



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล	วิศวกรรมเครื่องกล
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted และการเผาไหม้ ของกลุ่มพลาสติก An Experimental Study of Piloted Ignition and Burning Behavior of Plastic
นามผู้วิจัย	นายกิตติ ภูษณะเบญญา
ได้พิจารณาเห็นชอบ	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกไท วิโรจน์สกุลชัย, Ph.D.)
หัวหน้าภาควิชา	(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted และการเผาไหม้ของกลุ่มพลาสติก

An Experimental Study of Piloted Ignition and Burning Behavior of Plastic

โดย

นายกิตติ ภูษณะเบญญา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติ ฐานะเบญญา 2554: การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ
Piloted และการเผาไหม้ของกลุ่มพลาสติก ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D. 202 หน้า

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted และ
การเผาไหม้ของกลุ่มพลาสติกที่ใช้แพร่หลายในการตกแต่งอาคาร โดยการทดลองได้
ดำเนินการบนเครื่อง cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM 1354 วัสดุที่ใช้เป็นชิ้นตัวอย่าง
ทดสอบเลือกมาจากผลิตภัณฑ์จากพลาสติก 13 ชนิด ประกอบด้วย ประกอบด้วย แผ่นPMMA
(Polymethylmethacrylate) หน้า 3 mm แผ่น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) หน้า 3 mm
แผ่นอะคริลิก (Acrylic) หน้า 5 mm แผ่นกระเบื้องยาง (PVC Floor Tiles) หน้า 1.6 mm แผ่นHIPS
(High impact polystyrene) หน้า 2 mm แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) หน้า 4 mm แผ่น
โฟมยาง (EVA Foam Sheet) หน้า 15 mm แผ่นPE (Polyethylene) หน้า 1 mm พลาสติกลูกฟูก
(Plan Board) หน้า 5 mm พรหมไนลอน (Nylon) หน้า 5 mm พรหมโพลีโพรพิลีน (Polypropylene)
หน้า 5 mm แผ่นไวนิล (Vinyl) หน้า 0.5 mm และแผ่นโฟม PE (Polyethylene Foam) หน้า 10 mm

งานวิจัยได้นำเสนอคุณสมบัติการจุดติดไฟของกลุ่มพลาสติกประกอบไปด้วย พลังค์
ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted ความเฉื่อยทางความร้อน พลังค์การเผาไหม้
และอุณหภูมิจุดติดไฟแบบ piloted ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ค่าพลังค์ความร้อนวิกฤต
และอุณหภูมิจุดติดไฟเป็นเกณฑ์เพื่อพิจารณาอันตรายด้านอัคคีภัย ในจำนวนผลิตภัณฑ์จาก
พลาสติกทั้ง 13 ชนิด แผ่น PMMA และแผ่นอะคริลิก มีอันตรายด้านอัคคีภัยสูงที่สุดในขณะ
ที่แผ่นโพลีคาร์บอเนตมีอันตรายด้านอัคคีภัยต่ำที่สุด

Kitti Phusanabenya 2011: An Experimental Study of Piloted Ignition and Burning Behavior of Plastic. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Nathasak Boonmee, Ph.D. 202 pages.

This research presents an experimental study of pilot ignition and Burning Behavior of plastic commonly used in decoration. The experiments were carried out on the cone calorimeter according to the ASTM 1354 standard. The test samples were selected for 13 types of Plastic: PMMA (Polymethylmethacrylate) 3 mm thick, ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) 3 mm thick, Acrylic 5 mm thick, PVC Floor Tiles 1.6 mm thick, HIPS (High impact polystyrene) 2 mm thick, Polycarbonate 4 mm thick, EVA Foam Sheet 15 mm thick, Polyethylene 1 mm thick, Plan Board 5 mm thick, Nylon 5 mm thick, Polypropylene 5 mm thick, Vinyl 0.5 mm thick and Polyethylene Foam 10 mm thick.

The research presents the piloted ignition properties of plastic: critical heat flux for piloted ignition, thermal inertia, burning flux, and piloted ignition temperature. Based on the critical heat flux for piloted ignition and ignition temperature, among the 13 types of plastic, PMMA and Acrylic has the highest rank in fire risk where the Polycarbonate has the lowest rank.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐศักดิ์ บุญมี ประธานกรรมการ
วิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกไท วิโรจน์สกุลชัย ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา
ในการค้นคว้าวิจัยตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบ
ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอขอบพระคุณ Fire Safety Research Center ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Cone Calorimeter ที่ใช้ในการ
ทดสอบครั้งนี้ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่คุณพ่อ คุณแม่
ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

กิตติ ภูษณะเบญญา
พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(20)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	48
สรุป	48
ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	50
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดลอง	54
ภาคผนวก ข กราฟแสดงการสูญเสียมวลของพลาสติก	68
ภาคผนวก ค กราฟแสดงฟลักซ์การเผาไหม้ของพลาสติก	123
ภาคผนวก ง กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟกับระดับความร้อน	178
ภาคผนวก จ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i	186
ภาคผนวก ฉ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อน	194
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	202

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความหนาแน่นเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย ของพลาสติก	23
2	ค่าเฉลี่ยของ m''_{ig} และ m''_{peak} ของวัสดุทั้งหมดที่ทำกรทดลอง	40
3	คุณสมบัติการจุดติดไฟของชิ้นทดสอบ	45
4	คุณสมบัติการจุดติดไฟของวัสดุ	46
ตารางผนวกที่		
ก1	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ PMMA ขนาด ความหนา 3 มิลลิเมตร	55
ก2	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ ABS ขนาด ความหนา 3 มิลลิเมตร	56
ก3	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Acrylic ขนาด ความหนา 5 มิลลิเมตร	57
ก4	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ PVC Floor ขนาด ความหนา 1.6 มิลลิเมตร	58
ก5	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ HIPS ขนาด ความหนา 2 มิลลิเมตร	59
ก6	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Polycarbonate ขนาด ความหนา 4 มิลลิเมตร	60
ก7	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ EVA ขนาด ความหนา 15 มิลลิเมตร	61
ก8	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ PE ขนาด ความหนา 1 มิลลิเมตร	62
ก9	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Plan Board ขนาด ความหนา 5 มิลลิเมตร	63
ก10	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Nylon ขนาด ความหนา 5 มิลลิเมตร	64
ก11	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Polypropylene ขนาด ความหนา 5 มิลลิเมตร	65
ก12	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Vinyl ขนาด ความหนา 0.5 มิลลิเมตร	66
ก13	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ PE Foam ขนาด ความหนา 10 มิลลิเมตร	67

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปสามเหลี่ยมไฟ	8
2	ทฤษฎีการจุดติดไฟแบบ piloted ของเชื้อเพลิงแข็ง	10
3	ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่น PMMA	13
4	แผ่นPMMA (Polymethylmethacrylate) หน้า 3 มิลลิเมตร	14
5	แผ่น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) หน้า 3 มิลลิเมตร	14
6	แผ่นอะคริลิก (Acrylic) หน้า 5 มิลลิเมตร	15
7	แผ่นกระเบื้องยาง (PVC Floor Tiles) หน้า 1.6 มิลลิเมตร	16
8	ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่น HIPS	16
9	แผ่นHIPS (High impact polystyrene) หน้า 2 มิลลิเมตร	17
10	ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่น โพลีคาร์บอเนต	17
11	แผ่น โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) หน้า 4 มิลลิเมตร	18
12	ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่น โฟมยาง	18
13	แผ่น โฟมยาง (EVA Foam Sheet) หน้า 15 มิลลิเมตร	19
14	แผ่นPE (Polyethylene) หน้า 1 มิลลิเมตร	19
15	แผ่น โฟม PE (Polyethylene Foam) หน้า 10 มิลลิเมตร	20
16	แผ่นพลาสติกกุกฟูก (Plan Board) หน้า 5 มิลลิเมตร	20
17	พรมไนลอน (Nylon) หน้า 5 มิลลิเมตร	21
18	พรม โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) หน้า 5 มิลลิเมตร	22
19	แผ่นไวนิล (Vinyl) หน้า 0.5 มิลลิเมตร	22
20	เครื่อง Cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM E 1354	25
21	ภาพตัดขวางของโคนความร้อน กรวยสแตนเลส และฉนวนความร้อน	28
22	การจัดวางแผงโคนความร้อนสำหรับการให้ความร้อนแนวระดับ	29
23	การจัดวางแผงโคนความร้อนสำหรับการให้ความร้อนแนวตั้ง	29
24	(ก) อุปกรณ์ทดสอบพฤติกรรมการติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุ cone calorimeter ตาม มาตรฐาน ASTM E 1354 (ข) แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลอง	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	การสูญเสียมวลของแผ่น PMMA หนา 3 mm ที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 50 kW/m ²	38
26	ฟลักซ์การเผาไหม้ของแผ่น PMMA หนา 3 mm ที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 50 kW/m ²	39
27	ความสัมพันธ์ของฟลักซ์การเผาไหม้กับระดับฟลักซ์ความร้อนของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm	40
28	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟแบบ piloted กับระดับฟลักซ์ความร้อนของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm	41
29	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm	44
30	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติของ Quintiere & Harkleroad กับงานวิจัยนี้	47
31	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดติดไฟของ Quintiere & Harkleroad กับงานวิจัยนี้	47
ภาพผนวกที่		
ข1	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 50 kW/m ² (PMMA50-1)	69
ข2	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 50 kW/m ² (PMMA50-2)	69
ข3	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 50 kW/m ² (PMMA50-3)	69
ข4	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 40 kW/m ² (PMMA40-1)	70
ข5	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 40 kW/m ² (PMMA40-2)	70
ข6	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 40 kW/m ² (PMMA40-3)	70
ข7	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 30 kW/m ² (PMMA30-1)	71
ข8	การสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 30 kW/m ² (PMMA30-2)	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข9	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (PMMA30-3)	71
ข10	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (PMMA20-1)	72
ข11	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (PMMA20-2)	72
ข12	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (PMMA20-3)	72
ข13	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (PMMA15-1)	73
ข14	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (PMMA15-2)	73
ข15	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (PMMA15-3)	73
ข16	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (PMMA12-1)	74
ข17	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (PMMA12-2)	74
ข18	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (PMMA12-3)	74
ข19	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 10 kW/m ² (PMMA10-1)	75
ข20	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 10 kW/m ² (PMMA10-2)	75
ข21	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 10 kW/m ² (PMMA10-3)	75
ข22	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 8 kW/m ² (PMMA8-1)	76
ข23	การสูญเสียมวลของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 8 kW/m ² (PMMA8-2)	76
ข24	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (ABS50-1)	76
ข25	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (ABS50-2)	77
ข26	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (ABS50-3)	77
ข27	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (ABS40-1)	77
ข28	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (ABS40-2)	78
ข29	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (ABS40-3)	78
ข30	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (ABS30-1)	78
ข31	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (ABS30-2)	79
ข32	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (ABS30-3)	79
ข33	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (ABS20-1)	79
ข34	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (ABS20-2)	80

สรุบบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข35	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m^2 (ABS15-1)	80
ข36	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m^2 (ABS15-2)	80
ข37	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (ABS12-1)	81
ข38	การสูญเสียมวลของ ABS หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (ABS12-2)	81
ข39	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 50 kW/m^2 (Arcylic 50-1)	81
ข40	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 50 kW/m^2 (Arcylic 50-2)	82
ข41	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 40 kW/m^2 (Arcylic 40-1)	82
ข42	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 40 kW/m^2 (Arcylic 40-2)	82
ข43	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 30 kW/m^2 (Arcylic 30-1)	83
ข44	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 30 kW/m^2 (Arcylic 30-2)	83
ข45	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 20 kW/m^2 (Arcylic 20-1)	83
ข46	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 20 kW/m^2 (Arcylic 20-2)	84
ข47	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 15 kW/m^2 (Arcylic 15-1)	84
ข48	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 15 kW/m^2 (Arcylic 15-2)	84
ข49	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 12 kW/m^2 (Arcylic 12-1)	85
ข50	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 12 kW/m^2 (Arcylic 12-2)	85
ข51	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 10 kW/m^2 (Arcylic 10-1)	85
ข52	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 10 kW/m^2 (Arcylic 10-2)	86
ข53	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 8 kW/m^2 (Arcylic 8-1)	86
ข54	การสูญเสียมวลของ Arcylic หน้า 5mm ที่ 8 kW/m^2 (Arcylic 8-2)	86
ข55	การสูญเสียมวลของ PVC หน้า 1.6mm ที่ 50 kW/m^2 (PVC 50-1)	87
ข56	การสูญเสียมวลของ PVC หน้า 1.6mm ที่ 50 kW/m^2 (PVC 50-2)	87
ข57	การสูญเสียมวลของ PVC หน้า 1.6mm ที่ 40 kW/m^2 (PVC 40-1)	87
ข58	การสูญเสียมวลของ PVC หน้า 1.6mm ที่ 40 kW/m^2 (PVC 40-2)	88
ข59	การสูญเสียมวลของ PVC หน้า 1.6mm ที่ 30 kW/m^2 (PVC 30-1)	88
ข60	การสูญเสียมวลของ PVC หน้า 1.6mm ที่ 30 kW/m^2 (PVC 30-2)	88

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข61	การสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m ² (PVC 20-1)	89
ข62	การสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m ² (PVC 20-2)	89
ข63	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m ² (HIPS 50-1)	89
ข64	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m ² (HIPS 50-2)	90
ข65	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m ² (HIPS 50-3)	90
ข66	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m ² (HIPS 40-1)	90
ข67	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m ² (HIPS 40-2)	91
ข68	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m ² (HIPS 40-3)	91
ข69	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 30 kW/m ² (HIPS 30-1)	91
ข70	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 30 kW/m ² (HIPS 30-2)	92
ข71	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m ² (HIPS 20-1)	92
ข72	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m ² (HIPS 20-2)	92
ข73	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 15 kW/m ² (HIPS 15-1)	93
ข74	การสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 15 kW/m ² (HIPS 15-2)	93
ข75	การสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 50 kW/m ² (Poly 50-1)	93
ข76	การสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 50 kW/m ² (Poly 50-2)	94
ข77	การสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 40 kW/m ² (Poly 40-1)	94
ข78	การสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 40 kW/m ² (Poly 40-2)	94
ข79	การสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 30 kW/m ² (Poly 30-1)	95
ข80	การสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 30 kW/m ² (Poly 30-2)	95
ข81	การสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (EVA 50-1)	95
ข82	การสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (EVA 50-2)	96
ข83	การสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (EVA 40-1)	96
ข84	การสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (EVA 40-2)	96
ข85	การสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (EVA 30-1)	97
ข86	การสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (EVA 30-2)	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข87	การสูญเสียมวลของ EVA หน้า15mm ที่ 20 kW/m ² (EVA 20-1)	97
ข88	การสูญเสียมวลของ EVA หน้า15mm ที่ 20 kW/m ² (EVA 20-2)	98
ข89	การสูญเสียมวลของ EVA หน้า15mm ที่ 15 kW/m ² (EVA 15-1)	98
ข90	การสูญเสียมวลของ EVA หน้า15mm ที่ 15 kW/m ² (EVA 15-2)	98
ข91	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 50 kW/m ² (PE 50-1)	99
ข92	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 50 kW/m ² (PE 50-2)	99
ข93	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 40 kW/m ² (PE 40-1)	99
ข94	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 40 kW/m ² (PE 40-2)	100
ข95	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 30 kW/m ² (PE 30-1)	100
ข96	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 30 kW/m ² (PE 30-2)	100
ข97	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 20 kW/m ² (PE 20-1)	101
ข98	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 20 kW/m ² (PE 20-2)	101
ข99	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 15 kW/m ² (PE 15-1)	101
ข100	การสูญเสียมวลของ PE หน้า1mm ที่ 15 kW/m ² (PE 15-2)	102
ข101	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 50 kW/m ² (PB 50-1)	102
ข102	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 50 kW/m ² (PB 50-2)	102
ข103	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 40 kW/m ² (PB 40-1)	103
ข104	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 40 kW/m ² (PB 40-2)	103
ข105	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 30 kW/m ² (PB 30-1)	103
ข106	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 30 kW/m ² (PB 30-2)	104
ข107	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 20 kW/m ² (PB 20-1)	104
ข108	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 20 kW/m ² (PB 20-2)	104
ข109	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 15 kW/m ² (PB 15-1)	105
ข110	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 15 kW/m ² (PB 15-2)	105
ข111	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 12 kW/m ² (PB 12-1)	105
ข112	การสูญเสียมวลของ Plan Board หน้า5mm ที่ 12 kW/m ² (PB 12-2)	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข113	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (Nylon 50-1)	106
ข114	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (Nylon 50-2)	106
ข115	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (Nylon 50-3)	107
ข116	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (Nylon 40-1)	107
ข117	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (Nylon 40-2)	107
ข118	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (Nylon 40-3)	108
ข119	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (Nylon 30-1)	108
ข120	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (Nylon 30-2)	108
ข121	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (Nylon 30-3)	109
ข122	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (Nylon 20-1)	109
ข123	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (Nylon 20-2)	109
ข124	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (Nylon 20-3)	110
ข125	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (Nylon 15-1)	110
ข126	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (Nylon 15-2)	110
ข127	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (Nylon 15-3)	111
ข128	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 12 kW/m ² (Nylon 12-1)	111
ข129	การสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 12 kW/m ² (Nylon 12-2)	111
ข130	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 50 kW/m ² (PP50-1)	112
ข131	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 50 kW/m ² (PP50-2)	112
ข132	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 40 kW/m ² (PP40-1)	112
ข133	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 40 kW/m ² (PP40-2)	113
ข134	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 30 kW/m ² (PP30-1)	113
ข135	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 30 kW/m ² (PP30-2)	113
ข136	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 20 kW/m ² (PP20-1)	114
ข137	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 20 kW/m ² (PP20-2)	114
ข138	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 15 kW/m ² (PP15-1)	114

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข139	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 15 kW/m ² (PP15-2)	115
ข140	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 12 kW/m ² (PP12-1)	115
ข141	การสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 12 kW/m ² (PP12-2)	115
ข142	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 50 kW/m ² (Vinyl50-1)	116
ข143	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 50 kW/m ² (Vinyl50-2)	116
ข144	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 40 kW/m ² (Vinyl40-1)	116
ข145	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 40 kW/m ² (Vinyl40-2)	117
ข146	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 30 kW/m ² (Vinyl30-1)	117
ข147	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 30 kW/m ² (Vinyl30-2)	117
ข148	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 20 kW/m ² (Vinyl20-1)	118
ข149	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 20 kW/m ² (Vinyl20-2)	118
ข150	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 15 kW/m ² (Vinyl15-1)	118
ข151	การสูญเสียมวลของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 15 kW/m ² (Vinyl15-2)	119
ข152	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 50 kW/m ² (PE-F 50-1)	119
ข153	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 50 kW/m ² (PE-F 50-2)	119
ข154	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 40 kW/m ² (PE-F 40-1)	120
ข155	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 40 kW/m ² (PE-F 40-2)	120
ข156	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 30 kW/m ² (PE-F 30-1)	120
ข157	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 30 kW/m ² (PE-F 30-2)	121
ข158	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 20 kW/m ² (PE-F 20-1)	121
ข159	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 20 kW/m ² (PE-F 20-2)	121
ข160	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 15 kW/m ² (PE-F 15-1)	122
ข161	การสูญเสียมวลของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 15 kW/m ² (PE-F 15-2)	122
ค1	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (PMMA50-1)	124
ค2	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (PMMA50-2)	124
ค3	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (PMMA50-3)	124

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค4	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (PMMA40-1)	125
ค5	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (PMMA40-2)	125
ค6	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (PMMA40-3)	125
ค7	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (PMMA30-1)	126
ค8	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (PMMA30-2)	126
ค9	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (PMMA30-3)	126
ค10	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (PMMA20-1)	127
ค11	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (PMMA20-2)	127
ค12	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (PMMA20-3)	127
ค13	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (PMMA15-1)	128
ค14	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (PMMA15-2)	128
ค15	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (PMMA15-3)	128
ค16	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (PMMA12-1)	129
ค17	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (PMMA12-2)	129
ค18	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (PMMA12-3)	129
ค19	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 10 kW/m ² (PMMA10-1)	130
ค20	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 10 kW/m ² (PMMA10-2)	130
ค21	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 10 kW/m ² (PMMA10-3)	130
ค22	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 8 kW/m ² (PMMA8-1)	131
ค23	ฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm ที่ 8 kW/m ² (PMMA8-2)	131
ค24	ฟลักซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (ABS50-1)	131
ค25	ฟลักซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (ABS50-2)	132
ค26	ฟลักซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 50 kW/m ² (ABS50-3)	132
ค27	ฟลักซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (ABS40-1)	132
ค28	ฟลักซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (ABS40-2)	133
ค29	ฟลักซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 40 kW/m ² (ABS40-3)	133

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค30	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (ABS30-1)	133
ค31	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (ABS30-2)	134
ค32	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 30 kW/m ² (ABS30-3)	134
ค33	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (ABS20-1)	134
ค34	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 20 kW/m ² (ABS20-2)	135
ค35	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (ABS15-1)	135
ค36	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 15 kW/m ² (ABS15-2)	135
ค37	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (ABS12-1)	136
ค38	พลັกซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm ที่ 12 kW/m ² (ABS12-2)	136
ค39	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 50 kW/m ² (Arcylic 50-1)	136
ค40	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 50 kW/m ² (Arcylic 50-2)	137
ค41	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 40 kW/m ² (Arcylic 40-1)	137
ค42	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 40 kW/m ² (Arcylic 40-2)	137
ค43	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 30 kW/m ² (Arcylic 30-1)	138
ค44	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 30 kW/m ² (Arcylic 30-2)	138
ค45	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 20 kW/m ² (Arcylic 20-1)	138
ค46	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 20 kW/m ² (Arcylic 20-2)	139
ค47	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 15 kW/m ² (Arcylic 15-1)	139
ค48	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 15 kW/m ² (Arcylic 15-2)	139
ค49	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 12 kW/m ² (Arcylic 12-1)	140
ค50	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 12 kW/m ² (Arcylic 12-2)	140
ค51	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 10 kW/m ² (Arcylic 10-1)	140
ค52	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 10 kW/m ² (Arcylic 10-2)	141
ค53	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 8 kW/m ² (Arcylic 8-1)	141
ค54	พลັกซ์ความร้อนของ Arcylic หน้า 15mm ที่ 8 kW/m ² (Arcylic 8-2)	141

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค55	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 50 kW/m ² (PVC 50-1)	142
ค56	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 50 kW/m ² (PVC 50-2)	142
ค57	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 40 kW/m ² (PVC 40-1)	142
ค58	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 40 kW/m ² (PVC 40-2)	143
ค59	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 30 kW/m ² (PVC 30-1)	143
ค60	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 30 kW/m ² (PVC 30-2)	143
ค61	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m ² (PVC 20-1)	144
ค62	ฟลักซ์ความร้อนของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m ² (PVC 20-2)	144
ค63	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m ² (HIPS 50-1)	144
ค64	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m ² (HIPS 50-2)	145
ค65	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m ² (HIPS 50-3)	145
ค66	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m ² (HIPS 40-1)	145
ค67	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m ² (HIPS 40-2)	146
ค68	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m ² (HIPS 40-3)	146
ค69	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 30 kW/m ² (HIPS 30-1)	146
ค70	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 30 kW/m ² (HIPS 30-2)	147
ค71	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m ² (HIPS 20-1)	147
ค72	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m ² (HIPS 20-2)	147
ค73	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 15 kW/m ² (HIPS 15-1)	148
ค74	ฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หนา2mm ที่ 15 kW/m ² (HIPS 15-2)	148
ค75	ฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 50 kW/m ² (Poly 50-1)	148
ค76	ฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 50 kW/m ² (Poly 50-2)	149
ค77	ฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 40 kW/m ² (Poly 40-1)	149
ค78	ฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 40 kW/m ² (Poly 40-2)	149
ค79	ฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 30 kW/m ² (Poly 30-1)	150

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค80	ฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 30 kW/m^2 (Poly 30-2)	150
ค81	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (EVA 50-1)	150
ค82	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (EVA 50-2)	151
ค83	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (EVA 40-1)	151
ค84	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (EVA 40-2)	151
ค85	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (EVA 30-1)	152
ค86	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (EVA 30-2)	152
ค87	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (EVA 20-1)	152
ค88	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (EVA 20-2)	153
ค89	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (EVA 15-1)	153
ค90	ฟลักซ์ความร้อนของ EVA หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (EVA 15-2)	153
ค91	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 50 kW/m^2 (PE 50-1)	154
ค92	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 50 kW/m^2 (PE 50-2)	154
ค93	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 40 kW/m^2 (PE 40-1)	154
ค94	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 40 kW/m^2 (PE 40-2)	155
ค95	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 30 kW/m^2 (PE 30-1)	155
ค96	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 30 kW/m^2 (PE 30-2)	155
ค97	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 20 kW/m^2 (PE 20-1)	156
ค98	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 20 kW/m^2 (PE 20-2)	156
ค99	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 15 kW/m^2 (PE 15-1)	156
ค100	ฟลักซ์ความร้อนของ PE หนา1mm ที่ 15 kW/m^2 (PE 15-2)	157
ค101	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา5mm ที่ 50 kW/m^2 (PB 50-1)	157
ค102	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา5mm ที่ 50 kW/m^2 (PB 50-2)	157
ค103	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา5mm ที่ 40 kW/m^2 (PB 40-1)	158
ค104	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา5mm ที่ 40 kW/m^2 (PB 40-2)	158

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค105	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (PB 30-1)	158
ค106	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (PB 30-2)	159
ค107	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (PB 20-1)	159
ค108	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (PB 20-2)	159
ค109	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (PB 15-1)	160
ค110	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (PB 15-2)	160
ค111	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 12 kW/m ² (PB 12-1)	160
ค112	ฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หนา15mm ที่ 12 kW/m ² (PB 12-2)	161
ค113	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (Nylon 50-1)	161
ค114	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (Nylon 50-2)	161
ค115	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m ² (Nylon 50-3)	162
ค116	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (Nylon 40-1)	162
ค117	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (Nylon 40-2)	162
ค118	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m ² (Nylon 40-3)	163
ค119	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (Nylon 30-1)	163
ค120	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (Nylon 30-2)	163
ค121	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m ² (Nylon 30-3)	164
ค122	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (Nylon 20-1)	164
ค123	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (Nylon 20-2)	164
ค124	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m ² (Nylon 20-3)	165
ค125	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (Nylon 15-1)	165
ค126	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (Nylon 15-2)	165
ค127	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m ² (Nylon 15-3)	166
ค128	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 12 kW/m ² (Nylon 12-1)	166
ค129	ฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หนา15mm ที่ 12 kW/m ² (Nylon 12-2)	166

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค130	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 50 kW/m ² (PP50-1)	167
ค131	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 50 kW/m ² (PP50-2)	167
ค132	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 40 kW/m ² (PP40-1)	167
ค133	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 40 kW/m ² (PP40-2)	168
ค134	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 30 kW/m ² (PP30-1)	168
ค135	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 30 kW/m ² (PP30-2)	168
ค136	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 20 kW/m ² (PP20-1)	169
ค137	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 20 kW/m ² (PP20-2)	169
ค138	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 15 kW/m ² (PP15-1)	169
ค139	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 15 kW/m ² (PP15-2)	170
ค140	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 12 kW/m ² (PP12-1)	170
ค141	ฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 12 kW/m ² (PP12-2)	170
ค142	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 50 kW/m ² (Vinyl50-1)	171
ค143	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 50 kW/m ² (Vinyl50-2)	171
ค144	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 40 kW/m ² (Vinyl40-1)	171
ค145	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 40 kW/m ² (Vinyl40-2)	172
ค146	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 30 kW/m ² (Vinyl30-1)	172
ค147	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 30 kW/m ² (Vinyl30-2)	172
ค148	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 20 kW/m ² (Vinyl20-1)	173
ค149	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 20 kW/m ² (Vinyl20-2)	173
ค150	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 15 kW/m ² (Vinyl15-1)	173
ค151	ฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm ที่ 15 kW/m ² (Vinyl15-2)	174
ค152	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 50 kW/m ² (PE-F 50-1)	174
ค153	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 50 kW/m ² (PE-F 50-2)	174
ค154	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หน้า 10mm ที่ 40 kW/m ² (PE-F 40-1)	175

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค155	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หนา10mm ที่ 40 kW/m ² (PE-F 40-2)	175
ค156	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หนา10mm ที่ 30 kW/m ² (PE-F 30-1)	175
ค157	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หนา10mm ที่ 30 kW/m ² (PE-F 30-2)	176
ค158	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หนา10mm ที่ 20 kW/m ² (PE-F 20-1)	176
ค159	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หนา10mm ที่ 20 kW/m ² (PE-F 20-2)	176
ค160	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หนา10mm ที่ 15 kW/m ² (PE-F 15-1)	177
ค161	ฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หนา10mm ที่ 15 kW/m ² (PE-F 15-2)	177
ง1	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PMMA ความหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 10 kW/m ²	179
ง2	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ ABS ความหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m ²	179
ง3	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Acrylic ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 10 kW/m ²	180
ง4	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PVC Floor ความหนา 1.6 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 30 kW/m ²	180
ง5	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ HIPS ความหนา 2 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m ²	181
ง6	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate ความหนา 4 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 40 kW/m ²	181
ง7	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ EVA ความหนา 15 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m ²	182
ง8	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE ความหนา 1 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m ²	182
ง9	ความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m ²	183

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ง10	ความสัมพัทธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Nylon ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m ²	183
ง11	ความสัมพัทธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m ²	184
ง12	ความสัมพัทธ์เวลาการจุดติดไฟกับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl ความหนา 0.5 มิลลิเมตร มีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m ²	184
ง13	ความสัมพัทธ์เวลาการจุดติดไฟกับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam ความหนา 10 มิลลิเมตร มีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m ²	185
จ1	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ PMMA หน้า 3 mm	187
จ2	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ ABS หน้า 3 mm	187
จ3	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ Acrylic หน้า 5 mm	188
จ4	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ PVC Floor หน้า 1.6 mm	188
จ5	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ HIPS หน้า 2 mm	189
จ6	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ Polycarbonate หน้า 4 mm	189
จ7	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ EVA หน้า 15 mm	190
จ8	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ PE หน้า 1mm	190
จ9	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ Plan Board หน้า 5 mm	191
จ10	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ Nylon หน้า 5 mm	191
จ11	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ Polypropylene หน้า 5 mm	192
จ12	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ Vinyl หน้า 0.5 mm	192
จ13	ความสัมพัทธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ \dot{q}_{crit}/\dot{q}_i ของ PE Foam หน้า 10 mm	193
ฉ1	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PMMA หน้า 3 mm	195
ฉ2	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ ABS หน้า 3 mm	195

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ฉ3	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Acrylic หน้า 5 mm	196
ฉ4	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PVC Floor หน้า 1.6 mm	196
ฉ5	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ HIPS หน้า 2 mm	197
ฉ6	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate หน้า 4 mm	197
ฉ7	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ EVA หน้า 15 mm	198
ฉ8	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE หน้า 1 mm	198
ฉ9	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board หน้า 5mm	199
ฉ10	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Nylon หน้า 5 mm	199
ฉ11	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm	200
ฉ12	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm	200
ฉ13	ความสัมพัทธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam หน้า 10 mm	201

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

b	=	ความชันของกราฟระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$
h_c	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$)
h	=	Apparent Heat Transfer
\dot{q}''_i	=	ฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบวัตถุ (kW/m^2)
\dot{q}''_{crit}	=	ฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted (kW/m^2)
T_s	=	อุณหภูมิผิวของวัตถุ (K หรือ $^{\circ}C$)
T_{ig}	=	อุณหภูมิจุดติดไฟของวัตถุ (K หรือ $^{\circ}C$)
T_{∞}	=	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (เท่ากับ $28^{\circ}C$)
t_{ig}	=	เวลาการจุดติดไฟแบบ piloted (s)
ϵ	=	emissivity (กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1)
σ	=	ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$
k_{pc}	=	ความเฉื่อยทางความร้อนของวัตถุ ($kW/m^2.K$) ²

การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted และการเผาไหม้ของกลุ่มพลาสติก

An Experimental Study of Piloted Ignition and Burning Behavior of Plastic

คำนำ

อัคคีภัย หรือภัยที่เกิดจากเพลิงไหม้ เป็นสาธารณภัยประเภทหนึ่งที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิต ทรัพย์สิน และเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ และเป็นปัญหาสำคัญที่นำความสูญเสียมารัฐประเทศ จากสถิติของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย สรุปเหตุเกิดอัคคีภัยของกรมบรรเทาสาธารณภัยทั่วประเทศทั้งปี พ.ศ.2551 รวม 1,696 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 30 ราย บาดเจ็บ 92 ราย ความเสียหายต่อทรัพย์สินคิดเป็นมูลค่ากว่า 1,424,889 บาท ซึ่งถือว่าเป็นสาธารณภัยที่ส่งผลเสียหายสูงเป็นอันดับสองรองจากอุทกภัยในเกือบทุกๆ ปีตามสถิติ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยจะมีกฎหมายและมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยที่ได้รับการพัฒนา มากขึ้น แต่จากสถิติยังบ่งชี้ได้ว่าอัตราการเกิดอัคคีภัยในประเทศยังสูงอยู่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การควบคุมดูแลระบบความปลอดภัยด้านอัคคีภัยให้เป็นไปตามข้อกำหนดยังคงทำได้ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ นอกจากการออกแบบระบบป้องกันภัยที่มีมาตรฐานแล้ว อีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เช่นกันในการป้องกันอัคคีภัย คือการลดโอกาสการเกิดอัคคีภัยหรือถ้าเกิดเหตุก็สามารถจำกัด ความรุนแรงของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ วิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้คือการเลือกใช้อวัสดุตกแต่งอาคารให้มีคุณสมบัติติดไฟได้ยาก มีอัตราการลามไฟและอัตราการเผาไหม้ที่ต่ำ การเลือกวัสดุให้มี คุณสมบัติดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในพฤติกรรมการจุดติดไฟ และการเผาไหม้ของวัสดุ จึงได้เล็งเห็นความจำเป็นและความสำคัญของข้อมูลด้านอัคคีภัยของวัสดุ ผู้วิจัยจึงขอเสนอโครงการวิจัยเพื่อศึกษาเชิงทดลองและทฤษฎีของพฤติกรรมการจุดติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุกลุ่มพลาสติก ที่ใช้ในการตกแต่งอาคารและใช้ในชีวิตประจำวัน ผลการศึกษา นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้อวัสดุเพื่อตกแต่งอาคารให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยที่ต่ำ และสามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ในการพัฒนาวัสดุในงานตกแต่งอาคารที่ผลิตภายในประเทศให้มีความปลอดภัยจากอัคคีภัยให้สูงขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังเป็นการยกระดับองค์ความรู้ด้าน วิศวกรรมอัคคีภัยของประเทศอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุพลาสติกที่ใช้ตกแต่งอาคาร จำนวน 13 ชนิด ประกอบด้วย แผ่นPMMA (Polymethylmethacrylate) หนา 3 mm แผ่น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) หนา 3 mm แผ่นอะคริลิก (Acrylic) หนา 5 mm แผ่นกระเบื้องยาง (PVC Floor Tiles) หนา 1.6 mm แผ่นHIPS (High impact polystyrene) หนา 2 mm แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) หนา 4 mm แผ่นโฟมยาง (EVA Foam Sheet) หนา 15 mm แผ่นPE (Polyethylene) หนา 1 mm พลาสติกลูกฟูก (Plan Board) หนา 5 mm พรหมไนลอน (Nylon) หนา 5 mm พรหมโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) หนา 5 mm แผ่นไวนิล (Vinyl) หนา 0.5mm และแผ่นโฟม PE (Polyethylene Foam) หนา 10 mm

2. เพื่อหาพารามิเตอร์การจุดติดไฟของวัสดุประกอบด้วย การสูญเสียมวล ฟลักซ์การเผาไหม้ ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ เวลาจุดติดไฟ อุณหภูมิจุดติดไฟ และค่าความเฉื่อยทางความร้อน ซึ่งสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลด้านอักษิภัยของวัสดุพลาสติก

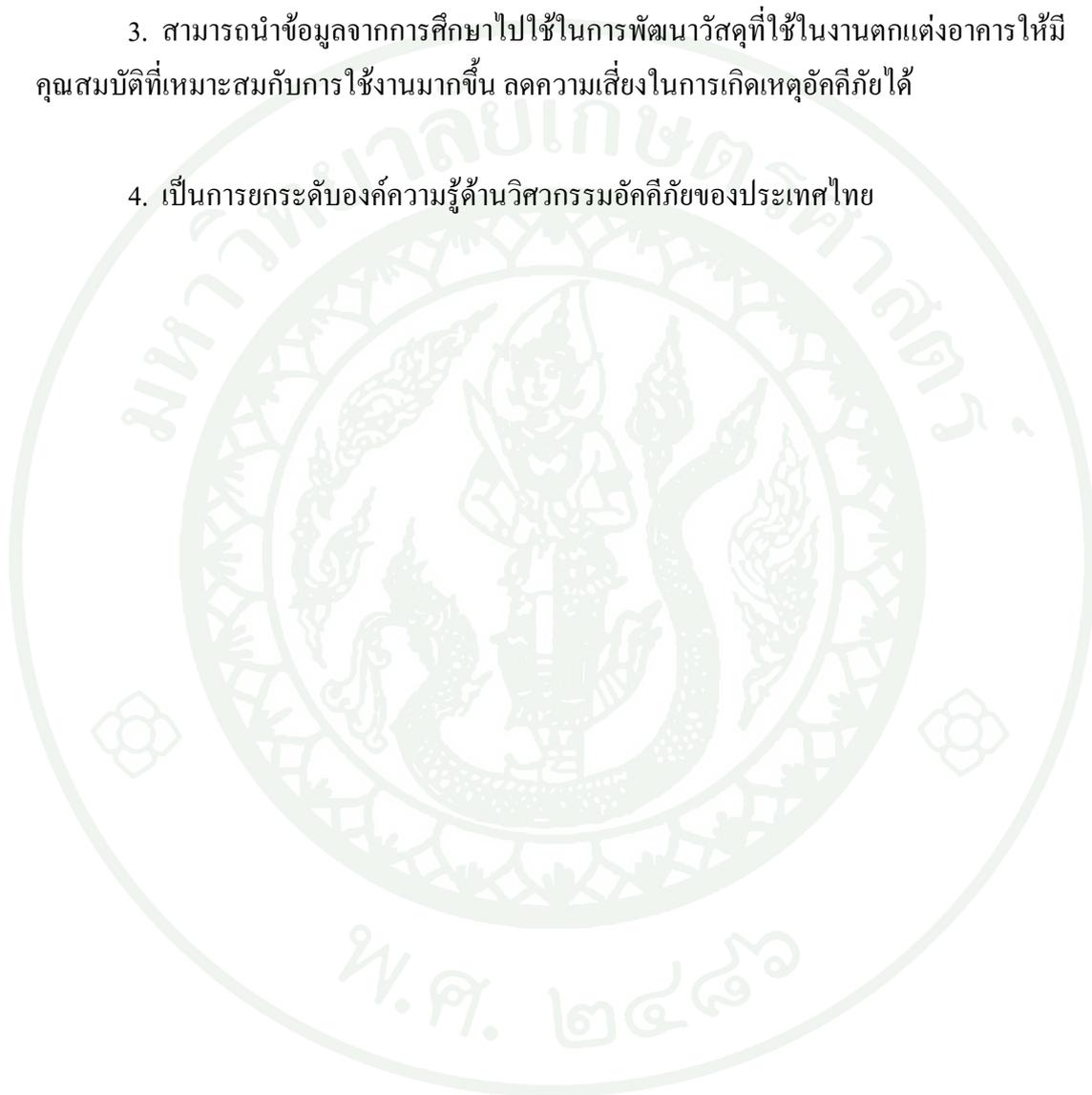
ขอบเขตงาน

1. การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 1354 โดยใช้อุปกรณ์ cone calorimeter
2. กลุ่มชิ้นทดสอบเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์จากพลาสติก จำนวน 13 ชนิด
3. ค่าคุณสมบัติของการจุดติดไฟและการเผาไหม้ของกลุ่มผลิตภัณฑ์จากพลาสติก ได้แก่ การสูญเสียมวล ฟลักซ์การเผาไหม้ ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ เวลาจุดติดไฟ อุณหภูมิจุดติดไฟ และค่าความเฉื่อยทางความร้อน

ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้ทราบถึงพฤติกรรมการจุดติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุที่ใช้ในงานตกแต่งอาคารของวัสดุทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทย

2. ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติการจุดติดไฟของวัสดุเช่น เวลาในการจุดติดไฟของวัสดุ พลังความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟ เพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุตกแต่งอาคารที่มีอยู่อย่างเหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอัคคีภัย
3. สามารถนำข้อมูลจากการศึกษาไปใช้ในการพัฒนาวัสดุที่ใช้ในงานตกแต่งอาคารให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น ลดความเสี่ยงในการเกิดเหตุอัคคีภัยได้
4. เป็นการยกระดับองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมอัคคีภัยของประเทศไทย



การตรวจเอกสาร

ในการสืบค้นเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีนักวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับพฤติกรรมการจุดไฟของวัสดุอยู่หลายกลุ่ม จึงได้ทำการคัดเลือกข้อมูลงานวิจัยบางส่วนมาเพื่อนำเสนอในครั้งนี้ โดยได้มุ่งเน้นในงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการทดลองเพื่อสามารถนำมาเชื่อมโยงกันให้เกิดประโยชน์กับการทดลองมากยิ่งขึ้น

Babrauskas and Parker (1987) ได้ทำกล่าวถึง Cone calorimeter ว่าเป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยพื้นฐานเพื่อใช้วัดค่าการปลดปล่อยความร้อนของวัสดุ โดยอุปกรณ์มีลักษณะพิเศษ เช่น สามารถใช้วัดค่าการแผ่รังสีจากการเผาไหม้ของวัสดุ ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลของวัสดุได้ในช่วงที่กว้าง ผลที่ได้ มีประสิทธิภาพ และผลที่ได้มีลักษณะเป็นทำนองเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์อื่น โดยมีการทดลองเลือกใช้ Douglas fir particle board เป็นวัสดุทดสอบและเปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ

Rhodes and Quintiere (1996) มีจุดประสงค์เพื่อสร้างระเบียบการทดสอบเพื่อใช้ในการทำนายค่าอัตราการเผาไหม้และการจุดติดไฟของวัสดุเทอร์โมพลาสติกโดยใช้เครื่อง cone calorimeter โดยเลือกใช้วัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดคล้าย PMMA ทำการทดสอบที่ฟลักซ์ความร้อนตั้งแต่ 0-75 kW/m² พบว่าที่ฟลักซ์ความร้อนประมาณ 37 kW/m² มีลักษณะพฤติกรรมเช่นเดียวกับ black PMMA โดยค่าความร้อน gasification ของ black PMMA อยู่ที่ประมาณ 2.8 kW/g สูงกว่าค่าของตัวอย่าง PMMA ที่ใช้ทดสอบ ซึ่งเชื่อว่าน่าจะเป็นผลต่างของโครงสร้างโมเลกุลหรืออาจจะเกิดจากการข้อมลของตัวอย่าง PMMA ที่ใช้ทดสอบ โดยโมเดลได้ถูกพิสูจน์ว่ามีความแม่นยำดีในการเปรียบเทียบกับค่าอัตราการเผาไหม้ในแต่ละช่วงเวลา

Spearpoint and Quintiere (2000) ทำการทดลองและเปรียบเทียบผลทางทฤษฎี โดยการเผาไหม้ตัวอย่าง 4 ชนิด ด้วยฟลักซ์ความร้อน 25-75 kW/m² ในทิศทางขนานและตั้งฉากกับเกรนของไม้ และทำการวัดอัตราการสูญเสียมวล อุณหภูมิ และอัตราการกลายเป็นถ่าน ได้นำแบบจำลองการอินทิเกรตใน 1 มิติมาอธิบายถึงการไฟโรไลซิสที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของก้อนถ่านที่ถูกเผาไหม้ด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่ ผลของแบบจำลองอินทิเกรตสำหรับอัตราการเผาไหม้ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ การทดลองในระยะสั้นและระยะยาว เพื่อทำการ

เปรียบเทียบอัตราการสูญเสียมวล อุณหภูมิผิว ความลึกของชั้นถ่าน และผลของความร้อนที่แทรกซึมผ่านผิวตัวอย่าง

Spearpoint and Quintiere (2001) ทำการทดลองและพิสูจน์ตามทฤษฎีของการจุดติดไฟไม้ ตัวอย่างที่มีความหนา 50 มม. โดยใช้เครื่อง cone calorimeter โดยใช้ไม้ 4 ชนิด ทดสอบพลักซ์ความร้อนไม่เกิน 75 kW/m^2 ในทิศทางขนานหรือตั้งฉากกับเกรน เวลาที่จุดติดไฟจะถูกวัดจากเครื่อง cone calorimeter ค่าเวลาในการจุดติดไฟที่แยกวัดจาก cone calorimeter ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ มีการใช้แบบจำลองอินทิกรัลในมิติอธิบายการไฟโรไลซิสที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของวัสดุที่เป็นถ่านในสถานะที่ได้รับพลักซ์ความร้อนคงที่ ได้นำแบบจำลองนี้มาทำนายข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบผลได้ดีที่พลักซ์ความร้อนประมาณ 20 kW/m^2 ที่พลักซ์ความร้อนต่ำกว่าและสูงกว่า 20 kW/m^2 โดยเชื่อว่าเกิดจากการออกซิเดชันของถ่านบริเวณผิวหน้าที่ไฟลุกไหม้ ส่วนพลักซ์ความร้อนต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดการจุดติดไฟพบว่ามีค่าประมาณ 10 kW/m^2 ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ ทิศทางของเกรนและความชื้นของไม้

Boonmee and Quintiere (2002) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของไม้ 4 ชนิด ประกอบด้วย Redwood Red oak, Douglas fir และ maple ที่พลักซ์ความร้อนต่ำพบว่าเมื่อพลักซ์ความร้อนที่สูงกว่า 40 kW/m^2 ไม้จะสามารถจุดติดเปลวไฟได้อย่างรวดเร็ว (น้อยกว่า 30 วินาที) ส่วนที่พลักซ์ความร้อนมีค่าต่ำกว่า 40 kW/m^2 จะมีการเกิดการเผาไหม้ที่ชั้นผิวหน้าของไม้ขึ้นมา ก่อนที่จะสามารถมองเห็นเปลวไฟได้

Yang *et al.* (2002) ได้ทำการปรับปรุงโมเดลของการไฟโรไลซิสของวัสดุที่เป็นถ่าน โดยเพิ่มตัวประกอบที่เป็นผลจากการไฟโรไลซิสเพิ่ม เช่น ความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อน และการแผ่รังสีจากอุณหภูมิที่ผิวและการหดตัวบริเวณที่ผิวอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง ได้ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อตรวจ-สอบความถูกต้องของโมเดลและผลกระทบจากความหนาแน่นของวัสดุและการปลดปล่อยรังสีความร้อนจากการไฟโรไลซิสของวัสดุที่ทำการทดสอบ

Yang *et al.* (2003) ทำการทดสอบวัดค่าผลจากพลักซ์ความร้อนจากภายนอกที่มีผลกระทบต่อ การไฟโรไลซิสและการเผาไหม้ของวัสดุที่เป็นถ่าน โดยใช้ cone calorimeter และ radiation platform โดยเจาะจงพิจารณาความแตกต่างในการไฟโรไลซิสและการเผาไหม้ภายใต้ พลักซ์ความร้อนที่สูงและพลักซ์ความร้อนต่ำ ด้วยแบบจำลองการไฟโรไลซิสของวัสดุที่เป็นถ่านที่ถูก

