ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติก

THERMAL PERFORMANCE OF THERMOPLASTIC SOLAR COLLECTOR

ธวัชชัย มีแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติก

ธวัชชัย มีแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติก
	Thermal Performance of Thermoplastic Solar Collector
ชื่อ-นามสกุล	นายธวัชชัย มีแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)

....ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย กันยาวุธ, Ph.D.)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สรพงษ์ ภวสุปรีย์, Ph.D.)

....เป็นกรรมการและที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมหมาย ผิวสอาด, Ph.D.)
วันที่.....เดือน..ตุลาคม..พ.ศ...2556…

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติก
ชื่อ – นามสกุล	นายธวัชชัย มีแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

ปัจจุบันวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากโพลิเมอร์มีประโยชน์อย่างมาก และมีความเป็นไปได้ที่จะทดแทนวัสดุดูดซับความร้อนแบบเดิมเนื่องจากมีสมบัติทางกลและกายภาพที่ดี น้ำหนักเบา ราคาต้นทุนต่ำ และไม่เป็นสนิม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนจากเทอร์โมพลาสติก เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้ผลิตเป็นแผงทำน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำ

การศึกษานี้ใช้วัสดุดูดซับจากเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ โพลิไวนิลคลอไรด์ โพลิบิวทิลีน โพลิโพรพิลีน โพลิไวนิลคลอไรด์คอมโพสิต (PVC-C) และโนริล โดยวัสดุมีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.19-0.28 W/m.K. ในขั้นต้นได้พัฒนาชิ้นงานและคำนวณการไหลของน้ำด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม และนำมาขึ้นรูปโดยกระบวนการอัดรีดเป็นแผ่นเรียบ ประกอบเป็นแผงดูดซับความร้อนขนาดพื้นที่รับแสง 2 m^2 โดยปราศจากแผ่นปิดด้านบน น้ำถูกปั๊มเข้าแผงดูดซับด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ที่ 0.02 kg/s ทำการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น.ทุกวัน ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77

ผลจากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าแผงที่มีความหนา 5 mm มีช่องทางน้ำไหล 6 ช่องและแต่ละช่องห่างกัน 1.5 mm สามารถทำน้ำร้อนได้สูงสุด 58.4 $^{\circ}$C ผลจากการทดสอบจริงของวัสดุทั้ง 5 ชนิดพบว่า PVC-C สามารถทำน้ำร้อนได้สูงสุด 49.4 $^{\circ}$C และมีค่า η ร้อยละ 50.6 ตามลำดับ ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจากแผง (ΔT) อยู่ที่ 16 $^{\circ}$C มีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับโนริลที่ใช้ทำแผงทางการค้า (ΔT=13 $^{\circ}$C และ η ร้อยละ 40.5) เมื่อนำแผงดูดซับชนิด PVC-C ไปติดตั้งเสริมกับเครื่องล้างจานเพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิน้ำเข้า พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้ไฟฟ้า 3,488 บาทต่อปี เมื่อพิจารณาด้านการลงทุนในการติดตั้งแผงน้ำร้อนจากเทอร์โมพลาสติก ค่าใช้จ่ายทั้งหมด 3,303 บาทต่อแผง ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคิดเป็น 1.9 ปี โดยมีอายุการใช้งานประมาณ 8 ปี

คำสำคัญ: แผงดูดซับความร้อน เทอร์โมพลาสติก ประสิทธิภาพเชิงความร้อน การนำความร้อน

Thesis Title	Thermal Performance of Thermoplastic Solar Collector
Name – Surname	Mr. Thawatchai Meekaew
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Warunee Ariyawiriyanan, D.Eng.
Acaddemic Year	2013

ABSTRACT

Recently, polymeric solar collector have found to be very useful and possible to use in place of conventional collector due to their good mechanical and physical properties, lightweight, low cost and better corrosion resistance. This work investigates a thermal performance of thermoplastic collector whether they are suitable for producing a low temperature hot water panel.

Polymeric materials used in this work were polyvinyl chloride, polybutylene, polyproplylene, polyvinyl chloride composite (PVC-C) and Noryl. Thermal conductivities of these polymers are 0.19-0.28 W/m.K. The flow distribution of water in channel of the designed solar collector were firstly examined using a commercial simulation software in order to obtained suitable structure. Then, the flat plate panels prepared by extrusion were assembled to solar panels with an aperture area of 2 m^2 without cover. Water was pumped through channels of the solar collector with a flow rate of 0.02 kg/s. The thermal efficiency (η) of the solar collector was estimated using the inlet and outlet temperature of water (ΔT). The water temperatures were recorded everyday from 09.00-16.00 hr. in accordance with the ASHRAE 93-77 standard.

According to the flow simulation results, the panel having 5 mm thickness, water flow 6 channels and 1.5 mm channel width could provide hot water with the highest temperature of 58.4^{o}C. Among the five polymers used, the collector prepared from the PVC-C gave the highest outlet water temperature of 49.4^{o}C with the η of 50.6%. The different temperature of ΔT was 16^{o}C which was better than that of a commercial collector prepared from Noryl (ΔT=13^{o}C and η of 40.5%). When the PVC-C collector was employed as a water pre-heater and connected to a disc washing machine, the electricity consumption was reduced with the cost of 3,488 baht/yr. Considering in term of an economic, an investment of the PVC-C collector was about 3,303 baht/panel with relatively short payback period of 1.9 years while an estimated life time of the PVC-C collector was about 8 years.

Keywords: solar collector, thermoplastics, thermal efficiency, thermal conductivity

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภวสุปรีย์ กรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กันยาวุธ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้ข้อเสนอแนะต่างๆในวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์และโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ให้ใช้ในการทำการทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความร่วมมือ อดทนในการดำเนินกิจกรรมวิจัยร่วมกันจนได้ความสมบูรณ์ของงาน ขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนะ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีนี้ทั้งหมดให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณะครู-อาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ และเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ขาดข้อบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ธวัชชัย มีแก้ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... (4)
กิตติกรรมประกาศ ..... (5)
สารบัญ ..... (6)
สารบัญรูป ..... (9)
สารบัญตาราง ..... (14)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... (15)
บทที่ 1 บทนำ 16
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 16
1.2 วัตถุประสงค์ 17
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา 18
1.4 ขอบเขตของการศึกษา 19
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 20
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
2.1 รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก 21
2.2 การถ่ายเทความร้อน 24
2.3 การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 28
2.4 ชนิดของเทอร์โมพลาสติก 41
2.5 การดึงรีด 46
2.6 การฉีดพลาสติก 50
2.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ 52
2.8 การทดสอบสมบัติทางความร้อน 54
2.9 เทคโนโลยีด้าน CAD/CAM/CAE 55
2.10 การทดสอบสมบัติทางกล 58
2.11 การทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม 65
2.12 การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ .. 67
2.13 รูปแบบการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน 70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 71
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 77
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 77
3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบและการขึ้นรูปชิ้นงานแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 78
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ 81
3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน 82
3.5 การใช้โปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011 83
3.6 การทดสอบสมบัติทางกล 84
3.7 การทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม 91
3.8 การติดตั้งอุปกรณ์และการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 91
3.9 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 92
3.10 การใช้งานจริงของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 94
3.11 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน 96
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล 97
4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ 98
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน 100
4.3 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 101
4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกล 115
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน 120
4.6 ผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 129
4.7 ผลการทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม 130
4.8 การใช้งานจริงของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 133
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 135
5.1 สรุปผลการวิจัย 135

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 ข้อเสนอแนะ 136

รายการอ้างอิง........ 137

ภาคผนวก........ 142

ภาคผนวก ก ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาและรังสีรวมแสงของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุชนิดต่างๆ........ 143

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบการบ่มเร่งสภาวะ (Accelerated Weathering Tester, QUV)........ 219

ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด........ 234

ภาคผนวก ง ข้อมูลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน........ 258

ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์........ 261

ประวัติผู้เขียน........ 295

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 การใช้แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) 16
รูปที่ 2.1 สเปคตรัมรังสีอาทิตย์........ 22
รูปที่ 2.2 ไพรานอมิเตอร์ 23
รูปที่ 2.3 ตัวกักเก็บความร้อน 29
รูปที่ 2.4 ตัวกักเก็บความร้อนแบบแผ่นเรียบ........ 30
รูปที่ 2.5 ตัวกักเก็บความร้อนแบบท่อสุญญากาศ........ 31
รูปที่ 2.6 ตัวกักเก็บความร้อนแบบความร้อนรวมศูนย์ 32
รูปที่ 2.7 ระบบแอคทีฟแบบเปิด 33
รูปที่ 2.8 ระบบแอคทีฟแบบปิด 34
รูปที่ 2.9 เครื่องทำน้ำร้อนแบบถาด 35
รูปที่ 2.10 ระบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน 36
รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์........ 37
รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างของโพลิไวนิลคลอไรด์ 41
รูปที่ 2.13 สูตรโครงสร้างของโพลิโพรพิลีน........ 43
รูปที่ 2.14 สูตรโครงสร้างของโพลิบิวทิลีน 44
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของโพลิเฟนีลีนออกไซด์........ 45
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบหลักของเครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยว 47
รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ประกอบของการดึงรีดท่อและโพรไฟล์ 50
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก........ 51
รูปที่ 2.19 เครื่องทดสอบความหนาแน่น 52
รูปที่ 2.20 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC 55
รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง........ 60
รูปที่ 2.22 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก........ 61
รูปที่ 2.23 หลักการทดสอบความทนแรงดัดงอ 62
รูปที่ 2.24 การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด........ 63
รูปที่ 2.25 เครื่องทดสอบความแข็งร็อกเวลล์........ 65

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับความยาวคลื่น ของแสงแดดที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในช่วงเวลาเที่ยงวัน 66
รูปที่ 2.27 ภาคตัดขวางของเครื่องเร่งสภาวะแวดล้อมแสดงการให้ความชื้นสัมผัสกับชิ้นทดสอบ 66
รูปที่ 2.28 เครื่องทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม 67
รูปที่ 2.29 กราฟที่ได้จากการพล็อตกราฟประสิทธิภาพเชิงความร้อน 69
รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ 78
รูปที่ 3.2 เครื่องดึงรีดชิ้นงานพลาสติก 79
รูปที่ 3.3 ชิ้นงานดึงรีดจากวัสดุพลาสติก 79
รูปที่ 3.4 เครื่องฉีดชิ้นงานพลาสติก 80
รูปที่ 3.5 ชิ้นงานข้อต่อพลาสติก 81
รูปที่ 3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำ 82
รูปที่ 3.7 ชิ้นงานรูปดัมเบลแบบเอวแคบ 84
รูปที่ 3.8 การวัดขนาดชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงดึง 85
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง 85
รูปที่ 3.10 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง 86
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก 87
รูปที่ 3.12 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก 88
รูปที่ 3.13 การวางชิ้นทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก 88
รูปที่ 3.14 การทดสอบความทนการดัดงอ 89
รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบค่าความแข็งที่ผิว 90
รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม 91
รูปที่ 3.17 การทดสอบแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุ PVC-C1 92
รูปที่ 3.18 กราฟที่ได้จากการพล็อตกราฟ 94
รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล 95
รูปที่ 4.1 ปิรามิดวัสดุของพลาสติก 97
รูปที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 98

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 ค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด.............. 99

รูปที่ 4.4 เทอร์โมแกรมของวัสดุ PP-R.............. 100

รูปที่ 4.5 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร และความสูง 15 มิลลิเมตร เปลี่ยนความหนาผนังจาก 0.5-5 มิลลิเมตร.............. 102

รูปที่ 4.6 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนความหนาผนังจาก 1-5 มิลลิเมตร.............. 103

รูปที่ 4.7 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนความหนาผนังจาก 0.5-5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนระยะห่างช่องจาก 0.5-5 มิลลิเมตร.............. 104

รูปที่ 4.8 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาขอบด้านล่าง 0.5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบนจาก 1-9 มิลลิเมตร.............. 105

รูปที่ 4.9 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาผนังขอบด้านล่าง 1 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบนจาก 1-9 มิลลิเมตร.............. 106

รูปที่ 4.10 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาผนังขอบด้านล่าง 1.5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบนจาก 1-9 มิลลิเมตร.............. 107

รูปที่ 4.11 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง.............. 108

รูปที่ 4.12 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 0.5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง.............. 109

รูปที่ 4.13 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 1 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง.............. 110

รูปที่ 4.14 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง.............. 111

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 2 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง 112

รูปที่ 4.16 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 3 mm ความหนาผนัง 5 mm และความสูง 12 mm และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง 113

รูปที่ 4.17 อุณหภูมิน้ำออกของแผงทำจากวัสดุ PVC-C1 ลักษณะต่างๆ 114

รูปที่ 4.18 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 115

รูปที่ 4.19 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 116

รูปที่ 4.20 ค่าโมดูลัสของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 117

รูปที่ 4.21 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 118

รูปที่ 4.22 ค่าความทนการดัดงอของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 119

รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 120

รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) 121

รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC 122

รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PB (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) 122

รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PB 123

รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PP-R (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) 123

รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PP-R 124

รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) 124

รูปที่ 4.31 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC-C 125

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})........ 125

รูปที่ 4.33 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC-C1........ 126

รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ Noryl (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})........ 126

รูปที่ 4.35 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ Noryl........ 127

รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ........ 127

รูปที่ 4.37 ความต้านทานต่อแรงดึงกับระยะเวลาการเริ่มบ่มเร่งสภาวะ ของวัสดุ PVC-C และ Noryl........ 131

รูปที่ 4.38 การยืดตัว ณ จุดขาด กับระยะเวลาการเริ่มบ่มเร่งสภาวะ ของวัสดุ PVC-C และ Noryl........ 131

รูปที่ 4.39 โมดูลัส กับระยะเวลาการเริ่มบ่มเร่งสภาวะ ของวัสดุ PVC-C และ Noryl........ 132

รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})........ 133

รูปที่ 4.41 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC-C1........ 134

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในระดับต่างๆ 23

ตารางที่ 2.2 ค่าการนำความร้อนของโลหะ อโลหะ ของเหลว และแก๊สบางชนิด 25

ตารางที่ 2.3 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย 27

ตารางที่ 2.4 ช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ 38

ตารางที่ 2.5 แผนภาพและลักษณะของตัวเก็บรังสีแบบต่างๆ 39

ตารางที่ 2.6 ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการในภาคอุตสาหกรรมที่สามารถนำรังสีอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ 40

ตารางที่ 2.7 การดูดซึมน้ำของพลาสติกทั่วไป 53

ตารางที่ 2.8 สูตรการคำนวณการทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด 63

ตารางที่ 2.9 ตัวแปรที่ใช้ทดสอบและเงื่อนไขในการทดสอบ 68

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ป้อนใส่โปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011 83

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ของวัสดุเทอร์โมพลาสติก แต่ละชนิด 100

ตารางที่ 4.2 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความชันของวัสดุพลาสติกแต่ละชนิด 128

ตารางที่ 4.3 ค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด 129

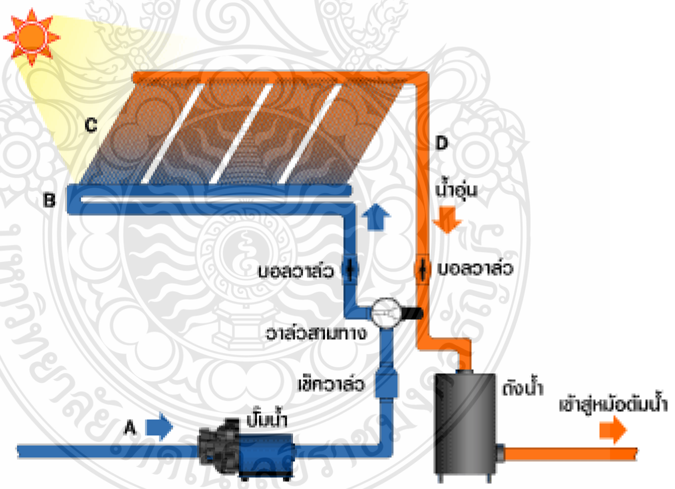
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

^{o}C	หน่วยองศาเซลเซียส
μm	หน่วยไมโครเมตรหรือไมครอน
g/cm^3	หน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
J/m	หน่วยจูลต่อเมตร
K	หน่วยองศาเคลวิน
kg/s	หน่วยกิโลกรัมต่อวินาที
m	หน่วยเมตร
mm	หน่วยมิลลิเมตร
m^2	หน่วยตารางเมตร
MPa	หน่วยเมกะปาสคาล
$MJ/m^2/Day$	หน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน
Noryl	Polyphenylene Oxide / Polystyrene
PB	Polybutylene
PP-R	Polypropylene Random Copolymer
PVC	Polyvinyl Chloride
PVC-C	Polyvinyl Chloride-Carbon Black
W/m.K	หน่วยวัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน
W/m^2	หน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติ สะอาดปราศจากการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ดังนั้นหากมนุษย์สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นประโยชน์ต่อการใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์มีสองด้านหลักๆ คือ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมีสองชนิด คือ การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า (Solar Cell) และการใช้ระบบรวมแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า (Concentrating Solar Power) สำหรับการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เทคโนโลยีที่นำมาใช้ ได้แก่ การใช้แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) สำหรับผลิตน้ำร้อนเพื่อนำไปใช้ในการอุปโภค และบริโภค ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การใช้แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) [1]

โดยทั่วไปพื้นฐานของระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้ คือตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เปลี่ยนเป็นความร้อนถ่ายโอนให้กับสารตัวกลาง เช่น น้ำ อากาศ ของไหลชนิดอื่นๆ ที่ไหลผ่านท่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อนำไปใช้

ประโยชน์ต่างๆ ในกระบวนการทางความร้อนทันที หรือส่งไปยังถังเก็บสะสมความร้อน ในกรณีที่โหลดความร้อนไม่คงที่ หรือสำรองความร้อนเพื่อใช้ในช่วงที่ไม่มีรังสีอาทิตย์

ปัจจุบันมีการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศทางแถบยุโรป รวมทั้งประเทศจีน แผงรับแสงอาทิตย์ดังกล่าวทำจากวัสดุท่อทองแดง แต่สำหรับในประเทศไทยการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีการใช้งานไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากมีราคาแพง ต้องการการติดตั้งจากช่างผู้เชี่ยวชาญและการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่าย ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีและส่งเสริมให้มีการใช้งานแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการพัฒนาแผงรับแสงอาทิตย์ ที่มีราคาต่ำ สำหรับการใช้งานในการผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำ การเลือกใช้วัสดุดูดซับที่ทำจากพลาสติกส่งผลให้แผงรับแสงอาทิตย์มีราคาถูกลง โดยสามารถปรับปรุงสมบัติต่างๆได้ ขึ้นรูปได้ง่าย เป็นการช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยลดการขาดดุลการค้ากับต่างประเทศ ที่จะต้องนำเข้าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อีกทั้งยังใช้ทดแทนแผงน้ำร้อนที่ผลิตจากท่อทองแดงซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง

จากเทคโนโลยีที่ทันสมัย ส่งผลให้มีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ เช่น การตลาด การลงทุน รวมถึงการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ นอกจากจะต้องมีกระบวนการผลิตและเครื่องมือที่ทันสมัย จำเป็นต้องอาศัยการออกแบบที่ดี ในอดีตการออกแบบและเขียนแบบพัฒนามาจากการเขียนแบบด้วยมือจนมาถึงการใช้งานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการออกแบบและเขียนแบบ ซึ่งนับเป็นการพัฒนาที่ส่งผลให้การออกแบบ และเขียนแบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆมากมาย สำหรับคำนวณพลศาสตร์ของไหล สามารถช่วยวิเคราะห์ทั้งกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) และพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) ซึ่งเมื่อเขียนแบบแล้วมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น สามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้มีการนำโปรแกรมเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์การไหลและพัฒนาแผงรับแสงอาทิตย์ โดยนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับการทดลองภาคสนามเพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติกใช้เป็นวัสดุทดแทนการใช้ท่อทองแดง ให้สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส ต่อขนาดพื้นที่รับแสงประมาณ 2 ตารางเมตร ซึ่งทำการศึกษาดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อพัฒนาลักษณะแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อดูลักษณะอุณหภูมิการไหลของของเหลวในแผงดูดซับความร้อน

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.4 เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ของวัสดุแต่ละชนิดโดยปราศจากแผ่นปิดด้านบน ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77

1.2.5 เพื่อศึกษาค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ของแผงดูดซับความร้อนจากเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

1.2.6 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของชิ้นงาน หลังบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมตามมาตรฐาน ASTM G 154 เพื่อดูอายุการใช้งานของเทอร์โมพลาสติกที่จะนำมาผลิตแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [2] ได้ศึกษาอัตราการไหลของน้ำในการนำไปใช้กับแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในงานวิจัยได้เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการไหลของน้ำจาก 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.04 กิโลกรัมต่อวินาที พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที จะให้ค่าอุณหภูมิน้ำออกที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเมื่อให้อัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 0.04 กิโลกรัมต่อวินาที อุณหภูมิน้ำออกที่ได้จะต่ำลงแต่ถ้าให้อัตราการไหลเท่ากับ 0.01 กิโลกรัมต่อวินาที อุณหภูมิน้ำออกที่ได้จะสูงกว่าที่อัตราการไหล 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที เล็กน้อย แต่ในการใช้งานจริงอัตราการไหลที่ลดลงจะส่งผลต่อปริมาตรน้ำร้อนที่ผลิตได้ก็ลดลงตามไปด้วย ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพของอุณหภูมิที่จะนำไปใช้ในการผลิตแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และการศึกษาขนาดของพื้นที่รับแสง [3] โดยแผงต้นแบบมีความยาว 48.2 เมตร ในงานวิจัยได้เปรียบเทียบขนาดของแผงที่มีความยาว 10, 20, 30 และ 40 เมตร พบว่าที่ขนาดพื้นที่รับแสง 40 เมตร จะให้ค่าประสิทธิภาพของอุณหภูมิน้ำออกที่สูงที่สุด แต่เมื่อเพิ่มความยาวมากกว่า 40 เมตร ค่าประสิทธิภาพของอุณหภูมิน้ำออกเริ่มคงที่ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของพื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้นค่าประสิทธิภาพของอุณหภูมิน้ำออกก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จากทฤษฎีทางการรับความร้อน [4] ของแผงดูดซับแสงอาทิตย์จะแปรผันตามการดูดซับค่าการนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด ปัจจุบันวัสดุโพลิเมอร์ กำลังมีการพัฒนาให้เป็นวัสดุชนิดใหม่เพื่อใช้ทำแผงดูดซับความร้อน เนื่องจากราคาถูก ผลิตในปริมาณมากๆได้ แต่วัสดุ

ดังกล่าวมีค่าการนำความร้อนต่ำ ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการดูดซับความร้อนและการอ่อนตัวขณะใช้งาน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวการพัฒนาชิ้นงานโดยใช้การดึงรีด (Extrusion) เป็นแผงที่มีลักษณะเป็นแผ่นพื้นเรียบและภายในประกอบด้วยช่องเล็กๆจะช่วยในการกระจายความร้อนจากแสงอาทิตย์จากด้านบนสู่ด้านล่างและผ่านไปยังตัวกลางที่เป็นน้ำโดยการนำความร้อน (Conduction) ผ่านช่องระหว่างแผ่นภายในมีขนาดตั้งแต่ มิลลิเมตรจนถึงเซนติเมตร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการพัฒนาแผงที่เหมาะสมก่อนจะทำการขึ้นรูปจริง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และลดค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกที่มีราคาแพงได้ ดังนั้นแนวทางในการคัดเลือกวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ต้องคำนึงถึงความสามารถทนอุณหภูมิในช่วง 50-120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้วัสดุยังมีราคาถูก น้ำหนักเบา และไม่เป็นสนิม เพื่อนำมาผลิตเป็นแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติกมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1.4.1 การศึกษานี้จะใช้วัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติก มี 5 ชนิด ดังนี้

1) โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC)

2) โพลิบิวทิลีน (Polybutylene, PB)

3) โพลิโพรพิลีน (Polypropylene Random Copolymer, PP-R)

4) โพลิไวนิลคลอไรด์คอมโพสิต (Polyvinyl Chloride-Composite, PVC-C)

5) โนริล (Polyphenylene Oxide/Polystyrene, Noryl)

1.4.2 สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาคือ การทดสอบค่าความหนาแน่น (เทคนิคชั่งน้ำ-ชั่งด้วยอากาศ) ตามมาตรฐาน ASTM D 792 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D 570-98

1.4.3 สมบัติทางความร้อนที่ศึกษาคือ อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature, T_m) และอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

1.4.4 วิเคราะห์การพัฒนาของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และคำนวณลักษณะการไหล จากการ Simulation ด้วยโปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011

1.4.5 สมบัติทางกลที่ศึกษาคือ การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact Tester) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 การทดสอบความทนการดัดงอ (Flexural Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D 790 และการทดสอบค่าความแข็งที่ผิว (Rockwell Hardness Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D 785

1.4.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากการเก็บข้อมูลจากเครื่องบันทึกอัตโนมัติ Data Logger โดยอ้างตามมาตรฐานการทดสอบของ ASHRAE Standard 93-77

1.4.7 การทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม ตามมาตรฐาน ASTM G 154

1.4.8 การทดสอบภาคสนามของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทอร์โมพลาสติกในการมาผลิตแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.2 เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับใช้งานผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำได้

1.5.3 สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำน้ำร้อนและช่วยลดมลพิษจากการเผาไหม้

1.5.4 เพื่อไม่ให้สูญเสียทรัพยากรในการทำแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นมาจริง โดยใช้โปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011 มาจำลองแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.5 ทำให้ทราบอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงจากข้อมูลจริงในการนำมาวิเคราะห์ผล

1.5.6 ทำให้ทราบทิศทางการไหลของน้ำภายในแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก

รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก [5] ได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและผ่านการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศเป็นผลให้สเปคตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไป ซึ่งโมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละอองและเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย และสะท้อน

ประเภทของรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกมีดังนี้

1) รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลำแสงขนานจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

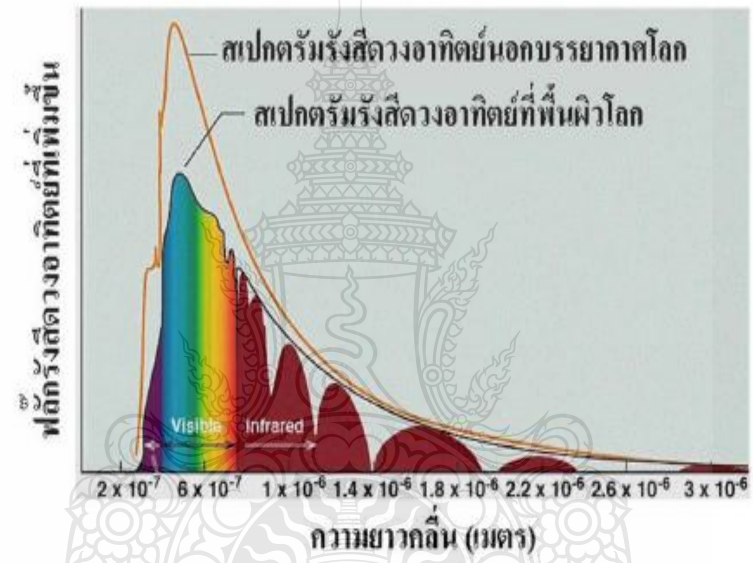
2) รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนและกระจาย โดยก๊าซและฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายมาจากทุกทิศทุกทางในท้องฟ้า จึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

3) รังสีรวม (Total or Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน 4 ไมโครเมตร) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลกและบรรยากาศ โดยกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและจากพื้นโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากส่วนที่สะท้อนกลับจากพื้นโลก ในกรณีนี้เรียกว่า Total Radiation แต่ในกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นแนวราบ รังสีรวมประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากครึ่งทรงกลม ท้องฟ้าไม่มีรังสีกระจายที่มาจากพื้นโลก เรียกรังสีรวมบนแนวราบว่า Global Radiation

การเปลี่ยนแปลงรังสีรวม รังสีตรงและรังสีกระจายในวันที่ฟ้ากระจ่างและวันที่ฟ้ามีเมฆ เนื่องจากปริมาณเมฆ ฝุ่นละออง และหมอกควันมีความแตกต่างกันตามฤดูกาล ดังนั้นปริมาณรังสีรวม รังสีกระจาย และรังสีตรงจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี สำหรับประเทศไทย ฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง แต่ฤดูฝนจะมีรังสีกระจายมากแต่รังสีรวมน้อย

2.1.1 สเปคตรัมรังสีอาทิตย์

รังสีอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงในรูปของสเปคตรัมความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ เพราะในชั้นบรรยากาศเกิดการดูดกลืน การกระจายแสง และสะท้อนแสง สเปคตรัมรังสีอาทิตย์ประกอบด้วย อัลตราไวโอเลตมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 380 นาโนเมตร แสงขาวหรือแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า มีความยาวคลื่น 380-700 นาโนเมตร และอินฟราเรดมีความยาวคลื่นมากกว่า 700 นาโนเมตร จากแสงสีขาวสามารถแยกเป็น 7 สีเรียงลำดับความยาวคลื่นจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสดและแดง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สเปคตรัมรังสีอาทิตย์ [5]

2.1.2 อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์

การวัดพลังงานแสงอาทิตย์มีวิธีการ โดยวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Irradiance) โดยที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ คือ ความเข้มของกำลังงานที่ได้จากรังสีอาทิตย์ชั่วขณะนั้นๆ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (kW/m^2) และจะเปลี่ยนแปลงตลอดวัน โดยที่เวลากลางคืนมีค่าเท่ากับศูนย์กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และจะมีค่ามากที่สุดคือ กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ขึ้นกับตำแหน่ง พื้นที่ และสภาพภูมิอากาศ สามารถทราบได้ทั้งรังสีรวมและรังสีตรงขึ้นอยู่กับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้วัด

อุปกรณ์สำหรับวัดพลังงานแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ได้แก่ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) โดยหลักการวัดกำลังของความร้อนซึ่งเกิดจากรังสีอาทิตย์ แต่แตกต่างกันตามประเภทของการวัดรังสีอาทิตย์ กล่าวคือ ไพรานอมิเตอร์สำหรับวัดรังสีรวมและรังสีกระจาย ดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 ไพรานอมิเตอร์

จากรายงานวิจัย [6] ด้านศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนรวมแสงในประเทศไทย โดยกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี พ.ศ.2549 พบว่าบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงในประเทศไทย อยู่บริเวณทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุดรธานี นอกจากนี้ยังมีบริเวณที่มีศักยภาพสูงในพื้นที่บางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยาและลพบุรี ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในระดับต่างๆ

ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ รายวันเฉลี่ยต่อปี ($MJ/m^2/Day$)	ร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับรังสีเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ
15-16	0.50
16-17	7.10
17-18	27.90
18-19	50.20
19-20	14.30

พบว่าจากตารางพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปี 19-20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศได้รับรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 18-19 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และมีพื้นที่เพียงร้อยละ 0.5 ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่า 16 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปี โดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน เกินครึ่งของพื้นที่ในประเทศไทยที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง

2.2 การถ่ายเทความร้อน

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) [7] มีกลไกการถ่ายเทความร้อน 3 แบบ ดังนี้

2.2.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุก้อนนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำซึ่งใช้ q_k เป็นสัญลักษณ์ จะเป็นสัดส่วนกับ dT/dx ซึ่งค่าความลาดชันของอุณหภูมิคูณกับพื้นที่ A ที่ความร้อนไหลผ่าน ดังสมการ 2.1

$$q_k \propto A \cdot \frac{dT}{dx} \tag{2.1}$$

เมื่อ q_k = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการนำความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเคลวิน)

A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (ตารางเมตร)

T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

x = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (เมตร)

สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนจริงนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity), k ซึ่งเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ของตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน อัตราการนำความร้อนมีค่าดังสมการ 2.2

$$q_k = -kA \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

สมการมีชื่อเรียกว่า กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's Law of Conduction) เครื่องหมายลบที่อยู่ทางด้านขวามือของสมการเป็นผลที่เนื่องมาจากกฎข้อสองของเทอร์โมไดนามิก ซึ่งกำหนดว่า ความร้อนจะต้องไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากความลาดชันของอุณหภูมินั้นมีเครื่องหมายเป็นลบ เพราะอุณหภูมิจะลดน้อยลงเมื่อระยะทาง x เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ถ้าต้องการให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเป็นบวกเมื่อไหลไปในทิศทางที่เป็นบวก ต้องเติมเครื่องหมายลบไว้ทางด้านขวาของสมการ 2.2 โดยพื้นที่ A จะมีหน่วยเป็น ตารางเมตร ส่วนค่าการนำความร้อน k จะมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน

การนำความร้อนของวัตถุได้มาจากการวัดและการทดสอบซึ่งค่านี้จะแปรค่าไปตามอุณหภูมิ แต่การใช้งานจะใช้ค่าการนำความร้อนคงที่ที่หาจากอุณหภูมิเฉลี่ย ดังตารางที่ 2.2 เป็นตัวอย่างค่าการนำความร้อนของโลหะ อโลหะ ของเหลว และแก๊สบางชนิด

ตารางที่ 2.2 ค่าการนำความร้อนของโลหะ อโลหะ ของเหลว และแก๊สบางชนิด

ชนิดของวัสดุ	ค่าการนำความร้อนที่ 300 K (W/m.K)
ทองแดง	386
อะลูมิเนียม	204
เหล็กคาร์บอน	54
แก้ว	0.75
พลาสติก	0.2-0.3
น้ำ	0.6
เอทิลไกลคอล (Ethyl Glycol)	0.2
น้ำมันเครื่อง	0.15
ฟรีออนเหลว	0.07
ไฮโดรเจน	0.18
อากาศ	0.026

2.2.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)
2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection)

แรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนไหวของการพาความร้อนแบบอิสระเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในก้อนของไหล เนื่องมาจากการที่ของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจนทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างการพาความร้อนแบบอิสระนี้ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้านที่เกิดขึ้นในวันที่ไม่มีลมพัด การพาความร้อนในกาต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อน หรือถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวเก็บความร้อนที่ได้มาจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่ไม่มีลมพัด การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับ ให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านวัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เนื่องจากของไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นถ้าหากความแตกต่างของอุณหภูมิมีขนาดเท่ากัน การพาความร้อนแบบบังคับก็จะมีอัตราการพาความร้อนที่สูงกว่า แต่ทั้ง 2 แบบมีสมการในการหาอัตราการพาความร้อนที่อยู่ในรูปของ กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton’s Law of Cooling) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$q_c = \bar{h}_c A\left(T_s - T_{f,\infty}\right) \tag{2.3}$$

เมื่อ $\bar{h}_c$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (Average Convective Heat Transfer Coefficient) ที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ หรือหนึ่งหน่วยการนำจากการพาความร้อน (Unit Thermal Convective Conductance) (วัตต์ต่อเมตรต่ออง ศาเคลวิน)

A = พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (ตารางเมตร)

T_s = อุณหภูมิของวัตถุ (เคลวิน)

$T_{f,\infty}$ = อุณหภูมิของของไหลอิสระที่อยู่ห่างออกไปจากผิววัตถุมากๆ (เคลวิน)

ค่า $\bar{h}_c$ หาได้โดยวิธีวิเคราะห์และทดลอง หน่วยของ $\bar{h}_c$ ในระบบเอสไอเป็น วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน ดังตารางที่ 2.3 เป็นค่าโดยประมาณของ $\bar{h}_c$ รวมทั้งค่า $\bar{h}_c$ จากการเดือดและการกลั่นตัวของไอน้ำ

ตารางที่ 2.3 ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย

ประเภทของการพาความร้อนและชนิดของของไหล	$\bar{h}_c$ W/m.K
การพาความร้อนแบบอิสระ, อากาศ	5-25
การพาความร้อนแบบอิสระ, น้ำ	20-100
การพาความร้อนแบบบังคับ, อากาศ	10-200
การพาความร้อนแบบบังคับ, น้ำ	50-10,000
น้ำที่กำลังเดือด	3,000-100,000
ไอของน้ำที่กำลังกลั่นตัว	5,000-100,000

2.2.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

ความร้อนจากการนำและการพาจะเคลื่อนที่ผ่านได้เฉพาะในกรณีที่มีวัตถุมาเป็นตัวกลาง (Medium) เท่านั้น สำหรับการพาความร้อนจากการแผ่รังสีสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้โดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง เช่น ในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ เป็นต้น พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาที พลังงานที่เคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายชนิด เช่น รังสีเอกซ์ รังสีอินฟาเรด

จำนวนพลังงานที่ส่งออกจากผิววัตถุในรูปรังสีความร้อน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์และลักษณะของผิว วัตถุที่สามารถแผ่รังสีได้สูงสุด หรือที่เรียกว่า วัตถุดำ (Black Body) จะมีอัตราการแผ่รังสีความร้อน ดังสมการ 2.4

$$q_r = \sigma A T^4 \qquad (2.4)$$

เมื่อ q_r = อัตราความร้อนจากการแผ่รังสี (วัตต์)

A = พื้นที่ผิวของตัวแผ่รังสีความร้อน (ตารางเมตร)

T = อุณหภูมิผิวของตัวแผ่รังสีความร้อน (เคลวิน)

σ = ค่าคงที่สตีฟาน-โบลทซ์มัน (Stefan-Boltzmann Constant) มีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-8} (วัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเคลวินกำลังสี่)

จากสมการ 2.4 อัตราความร้อนจากการแผ่รังสีของวัตถุดำจะแปรโดยตรงกับกำลังสี่ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ โดยที่อัตราการแผ่รังสีความร้อนไม่ขึ้นอยู่กับสภาพของสิ่งแวดล้อม ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิของการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น หรือมากกว่า 2 ชิ้นที่กำลังแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกัน ถ้าวัตถุดำแผ่รังสีความร้อนไปยังวัตถุที่อยู่รอบๆ และวัตถุที่อยู่รอบๆก็เป็นวัตถุดำ อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิจากการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ T_1 ไปยังวัตถุดำที่อยู่รอบๆ ซึ่งมีอุณหภูมิเป็น T_2 จะมีค่าดังสมการ

$$q_r = \sigma A_1 \left(T_1^4 - T_2^4 \right) \tag{2.5}$$

เมื่อ T_1 = อุณหภูมิผิวของวัตถุดำ (องศาเคลวิน)

T_2 = อุณหภูมิผิวของวัตถุที่อยู่รอบๆ (เป็นวัตถุดำด้วย) (องศาเคลวิน)

2.3 การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ในปัจจุบันมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานโดยตรงมากขึ้น มีการคิดประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของประสิทธิภาพและราคา ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย สำหรับในต่างประเทศการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในรูปของแสงสว่าง และความร้อนได้มีมานาน โดยเฉพาะการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้ความอบอุ่นและทำน้ำร้อนให้แก่ที่พักอาศัย โดยตัวกักเก็บความร้อน ซึ่งนอกจากจะเป็นอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน ยังเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

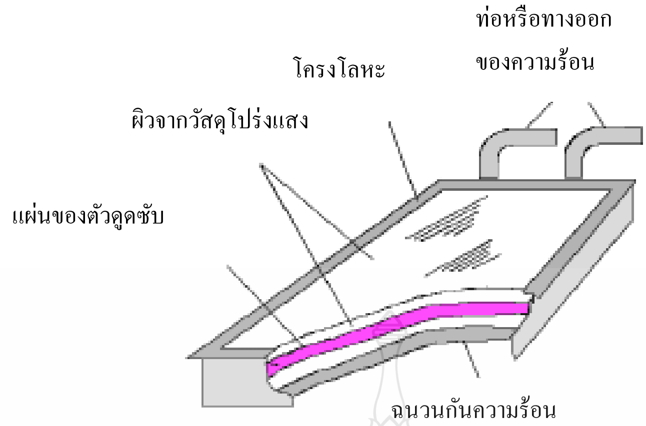
เครื่องทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการใช้รังสีจากดวงอาทิตย์ เพื่อผลิตเป็นความร้อนโดยมีส่วนประกอบสำคัญ คือมีตัวกักเก็บความร้อน ดังรูปที่ 2.3 ถังกักเก็บน้ำร้อน (Storage Tanks) โดยตัวกักเก็บความร้อนจะมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1. มีผนังโปร่งใส เป็นผิวด้านที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์

2. มีผิวสีดำหรือสีทึบด้านใน เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับความร้อน

3. มีการหุ้มฉนวน เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนที่ดูดซับไว้รั่วไหลออกจากเครื่อง

4. มีท่อหรือทางออกของความร้อน ซึ่งจะเป็นช่องทางนำความร้อนที่กักเก็บไว้ออกไปใช้งาน โดยผ่านตัวนำ เช่น น้ำ หรือของเหลวอื่นๆ



รูปที่ 2.3 ตัวกักเก็บความร้อน [8]

ผิวด้านที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ สามารถใช้วัสดุโปร่งใสในการทำผิวด้านที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ แต่โดยทั่วไป กระจกจะเป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากกระจกสามารถผลิตและหาซื้อได้ง่าย ในการทำเครื่องทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ควรเลือกกระจกที่มีความแข็งแรง ทนต่อการแตกร้าวและการขีดข่วน เมื่อแสงอาทิตย์ผ่านกระจก และตกกระทบผิวภายในเครื่องทำน้ำร้อน แสงอาทิตย์จะก่อให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งสมบัติเด่นของกระจก คือ ยอมให้แสงผ่านได้ง่ายแต่เป็นฉนวนความร้อนที่ดี ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องทำน้ำร้อนจะถูกกักเก็บไว้

ตัวดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องทำน้ำร้อน จะถูกดูดซับไว้โดยวัตถุภายในเครื่อง ไม่ว่าวัตถุนั้นจะเป็นแผ่นโลหะ ถังเก็บน้ำ ท่อน้ำ ก้อนอิฐ หรือก้อนหิน ซึ่งวัตถุเหล่านี้ (อาจเรียกรวมๆว่ามวลกักเก็บความร้อน) ควรทาสีดำหรือสีทึบ เนื่องจากวัตถุสีดำหรือสีทึบจะมีความสามารถในการดูดความร้อนสูง เช่น รถยนต์ที่มีเบาะนั่งสีดำ เมื่อจอดทิ้งไว้กลางแดดโดยไม่เปิดกระจก พลังงานจากแสงอาทิตย์จะผ่านกระจกเข้ามาในรถและความร้อนจะถูกดูดซับไว้โดยเบาะนั่งสีดำ หากมีคนเข้าไปนั่งจะพบว่า เบาะนั่งจะร้อนมาก ซึ่งหากเบาะนั่งมีสีอ่อนๆ เช่น สีเหลืองหรือสีขาว แสงอาทิตย์จะถูกสะท้อนออกไป ทำให้เบาะนั่งจะร้อนน้อยกว่าเบาะนั่งสีดำ แสดงให้เห็นว่า สีดำหรือสีทึบมีการดูดซับความร้อนได้ดี วัตถุที่เป็นตัวดูดซับ มีความจำเป็นมากในการทำน้ำร้อนด้วยพลังแสงอาทิตย์ เนื่องจากหากปราศจากตัวดูดซับ จะทำให้ระบบการทำความร้อนไม่สามารถผลิตความร้อนมาให้เพียงพอต่อการทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิตามที่ต้องการได้

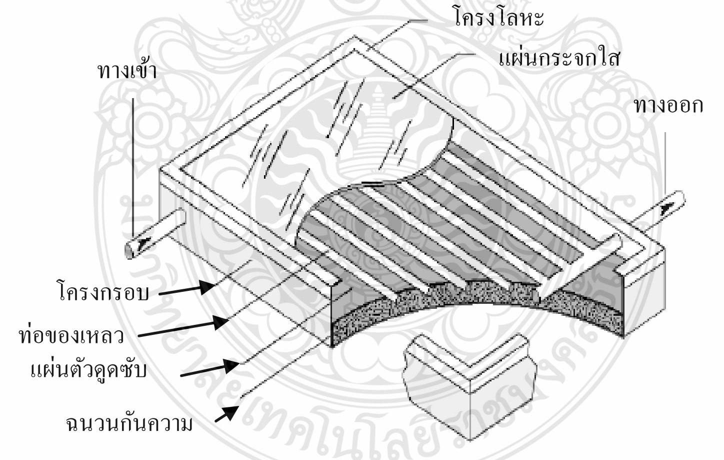
ฉนวนกันความร้อน โดยธรรมชาติของความร้อนจะมีการเคลื่อนที่จากที่ร้อนไปยังที่ที่เย็นกว่า หรือที่เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน ฉนวนกันความร้อนจะเป็นสิ่งป้องกันความร้อนรั่วไหล หรือ

เป็นการชะลอการรั่วไหลของความร้อน เนื่องจากฉนวนกันความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ป้องกันไม่ให้ความร้อนภายในเครื่องทำน้ำร้อนรั่วไหลออกมาภายนอก ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า และฉนวนกันความร้อนเป็นอุปกรณ์สำคัญในเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทุกๆรูปแบบ

ท่อหรือทางออกของความร้อน เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกใสเข้ามาในเครื่องทำน้ำร้อน โดยมีตัวดูดซับความร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อน และมีฉนวนกันความร้อน ในการป้องกันความร้อนรั่วไหล นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนไปยังที่ที่ต้องการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ในการปรับอากาศต้องมีช่องลม ท่อลม และพัดลมในการที่จะนำอากาศที่ได้รับการปรับอุณหภูมิแล้ว ไปยังส่วนต่างๆของอาคาร ในการนำน้ำร้อนไปใช้งานก็ต้องมีท่อน้ำ ปั๊มน้ำ และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆที่ใช้ในการนำน้ำร้อนไปยังถังเก็บหรืออุปกรณ์ที่ต้องการใช้ความร้อนจากน้ำร้อน

2.3.2 ประเภทของตัวกักเก็บความร้อน

2.3.2.1 ตัวกักเก็บความร้อนแยกเป็น 3 ประเภท คือ แบบแผ่นเรียบ (Flat-Plate Collector) แบบท่อสุญญากาศ (Evacuated-Tube Collector) และแบบความร้อนรวมศูนย์ (Concentrating Collector)



รูปที่ 2.4 ตัวกักเก็บความร้อนแบบแผ่นเรียบ [8]

ตัวกักเก็บความร้อนแบบแผ่นเรียบ เป็นแบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ซึ่งจะมีลักษณะเป็นกล่องที่หุ้มฉนวนไว้ ภายในบรรจุตัวดูดซับ ซึ่งจะเป็นแผ่นที่มีสีทึบหรือสีดำ และมีผนังโปร่งแสงหรือโปร่งใส เพื่อใช้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.4

2.3.2.2 ตัวกักเก็บความร้อนแบบท่อสุญญากาศ ประกอบด้วยท่อแก้วใสเรียงเป็นแถวหลายๆแถว ภายในท่อแก้วใส จะมีท่ออีกท่อหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ ซึ่งจะถูกเคลือบด้วยวัสดุพิเศษ ที่มีคุณลักษณะดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดี และมีการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีน้อย สำหรับช่องว่างระหว่างท่อชั้นในกับท่อชั้นนอก จะมีลักษณะเป็นสุญญากาศ โดยในกระบวนการผลิต จะทำการกำจัดอากาศออกไป ทั้งนี้เพราะจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวกักเก็บความร้อน เนื่องจากท่อชั้นนอกจะทำหน้าที่เป็นผนังโปร่งใสที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ส่วนสุญญากาศจะทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อนและการพาความร้อน และท่อชั้นในจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับและเป็นท่อสำหรับถ่ายเทน้ำร้อนจากตัวกักเก็บความร้อนไปยังส่วนอื่นๆของระบบการทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 ตัวกักเก็บความร้อนแบบท่อสุญญากาศ [8]

2.3.2.3 ตัวกักเก็บความร้อนแบบความร้อนรวมศูนย์ จะมีลักษณะเป็นกระจก ที่มีรูปทรงโค้งแบบพาราโบลิค เพื่อทำหน้าที่สะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ให้มารวมที่ท่อ ซึ่งท่อจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวดูดซับและเป็นท่อที่บรรจุสารสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อถ่ายเทไปยังอุปกรณ์อื่นต่อไป ดังรูปที่ 2.6

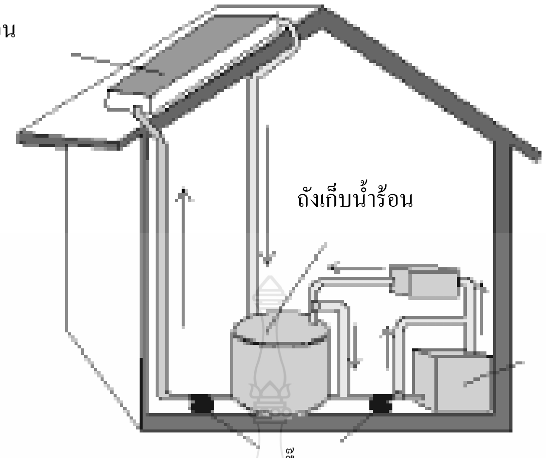
รูปที่ 2.6 ตัวกักเก็บความร้อนแบบความร้อนรวมศูนย์ [8]

2.3.3 ประเภทของระบบการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีทั้งระบบแอ็คทีฟ (Active Solar Heater) และระบบแพสสีฟ (Passive Solar Heater) ระบบแอ็คทีฟนั้น จะมีการใช้ปั๊มน้ำแบบใช้ไฟฟ้าในการบังคับการไหลหมุนเวียนของของเหลวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ส่วนระบบแพสสีฟ จะไม่มีปั๊มแต่จะใช้การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของของเหลวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนแทน สำหรับปริมาณน้ำร้อนที่จะผลิตได้ จะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของระบบ นอกจากนั้นปริมาณแสงอาทิตย์ ลักษณะการติดตั้งมุมเอียงและทิศทางที่ติดตั้งตัวกักเก็บความร้อนมีผลต่อปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้

ลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อาจแยกเป็นแบบระบบเปิด หรือแบบส่งน้ำร้อนโดยตรง (Open Loop or Direct) และแบบระบบปิด หรือแบบส่งน้ำร้อนทางอ้อม (Closed Loop or Indirect) สำหรับระบบเปิด น้ำที่ผ่านตัวกักเก็บความร้อนจะถูกนำไปใช้งานโดยตรง และในระบบปิด จะใช้ของเหลวที่ใช้ถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะเป็นน้ำที่ได้รับการบำบัดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกรัน หรือของเหลวที่มีจุดเยือกแข็งต่ำ ซึ่งเหมาะกับเมืองหนาว โดยของเหลวที่ใช้ถ่ายเทความร้อนจะนำความร้อนจากตัวกักเก็บความร้อนส่งมายังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งจะมีการถ่ายเทไปให้น้ำร้อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

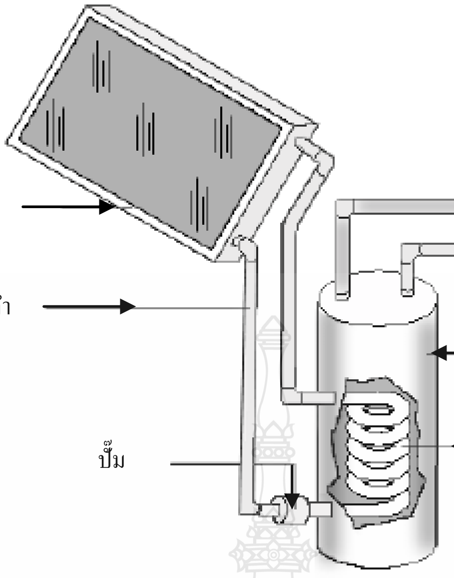
2.3.3.1 ระบบแอ็คทีฟ เป็นระบบที่มีการใช้ปั๊มน้ำไฟฟ้า วาล์ว และตัวควบคุม เพื่อบังคับให้น้ำหรือของเหลวที่ใช้ถ่ายเทความร้อนหมุนเวียนในระบบ ผ่านตัวกักเก็บความร้อน โดยทั่วไปจะมีราคาแพงกว่าระบบแพสสีฟ แต่ระบบแอ็คทีฟ มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบแพสสีฟ นอกจากนี้ ในด้านการติดตั้งระบบแอ็คทีฟ ยังติดตั้งง่ายกว่าระบบแพสสีฟ เนื่องจากถังกักเก็บน้ำร้อนในระบบแพสสีฟ จำเป็นต้องติดตั้งให้อยู่สูงกว่าตัวกักเก็บความร้อนและต้องอยู่ใกล้กัน แต่ระบบแอ็คทีฟ ต้องใช้ไฟฟ้าทำให้เสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากกว่าระบบแพสสีฟ



รูปที่ 2.7 ระบบแอคทีฟแบบเปิด [8]

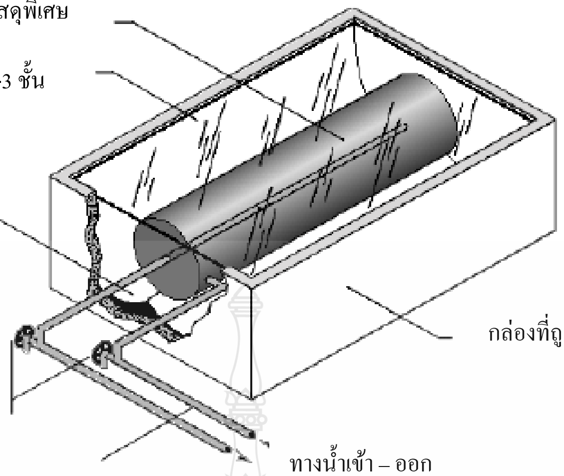
ระบบแอ็คทีฟแบบเปิด ดังรูปที่ 2.7 ระบบนี้จะใช้ปั๊มในการหมุนเวียนน้ำที่ต้องการนำไปใช้ให้ผ่านตัวกักเก็บความร้อน ลักษณะการออกแบบเช่นนี้ จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงและค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนต่ำ แต่ไม่เหมาะกับกรณีที่น้ำที่นำไปใช้มีความกระด้าง หรือมีความเป็นกรดมาก ตัวอย่างเช่น น้ำบาดาล หรือน้ำประปา ซึ่งลักษณะของน้ำดังกล่าวจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดตะกรัน หรือสนิมขึ้น ซึ่งจะทำให้เครื่องทำน้ำร้อนมีอายุการใช้งานสั้นลง

ระบบแอ็คทีฟแบบปิด ดังรูปที่ 2.8 ระบบนี้จะใช้ปั๊มในการหมุนเวียนของเหลวที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนให้ผ่านตัวกักเก็บความร้อน ซึ่งโดยทั่วไป จะใช้ของผสมระหว่างไกลคอลกับน้ำ (Glycol-Water Antifreeze Mixture) ซึ่งเป็นของผสมที่มีจุดเยือกแข็งต่ำ ระบบนี้จะใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในการถ่ายเทความร้อนจากของเหลวที่ใช้ถ่ายเทความร้อนกับน้ำที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งจะถูกนำไปเก็บไว้ในถังกักเก็บน้ำร้อน



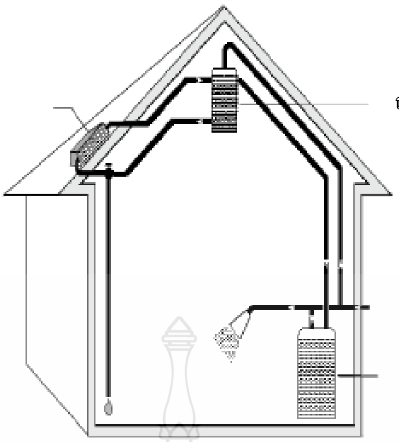
รูปที่ 2.8 ระบบแอคทีฟแบบปิด [8]

2.3.3.2 เครื่องทำน้ำร้อนแบบถาด (Batch Heaters) เครื่องทำน้ำร้อนแบบนี้ บางครั้งเรียกว่าแบบกล่องขนมปัง (Bread Box) ซึ่งเป็นเครื่องทำน้ำร้อนในระบบแพสสีฟแบบง่าย มีส่วนประกอบ คือ มีถังกักเก็บน้ำร้อนวางอยู่ในกล่องที่หุ้มฉนวน มีแผ่นสะท้อนแสงภายในกล่อง และมีด้านที่หันเข้าหาแสงอาทิตย์เป็นกระจกใส ซึ่งถังกักเก็บความร้อนนั้น อาจจะมีมากกว่า 1 ถัง เครื่องทำน้ำร้อนแบบถาดมีราคาถูกและมีอุปกรณ์ไม่มากชิ้น ทำให้มีการบำรุงรักษาง่าย และมีปัญหาระบบที่ใช้งานไม่ได้น้อย ในการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนประเภทนี้ สามารถติดตั้งทั้งบนพื้นและบนหลังคา แต่ในกรณีที่ต้องการติดตั้งบนหลังคา ต้องตรวจสอบความแข็งแรงของหลังคา เพราะเครื่องทำน้ำร้อนเมื่อบรรจุน้ำแล้วจะมีน้ำหนักพอสมควร สำหรับถังกักเก็บน้ำร้อนที่ติดตั้งอยู่ภายในกล่องจะใช้วัสดุพิเศษในการผลิต เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำผิวจะต้องมีการดูดความร้อนที่ดี แต่มีการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีต่ำ สำหรับในประเทศเมืองหนาว การใช้เครื่องทำน้ำร้อนแบบถาด จะมีปัญหาเรื่องน้ำภายในท่อแข็ง ซึ่งมีวิธีแก้ไขหลายประการ เช่น การหุ้มฉนวน ใช้ท่อพลาสติก หรือพันเทปให้ความร้อนด้วยไฟฟ้ารอบๆ ท่อ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เครื่องทำน้ำร้อนแบบถาด [8]

2.3.3.3 ระบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน (Thermosiphon Systems) ระบบนี้จะใช้หลักการพาความร้อนตามธรรมชาติ คือ น้ำที่ร้อนกว่าจะอยู่ด้านบน ดังนั้น เมื่อทำการติดตั้งถังกักเก็บน้ำร้อนให้อยู่สูงกว่าตัวกักเก็บความร้อน จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ ระหว่างตัวกักเก็บความร้อนกับถังเก็บน้ำร้อน เพราะเมื่อน้ำในตัวกักเก็บความร้อนถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลให้น้ำมีน้ำหนักเบาขึ้น และจะขึ้นไปอยู่ในถังเก็บน้ำร้อนด้านบนตามหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติ ขณะเดียวกันน้ำเย็นที่อยู่ด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อน จะไหลไปสู่ด้านล่างของตัวกักเก็บความร้อน เพื่อทดแทนน้ำร้อนที่เคลื่อนที่ขึ้นไปบนถังเก็บน้ำร้อน ในลักษณะเช่นนี้ ทำให้เกิดการไหลเวียนขึ้นในระบบมีลักษณะคล้ายกับกาลักน้ำ (Siphon) ระบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน มีประสิทธิภาพดี และมีราคาไม่สูง แต่ข้อควรระวังคือ ในการติดตั้งครั้งแรกต้องได้มาตรฐาน เพราะระบบจะทำงานไม่ได้ถ้ามีข้อผิดพลาดจากการติดตั้ง สำหรับในประเทศเมืองหนาวจะมีการป้องกันน้ำแข็งตัว โดยใช้ของเหลวที่มีจุดเยือกแข็งต่ำร่วมกับการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีลักษณะคล้ายระบบแอ็คทีฟแบบปิด ดังรูปที่ 2.10

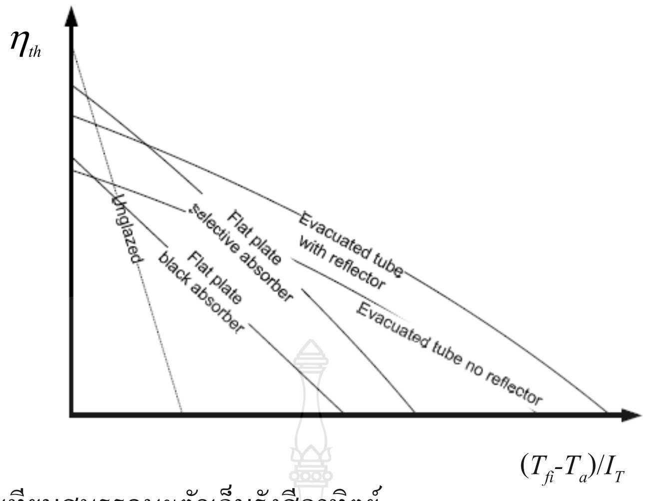


รูปที่ 2.10 ระบบท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน [8]

2.3.4 สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์หลักในระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ โดยทำหน้าที่ดูดกลืนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นความร้อน และถ่ายโอนให้กับตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ดี ต้องมีค่าส่งผ่านและดูดกลืน ($\tau\alpha$) รังสีอาทิตย์สูง โดยสีดำมีค่าดูดกลืนรังสีสูงสุด ดังนั้นผิวแผ่นดูดกลืนรังสีส่วนใหญ่เคลือบผิวสีดำ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาผิวเลือกรังสี ที่มีสมบัติการดูดกลืนรังสีอาทิตย์สูง และการเปล่งรังสี ความร้อนต่ำ (α = 0.9 และ ε = 0.1) เพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการเปล่งรังสีจากแผ่นดูดกลืนรังสีสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าสีดำด้านทั่วไป ซึ่งปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตผิวเลือกรังสีอาทิตย์มีต้นทุนต่ำลง [9] จึงสามารถพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงขึ้น และราคาต่ำลง นอกจากนี้การติดตั้งกระจกโปร่งใสที่มีค่าส่งผ่านรังสีอาทิตย์สูง และดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่ำ (วัสดุชนิดเดียวกันจะมีค่าแปรผกพันกัน) การปิดผิวแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความสามารถการดูดกลืนรังสี และลดการสูญเสียความร้อน จากการพาความร้อนสู่บรรยากาศ ซึ่งการวิเคราะห์สมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนที่สภาวะคงตัว

การทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยนำข้อมูลการทดสอบดังกล่าว มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η_{th} และ กราฟที่ได้สามารถวิเคราะห์เป็นสมการเส้นตรงที่ได้จากการพร็อตกราฟ โดยข้อมูลที่ได้ จะแสดงสัมประสิทธิ์ต่างๆ ดังนี้ โดยที่จุดตัดบนแกนประสิทธิภาพ η_{th} จะแสดงค่า F_R ($\tau\alpha$) และค่าความชันของเส้นกราฟจะแสดงค่า $-F_RU_L$ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดต่างๆตามลำดับ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์

การพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.11 พบว่าที่สภาวะเดียวกัน ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบที่มีกระจกปิด มีสมรรถนะสูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ ที่ไม่มีกระจกปิด โดยแผ่นดูดกลืนรังสีที่เคลือบผิวเลือกรังสีบนแผ่นดูดกลืนรังสี มีสมรรถนะสูงกว่าการเคลือบด้วยสีดำ ในขณะที่ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ มีสมรรถนะสูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ เนื่องจากสุญญากาศ ช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกจากแผ่นดูดกลืนรังสี ตามลำดับ และมีสมรรถนะสูงขึ้น

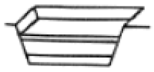
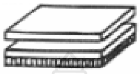
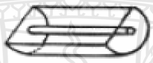
ศักยภาพการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆปัจจุบันมีตัวเก็บรังสีอยู่หลายชนิด มีลักษณะเฉพาะ ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งแต่ละชนิดมีศักยภาพเชิงความร้อน หรือช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้แตกต่างกัน พบว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางความร้อนในหลายระดับตามความเหมาะสม แต่ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์และเหมาะสำหรับนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมโดยทั่วไปที่นิยมใช้จะมีอยู่สองชนิดคือ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบมีกระจกปิด และ
ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ ซึ่งยึดอยู่กับที่หันหน้าไปทางทิศใต้เมื่อตำแหน่งติดตั้งอยู่ซีกโลกเหนือ หรือหันหน้าไปทางทิศเหนือเมื่อตำแหน่งติดตั้งอยู่ซีกโลกใต้ สำหรับประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร อยู่ซีกโลกเหนือ จึงหันหน้าไปทางทิศใต้ เพื่อรับรังสีได้ตลอดทั้งปี ทำมุมกับแนวระดับ 10-15 องศา เท่ากับตำแหน่งละติจูด (Latitude) เพื่อให้แผงตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่า ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 2.4 ช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ [10]

Motion	Collector type	Absorber Type	Concentration Ratio	Temperature Range (^{o}C)
Stationary	Flat Plate Collector (FPC)	Flat	1	30-80
	Evacuated Tube Collector (ETC)	Flat	1	50-200
	Compound Parabolic Collector (CPC)	Tubular	1-5	60-240
Single-axis tracking	Compound Parabolic Collector (CPC)	Tubular	5-15	60-300
	Linear Fresnel Reflector (LFR)	Tubular	10-40	60-250
	Parabolic Trough Collector (PTC)	Tubular	15-45	60-300
	Cylindrical Trough Collector (CTC)	Tubular	10-50	60-300
Two-axes tracking	Parabolic Dish Reflector (PDR)	Point	100-1000	100-500
	Heliostat Field Collector (HFC)	Point	100-1500	150-2000

นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาตัวเก็บรังสีแบบอื่นๆ บนพื้นฐานของการรวมรังสีอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความเข้มรังสีผ่านตัวรวมรังสีอาทิตย์ โดยการเพิ่มค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับรังสีต่อพื้นที่ดูดซับรังสี หรืออัตราส่วนการรวมรังสี ให้รังสีรวมกันอยู่แนวท่อความร้อน หรือโฟกัสเป็นจุดรวมแสง เพื่อเพิ่มความเข้มของรังสีอาทิตย์ในบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนไม่กระจายออกนอกจุดรับรังสี ส่งผลให้อุณหภูมิสารทำงานสูงขึ้นตามอัตราส่วน และติดตั้งระบบการติดตามดวงอาทิตย์ แบบแกนเดียว เพื่อหันติดตามโดยหมุนรอบแกน 1 แกนในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก และสองแกน เพื่อหันติดตามในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก รวมถึงแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ ตามลำดับ ส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถรวมแสง ให้ตั้งฉากกับตัวเก็บรังสีได้ตลอดการทำงานไม่แปรเปลี่ยนตามมุมของดวงอาทิตย์ ส่งผลให้อุณหภูมิสารทำงานสูงขึ้น ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แผนภาพและลักษณะของตัวเก็บรังสีแบบต่างๆ [11]

Motion			Collector Type: Name	Collector Type: Schematic Diagram		Concentration Ratio, C1 for Direct Insolation	Indicative Temperature Obtalned T (K)
Motion	Stationary		Non-convecting Solar Pond		Flat Absorbars	$C \leq 1$	$300 < T < 360$
Motion	Stationary		Flat-plate Absorber		Flat Absorbars	$C \leq 1$	$300 < T < 350$
Motion	Stationary		Evacuated Envelope		Tubular Absorbars	$C \leq 1$	$320 < T < 460$
Motion	Stationary		Compound Parabolic Reflector		Tubular Absorbars	$1 \leq C \leq 5$	$340 < T < 510$
Motion	Solar Tracking	Single Axis	Compound Parabolic Reflector		Tubular Absorbars	$5 \leq C \leq 15$	$340 < T < 560$
Motion	Solar Tracking	Single Axis	Parabolic Reflector		Tubular Absorbars	$15 < C < 40$	$340 < T < 560$
Motion	Solar Tracking	Single Axis	Fresnel Refractor		Tubular Absorbars	$10 < C < 40$	$340 < T < 540$
Motion	Solar Tracking	Single Axis	Cylindrical Refractor		Tubular Absorbars	$10 < C < 50$	$340 < T < 540$
Motion	Solar Tracking	Two Axis	Parabolic Dish Reflector		Paint Absorbars	$100 < C < 1000$	$340 < T < 1200$
Motion	Solar Tracking	Two Axis	Spherical Bowl Reflector		Paint Absorbars	$100 < C < 300$	$340 < T < 1000$
Motion	Solar Tracking	Two Axis	Heliostat Field		Paint Absorbars	$100 < C < 1500$	$400 < T < 3000$

จากข้อมูลที่ผ่านมา พบว่ารังสีอาทิตย์มีศักยภาพทางความร้อนในการผลิตสารทำงานอุณหภูมิช่วงต่างๆผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และเมื่อพิจารณาร่วมกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการและภาคอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 2.5 พบว่าความร้อนจากรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มนำมาใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถจำแนกออกเป็น 3 ระดับอุณหภูมิ คือช่วงอุณหภูมิต่ำ (<100 องศาเซลเซียส) ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (100-400 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิสูง (>400 องศาเซลเซียส) ขึ้นกับประเภทของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยความร้อนที่ได้จากรังสีอาทิตย์สามารถใช้เป็นแหล่งความร้อนในการผลิตลมร้อน น้ำร้อนสำหรับกระบวนการความร้อนทั่วไป หรือใช้ในโรงผลิตกำลังด้วยรังสีอาทิตย์

ตารางที่ 2.6 ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการในภาคอุตสาหกรรมที่สามารถนำรังสีอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ [12]

Industrial Sector	Process	Temperature Range (^{o}C)
Food and Beverages	Drying	30-90
	Washing	40-80
	Pasteurising	80-110
	Boiling	95-105
	Sterilising	140-150
	Heat Treatment	40-60
Textile industry	Washing	40-80
	Bleaching	60-100
	Dyeing	100-160
Chemical industry	Boiling	95-105
	Distilling	110-300
	Various Chemical Processes	120-180
All sectors	Preheat of Water	30-100
	Heating of Production Halls	30-80
Personal use	Bathroom/laundry	50-60

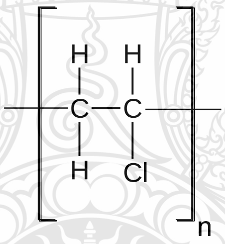
จากตารางที่ 2.6 แสดงช่วงอุณหภูมิที่มีศักยภาพในกระบวนการทางความร้อนภาคอุตสาหกรรม พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในภาคอุตสาหกรรมอาหาร และสิ่งทอ ตามลำดับ ในลักษณะของการทำแห้ง ล้างทำความสะอาด ต้มฆ่าเชื้อ การกลั่น และการให้ความร้อนเสริมในกระบวนการอื่นๆ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-100 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ ดังตารางที่ 2.4 และ2.5 พบว่า ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบสามารถผลิตอุณหภูมิช่วงดังกล่าวได้ คือ 30-80 องศาเซลเซียส โดยตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศและตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี ที่ติดตั้งอยู่กับที่ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวได้เช่นเดียวกันกับ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ แต่ช่วงอุณหภูมิกว้างกว่า คือ 80-250 องศาเซลเซียส ในราคาที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับตัวเก็บรังสีชนิดอื่นที่มีอุปกรณ์มากขึ้นและทำงานซับซ้อนกว่า

2.4 ชนิดของเทอร์โมพลาสติก

2.4.1 โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) [13]

โพลิไวนิลคลอไรด์ เป็นพลาสติกสังเคราะห์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะโพลิไวนิลคลอไรด์ ไม่ถูกกัดกร่อนด้วยสารเคมีและมีสมบัติพิเศษที่สามารถผสมได้กับสารอื่นๆ ที่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีได้หลากหลาย

โครงสร้างและสมบัติ จากการที่โพลิไวนิลคลอไรด์ มีอะตอมใหญ่ เช่น คลอรีนเข้าไปต่อกับคาร์บอนอะตอม ในโครงสร้างของโพลิไวนิลคลอไรด์ ดังรูปที่ 2.12 ทำให้โพลิเมอร์นั้นเป็นอสัญฐาน และไม่ตกผลึก นอกจากนี้อะตอมคลอรีนยังทำให้โมเลกุลมีสตรองไดโพลโมเมนต์ ซึ่งทำให้เกิดแรงเกาะกันระหว่างโมเลกุลของโพลิไวนิลคลอไรด์สูงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดผลของความเกะกะของโมเลกุล และเกิดแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้า ทำให้ความอ่อนตัวของสายโซ่โพลิเมอร์จะลดลง ส่งผลต่อกระบวนการผลิตที่เป็นโพลิเมอร์อย่างเดียวทำได้ยากขึ้น การประยุกต์ใช้ก็น้อยลง ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการเติมสารบางชนิดเข้าไปช่วยเพื่อให้สมบัติดีขึ้น



รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างของโพลิไวนิลคลอไรด์ [13]

โพลิไวนิลคลอไรด์เป็นโพลิเมอร์ชนิดเดียวมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง (7.5-9.0 กิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และเปราะ ทนความร้อนได้ปานกลาง (57-82 องศาเซลเซียส ที่ 66 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) มีค่าความคงทนไดอิเล็กทริกสูง (425-1300 โวลต์ต่อมิลลิเมตร) ละลายในตัวทำละลายยาก และถ้าโพลิไวนิลคลอไรด์มีปริมาณคลอรีนมาก จะทำให้ติดไฟยากและป้องกันสารเคมีได้ดี การประยุกต์ใช้ของโพลิไวนิลคลอไรด์โดยทั่วไปจะใช้วิธีผสมกับสารอื่นบางชนิด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของโพลิไวนิลคลอไรด์ให้ดียิ่งขึ้น สารที่นำมาใช้ผสมได้แก่ พลาสติไซเซอร์ สารที่ทำให้เสถียรต่อความร้อน สารหล่อลื่น สารเติมแต่ง และสี

สารพลาสติไซเซอร์เป็นสารที่ทำให้โพลิไวนิลคลอไรด์ มีความอ่อนตัวหรือเหนียวขึ้น สารพวกนี้เป็นสารที่มีมวลโมเลกุลสูง แต่ควรจะเป็นสารที่สามารถรวมและเข้ากันได้ดีกับวัสดุโพลิเมอร์นั้น สำหรับโพลิไวนิลคลอไรด์ ส่วนมากใช้ผสมด้วย พาทาเลทเอสเทอร์

สารที่ทำให้เสถียรต่อความร้อน เป็นสารที่เติมลงไปในโพลิไวนิลคลอไรด์ ช่วยให้ป้องกันไม่ให้โพลิไวนิลคลอไรด์เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนในระหว่างการผลิต และยังช่วยให้อายุของผลิตภัณฑ์มีอายุยาวขึ้น สารพวกนี้เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ซึ่งโดยปกติจะเป็นพวกสารประกอบ โลหะอินทรีย์เคมีของดีบุก ตะกั่ว แบเรียม แคดเมียม แคลเซียม และสังกะสี

สารหล่อลื่น เป็นสารที่ช่วยทำให้โพลิไวนิลคลอไรด์ที่หลอมเหลวไม่ติดกับเครื่อง ที่กำลังใช้ผลิต เช่น ใช้ขี้ผึ้ง เป็นต้น

สารเติมแต่ง ได้แก่ สารที่เติมเข้าไปเพื่อให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นและเป็นการลดราคาให้ต่ำลง เช่น เขม่าดำ โดยที่เขม่าดำได้จากการเผาแก็สธรรมชาติหรือน้ำมันที่นิยมใช้มีอยู่คือ 3 ชนิด คือแชนเนลแบล็ค เฟอร์เนซแบล็ค และเทอร์มอนแบล็ค ซึ่งแต่ละชนิดจะมีกรรมวิธีในการผลิตแตกต่างกัน โดยมากกว่าร้อยละ 90 ของเขม่าดำที่ผลิตขึ้น และจำหน่ายจะเป็นชนิดเฟอร์เนซแบล็ก

เฟอร์เนซแบล็คเตรียมได้โดยการเผาแก๊สธรรมชาติหรือน้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยในเตาอิฐ โดยควบคุมปริมาณอากาศที่ผ่านเข้าไปในเตาให้น้อยที่สุด

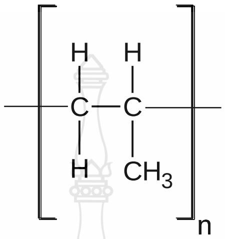
สำหรับกรรมวิธีการผลิตแชนเนลแบล็ค ทำให้เกิดควันในบรรยากาศมากก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการผลิตเขม่าดำชนิดนี้น้อยลง เขม่าดำประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 90-99 ออกซิเจนร้อยละ 0.1-10 ไฮโดรเจนร้อยละ 0.2-1 ซัลเฟอร์และขี้เถ้าอีกประมาณเล็กน้อย และมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2.04-2.25

เขม่าดำแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาคพื้นที่ผิวหน้า ความพรุน และความแข็งแรงของสีไม่เท่ากัน ขนาดของอนุภาคยิ่งเล็กลง สีก็ยิ่งดำมากขึ้น นอกจากนี้การกระจายตัวในโพลิเมอร์ทำได้ยากขึ้น เขม่าดำเป็นวัสดุกึ่งตัวนำ ดังนั้นการใส่เขม่าดำในโพลิเมอร์ นอกจากช่วยเสริมแรงยังช่วยเพิ่มสมบัติการนำไฟฟ้า โดยคาร์บอนแบล็คชนิดที่มีอนุภาคที่ละเอียด จะเพิ่มสมบัติการนำไฟฟ้า โดยเขม่าดำชนิดที่มีอนุภาคละเอียดที่สุด จะเพิ่มสมบัติการนำไฟฟ้าให้กับโพลิเมอร์ได้ดีกว่าชนิดที่มีอนุภาคหยาบ นอกจากนี้เขม่าดำยังมีความสามารถในการดูดกลืนแสงยูวีได้ดี ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการสลายตัวของโพลิเมอร์จากแสงยูวีได้ด้วย

สี เป็นสีอินทรีย์และสีอนินทรีย์ที่ผสมเข้ากับโพลิไวนิลคลอไรด์ ให้ออกมาเป็นสีสวยงามแต่ทำให้ขุ่นและทนต่อสภาวะอากาศได้ดีขึ้น

2.4.2 พีพี-อาร์ (PP-R: Polypropylene Random Copolymer)

ท่อ PPR เป็นพลาสติกคุณภาพสูง ซึ่งเป็นท่อที่มีสมบัติด้านเคมีและฟิสิกส์ ที่เหมาะสมต่อการใช้งานท่อประปา และงานท่อประเภทต่างๆ เป็นท่อพลาสติกที่มีพื้นฐานโครงสร้างทางเคมี มาจากโพลิโพรพิลีน ดังรูปที่ 2.13



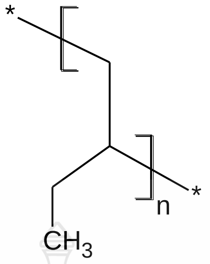
รูปที่ 2.13 สูตรโครงสร้างของโพลิโพรพิลีน [13]

โครงสร้างและสมบัติ จากโพลิเอทีลีนไปเป็นโพลิโพรพีลีนด้วยการแทนที่ไฮโดรเจนด้วยหมู่เมททิล (- CH_3) ทุกๆ 2 อะตอมของคาร์บอนในโครงสร้างทำให้โพลิโพรพีลีนมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่อ่อนตัวน้อยลง หมู่เมทิลในโครงสร้างช่วยทำให้เพิ่มอุณหภูมิคล้ายแก้ว ดังนั้นโพลิโพรพีลีนจึงมีจุดหลอมเหลวและจุดทำให้อ่อนตัวสูงกว่าโพลิเอทีลีน จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี สเตอริโอเคมีจำเพาะ ทำให้สามารถสังเคราะห์ ไอโซแทคทิค โพลิโพรพิลีน ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 165-177 องศาเซลเซียส วัสดุนี้ถ้าได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

โพลิโพรพีลีนใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรม เพราะมีสมบัติที่ดี เช่น ทนต่อสารเคมี ไม่ดูดความชื้น ทนความร้อนได้ดี มีความหนาแน่นต่ำ (0.900-0.910 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ผิวหน้าแข็งและมีรูปร่างเสถียร แต่มีความอ่อนตัวที่จะโค้งงอได้ ประกอบกับราคาของโมโนเมอร์ถูก

การใช้งานของโพลิโพรพิลีน คือทำของใช้ในบ้านและเครื่องใช้ไฟฟ้า ภาชนะบรรจุอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ขวดและภาชนะต่างๆ ใช้ทำโคโพลิเมอร์ที่ทนต่อแรงกระแทกแทนยางได้แก่ใช้ทำหม้อแบตเตอรี่ ท่อน้ำ ใช้หุ้มกันชน และอื่นๆ

2.4.3 พีบี (PB: Polybutylene)

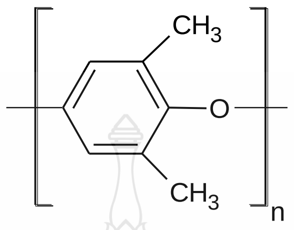


รูปที่ 2.14 สูตรโครงสร้างของโพลิบิวทิลีน [13]

ท่อ PB เป็นท่อน้ำที่ผลิตจากเรซินโพลิบิวทิลีน ซึ่งเป็นเรซินที่มีคุณภาพจากยุโรปและอเมริกา เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้สมบัติทางกายภาพต่างๆ รวมทั้งค่าของความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมสูงตามไปด้วย ทำให้ท่อ PB เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นท่อน้ำประปาทั่วไป สามารถทนอุณหภูมิได้ -40-48 องศาเซลเซียส และท่อน้ำร้อนสามารถทนอุณหภูมิได้ ตั้งแต่ -15-90 องศาเซลเซียส ท่อ PB แบ่งได้ 2 ประเภท คือท่อน้ำอุณหภูมิปกติ (สีดำ) ใช้กับน้ำเย็น ทนอุณหภูมิได้ 48 องศาเซลเซียส และท่อน้ำร้อน (สีเทา) ใช้กับน้ำร้อน ทนอุณหภูมิได้ 82 องศาเซลเซียส มีความอ่อนตัวและยืดหยุ่นได้ดี ทำให้สามารถโค้งงอไปตามสภาพหรือการใช้งานจริงได้ โดยไม่เปลืองข้อต่อ สามารถงอได้ถึง 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง จึงทำให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย โดยเฉพาะใช้ในงานที่ต้องวางท่อในลักษณะพื้นที่ที่คดเคี้ยว หรือสูงๆ ต่ำๆ มีน้ำหนักเบา สะดวกในการขนย้าย ทนต่อแรงกระแทกได้สูง ท่อมีความยืดหยุ่นดี ทำให้สามารถทนต่อแรงกดหรือแรงกระแทกจากภายนอกและภายในท่อได้ดี สามารถทนแรงดันใช้งานทั่วไปได้ถึง 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลิตจากวัตถุดิบที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้เป็นท่อน้ำร้อนโดยเฉพาะ ปราศจากสารเป็นพิษ ไม่มีสารแปลกปลอมใดๆ ละลายปนมาในน้ำ ทั้งนี้เพราะได้รับการรับรองจากสถาบัน NSF และ FDA แห่งสหรัฐอเมริกา ว่าเป็นท่อที่ใช้ในการลำเลียงน้ำเพื่อการบริโภคหรือของเหลวที่เป็นอาหารได้โดยปลอดภัย คงทนต่อความเป็นกรด-ด่าง หรือสารเคมีต่างๆ ได้ดี มีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทนทานต่อแสงอาทิตย์ได้ดี โดยมีการผสมสารที่ใช้ต่อต้าน รังสีอัลตราไวโอเลต จึงมีอายุการใช้งานยาวนาน

2.4.4 โพลิเฟนีลีนออกไซด์ (Polyphenylene Oxide)

เป็นเทอร์โมพลาสติกวิศวกรรมที่มีเฟนีลีนออกไซ่เป็นองค์ประกอบ มีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 สูตรโครงสร้างของโพลิเฟนีลีนออกไซด์ [13]

กระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติกเฟนีลีนออกไซด์ บริษัทเจเนอรัลอิเล็กตริกได้ขึ้นทะเบียนสิทธิบัตรไว้ในชื่อทางการค้าว่า โนริล ซึ่งผลิตจากกระบวนการออกซิเดชันคับปลิง ของฟีนอลิกโมโนเมอร์ ทำให้ได้เทอร์โมพลาสติกเฟนีลีนออกไซด์

จากโครงสร้างของโพลิเมอร์จะประกอบด้วยวงแหวนเฟนีลีน ทำให้เกิดความเกะกะในการหมุนของโมเลกุลและยังมีแรงดึงดูดเนื่องจากอิเล็กตรอน เกิดเรโซแนนซ์ในวงแหวนเบนซินของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจากแฟกเตอร์ต่างๆ ทำให้วัสดุชนิดนี้มีโครงสร้างที่แข็งไม่งอง่าย มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อสารเคมีและสภาวะแวดล้อม มีรูปทรงที่เสถียรและทนทานต่อความร้อนที่สูงๆ ได้

วัสดุชนิดนี้มีหลายเกรดขึ้นอยู่กับความต้องการและการออกแบบทางวิศวกรรม โพลิเฟนีลีนออกไซด์ ให้สมบัติทางกลที่ดีในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -40 ถึง150 องศาเซลเซียส ให้รูปทรงที่เสถียรมากโดยมีครีพต่ำ โมดูลัสสูงและดูดน้ำได้น้อย เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนแรงกระแทกและทนทานต่อสภาวะแวดล้อมทางเคมีได้ดี

การใช้งานของโพลิเฟนีลีนออกไซด์ ได้แก่การทำตัวเชื่อม ทำอุปกรณ์รถยนต์ และอุปกรณ์ต่างๆ

2.5 การดึงรีด

การดึงรีดเป็นกระบวนการแปรรูปหลักของอุตสาหกรรม [14] โดยทั่วไปจะนิยามกระบวนการแปรรูปชนิดนี้ว่าเป็นการทำให้วัสดุมีรูปทรงตามที่ต้องการ โดยการอัดพลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดายที่มีรูปร่างที่เหมาะสม การแปรรูปพลาสติกโดยการดึงรีด จัดเป็นกระบวนการแปรรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) และผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (Semi-Finished Product) ที่ต้องนำไปเข้ากระบวนการชนิดอื่นต่อ เพื่อผลิตเป็นชิ้นงานขั้นสุดท้าย (Finished Product) ก่อนจะนำไปใช้งาน

เครื่องดึงรีดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามสกรูที่อยู่ในกระบอก (Barrel or Cylinder) ของเครื่องดังนี้

1) เครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

2) เครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder)

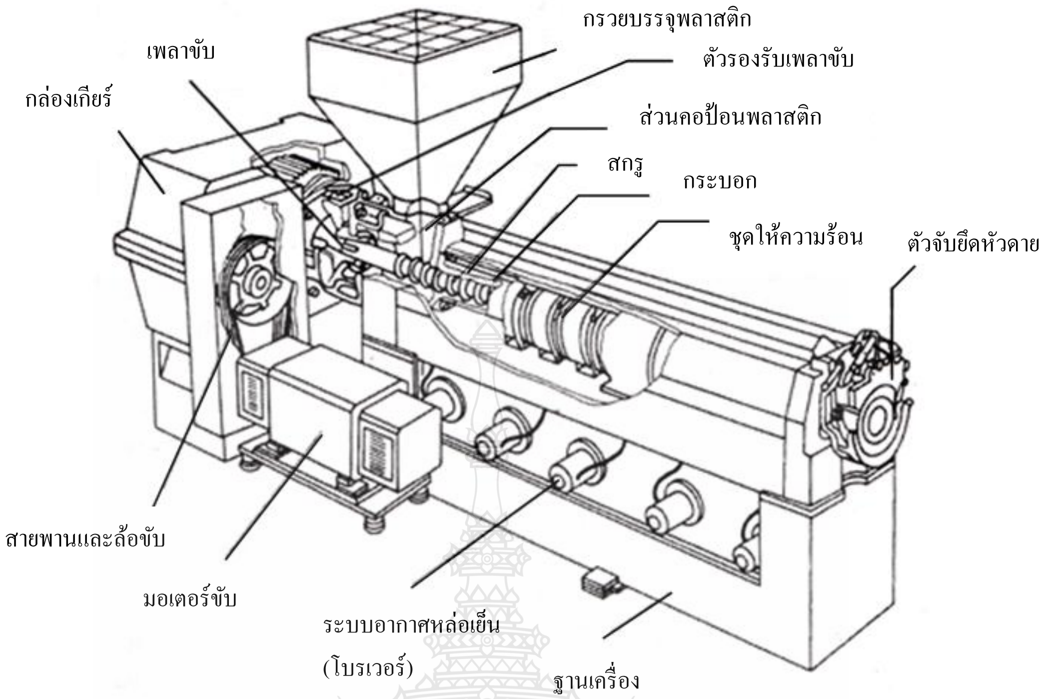
3) เครื่องดึงรีดแบบหลายสกรู (Multi Screw Extruder)

ในอุตสาหกรรมการผลิตโพลิเมอร์และการแปรรูปพลาสติก นิยมใช้เครื่องดึงรีดสองชนิดแรก คือเครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยวและสกรูคู่มากที่สุด ส่วนชนิดที่ 3 มีสกรูจำนวนมากกว่าสองตัวมีการใช้กันน้อย

2.5.1 เครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยว

ส่วนประกอบหลักของเครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยว ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1) สกรู (Extruder Screw) เป็นสกรูแบบอาคีมีเดียน (Archimedean Screw) ซึ่งสกรูที่ใช้ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติก มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 25-200 มิลลิเมตร มีความยาวเป็น 20-40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (20-40 D) และใช้มอเตอร์ขับอยู่ในช่วง 5-500 กิโลวัตต์ หน้าที่หลักของสกรูของเครื่องดึงรีด สรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบหลักของเครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยว [14]

- รับเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกเข้ามาในกระบอก
- ผสมส่วนผสมต่างๆ คือ พลาสติก สารตัวเติม และ สี เข้าด้วยกัน
- ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเป็นเนื้อเดียว
- ช่วยเพิ่มความดันของพลาสติกหลอมเพื่อเอาชนะแรงต้าน ทำให้สามารถส่งพลาสติกหลอมไปยังส่วนอื่นๆ ของสกรูและหัวดายได้
- ทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกหลอมเข้าสู่ดาย

เพื่อทำหน้าที่ดังกล่าวข้างต้น สกรูของเครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยว มักจะมีส่วนต่างๆแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนป้อน ส่วนหลอมอัด และส่งส่วนพลาสติกหลอม (Metering Zone)

ส่วนป้อนของสกรูเป็นส่วนที่มีความลึกของร่องสกรูมากที่สุด และเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเกลียวในช่วงแรกซึ่งมีระยะสั้นๆ มีหน้าที่หลัก คือการดึงเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกลงในกระบอก เริ่มให้ความร้อนแก่พลาสติก และทำให้เกิดการผสมของพลาสติกกับวัสดุต่างๆ

ลักษณะของส่วนหลอมอัด ความลึกของร่องเกลียวจะค่อยๆลดลง เพื่อให้เกิดแรงดันของพลาสติกหลอม และทำให้ความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลงจึงเกิดการส่งผ่านความร้อน

