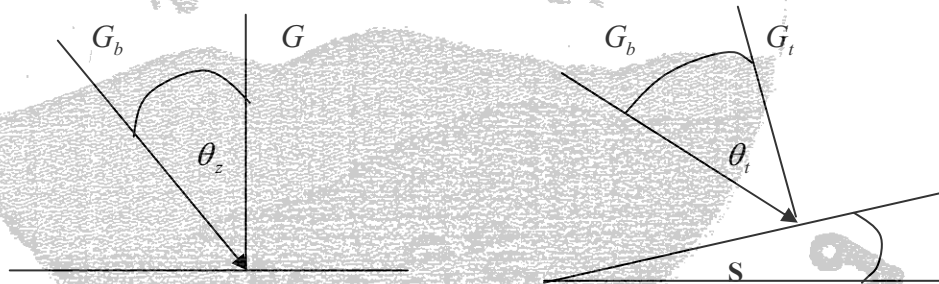
ตำแหน่งเส้นรุ้ง (Latitude: ϕ) คือมุมตามแนวเหนือใต้ของเส้นศูนย์สูตร โดยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรมีค่าเป็นบวกถ้าอยู่ต่ำกว่าเส้นศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ ($-90 \text{ องศา} \leq \phi \leq 90 \text{ องศา}$)

มีมุมดิโคลเนชัน (Declination angle: δ) คือมุมที่แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะที่อยู่ตอนเที่ยงวันเทียบกับระนาบเส้นศูนย์สูตร ถ้ามุมชี้ไปทางทิศเหนือมีค่าเป็นบวกแล้วถ้าชี้ไปทางทิศใต้มีค่าเป็นลบ ($-23.45 \text{ องศา} \leq \delta \leq 23.45 \text{ องศา}$)

มุมเอียง (Slope angle: S) คือมุมระนาบของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับแนวราบ โดยมีมุม ($0 \text{ องศา} \leq S \leq 180 \text{ องศา}$)

มุมตกกระทบ (Angle of incidence: θ) คือมุมที่เกิดจากแนวของรังสีกระทำกับแนวเส้นตั้งฉากของแผงรับรังสี

มุมอะซิมูท (Surface azimuth angle: γ) คือมุมของการหันหน้าของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ไปทางทิศใด โดยจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อหันหน้าไปทางทิศตะวันออกจะมีค่าเป็นบวก ถ้าหันหน้าไปทางทิศตะวันตกจะมีค่าเป็นลบ



ภาพที่ 10 แสดงรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นราบและพื้นเอียง

ที่มา: ทนงเกียรติ, 2531

รังสีแสงอาทิตย์รวมบนพื้นเอียง คือ ผลรวมของรังสีโดยตรงกับรังสีกระจายดังภาพที่ 9 ซึ่งสามารถหาค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมบนพื้นที่ได้จากสมการดังนี้

$$G_t = G_b R_b + G_d \quad \dots\dots(1)$$

G = รังสีแสงอาทิตย์รวมบนพื้นราบ

G_t = รังสีแสงอาทิตย์รวมบนพื้นเอียง

G_b = รังสีแสงอาทิตย์ตรงบนพื้นราบ

G_d = รังสีแสงอาทิตย์กระจายบนพื้นราบ

R_b = อัตราส่วนของรังสีแสงอาทิตย์ตรงบนพื้นเอียงต่อรังสี
แสงอาทิตย์ตรงบนพื้นราบ

ดังนั้นถ้าต้องการให้ G_t มีค่าสูง ค่า R_b ต้องมีค่าสูงด้วย

ค่าอัตราส่วนของรังสีแสงอาทิตย์ตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีแสงอาทิตย์ตรงบนพื้นราบ (R_b)
คำนวณได้จากสมการนี้

$$R_b = \frac{G_b \cos \theta_t}{G_b \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta_t}{\cos \theta_z} \quad \dots\dots\dots (2)$$

โดยที่

$$\cos \theta_t = \sin \delta \cos s - \sin \delta \cos \theta \sin s \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos s \cos \omega$$

$$+ \cos \delta \sin s \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin s \sin \gamma \sin \omega$$

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega$$

θ_t = มุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์บนพื้นเอียงกับแนวตั้งฉากกับพื้นเอียง

θ_z = มุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์บนพื้นราบกับแนวตั้งฉากกับพื้นราบ

ϕ = มุมของเส้นรุ้ง

s = มุมเอียงระหว่างพื้นราบกับพื้นที่ผิวที่พิจารณา

γ = มุมที่เส้นตั้งฉากกับพื้นเอียงเบี่ยงเบนไปจากแนวเหนือใต้

ω = มุมชั่วโมง โดยถือว่าตอนเที่ยงมีค่าเป็นศูนย์ช่วงก่อนเที่ยงมีค่าเป็นบวกและหลัง
เที่ยงมีค่าเป็นลบ มีค่า 15 องศาต่อชั่วโมง

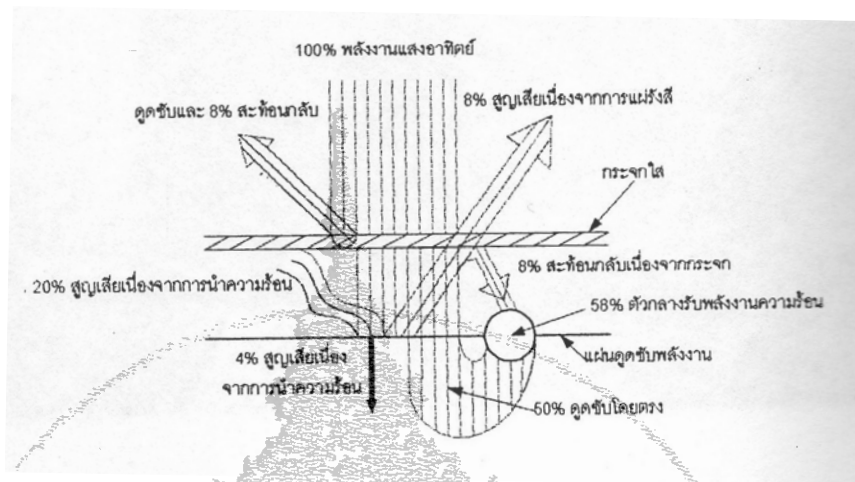
δ = มุมดีคลิเนชัน

$$= 23.45 \sin \left(360 \times \frac{284 + n}{365} \right)$$

n = วันที่รอบปี

จากสมการค่า R_b จะเปลี่ยนแปลงทุกวันตามตำแหน่งดวงอาทิตย์จากการวางแผนรับรังสีให้
มีมุมเอียงที่ทำให้แผงรังสีมีประสิทธิภาพดีที่สุดนั้นต้องวางให้มีมุมเอียงที่ทำให้มีค่า R_b มากที่สุด
สำหรับเชียงใหม่ซึ่งตั้งอยู่ทางขั้วโลกเหนือที่เส้นรุ้ง 19 องศา จะได้ค่า R_b มากที่สุดในทางปฏิบัติการ
คำนวณค่ารังสีแสงอาทิตย์รวมนั้นทำได้ยาก เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ให้แยกกันได้
ดังนั้นค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่นำมาใช้นั้นจะมาจากเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์แบบรวมโดยตรง

กระจกใสหรือแผ่นปิดหน้าโปร่งแสง ในการออกแบบนี้จะเลือกใช้กระจกนิรภัย มาตรฐาน
อุตสาหกรรม หนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งมีความเหนียว แข็งแรง ทนแรงกระแทกติดตั้งอยู่ด้านบนแผ่น
คูดกลื่นทำหน้าที่ปิดช่องทางเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนต้องมี
คุณสมบัติที่ไม่คูดกลื่นรังสีหรือสะท้อนรังสีควมสามารถส่งผ่านคลื่นรังสีไปยังแผ่นคูดกลื่นมากที่สุด



ภาพที่ 12 แสดงส่วนประกอบ และจำนวนพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปของแผงรับแสงอาทิตย์ชนิดเหลวเป็นตัวรับพลังงานความร้อน
ที่มา: ทนงเกียรติ, 2531

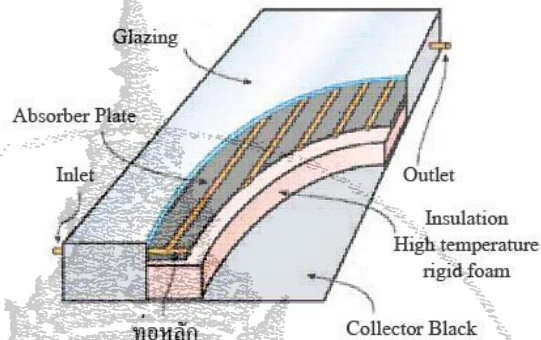
แผ่นดูดกลืนความร้อน มีหน้าที่ดูดกลืนความร้อนเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นดูดกลืนแผ่นดูดกลืนจะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจากนั้นจะถ่ายเทความร้อนให้กับท่อทองแดงที่ติดอยู่กับแผ่นดูดกลืน โดยการนำความร้อน ก็จะได้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์เก็บไว้ถึงเก็บน้ำร้อน ลักษณะของแผ่นดูดกลืนความร้อนในการออกแบบจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ซึ่งขนาดของพื้นที่รับแสงจะเป็นตัวกำหนดปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้

ท่อภายในแผง ท่อน้ำที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดี วางเป็นแนวให้สามารถรับการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำด้วยวิธีการพาความร้อน น้ำเป็นตัวกลางนำพลังงานความร้อนไปใช้งาน ทองแดงเป็นวัสดุที่ดีที่สุดในการนำความร้อนดีกว่าอลูมิเนียม 2 เท่าดีกว่าเหล็ก 10 เท่า นอกจากนั้นท่อทองแดงยังมีความทนทาน ทนต่อการกัดกร่อนของสนิมและการเกาะของหินปูนได้ดีมาก

ฉนวนกันความร้อน ใช้ในการบุแทนที่ช่องว่างบริเวณด้านล่างของแผ่นดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ที่จะออกไปภายนอกทางด้านล่าง และด้านข้างชนิดของฉนวนที่เลือกใช้ คือ โพลียูรีเทนที่มีคุณสมบัติความแข็งแรง ทนทานความร้อนได้สูง น้ำหนักเบา ที่สำคัญไม่ดูดความชื้น ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่ดีกว่าฉนวนแบบใยแก้วที่ดูดซึมน้ำ จึงไม่เหมาะสมกับประเทศที่มีความชื้นสูง เช่น ประเทศไทย

กล่องกะบะ คือ โครงกรอบใช้ในการบรรจุส่วนประกอบทั้งหมดในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นระนาบให้เป็นอุปกรณ์ชุดเดียวกัน ซึ่งการออกแบบในที่นี้เลือกใช้เหล็กและ

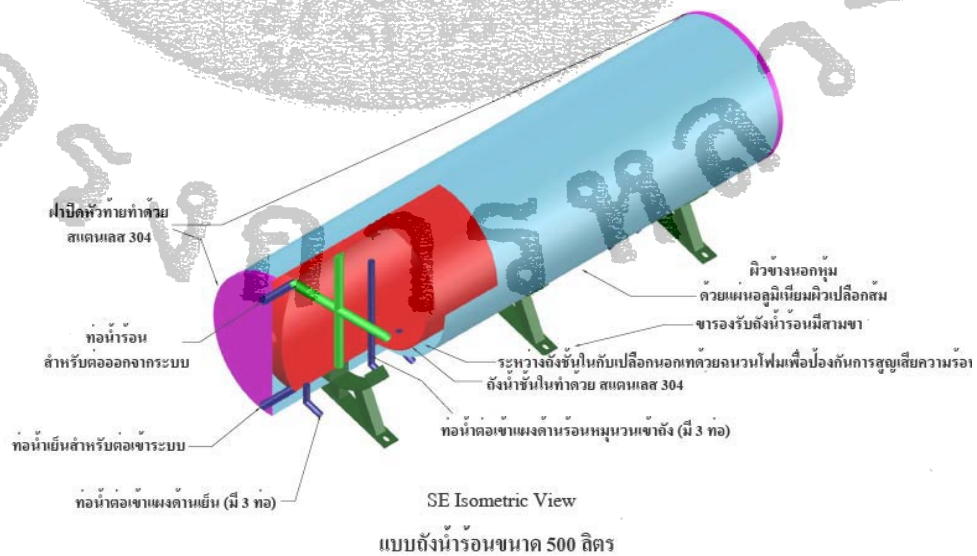
สังกะสีเคลือบ ประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นกล่องกะบะแทนการใช้กรอบอลูมิเนียมรีดขึ้นรูป ถึงจะมีน้ำหนักมากกว่าแต่ก็ประหยัด



ภาพที่ 13 โครงสร้างของแผงรับแสงอาทิตย์ทั่วไป
ที่มา: ทนงเกียรติ, 2531

ถังเก็บน้ำร้อน

ถังเก็บน้ำร้อนจะเก็บรักษาความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการเก็บน้ำร้อนเอาไว้จนกว่าจะถูกนำไปใช้ ภายในถังต้องมีฉนวนกันความร้อนที่ดี เพื่อให้น้ำร้อนข้างในถังยังคงร้อนได้ต่อไปอีก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณด้านบนของถังจะต้องติดตั้งฉนวนกันความร้อน โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน ท่อน้ำร้อนจะต้องไม่เชื่อมต่อกับน้ำเย็น แต่ท่อน้ำร้อนจะต้องไหลเวียนกลับไปทางด้านบนของถัง



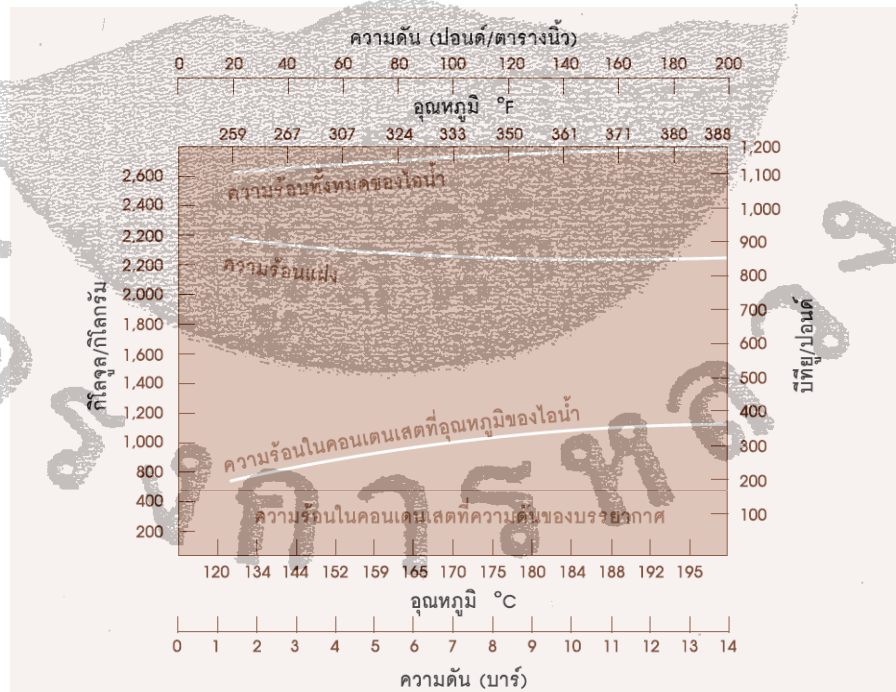
ภาพที่ 14 แสดงส่วนประกอบถังน้ำร้อนขนาด 500 ลิตร
ที่มา: สุริยงค์, 2550

ท่อน้ำร้อน ประกอบด้วยท่อวัสดุชนิด PE-AL-PE ขั้วต่อท่อเหล็อง และขั้วต่อพลาสติก เหมาะสำหรับงานนำร้อนทดแทนการใช้ท่อทองแดง หรือท่อชนิดอื่นที่มีราคาสูงคุณลักษณะใช้งาน ที่อุณหภูมิ (-40) ถึง 95 องศาเซลเซียส ทนแรงดันได้ 1.00 เมกะปาสกาล มีขนาดตั้งแต่ 3/8 - 1 1/2 นิ้ว สามารถประกอบติดตั้งได้ง่ายไม่เป็นสนิม ไม่ผุกร่อน ไม่กรอบแตก แข็งแรงทนทาน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไอน้ำ