ดัดแปลงแล้ว ซึ่งในแบบจำลองจะมีบางปัจจัยที่มีผลต่อการไพโรไลซิสเช่น ความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่บริเวณผิว การหดตัวของผิวหน้าของวัสดุถ่านผลโดยสรุปคือ โมเดลสามารถอธิบายการไพโรไลซิสได้ดี สามารถทำนายเวลาในการจุดติดไฟที่พริกซ์ความร้อนสูงได้แม่นยำ ส่วนที่พริกซ์ความร้อนต่ำที่ต้องใช้เวลาในการจุดติดไฟนาน ได้ผลที่ไม่ดี และ อัตราปลดปล่อยความร้อนกับพริกซ์ความร้อนจากภายนอกมีลักษณะมีความสัมพันธ์แบบพาราโบลิกมากกว่ามีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

Delichatsios *et al.* (2003) ได้นำเสนอการพิสูจน์ให้เห็นคุณสมบัติการจุดติดไฟของวัสดุที่เป็นถ่าน โดยใช้ไม้ radiate pine ในการศึกษาหาค่าการจุดติดไฟ พฤติกรรมการไพโรไลซิส โดยใช้อุปกรณ์ cone calorimeter ทำการพยากรณ์ทางทฤษฎีโดยการนำข้อมูลการจุดติดไฟการไพโรไลซิสในอดีตของไม้ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองด้วย cone calorimeter ที่พริกซ์ความร้อนต่างๆ และที่ความหนาต่างๆ โดยผลที่ได้จากการทดลองมีความใกล้เคียงกับทางทฤษฎี

Gratkowskia *et al.* (2006) ทำการศึกษาบทบาทของ self-heating ในกระบวนการเผาไหม้แบบช้าๆที่ไม่มีเปลวไฟของไม้อัดเมเปิลหนา 18 มม. ที่พริกซ์ความร้อน 6-15 kW/m² ด้วยเครื่อง cone calorimeter เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พริกซ์ความร้อนที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้แบบช้าๆที่ไม่มีเปลวไฟ คือ 7.5 kW/m² เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทำนายทางทฤษฎี self-heating บทบาทของ self-heating ที่ได้จากการตรวจสอบจากการวัดค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตัวอย่างทดสอบข้อมูลของอุณหภูมิที่ผิวบ่งชี้ว่า self-heating เป็นปัจจัยสำคัญของการเผาไหม้แบบช้าๆที่ไม่มีเปลวไฟที่แพร่กระจายที่ผิวและภายในวัสดุและของควมลึกของการเผาไหม้เป็นฟังก์ชันที่แปรผันตามค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น

อรรถพร และ ณัฐศักดิ์ (2551) ได้นำเสนอผลการศึกษาเชิงทดลองการเกิดไพโรไลซิสของไม้ 3 ชนิด ประกอบด้วย ไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สักมาทดสอบใน cone calorimeter โดยให้ความร้อน ในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของไม้ในแนวระดับ ซึ่งพริกซ์ความร้อนที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 15 20 และ 25 kW/m² คงที่ตลอดการทดลองในแต่ละครั้ง ได้ทำการบันทึกพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของชิ้นไม้ทดสอบ ผลการศึกษาพฤติกรรมจุดติดไฟแบบ glowing พบว่าพริกซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟของไม้บีช ไม้มะค่าและไม้สัก

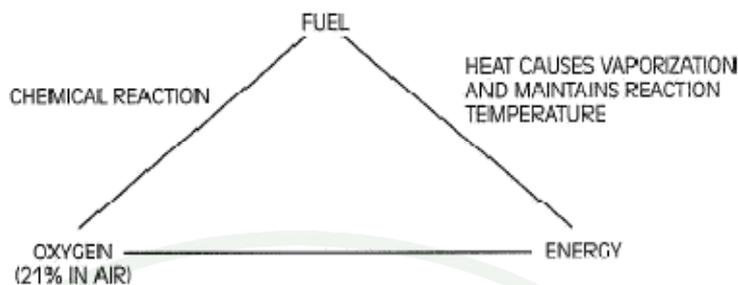
มีค่าเท่ากับ 2.18 , 4.04 และ 6.97 kW/m² ตามลำดับ และพบว่าอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ในสภาวะคงตัวแปรผันตามฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้น

Staggs (2009) ได้นำเสนอผลการศึกษาเพื่อหาสมการค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ได้จากการทดลองกับเครื่อง cone calorimeter ซึ่งการทดลองจะนำแผ่นเหล็กเป็นชั้นทดลอง โดยจะทำการทดลองที่ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบวัตถุที่ค่าต่าง ๆ และทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ หลังจากนั้นจะนำมาพิจารณาเพื่อคำนวณหาสมการค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของวัตถุที่ได้ทำการทดลองด้วยเครื่อง cone calorimeter

ศิริเวทย์ และ ฉัฐศักดิ์ (2553) ได้นำเสนอผลการศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted และการเผาไหม้ของไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างและตกแต่งอาคาร โดยการทดลองได้ดำเนินการบนเครื่อง cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM 1354 วัสดุที่ใช้เป็นชิ้นตัวอย่างทดสอบเลือกมาจากผลิตภัณฑ์จากไม้ 8 ชนิด ประกอบด้วย แผ่นใยไม้อัดแข็ง (hardboard) หนา 3 mm แผ่นใยไม้อัดชนิดความหนาปานกลาง (MDF) หนา 3 mm และ 6 mm ไม้อัดยาง (plywood) หนา 4 mm และ 6 mm ไม้อัดสัก (teak plywood) หนา 4 mm และ 6 mm และแผ่นพาร์ติเกิ้ล (particle board) หนา 16 mm และไม้จริง 4 ชนิดประกอบด้วย ไม้สัก ไม้มะค่า ไม้ยาง และ ไม้บีช ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตและอุณหภูมิจุดติดไฟเป็นเกณฑ์เพื่อพิจารณาอันตรายด้านอัคคีภัย ในจำนวนผลิตภัณฑ์จากไม้ทั้ง 8 ชนิด MDF มีอันตรายด้านอัคคีภัยสูงที่สุดในขณะที่ไม้อัดยางมีอันตรายด้านอัคคีภัยต่ำที่สุด ในส่วนของไม้ 4 ชนิด ไม้บีชและไม้มะค่า มีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟต่ำที่สุด ในขณะที่ไม้สักมีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟสูงที่สุด

องค์ประกอบของไฟ

การเผาไหม้หรือไฟเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากองค์ประกอบ 3 สิ่งคือ เชื้อเพลิง (Fuel) ออกซิเจน (Oxygen) และพลังงานความร้อน (Energy) ในสภาวะที่เหมาะสมแล้วให้พลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานแสงสว่าง ซึ่งองค์ประกอบของไฟนั้นแสดงโดยรูปร่างสามเหลี่ยมของไฟแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงรูปสามเหลี่ยมของไฟ

1. เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการลุกไหม้มาจากสารเคมี ซึ่งอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ สารอนินทรีย์เคมี และอินทรีย์เคมี

สารอนินทรีย์เคมี เป็นสารที่เป็นพวกแร่ธาตุ ที่ไม่ได้เกิดจากสิ่งมีชีวิต และไม่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) เช่น โพตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) โซเดียม (Na) แอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) รวมทั้งกรดต่างๆ เช่น Sulfuric acid (H_2SO_4) Hydrochloric acid (HCl) และ Nitric acid (HNO_3) เป็นต้น

สารอินทรีย์เคมี เป็นสารที่มาจากสิ่งที่มีชีวิต มีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอน (C) อยู่เสมอ เป็นสารเคมีที่ได้มาจากร่างกายมนุษย์ สัตว์ และพืช เมื่อสิ่งเหล่านี้ตายและทับถมกันนานนับพันล้านปี ก็จะกลายเป็นน้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ สารอินทรีย์ที่เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสารไวไฟ หรือ สารระเบิด ได้มาจากน้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากอินทรีย์สารถูกนำไปผลิต สารเคมีอื่นได้อีกมากมาย เช่น ผลิตน้ำมันเบนซิน (Gasoline) น้ำมันดีเซล (Solar oil) น้ำมันก๊าด (Kerosene) น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) ผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ รวมทั้งเส้นใยสังเคราะห์ ผลิตยาฆ่าโรค เครื่อง-ลำออง ตัวทำละลาย (Solvent) ยากำจัดแมลง ศัตรูพืช ปุ๋ย และวัตถุระเบิดต่างๆ เป็นต้น

2. ความร้อน

เป็นสิ่งที่ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้นถึงจุดติดไฟ (Ignition point) ทำให้องค์ประกอบของการเกิดไฟ (ปฏิกิริยาการสันดาป) เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม ซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดย่อมจะมี จุดติดไฟไม่เหมือนกัน เช่น เชื้อเพลิงเหลวอาจมีจุดติดไฟต่ำกว่าพวกเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งสามารถแยก คุณสมบัติของความร้อนที่ทำให้เชื้อเพลิงถึงจุดติดไฟต่างๆ ดังนี้

จุดวาบไฟ (Flash Point) คือ จุดที่มีปริมาณความร้อนเพียงพอให้เชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงแข็ง กลายเป็นไอ เข้าผสมกับอากาศอย่างได้สัดส่วนก็จะลุกไหม้วาบขึ้น ชั่วขณะแล้วก็จะดับไป เพราะอัตราการระเหยของเชื้อเพลิงจากของแข็งหรือของเหลวน้อยเกินกว่าที่จะทำให้เกิดเปลวไฟอย่างต่อเนื่อง

จุดลุกติดไฟ (Fire Point) คือ จุดที่มีปริมาณความร้อนเพียงพอให้เชื้อเพลิงเหลวหรือแข็งใด ๆ ภายใต้อากาศกลายเป็นไอ เข้าผสมกับอากาศอย่างได้สัดส่วน และเกิดการลุกไหม้ขึ้นเมื่อมีเปลวไฟหรือประกายไฟที่เหมาะสม และเกิดเป็นการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง โดยปกติแล้วจุดติดไฟของสารเชื้อเพลิงจะสูงกว่าจุดวาบไฟมากหรือน้อยขึ้นกับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ

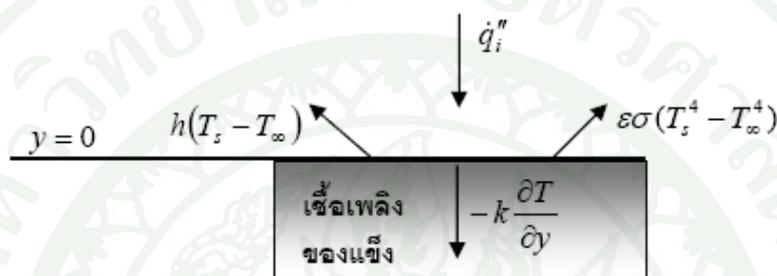
จุดลุกติดไฟได้เอง (Autoignition temperature หรือ AIT) คือ จุดอุณหภูมิที่ทำให้สารเชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้เอง โดยไม่ต้องอาศัยการจุดติดไฟจากแหล่งภายนอก

3. ออกซิเจน

บรรยากาศโดยทั่วไป มีไนโตรเจน 79.04 % ออกซิเจนผสมอยู่ 20.93 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 % โดยออกซิเจนจะเป็นตัวทำให้เกิดการเผาไหม้ การเผาไหม้แต่ละครั้งต้องการ ออกซิเจน ประมาณ 16 % เท่านั้น ถ้าออกซิเจน ต่ำกว่า 16 % ก็จะไม่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ต่อไป ไฟจึงจะมอดดับลงได้ ดังนั้นจะเห็นว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดถูกล้อมรอบไปด้วยออกซิเจนอย่างเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ ยังมีออกซิเจนมากเชื้อเพลิงก็ยิ่งติดไฟได้ดีขึ้น และเชื้อเพลิงบางประเภทมีออกซิเจนในตัว-เองอย่างเพียงพอที่จะทำให้ตัวเองลุกไหม้ได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนที่อยู่โดยรอบ

เมื่อเกิดไฟขึ้นจะมีปฏิกิริยาที่เกิดจากการลุกติดไฟอย่างต่อเนื่อง ครอบงำที่ยังมีองค์ประกอบทั้ง 3 อย่าง หนุนเนื่องกันอยู่ ทำให้ขนาดและความรุนแรงของเพลิงเพิ่มขึ้น เมื่อรวมกันในปริมาณและคุณสมบัติที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลุกติดไฟขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าขาดอย่างใดอย่างหนึ่งแล้ว ปฏิกิริยาลุกติดไฟจะไม่เกิดขึ้น

ทฤษฎีการจุดติดไฟแบบ Piloted



ภาพที่ 2 ทฤษฎีการจุดติดไฟแบบ piloted ของเชื้อเพลิงแข็ง

ทฤษฎีการจุดติดไฟ Piloted Ignition Theory

1. ผิวเรียบ มีการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ
2. ฟลักซ์ความร้อนตกกระทบบนผิวสม่ำเสมอตลอดผิวชั้นทดสอบ
3. ณ เวลาที่วัสดุจุดติดไฟผิวของวัสดุจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนมีค่า ประมาณ 1

จากภาพที่ 2 เมื่อมีฟลักซ์ความร้อนตกกระทบบนผิวเชื้อเพลิงของแข็ง สมการอนุรักษ์พลังงาน และเงื่อนไขค่าขอบที่ผิวที่ฟลักซ์ความร้อนตกกระทบบนผิวสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1) และ(2)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (1)$$

$$\text{เงื่อนไขค่าขอบ } y=0; \quad \dot{q}_i'' = -k \frac{\partial T}{\partial y} + h_c(T_s - T_\infty) + \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_\infty^4) \quad (2.1)$$

$$\equiv h(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

$$y \rightarrow \infty \quad T = T_\infty \quad (2.3)$$

$$\text{ค่าเริ่มต้น } t=0 \quad T = T_\infty \quad (2.4)$$

เมื่อ \dot{q}_i'' คือฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบผิววัตถุ h_c คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน T คืออุณหภูมิ T_s คืออุณหภูมิผิวของวัตถุ T_∞ คืออุณหภูมิตั้งแวดล้อม t คือเวลา k คือค่าการนำความร้อนของวัตถุ σ คือค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ε คือสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (ประมาณ 1) และ h คือ Apparent heat transfer เป็นผลรวมระหว่างค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

ผลเฉลยของสมการที่ (1) เงื่อนไขค่าขอบและค่าเริ่มต้นสมการที่ (2) ที่ผิวหน้าของวัตถุ ($y = 0$) สามารถเขียนได้ตาม ASTM 1321

$$T_s - T_\infty = \frac{\dot{q}_i''}{h} (1 - \exp(-\tau) \operatorname{erfc}(\sqrt{\tau})) \quad (3)$$

$$\text{เมื่อ } \tau = \frac{h^2 t}{k\rho c}$$

เมื่อฟลักซ์ความร้อนตกกระทบวัตถุมีค่าเท่ากับฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ ($\dot{q}_i'' = q_{crit}''$) อุณหภูมิที่ผิววัตถุจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิจุดติดไฟพอดี ($T_s = T_{ig}$) วัตถุจะจุดติดไฟที่เวลาเป็นอนันต์ ($t \rightarrow \infty$) ส่งผลให้ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนที่ผิววัตถุเท่ากับศูนย์ ($\partial T / \partial t \rightarrow 0$) ดังนั้น สมการสมดุลย์ความร้อนที่ผิววัตถุ (สมการที่ (2.1)) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\dot{q}_{crit}'' = h_c(T_{ig} - T_\infty) + \sigma(T_{ig}^4 - T_\infty^4) = h(T_{ig} - T_\infty) \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted เป็นฟลักซ์ความร้อนต่ำที่สุดที่สามารถทำให้อุณหภูมิที่ผิววัตถุร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิติดไฟแต่ยังไม่จุดติดไฟ ดังนั้นที่สภาวะคงตัวฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ตกกระทบผิววัตถุจะมีค่าเท่ากับฟลักซ์ความร้อนที่สูญเสียที่ผิว เนื่องจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน สำหรับวัตถุทั่วไปที่ใช้ในการตกแต่งอาคาร ผิวหน้าของวัตถุจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ณ เวลาที่วัตถุกำลังจะจุดติดไฟ ดังนั้นเราสามารถประมาณค่า ε เท่ากับ 1 ได้

ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) ที่ผิวหน้าของวัตถุในสภาวะทดสอบการจุดติดไฟด้วยเครื่อง cone calorimeter Staggs ได้แนะนำค่าไว้เป็นไปตามสมการที่ (5)

$$h_c = 8.91 + 0.50(T_s - 293)^{0.54} \quad (5)$$

ค่า h_c และ T_s ในสมการที่ (5) อยู่ในหน่วย $W/m^2.K$ และ K ตามลำดับ

ที่สภาวะวัตถุกำลังจะติดไฟ อุณหภูมิที่ผิว (T_s) เท่ากับอุณหภูมิจุดติดไฟ (T_{ig}) ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟ (\dot{q}''_{crit}) สามารถหาได้จากการทดลอง ดังนั้น จากสมการที่ (4) และ (5) สามารถแก้สมการเพื่อหาค่าอุณหภูมิจุดติดไฟ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้ ค่าอุณหภูมิจุดติดไฟที่คำนวณได้สำหรับชิ้นทดสอบทั้งหมดที่ระดับฟลักซ์ความร้อนต่างๆ ได้แสดงในส่วนของ ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

คุณลักษณะของพลาสติกและผลิตภัณฑ์จากพลาสติก

1. พลาสติก

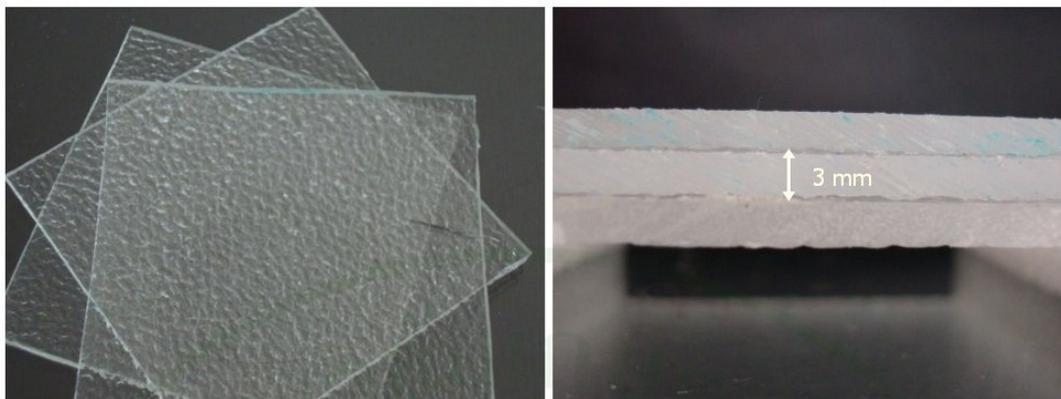
พลาสติกนับว่าเป็นวัสดุที่มีบทบาทและสำคัญมากในยุคปัจจุบันนี้ เพราะพลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษดีเด่นกว่าวัสดุอื่นที่ใช้กันมาก่อนอย่างมาก เพราะสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้เกือบทั้งหมด ในงานวิจัยนี้ได้นำผลิตภัณฑ์จากพลาสติก 13 ชนิด ได้แก่

1.1 แผ่น PMMA (Polymethylmethacrylate)

แผ่น PMMA มีกระบวนการผลิต คล้ายกับ แผ่น Acrylic แตกต่างกันในแง่ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Acrylic จะใช้ระบบ Casting จะใช้น้ำยา MMA เป็นวัตถุดิบในการผลิต ส่วนแผ่น PMMA จะใช้ระบบ Extrusion ใช้เม็ด PMMA ในการผลิต โดยแผ่น PMMA มีลักษณะใส ไม่มีสี สามารถให้แสงส่องผ่านได้ถึง 92% มีความแข็งแรง และทนทานต่อดินฟ้าอากาศได้ดี สมบัติเชิงกล และความคงทนต่อความร้อนดีมาก ส่วนสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีปานกลาง เนื่องจากสมบัติเด่นของ PMMA คือ ความโปร่งใส และการนำไปเชื่อมสีได้ง่าย จึงถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า และส่วนประกอบรถยนต์ เช่น ไฟเลี้ยว ไฟท้าย กระจกรถยนต์ หน้าปัดเข็มไมล์ ประโยชน์การใช้งานอื่นๆ เช่น ป้ายโฆษณา แวนตาเลนส์ ใช้ทำกระจกแทนแก้ว หลังคาโปร่งแสง ก๊อกรู้ เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ เป็นต้น แสดงในภาพที่ 3 ส่วนแผ่น PMMA ที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 4



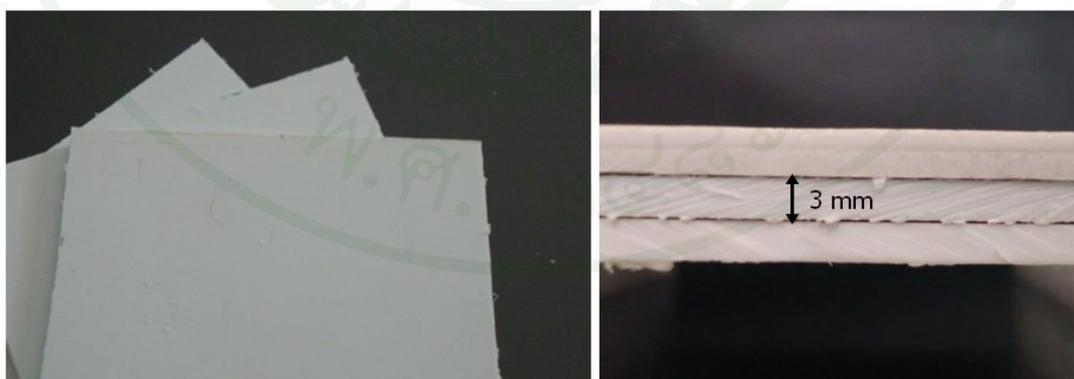
ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่น PMMA



ภาพที่ 4 แผ่น PMMA (Polymethylmethacrylate)หนา 3 มิลลิเมตร

1.2 แผ่น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene)

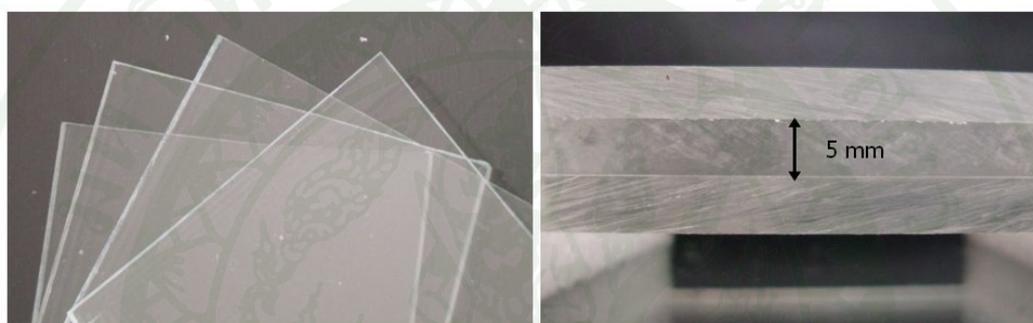
แผ่นพลาสติก ABS เป็นแผ่นพลาสติกชนิด Thermoformable Plastic ที่ผลิตขึ้นด้วยระบบเครื่องรีดแผ่นเรียบ (Extrusion Machine) โดยใช้เม็ดพลาสติก (Styrene) เป็นวัตถุดิบในการผลิต ทำให้มีความทนทานสูง สามารถรับแรงกระแทกได้ดีเยี่ยมเหมาะสำหรับงานภายในและงานกลางแจ้ง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งกันชนข้าง ที่กันโคลน กาบรถ คอนโซล ที่ครอบล้ออะไหล่ กระจกข้างรถยนต์ ผนังด้านในตู้เย็น เป็นต้น โดยแผ่นพลาสติก ABS ที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผ่น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene)หนา 3 มิลลิเมตร

1.3 แผ่นอะคริลิก (Acrylic)

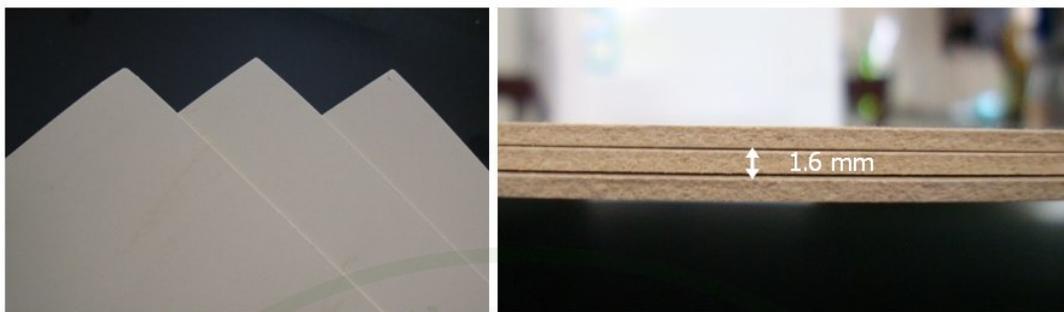
แผ่นอะคริลิก เป็นแผ่นพลาสติกเรียบชนิด Thermoplastic ซึ่งผลิตจากน้ำยา MMA (Methyl Methacrylate) นำไปเข้าระบบหล่อแบบ (Casting System) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อได้รับความร้อนสูงจะอ่อนตัวลง สามารถตัดหรือขึ้นรูปเป็นแบบต่าง ๆ ได้ และเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวและคงสภาพไว้ มีน้ำหนักเบาและสามารถแกะสลัก ฟันสี ระบาย เป็นรูปหรือลวดลายต่างๆ แผ่นอะคริลิกที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผ่นอะคริลิก (Acrylic) หนา 5 มิลลิเมตร

1.4 แผ่นกระเบื้องยาง (PVC Floor Tiles)

กระเบื้องยาง (Polyvinyl Chloride Flooring) เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติทนต่อกรดและสารเคมีแบบเงจางสามารถดูแลรักษาความสะอาดได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันกระเบื้องยางได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล รวมไปถึงจนถึงที่พักอาศัย เนื่องจากต้นทุนถูกกว่าวัสดุปูพื้นประเภทอื่น แผ่นกระเบื้องยางที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผ่นกระเบื้องยาง (PVC Floor Tiles) หนา 1.6 มิลลิเมตร

1.5 แผ่น HIPS (High impact polystyrene)

เป็นแผ่นพลาสติกชนิด Thermoformable Plastic ที่มีความทนทานและเป็นวัสดุที่ใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติได้เป็นอย่างดี จึงสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ อาทิ งานบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ผนังประตูตู้เย็น ถังไฟในตู้เย็น ป้ายโฆษณา White Board ถาดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงในภาพที่ 8 ส่วนแผ่น HIPS ที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่น HIPS



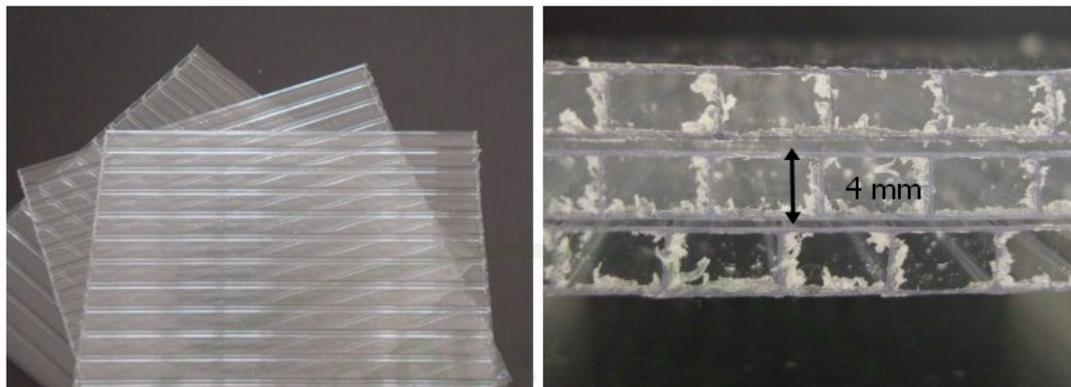
ภาพที่ 9 แผ่นHIPS (High impact polystyrene) หนา 2 มิลลิเมตร

1.6 แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate)

แผ่นโพลีคาร์บอเนต เป็นวัสดุ ผลิตจากเม็ดพลาสติก (Poly) ผสมด้วยสารที่มีคุณสมบัติ ทำให้แผ่นมีความยืดหยุ่นตัว หรือขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน และจะคลายตัวเมื่อมีอุณหภูมิลดลง จึงแข็งแรงทนทาน มีน้ำหนักเบา คงทน ไม่แตกหักง่าย ทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี มีความแข็งแรงมากกว่ากระจกถึง 250 เท่า แข็งแรงกว่าแผ่นอะคริลิกถึง 20 เท่า แผ่นโพลีคาร์บอเนตมีความโปร่งแสง ผิวของแผ่นโพลีคาร์บอเนต เคลือบด้วยสารป้องกันรังสี UV จึงสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้เกือบ 100% เหมาะกับงานที่ต้องการแสงสว่าง แผ่นโพลีคาร์บอเนต สามารถนำไปใช้งานได้มากมาย ทั้งการนำไปใช้ในสินค้าอุปโภค บริโภค เช่น ผนัง หลังคา กันสาด รวมทั้งงานตกแต่งภายใน แสดงในภาพที่ 10 แผ่นโพลีคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต



ภาพที่ 11 แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) หนา 4 มิลลิเมตร

1.7 แผ่นโฟมยาง (EVA Foam Sheet)

แผ่นโฟมยาง (Ethylene Vinyl Acetate - EVA) เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งได้จากการทำโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของสารเอทิลีน โมโนเมอร์ (Ethylene Monomer) กับสารไวนิลอะซิเตต โมโนเมอร์ (Vinyl Acetate Monomer - VAM) EVA มีความนุ่ม น้ำหนักเบา ทนทาน สามารถป้อนเป็นลวดลายต่างๆได้ด้วยระบบ Hot Press และ Cold Press ผสมทุกอย่างที่เป็นผง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ เช่น นุ่ม แข็งแรง ยืดหยุ่น มีสีสดใส EVA ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายแขนง อาทิการบรรจุหีบห่อ พื้นรองเท้า ของเล่นเด็ก ฉนวนหุ้มกันไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ที่ใช้ครั้งเดียว เป็นต้น แสดงในภาพที่ 12 แผ่นโฟมยางที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 12 ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแผ่นโฟมยาง

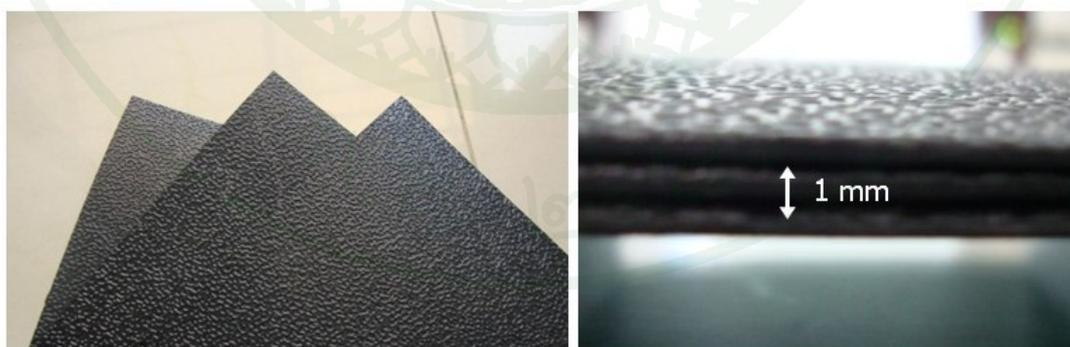


ภาพที่ 13 แผ่นโฟมยาง (EVA Foam Sheet) หนา 15 มิลลิเมตร

1.8 แผ่น PE (Polyethylene)

1.9 แผ่น โฟม PE (Polyethylene Foam)

เป็นเทอร์โมพลาสติก มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีความเหนียว และทนทานต่อแรงดึงปานกลาง โดยแผ่น PE จะใช้ในการทำ หมวก ของเล่น ที่รองกระเป๋า ส่วน โฟม PE จะใช้สำหรับ บรรจุหีบห่อ กันกระแทก แผ่น PE และแผ่น โฟม PE ที่ใช้ในการทดลอง แสดงในภาพที่ 14 และ ภาพที่ 15



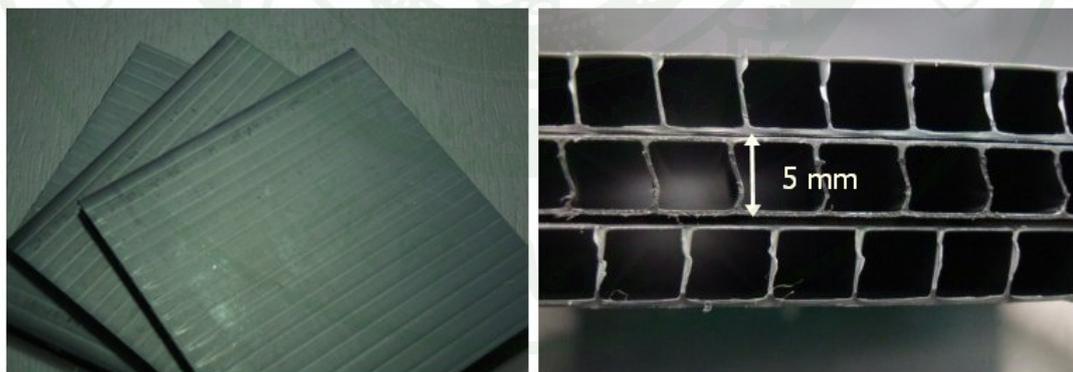
ภาพที่ 14 แผ่น PE (Polyethylene) หนา 1 มิลลิเมตร



ภาพที่ 15 แผ่นโฟม PE (Polyethylene Foam) หนา 10 มิลลิเมตร

1.10 แผ่นพลาสติกลูกฟูก (Plan Board)

แผ่นพลาสติกลูกฟูก เป็นแผ่นพลาสติกลูกฟูกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติก Polypropylene มีความทนทานต่อความเปียกชื้น และกันน้ำ สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ 100 % เหมาะสำหรับนำมาไปใช้งานหลายประเภท เช่น งานพิมพ์สกรีน ป้ายโฆษณา ก่อ-ตั้ง บรรจุภัณฑ์ ตั้งอุตสาหกรรม กระเป๋าเอกสาร แฟ้มเอกสาร แฟ้มสัมมนา ชั้นวางสินค้า แผ่นพลาสติกลูกฟูกที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แผ่นพลาสติกลูกฟูก (Plan Board) หนา 5 มิลลิเมตร

1.11 พรมไนลอน (Nylon)

ไนลอนเป็นโพลิเมอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มโพลิเอไมด์ (Polyamide) ทำให้สามารถผลิตไนลอนได้จากสารตั้งต้นหลายชนิด แต่สารที่นิยมใช้ทำปฏิกิริยาสังเคราะห์ไนลอน 6 คือ โพลีคาร์โพรแลคแตม (polycaprolactam) การนำไนลอนซึ่งเป็นโพลิเมอร์มาปั่นเป็นเส้นใยจะใช้วิธีการปั่นหลอม (melt spinning) โดยหลอมไนลอนในเครื่องปั่นหลอม (melt extruder) และฉีดไนลอนเหลวผ่านหัวฉีด (spinnerets) ซึ่งเส้นใยไนลอนที่ได้จะถูกดึงยืดในขณะเดียวกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง การผลิตเส้นใยไนลอนจำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องของน้ำหนักโมเลกุลเป็นสำคัญ เพราะน้ำหนักโมเลกุลจะมีผลต่อค่าความหนืด (viscosity) ของไนลอนที่ทำการหลอม พรมไนลอนที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 พรมไนลอน (Nylon) หนา 5 มิลลิเมตร

1.12 พรมโพลีโพรพิลีน (Polypropylene)

โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนกรด เบส และสารเคมีต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโพลีโพรพิลีน ได้แก่ ก่อของของเด็ก ถุงปุ๋ย ไหมเทียม พรมและแผ่นรองพรม ผ้าใบกันน้ำ เชือก สายรัดบรรจุภัณฑ์ ถุงร้อน ขวดใส่เครื่องดื่ม ซองขนม ท่อ ปลูกหุ้มสายไฟและสายเคเบิล งานเคลือบกระดาษ วัสดุอุดรอยรั่ว พรมโพลีโพรพิลีนที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 พรมโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) หนา 5 มิลลิเมตร

1.13 แผ่นไวนิล (Vinyl)

ไวนิล คือโพลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดหนึ่ง ที่สกัดได้จากน้ำทะเล และกระบวนการผลิตปิโตรเคมีภัณฑ์เป็น โพลิเมอร์พื้นฐานที่มีคุณสมบัติพิเศษกว่าโพลิเมอร์หรือพลาสติกทั่วไป ไวนิล มีชื่ออย่างเป็นทางการอีกชื่อหนึ่ง คือ Unplasticized PolyVinyl Chloride หรือ UPVC ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องยาวนานจนเป็นที่นิยมทั้งในแถบยุโรปและอเมริกา และเป็นที่แพร่หลายไปทั่วโลก ไวนิลสามารถนำมาแปรรูปเป็นสินค้าต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ได้มีการนำไวนิลมาผลิตเป็นประตูหน้าต่าง เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายด้าน และเหมาะสำหรับงานโฆษณาภายนอกอาคาร เช่น ป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ แผ่นไวนิลที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 แผ่นไวนิล (Vinyl) หนา 0.5 มิลลิเมตร

2. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นเป็นคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของวัสดุ ความหนาแน่นเฉลี่ยของชิ้นทดสอบในงานวิจัยนี้ได้คำนวณจากสมการที่ (6)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ m คือมวลของชิ้นทดสอบ และ V คือปริมาตรของชิ้นทดสอบซึ่งคำนวณจาก พื้นที่หน้าตัด คูณด้วยความหนา

ตารางที่ 1 แสดงความหนาแน่นเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย ของพลาสติก

ลำดับ	ชนิด	ความหนา (mm)	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m ³)
1	PMMA	3	34.06	1135.33
2	ABS	3	31.38	1046.00
3	Acrylic	5	56.68	1133.60
4	PVC	1.6	32.42	2026.25
5	HIPS	2	20.23	1011.50
6	Polycarbonate	4	8.62	215.50
7	EVA	15	22.95	153.00
8	PE	1	11.12	1112.00
9	Plan Board	5	8.37	167.40
10	Nylon	5	6.46	129.20
11	Polypropylene	5	48.09	961.80
12	Vinyl	0.5	4.24	848.00
13	PE Foam	10	4.22	42.20

3. ฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted (Critical heat flux for piloted ignition)

ฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ คือค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำที่ชั้นทดสอบสามารถจุดติดไฟแบบ piloted ได้ โดยในการทดลองหาได้จากค่าฟลักซ์ความร้อนสุดท้ายที่ชั้นทดสอบสามารถจุดติดไฟได้ในทางทฤษฎีเมื่อฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบผิววัตถุเท่ากับฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ เวลาในการจุดติดไฟของวัสดุจะมีค่าเป็นอนันต์

4. ความเฉื่อยทางความร้อน (Thermal inertia)

ความเฉื่อยทางความร้อน (thermal inertia, $k\rho c$) เป็นคุณสมบัติปรากฏของวัตถุ (apparent property) โดยมีค่าเท่ากับผลคูณของ ความหนาแน่น (ρ) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (c) วัตถุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนต่ำจะมีอัตราการนำความร้อนผ่านเนื้อวัตถุช้ากว่าวัตถุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนสูง ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ด้านที่ฟลักซ์ความร้อนตกกระทบมีค่าสูง อาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าวัตถุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนสูงจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนทางความร้อนมากกว่าวัตถุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนต่ำ ASTM 1321 แนะนำวิธีการหาค่า $k\rho c$ จากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการจุดติดไฟของวัตถุและ ฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบวัตถุ ได้จากสมการที่ (7)

$$k\rho c = \frac{4}{\pi} \left(\frac{h}{b} \right)^2 \quad (7)$$

โดย b คือค่าความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างรากที่สองของเวลาการจุดติดไฟ $\sqrt{t_{ig}}$ กับ อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสำหรับการจุดติดไฟต่อฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบวัตถุ $\dot{q}_{crit}'' / \dot{q}_i''$ และ h คือ Apparent heat transfer ของชั้นทดสอบ สามารถหาได้จาก สมการที่ (8)

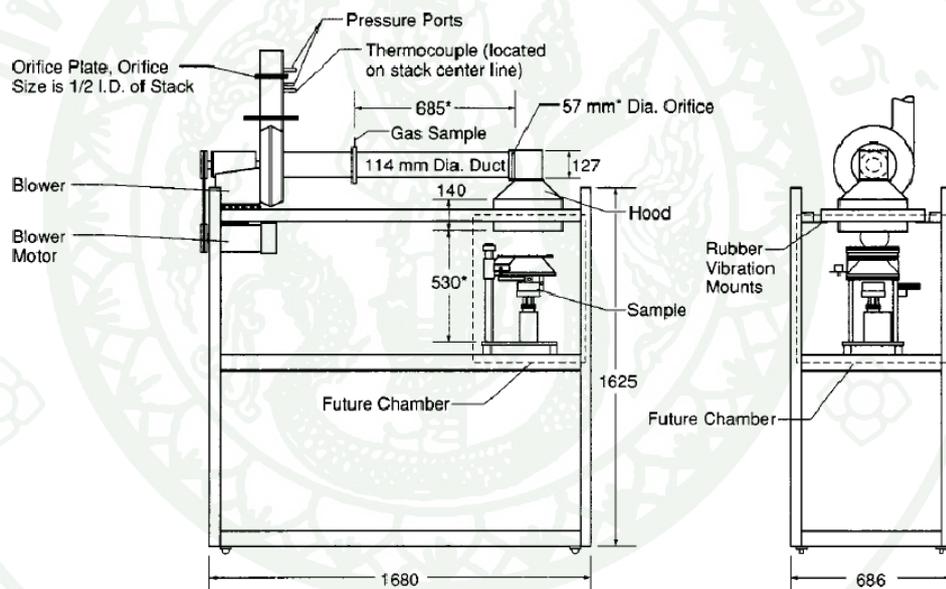
$$\dot{q}_{crit}'' = h(T_{ig} - T_{\infty}) \quad (8)$$

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. Cone calorimeter

งานวิจัยนี้ใช้เครื่อง cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM E1354 เพื่อทดสอบพฤติกรรม การจุดติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุ เครื่อง cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM E1354 แสดง ในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดงเครื่อง Cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM E1354

1.1 ขอบเขตตามมาตรฐาน ASTM E1354

1.1.1 มาตรฐานนี้ใช้สำหรับวัดการตอบสนองของวัสดุในระดับรังสีความร้อน ทั้งที่มี และไม่มีการจุดติดไฟจากภายนอก

1.1.2 การทดสอบนี้ใช้หาเวลาการจุดติดไฟ อัตราการปลดปล่อยความร้อน อัตราการสูญเสียมวล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ และการเกิดควันของวัสดุ

1.1.3 อัตราการปลดปล่อยความร้อนหาโดยวัดจากการใช้ออกซิเจน ซึ่งหาจากความเข้มข้นของออกซิเจน และอัตราการไหลในไอเสีย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้หาได้จากอัตราการสูญเสียมวล และอัตราการให้ความร้อน

1.1.4 ตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะถูกทดสอบอยู่ในช่วงพลังความร้อน 0 ถึง 100 kW/m² หากมีการจุดระเบิดจากภายนอกจะใช้ หัวเทียน ช่วยในการจุดระเบิด ค่าของพลังความร้อน และการจุดระเบิดจากภายนอกจะเป็นไปตามค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน โดยปกติชั้นทดสอบวางอยู่ในแนวระดับ

1.1.5 การจุดติดไฟหาได้จากการจับเวลา ตั้งแต่การเริ่มต้นให้ความร้อนจนถึงเวลาการเริ่มลุกไหม้ของไฟ

1.1.6 การทดสอบนี้ได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้สำหรับการประเมินวัสดุ เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเพื่อการวิจัยและการพัฒนา ตัวอย่างของวัสดุชั้นทดสอบ ชิ้นงานสำเร็จรูป และ ส่วนใดส่วนหนึ่งของชิ้นงานสำเร็จรูป

1.1.7 ใช้หน่วย SI (Standard international unit)

1.1.8 มาตรฐานนี้ใช้ในการ วัดและอธิบายพฤติกรรมของ วัสดุ ผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นงาน กับการร้อนและเปลวไฟภายใต้สภาวะควบคุม แต่ไม่ได้รวมค่าทั้งหมดที่ต้องการเกี่ยวกับอันตรายของไฟของวัสดุในสภาวะที่เกิดเพลิงไหม้จริง

1.1.9 มาตรฐานนี้ไม่ได้อ้างถึงความปลอดภัยทั้งหมดซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้งาน เป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการกำหนดข้อปฏิบัติทางความปลอดภัย

1.2 วิธีการทดสอบโดยสรุปตามมาตรฐาน ASTM E1354

วิธีการทดสอบนี้เป็นการสังเกตการณ์ ซึ่งโดยทั่วไปความร้อนจากการเผาไหม้สุทธิ (net heat of combustion) จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการเผาไหม้ โดยมีความสัมพันธ์ว่าจะมีการปลดปล่อยความร้อนจะเกิดขึ้นประมาณ $13.1 \times 10^3 \text{ kJ}$ ต่อการเผาผลาญ ปริมาณออกซิเจน 1 kg ในสภาวะบรรยากาศปกติ โดยฟลักซ์ความร้อนจากภายนอกที่สามารถตั้งค่า ได้ตั้งแต่ $0-100 \text{ kW/m}^2$ การเผาไหม้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งแบบมีและไม่มีการจุดระเบิด ค่าพื้นฐาน ที่วัดได้คือความเข้มข้นของออกซิเจนของไอเสียและอัตราการไหลของไอเสีย นอกจากนี้ยังวัดค่า อัตราการสูญเสียมวล เวลาในกาติดไฟ การเกิดควันของตัวอย่างทดสอบ

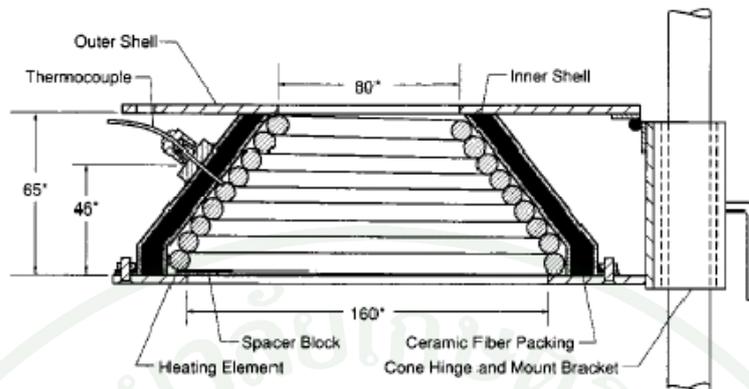
1.3 ตัวอุปกรณ์

1.3.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่อง cone calorimeter

เครื่องมือประกอบไปด้วย ขดลวด โคนความร้อน (cone heater) ฐานรองรับ ทั้งแนวราบและแนวดิ่งซึ่งรวมไปถึงอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานทั้ง 2 ระนาบ ระบบระบายไอเสีย ที่สามารถวัดค่าออกซิเจนและอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ได้ ชุดอุปกรณ์จุดระเบิด อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งจะมีการจัดเก็บค่ามวลที่สูญเสียจากเครื่องชั่งน้ำหนัก (load cell) ลักษณะทั่วไปของเครื่อง cone calorimeter แสดงในภาพที่ 20