จากกระบอกได้ดีขึ้น ความร้อนและแรงเสียดทานเนื่องจากการหมุนของสกรูในช่วงนี้จะสูงมาก ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน

ส่วนสุดท้ายของสกรูคือส่วนส่งพลาสติกหลอม ลักษณะของสกรูจะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่ แต่มีความลึกน้อยกว่าส่วนป้อน พลาสติกหลอมในส่วนนี้จะมีความดันเพิ่มขึ้น และมีความเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์ และจะเสถียรอยู่ภายใต้แรงดันและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

2) กระบอก ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุสกรูไว้ภายใน และเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนแก่พลาสติก ขนาดกระบอกของเครื่องดึงรีด โดยทั่วไปมีตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเครื่องดึงรีดในห้องปฏิบัติการ สำหรับเครื่องดึงรีดที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 65-200 มิลลิเมตร

3) แผ่นเบรกเกอร์ ตะแกรงกรอง และอะแดพเตอร์ ส่วนปลายของกระบอกของเครื่องดึงรีดจะมีอะแดพเตอร์ ยึดตะแกรงกรองและแผ่นเบรกเกอร์ โดยแผ่นเบรกเกอร์มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะกลมที่เจาะรู มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 มิลลิเมตร จำนวนมาก ทำหน้าที่ในการปรับเปลี่ยนลักษณะการไหลเป็นเกลียว และช่วยให้พลาสติกหลอมเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น นอกจากนี้แผ่นเบรกเกอร์ยังทำหน้าที่ในการรองรับตะแกรงกรอง ซึ่งทำหน้าที่ในการกรองไม่ให้สิ่งสกปรกและพลาสติกที่ไม่หลอมไหลผ่านหัวดาย

4) กรวยเติมพลาสติก (Feed Hopper) เป็นอุปกรณ์ใช้เติมพลาสติกลงในกระบอกและสกรู โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นกรวยเม็ดหรือผงพลาสติกจะตกลงที่สกรู เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นผิวภายในของกรวยเติมจะมีความมัน เพื่อลดแรงเสียดทาน

5) ดายของเครื่องดึงรีด เป็นส่วนที่ยึดติดกับส่วนปลายของกระบอก ต่อจากแผ่นเบรกเกอร์และตะแกรงกรอง ดายทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลาสติกหลอมให้มีรูปร่างตามลักษณะของหัวดาย

6) ชุดให้ความร้อนและหล่อเย็น การให้ความร้อนแก่พลาสติกที่อยู่ในกระบอก ทำได้โดยการใช้ชุดให้ความร้อนไฟฟ้าหุ้มรอบกระบอก แบ่งออกเป็นช่วงๆ ประมาณ 4-6 ชุด ซึ่งตัวให้ความร้อนเหล่านี้จะต่อกับตัวควบคุม เพื่อให้ปรับเพิ่มและลดอุณหภูมิของแต่ละช่วงได้อย่างอิสระ ตัวควบคุมจะต้องมีประสิทธิภาพในการปรับอุณหภูมิให้คงที่ ถ้าอุณหภูมิของกระบอกสูงเกินไป ตัวควบคุมจะทำให้ตัวหล่อเย็นทำงาน โดยทั่วไปตัวหล่อเย็นจะเป็นพัดลมเป่า (Blower) ซึ่งติดตั้งเป็นช่วงตามจำนวนช่วงของชุดให้ความร้อน

2.5.2 เครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ เป็นเครื่องดึงรีดที่มีสกรูสองตัวอยู่ในกระบอกเดียวกัน ซึ่งมีรูปตัดขวางเป็นรูปเลขแปด การแบ่งเครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่จะแบ่งตาม ทิศทางของการหมุน และระดับของการอินเตอร์เมท (Intermeshing) ซึ่งหมายถึงการหมุนของสกรูในลักษณะที่สันเกลียวของสกรูตัว

หนึ่งแทรกอยู่ในร่องเกลียวของสกรูอีกตัวหนึ่ง การหมุนของเครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ สามารถหมุนได้สองแบบ คือหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกันหรือหมุนสวนทางกัน และการหมุนในทิศทางเดียวกัน

เครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ มักจะประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปพลาสติกใน 2 ลักษณะ ดังนี้คือ

1) ใช้ในการแปรรูปโพลิเมอร์ที่แปรรูปยาก เนื่องจากโพลิเมอร์ไหลยากในขณะหลอม หรือเสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง ตัวอย่างเช่น การผลิตโพรไฟล์โดยการดึงรีด โพลิไวนิลคลอไรด์ จำเป็นต้องใช้เครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ ชนิดสกรูหมุนสวนทางกันและมีการอินเตอร์เมท เนื่องจากเครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่มีความสามารถในการขนส่งพลาสติกหลอมได้เร็ว จึงมีช่วงเวลาที่วัสดุอยู่ในกระบอกและดาย สั้นมาก และมีวัสดุหลงเหลือในกระบอกน้อยมาก เนื่องจากการทำความสะอาดตัวเอง (Wiping) ของสกรู ทำให้การกระจายตัวของเวลาที่วัสดุอยู่ภายในเครื่องต่ำ

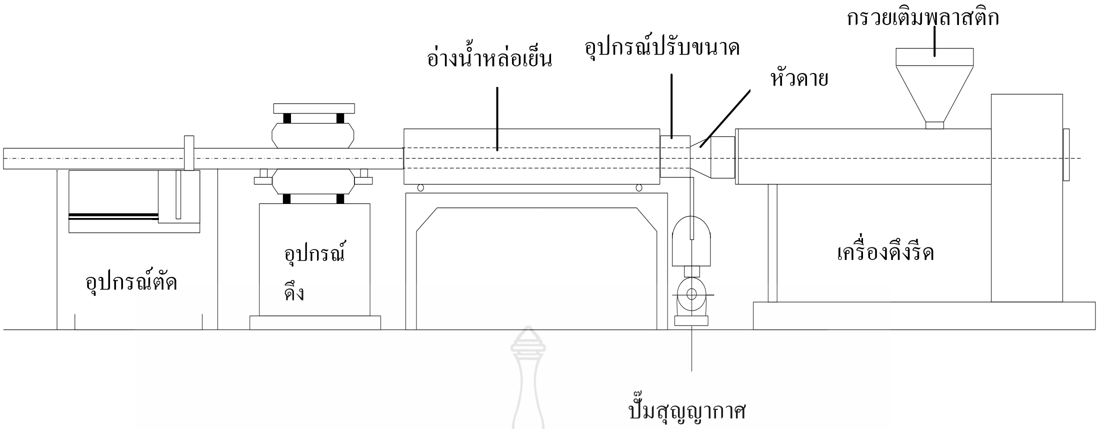
2) ใช้ในกระบวนการแปรรูปแบบพิเศษชนิดต่างๆ เครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ จะใช้ในการผสมหรือคอมปาวด์พลาสติก กล่าวคือ การผสมพลาสติกกับสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆ นอกจากนี้การดึงรีดที่มีก๊าซเกิดขึ้นในขณะทำการแปรรูป นิยมใช้เครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ในการดึงเอาก๊าซออกจากระบบ (Devolatization)

เครื่องดึงรีดแบบสกรูคู่ มีสมรรถนะเหนือกว่าเครื่องดึงรีดแบบสกรูเดี่ยวหลายประการสรุปได้ดังนี้

- ให้ผลผลิตสูงกว่าที่อัตราเร็วของการหมุนสกรูที่เท่ากัน
- สามารถปรับปรุงลักษณะการส่งพลาสติกหลอมเข้าสู่ดาย ได้หลายแบบ
- สามารถลดการเกิดความร้อนเนื่องจากการไหลหนืดได้
- สามารถใช้กับโพลิเมอร์ที่แปรรูปยากและมีความยุ่งยากในการป้อนเข้าเครื่อง
- ใช้พลังงานในการเดินเครื่องน้อยกว่า

2.5.3 อุปกรณ์หลังการดึงรีด

หลังจากที่พลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดายเกิดรูปร่างตามที่ต้องการแล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องรักษารูปทรงนั้นไว้ จนกว่าพลาสติกหลอมจะแข็งตัว แล้วดึงเอาชิ้นงานที่ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ทำการตัดให้มีความยาวตามต้องการ หรือทำการม้วนพับหรือเก็บ ลักษณะของอุปกรณ์ประกอบหลังจากการดึงรีดท่อและโพรไฟล์พลาสติก ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ประกอบของการดึงรีดท่อและ โพรไฟล์ [14]

2.6 การฉีดพลาสติก

กรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก [15] โดยทั่วไปสามารถทำได้หลายวิธี แต่การที่จะเลือกกรรมวิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ชนิดของพลาสติก และความสะดวกรวดเร็วในการผลิต แต่กรรมวิธีในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกนิยมใช้ กรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection Moulding) เพราะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและได้หลายลักษณะงาน กรรมวิธีไม่ซับซ้อน ราคาเครื่องจักรไม่แพงจนเกินไป ตลอดจนพื้นที่ที่ใช้ในการผลิตไม่มากเหมือนกรรมวิธีแบบอื่น สามารถขึ้นรูปได้กับพลาสติกที่มีลักษณะเป็นเม็ดและผง และกับพลาสติกทุกประเภท

2.6.1 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ดังรูปที่ 2.18

1) ชุดฉีด (Injection Unit)

ชุดฉีดจะทำหน้าที่หลายอย่างดังนี้คือ

- การดึงเข้ากระบอกฉีด
- การหลอมเหลวและหนุนส่งพลาสติก
- การฉีดและย้ำรักษาความดัน

2) ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- ยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน
- เลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์

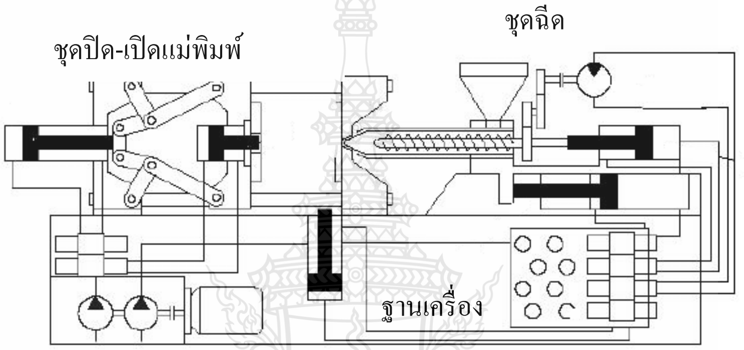
- ให้แรงในการปิดล็อคแม่พิมพ์

- หล่อเย็นชิ้นงาน

- ปลดชิ้นงาน

3) ฐานเครื่อง (Base)

ฐานเครื่องส่วนใหญ่จะเป็นโครงเหล็กเหนียวที่ได้จากการเชื่อมประกอบ โดยทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ และยึดติดอุปกรณ์ไฮโดรลิกทั้งหมดตลอดจนทำหน้าที่เป็นถังบรรจุน้ำมันไฮโดรลิก



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก [15]

2.6.2 จังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก

จังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกมี 9 จังหวะดังนี้

1) แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิดและล็อคแน่น เพื่อป้องกันการเผยอ ด้วยแรงต้านภายในแม่พิมพ์

2) ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์ จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะ เพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับในขณะที่ทำการฉีด

3) ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน

4) ย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่น และไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน

5) หล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ โดยที่จังหวะนี้จะมีอิทธิพลมากต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร

6) การหลอมและป้อนพลาสติกไปหน้าปลายสกรู เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน

7) ชุดฉีดจะถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะจะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้

8) แม่พิมพ์จะเปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น

9) ทำการปลดชิ้นงาน เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว

2.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.7.1 การทดสอบค่าความหนาแน่น (เทคนิคชั่งน้ำ-ชั่งด้วยอากาศ)

ค่าความหนาแน่น (Density) [16] หมายถึงน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้น ซึ่งจะเป็นค่าที่มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต จะเห็นได้ว่าค่าทั้ง 2 มีความหมายต่างกัน แต่ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก และบางครั้งจะมีการนำตัวเลขไปใช้อ้างอิงสลับกับค่าความถ่วงจำเพาะ ถือเป็นจุดเด่นของวัสดุโพลิเมอร์ เนื่องจากโพลิเมอร์จะมีน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่นๆ เช่น โลหะ หรือ เซรามิกส์ นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์โพลิเมอร์จะมีการเติมสารเติมแต่งลงไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการวัดความความหนาแน่นของโพลิเมอร์ จึงมีความสำคัญในแง่ของการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.19 เครื่องทดสอบความหนาแน่น

2.7.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

แนวโน้มของพลาสติกในการดูดซับความชื้น [17] เป็นสิ่งจำเป็นที่ไม่สามารถมองข้ามได้ ตั้งแต่จำนวนน้อยที่สุดของการดูดซับน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล ทางไฟฟ้า และทางแสง โดยลักษณะการดูดซึมน้ำของพลาสติกส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับชนิดพื้นฐาน และองค์ประกอบของวัสดุแต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น วัสดุที่มีส่วนผสมเพียง ไฮโดรเจนและคาร์บอน เช่น โพลิเอทิลีน และโพลิสไตรีน จะมีความต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดี ในขณะที่พลาสติกที่มีกลุ่มออกซิเจน หรือ ออกซิ-ไฮโดรเจน จะมีความว่องไวต่อการดูดซึมน้ำ เช่น เซลลูโลสอะซิเตท และไนลอน จะเป็นวัสดุที่มีการดูดซึมน้ำได้ดี ส่วนวัสดุที่มี คลอไรด์ โบรมีน และฟลูออไรด์ จะเป็นวัสดุที่มีความต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดี ลักษณะการดูดซึมน้ำของวัสดุพลาสติก มีการเปลี่ยนแปลงโดยการเติมสารเติมแต่ง เช่น สารตัวเติม เส้นใยแก้ว และสารช่วยในกระบวนการขึ้นรูป สารเติมแต่งเหล่านี้ แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของน้ำที่มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวัสดุได้มีการสัมผัสกับน้ำบริเวณพื้นผิวด้านนอกของวัสดุพลาสติกบางชนิด มีการดูดซึมน้ำได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นวัสดุมีแนวโน้มที่จะมีการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นและสูญเสียสมบัติอย่างรวดเร็ว วัสดุพลาสติกที่เป็นชิ้นส่วนประกอบของเครื่องซักผ้า วาล์วน้ำและหัวฉีดน้ำ เป็นตัวอย่างของการใช้งานที่วัสดุต้องมีการดูดซึมน้ำที่ต่ำ ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การดูดซึมน้ำของพลาสติกทั่วไป

Plastic Material	Percent Absorption
ABS	0.20-0.45
Cellulose acetate	2.00-7.00
Nylon 66	1.50-2.00
Polycarbonate	0.50-0.35
Polyester (Thermoplastic)	0.80-0.38
Polyethylene	0.01
PPO	0.06-0.07
Polypropylene	0.01
Polystyrene	0.03-0.60
PVC	0.07-0.75

2.8 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) [18] ดังรูปที่ 20 เป็นเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่าง เช่น โพลิเมอร์ ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุม หลักพื้นฐานของ DSC คือ นำถาด 2 ถาด ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ถาดที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่า ไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ชนิดเดียวกัน ซึ่งวางอยู่ข้างๆ กัน เมื่อเริ่มการทดลอง อุปกรณ์ให้ความร้อน จะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) แต่ที่สำคัญเครื่อง DSC จะควบคุมให้ อุปกรณ์ให้ความร้อนทั้งสอง (อุปกรณ์ให้ความร้อนของ Sample Pan และของ Reference Pan) เพิ่มอุณหภูมิถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง สาเหตุที่ความร้อนของถาดทั้งสองจะเพิ่มด้วยอัตราที่ไม่เท่ากันคือ ถาดทั้งสองมีความแตกต่างกัน คือ ถาดที่บรรจุสารตัวอย่างมีตัวอย่างโพลิเมอร์อยู่ข้างใน แต่ถาดอ้างอิง ไม่มีมีสารตัวอย่างอยู่ข้างใน ทำให้ถาดที่บรรจุสารตัวอย่างมีสสารในปริมาณที่มากกว่าถาดอ้างอิง หมายความว่า อุปกรณ์ให้ความร้อนต้องให้ความร้อนถาดที่บรรจุสารตัวอย่างมากกว่าที่ให้ถาดอ้างอิง เพื่อที่จะคงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้เท่ากัน ดังนั้น อุปกรณ์ให้ความร้อน ที่อยู่ใต้ถาดที่บรรจุสารตัวอย่างจะต้องทำงานหนักกว่าอุปกรณ์ให้ความร้อน ที่อยู่ใต้ถาดอ้างอิง และการวัดความแตกต่างของปริมาณความร้อนจากอุปกรณ์ให้ความร้อนทั้งสอง ความร้อนที่ให้สารตัวอย่าง (Heat Flow) มีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ให้สารตัวอย่าง และถูกวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ เมื่อนำค่าพลังงานมาคูณด้วยเวลา ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณพลังงานที่ถูกแสดงในหน่วย มิลลิวัตต์วินาที หรือ มิลลิจูลล์ พลังงานที่ให้สารตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี ของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างดูดพลังงาน เรียกว่า เอนทัลปี มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Endothermic และเมื่อสารตัวอย่างคายพลังงาน เรียกว่า เอนทัลปี มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Exothermic

DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ ทั้งสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่สามารถวัดได้จากการใช้เครื่อง DSC เช่นค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature, T_m) อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา หรือความบริสุทธิ์

รูปที่ 2.20 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC

2.9 เทคโนโลยีด้าน CAD/CAM/CAE

การออกแบบงานขึ้นมา 1 ชิ้น เริ่มต้นที่ความคิดสร้างสรรค์ที่ก่อให้เกิดเป็นชิ้นงาน หลังจากนั้นต้องสร้างแบบที่แสดงรายละเอียดทางวิศวกรรม เพื่อให้สามารถสร้างชิ้นงานนั้นได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงแบบในบางส่วนต้องใช้เวลามาสร้างแบบใหม่ทั้งหมดแทนที่จะสร้างแบบเฉพาะส่วนที่ต้องการเปลี่ยนแปลงแก้ไข จึงได้เกิดการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบขึ้น เพราะจะทำให้การปรับปรุงแก้ไขรายละเอียด การทำซ้ำหรือเปลี่ยนแบบ ทำได้ง่ายขึ้นและรวดเร็ว รวมถึงนำชิ้นงานที่ออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ไปใช้ในการสร้างชิ้นงานจริงในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้ [19]

2.9.1 Computer Aided Design and Drafting, CAD

การนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและเขียนแบบ โดยทั่วเป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงาน 3 ประเภทคือ

1) งานเขียนแบบ

2) งานเขียนวัตถุ 3 มิติ

3) งานทางด้านการสร้างภาพเหมือนจริงทั้งแบบภาพอยู่นิ่งและภาพเคลื่อนไหว

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานเขียนแบบ เป็นการนำ CAD Technology มาใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะสามารถใช้ได้กับงานเขียนแบบทุกสาขา ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีให้เลือกใช้มีทั้งที่สามารถใช้ได้กับงานทุกประเภท และผลิตมาให้ใช้เฉพาะงานแต่ละสาขา ลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภทนี้จะเป็นโปรแกรมที่มีคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ในการเขียนแบบอย่างครบครัน

เช่น คำสั่งที่ใช้ในการเขียนรูปทรงพื้นฐานต่างๆ เช่น จุด เส้นตรง เส้นโค้ง วงกลม วงรี เป็นต้น คำสั่งในการแก้ไข ดัดแปลงรูปร่างของรูปทรงพื้นฐาน เช่น ลบ ตัด ยืด ลบมุม เป็นต้น คำสั่งช่วยให้การทำงานเร็วขึ้น เช่น การเคลื่อนย้าย การคัดลอก การทำสำเนาแบบต่างๆ เป็นต้น

นอกจากนั้นยังมีคำสั่งที่เกี่ยวกับการบอกขนาด รวมทั้งสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการเขียนแบบ และคำสั่งอีกมากมายที่อำนวยความสะดวกให้การเขียนแบบเป็นไปอย่างง่ายดายและรวดเร็ว

ประโยชน์โดยตรงในการนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการเขียนแบบนั้นมีดังนี้

1) ทำให้การเขียนแบบเป็นไปอย่างง่าย สวยงาม และรวดเร็ว

2) การแก้ไขแบบสามารถกระทำได้โดยง่ายจากฐานข้อมูลเดิมที่มีอยู่แล้ว

3) การจัดเก็บใช้พื้นที่น้อยและสามารถส่งไปที่ใดๆ ได้โดยผ่านทางอินเตอร์เน็ต

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานเขียนวัตถุ 3 มิติ หมายถึงการเขียนวัตถุ 3 มิติที่แท้จริงขึ้นมาในคอมพิวเตอร์ ซึ่งวัตถุ 3 มิติเหล่านี้จะเป็นแบบจำลองที่เป็นตัวแทนทางความคิดของผู้ออกแบบ ที่ต้องการให้สิ่งที่ออกแบบไว้ปรากฏเป็นรูปธรรมมากที่สุด ลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภทนี้จะเป็นโปรแกรมที่มีคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างและแก้ไข รวมทั้งการแสดงผลรูปทรง 3 มิติอย่างครบครัน เพียงแต่ผู้ใช้ต้องประยุกต์ใช้เพื่อให้สอดคล้องกับงานของแต่ละคนที่มีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปวัตถุ 3 มิติจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือวัตถุ 3 มิติที่มีแต่เส้นโครงร่าง วัตถุ 3 มิติที่เป็นทรงตันและวัตถุ 3 มิติที่เป็นพื้นผิว

โดยทั่วไปการเขียนวัตถุ 3 มิติจะเป็นงานทางวิศวกรรมที่ต้องการผลลัพธ์เป็นรูปร่างลักษณะ ที่เป็นไปตามจุดประสงค์ในการใช้งานเท่านั้น แต่สำหรับงานทางศิลปกรรม มีความต้องการมากกว่านั้น คือต้องการแสดงผลให้วัตถุ 3 มิติมีความเหมือนจริงมากที่สุดทั้งในด้านรูปร่าง สี ของวัสดุที่ใช้ ลักษณะของพื้นผิวของวัสดุรวมทั้งสภาพแวดล้อมต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางความรู้สึกและช่วยให้จินตนาการของลูกค้าและผู้ออกแบบมีความสอดคล้องกัน ดังนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยงานด้านนี้จึงมีคำสั่งใช้ ผู้ใช้สามารถกำหนดวัสดุและลักษณะของพื้นผิว รวมทั้งการจัดการสภาพแวดล้อมให้ผสมกลมกลืนกัน จนสิ่งที่เกิดขึ้นแทบจะแยกไม่ออกว่าเป็นภาพถ่ายจากของจริงหรือภาพที่เกิดจากการสร้างสรรค์ของคอมพิวเตอร์ นอกจากนั้นยังสามารถทำให้วัตถุ 3 มิติเหล่านี้มีการเคลื่อนไหวไปมาเหมือนของจริงได้อีกด้วย

2.9.2 Computer Aided Manufacturing, CAM

การนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการผลิต โดยทั่วไปเป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องกัดอัตโนมัติ เครื่องกลึงอัตโนมัติ เครื่องตัดด้วย

ลวดอัตโนมัติ เป็นต้น ตามปกติเครื่องจักรกลอัตโนมัติ จะทำงานตามคำสั่งที่เขียนไว้ในชุดคำสั่ง หรือที่เรียกว่า NC Program ซึ่งชุดคำสั่งเหล่านี้จะประกอบไปด้วยคำสั่งที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด ให้ตัดงานตามที่ต้องการทั้งรูปร่างและขนาด คำสั่งในการเปิดปิดอุปกรณ์ช่วยงานในส่วนอื่นๆ เช่นปั๊มน้ำหล่อเย็น Spindle เป็นต้น แต่เดิมผู้ควบคุมเครื่องหรือช่างเทคนิคจะเป็นผู้เขียนโปรแกรมเหล่านี้ด้วยตนเอง ซึ่งนอกจากจะทำให้เสียเวลาในการทำงานเป็นอย่างมากแล้ว ยังอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้หากผู้เขียนโปรแกรมอ่านแบบผิด หรือเขียนโปรแกรมผิดโดยไม่เจตนา หรือในบางกรณีอาจเป็นไปไม่ได้เลยที่มนุษย์จะเขียนโปรแกรมเอง โดยเฉพาะเส้นทางเดินของเครื่องมือตัดที่ตัดงานเป็นรูป 3 มิติ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยงานดังกล่าว โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภทนี้จะสามารถสร้าง NC Program ที่ต้องการจากวัตถุ 3 มิติที่สร้างไว้แล้วก่อนหน้านี้

2.9.3 Computer Aided Engineering, CAE

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม หมายถึงการบอกถึงความสามารถของสิ่งที่ออกแบบว่าสามารถทำงานได้ตามที่อยากให้เป็นหรือไม่ ซึ่งสิ่งที่เป็นตัวบ่งชี้คือ

1) ผลลัพธ์จากการทดสอบจริง ได้แก่ การนำต้นแบบมาทดสอบจริง เช่น การทดสอบการชนของรถหรือการทดสอบความแข็งด้วยการอัดแรง

2) ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ สามารถหาผลลัพธ์จากสถานการณ์ที่สมมติขึ้น ซึ่งการคำนวณแบบนี้จะใช้เวลามากกว่าจะได้ผลลัพธ์ ทำให้วิศวกรคิดนำคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ประเภท CAE มาช่วยคำนวณหาผลลัพธ์ ซึ่งจะทำให้คำนวณได้รวดเร็ว และมีความถูกต้องสูง

2.9.4 การใช้โปรแกรม Solid Works [20]

ปัจจุบันมีโปรแกรมด้าน CAD มีหลายโปรแกรมให้เลือกใช้งานดังที่ได้กล่าวไว้ แต่โปรแกรมที่เป็นที่นิยมมากที่สุดคือ โปรแกรม Auto CAD เพราะว่าเป็นโปรแกรมเขียนแบบโปรแกรมแรกที่ถูกนำเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย และอยู่กับวงการเขียนแบบมายาวนาน ถือว่าเป็นอันดับหนึ่งในการเขียนแบบ 2 มิติ แต่ถ้ากล่าวถึงการเขียน แบบ 3 มิติ โปรแกรม Auto CAD ใช้งานค่อนข้างยากเพราะต้องจดจำคำสั่งและขั้นตอนจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการพัฒนาโปรแกรมด้าน CAD สำหรับงาน 3 มิติเพื่อให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น ซึ่งโปรแกรม Solid Works เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ถูกพัฒนาและนิยมใช้ในปัจจุบัน

การวิเคราะห์ชิ้นงานฉีดพลาสติกด้วย Solid Works Plastic Software เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ชิ้นงานฉีดพลาสติก (Injection Molding) จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถทำนายข้อบกพร้องที่อาจจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานพลาสติก และทำการป้องกันข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้นตั้งแต่ก่อนกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ ลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขแม่พิมพ์ ทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพมากขึ้น ลดเวลาในการสร้างแม่พิมพ์และในด้านการตลาด Solid Works Plastic จะวางจำหน่ายพร้อมกับ Solid Works 2013 โดยโปรแกรมจะทำงานบน Platform ของ Solid Works จะแบ่งเป็นสองแพ๊กเกจอยู่บน Solid Works ดังนี้ Solidb Works Plastics Professional มีเป้าหมายให้นักออกแบบชิ้นงานและช่วยวิเคราะห์การไหลสำหรับชิ้นงานหนึ่งชิ้นกับหนึ่งสถานะการฉีด และ Plastic Material ต่างๆจาก Simple Database และผลในการวิเคราะห์ได้แก่ เวลาในการฉีด แรงดัน อุณหภูมิ Weld line และ Air

โปรแกรม Solid Works Flow Simulation เป็นโปรแกรมเกี่ยวกับ CFD (Computation Fluids Dynamics) ที่สามารถเข้าใจและใช้งานได้ง่าย ซึ่งจะช่วยวิเคราะห์ความหลากหลายและความซับซ้อนของการไหลของของไหลได้ วิเคราะห์ได้ทั้งแบบสองและสามมิติ วิเคราะห์ได้ทั้งแบบภายในและภายนอก (Internal and External Flow) วิเคราะห์แบบสภาวะคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา (Steady State) และ แบบสภาวะไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับเวลา (Transient) ใช้วิเคราะห์ก๊าซที่อัดตัวได้ (Compressible) และของเหลวอัดตัวไม่ได้ (Incompressible) วิเคราะห์แบบ Subsonic, Transonic และ Supersonic วิเคราะห์ของเหลวที่เป็น Non-Newtonian (ได้เฉพาะการไหลแบบ Laminar เท่านั้น) วิเคราะห์ของเหลวอัดตัวได้ (ความหนาแน่นของของเหลวขึ้นอยู่กับแรงดัน) วิเคราะห์การไหลแบบ Laminar, Turbulent และ Transitional วิเคราะห์การไหลแบบหมุน (Swirling) และพัดลม วิเคราะห์การไหลที่มีการถ่ายเทความร้อนภายในระหว่างของเหลวและของแข็ง (Conjugate) วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในของแข็งเท่านั้น (ไม่มีของไหลอยู่ในการวิเคราะห์)

2.10 การทดสอบสมบัติทางกล

2.10.1การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Testing)

การทดสอบความทนต่อแรงดึง เป็นการทดสอบที่ได้รับความนิยม สำหรับการทดสอบสมบัติทางกลพื้นฐานของวัสดุ [21] โดยการทดสอบจะเป็นการให้แรงในแนวเส้นตรงของชิ้นงาน ในทิศทางตรงกันข้ามกัน เพื่อสร้างแรงดึงในชิ้นงาน จนชิ้นงานนั้นเกิดการผิดรูปในช่วงพลาสติก และมีการแตกหักเกิดขึ้นในที่สุด การวัดความสามารถในการรับแรงของวัสดุด้วยการใช้แรงดึง และหาระยะที่ยืดออกไปก่อนที่วัสดุจะแตกหัก โมดูลัสความยืดหยุ่นจะมีความสัมพันธ์กับ ค่าความต้านทานของวัสดุต่อการเสียรูป โดยอธิบายได้จากความเค้นส่วนความเครียด

โดยทั่วไปแล้วชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึงนี้ จะอยู่ในรูปของชิ้นงานที่มีลักษณะเรียวยาว (อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างมีค่ามาก) และปลายทั้งสองสามารถถูกจับยึดโดยเครื่องทดสอบสมบัติทางกล ความทนต่อแรงดึง ดังรูปที่ 2.21 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงนั้นจึงถูกกำหนดให้มีลักษณะรูปร่างที่มีพื้นที่หน้าตัดในบริเวณที่ต้องการวัดความเครียด อยู่ในบริเวณตรงกึ่งกลางชิ้นงาน และมีขนาดที่เล็กกว่าพื้นที่สำหรับการจับยึดในบริเวณปลาย หรือมีลักษณะคล้ายที่ยกน้ำหนัก (Dumbell) โดยจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสีเหลี่ยมหรือวงกลมก็ได้ การออกแบบเช่นนี้เพื่อจะกำหนดได้ว่าชิ้นทดสอบจะเกิดการแตกหักในบริเวณกึ่งกลางชิ้นงาน เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีค่าความเค้นสูงที่สุด (เนื่องจากมีพื้นที่หน้าตัดต่ำที่สุด) ไม่แตกหักในบริเวณที่จับยึด อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ การที่จะทดสอบแล้วชิ้นงานเกิดการแตกหักในบริเวณกึ่งกลางนั้น ยังขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การเตรียมชิ้นงานทดสอบ การติดตั้งชิ้นงานทดสอบ และความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ เป็นต้น ประเภทของชิ้นงานทดสอบแรงดึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักได้แก่

1) ดัมเบลแบบเอวแคบ

ชิ้นงานประเภทนี้เป็นชิ้นงานทดสอบทั่วไปสำหรับพลาสติก เหมาะสำหรับใช้ ทดสอบพลาสติกทั้งแข็งและอ่อน นอกจากใช้ในการทดสอบแรงดึงแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ทดสอบแรงดัดและทดสอบแรงกระแทกได้ โดยตัดปลายทั้งสองด้านสำหรับยึดจับทิ้ง

2) ดัมเบลแบบเอวกว้าง

ชิ้นงานประเภทนี้เหมาะสะหรับใช้ในการทดสอบพลาสติกอ่อนนิ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่สามารถยืดตัวได้สูง ได้แก่วัสดุพวกยางต่างๆ หรือพลาสติกนิ่ม

3) ดัมเบลแบบกระดูกสุนัข

ชิ้นงานประเภทนี้เหมาะสำหรับทดสอบพลาสติกประเภทเทอร์โมเซ็ตในกรณีที่ชิ้นงานแบบดัมเบลโค้งเข้าไม่เหมาะสม แต่ไม่เป็นที่นิยมสำหรับการทดสอบในปัจจุบัน

4) แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ชิ้นงานประเภทนี้เหมาะสำหรับทดสอบวัสดุเชิงประกอบ ในกรณีที่การเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงมีผลทำให้การตัดชิ้นงานเป็นดัมเบลทำได้ลำบาก และผลการทดสอบไม่แน่นอน แต่การใช้ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีปัญหาของการแตกหักบริเวณที่จับยึดได้ง่าย ดังนั้น เพื่อป้องกันปัญหาแผ่นประกบจึงมักติดตั้งเพื่อใช้ในการเสริมแรงบริเวณจับยึด เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในบริเวณนั้น นอกจากจากวัสดุเชิงประกอบแล้ว ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกใช้ในการทดสอบฟิล์มพลาสติกอีกด้วย

รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบความทนต่อแรงดึง

2.10.2 การทดสอบแบบความทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact Testing)

การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกนั้น เป็นการทดสอบวัสดุภายใต้ความเค้นหรือแรงที่ส่งผ่านมายังชิ้นงานทดสอบด้วยอัตราเร็วที่สูงมาก ความต้านทานต่อแรงกระแทกเป็นสมบัติทางกลของพลาสติกที่จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อนำพลาสติกชนิดนั้นๆ ไปใช้งานในลักษณะที่อาจจะต้องประสบกับแรงกระแทก เช่น หมวกกันน๊อก หรือกันชนรถยนต์ เป็นต้น เมื่อพลาสติกอยู่ในสภาวะประสบกับแรงกระแทก จะสามารถเกิดความเสียหายได้หลายแบบ ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่

1) แตกหักแบบเปราะ

การแตกหักประเภทนี้จะมีลักษณะที่พลาสติกเกิดการแตกหักอย่างเฉียบพลันโดยไม่เกิดการครากตัวแต่อย่างใด ตัวอย่างของพลาสติกที่มักเกิดการแตกหักประเภทนี้ ได้แก่ โพลิสไตรีน

2) การเกิดรอยแตกระดับน้อย

การประลัยประเภทนี้ ผลิตภัณฑ์จะเกิดการครากและเกิดรอยแตกเพียงเล็กน้อยในชิ้นงานโดยไม่เกิดความเสียหายโดยรวมต่อรูปทรงหรือสมบัติการใช้งาน

3) เกิดการคราก

ผลิตภัณฑ์จะเกิดการครากอย่างเห็นได้ชัดและเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างชัดเจน นอกจากนี้อาจจะเกิดการฝ้าตัวสืบเนื่องจากความเค้น โดยไม่เกิดรอยแตกแต่อย่างใด

4) การแตกหักแบบเหนียว

การแตกหักประเภทนี้ พลาสติกจะเกิดการครากตัวและมีรอยแตกเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก นำไปสู่ความแตกหักของวัสดุ ตัวอย่างของพลาสติกที่มักเกิดการแตกหักประเภทนี้ ได้แก่ โพลิคาร์บอเนต

การทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอด ดังรูปที่ 2.22 จะใช้เครื่องมือสำหรับทดสอบแรงกระแทก จะใช้เครื่องทดสอบแบบค้อนเหวี่ยง ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก หรือพลังงานในการกระแทก ชิ้นงานแบบไอซอด รอยบากนั้นจะต้องอยู่ตรงกลางของชิ้นงาน ขนาดของมุมของรอยบากจะทำมุม 45 องศา และมีขนาดของรัศมีปลายรอยบาก 0.25 มิลลิเมตร ในการทดสอบสมบัติความความทนทานต่อแรงกระแทกจะค่อนข้างมีความความไม่แน่นอนสูง และมีการกระจายตัวของผลการทดสอบค่อนข้างมาก เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีความน่าเชื่อถือ แต่ละการทดสอบควรจะใช้ชิ้นงานทดสอบอย่างต่ำ 5 ชิ้น หรือ 10 ชิ้นงานขึ้นไปเพื่อหาค่าเฉลี่ยของการทดสอบ

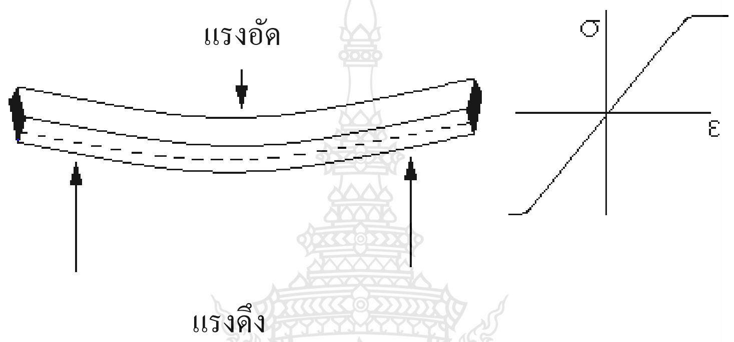
(ก) ลักษณะการเหวี่ยงของค้อนตี (ข) ลักษณะการวางชิ้นงานแบบไอซอด

รูปที่ 2.22 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

2.10.3 การทดสอบความทนการดัดงอ (Flexural Strength)

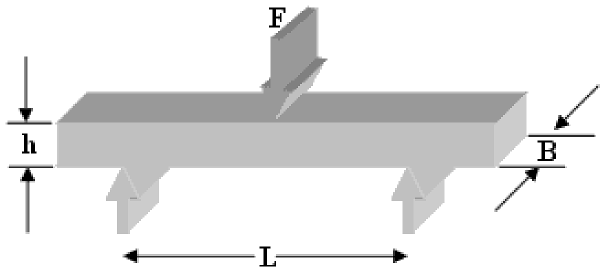
การทดสอบความทนการดัดงอ ดังรูปที่ 2.23 เป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการทดสอบแบบอัตราเร็วคงที่ ซึ่งนิยมใช้ในการทดสอบพลาสติก และมักใช้เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ เนื่องจากวิธีนี้จะไม่ค่อยมีปัญหาซึ่งเกิดจากการเยื้องศูนย์ระหว่างชิ้นงาน และเครื่องทดสอบเหมือนการทดสอบแรงดึง นอกจากนี้การกระจายตัวของแนวแรง ยังถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณที่จะเสียหาย โดยที่สภาพของแรงที่เกิดขึ้นทั้งสองประเภทนี้แตกต่างกัน ในการทดสอบแรงดึงนั้น ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่เท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด (Unifrom Tension) แต่ในการทดสอบแรงดัดงอ ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากในสภาวะที่ชิ้นงานถูกดัดงอนั้น

ชิ้นงานทดสอบจะได้รับแรงสูงสุดบนผิว ผิวหนึ่งและได้รับแรงอัดบนผิวตรงกันข้าม โดยการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะสำหรับพลาสติกอ่อนที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดงอนี้จะถูกต้องในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดงอล้วนๆ (Pure Bending) เท่านั้น ดังนั้นจะไม่ใช้ทดสอบที่ระดับความเครียดเกินร้อยละ 5



รูปที่ 2.23 หลักการทดสอบความทนการดัดงอ [21]

โดยทั่วไป การทดสอบความทนทานการดัดงอแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่การดัดงอแบบ 3 จุด (Three Pointed Bending) ดังรูปที่ 2.24 และการทดสอบแบบ 4 จุด (Four-Pointed Bending) การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรับรองในทิศทางตรงกันข้าม บริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ใช้ให้แรงกระทำและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (Round Knike Edges) หรือเพลาโลหะแข็ง รัศมีของหัวกด และชุดให้แรงกระทำต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และ มีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบสำหรับหัวกด และ 1.5 เท่าของความหนาชิ้นทดสอบสำหรับชุดรองรับ การที่ชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อ เป็นการลดความเข้มของความเค้น (Stress Concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัสดังกล่าว และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1



รูปที่ 2.24 การทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด [21]

ตารางที่ 2.8 สูตรการคำนวณการทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด [21]

พื้นที่หน้าตัด	สี่เหลี่ยม
ความเค้น	$\sigma = \frac{3FL}{2Bh^2}$
ความเครียด	$\varepsilon = \frac{6Yh}{L^2}$
โมดูลัส	$E = \frac{L^3}{4Bh^3}\left(\frac{F}{Y}\right)$

โดยที่ F = แรงกระทำ

L = ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้ง 2 ด้านหรือระยะสแปน (มิลลิเมตร)

h = ความหนา (มิลลิเมตร)

B = ความกว้าง (มิลลิเมตร)

Y = ระยะดัดงอของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทรงกระบอกตัน (มิลลิเมตร)

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่าง F และ Y ในวงเล็บจะเท่ากับความชันในช่วงแรกของกราฟที่สัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะดัดงอของชิ้นงานในช่วงที่กราฟยังเป็นเส้นตรง

2.10.4 การทดสอบค่าความแข็ง (Rockwell Hardness Test)

การทดสอบความแข็ง เป็นการทดสอบสมบัติทางกลที่มีการใช้อย่างแพร่หลายตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งในส่วนของการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบที่ซื้อเข้ามา การควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต ไปจนถึงการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สำเร็จ นอกจากนี้ยังเป็นการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยและพัฒนาวัสดุต่างๆ อีกด้วย

การวัดความแข็งแบบร็อกเวลล์ เป็นเทคนิคการทดสอบความแข็งที่ได้รับความนิยมสูงในการใช้งาน เนื่องจากเป็นการทดสอบที่ง่ายต่อการปฏิบัติ รวดเร็วและมีหลายสเกลทดสอบให้เลือกใช้งานครอบคลุมเกือบทุกประเภทของวัสดุ อีกทั้งผลการวัดที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับผู้ทดสอบมากนักเนื่องจากในการวัดจะเป็นการทำงานของเครื่องมือตั้งแต่ต้นจนจบ ดังรูปที่ 2.25 หลักการของการวัดความแข็งแบบร็อกเวลล์ตั้งอยู่บนปริมาณของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับแรงกดด้วยหัวกด โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ให้แรงกดเริ่มต้น (Minor Lode) แก่ชิ้นงานทดสอบซึ่งความลึกที่หัวกดลงไปในเนื้อชิ้นงานและถูกบันทึกไว้ ขั้นตอนนี้จะช่วยในการปรับสภาพเครื่องทดสอบให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและเป็นการลดความผิดพลาดของผลการทดสอบจากความไม่สมบูรณ์ของพื้นผิวชิ้นงาน เพราะแรงกดเริ่มต้นนี้จะทำให้หัวทดสอบกดลงไปในเนื้อชิ้นงานที่ความลึกค่าหนึ่ง ดังนั้น ผลกระทบจากความขรุขระของผิวงานที่ต่างกัน หรือสิ่งสกปรก หรือวัสดุที่หลงเหลือบนผิวงานก็จะถูกขจัดออกไปได้

2) เพิ่มแรงกดเพิ่มเติมเพื่อให้แรงกดรวมมีค่าเท่ากับแรงกดเต็ม (Major Lode) จึงถูกกดผ่านหัวกดลงบนชิ้นงานทดสอบบริเวณเดิมโดยไม่มีการเลื่อนชิ้นงานทดสอบ

3) หลังจากกดแช่เป็นระยะเวลาที่กำหนด แรงกดเพิ่มเติมนั้นจะถูกนำออกคงเหลืออยู่แต่แรงกดเริ่มต้นเท่านั้น

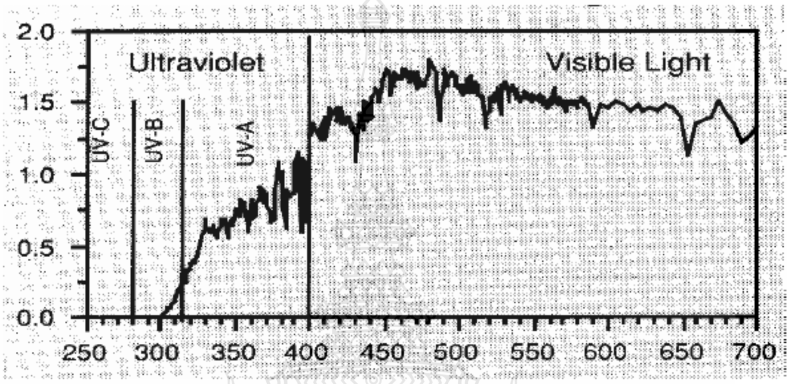
ค่าความแข็งร็อกเวลล์จะเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบว่าวัสดุที่ถูกกดลงไปแล้วคืนตัวได้มากหรือน้อย ถ้ามีการคืนตัวต่ำจะเป็นวัสดุที่มีความแข็งต่ำ แต่ถ้าถูกกดลงไปคืนตัวได้มากจะมีค่าความแข็งสูง

รูปที่ 2.25 เครื่องทดสอบความแข็งร็อกเวลล์

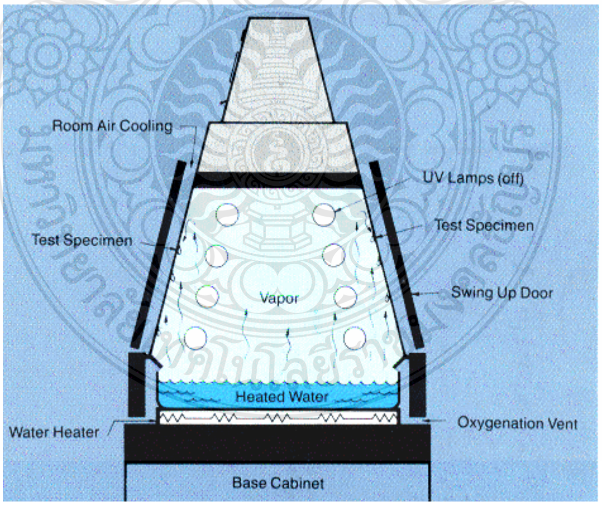
2.11 การทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางหรือพลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพเมื่อมีการนำไปใช้งานกลางแจ้ง หรืองานภายนอกอาคารคือ แสงแดด ความชื้น และความร้อน ดังนั้นเมื่อมีการผลิตหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆขึ้น การทดสอบความทนต่อสภาวะแวดล้อม [22] ของผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปใช้งานจึงมีความสำคัญมาก การทดสอบถ้าทำที่สภาวะการใช้งานโดยนำผลิตภัณฑ์ไปวางไว้กลางแจ้ง และสังเกตผลที่เกิดขึ้นจะต้องใช้เวลานานหลายปี จึงจะทราบผลการทดสอบ ดังนั้นเพื่อเป็นลดเวลาการทดสอบให้เร็วขึ้น จึงทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องเร่งสภาวะแวดล้อม เครื่องเร่งสภาวะแวดล้อม ได้ออกแบบมาเพื่อให้ชิ้นทดสอบสัมผัสกับปัจจัยหลัก ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมสภาพนั้นโดยตรง จึงทราบผลที่จะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น แสงแดดเป็นปัจจัยแรกที่มีความสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก ดังรูปที่ 2.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความยาวคลื่นของแสงแดดที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในช่วงเวลาเที่ยงวัน จะพบว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ประมาณ 280 นาโนเมตร ขึ้นไปเท่านั้น ที่สามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังพื้นโลกได้ และความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีอัลตราไวโอเลต หรือรังสียูวี (Ultraviolet, UV) นั้นมีพลังงานสูงสามารถทำลายพันธะเคมีในโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติกทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ การทดสอบโดยเครื่องเร่งสภาวะ ชิ้นทดสอบจะได้รับรังสียูวี ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงยูวีเอ (315-400 นาโนเมตร) หรือยูวีบี (280-315 นาโนเมตร)

สลับกับความชื้นที่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ ปัจจัยความชื้นในสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถทดสอบโดยชิ้นทดสอบจะได้รับความชื้นจากการให้ความร้อนแก่น้ำในถาดเก็บน้ำด้านล่างของตัวเครื่องเร่งสภาวะแวดล้อม เมื่อน้ำกลายเป็นไอจนในห้องทดสอบมีความชื้นถึงระดับอิ่มตัว ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเมื่อมากระทบกับความเย็นที่ผิวตัวอย่างจะเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำเกาะอยู่บนผิวตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับความยาวคลื่นของแสงแดดที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในช่วงเวลาเที่ยงวัน [22]



รูปที่ 2.27 ภาคตัดขวางของเครื่องเร่งสภาวะแวดล้อมแสดงการให้ความชื้นสัมผัสกับชิ้นทดสอบ [22]

ส่วนความร้อนซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เสริมให้เกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เครื่องเร่งสภาวะแวดล้อม ได้ออกแบบมาให้สามารถควบคุมอุณหภูมิการทดสอบให้สูงกว่าสภาวะแวดล้อม ปกติทั้งในช่วงที่ให้แสงยูวีและช่วงที่ให้ความชื้น

เครื่องทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม ดังรูปที่ 2.28 ใช้หลอดให้แสงยูวีบีความยาวคลื่นหลัก 313 นาโนเมตร ความเข้มแสง 0.63 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อนาโนเมตร ควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 50-90 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงไอน้ำควบแน่นสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 40-60 องศาเซลเซียส การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM G 154 [23] หลังการทดสอบทำการตรวจพินิจลักษณะภายนอก เช่น การแตก การขึ้นเหลือง ความมันวาว การเปลี่ยนแปลงของสี หรือนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้านแรงดึง และความยืดเมื่อขาด

รูปที่ 2.28 เครื่องทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม

2.12 การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การพัฒนาการทดสอบเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์ต้องมีความแตกต่างเฉพาะประเด็นที่ต้องการทดสอบ ดังนั้นสภาพอากาศแวดล้อมที่ทำการทดสอบต้องกำหนดให้อยู่ในเงื่อนไขเดียวกัน และเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบของ ASHRAE Standard 93-77 จึงได้กำหนดตัวแปรที่เกิดจากบรรยากาศแวดล้อม ซึ่งได้แก่ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวม และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ซึ่งตัวแปรทั้งสองค่านั้น การกำหนดต้องใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้ทำการทดสอบด้วย นอกจากนี้ต้องกำหนดอุณหภูมิของน้ำทางเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์และอัตราการไหลของน้ำ แม้ว่าตามมาตรฐานการทดสอบของ ASHRAE Standard 93-77

ไม่ได้มีการกำหนดไว้ แต่ต้องกำหนดเพิ่มเติมเพราะเป็นการเปรียบเทียบเพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนำไปวิเคราะห์ได้ถูกต้อง และตรงประเด็นการออกแบบเงื่อนไขในการทดสอบ ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ตัวแปรที่ใช้ทดสอบและเงื่อนไขในการทดสอบ [24]

ตัวแปร	เงื่อนไข
ความเข้มรังสีอาทิตย์	ไม่น้อยกว่า 790 วัตต์ต่อตารางเมตร
อัตราการไหลของน้ำ	ค่าคงที่เท่ากับ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	ไม่น้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของน้ำทางเข้า	ในช่วง 35-50 องศาเซลเซียส
ไพรานอมิเตอร์	ติดตั้งในระนาบเดียวกับตัวรับรังสีอาทิตย์

การวิเคราะห์ผลเป็นการนำข้อมูลดิบที่ได้จากการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ มาพล็อตกราฟเป็นสมการเส้นตรงตามมาตรฐานของ ASHRAE Standard 93-77 และนำสมการเส้นตรงมาเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์

1) การหาค่าความร้อนชั่วขณะของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ดังรูปสมการคือ

$$Q = \dot{m} Cp \Delta T \tag{2.6}$$

โดยนำอุณหภูมิน้ำไหลเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำไหลออก (T_{out}) และค่าอัตราการไหลแทนในสมการแล้วหาค่า Q ค่า Q จะเป็นค่าพลังงานความร้อนชั่วขณะจะเป็นพลังงานต่อพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ทั้งหมด

2) หาประสิทธิภาพชั่วขณะมีรูปสมการ คือ

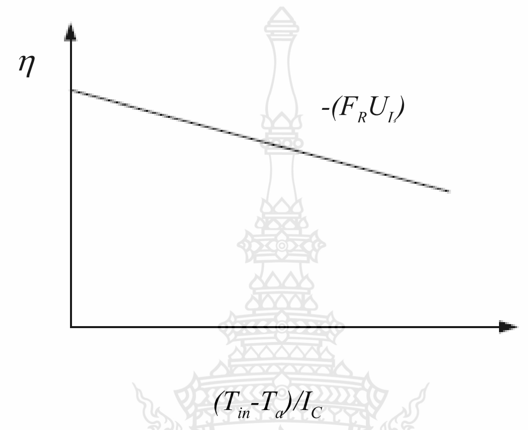
$$\eta = \left(\frac{Q}{I_C . A_C} \right) \times 100 = F_R \left(\tau\alpha \right) - F_R U_L \left(T_{in} - T_a \right) / I_C \tag{2.7}$$

โดยการนำพลังงานความร้อนชั่วขณะที่ได้หารด้วยความเข้มรังสีอาทิตย์รวมและพื้นที่รับรังสีของแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งแต่ละแผงจะมีขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน

3) หาค่า $(T_{in}-T_a)/I_C$

4) นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากข้อมูลดิบมาทำการจากการวิเคราะห์

5) ทำการพล็อตกราฟระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวดูซับความร้อน (η) กับ $(T_{in}-T_a)/I_c$ โดยกำหนดให้ (η) เป็นค่าแกน y และ $(T_{in}-T_a)/I_C$ เป็นแกน x จะได้กราฟความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันติดลบโดยที่ความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ $-(F_RU_L)$



รูปที่ 2.29 กราฟที่ได้จากการพล็อตกราฟประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ที่เกิดจากการสูญเสียความร้อนทางด้านบน ทางด้านข้าง และทางด้านหลังของตัวรับรังสีอาทิตย์ การสูญเสียความร้อนทางด้านข้างนั้นมีผลน้อยมากต่อระบบ และการสูญเสียความร้อนทางด้านหลัง นั้นถือว่าน้อยเช่นกัน เนื่องจากมีการใช้ฉนวนกันความร้อนอย่างดี ดังนั้นการสูญเสียความร้อนส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียความร้อนทางด้านบน ที่เกิดจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งแผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สามารถแยกวิเคราะห์เป็น 3 กรณี คือ

1) การพาความร้อนออกจากด้านบนของแผ่นปิดใสด้านบนที่เกิดจากลมพัด

2) การพาความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์

3) การแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์

จะเห็นได้ว่าการสูญเสียความร้อนทางด้านบนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้ง 3 กรณี แต่กรณีที่เกิดการพาความร้อนที่เกิดจากลมเป็นสิ่งที่อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันทั้งหมดจึงมีผลน้อยต่อการเปรียบเทียบ แต่กรณีที่มีค่า F_RU_L ใกล้เคียงกันจะไม่สามารถวิเคราะห์ได้เพราะอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ซึ่งจะวิเคราะห์ได้ถ้ามีค่า (F_RU_L) แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นการพิจารณาการสูญเสียความร้อน

ทางด้านบนจึงพิจารณาเฉพาะการพาความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์และการแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เท่านั้น

2.13 รูปแบบการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ในการศึกษาวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน[25] จากการศึกษาจะเป็นอย่างไรย่อมขึ้นอยู่กับรูปแบบของการวิเคราะห์ที่ใช้รูปแบบของการวิเคราะห์ปัญหาในทางเศรษฐศาสตร์สามารถแยกออกได้เป็นประเภทต่าง ดังนี้

2.13.1เศรษฐศาสตร์ที่เป็นจริง และเศรษฐศาสตร์ที่ควรจะเป็น

เศรษฐศาสตร์ที่เป็นจริง (Positive Economics) เป็นการศึกษาพฤติกรรมของหน่วยเศรษฐกิจและการทางานของระบบเศรษฐกิจในความเป็นจริง หรือสภาพที่เป็นอยู่ว่ากาลังเกิดอะไรขึ้น เกิดขึ้นได้อย่างไร โดยไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนบุคคล เช่น การศึกษาว่าถ้าหากรัฐบาลยื่นมือเข้ามาช่วยเหลือเกษตรกรโดยการใช้นโยบายประกันราคาขั้นต่ำ ใครจะเป็นผู้ได้รับประโยชน์ ใครจะเป็นผู้เสียผลประโยชน์ และจะเกิดผลกระทบอะไรบ้าง คือ เศรษฐศาสตร์ที่เป็นจริง จะเป็นการศึกษาในลักษณะของการเรียนรู้ว่าเรื่องนั้นๆ เป็นเช่นไร

2.13.2เศรษฐศาสตร์ที่ควรจะเป็น (Normative Economics) เป็นการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจนั้นๆ ว่าเป็นสิ่งที่ถูกต้องหรือไม่ ควรปรับปรุงอย่างไร โดยใช้ความคิดเห็นส่วนตัวเข้ามาเกี่ยวข้อง

การศึกษาความคุ้มค่าหรือการวัดมูลค่าในการลงทุน ซึ่งสรุปได้เป็น 2 ลักษณะ

1) การวัดมูลค่าการลงทุนแบบดั้งเดิม

ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) เป็นการวัดมูลค่าการลงทุนแบบง่าย ๆ โดยดูผลตอบแทนเป็นตัวเงินที่จะได้รับกลับคืนในแต่ละปี เทียบกับเงินลงทุน เพื่อให้ทราบว่าจะได้คืนทุนในระยะเวลากี่ปี ดังสมการที่ 2.8

$$PBP = \frac{A_o}{A_S} \tag{2.8}$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

A_O = เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น (บาท)

A_S = อัตราไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)

2) การวัดมูลค่าโดยดัชนีชี้วัดที่มีการปรับค่าของเวลา

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับมูลค่าปัจจุบันเงินสดรับลบมูลค่าปัจจุบันเงินสดจ่าย โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่าเป็น บวก จะยอมรับโครงการ
- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่าเป็น ลบ จะปฏิเสธรับโครงการ

ทั้งนี้การที่จะหามูลค่าปัจจุบันสุทธิได้ จะต้องทำความเข้าใจมูลค่าปัจจุบัน Present Value หมายถึงการปรับค่าของเงินที่จะได้ในอนาคตให้เป็นค่าในปัจจุบัน

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่ผ่าน นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2.16 ตารางเมตร กำลังผลิต 160 ลิตรต่อวัน โดยออกแบบการทดลองผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้อาบน้ำสำหรับผู้อยู่อาศัย 2 คน ซึ่งมีความต้องการน้ำร้อน 140 ลิตรต่อวัน และเก็บข้อมูลตามสภาวะอากาศของภาคใต้ 3 กรณี ได้แก่ วันที่มีแดดปกติ วันที่มีเมฆปกคลุมเหนือแผงตลอดทั้งวันแต่ไม่มีฝนตก และวันที่มีแดดเพียง 3-4 ชั่วโมง และมีฝนตกในช่วงบ่าย ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ทั้ง 3 กรณี มีค่าเท่ากับ 61.8 องศาเซลเซียส 55.4 องศาเซลเซียส และ 55.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอาบน้ำทั่วไป คือ 27-34 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำร้อน คือ ช่วง 10.00-14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์สูง ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 กรณี มีค่าเท่ากับร้อยละ 48, 57 และร้อยละ 64 ตามลำดับ ประสิทธิภาพจะมีค่าสูง เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำทางเข้าและออกจากแผงเฉลี่ย และอุณหภูมิบรรยากาศมีค่าน้อย

พฤทธิ มาเนตรและคณะ [27] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน จะมีอุปกรณ์หลักในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน คือ ตัวรับรังสีอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบช่องอากาศไหลบน และตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบช่องอากาศไหลล่าง และทำการปรับปรุงตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลล่างมีขนาดกว้าง 1.8 เมตร ยาว 3.22 เมตร วางทำมุม 17 องศา กับแนวระดับ

โดยทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่สภาวะอุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม ($T_i = T_a$) และผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบที่มีช่องอากาศไหลบนและไหลล่างของตัวดูดซับรังสีอาทิตย์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 31.4 และร้อยละ 43.68 ตามลำดับ จะเห็นว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลล่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลบน เนื่องจากมีชั้นอากาศนิ่งเปรียบเสมือนฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านบนของผิวกระจกอีกชั้นหนึ่ง และทำการปรับปรุงตัวรับรังสีอาทิตย์โดยติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ต่างๆ ดังนี้ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 องศา กับตัวรับรังสีอาทิตย์ พบว่า มุม 75 องศา มีประสิทธิภาพตัวรับรังสีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 53.29 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีมุมเอียง 75 องศา ทำให้ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นได้ดีที่สุด

ศรีธร อุปคำและคณะ [28] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะการทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน และระบบทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด 2 ตารางเมตร ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร ใช้สาร R-134 a เป็นสารตัวกลางของระบบปั๊มความร้อนที่อัตราการไหลของน้ำป้อนและน้ำหมุนเวียนในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 2.5 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 40-60 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับอาคารที่อยู่อาศัยซึ่งอยู่ภายใต้ภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ในการรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ให้คงที่ที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 40 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 13.52 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 11.81 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 50 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 29.90 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 37.25 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 60 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 51.14 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 58.90 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ จะได้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 2.06 ปี

จงจิตร์ หิรัญลาภ และคณะ [29] ได้ศึกษาวิจัยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย โดยใช้วัสดุท่อพลาสติกพีวีซีขนาด 40 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และใช้ถังสะสมความร้อนขนาด 35 ลิตร จากการทดลองพบว่าแบบท่อวางบนกระเบื้องหลังคาบ้าน (ลอนเล็ก) ที่มีฝาปิดพลาสติกใสทำอุณหภูมิได้ 72 องศาเซลเซียส ในขณะที่แบบท่อแนวตั้งมีกระเบื้องแผ่นเรียบและมีฝาปิดพลาสติกใสทำอุณหภูมิได้ 65 องศาเซลเซียส และเพื่อ

ป้องกันไม่ให้ท่อพลาสติกพีวีซีเสียหาย ในกรณีที่อุณหภูมิเครื่องทำน้ำร้อนสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ต้องมีการระบายอากาศระหว่างท่อและฝาปิด โดยใช้อากาศจากภายนอกเข้ามาหมุนเวียน ใช้ค่าก่อสร้างประมาณ 4,500 บาทรวมแพงพีวีซี (ประมาณไม่เกิน 2,000 บาท) อายุการใช้งานประมาณ 3 ปี

บงกช ประสิทธิ์ และคณะ [30] ได้ศึกษาวิจัยการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบธรรมดาที่ใช้ในปัจจุบัน โดยทั่วไปสามารถผลิตน้ำร้อนได้ในอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ให้สูงขึ้น จะทำให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการใช้งาน การติดครีบเพิ่มความร้อนให้กับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะสามารถช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากครีบ จุดมุ่งหมายของการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์แผ่นเรียบธรรมดากับแบบติดครีบเพิ่มความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมาตรฐานการทดสอบของ ASHRAE STANDARD 93-77 และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนของทั้ง 2 ระบบ ซึ่งตัวอย่างที่ใช้เป็นเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ รุ่น SD-160L Version 1 ขนาดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ กว้าง 1.15 เมตร ยาว 1.94 เมตร (2.23 ตารางเมตร) ถังเก็บน้ำร้อนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เมตร ยาว 1.35 เมตร (ขนาดความจุ169 ลิตร) จำนวน 1 ระบบ และรุ่น SD-160L Version 2 ขนาดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ กว้าง 1.01 ยาว 1.96 เมตร (1.98 ตารางเมตร) มีถังเก็บน้ำร้อนเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เมตร ยาว 1.35 เมตร (ขนาดความจุ 169 ลิตร) จำนวน 1 ระบบ โดยทำการบันทึกผลและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิท่อน้ำเข้าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิท่อน้ำออกจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยเก็บข้อมูลทั้งกลางวันและกลางคืน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2545 ถึงเดือนพฤษภาคม 2545 เพื่อนำผลข้อมูลที่ได้มาประเมินประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกัน และดูการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน ผลการศึกษาพบว่า ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบธรรมดาของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 64.5 และอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 0.57 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ระหว่างเวลา 15.00 ถึง 10.00 น. ของวันรุ่งขึ้น ในขณะที่ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบแบบติดครีบมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 79.7 ซึ่งน้ำร้อนภายในถังเก็บมีอุณหภูมิลดลงในอัตราที่น้อยกว่า (0.45 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง) ซึ่งสรุปได้ว่าการติดครีบที่ตัวรับรังสีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตมีค่าสูงขึ้นได้

เสริม จันทร์ฉาย และคณะ [31] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างตัวรับแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร. ยาว 1.55 เมตร มีพื้นที่ของแผ่นดูดกลืนแสงเท่ากับ กว้าง 0.085 เมตร ยาว 1.37 เมตร ปลายหัวปิดท้ายด้วยด้วยฝาครอบโลหะ และใช้วงแหวนยางและกาวสุญญากาศ ป้องกันการรั่วของอากาศตรงผิวสัมผัสระหว่างฝาครอบโลหะและท่อแก้ว จากการทดสอบสมรรถนะของตัวรับแสงที่สร้างขึ้น พบว่าในช่วงความดันอากาศภายในท่อ 2-50 ทอร์ ประสิทธิภาพของตัวรับแสงมีค่าใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพดังกล่าวมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้สูบอากาศออก ประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงความดันดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 0.82

วิทยา ยงเจริญ และคณะ [32] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ขนาด 2 ตารางเมตร กับ ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 150 ลิตร และแบบฮีตไปป์ ขนาด 1.2 ตารางเมตร กับถังเก็บน้ำร้อน ขนาด 86 ลิตร ระบบประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน เครื่องสูบหมุนเวียนน้ำร้อน และเครื่องควบคุมการทำงานเครื่องสูบ ระบบทำน้ำร้อนติดตั้งไว้บนดาดฟ้าของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแผงรับแสงอาทิตย์วางหันหน้าไปทางทิศใต้ และวางทำมุมชัน 15 องศา กับแนวระดับสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและ 35 องศา สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีทไปป์ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง อุณหภูมิอากาศภายนอกและความเร็วลม ในการทดสอบจะเก็บข้อมูลทุกๆ 2 นาที ตั้งแต่เวลา 8.00-16.00 น. แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เก็บได้ในถังเก็บน้ำร้อนจาก $Q = MC_p(T_f - T_i)$ และประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนจาก $h_c = Q \times 100 / S$

จากการทดลอง สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และปริมาณน้ำร้อนที่ใช้ เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 384-602 วัตต์ต่อตารางเมตร และ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนอยู่ในช่วงร้อยละ 39-43 สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและน้ำร้อนซึ่งมีปริมาตร 150 ลิตร มีพลังงานสะสม 8.7-14.9 เมกะจูลต่อวัน และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 53.1 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 50.2 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเป็นร้อยละ 31.5 แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อนปริมาณร้อยละ 50 ในตอนบ่ายโมง ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 57.3 ในขณะที่ ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อฮีตไปป์ จะอยู่ในช่วงร้อยละ 26-27 และน้ำร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 3.4-5.2 เมกะจูลต่อวัน สามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 43.5

องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 51 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อนจะลดลงเป็นร้อยละ 19.6 แต่ถ้ามีการใช้น้ำร้อนปริมาณร้อยละ 50 ในตอนบ่ายโมง ประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 37 ที่มุมชันของแผงรับแสงอาทิตย์ 35 องศา ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าที่มุมชัน 55 องศา และ เมื่อใช้แผ่นสะท้อนแสงปิดที่ด้านหลังของแผงรับแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพจะสูงกว่าที่ไม่ใช้แผ่นสะท้อนแสงประมาณร้อยละ 12 และอุณหภูมิน้ำร้อนสุดท้ายในถังเก็บจะเพิ่มขึ้น 3-5 องศาเซลเซียส ในระบบน้ำร้อนที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ในงานวิจัยนี้ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะสูงกว่าแบบท่อฮีตไปป์

จารุวัฒน์ เจริญจิต [33] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพเชิงอุณหภูมิของการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในภาคอุตสาหกรรม รังสีอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพทางความร้อนสูง สามารถประยุกต์ใช้งานในรูปแบบของการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อทดแทนการใช้พลังงานสิ้นเปลืองรูปแบบอื่นๆ ที่สร้างปัญหาทางเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน โดยบทความนี้ได้เสนอการใช้ประโยชน์จากการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในกระบวนการทางความร้อนภาคอุตสาหกรรม บนตัวแปรของอุณหภูมิน้ำร้อนที่สามารถผลิตได้ ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิต่ำ (<100 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิปานกลาง (100-400 องศาเซลเซียส) แปรผันตาม ค่าประสิทธิภาพเชิงรังสี $F_R(\tau\alpha)$ และค่าการสูญเสียความร้อน $-F_R U_L$ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีแบบต่างๆ เมื่อนำอุณหภูมิน้ำร้อนที่สามารถผลิตได้ มาพิจารณาร่วมกับข้อมูลช่วงอุณหภูมิที่ต้องการในอุตสาหกรรมต่างๆ พบว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (FPC) เหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยที่ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (ETC) และตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (CPC) เหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิปานกลางในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ จึงเป็นเทคโนโลยีที่ควรมีการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษ และก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

สมชาย มณีวรรณ์ และคณะ [34] ได้ทำการศึกษา เปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ แบบใช้แผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 ระบบ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบของ ASHRAE Standard 93-77 ซึ่งแสดงสมรรถนะ ทางความร้อนในรูปสมการเส้นตรงคือ $\eta = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L(T_i - T_a)/I_{Tt}$ โดยค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ เป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุดของตังรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ค่า $F_R U_L$ เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ผลการทดสอบพบว่า ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้แผ่นปิด

ใสด้านบนเป็น Low Iron Tempered Glass ความหนา 4.0 มิลลิเมตร และใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็น Aluminum Fin ซึ่งมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ = 0.65 สำหรับตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีค่าบ่งชี้การสูญเสียความร้อนรวมน้อยที่สุด คือตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ แผ่นปิดใสด้านบนเป็นแผ่น โพลิคาร์บอเนต ความหนา 1.0 มิลลิเมตร และใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็น Aluminum Fin ซึ่งมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ = 3.60 และตัวรับรังสีที่มีสมรรถนะโดยรวมสูงสุด คือตัวรับรังสีอาทิตย์ใช้แผ่นปิดใสด้านบนเป็น Tempered Glass ความหนา 4.0 มิลลิเมตร และใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็น Aluminum Extruded Whit Selective Surface ซึ่งมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ = 0.62 และมีค่า $(F_R U_L)$ = 10.37

บทที่3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

- โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC)
- โพลิบิวทิลีน (Polybutylene, PB)
- โพลิโพรพิลีน (Polypropylene Random Copolymer, PP-R)
- โพลิไวนิลคลอไรด์คอมโพสิต (Polyvinyl Chloride-Composite, PVC-C)
- โนริล (Polyphenylene Oxide/Polystyrene, Noryl)

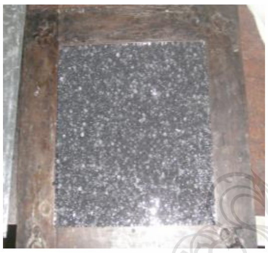
3.1.2 เครื่องมือทดสอบ

- เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Portable Data Station) ยี่ห้อ Yokogawa Datum-Y, XL100
- เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) ยี่ห้อ Kipp & Zonen, CMP 3
- เทอร์โมคัปเปิล (K Type Thermocouple)
- เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine) ยี่ห้อ Lab Tech Engineering
- เครื่องดึงรีด (Extrusion Machine) ยี่ห้อ CQ รุ่น SJSZ 80
- เครื่องฉีด (Injection Molding Machine) ยี่ห้อ Toshiba
- Solid Works Flows Simulation 2011
- เครื่องทดสอบความหนาแน่น (Density Measurement) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AL 204
- เครื่องทดสอบทางความร้อน (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น DSC 7
- เครื่องบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม (Accelerated Weathering Tester, QUV) ยี่ห้อ The Q Panel Lab Products จำกัด
- เครื่องทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LLOYD LR 10 K
- เครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact Tester) ยี่ห้อ Cease รุ่น Bernezz 070 Telex 2220147
- เครื่องทดสอบความทนการดัดงอ (Flexural Testing) ยี่ห้อ Houns Field รุ่น H 50 K
- เครื่องทดสอบค่าความแข็งที่ผิว (Rockwell Hardness Tester) ยี่ห้อ Matsuzawa

3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบและการขึ้นรูปชิ้นงานแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมโดยนำเอาเม็ดพลาสติก PVC, PB, PP-R, PVC-C และ Noryl มาใส่ลงในแม่พิมพ์ หลังจากนั้นให้นำแผ่นอะลูมิเนียม มาวางระหว่างแม่พิมพ์ เพื่อสามารถแกะชิ้นงานได้ง่ายขึ้นและให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบ และปิดประกบแม่พิมพ์ หลังจากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป แรงดัน 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 5 นาที อุณหภูมิระหว่าง 180-250 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก โดยทำการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นแผ่น พลาสติกขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 0.3 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปตัดตามมาตรฐานที่ต้องการทดสอบ ดังรูปที่ 3.1



(ก) การเติมเม็ดพลาสติกลงในแม่พิมพ์

(ข) เครื่องอัดขึ้นรูป

(ค) ชิ้นงานจากเครื่องอัดขึ้นรูป

รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

3.2.2 การขึ้นรูปชิ้นงานแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 3.2 เครื่องดึงรีดชิ้นงานพลาสติก [14]

ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน

1) กระบวนการเริ่มจากการเติมเม็ดพลาสติกที่ผ่านการคอมปาวด์ลงในกรวยเติมพลาสติก

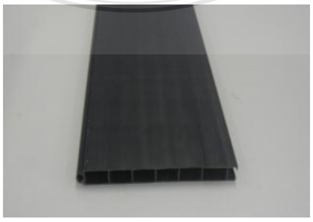
2) ตั้งอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆของกระบอก และดายตามชนิดของพลาสติกที่ใช้

3) เดินเครื่องโดยให้พลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดาย

4) พลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดาย ผ่านอุปกรณ์ปรับขนาดเพื่อหล่อเย็นและปรับรูปร่างของชิ้นงานให้เหมาะสม

5) ชิ้นงานพลาสติกที่ผ่านอุปกรณ์ปรับขนาด จะถูกส่งเข้าอ่างหล่อเย็น เพื่อหล่อเย็นเพิ่มเติมจนชิ้นงานมีอุณหภูมิใกล้อุณหภูมิห้อง

6) ชิ้นงานจะถูกส่งไปยังเครื่องดึง และเครื่องตัด เพื่อตัดชิ้นงานเป็นท่อน



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานดึงรีดจากวัสดุพลาสติก

3.2.3 การขึ้นรูปข้อต่อ

รูปที่ 3.4 เครื่องฉีดชิ้นงานพลาสติก [15]

ขั้นตอนการขึ้นรูปข้อต่อ

1) ชุดฉีด (Injection Unit)

การทำงานของชุดหัวฉีด เม็ดพลาสติกที่อยู่ในกรวยเติมจะค่อยๆ ลดลงเมื่อสกรูหมุนพาเม็ดพลาสติกออกไปที่กระบอกสูบ และเม็ดพลาสติกก็จะหลอมละลายในกระบอกสูบด้วยความร้อนจากฮีทเตอร์ สกรูจะทำหน้าที่คลุกเคล้าเม็ดพลาสติกที่ละลายแล้วให้เป็นเนื้อเดียวกัน พร้อมกับขับดันให้พลาสติกพุ่งออกจากหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

2) ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

ทำหน้าที่เคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ในจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก โดยปกติแม่พิมพ์จะมีสองด้านประกบกัน โดยด้านที่พลาสติกเข้าจะเป็นด้านที่อยู่กับที่ และอีกด้านจะเป็นด้านเคลื่อนที่ ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์แบ่งออกเป็น 2 ระบบจะทำหน้าที่อัดแม่พิมพ์ให้แน่นเพื่อต้านความดันภายในขณะฉีด และชิ้นงานจะถูกหล่อเย็นขณะฉีด หลังจากนั้นแม่พิมพ์จะเปิดออก และปลดชิ้นงาน

รูปที่ 3.5 ชิ้นงานข้อต่อพลาสติก

3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

3.4.1 การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) เทคนิคชั่งน้ำ-ชั่งด้วยอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM D 792 [35]

วิธีการทดสอบ

1) นำชิ้นตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักในอากาศและจดบันทึกค่า

2) นำชิ้นตัวอย่างชั่งน้ำหนักใน Isopropanol และจดบันทึกค่า

3) นำค่าน้ำหนักที่ชั่งใน Isopropanol และชั่งในอากาศ มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของเม็ดพลาสติก ดังสมการ 3.1

$$D = \frac{w}{(w-w_1)} \times \rho_{solvent} \qquad (3.1)$$

โดยที่ D = ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

w = น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

w_1 = น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่ชั่งใน Isopropanol (กรัม)

$\rho_{solvent}$ = ความหนาแน่นของ Isopropanol (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.4.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ตามมาตรฐาน ASTM D 570-98 [36]

วิธีการทดสอบ

1) ตัดชิ้นงานเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง 76 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร

2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น

3) ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

นำชิ้นงานทดสอบแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.6

4) นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำซับให้แห้ง และนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

5) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์อัตราการดูดซึมน้ำจากสมการที่ 3.2

$$\text{Increase in weight (\%)} = \frac{\text{wet weight - conditioned weight}}{\text{conditioned weight}} \times 100 \qquad (3.2)$$

เมื่อ Increase in weight = อัตราการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)

wet weight = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการแช่น้ำ (กรัม)

conditioned weight = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการแช่น้ำ (กรัม)

รูปที่ 3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

วิธีการทดสอบ

1) การเตรียมตัวอย่างทดสอบตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเม็ด ทำการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-10 มิลลิกรัม บรรจุลงในภาชนะบรรจุตัวอย่าง (Pan) และใช้อุปกรณ์กดปิดฝาให้แน่น แล้วนำมาทดสอบ

2) เปิดชุดทดสอบ DSC ซึ่งเป็นชุดทดสอบอันประกอบด้วย อุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ เครื่องพล็อตกราฟ เปิดแก๊สไนโตรเจน และการหล่อเย็นตามลำดับ

3) นำภาชนะบรรจุตัวอย่างทดสอบไปใส่ในเตาของเครื่อง DSC ซึ่งมี 2 เตา โดยที่เตาหนึ่งสำหรับใส่ภาชนะเปล่าเป็นตัวอย่างอ้างอิง อีกเตาหนึ่งใส่ภาชนะที่จะทดสอบ

4) ปิดฝาครอบเครื่อง DSC

5) กำหนดตัวแปรและเงื่อนไขที่ต้องการลงในโปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยใช้ Scanning Rate 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

6) เริ่มทำการทดสอบ เครื่องทดสอบจะให้ความร้อนตามอุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนที่กำหนดไว้ เมื่อสิ้นสุดการทดสอบโปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

7) นำภาชนะบรรจุตัวอย่างทดสอบออกจากเตาเครื่อง DSC

3.5 การใช้โปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011

การจำลองการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Solidworks Flows Simulation 2011 มีค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ป้อนใส่โปรแกรม Solidworks Flows Simulation 2011

ลำดับที่	ชื่อตัวแปร	ค่าของตัวแปร	หน่วย
1.	Environment Temperature	30	$^{\circ}C$
2.	Intensity	800	W/m^2
3.	Heat Transfer Coefficient (Wind)	10	$W/m^2/K$
4.	Temperature of External Fluid (T_e)	20.05	$^{\circ}C$
5.	Temperature (T_{in})	30	(Tin)
6.	Mass Water Flow	0.02	Kg/s
7.	Density of PVC-C1	1430	kg/m^3
8.	Specific Heat of PVC-C1	900	J/kg.K
9.	Thermal Conductivity of PVC-C1	0.24	W/m.K
10.	Melting Temperature of PVC-C1	190	$^{\circ}C$

จากการพัฒนาลักษณะแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011 จำนวนทั้งสิ้น 65 ลักษณะ โดยแต่ละลักษณะจะมีความหนาที่แตกต่าง

กัน เนื่องจากความหนาต่างกันทำให้เกิด การดูดกลืน การสะท้อน การแผ่ความร้อนและการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน จากนั้น นำแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ได้ทำการพัฒนามาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์ได้กำหนดให้อุณหภูมิน้ำเข้าที่ 30 องศาเซลเซียส และกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่เข้าแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์คงที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77

3.6 การทดสอบสมบัติทางกล

3.3.1 ทำการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 [37]

การเตรียมชิ้นทดสอบชิ้นทดสอบ ที่จะนำมาทดสอบ ควรได้รับการคงรูปมาแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นทดสอบได้รับการคงรูปอย่างสมบูรณ์ และไม่ควรเก็บชิ้นทดสอบไว้นานเกิน 28 วัน หลังการคงรูป สำหรับรูปร่างของชิ้นทดสอบ จะเป็นรูปดัมเบลแบบเอวแคบดังรูปที่ 3.7 มีความหนาอยู่ในช่วง 1.3 มิลลิเมตร ถึง 3.3 มิลลิเมตร ต้องทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 จุด คือ บริเวณกึ่งกลางและปลายทั้งสองด้านของคอดัมเบล ซึ่งต้องห่างกันไม่เกิน 0.08 มิลลิเมตร จำนวนชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบต้องเตรียมอย่างน้อย 5 ชิ้น และต้องทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ชิ้นงานทดสอบมีขนาด กว้าง 19 มิลลิเมตร ยาว 165 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.7 ชิ้นงานรูปดัมเบลแบบเอวแคบ

วิธีการทดสอบ

1) วัดความหนาและความกว้างของชิ้นงานที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ

รูปที่ 3.8 การวัดขนาดชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

2) เปิดเครื่องทดสอบและเครื่องคอมพิวเตอร์

รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

3) เลือก QMAT S Series Sofware

4) เลือก QMAT Teat Zone

5) เปิด File

6) เลือกค่าทีต้องการทดสอบ

7) ใส่ Speed (มิลลิเมตรต่อนาที) ตามมาตรฐาน

8) ใส่ Sample Length (มิลลิเมตร) ตามมาตรฐาน

9) เลือก Auto Return On

10) เลือก Product (ชื่อชิ้นทดสอบ)

11) เลือก Batch

12) ใส่ขนาดชิ้นทดสอบ (Sample Dimension)

13) ใส่ชิ้นงานทดสอบ โดยนำชิ้นทดสอบจับกับตัวยึดของเครื่องมือทดสอบ วัดให้อยู่ในแนวเส้นตรง และยึดให้อยู่ในแนวของเครื่องทดสอบ ควรจับชิ้นงานให้แน่นเพื่อไม่ให้ชิ้นงานลื่นไหลในระหว่างการทดสอบ แต่ต้องไม่ให้ชิ้นงานแตกหัก

รูปที่ 3.10 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

14) เริ่มทดสอบ เครื่องจะทำการบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัว จากนั้นคำนวณค่าความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) คือ ค่าความเค้น ณ จุดที่ชิ้นงานขาด ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) คือ ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดคิดเป็นร้อยละเทียบกับความยาวตั้งต้น และค่าโมดูลัส (Modulus) คือ ค่าความเค้นที่ร้อยละการยืดตัวใดๆ ดังสมการ 3.3 และ 3.4

$$\text{ความเค้น (Stress)} = \frac{F}{A} \quad (3.3)$$

$$\text{ความเครียด (Strain)} = \frac{dL}{L_o} \quad (3.4)$$

เมื่อ F = แรง (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

dL = ระยะที่ยืดออก (เมตร)

L_o = ความยาวเริ่มต้น (เมตร)

15) ทำการทดสอบ 5 ซ้ำ รายงานค่าเฉลี่ย (Mean)

3.3.2 ทำการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Izod Impact Tester) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 [38]

เป็นการใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกระแทกชิ้นทดสอบให้แตกหักในเวลาอันสั้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทก การทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง แสดงความสามารถของวัสดุ ในการต้านทานแรงกระแทกจากการตีด้วยค้อน

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก ดังรูปที่ 3.11 เตรียมได้จากการนำชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก ที่ได้จากการเตรียมให้เป็นแผ่นในขั้นตอนการอัดขึ้นรูป มาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 12.7 มิลลิเมตร ยาว 64 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร ความลึกของรอยบาก 0.25 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.11 ชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

วิธีการทดสอบ

1) เปิดสวิตซ์เครื่อง

2) ทดสอบแรงเสียดทานของน้ำหนักค้อนที่ต้องการใช้ โดยการยกค้อนให้แขวนอยู่ในตำแหน่งขึ้น และวางในตำแหน่งแขวนค้อนน้ำหนัก

รูปที่ 3.12 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

3) กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆกัน ปล่อยค้อนน้ำหนักลงมาอิสระโดยไม่มีชิ้นงาน อ่านค่าพลังงานที่ได้เพื่อนำไปลบออกจากค่าพลังงานที่อ่านได้ จากการทดสอบเมื่อมีชิ้นงาน

4) วางชิ้นทดสอบที่มีความลึกของรอยบากตามมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.13 โดยให้มุมแหลมของรอยอยู่ตรงตำแหน่งของตัวจับชิ้นงาน

รูปที่ 3.13 การวางชิ้นทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

- กดปุ่มที่อยู่ข้างเครื่องพร้อมๆกัน
- อ่านค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตก
- นำค่าพลังงาน (J) มาคำนวณ ดังสมการที่ 3.5

$$\text{Impact Strength}\left(\text{J/mm}\right)=\frac{\text{Energy Fracture of Material}\ \left(\text{J}\right)}{\text{Thickness}\ \left(\text{mm}\right)} \tag{3.5}$$

เมื่อ Impact Strength = ค่าความต้านทานแรงกระแทก (จูลต่อมิลลิเมตร)

Energy Fracture of Material = พลังงานแตกหักของวัสดุ (จูล)

Thickness = ความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

3.3.3 ทำการทดสอบความทนการดัดงอ (Flexural Testing) ASTM D 790 [39]

ความทนแรงดัดงอ เป็นค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบให้เกิดการงอตัว ดังรูปที่ 3.14 โดยใช้หัวกด (Indentor) ซึ่งกดลงตั้งฉากกับชิ้นทดสอบที่อยู่ในลักษณะแนวนอน โดยมีตัวรองรับเป็นตัวกำหนดช่วงห่าง (Span) การทดสอบแบบนี้ชิ้นทดสอบจะได้รับทั้งแรงเค้นดึง และแรงเค้นกด ซึ่งแรงเค้นกดจะเกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบ ส่วนแรงเค้นดึงจะเกิดใต้ชิ้นทดสอบ ในการทดสอบจะเลือกใช้การทดสอบแรงดัดงอแบบ 3 จุด ที่ความเร็วของหัวกดชิ้นงาน 1.3 มิลลิเมตรต่อนาที ความยาวตัวรองรับเป็นตัวกำหนดช่วงห่าง 50 มิลลิเมตร โดยแรง (Load) ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1 กิโลนิวตัน ในแต่ละชิ้นทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความทนการดัดงอ เตรียมได้จากการนำชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก ที่ได้จากการเตรียมให้เป็นแผ่นในขั้นตอนการอัดขึ้นรูปมาตัดให้ได้ขนาด กว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร

(ก) ชิ้นงานทดสอบความทนทานการดัดงอ (ข) การทดสอบความทนการดัดงอ

รูปที่ 3.14 การทดสอบความทนการดัดงอ

3.3.4 ทำการทดสอบความแข็งที่ผิว (Rockwell Hardness Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D 785 [40]

ก่อนการทดสอบควรเลือกสเกลที่ใช้ในการทดสอบก่อน เพื่อสามารถกำหนดน้ำหนักกดและหัวกดได้อย่างถูกต้อง

วิธีการทดสอบ

1) เปิดเครื่องทดสอบ

2) เลือก Minor Lode โดยบิดตัวเลือก R

3) เลือกน้ำหนักกด Major Lode โดยบิดลูกบิดเลือกน้ำหนัก

4) เลือกหัวกด 1/2 นิ้ว และ Load 100 กิโลกรัม ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุ

5) วางชิ้นงานลงบนแท่นวางชิ้นงานและหมุนเลื่อนแท่นวางชิ้นงานจนชิ้นงานสัมผัสกับหัวกด โดยระวังให้หัวกดสัมผัสกับชิ้นงานเบาที่สุด

6) เมื่อหน้าปัดปรากฏไฟสีเขียวที่ปุ่มเริ่มทำงาน รอบันทึกค่าความแข็งเมื่อตัวเลขหยุดนิ่ง ดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบค่าความแข็งที่ผิว

3.7 การทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม

วิธีการทดสอบ

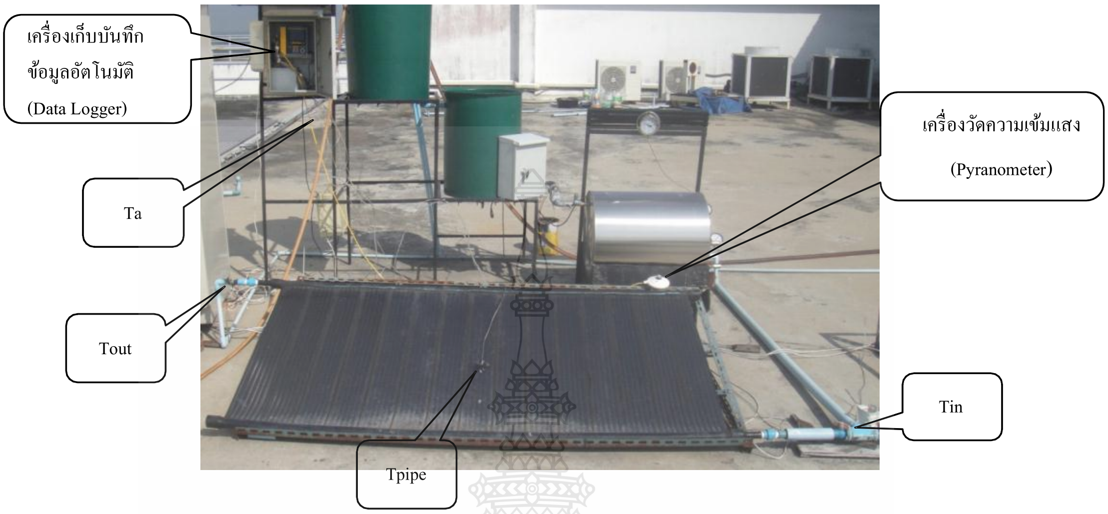
นำชิ้นงานที่เตรียมไว้เป็นรูปดัมเบลแบบเอวแคบ มาทำการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมด้วยเครื่อง QUV (Accelerated Weathering Testing) ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งสภาวะในการบ่มเร่งเริ่มต้นจากการฉายแสงแสงยูวีบี ความยาวคลื่นหลัก 313 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10,000 ชั่วโมง และทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 500 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกลต่างๆได้แก่ โดยการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม

3.8 การติดตั้งอุปกรณ์และการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

แผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติก เตรียมโดยการใช้กระบวนการดึงรีด (Extrusion Process) และทำการติดตั้งแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 [41] ดังรูปที่ 3.17 โดยภายในระบบการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะประกอบด้วย ถังสำหรับเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนของน้ำภายในระบบ โดยแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ผลิตจะมีพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด 2 ตารางเมตร วางทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ และมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ จากแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่อุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล และมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตรงบริเวณ น้ำเข้า (T_{in}) น้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิสภาวะแวดล้อม (T_a) อุณหภูมิภายนอกของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{pipe}) และตัววัดค่าความเข้มแสง ในการทดลองจะใช้อัตรา

การไหลเชิงมวลของน้ำคงที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ 9.00-16.00 น. ทุกวัน เป็นเวลา 12 เดือน



รูปที่ 3.17 การทดสอบแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุ PVC-C1

3.9 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ในการหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ได้จากการทดสอบแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากการเก็บข้อมูลจริงจากการทดสอบแล้ว ต้องนำค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาคำนวณหาค่าต่างๆได้ โดยนำค่าต่างๆที่ได้มาแทนในสมการที่ 3.6, 3.7, 3.8 และ 3.9

3.8.1 การหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} \tag{3.6}$$

ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป (องศาเซลซียส)

T_{out} = อุณหภูมิของน้ำขณะไหลออก (องศาเซลซียส)

T_{in} = อุณหภูมิของน้ำขณะไหลเข้า (องศาเซลซียส)

3.8.2 การหาค่าการถ่ายโอนความร้อน

$$Q = \dot{m} Cp \Delta T \tag{3.7}$$

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (กิโลกรัมต่อวินาที)

Q = ค่าการถ่ายโอนความร้อนที่น้ำได้รับ (วัตต์)

Cp = Capacity Heat ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส)

ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป (องศาเซลเซียส)

3.8.3 การหาค่าความเข้มแสง

$$I_C = \frac{S}{Factor\ of\ Pyranometer} \times 1000 \tag{3.8}$$

3.8.4 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$$\eta = \left(\frac{Q}{I_C \cdot A_C} \right) \times 100 = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L (T_{in} - T_a) / I_C \tag{3.9}$$

η = ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (ร้อยละ)

Q = ค่าการถ่ายโอนความร้อน (วัตต์)

I_C = การหาค่าความเข้มแสง (วัตต์ต่อตารางเมตร)

A_C = พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

T_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้า (องศาเซลเซียส)

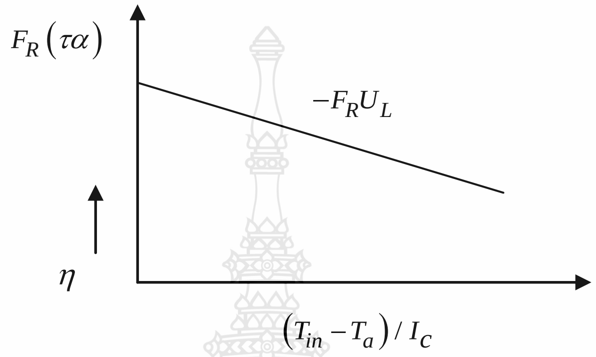
F_R = ค่าตัวประกอบประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้งาน

α = ค่าการดูดซับความร้อน

τ = ค่าการส่งผ่านความร้อน

U_L = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

จากสมการถ้านำมาพล็อตกราฟระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ η กับ $(T_{in}-T_a)/I_C$ โดยกำหนดให้ η เป็นแกน Y และ $(T_{in}-T_a)/I_C$ เป็นแกน X จะได้กราฟความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันติดลบ โดยที่ความชันของกราฟมีค่าเท่ากับ F_RU_L และจุดที่กราฟตัดแกน Y มีค่าเท่ากับ $F_R(\tau\alpha)$ ซึ่งจะเป็นประสิทธิภาพสูงสุดของตัวรับรับรังสีอาทิตย์ ดังนั้นค่าทั้งสองที่ได้จากการพล็อตกราฟจะเป็นตัวบอกสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 กราฟที่ได้จากการพล็อตกราฟ

3.10 การใช้งานจริงของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล

1) ติดตั้งเครื่องไพรานอมิเตอร์ ดังรูปที่ 3.19 และเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ในตู้ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน เพื่อเก็บข้อมูลของอุณหภูมิน้ำที่ไหลทางเข้า และทางออก และค่าความเข้มแสงของไพรานอมิเตอร์

2) ทำการติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิ้ล ที่ต่อจากแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์วัดอุณหภูมิน้ำไหลเข้าแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และน้ำที่ไหลออก ของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมที่ทำการทดสอบเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ในแต่ละช่องที่ตั้งไว้และตั้งชื่อไฟล์ในการการเก็บข้อมูลในแต่ละวัน

3) เปิดปั๊ม เพื่อให้น้ำไหลเข้าแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์คงที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที

4) กดปุ่มเริ่มทำงานที่เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ เมื่อน้ำไหลเข้าเต็มแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว เพื่อทำการเก็บข้อมูลโดยเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ จะทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 1นาที ของอุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าและน้ำที่ไหลออกจากแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ลงหน่วยความจำโดยอัตโนมัติ

5) ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ 9.00-16.00 น. ในแต่ละวัน

6) เมื่อถึงเวลา 16.00 น. ทำการกดปุ่มหยุดทำงานที่เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ เพื่อทำการหยุดบันทึกข้อมูลในวันที่ทำการทดสอบ

7) นำข้อมูลออกจากเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ และต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลในหน่วยความจำ มาทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบในแต่ละวันที่ทำการทดสอบ

(ก) การติดตั้งไพรานอมิเตอร์

(ข) การติดตั้งเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ

(ค) การเสียบสายเทอร์โมคัปเปิ้ล

(ง) ทำการเปิดน้ำเข้าแผงดูดซับความร้อน

(จ) ทำการกดปุ่มเริ่มทำงาน

(ฉ) การติดตั้งแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล

3.11 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ในการศึกษาการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน ได้เปรียบเทียบความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้งานกับเครื่องล้างจาน โดยเปรียบเทียบกรณีไม่มีแผงน้ำร้อนกับกรณีที่มีแผงน้ำร้อนต่อเข้ากับเครื่องล้างจาน ดังรูปที่ 3.19 หลังจากนั้นนำมาคำนวณค่าไฟฟ้าเพื่อดูระยะเวลาการคืนทุน โดยมีสูตรการคำนวณไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.10 [42]

$$Power \times hrs = kWh \tag{3.10}$$

เมื่อ $Power$ = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

hrs = จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน (ชั่วโมง)

kWh = จำนวนหน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

นำผลที่ได้จากการคำนวณไฟฟ้ามาทำการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period, PBP) [43] จะใช้วิธีการคำนวณได้ ดังสมการที่ 3.11

$$PBP = \frac{A_O}{A_S} \tag{3.11}$$

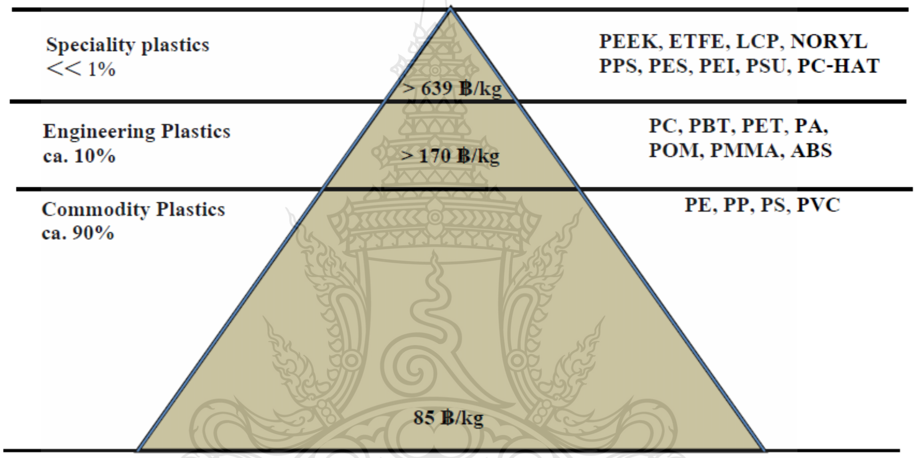
เมื่อ PBP = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

A_O = เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น (บาท)

A_S = อัตราไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)

บทที่ 4
ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

แนวทางในการเลือกวัสดุพลาสติกเพื่อนำมาใช้ในการเป็นวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้พิจารณาหลักเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้คือ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกล อาทิเช่น การดูดซึมน้ำ การทนต่ออุณหภูมิ การทนต่อการดัดงอ การทนต่อแรงดึง ชนิดและราคาของวัสดุ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปิรามิดวัสดุของพลาสติก [39]

จากรูปที่ 4.1 เป็นรูปปิรามิดแสดงชนิดและราคาของพลาสติก โดยพลาสติกทั่วไป เช่น PE, PP, PS และ PVC มีราคาประมาณ 85 บาทต่อกิโลกรัม พลาสติกวิศวกรรม เช่น PC, PBT, PET, PA, POM, PMMA และ ABS มีราคามากกว่า 170 บาทต่อกิโลกรัม และพลาสติกชนิดพิเศษ เช่น PEEK, ETFE, LCP, PPS, PES, Noryl, PEI, PSU และ PC-HAT มีราคามากกว่า 639 บาทต่อกิโลกรัม เพราะฉะนั้นในการเลือกใช้งานวัสดุต้องดูราคาและสมบัติให้เหมะสมกับการนำไปใช้งาน

งานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุเทอร์โมพลาสติกคือ PVC, PB, PP-R และ Polyvinyl Chloride Composite (PVC-C) เนื่องจากมีสมบัติที่สามารถทนอุณหภูมิในช่วง 50-120 องศาเซลเซียส นอกจากนี้วัสดุยังมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย น้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม ขณะที่วัสดุ Noryl เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตแผงดูดซับความร้อนทางการค้า แต่มีราคาแพง สามารถทนอุณหภูมิในช่วง -40 ถึง 150 องศาเซลเซียส ดังนั้น

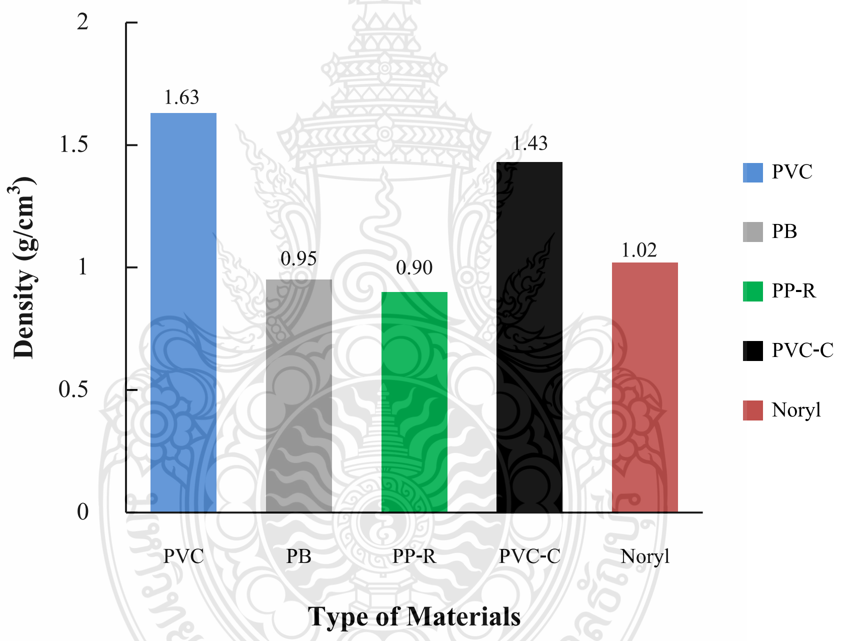
ในงานวิจัยนี้จึงเลือกวัสดุ Noryl มาเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและสมบัติต่างๆ กับวัสดุ PVC, PB, PP-R และ PVC-C

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติก ได้ศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

4.1.1 ค่าความหนาแน่น

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด ตามมาตรฐาน ASTM D 792 ดังรูปที่ 4.2



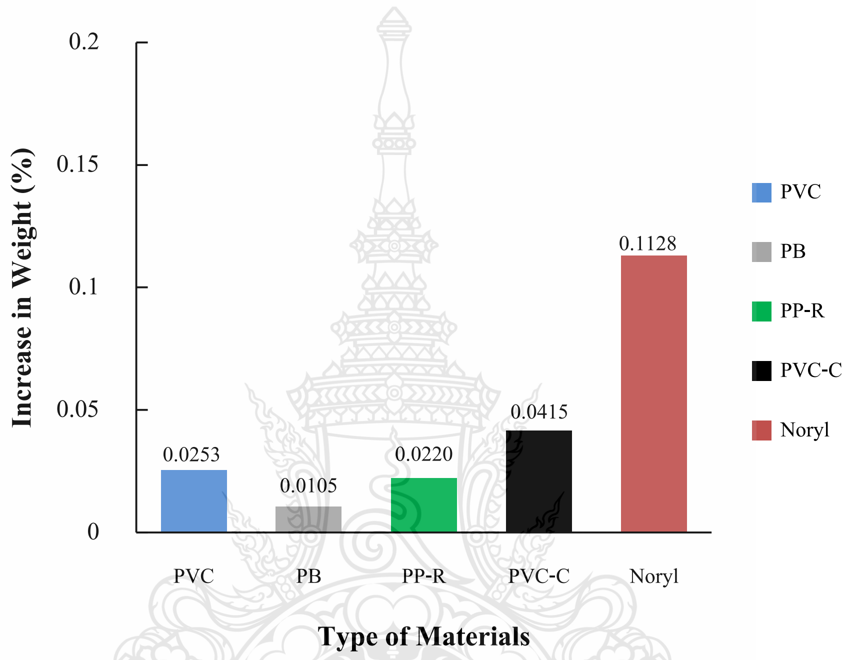
รูปที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด โดยในการศึกษาพบว่าวัสดุกลุ่มโอลิฟินส์คือ PB และ PP-R มีความหนาแน่นต่ำกว่า 1.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำ ในขณะที่วัสดุประเภท PVC และ PVC-C มีความหนาแน่นช่วง 1.43-1.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากเมื่อมีการเติมด้วยสารเติมแต่งลงไปในวัสดุดังกล่าว

ทำให้ความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มขึ้น ส่วนความหนาแน่นของ Noryl คือ 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.1.2 การดูดซึมน้ำ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการดูดซึมน้ำของเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด ตามมาตรฐาน ASTM D 570-98 ดังรูปที่ 4.3

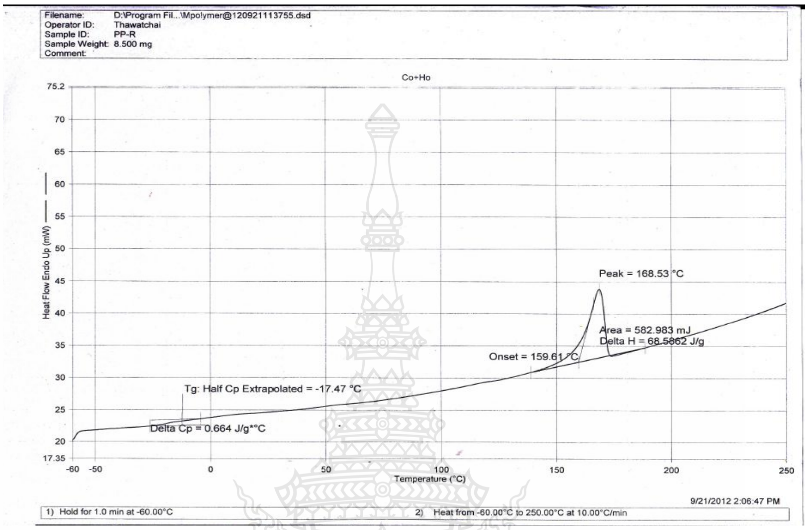


รูปที่ 4.3 ค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบการดูดซับน้ำ โดยในการศึกษาพบว่าวัสดุที่ให้ค่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของดูดซึมน้ำสูงสุดคือ Noryl รองลงมา PVC-C, PVC, PPR และ PB ตามลำดับ โดยที่ Noryl มีค่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของดูดซึมน้ำร้อยละ 0.1128 ซึ่งเป็นค่าร้อยละของการดูดซับน้ำสูงสุด เมื่อเทียบกับวัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่นที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิดด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry, DSC ดังเทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เทอร์โมแกรมของวัสดุ PP-R

จากเทอร์โมแกรมสามารถวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature, T_m) และอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass TransitionTemperature, T_g) ได้จากพีคการคายความร้อนของวัสดุและค่าที่ได้ของวัสดุแต่ละชนิด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

Materials	T_m (°C)	T_g (°C)
PVC	180	86
PB	125	-17
PP-R	169	-18
PVC-C	190	69
Noryl	265	54

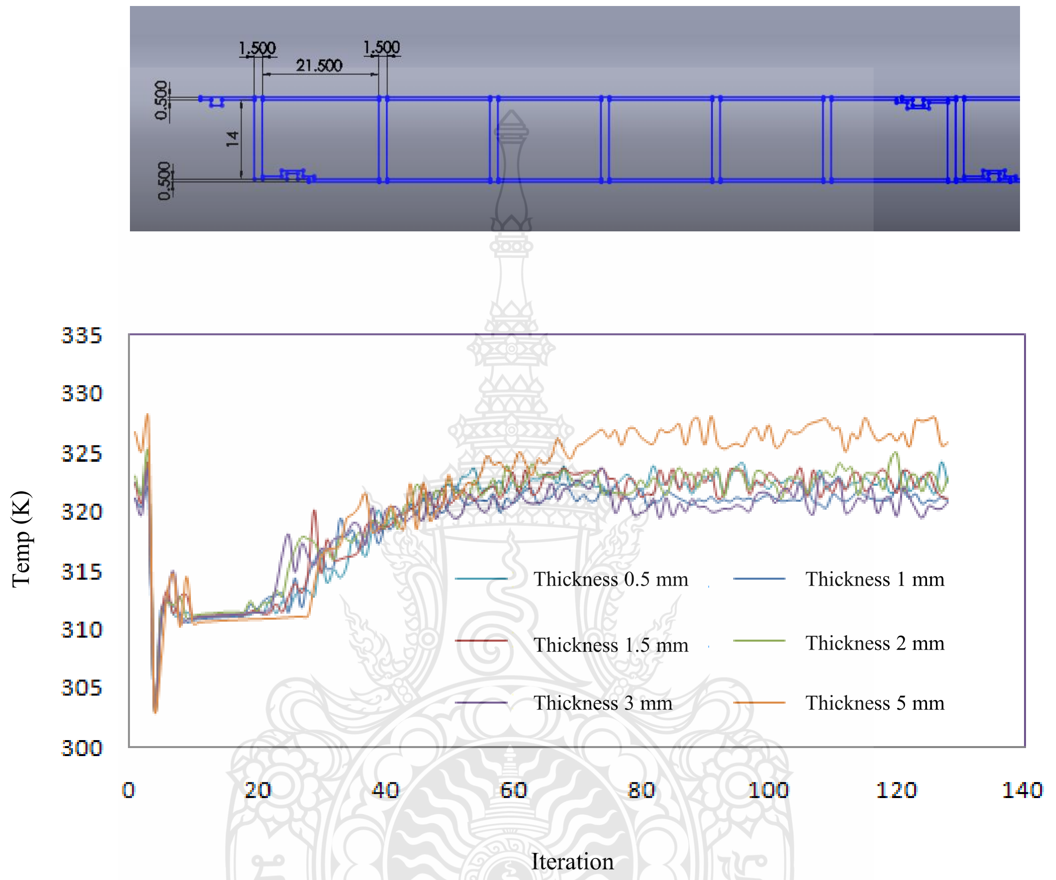
จากตารางที่ 4.1 เป็นผลการทดสอบค่าอุณหภูมิหลอมเหลว และอุณหภูมิคล้ายแก้วของวัสดุแต่ละชนิด พบว่าวัสดุ PVC, PP-R และ PVC-C มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวช่วง 169-190 องศาเซลเซียส สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ในขณะพลาสติกที่มีสมบัติคล้ายยางคือ PB จะมีค่าอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่าคือ 125 องศาเซลเซียส ในขณะที่พลาสติกวิศวกรรมคือ Noryl มีค่าการหลอมเหลวสูงที่สุดคือ 265 องศาเซลเซียส ดังนั้นในกระบวนการขึ้นรูปใช้พลังงานความร้อนสูงกว่าชนิดอื่นๆ ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ของ PP-R และ PB มีค่าอยู่ในช่วง -17 ถึง -18 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่า PVC, PVC-C และ Noryl ที่มีค่า T_g คือ 86, 74 และ 54 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจาก PP-R มีอัตรกิริยา แบบ Dispersion Force ซึ่งแข็งแรงน้อยกว่า Dipole-Dipole Force ใน PVC ทำให้สายโซ่ของ PVC เคลื่อนไหวหรือสั่นได้ยากกว่าจึงมีอุณหภูมิคล้ายแก้ว สูงกว่า ปัจจัยต่อมา คือ ปริมาณของผลึก พบว่าเมื่อมีการเติมคาร์บอนแบล็คในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความเป็นผลึกในโพลิเมอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สารตัวเติมทำหน้าที่คล้ายกับสารก่อผลึก (Nucleating Agent) และเหนี่ยวนำให้สายโซ่โพลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวได้ดีขึ้น เป็นผลให้ปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้มีความแข็งแรงมากขึ้น [44] หากวัสดุมีปริมาณผลึกสูงขึ้น การเกิดผลึกช่วยยึดสายโซ่โพลิเมอร์ให้สั่นหรือเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิคล้ายแก้วสูงขึ้น นอกจากนี้การเกิดเชื่อมขวางเป็นโครงสร้างร่างแห เนื่องจากจุดเชื่อมขวางที่ยึดสายโซ่โพลิเมอร์เข้าด้วยกัน จำกัดอิสระในการเคลื่อนไหวของสายโซ่ ส่งผลให้อุณหภูมิคล้ายแก้วของวัสดุสูงขึ้น

4.3 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลวิเคราะห์หารูปแบบของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลของความร้อน (Flow Distribution) ดีที่สุด โดยใช้โปรแกรม Solid Works จำนวนทั้งสิ้น 65 ลักษณะ โดยแต่ละลักษณะมีความหนาที่แตกต่างกัน จึงทำให้เกิด การดูดกลืน การสะท้อน การแผ่ความร้อนและการถ่ายโอนความร้อนแตกต่างกัน จากนั้นนำแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ทำการพัฒนาการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011 เพื่อหาค่าอุณหภูมิการไหลของน้ำภายในท่อ โดยการวิเคราะห์ได้กำหนดให้อุณหภูมิน้ำเข้าที่ 30 องศาเซลเซียส และกำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำคงที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 และป้อนค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว อุณหภูมิหลอมเหลว และ ความหนาแน่น ที่วิเคราะห์ได้ข้างต้นของวัสดุชนิดต่างๆ

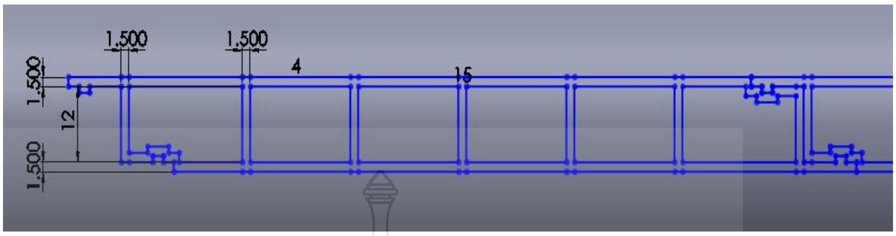
ลักษณะรูปแบบการพัฒนามีดังนี้

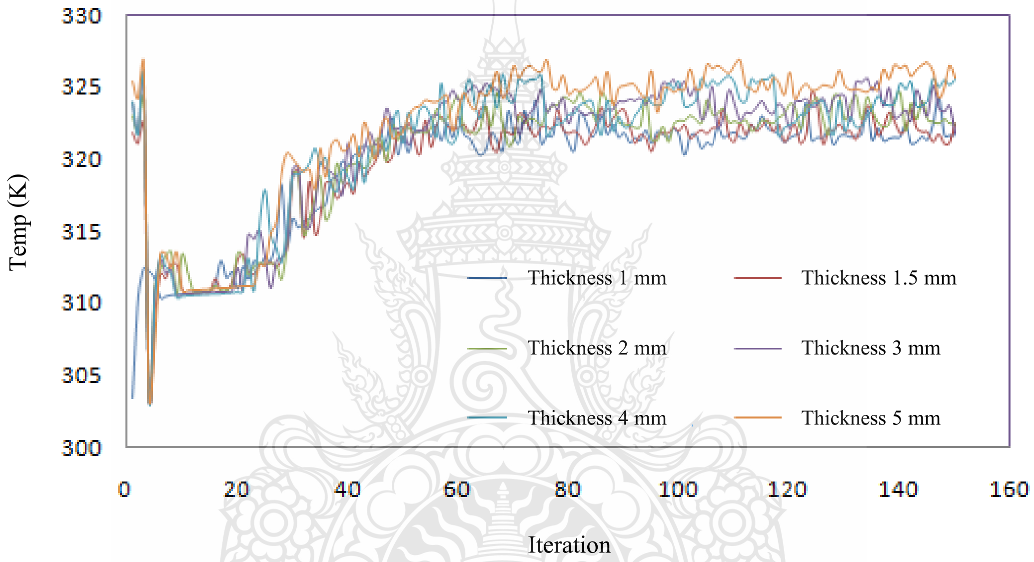
4.3.1 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 15 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง เปลี่ยนความหนาผนัง 0.5, 1, 1.5, 2, 3 และ 5 มิลลิเมตร มี 6 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร และความสูง 15 มิลลิเมตร เปลี่ยนความหนาผนังจาก 0.5-5 มิลลิเมตร

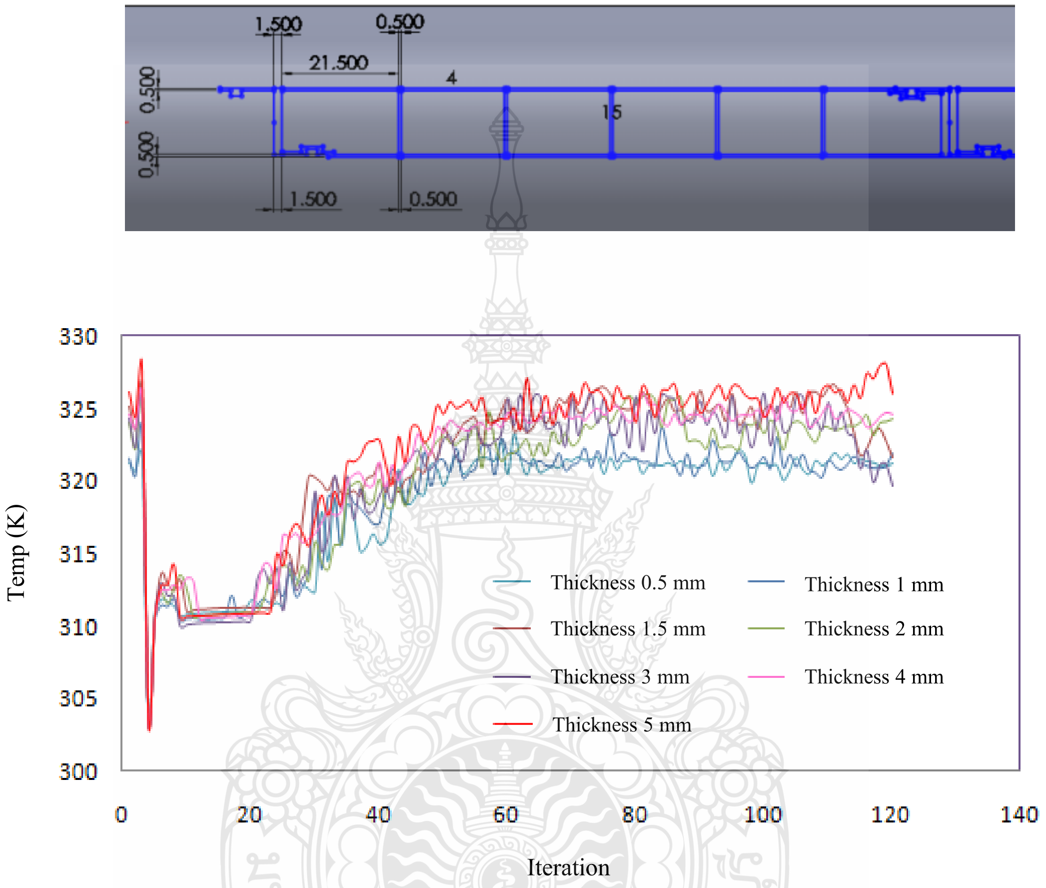
4.3.2 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง เปลี่ยนความหนาผนัง 1, 1.5, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร มี 6 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.6





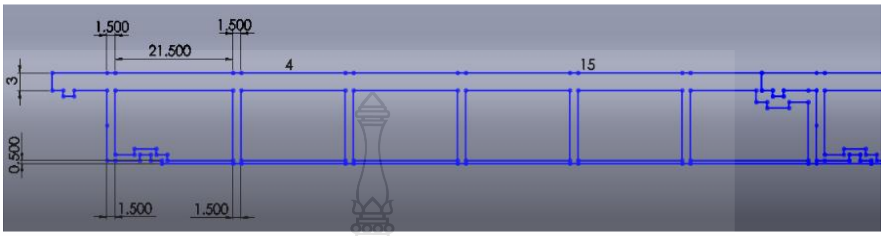
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนความหนาผนังจาก 1-5 มิลลิเมตร

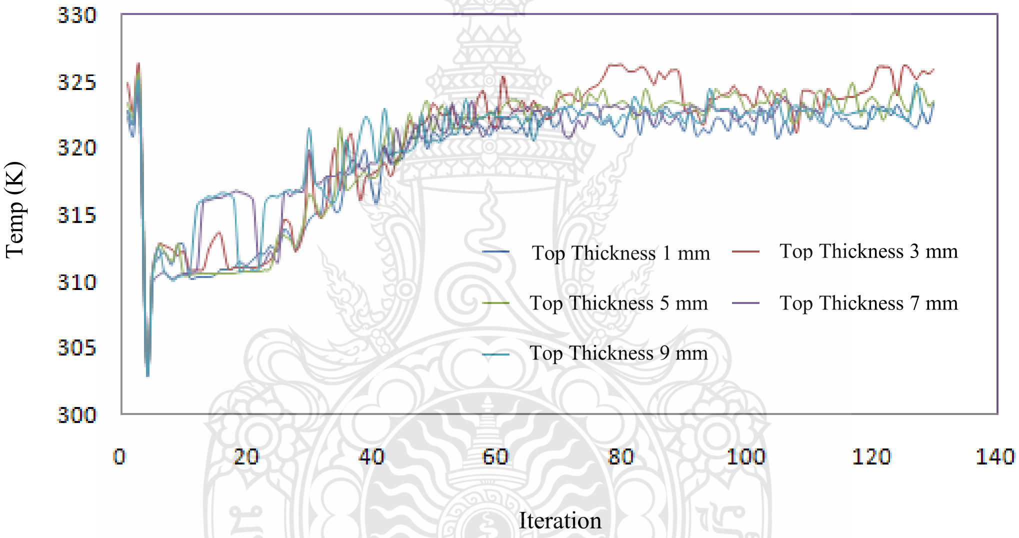
4.3.3 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง เปลี่ยนความหนาผนัง 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร มี 7 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนความหนาผนังจาก 0.5-5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนระยะห่างช่องจาก 0.5-5 มิลลิเมตร

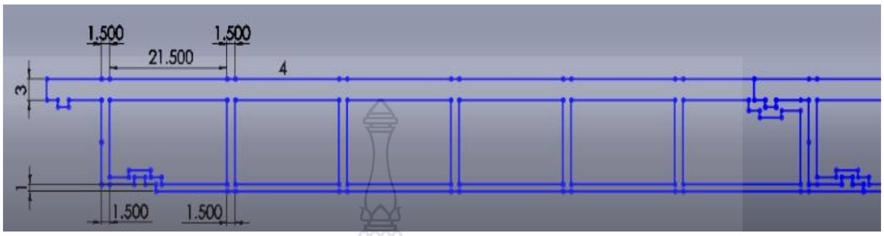
4.3.4 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร ช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ความหนาผนังขอบด้านล่าง 0.5 มิลลิเมตร เปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบน 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิเมตร มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.8

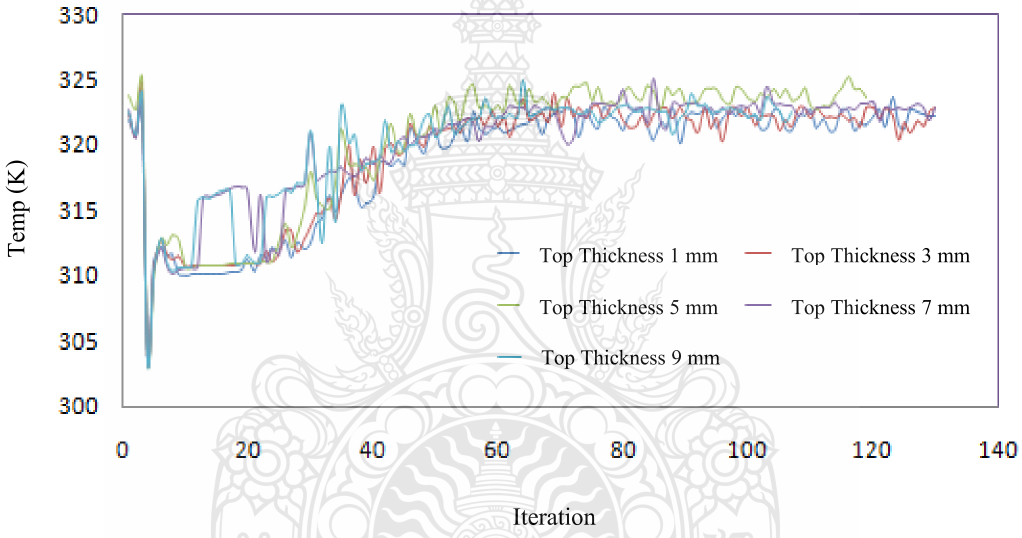




รูปที่ 4.8 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาขอบด้านล่าง 0.5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบนจาก 1-9 มิลลิเมตร

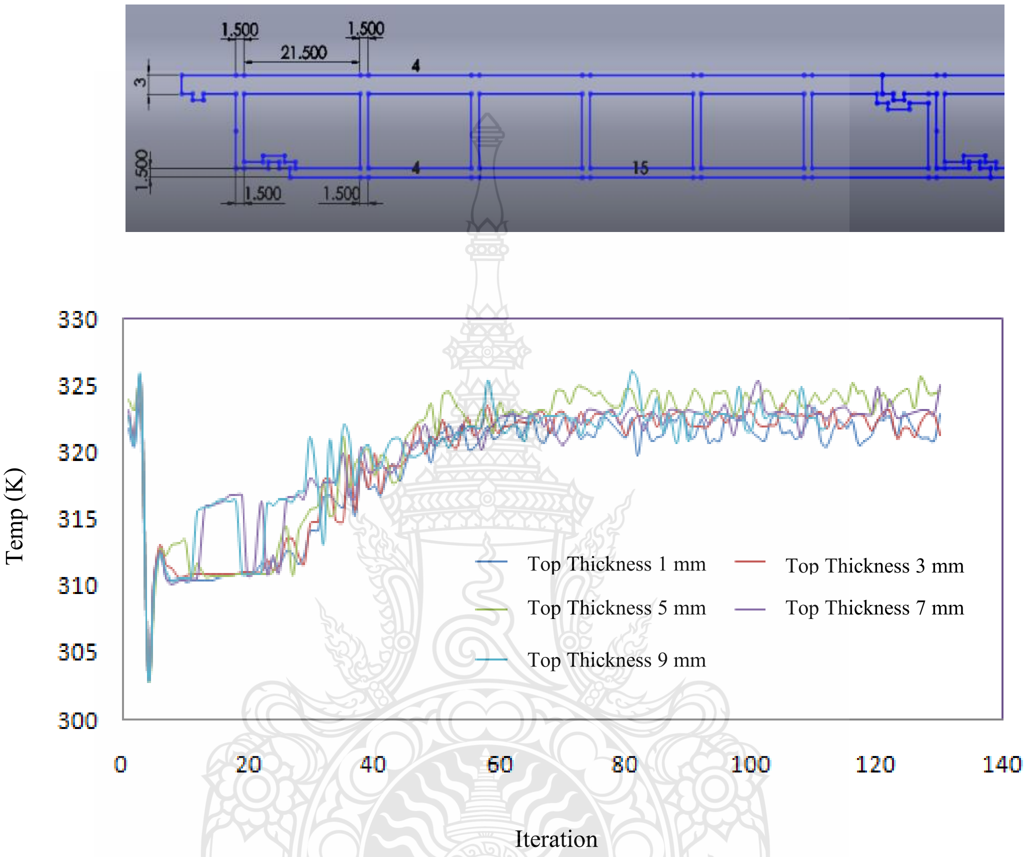
4.3.5 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร ช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ความหนาผนังขอบด้านล่าง 1 มิลลิเมตร เปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบน 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิเมตร มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.9





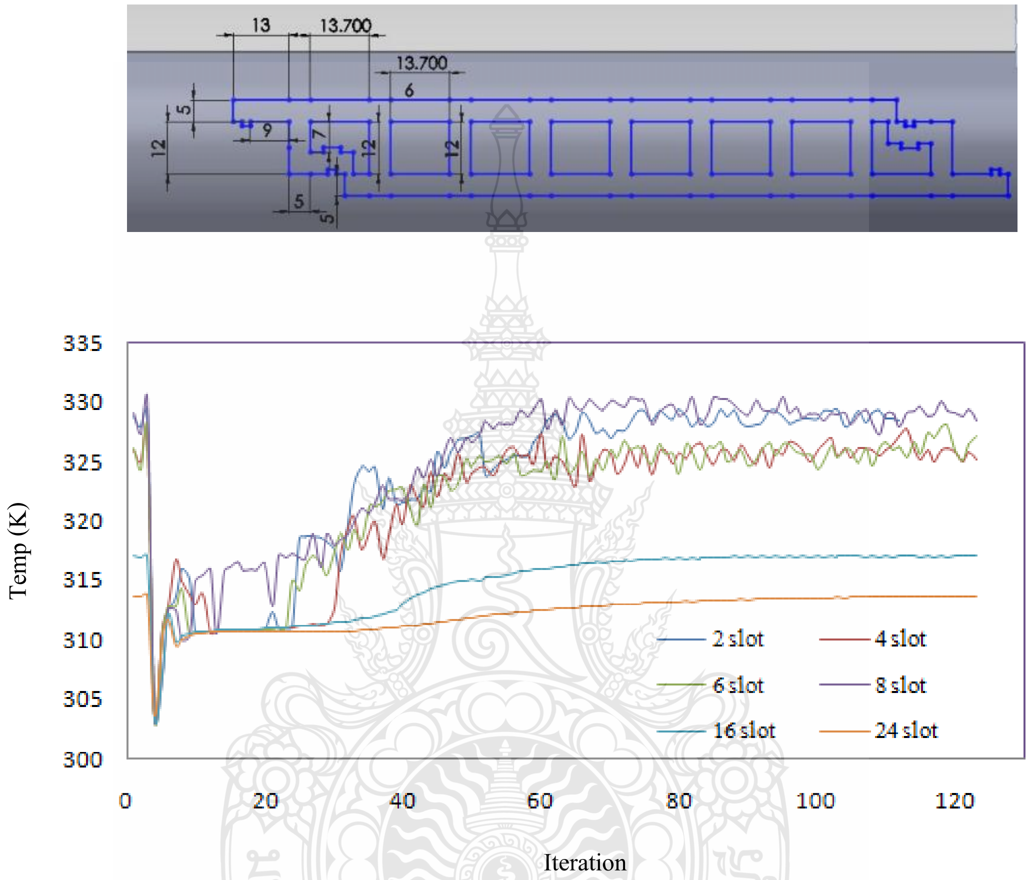
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาผนังขอบด้านล่าง 1 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบนจาก 1-9 มิลลิเมตร

4.3.6 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร ช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ความหนาผนังขอบด้านล่าง 1.5 มิลลิเมตร เปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบน 1, 3, 5, 7 และ 9 มิลลิเมตร มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.10



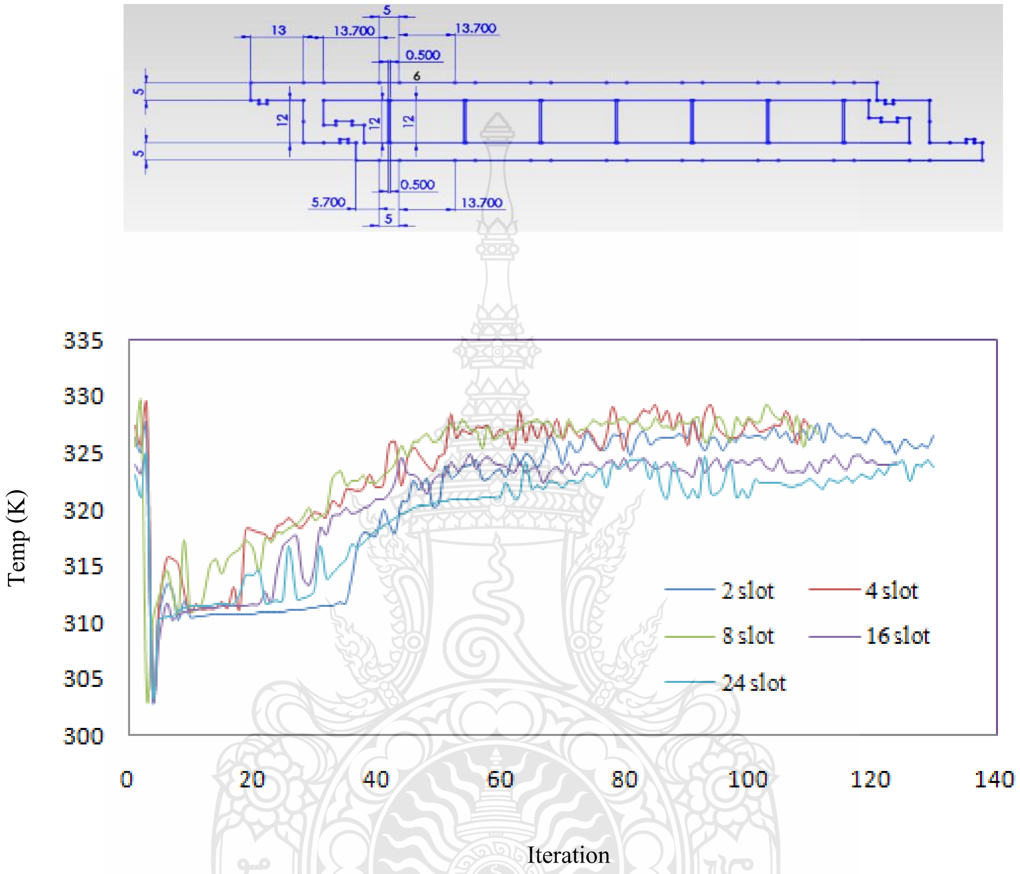
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร ที่มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง ระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาผนังขอบด้านล่าง 1.5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงความหนาผนังขอบบนจาก 1-9 มิลลิเมตร

4.3.7 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 5 มิลลิเมตร เปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่าน 2, 4, 6, 16, และ 24 ช่อง ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร มี 6 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.11



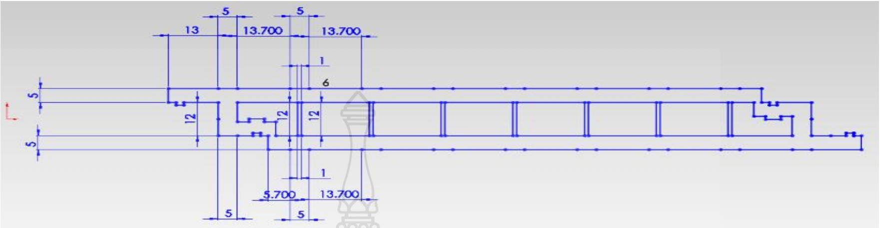
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง

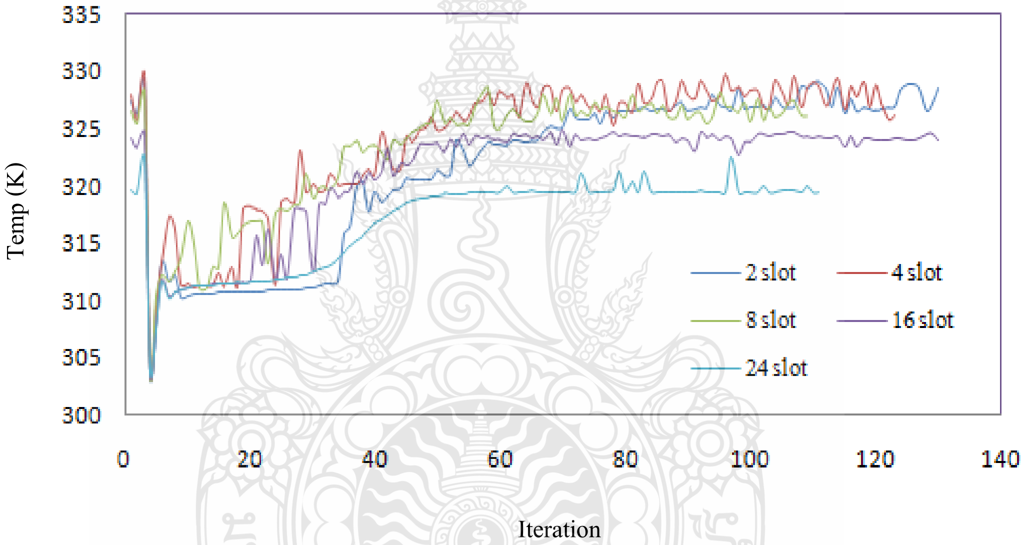
4.3.8 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 0.5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่าน 2, 4, 8, 16 และ 24 ช่อง มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 0.5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง

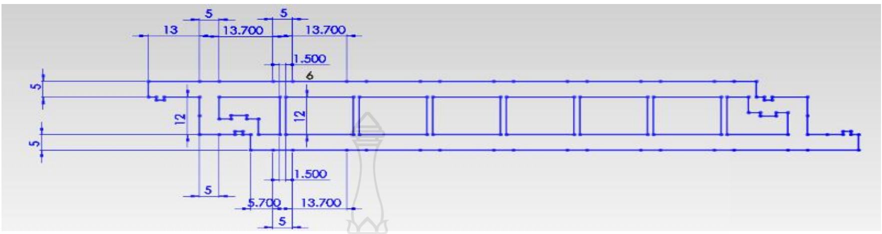
4.3.9 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 1 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร เปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่าน 2, 4, 8, 16 และ 24 ช่อง มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.13

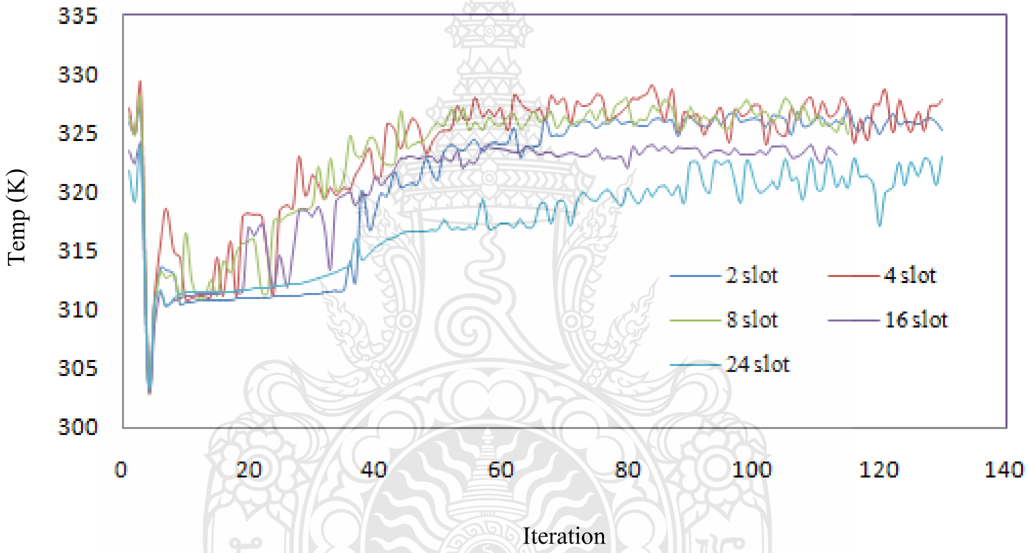




รูปที่ 4.13 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 1 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง

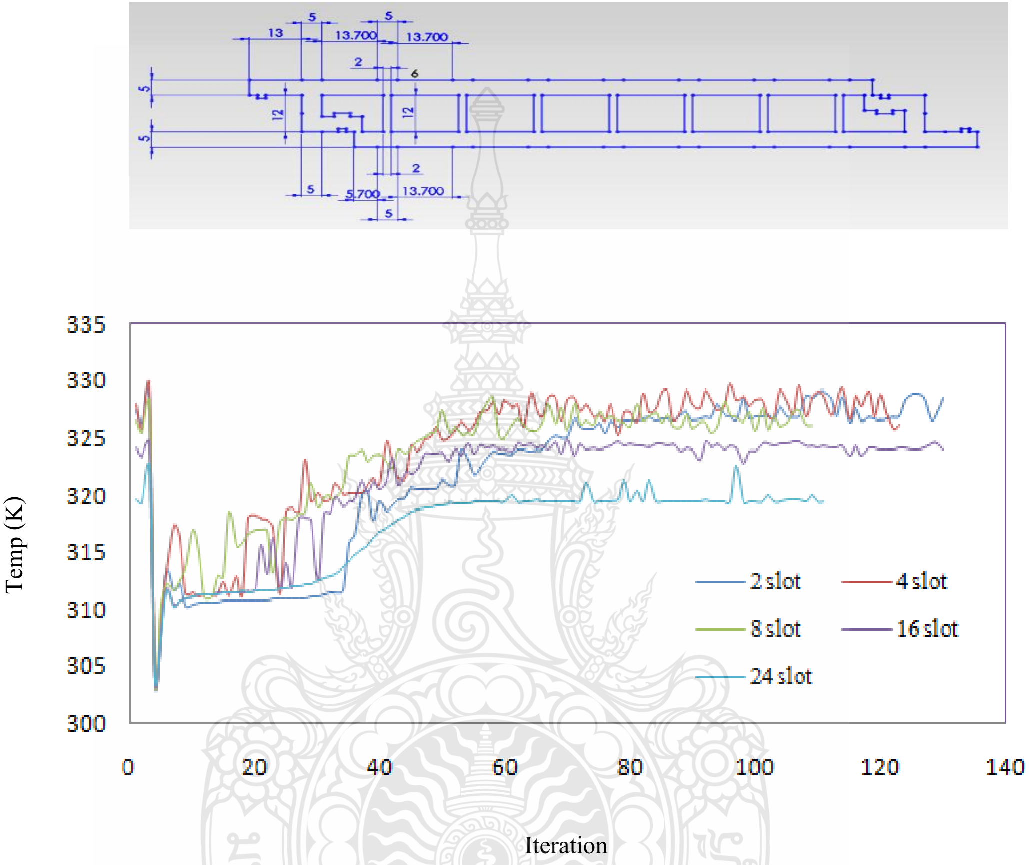
3.3.10 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่าน 2, 4, 8, 16 และ 24 ช่อง มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.14





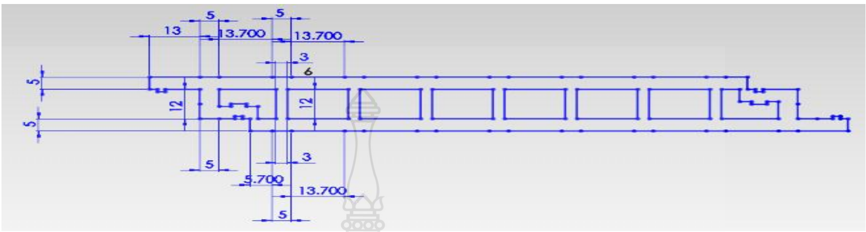
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง

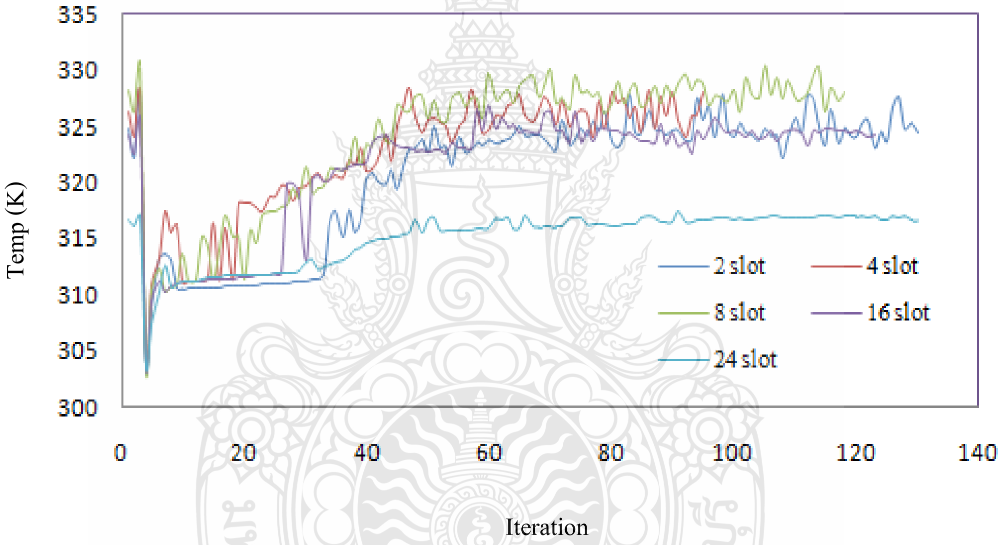
4.3.11 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 2 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่าน 2, 4, 8, 16 และ 24 ช่อง มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.15



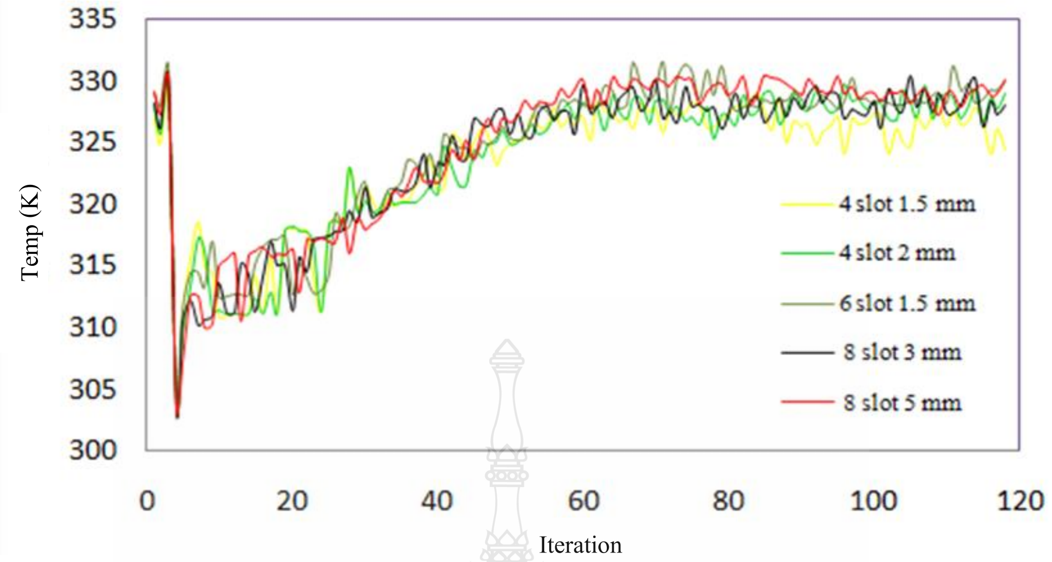
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 2 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง

4.3.12 กำหนดการพัฒนาในลักษณะที่มีความสูง 12 มิลลิเมตร เปลี่ยนระยะห่างช่อง 3 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่าน 2, 4, 8, 16 และ 24 ช่อง มี 5 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.16





รูปที่ 4.16 อุณหภูมิน้ำออกของชิ้นงาน ที่มีระยะห่าง 3 มิลลิเมตร ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร และความสูง 12 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงช่องน้ำไหลผ่านจาก 2-24 ช่อง



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิน้ำออกของแผงทำจากวัสดุ PVC-C1 ลักษณะต่างๆ

จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Solid Works Flows Simulation 2011 และได้ทำการเลือกอุณหภูมิน้ำออก จากแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด 5 ลักษณะ จากการพัฒนาทั้งหมด 65 ลักษณะ มีดังนี้

1. ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 4 ช่อง
2. ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 2 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 4 ช่อง
3. ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง
4. ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 3 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 8 ช่อง
5. ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 8 ช่อง

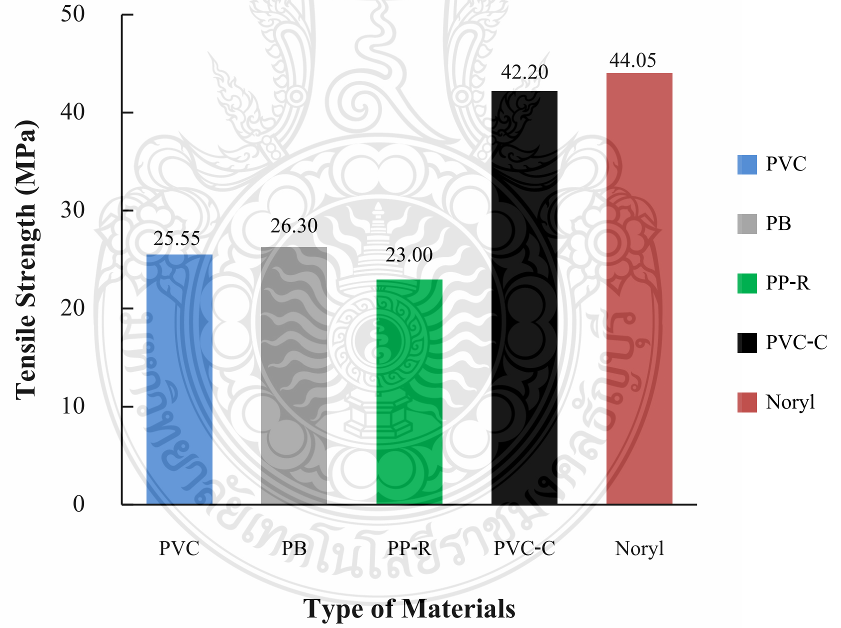
การวิเคราะห์พบว่า แผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 6 ช่อง เป็นลักษณะของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด เนื่องจากสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุดถึง 58.37 องศาเซลเซียส รองลงมาคือความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 8 ช่อง ได้อุณหภูมิสูงสุด 57.26 องศาเซลเซียส ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 3 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 8 ช่อง ได้อุณหภูมิสูงสุด 57.25 องศาเซลเซียส ความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 2 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 4 ช่อง ดูดซับความร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด 56.06 องศาเซลเซียส และความหนาผนัง 5 มิลลิเมตร ระยะห่างช่อง 1.5 มิลลิเมตร มีช่องน้ำไหลผ่าน 4 ช่อง ได้อุณหภูมิสูงสุด 55.88 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เห็นได้ว่าการพัฒนาชิ้นงานให้มีลักษณะแตกต่างกัน เป็นผลให้ค่าอุณหภูมิ

น้ำออกที่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากความหนาผนังและจำนวนช่องของชิ้นงาน ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน การพัฒนาชิ้นงานให้มีความหนาผนังมาก จะสามารถสะสมความร้อนได้สูงกว่าชิ้นงานที่บาง โดยการพาความร้อนจากตัวกลางไปสู่น้ำทำให้น้ำมีความร้อนสูงขึ้น ในการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีการกำหนดค่าความเข้มแสงคงที่ที่ 800 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน แต่ในการทดลองภาคสนาม ค่าความเข้มแสงที่ได้ไม่คงที่จึงส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

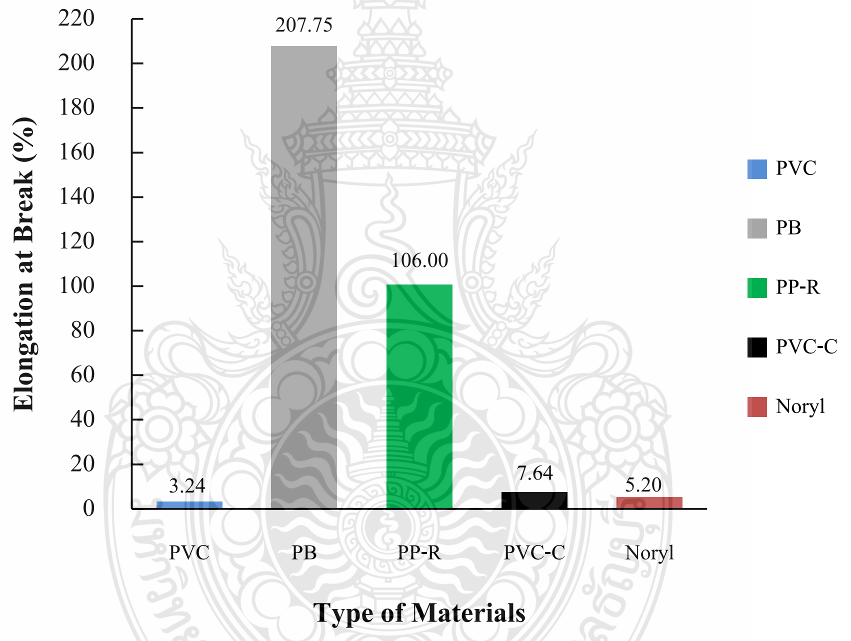
4.4.1 ความทนทานต่อแรงดึง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของสมบัติทางกลของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ซึ่งผลการทดสอบของค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ดังรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



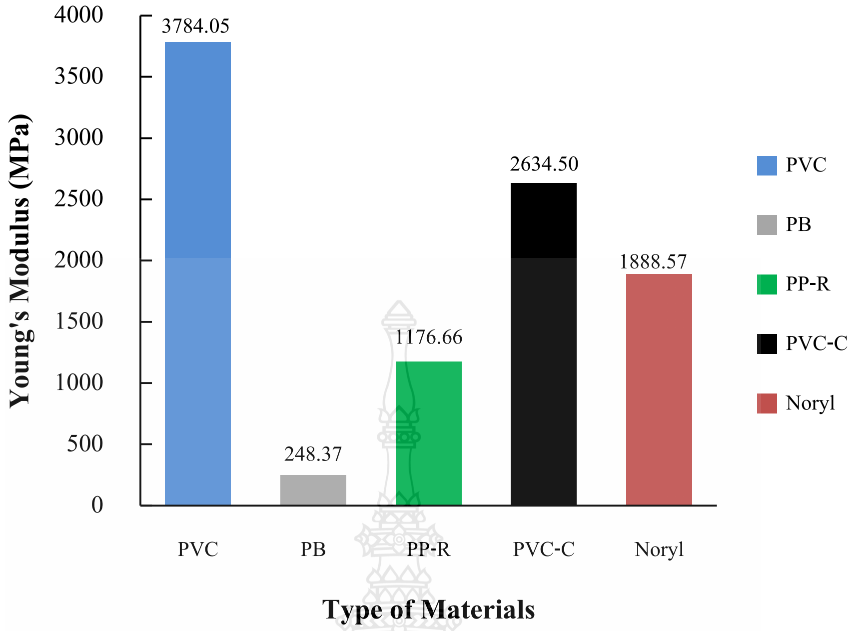
รูปที่ 4.18 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด พบว่าวัสดุที่ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง สูงสุดคือ Noryl เนื่องจากโครงสร้างของโพลิเมอร์ประกอบด้วยวงแหวนเฟนีลีน ทำให้เกิดความเกะกะในการหมุนของโมเลกุลและยังมีแรงดึงดูดเนื่องจากอิเล็กตรอน เกิดเรโซแนนซ์ในวงแหวนเบนซินของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจากแฟกเตอร์ต่างๆ ทำให้วัสดุมีโครงสร้างที่แข็งไม่งอง่าย มีความแข็งแรงสูง พลาสติกในกลุ่มโอลิฟินส์ ได้แก่ PVC, PB และ PP-R มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ PVC ที่มีการพัฒนาทำเป็นวัสดุคอมโพสิต (PVC-C) เนื่องจากมีการใช้สารตัวเติมเป็น เขม่าดำ โดยเขม่าดำทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมแบบเสริมแรง ส่งผลให้เกิดการเสริมแรงในวัสดุและทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ใกล้เคียงกับพลาสติก Noryl ที่ใช้ทำแผงดูดซับความร้อนทางการค้า



รูปที่ 4.19 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบ การยืดตัว ณ จุดขาดโดยในการศึกษาพบว่าวัสดุที่ให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด สูงสุดคือ PB เนื่องจากมีสมบัติคล้ายยาง มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง โดย PP-R มีลักษณะคล้ายคลึงกันมีความอ่อนตัวและยืดหยุ่นได้ดี จึงทำให้มี การยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ PVC, Noryl และ PVC-C จะมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากการเพิ่มสารเติมแต่งลงไป ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านกันของสายโซ่โมเลกุลเกิดได้ยากขึ้น ส่งผลให้ค่า การยืดตัว ณ จุดขาด ลดลง

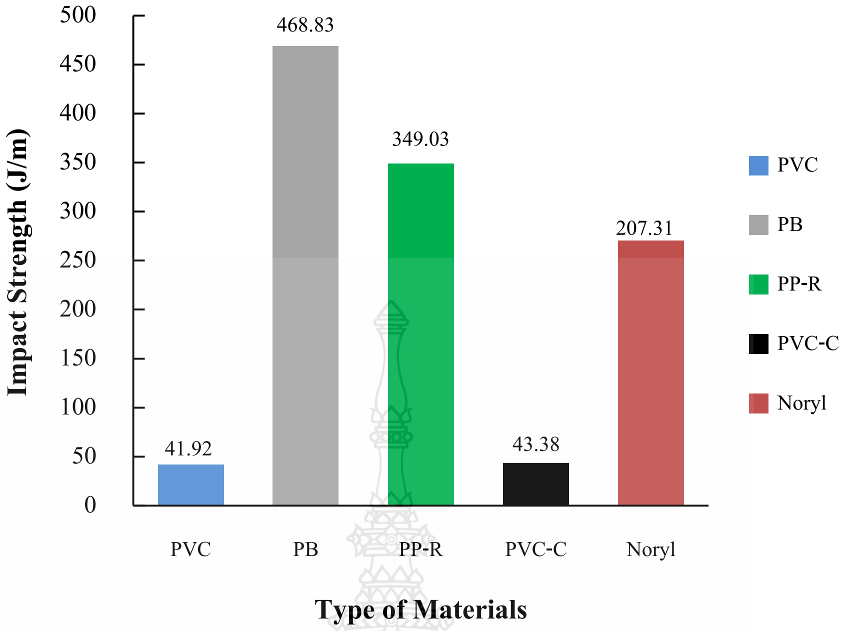


รูปที่ 4.20 ค่าโมดูลัสของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.20 แสดงผลการทดสอบค่าโมดูลัสของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด โดยในการศึกษาพบว่าวัสดุที่ให้ค่าโมดูลัสสูงสุดคือ PVC เนื่องจากปริมาณสารตัวเติมที่เติมลงในวัสดุ ส่งผลทำให้ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้น จึงทำให้โพลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น สามารถทนต่อการเสียรูปได้ รองลงมา PVC-C, Noryl, PP-R และ PB ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ค่าโมดูลัสของวัสดุ PVC-C ที่พัฒนาขึ้นมาที่มีการเติมเขม่าดำนั้นมีค่าสูงกว่าวัสดุพลาสติกวิศวกรรมอย่างโนริล เนื่องจากอนุภาคที่เล็กของเขม่าดำมีการกระจายตัวได้ดี จึงทำให้ค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้น [45] ซึ่งวัสดุดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกหนึ่งของการใช้เป็นตัวดูดซับความร้อน

4.4.2 ความทนต่อแรงกระแทก

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D 256 เป็นการใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วกระแทกชิ้นทดสอบให้แตกหักในเวลาอันสั้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทก และการทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง แสดงความสามารถของวัสดุ ในการต้านทานแรงกระแทกจากการตีด้วยค้อน ดังรูปที่ 4.21

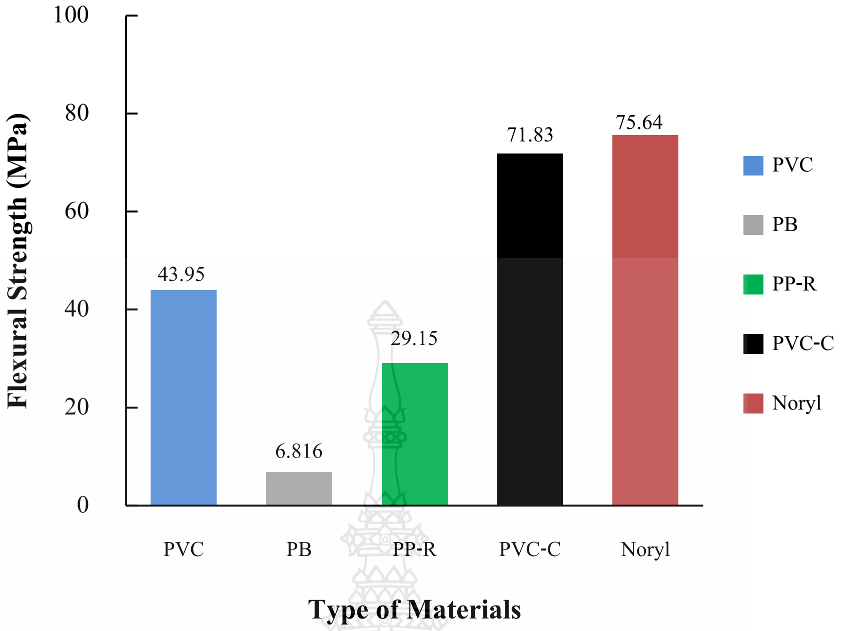


รูปที่ 4.21 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก โดยในการศึกษาพบว่าวัสดุที่ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงสุดคือ PB รองลงมาคือ PP-R และ Noryl ในขณะที่ PVC และ PVC-C มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำ เป็นผลมาจากในระหว่างการทดสอบความทนต่อแรงกระแทกนั้น เป็นการให้แรงกระแทกอย่างทันทีทันใดแก่ชิ้นงาน ทำให้แรงที่ได้รับไม่สามารถส่งผ่านไปยังสายโซ่โพลิเมอร์ได้ เนื่องจากสารตัวเติมที่แทรกระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้ส่งผลให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานได้ง่ายขึ้น

4.4.3 ความทนการดัดงอ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการทดสอบความทนการดัดงอ ตามมาตรฐาน ASTM D 790 ในการทดสอบจะเลือกใช้การทดสอบแรงดัดงอแบบ 3 จุด ที่ความเร็วของหัวกดชิ้นงาน 1.3 มิลลิเมตรต่อนาที ความยาวระยะทดสอบ (Span Length) 50 มิลลิเมตร โดยแรง (Load) ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากับ 1 กิโลนิวตัน ในแต่ละชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 4.22

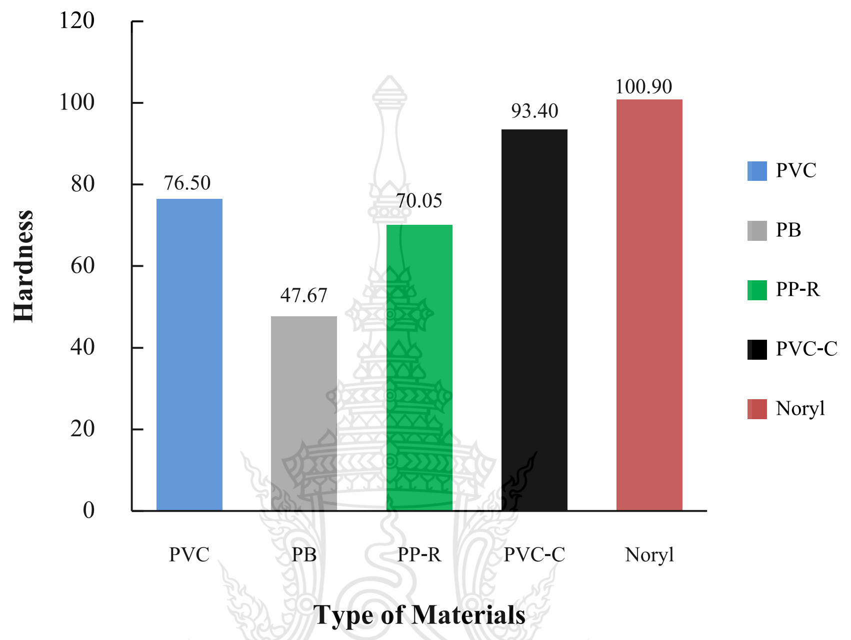


รูปที่ 4.22 ค่าความทนการดัดงอของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.22 แสดงผลการทดสอบความทนการดัดงอ โดยในการศึกษาพบว่าวัสดุที่ให้ค่าความทนการดัดงอสูงสุดคือ Noryl รองลงมาคือ PVC-C และ PVC เมื่อนำ Noryl กับ PVC-C มาเปรียบเทียบกันค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารตัวเติมที่เติมเข้าไปเป็นสารเสริมแรง ทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยาก และทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทดสอบจึงทำให้มีค่าความทนการดัดงอเพิ่มขึ้น

4.1.4 ค่าความแข็งที่ผิว

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการทดสอบค่าความแข็ง มาตรฐาน ASTM D 785 ของวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

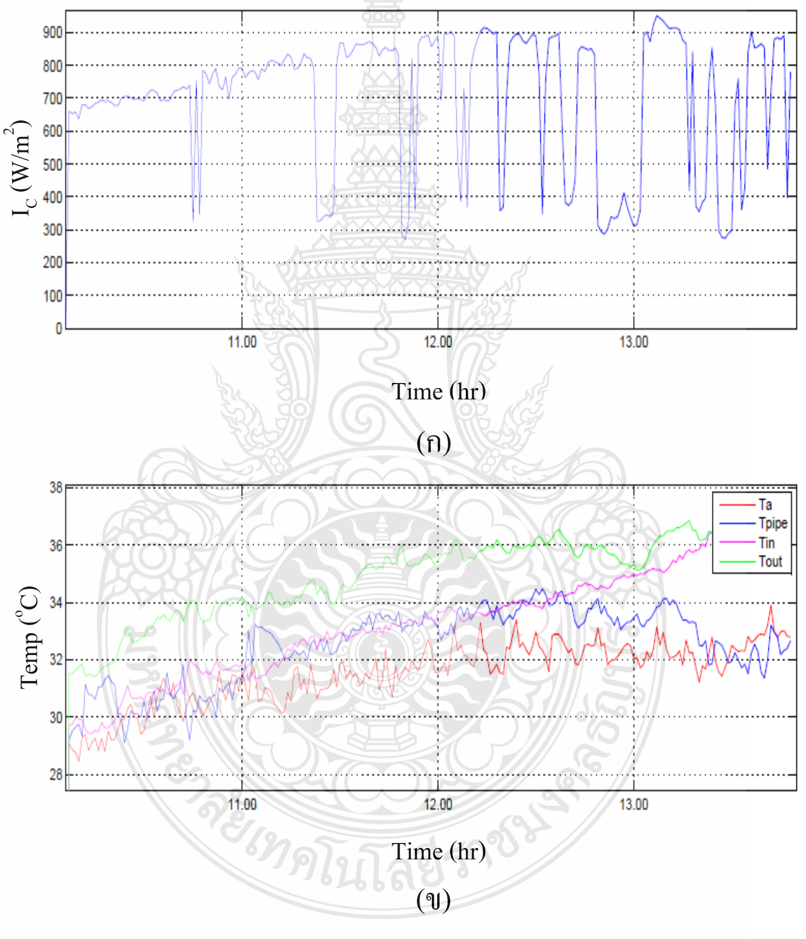
จากรูปที่ 4.23 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งที่ผิว โดยในการศึกษาพบว่าวัสดุที่ให้ค่าความแข็งที่ผิวสูงสุดคือ Noryl รองลงมา PVC-C และ PVC ตามลำดับ การที่วัสดุแต่ละชนิดมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจาก สารตัวเติมที่เติมลงในโพลิเมอร์นั้น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวของวัสดุให้มีความแข็งสูงขึ้น [46]

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

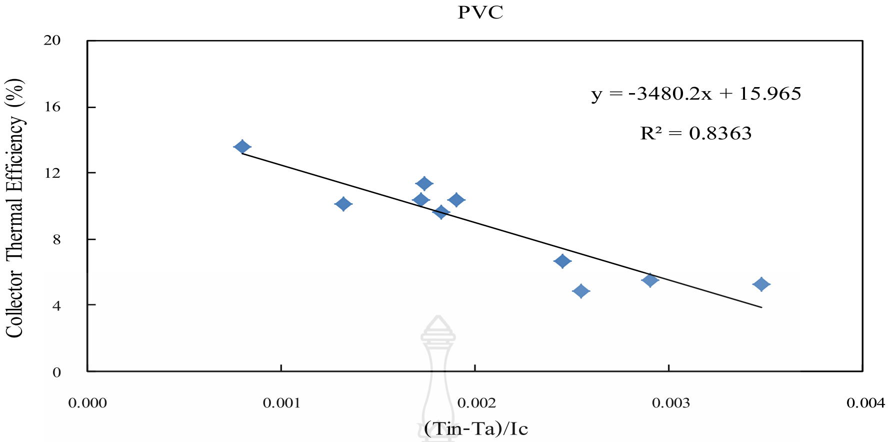
งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แบบไม่มีฝาปิด และทดลองโดยการติดตั้งบนดาดฟ้า อาคารวิศวกรรมศาสตร์ ชั้น 9 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผลของการผลิตแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ โดยที่แผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ได้รับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเข้มแสงในช่วง

700-1000 วัตต์ต่อตารางเมตร และเก็บข้อมูลน้ำเข้า น้ำออก จากแผงในเวลาตั้งแต่ 9.00 ถึง16.00 น.โดยแสดงผลให้เห็นดังรูปที่ 4.24, 4.26, 4.28, 4.30, 4.32 และ 4.34 ตามลำดับ

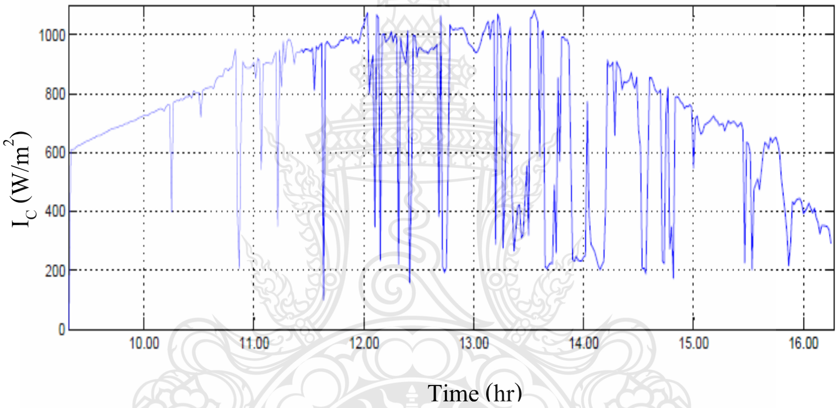
ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของวัสดุแต่ละชนิด ตามมาตรฐาน ASHERE Standard 93-77 ได้สมการเชิงเส้น ซึ่งจากการพล็อตระหว่างแกน X ซึ่งเป็นค่า $(T_{in}-T_a)/I_c$ กับแกน Y ที่เป็นค่า Collector Thermal Efficiency (η) โดยที่จุดตัดแกน Y บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพสูงสุดของตัวดูดซับความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.25, 4.27, 4.29, 4.31, 4.33 และ 4.35 ตามลำดับ



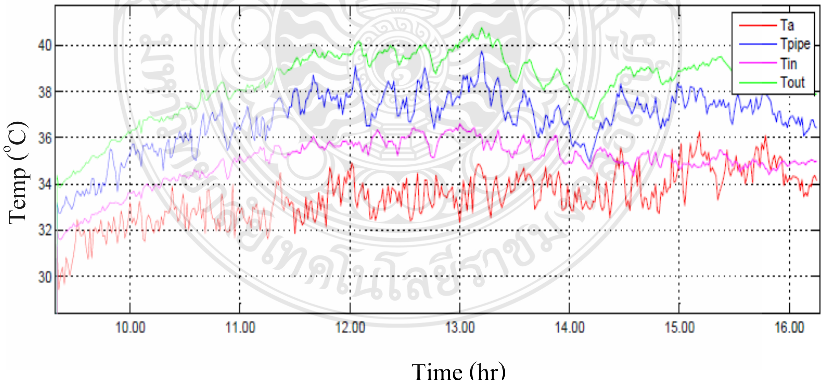
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})



รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC

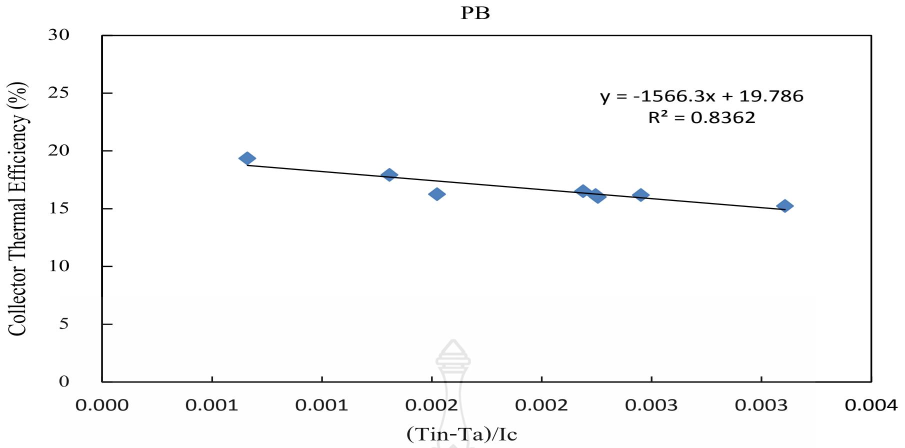


(ก)

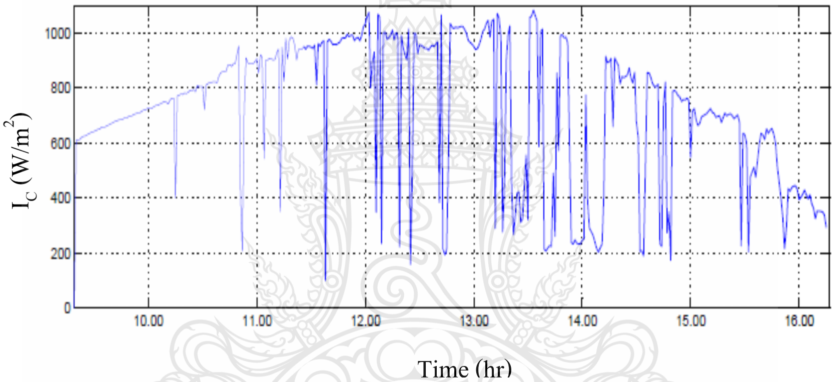


(ข)

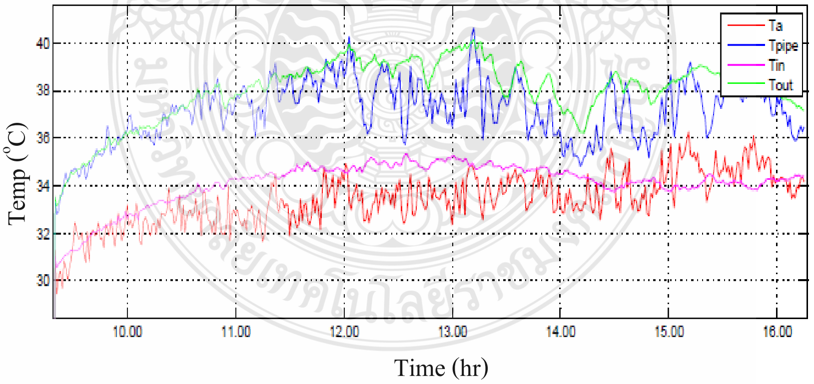
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PB (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})



รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PB

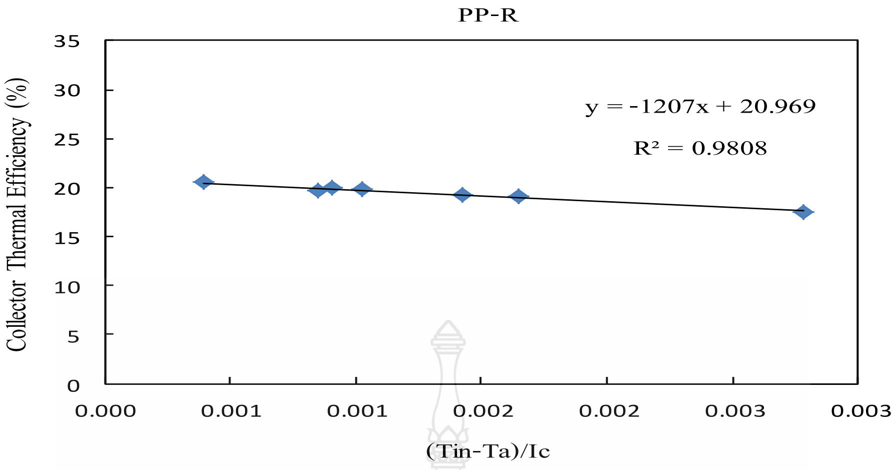


(ก)

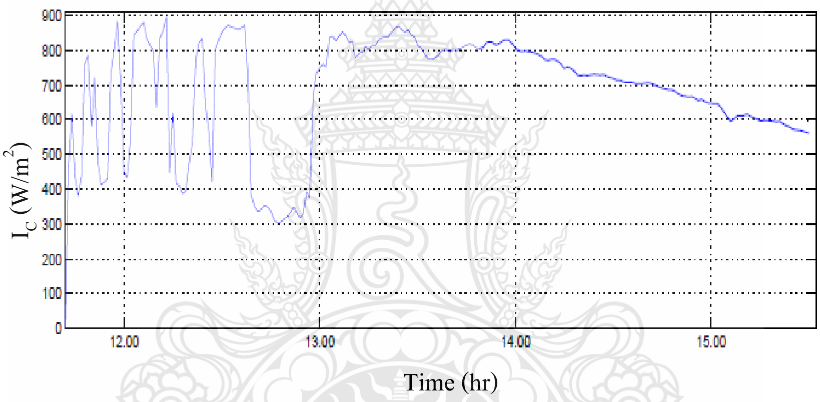


(ข)

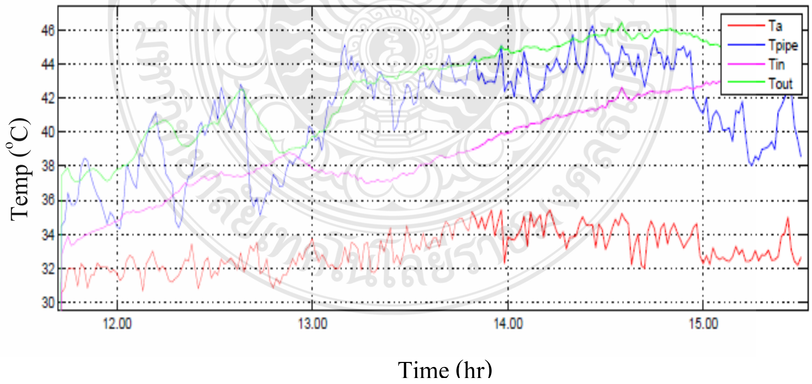
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PP-R (ก) ค่ารังสีรวม (IC) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (Tin) อุณหภูมิน้ำออก (Tout) อุณหภูมิแวดล้อม (Ta) และอุณหภูมิแผง (Tpipe)



รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PP-R

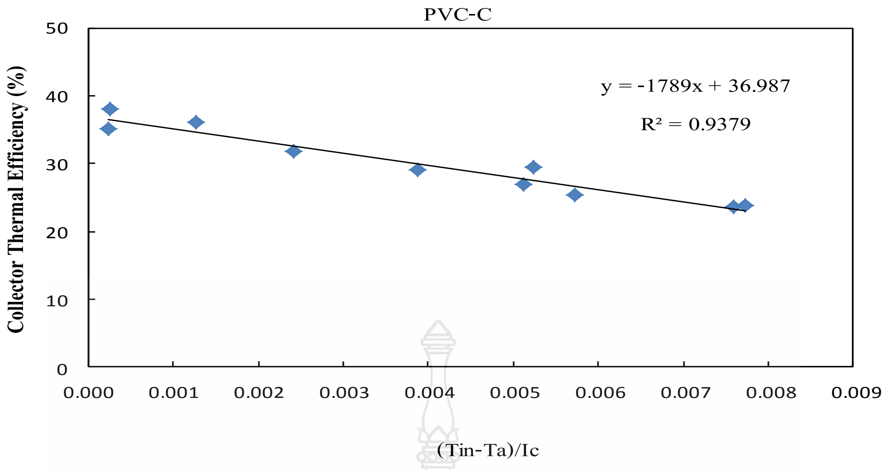


(ก)