ไอน้ำถูกนำมาใช้ในการให้ความร้อน และใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ไอน้ำเป็นตัวกลางที่ดีในการพาและถ่ายเทความร้อน ข้อดีของการใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนมี 3 ประการ คือไอน้ำสามารถถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิกึ่งที่ คุณสมบัติดังกล่าวนี้เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีความไวต่ออุณหภูมิ อุณหภูมิของไอน้ำขึ้นอยู่กับความดันของไอน้ำ จากหลักการนี้ทำให้การควบคุมอุณหภูมิง่ายขึ้น ไอน้ำต่อหน่วยปริมาตรสามารถสะสมพลังงานได้เป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถใช้ระบบท่อส่งผ่านไอน้ำได้อย่างไม่ยุ่งยากบ่อยครั้งที่การใช้ไอน้ำอย่างไม่ระมัดระวังส่งผลให้ระบบมีการใช้งานไม่ดีเท่าที่ควรและประสิทธิภาพต่ำ ถึงแม้ว่าโรงงานจะมีการปรับปรุงการใช้ไอน้ำที่ดีเพียงใดก็จะมี การสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้อยู่จำนวนหนึ่ง หากการสูญเสียมีจำนวนน้อยก็เป็นสิ่งที่ยอมรับได้ สำหรับในส่วน ของความร้อนที่เหลือ ถ้ามีมากพอก็ควรจะพิจารณานำความร้อนที่เหลือกลับมาใช้งานให้ดีที่สุด ซึ่ง การไม่ได้สังเกตไอน้ำที่รั่วจากข้อต่อจนวนซึ่งขาดหายไปกับดักไอน้ำ (Steam Trap) ปลดปล่อยไอน้ำ รั่ว ดังนั้นการที่ดูแลหม้อไอน้ำระบายน้ำโบล์ดวอร์นทั้งด้วยวิธีปฏิบัติที่ไม่ถูกต้อง ทำให้อุปกรณ์ เครื่องจักรที่ใช้ไอน้ำทำงานไม่ได้สมรรถนะที่สูงสุด เนื่องจากมีอากาศหรือน้ำอันเป็นเหตุให้กับดัก ไอน้ำ (Steam Trap) ทำงานอย่างผิดพลาด ส่งผลให้อัตราการผลิตไอน้ำลดลงได้ไอน้ำหลังจากคาย ความร้อนแล้วจะกลั่นตัวเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวซึ่งเรียกว่า “Condensate” คอนเดนเสตนี้ยังคงมี พลังงานเหลืออยู่จำนวนหนึ่งเมื่อสูบลอนเดนเสตกลับเข้าหม้อไอน้ำจะทำให้อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อ ไอน้ำสูงขึ้นเป็นการลดพลังงานที่ปล่อยทิ้งและลดเชื้อเพลิงที่จะใช้ในการต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอน้ำ ในระบบไอน้ำที่มีการดูแลบำรุงรักษาเป็นอย่างดี จะลดค่าใช้จ่ายในขบวนการผลิตทั้งในรูปของ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและต้นทุนผลิตจะลดลงอย่างมาก การใช้ไอน้ำอย่างเหมาะสมเป็นสิ่งที่ทำได้ ไม่ยากเกินไปปรับปรุงลงทุนไม่มาก ซึ่งโดยทั่วไปการคิดค่าใช้จ่ายไอน้ำจะนำไปคิดรวมกับ ค่าบริหารงานโดยคิดว่าเป็นรายจ่ายที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ความเป็นจริงคือเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุน ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลตอบแทนที่ได้กลับคืนจากการปรับปรุงระบบไอน้ำจะได้ผลตอบแทนสูงคุ้มค่า ต่อการลงทุนอีกด้วย (ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2533)

ไอน้ำมีสองชนิด คือ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ น้ำทุกอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.50 องศาเซลเซียส จะใช้ความร้อนที่ป้อนเข้า 2 กิโลจูลต่อ กิโลกรัม (1 บีทียูต่อปอนด์) อุณหภูมินี้สามารถรู้สึกได้และเรียกว่า “ความร้อนสัมผัส” (ความร้อน จำนวน 419 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เพื่อเปลี่ยนน้ำจาก 0 องศาเซลเซียส เป็น 100 องศาเซลเซียส) การเพิ่มความร้อนให้แก่ น้ำที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศอุณหภูมิจะไม่เพิ่มขึ้นแต่จะ ทำให้น้ำเดือดและน้ำส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ การที่จะเปลี่ยนน้ำให้เป็นไอน้ำทั้งหมด จะต้องเพิ่มความร้อนจำนวน 2,257 กิโลจูลต่อกิโลกรัม (971 บีทียูต่อปอนด์) ความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้ ไม่สามารถจะรู้สึกได้จึงเรียกว่า “ความร้อนแฝงของการระเหย” คือ ความร้อนทั้งหมด 2,676 กิโลจูลต่อกิโลกรัมที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำที่ 0 องศาเซลเซียส เป็นไอน้ำหากน้ำมีความดันสูงกว่าความดันปรกติ ความดันบรรยากาศน้ำจะไม่เดือดกลายเป็นไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส (212 ฟาเรนไฮต์) จะต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่านี้ ดังนั้นเมื่อความดันของไอน้ำลดลง ความร้อนแฝงต่อหน่วยน้ำหนักของไอน้ำจะเพิ่มขึ้น สิ่งนี้เป็นความจริงทางฟิสิกส์ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการที่จะบอกและแสดงผล การประหยัดเชื้อเพลิง



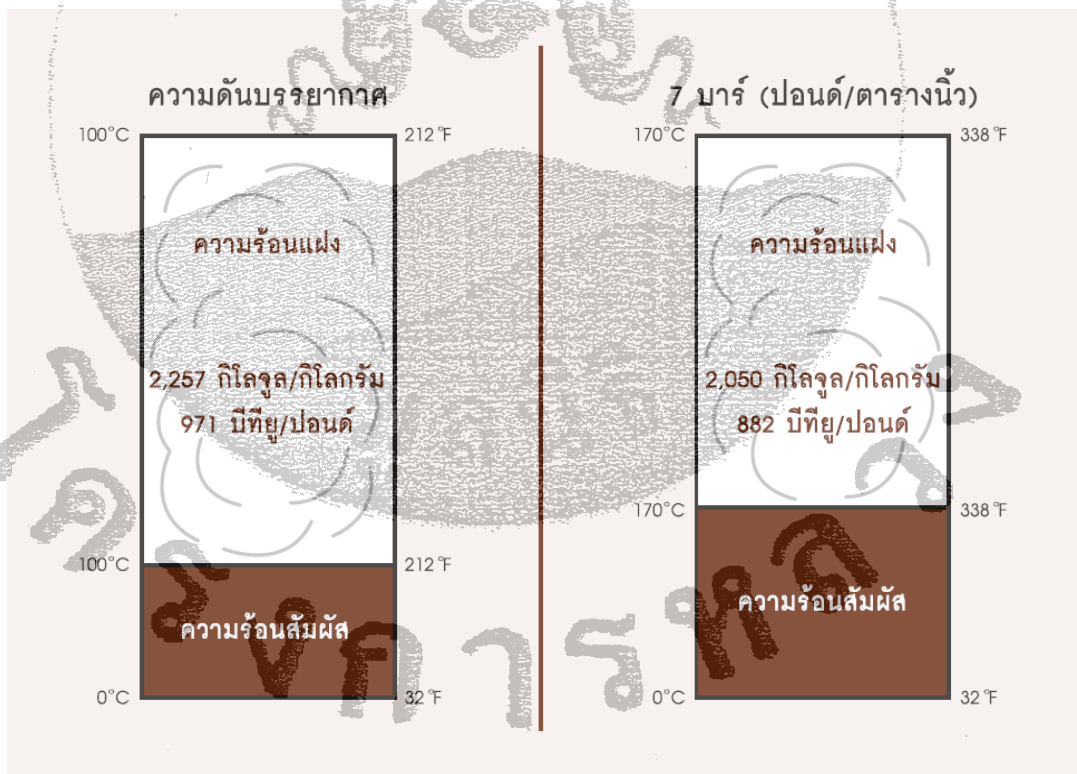
ภาพที่ 15 ความร้อนที่อยู่ในไอน้ำ

ที่มา: ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2533

จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของความดันเมื่อสูงขึ้นอุณหภูมิของไอน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามไปด้วย ความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปใช้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการของ

กระบวนการผลิต กรณีที่เป็นจุดวิกฤตการใช้ความดันและอุณหภูมิจะต้องสอดคล้องกัน การลดอุณหภูมิเพื่อให้ได้ผลประหยัดจะต้องแน่ใจว่าผลผลิตจะไม่เสียหายเมื่อลดอุณหภูมิลงมีหลายกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำเป็นสารตัวกลางในการให้ความร้อนซึ่งใช้ประโยชน์เฉพาะส่วนของความร้อนแฝงเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการผลิตไอน้ำให้เหมาะสมในการใช้งาน โดยการควบคุมความดันไอน้ำที่ถูกต้อง

เพื่อที่จะรักษาค่าความร้อนแฝงให้ได้ค่าที่เหมาะสมและถูกต้อง การที่จะเพิ่มความร้อนให้คอนเดนเสตจะต้องเพิ่มความดันของไอน้ำให้สูงขึ้น ดังนั้นถ้ามีการใช้ความดันไอน้ำสูงในกระบวนการผลิตมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำความร้อนจากคอนเดนเสตกลับมาใช้ เพื่อที่จะรักษาระดับประสิทธิภาพการใช้งานให้สูงขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการที่จะใช้ความร้อนสัมผัสซึ่งเป็นความร้อนจากคอนเดนเสตที่มีจำนวนมากจะต้องเพิ่มค่าความดันของไอน้ำให้สูงขึ้น



ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบความร้อนแฝงของไอน้ำที่กลั่นตัวที่ความดันบรรยากาศและที่ 7 บาร์ (100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

ที่มา: ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2533

มุมมองของการประหยัดไอน้ำ คือถ้าผลิตไอน้ำที่ความดันยิ่งต่ำ ก็จะได้ไอน้ำจำนวนน้อยลง สิ่งนี้เป็นความจริงอย่างไรก็ตามเมื่อความดันไอน้ำต่ำ อุณหภูมิก็ต่ำเช่นกัน ดังนั้นอัตราของปริมาณ

ความร้อนที่จะถ่ายเทก็จะลดลงซึ่งก็เป็นเรื่องยากที่จะเพิ่มพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้นในการให้ความร้อนกับพื้นที่ผิว

ตัวอย่าง ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวความร้อน

ระบบทำความร้อนแห่งหนึ่งทำงานที่ความดัน 5.50 บาร์ (80 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) สามารถที่จะปรับแรงดันเป็น 2.40 บาร์ (35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เพื่อที่จะให้ความร้อนกับงานได้เหมือนเดิมด้วยวิธีการง่ายๆ นี้จะต้องเพิ่มพื้นที่ผิวความร้อนอีกร้อยละ 25

ถ้าต้องการทำความร้อนให้ห้องหนึ่งที่มีท่อทำความร้อนอยู่ 4 ท่อ และเมื่อต้องเพิ่มพื้นที่ผิวความร้อนขึ้นร้อยละ 25 จำเป็นต้องเพิ่มท่อทำความร้อนอีกหนึ่งท่อการกระทำเช่นนี้จะทำให้มีผลประหยัดได้ร้อยละ 4 แต่ถ้าต้องการลดความดันลงอีก 0.34 บาร์ (5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และเพิ่มพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนอีกร้อยละ 75 ทำให้ประหยัดได้เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7

ต้องคำนึงอยู่เสมอเมื่อทำการออกแบบระบบทำความร้อน ตัวอย่างเช่นการใส่ขดท่อทำความร้อนในถังน้ำร้อน และการติดตั้งท่อทำความร้อนสำหรับการให้ความร้อนแก่บริเวณที่ต้องการมีสองจุดที่ต้องพิจารณา คือ

1. เมื่อความดันที่ใช้งานของหม้อไอน้ำลดลง ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความดันลดต่ำกว่า 7 บาร์ (100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) การเพิ่มปริมาตรจำเพาะของไอน้ำส่งผลให้มีหยดน้ำติดไปกับไอน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากนี้เป็นตัวนำความร้อนไม่ดี จะทำให้การถ่ายเทความร้อนลดลง
2. เป็นไปไม่ได้ที่จะเพิ่มพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนให้กับทุกๆ โรงงานและทุกๆ อุปกรณ์

การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down)

การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของหม้อไอน้ำเพื่อที่จะรักษาระดับค่าต่างๆ ของน้ำหม้อไอน้ำ เนื่องจากน้ำป้อนที่เข้าหม้อไอน้ำมีสารละลายอยู่จำนวนหนึ่ง เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำจะทิ้งสารละลายนี้ไว้ในหม้อไอน้ำทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นทั้งอยู่ในสถานะสารละลายและสารแขวนลอย

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมระดับความเข้มข้นของสารละลายในน้ำโดยมีกระบวนการที่เรียกว่า “การโบลล์ดาวน์” (Blow down) ซึ่งก็คือการระบายน้ำจำนวนหนึ่งออกจากหม้อไอน้ำ ขณะเดียวกันจะต้องป้อนน้ำเข้ามาทดแทนน้ำส่วนที่ระบายทิ้งโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อการรักษาระดับของสารละลายทั้งหมดในน้ำ (TDS) หากไม่มีการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) หม้อไอน้ำอาจจะเสียหายได้ เนื่องจากมีน้ำและสิ่งอื่นปะปนฟองอากาศติดไปกับไอน้ำทำให้ละอองน้ำจำนวนมากลอยติดไปกับไอน้ำที่เรียกว่า “แครี่ โอเวอร์” (Carry over) เข้าไปใน

ระบบท่อจนถึงกระบวนการผลิต ต้องติดตามอย่างสม่ำเสมอตลอดจนการให้คำแนะนำเกี่ยวกับสภาพของน้ำในหม้อไอน้ำทุกเครื่อง โดยเฉพาะหม้อไอน้ำรุ่นใหม่ ๆ ที่ประกอบสำเร็จจากโรงงาน ซึ่งอาจจะเสียหายได้ง่ายกว่าหม้อไอน้ำแบบเก่าๆ เนื่องจากหม้อไอน้ำแบบนี้จุน้ำได้น้อย และมีที่ว่างของไอน้ำอยู่จำนวนจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิต สิ่งสำคัญที่ต้องระลึกเสมอว่าหากมีการระบายน้ำทิ้ง (Blow down) ไม่ถูกต้องจะสูญเสียความร้อนได้มากเป็นอันดับสองรองมาจากการสูญเสียความร้อนของก๊าซไอเสีย

มีข้อควรพิจารณาอยู่ 2 ประการ คือ

1. ข้อแรกเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ปริมาณน้ำในหม้อไอน้ำที่ระบายทิ้ง (Blow down) ต้องไม่มากเกินไปจนเป็นอันตราย ถ้ามากเกินไปจะมีผลให้สิ้นเปลืองพลังงานการควบคุมระดับในการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้งที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ไอน้ำทิ้ง (Blow down) ควรนำกลับมาใช้ และต้องตรวจสอบว่าวิธีการนี้มีความเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่ เกี่ยวกับการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้ร้อยละ 50 โดยประมาณจากความร้อนของน้ำหม้อไอน้ำที่ปล่อยออกไป

2. ความร้อนสูญเสียจากการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) ควรนำกลับมาใช้ และต้องตรวจสอบว่าวิธีการนี้มีความเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่ ซึ่งเรื่องเกี่ยวกับการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้ร้อยละ 50 โดยประมาณจากความร้อนของน้ำหม้อไอน้ำที่ปล่อยออกไป

วิธีการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down)

มีวิธีการระบายน้ำทิ้งสองวิธีดังต่อไปนี้

การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) เป็นครั้งคราวโดยการระบายน้ำออกจากด้านล่างหม้อไอน้ำ เพื่อระบายคราบโคลนที่ก่อตัวออกไปการดำเนินการโดยวิธีนี้ ผู้ควบคุมจะต้องกระทำทุกๆช่วงเวลาโดยการเปิดวาล์วหลายๆ ครั้ง ครั้งละสั้นๆ ปริมาณของน้ำที่จะระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) อาจจะประมาณจากระดับของน้ำในหลอดแก้ววัดระดับน้ำที่ลดลง วิธีการนี้เป็นวิธีการเดิมที่ใช้กับหม้อไอน้ำแบบถัง (Shell boilers)

การระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) อย่างต่อเนื่องโดยระบายน้ำหม้อไอน้ำ ทิ้งที่จุดใกล้กับระดับน้ำปกติ วิธีการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) เป็นขั้นๆ อย่างต่อเนื่องนี้ (Step continuous) วาล์วระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) จะเปิดหรือปิด เมื่อได้รับสัญญาณจากเวลาที่ตั้งไว้ หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดคุณสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ ตัวอย่างเช่น วัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ

การปฏิบัติในปัจจุบันจะมีทั้งการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) แบบครั้งคราว และการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) อย่างต่อเนื่อง วิธีการแรกเป็นการระบายของแข็งแขวนลอยซึ่งตกตะกอนลงมา และวิธีหลังเพื่อควบคุมระดับสารละลายทั้งหมดในน้ำ (TDS) สิ่งสำคัญในการระบายน้ำหม้อไอน้ำทิ้ง (Blow down) เป็นครั้งคราวควรทำในช่วงที่หม้อไอน้ำมีภาระน้อย ซึ่งเป็นสิ่งที่ละเอียดไม่ได้ มิฉะนั้นจะทำให้หม้อไอน้ำมีสภาพที่ไม่ดีส่งผลให้เกิดเมื่อกรวมตัวมากขึ้นจนท่วมท่อห้องเผาไหม้ ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้น้อยลงและท่อห้องเผาไหม้เสียหายได้

การใช้ไอน้ำ

ปกติหม้อไอน้ำจะทำงานที่ประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 75 - 84 ของประสิทธิภาพการใช้ไอน้ำควรได้รับการพิจารณาเพิ่มให้สูงขึ้นตามไปด้วยรวมถึง ปริมาณไอน้ำที่รั่วท่อไม่ได้หุ้มฉนวนกันความร้อน การไม่ได้นำคอนเดนเสดกลับมาใช้และการปล่อยไอน้ำแฟลชทิ้งไป โดยมีได้ใช้งานทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง

ไอน้ำแฟลช (Flash Steam) มีผลต่อการลดประสิทธิภาพโดยรวมจากเชื้อเพลิงที่ป้อนมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 50 มากก็มีโอกาสเป็นไปได้ การลดค่าใช้จ่ายให้ได้ผลสามารถทำได้ ดังนี้

ลดความร้อนสูญเสียจากท่อของระบบส่งจ่ายไอน้ำ และพื้นที่ผิวเปิดที่ไม่หุ้มฉนวนต่างโดยการจ่ายไอน้ำ ใช้กับการทำความร้อนให้อาคารหรือการผลิตต้องรักษาและควบคุมเงื่อนไขให้ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากไฟฟ้ามีมาตรวัดหน่วยที่ใช้ และเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าโดยคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมของทั้งโรงงานทำให้ไม่ทราบรายละเอียดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของแต่ละแผน หรือแต่ละกระบวนการผลิตมีน้อยแห่งที่สามารถจะทราบค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในรายแผนกได้ อย่างไรก็ตามสามารถทราบค่าใช้จ่ายไอน้ำได้ก็จะทำให้สามารถคิดค่าใช้จ่าย ในส่วนสำคัญของแต่ละผลผลิตได้บ่อยครั้งจะคิดรวมเป็นค่าใช้จ่ายในการบริหารงานซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ สำหรับบางกรณีค่าใช้จ่ายรวมของการให้บริการไม่เกินร้อยละ 5 ของค่าใช้จ่ายการผลิตรวม และบ่อยครั้งจะพิจารณาว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงและเงินที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมากผลที่ได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้การบริหารพลังงานในโรงงานมีความสัมพันธ์ต่อค่าใช้จ่ายของการผลิต ดังนั้นสามารถกำหนดได้เมื่อทราบค่าใช้จ่ายแต่ละรายการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัด

การใช้จ่ายทั้งหมดหรือค่าใช้จ่ายรวมยอดในการผลิตไอน้ำเป็นพื้นฐานในการคิดต้นทุนของผลผลิตแต่ละชนิด แต่ละชิ้น โดยจะต้องรวมค่าใช้จ่ายต่างๆทั้งทางตรงและทางอ้อมในการผลิตและจ่ายไอน้ำด้วย

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการผลิตไอน้ำต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจะใช้เครื่องมือ เพื่อทำการตรวจสอบว่าจะลดค่าใช้จ่ายได้อย่างไร แม้ว่าการวัดการใช้ไอน้ำอย่างต่อเนื่องจะเป็นสิ่งที่ได้ประโยชน์มาก แต่การวัดทุกๆกระบวนการผลิตอาจจะไม่เหมาะสมเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง การวัดคอนเดนเสทที่เกิดขึ้นจากแต่ละกระบวนการผลิตและกำหนดเป็น “มาตรฐาน” และนำไปเป็นข้อมูลในการประเมินค่าใช้จ่าย และพิจารณาลดค่าใช้จ่ายในการผลิตของแต่ละกระบวนการผลิตหรือของแต่ละอาคารสำหรับหลักการ

การวัดการใช้ไอน้ำมีสองขั้นตอน ในขั้นแรกวัดไอน้ำที่ออกมาจากห้องหม้อไอน้ำ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อจำนวนไอน้ำที่ผลิตได้เท่ากับค่าใช้จ่ายไอน้ำต่อตัน ขั้นที่สองไอน้ำจะถูกวัด เมื่อไหลเข้าแต่ละแผนกหรืออุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำมากวิธีวิธีนี้จะมีส่วนต่างของผลรวมของการผลิตจ่ายไอน้ำ ต้องตรวจสอบการสูญเสียเหล่านี้เป็นสิ่งที่มีความสำคัญ การเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันของการใช้ไอน้ำอาจจะแสดงว่ามีความเสียหายของฉนวนความร้อนไอน้ำรั่วกับดักไอน้ำ (Steam trap) ทำงานไม่ปกติเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามสำหรับบางโรงงานการวัดไอน้ำในทางปฏิบัติอาจจะไม่เหมาะสมและวิธีนอกเหนือจากการวัดการใช้ไอน้ำโดยตรง คือ การพิจารณาว่าไอน้ำ 1 กิโลกรัม เมื่อกลั่นตัวกลายเป็นคอนเดนเสทก็ได้เป็นน้ำ 1 กิโลกรัม เช่นกัน ดังนั้น โรงงานสามารถที่จะวัดปริมาณคอนเดนเสทจากโรงงานหรือจากแผนกหนึ่งหรือจากเครื่องหนึ่งแทนที่จะวัดไอน้ำที่จ่ายให้ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธี “มาตรฐาน” ของการวัดปริมาณใช้ไอน้ำสำหรับแต่ละโรงงานหรือแต่ละอุปกรณ์ที่สามารถกระทำได้ ไม่เพียงแต่เป็นประโยชน์ในการคิดค่าใช้จ่ายแต่สามารถทำการตรวจสอบผลการประหยัดที่ทำได้หลังมีการปรับปรุงแก้ไข

ถ้าการประหยัดทำได้ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไอน้ำให้มากขึ้นจะมีผลต่อการลดค่าเชื้อเพลิง การลดการใช้ไอน้ำจาก 2,000 หน่วยต่อชั่วโมง (ไม่ว่าหน่วยจะเป็นกิโลกรัมหรือปอนด์) การคิดค่าใช้จ่ายไม่ใช่คิดแต่ผลรวมของค่าใช้จ่ายไอน้ำทั้งหมด เพราะยังมีค่าเสื่อมราคาของโรงหม้อไอน้ำ ค่าประกันภัย

การรั่วของไอน้ำ

เป็นที่ชัดเจนแล้วว่าแหล่งของการสูญเสียความร้อนของโรงงานที่ใช้ไอน้ำคือการสูญเสียที่เกี่ยวกับไอน้ำรั่วจากวาล์ว การชำรุดหน้าแปลนท่อและข้อต่อท่อต่างๆ การรั่วนี้สามารถตรวจได้ง่าย และเมื่อพบการรั่วแล้วต้องรีบดำเนินการซ่อมแซมแก้ไข เนื่องจากการสูญเสียจากการรั่วเพียงเล็กน้อยก็มีผลมากต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายอย่างมาก

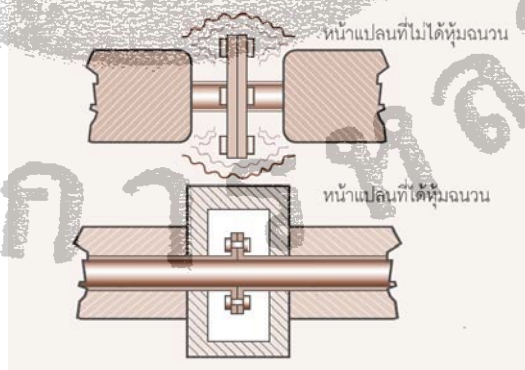
พื้นที่ที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

ความร้อนสูญเสียได้เนื่องจากการแผ่รังสีจากท่อไอน้ำ ทุกๆ ตารางเมตรของพื้นที่ผิวท่อไอน้ำร้อนที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (ทั้งท่อไอน้ำและอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ) ที่ความดัน 7 บาร์ (100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) มีความร้อนสูญเสีย 9,300 กิโลจูล (8,850 บีทียู) ในหนึ่งชั่วโมง ซึ่งหมายถึง 5 กิโลกรัมต่อชั่วโมงหรือ 1 ปอนด์ของไอน้ำจากทุกตารางฟุต ของพื้นที่ผิวที่ไม่ได้หุ้มฉนวน เป็นลักษณะความสูญเสียของระบบไอน้ำที่เกิดขึ้นจากความร้อนสูญเสียจากพื้นผิวของท่อและเครื่องจักรที่ไม่ได้หุ้มเป็นฉนวน ซึ่งความร้อนที่สูญเสียทำให้ภาวะแวดล้อมของการทำงานร้อนขึ้น ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรจึงเปิดประตูให้อากาศเย็นเข้าโรงงาน เมื่ออากาศเย็นเข้ามาผ่านผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวนก็ยิ่งทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างของการสูญเสียผ่านพื้นที่ผิวที่ไม่ได้หุ้มฉนวน และหน้าแปลนมีท่อยาว 3 เมตร (10 ฟุต) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตรที่ไม่ได้หุ้มฉนวน ส่งผ่านไอน้ำที่ความดัน 7 บาร์ ซึ่งทำให้มีการสูญเสียด้านหิน 5 ตัน หรือใช้น้ำมัน 3,000 ลิตรต่อปี

ถ้ามีหน้าแปลนที่ไม่ได้หุ้มฉนวน 5 คู่อยู่บนท่อขนาด 150 มิลลิเมตร มีความร้อนสูญเสียเท่ากับการใช้ด้านหิน 5 ตัน หรือใช้น้ำมัน 3,000 ลิตรต่อปี

วิธีการแก้ไขทำได้ง่ายโดยการหุ้มฉนวนพื้นที่ผิวเปิดของอุปกรณ์และหน้าแปลนประกบต่อที่ใช้ไอน้ำเพื่อลดความร้อนที่จะสูญเสียและการเปิดหน้าต่างรูปที่ 17 แสดงการหุ้มฉนวนประเภทเป็นกล่องสำหรับหน้าแปลน



ภาพที่ 17 ความร้อนสูญเสียผ่านหน้าแปลนที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

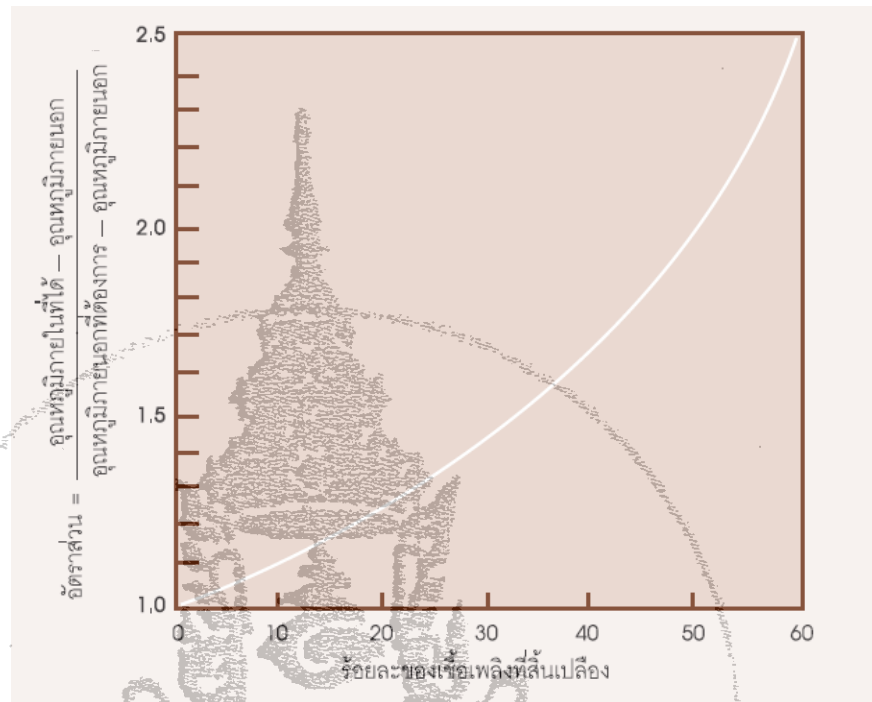
ที่มา: ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2533

การลดความต้องการของการใช้ไอน้ำให้น้อยที่สุดการจ่ายไอน้ำผ่านท่อส่งจ่ายจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การสูญเสียในท่อจ่ายจนถึงจุดใช้งาน ดังนั้นการใช้ไอน้ำควรจะใช้น้อยที่สุด ผู้ใช้ไอน้ำควรจะประเมินอย่างถูกต้อง เพื่อกำหนดค่าความต้องการให้น้อยที่สุดโดยการสำรวจอย่างต่อเนื่อง เพื่อกำหนดให้ชัดเจนถึงการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ไอน้ำ หรือประมาณการใช้ไอน้ำที่แท้จริง ตัวอย่างของการสูญเสียเชื้อเพลิงจากการใช้ความร้อนที่สูงเกินไป เช่น อุณหภูมิห้อง 19 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิห้องที่ต้องการคือ 17 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 7 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนจากภาพที่ 18 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นร้อยละ 16-17 จากตัวอย่างดังกล่าวถึงแม้จะเป็นกรณีของต่างประเทศที่หนาวแต่ก็แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าอุณหภูมิเพียง 2 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถึงร้อยละ 17 การสูญเสียความร้อนของระบบการให้ความร้อน

การควบคุมอุณหภูมิภายในส่วนที่ต้องการความร้อนอาจจะใช้การควบคุมด้วยคนหรือใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติเพื่อลดอุณหภูมิที่สูงเกินความต้องการซึ่งมีผลทำให้ปริมาณการใช้ไอน้ำลดลงได้อีกด้วย วิธีการลดหรือลดการทำความร้อนที่ไม่จำเป็น เช่น หม้อน้ำสำรองใช้งานที่ไม่มี ความจำเป็นต้องให้ไอน้ำจากหม้อน้ำที่ใช้งานอยู่เข้าไปให้ความร้อน หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ไม่มีการใช้งานตามปกติ

ภาพที่ 18 แสดงตัวอย่างการสูญเสียของเชื้อเพลิงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปของระบบทำความร้อน ซึ่งตัวอย่างแสดงถึงการสูญเสียความร้อนภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 18 เชื้อเพลิงสูญเสียเนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไป
ที่มา: ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2533

การสูญเสียความร้อนในกระบวนการผลิต

ในอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไอน้ำจะมีความร้อนที่สูญเสียโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์กับการทำงาน ตัวอย่างเช่นทำความร้อนให้อากาศซึ่งจ่ายอากาศร้อนเพื่อการทำแห้งจะใช้ไอน้ำจำนวนเท่ากันไม่ว่าโรงงานมีภาระเต็มหรือมีภาระเพียงบางส่วน ดังนั้นหากโรงงานทำงานเพียงร้อยละ 50 เป็นเวลาเต็ม 8 ชั่วโมงในหนึ่งวัน จะมีการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าที่ควรจะใช้สำหรับงานนั้นถึงสองเท่าจากการปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อให้โรงงานได้ทำงานเต็มที่ตลอดเวลาการทำงานและหยุดโรงงานเมื่อวัสดุหมดลงทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานลงได้

การลดพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ของประเทศไทย ในปัจจุบันพบว่า ระบบมีการป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีด้วยการหุ้มฉนวน สำหรับความร้อนสูญเสียทางปล่องลม จะควบคุมโดยการปรับปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิง แต่พบว่ายังมีความร้อนสูญเสียไปบ้างบางส่วนซึ่งควรมีการศึกษาวิจัยในลำดับต่อไป นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียความร้อนทางน้ำที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) ซึ่งพลังงานส่วนนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อันจะส่งผลให้ต้นทุนด้านพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมลดลง (อัมพร, 2527)

สมดุลพลังงานของหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า การนำระบบการลดพลังงานความร้อนสูญเสียมาใช้ สามารถทำให้การใช้งานหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 89 ซึ่งเพิ่มจากปกติที่มีประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพียงร้อยละ 70 สำหรับการปล่อยก๊าซไอเสียจากปล่องที่อุณหภูมิ 250 - 300 องศาเซลเซียส พบว่ามีความร้อนสูญเสียร้อยละ 12 ซึ่งสามารถลดการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 160 130 และ 80 องศาเซลเซียส สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก เชื้อเพลิงเบา และก๊าซธรรมชาติ ตามลำดับ สำหรับการควบคุมปริมาณตะกรันและสารละลายในหม้อไอน้ำ โดยระบบ Automatic blow down ซึ่งทำงานโดยชุดอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณสารละลายในหม้อไอน้ำ ถ้าหากมีค่าสูงเกินระดับที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการปล่อยน้ำทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) ในปริมาณเท่าที่จำเป็น อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีปริมาณความร้อนสูญเสียประมาณร้อยละ 5 ซึ่งความร้อนส่วนนี้สามารถนำไปผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ สำหรับการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีซึ่งมีปริมาณน้อยมากเพียงร้อยละ 1 แต่พบว่าการสูญเสียความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำสูงถึงร้อยละ 12 ซึ่งสามารถลดการสูญเสียได้โดยใช้งานหม้อไอน้ำที่ระดับความดัน 3 - 8 บาร์ และนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ป้อนหม้อไอน้ำ (Anonymous, 1983)

จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการปล่อยน้ำทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) น้ำจากหม้อไอน้ำภายในความดันออกสู่ถังแฟลช (Flash tank) ที่มีความดันต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) จะลดลงอย่างรวดเร็วสู่อุณหภูมิ ณ จุดความดันที่ต่ำกว่า ความร้อนส่วนเกินที่น้ำที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) ใช้ไปในรูปเอนทัลปีของการกลายเป็นไอน้ำทำให้บางส่วน of น้ำที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) กลายเป็นไอน้ำแฟลช (Flash steam) โดยน้ำที่เหลือเป็นน้ำร้อน การปล่อยน้ำทิ้งจากหม้อไอน้ำเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำภายในหม้อไอน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม จะทำให้เกิดตะกรันที่ผิวหม้อไอน้ำในบางส่วนสัมผัสน้ำข้างล่าง ซึ่งมีความหนาของตะกรัน 1 มิลลิเมตร จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าปกติร้อยละ 5 - 8 (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543)

ในปี 1984 Ratliff ได้ค้นคว้าวิจัยการลดพลังงานความร้อนสูญเสียจากการปล่อยน้ำทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) โดยการนำน้ำที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) มาผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิสำหรับป้อนหม้อไอน้ำ และทำการติดตั้งมาตรวัดปริมาณการไหล เพื่อคำนวณหาปริมาณความร้อนถ่ายเท ต่อมา Tung (2002) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำความร้อนสูญเสียในส่วนที่เป็นไอน้ำความดันต่ำของน้ำที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) กลับมาใช้ให้ความร้อนกับของไหลอื่นๆ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ทงนเกียติ (2550) ในทางวิศวกรรมค่าทางเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญมากในการออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการพิจารณาตัดสินใจในการลงทุนในโครงการนี้จะใช้วิธีประเมินรายจ่ายแบบรายปี (Annual cost method) ค่าใช้จ่ายรายปีที่นำมาพิจารณาประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Initial cost) การดูแลรักษา (Operating and maintenance cost) แล้วนำค่าใช้จ่ายรวมรายปีมาเปรียบเทียบการลงทุนระหว่าง การผลิตน้ำร้อนเพื่อป้อน Boiler เพื่อลดต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงใน Boiler ด้วยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จาก บริษัท TSUS International co, ltd.

สูตรการคำนวณ คือ

$$\text{ราคาคืนทุนต่อปี} = \left[\frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \right] \times P \quad \text{.....(3)}$$

โดยที่

P	=	เป็นเงินลงทุนหรือเงินต้น
i	=	อัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน
n	=	จำนวนอายุการใช้งาน

ค่าใช้จ่ายของการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงใน Boiler แม้จะเป็นการลงทุนที่สูงในครั้งแรก แต่ค่าใช้จ่ายในการทำงานต่อเนื่องจากพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ไม่ต้องซื้อหา ดังนั้นควรจะวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ว่า ผลที่ได้จากการลงทุนไปนั้นคุ้มหรือไม่ มีจุดคุ้มทุนในระยะเวลาเท่าใด โดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Payback period) หาผลตอบแทนในรูปของพลังงานที่ได้ประหยัดจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาแทน จนมีค่าเท่ากับเงินที่ลงทุนไป

สูตรการคำนวณคือ

$$Y = C/F \quad \text{.....(4)}$$

โดยที่

Y	=	จำนวนปีที่คุ้มทุน
C	=	เงินลงทุนเบื้องต้น
F	=	ค่าพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สถานที่ทดลอง

โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง

อุปกรณ์

- เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Solar integrator) โดยวัดรังสีแสงอาทิตย์รวมต่อหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร
- เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ขนาด 0.75 ตัน
- ปั๊มน้ำป้อนเครื่องทำน้ำร้อน ขนาดแรงดัน 2 บาร์
- เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K มีช่วงการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -270 ถึง 1,372 องศาเซลเซียส
- มาตรวัดปริมาณการไหลของน้ำ โดยหน่วยวัดปริมาตรน้ำหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร
- มาตรวัดปริมาณการไหลของน้ำมัน โดยหน่วยวัดปริมาตรน้ำมันหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
- เครื่องวัดอุณหภูมิและเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ Data logger
- เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของบริษัท TSUS International, co.ltd ขนาด 1,000

ลิตร

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาจำนวนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) ที่เหมาะสมกับกำลังการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ของโรงงาน

- 1.1 เก็บข้อมูลการใช้ Boiler อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยเก็บบันทึกข้อมูล ดังนี้
 - เวลาในการใช้ Boiler
 - ปริมาณการใช้น้ำ เพื่อป้อนเข้าสู่ Boiler รวมถึงอัตราการป้อนน้ำเข้าเครื่อง
 - น้ำมันดีเซล ในช่วงของการ Heat up และปริมาณที่ใช้รวมทั้งวัน
 - อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำ และความชื้นในอากาศ ก่อนป้อนเข้าเครื่อง

1.2 นำข้อมูลมาคำนวณทางวิศวกรรม หาพื้นที่ผิวของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อให้ทราบจำนวนแผงรับรังสีที่ต้องใช้

ตอนที่ 2 ดำเนินการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

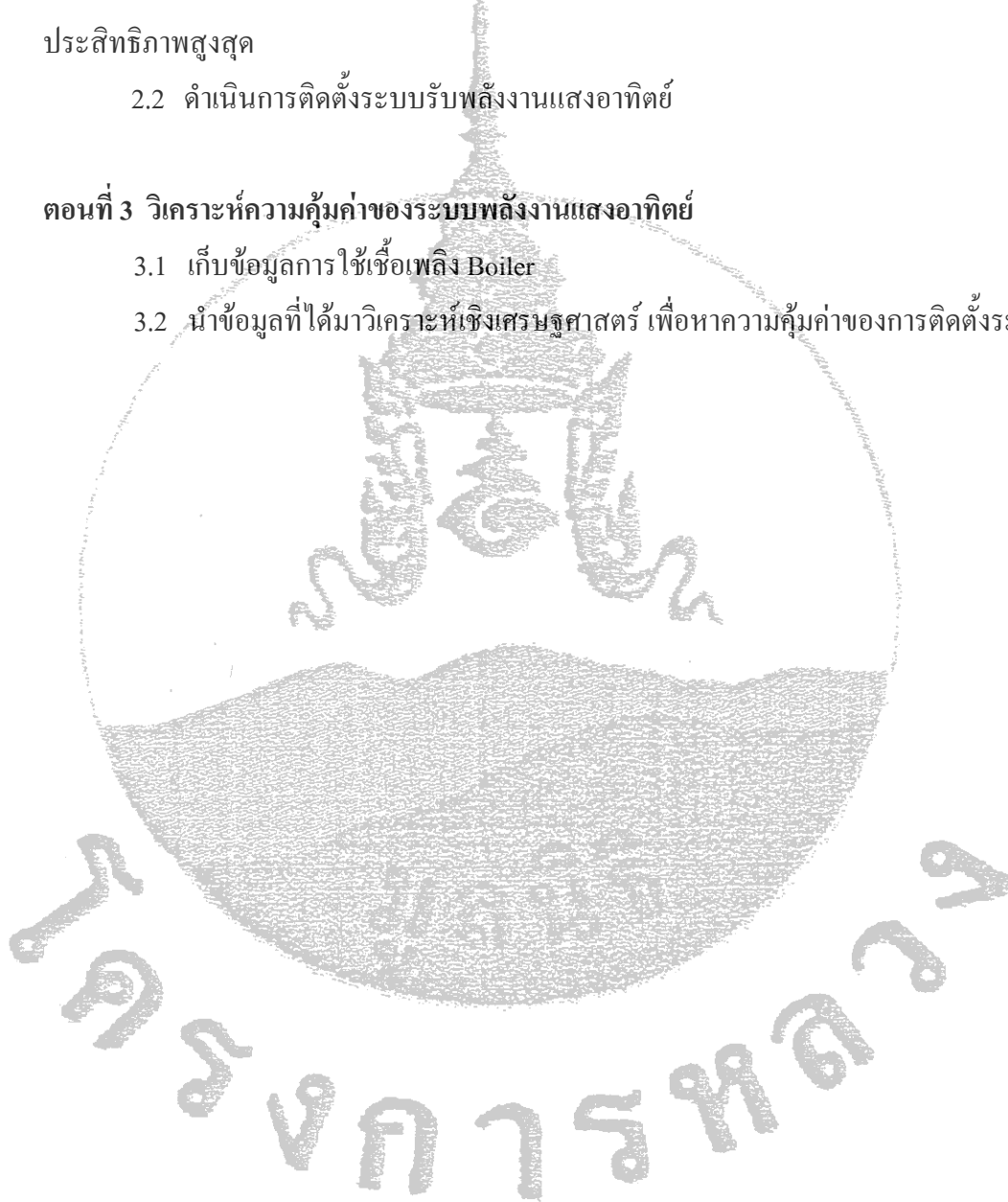
2.1 พิจารณาแนวการติดตั้งแผงรับรังสี และเส้นทางการเดินท่อน้ำร้อน ที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.2 ดำเนินการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

3.1 เก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง Boiler

3.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบ



ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 : ศึกษาจำนวนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) ที่เหมาะสมกับกำลังการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำของโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง

1.1 เก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง Boiler อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 สัปดาห์

การเก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง Boiler นั้นต้องบันทึก ปริมาณการใช้น้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำรวม ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล ในช่วงของการ Heat up ปริมาณที่ใช้กับเครื่องจักรในการผลิตรวมทั้งวัน เพื่อใช้ในการหาดัชนีหรืออัตราส่วนในการผลิตไอน้ำ ระหว่างปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำต่อปริมาณการใช้น้ำมัน อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อนำมาออกแบบระบบการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3 ผลการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ เชื้อเพลิง เพื่อหาขนาดของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูล	ตุลาคม	พฤศจิกายน
ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร)	16,315	15,043
ปริมาณการใช้น้ำมัน (ลิตร)	1,701	1,784
ดัชนีการผลิตไอน้ำ (กิโลกรัมต่อลิตร)*	9.59	8.43
เวลาในการใช้ boiler (ชั่วโมง)	181.50	210.50
เวลาในการ Heat up เฉลี่ย (นาทีต่อครั้ง)	42	44
อุณหภูมิน้ำป้อนเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	25.40	24.28
หมายเหตุ	เริ่มเก็บข้อมูล	

หมายเหตุ * ดัชนีการผลิตไอน้ำเฉลี่ย = $\frac{\text{ปริมาณการใช้น้ำ}}{\text{ปริมาณการใช้น้ำมัน}}$ (5)

ดัชนีการผลิตไอน้ำเฉลี่ย เดือนตุลาคม = $\frac{16,315}{1,701} = 9.59$ กิโลกรัมไอน้ำต่อลิตรน้ำมัน

ดัชนีการผลิตไอน้ำเฉลี่ย เดือนพฤศจิกายน = $\frac{15,043}{1,784} = 8.43$ กิโลกรัมไอน้ำต่อลิตรน้ำมัน

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าดัชนีการผลิตไอน้ำ คือ ปริมาณน้ำที่จะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำต่อปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการผลิตของเดือนพฤศจิกายนลดน้อยลง จากเดือนตุลาคม เนื่องจากเข้าสู่ช่วงฤดูหนาวทำให้น้ำป้อนเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำมีอุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปริมาณเพิ่มขึ้น ในการเริ่มต้นทำการผลิตไอน้ำแรงดัน 4 บาร์ ซึ่งสังเกตได้จากเวลาที่เพิ่มขึ้นในการ Heat up เฉลี่ยต่อครั้งในแต่ละเดือน

เมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้ปริมาณน้ำในการผลิตไอน้ำแต่ละวัน ในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน พบว่ามีปริมาณการใช้น้ำในแต่ละวันสูงสุดไม่เกิน 1,000 ลิตร (ภาคผนวก ข.) ซึ่งลักษณะการใช้น้ำในการผลิตไอน้ำในรอบวันพบว่า ปริมาณการใช้น้ำสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาที่มิสแควค 9.00 นาฬิกา ถึง 16.30 นาฬิกา การนำพลังงานความร้อนไอน้ำมาใช้กับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ส่วนมากอยู่ในช่วงหลัง 11.00 นาฬิกา ในการออกแบบระบบบ่อน้ำก่อนเข้า Boiler ได้เลือกแบบที่มีถึงสะสมความร้อนโดยที่พลังงานความร้อนที่ได้ในช่วงเช้าหรือช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำน้อย จะถูกสะสมในน้ำ (สุริยนต์, 2550)

1.2 นำข้อมูลมาคำนวณทางวิศวกรรม หาพื้นที่ผิวของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อให้ทราบจำนวนแผงรับรังสีที่ต้องใช้

การคำนวณหาพื้นที่ผิวของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อให้ทราบจำนวนแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ซึ่งแผงรับแสงอาทิตย์มีขนาด 2.10 ตารางเมตรต่อแผ่น สามารถผลิตน้ำร้อนได้ 180 ลิตรต่อแผ่น หากต้องการผลิตน้ำร้อน 1,000 ลิตร จะต้องใช้พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์รวม 12.60 ตารางเมตร ซึ่งจะต้องใช้จำนวนแผงทั้งหมด จำนวน 6 แผง (สุริยนต์, 2550) แสดงการคำนวณ ดังนี้

แผงรับแสงอาทิตย์ที่ผลิตน้ำร้อน 180 ลิตร ต้องใช้พื้นที่ในการรับแสง 2.10 ตารางเมตร

ถ้าต้องการผลิตน้ำร้อน 1,000 ลิตร จะต้องใช้พื้นที่เท่ากับ

$$\frac{2.10 \times 1,000}{180} = 11.56 \text{ ตารางเมตร}$$

พื้นที่การรับแสงอาทิตย์ 2.10 ตารางเมตร เท่ากับจำนวนแผงรับแสงอาทิตย์จำนวน 1 แผง

ถ้าพื้นที่การรับแสงอาทิตย์ 11.56 ตารางเมตร จะเท่ากับแผงรับแสงอาทิตย์จำนวน

$$\frac{1 \times 11.56}{2.10} = 5.50 \text{ แผง} \approx 6 \text{ แผง}$$

ดังนั้น แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้กับ ระบบป้อนน้ำร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ เท่ากับ 6 แผงหรือเท่ากับ 12.60 ตารางเมตร

ตอนที่ 2 ดำเนินการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 พิจารณาแนวการติดตั้งแผงรับรังสี และเส้นทางการเดินท่อน้ำร้อน ที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ปริมาณพลังงานที่โลกได้รับจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมากหรือน้อย นอกเหนือจากค่าคงที่ของพลังงานดวงอาทิตย์แล้วปริมาณพลังงานยังขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. ความโปร่งใสของบรรยากาศเนื่องมาจากบรรยากาศประกอบด้วย ฝุ่น เมฆ ไอน้ำ และก๊าซ ซึ่งมีส่วนในการกระจายการสะท้อนและการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ ในบริเวณเมฆหนาที่บหรืออากาศซึ่งมีมลภาวะจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงน้อย