1.3.2 ตัวให้ความร้อนแบบกรวย (cone heater)

ก. ส่วนให้ความร้อนของโคนความร้อนเป็นแท่งให้ความร้อน (heating element) ด้วยไฟฟ้าที่มีกำลัง 5000 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 240 โวลต์ ผลิตเป็นกรวยตามขนาดที่กำหนด ซึ่งบรรจุในกรวยทำจากเหล็กสแตนเลส 2 ชั้นคั่นกลางด้วยฉนวนความร้อนทำจาก ceramic fiber ซึ่งมีความหนาแน่นโดยประมาณ 100 kg/m^3 ภาพที่ 2 แสดงภาพตัดของ โคนความร้อน กรวย สแตนเลส และฉนวนความร้อน



ภาพที่ 21 ภาพตัดขวางของ โคนความร้อน กรวยสแตนเลส และฉนวนความร้อน

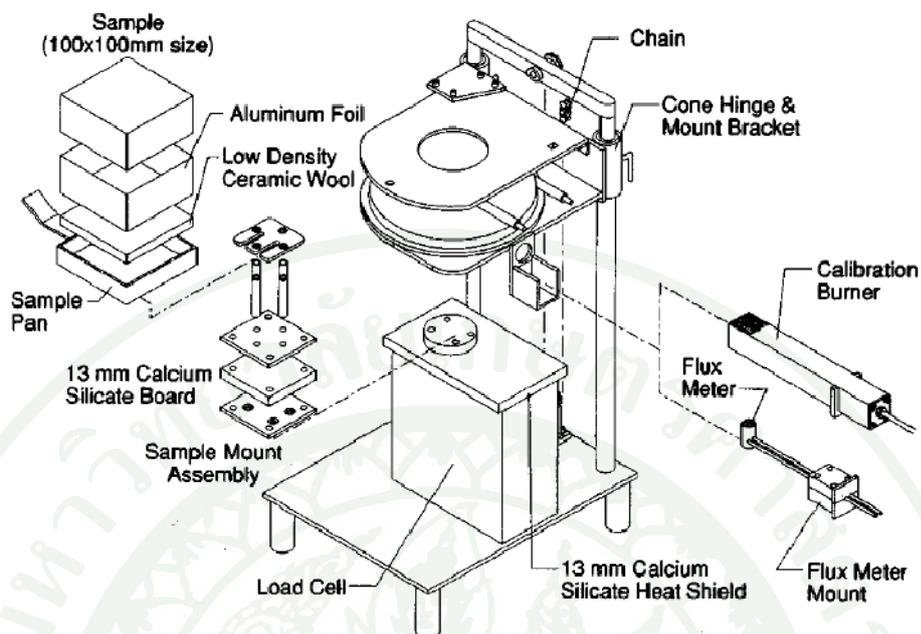
ข. แผงโคนความร้อนมีบานพับหมุนปรับได้สำหรับให้ความร้อนทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 22 และภาพที่ 23

ค. การควบคุมการแผ่รังสีความร้อนของตัวให้ความร้อน ทำโดยการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (type K thermocouple) จำนวน 3 ตัวและที่ผิวตัวให้ความร้อน โดยห้ามเชื่อมตัวให้ความร้อนกับเทอร์โมคัปเปิลติดกัน เทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัวใช้สายยาวเท่ากันแล้วต่อเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิ

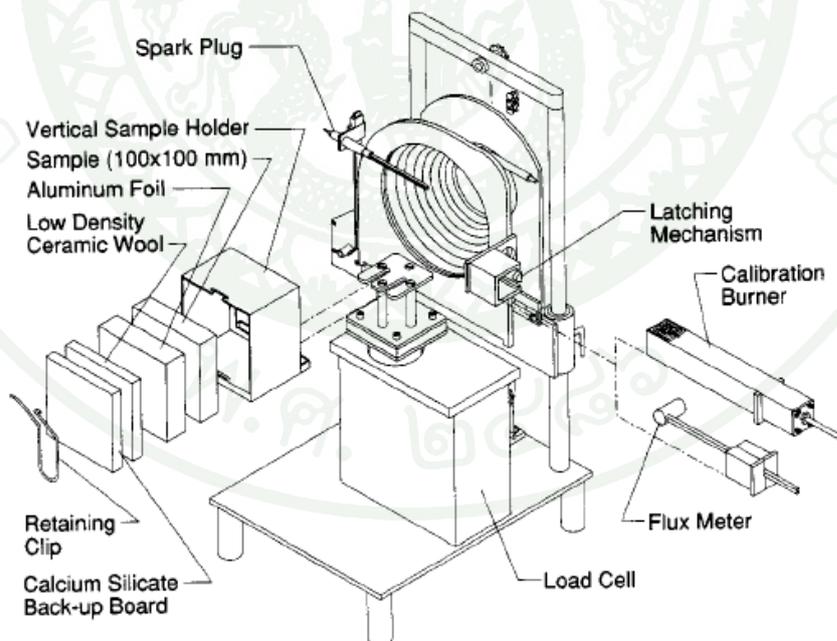
1.3.3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิของแผงโคนความร้อน (cone heater controller)

ก. เครื่องควบคุมอุณหภูมิของแผงโคนความร้อนต้องสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ไว้ได้ในช่วง $\pm 2^{\circ}\text{C}$ เครื่องควบคุมอุณหภูมิต้องสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้ถึง 25 A ที่ความต่างศักย์ 240 V

ข. เครื่องควบคุมอุณหภูมิต้องสามารถตั้งค่าอุณหภูมิป้อนเข้าในช่วง 0 ถึง 1000°C ได้โดยมีความละเอียดการป้อนค่า 2°C หรือละเอียดกว่านั้นและมีการชดเชย จุดต่อเย็น (cold junction) อย่างอัตโนมัติ เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะต้องระบบความปลอดภัย ในกรณีที่มีการเปิดวงจรของเทอร์โมคัปเปิล เครื่องควบคุมจะต้องตัดอุณหภูมิไปสู่ค่าต่ำสุดที่เครื่องสามารถปรับได้



ภาพที่ 22 การจัดวางแผงโคนความร้อนสำหรับการให้ความร้อนแนวระดับ



ภาพที่ 23 การจัดวางแผงโคนความร้อนสำหรับการให้ความร้อนแนวตั้ง

1.3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก (load cell)

เครื่องชั่งน้ำหนักต้องสามารถชั่งน้ำหนักได้มีความละเอียด 0.1 g และมีความสามารถในการชั่งน้ำหนักสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 3.5 kg

1.3.5 วงจรการจุดระเบิด สำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted

การทดสอบการจุดติดไฟแบบ piloted ทำได้โดยการจุดระเบิดจากหัวจุดระเบิด (spark plug) มีระยะห่างระหว่างขั้ว 3 mm แรงดันไฟฟ้าสำหรับการจุดระเบิด 10 kV หัวจุดระเบิดติดตั้งในแนวศูนย์กลางของตัวให้ความร้อน cone heater เนื่องจากชิ้นทดสอบ 13 mm สำหรับการทดสอบการจุดติดไฟในแนวระดับ และติดตั้งในระนาบเดียวกับตัวให้ความร้อนเหนือขึ้นไป 5 mm สำหรับการทดสอบการจุดติดไฟในแนวตั้ง แรงดันไฟฟ้าสำหรับหัวจุดระเบิดได้มาจากหม้อแปลงซึ่งห้ามต่อสายดินเชื่อมกับโครงสร้างของ cone calorimeter เพื่อป้องกันไม่เกิดการรบกวนสัญญาณของเครื่องบันทึกข้อมูล (data acquisition) การปล่อยประกายไฟจะทำอย่างต่อเนื่องที่ความถี่ 50 ถึง 60 Hz ระหว่างการทดลองการจุดติดไฟแบบ piloted ignition จนกระทั่งวัสดุชิ้นทดสอบจุดติดไฟ

1.3.6 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจนเป็นแบบ paramagnetic มีความสามารถในการวัดความเข้มข้นของออกซิเจนได้ในช่วง 0 ถึง 25% โดยปริมาตร มีการตอบสนองเป็นเชิงเส้น ค่าที่วัดได้ต้องมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 50 ppm oxygen rms ตลอดช่วงเวลาการบันทึกค่า 1/2 ชั่วโมง

1.3.7 เครื่องวัดฟลักซ์ความร้อน (heat flux meter)

ก. เครื่องวัดฟลักซ์ความร้อนอาจเป็นแบบ Gardon (foil) หรือ Schmidt-boelter (thermopile) โดยมีความสามารถในการวัดฟลักซ์ความร้อนได้ถึง 100 kW/m^2 พื้นผิวตัววัดเป็นแบบวงกลมผิวเรียบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12.5 mm เคลือบด้วยวัสดุค่าต้านและทนทาน ความคลาดเคลื่อนของค่าฟลักซ์ความร้อนที่วัดได้จะต้องอยู่ในช่วง $\pm 3\%$ การระบายความร้อนของตัววัดฟลักซ์ความร้อนทำได้โดยใช้น้ำในการหล่อเย็น

1.3.8 เครื่องบันทึกข้อมูล (digital data collection)

เครื่องบันทึกข้อมูลจะต้องสามารถบันทึกผลจาก oxygen analyzer, orifice meter, thermocouple, load cell และระบบควัน เครื่องบันทึกข้อมูลจะมีความแม่นยำอย่างน้อยที่ 50 ppm สำหรับออกซิเจน, 0.5°C สำหรับอุณหภูมิ และ 0.01% ของสเกลของอุปกรณ์อื่นๆ จะต้องเก็บข้อมูลต่อเนื่องได้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ความถี่ในการบันทึกข้อมูลจะต้องสามารถบันทึกได้ทุกๆ ช่วงเวลาอย่างมากไม่เกิน 5 วินาที

1.4 ความอันตรายในการทดลอง

1.4.1 ในขั้นตอนการทดลองมีอุณหภูมิสูงและมีกระบวนการเผาไหม้ เพราะฉะนั้น อาจเกิดอันตราย เกิดการติดไฟหรือลุกไหม้กับสิ่งของรอบนอกหรือเสื้อผ้า และรวมถึงการสูดดมเอา แก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ ผู้ทดลองจะต้องใช้ถุงมือป้องกันสำหรับใส่ชั้นทดสอบและเอาชั้นทดสอบ ออก และใช้ถุงมือป้องกันในการสัมผัสจับอุปกรณ์ สำหรับชั้นทดสอบบางอย่างจะเกิดสะเก็ด มีแสง ส่องสว่าง ต้องมีการป้องกันดวงตา

1.4.2 ในระบบปล่อยควันจะต้องมีการตรวจสอบก่อนทำการทดลอง ต้องมีการปล่อย ระบายไอเสียออกภายนอกอาคารอย่างเหมาะสม ควรมีช่องลมช่องระบายอากาศ และ ไม่มีผลผลิต จากการเผาไหม้สะสมอยู่ในระบบปล่อยควันของอุปกรณ์

1.5 ชั้นทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM E1354

1.5.1 ขนาดและการเตรียมชั้นทดสอบ

ก. ชั้นทดสอบจะมีขนาดพื้นที่หน้าตัดรับความร้อนใหญ่สุดได้ไม่เกิน 100×100 mm ความหนาสูงสุดได้ไม่เกิน 50 mm โดยตัดชั้นทดสอบมาจากตัวอย่างวัสดุที่ใช้งานจริง สำหรับ ชิ้นงานปกติที่มีขนาดหนามากกว่า 50 mm อาจตัดส่วนที่ไม่โดนฟลักซ์ความร้อนออกเพื่อให้เหลือ ความหนาไม่เกิน 50 mm ชั้นทดสอบต้องห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ทั้งด้านข้างและด้านหลัง โดย หันด้านมันของอลูมิเนียมฟอยล์เข้าหาชั้นทดสอบ แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์มีควรวความหนาอยู่ระหว่าง 0.025 – 0.04 mm

ข. สำหรับการทดสอบชิ้นทดสอบที่เป็นวัสดุประกอบ (composite material) ให้จัดเตรียมชิ้นทดสอบเมื่อชิ้นทดสอบปกติ โดยต้องห่อชิ้นทดสอบด้านข้าง

ค. สำหรับการทดสอบชิ้นทดสอบที่เป็นวัสดุประกอบ ถ้ามีการจัดเตรียมชิ้นทดสอบและการยึดติดบนผิวด้านของชิ้นทดสอบที่แตกต่างไปจากวิธีปกติ ต้องระบุวิธีการจัดเตรียมและการยึดชิ้นทดสอบไว้ในรายงานการทดสอบด้วย

ง. ชิ้นทดสอบที่บางกว่า 6 mm อาจทำการทดสอบร่วมโดยประกอบกับวัสดุอื่นตามสภาพการใช้งานจริงเพื่อทำให้ความหนาของชิ้นทดสอบหนากว่า 6 mm ในกรณีที่ชิ้นทดสอบบางกว่า 6 mm และทดสอบโดยมีช่องอากาศใต้ด้านที่ไม่ถูกฟลักซ์ความร้อน ช่องว่างอากาศระหว่างผิวชิ้นทดสอบกับแผ่นขนวนความร้อนให้ทำการค้ำยันด้วยโครงโลหะ (metal space frame)

1.5.2 สภาวะชิ้นทดสอบ

ก. ชิ้นทดสอบต้องจัดเตรียมให้อยู่ในสภาวะเริ่มต้นก่อนการทดสอบ โดยมีน้ำหนักและความชื้นคงที่ ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 23 ± 3 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 %

1.6 สภาพแวดล้อมวิธีที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือจะต้องนบบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก อยู่ในสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 20-80% และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15-30 °C

1.7 วิธีการทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM E1354

1.7.1 การเตรียมการทดลอง

ก. ตรวจสอบเครื่องดัก CO₂ และเครื่องดักความชื้น เปลี่ยนสารดัก CO₂ และสารดักความชื้นถ้าจำเป็น ถ้ามีน้ำค้างอยู่ ระบายน้ำในถาดเครื่องดักความชื้นทิ้ง

ข. ทำการเปิดเครื่องโคนฮีตเตอร์และพัดลมดูดอากาศ

ค. ตั้งค่าอัตราการดูดอากาศเท่า $0.024 \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$

ง. สำหรับการทดสอบในแนวระดับวางถาดตัวอย่างขึ้นทดสอบ (Sample holder) ซึ่งห่อด้วยวัสดุทนความร้อนไว้บนเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องชั่งน้ำหนักโดนความร้อนจากแผงโคนความร้อนมากเกินไปในระหว่างการรอให้แผงโคนความร้อนทำความร้อนเข้าสู่สภาวะคงตัวตามค่าที่กำหนด

จ. สำหรับการทดสอบการจุดติดไฟแบบ Piloted ให้วางตำแหน่งของหัวจุดระเบิดอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

1.7.2 การดำเนินการ

ก. เมื่อพร้อมที่จะดำเนินการทดสอบให้นำถาดตัวอย่างที่วางป้องกันความร้อนออกจากเครื่องชั่งน้ำหนัก

ข. ปิดแผงบังการแผ่รังสี (Radiation shield) หน้าแผงโคนความร้อน นำตัวอย่างขึ้นทดสอบห่อด้วยวัสดุทนความร้อน วางลงบนถาดตัวอย่างขึ้นทดสอบ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของถาดตัวอย่างขึ้นทดสอบต้องมีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้อง

ค. ตรวจสอบว่าขึ้นทดสอบวางอยู่ในสภาวะสมดุลบนเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยต้องใช้เวลาไม่เกิน 10 วินาที เมื่อพร้อม เปิดแผงบังการแผ่รังสีออก ทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล ทุกๆช่วงเวลา 5 วินาทีหรือน้อยกว่า

ง. บันทึกเวลาการจุดติดไฟ โดยเริ่มนับเวลาทันทีที่เปิดแผงบังการแผ่รังสี ถ้าเป็นการทดสอบการจุดติดไฟแบบ piloted ignition ให้เริ่มเปิดหัวจุดระเบิดทันทีที่เปิดแผงบังการแผ่รังสี

จ. บันทึกเวลาเมื่อเกิดประกายไฟขึ้น เมื่อเปลวไฟลุกไหม้บันทึกเวลาการจุดติดไฟ ปิดและนำหัวจุดระเบิดออก จากตำแหน่งเหนือเปลวไฟ ถ้าเปลวไฟลุกไหม้ต่ำกว่า 60 วินาที หลังจากเกิดการจุดติดไฟให้นำหัวจุดระเบิดวางในตำแหน่งเพื่อการจุดระเบิดอีกครั้ง ทำการเปิด

หัวจุกระเบิด ถ้าเกิดประกายไฟแล้วเปลวไฟดับลงอีก ให้ยกเลิกการทดสอบนั้น ทำการทดสอบใหม่
อีกครั้งโดยเปิดหัวจุกระเบิดตลอดช่วงเวลากการทดสอบ เขียนรายงานเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

ฉ. หลังจากการเผาไหม้ของชิ้นทดสอบผ่านไป 60 นาที หรือ มวลสูญเสีย
โดยเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 150 g/m^2 ให้ทำการบันทึกข้อมูลต่อไปอีก 2 นาที

ช. นำถาดตัวอย่างชิ้นทดสอบออกจากเครื่องชั่งน้ำหนัก

ซ. สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนในแนวระดับ วางถาดตัวอย่างชิ้น
ทดสอบเปล่า บนเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องชั่งน้ำหนักโดนความร้อนจากแผง
โคนความร้อนมากเกินไป

ด. ในการทดสอบการจุดติดไฟ ถ้าไม่เกิดการจุดติดไฟภายใน 30 นาที ให้ถือว่า
ชิ้นทดสอบไม่จุดติดไฟ นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องชั่งน้ำหนัก ยกเว้นชิ้นทดสอบแสดงสัญญาณ
บางอย่างว่าเกิดการเผาไหม้ขึ้น

ด. อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเฉลี่ยภายในช่วงเวลา 180 วินาทีจากการ
ทดสอบ 3 ครั้งต้องมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จึงจะยอมรับค่าอัตราการปล่อยพลังงาน
ความร้อนในการทดสอบที่ผลลัพธ์ความร้อนนั้น

2. ชิ้นทดสอบในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted ของวัสดุกลุ่มพลาสติก
โดยตัวอย่างที่เลือกนำมาทดสอบเป็นผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายใน
อุตสาหกรรมพลาสติก และการตกแต่งอาคาร ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 13 ชนิด คือ

2.1 แผ่น PMMA (Polymethylmethacrylate) หนา 3 mm

2.2 แผ่น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) หนา 3 mm

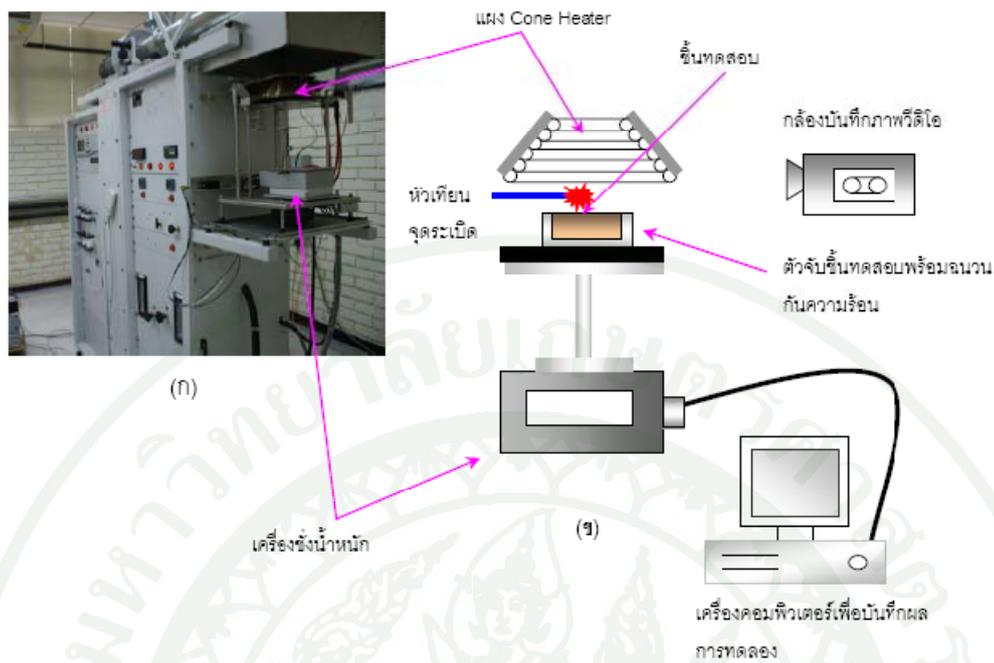
- 2.3 แผ่นอะคริลิก (Acrylic) หน้า 5 mm
- 2.4 แผ่นกระเบื้องยาง (PVC Floor Tiles) หน้า 1.6 mm
- 2.5 แผ่นHIPS (High impact polystyrene) หน้า 2 mm
- 2.6 แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) หน้า 4 mm
- 2.7 แผ่นโฟมยาง (EVA Foam Sheet) หน้า 15 mm
- 2.8 แผ่นPE (Polyethylene) หน้า 1 mm
- 2.9 พลาสติกลูกฟูก (Plan Board) หน้า 5 mm
- 2.10 พรหมไนลอน (Nylon) หน้า 5 mm
- 2.11 พรหมโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) หน้า 5 mm
- 2.12 แผ่นไวนิล (Vinyl) หน้า 0.5mm
- 2.13 แผ่นโฟม PE (Polyethylene Foam) หน้า 10 mm

3. คอมพิวเตอร์

4. กล้องบันทึกวิดีโอ

วิธีการ

1. ขั้นตอนการทดลองเริ่มต้น โดย ทำการปรับระดับฟลักซ์ความร้อนจากแผง cone heater ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยฟลักซ์ความร้อนเริ่มต้นที่ใช้มีค่าเท่ากับ 50 kW/m^2
2. เมื่อฟลักซ์ความร้อนจาก cone heat เข้าสู่ภาวะคงตัว นำชิ้นทดสอบหุ้มฉนวนความร้อนวางบนเครื่องชั่งน้ำหนักซึ่งต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นทดสอบตลอดช่วงเวลาในการทดลองโดยมีความถี่ในการบันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที
3. เปิดแผ่นฉนวนกันซึ่งติดตั้งหน้าแผง cone heater และให้หัวเทียนจุดระเบิดเริ่มทำงาน ทำการบันทึกเวลาการจุดติดไฟ (t_{ig}) โดยเป็นเวลาที่นับตั้งแต่ชิ้นทดสอบเริ่มได้รับฟลักซ์ความร้อน จนกระทั่งชิ้นทดสอบจุดติดไฟและสามารถเผาไหม้ต่อไปได้เอง
4. การทดลองถือเป็นอันสิ้นสุด หลังจากการเผาไหม้ของชิ้นทดสอบผ่านไป 60 นาที หรือมวลสูญเสียโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 150 g/m^2
5. ในการทดสอบการจุดติดไฟ ถ้าไม่เกิดการจุดติดไฟภายใน 30 นาที ให้ถือว่าชิ้นทดสอบไม่จุดติดไฟ นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องชั่งน้ำหนัก
6. ทำการทดลองซ้ำที่ฟลักซ์ความร้อนเดิมซ้ำ โดยทุกๆฟลักซ์ความร้อนจะทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
7. ลดค่าฟลักซ์ความร้อนจาก cone heater ลง แล้วดำเนินการซ้ำจากขั้นที่ 1 ถึง 6 จนกระทั่งถึงฟลักซ์ความร้อนที่ชิ้นทดสอบไม่สามารถจุดติดไฟได้ ฟลักซ์ความร้อนระดับต่ำที่สุดค่าสุดท้ายที่ชิ้นทดสอบสามารถจุดติดไฟได้ คือฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted (critical heat flux for piloted ignition)

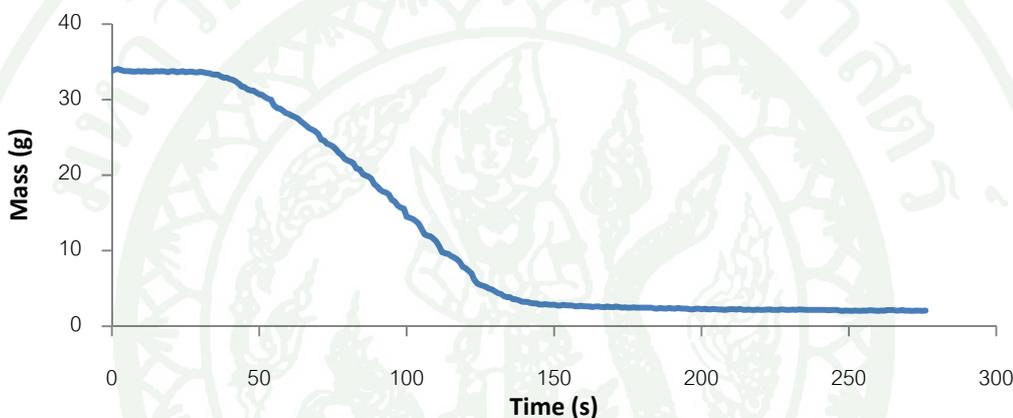


ภาพที่ 24 (ก) อุปกรณ์ทดสอบพฤติกรรมการติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุ cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM E 1354 (ข) แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลอง

ผลและวิจารณ์

1. การสูญเสียมวล (Mass Loss) และฟลักซ์การเผาไหม้ (Burning Flux)

การทดลองได้มีการบันทึกการสูญเสียมวลของชิ้นทดสอบในเทอมของเวลา ตัวอย่างผลการทดลองสำหรับแผ่น PMMA หนา 3 mm ที่ได้รับฟลักซ์ความร้อน 50 kW/m^2 ได้แสดงไว้ในภาพที่ 25 กราฟแสดงผลการสูญเสียมวลของชิ้นทดสอบทั้งหมดแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข



ภาพที่ 25 การสูญเสียมวลของแผ่น PMMA หนา 3 mm ที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 50 kW/m^2

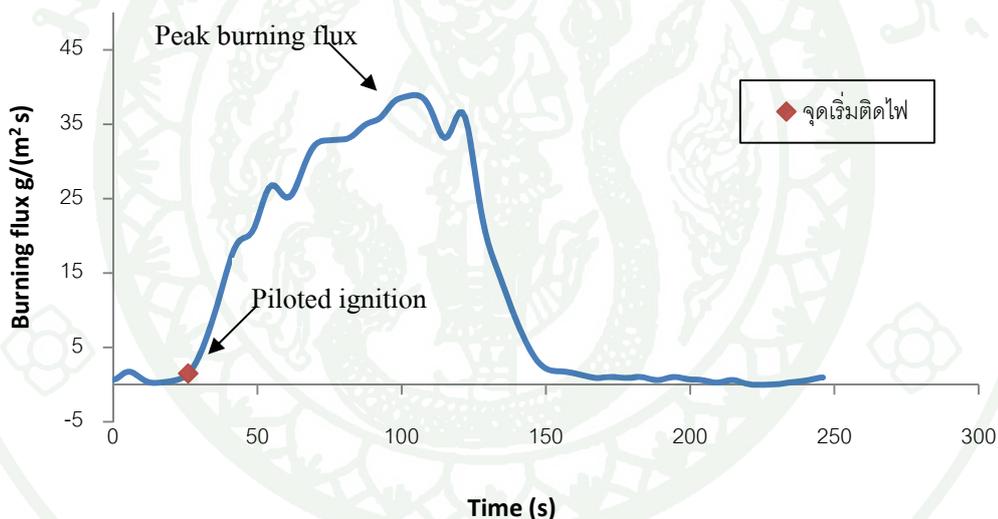
ฟลักซ์การเผาไหม้ (burning flux, \dot{m}'') คือ อัตราเผาไหม้ของชิ้นทดสอบต่อพื้นที่หน้าตัด สามารถหาได้จากการหาอนุพันธ์เชิงตัวเลขแบบกึ่งกลาง (numerical central differential) ของการสูญเสียมวลของชิ้นทดสอบโดย

$$\dot{m}''(t_n) = -\frac{1}{A_S} \left(\frac{m(t_{n+1}) - m(t_{n-1}))}{t_{n+1} - t_{n-1}} \right) \quad (8)$$

เมื่อ $\dot{m}''(t_n)$ คือฟลักซ์การเผาไหม้ที่เวลา t_n $m(t_{n+1})$ และ $m(t_{n-1})$ คือมวลที่เวลา t_{n+1} และ t_{n-1} ตามลำดับ A_S คือพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ

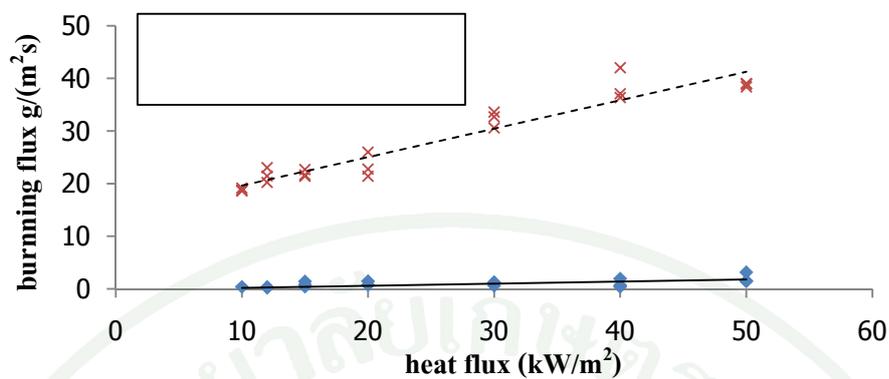
สำหรับพลັกซ์การเผาไหม้ที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสุดท้ายของการทดลอง สามารถหาได้จากอนุพันธ์เชิงตัวเลขแบบไปข้างหน้า (numerical forward differential) และ อนุพันธ์เชิงตัวเลขแบบไปข้างหลัง (numerical backward differential) ตามลำดับ เนื่องจากกราฟการสูญเสียมวลของชิ้นทดสอบไม่สม่ำเสมอ ทำให้พลັกซ์การเผาไหม้ซึ่งหาจากสมการที่ (8) เกิดการแกว่งไปมา (fluctuation) อย่างมาก ดังนั้นการคำนวณ 3 point moving average ของพลັกซ์การเผาไหม้ที่คำนวณจากสมการที่ (8) ได้นำมาใช้เพื่อลดพฤติกรรมแกว่งไปมา

พลັกซ์การเผาไหม้ของแผ่น PMMA หนา 3 mm ที่ระดับพลັกซ์ความร้อน 50 kW/m^2 หลังจากหาค่า 3 point moving average ได้แสดงไว้ในภาพที่ 26 กราฟแสดงพลັกซ์การเผาไหม้ของการทดลองทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ค



ภาพที่ 26 พลັกซ์การเผาไหม้ของแผ่น PMMA หนา 3 mm ที่ระดับพลັกซ์ความร้อน 50 kW/m^2

ภาพที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลັกซ์การเผาไหม้ ที่เวลาจุดติดไฟ (\dot{m}''_{ig}) และพลັกซ์การเผาไหม้สูงสุด (\dot{m}''_{peak}) ของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm ที่ระดับพลັกซ์ความร้อนต่าง ๆ สำหรับกราฟแสดงพลັกซ์การเผาไหม้กับพลັกซ์ความร้อนของชิ้นทดสอบที่เหลือทั้งหมดนำเสนอไว้ในภาคผนวก ฉ จากกราฟแสดงให้เห็นว่า \dot{m}''_{ig} และ \dot{m}''_{peak} เพิ่มขึ้นตามพลັกซ์ความร้อนตกกระทบที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับ $0.79 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$ และ $27.89 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$ ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ย \dot{m}''_{ig} และ \dot{m}''_{peak} ของชิ้นทดสอบทั้งหมดจะสรุปไว้ในตารางที่ 2



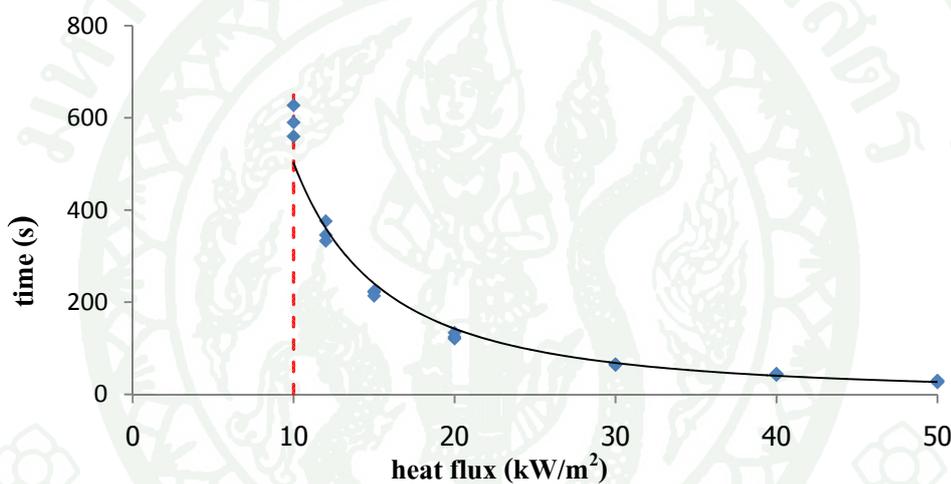
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของฟลักซ์การเผาไหม้กับระดับฟลักซ์ความร้อนของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของ \dot{m}''_{ig} และ \dot{m}''_{peak} ของวัสดุทั้งหมดที่ทำการทดลอง

ลำดับ	ชนิด	ค่าเฉลี่ย \dot{m}''_{ig} (g/m ² .s)	ค่าเฉลี่ย \dot{m}''_{peak} (g/m ² .s)
1	PMMA	0.79	27.89
2	ABS	2.07	25.46
3	Acrylic	1.22	27.89
4	PVC	4.93	12.28
5	HIPS	1.18	27.24
6	Polycarbonate	2.29	29.39
7	EVA	2.62	9.43
8	PE	0.68	23.56
9	Plan Board	1.29	20.70
10	Nylon	0.78	23.08
11	Polypropylene	1.17	24.34
12	Vinyl	2.15	5.90
13	PE Foam	0.82	15.18

2. เวลาการจุดติดไฟแบบ piloted (Piloted Ignition Time)

การทดลองส่วนนี้ได้ดำเนินการเพื่อหาเวลาการจุดติดไฟแบบ piloted ของชิ้นทดสอบที่ระดับ พลังค์ความร้อนค่าต่างๆ เวลาการจุดติดไฟ (ignition time, t_{ig}) คือ เวลาที่ชิ้นทดสอบใช้ในการจุดติดไฟนับตั้งแต่ชิ้นทดสอบได้รับพลังค์ความร้อนตกกระทบจากแผงโคนความร้อนจนเกิดการจุดติดเป็นเปลวไฟเผาไหม้ของชิ้นทดสอบ ภาพที่ 28 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับพลังค์ความร้อนของแผ่น PMMA หนา 3 mm ส่วนกราฟแสดงเวลาการจุดติดไฟของชิ้นทดสอบทั้งหมดแสดงใน ภาคผนวก ง



ภาพที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟแบบ piloted กับระดับพลังค์ความร้อน ของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm

จากภาพที่ 28 แสดงให้เห็นว่าเวลาการจุดติดไฟแปรผกผันกับพลังค์ความร้อนที่ตกกระทบผิวชิ้นทดสอบ ที่ระดับพลังค์ความร้อนสูง จะใช้เวลาในการจุดติดไฟน้อย ในขณะที่พลังค์ความร้อนต่ำ จะใช้เวลานานในการจุดติดไฟ พลังค์ความร้อนต่ำที่สุดที่การจุดติดไฟแบบ piloted สามารถเกิดขึ้นได้ เรียกว่า พลังค์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted (critical heat flux for piloted ignition, \dot{q}_{crit}) จากภาพที่ 28 แสดงให้เห็นว่า พลังค์ความร้อนวิกฤตสำหรับแผ่น PMMA หนา 3 mm มีค่าประมาณ 10 kW/m^2

ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเป็นดัชนีที่สำคัญตัวหนึ่งในการจัดลำดับความอันตรายของการจุดติดไฟของวัสดุ วัสดุที่มีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตต่ำแสดงว่าสามารถจุดติดไฟได้ง่ายที่ระดับความร้อนต่ำกว่าวัสดุที่มีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตในการจุดติดไฟสูง ดังนั้นการเลือกวัสดุที่มีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตในการจุดติดไฟต่ำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการตกแต่งอาคาร เป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดเหตุอัคคีภัยที่รุนแรงได้

3. การคำนวณอุณหภูมิจุดติดไฟแบบ Piloted (Piloted Ignition Temperature Calculation)

อุณหภูมิจุดติดไฟแบบ piloted (T_{ig}) คืออุณหภูมิที่ผิวชั้นทดสอบขณะที่วัสดุจุดติดไฟ ปกติการวัดค่า T_{ig} จากการทดลองโดยตรงโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลติดที่ผิวหน้าชั้นไม้ทดสอบสามารถทำได้ยาก เนื่องจากเวลาที่ผิวชั้นทดสอบไม่ได้รับฟลักซ์ความร้อน ผิวไม้จะเกิดการแยกตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ไม่สามารถทำนายได้ว่าผิวไม้จะแตกตัวไปทิศทางใด ซึ่งถ้ารอยแตกที่เกิดขึ้นผาดผ่านตำแหน่งที่ติดหัวเทอร์โมคัปเปิล หัวเทอร์โมคัปเปิลก็จะติดตัวออกจากผิวไม้ทำให้ไม่สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ASTM 1321 แนะนำว่าเมื่อฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบผิววัสดุเท่ากับฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ piloted (\dot{q}''_{crit}) สมการอนุรักษ์พลังงานที่ผิวของวัสดุที่สภาวะคงตัว (steady state) สามารถเขียนได้ตามสมการที่ (4) เพื่อความสะดวกจึงสมการที่ (4) มาเขียนอีกครั้งด้านล่างได้

$$\dot{q}''_{crit} = h_c(T_{ig} - T_\infty) + \sigma(T_{ig}^4 - T_\infty^4) \quad (4)$$

ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h_c ที่ผิวหน้าของวัสดุในสภาวะทดลองการจุดติดไฟด้วยเครื่อง cone calorimeter Staggs (2009) ได้แนะนำค่าไว้ที่เป็นไปตามสมการที่ (5)

$$h_c = 8.91 + 0.50(T_s - 293)^{0.54} \quad (5)$$

สำหรับวัสดุทั่วไปที่ใช้ในการตกแต่งอาคารหรือผลิตภัณฑ์จากพลาสติก ผิวหน้าของวัสดุจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ณ เวลาที่วัสดุกำลังจะจุดติดไฟ ดังนั้นค่า ε ในสมการที่ (5) สามารถประมาณเท่ากับ 1 ได้ จากภาพที่ 28 ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของแผ่น PMMA หนา 3 mm มีค่า 10 kW (10000 W) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายในห้อง ณ วันที่ทำการทดสอบเท่ากับ 28°C (301K) แทนค่ากลับไปสมการที่ (4) และ (5) จะได้

$$10000 = h_c(T_{ig} - 301) + (5.67 \times 10^{-8})(T_{ig}^4 - 301^4) \quad (9)$$

$$h_c = 8.91 + 0.50(T_{ig} - 293)^{0.54} \quad (10)$$

สมการที่ (9) และ (10) สามารถหาผลเฉลยของ h_c และ T_{ig} ได้เท่ากับ $19.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ และ 559 K ตามลำดับ ส่วนค่า h สามารถคำนวณได้จาก h_c ตามสมการที่ (11)

$$h = \frac{h_c(T_{ig} - T_\infty) + \varepsilon\sigma(T_{ig}^4 - T_\infty^4)}{(T_{ig} - T_\infty)} \quad (11)$$

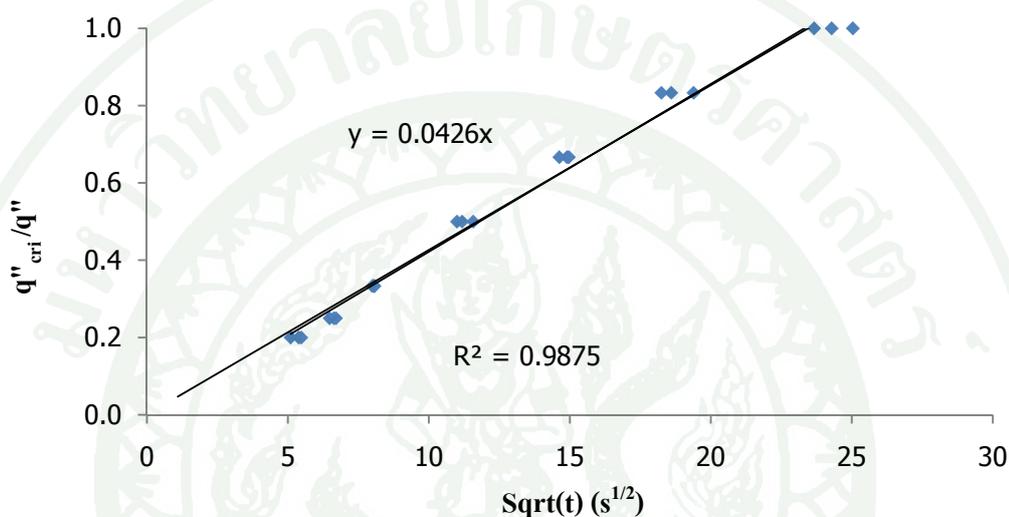
ผลการคำนวณอุณหภูมิจุดติดไฟแบบ piloted ค่าสมประสิทธิการพาความร้อน และค่า Apparent heat transfer ของตัวอย่างขึ้นทดสอบทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 3

4. การคำนวณความเฉื่อยทางความร้อน (Thermal Inertia Calculation)

จากผลเวลาการจุดติดไฟและฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสำหรับการจุดติดไฟ สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาค่าความเฉื่อยทางความร้อน (thermal inertia, $k\rho c$) ของวัสดุได้ ค่าความเฉื่อยทางความร้อนเป็นคุณสมบัติปรากฏของวัตถุ (apparent property) โดยมีค่าเท่ากับผลคูณของความหนาแน่น (ρ) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (c) วัสดุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนต่ำจะมีอัตราการนำความร้อนผ่านเนื้อวัสดุช้ากว่าวัสดุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนสูงส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุด้านที่ฟลักซ์ความร้อนตกกระทบบมีค่าสูง อาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าวัสดุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนสูงจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนทางความร้อนมากกว่าวัสดุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนต่ำ ASTM 1321 แนะนำวิธีการหาค่า $k\rho c$ จากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการจุดติดไฟของวัตถุและฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบบวัตถุ ได้จากสมการที่ (7) นำมาเขียนซ้ำอีกครั้งด้านล่างได้

$$k\rho c = \frac{4}{\pi} \left(\frac{h}{b} \right)^2 \quad (7)$$

โดย b คือค่าความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างรากที่สองของเวลาการจุดติดไฟ $\sqrt{t_{ig}}$ กับ อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ความร้อนวิกฤติสำหรับการจุดติดไฟต่อฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบวัตถุ $\dot{q}_{crit}'' / \dot{q}_i''$ ภาพที่ 29 แสดงกราฟระหว่าง $\dot{q}_{crit}'' / \dot{q}_i''$ และ $\sqrt{t_{ig}}$ ของแผ่น PMMA หนา 3 mm ส่วนค่า h สามารถหาได้จากสมการที่ (8)



ภาพที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}_{crit}'' / \dot{q}_i''$ ของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm

จากภาพที่ 29 สามารถคำนวณหาความชัน b ได้เท่ากับ 0.042 แทนค่า b กลับลงไป ในสมการที่ (7) และค่า $h = 38.76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ สามารถคำนวณค่าความเฉื่อยทางความร้อนของแผ่น PMMA ความหนา 3 mm ได้เป็นตามสมการที่ (12)

$$k\rho c = \frac{4}{\pi} \left(\frac{38.76 \times 10^{-3}}{0.042} \right)^2 \quad (12)$$

ดังนั้นค่าความเฉื่อยทางความร้อนของแผ่น PMMA หนา 3 mm เท่ากับ $1.054 \text{ (kW/m}^2 \cdot \text{K)}^2 \cdot \text{s}$ ค่าความเฉื่อยทางความร้อนของชิ้นทดสอบสรุปไว้ในตารางที่ 3 ในส่วนของกราฟระหว่าง $\dot{q}_{crit}'' / \dot{q}_i''$ และ $\sqrt{t_{ig}}$ ของชิ้นทดสอบทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก จ

จากภาพที่ 29 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าฟลักซ์ความร้อนมีค่าเข้าใกล้ค่าอนันต์ ($\dot{q}''_i \rightarrow \infty$) จะทำให้เวลาการจุดติดไฟมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ($t_{ig} \rightarrow 0$) ซึ่ง $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ จะมีค่าเข้าใกล้ 0 และ $\sqrt{t_{ig}}$ จะมีค่าเข้าใกล้ 0 ทำให้กราฟต้องผ่านจุด (0,0) เสมอ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติการจุดติดไฟของชิ้นทดสอบ

วัสดุ	ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต kW/m^2	h_c ($W/m^2 K$)	h ($W/m^2 K$)	อุณหภูมิจุดติดไฟ (K)	$k\rho c$ ($kW/m^2 K^4$)
PMMA 3 mm	10.0	19.11	38.76	559.0	1.0540
ABS 3 mm	15.0	20.44	45.95	627.0	0.9570
Acrylic 5 mm	10.0	19.11	38.76	559.0	1.6164
PVC 1.6 mm	30.0	22.87	64.17	769.0	0.3313
HIPS 2 mm	20.0	21.43	52.44	682.0	0.5471
Polycarbonate 4 mm	40.0	23.90	74.8	836.0	0.3857
EVA 15 mm	20.0	21.43	52.44	682.0	0.5777
PE 1 mm	20.0	21.43	52.44	682.0	3.0289
Plan Board 5 mm	15.0	20.44	45.95	627.0	0.3319
Nylon 5 mm	15.0	20.44	45.95	627.0	0.4097
Polypropylene 5 mm	15.0	20.44	45.95	627.0	0.8573
Vinyl 0.5 mm	20.0	21.43	52.44	682.0	0.0866
PE Foam 10 mm	20.0	21.43	52.44	682.0	0.2392

คุณสมบัติการจุดติดไฟแบบ piloted ประกอบด้วย ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟและอุณหภูมิจุดติดไฟ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 สามารถใช้ในการจัดอันดับความอันตรายด้านอักษิภัยของวัสดุได้ วัสดุที่มีฟลักซ์ความร้อนวิกฤตและอุณหภูมิจุดติดไฟต่ำ จะมีอันตรายด้านอักษิภัยสูงกว่าวัสดุที่มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตและอุณหภูมิจุดติดไฟสูง เนื่องจากเมื่อฟลักซ์ความร้อนวิกฤตและอุณหภูมิจุดติดไฟต่ำ วัสดุจะสามารถจุดติดไฟได้ง่ายกว่าและเมื่อจุดติดไฟแล้วเพลิง

จะสามารถถูกลามไปได้อย่างรวดเร็ว จากเกณฑ์ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตและอุณหภูมิจุดติดไฟ สามารถสรุปได้ว่าอันตรายด้านอัคคีภัยของผลิตภัณฑ์จากพลาสติกทั้ง 13 ชนิดเรียงลำดับจากอันตรายมากไปสู่อันตรายน้อย เป็นดังนี้ แผ่น PMMA แผ่นอะคริลิก แผ่น ABS แผ่นพลาสติกลูกฟูกพรมไนลอน พรมโพลีโพรพิลีน แผ่น HIPS แผ่นโฟมยาง แผ่น PE แผ่นไวนิล แผ่นโฟม PE แผ่นกระเบื้องยาง และแผ่นโพลีคาร์บอเนต ตามลำดับ