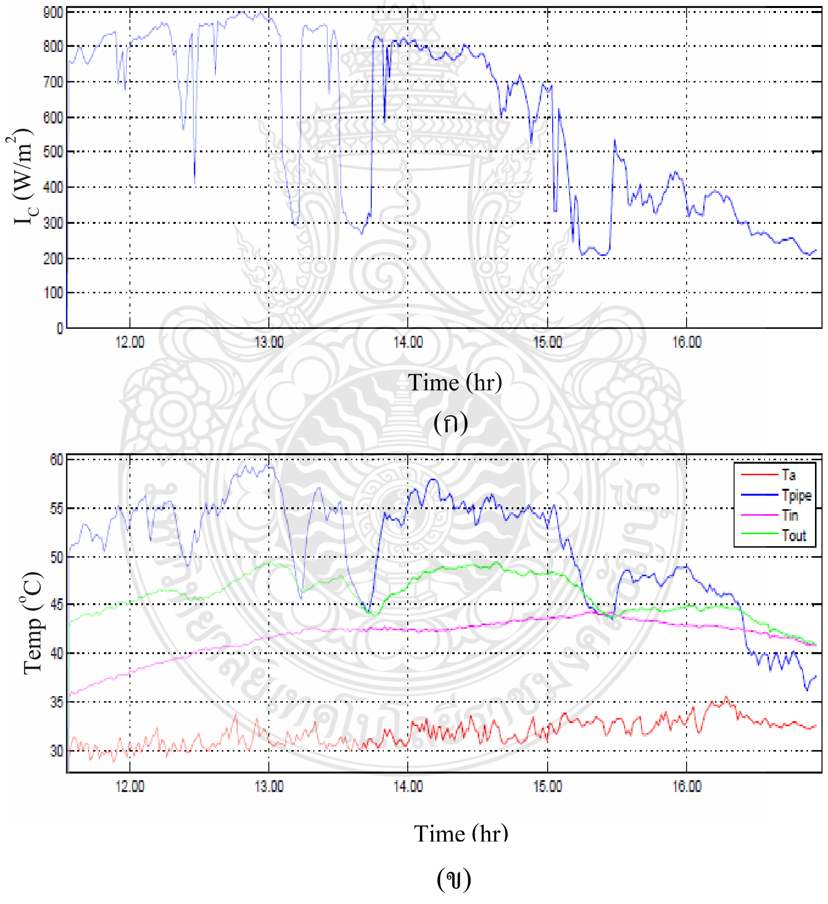


(ข)

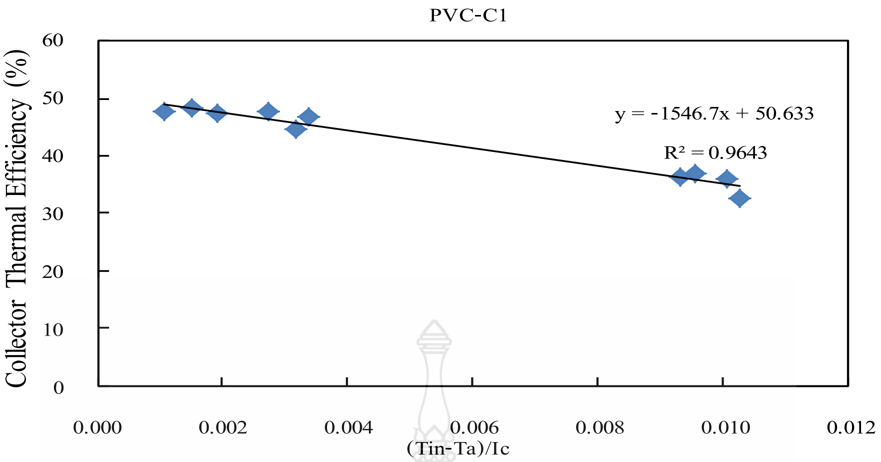
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})



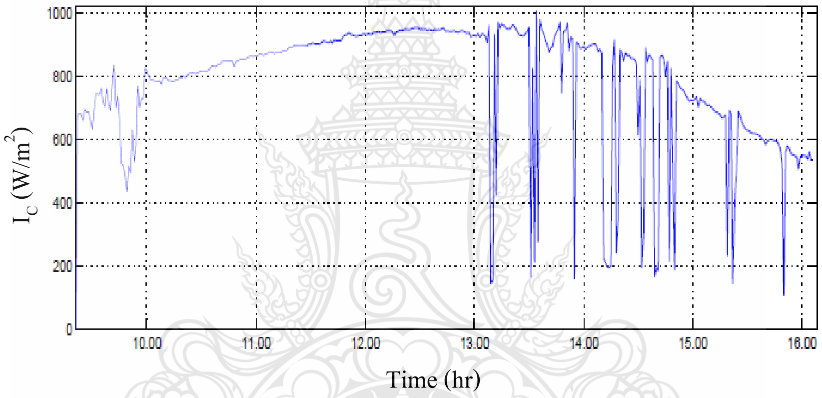
รูปที่ 4.31 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC-C



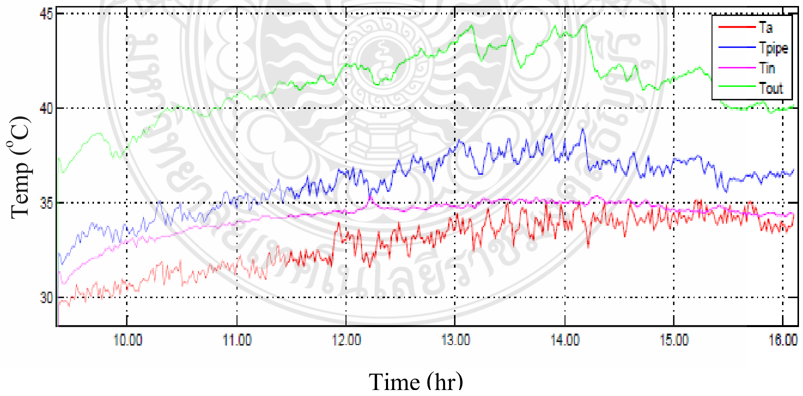
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})



รูปที่ 4.33 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC-C1

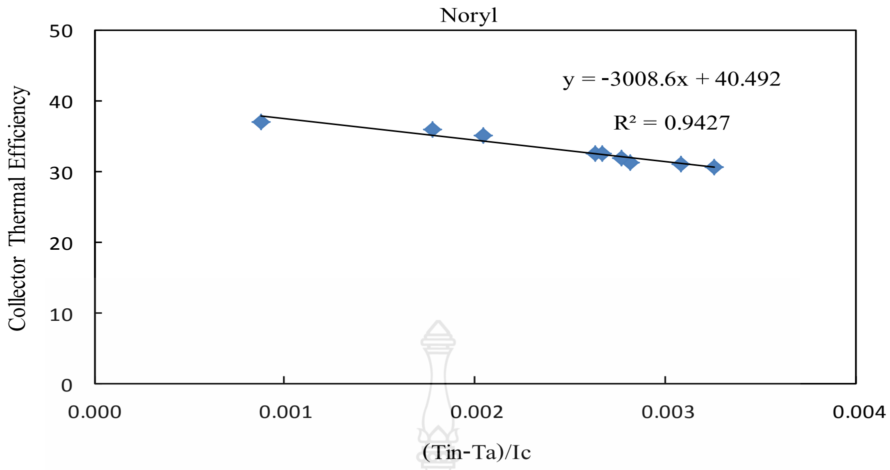


(ก)



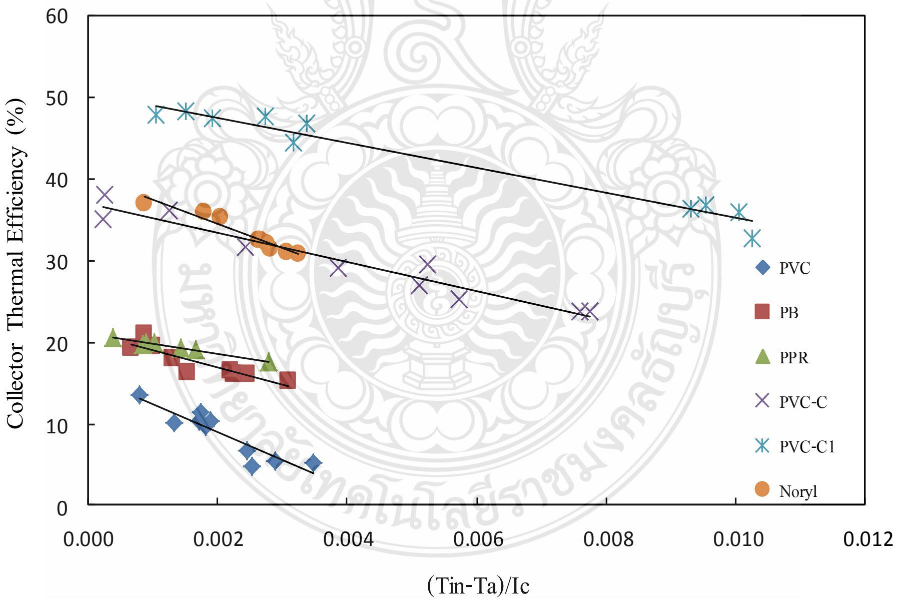
(ข)

รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ Noryl (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})



รูปที่ 4.35 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ Noryl

ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของวัสดุทั้ง 5 ชนิด ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.36 สามารถวิเคราะห์ได้คือ จุดตัดแกน Y จะบอกถึงประสิทธิภาพสูงสุดของตัวดูดซับแสงอาทิตย์ (ไม่มีแผ่นปิด) จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากเทอร์โมพลาสติก พบว่าวัสดุ PVC มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 15.96 ในขณะที่ PB, PP-R, PVC-C และ Noryl มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนคิดเป็นร้อยละ 19.78, 20.96, 36.98 และ 40.49 ตามลำดับ โดยวัสดุในกลุ่มนี้พลาสติกชนิด PVC-C สีดำจัดได้ว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกับวัสดุ Noryl แต่ราคาถูกกว่า 7 เท่า หลังจากนั้นเราเลือกวัสดุ PVC-C มาทำการพัฒนาแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นแบบแผ่นเรียบมี 6 ช่องทางน้ำไหลภายในพบว่าวัสดุ PVC-C1 มีประสิทธิภาพสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 50.63 ซึ่งแผ่นเรียบจะช่วยในการกระจายความร้อนจากแสงอาทิตย์ ดังนั้นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ คือวัสดุพีวีซีคอมโพสิต มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด และทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิ 49.38 องศาเซลเซียส และค่าความชันของสมการเชิงเส้นเป็นค่าการสูญเสียความร้อนของวัสดุ โดยค่าที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความชันของวัสดุพลาสติกแต่ละชนิด

วัสดุ	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	ค่าการสูญเสียความร้อน
PVC	15.96	3480
PB	19.78	1566
PP-R	20.96	1207
PVC-C	36.98	1789
Noryl	40.49	3008
PVC-C1	50.63	1546

จากตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน ซึ่งเป็นสูญเสียความร้อนออกจากแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ไปยังอากาศแวดล้อม ค่าการสูญเสียมีค่าน้อยลงหากมีการใช้วัสดุป้องกัน เช่น ฉนวนกันความร้อนและแผ่นปิดใสด้านบนและยังขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสีอินฟาเรดของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่ใช้วัสดุปิดด้านบน เนื่องจากต้องการป้องกันไม่ให้แผงดูดซับมีความร้อนสะสมมากเกินไป ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของพลาสติก ทำให้มีค่าการสูญเสียความร้อนค่อนข้างสูง มีการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุดูดซับไปยังตัวกลางที่เป็นน้ำอย่างรวดเร็ว

4.6 ผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

การพัฒนาและการทดสอบวัสดุพลาสติกที่มีค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ในการดูดซับแสงอาทิตย์แตกต่างกันนั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวดูดซับแสงอาทิตย์ มีปัจจัยเฉพาะที่ต้องการทดสอบ ดังนั้นสภาพอากาศแวดล้อมในการทดสอบต้องกำหนดให้อยู่ในเงื่อนไขเดียวกันตามมาตรฐานทดสอบ วัสดุทดสอบที่ใช้คือ PVC, PB, PP-R, PVC-C และ Noryl โดยมีรายละเอียดของวัสดุที่นำมาใช้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

วัสดุ	รูปแบบแผง	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)	ขนาดรวมพื้นที่เฉพาะที่รับแสง (m^2)	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
PVC	ท่อ	0.19	1.3	15.96
PB	ท่อ	0.22	1.3	19.78
PP-R	ท่อ	0.24	1.3	20.96
PVC-C	ท่อ	0.24	1.8	36.98
Noryl	ท่อ	0.28	1.9	40.49
PVC-C1	แผ่นเรียบ	0.24	2	50.63

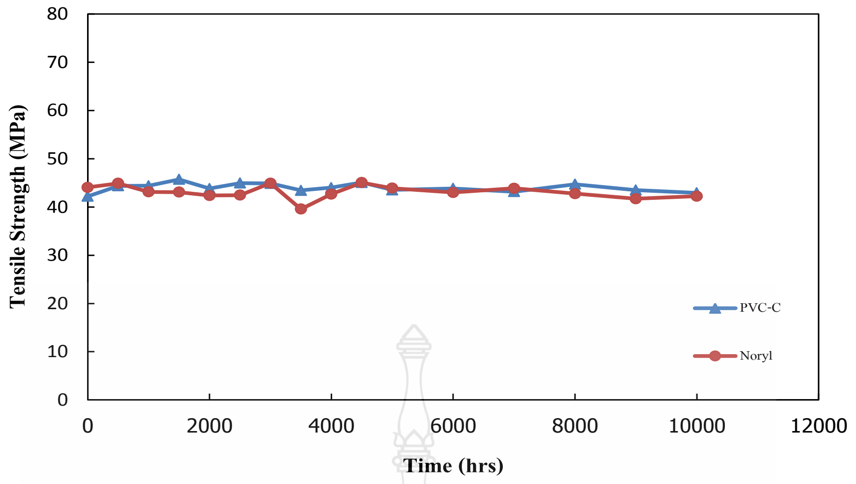
ค่าการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคที่มีพลังงานสูงไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำ ถ้าวัสดุสามารถนำความร้อนได้ดี ก็มีค่าการนำความร้อนที่สูงด้วย จากตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่รับแสงของวัสดุพลาสติกกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้ โดยวัสดุ PVC, PB และ PP-R มีรูปแบบแผงเป็นท่อที่หาได้ทางการค้าทั่วไป นำมาประกอบเป็นแผงให้มีพื้นที่รับแสงเท่ากัน ซึ่งมีพื้นที่รวมพื้นที่รับแสงเป็น 1.3 ตารางเมตร วัสดุ PVC-C และ Noryl มีรูปแบบแผงเป็นท่อ ซึ่งมีจำนวนท่อที่มากกว่าและระยะห่างระหว่างท่อที่น้อยกว่าจึงมีพื้นที่รับแสงมากกว่าคือ 1.8 และ 1.9 ตารางเมตร ตามลำดับ ส่วน PVC-C1 ทำการพัฒนารูปแบบแผงที่ใหม่เป็นแผ่นเรียบมีพื้นที่รับแสงเป็น 2 ตารางเมตร จากงานวิจัยผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่เฉพาะรับแสงของแผงดูดซับความร้อนแต่ละชนิด พบว่าวัสดุมีขนาดพื้นที่เฉพาะรับแสง

เท่ากันที่ 1.3 ตารางเมตร พบว่าเมื่อค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น (0.19,0.22 และ 0.24 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน) ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นคือ 15.96, 19.78 และ 20.96 ตามลำดับ ในกรณีที่วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนเท่ากันคือ 0.24 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน พบว่าขนาดพื้นที่เฉพาะรับแสงเพิ่มขึ้นคือ 1.3 และ 1.8 ตารางเมตร ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 20.96 เป็น 36.98 และวัสดุ Noryl มีค่าการนำความร้อนคือ 0.28 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน และมีขนาดพื้นที่รับแสงคือ 1.9 ตารางเมตร ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 40.49 นอกจากนี้วัสดุ PVC-C1 มีค่าการนำความร้อนคือ 0.24 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน และมีขนาดพื้นที่รับแสงสูงสุดคือ 2.0 ตารางเมตร ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดร้อยละ 50.63 พบว่าเมื่อค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่เฉพาะรับแสงเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของอุณหภูมิน้ำออกก็เพิ่มขึ้นด้วย

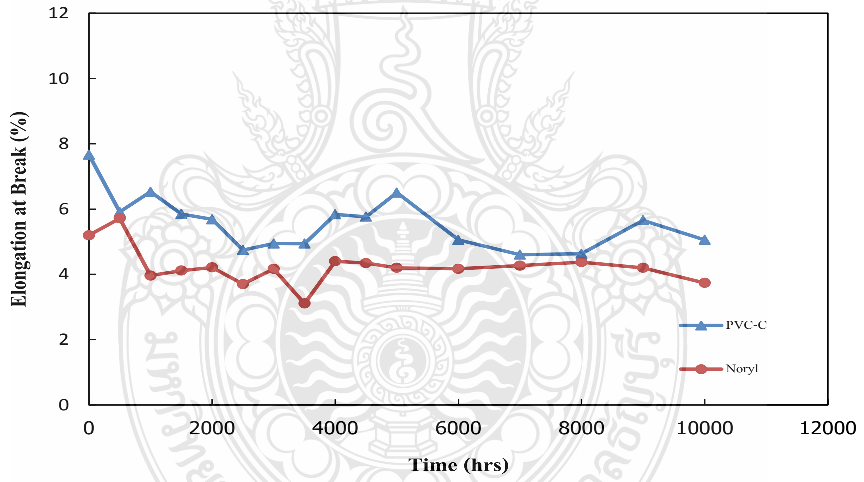
จากงานวิจัยก่อนหน้า [29] ได้ศึกษาวิจัยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย สร้างขึ้นจากท่อ PVC ที่ทาสีดำซึ่งมีความจุรวม 35 ลิตร และมีขนาดของเครื่องทำน้ำร้อนเท่ากับ 2.32 ตารางเมตร โดยติดตั้งบนหลังคาบ้าน (ทำมุม 25 องศา) หันหน้าไปทางทิศใต้ นอกจากนี้ยังใช้กระเบื้องแผ่นเรียบหรือหลังคาบ้าน (ลอนเล็ก) เป็นแผงรับรังสีอาทิตย์และแผงสะสมความร้อน ติดตั้งที่ด้านหลังของเครื่อง และมีวัสดุปิดใสด้านบนเป็นพลาสติกใส จากการทดสอบพบว่าสามารถทำอุณหภูมิได้ 72 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุ PVC-C1 ในงานวิจัยนี้ให้ค่าอุณหภูมิสูงสุดคือ 49.40 องศาเซลเซียส คิดเป็นผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 23 องศาเซลเซียส พบว่าผลของค่าอุณหภูมิในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่างานวิจัยก่อนหน้า เนื่องจากแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ใช้วัสดุปิดด้านบน เนื่องจากต้องการป้องกันไม่ให้แผงดูดซับมีความร้อนสะสมมากเกินไป ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของพลาสติก จึงทำให้ค่าที่ได้ลดลง

4.7 ผลการทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม

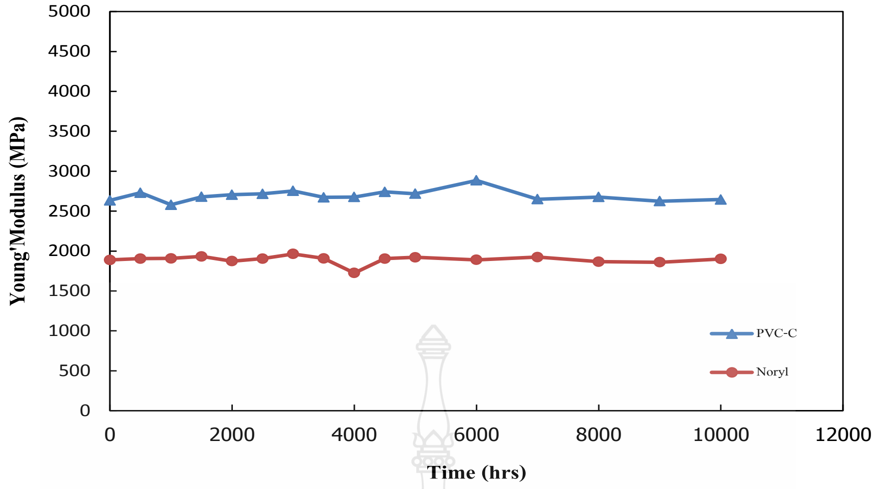
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมของวัสดุ PVC-C เปรียบเทียบกับ Noryl เนื่องจากผลที่ได้จากการทดสอบภาคสนาม วัสดุ PVC-C มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูง อีกทั้งคัดเลือกจากสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกล ที่ให้ค่าสมบัติที่ดี ซึ่งคิดว่าสามารถเป็นตัวชี้แนะให้ใช้ในการทำแผงดูดซับความร้อนได้ โดยใช้เวลาในการทดสอบ 10,000 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM G 154 ซึ่งผลการทดสอบของค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ดังรูปที่ 4.37, 4.38 และ 4.39 ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 ความต้านทานต่อแรงดึงกับระยะเวลาการเริ่มบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมของวัสดุ PVC-C และ Noryl



รูปที่ 4.38 การยืดตัว ณ จุดขาด กับระยะเวลาการเริ่มบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมของวัสดุ PVC-C และ Noryl

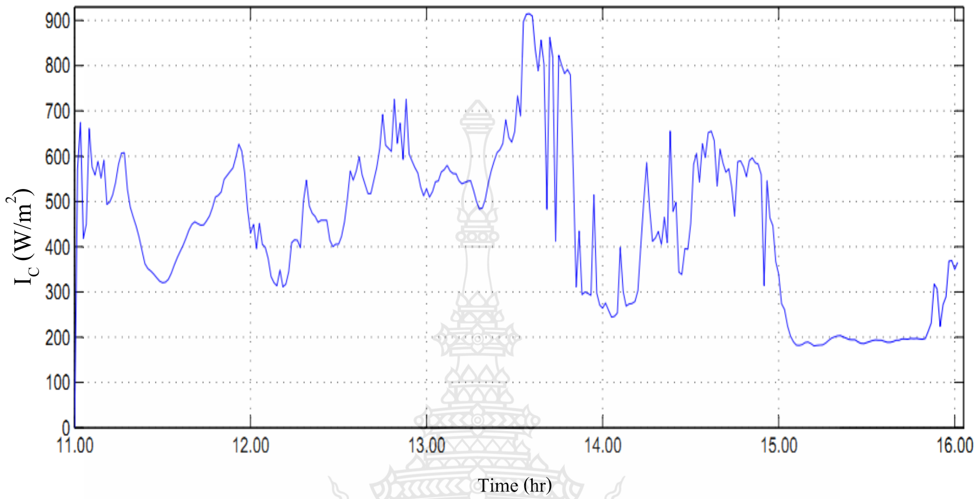


รูปที่ 4.39 โมดูลัส กับระยะเวลาการเริ่มบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมของวัสดุ PVC-C และ Noryl

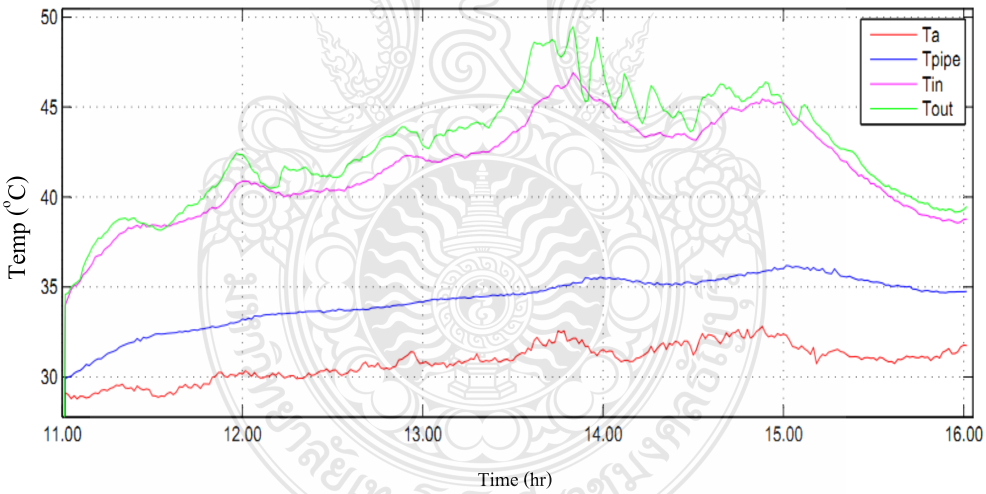
จากรูปที่ 4.37, 4.38 และ 4.39 แสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ายังมอดูลัส มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่น้อย แม้ว่าชิ้นทดสอบจะได้รับรังสี UV-B เป็นระยะเวลา 10,000 ชั่วโมง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวัสดุ PVC-C กับ Noryl จะเห็นได้ว่าผลที่ได้ของวัสดุ PVC-C มีค่าที่สูงกว่า Noryl เมื่อเวลาผ่านไป 10,000 ชั่วโมง แต่ค่าที่ได้ยังคงที่แสดงให้เห็นว่าวัสดุ PVC-C และ Noryl ยังไม่เกิดการเสื่อมสภาพ และมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 10,000 ชั่วโมง โดยการทดสอบที่ 12,000 ชั่วโมงของการให้แสงซีนอน สอดคล้องกับระยะเวลา 10-15 ปี ของการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ ที่สภาพภูมิอากาศที่รุนแรง (Type Arizon) และปานกลางที่สภาพภูมิอากาศเขตร้อน (Type Florida) ตามลำดับ [47]

4.8 การใช้งานจริงของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการเก็บข้อมูลค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ต้นแบบจาก PVC-C1

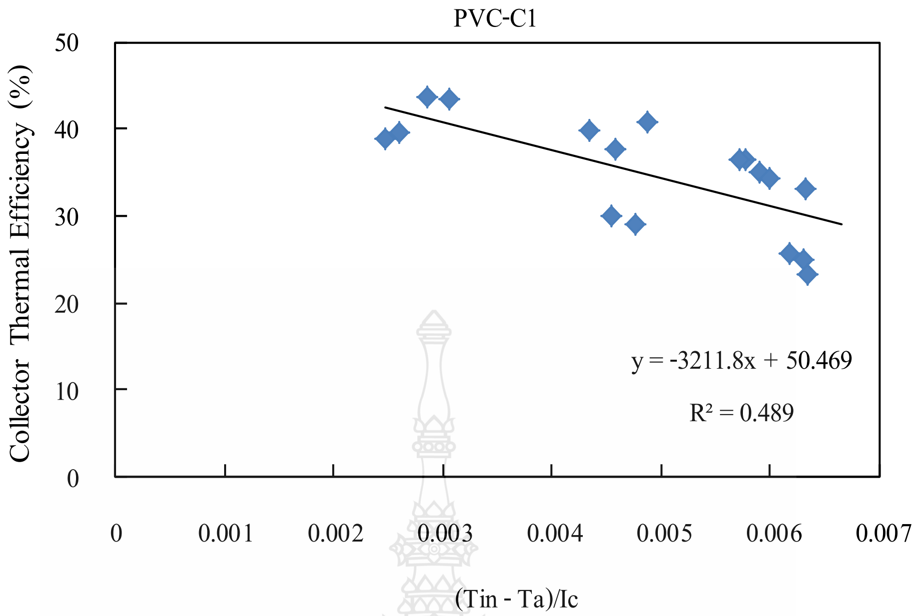


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe})



รูปที่ 4.41 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุ PVC-C1

จากรูปที่ 4.41 แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสภาวะแวดล้อม เนื่องจากถ้าอุณหภูมิน้ำเข้าสูงเกินไป จะทำให้แผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ลดลง จากการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ได้คือประมาณ 49.47 องศาเซลเซียส หรือคิดเป็นประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ประมาณร้อยละ 50.47

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น ทดสอบค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry จากการทดสอบพบว่าวัสดุมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.90-1.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุที่ต่ำมีค่า ร้อยละ 0.01-0.10 ผลของสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวอยู่ในช่วง 125-265 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิคล้ายแก้ว อยู่ในช่วง -17-80 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาการออกแบบแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วัสดุชนิดต่างๆ มาทำการออกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ป้อนอุณหภูมิน้ำเข้าที่ 30 องศาเซลเซียส น้ำไหลเข้าแผงดูดซับความร้อน ด้วยอัตราการไหลคงที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ค่าการแผ่รังสีเท่ากับ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่าแผงดูดซับความร้อนโพลิไวนิลคลอไรด์คอมโพสิต ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด คือ แผงที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร แต่ละช่องห่างกัน 1.5 มิลลิเมตร มีจำนวนช่องให้น้ำผ่านจำนวน 6 ช่อง ได้ค่าความร้อนที่ดีที่สุดคือ 58.40 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะห่างของช่อง และจำนวนช่องเปลี่ยนไปส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยที่ความหนามากขึ้นและจำนวนช่องเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำร้อนสูงขึ้น

จากการศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุแต่ละชนิด โดยการทดสอบแรงดึง วัสดุที่ให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงคือ Noryl มีค่า 44.05 เมกะปาสคาล โดยมีค่าใกล้เคียงกับ PVC-C คือ 42.20 เมกะปาสคาล การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก วัสดุที่สามารถทนทานต่อแรงกระแทกได้สูงสุดคือ PB มีค่า 468.83 จูลต่อเมตร เนื่องจากวัสดุมีความยืดหยุ่นที่ดี ในขณะที่ค่าความทนทานต่อการดัดงอ ระหว่าง PVC-C และ Noryl มีค่าใกล้เคียงกันคือ 71.83 เมกะปาสคาล และ Noryl คือ 75.64 เมกะปาสคาล ถึงแม้ว่าวัสดุ Noryl จะมีความทนทานต่อการดัดงอดีกว่า PVC-C เล็กน้อย แต่ราคาของ PVC-C ต่ำกว่า Noryl มากถึง 7 เท่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือก วัสดุ PVC-C มาใช้ในการผลิตแผงดูดซับความร้อน เนื่องจากให้ค่าสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ดี เมื่อเทียบกับวัสดุ Noryl ที่เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตแผงดูดซับความร้อนในต่างประเทศ อีกทั้งยังมีราคาถูก และช่วยลดการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศได้อีกด้วย

จากการศึกษาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่าวัสดุโพลิไวนิลคลอไรด์คอมโพสิตในลักษณะท่อ สามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด 43.46 องศาเซลเซียส และมีค่า η ร้อยละ 36.98 ตามลำดับ ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออก (ΔT) จากแผงอยู่ที่ 11 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับโนริลที่ใช้ทำแผงทางการค้า (η = 40.49 และ ΔT=13 องศาเซลเซียส)

จากการศึกษาผลของค่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นและมีขนาดพื้นที่รับแสงที่เพิ่มขึ้น ให้ค่า η ที่เพิ่มขึ้นด้วย ในงานวิจัยได้เลือกวัสดุ PVC-C ที่มีการออกแบบพิเศษ ไม่มีช่องว่างใดๆ และไม่มีฝาปิดมาเป็นตัวดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวัสดุมีค่าการนำความร้อนที่ 0.24 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเคลวิน และมีขนาดรวมพื้นที่เฉพาะวัสดุดูดซับแสง 2.0 ตารางเมตร และจากการทดสอบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่าสามารถทำน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุด 49.40 องศาเซลเซียส และมีค่า η ร้อยละ 50.60 ตามลำดับ

จากการศึกษาสมบัติทางกลของชิ้นงาน PVC-C และ Noryl หลังบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม (QUV) เป็นระยะเวลา 10,000 ชั่วโมง เพื่อศึกษาอายุการใช้งาน พบว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิด มีค่ายังมอดูลัส ค่าความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย จากช่วงเวลาในการทดลองนี้ พบว่าวัสดุ PVC-C ที่จะนำมาผลิตแผงน้ำร้อนมีอายุการใช้งานได้อย่างน้อย 8 ปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การเลือกวัสดุสำหรับทำแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ราคา ค่าการนำความร้อนและพื้นที่รับแสงอาทิตย์ เป็นต้น

จากการศึกษาแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุพีวีซีคอมโพสิต โดยมีการใช้เขม่าดำเป็นสารเติมแต่งมีข้อเสนอแนะ ควรใช้เขม่าดำเกรดที่มีสมบัติการดูดกลืนความร้อนสูงขึ้น และการเพิ่มปริมาณเขม่าดำในวัสดุพีวีซีคอมโพสิต เพราะการเปลี่ยนแปลงเกรดและปริมาณ อาจส่งผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นการหาสารตัวเติมที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูง ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจอย่างมาก

จากการศึกษาระยะเวลาคืนทุน โดยนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณค่าไฟฟ้า และคำนวณค่าใช้จ่ายของการผลิตแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของค่าไฟฟ้า พบว่ากรณีมีแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับเครื่องล้างจานโดยใช้แผงดูดซับความร้อนจำนวน 2 แผง สามารถประหยัดค่าใช้ไฟฟ้า 3,488 บาทต่อปี ราคาต้นทุนแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C 3,303 บาทต่อแผง และสามารถคืนทุนได้ภายในเวลาประมาณ 1.9 ปี อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานได้อีกด้วย

รายการอ้างอิง

[1] Solar Collector (Online), Available: http://www.leonics.co.th/html /th/pd_ecp/solarcollector/h50php (9 มกราคม 2556).

[2] Ammari, H. D., and Nimir, Y. L., "Experimental and theoretical evaluation of the performance of a tar solar water heater," Energy Conversion and Management, Vol 44, No.19, 2003.pp. 3037-3055.

[3] Janjai, S., Esper, A., and Muhlbauer, W., "Modelling the performance of a large areaplastic solar collector," Renewable Energy, Vol 21, 2000. pp. 363-367.

[4] Duffie, JA., and Beckman WA., Solar Engineering of Thermal Processes. New York: Wiley; 1980.

[5] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (Online), Available: http://www.ces.kmutt.ac.th/PV_text/Designer_CH1toCH5.pdf (11 มกราคม 2556).

[6] มหาวิทยาลัยศิลปากรกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์, "แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย," กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542.

[7] ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, การถ่ายโอนความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ทริปเพิ้ล กรุ๊ป, 2551. หน้า 1-18.

[8] ธนารัฐ สิงหา, "การทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์," วารสารโลกพลังงาน,ปีที่ 4, ฉบับที่ 10, 2554.หน้า 30-38.

[9] Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., and Nousia, T.h., "Solar collectors with colored absorbers," Solar Energy, Vol 68, 2000. pp. 343-356.

[10] Kalogirou, S.A., "Solar thermal collectors and applications," Progress in Energy and Combustion Science, Vol 30, 2004. pp. 231-295.

[11] Norton, B. Solar Energy.(Online), Available: http://www.thermopedia.com/content/1136 (16 กุมภาพันธ์ 2555).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[12] European Solar Thermal Industry Federation. SolarIndustrial Process Heat “State of the Art,” (Online), Available: http://www.estif.org/fileadmin/ estif/content/policies/downloads/D23-solarindustrial-process-heat.pdf [10 กัยยายน 2011]

[13] แม้น อมรสิทธ์, วัสดุวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ท้อป/แมคกรอ-ฮิล, 2547. หน้า 239-249.

[14] เจริญ นาคะสรรค์, กระบวนการแปรรูปพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : VJ พริ้นติ้ง, 2547. หน้า 71-88.

[15] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, งานฉีดพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540. หน้า 11-28.

[16] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์, เอกสารประกอบการสอน วิชา MTT656 Polymer Characterization and Analysis. “การทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์,” คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[17] Vishu, S., Handbook of Plastics Testing Technology 2nd ed. America: John Wiley and Sons, Ine; 1998.

[18] เกศินี เหมวิเชียร และ พิริยาธร สุวรรณมาลา, “การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ ตอนที่ 1 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์,” กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2551.

[19] อภิรัตน์ บางศิริ, เขียนแบบทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมด้วย Auto CAD 2009. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : ซัคเซสมีเดีย, 2551.หน้า 1-3.

[20] ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์, SolidWorks Essential & Tutoials. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : บริษัท ทวี.พริ้นท์ (1991) จำกัด, 2553.หน้า 12-18.

[21] จินตมัย สุวรรณประทีป, การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2547. หน้า 28-86.

[22] รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, “การทดสอบความทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากลมฟ้าอากาศของผลิตภัณฑ์พลาสติกโดยวิธีเร่งสภาวะ,” รายงานกิจกรรม 2545, กรุงเทพฯ : คุรุสภาราดพร้าว, 2546. หน้า 90.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[23] American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials. ASTM G 154, 2003.

[24] สมบูรณ์ คงเพชรศักดิ์ และพรพิมล เพ็ชรวัฒนา, “มาตรฐานการทดสอบตัวรับรังสีแบบกลางแจ้งที่เหมาะสำหรับประเทศไทย,” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ (ฟิสิกส์-บริสุทธิ์) คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร,2546.

[25] อมรรัตน์ พีระพล, รวบรวมจากเอกสารการอบรมโครงการ. “หลักสูตร Perfect Financial Practice Program,” 2552.

[26] นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ และ ปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล, “การศึกษาประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 2550.

[27] พฤทธิ มาเนตร ศิรินุช จินดารักษ์ สินเดิม ดีโต อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และ ฉันทนา พันธุ์เหล็ก, “การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์,” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 2548.

[28] ศรีธร อุปคำ, “การวิเคราะห์สมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541.

[29] จงจิตร์ หิรัญลาภ, ปรีดา จันทวงษ์ และ โจเซฟ เคดารี, “เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, ปีที่ 23, ฉบับที่ 3, 2543.

[30] บงกช ประสิทธิ์, พิสิษฏ์ มณีโชติ, อภิโชติ แสนสม, ประพิธาริ์ ธนารักษ์ และ ยุวดี คงมั่น, “การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77,” วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่ 1, ฉบับที่ 11, 2546. หน้า 11-22.

[31] เสริม จันทร์ฉาย และ ซังเซ็ง เลียงจินดาถาวร, “การการวิเคราะห์สมรรถนะของตัวรับแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ,” ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม, 2546.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[32] วิทยา ยงเจริญ และ ธวรรธน์ มาลาหอม, "การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกับแบบท่อฮีตไปป์," วารสารวิจัยพลังงาน, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, 2554.

[33] จารุวัฒน์ เจริญจิตร, "ศักยภาพเชิงอุณหภูมิของการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในภาคอุตสาหกรรม," วารสารวิทยาศาสตร์บูรภา, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2, 2555.

[34] สมชาย มณีวรรณ์, ณรงค์ศักดิ์ พลแก้ว และ นิพนธ์ เกตุจ้อย, "การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผนเรียบแบบใช้แผ่นปิดใสด้านบนและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน," การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 2550.

[35] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Specific Graviity (Relative Density) and Density of Plastics by Displacement. ASTM D 792, 1986.

[36] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM D 570, 1998.

[37] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM D 638, 1998.

[38] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. ASTM D 256, 1997.

[39] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical Insulating Material. ASTM D 790, 1998.

[40] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM D 785, 1998.

[41] ASHRAE STANDARD 93-77., Method of Testing to Determine The Thermal Performance of Solar Collectors. New York: The America Society of Heating Refrigerating and Air Conditionning Engineers, 1987.

[42] การไฟฟ้านครหลวง, "การคิดค่าไฟฟ้าด้วยตนเอง," วารสารภายใน, ปีที่ 18, ฉบับที่ 178, 2541.

[43] Blank, T.L., "Engineering Economy," McGraw-Hill : London, 1998. pp.722.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

[44] Kahlen, S., Wallner, G.M., and Lang, R.W., “Aging behavior of polymeric solar absorber materials – Part 1:Engineering plastics,” Solar Energy, Vol 84, 2010. pp. 1567–1576

[45] คุณาลยา สถานสถิต, ศศิโรจน์ ชูสกุล, วลัยพร ปฤษณารุณ เอื้อใจ และ ศิริศาส เอื้อใจ, “สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติเชิงไฟฟ้าของ LLDPEที่เติมพอลิพีโรลและคาร์บอนแบล็ก,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 21, ฉบับที่ 2, 2554.

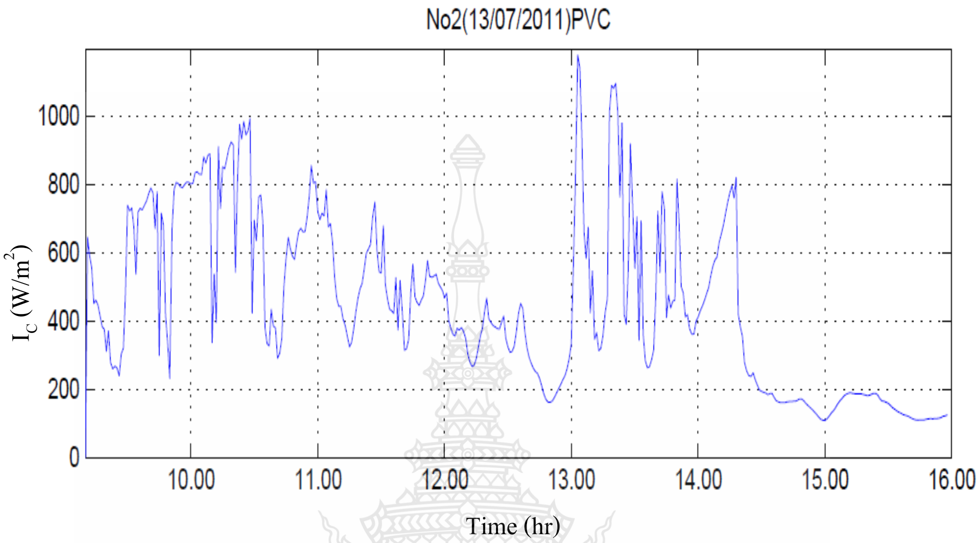
[46] ธเนศ รัตนวิไล, สุกกฤธิรา รัตนวิไล และ วันทนีย์ สุขวนิช, “การเปรียบเทียบตัวเติมกากตะกอนน้ำมันปาล์มและเขม่าดำในผลิตภัณฑ์ยาง,” วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่ 19, ฉบับที่ 3, 2554.

[47] Real, L. P., Rocha, A. P. and Gardette, J.-L., “Artificial accelerated weathering of poly(vinyl chloride) foroutdoor applications:the evolution of the mechanical and molecular properties,” Polymer Degradation and Stability, Vol 82, 2003. pp. 235-243.

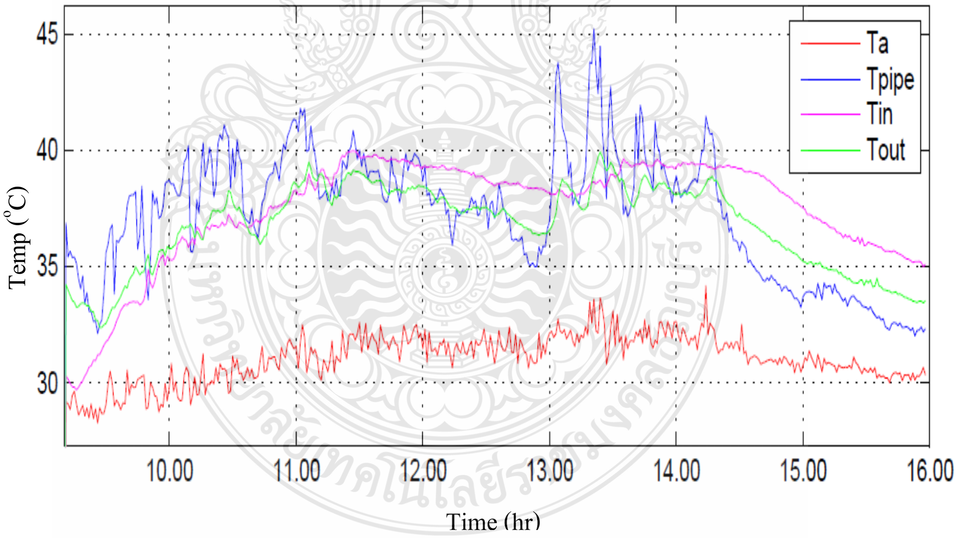
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างรังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุชนิดต่างๆ

1 ข้อมูลจากการทดสอบแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ บนดาดฟ้า (อาคาร 9 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์)

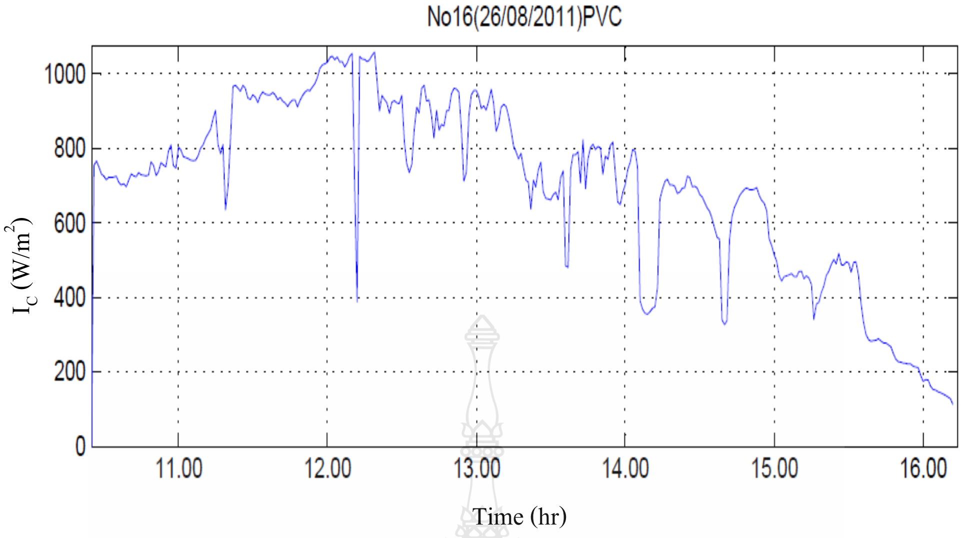


(ก)

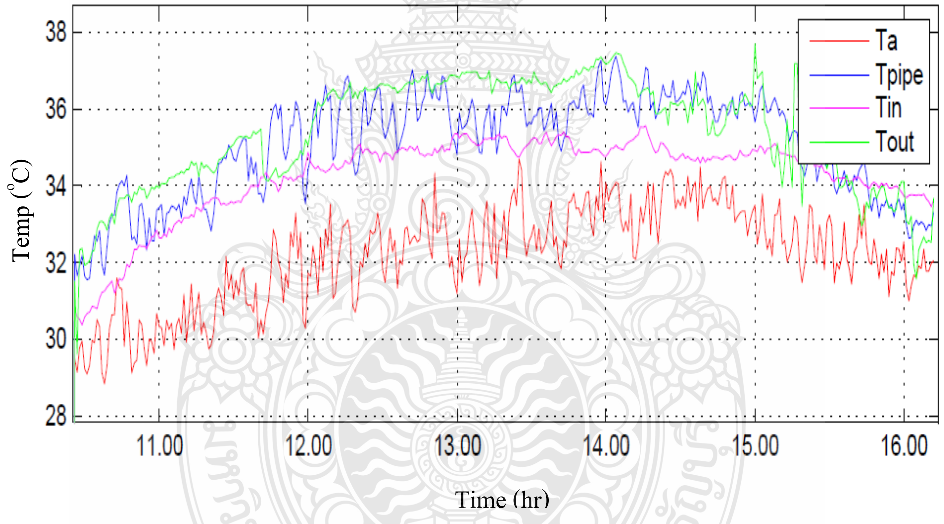


(ข)

รูปที่ ก 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 13 กรกฎาคม 2554

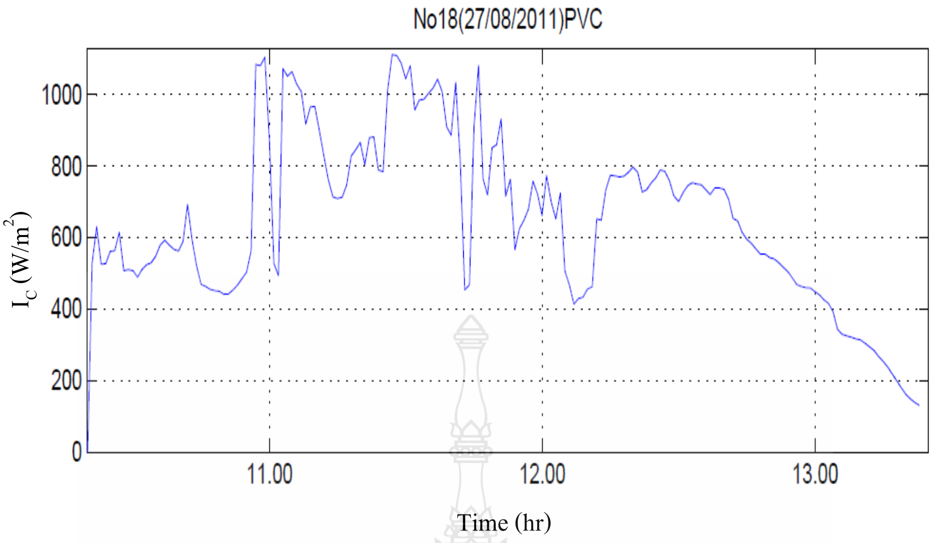


(ก)

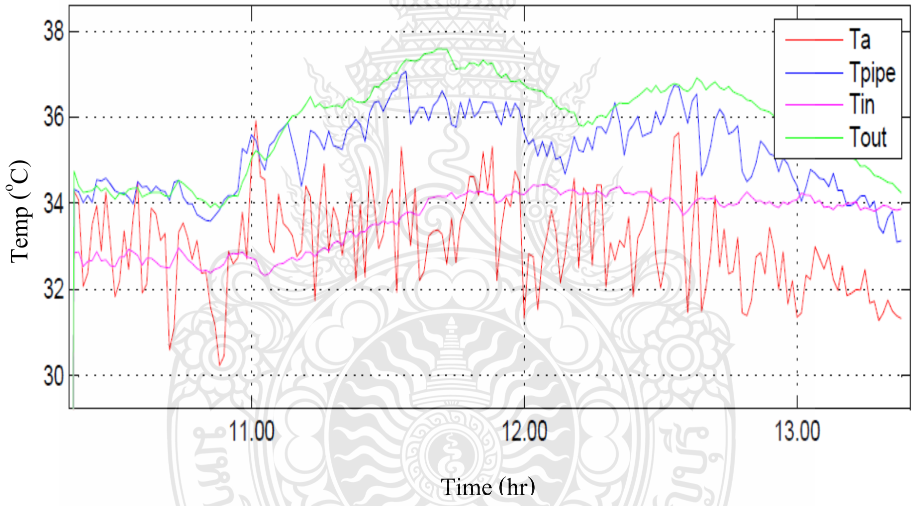


(ข)

รูปที่ ก 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 26 สิงหาคม 2554

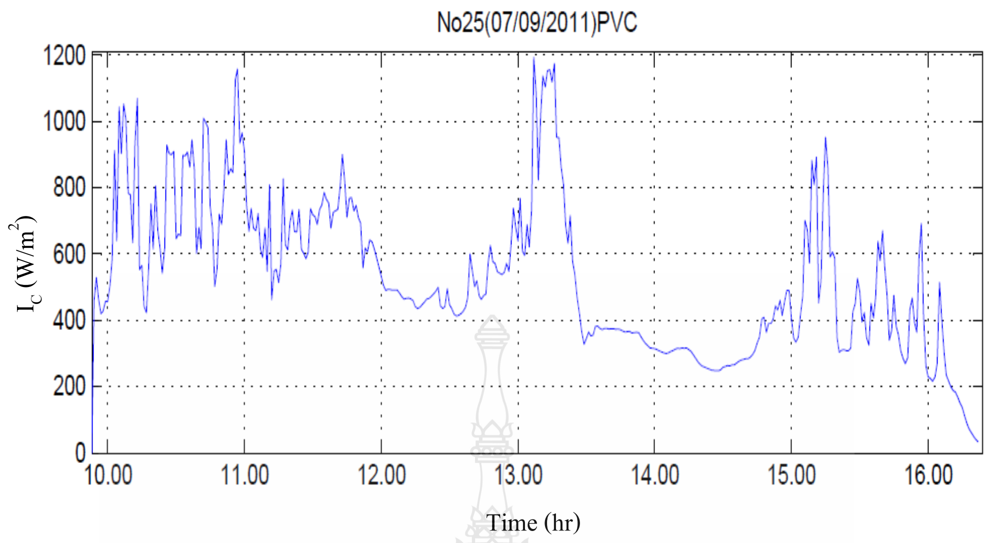


(ก)

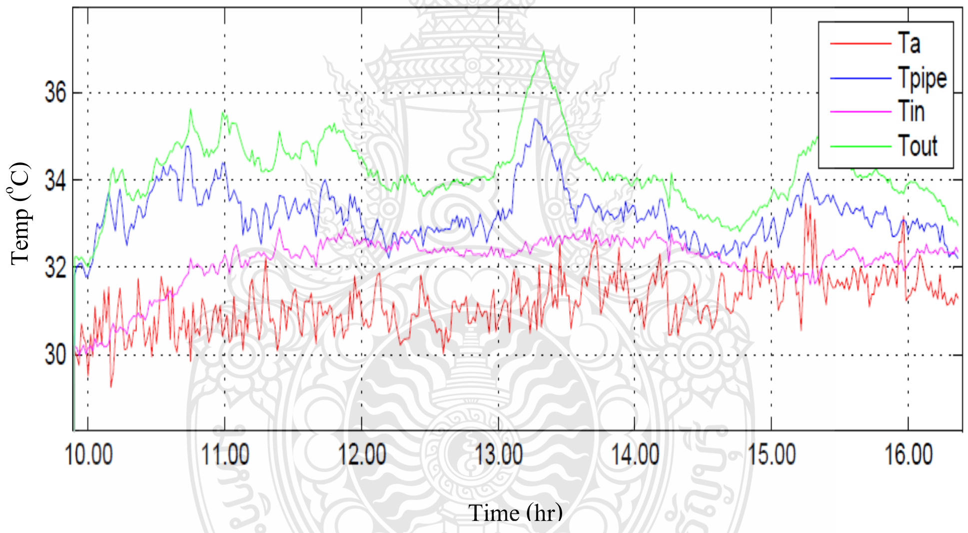


(ข)

รูปที่ ก 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 27 สิงหาคม 2554

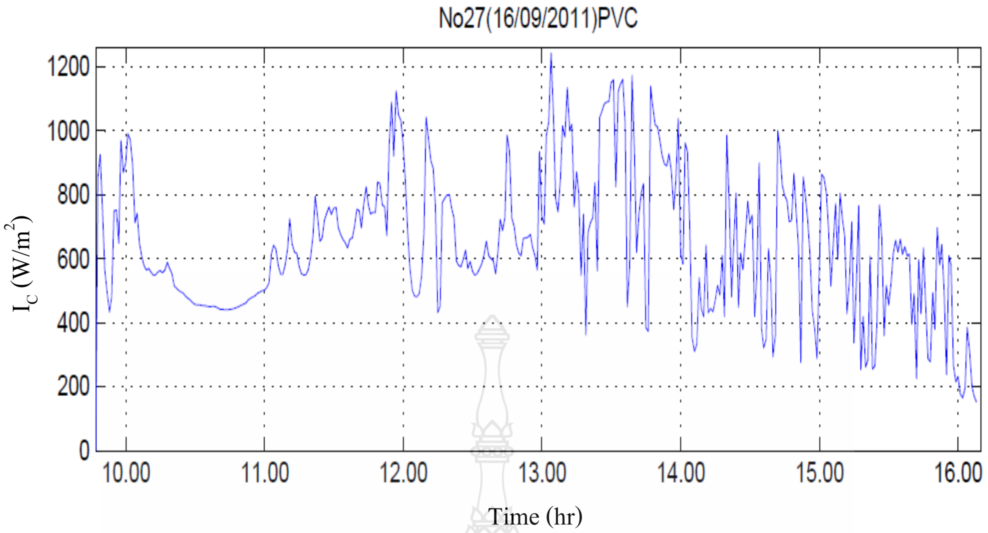


(ก)

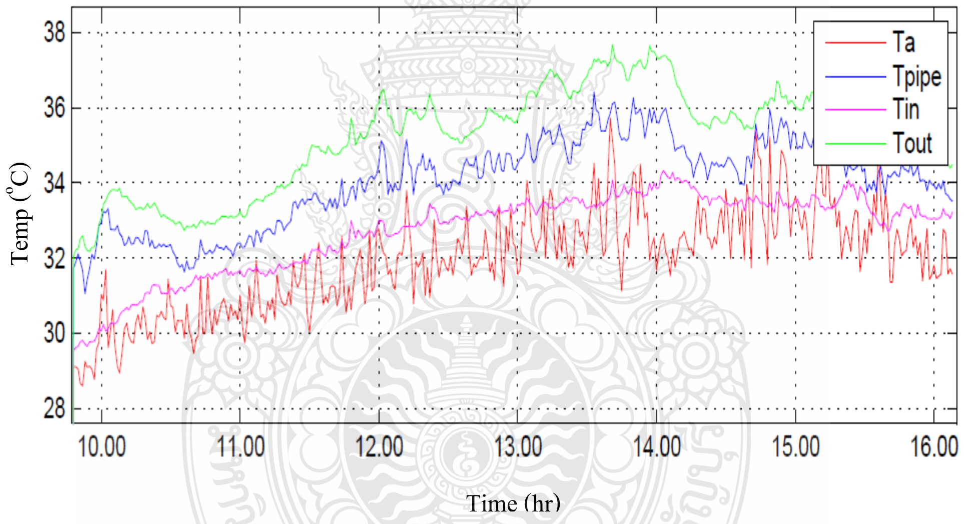


(ข)

รูปที่ ก 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 7 กันยายน 2554)

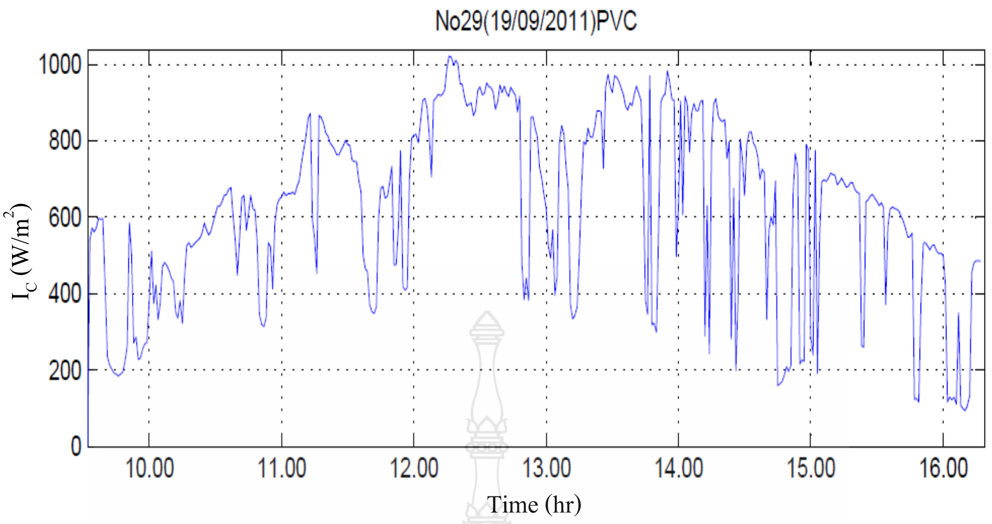


(ก)

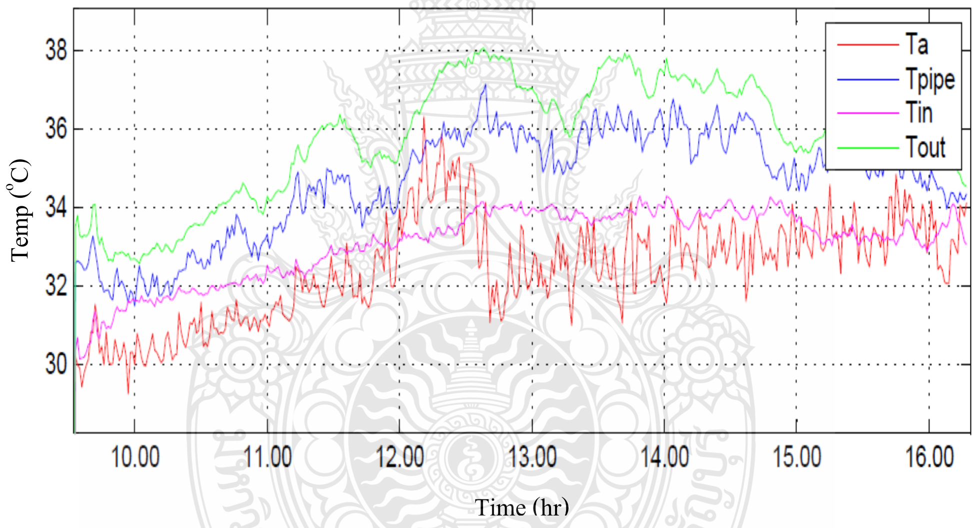


(ข)

รูปที่ ก 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 16 กันยายน 2011

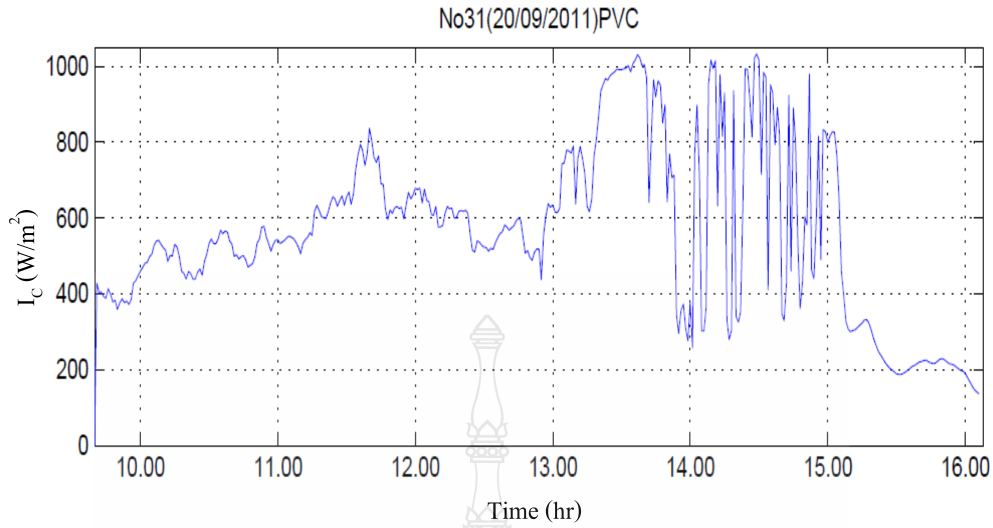


(ก)

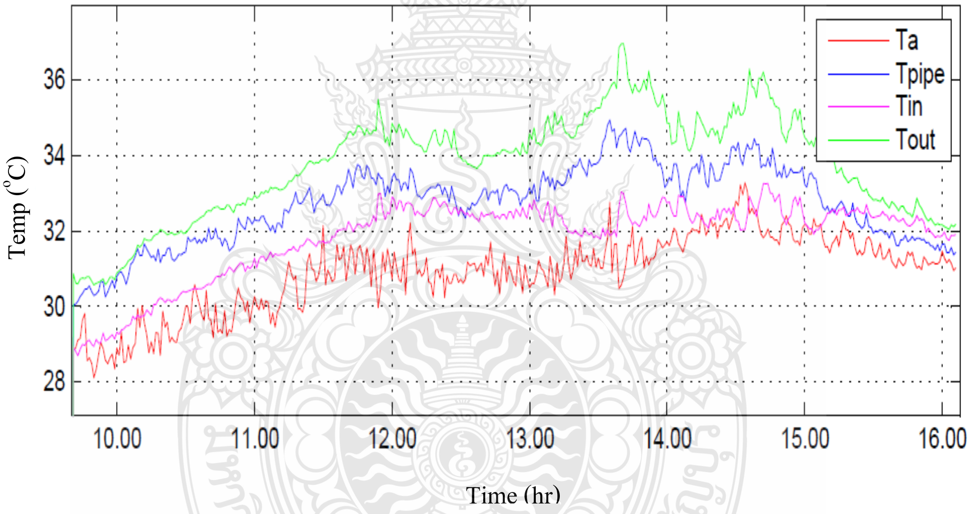


(ข)

รูปที่ ก 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 19 กันยายน 2554

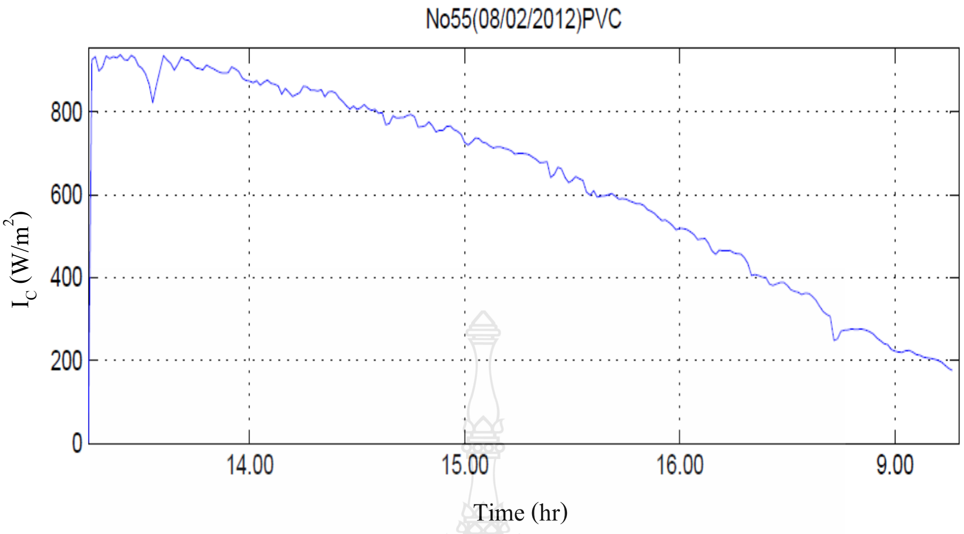


(ก)

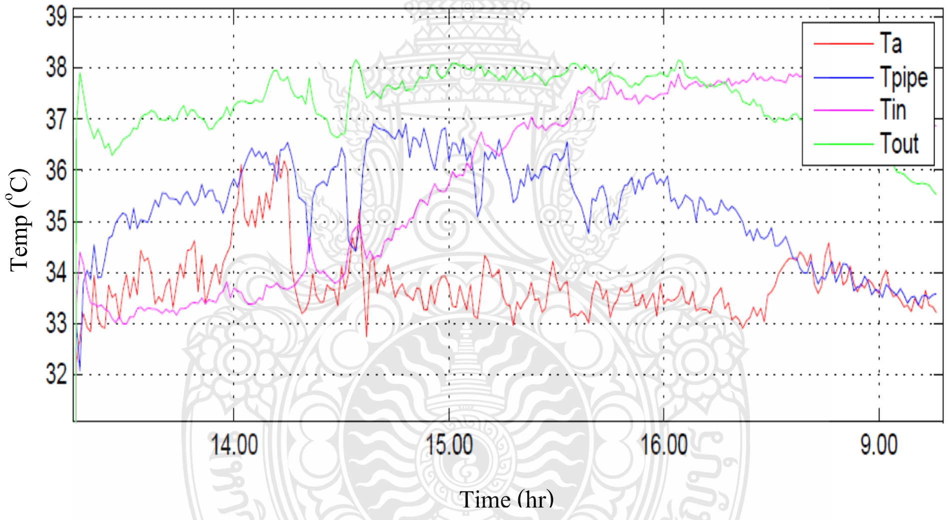


(ข)

รูปที่ ก 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 20 กันยายน 2554

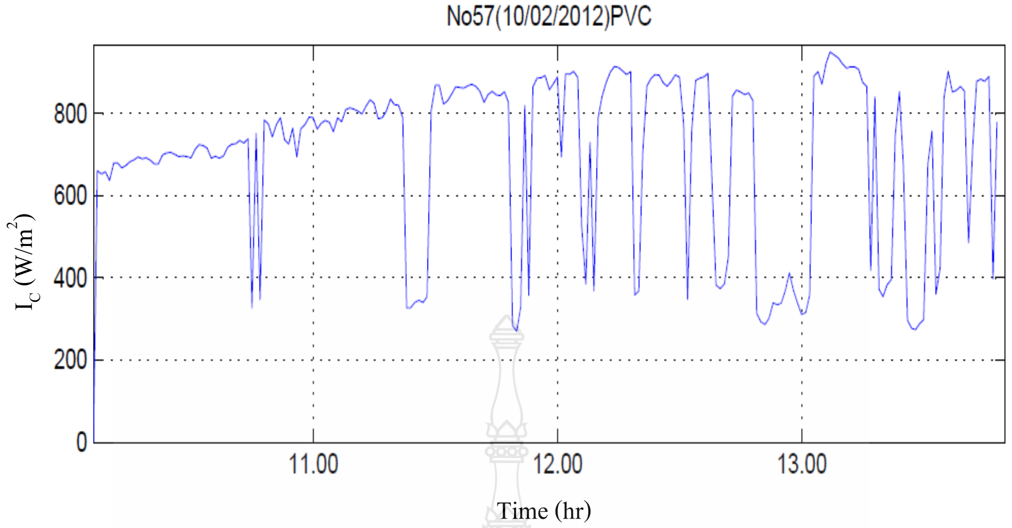


(ก)

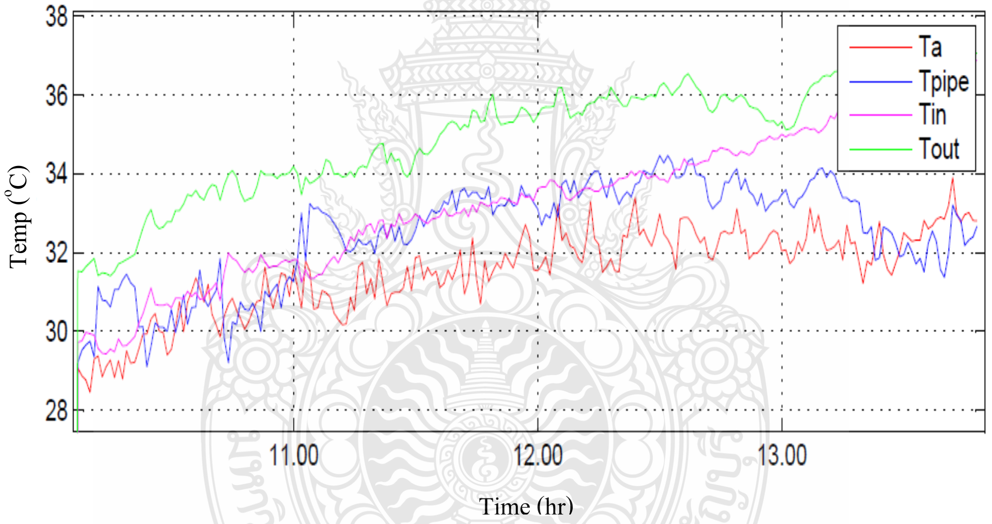


(ข)

รูปที่ ก 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2555

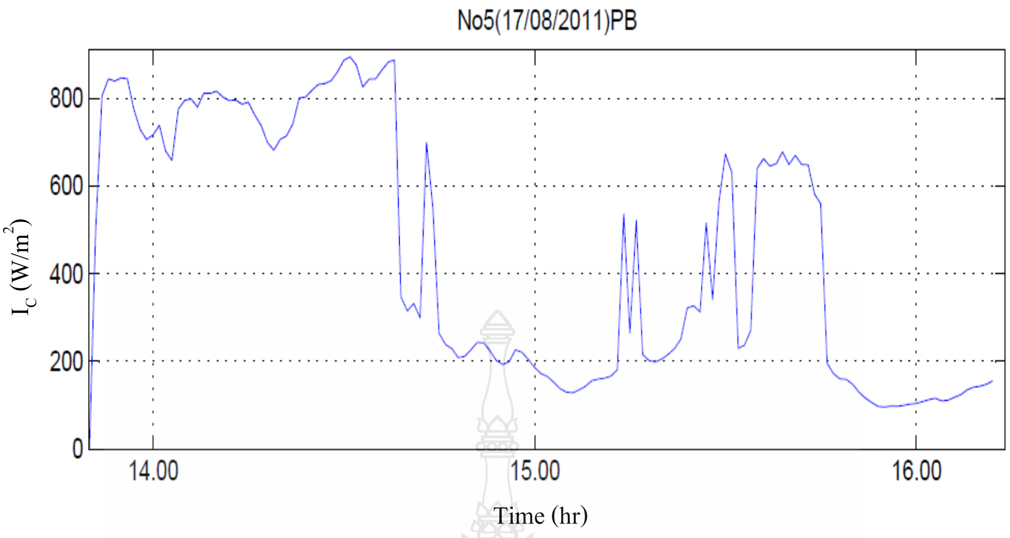


(ก)

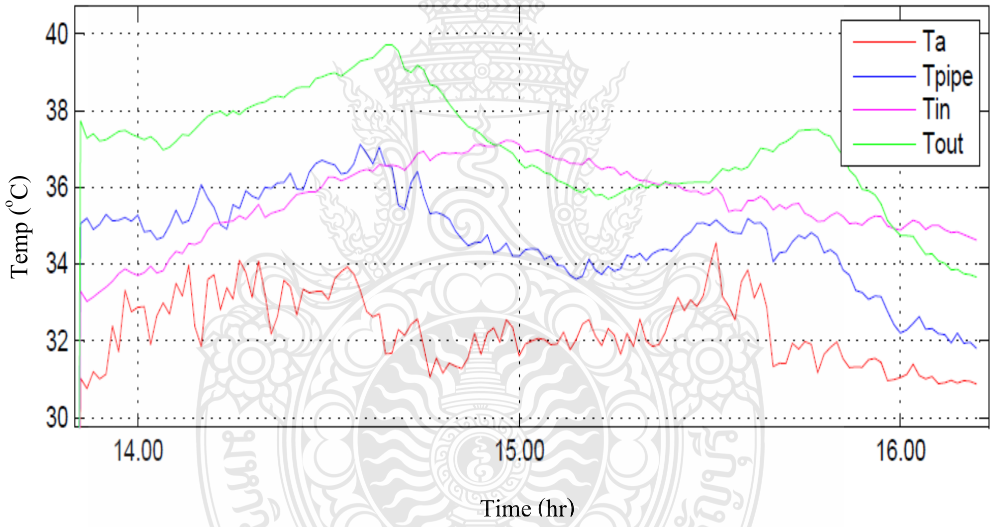


(ข)

รูปที่ ก 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2555

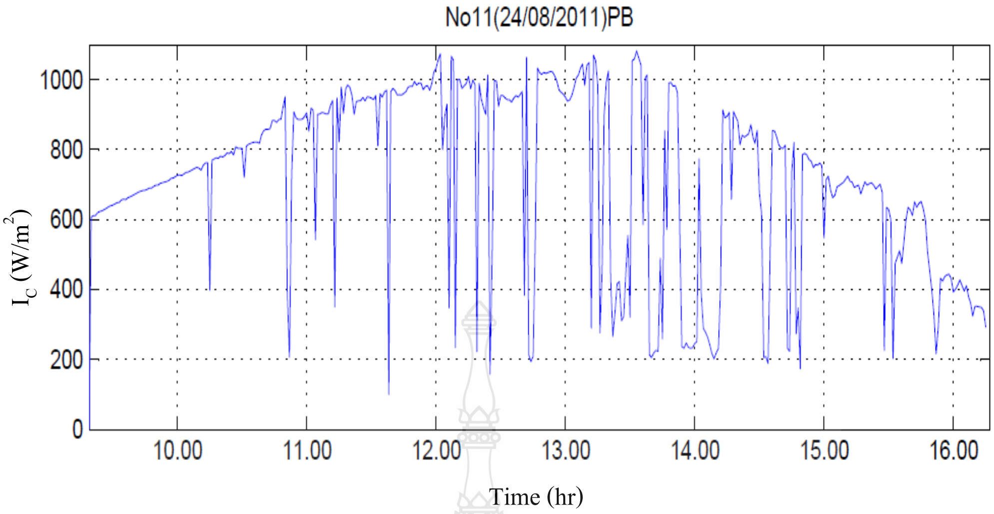


(ก)

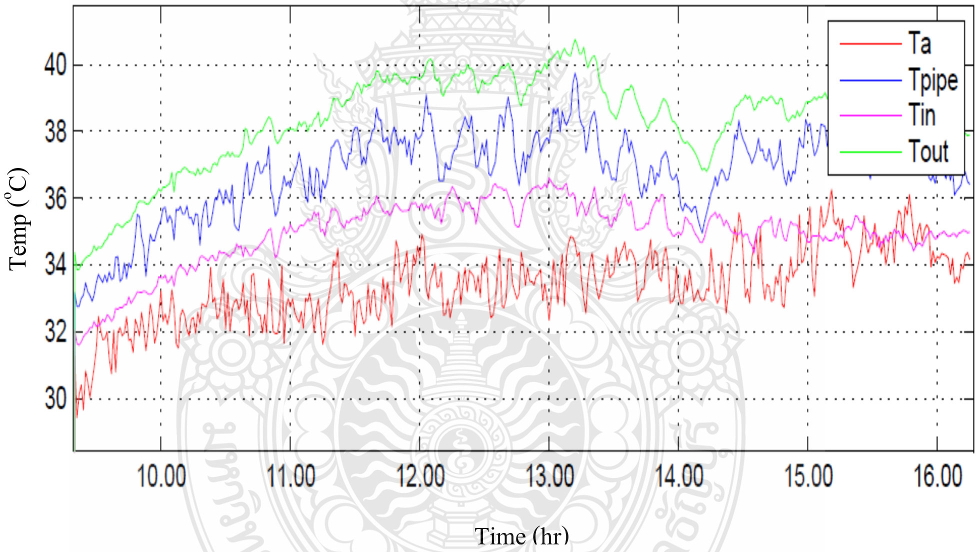


(ข)

รูปที่ ก 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PB (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 17 สิงหาคม 2554

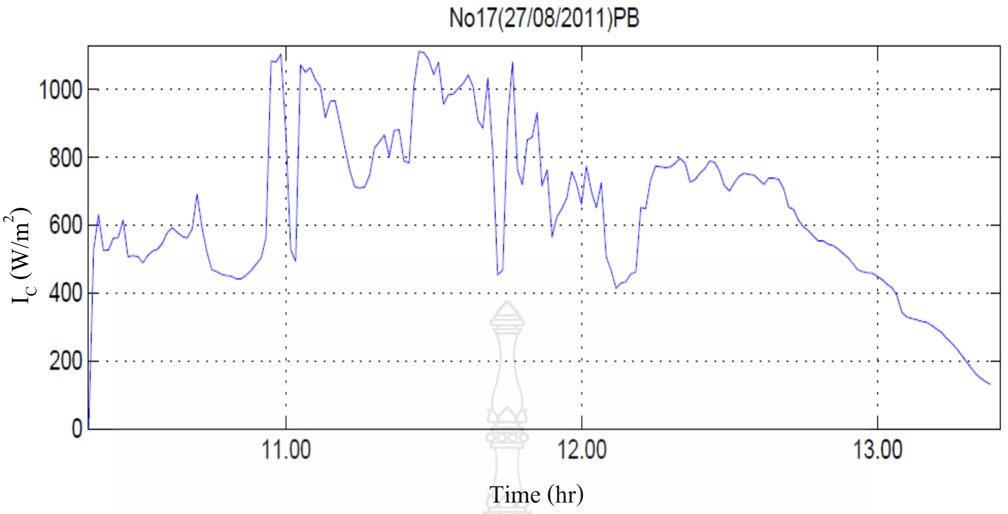


(ก)

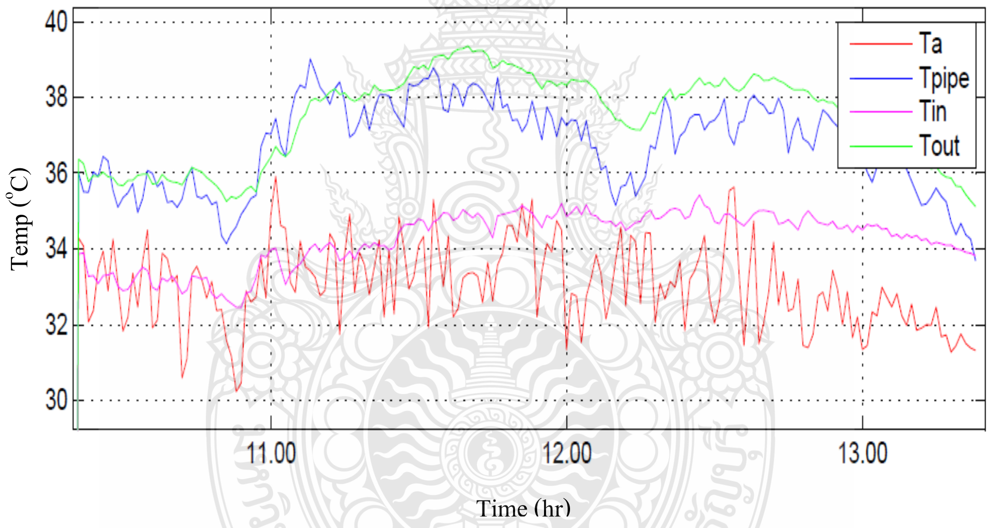


(ข)

รูปที่ ก 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PB (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 24 สิงหาคม 2554

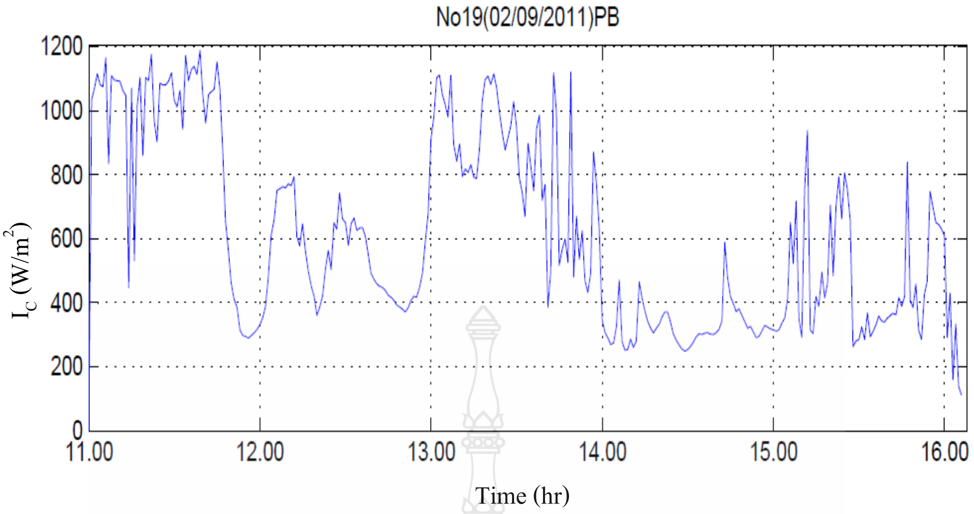


(ก)

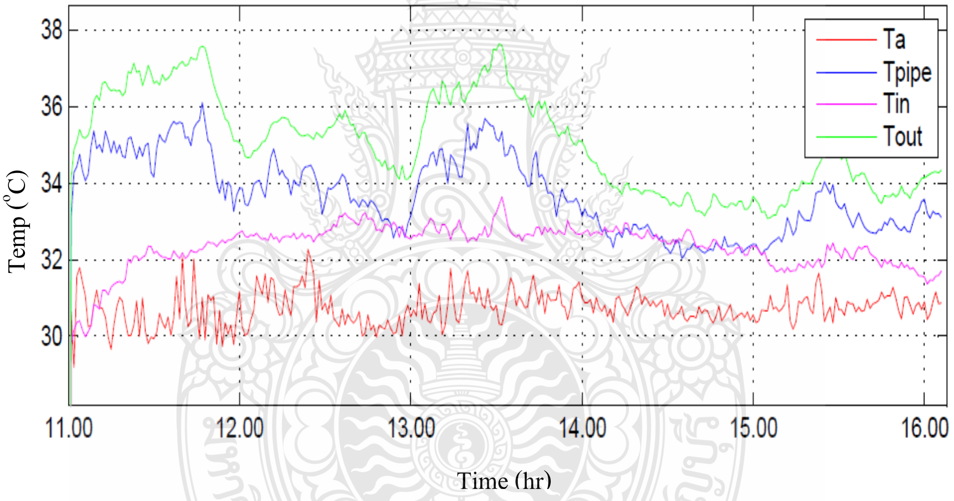


(ข)

รูปที่ ก 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PB (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 27 สิงหาคม 2554

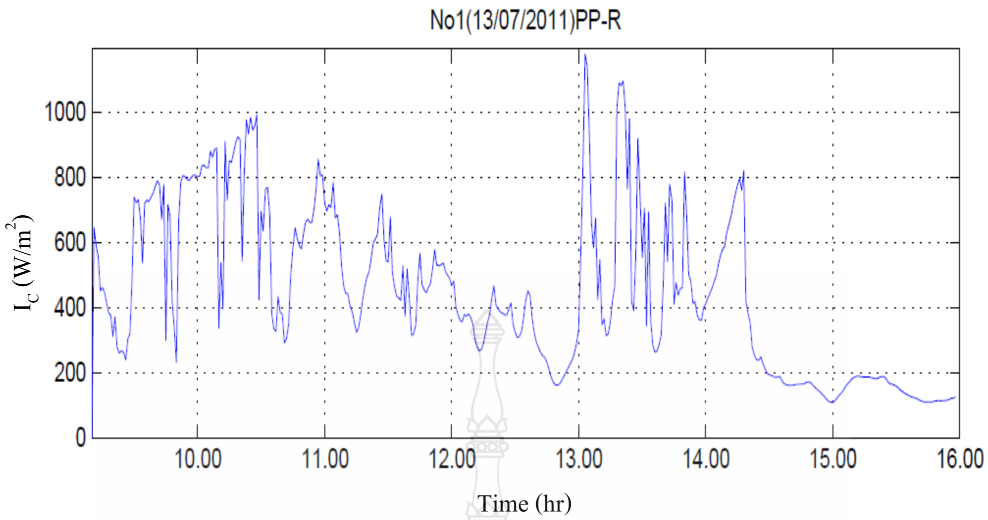


(ก)

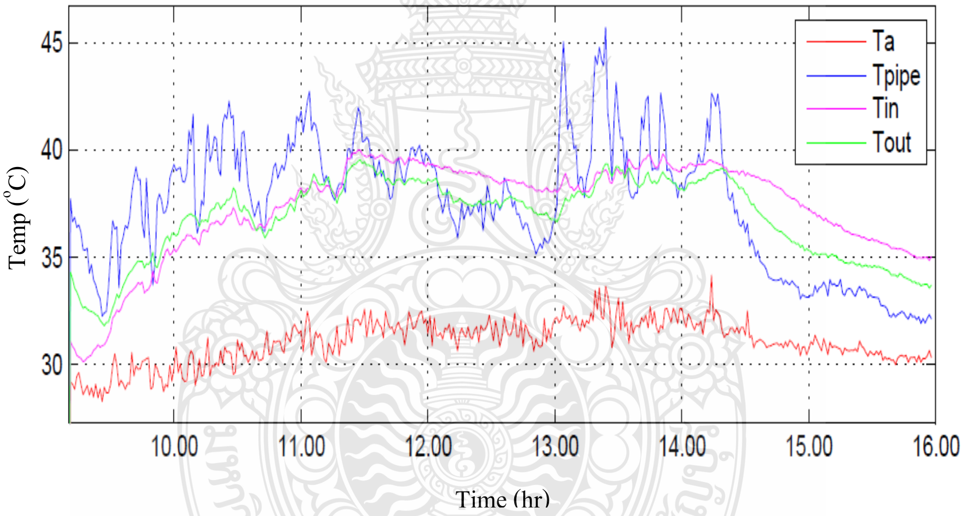


(ข)

รูปที่ ก 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PB (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 2 กันยายน 2554

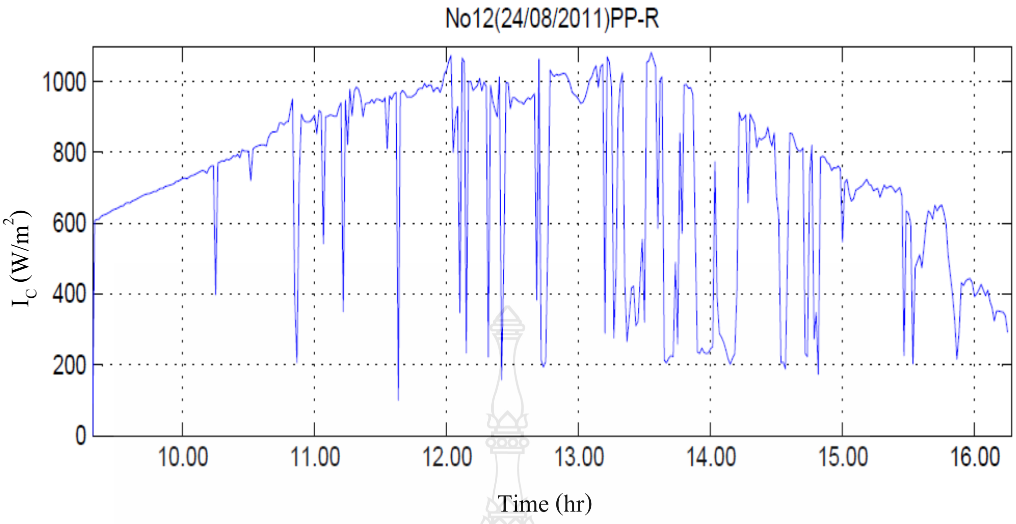


(ก)

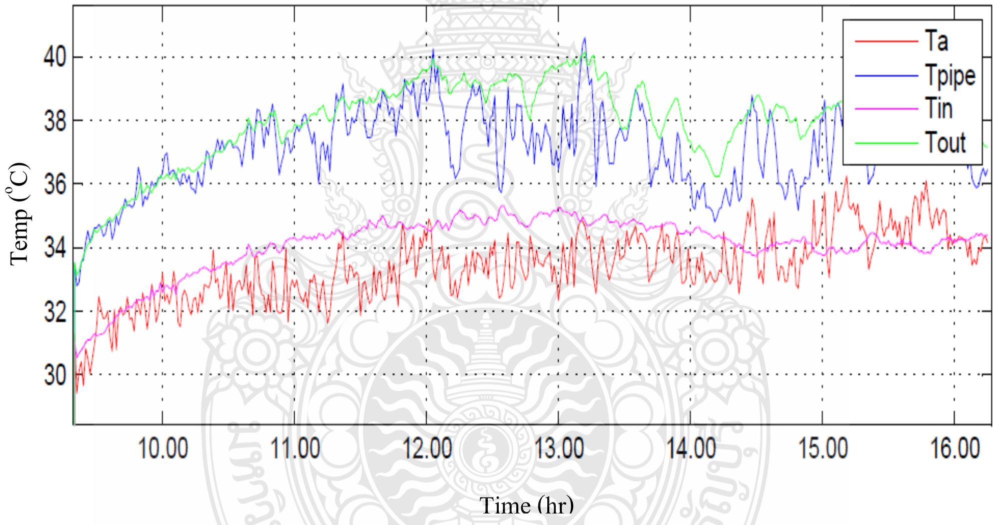


(ข)