2. ความยาวนานของกลางวันมีค่าแตกต่างกันไปตามเส้นรุ้งและแต่ละฤดูกาลในวันที่มีระยะเวลากลางวันยาวนานจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก บริเวณศูนย์สูตรจะมีเวลากลางคืนเท่ากับกลางวัน

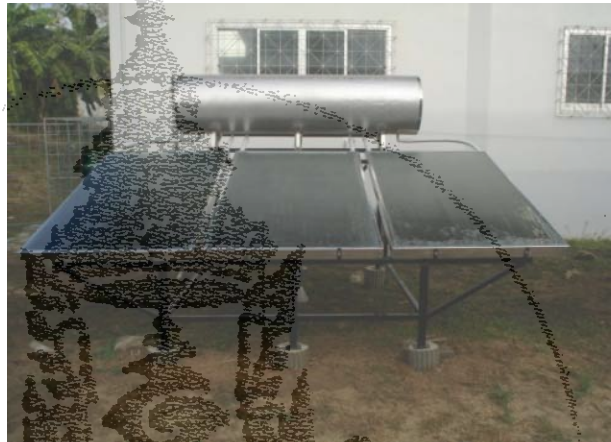
3. มุมของแสงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อพื้นโลกในตอนเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะพอดี ความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์จะมีมากที่สุด แต่ในตอนเช้าและตอนเย็นรังสีจากดวงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ดังนั้นความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์จะน้อยและหลักการเดียวกันนี้จะนำไปใช้กับเส้นรุ้ง และฤดูกาลคือบริเวณที่เส้นรุ้งสูงๆ ในฤดูหนาวแม้เวลาเที่ยงมุมแสงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ส่วนฤดูร้อนในบริเวณเส้นรุ้งต่ำแสงอาทิตย์จะส่องในแนวเกือบตั้งฉากจึงสรุปได้ว่าถ้าแสงอาทิตย์ส่องกระทบกับพื้นโลกเป็นมุมฉากความเข้มของรังสีจะมาก บริเวณใดที่รับแสงอาทิตย์ในแนวเอียง แสงอาทิตย์จะแผ่รังสีปกคลุมเป็นบริเวณกว้างกว่าทำให้ความเข้มรังสีลดน้อยลง และในการจัดพื้นผิวแผ่นราบให้รับแสงอาทิตย์เป็นมุมฉากนั้น ให้ปรับมุมเอียงประมาณเท่ากับเส้นรุ้ง ณ ที่ซึ่งติดตั้ง โดยจัดพื้นที่รับแสงหันในแนว เหนือ - ใต้ คือ ในแนวซีกโลกเหนือหันไปทางทิศใต้ และซีกโลกใต้หันไปทางทิศเหนือ

สำหรับเชียงใหม่การติดตั้งแผงรับรังสีแสงอาทิตย์นั้นหันไปทางทิศใต้และต้องเอียงประมาณ 18 องศากับแนวระดับเป็นมุมที่รับรังสีแสงอาทิตย์ได้มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีช่วงเวลาในการรับรังสีแสงอาทิตย์ยาวที่สุด จังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางซีกโลกซีกเหนือที่เส้นรุ้งที่ 18 องศา 47 พิลิปดา เส้นแวงที่ 98 องศา 59 พิลิปดา จะได้ค่าอัตราส่วนของรังสีแสงอาทิตย์ตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีแสงอาทิตย์ตรงบนพื้นราบมากที่สุด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2547)

จากการศึกษาตัวรับรังสีอาทิตย์แบบลูกฟูกที่มีช่องอากาศไหลบนและชนิดมีช่องอากาศไหลล่างของตัวดูดซับรังสีอาทิตย์ ทำมุม 18 องศา กับแนวระดับ และศึกษาตัวรับรังสีอาทิตย์แบบลูกฟูกชนิดมีช่องอากาศไหลล่างซึ่งติดแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ ทำมุมกับตัวรับรังสีอาทิตย์ โดยทำการปรับมุมต่างๆ ดังนี้ คือ 15 30 45 60 75 และ 90 องศา ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า จากการทดสอบประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์แบบลูกฟูกที่มีช่องอากาศไหลบนและแบบช่องอากาศไหลล่าง พบว่า มีค่าเท่ากับร้อยละ 31.41 และ 43.68 ตามลำดับ ซึ่งมีร้อยละความแตกต่างประสิทธิภาพของช่องอากาศไหลล่างสูงกว่าแบบช่องอากาศไหลบนมีค่าเท่ากับ 39.06 ทั้งนี้เนื่องจากตัวรับรังสีอาทิตย์แบบที่มีช่องอากาศไหลล่างนั้นมีชั้นอากาศนิ่งซึ่งเปรียบเสมือนฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนทางผิวกระจกด้านบนจากอิทธิพลของอากาศแวดล้อมและลมได้อีกชั้นหนึ่ง จากการทดสอบประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์แบบลูกฟูกที่มีช่องอากาศไหลล่างซึ่งติดแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์โดยทำการทดสอบปรับมุม ต่างๆ ดังนี้ คือ 15 30 45 60 75 และ 90 องศา ซึ่งการทดสอบนี้ได้พิจารณาพร้อมกับแบบจำลองการตกกระทบและสะท้อนรังสีอาทิตย์ พบว่ามุมที่ทำให้ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุด คือ มุม 75 องศา ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 53.29 โดยมีร้อยละความแตกต่างของประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์แบบที่มีช่องอากาศไหลล่างซึ่งติดแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์สูงกว่าตัวรับรังสีอาทิตย์แบบที่มีช่องอากาศไหลบนและตัวรับรังสีอาทิตย์แบบที่มีช่องอากาศไหลล่างที่ไม่ติดแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 69.66 และ 22 ตามลำดับ (ฉันทนา, 2548)

เมื่อพิจารณาแนวการติดตั้งแผงรับรังสี และเส้นทางการเดินท่อน้ำร้อน ที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดแล้วและโรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง พิจารณาถึงการใช้สอยพื้นที่ในอนาคตจึงกำหนดตำแหน่งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีทิศทางตามแนวอาคาร โดยแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ตั้งแต่เวลาช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา ถึง 16.30 นาฬิกา ที่มีแสงแดดสม่ำเสมอ ไม่อยู่ในจุดบดบังจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ

การดำเนินการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยบริษัท TSUS International co, Ltd. แสดงในภาคผนวก ก. ภาพการดำเนินการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบป้อนน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ



ภาพที่ 19 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

3.1 เก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงของ Boiler ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง ดังตารางที่ 4 มีดังนี้

การเก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงของ Boiler นั้นต้องบันทึก ปริมาณการใช้น้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำรวม ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล ในช่วงของการ Heat up ปริมาณที่ใช้กับเครื่องจักรในการผลิตรวมทั้งวัน เพื่อใช้ในการหาต้นทุนหรืออัตราส่วนในการผลิตไอน้ำ ระหว่างปริมาณน้ำป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำต่อปริมาณการใช้น้ำมัน อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อจะทราบถึงผลการประหยัดจากการนำระบบการป้อนน้ำร้อนโดยพลังงานแสงอาทิตย์ และทราบถึงระยะเวลาที่ถึงจุดคุ้มทุน

ตารางที่ 4 ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของการใช้เชื้อเพลิงของ Boiler

เดือน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม
ปริมาณการใช้ น้ำ (ลิตร)	13,819	22,002	31,993	16,315	15,043	18,387	21,366	17,524	25,401	19,227	19,439	27,314	14,995
ปริมาณการใช้ น้ำมัน (ลิตร)	1,487.00	2,229.50	2,178.50	1,701.00	1,784.00	2,125.00	2,162.00	1,347.00	1,963.00	1,690.00	1,788.5.00	2,535.00	1,443.00
ดัชนีการผลิตไอน้ำต่อ น้ำมัน (กิโลกรัมต่อลิตร)	9.29	9.87	14.69	9.59	8.43	8.65	9.88	13.01	12.90	11.38	10.87	10.77	10.39
เวลาในการใช้เครื่อง กำเนิดไอน้ำ (ชั่วโมง)	175.50	234.00	210.00	181.50	210.50	182.00	213.50	224.00	215.00	175.00	160.50	144.20	139.00
เวลาเริ่มเปิดใช้เครื่อง กำเนิดไอน้ำเฉลี่ย (นาที)	-	-	-	42	44	43	44	40	39	40	43	44	44
อุณหภูมิ น้ำเข้าเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	-	-	-	25.40	24.28	25.41	26.37	55.00	57.00	59.00	45.00	43.00	42.00
ค่าแสงอาทิตย์เฉลี่ย (วัตต์ต่อตารางเมตร)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	310.96	360.25
หมายเหตุ			ถูกลอย เสีย	ข้อมูล ก่อนติดตั้ง				ข้อมูลหลัง ติดตั้ง					

หมายเหตุ เก็บข้อมูลถึงวันที่ 16 กรกฎาคม 2551

3.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบพบว่า ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม 2550 ถึง มกราคม 2551 ซึ่งยังไม่ได้รับการปรับปรุงอุณหภูมิน้ำขณะป้อนเข้า (โดยไม่รวมปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและน้ำ เดือนกันยายน เนื่องจากลูกลอยแท่งก้นน้ำเสีย) มีปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมด 11,488.50 ลิตร ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 106,929 ลิตร มีดัชนีการผลิตไอน้ำเฉลี่ย (จากสมการที่ 5) ดังนี้

ดัชนีการผลิตไอน้ำเฉลี่ย เดือนกรกฎาคม 2550 ถึง มกราคม 2551

$$= \frac{106,929}{11,488.50} = 9.31 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อลิตรน้ำมัน}$$

ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ 2551 ถึง กรกฎาคม 2551 ซึ่งได้รับการปรับปรุงอุณหภูมิน้ำขณะป้อนเข้า โดยผ่านแผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) แล้วพบว่า ปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมด 10,766.50 ลิตร ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 123,900 ลิตร มีดัชนีการผลิตไอน้ำเฉลี่ย ดังนี้

ดัชนีการผลิตไอน้ำเฉลี่ย เดือนกุมภาพันธ์ 2551 ถึง กรกฎาคม 2551

$$= \frac{123,900}{10,766.50} = 11.51 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อลิตรน้ำมัน}$$

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีการผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นต่อเชื้อเพลิง 1 ลิตร สูงขึ้นเท่ากับ} &= 11.51 - 9.31 \\ &= 2.2 \text{ กิโลกรัมไอน้ำต่อลิตร} \end{aligned}$$

ถ้าใช้ปริมาณน้ำในการผลิตไอน้ำ เฉลี่ยวันละ 1,000 ลิตร

$$\text{ก่อนติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เชื้อเพลิง เท่ากับ} \quad \frac{1,000}{9.31} = 107.41 \text{ ลิตร}$$

$$\text{หลังติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เชื้อเพลิง เท่ากับ} \quad \frac{1,000}{11.51} = 86.88 \text{ ลิตร}$$

ใช้เชื้อเพลิงหลังปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ เท่ากับ

$$\frac{86.88 \times 100}{107.41} = 80.88 \quad \text{ของการใช้เชื้อเพลิงเมื่อยังไม่มีการติดตั้ง}$$

$$\text{สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ร้อยละ เท่ากับ} \quad 100 - 80.88 = 19.12$$

โดยคิดเป็นค่าใช้จ่าย ที่น้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 32 บาท จะเท่ากับประหยัดวันละ 611 บาทต่อวัน 1 ปีคิด วันทำงาน 300 วัน จะประหยัดได้ 183,552 บาทต่อปี ซึ่งค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง อุณหภูมิน้ำป้อน ทั้งหมดเท่ากับ 369,800 บาท

ตารางที่ 5 ข้อมูลก่อนและหลังการติดตั้ง ระบบป้อนน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้ เชื้อเพลิงใน Boiler

ข้อมูลการใช้ boiler	ก่อนการติดตั้ง	หลังการติดตั้ง
ดัชนีการผลิตไอน้ำต่อน้ำมันเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อลิตร)	9.31	11.51
น้ำมันดีเซลที่ต้องใช้สำหรับน้ำป้อนเข้า Boiler เฉลี่ย 1,000 ลิตรต่อวัน (ลิตร)	107.41	86.88
ค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซลต่อวัน (บาท)	3,437.12	2,780.16
ค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซลต่อปี (บาท)	1,031,136	834,048

จุดคุ้มทุนในระยะเวลาเท่าใด โดยคิดระยะเวลาคุ้มทุน (Payback period) หาผลตอบแทนใน รูปของพลังงานที่ได้ ประหยัดจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาแทน จนมีค่าเท่ากับเงินที่ลงทุนไป สูตรการคำนวณคือ

$$Y = C/F \quad \text{..... (5)}$$

โดยที่

Y = จำนวนปีที่คุ้มทุน (ปี)
C = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการปรับปรุง (บาท)
F = สามารถประหยัดน้ำมันดีเซลได้ (บาทต่อปี)

แทนค่า

$$Y = \frac{369,800}{183,552} \quad \text{ปี}$$

$$Y = 2.01 \quad \text{ปี}$$

ดังนั้น การปรับปรุงระบบนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการลดการใช้เชื้อเพลิงจะมี จุดคุ้มทุน ประมาณ 2.01 ปี หรือ 2 ปี 6 วัน

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

ผลการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์และระบบป้อนน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ และผลจากการนำระบบการป้อนน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยการใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรพลังงานความร้อนสู่น้ำทำให้น้ำร้อน ระบบน้ำร้อนของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถหมุนเวียนแบบธรรมชาติ คือน้ำร้อนจะเคลื่อนที่สู่ระดับสูงกว่าน้ำเย็นเสมอ ระบบจึงออกแบบมาให้มีแท่งเก็บน้ำร้อนอยู่ในระดับสูงกว่าแผงและเมื่อน้ำในแท่งเย็นตัวลงก็จะกลับมาสู่แผงอีกครั้งเป็นการเวียนแบบธรรมชาติ มาทำการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ เพื่อลดเวลาในการทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ และมีแรงดันเท่ากับ 4 บาร์ แล้วนำพลังงานความร้อนไอน้ำไปใช้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

จากการเก็บข้อมูลการปริมาณการใช้น้ำในการผลิตไอน้ำแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน แล้วทำการออกแบบระบบการป้อนน้ำร้อน โดยใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1,000 ลิตร ใช้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ รวม 12.60 ตารางเมตร และทำการติดตั้งแผงทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์ โดยทำมุมเอียงจากพื้น 18 องศา หันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นทิศทางรับแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลานานที่สุด สามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิ 40 - 70 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำซึ่งอุณหภูมิสูงกว่าก่อนการติดตั้ง จากการเปรียบเทียบผลการใช้เชื้อเพลิงต่อปริมาณน้ำป้อนในการผลิตไอน้ำก่อนและหลังการใช้ระบบการป้อนน้ำร้อน พบว่าการใช้ระบบการป้อนน้ำร้อนสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงได้ร้อยละ 19.12

ระยะเวลาคู่มทุน (Payback period) ผลตอบแทนในรูปของการที่ประหยัดเชื้อเพลิงได้จากการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำความร้อนเพิ่มอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ จะมีระยะเวลาคู่มทุนเท่ากับ 2 ปี 6 วัน

ข้อเสนอแนะ

ประโยชน์ของการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบป้อนน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงในการต้มน้ำได้ร้อยละ 19.12 ดังที่กล่าวมาแล้วแต่เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการลดการใช้เชื้อเพลิงลงอีกได้ ทางคณะผู้วิจัย มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีการปรับลดระยะทางระหว่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (จุดผลิตน้ำร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์) กับจุดติดตั้งเครื่องกำเนิดไอน้ำ เนื่องจาก ระยะห่างจะมีผลให้เกิดการสูญเสีย ความร้อนของน้ำในท่อน้ำก่อนถูกปล่อยเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ

2. เนื่องจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ และระบบท่อส่งไอน้ำเดิม ยังมิได้มีการหุ้มฉนวนทั้งหมดตลอดเส้นทางการส่งไอน้ำ จึงควรพิจารณาเพิ่มการหุ้มฉนวนในบางจุดเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนของไอน้ำที่ผลิตได้

อีกประการหนึ่ง วาล์วปล่อยน้ำเย็นเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ ยังมิได้มีการหุ้มฉนวน เนื่องจากยังไม่มีเวลาจำเป็นต้องหุ้ม ในระยะก่อนที่จะมีการสร้างระบบผลิตน้ำร้อนก่อนเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ แต่ขณะนี้เมื่อมีการผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้แทนน้ำเย็นแล้ว จึงควรพิจารณาหุ้มฉนวน ณ จุดดังกล่าว เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนของน้ำร้อนที่ถูกส่งมาเข้าเครื่องกำเนิดไอน้ำ

3. ในช่วงแรกของการเปิดเครื่องกำเนิดไอน้ำ จะพบว่า น้ำร้อนที่เก็บในแทงค์ ซึ่งมีแรงดันอยู่ในช่วง 1.80 - 2.00 บาร์ จะถูกดันเข้าสู่เครื่องเป็นปริมาณมาก จนเกินระดับที่จำเป็น ทำให้เครื่องกำเนิดไอน้ำต้องใช้เวลาและเชื้อเพลิงเป็นปริมาณมากในการต้มน้ำในเครื่องจนกว่าจะสามารถผลิตไอน้ำให้ได้แรงดันที่ต้องการ (4.00 บาร์)

ดังนั้นหากสามารถเพิ่มระบบการจำกัดปริมาณน้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ เช่น มีลิ้นกวี ซึ่งจะควบคุมระดับน้ำในเครื่อง เมื่อมีน้ำอยู่ในระดับที่กำหนดแล้ว ก็จะทำให้ปั๊มหยุดการทำงาน ไม่ดันน้ำเข้าสู่เครื่องอีก ส่งผลให้การผลิตไอน้ำช่วงเริ่มเดินเครื่องจนสามารถทำไอน้ำให้มีแรงดัน 4.00 บาร์ จะใช้เวลาและปริมาณเชื้อเพลิงได้น้อยกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการลดการใช้เชื้อเพลิงใน Boiler โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับ
ทุนอุดหนุนการวิจัยปีงบประมาณ 2551 จากมูลนิธิโครงการหลวง คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมูลนิธิ
โครงการหลวง ในการให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ของโรงงานแปรรูปและพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนโครงการวิจัยนี้มาโดย
ตลอด

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและ
ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดทั้งโครงการ ซึ่งทำให้โครงการดำเนินการไปได้ด้วยความเรียบร้อยและมี
ประสิทธิภาพ แนวความคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งปวง คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและจะนำไปใช้ประโยชน์
ในการทำงานในอนาคต องค์ความรู้ที่เกิดจากโครงการวิจัยนี้ขอให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติ
โดยรวมต่อไป

คณะผู้จัดทำ

มูลนิธิโครงการหลวง

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. “แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์.”