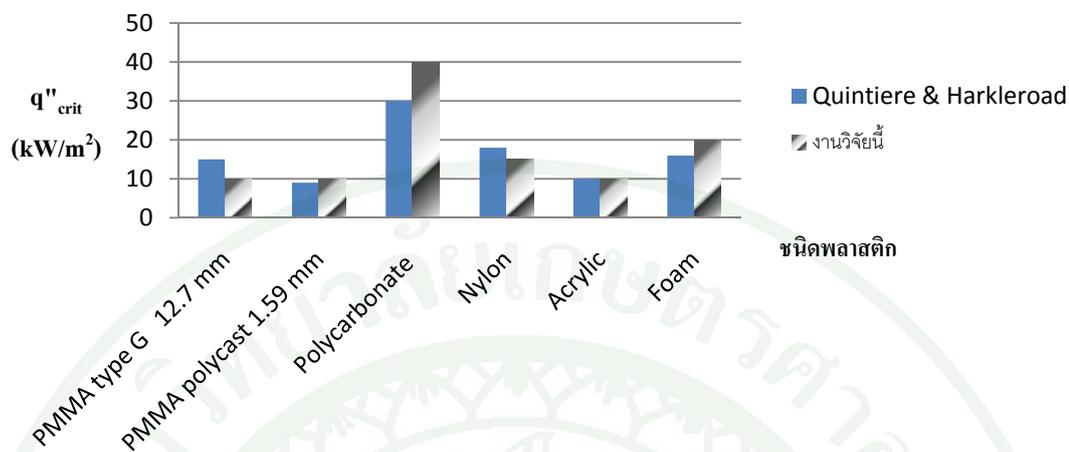
Quintiere และ Harkleroad ได้ทำการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติการจุดติดไฟแบบ piloted ของผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่ใช้ทั่วไปในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยค่าที่ทำการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 และเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้เป็นแผนภูมิแท่งแสดงไว้ในภาพที่ 30 และภาพที่ 31 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากการทดลองนี้ (ตารางที่ 3) มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เสนอโดย Quintiere และ Harkleroad

ตารางที่ 4 คุณสมบัติการจุดติดไฟของวัสดุ

วัสดุ	ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต (kW/m^2)	อุณหภูมิจุดติดไฟ (K)
PMMA type G 12.7 mm	15	651
PMMA polycast 1.59 mm	9	551
Polycarbonate 1.52 mm	30	801
Carpet (nylon/wool blend)	18	685
Carpet (acrylic)	10	573
Foam, flexible 25.4 mm	16	663

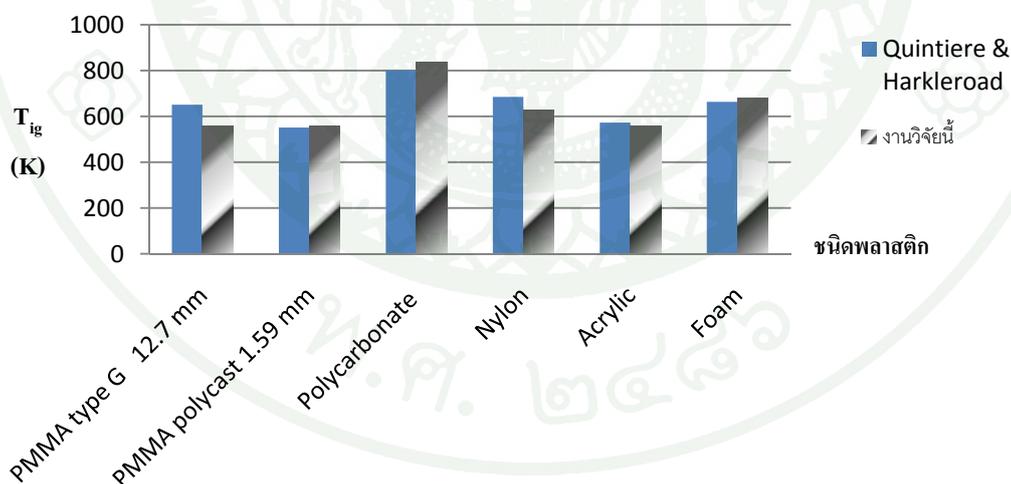
ที่มา: Quintiere and Harkleroad (1984)

เปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ



ภาพที่ 30 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติของ Quintiere & Harkleroad กับงานวิจัยนี้

เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดติดไฟ



ภาพที่ 31 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิจุดติดไฟของ Quintiere & Harkleroad กับงานวิจัยนี้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาดังกล่าวการจลนศาสตร์การจุดติดไฟแบบ piloted และวิธีการหาคุณสมบัติการจุดติดไฟแบบ piloted ซึ่งประกอบด้วย พลังความร้อนวิกฤติสำหรับการจุดติดไฟ อุณหภูมิจุดติดไฟ และความเฉื่อยทางความร้อน โดยใช้ เครื่อง cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM 1354 วัสดุที่ใช้เป็นชิ้นทดสอบเป็นผลิตภัณฑ์จากพลาสติก 13 ชนิดประกอบด้วย แผ่น PMMA (Polymethylmethacrylate) หนา 3 mm แผ่น ABS (Acrylonitrile-butadiene-styrene) หนา 3 mm แผ่นอะคริลิก (Acrylic) หนา 5 mm แผ่นกระเบื้องยาง (PVC Floor Tiles) หนา 1.6 mm แผ่น HIPS (High impact polystyrene) หนา 2 mm แผ่นโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) หนา 4 mm แผ่นโฟมยาง (EVA Foam Sheet) หนา 15 mm แผ่น PE (Polyethylene) หนา 1 mm พลาสติกลูกฟูก (Plan Board) หนา 5 mm พรหมไนลอน (Nylon) หนา 5 mm พรหมโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) หนา 5 mm แผ่นไวนิล (Vinyl) หนา 0.5mm และแผ่นโฟม PE (Polyethylene Foam) หนา 10 mm

จากการทดลองพบว่าความอันตรายด้านอัคคีภัย เรียงจากความอันตรายจากมากไปน้อยโดยถือจากเกณฑ์พลังความร้อนวิกฤติและอุณหภูมิจุดติดไฟของชิ้นทดสอบ เป็นดังนี้ แผ่น PMMA แผ่นอะคริลิก แผ่น ABS แผ่นพลาสติกลูกฟูก พรหมไนลอน พรหมโพลีโพรพิลีน แผ่น HIPS แผ่นโฟมยาง แผ่น PE แผ่นไวนิล แผ่นโฟม PE แผ่นกระเบื้องยาง และแผ่นโพลีคาร์บอเนต ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted และการเผาไหม้ของกลุ่มพลาสติก ซึ่งเป็นเพียงบางส่วนของที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน และใช้ในการตกแต่งอาคาร หากมีการทำการศึกษาให้มีครอบคลุมไปยังวัสดุชนิดต่างๆ ก็จะเป็นผลดีกับผู้บริโภคในการเลือกใช้วัสดุสำหรับตกแต่งอาคารได้ทราบ เพื่อหลีกเลี่ยงการนำวัสดุที่ติดไฟได้ง่ายและเป็นอันตรายทางด้านอัคคีภัย

งานวิจัยที่สามารถทำเพิ่มเติมได้เช่น การศึกษาพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted ของวัสดุสังเคราะห์ เพื่อให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2551. **สรุปสถานการณ์สาธารณภัยของประเทศไทยประจำปี**

2551. แหล่งที่มา: http://61.19.54.151/public/group4/disaster01/data20y/fire20y_2.pdf,

25 มกราคม 2553

ศิริเวทย์ และ ณัฐศักดิ์. 2553. การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ Piloted และการเผาไหม้ของไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรถพร และ ณัฐศักดิ์. 2551. การศึกษาเชิงทดลองการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ใน Cone Calorimeter. ใน **วิศวกรรมสาร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ASTM E 1354-04a. 2004. **Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter.** American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM E 1321. 1997. **Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties.** American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA.

Babrauskas, V. and W. J.Parker. 1987. Ignitability Measurement with the Cone Calorimeter. **Fire And Materials**, 11:31-43.

Boonmee,N. and J.G. Quintiere. 2002. Glowing and flaming autoignition of wood. **Proceedings of the Combustion Institute.** 29 (1): 289-296.

_____. 2005. Glowing Ignition of Wood: The Onset of Surface Combustion. **Thirtieth Symposium (International) on Combustion.** 30:2303-2310.

Boonmee,N. and J.G. Quintiere. 2006. A Theoretical Investigation of Surface Glowing Ignition Leading to Gas Flaming Ignition. **Fire Safety Science Proceedings of the Eighth International Symposium.** 8:139-150.

Delichatsios, M.,B. Parozb and A. Bhargava. 2003. Flammability properties for charring materials. **Fire Safety Journal.** 38(3): 219-228.

Gratkowskia, M.T., N.A. Dembseyb and C.L. Beyler. 2006. Radiant smoldering ignition of plywood. **Fire Safety Journal.** 41(6): 427-443.

Quintiere, J.G. 2006. **Fundamentals of Fire Phenomena: Chapter 7, Ignition of Solids.** John Wiley & Sons. Chichester, England.

_____ and M. Harkleroad. 1984. **New Concepts for Measuring Flame Spread Properties.** National Bureau of Standards.

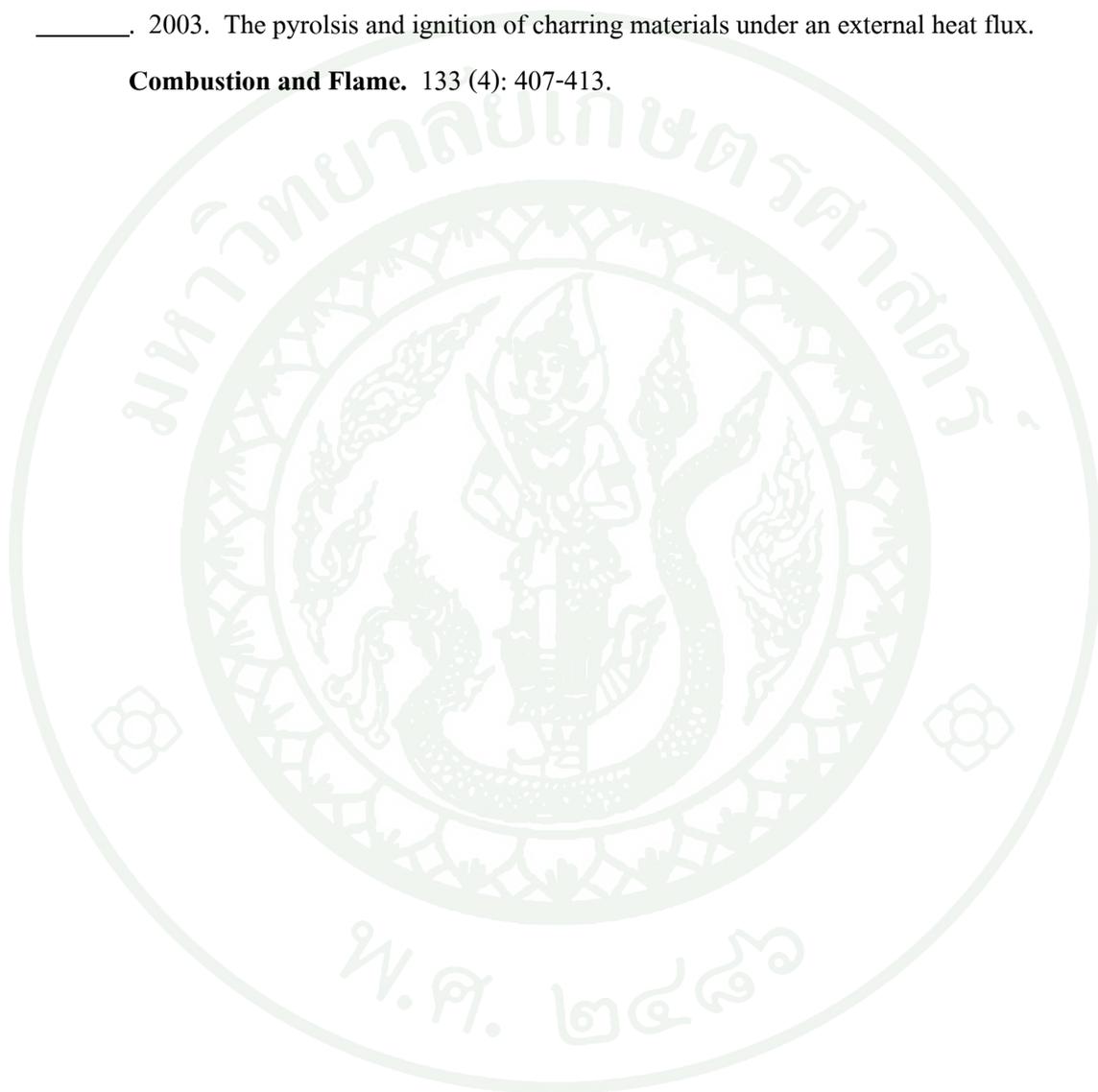
Rhodes, B.T. and J.G. Quintiere. 1996. Burning rate and flame heat flux for PMMA in a cone calorimeter. **Fire Safety Journal.** 26 (3): 221-240.

Spearpoint, M.J. and J.G. Quintiere. 2000. Predicting the burning of wood using an integral model. **Combustion and Flame.** 123 (3): 308-325.

_____. 2001. Predicting the piloted ignition of wood in the cone calorimeter usind an integral model-effect of species, grain orientation and heat flux. **Fire Safety Journal.** 36: 391-415.

Staggs, J.E.J. 2009. Convection heat transfer in the cone calorimeter. **Fire Safety Journal.** 44: 469-474.

- Yang Lizhong, Chen Xiaojun, Zhou Xiaodong and Fan Weicheng. 2002. A modified model of pyrolysis for charring materials in fire. **International of Engineering Science.** 40 (9): 1011-1021.
- _____. 2003. The pyrolysis and ignition of charring materials under an external heat flux. **Combustion and Flame.** 133 (4): 407-413.





ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ ก1 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ PMMA ขนาด ความหนา 3 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ เวลาจุดติดไฟ	burning flux สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
PMMA 50-1	33.78	50.0	26	1.50	38.90
PMMA 50-2	33.78	50.0	29	1.43	38.38
PMMA 50-3	33.26	50.0	30	3.14	39.04
PMMA 40-1	33.24	40.0	45	1.93	42.03
PMMA 40-2	33.38	40.0	44	0.67	36.36
PMMA 40-3	34.52	40.0	42	0.38	37.09
PMMA 30-1	34.76	30.0	65	1.10	32.70
PMMA 30-2	34.41	30.0	65	1.26	30.58
PMMA 30-3	34.55	30.0	64	0.60	33.60
PMMA 20-1	34.51	20.0	121	-0.57	21.39
PMMA 20-2	34.66	20.0	134	1.44	22.75
PMMA 20-3	33.92	20.0	125	0.73	26.00
PMMA 15-1	34.31	15.0	222	1.40	22.68
PMMA 15-2	34.10	15.0	224	0.41	21.66
PMMA 15-3	34.43	15.0	214	0.79	21.39
PMMA 12-1	34.25	12.0	346	-0.20	21.45
PMMA 12-2	34.40	12.0	376	0.32	23.03
PMMA 12-3	34.56	12.0	333	0.20	20.23
PMMA 10-1	32.95	10.0	560	-0.27	18.74
PMMA 10-2	33.50	10.0	627	0.37	18.61
PMMA 10-3	33.47	10.0	590	-0.06	19.16
PMMA 8-1	33.89	8.0	ไม่ติดไฟ	-	-
PMMA 8-2	34.64	8.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ ABS ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการจุด ติดไฟ	burning flux เมื่อ เวลาจุดติดไฟ	burning flux สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
ABS 50-1	31.22	50.0	35	2.22	32.32
ABS 50-2	31.82	50.0	30	1.07	33.07
ABS 50-3	31.43	50.0	29	1.39	30.43
ABS 40-1	31.28	40.0	46	0.78	27.02
ABS 40-2	31.64	40.0	44	-0.56	28.08
ABS 40-3	31.57	40.0	43	1.18	27.05
ABS 30-1	31.71	30.0	72	2.21	24.34
ABS 30-2	31.54	30.0	78	0.65	24.37
ABS 30-3	31.41	30.0	78	2.08	27.64
ABS 20-1	30.63	20.0	208	0.92	18.48
ABS 20-2	30.45	20.0	184	1.24	19.21
ABS 15-1	34.31	15.0	405	13.53	18.36
ABS 15-2	34.10	15.0	344	0.15	20.66
ABS 12-1	34.25	12.0	ไม่ติดไฟ	-	-
ABS 12-2	34.40	12.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ Acrylic ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	พลังค์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ เวลาจุดติดไฟ	burning flux สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
Acrylic 50-1	59.67	50.0	22	0.30	30.78
Acrylic 50-2	54.74	50.0	22	0.40	43.15
Acrylic 40-1	56.86	40.0	36	1.63	36.30
Acrylic 40-2	58.42	40.0	35	3.22	37.59
Acrylic 30-1	54.95	30.0	64	0.90	32.31
Acrylic 30-2	55.49	30.0	62	2.12	30.74
Acrylic 20-1	53.39	20.0	139	0.70	25.74
Acrylic 20-2	58.39	20.0	148	3.39	27.02
Acrylic 15-1	53.69	15.0	250	0.79	22.69
Acrylic 15-2	55.00	15.0	268	-0.25	22.00
Acrylic 12-1	57.68	12.0	481	0.41	20.77
Acrylic 12-2	58.11	12.0	537	1.05	21.99
Acrylic 10-1	56.41	10.0	783	1.71	20.03
Acrylic 10-2	57.10	10.0	1413	0.63	19.31
Acrylic 8-1	59.04	8.0	ไม่ติดไฟ	-	-
Acrylic 8-2	57.98	8.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ PVC Floor ขนาดความหนา 1.6 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
PVC 50-1	32.76	50.0	15	2.43	16.40
PVC 50-2	32.66	50.0	19	2.26	15.17
PVC 40-1	31.67	40.0	48	8.34	9.86
PVC 40-2	32.00	40.0	54	9.93	10.52
PVC 30-1	32.66	30.0	58	5.85	10.58
PVC 30-2	32.79	30.0	43	0.74	11.16
PVC 20-1	31.96	20.0	ไม่ติดไฟ	-	-
PVC 20-2	32.86	20.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ HIPS ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร

ชิ้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
HIPS 50-1	19.85	50.0	32	2.06	31.36
HIPS 50-2	19.84	50.0	33	0.97	34.49
HIPS 50-3	19.74	50.0	35	2.07	30.86
HIPS 40-1	20.23	40.0	43	1.31	30.96
HIPS 40-2	20.00	40.0	45	0.64	27.34
HIPS 40-3	21.20	40.0	47	0.82	29.97
HIPS 30-1	20.33	30.0	57	1.39	23.64
HIPS 30-2	20.62	30.0	58	1.46	23.60
HIPS 20-1	19.89	20.0	130	0.34	20.63
HIPS 20-2	20.44	20.0	145	0.74	19.56
HIPS 15-1	20.69	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-
HIPS 15-2	19.89	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ 6 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ Polycarbonate ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
Poly 50-1	8.86	50.0	37	4.03	28.73
Poly 50-2	8.45	50.0	28	0.73	30.77
Poly 40-1	8.59	40.0	52	2.42	28.41
Poly 40-2	8.62	40.0	60	1.99	29.67
Poly 30-1	8.55	30.0	ไม่ติดไฟ	-	-
Poly 30-2	8.62	30.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ EVA ขนาดความหนา 15 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนักเริ่มต้น	ฟลักซ์ความร้อน	เวลาในการจุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
EVA 50-1	23.73	50.0	2	2.10	10.82
EVA 50-2	23.33	50.0	1	0.46	10.88
EVA 40-1	22.51	40.0	2	6.82	12.75
EVA 40-2	22.31	40.0	3	5.50	9.50
EVA 30-1	22.19	30.0	11	1.42	7.35
EVA 30-2	22.71	30.0	9	2.00	8.27
EVA 20-1	24.23	20.0	292	0.82	9.66
EVA 20-2	21.67	20.0	135	1.88	6.20
EVA 15-1	23.00	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-
EVA 15-2	23.78	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก8 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ PE ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
PE 50-1	11.12	50.0	16	1.77	27.20
PE 50-2	11.32	50.0	16	1.79	35.77
PE 40-1	10.99	40.0	31	1.07	22.23
PE 40-2	11.35	40.0	27	0.49	31.72
PE 30-1	11.55	30.0	89	0.28	23.66
PE 30-2	11.00	30.0	46	0.55	27.58
PE 20-1	10.98	20.0	1134	-0.68	9.92
PE 20-2	10.72	20.0	1222	0.17	10.41
PE 15-1	10.82	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-
PE 15-2	11.39	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ Plan Board ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
PB 50-1	8.46	50.0	4	1.81	31.15
PB 50-2	8.91	50.0	3	6.15	27.11
PB 40-1	7.81	40.0	7	0.54	24.21
PB 40-2	7.91	40.0	7	1.50	26.26
PB 30-1	7.89	30.0	15	0.50	20.91
PB 30-2	7.81	30.0	14	0.85	18.80
PB 20-1	8.42	20.0	40	0.44	17.24
PB 20-2	8.82	20.0	71	0.76	16.00
PB 15-1	8.62	15.0	192	0.40	12.30
PB 15-2	8.92	15.0	123	-0.02	12.98
PB 12-1	8.36	12.0	ไม่ติดไฟ	-	-
PB 12-2	8.45	12.0	ไม่ติดไฟ	-	-

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Nylon ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร

ชิ้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	พลังค์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
Nylon 50-1	6.53	50.0	11	3.11	17.46
Nylon 50-2	6.54	50.0	10	2.36	19.24
Nylon 50-3	6.62	50.0	13	1.69	18.69
Nylon 40-1	6.16	40.0	19	0.36	16.73
Nylon 40-2	6.37	40.0	16	0.07	15.39
Nylon 40-3	6.47	40.0	21	1.04	15.15
Nylon 30-1	6.68	30.0	30	0.19	13.72
Nylon 30-2	6.43	30.0	30	0.05	12.43
Nylon 30-3	6.80	30.0	40	0.57	14.51
Nylon 20-1	6.44	20.0	79	0.39	24.91
Nylon 20-2	6.50	20.0	72	0.73	11.29
Nylon 20-3	6.30	20.0	76	0.23	10.04
Nylon 15-1	6.15	15.0	162	0.61	8.34
Nylon 15-2	6.13	15.0	185	-0.06	13.53
Nylon 15-3	6.10	15.0	165	0.38	134.84
Nylon 12-1	6.70	12.0			
Nylon 12-2	6.88	12.0			

ตารางผนวกที่ ก11 ผลการทดลองของชิ้นทดสอบ Polypropylene ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร

ชิ้นทดสอบ	น้ำหนักเริ่มต้น	ฟลักซ์ความร้อน	เวลาในการจุดติดไฟ	burning flux เมื่อ	burning flux
				เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
PP 50-1	45.67	50.0	24	3.03	28.69
PP 50-2	45.87	50.0	21	2.02	30.00
PP 40-1	47.55	40.0	48	1.86	27.79
PP 40-2	47.39	40.0	48	0.59	28.97
PP 30-1	48.44	30.0	89	0.87	28.23
PP 30-2	49.81	30.0	89	0.86	26.58
PP 20-1	49.55	20.0	173	1.16	19.33
PP 20-2	47.89	20.0	176	0.96	20.46
PP 15-1	49.21	15.0	307	0.33	16.61
PP 15-2	48.41	15.0	285	0.05	16.72
PP 12-1	48.69	12.0	ไม่ติดไฟ	-	-
PP 12-2	48.62	12.0	ไม่ติดไฟ	-	-

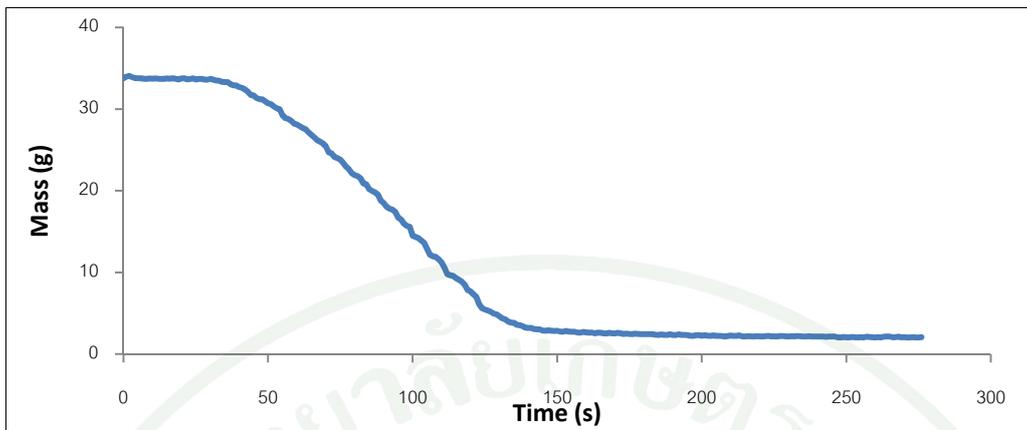
ตารางผนวกที่ ก12 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ Vinyl ขนาดความหนา 0.5 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนัก เริ่มต้น	ฟลักซ์ ความร้อน	เวลาในการ จุดติดไฟ	burning flux	
				เมื่อ เวลาจุดติดไฟ	สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
Vinyl 50-1	4.12	50.0	4	5.85	9.67
Vinyl 50-2	4.65	50.0	4	6.89	9.68
Vinyl 40-1	4.00	40.0	5	0.55	4.74
Vinyl 40-2	4.52	40.0	5	1.83	6.14
Vinyl 30-1	4.12	30.0	11	0.35	5.76
Vinyl 30-2	4.29	30.0	11	0.83	4.21
Vinyl 20-1	4.10	20.0	28	0.99	3.45
Vinyl 20-2	4.21	20.0	23	-0.14	3.55
Vinyl 15-1	4.18	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-
Vinyl 15-2	4.18	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-

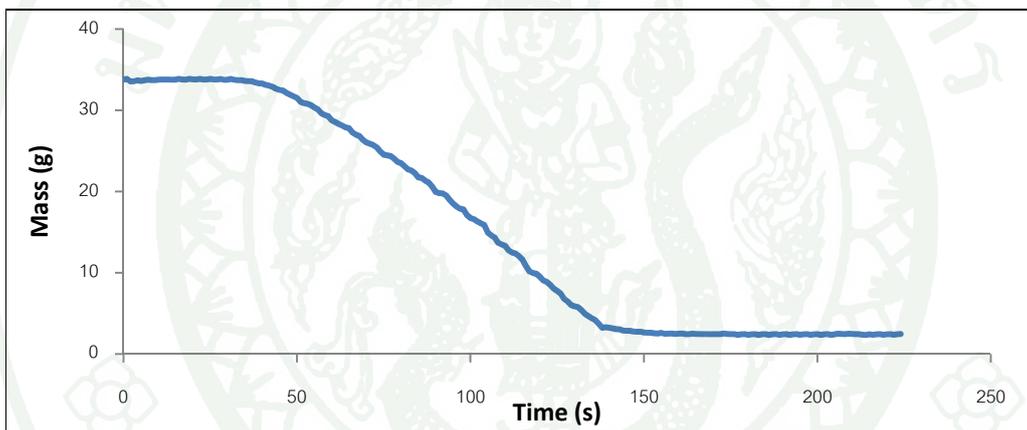
ตารางผนวกที่ ก13 ผลการทดลองของชั้นทดสอบ PE Foam ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร

ชั้นทดสอบ	น้ำหนักเริ่มต้น	ฟลักซ์ความร้อน	เวลาในการจุดติดไฟ	burning flux เมื่อเวลาจุดติดไฟ	burning flux สูงสุด
	(g)	(kW/m ²)	(s)	(g/m ² s)	(g/m ² s)
PE Foam 50-1	4.23	50.0	7	0.62	29.24
PE Foam 50-2	4.12	50.0	15	-0.80	8.25
PE Foam 40-1	4.23	40.0	16	1.08	26.95
PE Foam 40-2	4.19	40.0	15	2.19	14.29
PE Foam 30-1	4.26	30.0	29	0.72	15.31
PE Foam 30-2	4.23	30.0	23	1.06	8.81
PE Foam 20-1	4.23	20.0	72	0.21	12.47
PE Foam 20-2	4.26	20.0	71	1.49	6.15
PE Foam 15-1	4.21	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-
PE Foam 15-2	4.25	15.0	ไม่ติดไฟ	-	-

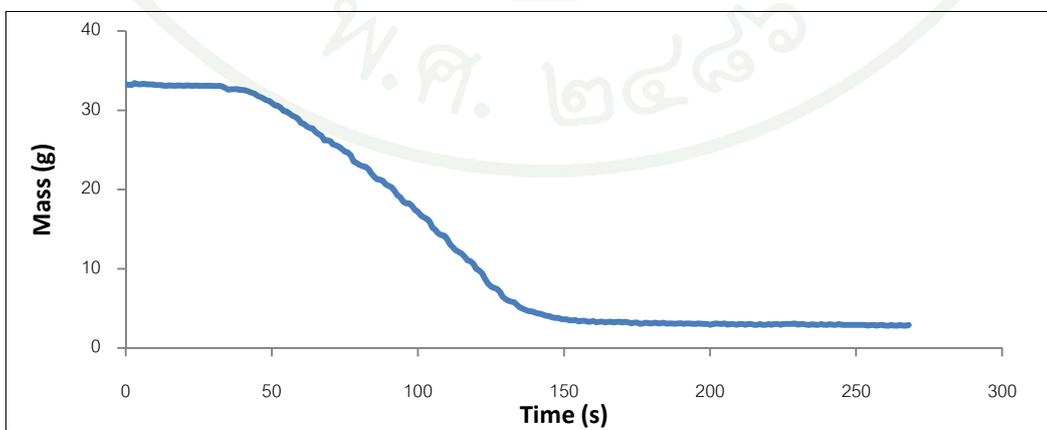




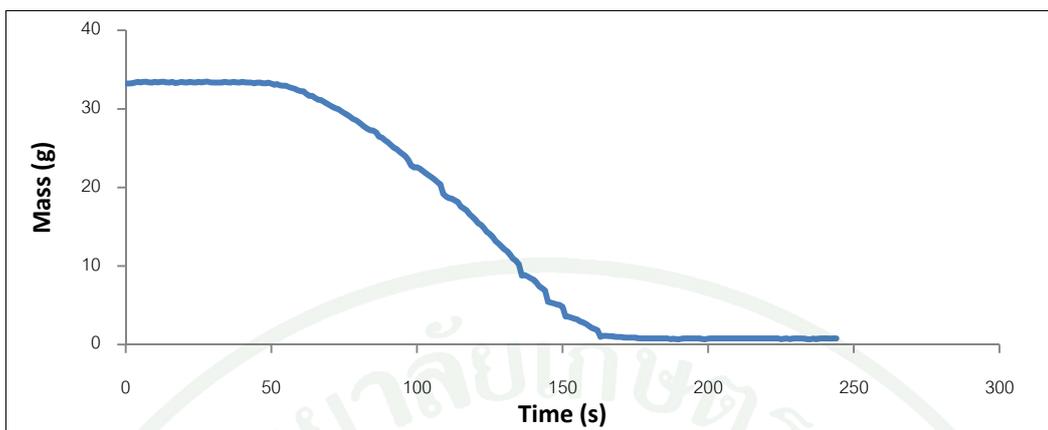
ภาพผนวกที่ ข1 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 50 kW/m^2 (PMMA50-1)



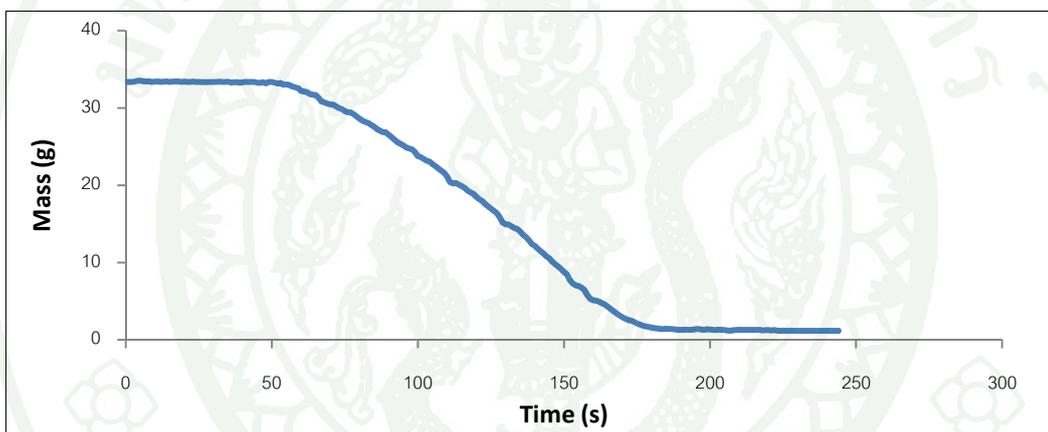
ภาพผนวกที่ ข2 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 50 kW/m^2 (PMMA50-2)



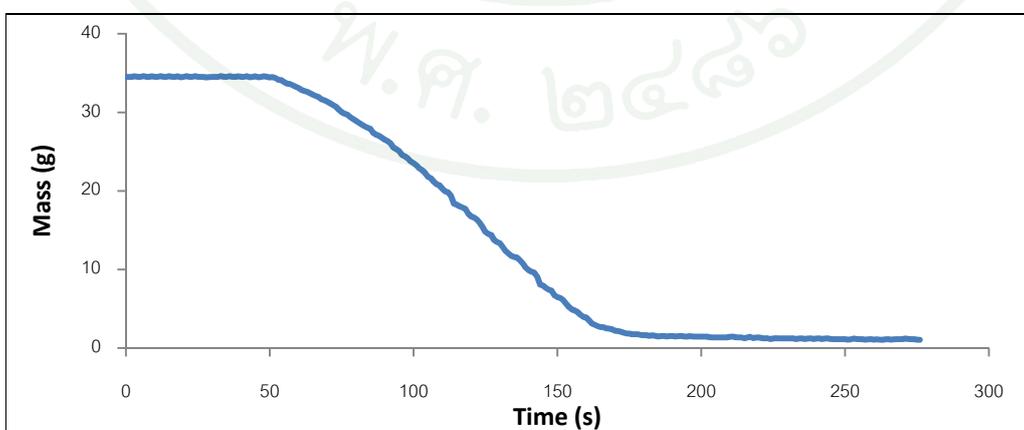
ภาพผนวกที่ ข3 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 50 kW/m^2 (PMMA50-3)



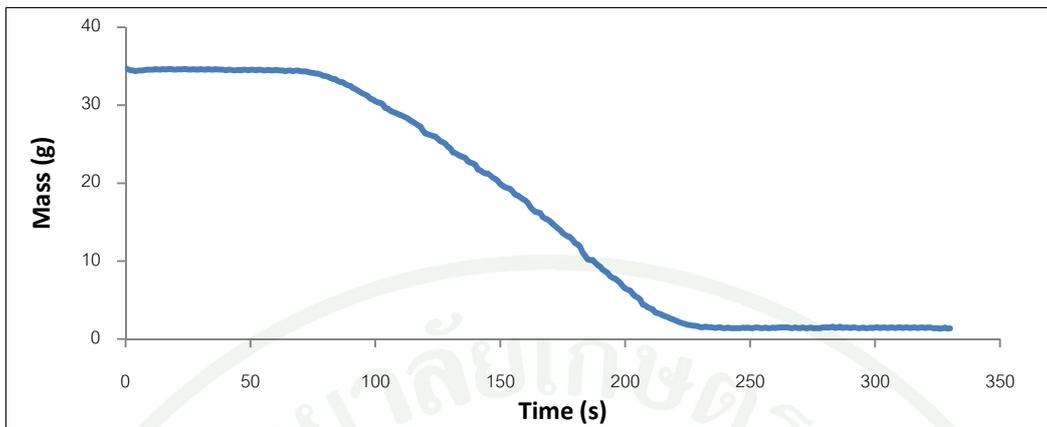
ภาพผนวกที่ ข4 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 40 kW/m^2 (PMMA40-1)



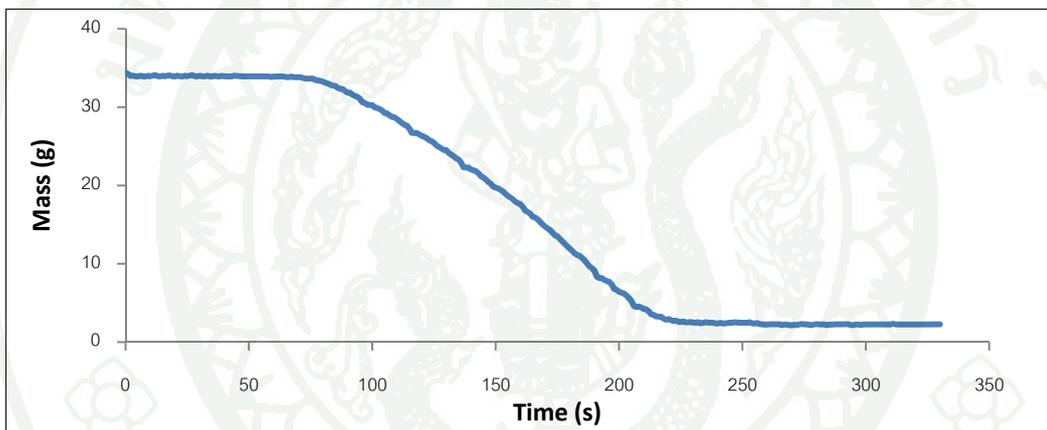
ภาพผนวกที่ ข5 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 40 kW/m^2 (PMMA40-2)



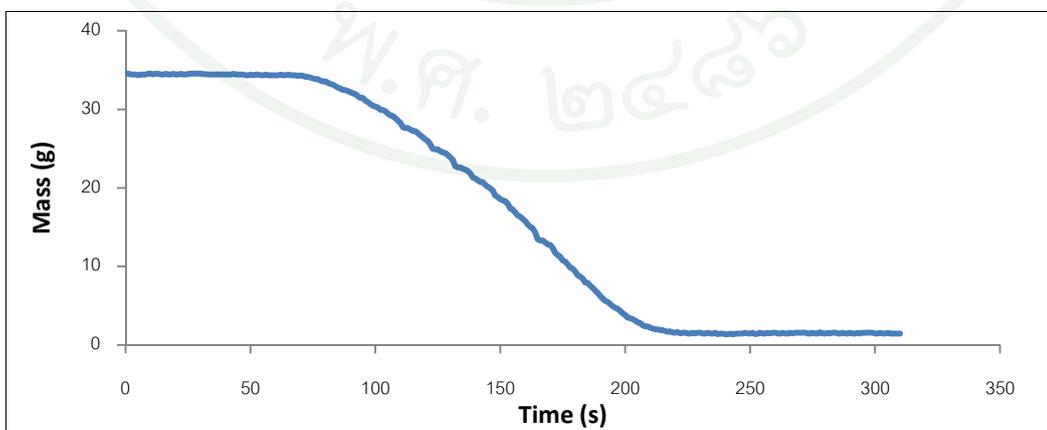
ภาพผนวกที่ ข6 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 40 kW/m^2 (PMMA40-3)



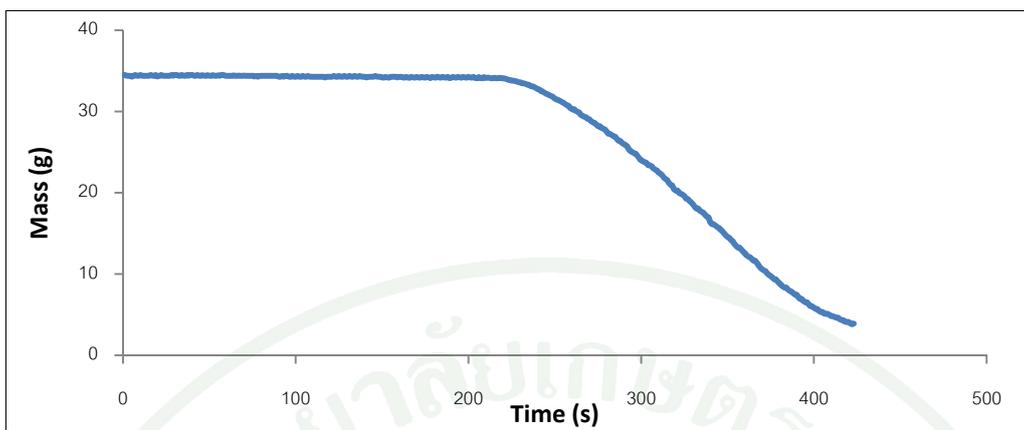
ภาพผนวกที่ ข7 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 30 kW/m^2 (PMMA30-1)



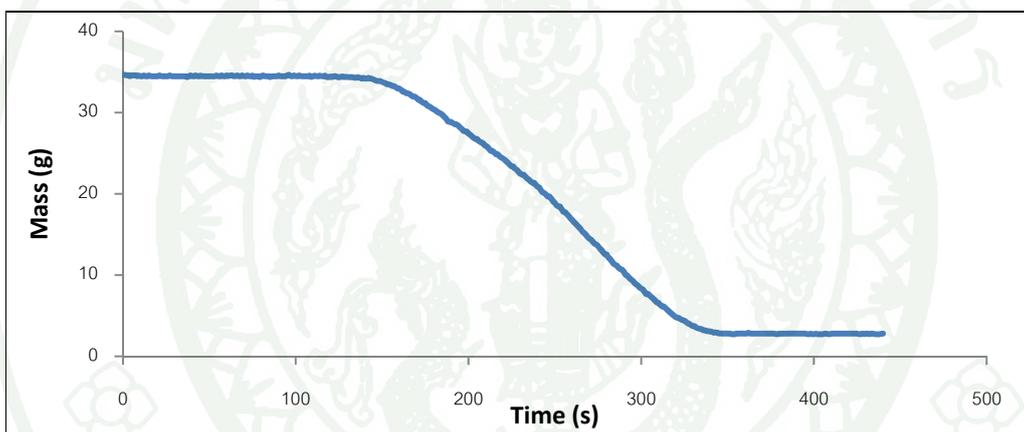
ภาพผนวกที่ ข8 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 30 kW/m^2 (PMMA30-2)



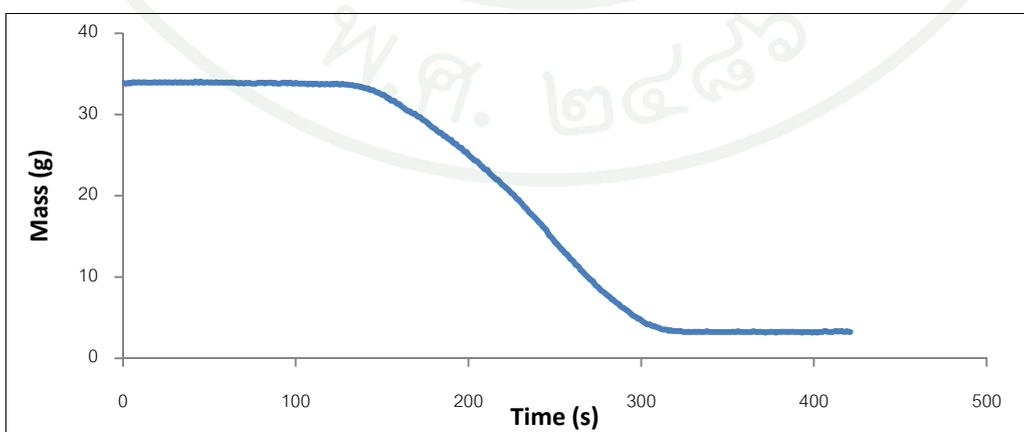
ภาพผนวกที่ ข9 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 30 kW/m^2 (PMMA30-3)



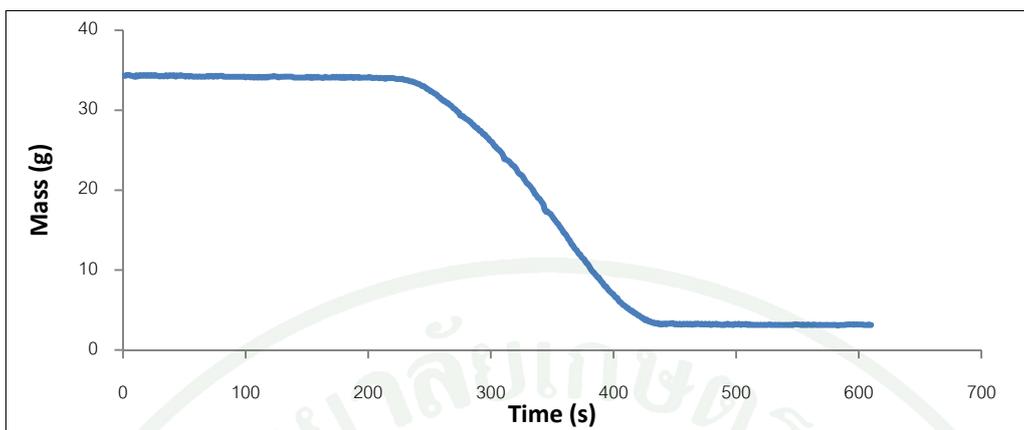
ภาพผนวกที่ ข10 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 20 kW/m^2 (PMMA20-1)



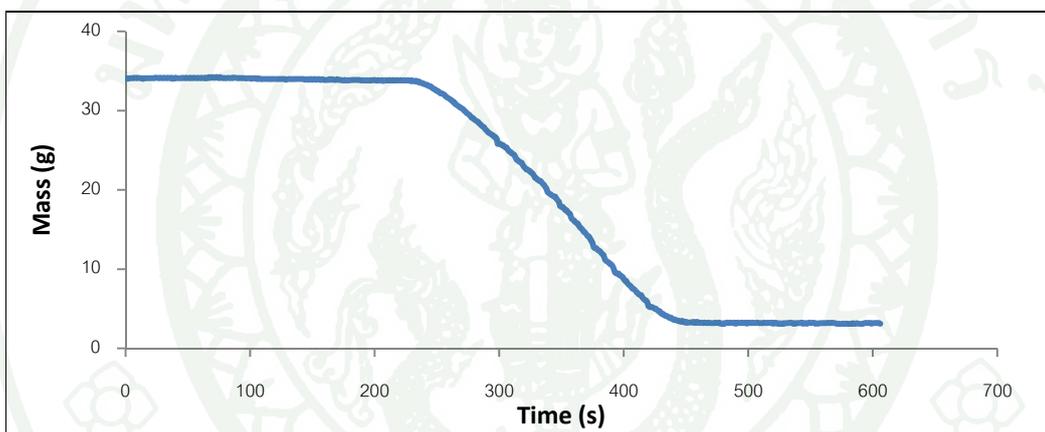
ภาพผนวกที่ ข11 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 20 kW/m^2 (PMMA20-2)



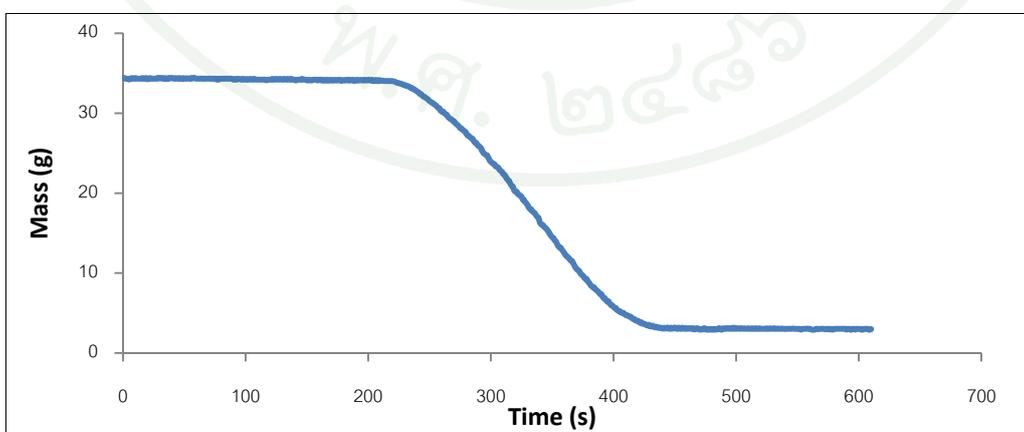
ภาพผนวกที่ ข12 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 20 kW/m^2 (PMMA20-3)