รูปที่ ก 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PP-R (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 13 กรกฎาคม 2554

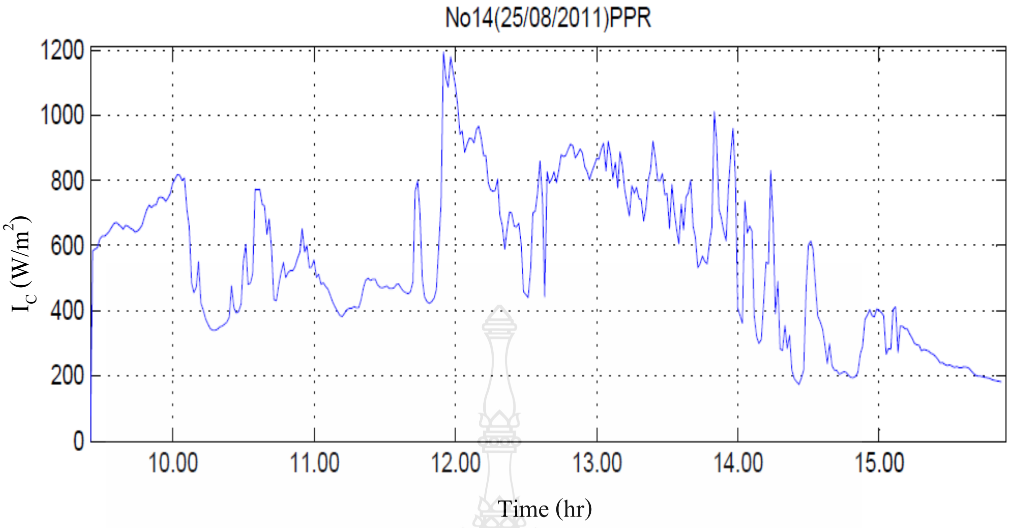


(ก)

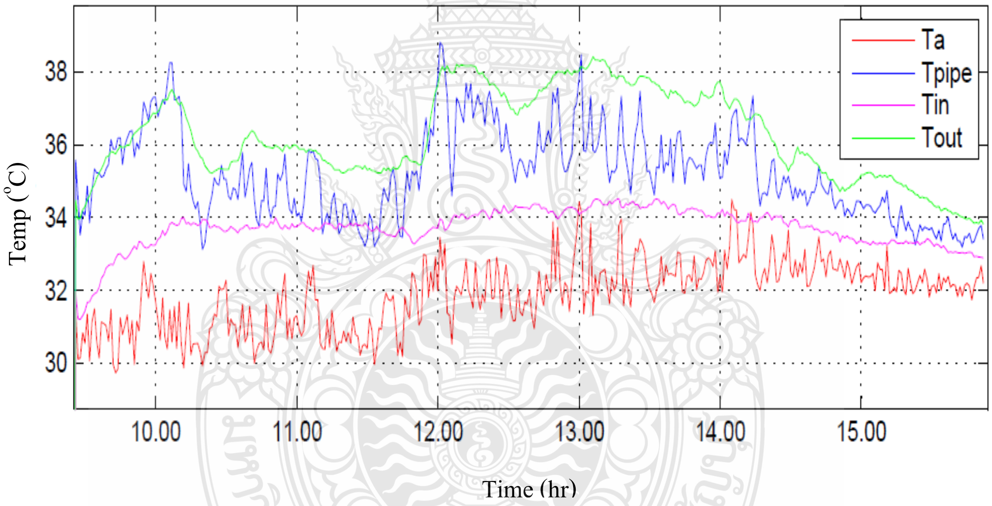


(ข)

รูปที่ ก 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PP-R (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 24 สิงหาคม 2554

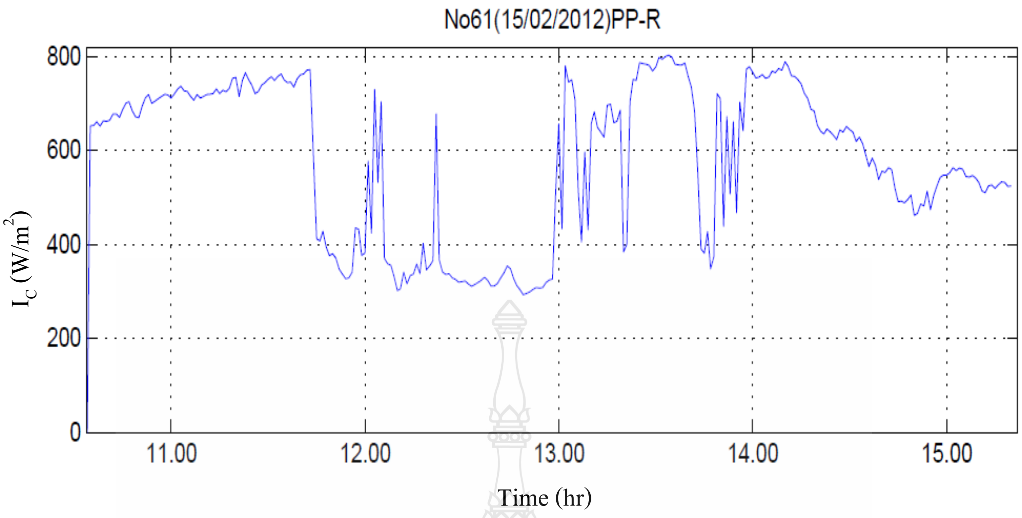


(ก)

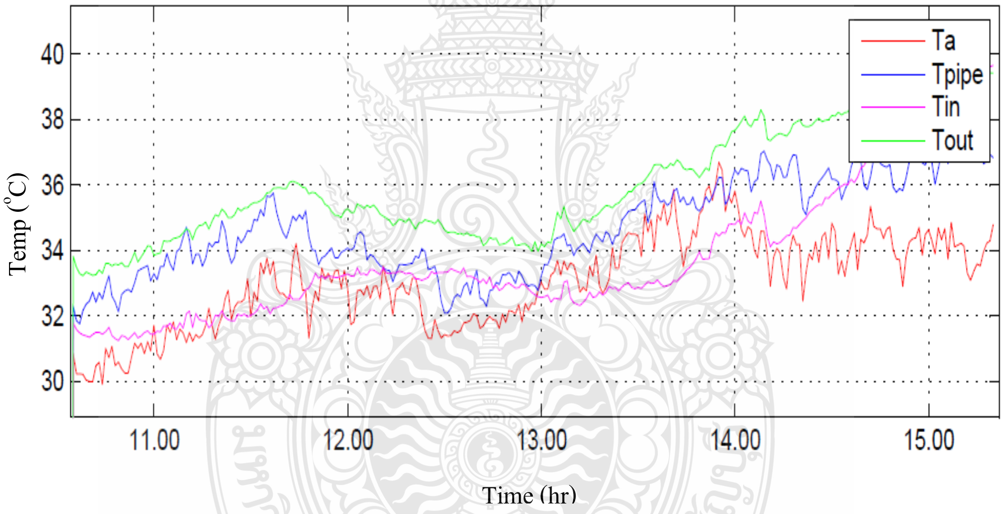


(ข)

รูปที่ ก 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PP-R (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 25 สิงหาคม 2554

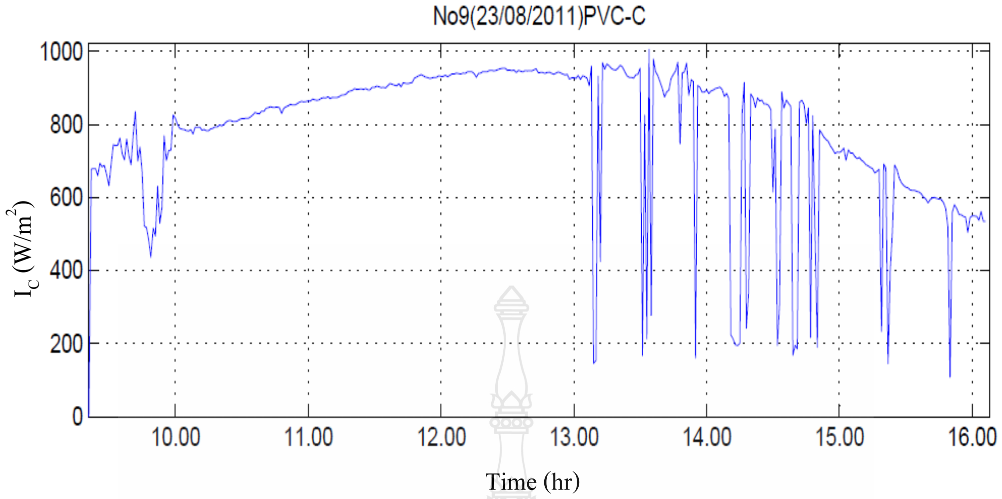


(ก)

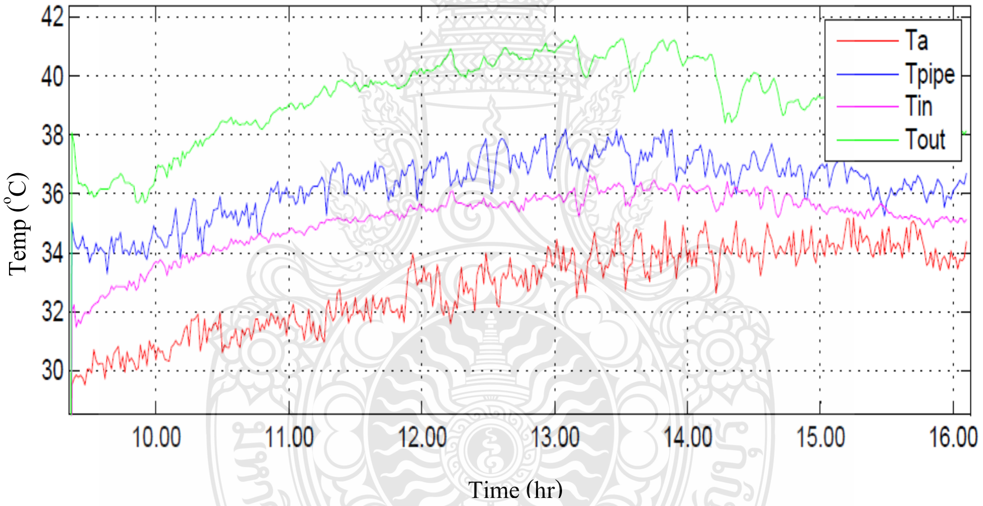


(ข)

รูปที่ ก 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PP-R (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2555

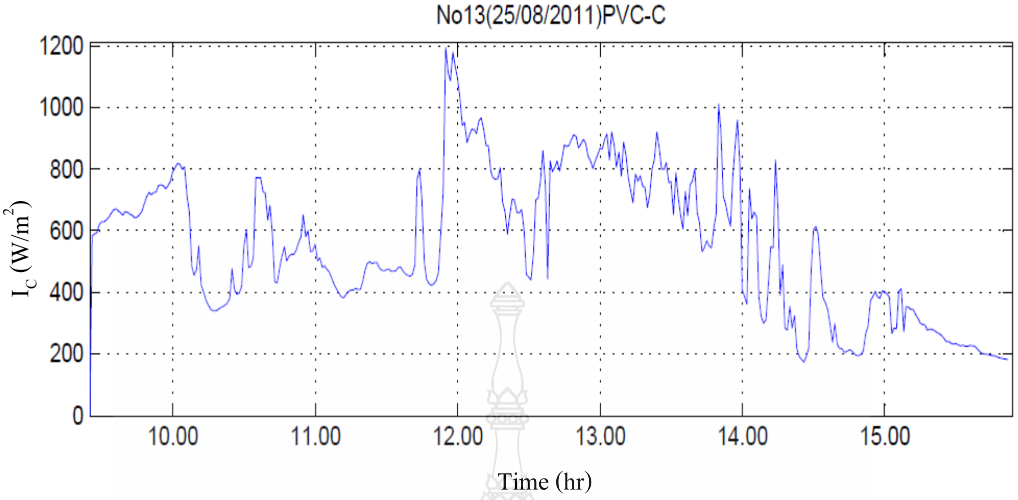


(ก)

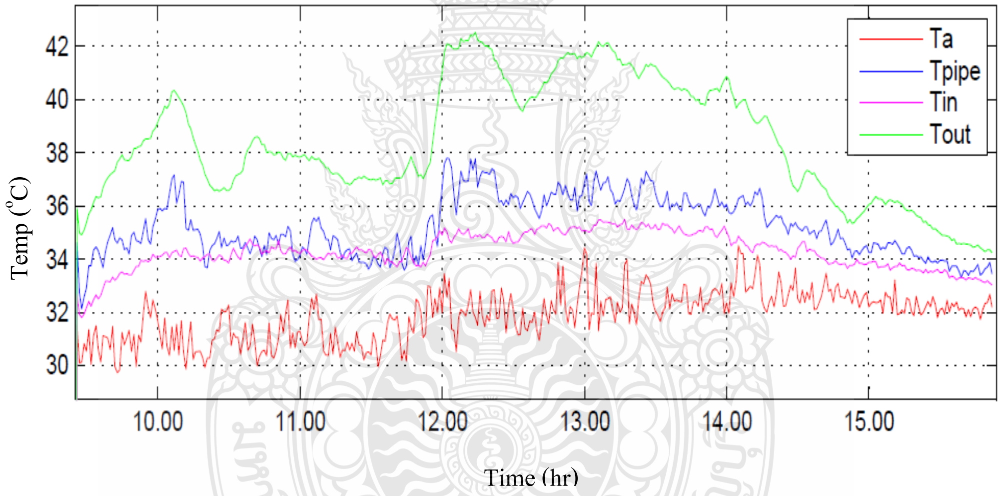


(ข)

รูปที่ ก 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 23 สิงหาคม 2554

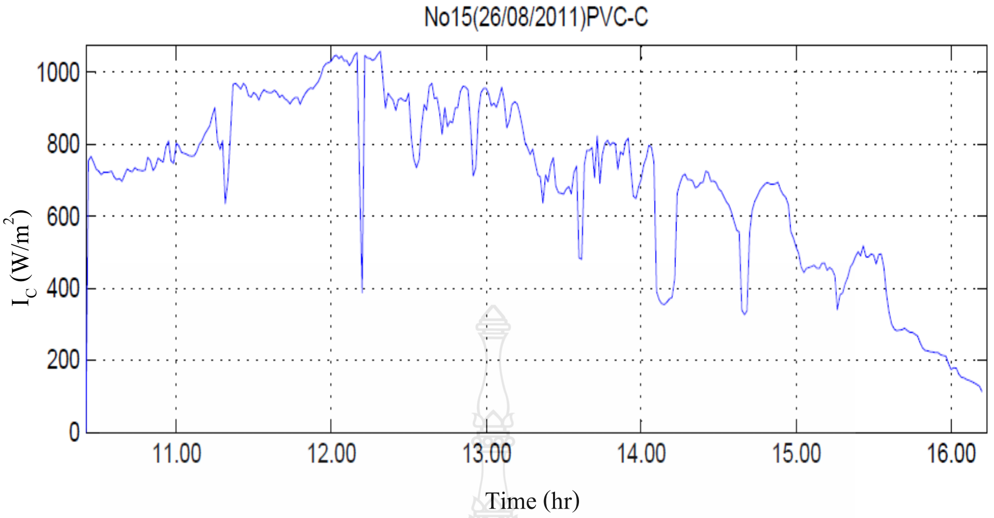


(ก)

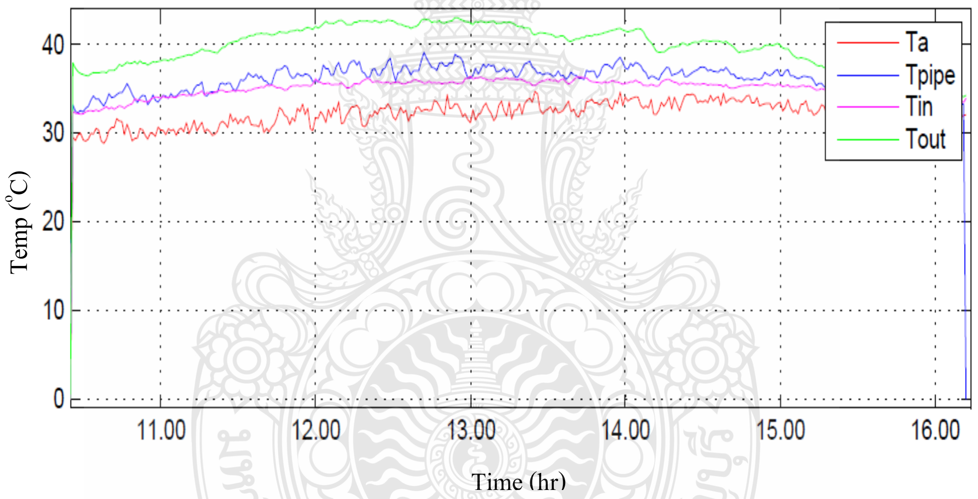


(ข)

รูปที่ ก 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 25 สิงหาคม 2554

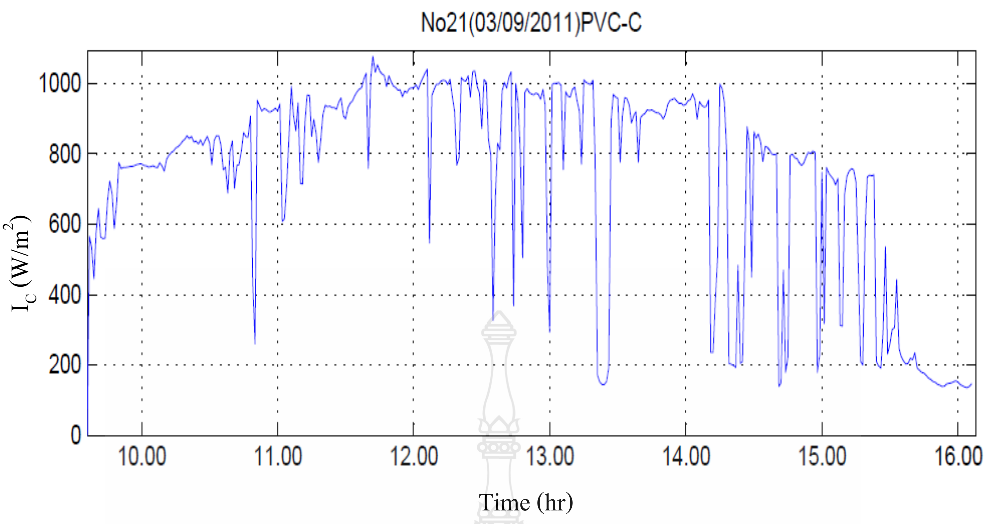


(ก)

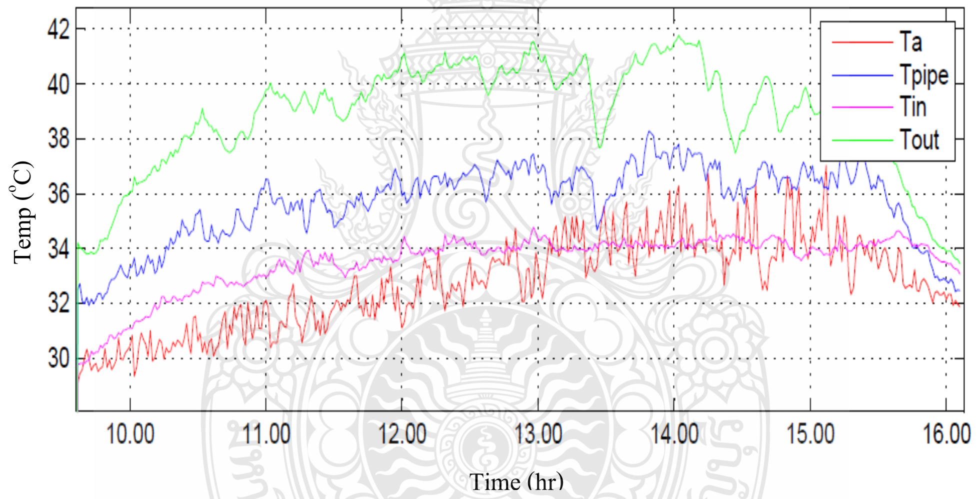


(ข)

รูปที่ ก 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 26 สิงหาคม 2554

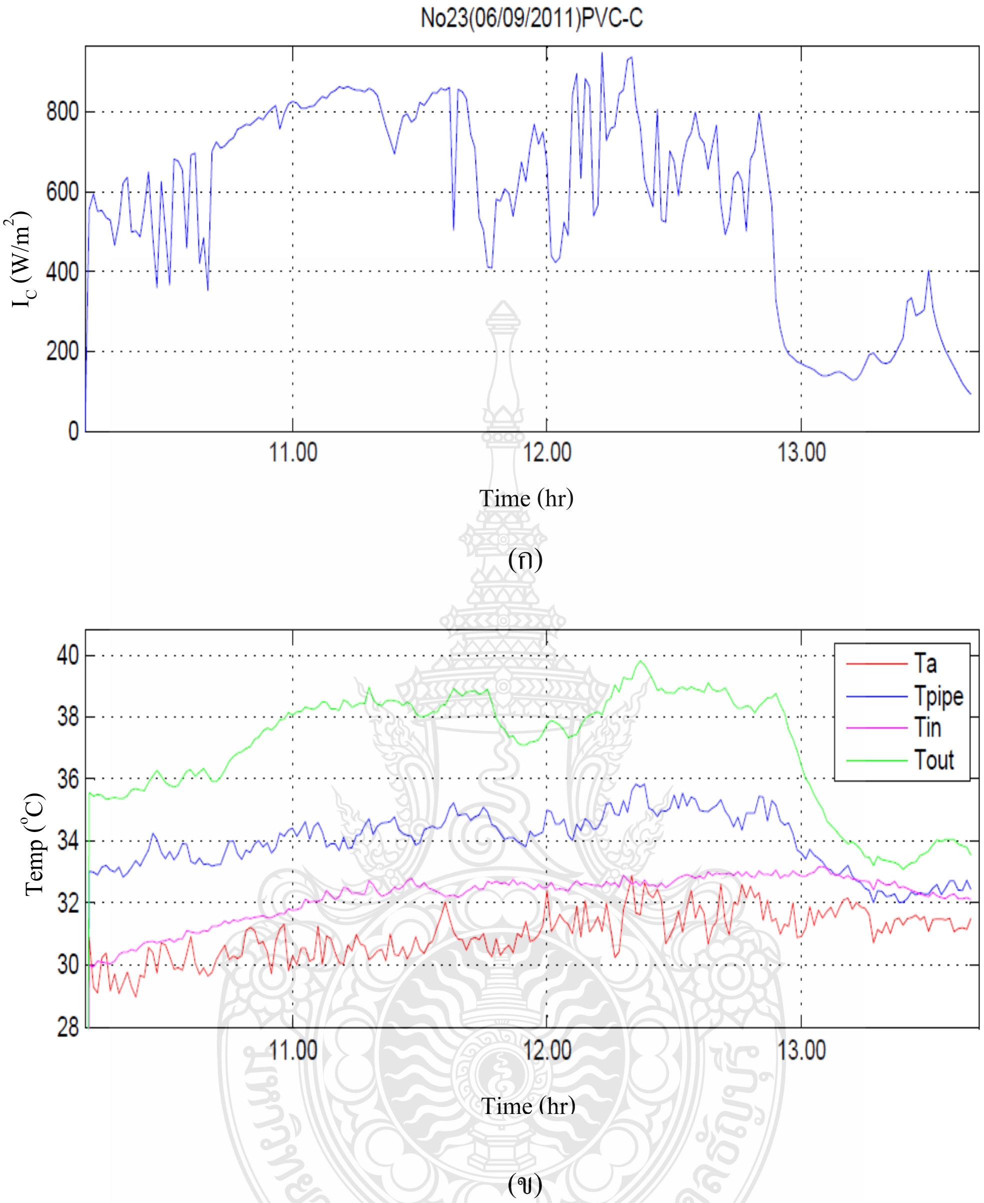


(ก)

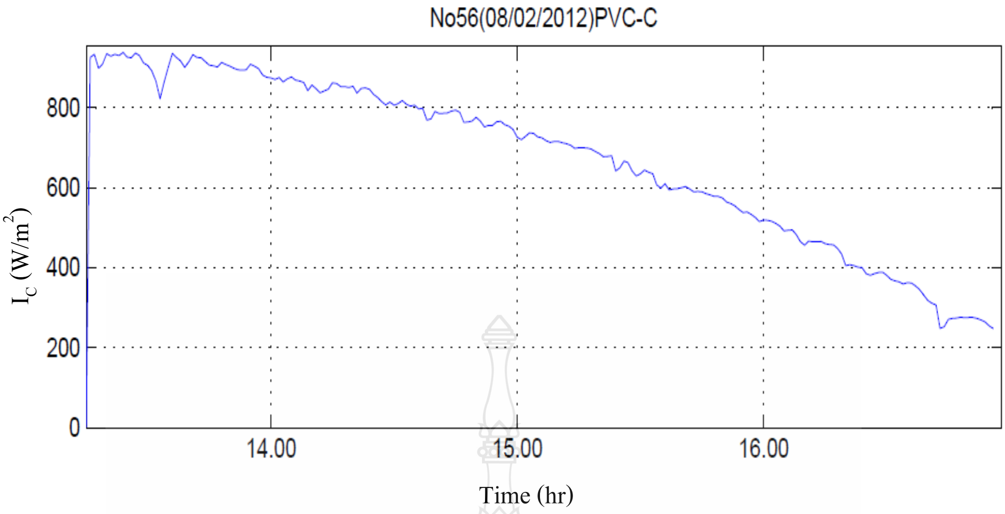


(ข)

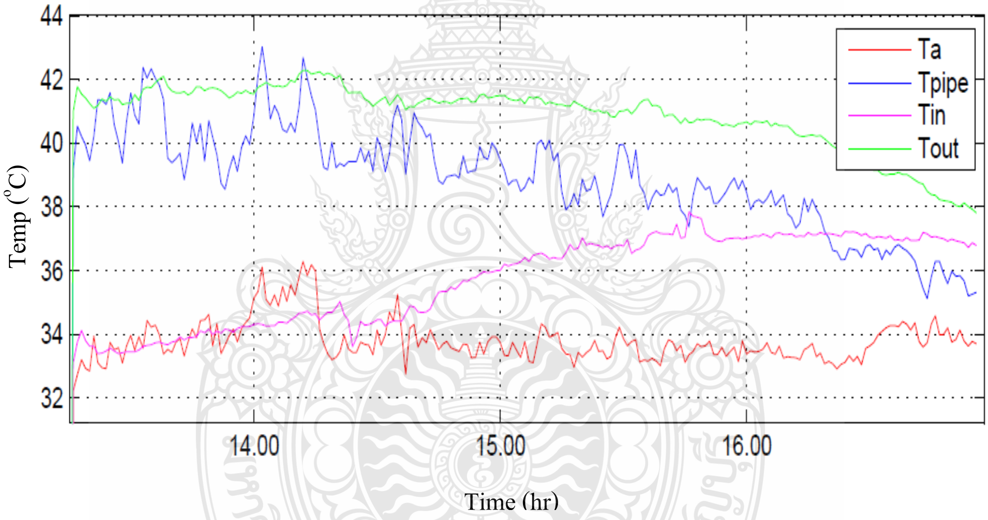
รูปที่ ก 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 3 กันยายน 2554



รูปที่ ก 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 6 กันยายน 2554

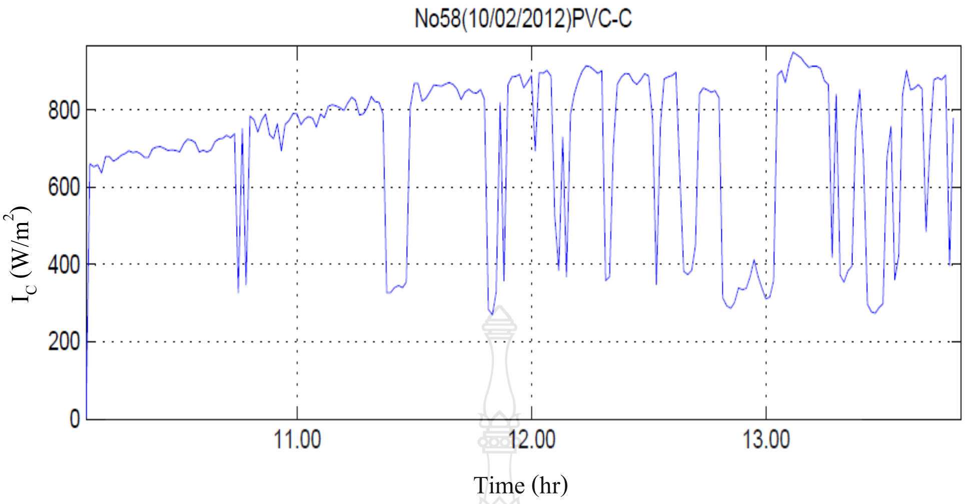


(ก)

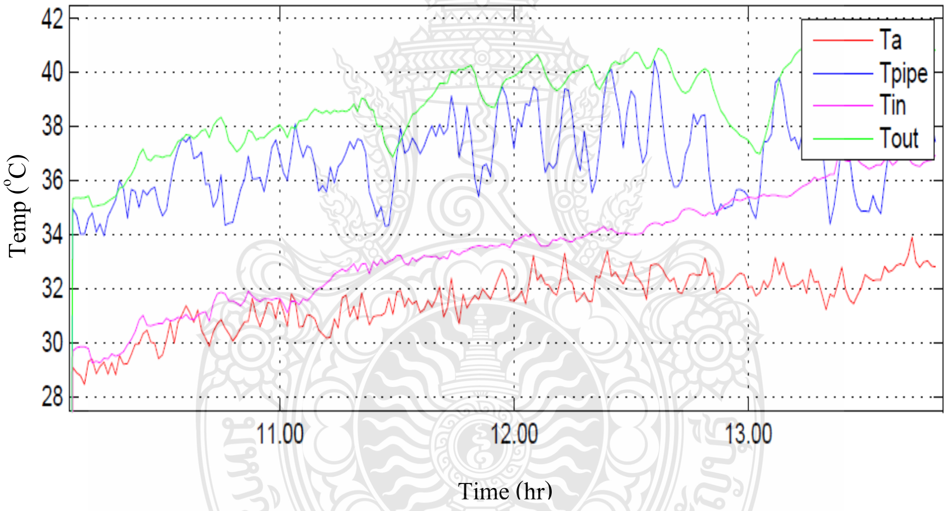


(ข)

รูปที่ ก 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2555

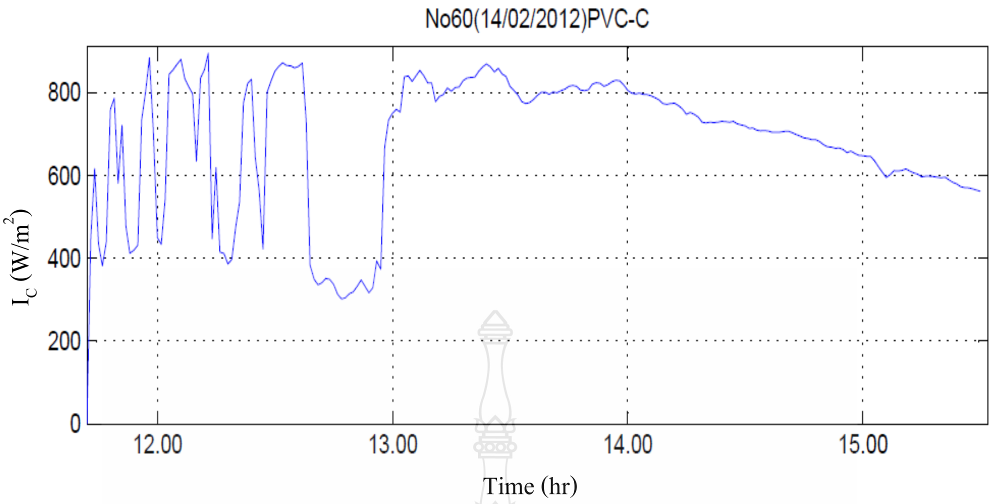


(ก)

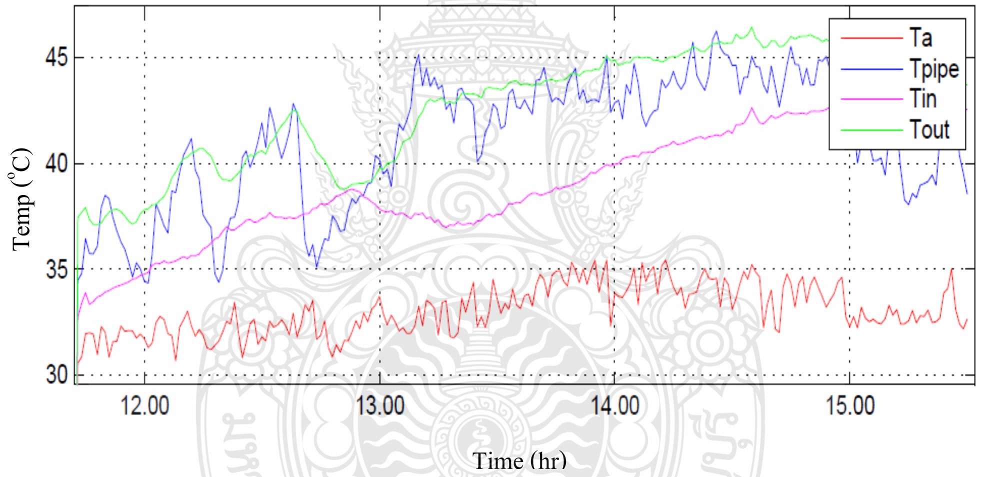


(ข)

รูปที่ ก 24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2555

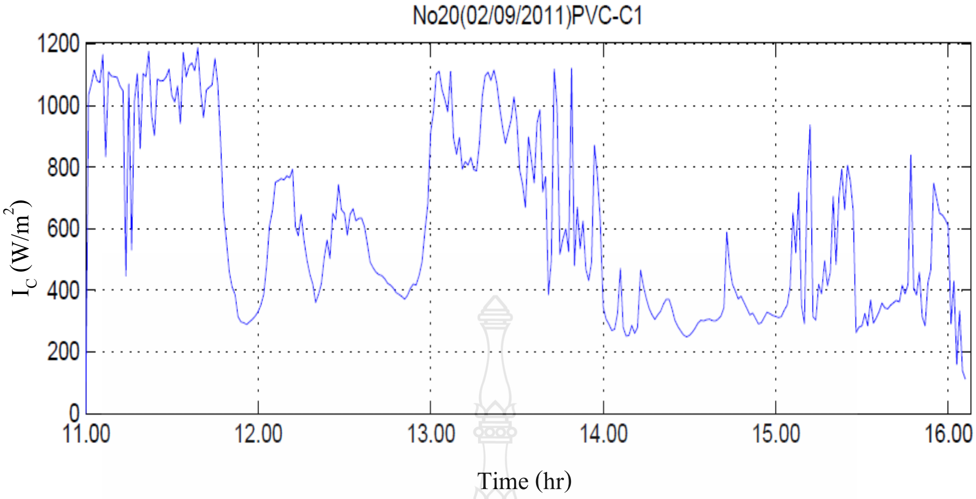


(ก)

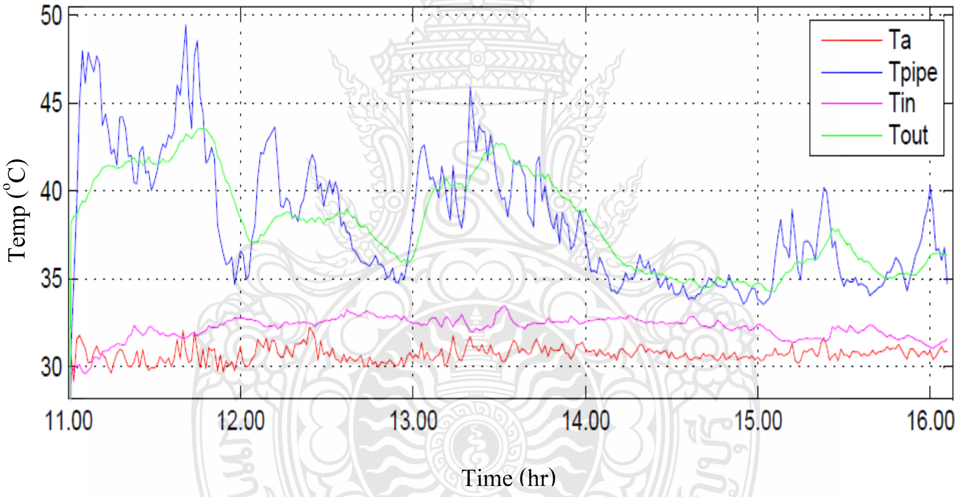


(ข)

รูปที่ ก 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2555

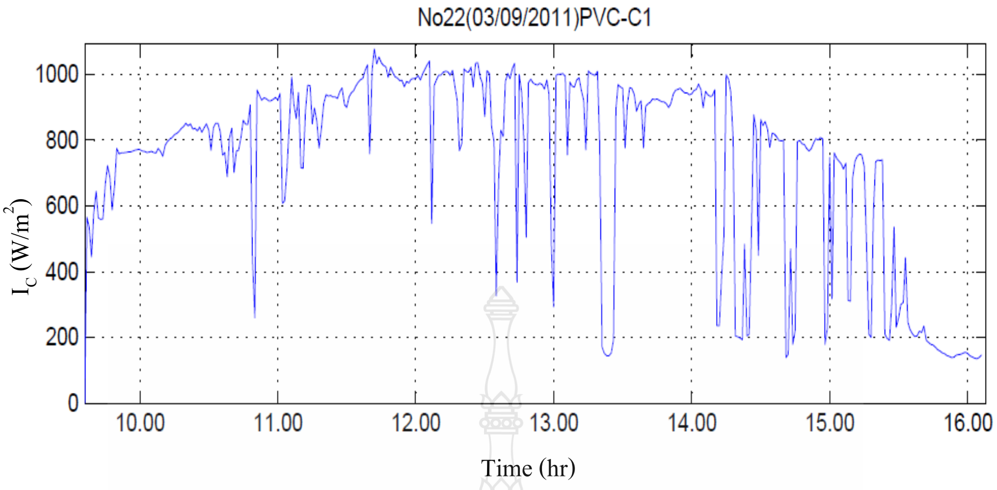


(ก)

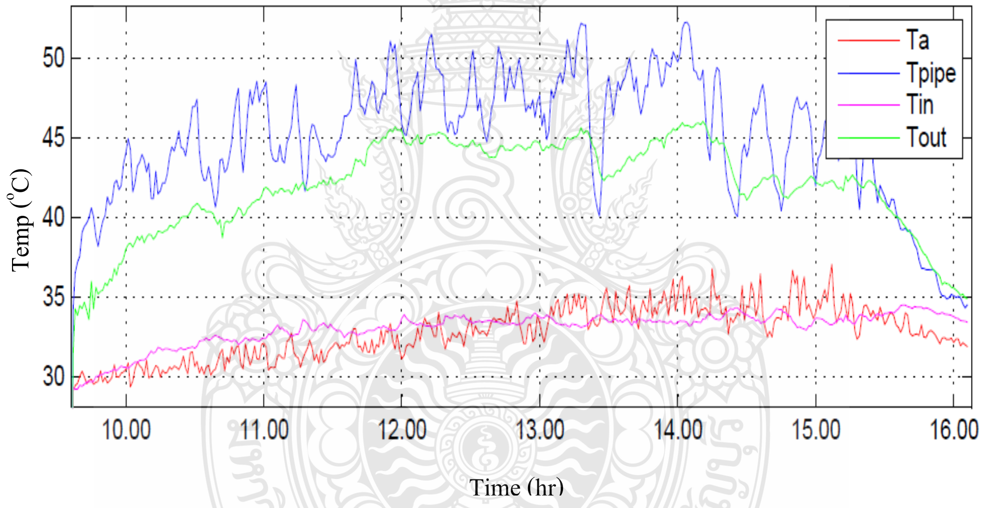


(ข)

รูปที่ ก 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 2 กันยายน 2554

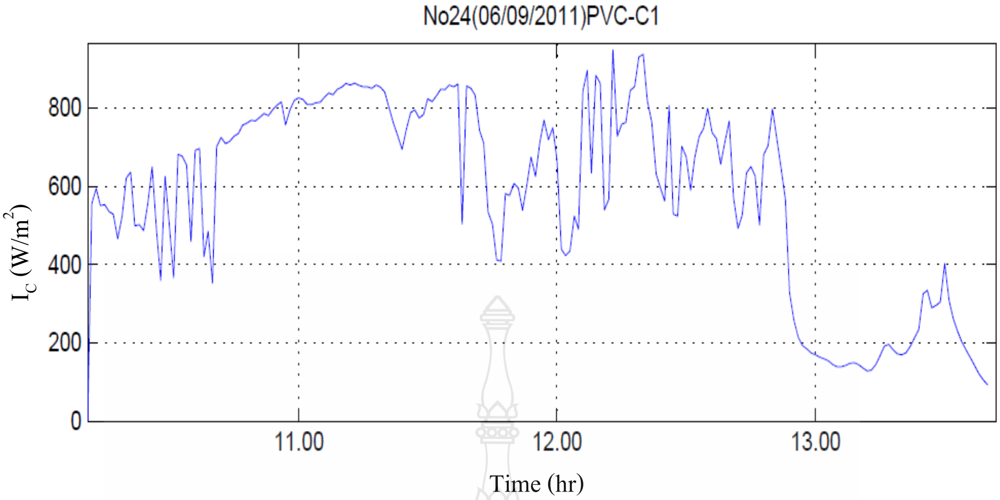


(ก)

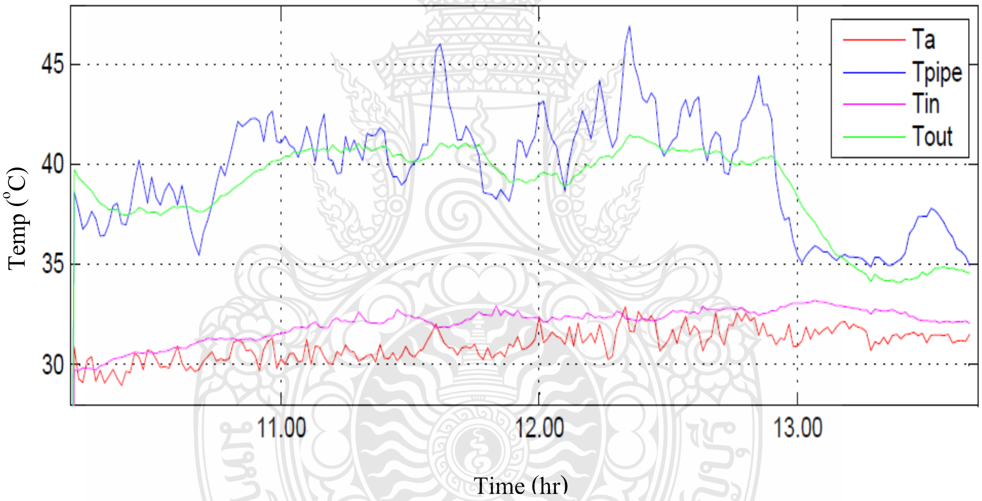


(ข)

รูปที่ ก 27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 3 กันยายน 2554

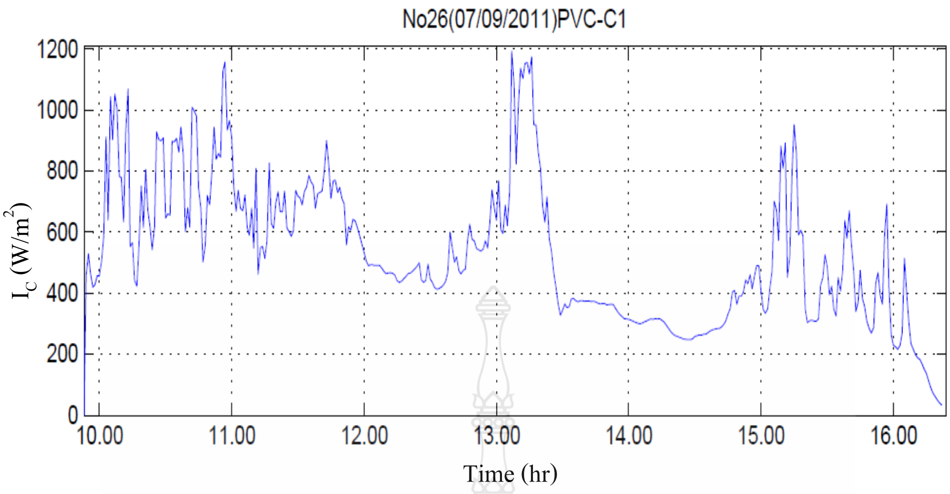


(ก)

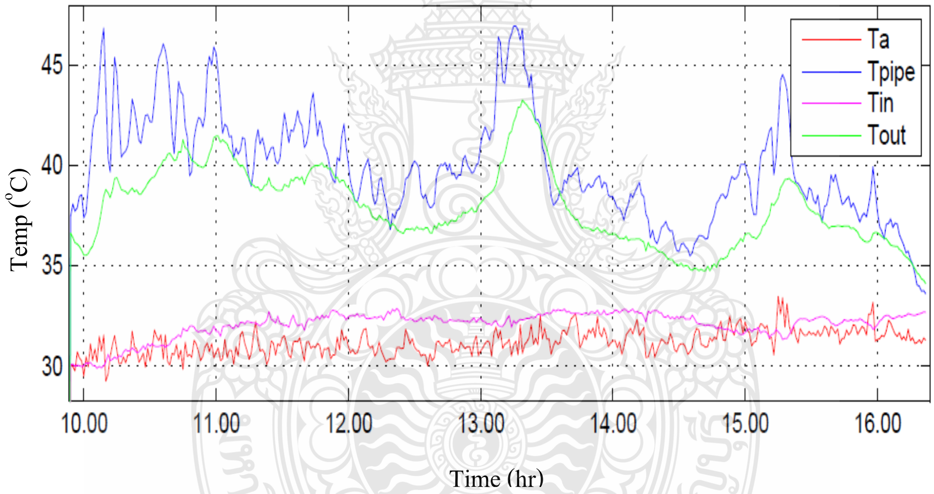


(ข)

รูปที่ ก 28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 6 กันยายน 2554

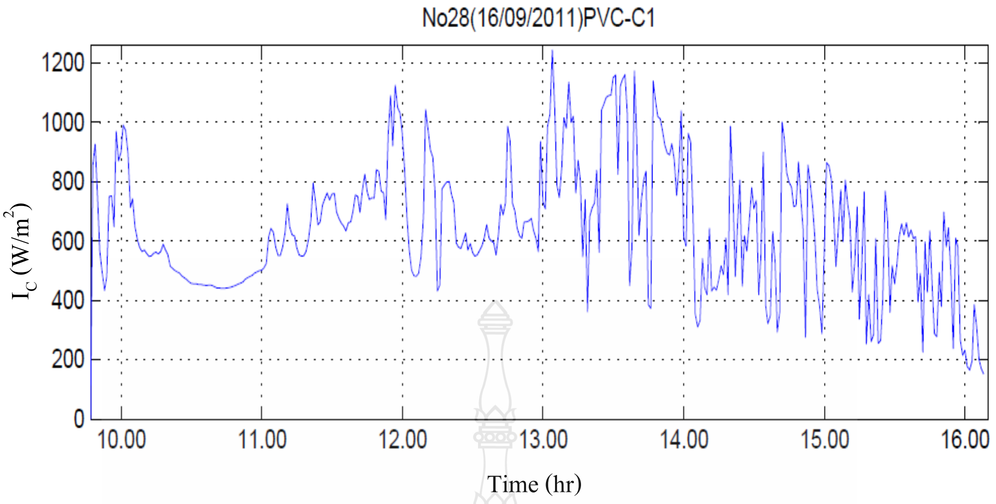


(ก)

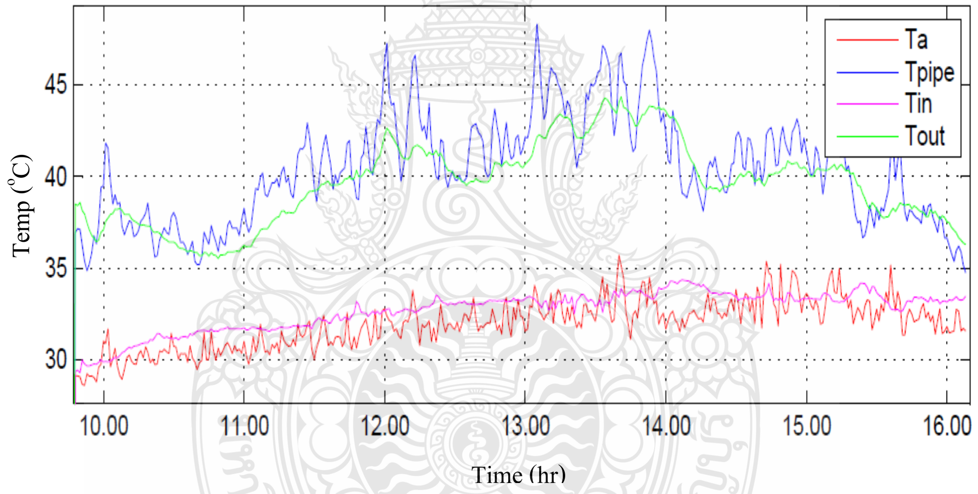


(ข)

รูปที่ ก 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 7 กันยายน 2554

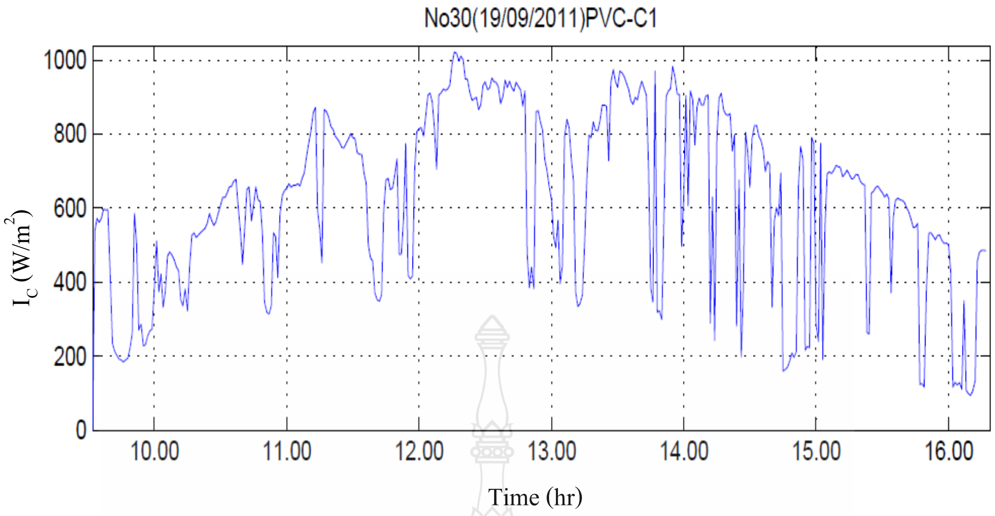


(ก)

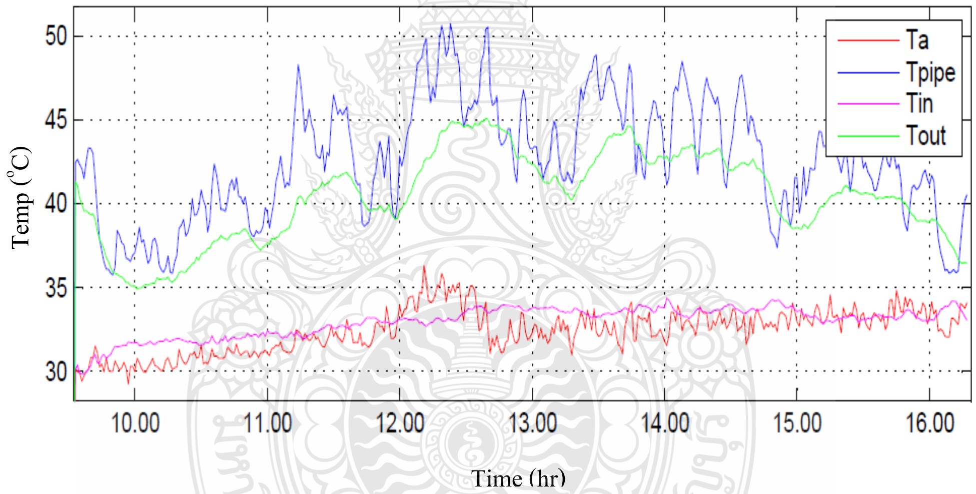


(ข)

รูปที่ ก 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 16 กันยายน 2554

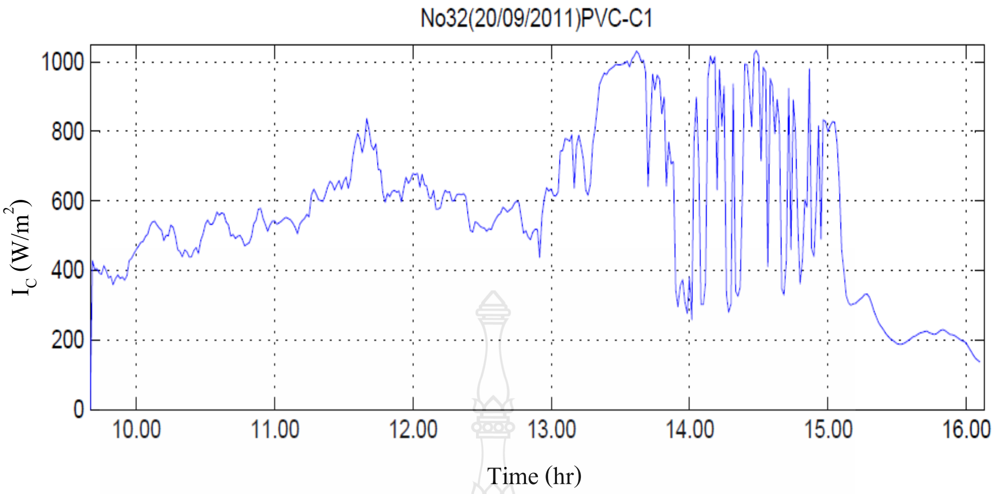


(ก)

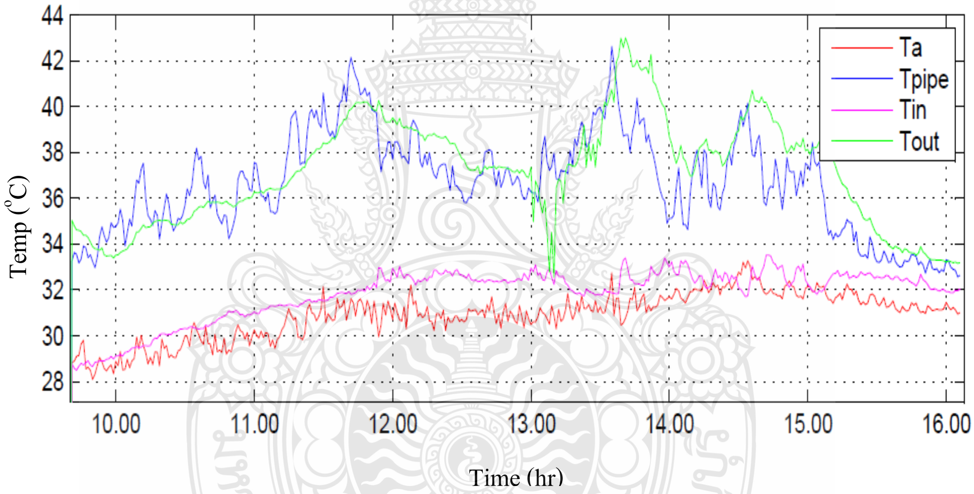


(ข)

รูปที่ ก 31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 19 กันยายน 2554

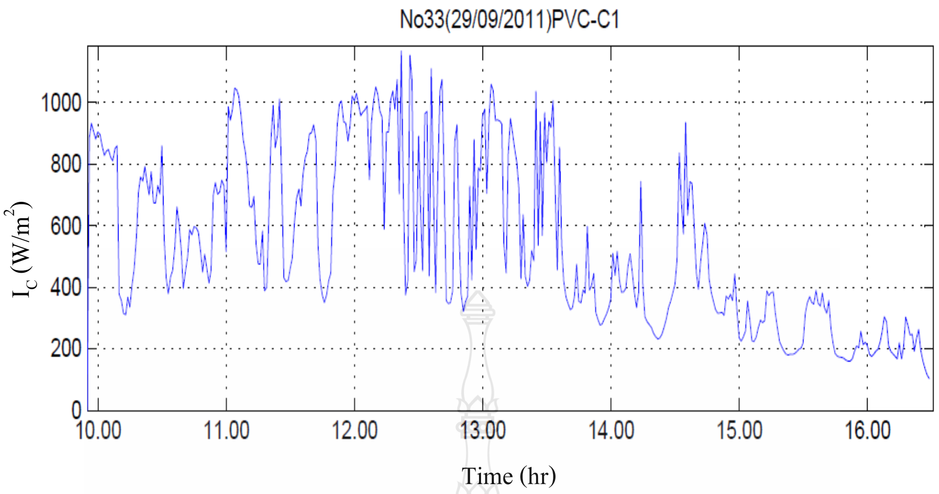


(ก)

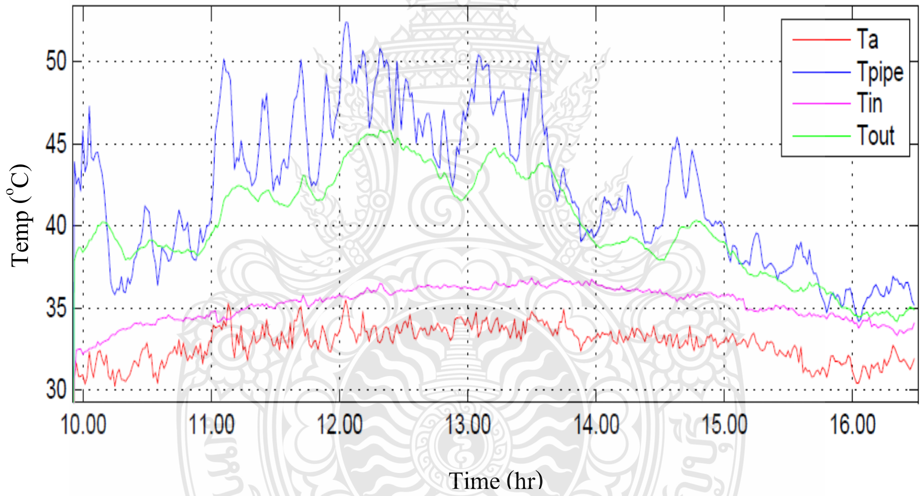


(ข)

รูปที่ ก 32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 20 กันยายน 2554

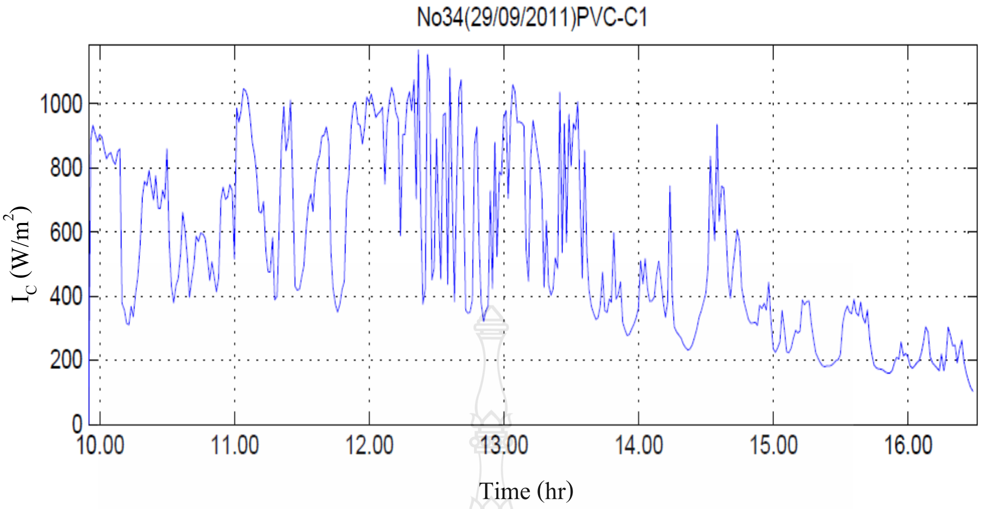


(ก)

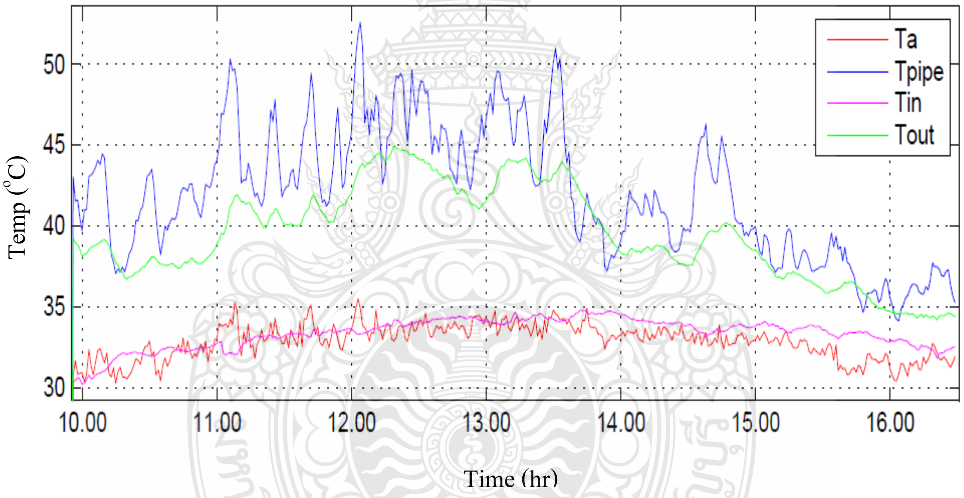


(ข)

รูปที่ ก 33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 29 กันยายน 2554

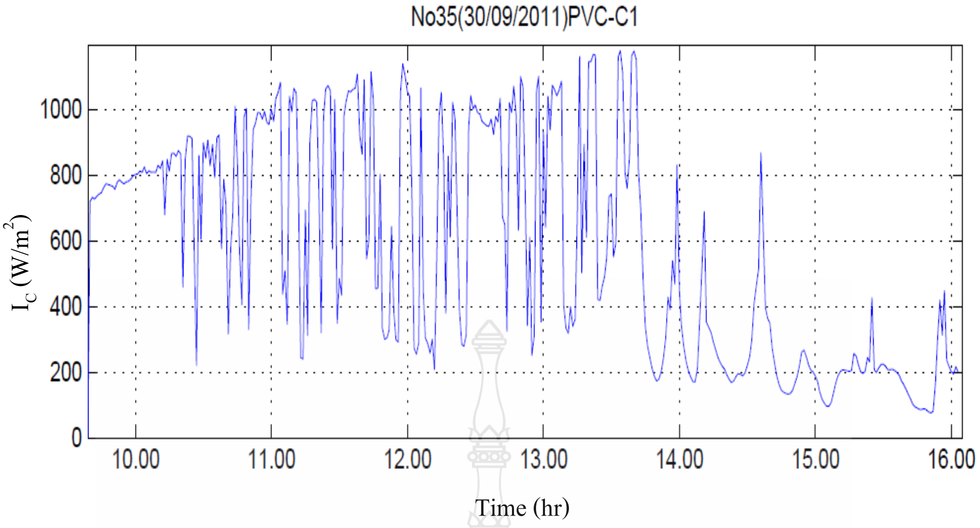


(ก)

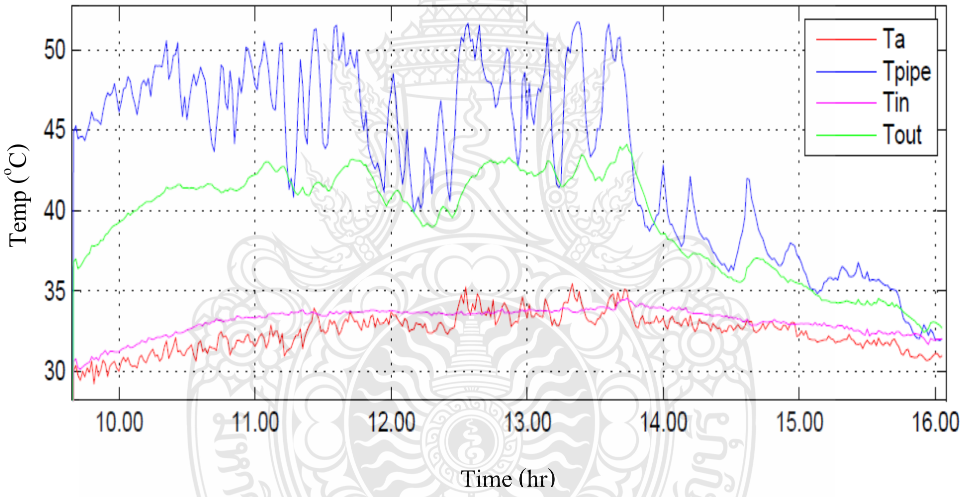


(ข)

รูปที่ ก 34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 29 กันยายน 2554

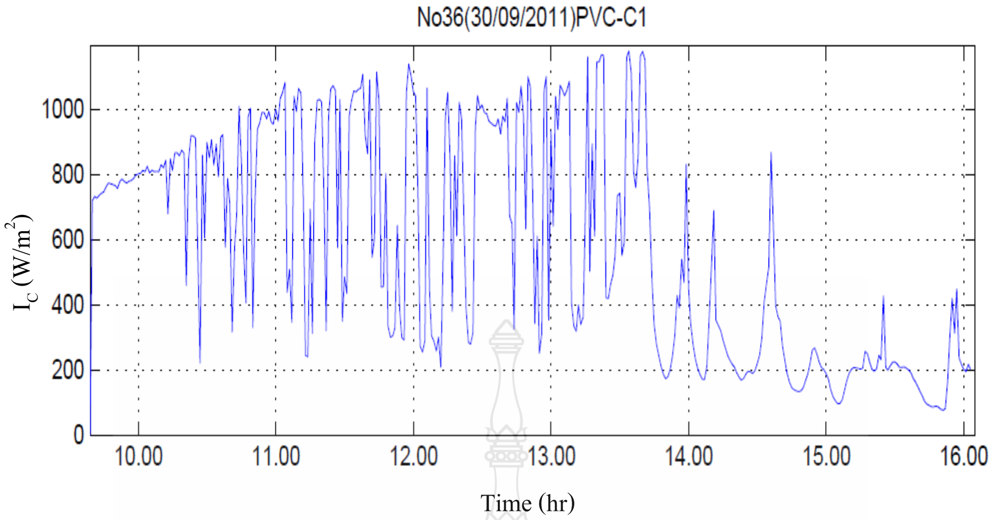


(ก)

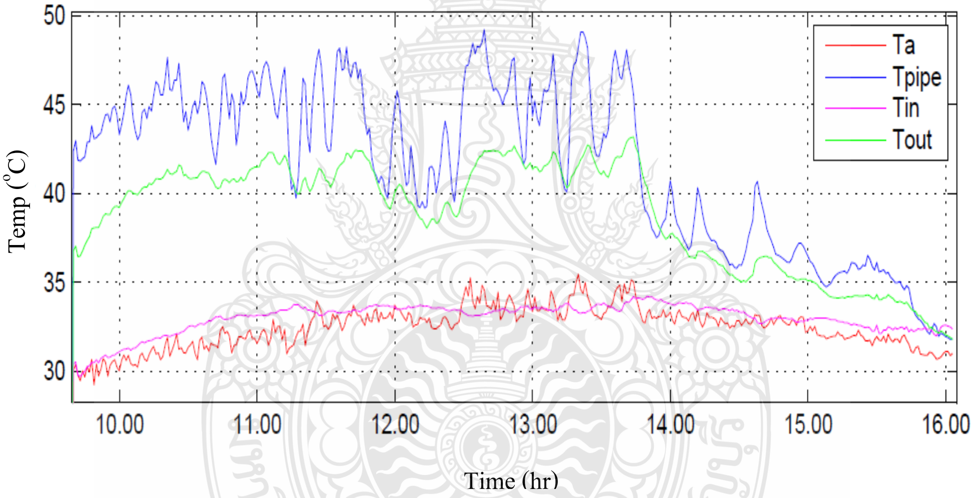


(ข)

รูปที่ ก 35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 30 กันยายน 2554

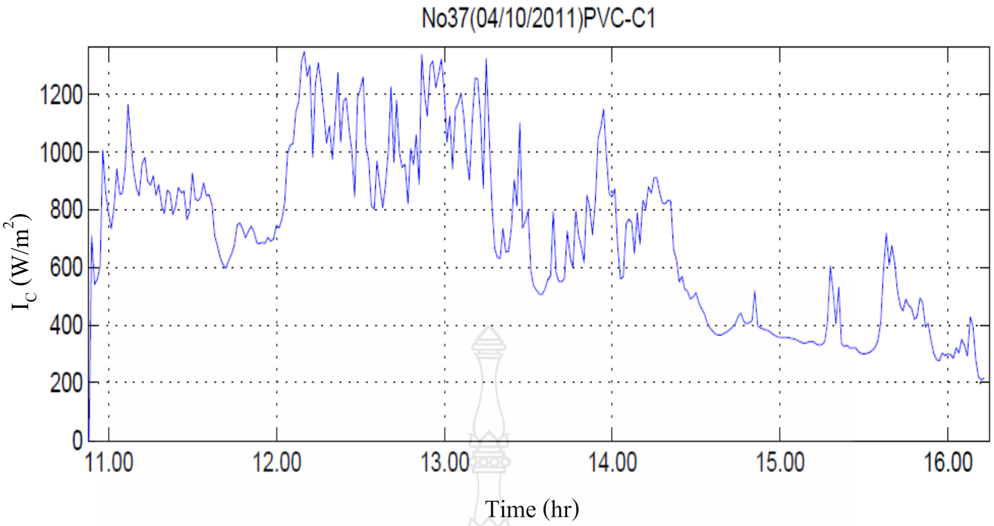


(ก)

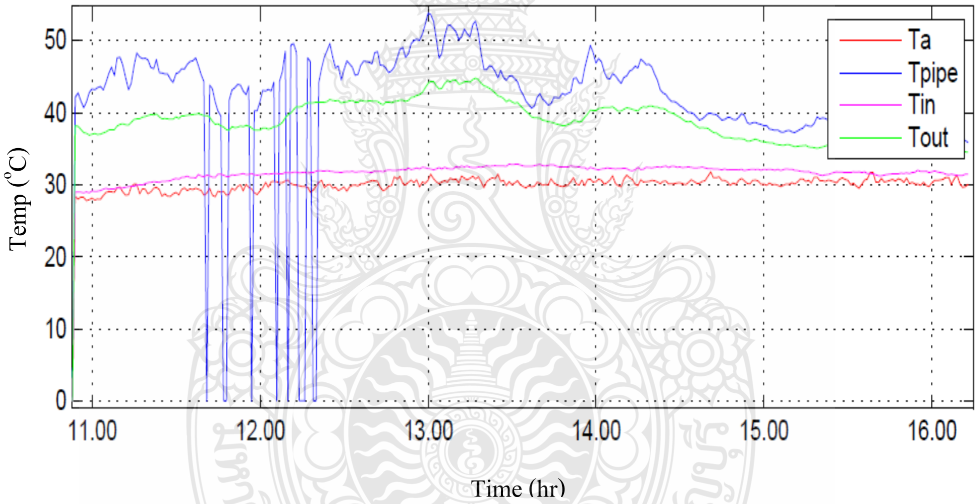


(ข)

รูปที่ ก 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 30 กันยายน 2554

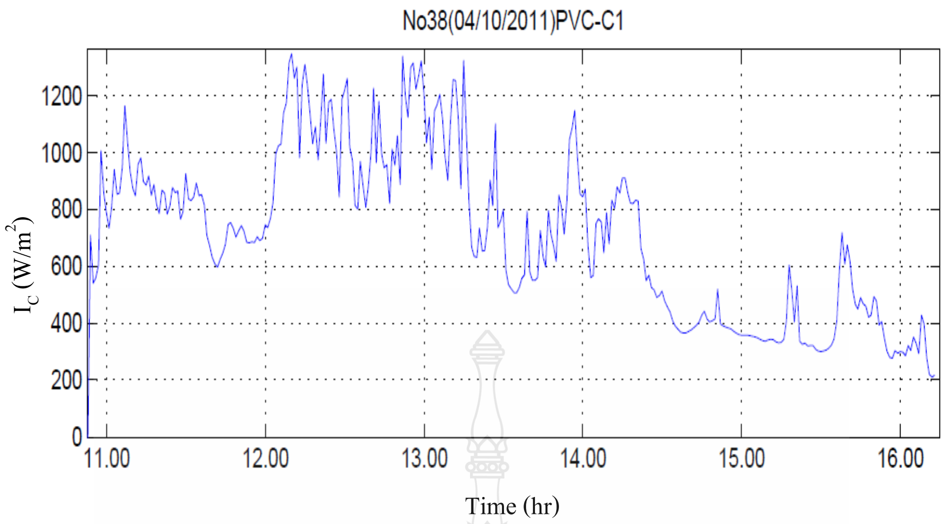


(ก)

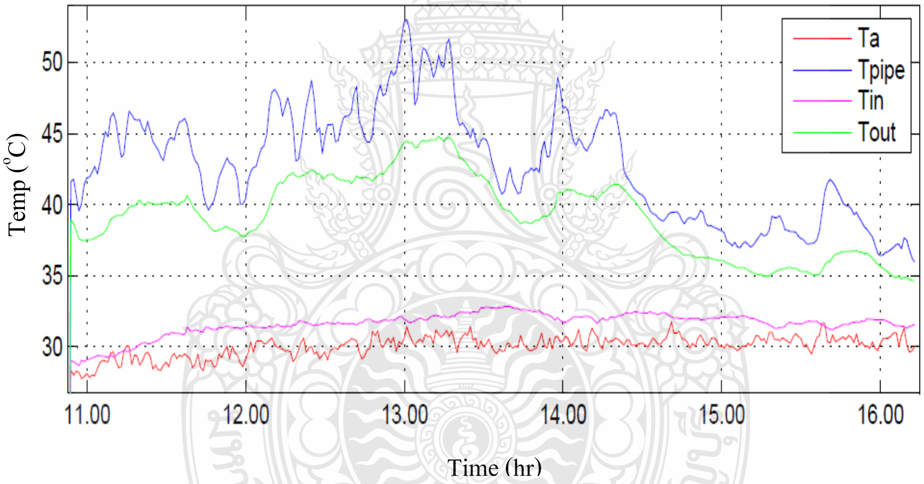


(ข)

รูปที่ ก 37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 4 ตุลาคม 2554

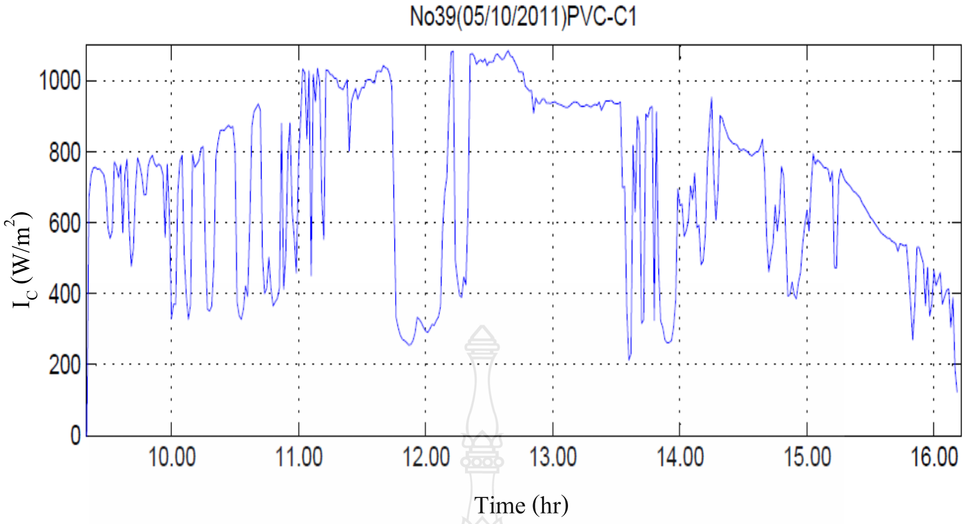


(ก)

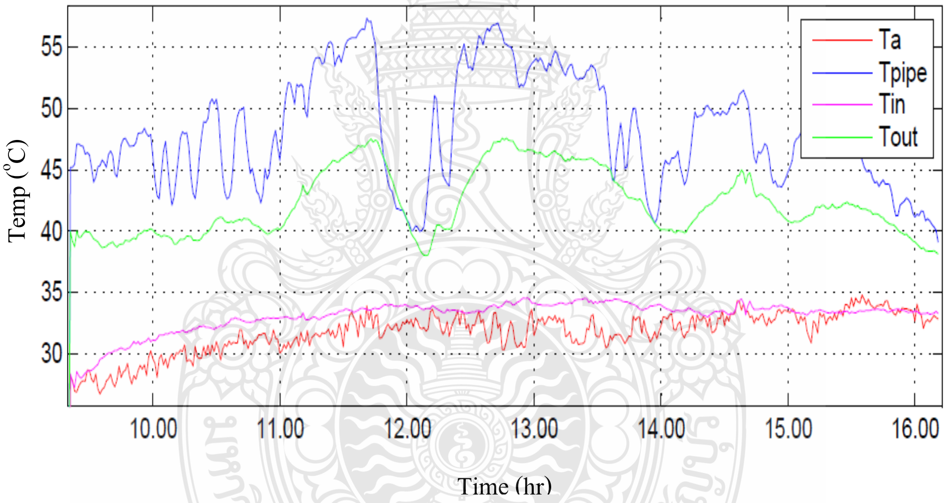


(ข)

รูปที่ ก 38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 4 ตุลาคม 2554

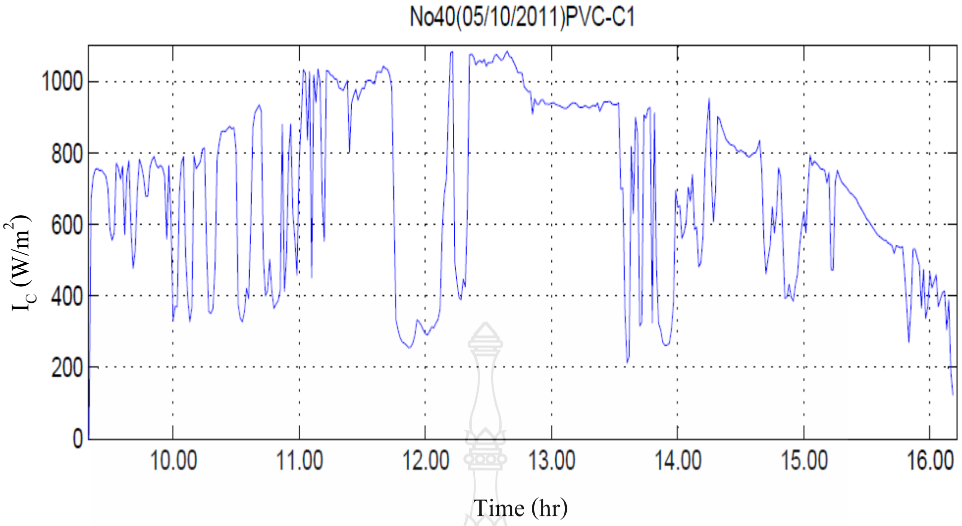


(ก)

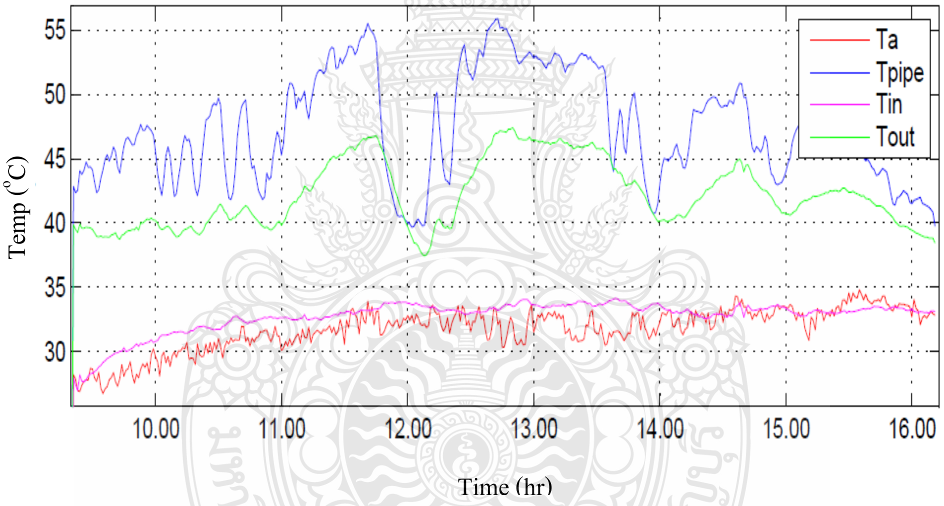


(ข)

รูปที่ ก 39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 5 ตุลาคม 2554

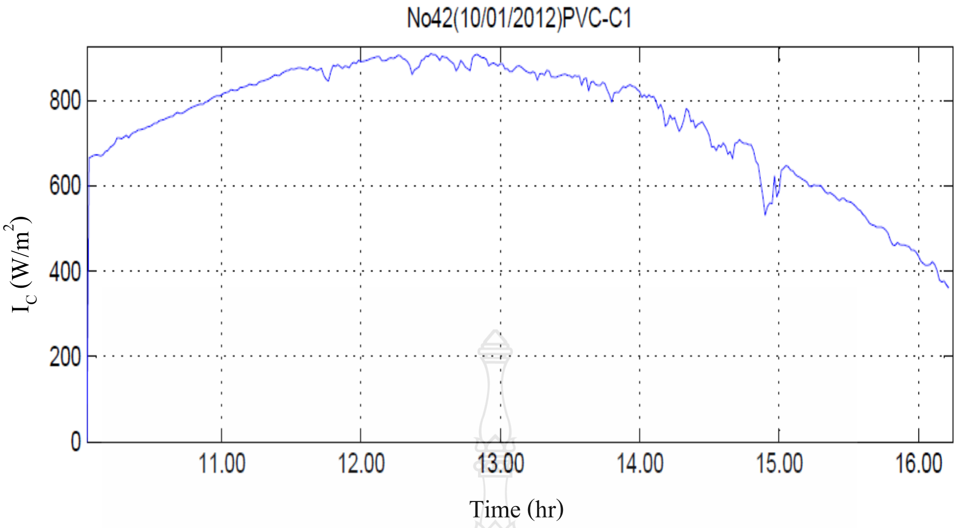


(ก)

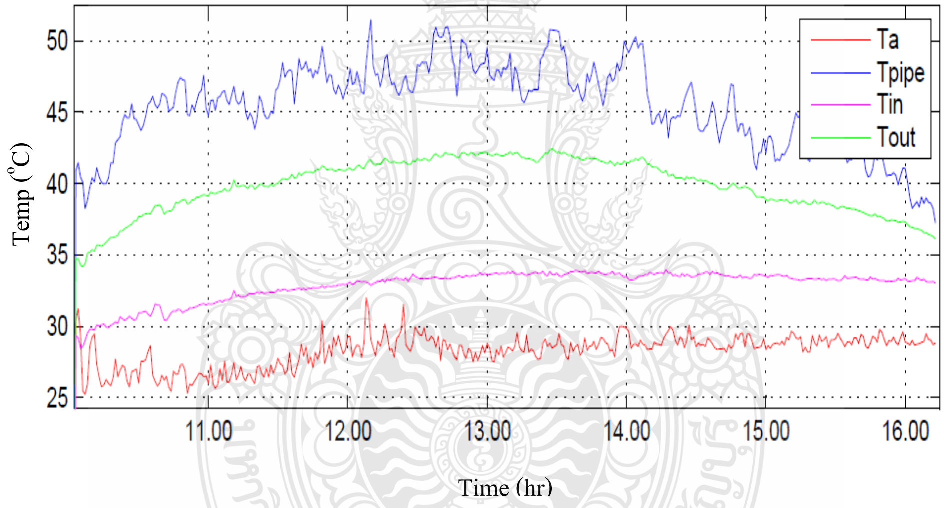


(ข)

รูปที่ ก 40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 5 ตุลาคม 2554

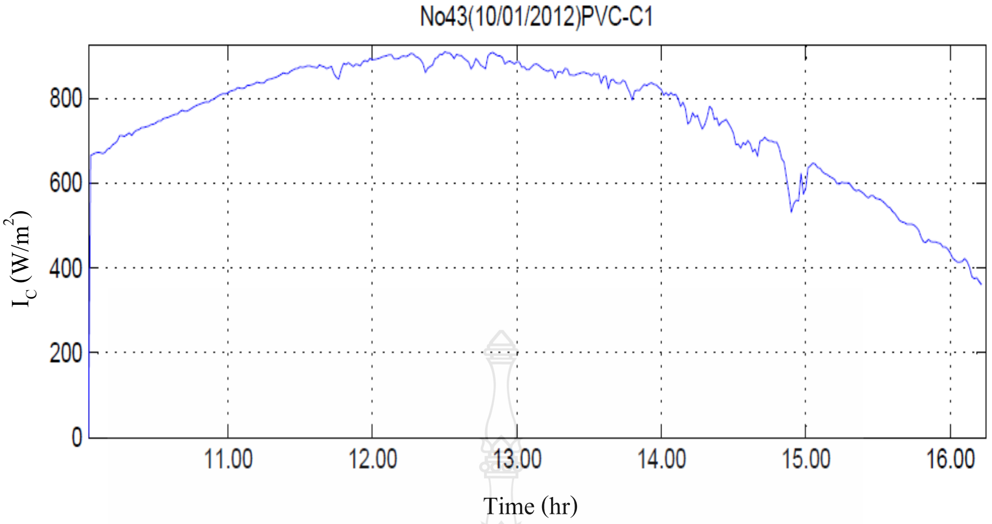


(ก)

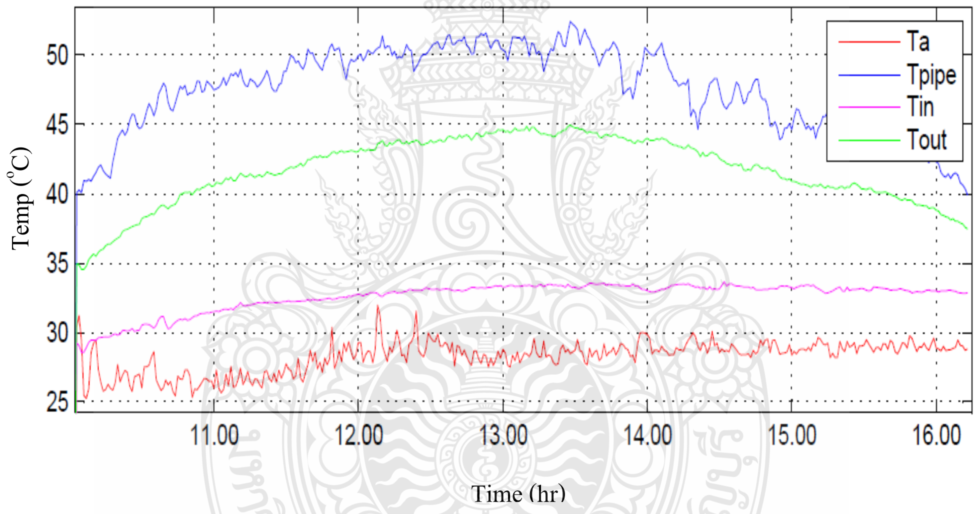


(ข)

รูปที่ ก 41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 10 มกราคม 2555

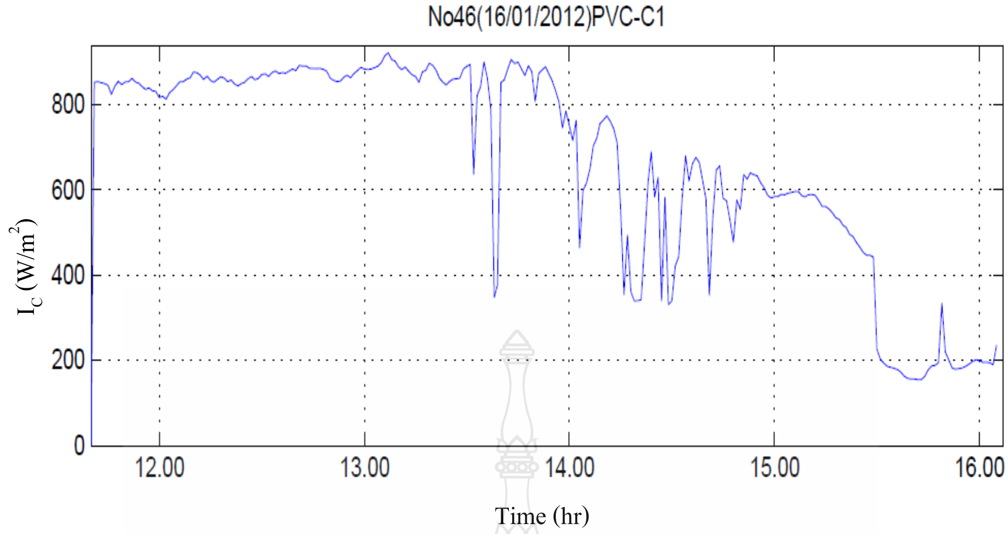


(ก)

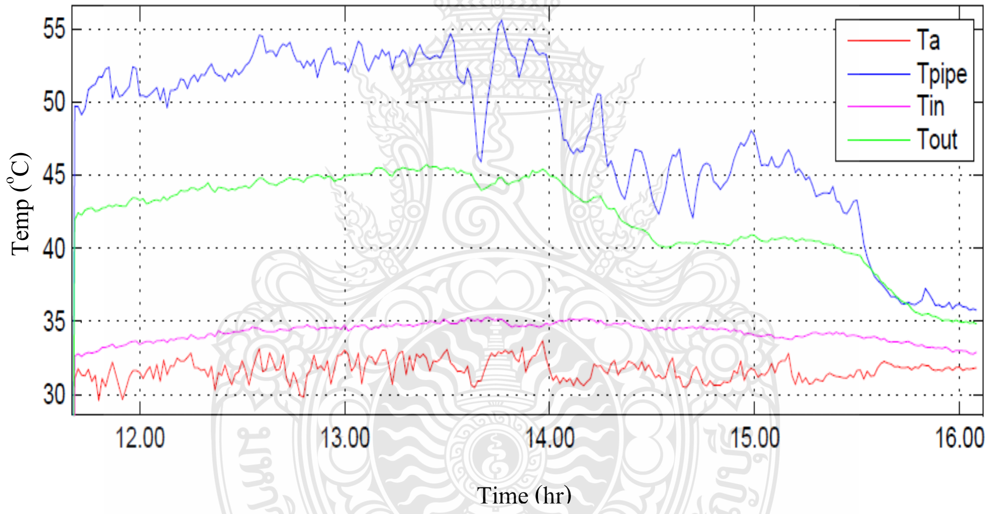


(ข)