[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.Dede.go.th>. (12 พฤศจิกายน 2550).

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2543.

การนำคอนเดนเสทและแฟลชสตีมกลับมาใช้ประโยชน์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์ชุมชน
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2547. “เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.” [ระบบ
ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.egat.co.th/rdo/energy/web-heater/index_heater.htm.
(20 กรกฎาคม 2551).

ฉันทนา พันธุ์เหล็ก พฤทธิ มาเนตร ศิริनुช จินดารักษ์ สีนเดิม ดีโต และอนิรุทธิ์ ต่ายขาว. 2548.

การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์. เอกสารการ
ประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, โรงแรมเอมบาซาเดอร์
ซิตี้ จอมเทียน ชลบุรี.

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2531. อนุกรมพลังงานนอกแบบและการใช้พลังงานอย่างมี

ประสิทธิภาพ เล่มที่ 1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์และตัวรับรังสี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี.

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และสุริยนต์ ชมดี. 2550. การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ใน

การลดต้นทุนและประหยัดพลังงานในสถานประกอบการ. เอกสารถ่ายทอดเทคโนโลยี.

สถาบันวิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เศรษฐพงษ์ จันทรมล. 2544. “การทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์”. วารสารเทคนิค, 2 : 17

ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. 2533. “คู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ.”

[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.dedp.go.th> และ <http://www.teenet-dedp.com>.
(12 พฤศจิกายน 2550).

ศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. 2533. หม้อไอน้ำ. เอกสารเผยแพร่ ชุด ความรู้

พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้พลังงาน. กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ.

สุริยนต์ ชมดี. 2550. เอกสารการนำเสนอการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ณ โรงงานแปรรูป

และพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง. บริษัท TSUS International co, Ltd. เชียงใหม่.

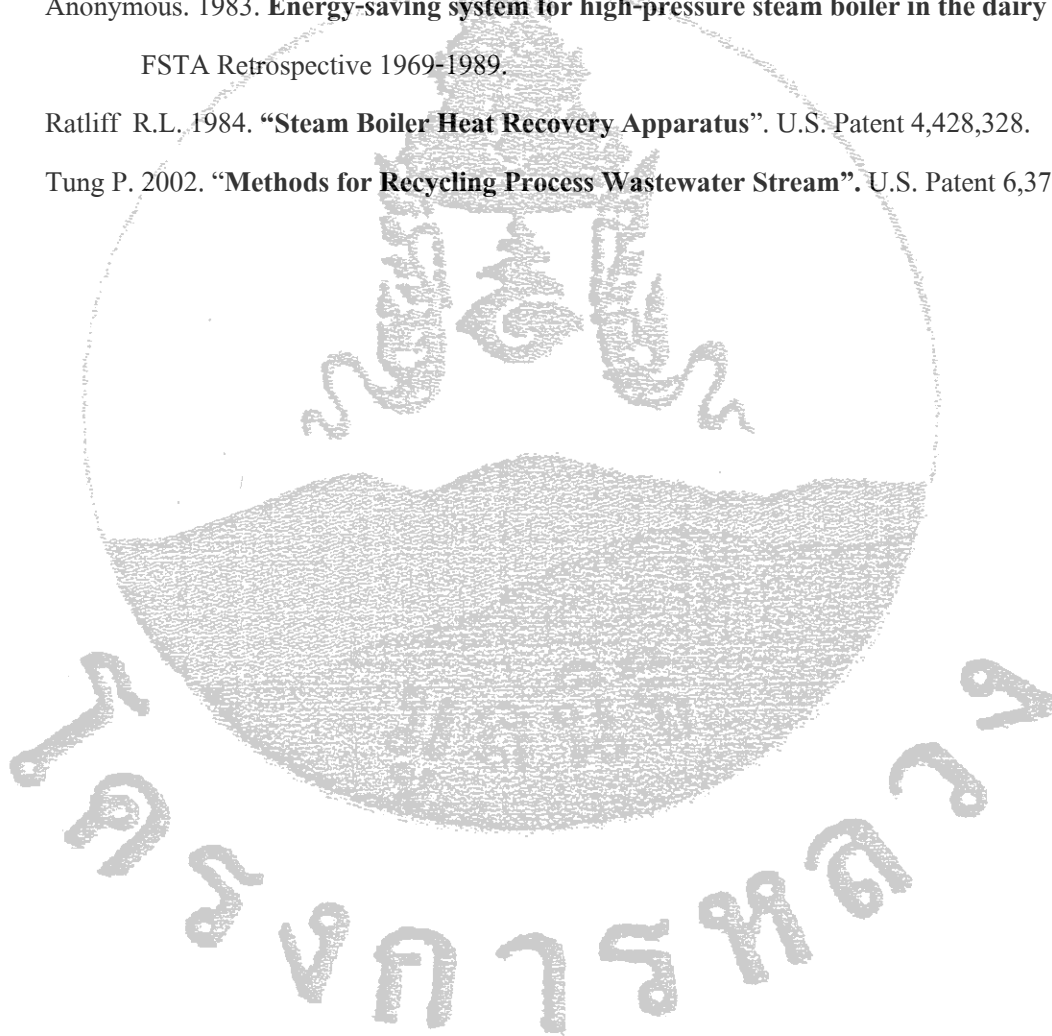
วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร์. 2550. “กระทรวงพลังงาน เปิดสวนพลังงานแสงอาทิตย์ เพิ่มศักยภาพ
การเรียนรู้พลังงานทดแทนไทย.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaipr.net>.
(20 กรกฎาคม 2551).

อัมพร พรพิพัฒน์กุล. 2527. “แนวทางการประหยัดพลังงานโดยการผลิตและการใช้ไอน้ำอย่างมี
ประสิทธิภาพ”. โครงการวิจัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

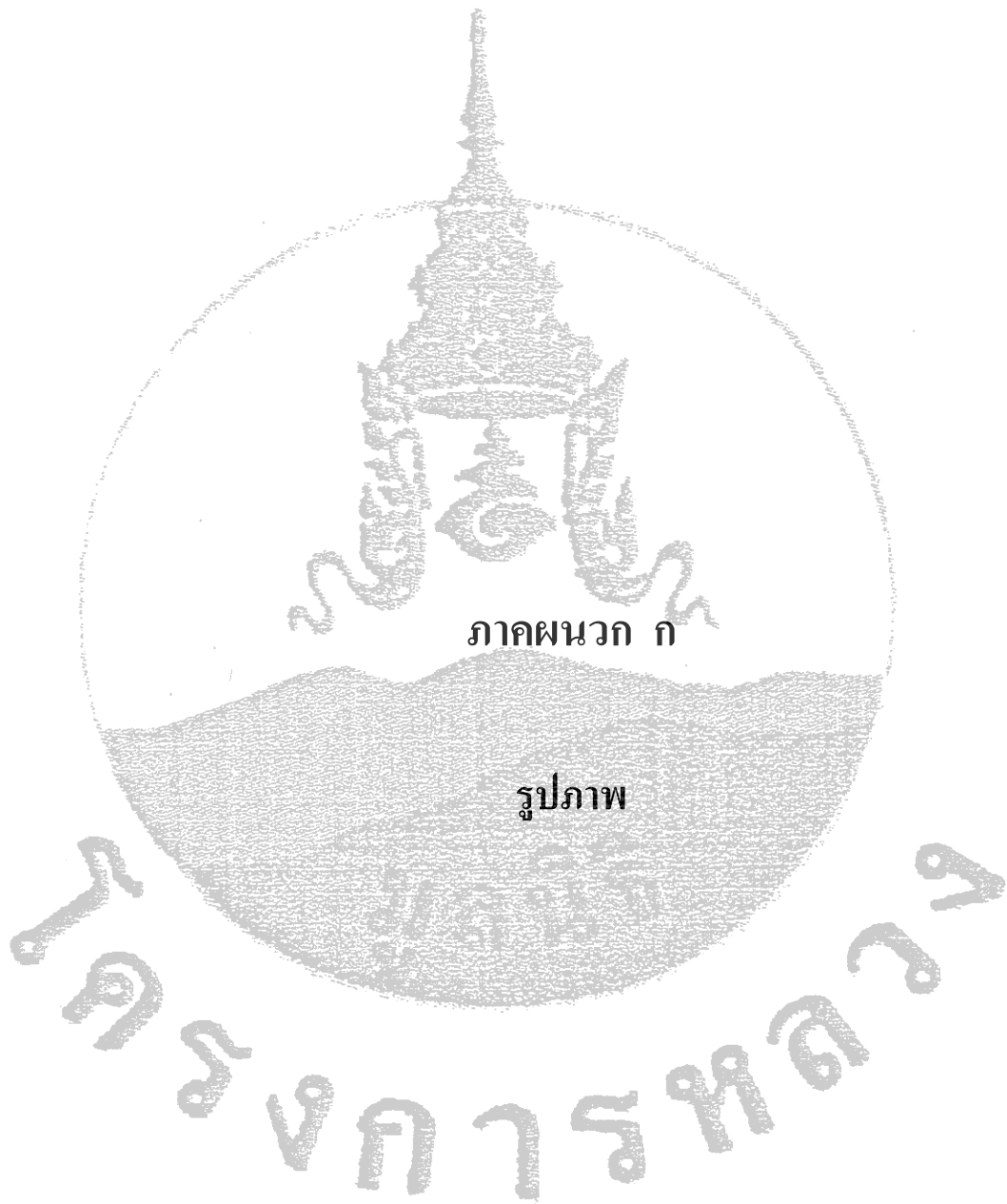
Anonymous. 1983. **Energy-saving system for high-pressure steam boiler in the dairy factory.**
FSTA Retrospective 1969-1989.

Ratliff R.L. 1984. “**Steam Boiler Heat Recovery Apparatus**”. U.S. Patent 4,428,328.

Tung P. 2002. “**Methods for Recycling Process Wastewater Stream**”. U.S. Patent 6,371,058.







ภาพการดำเนินการติดตั้งระบบรับพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ ก1 การสร้างฐาน แผง Solar collector



ภาพที่ ก2 การสร้างฐาน แผง Solar collector



ภาพที่ ก3 การติดตั้งฐาน แผง Solar collector



ภาพที่ ก4 การประกอบแผง Solar collector



ภาพที่ ก5 การเดินท่อ ไปยังแผง Solar collector



ภาพที่ ก6 การติดตั้งปั๊มและระบบป้อนน้ำ



ภาพที่ ก7 การติดตั้งปั๊มและระบบป้อนน้ำ

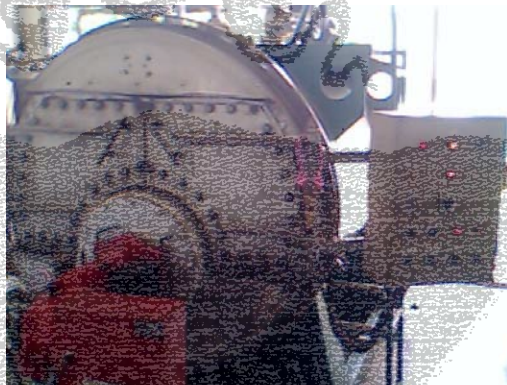


ภาพที่ ก8 แผง Solar collector

ภาพอุปกรณ์และเครื่องมือวัด



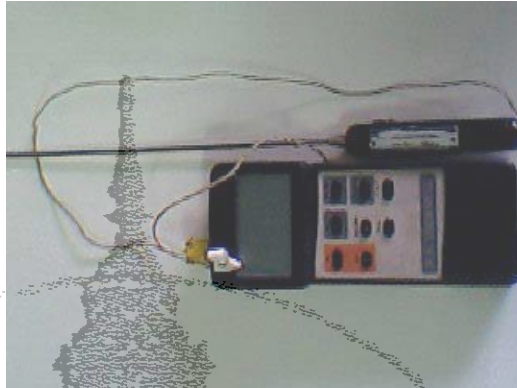
ภาพที่ ก9 เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Solar Integrator) โดยวัดรังสีแสงอาทิตย์รวม
หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ ก10 เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ขนาด 0.75 ตัน



ภาพที่ ก11 หัว Burner oil preheater ยี่ห้อ Olympia



ภาพที่ ก12 เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K มีช่วงการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -270 ถึง 1,372 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ก13 มาตรวัดปริมาณการไหลของน้ำ โดยหน่วยวัดปริมาตรน้ำหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร



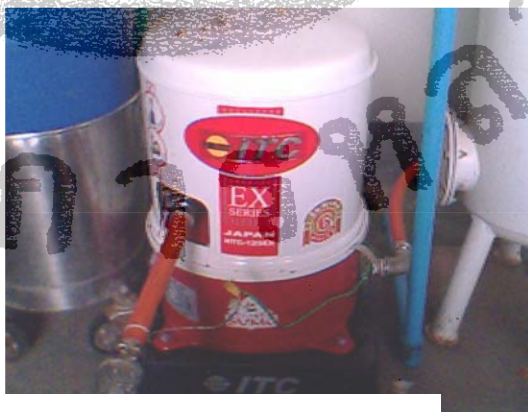
ภาพที่ ก14 มาตรวัดปริมาณการไหลของน้ำมัน โดยหน่วยวัดปริมาตรน้ำมันหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ ก15 เครื่องวัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ Data logger



ภาพที่ ก16 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของบริษัท TSUS International ,co.ltd
ขนาด 1,000 ลิตร



ภาพที่ ก17 ป้อนน้ำเข้าสู่แผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



ประจำเดือน ตุลาคม 2550

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิดเวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
3	10801	10893	92	8:45	17:00	120206	121027	821	8.15
4	10893	10993	100	9:50	17:00	121554	122113	559	7.10
5	10993	11035	42	9:50	16:30	123096	123334	238	6.40
7	11035	11083	48	9:50	17:00	123370	123718	348	7.10
8	11083	11162	79	8:25	15:30	124102	124657	555	7.05
9	11162	11241	79	8:15	16:50	124720	125580	860	8.35
10	11241	11350	109	8:30	17:10	125606	126324	718	8.40
11	11350	11410	60	10:00	17:30	126544	127073	529	7.30
12	11410	11486	76	8:40	15:45	127123	127772	649	7.05
14	11486	11589	103	8:35	16:45	127802	128301	499	8.15
15	11589	11664	75	8:50	17:00	128676	129506	830	6.10
16	11664	11752	88	8:40	17:00	130096	130774	678	6.20
17	11752	11839	87	8:40	16:30	130827	131617	790	5.50
18	11839	11897	58	10:00	17:00	131617	132103	486	7.00
19	11897	11975	78	8:10	16:50	132165	132850	685	8.40
21	11975	12040	65	9:00	16:30	132901	133124	223	7.30
22	12040	12090	50	8:00	15:00	133241	133450	209	7.00
23	12090	12134	44	9:30	17:00	133574	133832	258	7.30
24	12134	12184	50	9:00	16:30	133832	134126	294	7.30
25	12184	12250	66	8:50	16:30	134182	134564	382	7.40
26	12250	12310	60	8:10	16:50	134623	134901	278	8.40
28	12310	12369	59	8:45	16:30	135230	135632	402	7.45
29	12369	12414	45	9:30	17:00	135764	136075	311	7.30
30	12414	12457	43	10:10	17:00	136081	136313	232	6.50
31	12457	12502	45	9:00	16:30	136358	136521	163	7.30