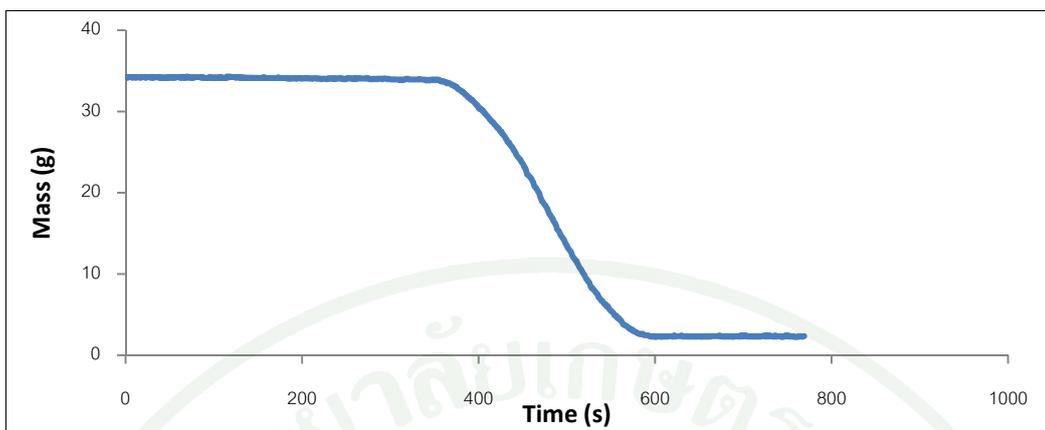
ภาพผนวกที่ ข13 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 15 kW/m^2 (PMMA15-1)



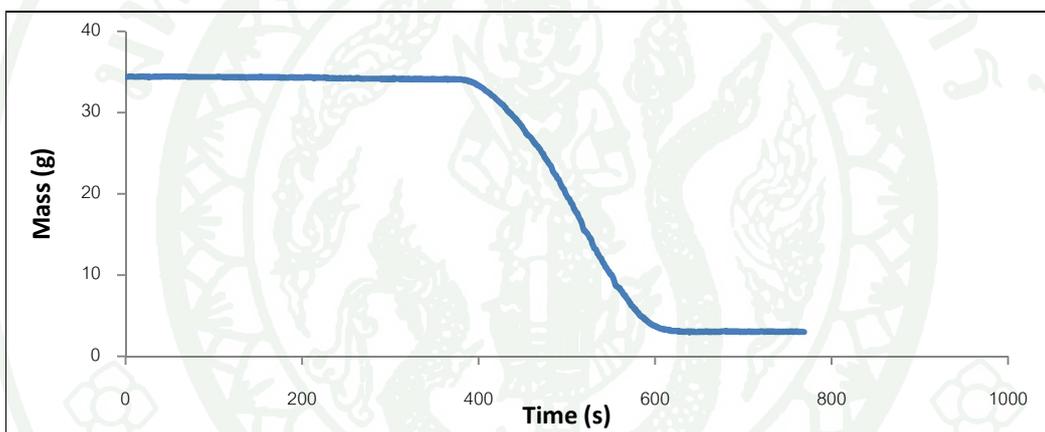
ภาพผนวกที่ ข14 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 15 kW/m^2 (PMMA15-2)



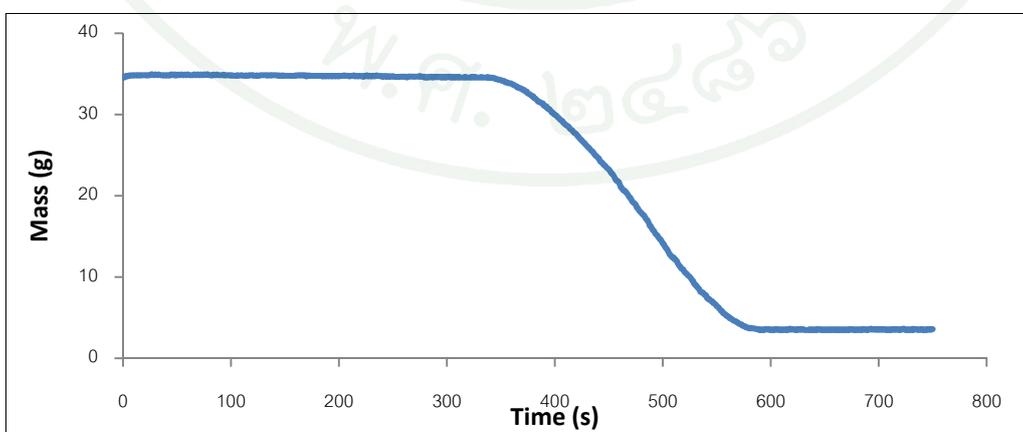
ภาพผนวกที่ ข15 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 15 kW/m^2 (PMMA15-3)



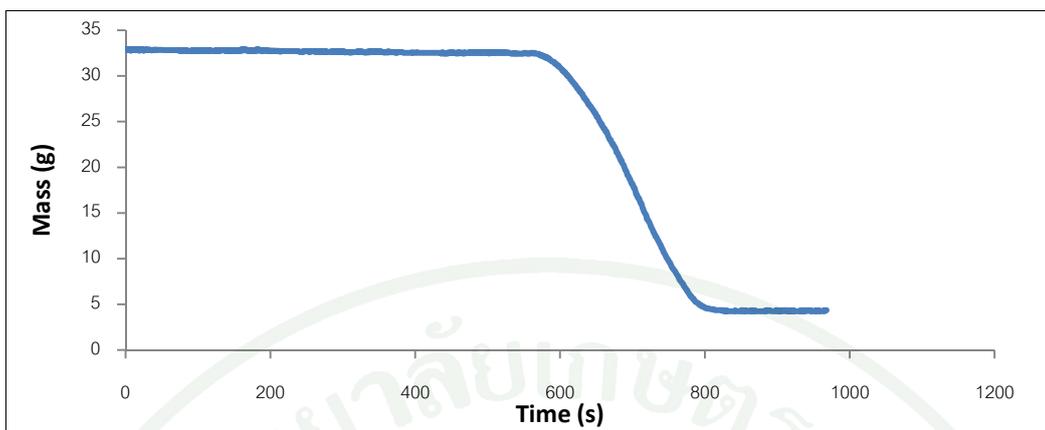
ภาพผนวกที่ ข16 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (PMMA12-1)



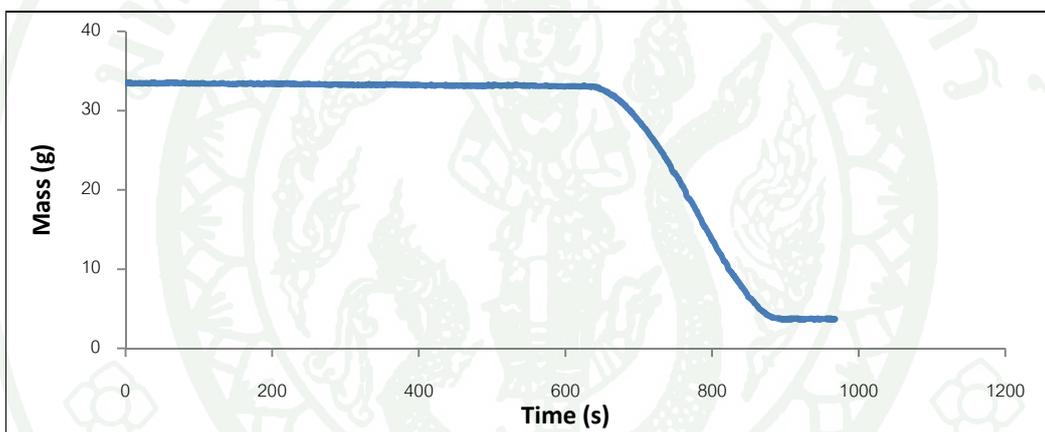
ภาพผนวกที่ ข17 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (PMMA12-2)



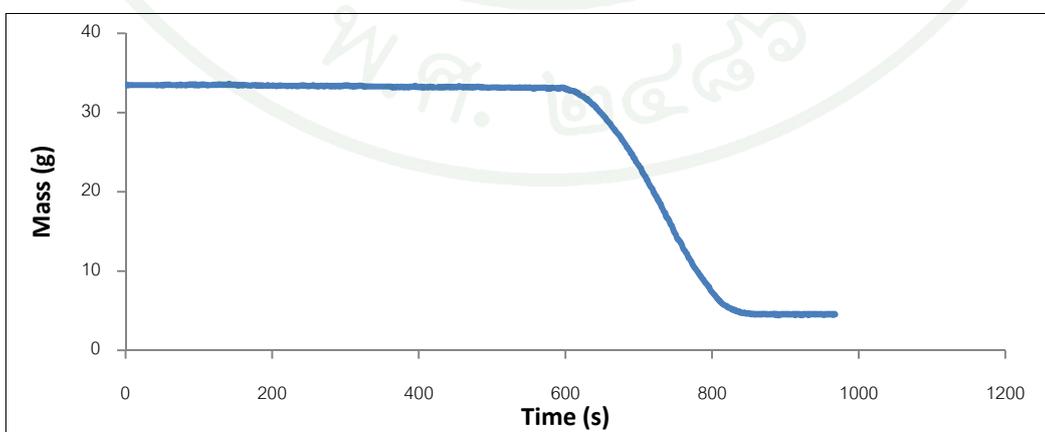
ภาพผนวกที่ ข18 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (PMMA12-3)



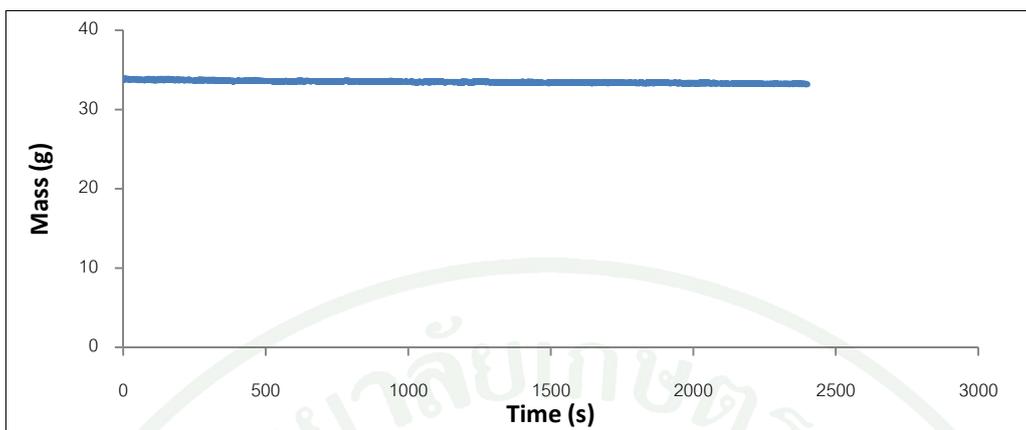
ภาพผนวกที่ ข19 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 10 kW/m^2 (PMMA10-1)



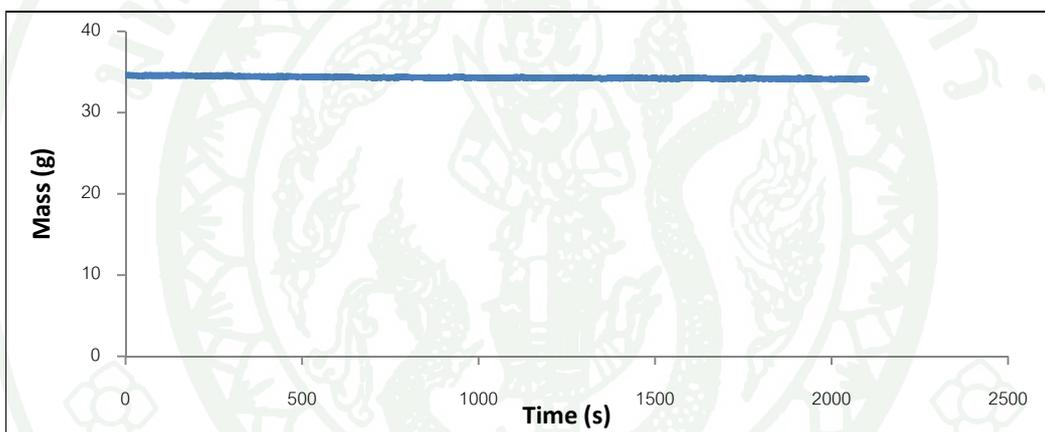
ภาพผนวกที่ ข20 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 10 kW/m^2 (PMMA10-2)



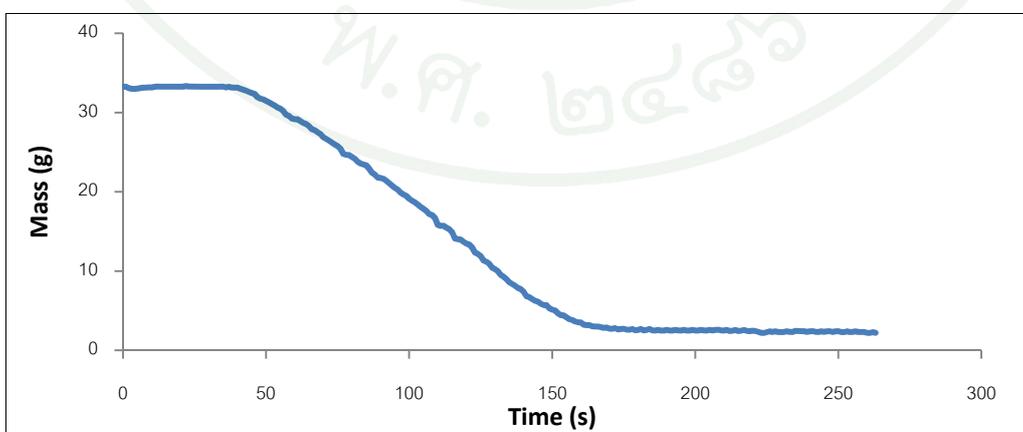
ภาพผนวกที่ ข21 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 10 kW/m^2 (PMMA10-3)



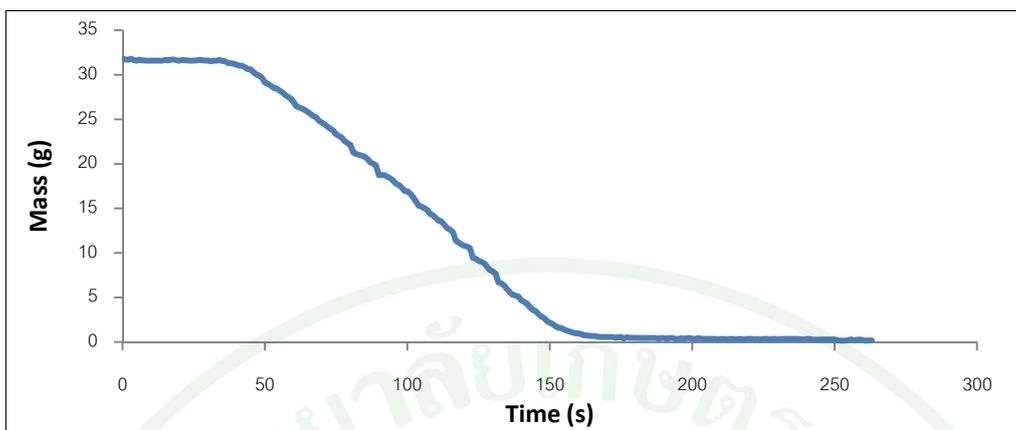
ภาพผนวกที่ ข22 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 8 kW/m^2 (PMMA8-1)



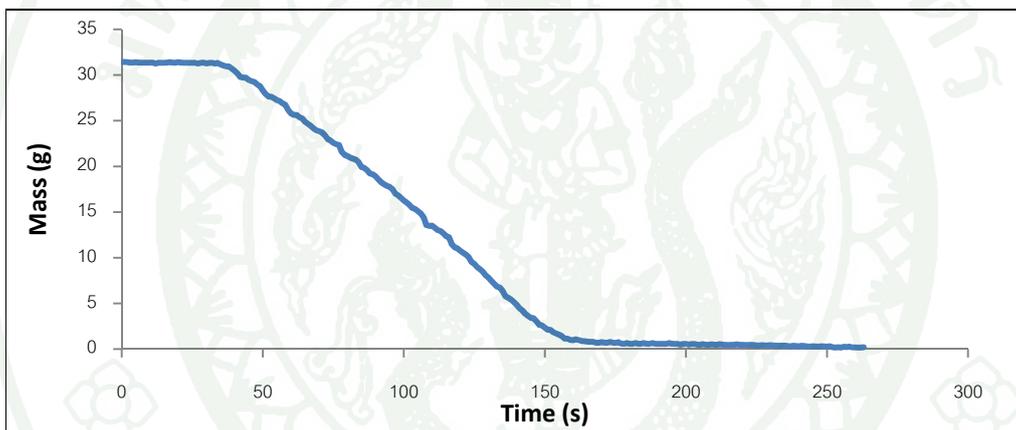
ภาพผนวกที่ ข23 แสดงการสูญเสียมวลของ PMMA หนา 3 mm ที่ 8 kW/m^2 (PMMA8-2)



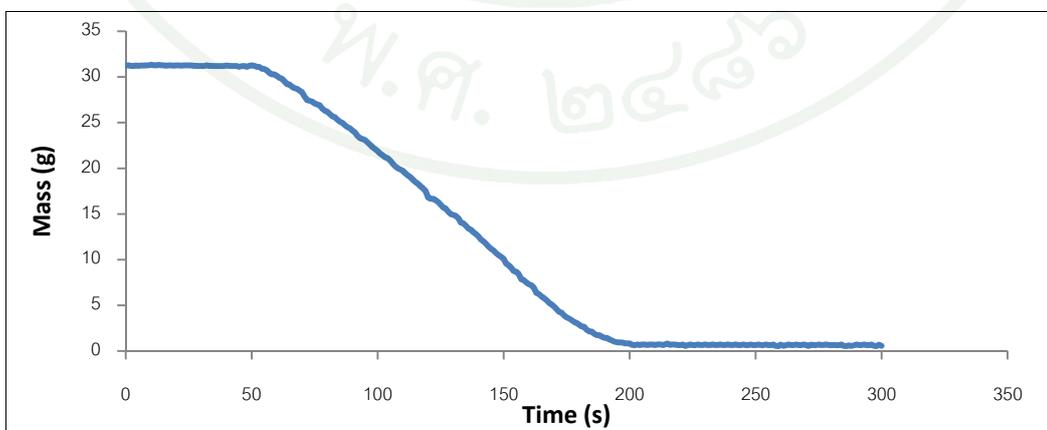
ภาพผนวกที่ ข24 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 50 kW/m^2 (ABS50-1)



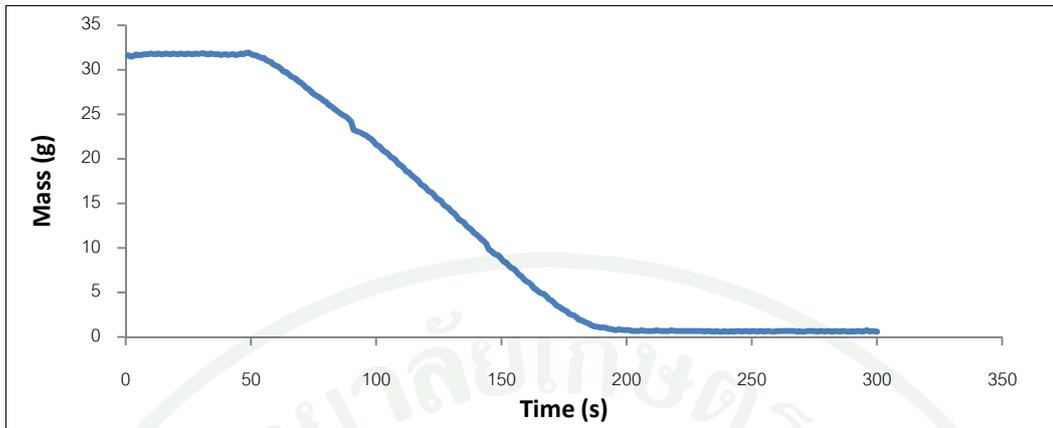
ภาพผนวกที่ ข25 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 50 kW/m^2 (ABS50-2)



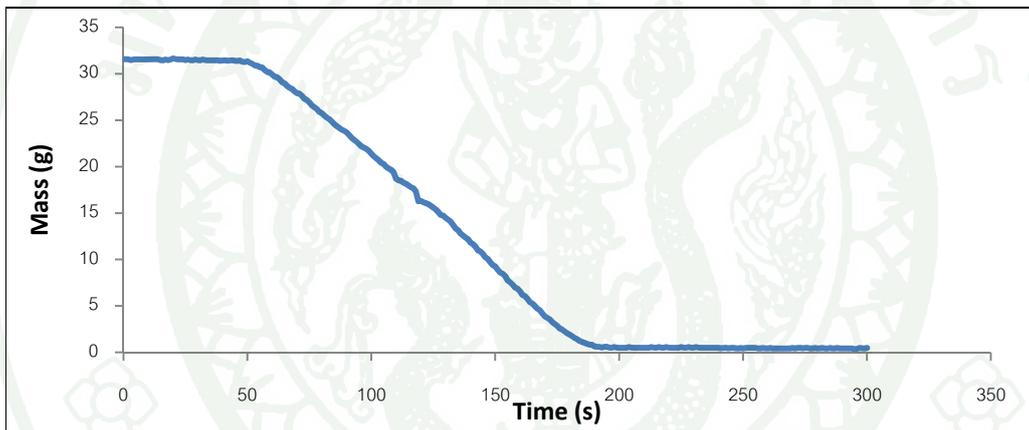
ภาพผนวกที่ ข26 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 50 kW/m^2 (ABS50-3)



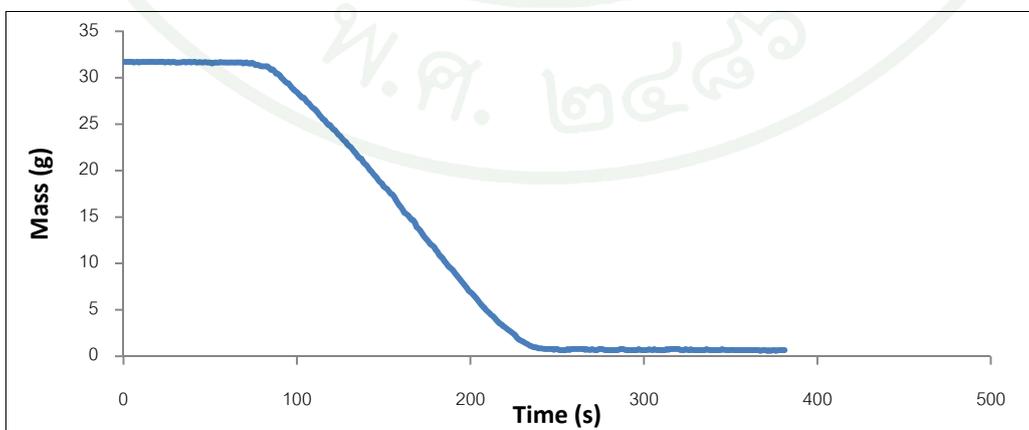
ภาพผนวกที่ ข27 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 40 kW/m^2 (ABS40-1)



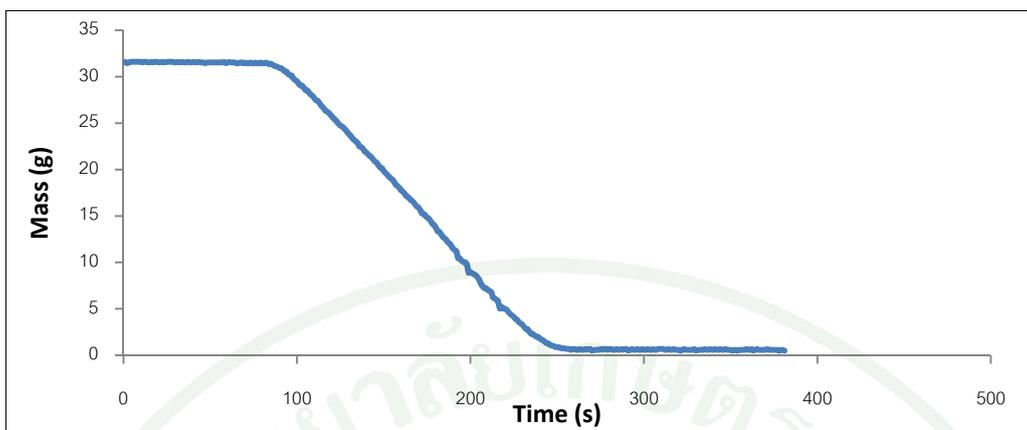
ภาพผนวกที่ ข28 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 40 kW/m^2 (ABS40-2)



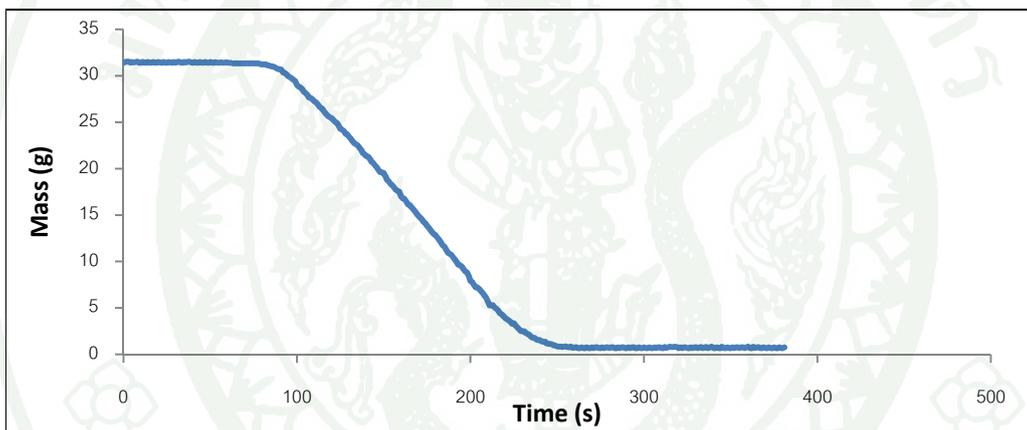
ภาพผนวกที่ ข29 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 40 kW/m^2 (ABS40-3)



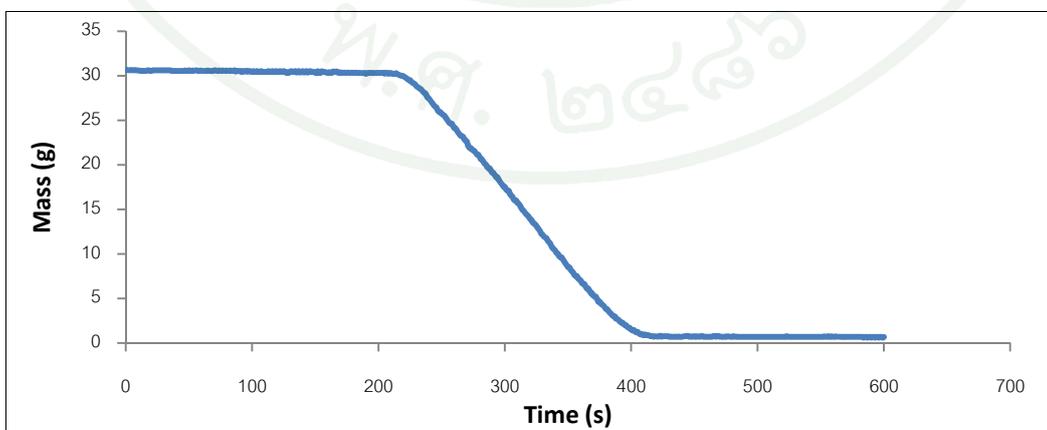
ภาพผนวกที่ ข30 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 30 kW/m^2 (ABS30-1)



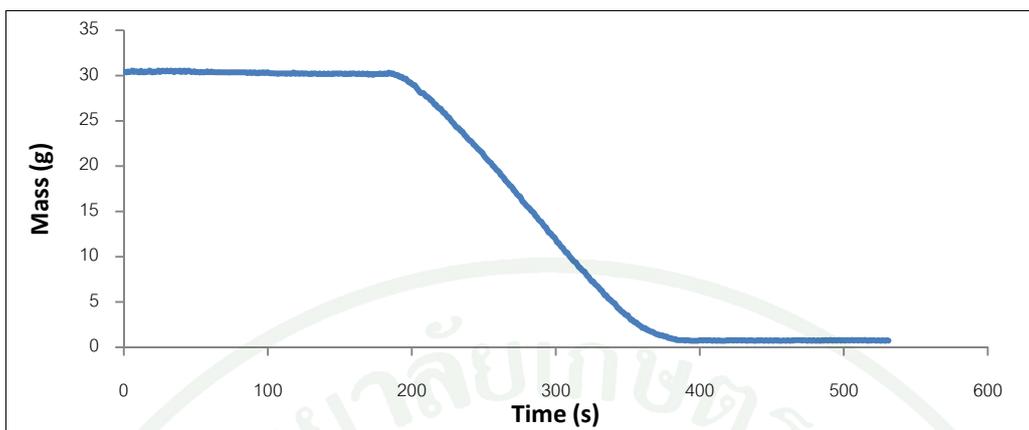
ภาพผนวกที่ ข31 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 30 kW/m^2 (ABS30-2)



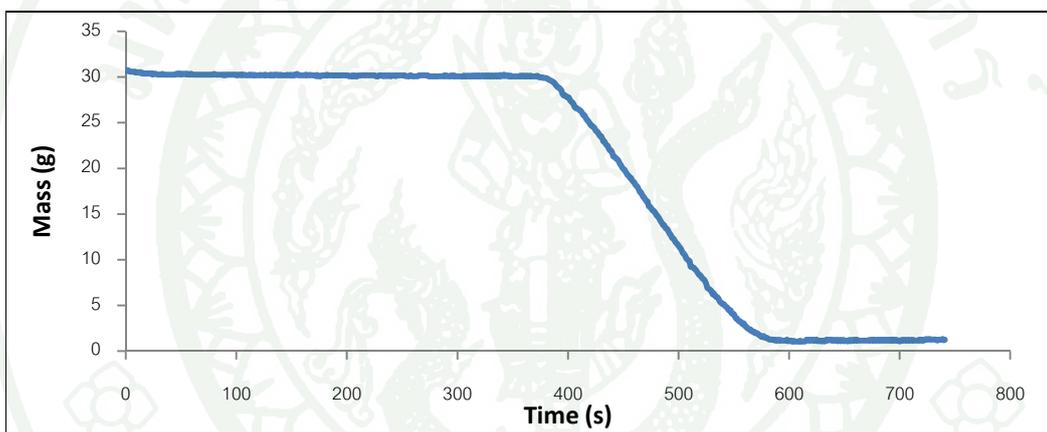
ภาพผนวกที่ ข32 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 30 kW/m^2 (ABS30-3)



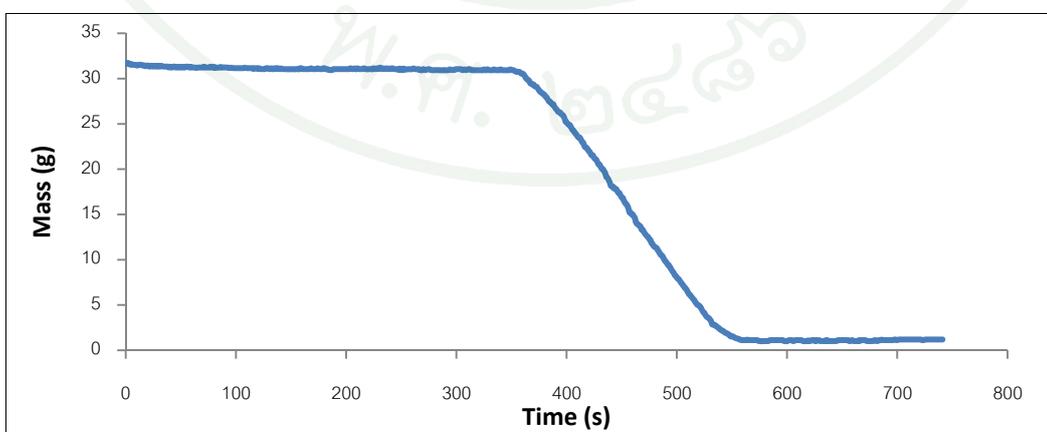
ภาพผนวกที่ ข33 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 20 kW/m^2 (ABS20-1)



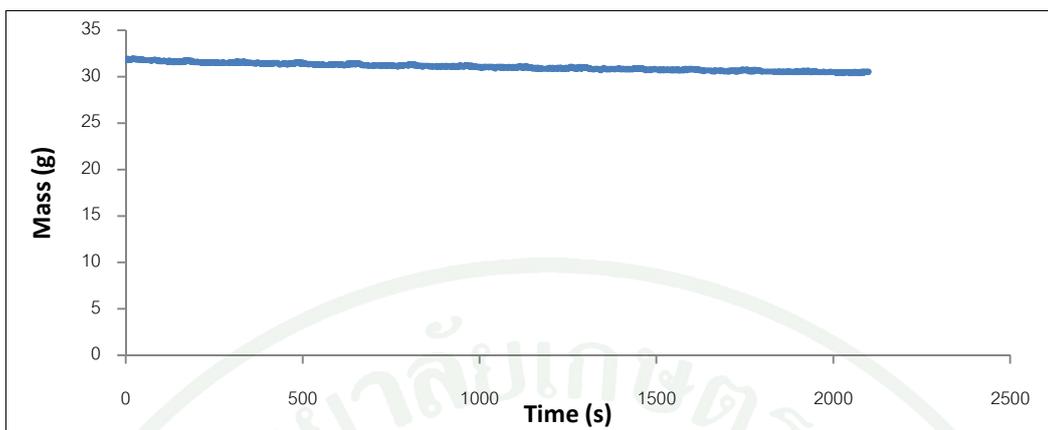
ภาพผนวกที่ ข34 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 20 kW/m^2 (ABS20-2)



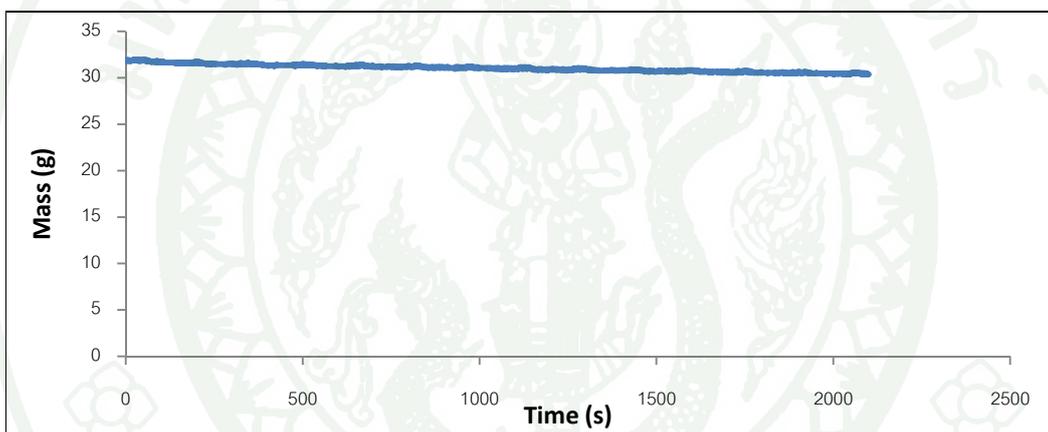
ภาพผนวกที่ ข35 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 15 kW/m^2 (ABS15-1)



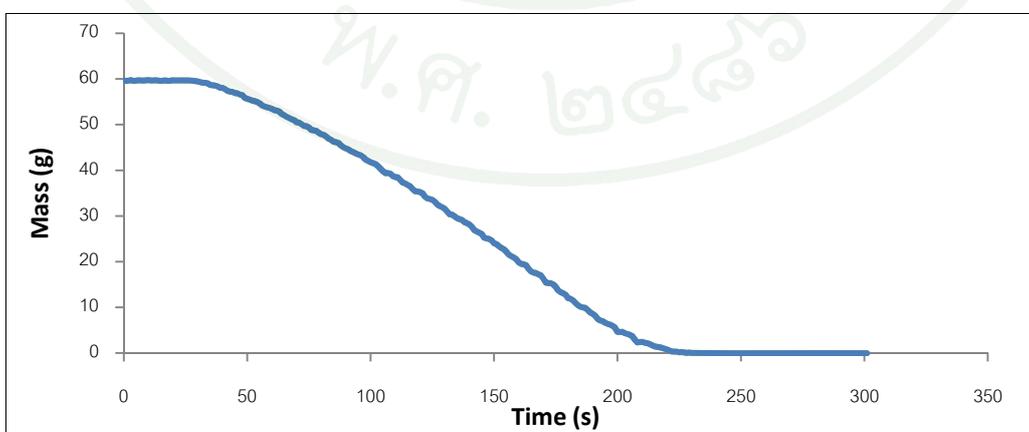
ภาพผนวกที่ ข36 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 15 kW/m^2 (ABS15-2)



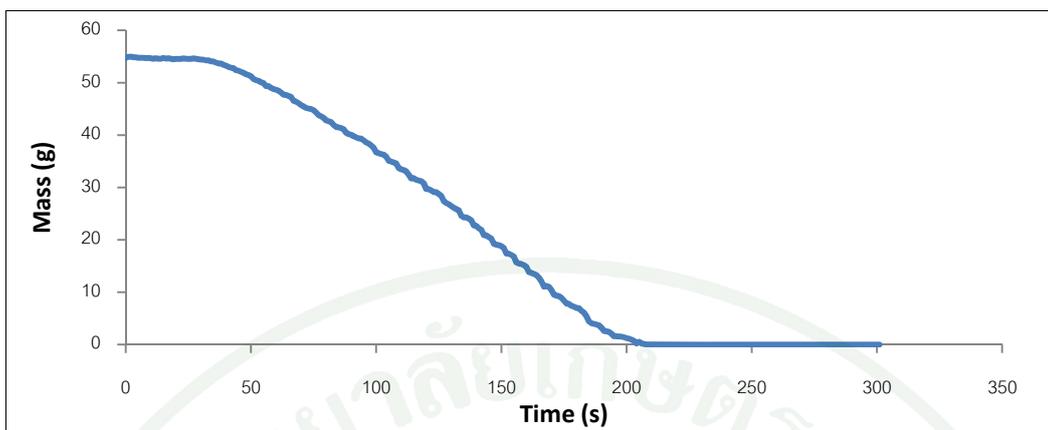
ภาพผนวกที่ ข37 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (ABS12-1)



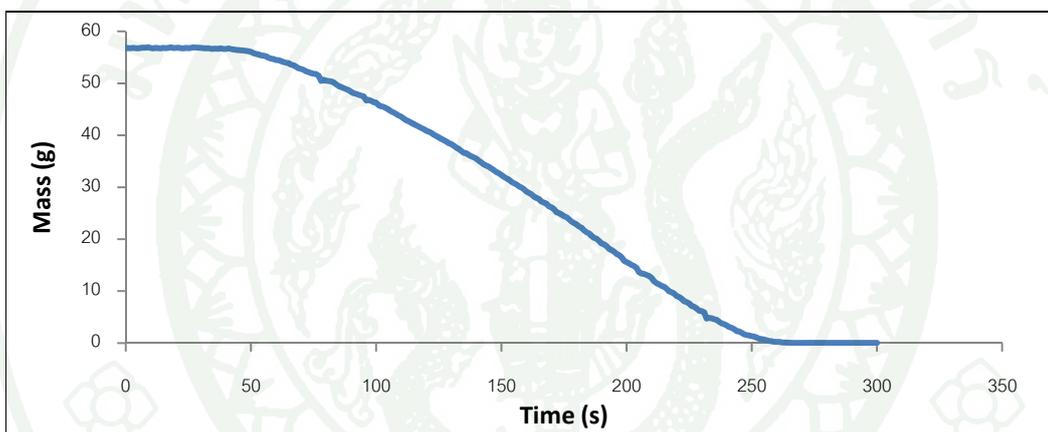
ภาพผนวกที่ ข38 แสดงการสูญเสียมวลของ ABS หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (ABS12-2)



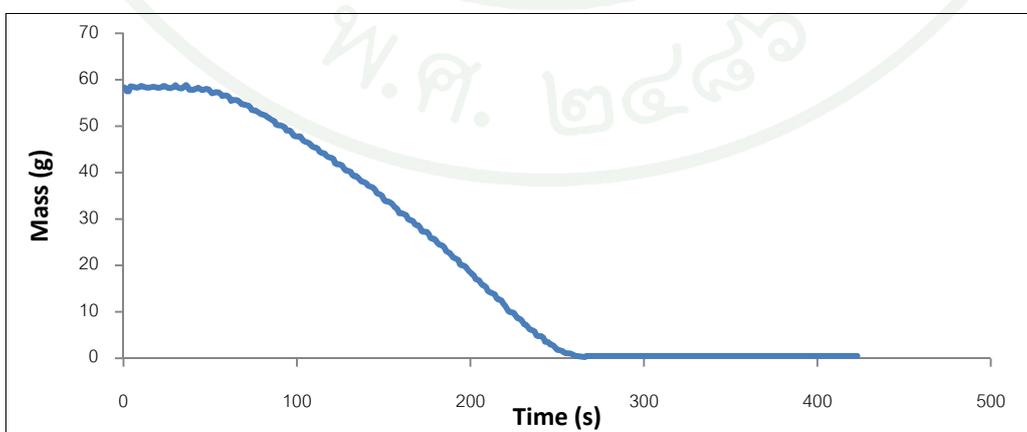
ภาพผนวกที่ ข39 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา 15mm ที่ 50 kW/m^2 (Arcylic 50-1)



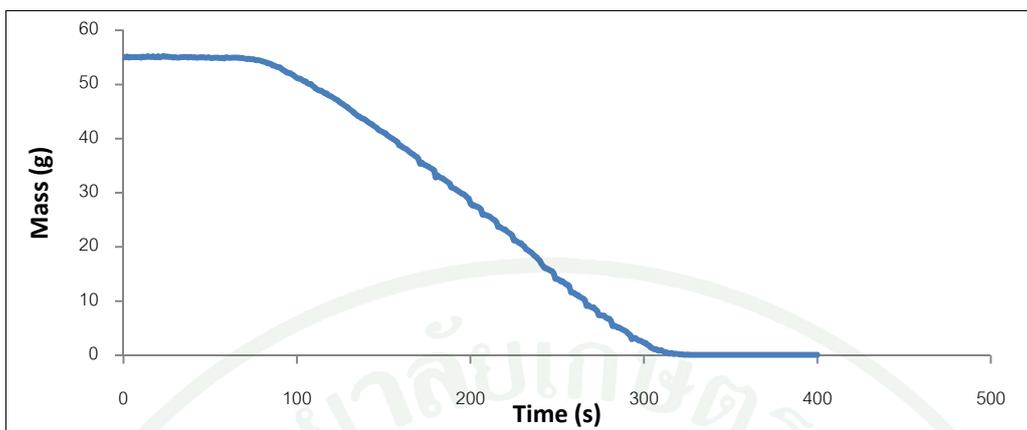
ภาพผนวกที่ ข40 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (Arcylic 50-2)



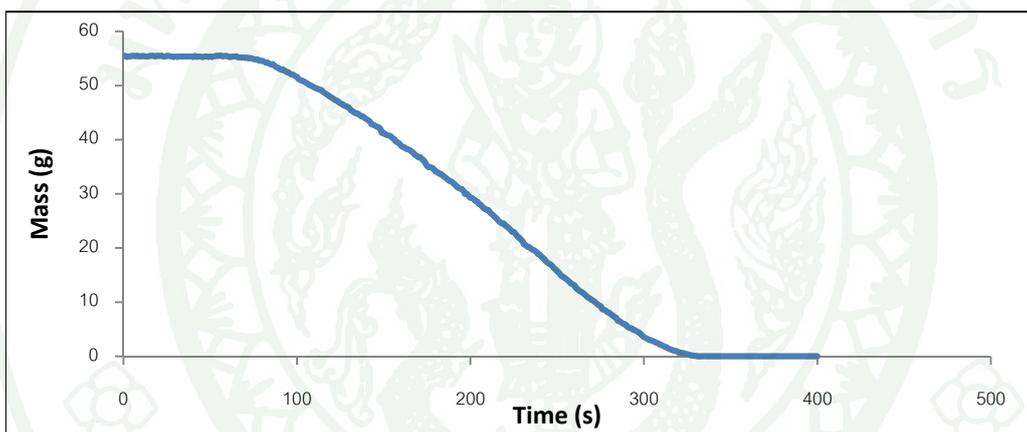
ภาพผนวกที่ ข41 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (Arcylic 40-1)



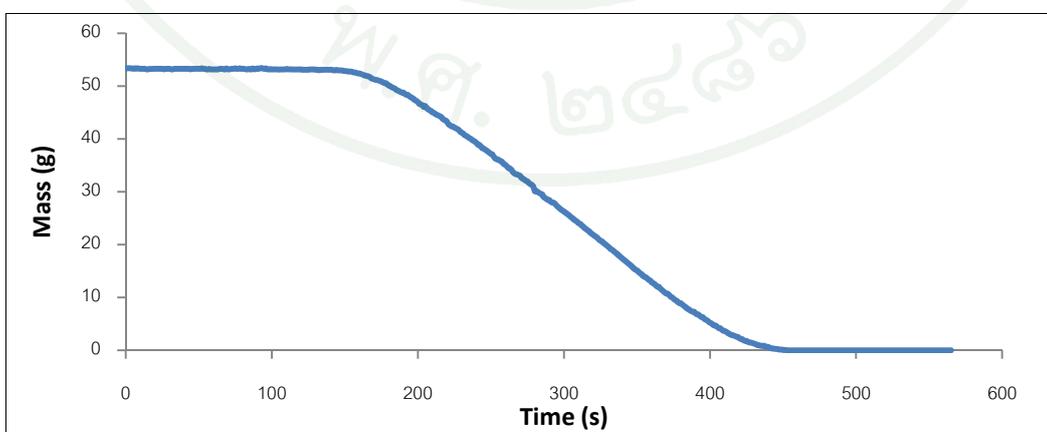
ภาพผนวกที่ ข42 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (Arcylic 40-2)



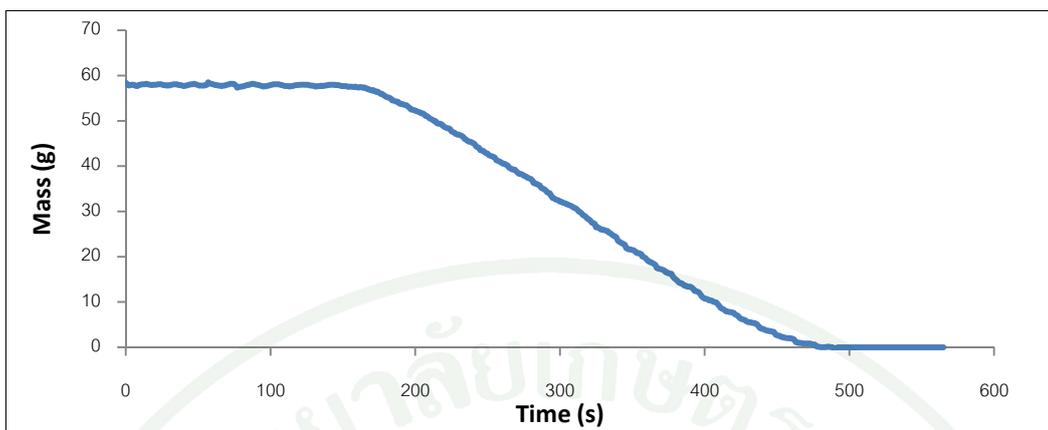
ภาพผนวกที่ ข43 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (Arcylic 30-1)