รูปที่ ก 42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 10 มกราคม 2555

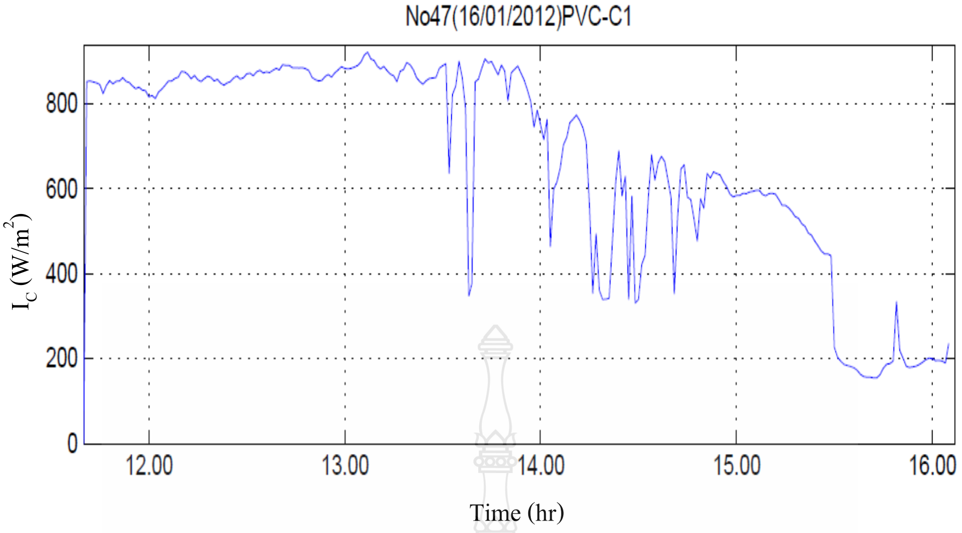


(ก)

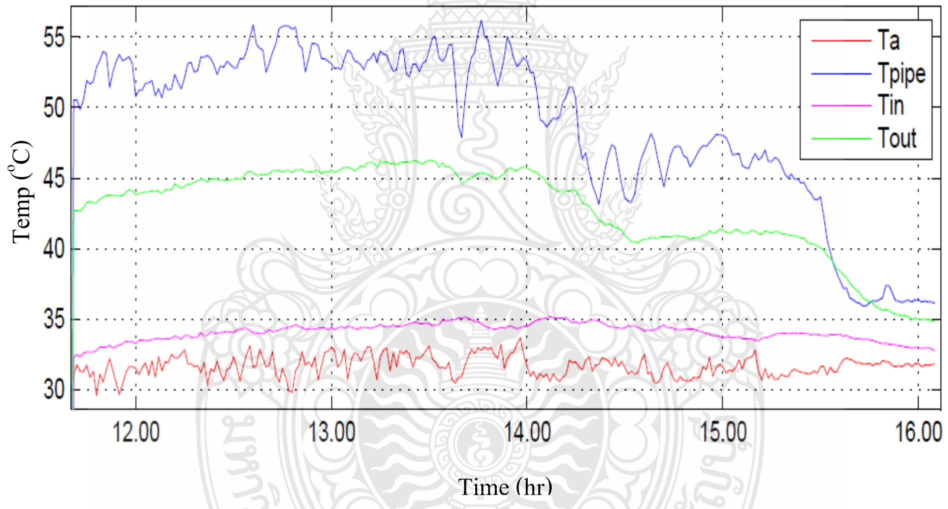


(ข)

รูปที่ ก 43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 16 มกราคม 2555

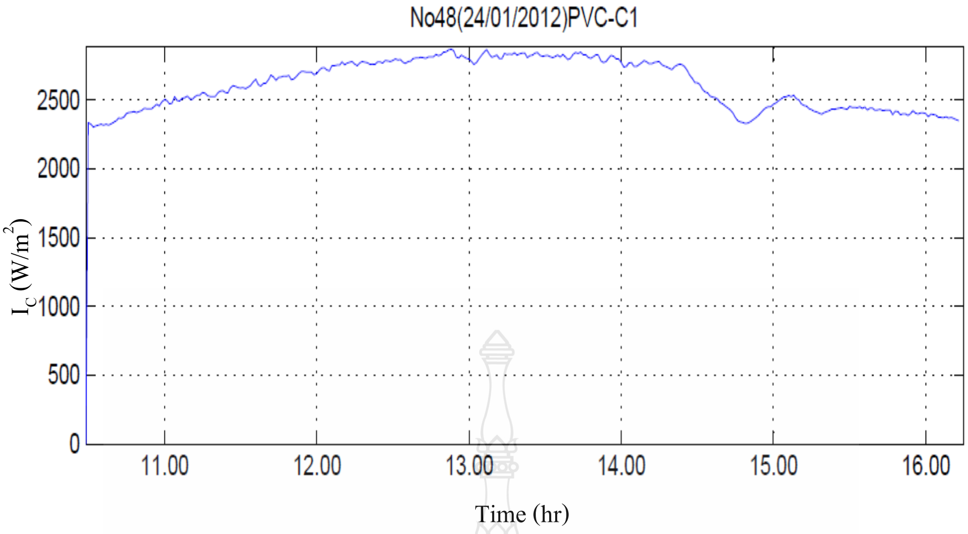


(ก)

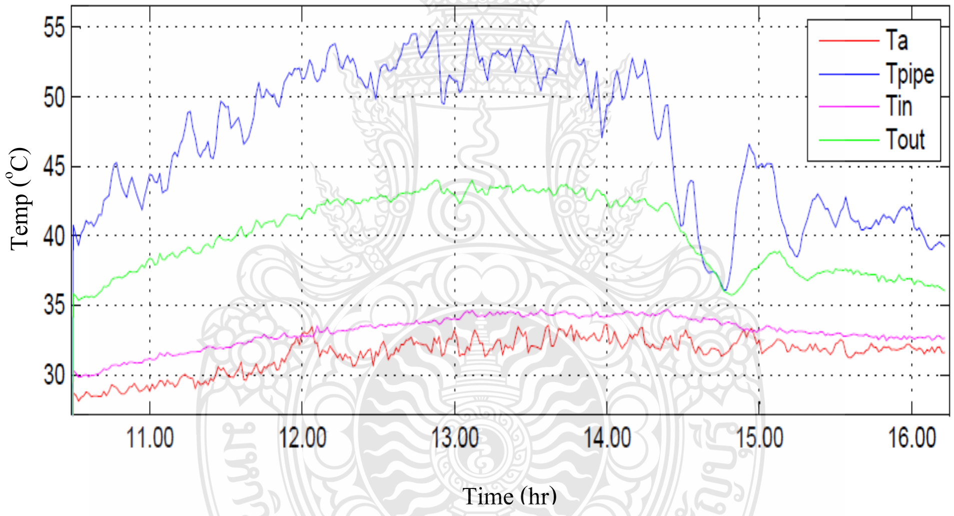


(ข)

รูปที่ ก 44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 16 มกราคม 2555

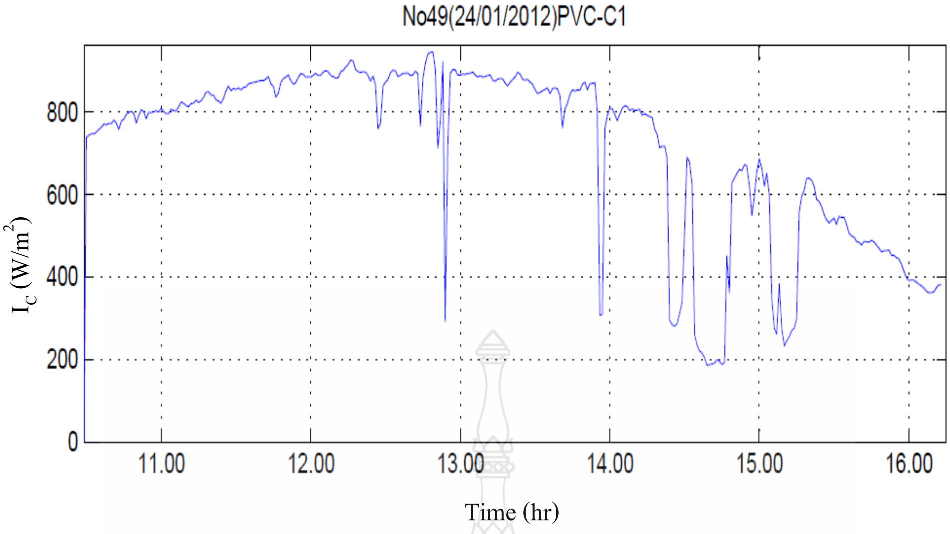


(ก)

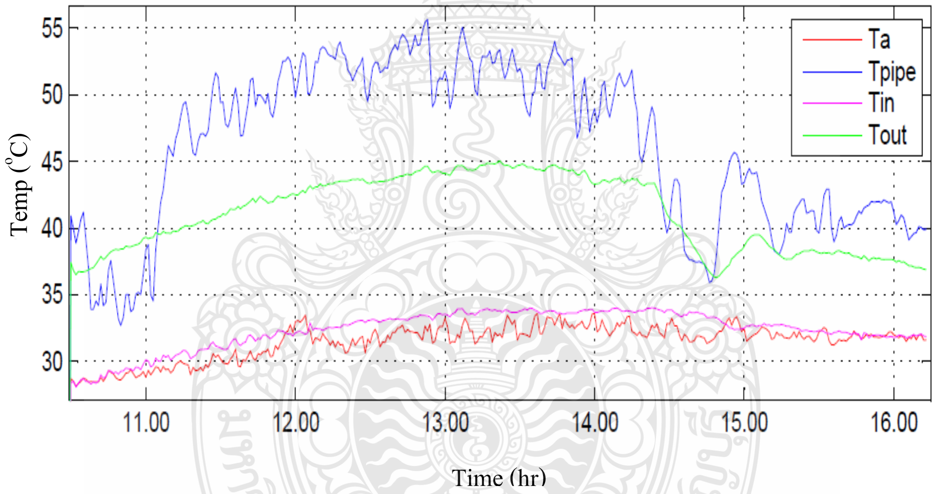


(ข)

รูปที่ ก 45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 24 มกราคม 2555

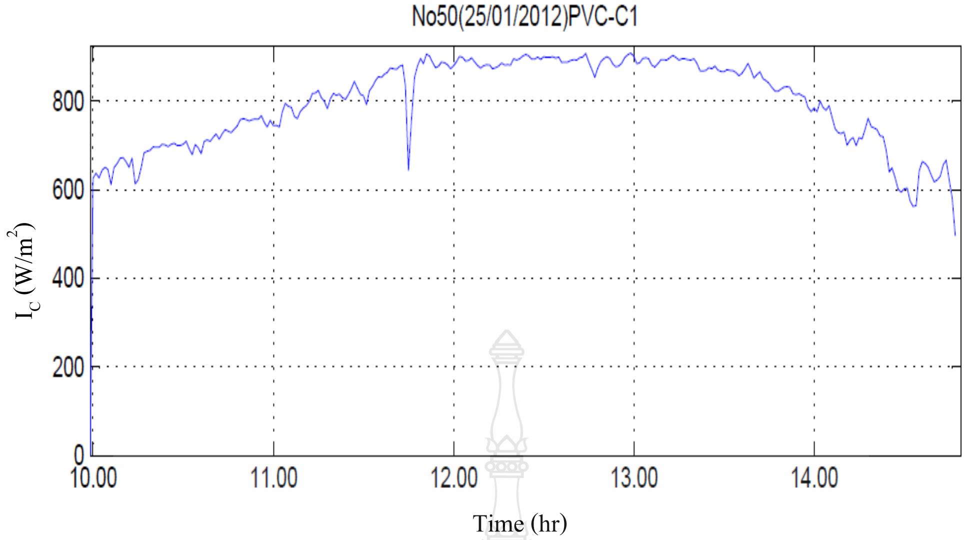


(ก)

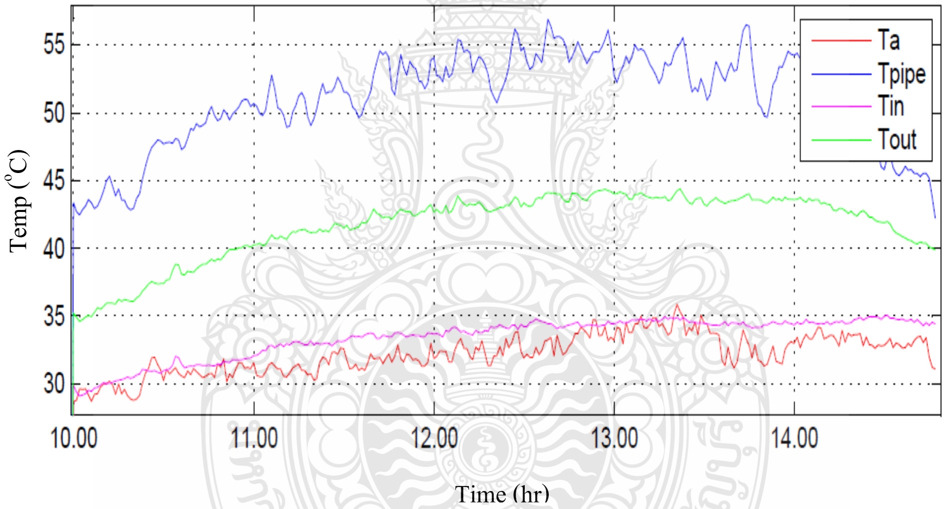


(ข)

รูปที่ ก 46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 24 มกราคม 2555

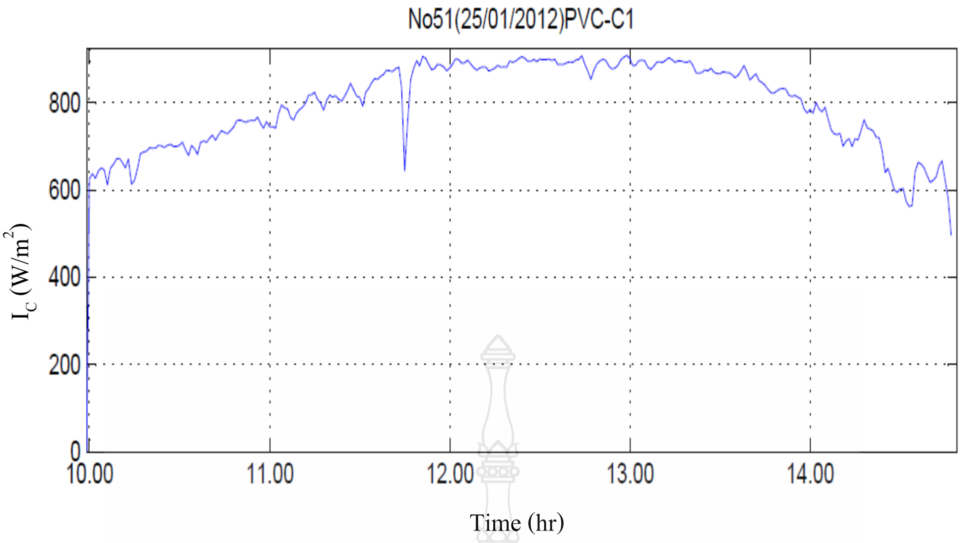


(ก)

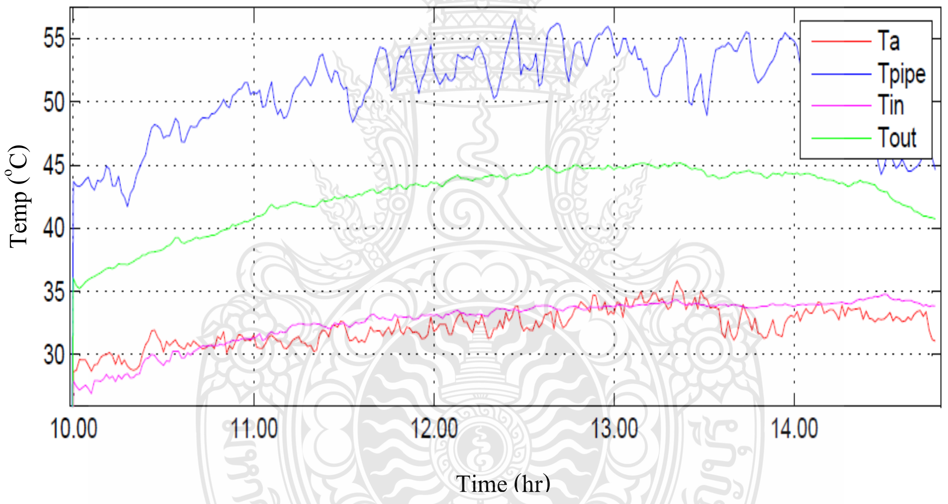


(ข)

รูปที่ ก 47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 25 มกราคม 2555

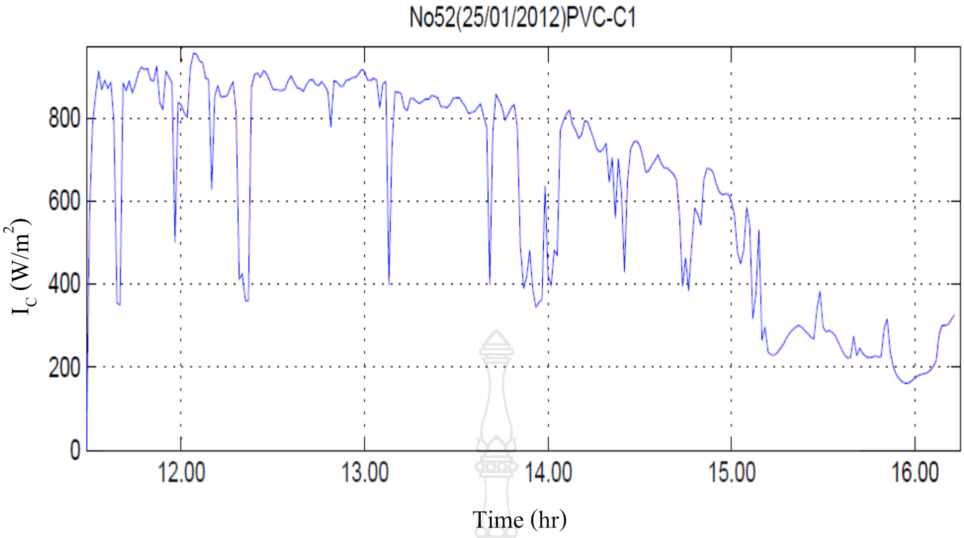


(ก)

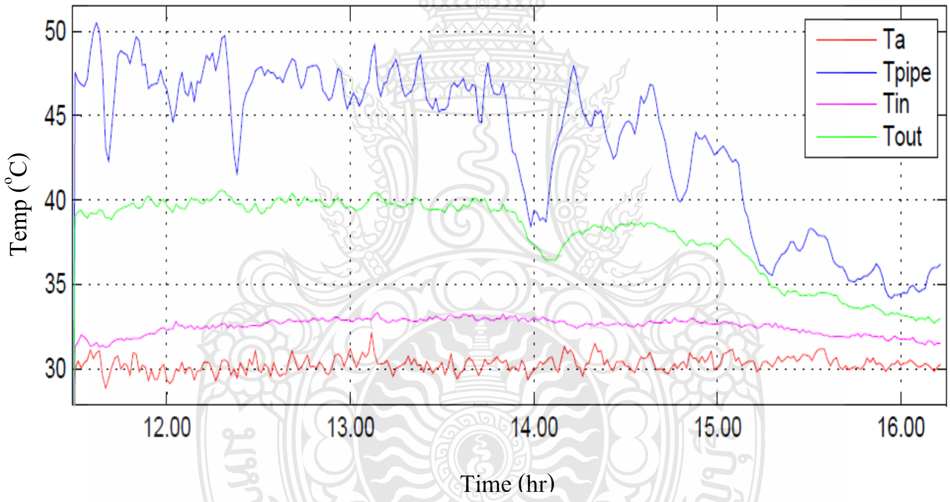


(ข)

รูปที่ ก 48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 25 มกราคม 2555

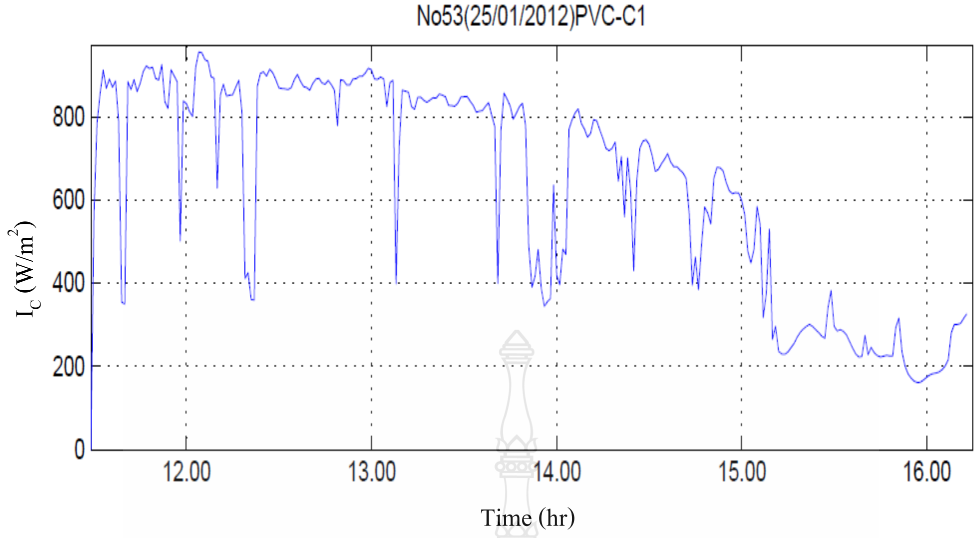


(ก)

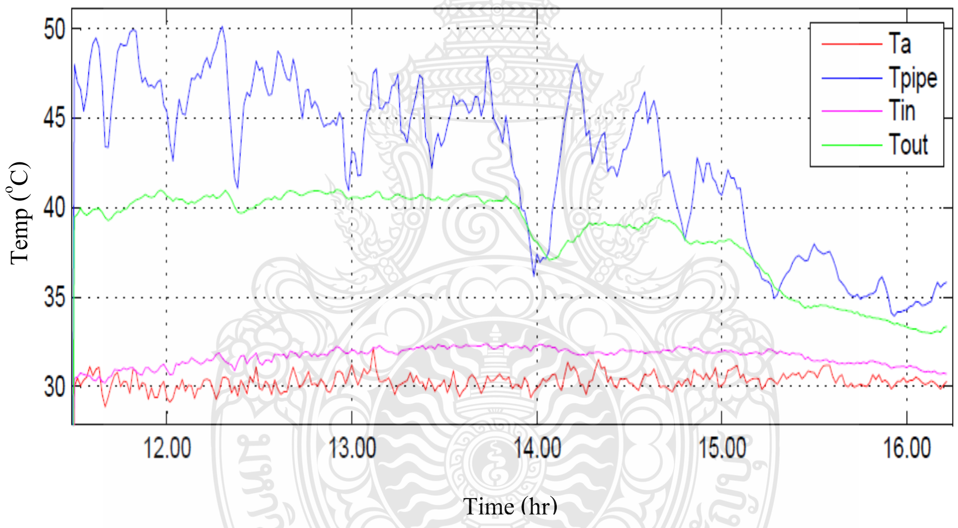


(ข)

รูปที่ ก 49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 25 มกราคม 2555

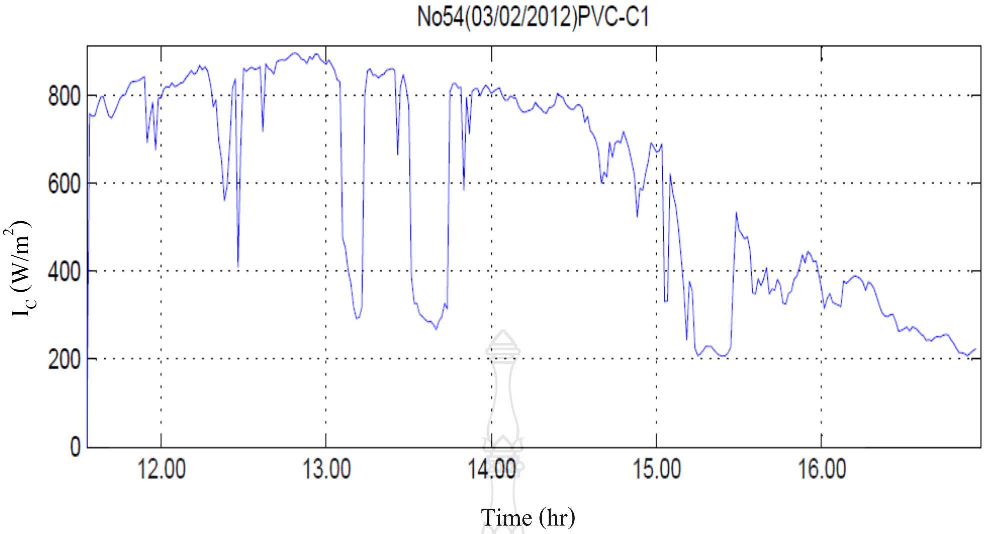


(ก)

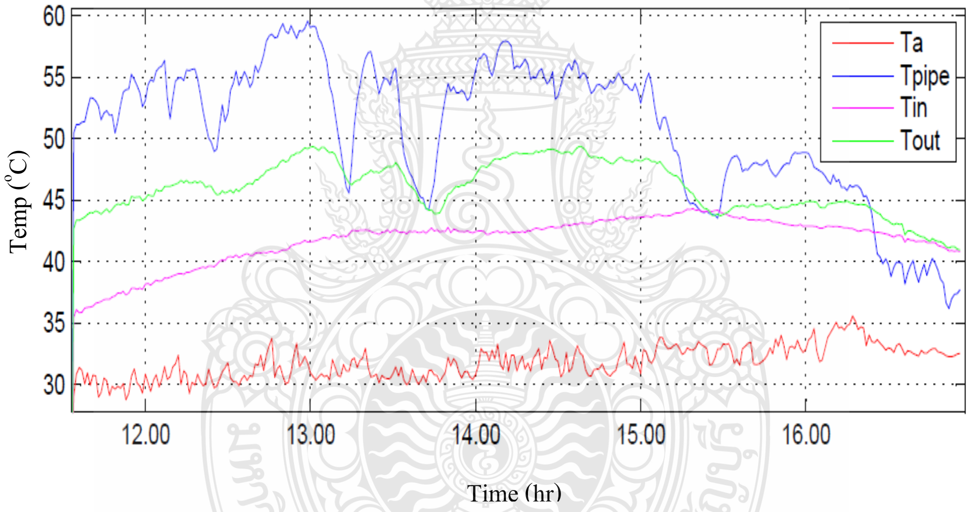


(ข)

รูปที่ ก 50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 25 มกราคม 2555

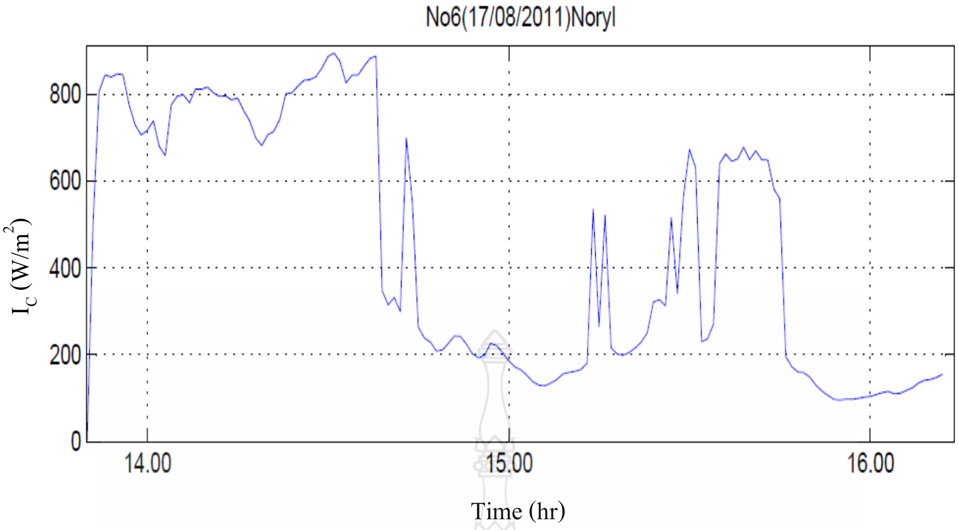


(ก)

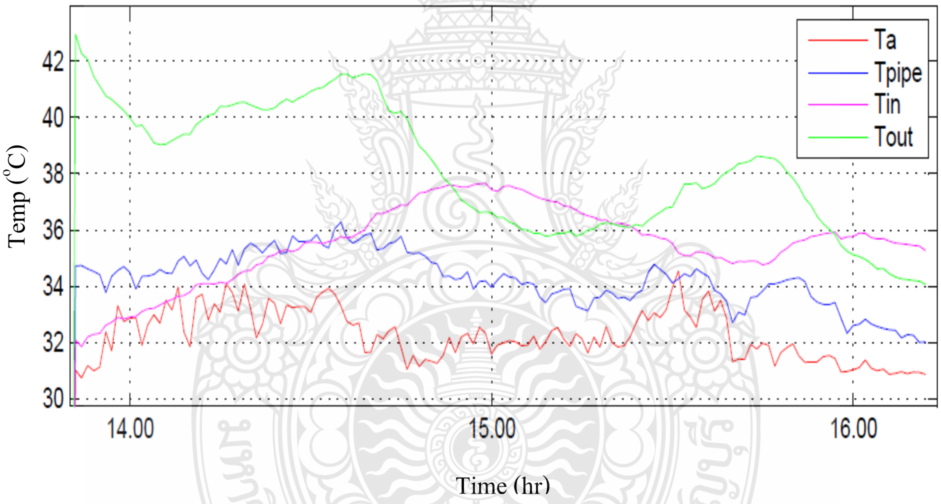


(ข)

รูปที่ ก 51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2555

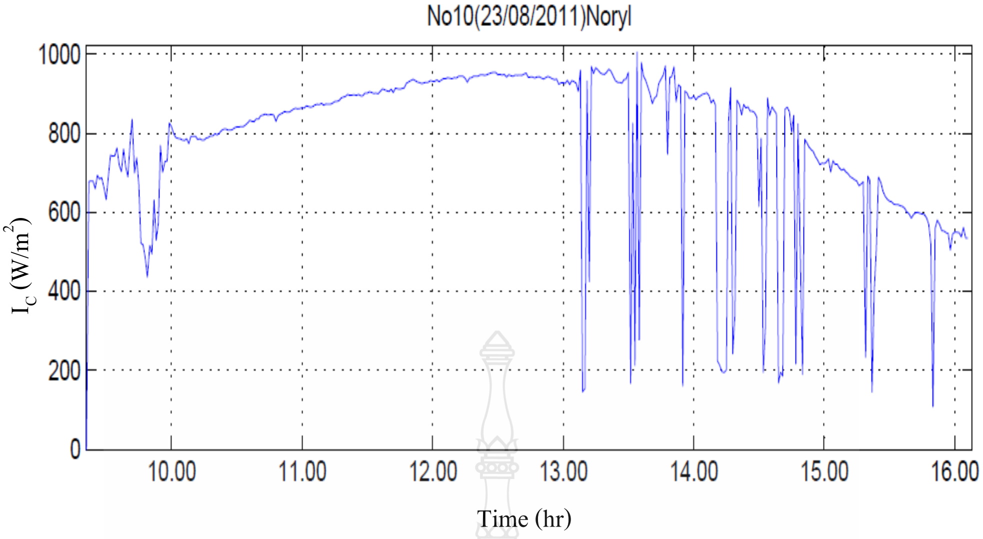


(ก)

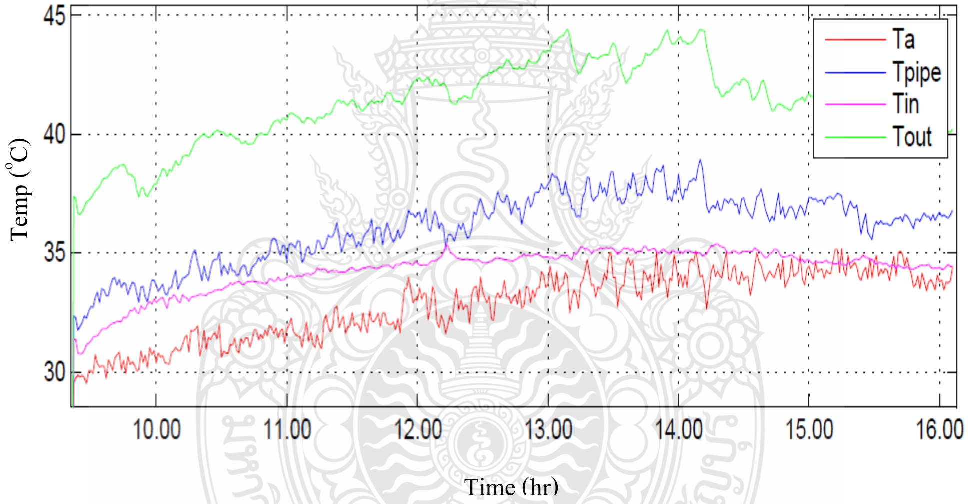


(ข)

รูปที่ ก 52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ Noryl (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 17 สิงหาคม 2554



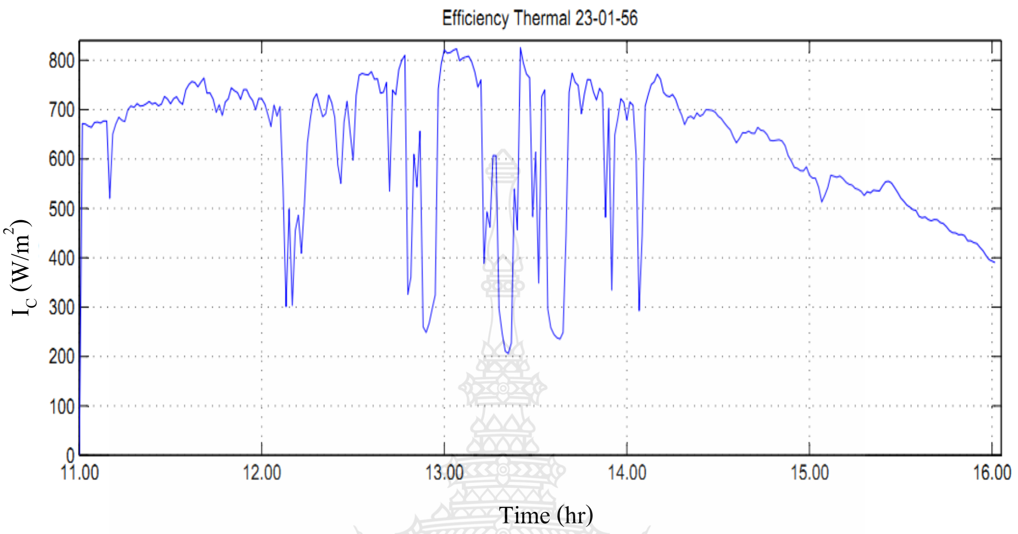
(ก)



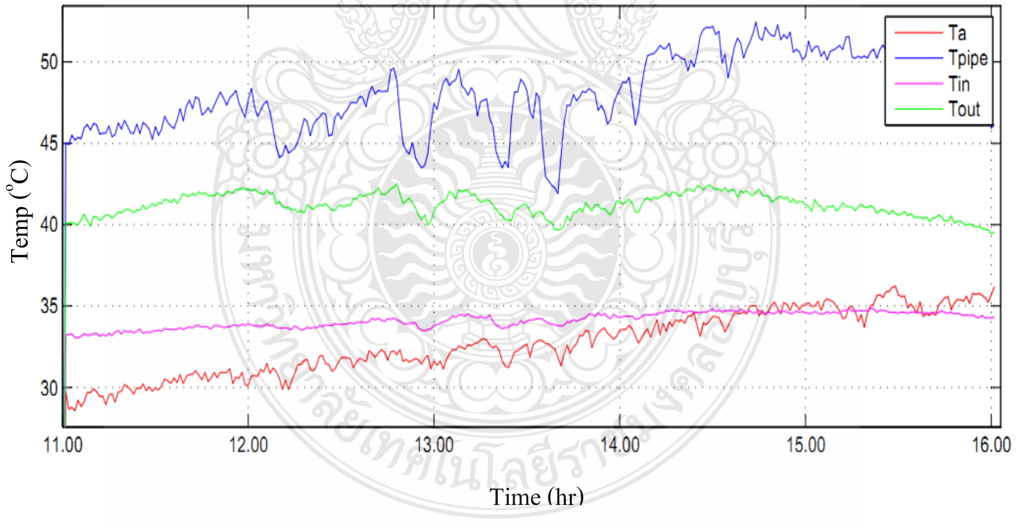
(ข)

รูปที่ ก 53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ Noryl (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 23 สิงหาคม 2554

2 ข้อมูลจากการทดสอบแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากการใช้งานจริงโดยนำไปติดตั้งกับเครื่องล้างจาน

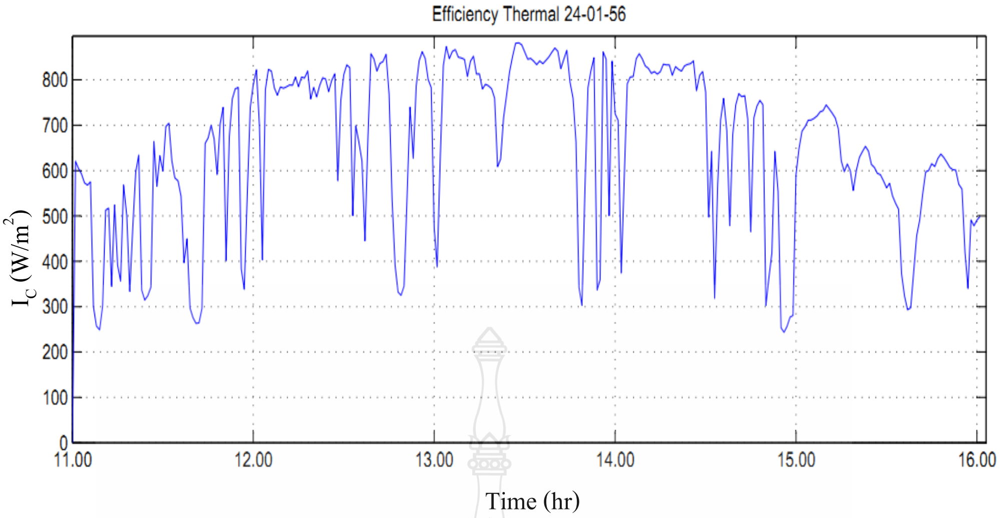


(ก)

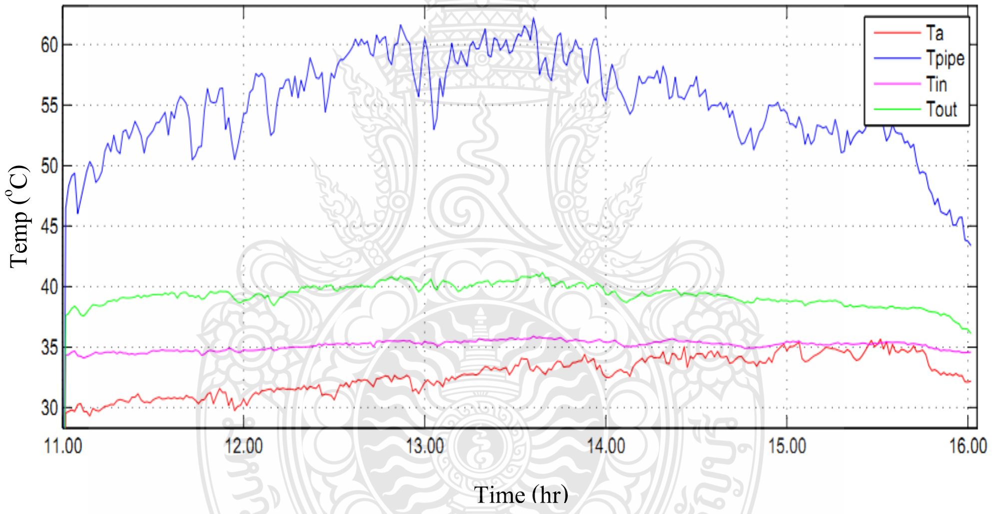


(ข)

รูปที่ ก 54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 23 มกราคม 2556

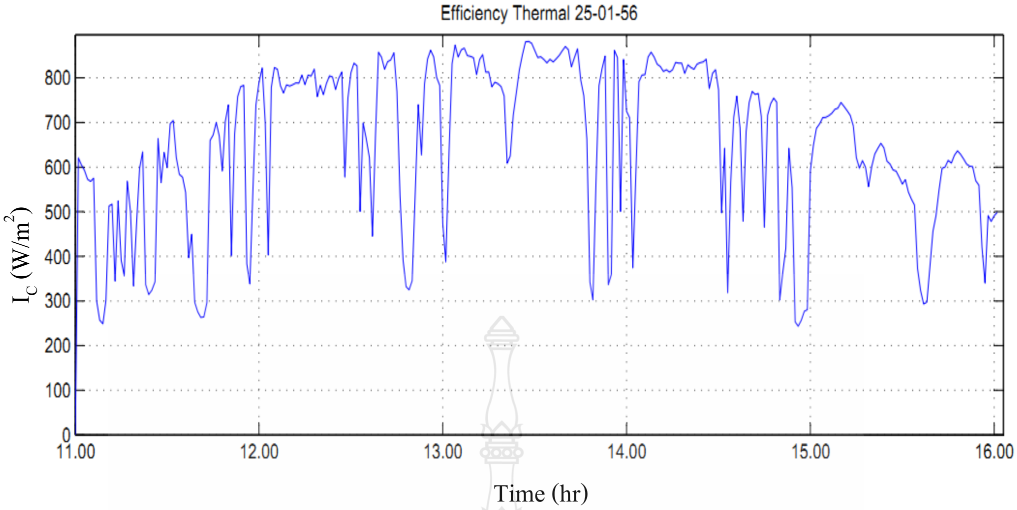


(ก)

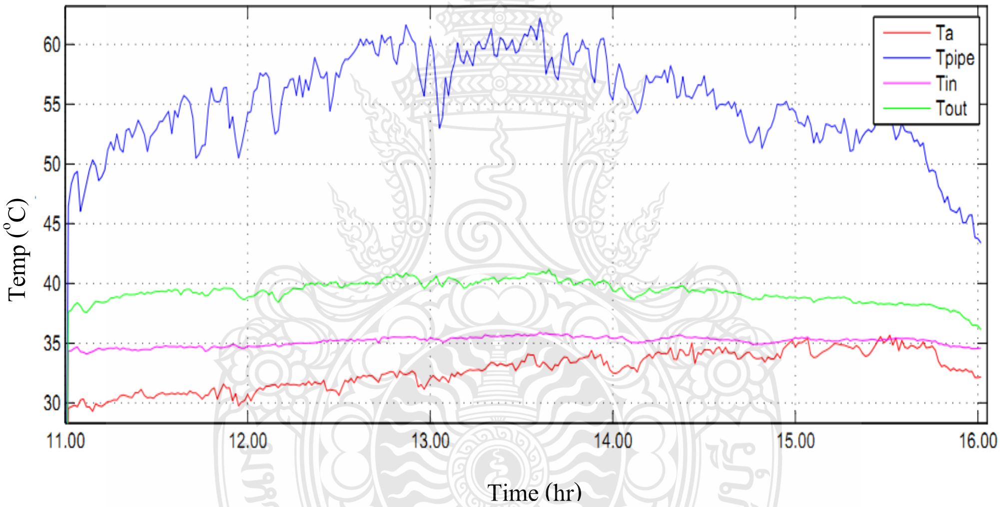


(ข)

รูปที่ ก 55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 24 มกราคม 2556

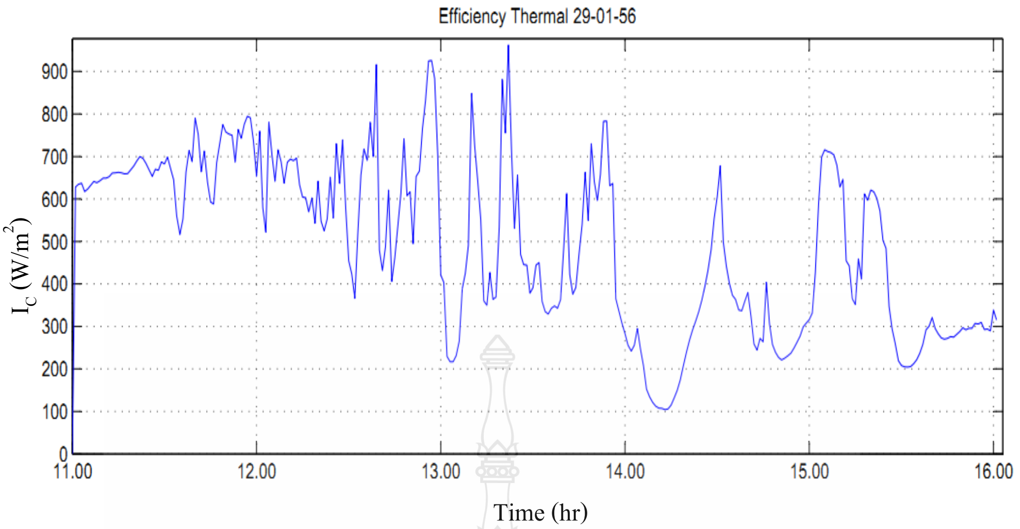


(ก)

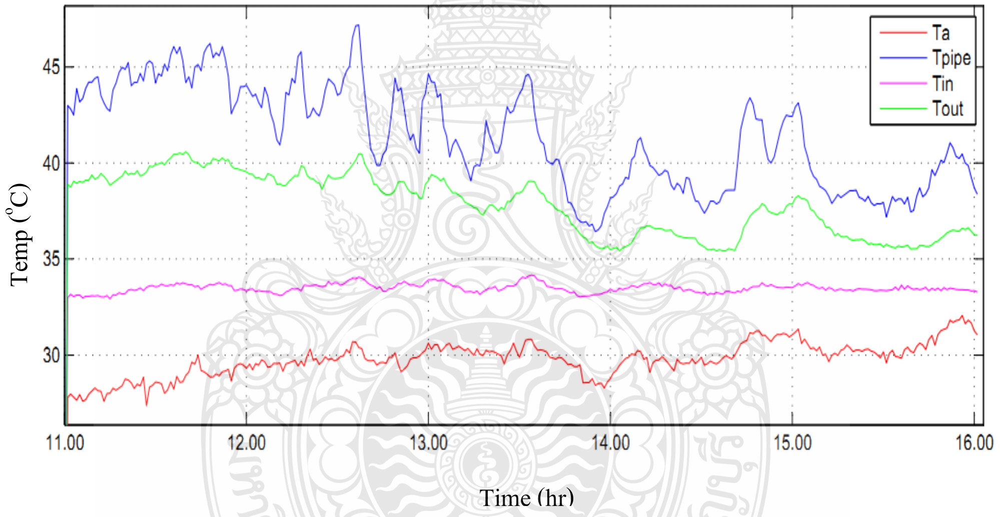


(ข)

รูปที่ ก 56 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 25 มกราคม 2556

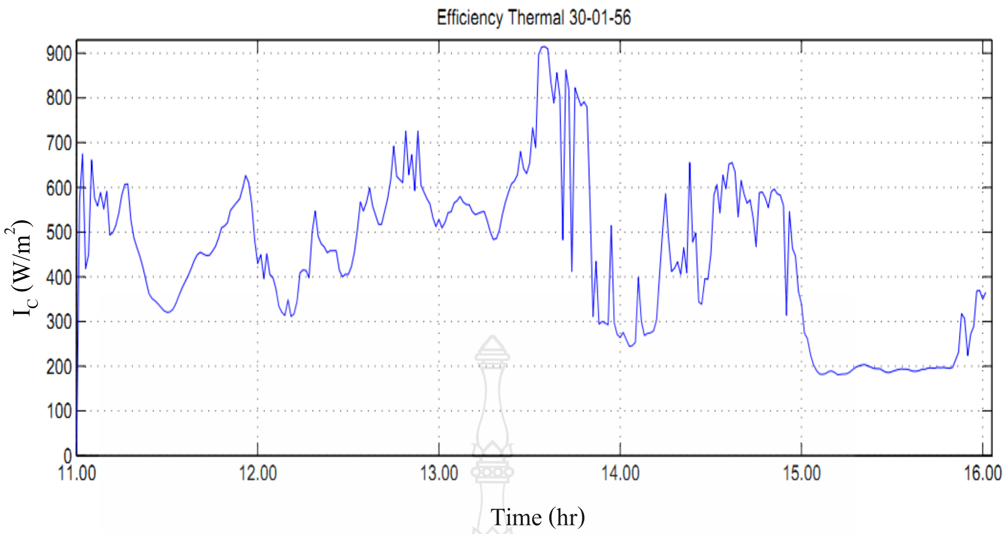


(ก)

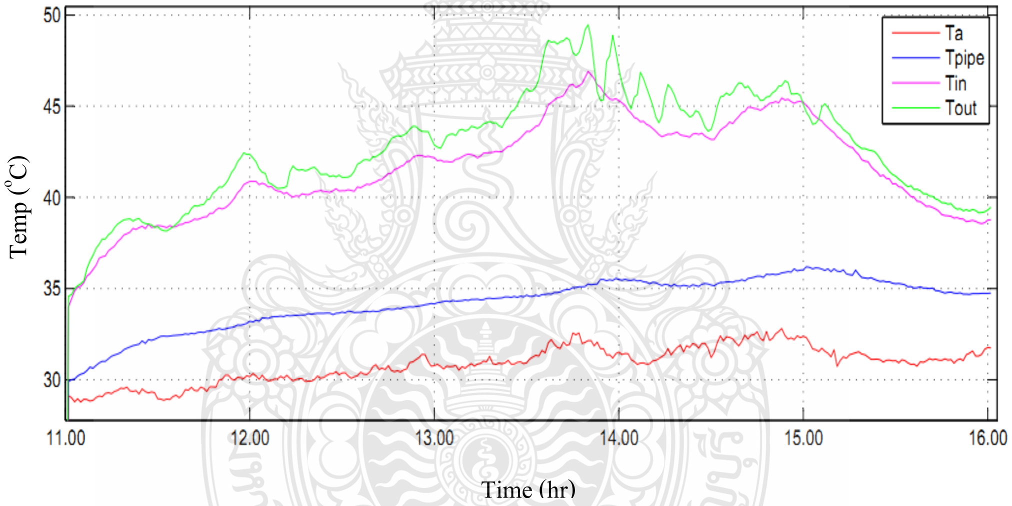


(ข)

รูปที่ ก 57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 29 มกราคม 2556

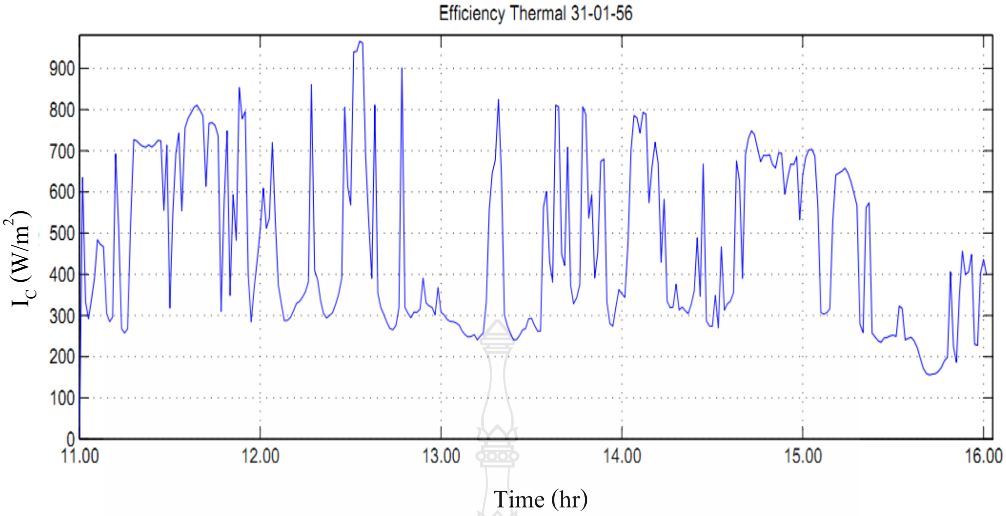


(ก)

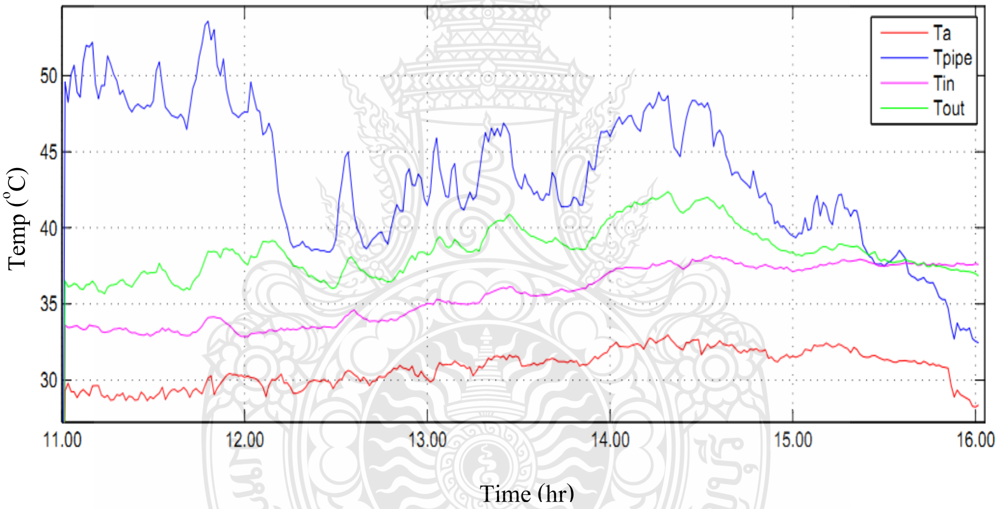


(ข)

รูปที่ ก 58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 30 มกราคม 2556

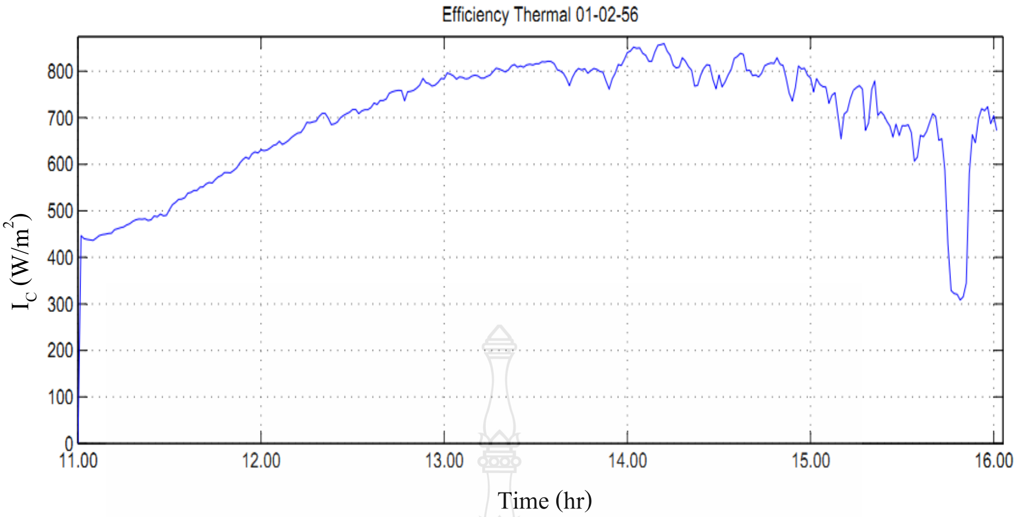


(ก)

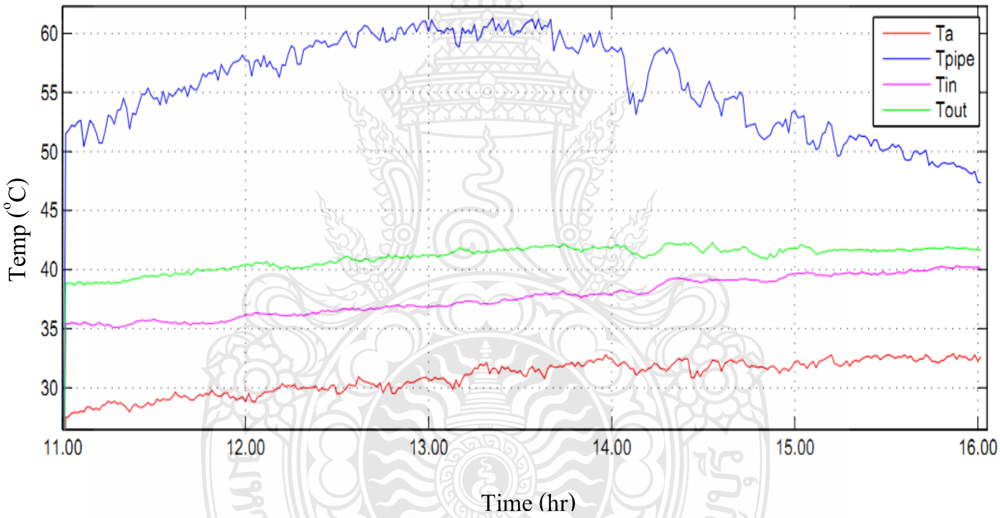


(ข)

รูปที่ ก 59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 31 มกราคม 2556

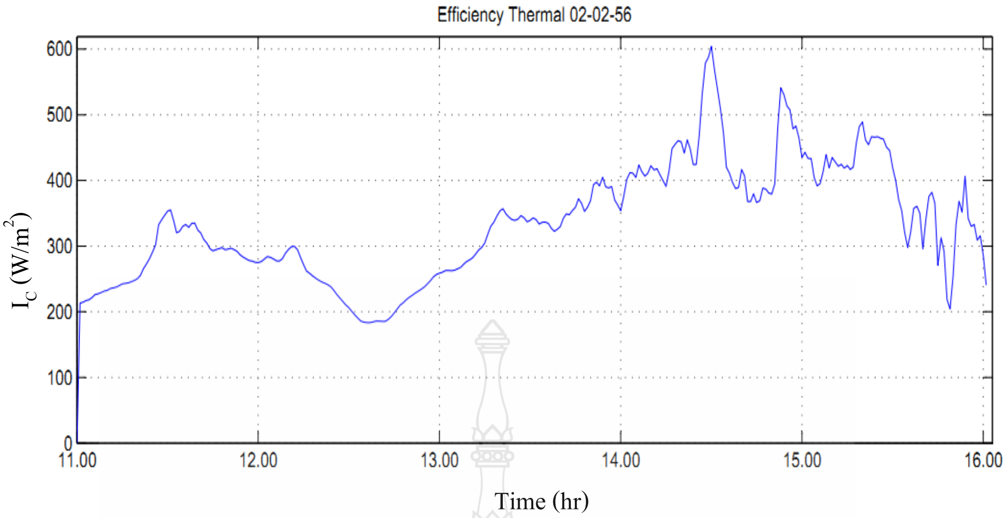


(ก)

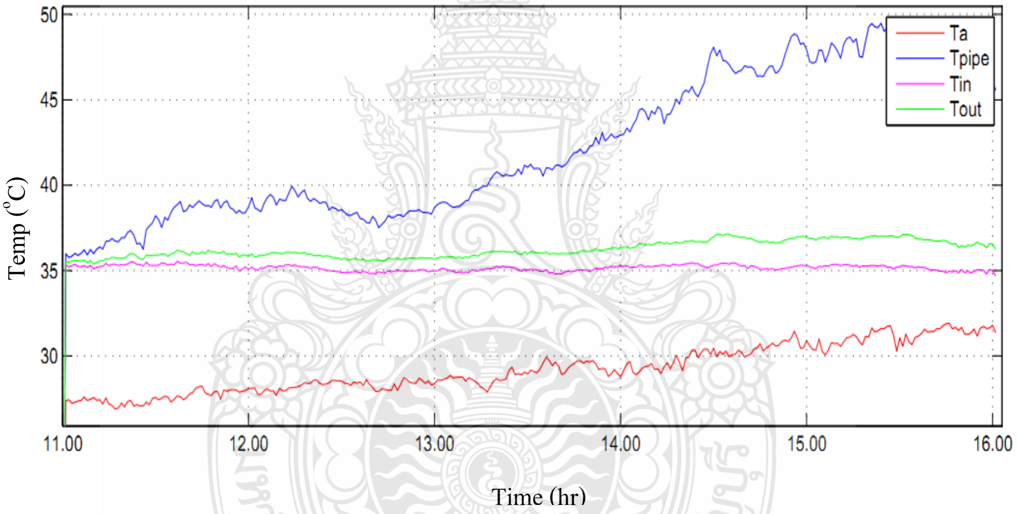


(ข)

รูปที่ ก 60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2556

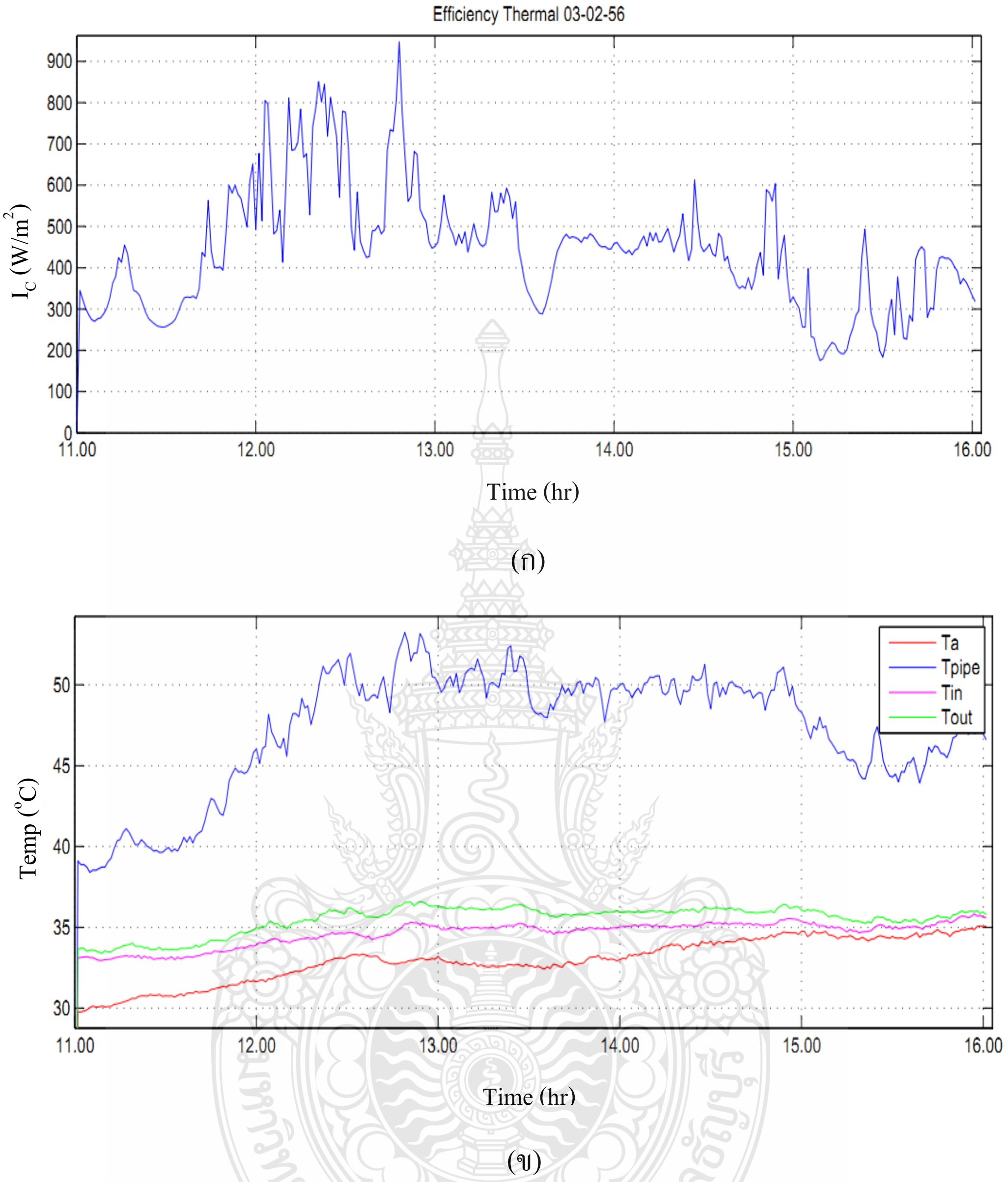


(ก)

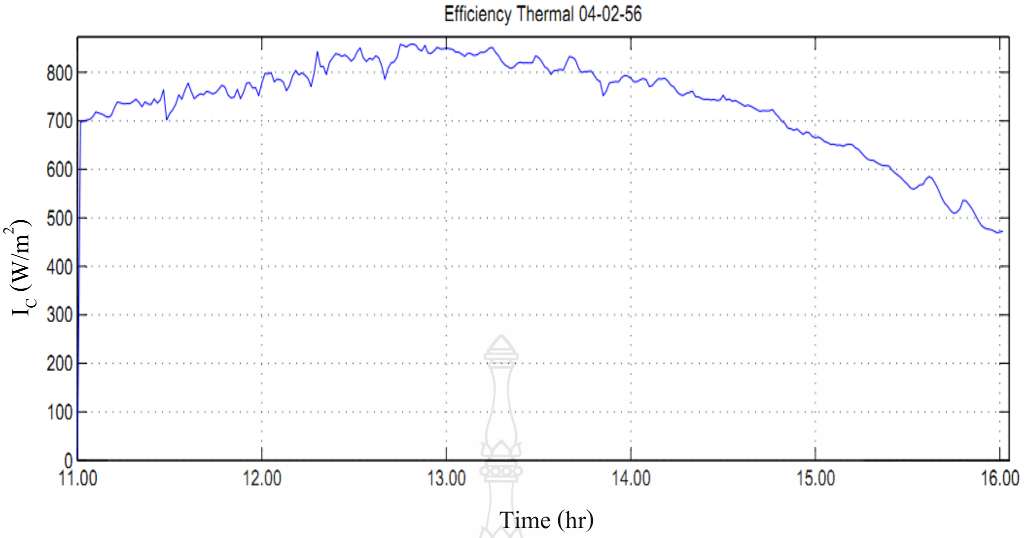


(ข)

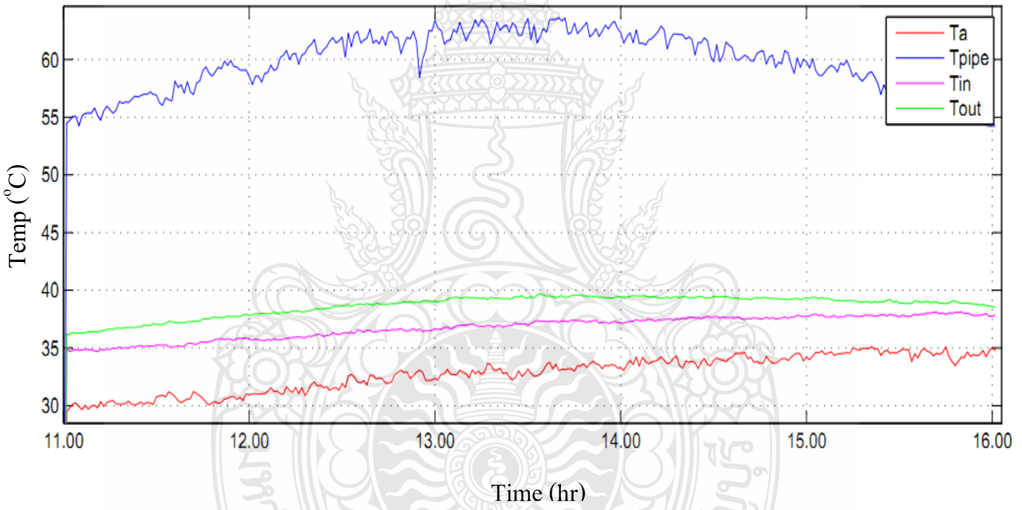
รูปที่ ก 61 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2556



รูปที่ ก 62 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2556

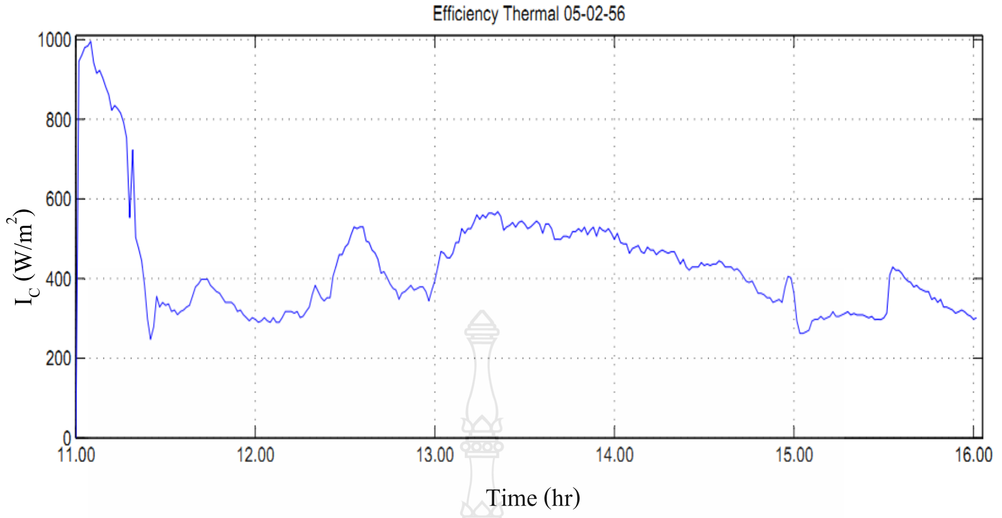


(ก)

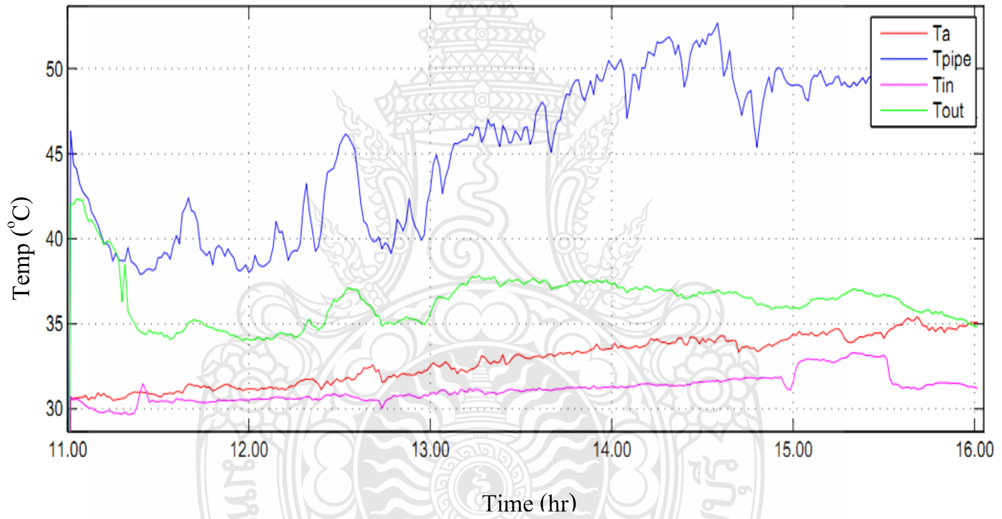


(ข)

รูปที่ ก 63 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2556

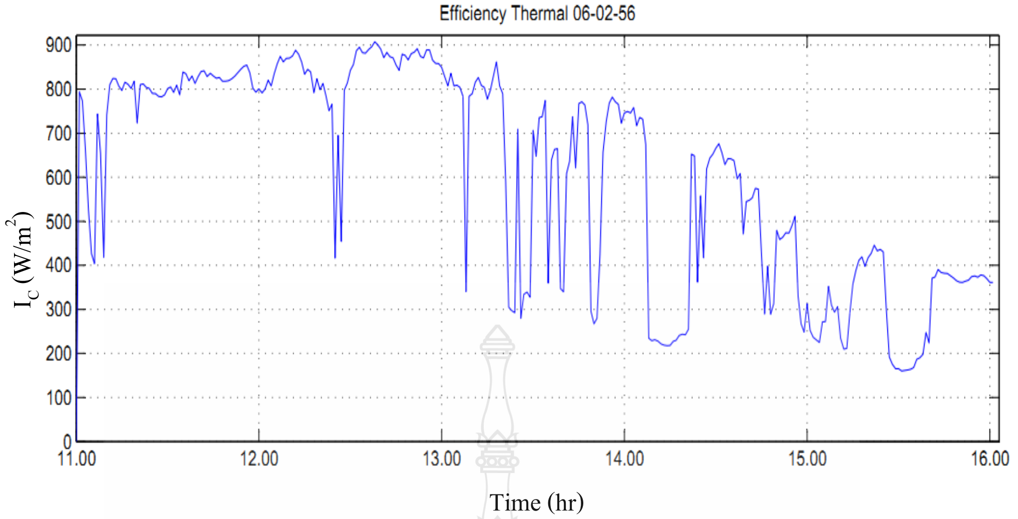


(ก)

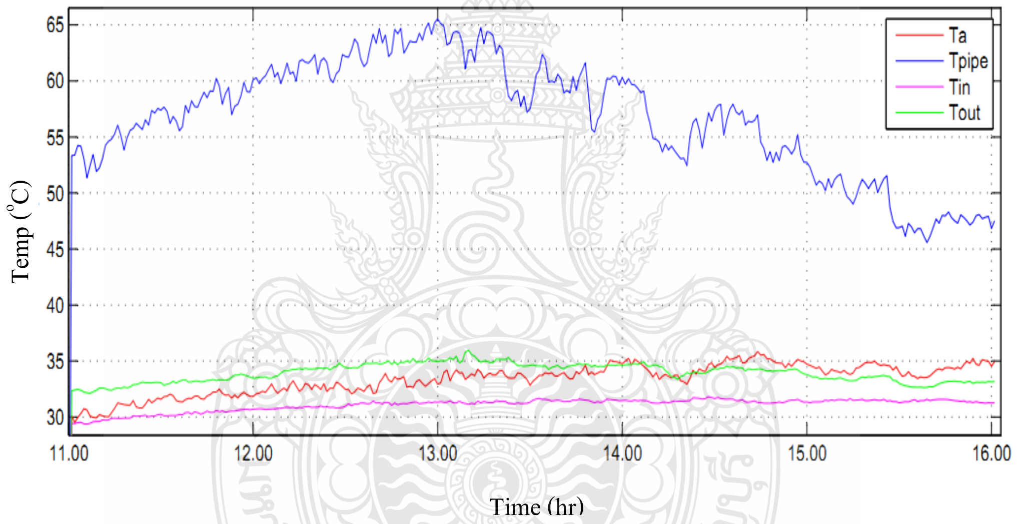


(ข)

รูปที่ ก 64 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2556

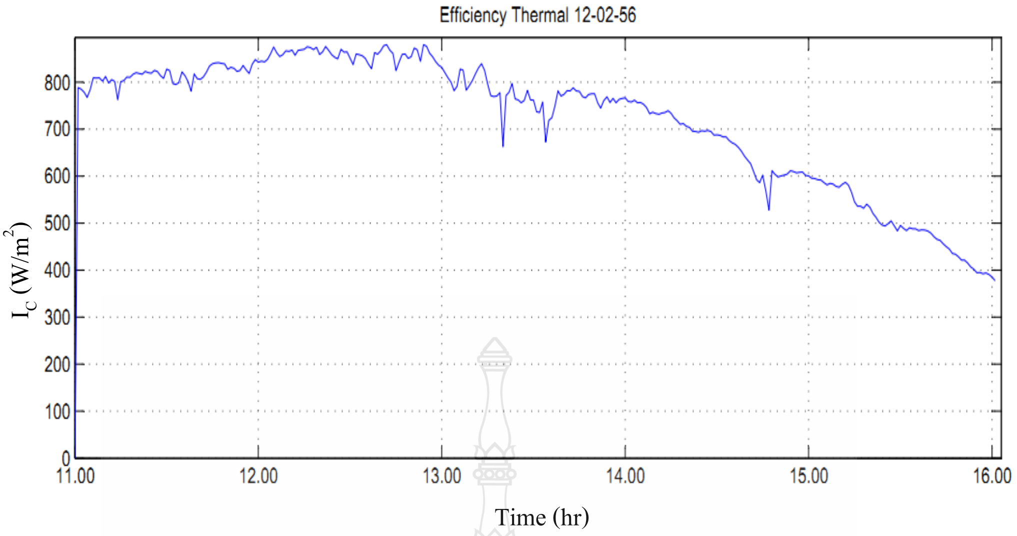


(ก)

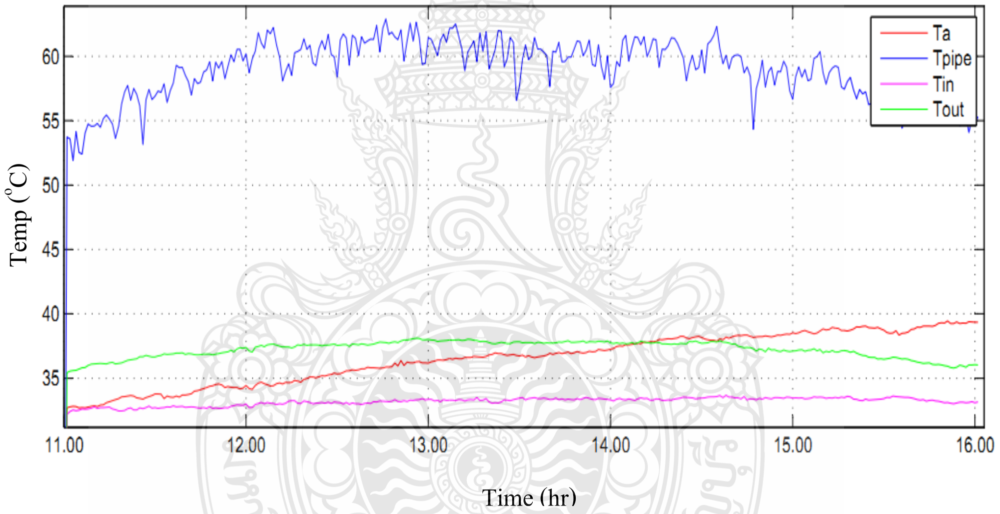


(ข)

รูปที่ ก 65 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2556

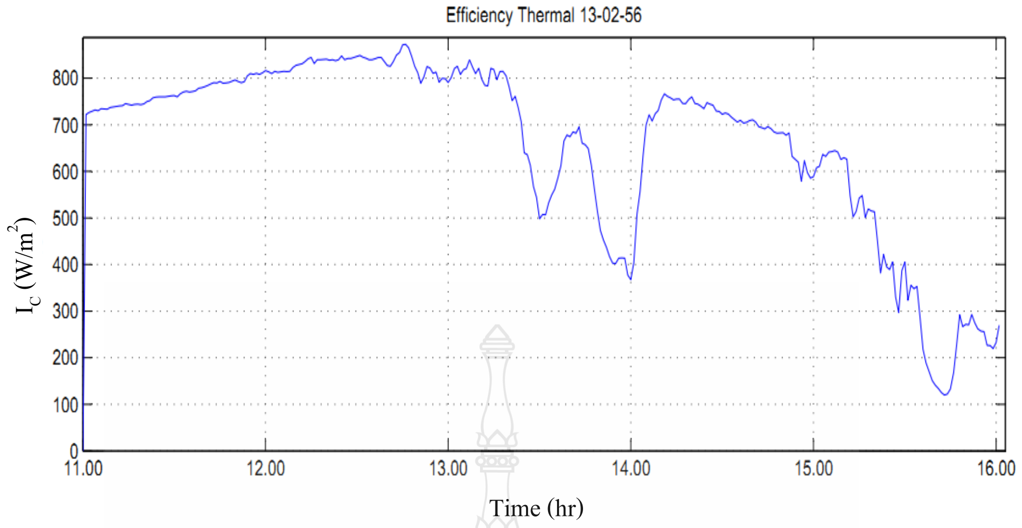


(ก)

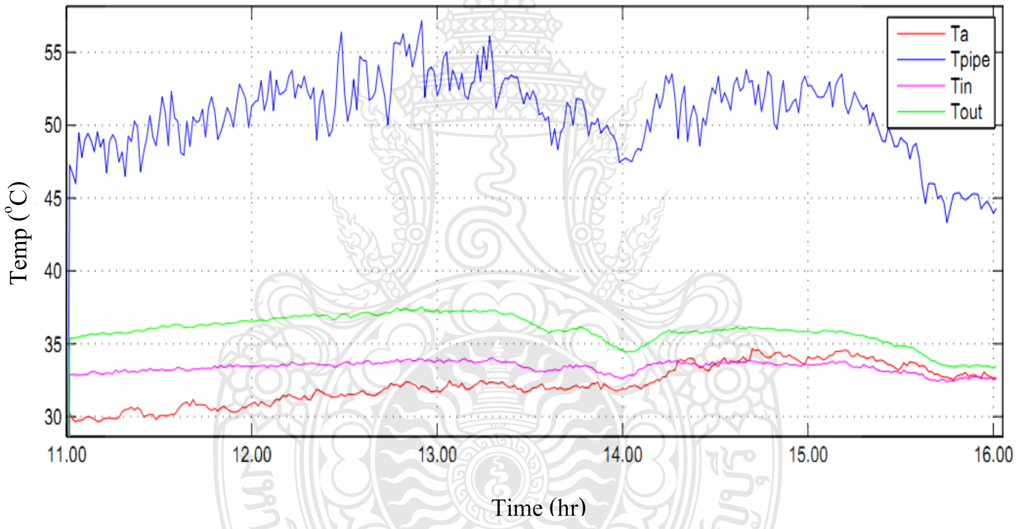


(ข)

รูปที่ ก 66 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2556

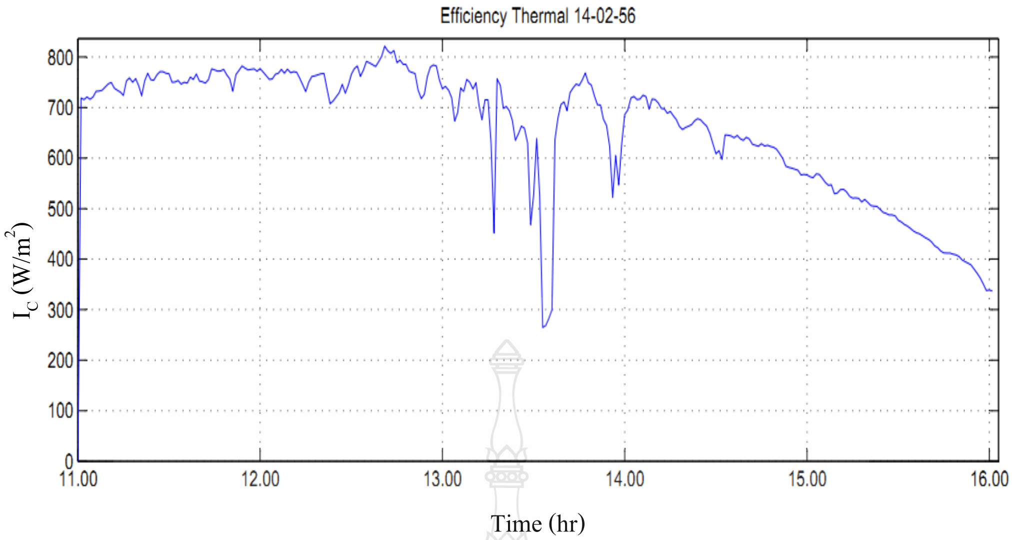


(ก)

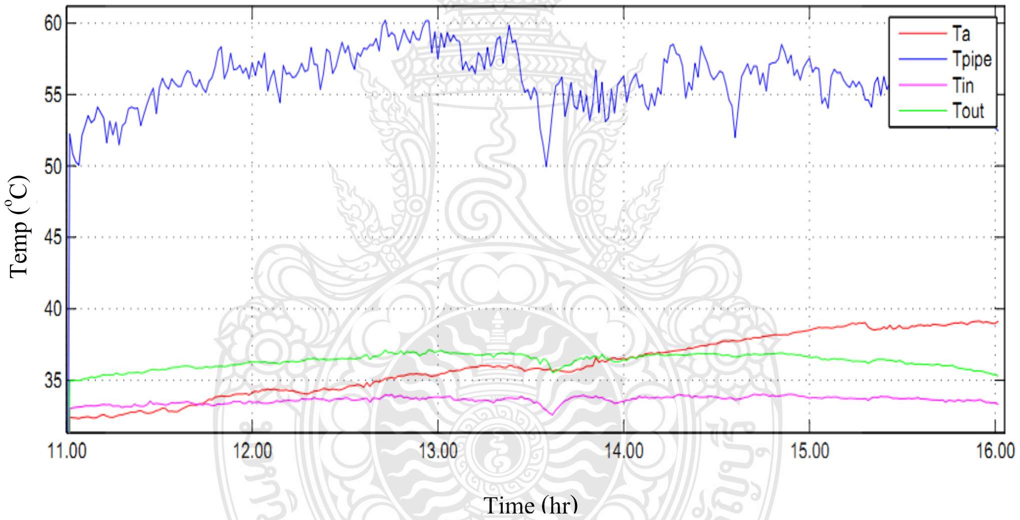


(ข)

รูปที่ ก 67 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2556

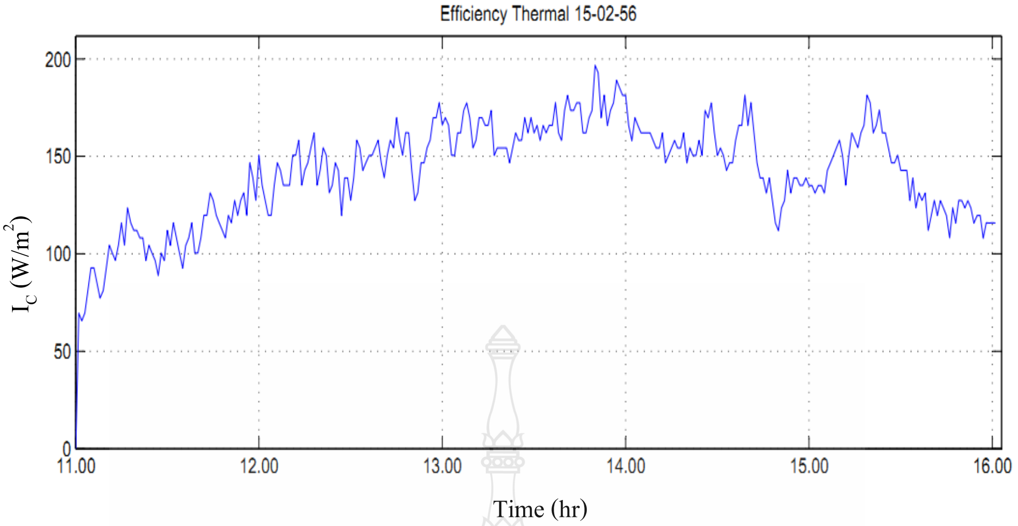


(ก)

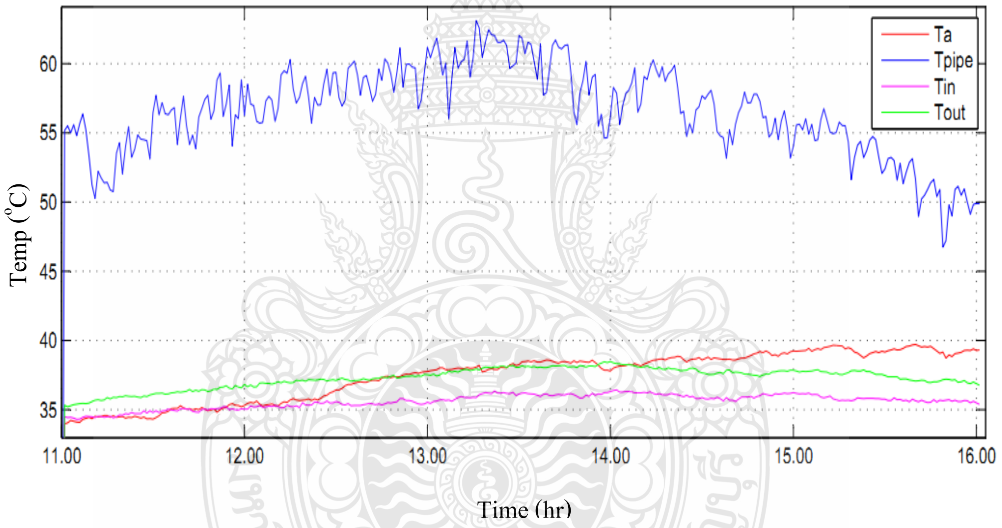


(ข)

รูปที่ ก 68 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2556

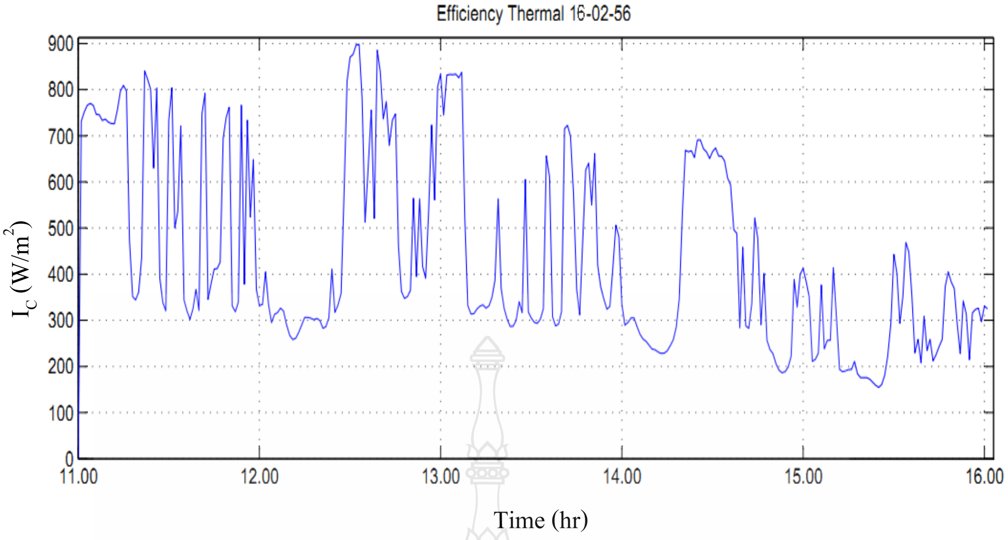


(ก)