ประจำเดือน พฤศจิกายน 2550

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
1	12502	12565	63	8:15	16:30	136626	137234	608	8.15
2	12565	12632	67	8:10	16:30	137255	137621	366	8.20
4	12632	12687	55	8:15	16:30	137654	138001	347	8.15
5	12687	12734	47	9:00	17:00	138195	138400	205	8.00
6	12734	12787	53	9:00	15:55	138492	138798	306	5.55
7	12787	12835.5	48.5	9:00	16:30	138895	139213	318	7.30
8	12835.5	12882	46.5	9:00	16:30	139204	139481	277	7.30
9	12882	12931	49	9:00	17:00	139509	139796	287	8.00
11	12931	12986	55	9:00	17:00	139835	140470	635	8.00
12	12986	13065	79	9:00	16:30	140534	140790	256	7.30
13	13065	13111	46	9:00	16:30	140801	141061	260	7.30
14	13111	13157	46	9:00	16:30	141077	141386	309	7.30
15	13157	13207	50	9:00	16:30	141421	141689	268	7.30
16	13207	13252	45	8:30	16:00	141704	141976	272	7.30
18	13252	13298	46	8:10	16:30	142004	142358	354	8.20
19	13298	13357	59	8:30	16:30	142401	142703	302	8.00
20	13357	13445	88	9:00	17:00	142789	143468	679	8.00
21	13445	13521	76	9:00	16:45	143504	144146	642	7.45
22	13521	13614	93	8:30	16:00	144295	145189	894	7.30
23	13614	13716	102	8:20	17:00	145264	146103	839	8.40
25	13716	13819	103	9:00	16:30	146345	147247	902	7.30
26	13819	13908	89	8:20	16:30	147247	148079	832	8.10
27	13908	14005.5	97.5	8:30	17:00	148127	148987	860	8.30
28	14005.5	14096	90.5	8:30	17:00	148999	149867	868	8.30
29	14096	14182	86	8:30	17:00	149871	150658	787	8.30
30	14182	14286	104	8:30	17:00	150692	151669	977	8.30

ประจำเดือน ธันวาคม 2550

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
1	14286	14365	79						
2	14365	14468.5	103.5	9:00	18:00	152320	153327	1007	9:00
3	14468.5	14582	113.5	8:30	18:30	153342	154283	941	10:00
4	14582	14659	77	9:00	17:30	154374	154991	617	8:30
5	14659	14741	82	9:00	17:00	154998	155657	659	8:00
6	14741	14824	83	9:00	17:00	155660	156327	667	8:00
7	14824	14937	113	9:00	18:00	156333	156707	374	9:00
8	14937	15041	104	9:00	18:00	156821	158137	1316	9:00
9	15041	15131	90	9:00	18:00	158286	159717	1431	9:00
10	15131	15244.5	113.5	9:00	18:00	159891	160524	633	9:00
11	15244.5	15355.5	111	9:00	18:00	160668	161589	921	9:00
12	15355.5	15467.5	112	9:00	18:00	161702	162658	956	9:00
13	15467.5	15577.5	110	9:00	18:00	162663	163588	925	9:00
14	15577.5	15642.5	65	9:00	16:30	163592	164165	573	7:30
15	15642.5	15725.5	83	9:00	16:30	164170	165016	846	7:30
16	15725.5	15807.5	82	9:00	16:30	165020	165834	814	7:30
17	15807.5	15914.5	107	9:00	16:30	165844	166575	731	7:30
18	15914.5	16012	97.5	9:00	16:30	166579	167414	835	7:30
19	16012	16098	86	9:00	16:30	167423	168232	809	7:30
20	16098	16168	70	9:00	16:30	168358	168895	537	7:30
21	16168	16261	93	9:00	16:30	168915	169811	896	7:30
25	16261	16365.5	104.5	8:30	16:30	169832	170639	807	8:00
26	16365.5	16410	44.5	8:30	16:30	170843	171207	364	8:00

ประจำเดือน มกราคม 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
3	16411	16529.5	118.5	8:30	19:30	170761	171612	851	11:00
4	16529.5	16589	59.5	9:00	19:30	171612	172051	439	10:30
6	16589	16652	63	9:00	19:00	172051	172284	233	10:00
7	16652	16755.5	103.5	9:00	19:00	172323	173310	987	10:00
8	16755.5	16867.5	112	9:00	18:00	173418	174418	1000	9:00
9	16867.5	16930	62.5	9:00	18:00	174523	174534	11	9:00
10	16930	17001	71	9:00	18:00	174681	175567	886	9:00
11	17001	17111.5	110.5	9:00	17:00	175616	176593	977	8:00
13	17111.5	17204	92.5	9:00	18:00	176607	177157	550	9:00
14	17204	17302	98	9:00	18:30	177202	177347	145	9:30
15	17302	17357	55	9:00	18:30	178158	178215	57	9:30
16	17357	17469	112	9:00	18:30	178563	178621	58	9:30
17	17469	17526.5	57.5	9:00	18:30	179688	179713	25	9:30
18	17526.5	17611	84.5	9:00	16:30	180138	180256	118	7:30
20	17611	17684.5	73.5	9:00	16:30	180827	181350	523	7:30
21	17684.5	17798.5	114	9:00	16:30	181350	182407	1057	7:30
22	17798.5	17835.5	37	9:00	16:30	182407	182648	241	7:30
23	17835.5	17943	107.5	9:00	16:30	182648	183703	1055	7:30
24	17943	18046	103	9:00	16:30	183703	184723	1020	7:30
25	18046	18124	78	9:00	16:30	184723	185694	971	7:30
27	18124	18229	105	9:00	16:30	185694	186710	1016	7:30
28	18229	18323	94	9:00	16:30	186710	187694	984	7:30
29	18323	18420.5	97.5	9:00	16:30	187694	188627	933	7:30
30	18420.5	18519.5	99	9:00	16:30	188627	189627	1000	7:30
31	18519.5	18573	53.5	9:00	16:30	189627	190202	575	7:30

ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
1	18573	18648	75	9:00	16:30	192905	202345	9440	7:30
2	18648	18754.5	106.5	9:00	16:30	202345	203727	1382	7:30
3	18754.5	18862	107.5	9:00	16:30	203727	205030	1303	7:30
4	18862	18946	84	9:00	17:45	205030	205817	787	8:45
5	18946	19035.5	89.5	9:00	17:45	205817	206740	923	8:45
6	19035.5	19122.5	87	9:00	17:45	206740	207826	1086	8:45
7	19122.5	19240.5	118	9:00	17:45	207826	209172	1346	8:45
8	19240.5	19314.5	74	9:00	17:45	209172	210011	839	8:45
9	19314.5	19372.5	58	9:00	17:45	210011	216142	531	8:45
10	19372.5	19475.5	103	9:00	17:45	216142	217274	1132	8:45
11	19475.5	19581.5	106	9:00	17:45	217321	218638	1317	8:45
12	19581.5	19676.9	95.4	9:00	17:45	218664	219670	1006	8:45
13	19676.9	19760	83.1	9:00	17:45	219670	220487	817	8:45
14	19760	19863.5	103.5	8:30	17:45	220487	221657	1170	9:15
15	19863.5	19965.5	102	8:30	17:45	221657	222616	959	9:15
16	19965.5	20057	91.5	8:30	17:45	222616	223550	934	9:15
17	20057	20171	114	8:30	17:45	223550	224741	1191	9:15
18	20171	20269.5	98.5	8:30	17:45	224741	225666	925	9:15
19	20269.5	20354.6	85.1	8:30	17:45	225670	226667	997	9:15
20	20354.6	20409	54.4	8:30	17:45	226667	227093	426	9:15
22	20409	20485.5	76.5	8:30	17:45	227097	227714	617	9:15
23	20485.5	20534	48.5	8:30	16:10	227723	228375	652	7:40
24	20534	20641.5	107.5	8:30	16:10	228368	229874	1506	7:40
25	20641.5	20719	77.5	8:30	16:10	229874	230522	648	7:40
26	20719	20822.5	103.5	8:30	17:00	230522	231707	1185	8:30
27	20822.5	20910.5	88	8:30	17:00	231732	232618	886	8:30

ประจำเดือน มีนาคม 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
1	21064	21124.5	60.5	8:30	16:30	234198	234729	531	8:00
3	21124.5	21232.5	108	8:20	17:25	234733	236033	1300	9:05
4	21232.5	21295.5	63	9:11	16:00	236040	236550	510	6:49
5	21295.5	21400	104.5	8:30	16:45	236562	238435	1873	8:15
6	21400	21445	45	9:40	16:15	238446	238840	394	6:35
7	21445	21565.5	120.5	8:30	16:15	238840	240175	1335	7:45
10	21565.5	21708	142.5	8:35	15:00	240255	241386	1131	6:25
11	21708	21884	176	8:35	18:15	241428	243805	2377	9:40
12	21884	21949	65	8:30	16:00	243805	244417	612	7:30
13	21949	22011	62	9:00	16:00	244417	245041	624	7:00
14	22011	22125	114	8:00	16:30	245041	246209	1168	8:30
16	22125	22182	57	8:00	16:30	246209	246748	539	8:30
17	22182	22241	59	8:00	16:30	246748	247457	709	8:30
19	22241	22357	116	8:30	16:27	247457	248466	1009	7:57
20	22357	22478.5	121.5	8:25	17:00	248466	249790	1324	8:35
21	22478.5	22550	71.5	8:25	14:25	249840	250633	793	6:00
23	22550	22596	46	8:30	14:30	250836	251020	184	6:00
24	22596	22666	70	8:30	15:45	251073	251599	526	7:15
25	22666	22760	94	8:15	16:15	251731	252581	850	8:00
26	22760	22860	100	8:30	16:00	252735	253690	955	7:30
27	22860	22941	81	8:30	16:20	253725	254475	750	7:50
28	22941	22991	50	9:00	14:30	254597	255017	420	5:30
30	22991	23087	96	8:20	15:30	255068	255956	888	7:10

ประจำเดือน เมษายน 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
1	23087	23202	115	8:20	16:00	256172	257177	1005	7:40
2	23202	23315	113	8:30	16:00	257185	258352	1167	7:30
3	23315	23416	101	8:30	16:00	258373	259452	1079	7:30
4	23416	23517	101	8:30	15:50	259494	260566	1072	7:20
6	23517	23578.5	61.5	9:20	16:00	260590	261008	418	6:40
7	23578.5	23643	64.5	8:50	16:00	261008	261638	630	7:10
16	23655.5	23709.5	54	8:20	14:00	266179	266437	258	5:40
17	23709.5	23819	109.5	8:50	16:00	266437	267658	1221	7:10
18	23819	23913	94	8:50	16:00	267648	268904	1256	7:10
20	23913	24002	89	8:30	16:00	268913	269624	711	7:30
21	24002	24055.5	53.5	9:20	16:00	269624	270124	500	6:40
22	24055.5	24156.5	101	8:40	16:30	270124	271474	1350	7:50
23	24156.5	24267	110.5	8:50	16:00	270124	272530	2406	7:10
24	24267	24373	106	8:30	16:00	272788	273738	950	7:30
25	24373	24470	97	8:30	16:30	273738	274861	1123	8:00
27	24470	24582	112	8:50	16:40	274861	275991	1130	7:50
28	24582	24686.5	104.5	9:00	16:00	276109	277100	991	7:00
29	24686.5	24789.5	103	9:10	16:30	277285	279246	1961	7:20

ประจำเดือน พฤษภาคม 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler								
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		ปริมาณ น้ำ(ลิตร)	ชั่วโมงการ ใช้งาน
5	24789.5	24892.0	102.5	8:12	16:30	278585	279219	634	8:18
6	24892.0	25007.5	115.5	8:45	16:30	279219	280525	1306	7:45
7	25007.5	25114.5	107.0	8:30	16:30	280553	281783	1230	8:00
8	25114.5	25226	111.5	8:30	17:30	281783	283013	1230	9:00
9	25226	25317.5	91.5	8:20	16:00	283013	284098	1085	7:40
10	25317.5	25387	69.5	8:30	16:00	284098	284658	560	7:30
12	25387	25502	115	8:30	16:00	284658	285692	1034	7:30
13	25502	25589	87	8:30	17:30	285692	286827	1135	9:00
14	25589	25656	67	9:30	17:00	285692	287529	1837	7:30
15	25656	25712	56	8:30	16:30	287529	288355	826	8:00
16	25712	25772	60	8:30	16:55	288355	288744	389	8:25
17	25772	25840.5	68.5	8:30	17:00	288744	289705	961	8:30
20	25840.5	25969	128.5	8:30	16:30	289705	290505	800	8:00
21	25969	26071	102	8:30	16:30	290505	291627	1122	8:00
22	26071	26130	59	8:30	16:30	291627	292075	448	8:00
23	26130	26228	98	8:30	16:30	292075	293301	1226	8:00
25	26228	26338.5	110.5	8:30	16:30	293301	294405	1104	8:00
26	26338.5	26445	106.5	8:30	16:30	294405	295677	1272	8:00
27	26445	26509	64	9:00	17:00	295677	296211	534	8:00
28	26509	26573	64	9:30	17:00	296211	296759	548	7:30
29	26573	26683	110	9:30	17:00	296759	298002	1243	7:30
30	26683	26761	78	8:30	16:00	298002	298861	859	7:30

ประจำเดือน มิถุนายน 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler									พลังงาน แสงอาทิตย์ วัดต่อ ตาราง เมตร
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ใช้ (หน่วย)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		น้ำใช้/ วัน	ชั่วโมง การใช้ งาน	
1	26761	26865	104	8:30	17:00	298936	299892	956	8:30	343.12
2	26865	26947.5	82.5	8:30	17:00	299892	301184	1292	8:30	212.58
3	26947.5	27025	77.5	8:30	17:00	301184	302105	921	8:30	282.56
4	27025	27133	108	8:30	18:00	302105	303265	1160	9:30	313.10
5	27133	27241.0	108.0	8:20	18:00	303265	304485	1220	9:40	321.74
6	27241	27345	104.0	8:20	18:00	304485	305537	1052	9:40	312.58
8	27345	27450.5	105.5	8:00	18:00	305537	306425	888	10:00	273.65
9	27450.5	27555	104.5	8:00	17:00	306425	307594	1169	9:00	395.53
10	27555	27640.5	85.5	8:00	17:00	307594	308510	916	9:00	305.61
11	27640.5	27691	50.5	8:00	18:00	307594	308883	1289	10:00	351.69
12	27691	27785	94	8:30	17:00	308883	309889	1006	8:30	412.04
13	27785	27841.5	56.5	8:30	17:00	309889	310331	442	8:30	295.26
15	27841.5	27911	69.5	8:30	17:00	310331	310872	541	8:30	268.75
16	27911	27977	66	8:30	18:00	310872	311545	673	9:30	342.44
17	27977	28082.5	105.5	8:30	17:00	311545	312573	1028	8:30	210.86
18	28082.5	28177	94.5	8:30	17:00	312573	313551	978	8:30	128.60
19	28177	28281	104	8:30	17:00	313551	314671	1120	8:30	284.23
20	28281	28375.5	94.5	8:30	17:00	314671	315710	1039	8:30	223.24
21	28375.5	28452.5	77	8:30	17:00	315710	316514	804	8:30	336.49
22	28452.5	28552	99.5	8:30	17:30	316514	317570	1056	9:00	275.00
23	28552	28649	97	8:30	17:00	317570	318542	972	8:30	186.89
24	28649	28746.5	97.5	8:30	17:30	318542	319635	1093	9:00	261.94
25	28746.5	28867	120.5	8:30	17:30	319635	320951	1316	9:00	310.54
26	28867	28975.5	108.5	8:30	17:00	320951	322116	1165	8:30	363.84
27	28975.5	29050	74.5	8:30	17:00	322116	322787	671	8:30	404.84
28	29050	29130	80	8:30	17:00	322787	323642	855	8:30	359.03
29	29130	29213	83	8:30	17:30	323642	324477	835	9:00	280.64
30	29213	29296	83	8:30	17:00	324477	325334	857	8:30	339.00