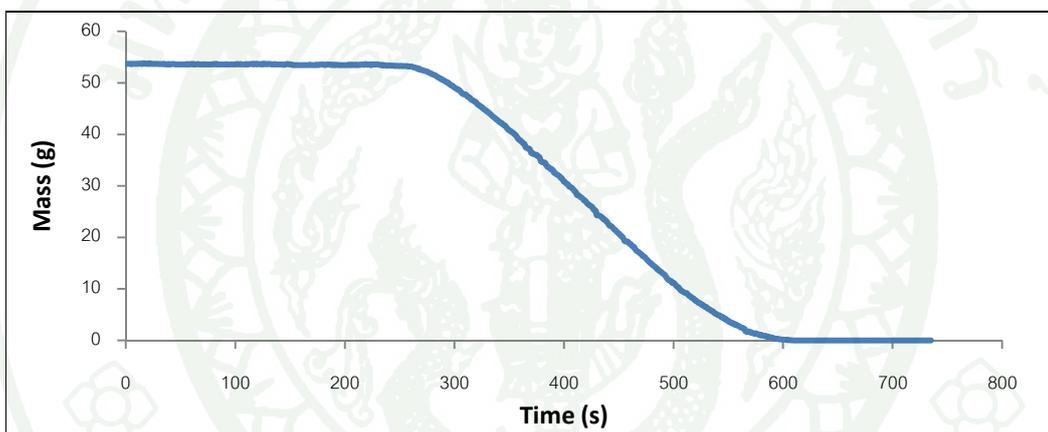
ภาพผนวกที่ ข44 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (Arcylic 30-2)



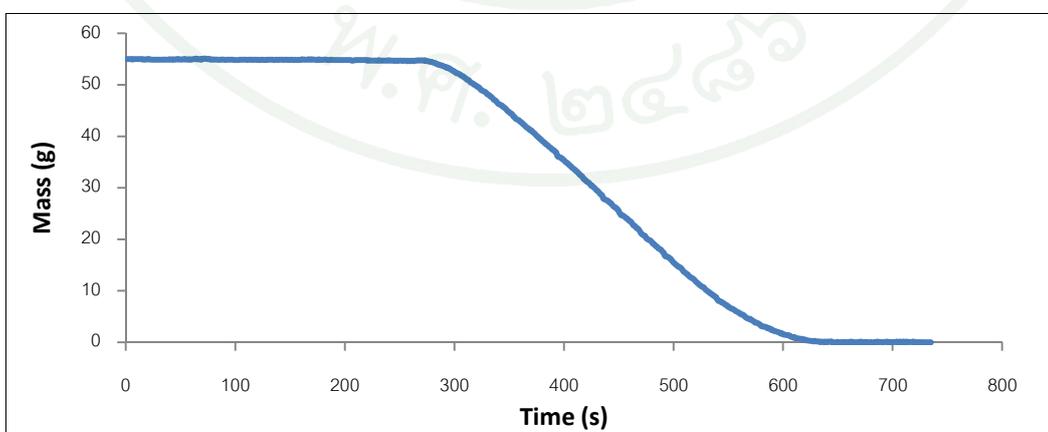
ภาพผนวกที่ ข45 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (Arcylic 20-1)



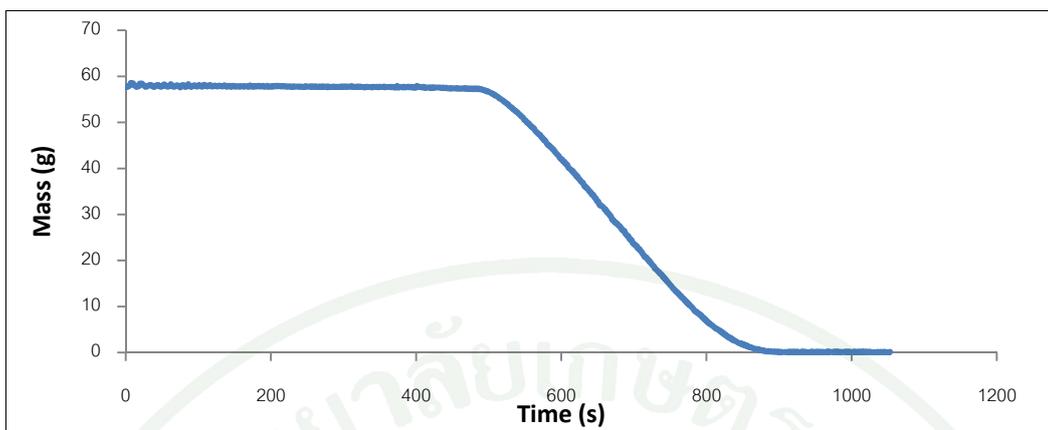
ภาพผนวกที่ ข46 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (Arcylic 20-2)



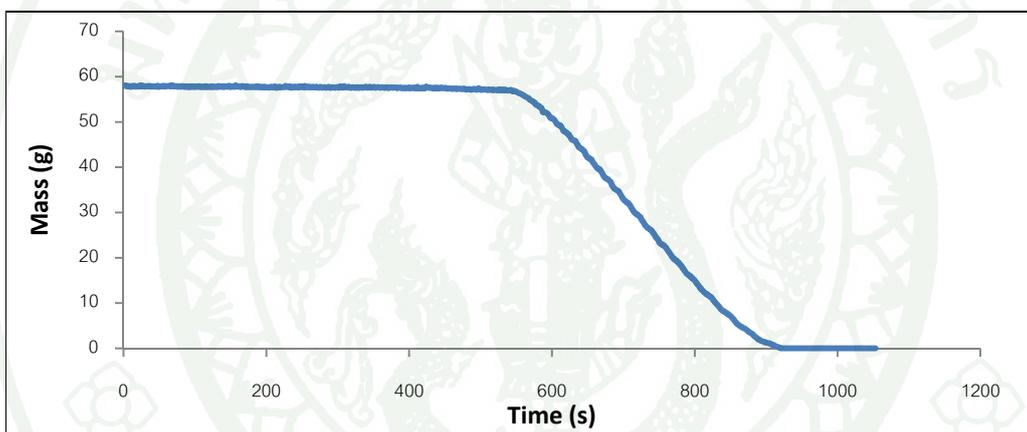
ภาพผนวกที่ ข47 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (Arcylic 15-1)



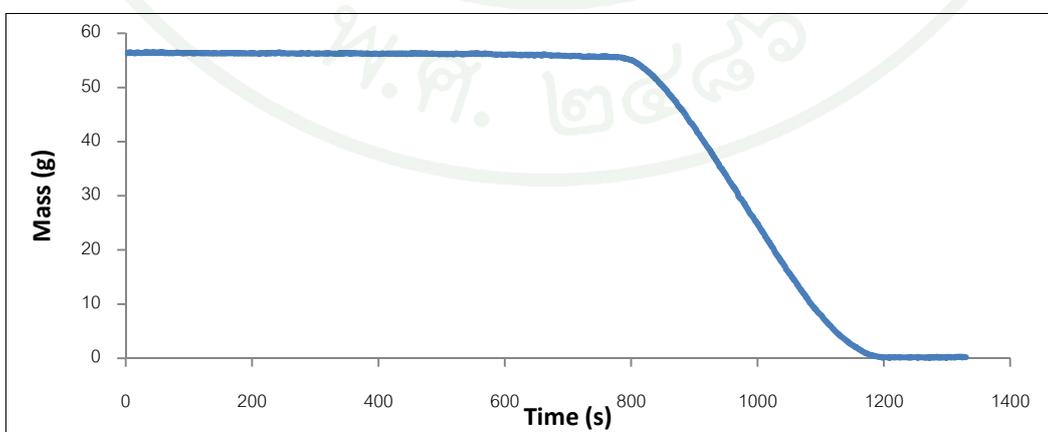
ภาพผนวกที่ ข48 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (Arcylic 15-2)



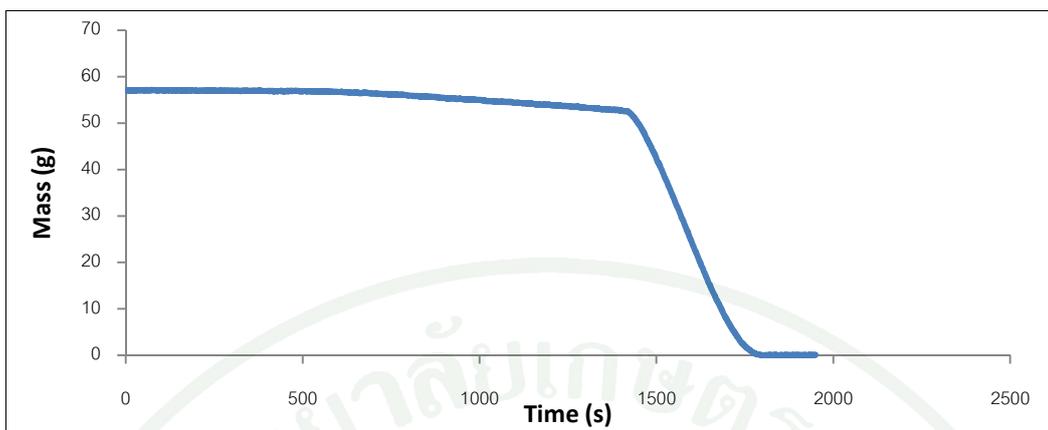
ภาพผนวกที่ ข49 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 12 kW/m^2 (Arcylic 12-1)



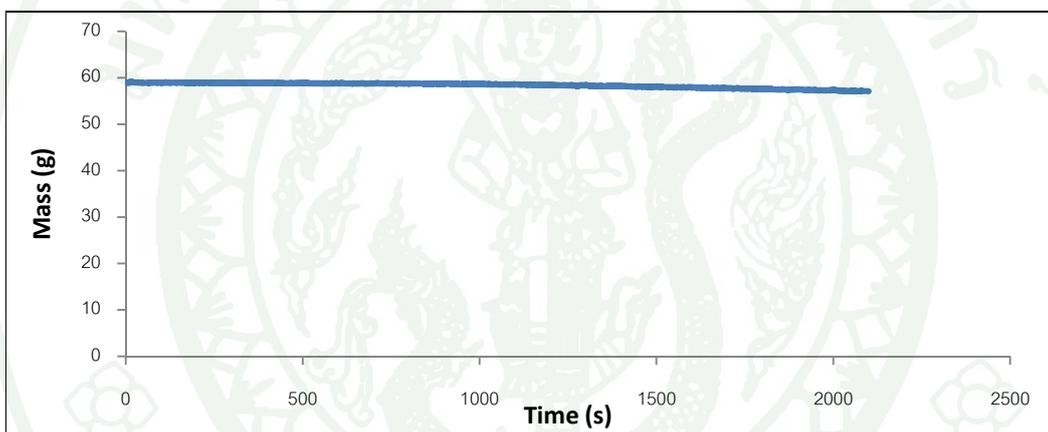
ภาพผนวกที่ ข50 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 12 kW/m^2 (Arcylic 12-2)



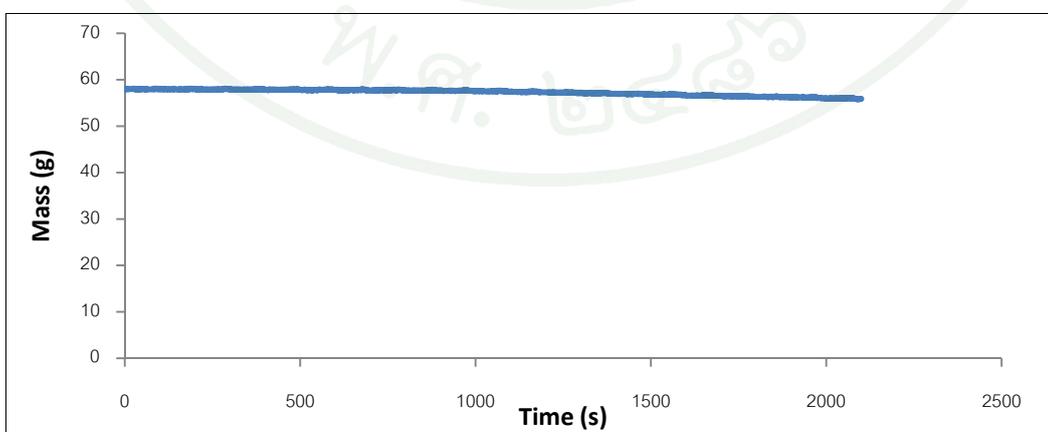
ภาพผนวกที่ ข51 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 10 kW/m^2 (Arcylic 10-1)



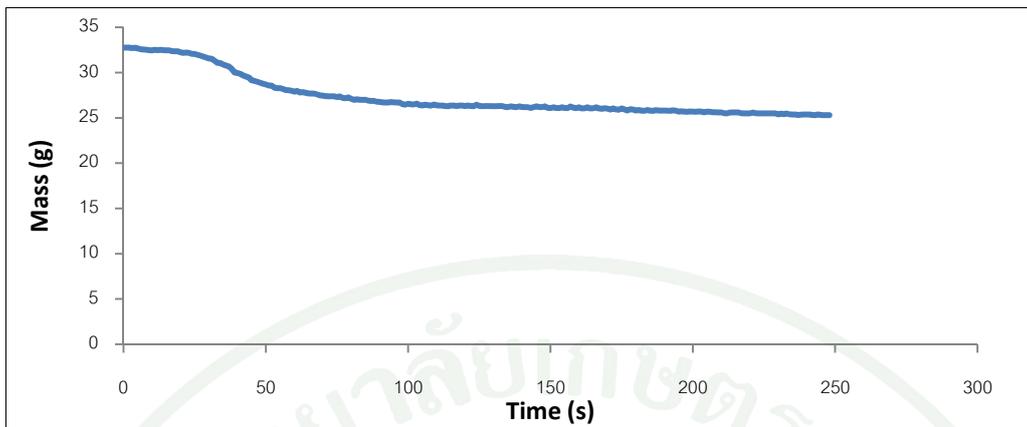
ภาพผนวกที่ ข52 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 10 kW/m^2 (Arcylic 10-2)



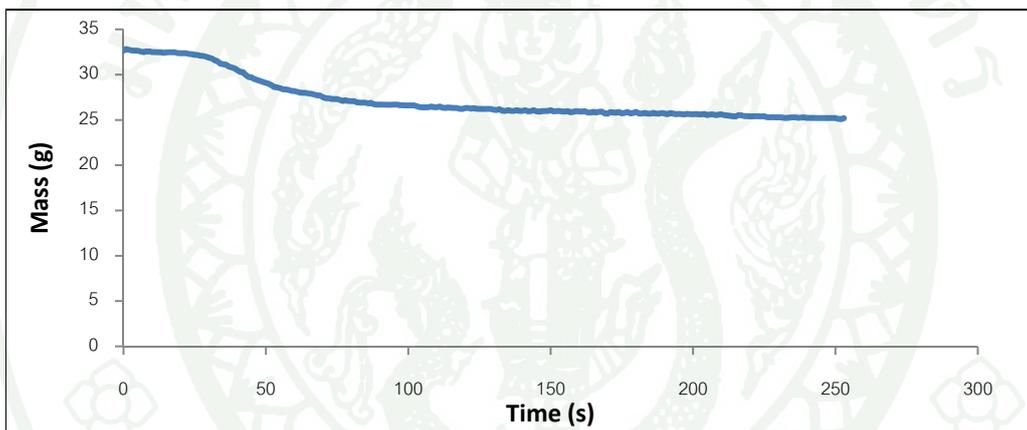
ภาพผนวกที่ ข53 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 8 kW/m^2 (Arcylic 8-1)



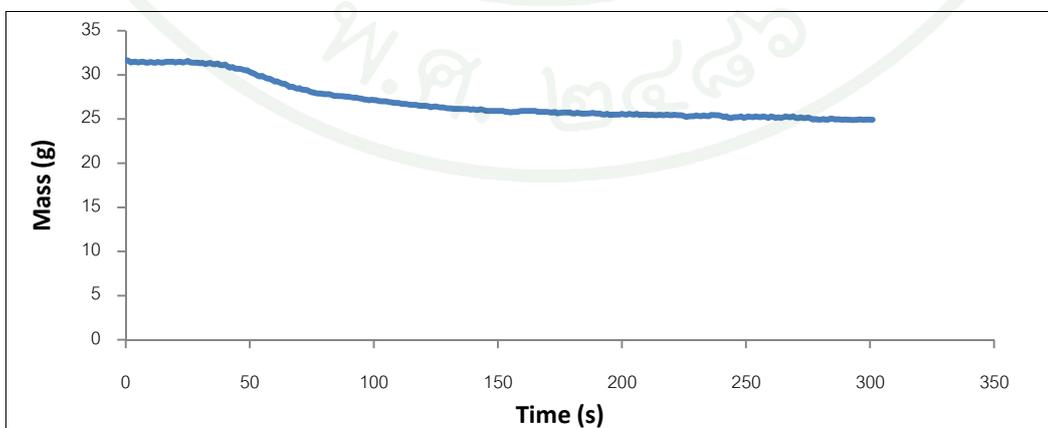
ภาพผนวกที่ ข54 แสดงการสูญเสียมวลของ Arcylic หนา15mm ที่ 8 kW/m^2 (Arcylic 8-2)



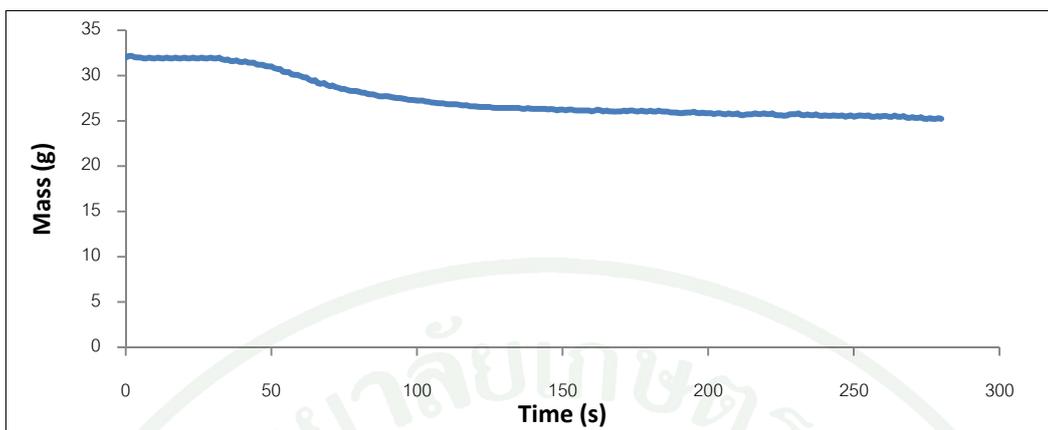
ภาพผนวกที่ ข55 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 50 kW/m² (PVC 50-1)



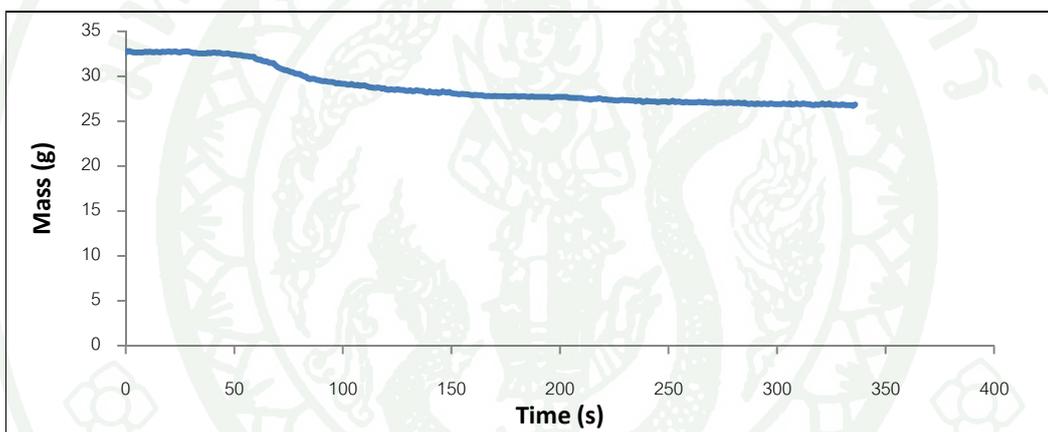
ภาพผนวกที่ ข56 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 50 kW/m² (PVC 50-2)



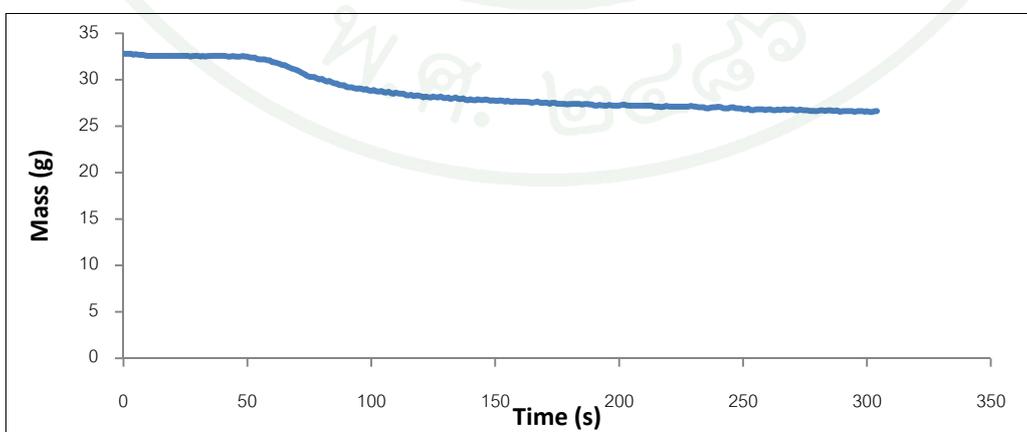
ภาพผนวกที่ ข57 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 40 kW/m² (PVC 40-1)



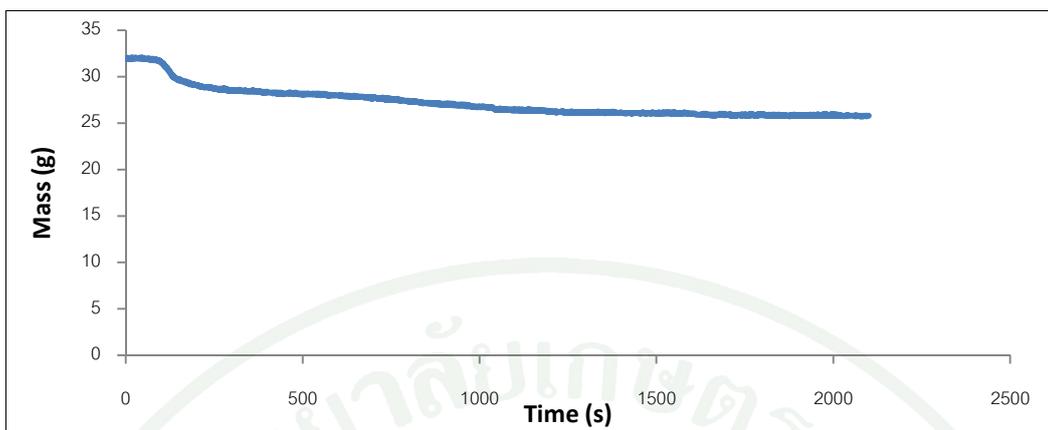
ภาพผนวกที่ ข58 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 40 kW/m^2 (PVC 40-2)



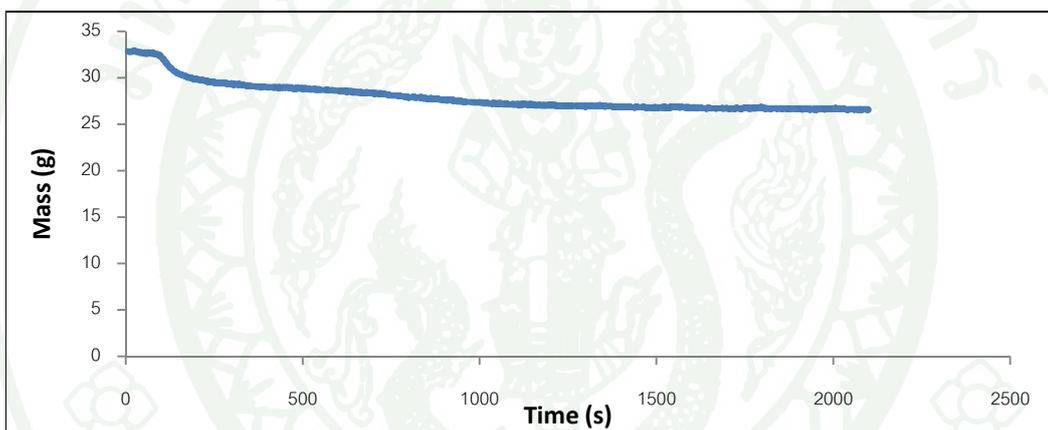
ภาพผนวกที่ ข59 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 30 kW/m^2 (PVC 30-1)



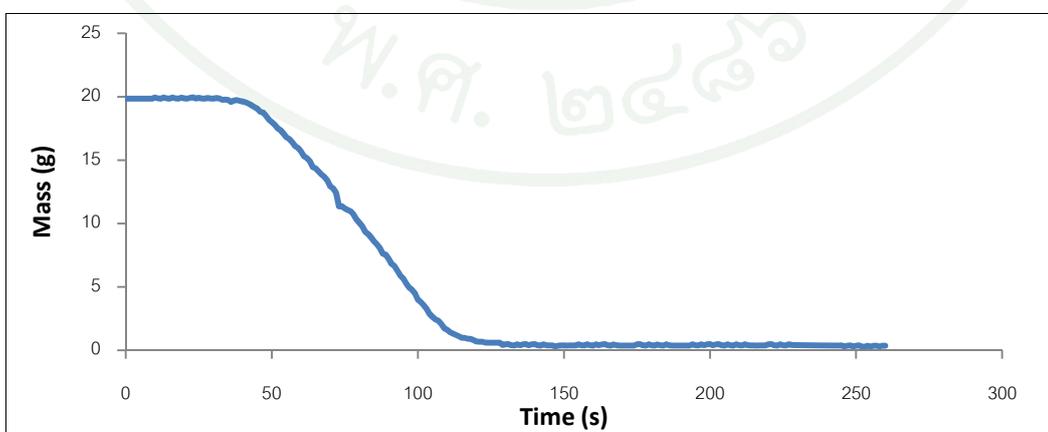
ภาพผนวกที่ ข60 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 30 kW/m^2 (PVC 30-2)



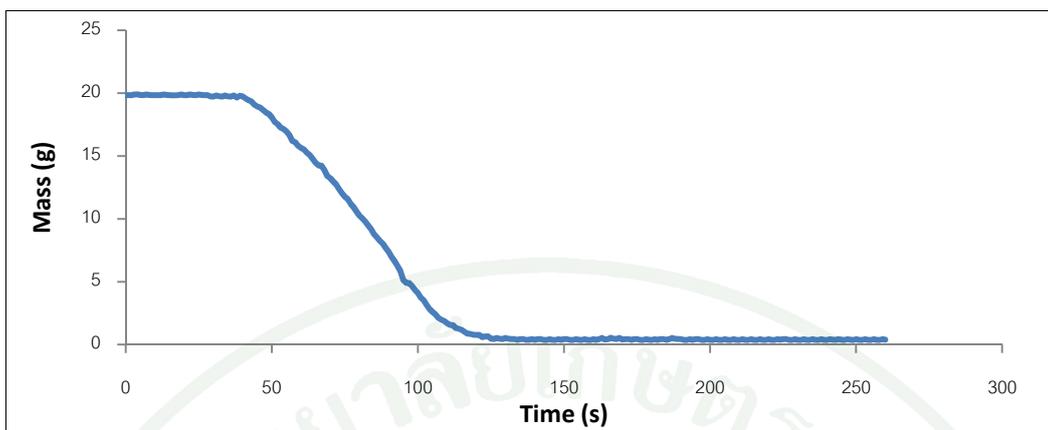
ภาพผนวกที่ ข61 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m^2 (PVC 20-1)



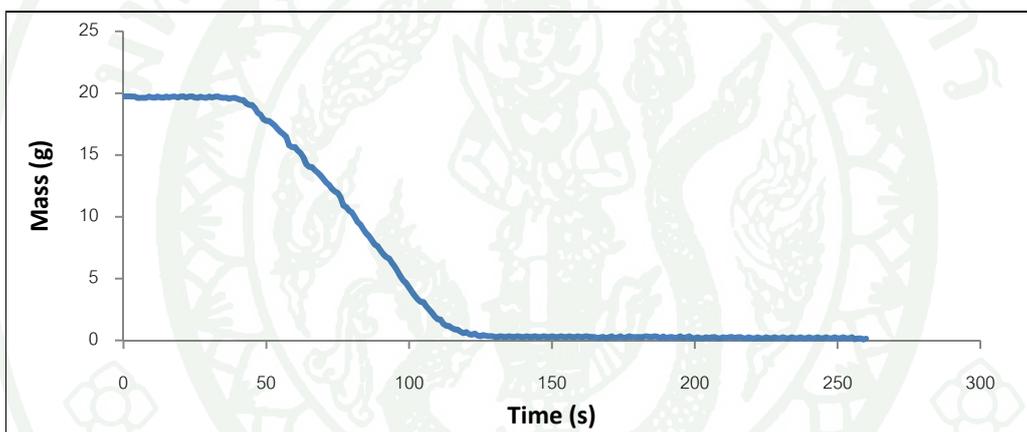
ภาพผนวกที่ ข62 แสดงการสูญเสียมวลของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m^2 (PVC 20-2)



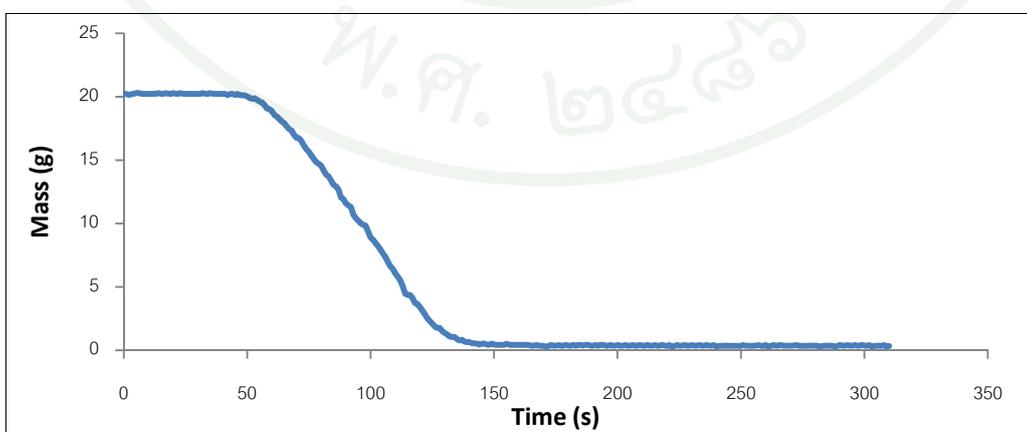
ภาพผนวกที่ ข63 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m^2 (HIPS 50-1)



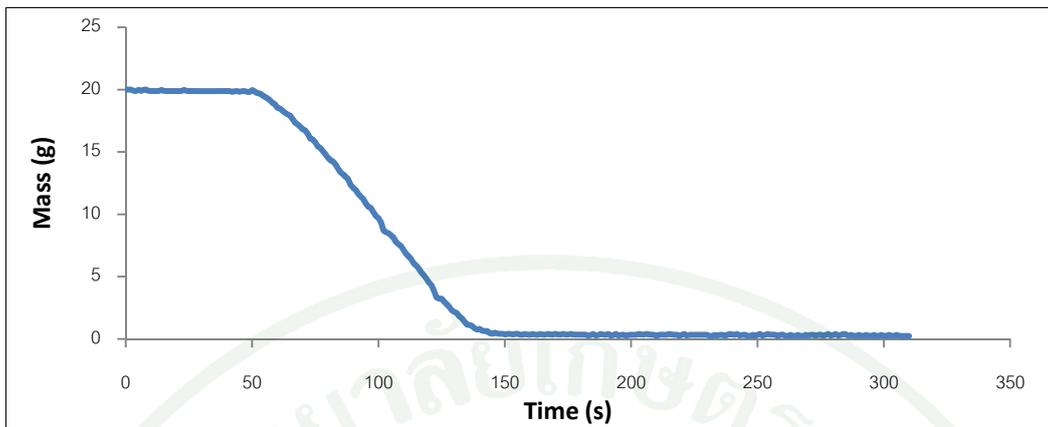
ภาพผนวกที่ ข64 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m^2 (HIPS 50-2)



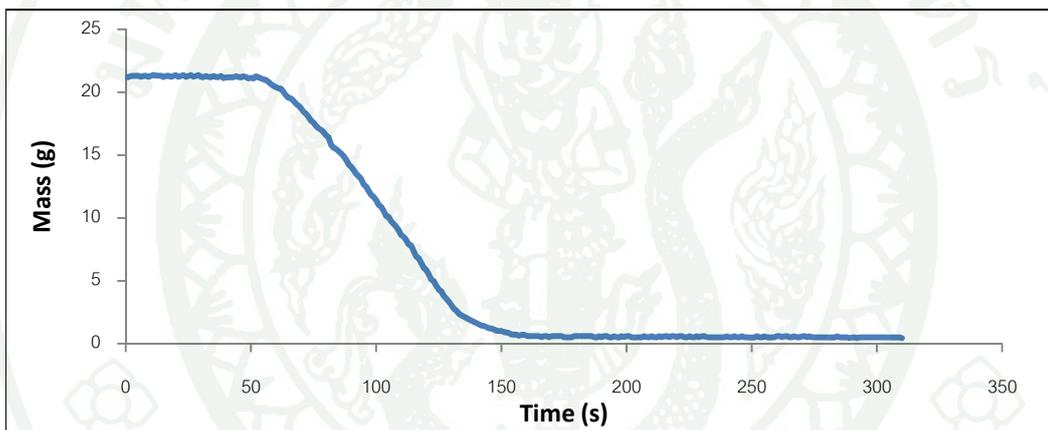
ภาพผนวกที่ ข65 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m^2 (HIPS 50-3)



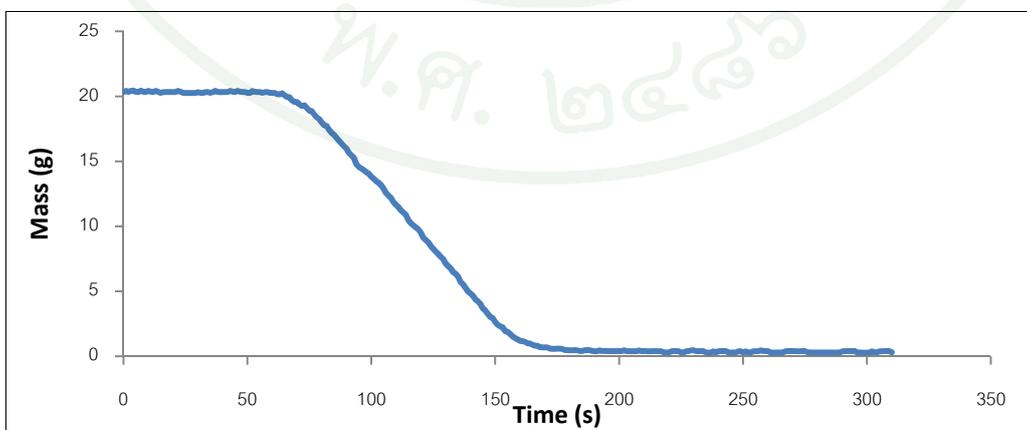
ภาพผนวกที่ ข66 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m^2 (HIPS 40-1)



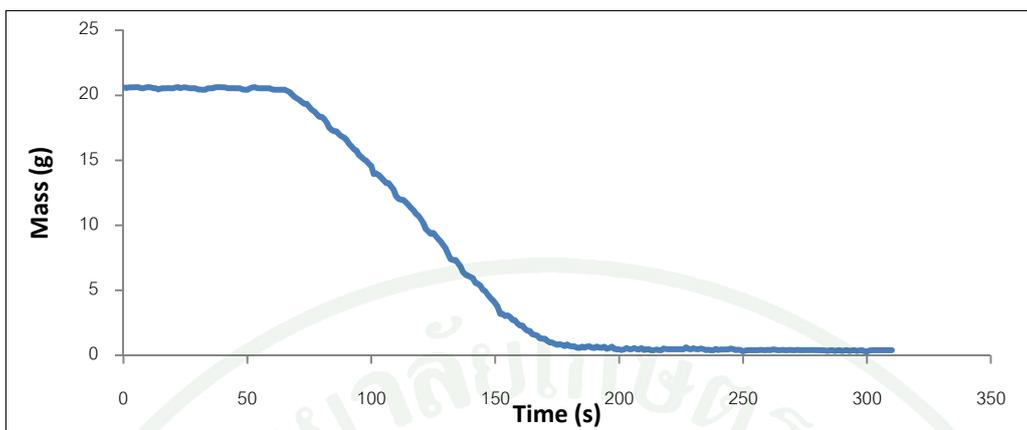
ภาพผนวกที่ ข67 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m^2 (HIPS 40-2)



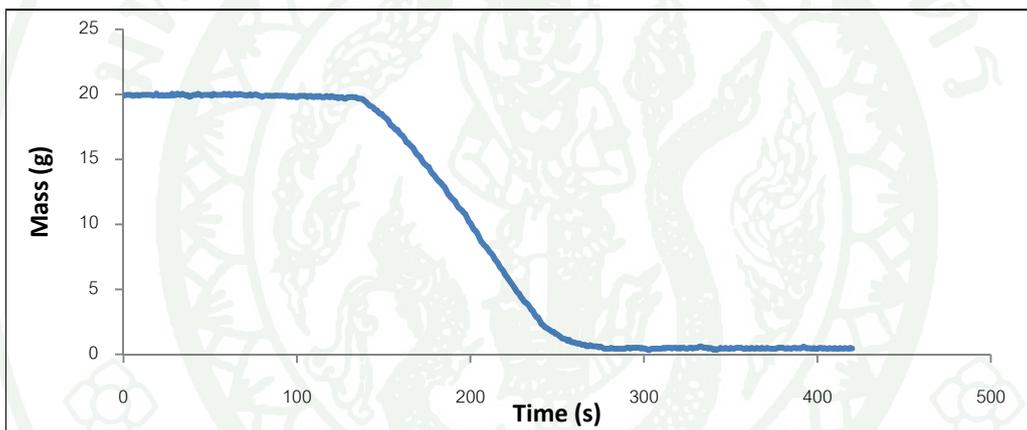
ภาพผนวกที่ ข68 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 40 kW/m^2 (HIPS 40-3)



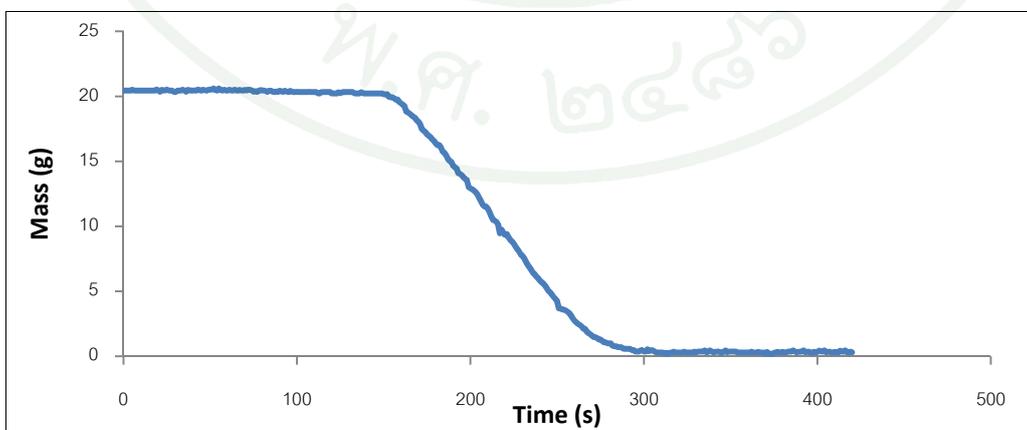
ภาพผนวกที่ ข69 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 30 kW/m^2 (HIPS 30-1)



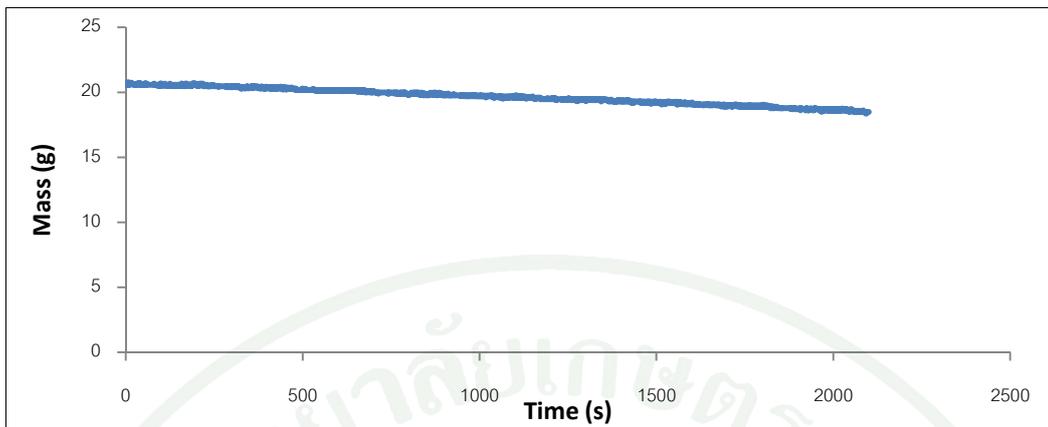
ภาพผนวกที่ ข70 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 30 kW/m^2 (HIPS 30-2)



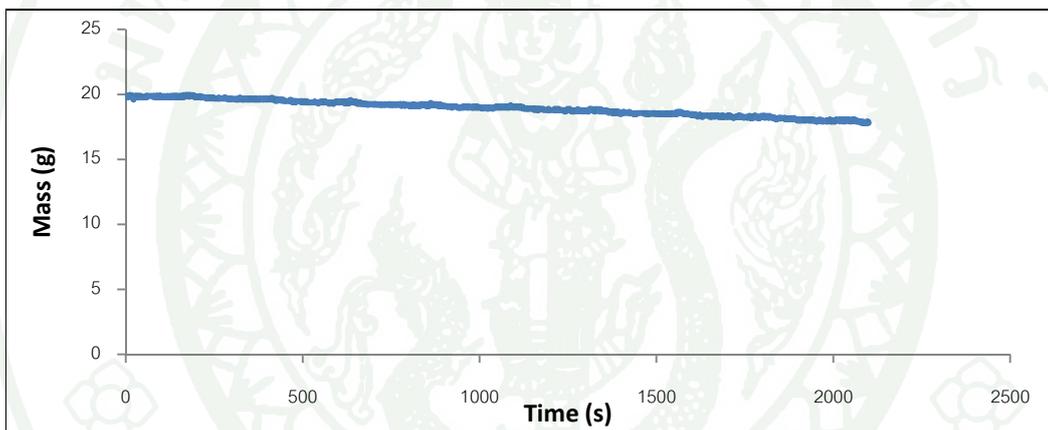
ภาพผนวกที่ ข71 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m^2 (HIPS 20-1)



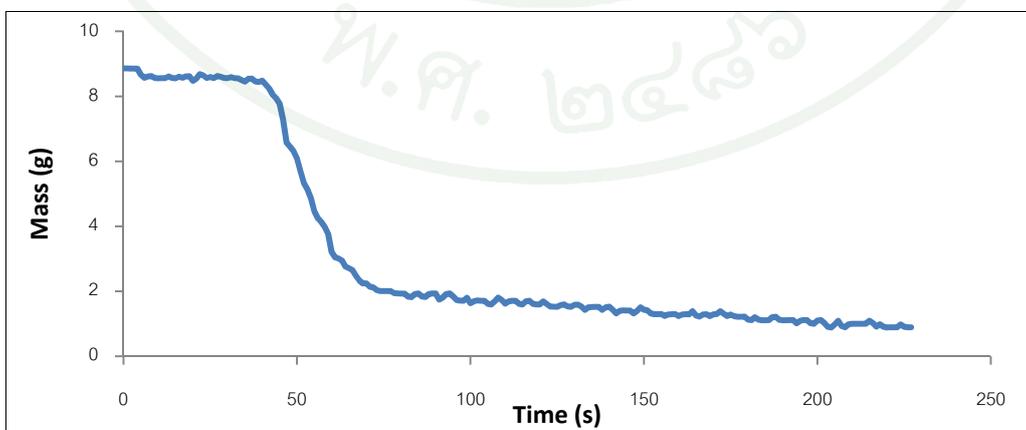
ภาพผนวกที่ ข72 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m^2 (HIPS 20-2)



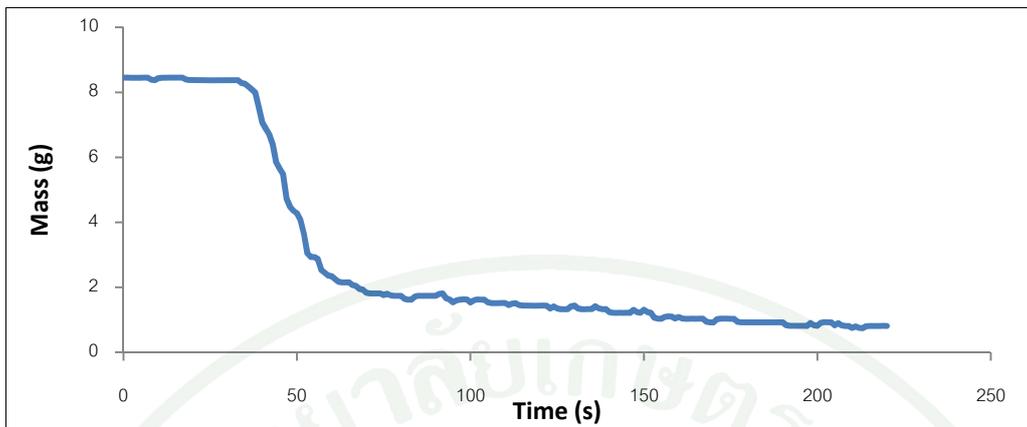
ภาพผนวกที่ ข73 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 15 kW/m^2 (HIPS 15-1)



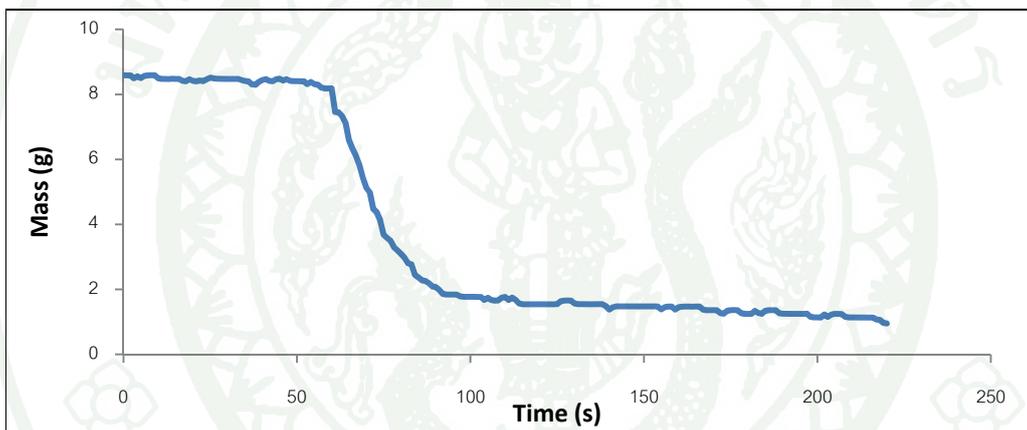
ภาพผนวกที่ ข74 แสดงการสูญเสียมวลของ HIPS หนา2mm ที่ 15 kW/m^2 (HIPS 15-2)