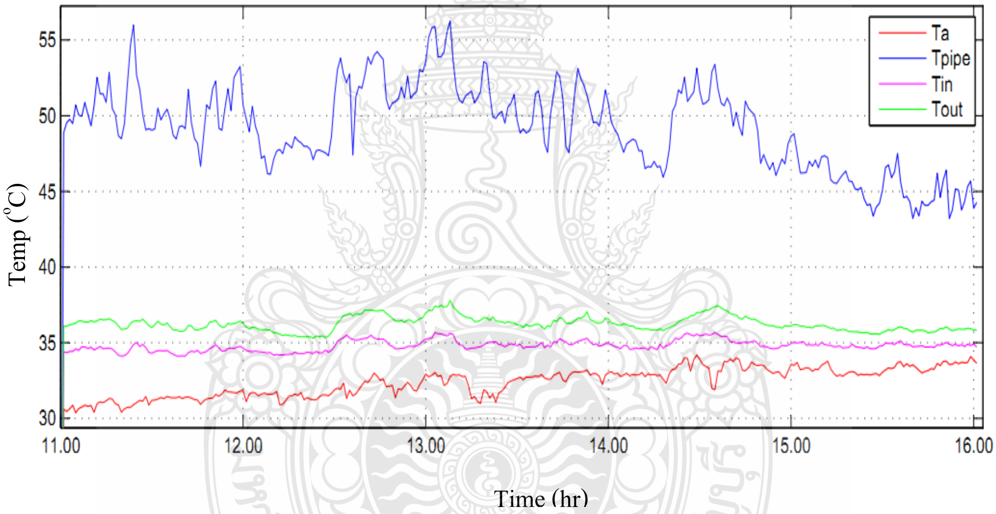


(ข)

รูปที่ ก 69 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2556

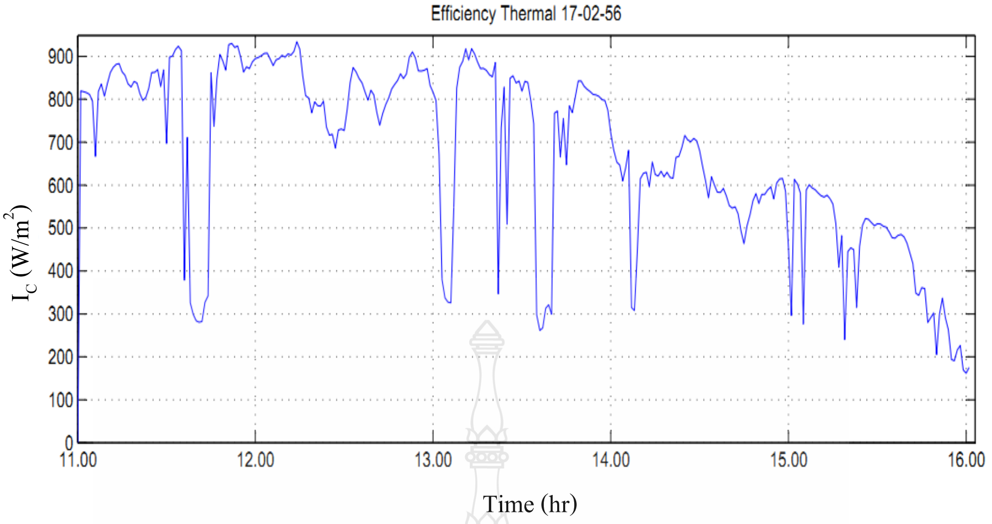


(ก)

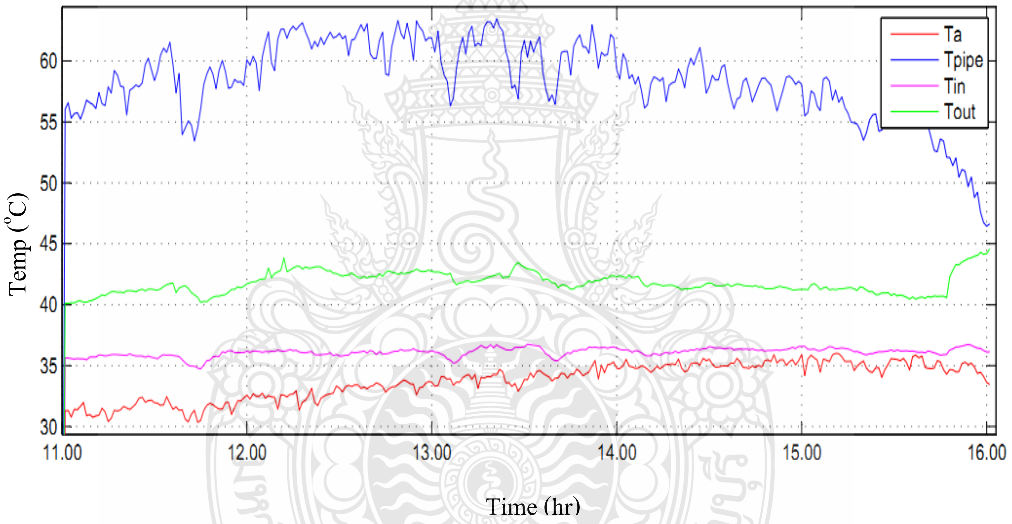


(ข)

รูปที่ ก 70 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2556

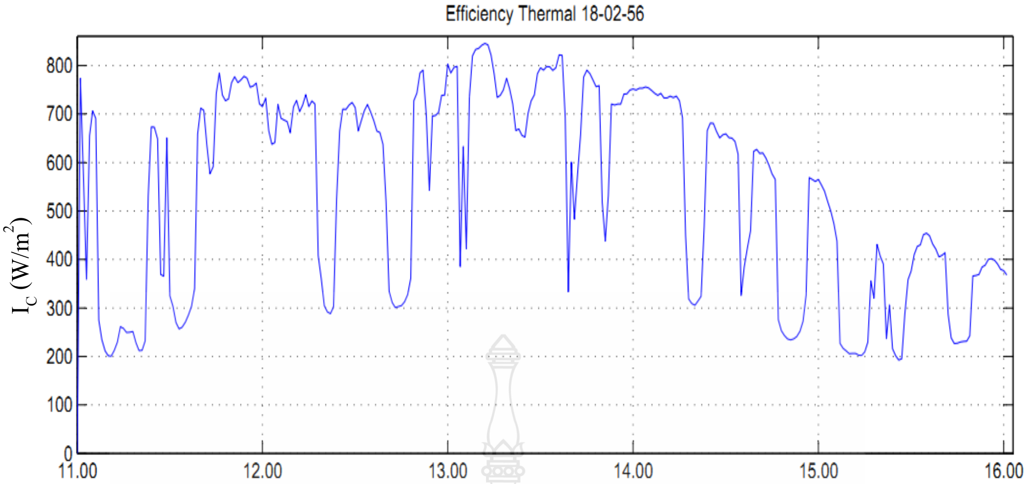


(ก)

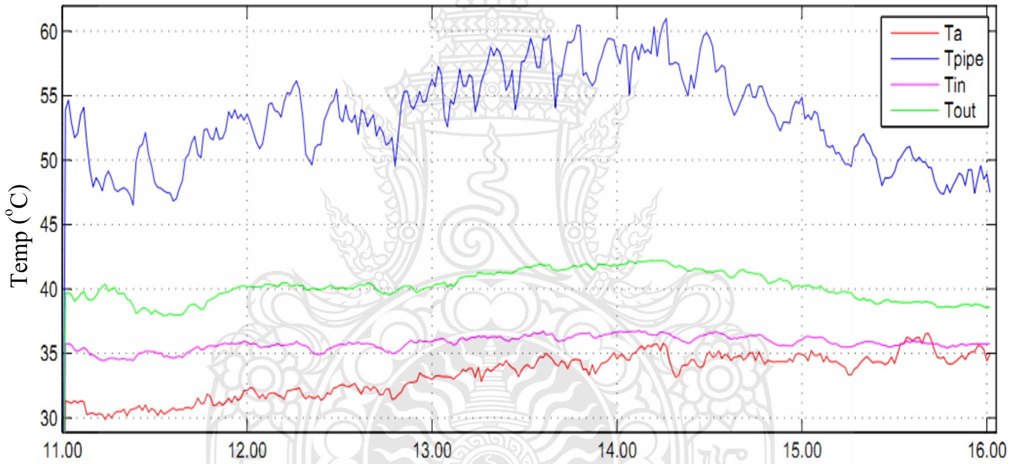


(ข)

รูปที่ ก 71 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2556

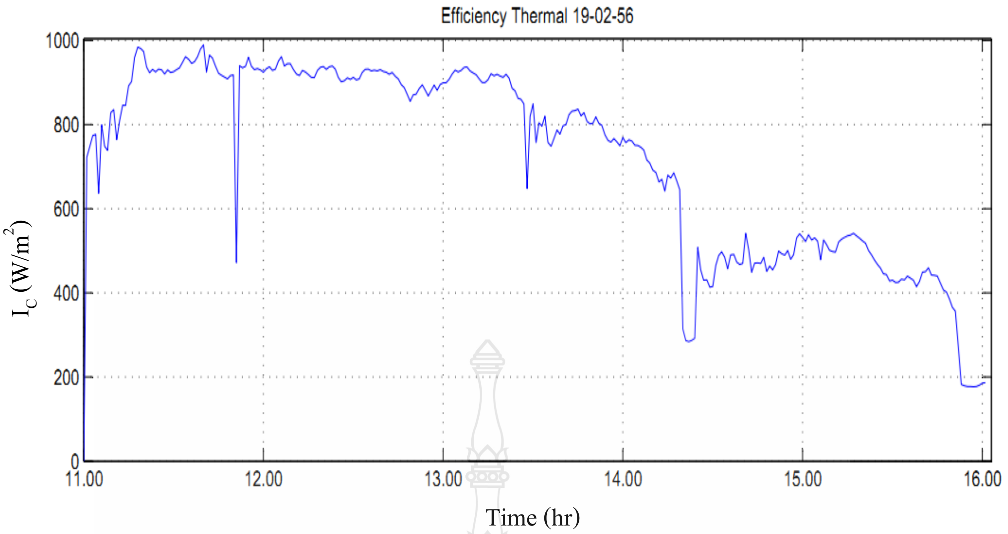


(ก)

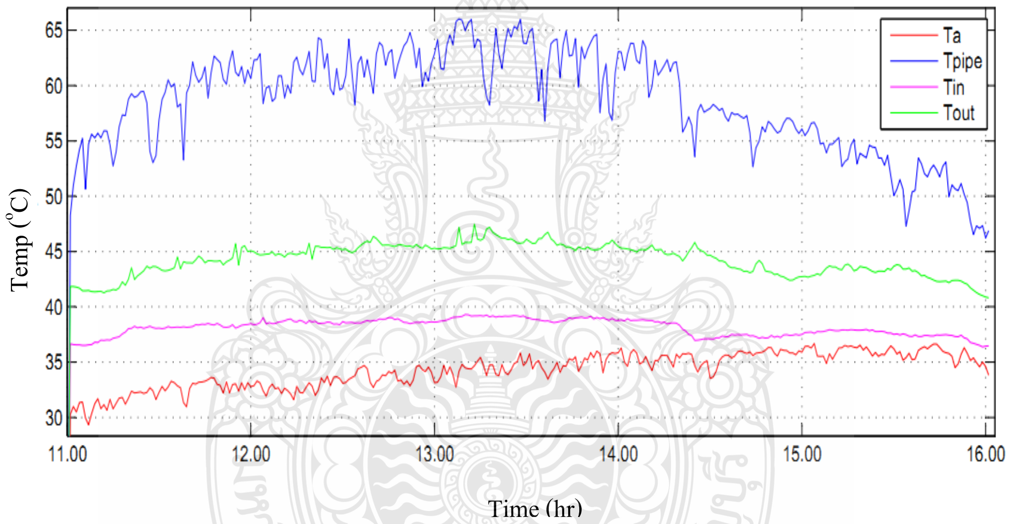


(ข)

รูปที่ ก 72 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2556

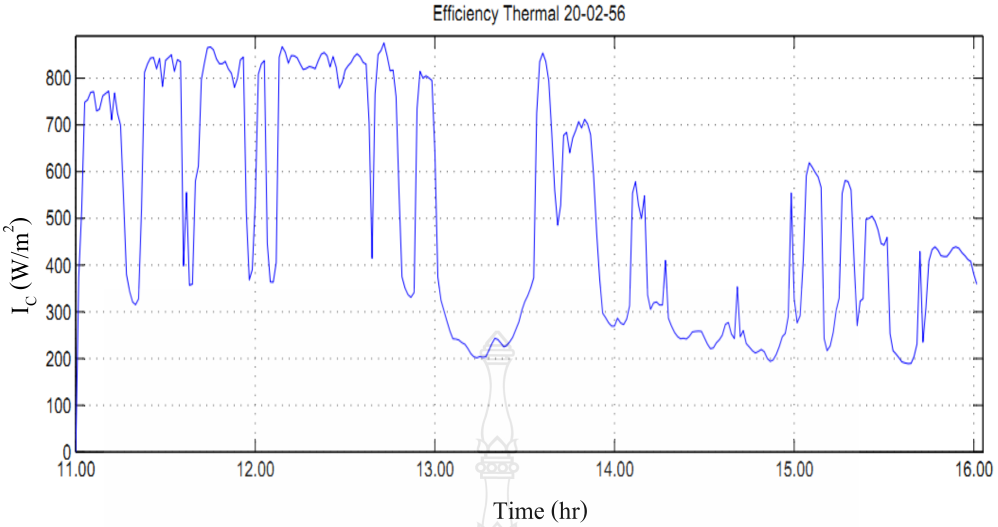


(ก)

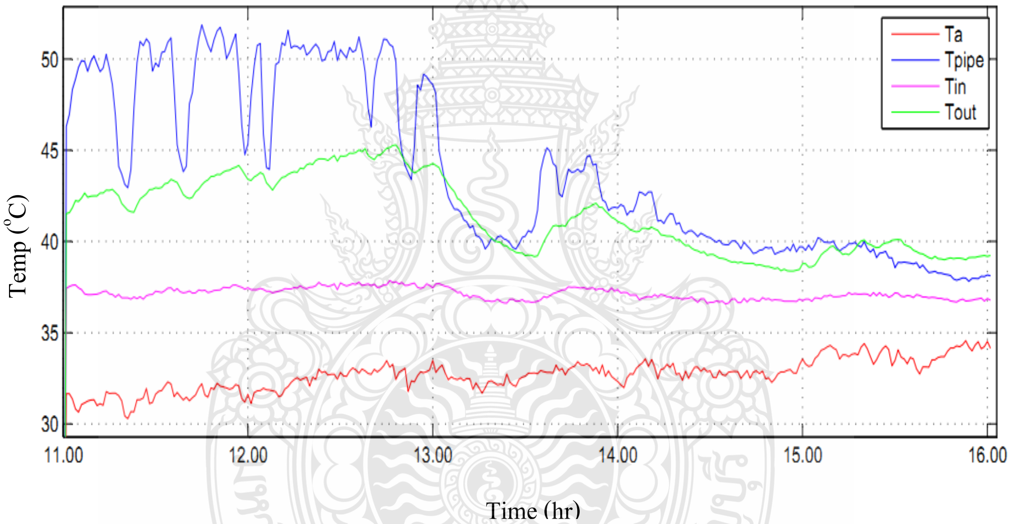


(ข)

รูปที่ ก 73 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2556

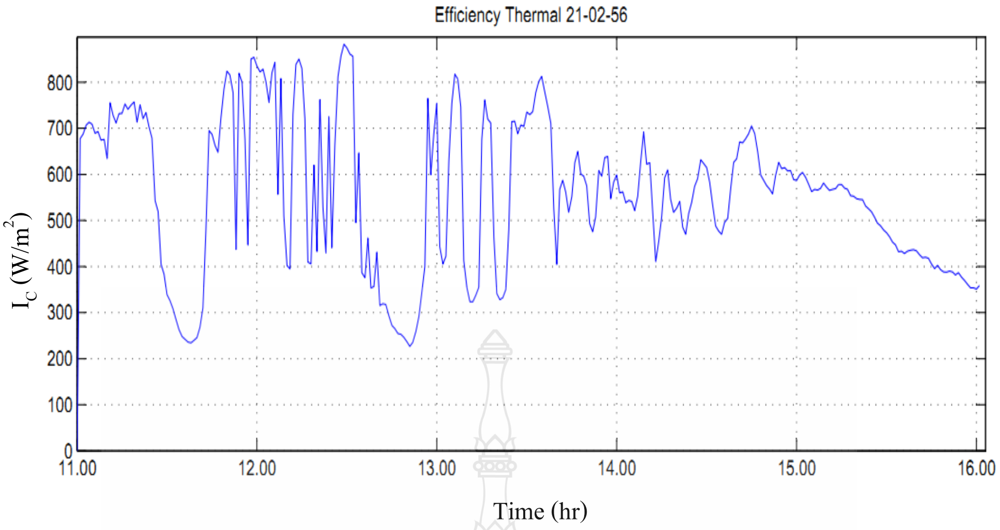


(ก)

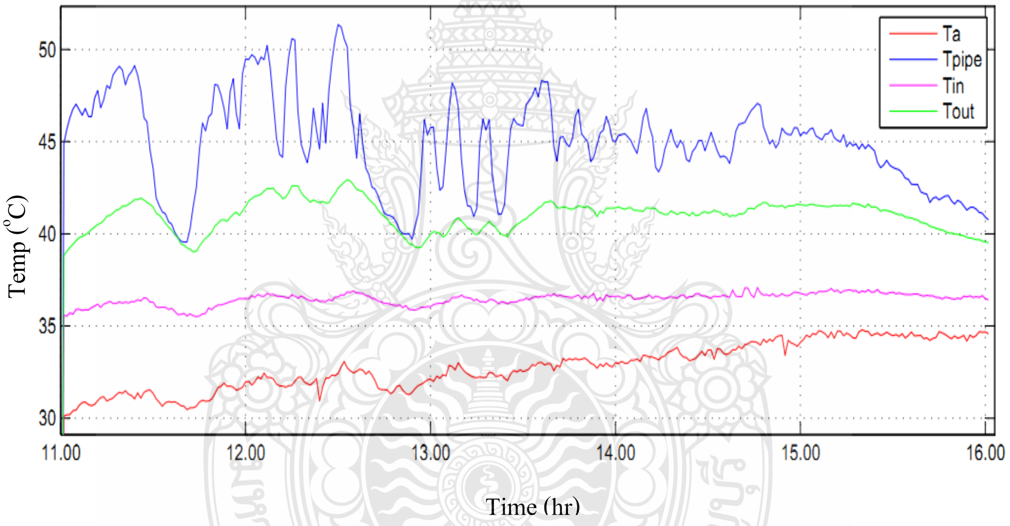


(ข)

รูปที่ ก 74 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2556



(ก)



(ข)

รูปที่ ก 75 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีรวมและอุณหภูมิน้ำกับเวลาของแผงน้ำร้อนจากวัสดุ PVC-C1 (ก) ค่ารังสีรวม (I_C) และ (ข) อุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม (T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) ณ วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2556

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดสอบการบ่มเร่งสภาวะแวดล้อม
(Accelerated Weathering Tester, QUV)

ข้อมูลการทดสอบการบ่มเร่งสภาวะ

ตารางที่ ข 1 ค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ PVC-C กับระยะเวลาชั่วโมงเร่งสภาวะ

Time (hr)	Tensile Strength (MPa)
0	42.20
500	44.36
1,000	44.38
1,500	45.71
2,000	43.82
2,500	44.95
3,000	44.87
3,500	43.43
4,000	43.99
4,500	45.07
5,000	43.52
6,000	43.83
7,000	43.15
8,000	44.70
9,000	43.51
10,000	42.91

ตารางที่ ข 2 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุ PVC-C กับระยะเวลาการเริ่มเร่งสภาวะ

Time (hr)	Elongation at Break (%)
0	7.67
500	5.91
1,000	6.53
1,500	5.85
2,000	5.69
2,500	4.74
3,000	4.94
3,500	4.94
4,000	5.84
4,500	5.76
5,000	6.50
6,000	5.05
7,000	4.60
8,000	4.63
9,000	5.66
10,000	5.06

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ข 3 ค่ายังมอดูลัส ของวัสดุ PVC-C กับระยะเวลาการเริ่มเร่งสภาวะ

Time (hr)	Young's Modulus (MPa)
0	2634.50
500	2730.72
1,000	2579.66
1,500	2679.10
2,000	2705.68
2,500	2717.14
3,000	2753.70
3,500	2673.00
4,000	2677.13
4,500	2741.56
5,000	2717.43
6,000	2885.22
7,000	2649.50
8,000	2676.53
9,000	2624.40
10,000	2645.60

ตารางที่ ข 4 ค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ Noryl กับระยะเวลาชั่วโมงเร่งสภาวะ

Time (hr)	Tensile Strength (MPa)
0	44.05
500	44.90
1,000	43.11
1,500	43.07
2,000	42.37
2,500	42.43
3,000	44.92
3,500	39.56
4,000	42.65
4,500	45.03
5,000	43.88
6,000	43.00
7,000	43.86
8,000	42.76
9,000	41.70
10,000	42.22

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ข 5 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุ Noryl กับระยะเวลาการเริ่มเร่งสภาวะ

Time (hr)	Elongation at Break(%)
0	5.20
500	5.71
1,000	3.96
1,500	4.11
2,000	4.21
2,500	3.70
3,000	4.17
3,500	3.11
4,000	4.40
4,500	4.35
5,000	4.20
6,000	4.17
7,000	4.27
8,000	4.37
9,000	4.20
10,000	3.74

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ข 6 ค่ายังมอดูลัส ของวัสดุ Noryl กับระยะเวลาการเริ่มเร่งสภาวะ

Time (hr)	Young's Modulus (MPa)
0	1888.57
500	1905.46
1,000	1907.24
1,500	1932.18
2,000	1873.44
2,500	1904.58
3,000	1963.88
3,500	1907.85
4,000	1725.45
4,500	1904.43
5,000	1921.20
6,000	1890.22
7,000	1924.64
8,000	1866.82
9,000	1860.24
10,000	1900.20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ข 7 ข้อมูลรวม QUV ของวัสดุผสม PVC-C 10,000 ชั่วโมง

Time (hr)	**Specimen (Number)**	**Tensile Strength (MPa)**	**Elongation at Break (%)**	**Young's Modulus (MPa)**
0	1	41.15	-	2629.90
	2	41.35	-	2655.80
	3	44.20	-	2702.10
	4	42.10	7.67	2550.20
	ค่าเฉลี่ย	42.20	7.67	2634.50
500	1	42.94	6.55	2898.00
	2	44.91	5.54	2687.50
	3	44.61	-	2746.00
	4	45.85	-	2733.10
	5	43.50	5.65	2589.00
	ค่าเฉลี่ย	44.36	5.91	2730.72
1,000	1	43.57	9.01	2611.40
	2	43.27	5.12	2544.30
	3	46.41	6.10	2557.70
	4	45.64	5.22	2682.70
	5	43.03	7.19	2502.20
	ค่าเฉลี่ย	44.38	6.53	2579.66
1,500	1	46.28	5.08	2691.60
	2	46.11	-	2758.60
	3	47.95	5.83	2606.40
	4	44.63	6.31	2627.90
	5	43.56	6.17	2711.00
	ค่าเฉลี่ย	45.71	5.85	2679.10

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
2,000	1	41.80	6.73	2678.70
	2	44.57	7.32	2639.10
	3	42.93	4.15	2675.90
	4	45.32	4.63	2846.80
	5	44.45	5.59	2687.90
	ค่าเฉลี่ย	43.82	5.69	2705.68
2,500	1	45.63	4.80	2655.90
	2	46.15	-	2711.90
	3	46.42	5.18	2671.40
	4	43.16	-	2776.20
	5	43.41	4.25	2770.30
	ค่าเฉลี่ย	44.9526	4.74	2717.14
3,000	1	44.22	4.09	2767.00
	2	43.54	-	2780.50
	3	44.24	-	2729.10
	4	45.08	6.00	2670.70
	5	47.28	4.74	2821.20
	ค่าเฉลี่ย	44.87	4.94	2753.70
3,500	1	42.58	4.79	2673.10
	2	47.37	4.85	2767.90
	3	42.99	4.53	2590.20
	4	43.01	5.52	2620.40
	5	41.23	5.01	2713.40
	ค่าเฉลี่ย	43.43	4.94	2673.00

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
4,000	1	43.93	6.39	2505.60
	2	43.33	5.57	2516.70
	3	44.35	5.70	2536.00
	4	44.38	5.70	-
	ค่าเฉลี่ย	43.99	5.84	2519.43
4,500	1	43.93	4.20	2685.00
	2	46.40	6.24	2613.70
	3	45.98	5.08	2960.30
	4	43.95	6.95	2623.70
	5	45.08	6.35	2825.10
	ค่าเฉลี่ย	45.07	5.76	2741.56
5,000	1	43.49	5.26	2653.00
	2	42.83	7.24	2828.50
	3	44.23	7.01	2670.80
	ค่าเฉลี่ย	43.52	6.50	2717.43
6,000	1	43.49	6.37	2952.90
	2	42.52	4.00	2801.30
	3	44.43	5.19	2902.00
	4	44.29	5.22	2884.40
	5	44.41	4.48	2885.50
	ค่าเฉลี่ย	43.83	5.05	2885.22
7,000	1	43.52	3.76	2680.10
	2	44.70	5.09	2652.60
	3	43.93	5.16	2696.50
	4	43.46	4.12	2671.60
	5	40.17	4.89	2546.70
	ค่าเฉลี่ย	43.15	4.60	2649.50

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
8,000	1	42.61	4.56	2505.40
	3	45.64	4.56	2772.10
	4	45.33	4.83	2704.80
	ค่าเฉลี่ย	44.70	4.63	2676.53
9,000	1	44.05	5.16	2534.80
	2	44.82	6.17	2668.60
	3	42.74	6.10	2587.70
	4	41.37	5.31	2581.40
	5	44.57	5.53	2749.50
	ค่าเฉลี่ย	43.51	5.66	2624.40
10,000	1	41.60	5.41	2640.60
	2	43.11	3.72	2500.70
	3	42.77	6.20	2851.60
	4	44.06	4.76	2662.20
	5	43.03	5.20	2572.90
	ค่าเฉลี่ย	42.91	5.06	2645.60

ตารางที่ ข 8 ข้อมูลรวม QUV ของวัสดุ Noryl 10,000 ชั่วโมง

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
0	1	45.65	5.13	1849.40
	2	44.02	6.87	1943.00
	3	42.48	3.59	1873.30
	ค่าเฉลี่ย	44.05	5.20	1888.57

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
500	1	44.50	6.70	1953.70
	2	45.23	4.20	1861.80
	3	44.69	4.67	1893.40
	4	44.54	8.11	1901.40
	5	45.53	4.90	1917.00
	ค่าเฉลี่ย	44.90	5.71	1905.46
1,000	1	43.77	4.00	1952.30
	2	40.88	3.07	2010.10
	3	44.68	5.14	1793.10
	4	45.69	4.46	1842.90
	ค่าเฉลี่ย	43.11	3.96	1907.24
1,500	1	43.48	3.58	1890.90
	2	41.91	3.31	2006.30
	3	45.80	5.40	1911.20
	4	43.90	5.22	1877.60
	5	40.24	3.06	1974.90
	ค่าเฉลี่ย	43.07	4.11	1932.18
2,000	1	43.63	4.93	1802.10
	2	45.08	5.56	1973.00
	3	39.78	3.28	1857.90
	4	42.77	3.58	1960.50
	5	40.58	3.73	1773.70
	ค่าเฉลี่ย	42.37	4.21	1873.44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
2,500	1	42.62	4.08	1798.50
	2	42.43	3.40	1954.30
	3	39.20	3.11	1928.20
	4	45.61	4.45	1878.30
	5	42.30	3.47	1963.60
	ค่าเฉลี่ย	42.43	3.70	1904.58
3,000	1	43.48	3.48	1908.60
	2	46.16	4.69	1959.50
	3	44.48	3.74	1990.30
	4	45.72	5.00	1936.40
	5	44.77	3.93	2024.60
	ค่าเฉลี่ย	44.92	4.17	1963.88
3,500	1	37.24	3.04	1817.80
	2	38.56	2.70	2009.90
	3	37.65	3.36	1676.00
	4	44.78	3.32	2127.70
	ค่าเฉลี่ย	39.56	3.11	1907.85
4,000	1	45.78	4.70	1793.10
	2	45.53	4.93	1774.20
	3	39.67	4.03	1706.50
	4	39.63	3.94	1628.00
	ค่าเฉลี่ย	42.65	4.40	1725.45
4,500	1	44.42	3.95	2066.10
	2	44.67	4.24	1943.20
	3	45.12	4.41	1824.20
	4	45.91	4.77	1784.20
	ค่าเฉลี่ย	45.03	4.35	1904.43

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
5,000	1	41.94	3.12	1932.90
	2	45.29	5.03	1931.80
	3	44.40	4.43	1898.90
	ค่าฉลี่ย	43.88	4.20	1921.20
6,000	1	44.17	5.01	1818.60
	2	41.67	3.25	1908.60
	3	41.93	3.40	1904.80
	4	43.73	3.67	1845.30
	5	43.50	5.52	1973.80
	ค่าเฉลี่ย	43.00	4.17	1890.22
7,000	1	42.01	3.56	1978.80
	2	44.99	4.46	1835.60
	3	45.06	4.45	1904.50
	4	43.18	4.01	1921.70
	5	44.08	4.87	1982.60
	ค่าเฉลี่ย	43.86	4.27	1924.64
8,000	1	43.58	5.42	1879.00
	2	41.03	3.52	1924.20
	3	40.37	3.81	1853.30
	4	44.38	4.15	1817.60
	5	44.46	4.96	1860.50
	ค่าเฉลี่ย	42.76	4.37	1866.92

Time (hr)	Specimen (Number)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
9,000	1	45.06	4.97	1740.50
	2	40.43	3.98	1858.10
	3	38.84	3.19	1973.90
	4	45.17	5.73	1840.50
	5	39.02	3.13	1888.20
	ค่าเฉลี่ย	41.70	4.20	1860.24
10,000	1	41.86	3.99	1907.40
	2	43.73	3.93	1880.70
	3	43.18	3.55	1936.40
	4	40.09	3.48	1876.30
	ค่าเฉลี่ย	42.22	3.74	1900.20

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกล ของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1.1 การทดสอบความหนาแน่น

ตารางที่ ค 1 การทดสอบความหนาแน่นของ PVC

Specimen (Number)	**Weight in Air (g) [A]**	**Weight in Isopropanol (g) [B]**	**[A]-[B] (g)**	**Density (g/cm^3)**
1	0.0390	0.0202	0.0188	1.6305
2	0.0472	0.0245	0.0227	1.6343
3	0.0492	0.0255	0.0237	1.6317
4	0.0385	0.0200	0.0185	1.6357
5	0.0405	0.0210	0.0195	1.6325
6	0.0474	0.0245	0.0229	1.6269
7	0.0371	0.0192	0.0179	1.6291
8	0.0325	0.0168	0.0157	1.6271
9	0.0408	0.0211	0.0197	1.6279
10	0.0393	0.0204	0.0189	1.6344
ค่าเฉลี่ย				1.6310

ตารางที่ ค 2 การทดสอบความหนาแน่นของ PB

Specimen (Number)	**Weight in Air (g) [A]**	**Weight in Isopropanol (g) [B]**	**[A]-[B] (g)**	**Density (g/cm^3)**
1	0.0169	0.0028	0.0141	0.9421
2	0.0204	0.0035	0.0169	0.9488
3	0.0137	0.0023	0.0114	0.9446
4	0.0157	0.0026	0.0131	0.9420
5	0.0127	0.0022	0.0105	0.9507
6	0.0155	0.0027	0.0128	0.9518
7	0.0136	0.0023	0.0113	0.946
8	0.0123	0.0021	0.0102	0.9478
9	0.0155	0.0026	0.0129	0.9444
10	0.0128	0.0022	0.0106	0.9491
ค่าเฉลี่ย				0.9467

ตารางที่ ค 3 การทดสอบความหนาแน่นของ PP-R

Specimen (Number)	Weight in Air (g) [A]	Weight in Isopropanol (g) [B]	[A]-[B] (g)	Density (g/cm^3)
1	0.0169	0.002	0.0149	0.8915
2	0.0243	0.0031	0.0212	0.9009
3	0.0335	0.0043	0.0292	0.9017
4	0.0276	0.0035	0.0241	0.9001
5	0.0215	0.0029	0.0186	0.9085
6	0.0308	0.0041	0.0267	0.9066
7	0.0261	0.0035	0.0226	0.9077
8	0.0149	0.002	0.0129	0.9078
9	0.0156	0.0021	0.0135	0.9082
10	0.0239	0.0031	0.0208	0.9031
ค่าเฉลี่ย				0.9036

ตารางที่ ค 4 การทดสอบความหนาแน่นของ PVC-C

Specimen (Number)	Weight in Air (g) [A]	Weight in Isopropanol (g) [B]	[A]-[B] (g)	Density (g/cm^3)
1	0.0278	0.0125	0.0153	1.4282
2	0.0268	0.0121	0.0147	1.4330
3	0.0273	0.0123	0.015	1.4305
4	0.0283	0.0128	0.0155	1.4351
5	0.0307	0.0139	0.0168	1.4363
6	0.0256	0.0116	0.014	1.4373
7	0.0297	0.0134	0.0163	1.4322
8	0.0284	0.0128	0.0156	1.4309
9	0.0285	0.0129	0.0156	1.4360
10	0.0269	0.0122	0.0147	1.4383
ค่าเฉลี่ย				1.4338

ตารางที่ ค 5 การทดสอบความหนาแน่นของ Noryl

Specimen (Number)	Weight in Air (g) [A]	Weight in Isopropanol (g) [B]	[A]-[B] (g)	Density (g/cm^3)
1	0.0229	0.0055	0.0174	1.0344
2	0.0212	0.0053	0.0159	1.0480
3	0.0237	0.0058	0.0179	1.0407
4	0.0200	0.0049	0.0151	1.0411
5	0.0178	0.0039	0.0139	1.0065
6	0.0194	0.0049	0.0145	1.0516
7	0.0202	0.0045	0.0157	1.0113
8	0.0189	0.0031	0.0158	0.9402
9	0.0211	0.0047	0.0164	1.0113
10	0.0220	0.0045	0.0175	0.9881
ค่าเฉลี่ย				1.0173

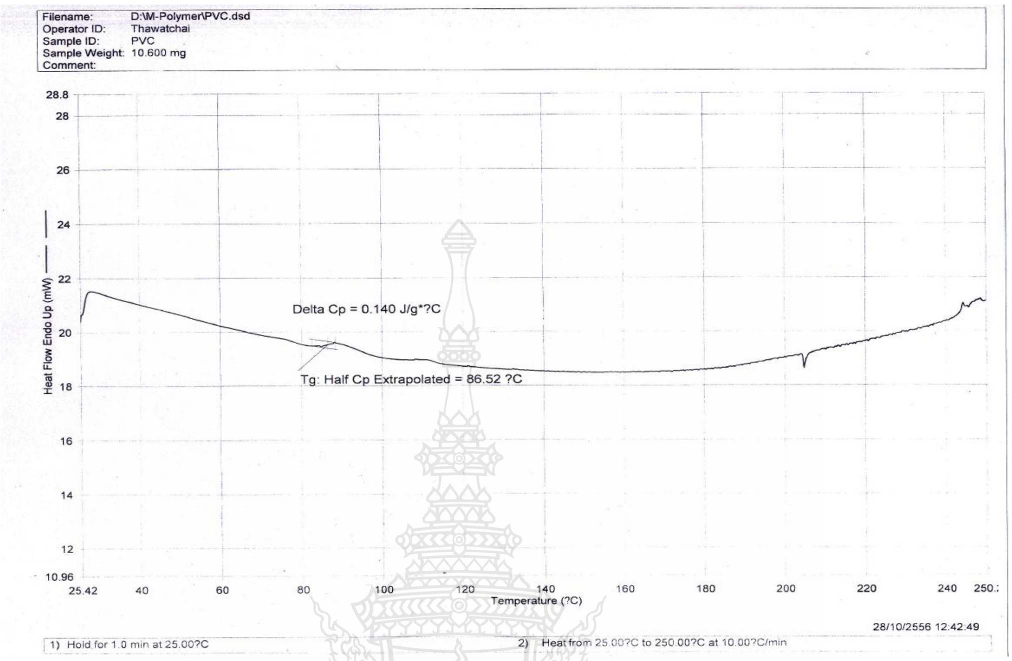
1.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 6 ผลการดูดซึมน้ำ

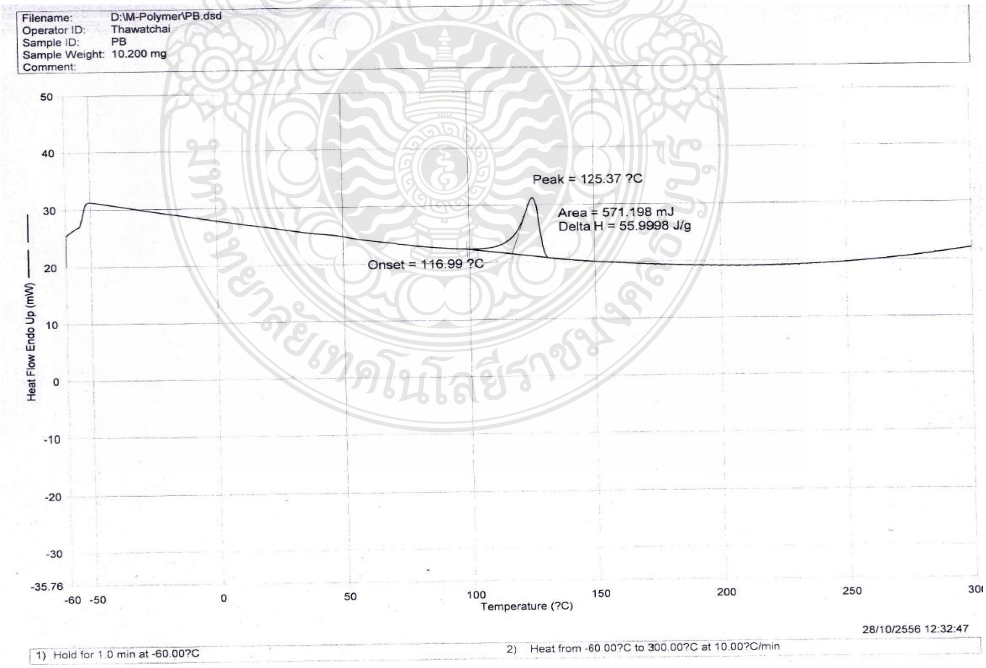
วัสดุ	น้ำหนักก่อนแช่	น้ำหนักหลังแช่	ร้อยละการดูดซึมน้ำ
PVC-1	9.1601	9.1627	0.0284
PVC-2	9.5326	9.5350	0.0252
PVC-3	9.4118	9.4139	0.0223
PB-1	4.7478	4.7484	0.0126
PB-2	4.7130	4.7134	0.0085
PP-R-1	4.6971	4.6982	0.0234
PP-R-2	4.8189	4.8199	0.0208
PVC-C-1	8.8657	8.8695	0.0429
PVC-C-2	9.1806	9.1843	0.0403
PVC-C-3	8.9498	8.9535	0.0413
Noryl-1	6.0014	6.0081	0.1116
Noryl-2	6.1421	6.1489	0.1107
Noryl-3	5.8522	5.8590	0.1162

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

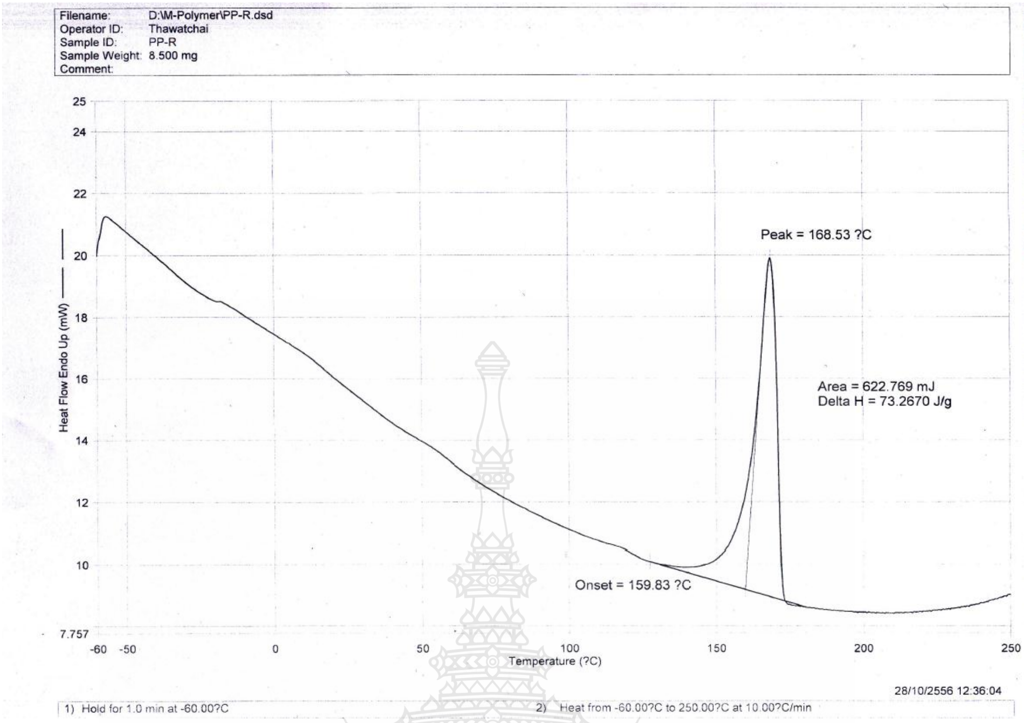
2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน



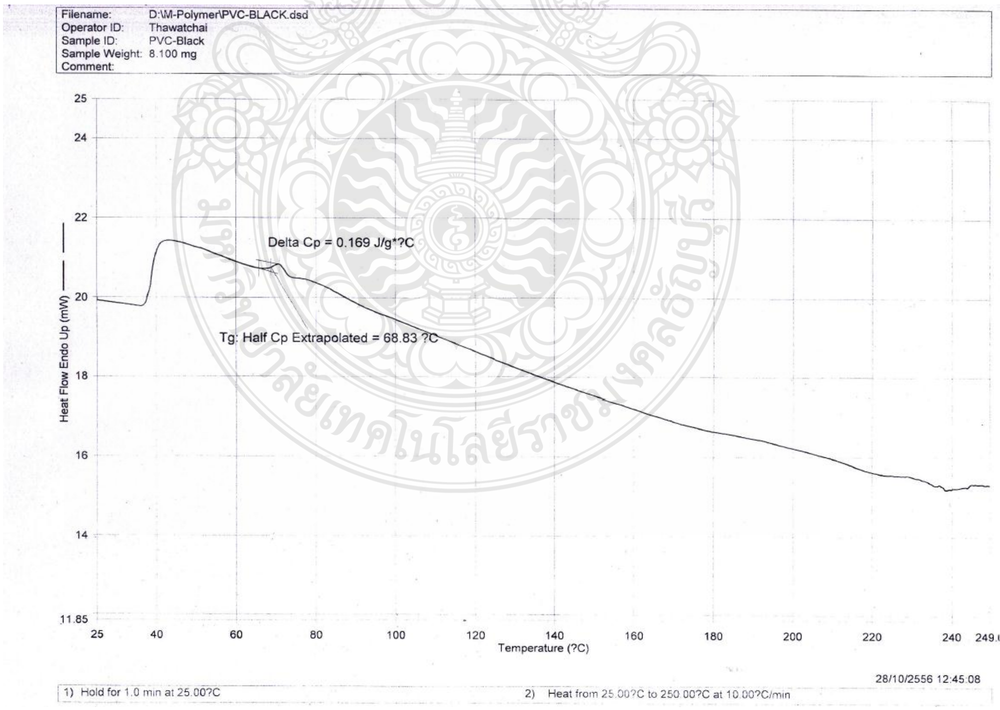
รูปที่ ค 1 เทอร์โมแกรมของวัสดุ PVC ทำการทดสอบด้วยเทคนิค DSC



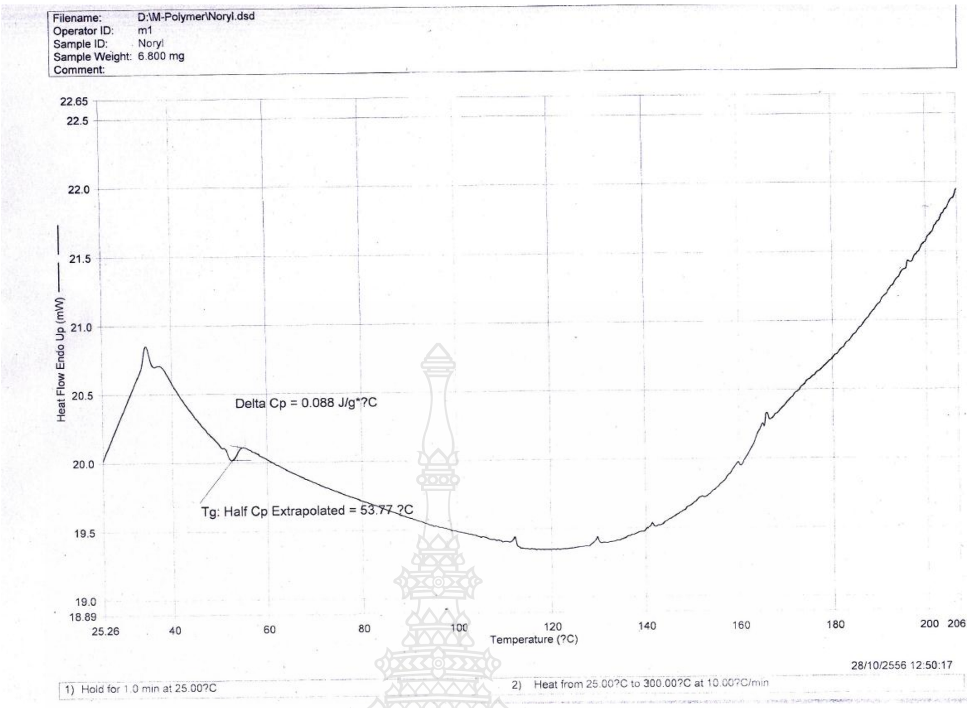
รูปที่ ค 2 เทอร์โมแกรมของวัสดุ PB ทำการทดสอบด้วยเทคนิค DSC



รูปที่ ค 3 เทอร์โมแกรมของวัสดุ PP-R ทำการทดสอบด้วยเทคนิค DSC



รูปที่ ค 4 เทอร์โมแกรมของวัสดุ PVC-C ทำการทดสอบด้วยเทคนิค DSC



รูปที่ ค 5 เทอร์โมแกรมของวัสดุ Noryl ทำการทดสอบด้วยเทคนิค DSC

3 การทดสอบสมบัติทางกล

3.1 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

ตารางที่ ค 7 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ของ PVC

Specimen (Number)	**Tensile Strength (MPa)**	**Elongation at Break (%)**	**Young's Modulus (MPa)**
1	24.82	2.46	3808.60
2	26.40	3.10	3722.60
3	25.74	4.57	3723.30
4	25.24	2.81	3881.70
ค่าเฉลี่ย	25.55	3.24	3784.05

ตารางที่ ค 8 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ของ PB

Specimen (Number)	**Tensile Strength (MPa)**	**Elongation at Break (%)**	**Young's Modulus (MPa)**
1	26.51	215.61	256.36
2	26.09	199.89	240.37
ค่าเฉลี่ย	26.30	207.75	248.37

ตารางที่ ค 9 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ของ PP-R

Specimen (Number)	**Tensile Strength (MPa)**	**Elongation at Break (%)**	**Young's Modulus (MPa)**
1	23.98	105.75	1149.10
2	21.75	95.43	1204.21
ค่าเฉลี่ย	23.00	100.60	1176.66

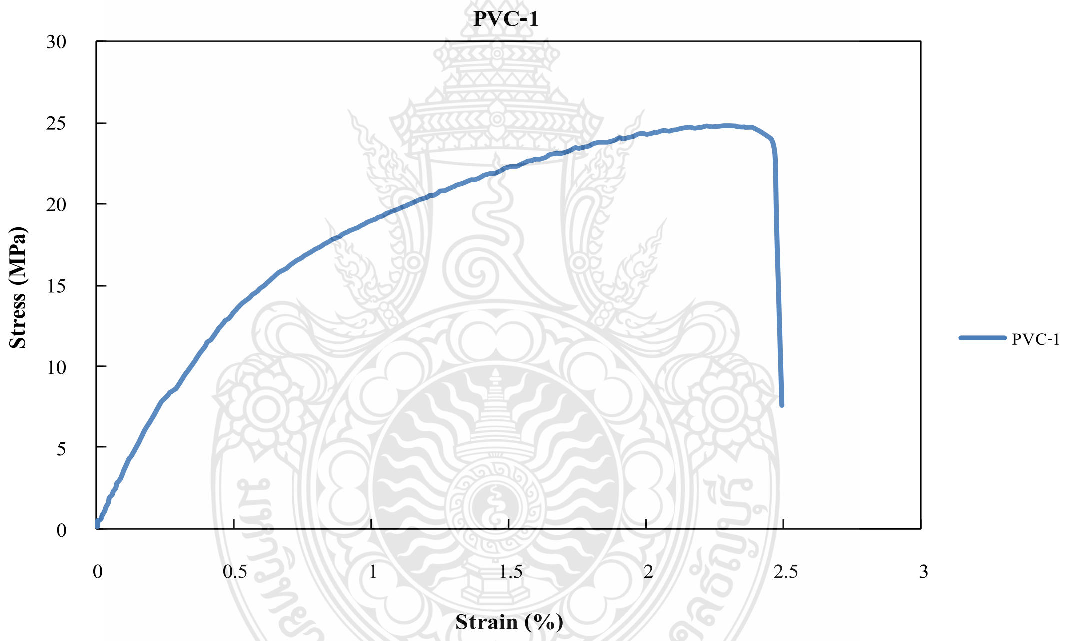
ตารางที่ ค 10 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ของ PVC-C

Specimen (Number)	**Tensile Strength (MPa)**	**Elongation at Break (%)**	**Young's Modulus (MPa)**
1	41.15	6.02	2629.90
2	41.36	9.43	2655.80
3	44.18	7.46	2702.10
4	42.10	7.67	2550.20
ค่าเฉลี่ย	42.20	7.64	2634.50

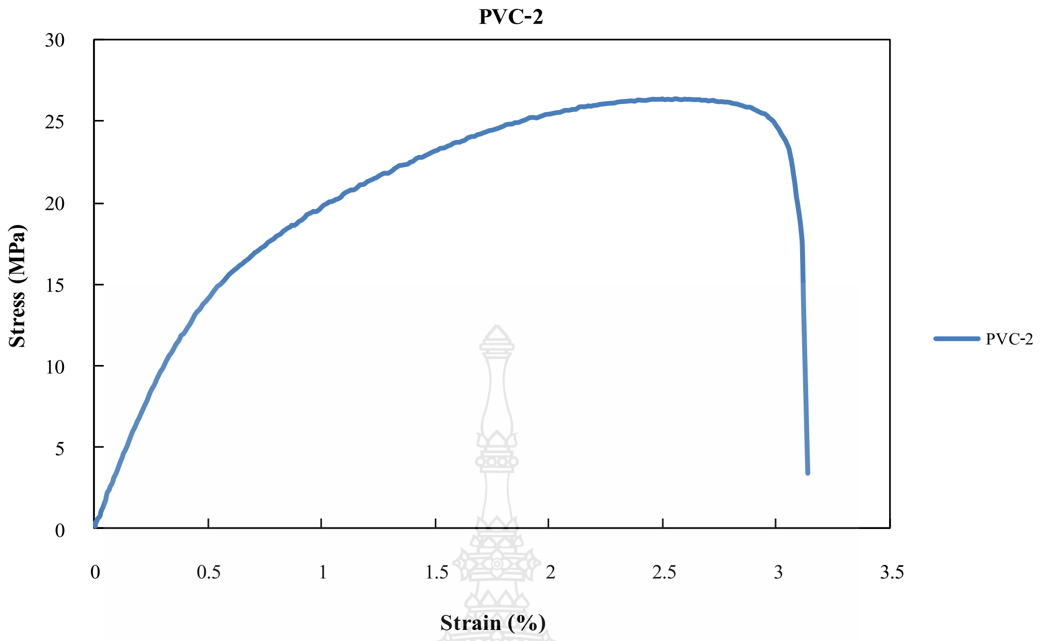
ตารางที่ ค 11 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัส ของ Noryl

Sample	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Young's Modulus (MPa)
1	45.65	5.13	1849.40
2	44.02	6.87	1943.00
3	42.48	3.59	1873.30
ค่าเฉลี่ย	44.05	5.20	1888.57

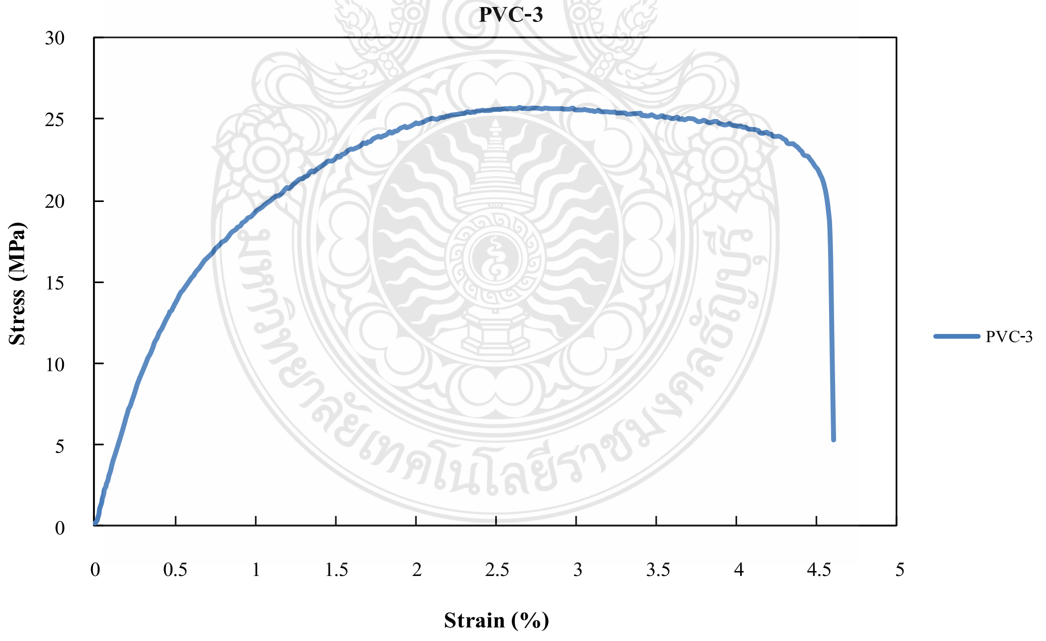
ข้อมูลการพล็อตกราฟ Stress-Strain ของวัสดุชนิดต่างๆ



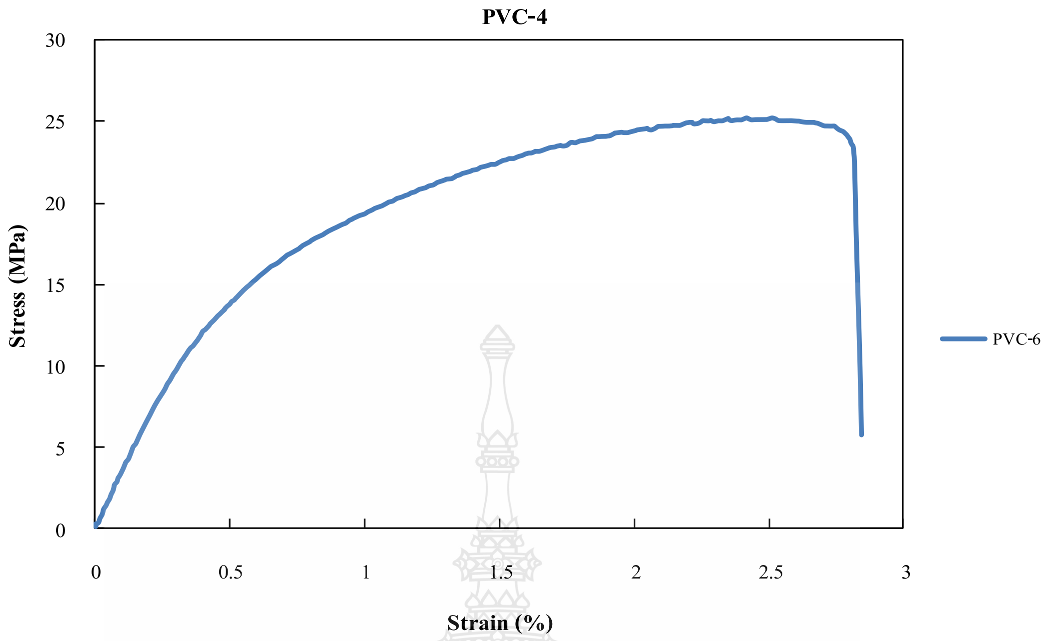
รูปที่ ค 6 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-1



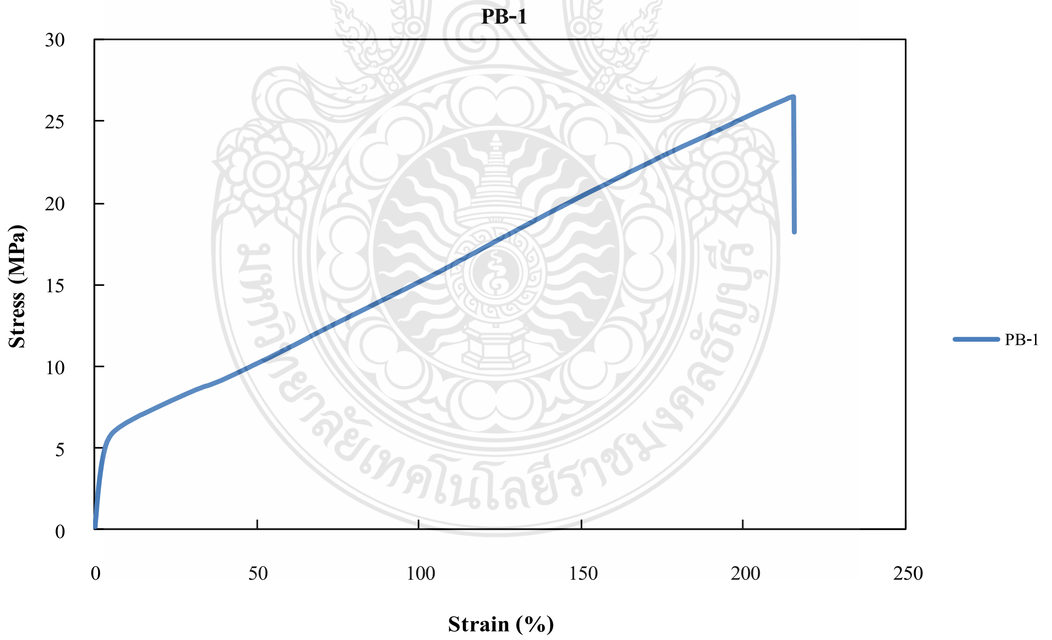
รูปที่ ค 7 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-2



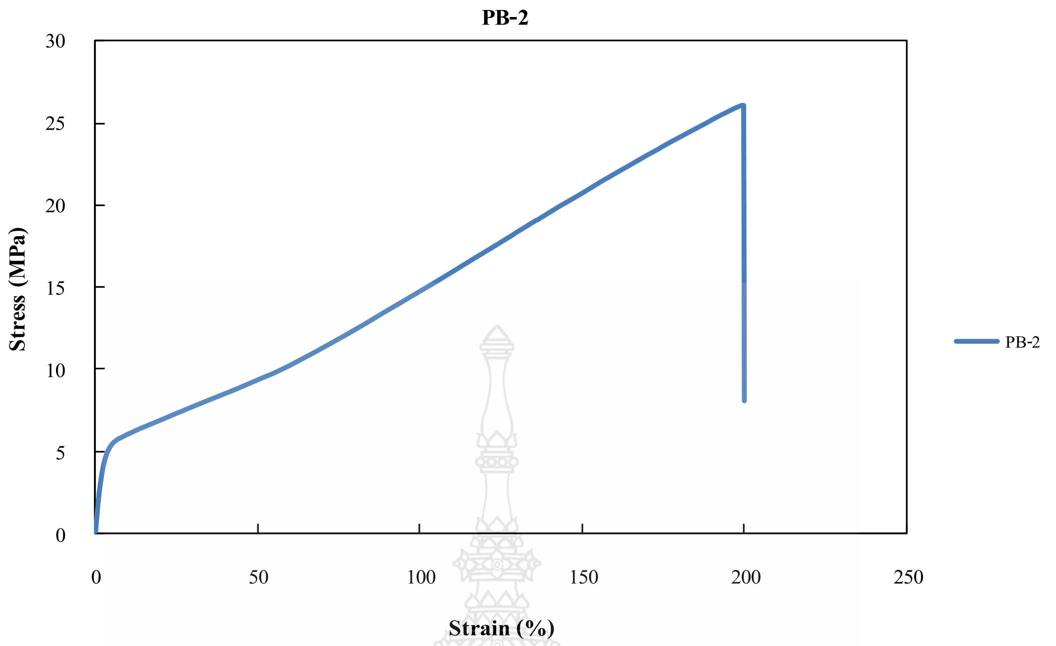
รูปที่ ค 8 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-3



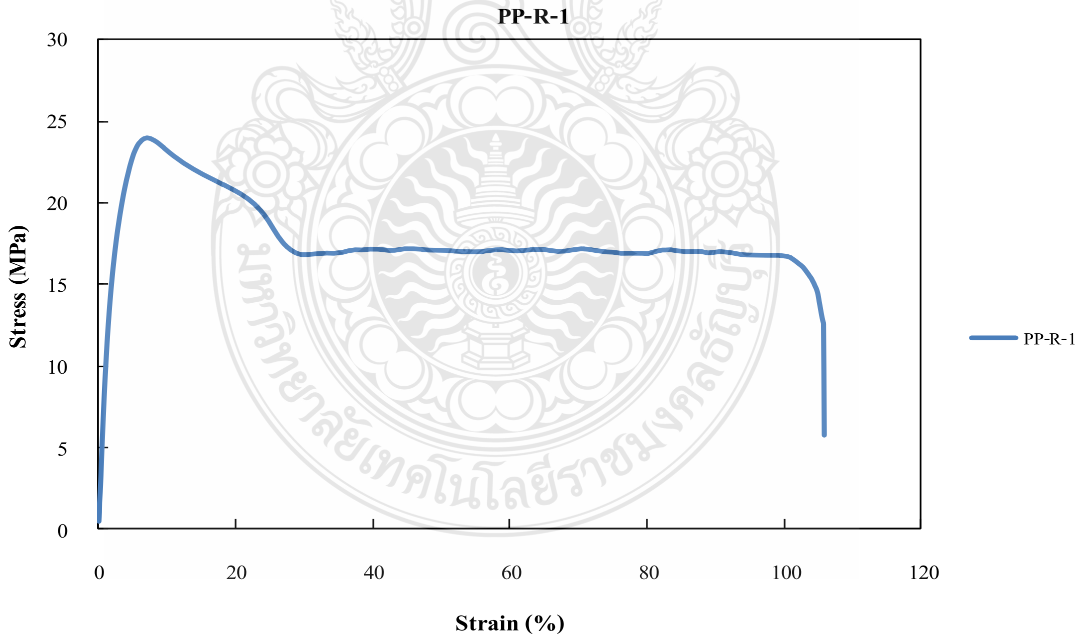
รูปที่ ค 9 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-4



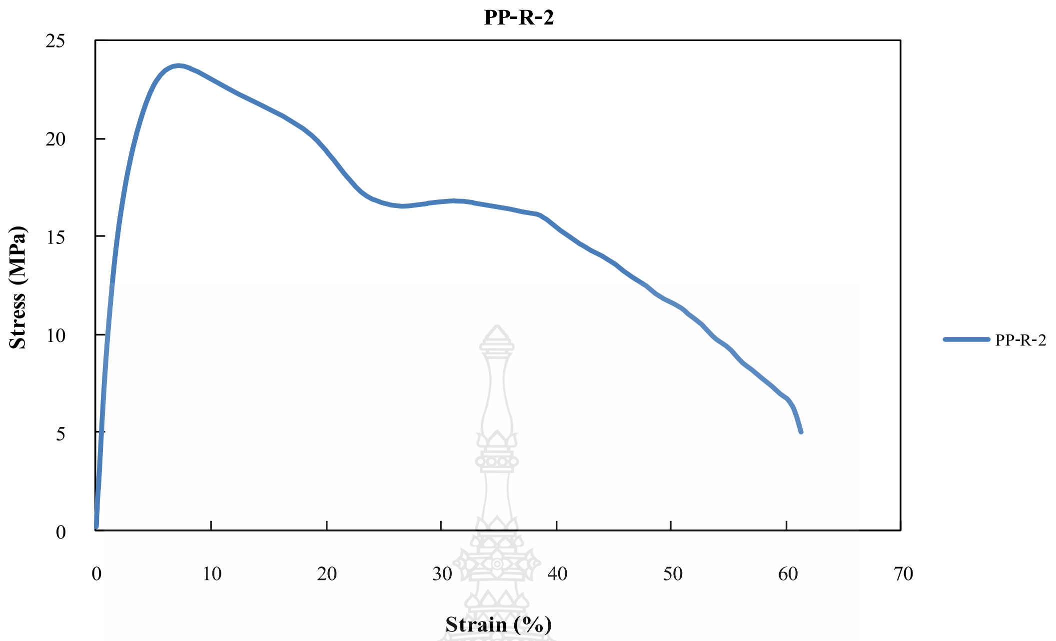
รูปที่ ค 10 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PB-1



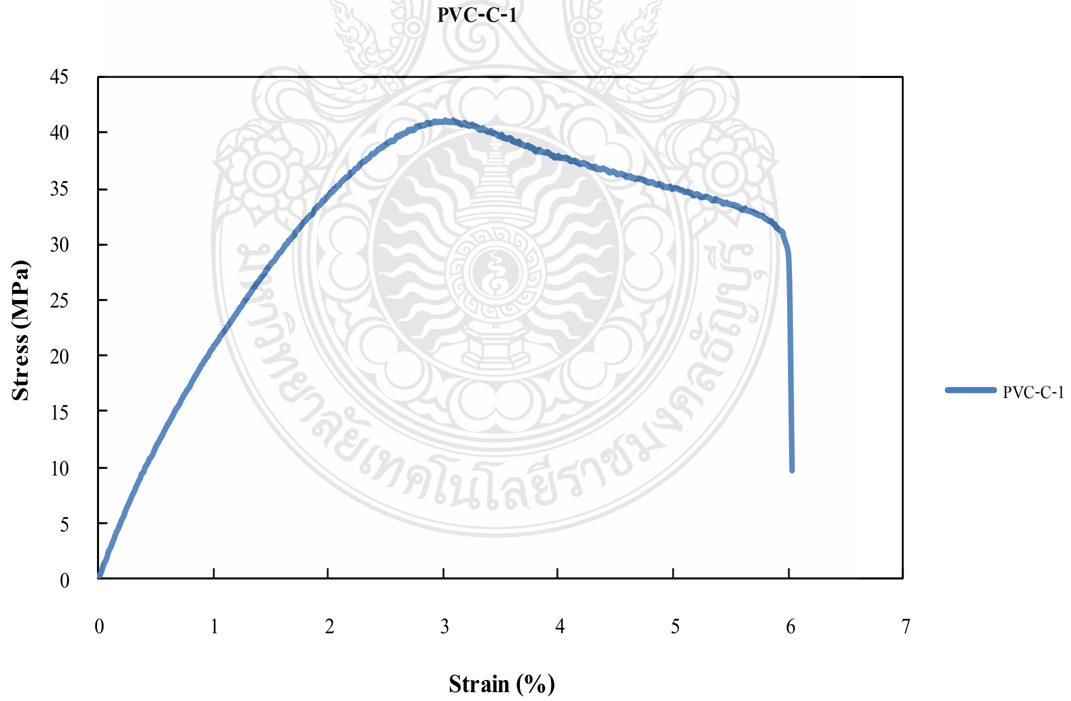
รูปที่ ค 11 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PB-2



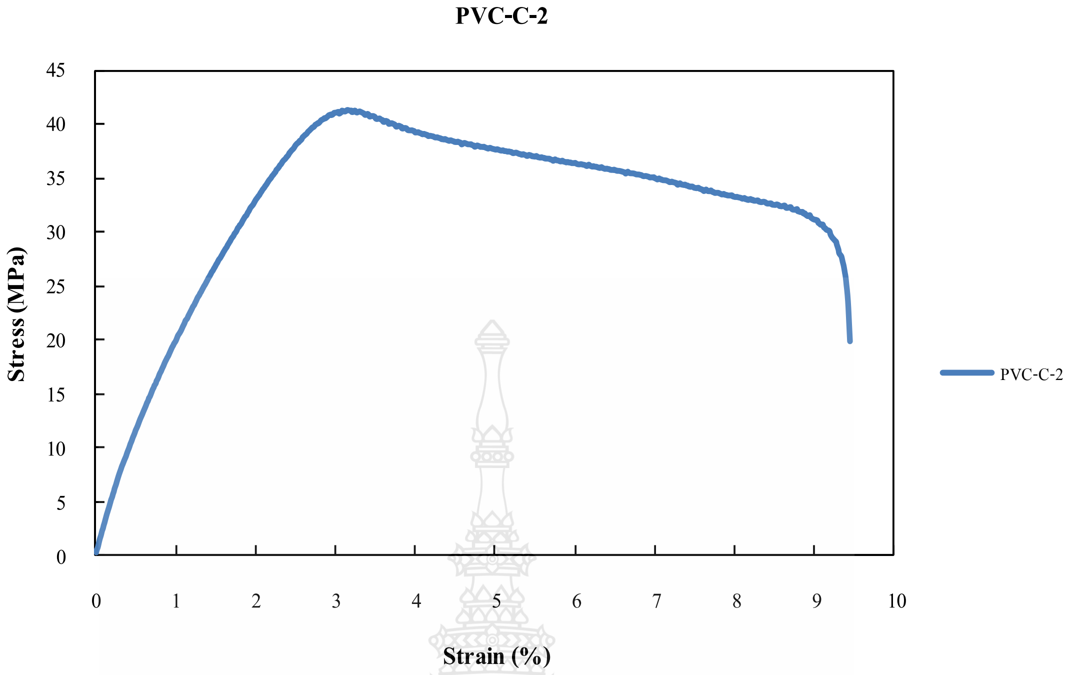
รูปที่ ค 12 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PP-R-1



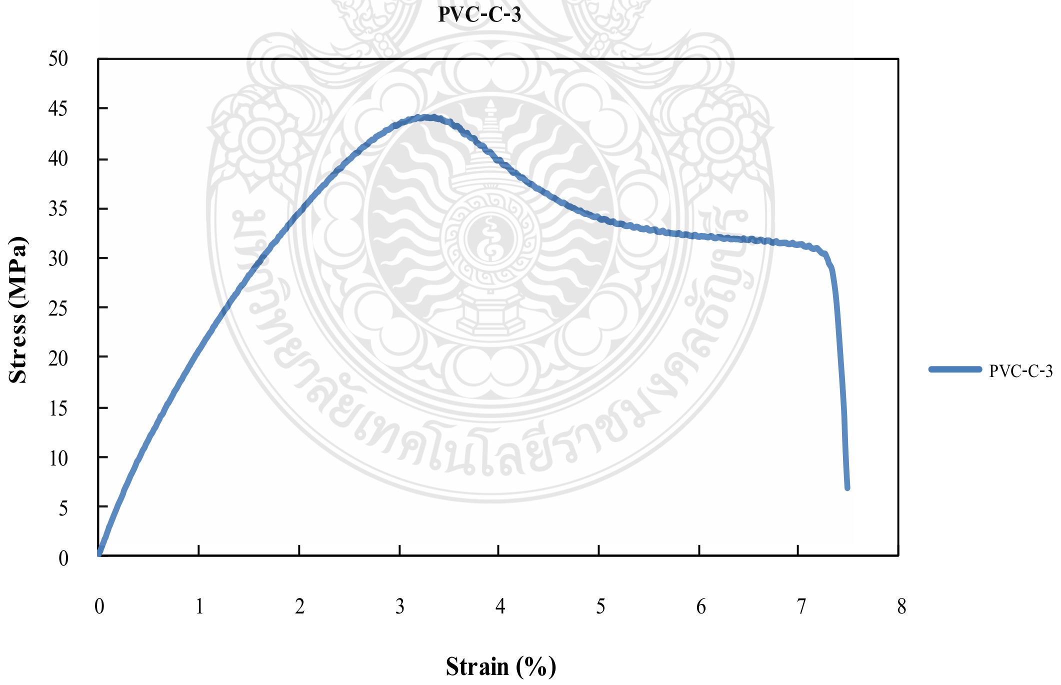
รูปที่ ค 13 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PP-R-2



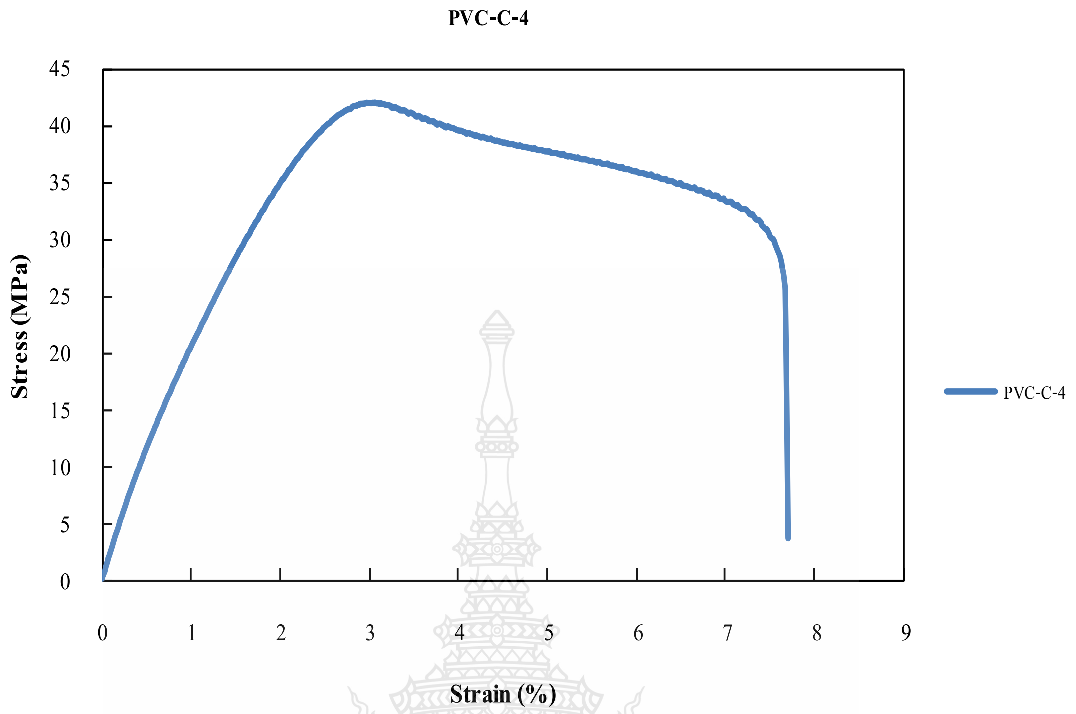
รูปที่ ค 14 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-C-1



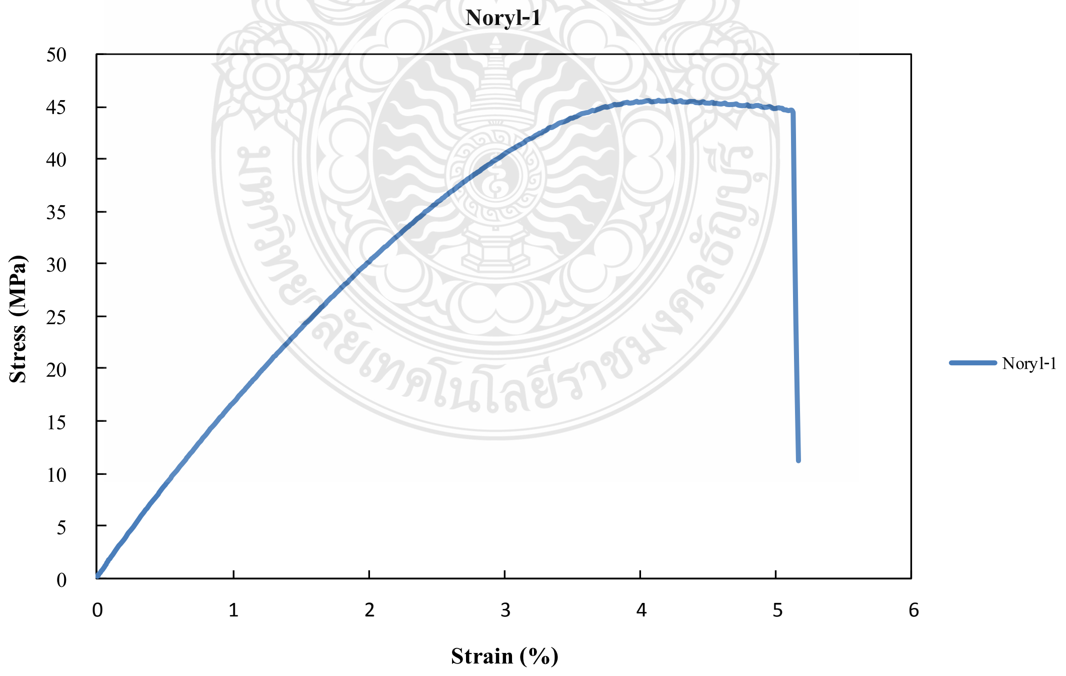
รูปที่ ค 15 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-C-2



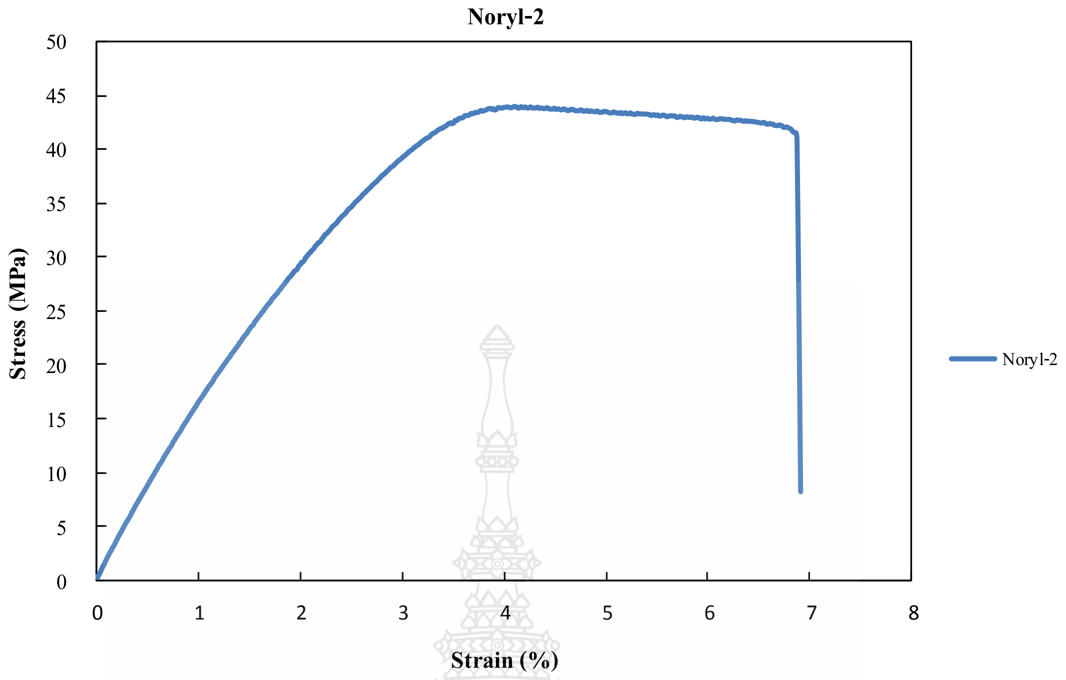
รูปที่ ค 16 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-C-3



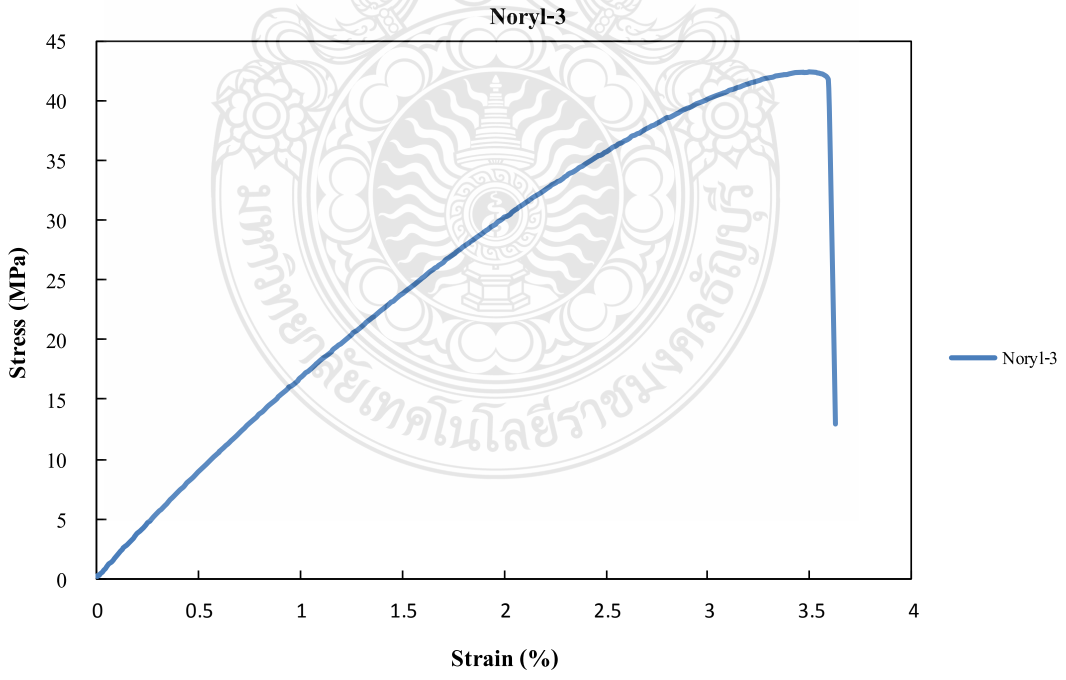
รูปที่ ค 17 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ PVC-C-4



รูปที่ ค 18 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ Noryl-1



รูปที่ ค 19 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ Noryl-2



รูปที่ ค 20 กราฟ Stress-Strain ของวัสดุ Noryl-3

3.2 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก

ตารางที่ ค 12 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของ PVC

วัสดุ	ค่าที่อ่าน (J)	ค่าตีเปล่า (J)	ผลต่าง (J)	ความหนา (mm)	ค่าคำนวณ (J/m)
PVC-1	0.143	0.024	0.119	2.93	40.61
PVC-2	0.144	0.024	0.120	2.92	41.10
PVC-3	0.155	0.024	0.131	3.18	41.19
PVC-4	0.151	0.024	0.127	2.91	43.64
PVC-5	0.149	0.024	0.125	2.95	42.37
PVC-6	0.158	0.024	0.1343	3.25	41.32
PVC-7	0.146	0.024	0.122	2.89	42.21
PVC-8	0.148	0.024	0.124	2.89	42.91
ค่าเฉลี่ย					41.92

ตารางที่ ค 13 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของ PB

วัสดุ	ค่าที่อ่าน (J)	ค่าตีเปล่า (J)	ผลต่าง (J)	ความหนา (mm)	ค่าคำนวณ (J/m)
PB-1	1.520	0.024	1.496	3.20	467.50
PB-2	1.402	0.024	1.378	2.97	463.97
PB-3	1.540	0.024	1.516	3.23	469.35
PB-4	1.470	0.024	1.446	3.10	466.45
PB-5	1.421	0.024	1.397	2.98	468.79
PB-6	1.450	0.024	1.426	3.05	467.54
PB-7	1.489	0.024	1.465	3.12	469.55
PB-8	1.521	0.024	1.497	3.20	467.81
PB-9	1.450	0.024	1.426	2.98	478.52
ค่าเฉลี่ย					468.83

ตารางที่ ค 14 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของ PP-R

วัสดุ	ค่าที่อ่าน (J)	ค่าตีเปล่า (J)	ผลต่าง (J)	ความหนา (mm)	ค่าคำนวณ (J/m)
PP-R-1	1.110	0.024	1.086	3.10	350.32
PP-R-2	1.063	0.024	1.039	2.98	348.79
PP-R-3	1.118	0.024	1.094	3.13	349.52
PP-R-4	1.072	0.024	1.048	3.00	349.33
PP-R-5	1.062	0.024	1.038	2.99	347.15
PP-R-6	1.082	0.024	1.058	3.03	349.17
PP-R-7	1.111	0.024	1.087	3.11	349.51
PP-R-8	1.134	0.024	1.110	3.19	347.96
PP-R-9	1.076	0.024	1.052	3.01	349.50
ค่าเฉลี่ย					349.03

ตารางที่ ค 15 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของ PVC-C

วัสดุ	ค่าที่อ่าน (J)	ค่าตีเปล่า (J)	ผลต่าง (J)	ความหนา (mm)	ค่าคำนวณ (J/m)
PVC-C-1	0.128	0.024	0.104	2.91	35.74
PVC-C-2	0.184	0.024	0.16	2.90	55.17
PVC-C-3	0.152	0.024	0.128	3.19	40.13
PVC-C-4	0.168	0.024	0.144	2.90	49.66
PVC-C-5	0.152	0.024	0.128	2.94	43.54
PVC-C-6	0.144	0.024	0.12	3.27	36.70
PVC-C-7	0.136	0.024	0.112	2.88	38.89
PVC-C-8	0.160	0.024	0.136	2.88	47.22
ค่าเฉลี่ย					43.38

ตารางที่ ค 16 ค่าความทนต่อแรงกระแทกของ PVC-C

วัสดุ	ค่าที่อ่าน (J)	ค่าตีเปล่า (J)	ผลต่าง (J)	ความหนา (mm)	ค่าคำนวณ (J/m)
Noryl-1	1.064	0.024	1.040	3.29	316.11
Noryl-2	0.984	0.024	0.960	2.93	327.65
Noryl-3	1.000	0.024	0.976	3.31	294.86
Noryl-4	0.792	0.024	0.768	3.04	252.63
Noryl-5	0.656	0.024	0.632	2.96	213.51
Noryl-6	0.912	0.024	0.888	3.08	288.31
Noryl-7	0.888	0.024	0.864	3.15	274.29
Noryl-8	0.744	0.024	0.720	3.24	222.22
Noryl-9	0.744	0.024	0.720	2.96	243.24
ค่าเฉลี่ย					270.31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.3 การทดสอบความทนการดัดงอของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

ตารางที่ ค 17 ค่าความทนการดัดงอของ PVC, PB, PP-R, PVC-C และ Noryl

Materials	Flexural Strength (MPa)
PVC-1	43.39
PVC-2	44.52
ค่าเฉลี่ย	43.95
PB-1	6.951
PB-2	6.68
ค่าเฉลี่ย	6.82
PP-R-1	28.01
PP-R-2	30.28
ค่าเฉลี่ย	29.15
PVC-C-1	70.30
PVC-C-2	69.50
PVC-C-3	76.70
PVC-C-4	69.90
PVC-C-5	72.80
ค่าเฉลี่ย	71.83
Noryl-1	78.60
Noryl-2	79.50
Noryl-3	76.30
Noryl-4	73.20
Noryl-5	70.60
ค่าเฉลี่ย	75.64

3.4 การทดสอบค่าความแข็งที่ผิวของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

ตารางที่ ค 18 ค่าความแข็งที่ผิวของ PVC, PB, PP-R, PVC-C และ Noryl

Materials	Hardness (HRS)
PVC-1	77.20
PVC-2	76.00
PVC-3	76.30
ค่าเฉลี่ย	76.50
PB-1	48.90
PB-2	46.40
PB-3	47.70
ค่าเฉลี่ย	47.67
PP-R-1	70.3
PP-R-2	69.65
PP-R-3	70.2
ค่าเฉลี่ย	70.05
PVC-C-1	93.70
PVC-C-2	92.60
PVC-C-3	93.20
PVC-C-4	93.60
PVC-C-5	93.90
ค่าเฉลี่ย	93.40
Noryl-1	102.20
Noryl-2	100.40
Noryl-3	100.60
Noryl-4	101.00
Noryl-5	100.30
ค่าเฉลี่ย	100.90

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ข้อมูลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ ค 19 กรณีไม่มีแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (เครื่องล้างจานขนาด 3,180 วัตต์ ใช้เวลาในการให้ความร้อนน้ำ 60 ลิตร เพื่อให้ได้ อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลาประมาณ 15 นาที) และใน 1 วันมีการใช้เครื่องล้างจาน 6 ครั้ง

ไฟฟ้า (หน่วย)	**ค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)**	**หน่วยที่ใช้งานจริง (หน่วยต่อเดือน)**	**คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)**	**คิดเป็นเงิน (บาทต่อปี)**
35 หน่วยแรก	2.4346	35	85.21	-
115 หน่วยต่อไป	1.1236	115	129.21	-
250 หน่วยต่อไป	2.1329	250	533.23	-
เกิน 400หน่วย	2.4226	320	775.23	-
รวม	-	720	1,522.88	18,274.57

ตารางที่ ค 20 กรณีมีแผงดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับระบบเครื่องล้างจาน (เครื่องล้างจานขนาด 3,180 วัตต์ ใช้เวลาในการให้ความร้อนน้ำ 60 ลิตร เพื่อให้ได้ อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลาเพียง 2 นาที) และใน 1 วันมีการใช้เครื่องล้างจาน 6 ครั้ง

ไฟฟ้า (หน่วย)	**ค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)**	**หน่วยที่ใช้งานจริง (หน่วยต่อเดือน)**	**คิดเป็นเงิน (บาทต่อเดือน)**	**คิดเป็นเงิน (บาทต่อปี)**
35 หน่วยแรก	2.4346	35	85.21	-
115 หน่วยต่อไป	1.1236	115	129.21	-
250 หน่วยต่อไป	2.1329	250	533.23	-
เกิน 400 หน่วย	2.4226	200	484.52	-
รวม	-	600	1,232.17	14,786.03

จากตารางที่ ค 19 และ ตารางที่ ค 20 นำมาคำนวณผลต่างของค่าไฟฟ้าที่ใช้ภายใน 1 เดือน คิดเป็นเงิน 290 บาท และผลต่างของค่าไฟฟ้าที่ใช้ภายใน 1 ปี คิดเป็นเงิน 3,488