ประจำเดือน กรกฎาคม 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ น้ำมัน และน้ำ ใน Boiler									พลังงาน แสงอาทิตย์ วัดต่อ ตาราง เมตร
	มาตรวัด ปริมาณน้ำมัน		ใช้ (หน่วย)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาณน้ำ		น้ำใช้/ วัน	ชั่วโมง การใช้ งาน	
1	29296	29404.5	108.5	8:30	18:00	325334	326041	707	9:30	364.29
2	29404.5	29495	90.5	8:30	18:00	326041	326476	435	9:30	339.77
3	29495	29617	122	8:30	18:00	326476	327460	984	9:30	184.45
4	29617	29675	58	8:30	17:00	327460	328763	1303	8:30	313.10
5	29675	29728.0	53	8:30	17:00	328763	329593	830	8:30	319.21
6	29728	29832	104	8:30	18:30	329593	331340	1747	10:00	258.37
7	29832	29906	74	8:30	18:00	331340	331875	535	9:30	330.39
8	29906	30005	99	8:30	18:45	331875	332856	981	10:15	286.95
9	30005	30123.5	118.5	8:30	18:00	332856	334114	1258	9:30	427.02
10	30123.5	30219.5	96	8:30	18:00	334114	335154	1040	9:30	305.61
11	30219.5	30274	54.5	8:30	16:45	335154	335652	498	8:15	351.69
12	30274	30347.5	73.5	8:30	17:00	335652	336379	727	8:30	412.04
13	30347.5	30452.5	105	8:30	18:00	336379	337525	1146	9:30	295.26
14	30452.5	30525	72.5	8:30	18:00	337525	338219	694	9:30	250.67
15	30525	30622	97	8:30	18:00	338219	339317	1098	9:30	268.75
16	30622	30739	117	8:30	18:00	339317	340329	1012	9:30	342.44

ประจำเดือน กรกฎาคม 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ แก๊ส และน้ำ ใน Boiler									พลังงาน แสงอาทิตย์
	มาตรวัด ปริมาตรแก๊ส		ใช้ (หน่วย)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาตรน้ำ		น้ำใช้/ วัน	ชั่วโมง การใช้ งาน	วัดต่อ ตาราง เมตร
19	18.159	41.855	23.696	8:30	17:00	341097	342059	962	8:30	284.23
20	41.855	65.331	23.476	8:15	17:00	342059	343117	1058	8:45	223.24
21	65.331	93.568	28.237	8:15	16:45	343117	344251	1134	8:30	336.49
22	93.568	122.448	28.88	8:15	17:00	344251	345513	1262	8:45	275.00
23	122.448	147.636	25.188	8:15	17:00	345513	346501	988	8:45	186.00
24	147.636	173.023	25.387	8:15	16:30	346501	347448	947	8:15	261.94
25	173.023	195.534	22.511	9:00	17:00	347448	348438	990	8:00	310.54
26	195.534	213.52	17.986	9:00	16:00	348438	349137	699	7:00	363.84
27	213.52	239.028	25.508	8:15	17:15	349137	350330	1193	9:00	404.84
28	239.028	264.456	25.428	9:00	18:00	350330	351597	1267	9:00	359.03
29	264.456	300.918	36.462	8:00	18:00	351597	352767	1170	10:00	280.64
30	300.918	320.394	19.476	9:45	18:00	352767	353405	638	8:15	339.00
31	320.394	347.235	26.841	8:30	17:00	353405	354817	1412	8:30	331.41

ประจำเดือน สิงหาคม 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ แก๊ส และน้ำ ใน Boiler									พลังงาน แสงอาทิตย์
	มาตรวัด ปริมาตรแก๊ส		ใช้ (หน่วย)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาตรน้ำ		น้ำใช้/ วัน	ชั่วโมง การใช้ งาน	วัดต่อ ตาราง เมตร
1	347.235	361.985	14.75	9:30	16:00	354817	355498	681	6:30	288.94
2	361.985	376.87	14.885	9:15	17:15	355498	356101	603	8:00	338.02
3	376.87	413.979	37.109	8:15	16:00	356101	357307	1206	7:45	359.39
4	413.979	436.457	22.478	10:00	16:30	357307	358090	783	6:30	305.06
5	436.457	454.728	18.271	8:30	15:30	358090	358761	671	7:00	155.75
6	454.728	484.691	29.963	8:30	16:30	358761	359567	806	8:00	298.99
7	484.691	515.464	30.773	9:00	16:30	359567	360521	954	7:30	240.43
8	515.464	544.388	28.924	9:00	16:30	360521	361514	993	7:30	135.20
9	544.388	562.429	18.041	9:30	15:30	361514	362025	511	6:00	153.66
10	562.429	583.811	21.382	9:15	17:00	362025	362610	585	7:45	196.08
11	583.811	610.925	27.114	8:30	16:30	362610	363540	930	8:00	129.48
12	610.925	626.35	15.425	9:00	14:50	363540	363846	306	5:50	205.00
13	626.35	647.19	20.84	9:30	16:00	363846	364450	604	6:30	108.94
14	647.19	683.984	36.794	8:30	16:30	364450	365706	1256	8:00	240.78
15	683.984	706.785	22.801	9:30	15:30	365706	366398	692	6:00	284.33
16	706.785	733.823	27.038	9:00	16:00	366398	367227	829	7:00	294.23
17	733.823	753.654	19.831	9:30	16:00	367227	367735	508	6:30	256.81
18	753.654	789.336	35.682	8:30	16:30	367735	368945	1210	8:00	264.25
19	789.336	812.77	23.434	9:00	16:15	368945	369590	645	7:15	420.38
20	812.77	850.498	37.728	9:00	16:30	369590	370735	1145	7:30	291.79
21	850.498	881.739	31.241	8:15	17:00	370735	371737	1002	8:45	253.42
22	881.739	900.225	18.486	10:00	17:00	371737	372246	509	7:00	308.15
23	900.225	919.134	18.909	10:00	17:00	372246	372785	539	7:00	414.46
24	919.134	942.317	23.183	8:14	16:00	372785	373537	752	7:46	303.06
25	942.317	965.610	23.293	9:30	16:30	373537	374175	638	7:00	241.45

ประจำเดือน สิงหาคม 2551

วันที่	ปริมาณการใช้ แก๊ส และน้ำ ใน Boiler								พลังงาน แสงอาทิตย์	
	มาตรวัด ปริมาตรแก๊ส		ใช้ (หน่วย)	เริ่ม เวลา	ปิด เวลา	มาตรวัด ปริมาตรน้ำ		น้ำใช้/ วัน	ชั่วโมง การใช้ งาน	วัดต่อ ตาราง เมตร
26	965.610	988.158	22.548	9:30	16:00	374175	375006	831	6:30	270.00
27	988.158	1018.139	29.981	9:00	16:00	375006	375901	895	7:00	203.21
28	1018.139	1051.335	33.196	8:30	17:30	375901	376923	1022	9:00	421.80
29	1051.335	1067.956	16.621	9:25	16:30	376923	377482	559	7:05	-
30	1067.956	1081.824	13.868	9:15	17:15	377482	377931	449	8:00	-
31	1081.824	1114.478	32.654	8:15	15:30	377931	378909	978	7:15	-



ตาราง ที่ ๑ ตารางไอน้ำ

ภาคผนวก 1 ตารางไอน้ำ (IS UNITS)*

เอนทัลปีปริมาณจำเพาะ					
ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (°C)	น้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)	การระเหย (กิโลจูล/กิโลกรัม)	ไอน้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)	ไอน้ำ (ม ³ /กิโลกรัม)
Bsatute					
0.30	69.10	289.23	2,336.1	2,625.3	5.229
0.50	81.33	340.49	2,305.4	2,645.9	3.240
0.75	91.78	384.39	2,278.6	2,663.0	2.217
0.95	98.20	411.43	2,261.8	2,673.2	1.777
Gauge					
0	100.00	419.04	2,257.0	2,676.0	1.673
0.10	102.66	430.2	2,250.2	2,680.4	4.533
0.20	105.10	440.8	2,243.4	2,684.2	1.414
0.30	107.39	450.4	2,237.2	2,687.6	1.312
0.40	109.55	459.7	2,231.3	2,691.6	1.225
0.50	111.61	468.3	2,225.6	2,63.9	1.149
0.60	113.56	476.4	2,220.4	2,696.8	1.083
0.70	115.40	484.1	2,215.4	2,699.5	1.024
0.80	117.14	491.6	2,210.5	2,702.1	0.971
0.90	118.80	498.9	2,205.6	2,704.5	0.923
1.00	120.42	505.6	2,201.1	2,706.7	0.881
1.10	121.96	512.2	2,197.0	2,709.2	0.841
1.20	123.46	518.7	2,192.8	2,711.5	0.806
1.30	124.90	524.6	2,188.7	2,713.3	9.773
1.40	126.62	530.5	2,184.8	2,715.3	0.743
1.50	127.62	536.1	2,181.0	2,717.1	0.714
1.60	128.89	541.6	2,177.3	2,718.9	0.689
1.70	130.13	547.1	2,173.7	2,720.8	0.665
1.80	131.37	552.3	2,170.1	2,722.4	0.643
1.90	132.54	557.3	2,166.7	2,724.0	0.622
2.00	133.69	562.2	2,163.3	2,725.5	0.603
2.20	135.88	571.7	2,156.9	2,728.6	0.568
2.40	138.01	580.7	2,150.7	2,731.4	0536
2.60	140.00	589.2	2,144.7	2,733.9	0.509
2.80	141.92	597.4	2,139.0	2,736.4	0.483
3.00	143.75	605.3	2,133.4	2,738.7	0.461

3.20	145.46	612.9	2,128.1	2,741.0	0.440
3.40	147.20	620.0	2,122.9	2,742.9	0.422
3.60	148.84	527.1	2,2117.8	2,744.9	0.405
3.80	150.44	634.0	2,112.9	2,746.9	0.389
4.00	151.96	640.7	2,108.1	2,748.8	0.374
4.50	155.55	656.3	2,698.7	2,753.0	0.342
5.00	158.29	670.9	2,086.0	2,756.9	0.315
5.50	162.08	684.6	2,075.7	2,769.3	0.292
6.00	165.04	697.5	2,066.0	2,763.5	0.272
6.00	165.04	697.5	2,066.8	2,763.5	0.272
6.50	167.83	709.7	2,056.8	2,766.5	0.255
7.00	170.50	721.4	2,047.7	2,769.1	0.240
7.50	173.02	735.5	2,039.2	2,771.7	0.227
8.00	175.43	743.1	2,030.9	2,774.0	0.215
8.50	177.75	753.3	2,022.9	2,776.2	0.204
9.00	179.97	763.0	2,015.1	2,778.1	0.194
9.50	182.10	772.5	2,007.5	2,780.0	0.185
10.00	184.43	781.6	2,000.1	2,781.7	0.177
10.50	186.05	790.1	1,993.0	2,783.3	0.171
11.00	188.02	798.8	1,986.0	2,784.8	0.163
11.50	189.82	807.1	1,979.1	2,786.3	0.157
12.00	191.68	815.1	1,972.5	2,787.6	0.151
12.50	193.43	822.9	1,965.4	2,788.8	0.148
13.00	195.10	830.4	1,959.5	2,790.0	0.141
13.50	196.62	837.9	1,953.2	2,791.1	0.136
14.00	198.35	845.1	1,947.1	2,792.2	0.132

หมายเหตุ เป็นการทำให้เป็นหน่วยเมตริกของตารางไอน้ำ ข้อกำหนดเดิมของระบบอังกฤษของ
ความร้อนสัมผัสปัจจุบันหมายถึง เอนทัลปีจำเพาะของน้ำ ความร้อนแฝงปัจจุบันหมายถึงเอนทัลปี
จำเพาะของการระเหย และความร้อนทั้งหมดหมายถึงเอนทัลปีจำเพาะของไอน้ำ

ตาราง ที่ ๒ ตารางไอน้ำ

ตารางไอน้ำ (IMPERIAL UNITS)*

ความดัน	อุณหภูมิ (°C)	ความร้อนสัมผัส (บีทียู/ปอนด์)	ความร้อนแฝง (บีทียู/ปอนด์)	ความร้อนทั้งหมด (บีทียู/ปอนด์)	เอนทัลปี ปริมิตของ (ฟุต³/ปอนด์)
น้ำสุญญากาศ					
15	179	147	991	1,138	51.41
10	192	160	983	1,143	39.41
5	203	171	976	1,147	31.80
0	212	180	971	1,151	26.80
ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (เกจ)					
1	215	183	969	1,152	22.20
3	221	190	964	1,154	22.50
5	227	196	961	1,156	20.10
7	232	201	958	1,158	18.49
9	237	206	954	1,160	17.00
11	241	210	951	1,162	15.90
13	246	214	949	1,163	15.10
15	250	218	946	1,164	13.90
17	253	222	943	1,165	12.30
19	257	226	941	1,167	12.30
21	260	229	939	1,169	11.10
23	264	233	937	1,169	11.10
25	267	236	935	1,170	10.60
27	270	239	932	1,171	10.30
29	273	242	931	1,172	9.70
31	275	244	929	1,173	9.30
33	278	247	927	1,174	8.90
35	281	250	925	1,175	8.60
37	283	252	923	1,175	8.25
39	286	255	921	1,176	7.95
41	288	257	920	1,177	7.70
43	290	260	918	1,177	7.44
45	292	262	916	1,178	7.21
47	295	264	915	1,179	6.99
49	297	266	913	1,179	6.78
51	299	268	912	1,180	6.60

53	300	270	910	1,181	6.40
55	303	272	909	1,181	6.23
60	308	278	905	1,183	5.84
65	312	282	902	1,184	5.50
70	316	287	898	1,185	5.19
75	320	290	896	1,186	4.91
80	324	295	892	1,187	4.67
85	327	298	890	1,188	4.45
90	331	302	887	1,189	4.24
95	335	305	884	1,189	4.06
100	338	309	882	1,190	3.89
105	341	312	879	1,191	3.74
110	344	316	876	1,192	3.59
115	347	319	874	1,194	3.46
120	350	322	872	1,193	3.34
125	353	325	869	1,194	3.23
130	356	328	867	1,195	3.12
135	358	330	865	1,195	3.02
140	361	333	862	1,196	2.93
145	363	336	860	1,196	2.84
150	366	339	858	1,197	2.76
155	368	341	856	1,197	2.68
160	371	344	854	1,198	2.61
165	373	346	852	1,198	2.54
170	375	348	850	1,198	2.47
175	377	351	848	1,199	2.41
180	380	353	846	1,199	2.35
185	382	355	844	1,199	2.29
190	384	358	842	1,200	2.24
195	386	360	840	1,200	2.19
200	388	362	838	1,200	2.14



งบประมาณค่าใช้จ่ายแยกตามหมวดเงิน	ต.ค. - ธ.ค. พ.ศ. 2550		ม.ค. - ก.ย. พ.ศ. 2551		งบประมาณ ตลอด โครงการ
	ค่าใช้จ่าย	ผลรวม	ค่าใช้จ่าย	ผลรวม	357,720
1. หมวดค่าจ้างชั่วคราว		24,500		73,500	98,000
1.1 ค่าจ้างผู้วิจัย	24,500		73,500		
2. หมวดค่าตอบแทน		3,000		9,000	12,000
2.1 ค่าล่วงเวลาเหมาจ่าย (1,000 x 1 x 12)	3,000		9,000		
3. หมวดค่าวัสดุและวัสดุ		5,000		25,000	30,000
3.1 ค่าเดินทาง	-		-		
3.2 ค่าเช่าเล่มเย็บปก	-		700		
3.3 ค่าวัสดุอุปกรณ์	5,000		23,800		
3.3 ค่าหมึกพิมพ์, อุปกรณ์เก็บข้อมูล	-		200		
3.4 ค่าวัสดุสำนักงาน			300		
4. หมวดค่าสาธารณูปโภค		900		4,700	5,600
4.1 ค่าน้ำ, ค่าไฟ, ค่าติดต่อสื่อสาร	900		4,700		
5. หมวดค่าครุภัณฑ์		55,000		169,200	224,200
5.1 ค่าวัสดุอุปกรณ์ของระบบ	55,000		169,200		-
6. หมวดค่าใช้จ่ายอื่นๆ		-		-	-
รวมงบประมาณทั้งสิ้น		88,400		281,400	369,800