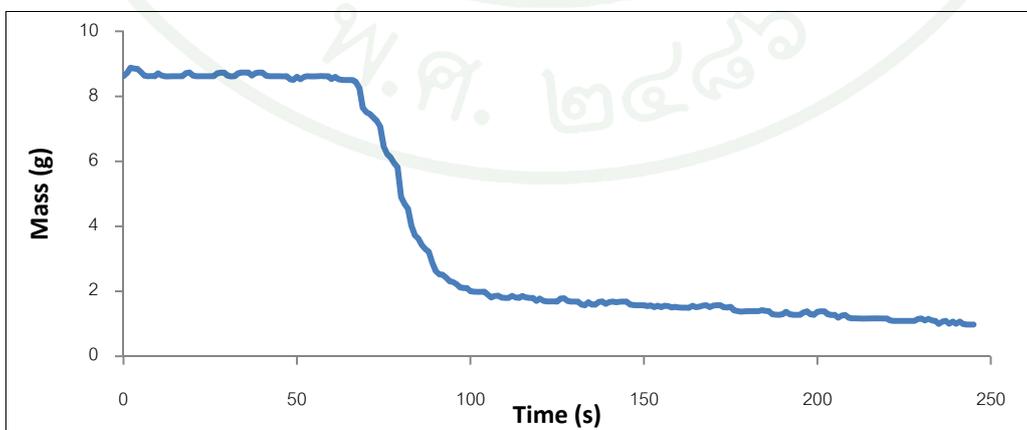
ภาพผนวกที่ ข75 แสดงการสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 50 kW/m^2 (Poly 50-1)



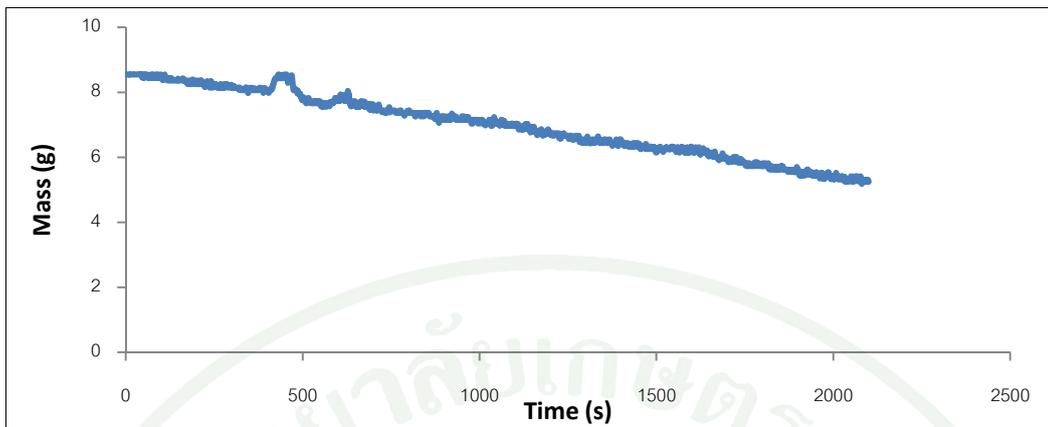
ภาพผนวกที่ ข76 แสดงการสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 50 kW/m^2 (Poly 50-2)



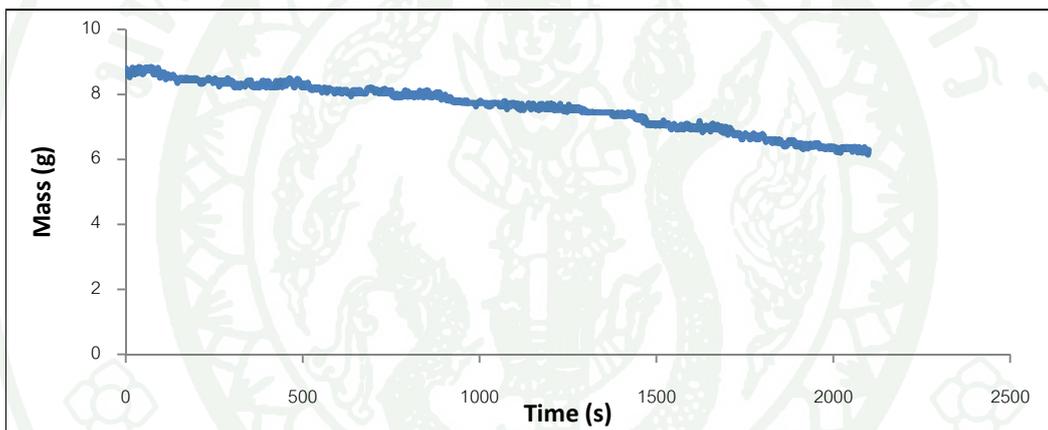
ภาพผนวกที่ ข77 แสดงการสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 40 kW/m^2 (Poly 40-1)



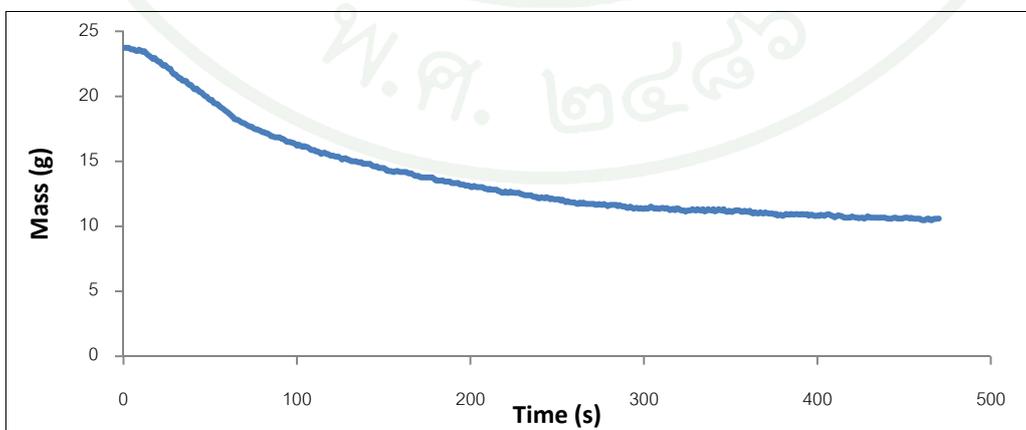
ภาพผนวกที่ ข78 แสดงการสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 40 kW/m^2 (Poly 40-2)



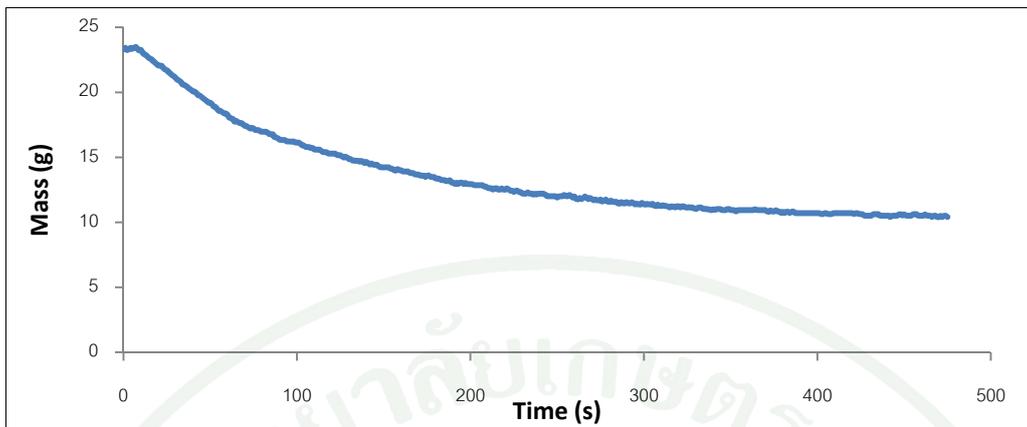
ภาพผนวกที่ ข79 แสดงการสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 30 kW/m^2 (Poly 30-1)



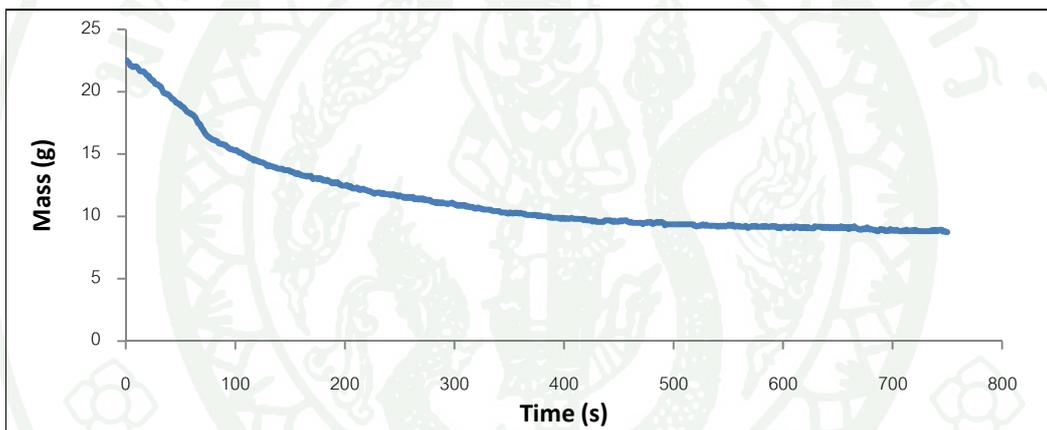
ภาพผนวกที่ ข80 แสดงการสูญเสียมวลของ Polycarbonate หนา4mm ที่ 30 kW/m^2 (Poly 30-2)



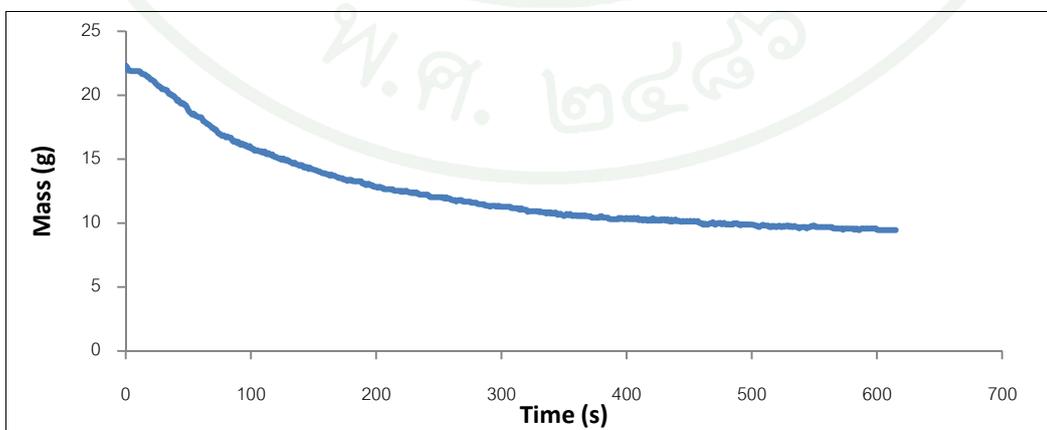
ภาพผนวกที่ ข81 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (EVA 50-1)



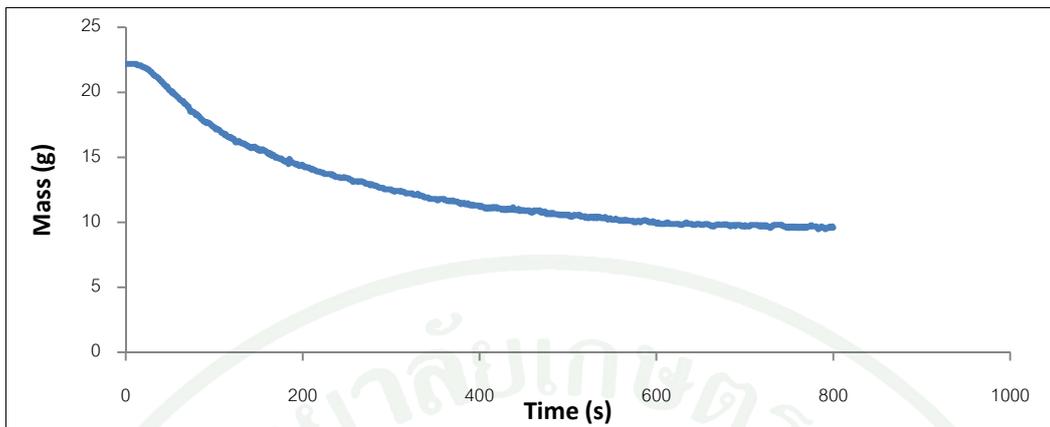
ภาพผนวกที่ ข82 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (EVA 50-2)



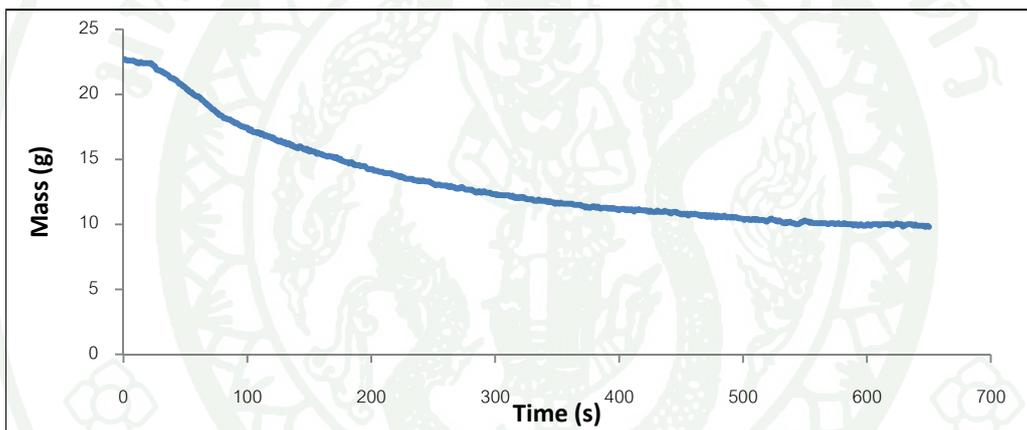
ภาพผนวกที่ ข83 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (EVA 40-1)



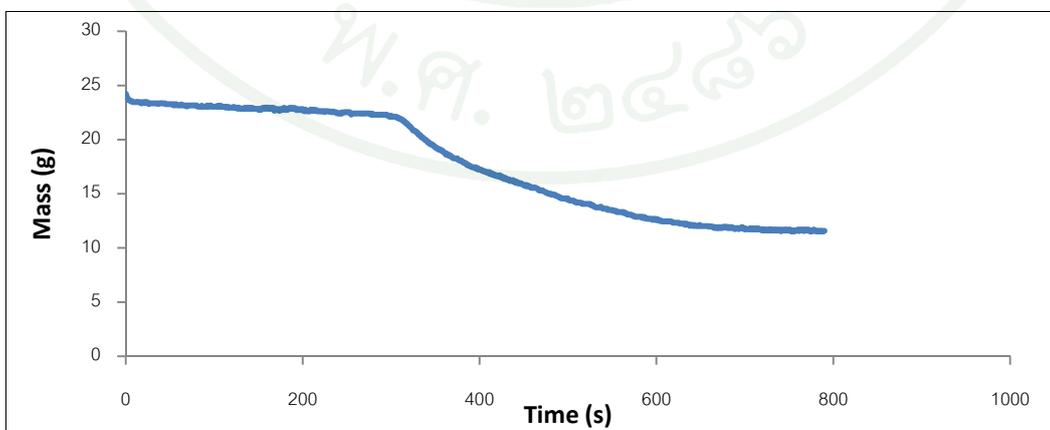
ภาพผนวกที่ ข84 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (EVA 40-2)



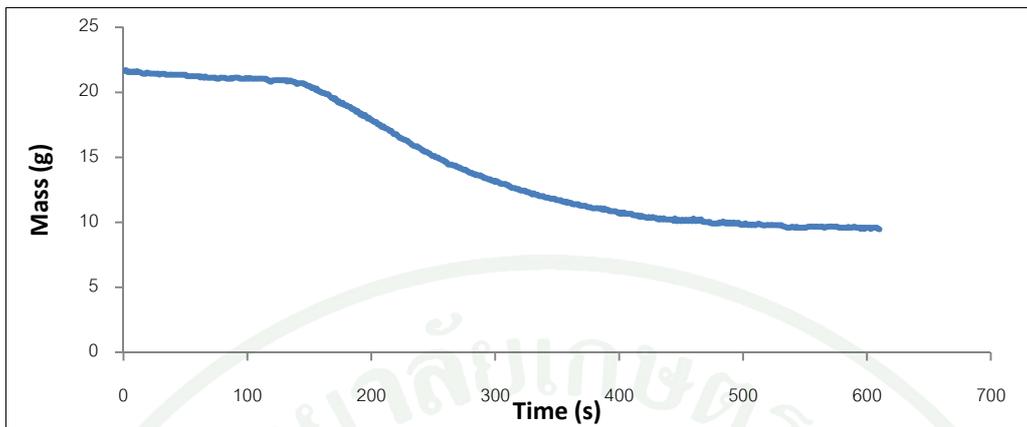
ภาพผนวกที่ ข85 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (EVA 30-1)



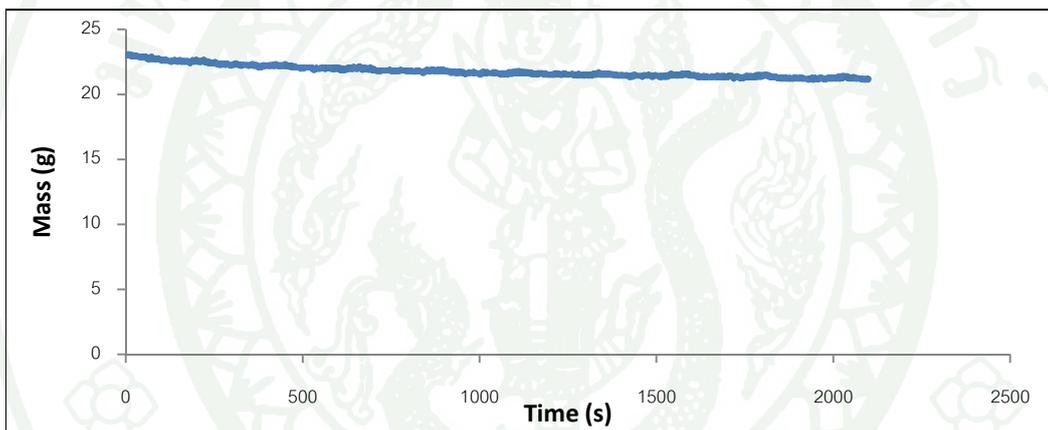
ภาพผนวกที่ ข86 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (EVA 30-2)



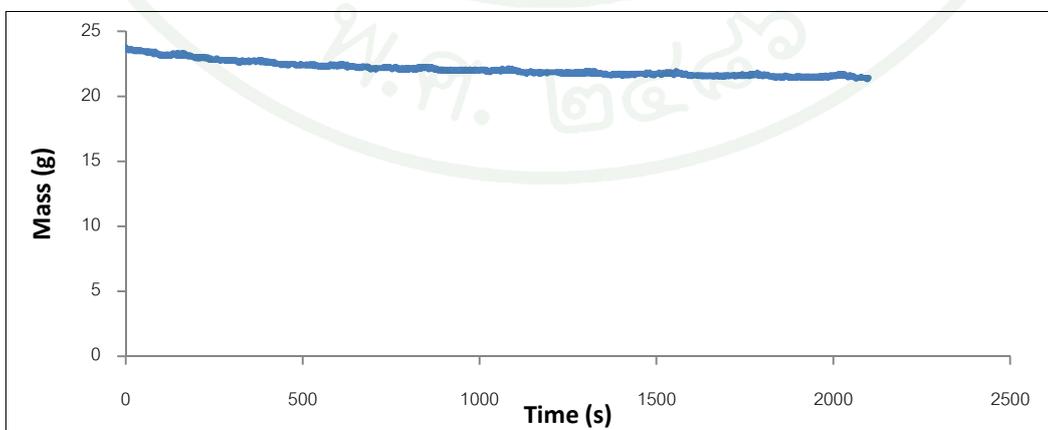
ภาพผนวกที่ ข87 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (EVA 20-1)



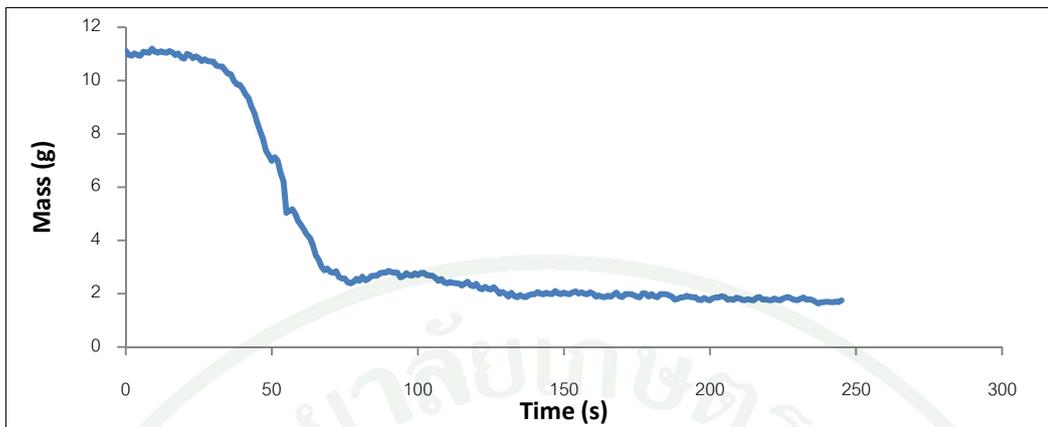
ภาพผนวกที่ ข88 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (EVA 20-2)



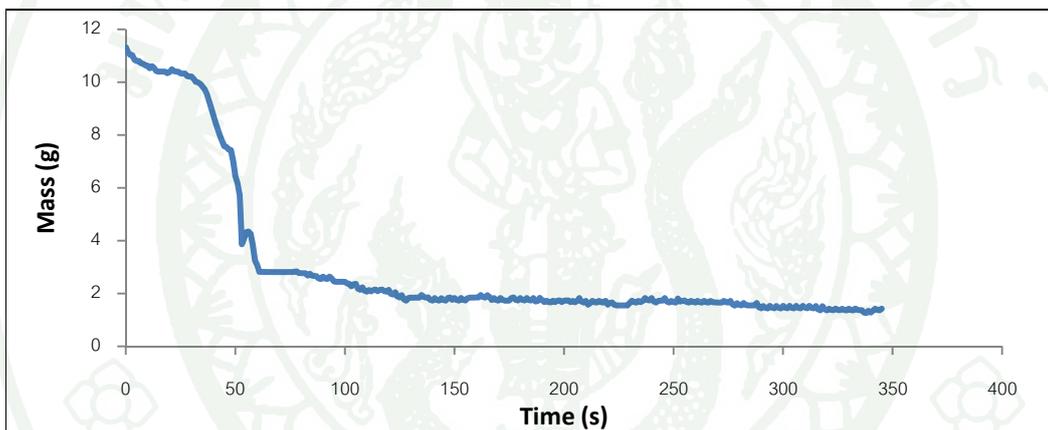
ภาพผนวกที่ ข89 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (EVA 15-1)



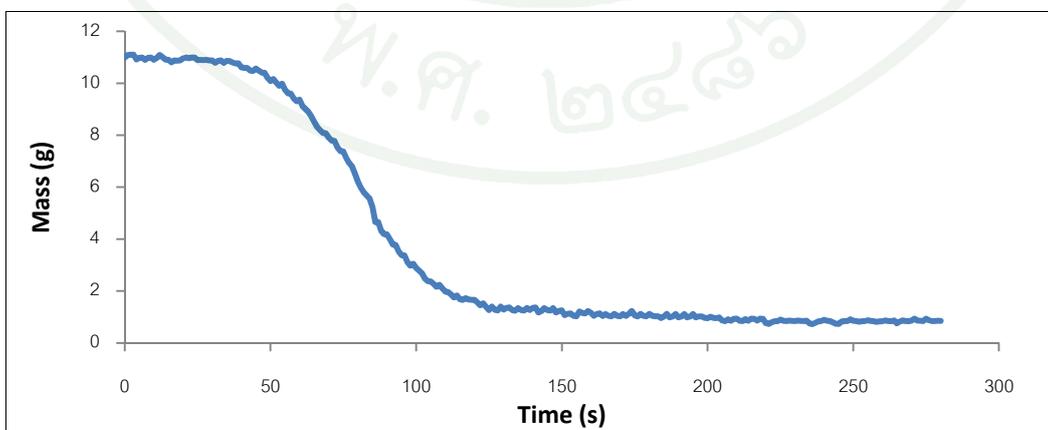
ภาพผนวกที่ ข90 แสดงการสูญเสียมวลของ EVA หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (EVA 15-2)



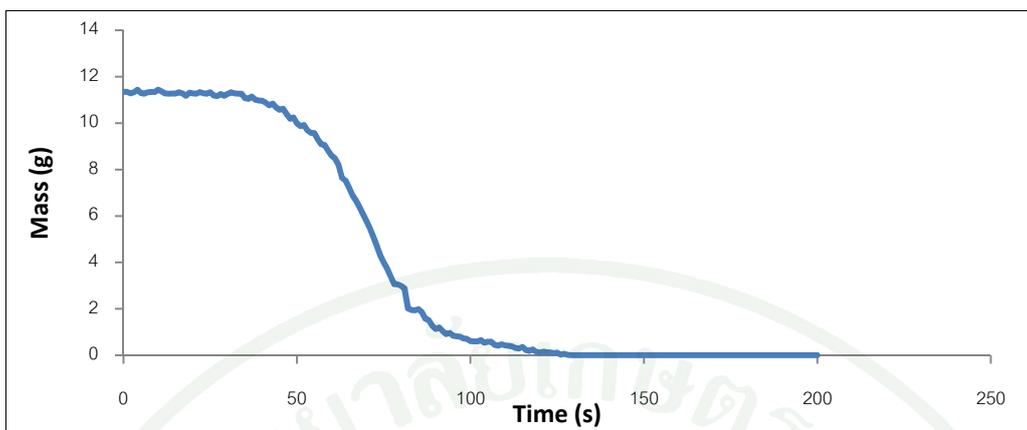
ภาพผนวกที่ ข91 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 50 kW/m^2 (PE 50-1)



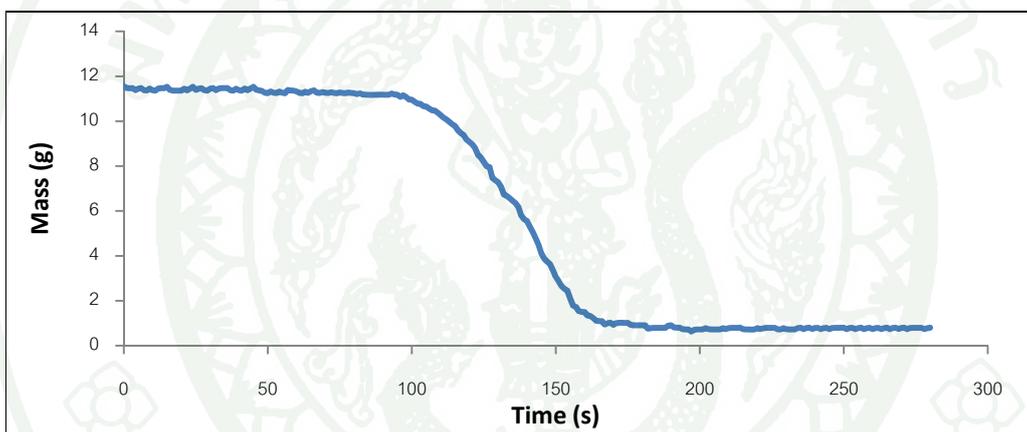
ภาพผนวกที่ ข92 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 50 kW/m^2 (PE 50-2)



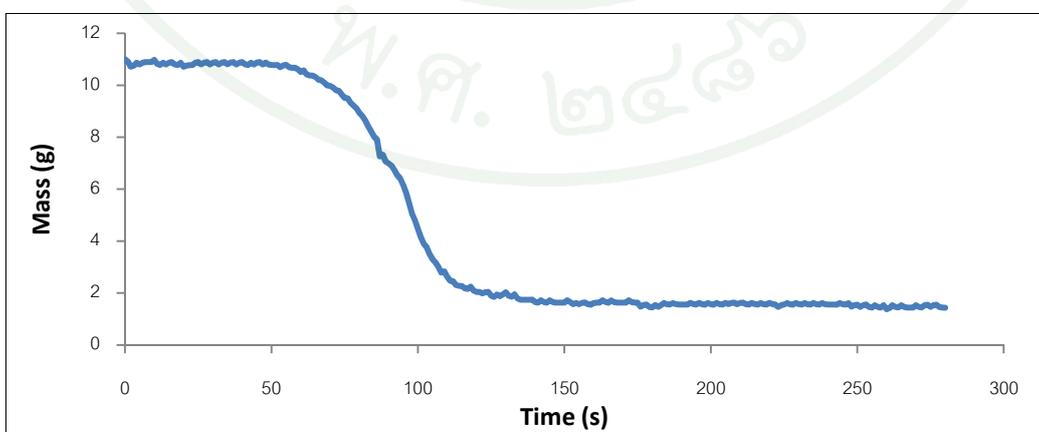
ภาพผนวกที่ ข93 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 50 kW/m^2 (PE 40-1)



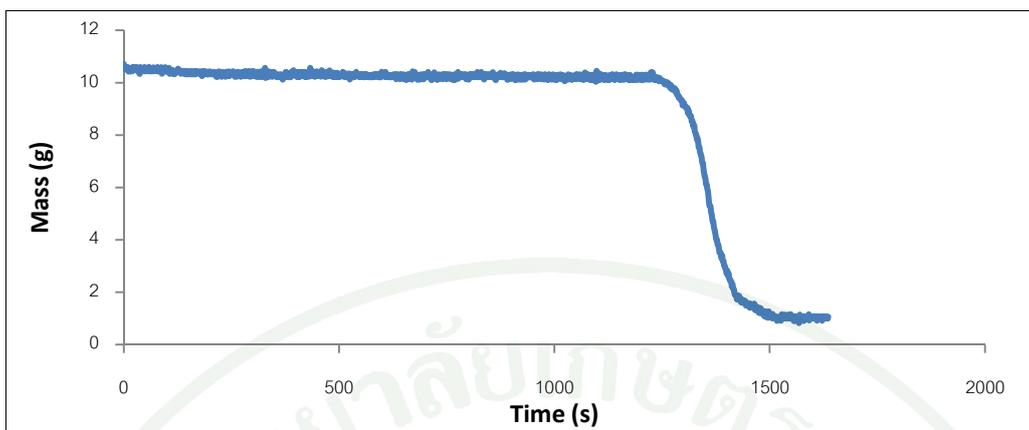
ภาพผนวกที่ ข94 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 40 kW/m^2 (PE 40-2)



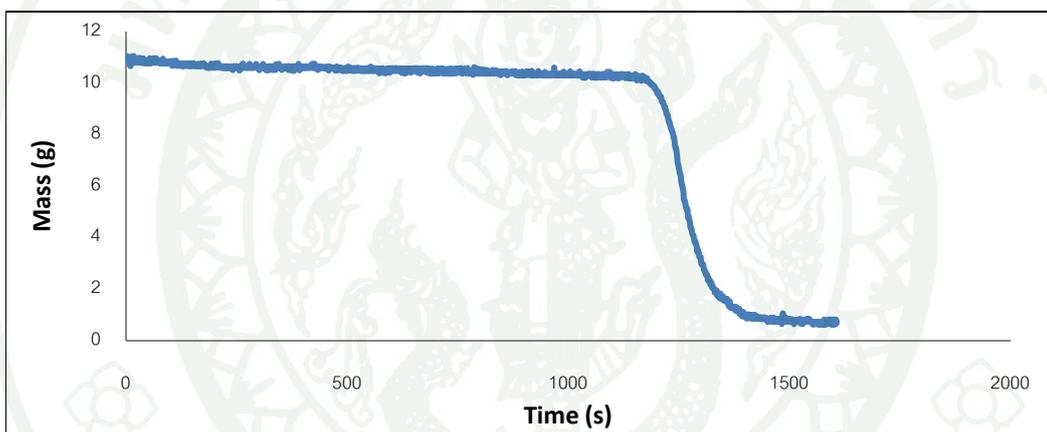
ภาพผนวกที่ ข95 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 30 kW/m^2 (PE 30-1)



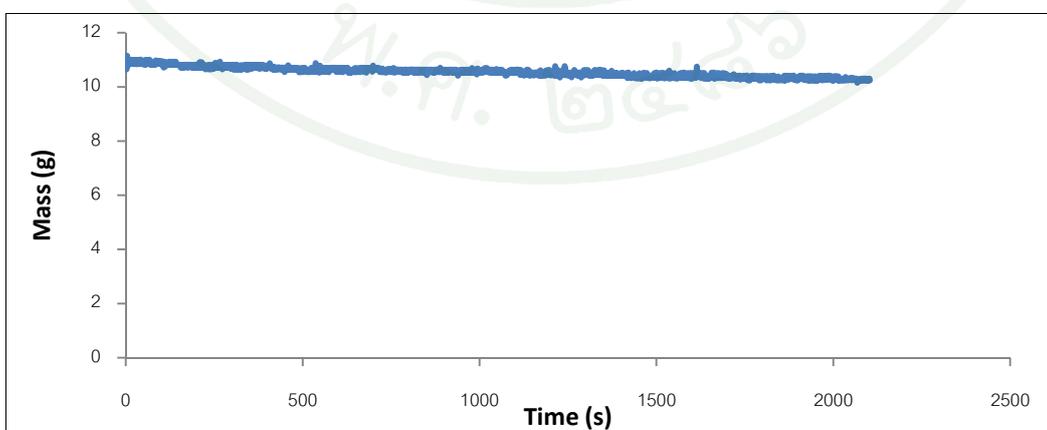
ภาพผนวกที่ ข96 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 30 kW/m^2 (PE 30-2)



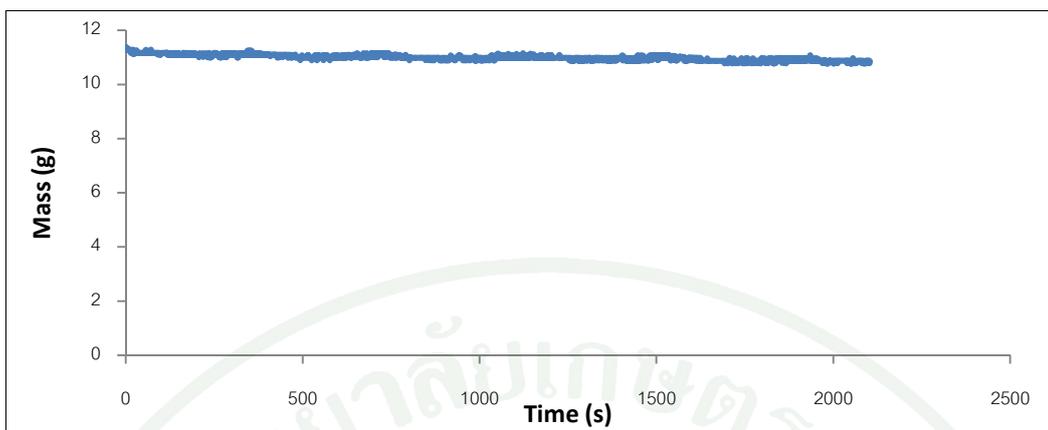
ภาพผนวกที่ ข97 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 20 kW/m^2 (PE 20-1)



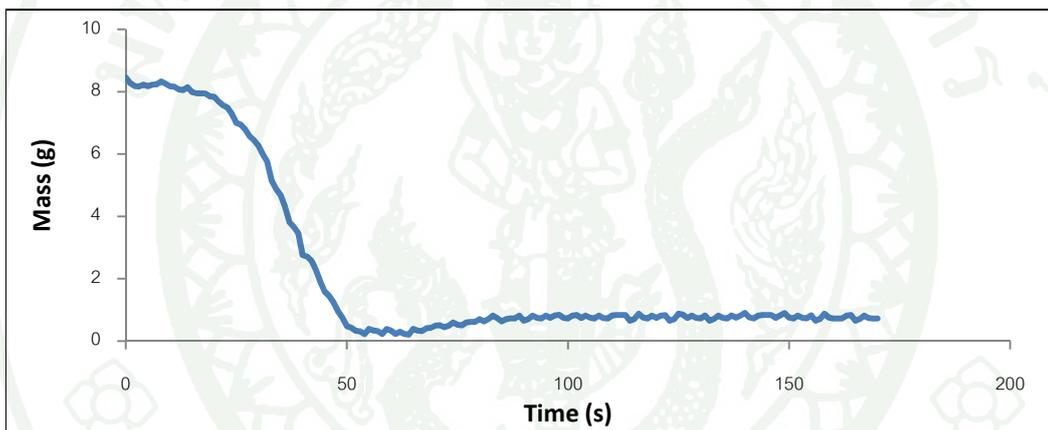
ภาพผนวกที่ ข98 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 20 kW/m^2 (PE 20-2)



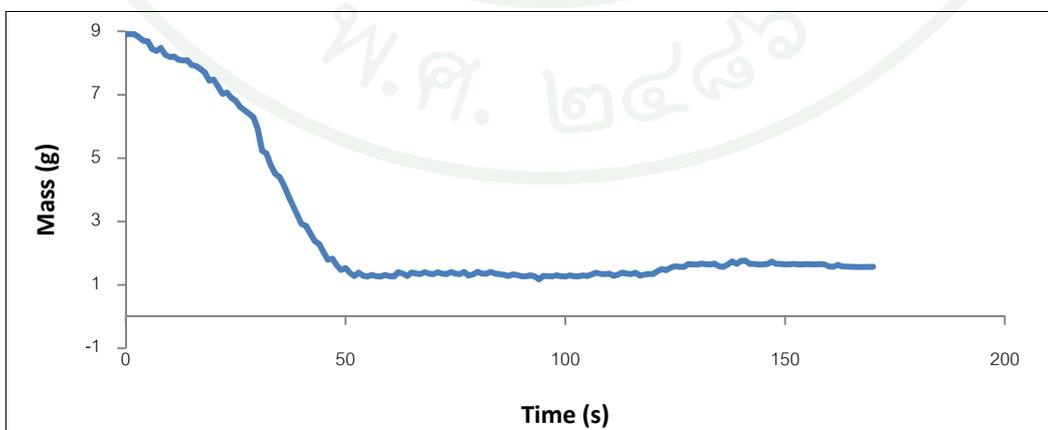
ภาพผนวกที่ ข99 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 15 kW/m^2 (PE 15-1)



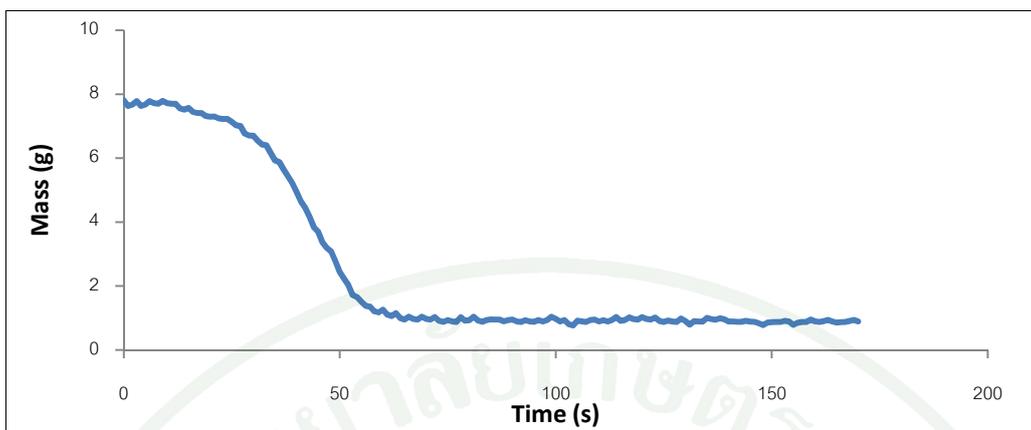
ภาพผนวกที่ ข100 แสดงการสูญเสียมวลของ PE หนา1mm ที่ 15 kW/m^2 (PE 15-2)



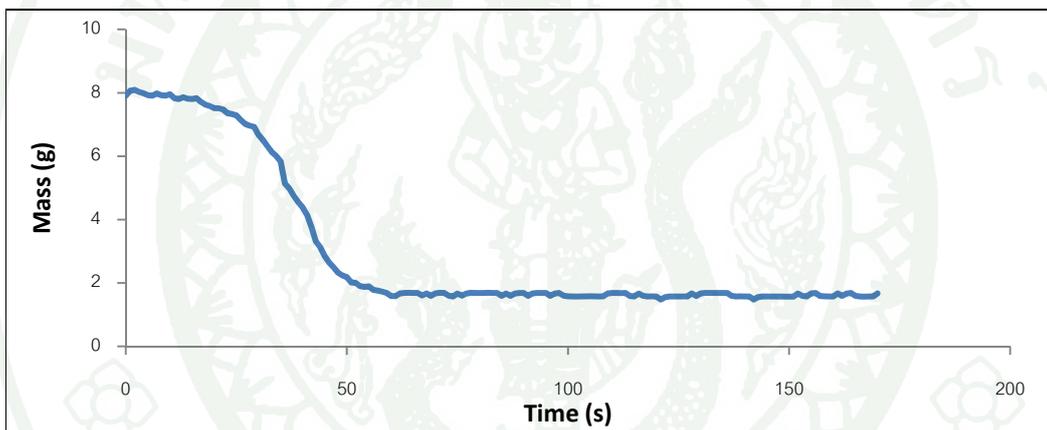
ภาพผนวกที่ ข101 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (PB 50-1)



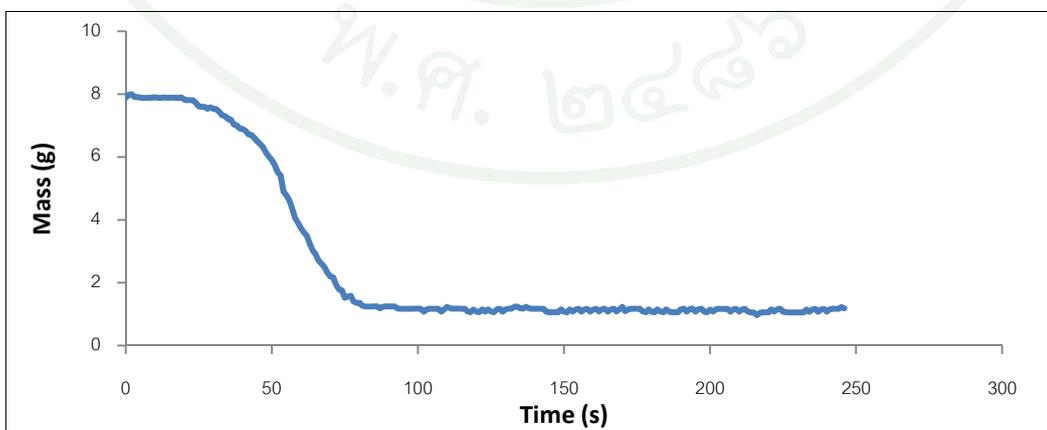
ภาพผนวกที่ ข102 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (PB 50-2)



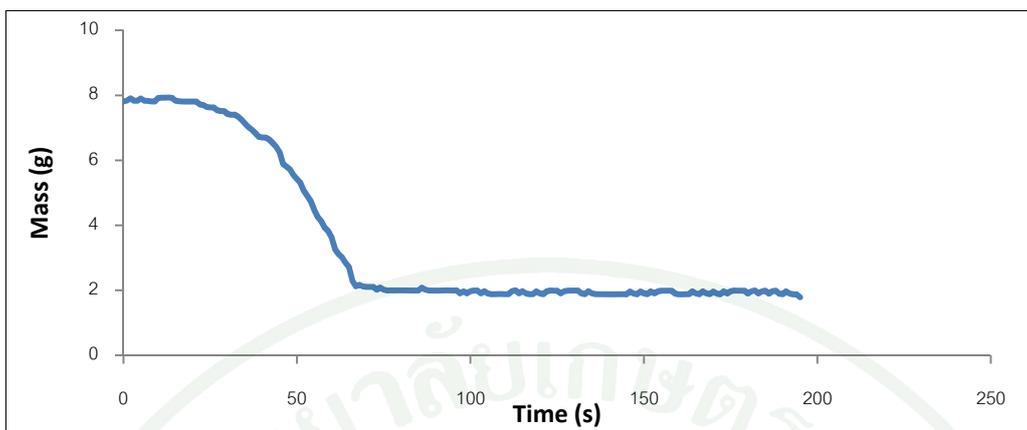
ภาพผนวกที่ ข103 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (PB 40-1)



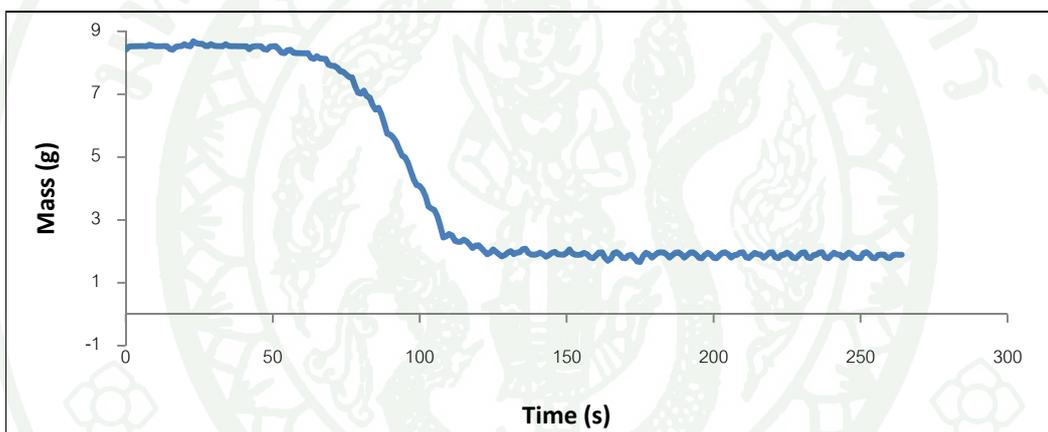
ภาพผนวกที่ ข104 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (PB 40-2)



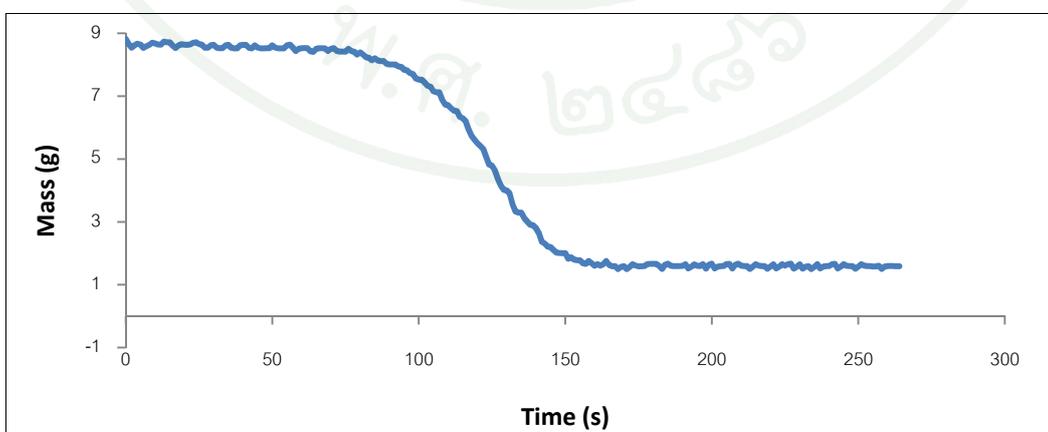
ภาพผนวกที่ ข105 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (PB 30-1)