ตารางที่ ค 21 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ตัวแปร	**มูลค่าที่เกิดขึ้น**
เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น (A_O, บาท) (จำนวน 2 แผง ขนาด 4 ตารางเมตร)	6,606 บาท
อัตราไฟฟ้าที่ประหยัด (A_S, บาทต่อปี)	3,488 บาท
ระยะเวลาคืนทุน (PBP, ปี)	1.9 ปี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก จ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ (National and International Conferences)

1 Tawatchai Meekaew, Warunee Ariyawiriyanan, Manop Yamphang, Pongpitch Tuenpusa, Jakrawan Boonwan, Nukul Euaphantasate, Pongphisanu Muangchareon and Supachat Chungpaibulpatana, "Thermal Efficiency of Solar Collector Made from Thermoplastics," 10^{th} Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium (10^{th} EMSES 2012), Sunee grand Hotel, Ubon-ratchathani, Thailand, December 5-8, 2012, pp. 468-471. (Poster Presentation)

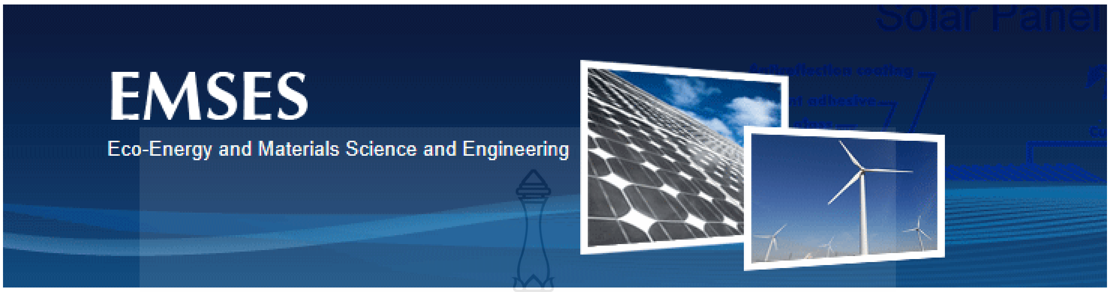
2 Tawatchai Meekaew, Warunee Ariyawiriyanan, Manop Yamphang, Pongpitch Tuenpusa, Jakrawan Boonwan, Nukul Euaphantasate, Pongphisanu Muangchareon and Supachat Chungpaibulpatana, "Solar Collector Made From Thermoplastics: Effect of thermal conductivity and collector area," The 5th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-5), Asian Development Institute for Community Economy and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Thailand, December 18-20, 2012, pp. 48-55. (Oral Presentation)

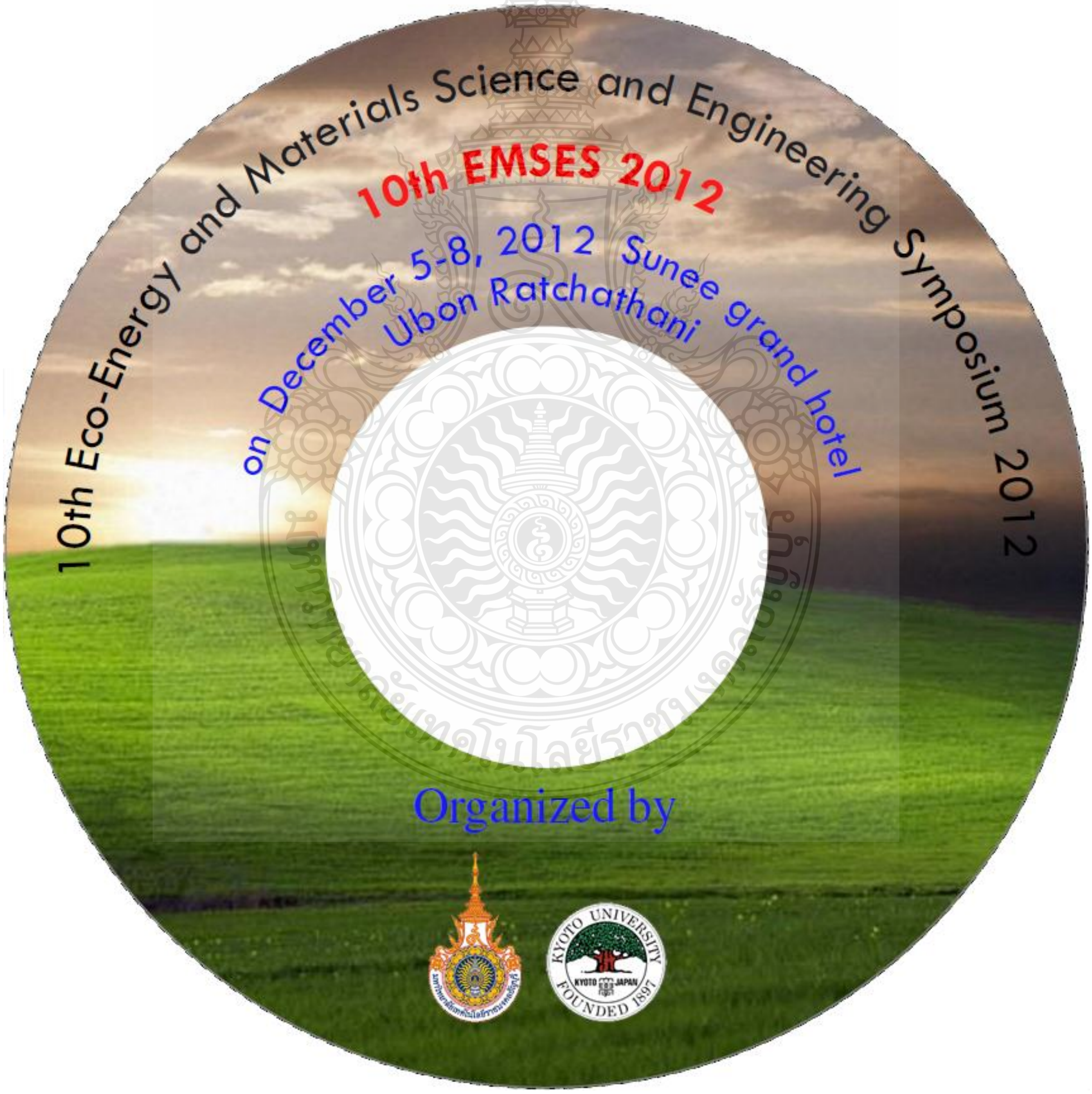
3 Tawatchai Meekaew, Warunee Ariyawiriyanan, Manop Yamphang, Pongpitch Tuenpusa, Jakrawan Boonwan, Nukul Euaphantasate, Pongphisanu Muangchareon and Supachat Chungpaibulpatana, "Solar Hot Water Made from Polyvinyl chloride-carbon black and Its Application," Proceedding The 9^{th} Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT9), Cholapruek Resort, Nakornnayok, Thailand, May 8-10, 2013, pp. 104-110. (Oral Presentation)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

10th EMSES 2012

on December 5-8, 2012 Sunee grand hotel, Ubon-ratchathani





Go to First Page

International Scientific Advisory Committee:

General Chair:	
Assoc.Prof.Dr. Namyoot SONGTHANAPITAK	RMUTT, Thailand
General Co-Chair:	
Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA	Kyoto Uni., Japan
Asst.Prof.Dr. Panpetch CHININTORN	RMUTT, Thailand
Organizing Chair:	
Asst. Prof. Dr.Sommai PIVSA-ART	RMUTT, Thailand
Prof. Dr. Takeshi YAO	Kyoto Uni., Japan
Organizing Co-Chair:	
Prof. Dr. Hideaki OHGAKI	Kyoto Uni., Japan
International Scientific Committees:	
Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO	TU, Thailand
Prof. Dr. Shiro SAKA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Hitomi OHARA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER	FH Koeln, Germany
Prof. Dr. Young S. CHAI	Korea
Prof. Dr. Nipon TANGTHAM	KU, Thailand
Prof. Dr. Masayoshi OKUBO	Osaka Uni, Japan
Prof. Dr. Somchai WONGWISES	KMITL, Thailand
Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN	UQ, Australia
Prof. Dr. Yukio OGATA	Kyoto Uni., Japan
Prof. Dr. Yuichi ANADA	Hokkaido Info. Uni., Japan
Prof.Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN	KMUTT, Thailand
Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY	IIT-Madras, India
Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN	IUPUI, USA
Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND	Australia
Assoc. Prof. Dr. Vijit KINNARES	KMITL, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI	Japan
Assoc. Prof. Dr. Thawatch KERDCHEUN	RMUTI, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT	SWU, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA	Nakaoga Uni., Japan
Assoc.Prof.Dr. Kawee SRIKULKIT	CU, Thailand
Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
Asst. Prof. Dr. Napaporn PHUANGPORNPITAK	KU, Thailand
Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Asst.Prof.Dr.Supakit SUTTIRUENGWONGSU, Thailand	
Asst. Prof. Dr.Vallop PHUPA	RMUTP, Thailand
Asst.Prof.Dr.Pramook UNAHALEKHAKA	RMUTSB, Thailand

Dr.Arthit Sode-Yome	EGAT, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	Japan
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Yuttana KAMSUWAN	RMUTT, Thailand
Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
ASEAN Committee:	
Prof. Dr. YoyokWahyuSubroto	UGM,Indonesia
Prof. Dr. WegaTRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore
Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
General Secretary:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Technical Program Chair:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Area: Energy Technology(ET)	
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Dr. Sathapron THONGWIK	RMUTT, Thailand
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Area: Environmental and Social Impact(ES)	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
Area: Nanotechnology and Materials Science(NM)	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Kitipong KIMAPONG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sirichai TORSAKUL	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr.Wanmee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
Area: Energy Economic and Management(EM)	
Assoc.Prof.Dr. Natha KUPTHASTHIEN	RMUTT, Thailand
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pimnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
Area: New Energy Technology(NT)	
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Area: Nuclear Technology(NU)	
Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand

Exhibition Chair:	
Dr. Amnoiy REUNGWAREE	RMUTT, Thailand
Dr. Winai CHANPENG	RMUTT, Thailand
Local Arrangement Chair	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Dr. Natee SRISAWAT	RMUTT, Thailand
Registration and Finance Chair	
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Dr. Supaporn THOMSORN	RMUTT, Thailand
Weeraporn PIVSA-ART	RMUTT, Thailand
Publicity Chair	
Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Dr. Montip LASURIYONTA	RMUTT, Thailand
Somchai BIANSOONGNERN	RMUTT, Thailand
Publication Chair:	
Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN	KMITL, Thailand
Assoc.Prof.Dr.Takashi SAGAWA	Kyoto Uni., Japan
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO	Kyoto Uni., Japan
Website and Information System Chair:	
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Phongsuk AMPHA	RMUTT, Thailand
Deachrat JAITHAWIN	RMUTT, Thailand

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

NANOTECHNOLOGY AND MATERIAL TECHNOLOGY

NM01	Surface Treatment of natural fibers with Flexible Epoxy Resin *Napawadee Klomhadyay, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art and Hiroyuki Hamada*	459
NM02	Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate) blend Fibers Prepared by Melt Spinning technique *L. Jompang, J. Wong On, P. Surin, C. Apawet, T. Chaichalermwong, S. Thumsorn, N. Kaabbuathong, N. O-Charoen, and N. Srisawat*	463
NM03	Morphological and Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fibers Reinforced Poly (lactic acid) Composites *Wiphawee Nuthong, Putinun Uawongsuwan, Weraporn Pivsa-Art, and Hiroyuki Hamada*	464
NM04	Collector Thermal Efficiency of Solar Panel Made from Thermoplastics *Tawatchai Meekaew, Warunee Ariyawiriyanan, Manop Yamphang, Pongpitch Tuenpusa, Jakrawan Boonwan, Nukul Euaphantasate, Pongphisanu Muangchareon and Supachat Chungpaibulpatana*	468
NM05	Effect of Heat Seal Conditions on Heat Seal Characteristic of Poly (Lactic Acid)/Thermoplastic Starch Blend Films *S. Thumsorn, K. Yamada, S. Pivsa-Art, K. Miyata and H. Hamada*	472

Thermal Efficiency of Solar Collector Made from Thermoplastics

Tawatchai Meekaew[1], Warunee Ariyawiriyanan[1*], Manop Yamphang[2], Pongpitch Tuenpusa[3], Jakrawan Boonwan[2], Nukul Euaphantasate[4], Pongphisanu Muangchareon[4] and Supachat Chungpaibulpatana[5]

[1]Department of Material and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND.
**E-mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th*
[2]Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND.
[3]Department of Agricultural Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND.
[4]National Metal and Materials Technology Center, Klong luang, Pathumthani 12120, THAILAND
[5] Sirindhorn International Institute of Technology (SIIT), Thammasat University, Rangsit Rd., Pathumthani 12121, THAILAND

Abstract— Thermoplastics solar collectors have been used to replace a typical metal collector because their mechanical and physical properties make the volume production of lightweight, low cost and corrosion resistance. Effect of thermal conductivity and collector area was observed for four type of themoplastics based i.e PVC-B (PVC: Polyvinyl Chloride-Blue), PB (PB: Polybutene), PP-R (PP-R: Polypropylene Random Copolymer) and PVC-CB: (Polyvinyl Chloride-Carbon Black). The collector area of 2 m^2 were prepared as for solar collector. The position of collector panel to south orientation and angle of 14^0 to the horizontal, which was the collector slope obtaining highest annual efficiency in Thailand, were implemented. Data was collected by data logger from 9.00-16.00 am throughout the day in which temperature reached a sufficient level according to standard test method of ASHRAE 93 –77. The mass flow rate of water in collector was 0.02 ($kg.s^{-1}$). The results of the differing thermal conductivity materials have indicated that there is no different of the materials on collector thermal efficiency. The collector efficiency was depends on the areas of the panel. This suggestion that one material should not only be chosen over another in term of its ability to transfer heat to the liquid within the panel but also collector area.

Keywords— Solar Collector, Thermal efficiency, Thermal conductivity, Thermoplastics

1. INTRODUCTION

The use of solar hot water collector for generating domestic hot water and heating systems is one of possibility to reduce a domestic energy costs and increase an utilization of renewable energies[1-3]. The majority of the commercially available solar water heating are produced using metal tubing for transfering heat to the fluid flowing within the collector panel. However, the metal is too expensive. Therefore, thermoplastics solar collectors are considered as a promising alternative to conventional flat plate collectors for reducing the cost of solar thermal panel. The application of the thermoplastics is of interesting because of less expensive, lighter-weight and more-integrated materials[4]. In the previous work[4-6], glazing and unglazing polymeric solar collectors have been widely used for heating of swimming pools, space heating and domestic hot water preparation. The challenge is to find plastics materials, which suitable for low temperature heating in Thailand and suitable application as a collector to preheating.

In the present studey, the effect of thermal conductivity and collector area on thermal efficiency of solar collector made from different type to thermoplastic is revealed.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Materials

Materials used in this study were Polyvinyl Chloride-Blue (PVC-B), Polybutylene (PB), Polypropylene Random Copolymer (PP-R) which was a commercial tube. Polyvinyl Chloride-Carbon Black (PVC-CB), PVC-CB tube and plate were extruded from pellets. Experiments were carried out under real sun conditions in Thailand through the standard ASHRAE 93-77. The solar radiation incident on the plane of the collector angle 14^o should exceed than 790 W/m^2. It was recorded with Pyranometer, KIPP&ZONEN, CMP 3. A flow rate is constant at 0.02 kg/s. Temperature inputs, output and ambient were collected by portable data station YOKOGAWA Datum-Y, XL100. Efficiency of each type collectors can be calculated. Mechanical properties were measured through universal testing machine. T_g and T_m were performed by differential scanning calorimeter. Density measurement was measured according to ASTM D792.

2.2 Experimental

The solar hot water panel is made of plastics material to measuring the thermal efficiency of solar hot water panels. The collector efficiency evaluation is based on the temperature profile of the water temperature inlet and outlet during the day. The experiment was conducted by exposing the collector panels under direct solar radiation over several days and measuring the water inlet and the outlet temperature. The panel hot water produced by the solar radiation is wide 1 m, long 2 m and placed at an angle 14 degrees with the horizontal.

The thermal efficiency of each type of plastics solar collector measured during the solar exposure heats up the water inside the tube. The determination of the temperature changed by

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} \tag{1}$$

The usable power heats up the water due to the following equation

$$Q_u = m.C_p(T_{out} - T_{in}) \tag{2}$$

Where:
Q_u: the useful energy
m: mass flow rate [kg s]
C_p: specific thermal capacity [KJ/ (kg·°C]

$$I_T = \frac{S}{Factor\ of\ Pyranometer} \times 1000 \tag{3}$$

I_T: solar radiation in the collector plane [W.m^2]
S: Sunlight

From each set of measurements (i.e. for each inlet temperature), the average efficiency was produced based on the equation:

$$\eta = \left(\frac{Q_u}{A_C.I_T}\right) \times 100 \tag{4}$$

Q_u = the useful energy
Ac = the collector area [m2]
I_T= solar radiation in the collector plane [Wm^2]

The collector's flow rate during measurements was set at 0.02 kg/s.m^2

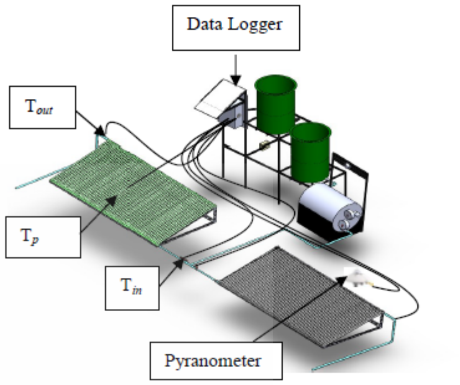


Fig.1 Schematic Diagram of the Experimental

The ambient temperature, T_{amb}, panel temperature, T_p, water inlet temperature, T_{in} and water outlet temperatrue, T_{out}, are measured every 1 minutes from 9 AM until 4 PM and recorded using a data logger . The sensors used was K-type thermocouple. The solar radiation energy exposed the collectors with the intensity between 700-1000 W/m^2 and solar radiation was detected by pyranometer. The schematic experiment was set up as seen in Fig. 1. The details of solar collector made from different thermoplastc was shown in Table 1.

Table 1 Aperture area, volume of water and total panel weight of the collectors.

Materials	Aperture area (m^2)	Volume of water (kg)	Total panel weight (kg)
PVC-B	1.3	21.7	7.0
PB	1.3	15.7	3.7
PP-R	1.3	17.6	4.3
PVC-CB	1.8	29.2	8.4
PVC-CB1	2.0	35.5	9.2

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows glass transition temperature (T_g), melting temperarure (T_m), density and thermal conductivity of PVC-B, PB, PP-R and PVC-CB, respectively. The thermal conductivity of themoplastics materials represents the amount of energy required to increase the temperature of the liquild inside the panel under the same conditions. The different materials have a differing thermal conductivity rates, based on their

molecular structrue. The rating is indicated the material ability to transfer heat. It is expected that the heat flow through the panel made from those mataerials increase or decreases in heat by the amount of energy presents. As you can seen from the table, the higher the rating of the material indicates the greater the ability of the materials to transfer heat. This transfer rate is influenced by the wall thickness of the materials and flow rate of the fluid flow within the collector. Therefore, in the present study the experiment was set at constant flow rate and same wall thickness in order to eliminate both influences.

Table 2 T_g, T_m , density and thermal conductivity of materials.

Materials	T_g (°C)	T_m (°C)	Density (g/cm^3)	Thermal conductivity (W/m·K)
PVC-B	80	180	1.63	0.19
PB	-17	125	0.95	0.22
PP-R	-17	169	0.90	0.24
PVC-CB	74	190	1.43	0.24

As stated, the capability of solar collector to absorb and transfer solar heat to the liquids flowing within the panel is critical to the absorber thermal efficiency. The experment was conducted at Rajamangal University of Technology Thanyaburi follows standard ASHRERE 93-77. The time and temperature profile of water inlet and outlet for each solar collector panel is analysed using matlab and shown in Fig 2.

The calculated thermal efficiency by plotting between x-axis which is $(T_{in}-T_a)/I_c$ versus y-axis which is collector thermal efficiency (%) was shown in Fig 3. From Fig. 3, the extrapolation to y-axis is analyzed as a collector thermal efficiency and slope of the curve which is represented a heat loss of each material without glazing. The results are tabulated in Table 3.

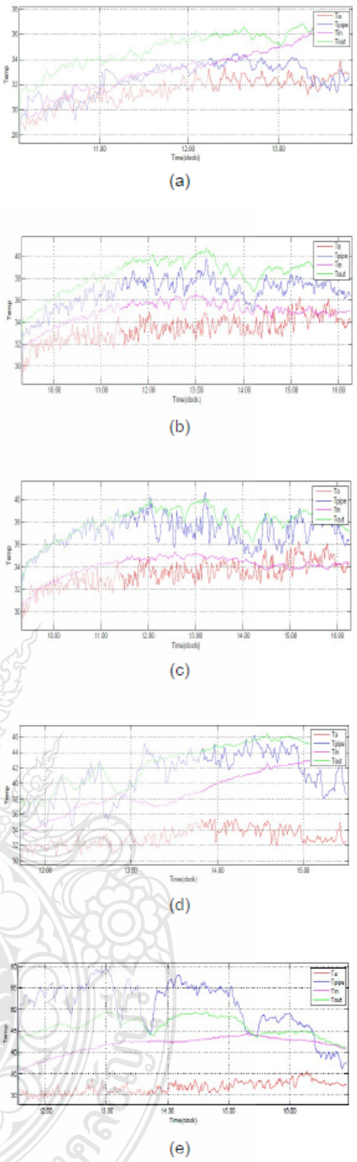


Fig. 2 Time and temperature profile of inlet temperature (T_{in}), outlet temperature (T_{out}), panel temperature(T_p) and ambient temperature (T_{amb}) for (a) PVC-B (b) PB (c) PP-R (d) PVC-CB and (e) PVC-CB1.

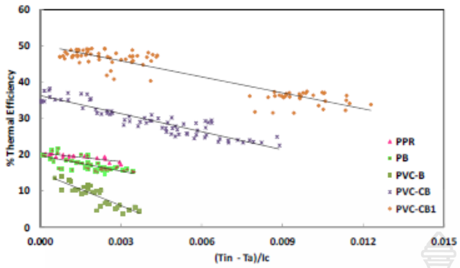


Fig 3 Thermal efficiency of thermoplastics solar collector.

Table 3 Thermal efficiency of PVC-B, PB, PP-R, PVC-CB and PVC-CB1.

Materials	Themal efficiency (%)	Slope
PVC-B	15.0	3049
PB	19.8	1418
PP-R	20.5	823
PVC-CB	36.3	1652
PVC-CB1	50.0	1459

The change in thermal efficiency were depends not only on thermal conductivity and also solar panel area. From table 3, the thermal efficiency for PVC-B, PB and PP-R is increased as thermal conductivity increase. All solar panel made from PVC-B, PB and PP-R has a same aperture area. However, in the case of PP-R and PVC-CB having a same thermal conductivity, the absorber efficiency is increased as aperture area increase. In addition, the influence of thermal conductivity in the same based plastic (PVC based) is investigated in order to observe the effect of solar heating transfer and aperture area. At the same thermal conductivity (PVC-CB) the absorber efficiency is depends on solar panel area as you can see from table 3. It can be seen that the efficiency of PVC-CB (1.8 m^2 area) and PVC-CB1 (2.0 m^2 area) were 36.3 % and 50 %, respectively.

It is worth of note that thermal efficiency of PVC-CB1 having a special design of plate without space showed the highest value of 50 % efficient. Therefore, this implies that for future design of plastic solar collector should be considered both thermal conductivity and absorbed area. We suggested that the possibility to use PVC-CB as a plastic solar collector. Our future work is to apply this material for pre-heating.

4. CONCLUSIONS

The effect of thermal conductivity and collector area for PVC-B, PB, PP-R and PVC-CB is succesfully study. It is found that the differing thermal conductivity materials have indicated that there is no different of the materials on collector thermal efficiency. The collector efficiency was depends on the areas of the panel. This suggestion that one material should not only be chosen over another in term of its ability to transfer heat to the liquid within the panel but also collector area.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the National Science and Technology Development Agency for financial support.

REFERENCES

[1] Martinopoulos, G., Missirlis, D., Tsilingiridis, G., Yakinthos K. and Kyriakis, N. (2010). *Renewable Energy* 35, 1499–1508.

[2] Avraham I. Kudish, Efim G. Evseev, Gerd Walter and Thomas Priebe, (2003). *Energy Conversion and Management* 44, 2549–2566.

[3] Ammari, H.D. and Nimir, Y.L. (2003). *Energy Conversion and Management* 44, 3037–3055.

[4] Davidson, J.H., Mantell, S.C. and Jorgensen, G.J. (2003).“Status of the Development of Polymeric Solar Water Heating Systems,” *Advances in Solar Energy, An Annual Review of Research and Development*, Vol.15, D.Y. Goswami, Ed., American Solar Energy Society, Inc., Boulder, Co, p. 149-186.

[5] Weiss, W., Berfmann, I and Faninger, G. *Solar heat worldwide, IEA Solar heating and Cooling Program*, April 2007.

[6] A. Olivares, J.Rekstad , M.Meir , S.Kahlen , G.Wallner, (2010). *Solar Energy Materials & Solar Cells* 94, 1031–1037.

การประชุมสัมมนาวิชาการ
ครั้งที่ 5
พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
The 5th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-5)
18-20 December 2555
หน้าแรก
การส่งบทความ
กำหนดการสำคัญ
สถานที่จัดงาน
ติดต่อเรา
เมนู
Call For Papers
ความเป็นมา
สารจากประธาน
คณะกรรมการ
กำหนดการสำคัญ
โปรแกรมการประชุม
การส่งบทความ
การลงทะเบียน
Social Program
สถานที่จัดงาน
สถานที่พักและการเดินทาง
ผู้สนับสนุน
ติดต่อเรา
ปัจจุบัน เกิดวิกฤตทางด้านพลังงานทั่วโลก ส่งผลให้ประเทศไทยต้องมีนโยบายในการดำเนินการรณรงค์ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานทดแทนในชุมชน ในโอกาสนี้ สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย (adiCET) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้รับเกียรติให้จัด การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ (TREC) ครั้งที่ 5 เรื่อง "พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย" ระหว่างวันที่ 18 - 20 ธันวาคม 2555 เพื่อต่อยอดความรู้เดิม เพิ่มเติมความรู้ใหม่ให้แก่ชุมชนด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทน และสร้างเครือข่ายการใช้พลังงานของชุมชนให้พึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน
กลุ่มของสาขาบทความที่สามารถส่งเข้าร่วมนำเสนอในงาน TREC ครั้งที่ 5 คือ
กลุ่มที่ 1 - ไฟฟ้าชุมชน
กลุ่มที่ 2 - ความร้อนชุมชน
กลุ่มที่ 3 - เชื้อเพลิงชุมชน
กลุ่มที่ 4 - การประหยัดพลังงาน
กลุ่มที่ 5 - วัสดุศาสตร์เพื่อการพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน
กลุ่มที่ 6 - สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน
adiCET

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

1. รศ.ดร.วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร
2. ศ.ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
3. ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
4. ศ.ดร.จงจิตร์ หิรัญลาภ
5. Prof. Dr. Joseph KHEDARI
6. รศ.ดร.นำยุทธ สงค์ธนาพิทักษ์
7. ผศ.ดร.สมชัย หิรัญวโรดม
8. ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด
9. คุณอำนวย ทองสถิต
10. ผศ.ดร.เรืองเดช วงศ์หล้า

คณะกรรมการดำเนินงาน

ดร. วิรชัย โรยนรินทร์	ประธาน
ดร. พิสิษฏ์ มณีโชติ	รองประธาน
ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	กรรมการ
ผศ.ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ	กรรมการ
ดร. สุมนมาลย์ เนียมหลาง	กรรมการ
ดร. วรจิตต์ เศรษฐพรรค์	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายบทความ

ดร. ณัฐิยา ตันตรานนท์	ประธาน
ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	รองประธาน
ดร. วัชระ วงค์ปัญโญ	กรรมการ
ดร. อนุสรณ์ ธนารักษ์	กรรมการ
ดร. ประพิธาร์ ธนารักษ์	กรรมการ
ดร. รวิภา ยงประยูร	กรรมการ
นางสาวสิริสรณ์ สิทธิรินทร์	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดหารายได้และการลงทะเบียน

รศ.ดร. วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร	ประธาน
ดร. วิรชัย โรยนรินทร์	รองประธาน
ดร. พิสิษฏ์ มณีโชติ	กรรมการ
ดร. สุมนมาลย์ เนียมหลาง	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายสถานที่และยานพาหนะ

ดร. วัชรี หาญเมืองใจ	ประธาน
นายสุชัจจน์ ศรีแก้ว	รองประธาน
นายกฤษณะ ศิริปุก	กรรมการ
นางปณิตา ลิ้มสกุล	กรรมการ
นายอานนท์ ผัดแปง	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์

ดร. วรจิตต์ เศรษฐพรรค์	ประธาน
ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	รองประธาน
ดร. สุมนมาลย์ เนียมหลาง	กรรมการ
อ. เจนจิรา เปี่ยมดี	กรรมการ
นายภาณุพงษ์ อินต๊ะวงค์	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายพิธีการและการต้อนรับ

ดร. วรจิตต์ เศรษฐพรรค์	ประธาน
อ. เจนจิรา เปี่ยมดี	รองประธาน
ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง	กรรมการ
ดร. ณัฐิยา ตันตรานนท์	กรรมการ
ดร. วัชรี หาญเมืองใจ	กรรมการ
นางปณิตา ลิ้มสกุล	กรรมการและเลขานุการ

สารบัญ

บทความ		หน้า
กลุ่มที่ 4 การประหยัดพลังงาน (EC) (ต่อ)		
EC011	การทดสอบสมรรถนะของพัดลมเซนติฟูกอลเพื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล *สมพจน์ คำแก้ว คมกฤช กิติพร บุญฤทธิ์ ปินตาสี บารมี ช่างตรี*	44
กลุ่ม 5 วัสดุศาสตร์เพื่อการพัฒนาพลังงานและการอนุรักษ์ (ME)		
ME001	อิทธิพลของอุณหภูมิการอบคืนตัวที่มีผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุ AISI 4140 *อรรถพล ไชยรา ศิวกร อ่างทอง*	45
ME002	การแยก 4-อะมิโนฟีนอลด้วยกระบวนการ Micellar-Enhanced Ultrafiltration (MEUF) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวผสม SDS/CTAB *กนกพร ฉ่องสวนอ้อย อำไพ ชนะไชย*	46
ME003	การวิเคราะห์แผงผลิตน้ำร้อนจากวัสดุโพลิเมอร์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ *จิรพงษ์ พงษ์สีทอง มนูศักดิ์ จานทอง มานพ แย้มแฟง วารุณี อริยวิริยะนันท์ พงศ์พิชญ์ ต่วนภูษา จักรวาล บุญหวาน นุกูล เอื้อพันธ์เศรษฐ พงษ์พิศณุ เมืองเจริญ ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนะ*	47
ME004	แผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากวัสดุเทอร์โมพลาสติก : ผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ดูดซับแสง *ธวัชชัย มีแก้ว วารุณี อริยวิริยะนันท์ มานพ แย้มแฟง พงศ์พิชญ์ ต่วนภูษา จักรวาล บุญหวาน นุกูล เอื้อพันธ์เศรษฐ พงษ์พิศณุ เมืองเจริญ ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนะ*	48
ME005	การศึกษาอิทธิพลของกาวในการเชื่อมประกบแผ่นวัสดุแซนวิช *มนตรี การพัดชี ศิริชัย ต่อสกุล*	49
ME006	การทำเซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอิเล็กโตรไลท์กึ่งของแข็ง *สุรศักดิ์ แสนทวีสุข กิตติชัย โสพันนา เทพกร ลีลาแต้ม*	50

แผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากวัสดุเทอร์โมพลาสติก : ผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ดูดซับแสง

Solar Collector Made From Thermoplastics: Effect of thermal conductivity and collector area

ธวัชชัย มีแก้ว[1] วารุณี อริยวิริยะนันท์[1]* มานพ แย้มแฟง[2] พงศ์พิชญ์ ต่วนภูษา[3]
จักรวาล บุญหวาน[2] นุกูล เอื้อพันธ์เศรษฐ[4] พงษ์พิศณุ เมืองเจริญ[4] และ ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนะ[5]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
[3]สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
[4]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เลขที่ 114
อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
[5]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบการผลิต สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
จังหวัดปทุมธานี 12120
*E-mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การสร้างแผงน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกเพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับการใช้งานจริงเพื่อช่วยทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าและเหมาะสำหรับใช้ในประเทศไทย เนื่องจากมีราคาต้นทุนต่ำ ออกแบบได้หลากหลายให้เหมาะกับการใช้งาน น้ำหนักเบา (ไม่เกิน 40 Kg รวมน้ำต่อขนาดแผง 2 m^2) โดยในการศึกษานี้จะใช้วัสดุดูดซับแสงที่ทำจากเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พีวีซี (PVC: Polyvinyl Chloride) พีบี (PB: Polybutylene) พีพี-อาร์ (PP-R: Polypropylene Random Copolymer) และพีวีซีคาร์บอนแบล็ค (PVC-Carbon black : Polyvinyl Chloride-Carbon black) โดยวัสดุดังกล่าวมีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.19-0.24 W/m• ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 เพื่อหาประสิทธิภาพของอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกจากแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบแผงทำน้ำร้อนใช้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่เข้าแผงรับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ 0.02 Kg/s โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างของวัสดุแต่ละชนิดโดยปราศจากแผ่นปิดด้านบน (cover) จากการทดลองในกรณีวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำๆ เช่นวัสดุพลาสติกจะส่งผลต่อการดูดซับแสงอาทิตย์เพียงเล็กน้อยในขณะที่ผลของพื้นที่ดูดซับแสงจะส่งผลอย่างชัดเจน พบว่าประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนของวัสดุแผงทำจาก PVC-CB1 ที่มีค่าการนำความร้อนที่ 0.24 W/m.K และขนาดพื้นที่รับแผง 2.0 m^2 จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือ 50.0 % สามารถทำน้ำร้อนได้ประมาณ 50 $^{\circ}C$ ผลต่างระหว่างอุณภูมิน้ำเข้าและออกจากแผงอยู่ที่ประมาณ 20 $^{\circ}C$

คำสำคัญ: แผงผลิตน้ำร้อน การดูดซับแสงอาทิตย์ การนำความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อน เทอร์โมพลาสติก

1. บทนำ

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศทางแถบยุโรป รวมทั้งประเทศจีน แต่สำหรับในประเทศไทยการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีการใช้งานไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากมีราคาแพง ต้องการการติดตั้งจากช่างผู้เชี่ยวชาญและต้องมีการบำรุงรักษาเพิ่มค่าใช้จ่าย ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้มากขึ้นจึงได้ทำการศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีราคาต่ำ เช่น การเลือกใช้วัสดุที่ทำจากพลาสติก ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยลดการขาดดุลการค้ากับต่างประเทศ ที่จะต้องนำเข้าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานไฟฟ้าและก๊าซ ซึ่งมีราคาแพงมีปัญหาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในบ้านเรือนทั่วไป ให้อุณหภูมิน้ำร้อนพอเหมาะ มีราคาประหยัด อีกทั้งยังใช้ทดแทนแผงน้ำร้อนที่ผลิตจากท่อทองแดง ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง และมีปัญหาดังนี้

1. เกิดปัญหาการขยายตัวของท่อเมื่อสัมผัสความร้อน และการบิดตัวของท่อ ซึ่งจะทำให้มีโอกาสเกิดการรั่วตามข้อต่อต่าง ๆ

2. ออกไซด์ของทองแดงหรือสนิมจะทำให้น้ำไหลออกมาเป็นสีเขียว มักพบในกรณีไม่ได้ใช้น้ำร้อนนานๆ

3. มีโอกาสเกิดกลิ่นของออกไซด์จากท่อทองแดง

4. ท่อทองแดงสูญเสียความร้อนได้ง่าย ทำให้เปลืองไฟ โดยเฉพาะท่อที่ต่อยาวๆ

จากงานวิจัยผลการศึกษาที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการทดลองของวัสดุพอลิเมอร์ ทำให้สามารถเลือกวัสดุที่จะนำมาผลิตแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และให้ประสิทธิภาพสูงสุด

จากงานวิจัยที่ผ่าน นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2.16 ตารางเมตร กำลังผลิต 160 ลิตรต่อวัน โดยออกแบบการทดลองผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้อาบน้ำสำหรับผู้อยู่อาศัย 2 คน ซึ่งมีความต้องการน้ำร้อน 140 ลิตรต่อวัน และเก็บข้อมูลตามสภาวะอากาศของภาคใต้ 3 กรณี ได้แก่ วันที่มีแดดปกติ วันที่มีเมฆปกคลุมเหนือแผงตลอดทั้งวันแต่ไม่มีฝนตก และวันที่มีแดดเพียง 3-4 ชั่วโมง และมีฝนตกในช่วงบ่าย ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ทั้ง 3 กรณี มีค่าเท่ากับ 61.8 °C, 55.4 °C และ 55.6 °C ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอาบน้ำทั่วไป คือ 27 – 34 °C ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำร้อน คือ ช่วง 10.00-14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์สูง ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 กรณี มีค่าเท่ากับ 48% 57% และ 64% ตามลำดับ ประสิทธิภาพจะมีค่าสูง เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำทางเข้าและออกจากแผงเฉลี่ย และอุณหภูมิบรรยากาศมีค่าน้อย

พฤทธิ มาเนตรและคณะ [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนจะมีอุปกรณ์หลักในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน คือ ตัวรับรังสีอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบช่องอากาศไหลบนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบช่องอากาศไหล และทำการปรับปรุงตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลล่างมีขนาดกว้าง1.8เมตร ยาว 3.22 เมตร วางทำมุม 17 องศากับแนวระดับ โดยทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่สภาวะอุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม (Ti=Ta) และผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบที่มีช่องอากาศไหลบนและไหลล่างของตัวดูดซับรังสีอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 31.4% และ 43.68% ตามลำดับ จะเห็นว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลล่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลบนเนื่องจากมีชั้นอากาศนิ่งเปรียบเสมือนฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านบนของผิวกระจกอีกชั้นหนึ่ง และทำการปรับปรุงตัวรับรังสีอาทิตย์โดยติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ต่างๆ ดังนี้ 15 30 45 60 75 และ 90 องศา กับตัวรับรังสีอาทิตย์ พบว่า มุม 75 องศา มีประสิทธิภาพตัวรับรังสีสูงสุดเท่ากับ 53.29% ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีมุมเอียง 75 องศา ทำให้ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นได้ดีที่สุด

ศรีธร อุปคำและคณะ [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะการทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด 2 ตารางเมตร ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร ใช้สาร R-134a เป็นสารตัวกลางของระบบปั๊มความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำป้อนและน้ำหมุนเวียนในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 2.5 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำร้อนใช้

งาน 40 – 60 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับอาคารที่อยู่อาศัยซึ่งอยู่ภายใต้ภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ในการรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้ให้คงที่ที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 40 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 13.522 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 11.81 กิโลวัตต์ ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 50 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 29.90 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 37.25 กิโลวัตต์ ชั่วโมง และที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 60 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 51.14 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 58.90 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ จะได้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 2.06 ปี

จงจิตร์ หิรัญลาภ และคณะ [4] ได้ศึกษาวิจัยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย โดยใช้วัสดุท่อพลาสติกพีวีซีขนาด 40 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และใช้ถังสะสมความร้อนขนาด 35 ลิตร จากการทดลองพบว่าแบบท่อวางบนกระเบื้องหลังคาบ้าน (ลอนเล็ก) ที่มีฝาปิดพลาสติกใสทำอุณภูมิได้ 72 °C ในขณะที่แบบท่อแนวตั้งมีกระเบื้องแผ่นเรียบและมีฝาปิดพลาสติกใสทำอุณภูมิได้ 65 °C และเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อพลาสติกพีวีซีเสียหาย ในกรณีที่อุณภูมิเครื่องทำน้ำร้อนสูงกว่า 60 °C ต้องมีการระบายอากาศระหว่างท่อและฝาปิดโดยใช้อากาศจากภายนอกเข้ามาหมุนเวียน ใช้ค่าก่อสร้างประมาณ 4,500 บาทรวมแพงพีวีซี (ประมาณไม่เกิน 2,000 บาท) อายุการใช้งานประมาณ 3 ปี

จากงานศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีการศึกษาวิจัยเป็นเวลานานแต่กลับไม่แพร่หลายมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัญหาทางเทคนิคเช่น ราคาแพงและไม่สะดวกในการใช้งานในกรณีของการเลือกใช้วัสดุโลหะท่อทองแดง น้ำหนักมาก ปัจจุบันได้มีการนำเอาวัสดุพลาสติกเข้าทดลองแต่พบปัญหาด้านอายุการใช้งานและการระบายอากาศ เพื่อเป็นแก้ปัญหาดังกล่าวและด้วยศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่มีค่า 17 $MJ/m^2/day$ จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาวัสดุราคาถูกและหาได้ในประเทศเพื่อนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับความ ร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถออกแบบและผลิตขึ้นเองได้ ราคาถูกและเหมาะกับการใช้งานได้หลายประเภท เช่น การทำน้ำร้อนในโรงแรมและโรงพยาบาลเป็นต้น โดยในการศึกษาเลือกใช้วัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกที่มีค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่รับแสงแตกต่างกันเพื่อดูผลที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงทำน้ำร้อน โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาพัฒนาต่อเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมและนำไปทดลองใช้จริงเพื่อเผยแพร่ต่อไป

2. วัสดุและเครื่องมือในการทดลอง

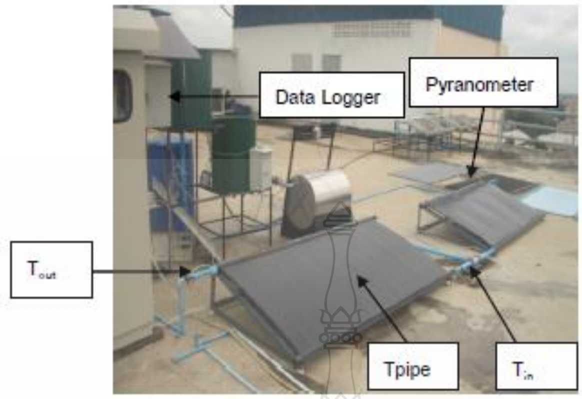
2.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้

- พีวีซีสีฟ้า(PVC: Polyvinyl Chloride)
- พีบี (PB: Polybutylene)
- พีพี-อาร์ (PP-R: Polypropylene Random Copolymer)
- พีวีซีคาร์บอนแบล็ค (PVC-Carbon black : Polyvinyl Chloride-Carbon black)
- เครื่องเก็บบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Portable Data Station) ยี่ห้อ YOKOGAWA Datum-Y, XL100
- เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) ยี่ห้อ KIPP&ZONEN, CMP 3
- เทอร์โมคัปเปิล (K Type thermocouple)

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

แผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์เตรียมโดยการใช้กระบวนการอัดรีด (Extrusion process) และทำการติดตั้งแผงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผงทำน้ำร้อนตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยภายในระบบการวัดประสิทธิภาพแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วย ถังสำหรับเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนของน้ำภายในระบบ โดยแผงน้ำร้อนที่ผลิตจะมีพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร วางทำมุม 14 องศากับแนวระดับ และมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ จากแผงเข้าสู่อุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (K Type thermocouple) และมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตรงบริเวณ น้ำเข้า (T_{in}) น้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิสภาวะแวดล้อม (T_a)

อุณหภูมิภายนอกของแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{pipe}) และตัววัดค่าความเข้มแสง (Pyranometer) [5] ในการทดลองจะใช้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเท่ากับ 0.02 kg/s



รูปที่ 1 ภาพการทดสอบแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุเทอร์โมพลาสติก

โดยอุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติจะทำการบันทึกผลทุกๆ 1 นาที โดยจะเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 8.00 น.-16.0 น. และเครื่องก็จะบันทึกผลข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณหาประสิทธิภาพ

2.3 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal Efficiency)

ในการหาค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการจากสอบแผงผลิตน้ำร้อน นอกจากการเก็บข้อมูลจริงจากการทดสอบแล้วนั้น ยังต้องนำค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาคำนวณหาค่าต่างๆได้เราต้องการ โดยนำค่าต่างๆที่ได้นี้มาแทนในสมการ โดยมีสมการดังต่อไปนี้

2.3.1 การหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} \tag{1}$$

ΔT หมายถึง อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป
T_{out} .หมายถึง อุณหภูมิของน้ำขณะไหลออก
T_{in} .หมายถึง อุณหภูมิของน้ำขณะไหลเข้า

2.3.2 การหาค่าการถ่ายโอนความร้อน

$$Q = m^{\bullet} Cp \Delta T \tag{2}$$

$m^{\bullet}$ หมายถึง อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ,
Q หมายถึง ค่าการถ่ายโอนความร้อนที่น้ำได้รับ (Watt)
Cp หมายถึง Capacity Heat ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (KJ/(kg.°C)
ΔT หมายถึง อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป

2.3.3 การหาค่าความเข้มแสง

$$I_c = \frac{\text{ค่าแสงแดด}}{\text{Factor ของไพรานอมิเตอร์}} \times 1000 \qquad (3)$$

2.3.4 การหาประสิทธิภาพทางความร้อน

$$\eta = \left(\frac{Q}{I_C \cdot A_C}\right) \times 100 \qquad (4)$$

η หมายถึง ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน
Q หมายถึง ค่าการถ่ายโอนความร้อน
I_C หมายถึง การหาค่าความเข้มแสง
A_C หมายถึง พื้นที่หน้าตัด

3. ผลและการอภิปรายผล

การออกแบบและการทดสอบวัสดุพลาสติกที่มีค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ในการดูดซับแสงอาทิตย์แตกต่างกันนั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวดูดซับแสงอาทิตย์มีปัจจัยเฉพาะที่ต้องการทดสอบ ดังนั้นสภาพอากาศแวดล้อมในการทดสอบต้องกำหนดให้อยู่ในเงื่อนไขเดียวกันตามมาตรฐานทดสอบ วัสดุทดสอบมีทั้งหมด 4 ชนิด โดยมีรายละเอียดของวัสดุที่นำมาใช้แสดงตามตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ตามลำดับ

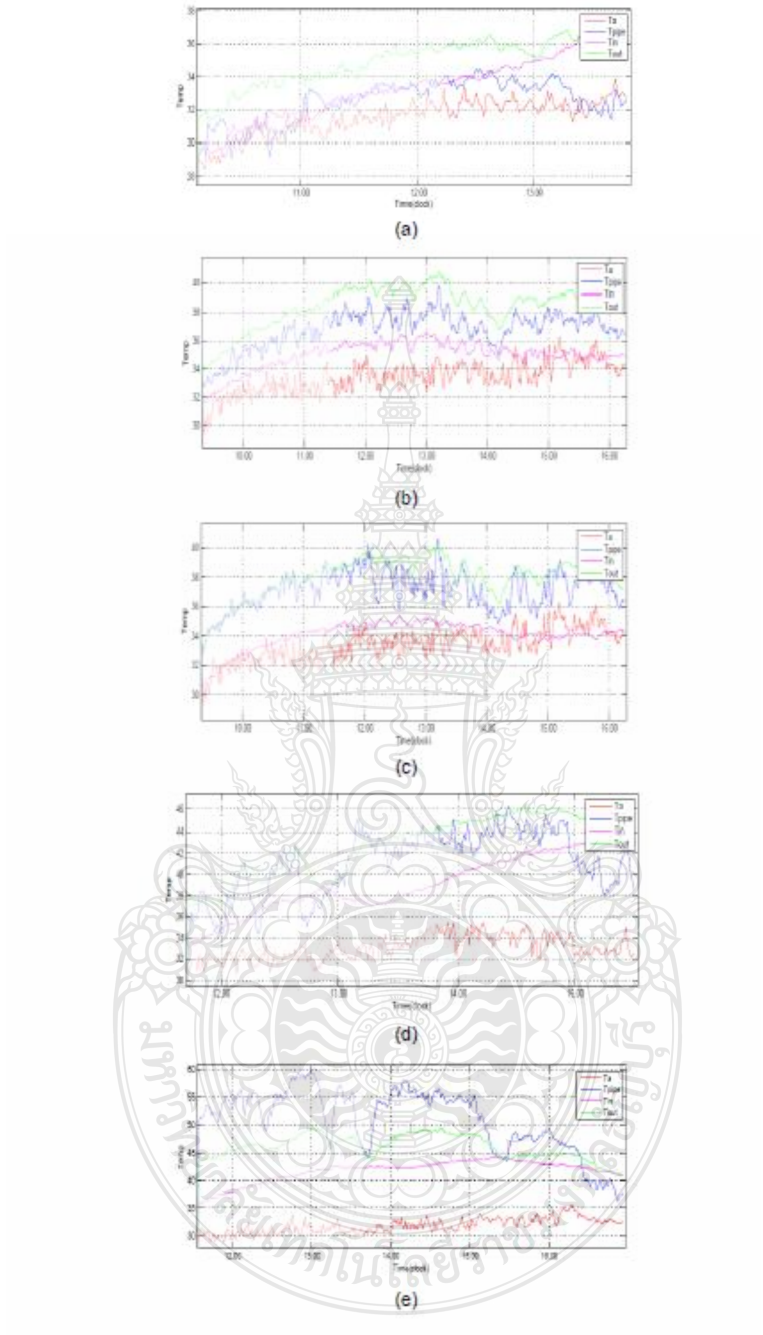
ตารางที่ 1 สมบัติของวัสดุเทอร์โมพลาสติกแต่ละชนิด

ชนิดวัสดุ	T_m (°C)	T_g (°C)	ค่าการนำความร้อน (W/m·K)	จำนวนท่อ (ชิ้น)	ระยะห่างท่อ (mm)	ความหนาแน่น (g/cm³)
PVC	180	80	0.19	60	11.98	1.63
PB	125	-17	0.22	59	10.45	0.95
PP-R	169	-18	0.24	65	10.34	0.90
PVC-CB	190	74	0.24	84	2.13	1.43
PVC-CB1	190	74	0.24	-	-	1.43

ตารางที่ 2 ขนาดพื้นที่รับแสง ปริมาตรน้ำและน้ำหนักรวมของแผงทำน้ำร้อนแต่ละชนิด

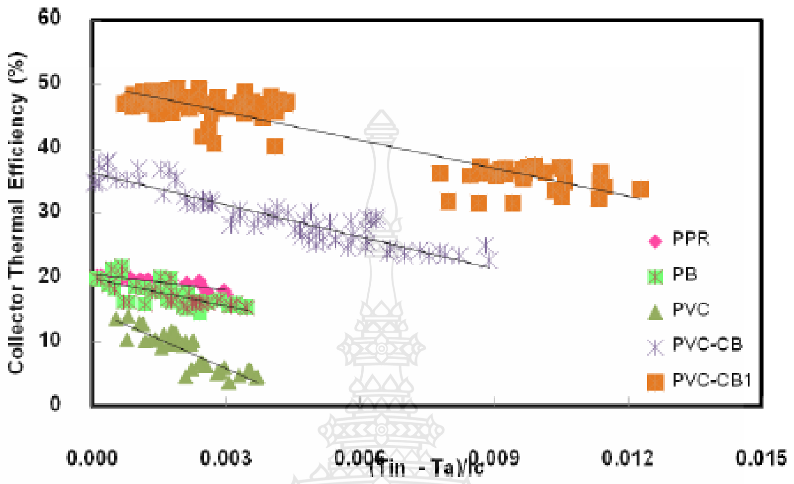
ชนิดวัสดุ	ขนาดพื้นที่รับแสง (m²)	ปริมาตรน้ำ(kg)	น้ำหนักแผงรวมน้ำ (kg)	ขนาดท่อภายใน ของท่อน้ำรอง (mm)	ขนาดท่อภายในของท่อน้ำหลัก (mm)
PVC	1.3	21.67	27.98	20	30
PB	1.3	15.67	19.41	17	30
PP-R	1.3	17.58	21.83	17	30
PVC-CB	1.8	29.22	37.40	20	30
PVC-CB1	2.0	35.65	40.00	-	-

จากนั้นทำการออกแบบแผงดูดซับแบบไม่มีฝาปิด และทดลองโดยการติดตั้งบนดาดฟ้าอาคารวิศวกรรมศาสตร์ ชั้น 9 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผลของการผลิตแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุพลาสติกชนิดต่างๆ โดยที่แผงน้ำร้อนจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเข้มแสงในช่วง 700-1000 W/m² โดยจะแสดงผลให้เห็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม(T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) กับเวลาของแผงดูดซับความร้อนจากวัสดุ (a) PVC (b) PB (c) PP-R (d) PVC-CB และ (e) PVC-CB1

ผลการทดสอบประสิทธิภาพตัวดูดซับแสงอาทิตย์ของวัสดุทั้ง 5 ตัวอย่างตามมาตรฐาน ASHERE Standard 93-77 จะได้สมการเชิงเส้น ซึ่งจากการพล็อตระหว่างแกน x ซึ่งเป็นค่า $(T_{in}-T_a)/I_c$ กับแกน y ที่เป็นค่า Collector Thermal efficiency (%) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตจากวัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 3 สามารถวิเคราะห์ได้คือ จุดตัดแกน y จะบอกถึงประสิทธิภาพสูงสุดของตัวดูดซับแสงอาทิตย์ (ไม่มีแผ่นปิด) และค่าความชันของสมการเชิงเส้นจะเป็นค่าการสูญเสียความร้อนของวัสดุ โดยค่าที่ได้ต่างๆ สามารถแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความชันของวัสดุพลาสติกแต่ละชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	ค่าความชัน
PVC	15.0	3049
PB	19.8	1418
PP-R	20.5	823
PVC-CB	36.3	1652
PVC-CB1	50.0	1459

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดของแผ่นดูดซับแสงอาทิตย์จากวัสดุพลาสติก พบว่า วัสดุ PVC-CB1 มีประสิทธิภาพสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 50 รองลงมาคือ PVC-CB PP-R PB ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 36.3 20.5 และ 19.8 ตามลำดับ และวัสดุ PVC มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 15.0

เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน ซึ่งเป็นสูญเสียความร้อนออกจากแผงดูดซับแสงอาทิตย์ไปยังอากาศแวดล้อม ค่าการสูญเสียจะมีค่าน้อยลงหากมีการใช้วัสดุป้องกัน เช่น ฉนวนกันความร้อนและแผ่นปิดใสด้านบนและยังขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสีอินฟาเรดของแผงดูดซับแสงอาทิตย์ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะไม่ใช้วัสดุปิดด้านบนเนื่องจากต้องการป้องกันไม่ให้แผงดูดซับมีความสะสมมากเกินไปซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของพลาสติก ทำให้มีค่าการสูญเสียความร้อนค่อนข้างสูงมีการ

ถ่ายเทความร้อนจากวัสดุดูดซับไปยังตัวกลางที่เป็นน้ำอย่างรวดเร็ว และถ้าเรามีการใช้น้ำร้อนที่ผลิตได้ทันทีระบบนี้จะมีประโยชน์ในการพัฒนาต่อได้

การเปรียบเทียบผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่รับแสงของวัสดุพลาสติกกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้ พบว่า พลาสติกชนิดเดียวกันแต่มีความการนำความร้อนต่างกัน ได้แก่ PVC จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่างกัน 2.4 -3.3 เท่า โดยมีขนาดพื้นที่รับแสงแตกต่างกันประมาณ 2 เท่าเช่นกัน ในขณะที่พลาสติกต่างชนิดกันแต่มีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกัน ได้แก่ PP-R และ PVC-CB พบว่าพลาสติก PVC-CB ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า 1.7 เท่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของการดูดกลืนรังสีของวัสดุสีดำ (PVC-CB) มีมากกว่าสีเขียว (PP-R) และสุดท้ายจากการทดลองใช้วัสดุเดียวกันที่มีค่าการนำความร้อนสูงสุดคือ PVC-CB แต่ให้มีขนาดพื้นที่รับแสงแตกกันคือ 1.8 m^2 และ 2.0 m^2 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่างกัน 1.4 เท่า โดยวัสดุ PVC-CB1 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดคือร้อยละ 50 ในการศึกษาครั้งนี้

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของค่าการนำความร้อนและขนาดพื้นที่ดูดซับแสงอาทิตย์ของแผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากวัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับความร้อนที่ผลิตจากวัสดุพลาสติกประเภท PVC (0.19 W/mK, 1.3 m^2) PB (0.22 W/mK, 1.3 m^2) PP-R (0.24 W/mK, 1.3 m^2) PVC-CB (0.24 W/mK, 1.8 m^2) และ PVC-CB1 (0.24 W/mK, 2.0 m^2) จะให้ค่าประสิทธิภาพคือ 15.0% 19.8% 20.5% 36.3% และ 50.0% ตามลำดับ วัสดุที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด คือ PVC-CB1 ที่ออกแบบพิเศษให้มีพื้นที่รับแสงขนาดต่อแผงเท่ากับ 2.0 m^2 ไม่มีช่องว่างใดๆ และไม่มีฝาปิด ดังนั้นวัสดุดังกล่าวมีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นตัวดูดซับความร้อน ที่มีราคาต่อแพงไม่เกิน 2,000 บาท สามารถติดตั้งบนหลังคาหรือผนังตามความเหมาะสมของพื้นที่เพื่อใช้ผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับใช้ในบ้านเรือน เครื่องล้างจาน เป็นต้น โดยสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำน้ำร้อนและช่วยลดมลพิษจากการเผาไหม้ ในการศึกษานี้มีข้อเสนอแนะว่าการเลือกวัสดุสำหรับทำแผงน้ำร้อนต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ราคา ค่าการนำความร้อนและพื้นที่รับแสงอาทิตย์ เป็นต้น

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์และโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ให้ใช้ในการทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ และปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล 2550 "การศึกษาประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21.

[2] พฤทธิ มาเนตร ศิรินุช จินดารักษ์ สินเดิม ดีโต อนิรุทธิ์ ศายขาว และฉันทนา พันธุ์เหล็ก. 2548. "การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1.

[3] ศรีธร อุปคำ. 2541. "การวิเคราะห์สมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน สำหรับอาคารที่อยู่อาศัย" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[4] จงจิตร์ หิรัญลาภ ปรีดา จันทวงษ์ และโจเซฟ เคดารี. 2543 " เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย" วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 23 ฉบับที่ 3.

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงาน
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9
9th Conference on Energy Network of Thailand
E-NETT
พลังงานสีเขียวเพื่อโลกที่สดใส
Green Energy Brightens Our World
ณ ชลพฤกษ์ รีสอร์ท อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก
8–10 พฤษภาคม 2556
จัดการประชุมโดย
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ptt
Group

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ผศ.ดร. กอดขวัญ นามสงวน
ผศ.ดร. ศิวะ อัจฉริยวิริยะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์
รศ.ดร. สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร. เพ็ญญารัตน์ จินดา
ดร. อำนาจ บุญลอย
ดร. ฉัตรชัย นิมมล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร. สมิทธ์ เอี่ยมสอาด
รศ.ดร. ฐานิตย์ เมธิยานนท์
ผศ.ดร. นุภาพ แย้มไตรพัฒน์
ผศ.ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์
ผศ.ดร. วิชาญ คงเกียรติไพบูลย์
ผศ.ดร. สมชาย ศรีพัฒนพิพัฒน์
ผศ.ดร. ศุภเกียรติ ศรีพนมธนากร
ผศ.ดร. ขวัญจิต วงษ์ชารี
ผศ.ดร. สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ
ผศ.ดร ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์
ดร. วาโย ช้างเจริญ
ดร. สมศักดิ์ เพ็ชร์กุล
ดร. วิไลลักษณ์ สระมูล
ดร. ฐิตะพล ทุยะนันท์
อ. กิตติศักดิ์ ยงศิริ
อ. ขวัญชัย หนาแน่น
อ. ปุณยภัทร ภูมิภาค
อ. ไมตรี กระมุทพิจิตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์
ดร. สมชัย หิรัญวโรดม
ดร. ขวัญชัย จ้อยเจริญ
ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์
ดร. บุณย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว
ดร. วารุณี อริยะวิริย
ดร. ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุลนันท์
ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง
ดร. อำนวย เรืองวารี
ดร. สถาพร ทองวิค
ดร. สโรชา เจริญวัย
ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ. วิศิษฐ์ ลีลาผาติกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร. ชโลธร ธรรมแท้
ดร. กีรติ สุลักษณ์
ดร. ธีระชาติ พรพิบูลย์

มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ์
ดร. ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง
ดร. สิริมาส เฮงรัศมี
ดร. สันต์ จันทร์สมศักดิ์
ดร. สุพรรณนิกา วัฒนา
ดร. ศรายุทธ วัยวุฒิ

มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร. มัณฑนา รังสิโยภาส
ดร. วัชรินทร์ ดงบัง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนกร
ผศ.ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด
ดร. ธีรพัฒน์ ชมภูคำ
ดร. โสภา สุวแพทย์
ดร. นิตา ชัยมูล
ดร. มณีรัตน์ องค์วรรณดี

มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร. รุ่ง กิตติพิชัย
ดร. วรศิษฐ์ ตรูทัศนวินท์
รศ. ศุภชัย นาทะพันธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ดร. โยธิน อึ่งกูล
ดร. ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
รศ.ดร. วัชระ เพิ่มชาติ

มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร. สมพร ธเนศวาณิชย์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร. กิตติ สถาพรประสาธน์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร. เทพฤทธิ์ ทองชุบ
ดร. กีรติ ชยะกุลคีรี
ดร. วิชชากร เฮงศรีธวัช
ดร. ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล
ดร. วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์
ดร. นิมิต บุญภิรมย์
อ. อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ
อ. เผชิญ จันทร์สา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร. ชยุต นันทดุสิต

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. อำไพศักดิ์ ทีบุญมา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์
รศ.ดร. ชินรักษ์ เธียรพงษ์
รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข
รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว
ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร
ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เดไปวา
ดร. ดอน อิศรากร
ดร. วิฑาดา เจษฎารัตนชัย
ดร. กุลนันทน์ เกียรติกิตติพงษ์

คณะกรรมการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยทักษิณ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญบทความ

สาขาพลังงานประยุกต์: Applied Energy (AE)		
รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
AE001	ผลของอัตราการเติม R-134a และอัตราส่วนความยาวอีวาโปเรเตอร์ต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน	1
AE002	ผลของรูปทรงฝาครอบสำหรับเครื่องตากแห้งข้าวกล้องงอกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิภายใน	7
AE003	ผลของมุมเอียงฝาครอบรูปทรงพีระมิดที่มีต่อการกระจายอุณหภูมิภายในและประสิทธิภาพเครื่องตากแห้งข้าวกล้องงอกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	14
AE004	การประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นโลหะสำหรับกระบวนการผลิตน้ำร้อน	20
AE005	การศึกษาเชิงทดลองการเติมสารทำงานที่เหมาะสมของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราส่วนแอเดียแบติกเท่ากับ 4.42	29
AE006	การศึกษาเปรียบเทียบค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดด้วยระบบไมโครเวฟ และระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดหลังการอบแห้ง	35
AE007	เครื่องยิงจานโดยหลักการแม่เหล็กไฟฟ้า	45
AE008	การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบการบังเงาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโฟโตโวลตาอิก	51
AE009	การหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของถังน้ำร้อนสำหรับระบบทำความเย็นพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวล	57
AE010	การอบแห้งเมล็ดกาแฟสดในเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่	66
AE011	การจำลองวงจรเลียนแบบคุณลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โฟโต้ไดโอดเป็นอินพุต	71
AE012	การศึกษาสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกขนาดกลางสำหรับอบกล้วยเล็บมือนาง	78
AE013	ลักษณะการกระจายอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลังคาสามเหลี่ยมหน้าจั่ว	82
AE014	การศึกษาระดับการสั่นของสะพานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับเซนเซอร์	89
AE015	อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดย่อส่วนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์	94
AE016	แบบจำลองการอบแห้งชั้นบางของกล้วยเล็บมือนาง	100
AE017	การทำแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุโพลีไวนิลคลอไรด์ผสมเขม่าดำและการใช้งาน	104
AE018	การวิเคราะห์และออกแบบดับเบิ้ลดูอัลบูสต์คอนเวอร์เตอร์สำหรับประยุกต์ใช้กับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	111
AE019	การจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์อัตราขยายแรงดันสูงสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	117
AE020	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวเก็บรังสีแบบรวมแสงแบบพาราโบลิค	124
AE021	การเปรียบเทียบการปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในฤดูหนาวกรณีใช้และไม่ใช้ปล้องความร้อนที่ติดตั้งตำแหน่งหลังคา	130
AE022	ผลกระทบของความยาวท่อลมเป่าและความสูงของชั้นเบดต่อจลน์ศาสตร์การอบแห้งและการสิ้นเปลืองพลังงานในเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่น-หล่นอิสระ	137
AE023	ผลของการกระจายอุณหภูมิและไหลเวียนอากาศภายในโรงอบแห้งยางพาราพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลังคามุมเอียง	148
AE024	การเก็บเกี่ยวพลังงานจากข้อต่อหัวเข่าโดยใช้สเตปเปอร์มอเตอร์	154
AE025	การเก็บเกี่ยวพลังงานจากรถเข็นช็อปปิ้ง	160
AE026	นวัตกรรมการป้องกันการกัดกร่อนแบบคาโทดิกสำหรับประยุกต์ใช้งานกับพลังงานลม	166

การทำแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุโพลิไวนิลคลอไรด์ผสมเขม่าดำและการใช้งาน
Solar Hot Water Made from Polyvinyl chloride-carbon black and Its Application

ธวัชชัย มีแก้ว[1], วารุณี อริยวิริยะนันท์[1]* มานพ แย้มแฟง[2] พงศ์พิชญ์ ต่วนภูษา[3]
จักรวาล บุญหวาน[2] นุกูล เอื้อพันธ์เศรษฐ[4] พงษ์พิศณุ เมืองเจริญ[4] และ
ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนะ[5]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110
[3]สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถ.รังสิต-นครนายก ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110
[4] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120
[5] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบการผลิต สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ. ปทุมธานี 12120
*E-mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

แผงผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากวัสดุโพลิเมอร์และการใช้งานเพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าราคาถูกและเหมาะสำหรับใช้ในประเทศ แผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีความเป็นไปได้ที่จะทดแทนแผงน้ำร้อนทำจากวัสดุโลหะเนื่องจากมีสมบัติเด่นทางกลและกายภาพ ออกแบบได้หลากหลายให้เหมาะกับการใช้งาน น้ำหนักเบา (น้ำหนักแผงรวมน้ำไม่เกิน 40 Kg ต่อขนาดแผง 2 m^2) ราคาต้นทุนต่ำ และไม่เป็นสนิม โดยในการศึกษานี้จะใช้วัสดุดูดซับแสงที่ทำจากวัสดุโพลิไวนิลคลอไรด์ผสมเขม่าดำ (Polyvinyl chloride-carbon black, PVC-CB) โดยวัสดุดังกล่าวมีค่าการนำความร้อนประมาณ 0.24 W/m˙K โดยทำการออกแบบ ขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก และประกอบเป็นแผงขนาดพื้นที่รับแสง 2.0 m^2 จากนั้นทำการวัดประสิทธิภาพความร้อนตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น. ในแต่ละวัน โดยใช้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่เข้าแผงรับความร้อนอยู่ที่ 0.02 Kg/s โดยงานวิจัยนี้ศึกษานี้แผงทำน้ำร้อนปราศจากแผ่นปิดด้านบน (cover) จากการทดลองพบว่าแผงทำน้ำร้อนที่ผลิตจาก PVC-CB จะให้ค่าประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดประมาณ 50.0 % สามารถทำน้ำร้อนได้ประมาณ 50°C ผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผงอยู่ที่ประมาณ 20 °C และการนำไปประโยชน์โดยนำไปติดตั้งเสริมกับเครื่องล้างจาน สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าต่อเดือนได้ 290 บาท หรือ 3,488 บาทต่อปี

คำหลัก: ตัวดูดซับแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพทางความร้อน การนำความร้อน วัสดุโพลิเมอร์

Abstract

Solar hot water made from polymer materials was studied in order to produce a low temperature hot water and applied for reducing an electric cost and suitable for Thailand. This polymeric solar collector is very useful and may replace a typical metal collector because their mechanical and physical properties make the volume production of lightweight, low cost and corrosion resistance. Material used in this study was polyvinyl chloride-carbon black (PVC-CB). It has a thermal conductivity of 0.24 W/m˙K. The collector was prepared from extrusion process and assembly the collector area of 2 m^2 for thermal efficiency testing. Data was collected by data logger from 9.00-16.00 am throughout the day in which temperature reached a sufficient level according to standard test method of ASHRAE 93 –77. The mass flow rate of water in collector was 0.02 (kg.s-1). The collector used in this study was no cover. It was found that solar collector made from PVC-CB showed

the highest thermal efficiency of 50% in which the temperature of water outlet was about 50°C. The different of temperature of water inlet and outlet was 20°C. This polymeric solar collector was applied for supporting a water inlet to washing machine. This free energy of solar hot water system can reduce an electrical cost about 290 Baht/month/one machine or 3,488 Baht/year/one machine.

Keywords— Solar Collector, Thermal efficiency, Thermal conductivity, Polymer materials

1. บทนำ

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศทางแถบยุโรป รวมทั้งประเทศจีน แต่สำหรับในประเทศไทยการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีการใช้งานไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากมีราคาแพง ต้องการการติดตั้งจากช่างผู้เชี่ยวชาญและต้องมีการบำรุงรักษาเพิ่มค่าใช้จ่าย ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้มากขึ้นจึงได้ทำการศึกษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีราคาต่ำ เช่น การเลือกใช้วัสดุที่ทำจากพลาสติก ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยลดการขาดดุลการค้ากับต่างประเทศ ที่จะต้องนำเข้าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานไฟฟ้าและก๊าซ ซึ่งมีราคาแพงมีปัญหาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในบ้านเรือนทั่วไป ให้อุณหภูมิน้ำร้อนพอเหมาะ มีราคาประหยัด อีกทั้งยังใช้ทดแทนแผงน้ำร้อนที่ผลิตจากท่อทองแดง ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง และมีปัญหาดังนี้

1. เกิดปัญหาการขยายตัวของท่อเมื่อสัมผัสความร้อน และการบิดตัวของท่อ ซึ่งจะทำให้มีโอกาสเกิดการรั่วตามข้อต่อต่าง ๆ

2. ออกไซด์ของทองแดงหรือสนิมจะทำให้น้ำไหลออกมาเป็นสีเขียว มักพบในกรณีไม่ได้ใช้น้ำร้อนนานๆ

3. มีโอกาสเกิดกลิ่นของออกไซด์จากท่อทองแดง

4. ท่อทองแดงสูญเสียความร้อนได้ง่าย ทำให้เปลืองไฟ โดยเฉพาะท่อที่ต่อยาวๆ

จากงานวิจัยผลการศึกษาที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการทดลองของวัสดุพอลิเมอร์ ทำให้สามารถเลือกวัสดุที่จะนำมาผลิตแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และให้ประสิทธิภาพสูงสุด

จากงานวิจัยที่ผ่าน นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร และคณะ[1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2.16 ตารางเมตร กำลังผลิต 160 ลิตรต่อวัน โดยออกแบบการทดลองผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้อาบน้ำสำหรับผู้อยู่อาศัย 2 คน ซึ่งมีความต้องการน้ำร้อน 140 ลิตรต่อวัน และเก็บข้อมูลตามสภาวะอากาศของภาคใต้ 3 กรณี ได้แก่ วันที่มีแดดปกติ วันที่มีเมฆปกคลุมเหนือแผงตลอดทั้งวันแต่ไม่มีฝนตก และวันที่มีแดดเพียง 3-4 ชั่วโมง และมีฝนตกในช่วงบ่าย ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ทั้ง 3 กรณี มีค่าเท่ากับ 61.8°C, 55.4°C และ 55.6°C ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอาบน้ำทั่วไป คือ 27–34°C ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำร้อน คือ ช่วง 10.00-14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ค่ารังสีอาทิตย์สูง ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงรับรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 กรณี มีค่าเท่ากับ 48% 57% และ 64% ตามลำดับ ประสิทธิภาพจะมีค่าสูง เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำทางเข้าและออกจากแผงเฉลี่ย และอุณหภูมิบรรยากาศมีค่าน้อย

พฤฑธิ มาเนตรและคณะ [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน จะมีอุปกรณ์หลักในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน คือ ตัวรับรังสีอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบช่องอากาศไหลบนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบช่องอากาศไหล และทำการปรับปรุงตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลล่างมีขนาดกว้าง1.8 เมตร ยาว 3.22 เมตร วางทำมุม 17 องศากับแนวระดับ โดยทำการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ ที่สภาวะอุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม (Ti=Ta) และผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบที่มีช่องอากาศไหลบนและไหลล่างของตัวดูดซับรังสีอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 31.4% และ 43.68% ตามลำดับ จะเห็นว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลล่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีช่องอากาศไหลบนเนื่องจากมีชั้นอากาศนิ่งเปรียบเสมือนฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านบนของผิวกระจกอีกชั้นหนึ่ง และทำการปรับปรุงตัวรับรังสีอาทิตย์โดยติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ต่างๆ

ดังนี้ 15 30 45 60 75 และ 90 องศา กับตัวรับรังสีอาทิตย์ พบว่า มุม 75 องศา มีประสิทธิภาพตัวรับรังสีสูงสุดเท่ากับ 53.29% ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีมุมเอียง 75 องศา ทำให้ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นได้ดีที่สุด

ศรีธร อุปคำและคณะ [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะการทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด 2 ตารางเมตร ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 100 ลิตร ใช้สาร R-134a เป็นสารตัวกลางของระบบปั๊มความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำป้อนและน้ำหมุนเวียนในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 2.5 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 40–60 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับอาคารที่อยู่อาศัยซึ่งอยู่ภายใต้ภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ในการรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำร้อนใช้ให้คงที่ที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 40 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 13.522 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 11.81 กิโลวัตต์ ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 50 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 29.90 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 37.25 กิโลวัตต์ชั่วโมง และที่อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 60 องศาเซลเซียส ระบบร่วมกับปั๊มความร้อนใช้พลังงาน 51.14 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนระบบที่ร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงาน 58.90 กิโลวัตต์ ชั่วโมง ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ จะได้ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 2.06 ปี

บงกช ประสิทธิ์และคณะ [4] เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบธรรมดาที่ใช้ในปัจจุบันโดยทั่วไปสามารถผลิตน้ำร้อนได้ในอุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ให้สูงขึ้นจะทำให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการใช้งาน การติดครีบเพิ่มความร้อนให้กับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะสามารถช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากครีบ จุดมุ่งหมายของการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวรับรังสีและอาทิตย์แผ่นเรียบธรรมดากับแบบติดครีบเพิ่มความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยมาตรฐานการทดสอบของ ASHRAE STANDARD 93-77 และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนของทั้ง 2 ระบบ ซึ่งตัวอย่างที่ใช้เป็นเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ รุ่น SD-160L version 1 ขนาดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 1.15 เมตร x 1.94 เมตร (2.23 ตารางเมตร) ถังเก็บน้ำร้อนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เมตร ยาว 1.35 เมตร(ขนาดความจุ169 ลิตร) จำนวน 1 ระบบ และรุ่น SD-160L version 2 ขนาดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 1.01 เมตร x 1.96 เมตร (1.98 ตารางเมตร) มีถังเก็บน้ำร้อนเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เมตร ยาว 1.35 เมตร (ขนาดความจุ 169 ลิตร) จำนวน 1 ระบบ โดยทำการบันทึกผลและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม, อุณหภูมิท่อน้ำเข้าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, อุณหภูมิท่อน้ำออกจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน, และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยเก็บข้อมูลทั้งกลางวันและกลางคืน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2545-เดือนพฤษภาคม 2545 เพื่อนำผลข้อมูลที่ได้มาประเมินประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกันและดูการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน ผลการศึกษาพบว่า ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบธรรมดาของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 64.5 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ 0.57 องศาเซลเซียส/ชั่วโมง ระหว่างเวลา 15.00 ถึง 10.00 น. ของวันรุ่งขึ้น ในขณะที่ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบแบบติดครีบมีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้ำร้อนภายในถังเก็บมีอุณหภูมิลดลงในอัตราที่น้อยกว่า (0.45 องศาเซลเซียส/ชั่วโมง) ซึ่งสรุปได้ว่าการติดครีบที่ตัวรับรังสีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวรับรังสี แสงอาทิตย์และทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตมีค่าสูงขึ้นได้

จงจิตร์ หิรัญลาภ และคณะ [5] ได้ศึกษาวิจัยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย โดยใช้วัสดุท่อพลาสติกพีวีซีขนาด 40 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และใช้ถังสะสมความร้อนขนาด 35 ลิตร จากการทดลองพบว่าแบบท่อวางบนกระเบื้องหลังคาบ้าน (ลอนเล็ก) ที่มีฝาปิดพลาสติกใสทำอุณหภูมิได้ 72°C ในขณะที่แบบท่อแนวตั้งมีกระเบื้องแผ่นเรียบและมีฝาปิดพลาสติกใสทำอุณหภูมิได้ 65°C และเพื่อป้องกันไม่ให้ท่อพลาสติกพีวีซีเสียหายในกรณีที่อุณหภูมิเครื่องทำน้ำร้อนสูงกว่า 60°C ต้องมีการระบายอากาศระหว่างท่อและฝาปิดโดยใช้อากาศจาก

ภายนอกเข้ามาหมุนเวียน ใช้ค่าก่อสร้างประมาณ 4,500 บาทรวมแพงพีวีซี (ประมาณไม่เกิน 2,000 บาท) อายุการใช้งานประมาณ 3 ปี

จากงานวิจัยที่ผ่านมา จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาวัสดุราคาถูกและหาได้ในประเทศเพื่อนำมาทำเป็นวัสดุดูดซับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถออกแบบและผลิตขึ้นเองได้ ราคาถูกและเหมาะกับการใช้งานได้หลายประเภท เช่น การทำน้ำร้อนในโรงแรมและโรงพยาบาล เป็นต้น โดยในการศึกษาเลือกใช้วัสดุโพลิเมอร์กลุ่มไวนิล เนื่องจากมีราคาถูกมาปรับปรุงสมบัติการนำความร้อน เพื่อหาประสิทธิภาพของแผงทำน้ำร้อน โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาพัฒนาต่อเพื่อพาวัสดุที่เหมาะสมและนำไปทดลองใช้จริงเพื่อเผยแพร่ต่อไป

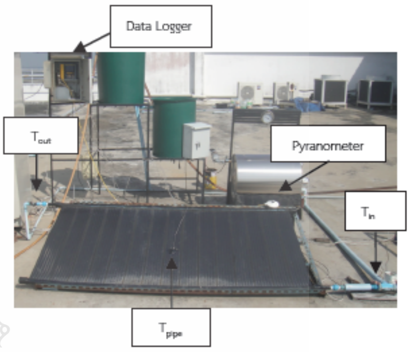
2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้

- พีวีซี-เขม่าดำ (Polyvinyl chloride-carbon black, PC-CB)
- เครื่องเก็บบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Portable Data Station) ยี่ห้อ YOKOGAWA Datum-Y, XL100
- เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) ยี่ห้อ KIPP&ZONEN, CMP 3
- เทอร์โมคัปเปิล (K Type thermocouple)
- เครื่องล้างจาน รุ่น STEWARD
-Extrusion Machine

2.2 วิธีการทดลอง

แผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์เตรียมโดยการใช้กระบวนการอัดรีด (Extrusion process) และทำการติดตั้งแผงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผงทำน้ำร้อนตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77[6] ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยภายในระบบการวัดประสิทธิภาพแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วย ถังสำหรับเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนของน้ำภายในระบบ โดยแผงน้ำร้อนที่ผลิตจะมีพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร วางทำมุม 14 องศากับแนวระดับ และมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ จากแผงเข้าสู่อุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (K Type thermocouple) และมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตรงบริเวณ น้ำเข้า (T_{in}) น้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิสภาวะแวดล้อม (T_a) อุณหภูมิภายนอกของแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{pipe}) และตัววัดค่าความเข้มแสง (Pyranometer) ในการทดลองจะใช้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเท่ากับ 0.02 kg/s



รูปที่ 1 การติดตั้งแผงทดสอบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุโพลิเมอร์

โดยอุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติจะทำการบันทึกผลทุกๆ 1 นาที โดยจะเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 9.00 น.-16.0 น. และเครื่องก็จะบันทึกผลข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณหาประสิทธิภาพ

2.3 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal Efficiency)

ในการหาค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการจากสอบแผงผลิตน้ำร้อน นอกจากการเก็บข้อมูลจริงจากการทดสอบแล้วนั้น ยังต้องนำค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาคำนวณหาค่าต่างๆได้เราต้องการ โดยนำค่าต่างๆที่ได้นี้มาแทนในสมการ โดยมีสมการดังต่อไปนี้

2.3.1 การหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} \quad (1)$$

ΔT หมายถึง อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป
T_{out} หมายถึง อุณหภูมิของน้ำขณะไหลออก
T_{in} หมายถึง อุณหภูมิของน้ำขณะไหลเข้า

2.3.2 การหาค่าการถ่ายโอนความร้อน

$$Q = m^{\bullet} Cp \Delta T \quad (2)$$

$m^{\bullet}$ หมายถึง อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg s)

Q หมายถึง ค่าการถ่ายโอนความร้อนที่น้ำได้รับ (Watt)

Cp หมายถึง Capacity Heat ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (KJ/(kg.°C)

ΔT หมายถึง อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป

2.3.3 การหาค่าความเข้มแสง

$$I_T = \frac{S}{Factor\ of\ Pyranometer} \times 1000 \quad (3)$$

S หมายถึงค่าแสงแดด (W.m^2)

$Factor\ of\ Pyranometer$ มีค่าเท่ากับ 15.35

2.3.4 การหาประสิทธิภาพทางความร้อน

$$\eta = \left(\frac{Q}{I_C \cdot A_C}\right) \times 100 \quad (4)$$

η หมายถึง ค่าประสิทธิภาพทางความร้อน

Q หมายถึง ค่าการถ่ายโอนความร้อน (Watt)

I_C หมายถึง การหาค่าความเข้มแสง (W.m^2)

A_C หมายถึง พื้นที่หน้าตัด (m^2)

2.4 การนำไปใช้งาน

นำแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ จำนวน 2 แผง รวมพื้นที่ 4 ตร.ม. ทำการติดตั้งแผงบนอาคารโรงอาหาร ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อต่อเข้ากับเครื่องล้างจานและทดสอบประสิทธิภาพของแผงทำน้ำร้อนตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77และเปรียบเทียบผลก่อนใช้แผงน้ำร้อนและหลังใช้แผงน้ำร้อน โดยอุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติจะทำการบันทึกผลทุกๆ 1 นาที โดยจะเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 9.00 น.-16.0 น. และเครื่องก็จะบันทึกผลข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณหาประสิทธิภาพ และคำนวณค่าไฟฟ้าต่อไป

(ก) แผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุโพลิเมอร์

(ข) เครื่องล้างจาน

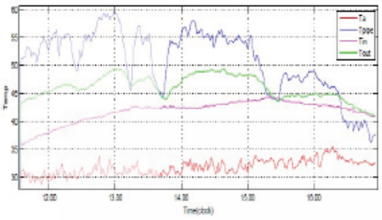
รูปที่ 2 (ก) แผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากวัสดุโพลิเมอร์ และ (ข) ต่อกับเครื่องล้างจาน

2.4.1 สูตรการคำนวณค่าไฟฟ้า

(กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) × จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน1วัน = จำนวนหน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

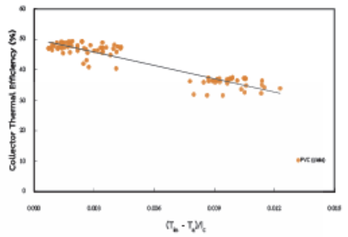
3. ผลและการอภิปรายผล

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก PVC-CB แบบไม่มีฝาปิดและทดลองโดยการติดตั้งบนดาดฟ้า ชั้น 8 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยที่แผงน้ำร้อนจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเข้มแสงในช่วง 700-1000 W/m^2 โดยจะแสดงผลให้เห็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า (T_{in}) อุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) อุณหภูมิแวดล้อม(T_a) และอุณหภูมิแผง (T_{pipe}) กับเวลาของแผงดูดซับความร้อนจากวัสดุ PVC-CB

ผลการทดสอบประสิทธิภาพตัวดูดซับแสงอาทิตย์ของวัสดุที่เป็น PVC-CB ตามมาตรฐาน ASHERE Standard 93-77 จะได้สมการเชิงเส้น ซึ่งจากการพล็อตระหว่างแกน x ซึ่งเป็นค่า (T_{in}-T_a)/I_c กับแกน y ที่เป็นค่า Collector Thermal efficiency (%) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตจากจากวัสดุ PVC-CB

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดของแผ่นดูดซับแสงอาทิตย์จากวัสดุพลาสติกจากรูปที่ 4 พบว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้คือ 50.0 % สามารถทำน้ำร้อนได้ประมาณ 50 °C ผลต่างระหว่างอุณภูมิน้ำเข้าและออกจากแผงอยู่ที่ประมาณ 20 °C

จากรูปที่ 4 สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าไฟฟ้าได้ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 กรณีไม่มีแผงน้ำร้อน (ใช้เวลาในการให้ความร้อนของเครื่องล้างจานเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 15 นาที)

Rate	ราคาตาม Rate	หน่วยที่ใช้งาน	เป็นเงิน (บาท)	1 เดือน (บาท)	1 ปี (บาท)
35 หน่วยแรก	85.21	35	85.21		
115 หน่วยต่อไป	1.1236	115	129.21		
250 หน่วยต่อไป	2.1329	250	533.23		
เกิน 400 หน่วย	2.4226	320	775.23		
รวม		720		1,522.88	18,274.57

ตารางที่ 2 กรณีต่อแผงน้ำร้อนจำนวน 2 แผงเข้ากับเครื่องล้างจาน (ใช้เวลาในการให้ความร้อนของเครื่องล้างจานเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 นาที)

Rate	ราคาตาม Rate	หน่วยที่ใช้งาน	เป็นเงิน (บาท)	1 เดือน (บาท)	1 ปี (บาท)
35 หน่วยแรก	85.21	35	85.21		
115 หน่วยต่อไป	1.1236	115	129.21		
250 หน่วยต่อไป	2.1329	250	533.23		
เกิน 400 หน่วย	2.4226	200	484.52		
รวม		600		1,232.17	14,786.03

ผลจากการคำนวณและเปรียบเทียบกรณีไม่มีแผงน้ำร้อนกับกรณีที่มีแผงน้ำร้อนต่อเข้ากับเครื่องล้างจาน จะเห็นได้ว่า กรณีที่ไม่มีแผงน้ำร้อนจะใช้เวลาในการให้ความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 15 นาที คิดเป็นหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 720 หน่วยต่อเดือน คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,522.88 บาทต่อเดือน และคิดเป็นค่าไฟฟ้า 18,274.57 บาทต่อปี

กรณีมีแผงน้ำร้อน ใช้เวลาในการให้ความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 นาที คิดเป็นหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 600 หน่วยต่อเดือน คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,232.17 บาทต่อเดือน และคิดเป็นค่าไฟฟ้า 14,786.03 บาทต่อปี ดังนั้นกรณีมีแผงน้ำร้อนสามารถประหยัดค่าหน่วยไฟฟ้าได้ 120 หน่วยต่อเดือน และประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 290 บาทต่อเดือนหรือประมาณ 3,488 บาทต่อปี

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแผงน้ำร้อนที่ผลิตจากวัสดุโพลิเมอร์และเปรียบเทียบกรณีไม่มีแผงน้ำร้อนกับกรณีที่มีแผงน้ำร้อนต่อเข้ากับเครื่องล้างจาน พบว่าประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนของวัสดุแผงทำจาก PVC-CB ที่ออกแบบพิเศษให้มีพื้นที่รับแสงขนาดต่อแผงเท่ากับ 2.0 m^2 ไม่มีช่องว่างใดๆ และไม่มีฝาปิดที่มีค่าการนำความร้อนที่ 0.24 W/m.K จะให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดสามารถทำน้ำร้อนได้ประมาณ 50°C เมื่อนำไปใช้ประโยชน์โดยนำไปติดตั้งกับเครื่องล้างจาน สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 290 บาทต่อเดือนหรือ 3,488 บาทต่อปี สามารถติดตั้งบนหลังคาหรือผนังตามความเหมาะสมของพื้นที่เพื่อใช้ผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำสำหรับใช้ในบ้านเรือน เครื่องล้างจาน เป็นต้น และสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำน้ำร้อนและช่วยลดมลพิษจากการเผาไหม้โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีอยู่แล้วโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ต้นทุนในการผลิตแผงทำน้ำร้อนจากวัสดุโพลิเมอร์นี้ราคาไม่เกิน 2,000 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่ามากเมื่อเทียบกับแผงผลิตน้ำร้อนนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาประมาณ 30,000 บาท

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์และโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ให้ใช้ในการทำการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ และปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล 2550 "การศึกษาประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อนโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21.

[2] พฤทธิ มาเนตร ศิรินุช จินดารักษ์ สินเดิม ดีโต อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และฉันทนา พันธุ์เหล็ก. 2548, "การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วยแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1.

[3] ศรีธร อุปคำ. 2541, "การวิเคราะห์สมรรถนะระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[4] บงกช ประสิทธิ์; พิสิษฎ์ มณีโชติ; อภิโชติ แสนสม; ประพิธาริ์ ธนารักษ์; ยุวดี คงมั่น. "การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77" วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร ฉบับที่ 11(1) หน้า 11-22, 2546.

[5] จงจิตร์ หิรัญลาภ ปรีดา จันทวงษ์ และโจเซฟ เคดารี. 2543 "เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย" วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 23 ฉบับที่ 3.

[6] Ashrea Standard 93-77. Method of Testing to Determine The Thermal Performance of Solar Collectors. New York: *The America Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers*,1978.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายธวัชชัย มีแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	22 พฤษภาคม 2528
ที่อยู่	69 หมู่ 5 ตำบลหน้าสตน อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช 80170
การศึกษา	
พ.ศ. 2552	ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2549	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคโนโลยีการยาง คณะวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2552 – ปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	08-1569-0683
อีเมล์	meekeaw1602@hotmail.com