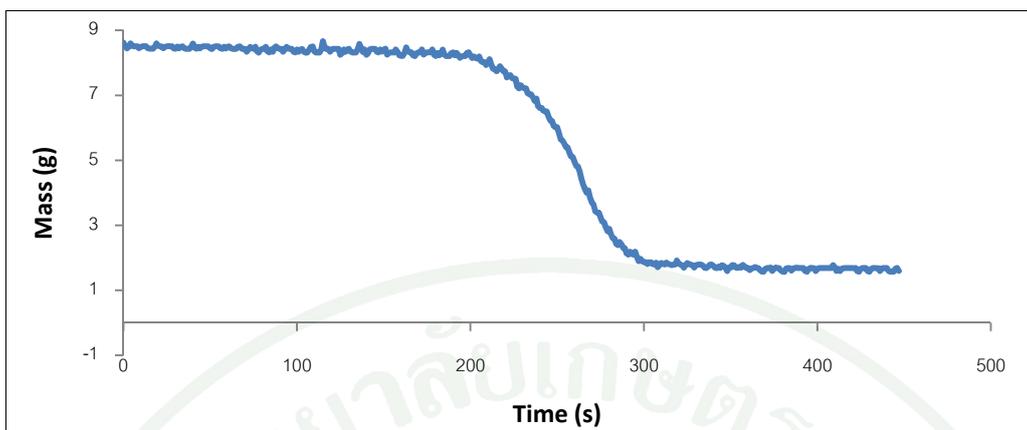
ภาพผนวกที่ ข106 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (PB 30-2)



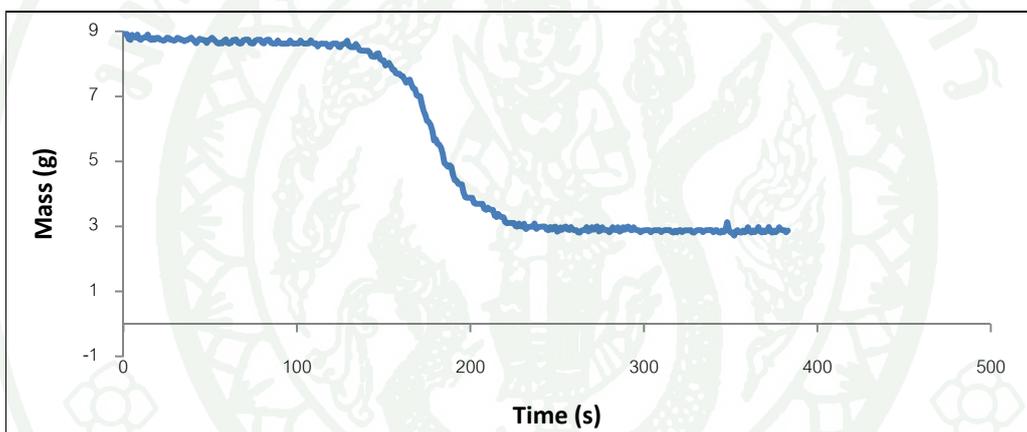
ภาพผนวกที่ ข107 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (PB 20-1)



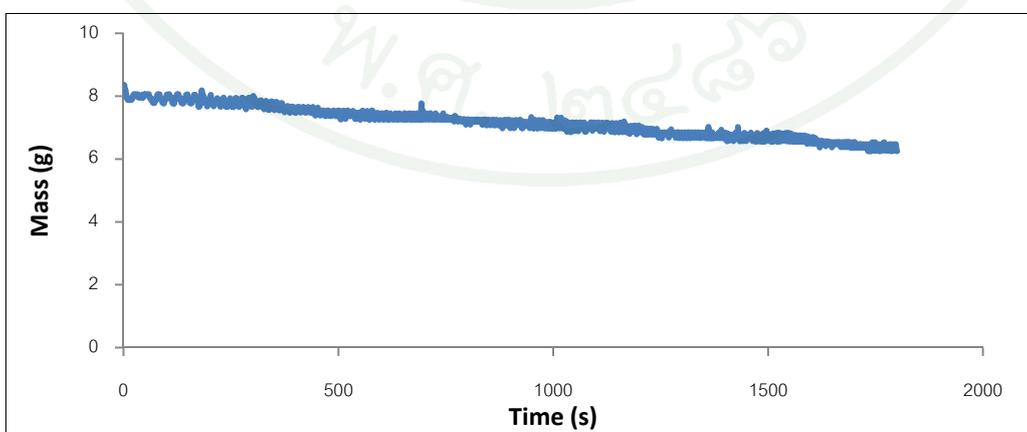
ภาพผนวกที่ ข108 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (PB 20-2)



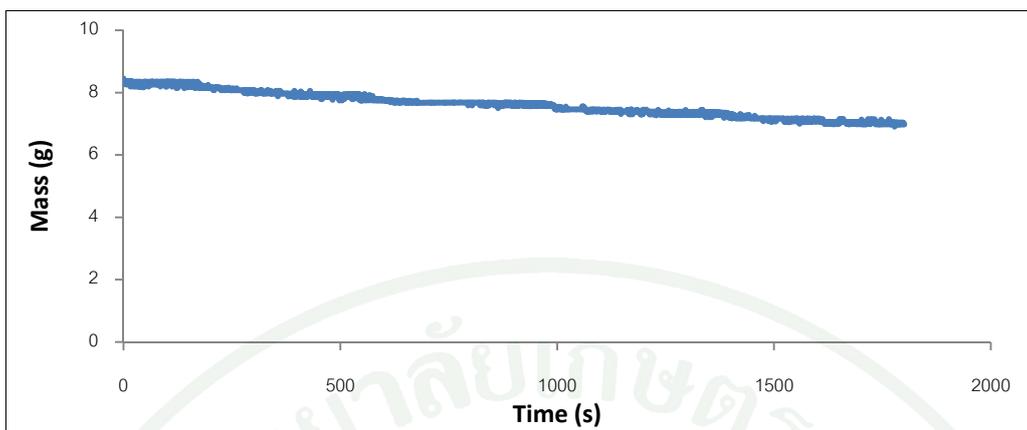
ภาพผนวกที่ ข109 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 15 kW/m² (PB 15-1)



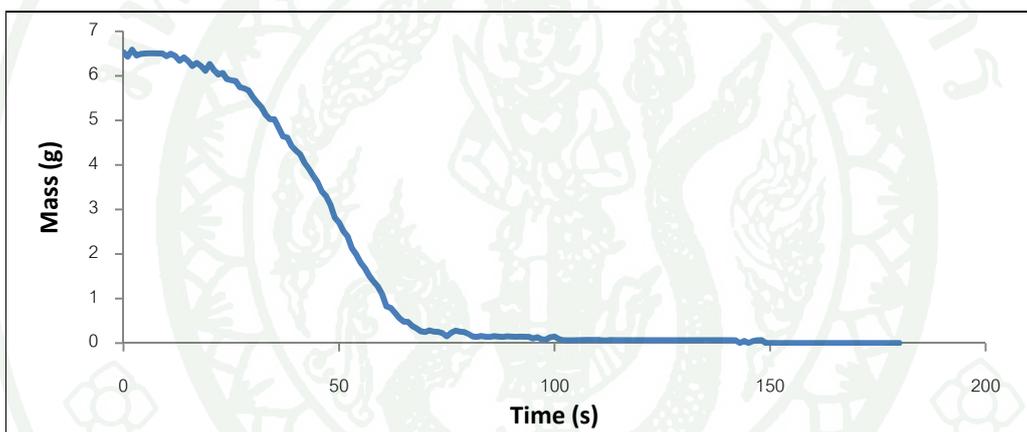
ภาพผนวกที่ ข110 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 15 kW/m² (PB 15-2)



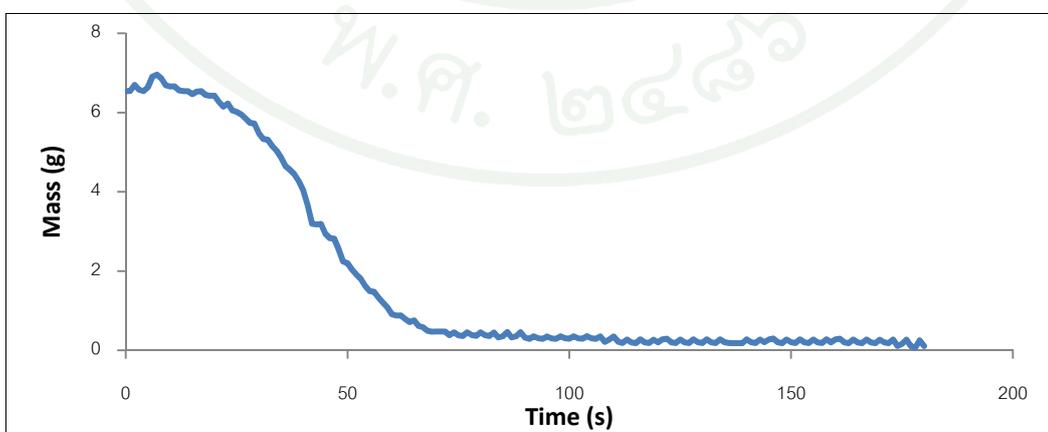
ภาพผนวกที่ ข111 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 12 kW/m² (PB 12-1)



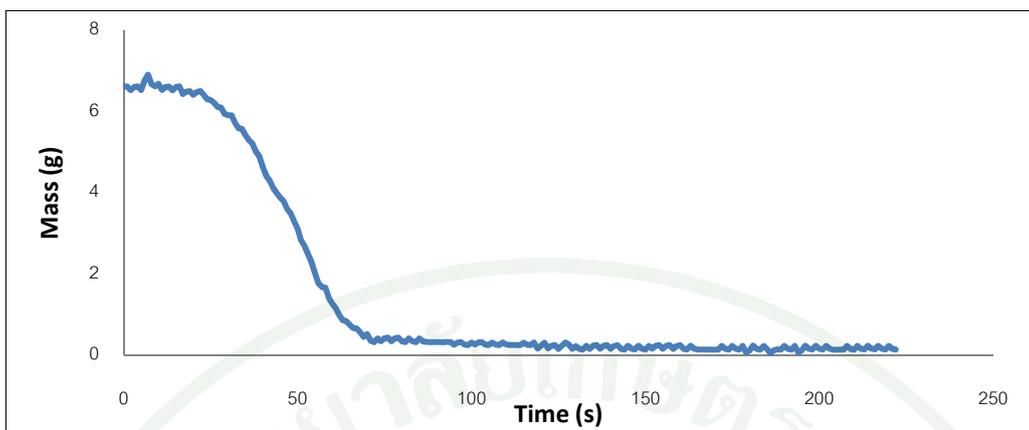
ภาพผนวกที่ ข112 แสดงการสูญเสียมวลของ Plan Board หนา15mm ที่ 12 kW/m^2 (PB 12-2)



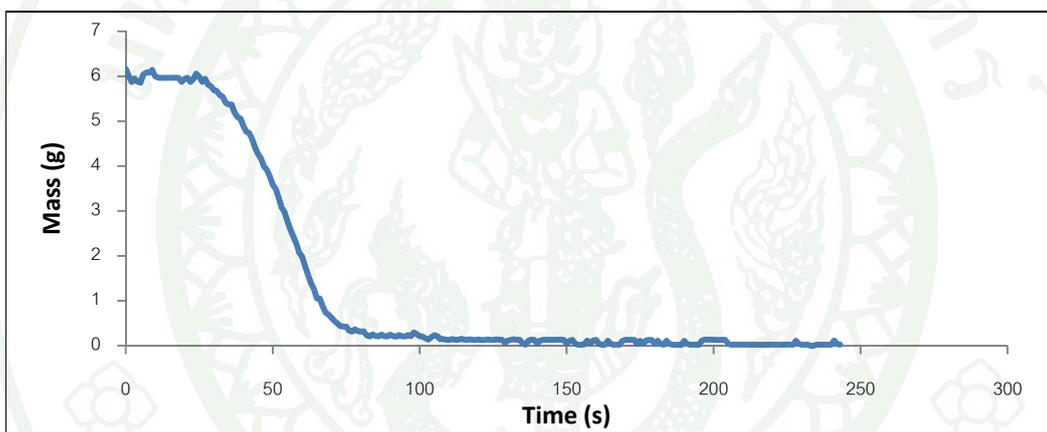
ภาพผนวกที่ ข113 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (Nylon 50-1)



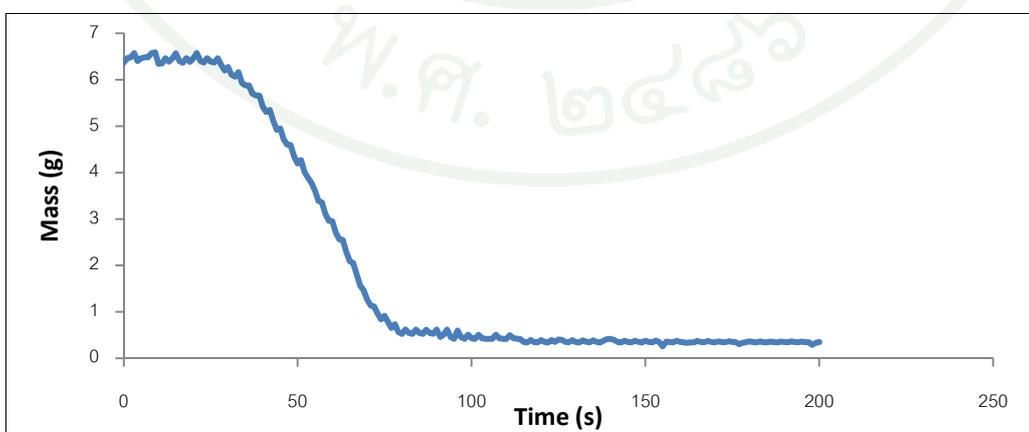
ภาพผนวกที่ ข114 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (Nylon 50-2)



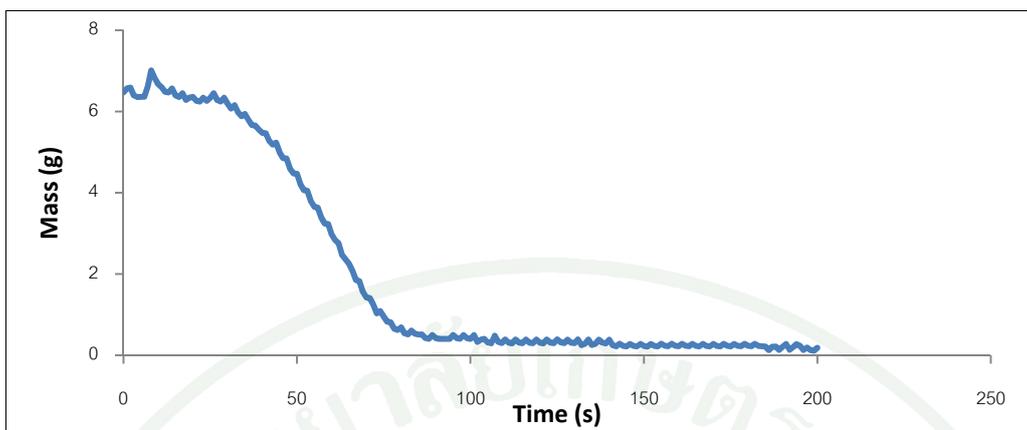
ภาพผนวกที่ ข115 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (Nylon 50-3)



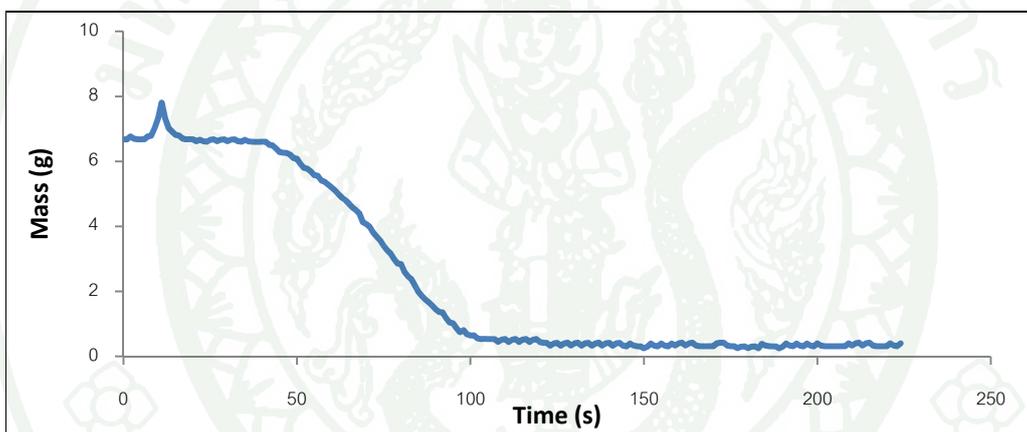
ภาพผนวกที่ ข116 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (Nylon 40-1)



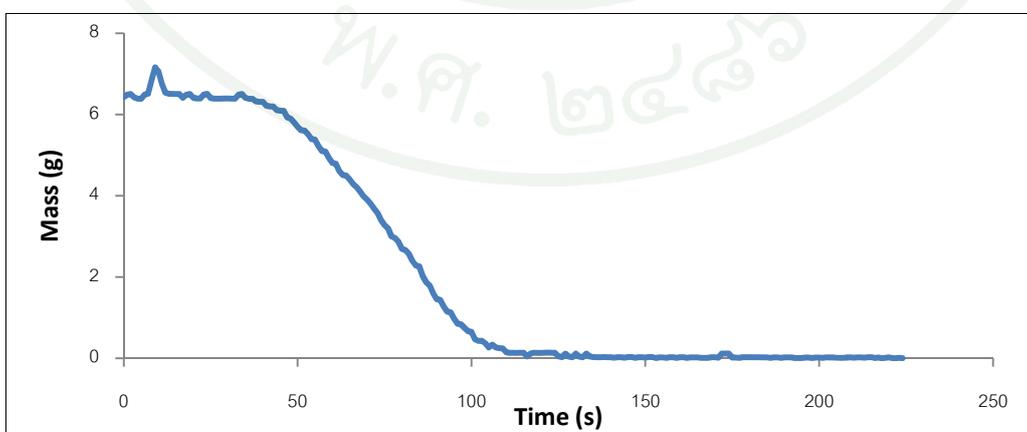
ภาพผนวกที่ ข117 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (Nylon 40-2)



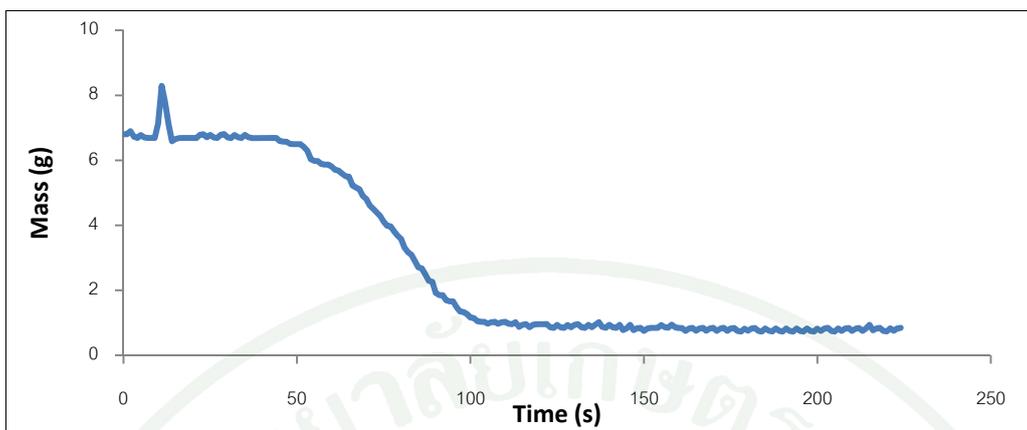
ภาพผนวกที่ ข118 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 40 kW/m^2 (Nylon 40-3)



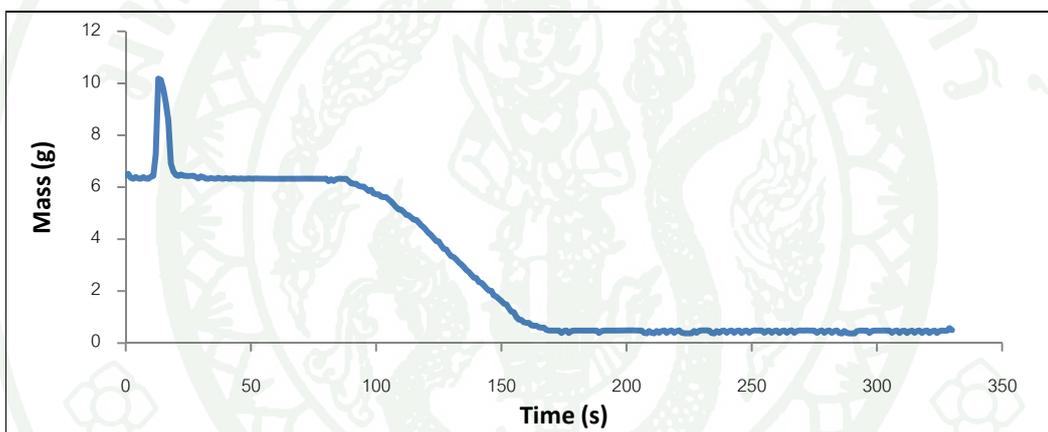
ภาพผนวกที่ ข119 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (Nylon 30-1)



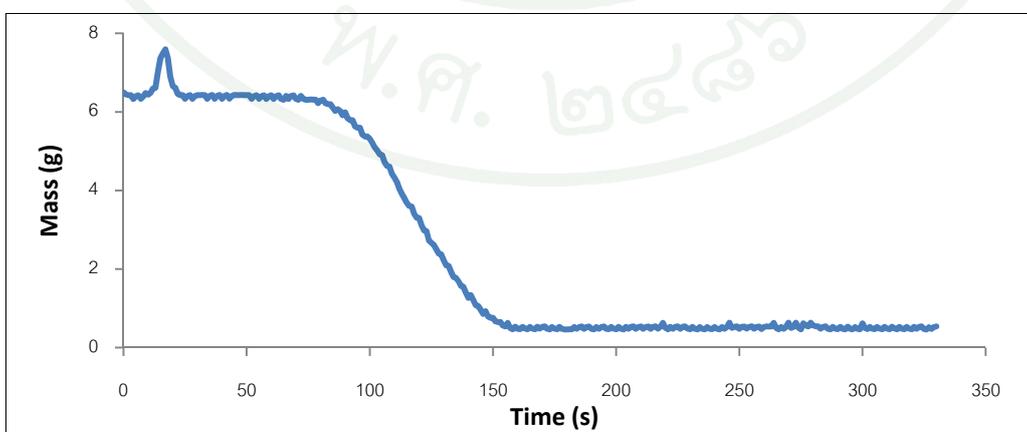
ภาพผนวกที่ ข120 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (Nylon 30-2)



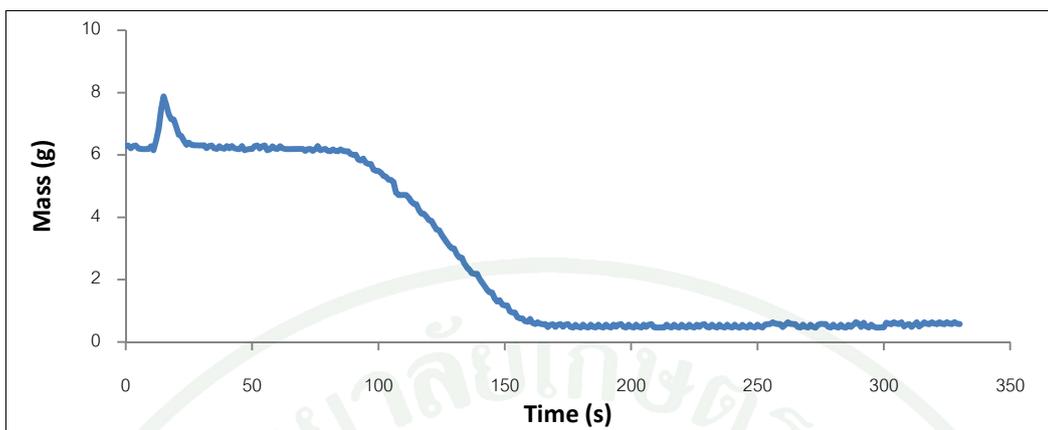
ภาพผนวกที่ ข121 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 30 kW/m^2 (Nylon 30-3)



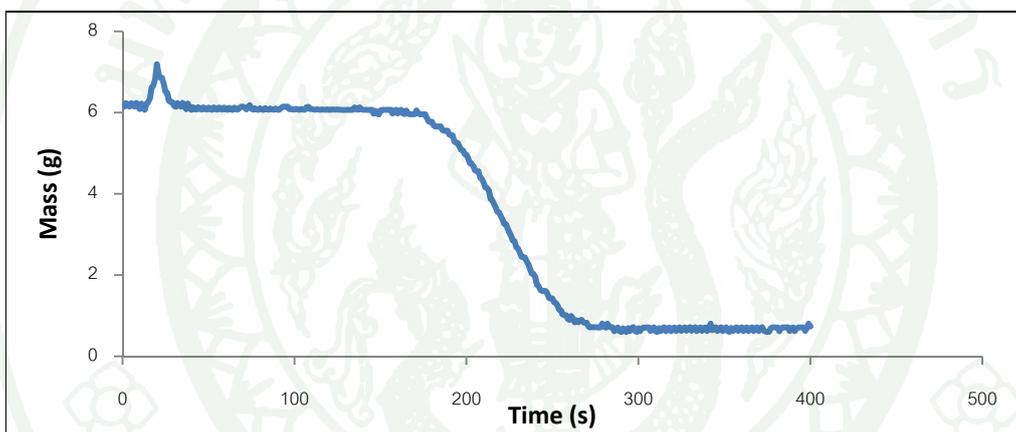
ภาพผนวกที่ ข122 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (Nylon 20-1)



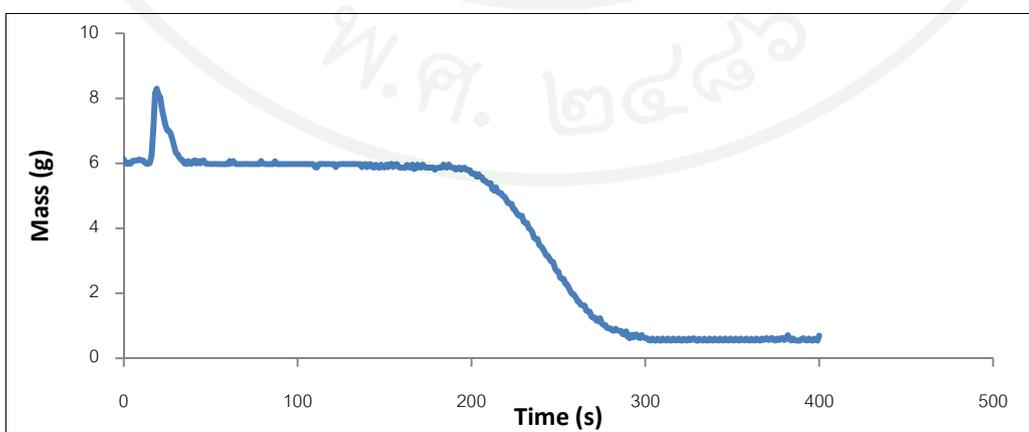
ภาพผนวกที่ ข123 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (Nylon 20-2)



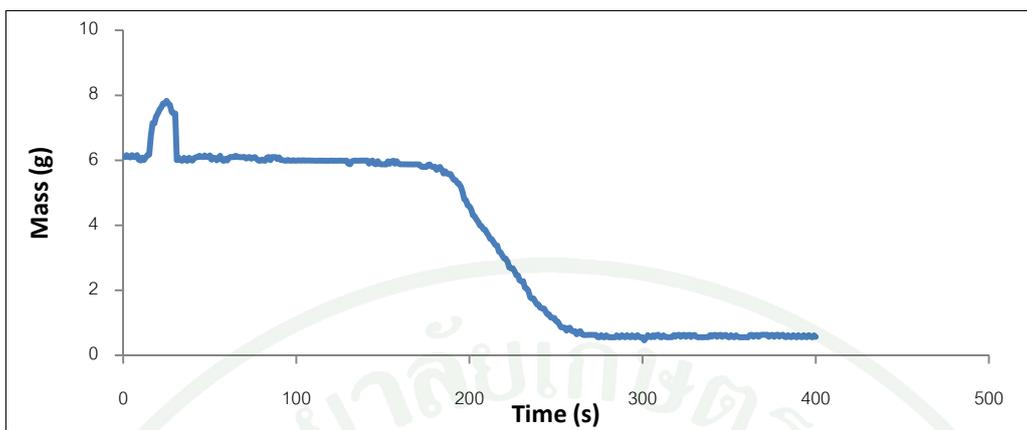
ภาพผนวกที่ ข124 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 20 kW/m^2 (Nylon 20-3)



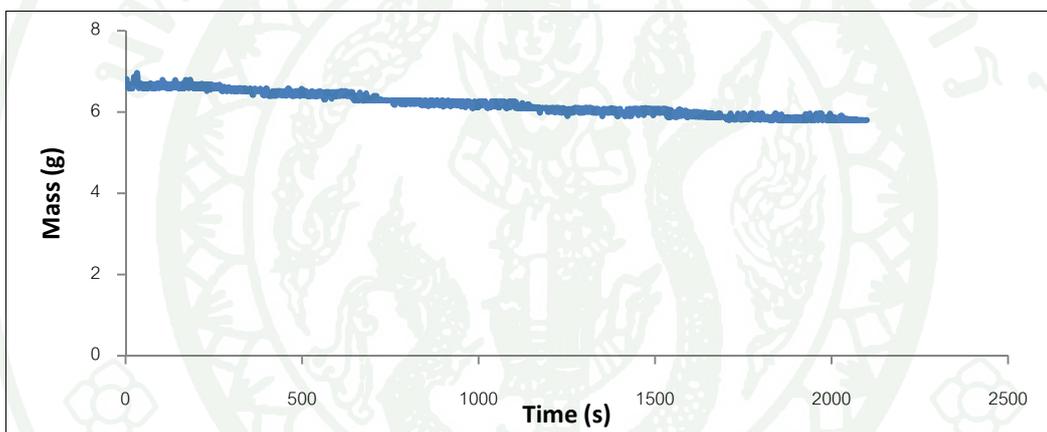
ภาพผนวกที่ ข125 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (Nylon 15-1)



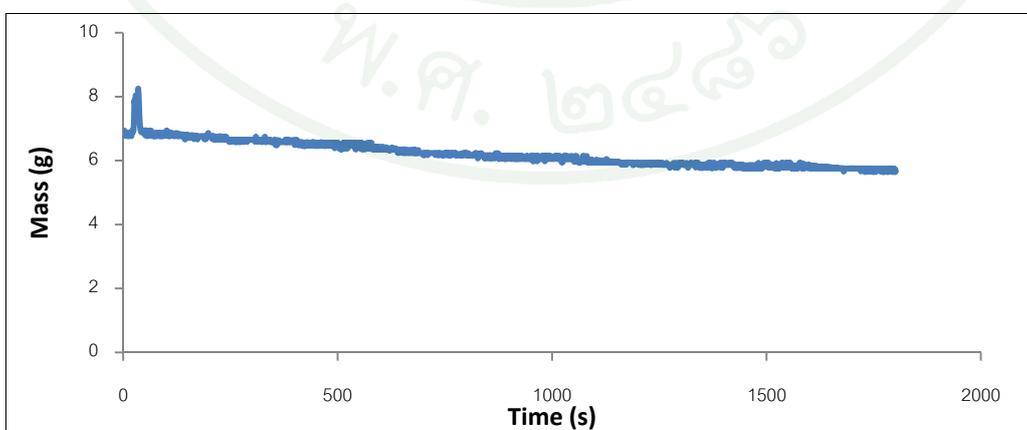
ภาพผนวกที่ ข126 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (Nylon 15-2)



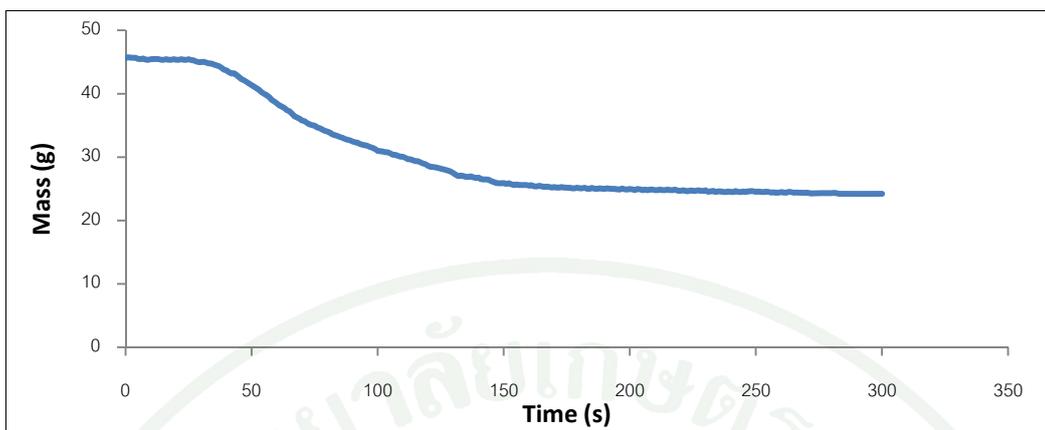
ภาพผนวกที่ ข127 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 15 kW/m^2 (Nylon 15-3)



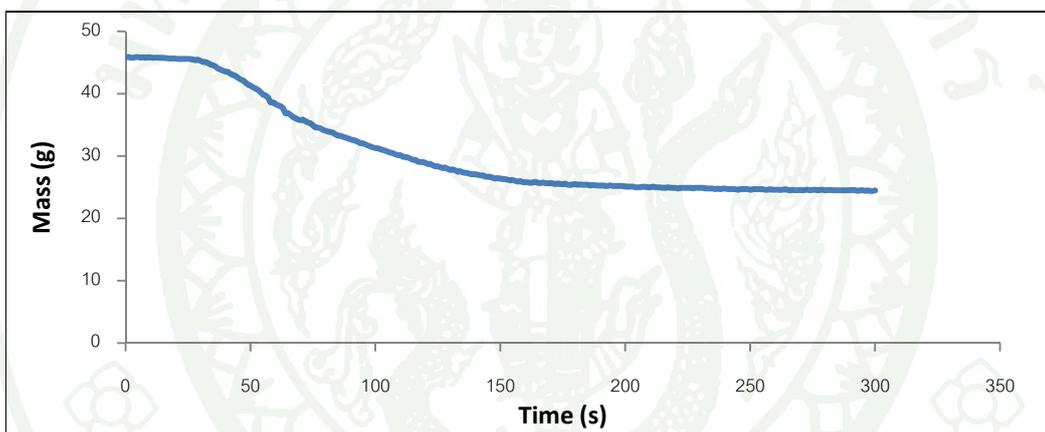
ภาพผนวกที่ ข128 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 12 kW/m^2 (Nylon 12-1)



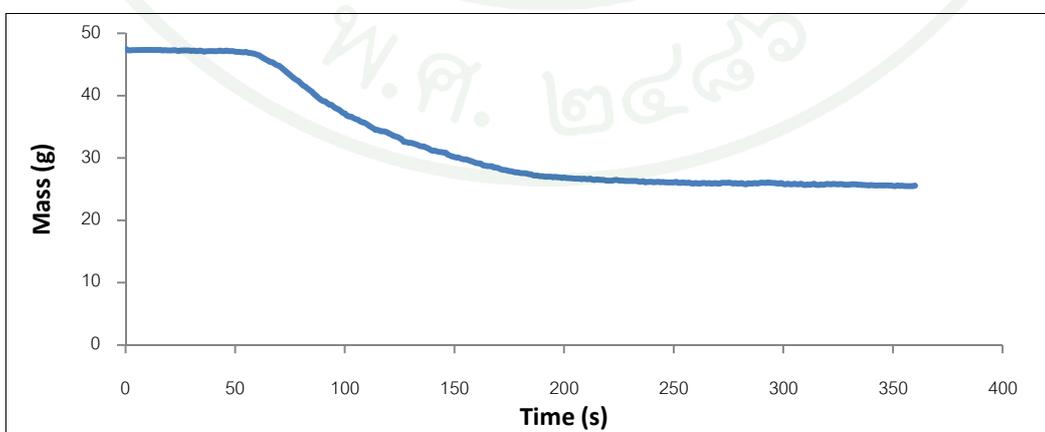
ภาพผนวกที่ ข129 แสดงการสูญเสียมวลของ Nylon หนา15mm ที่ 12 kW/m^2 (Nylon 12-2)



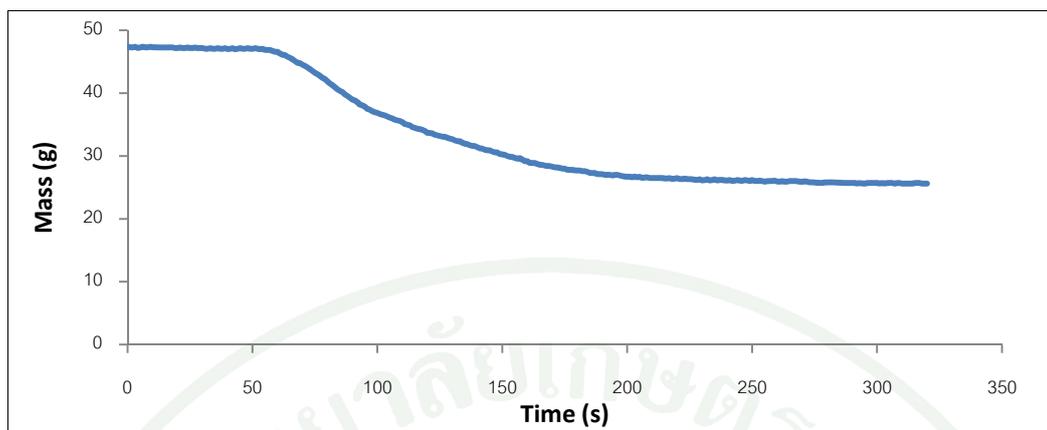
ภาพผนวกที่ ข130 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 50 kW/m^2 (PP50-1)



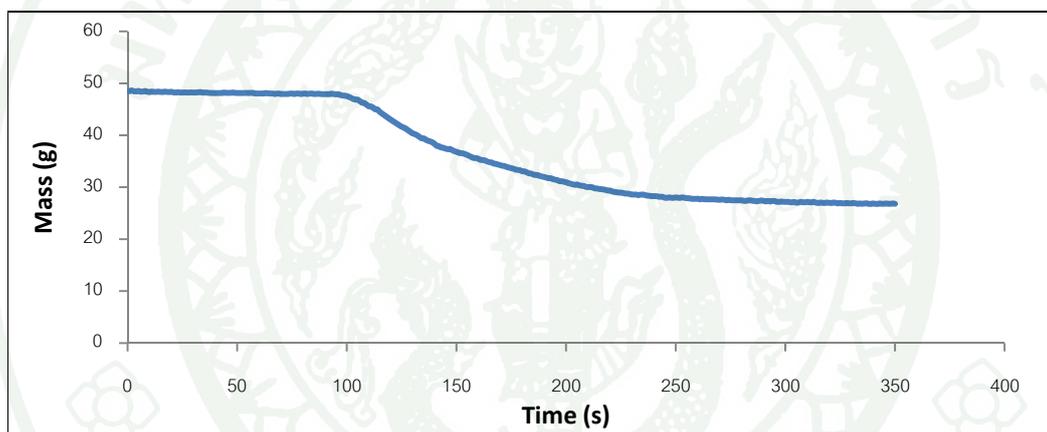
ภาพผนวกที่ ข131 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 50 kW/m^2 (PP50-2)



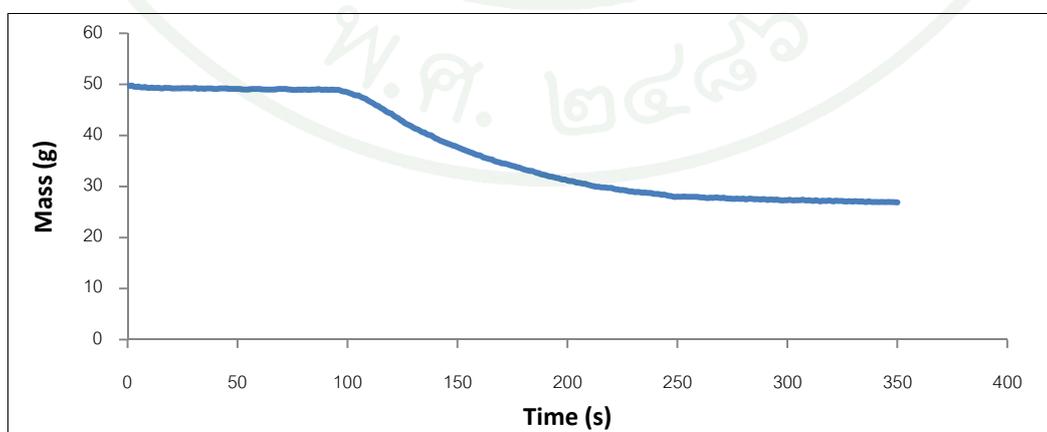
ภาพผนวกที่ ข132 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 40 kW/m^2 (PP40-1)



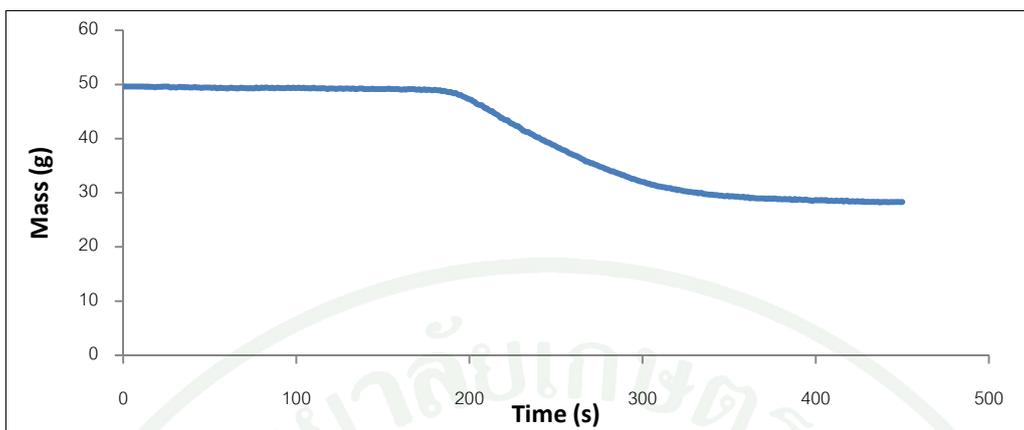
ภาพผนวกที่ ข133 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 40 kW/m^2 (PP40-2)



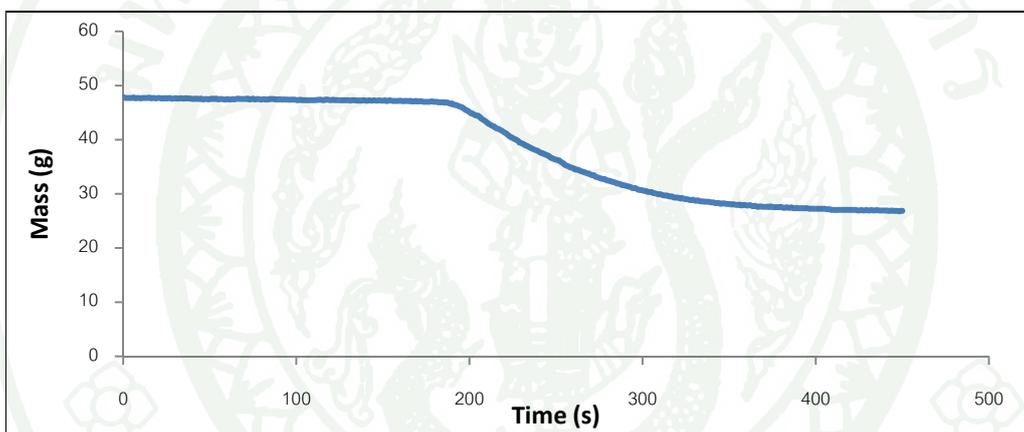
ภาพผนวกที่ ข134 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 30 kW/m^2 (PP30-1)



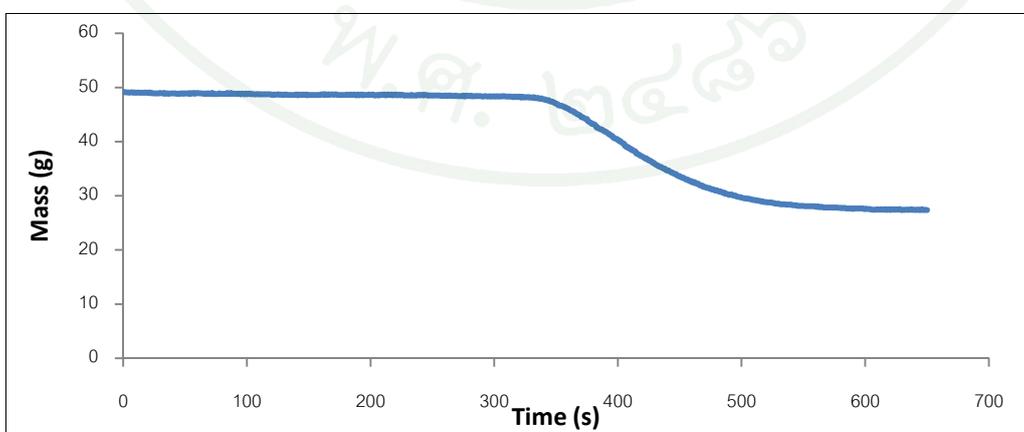
ภาพผนวกที่ ข135 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 30 kW/m^2 (PP30-2)



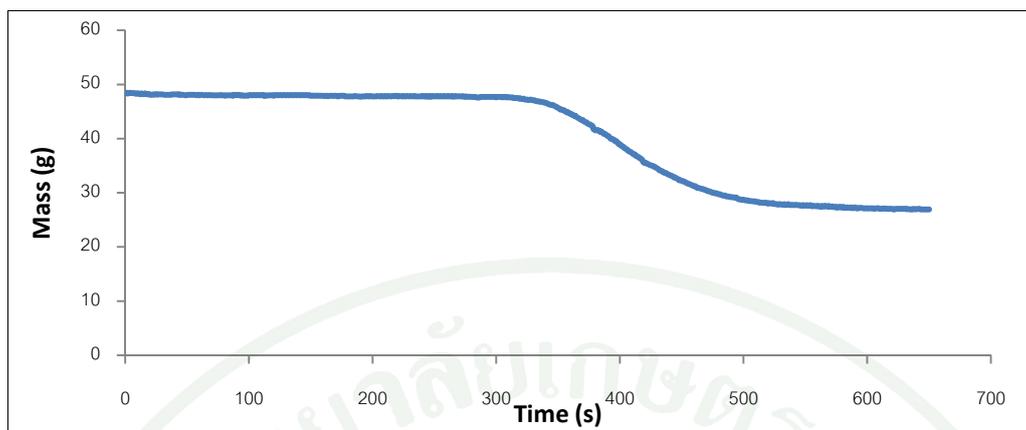
ภาพผนวกที่ ข136 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 20 kW/m^2 (PP20-1)



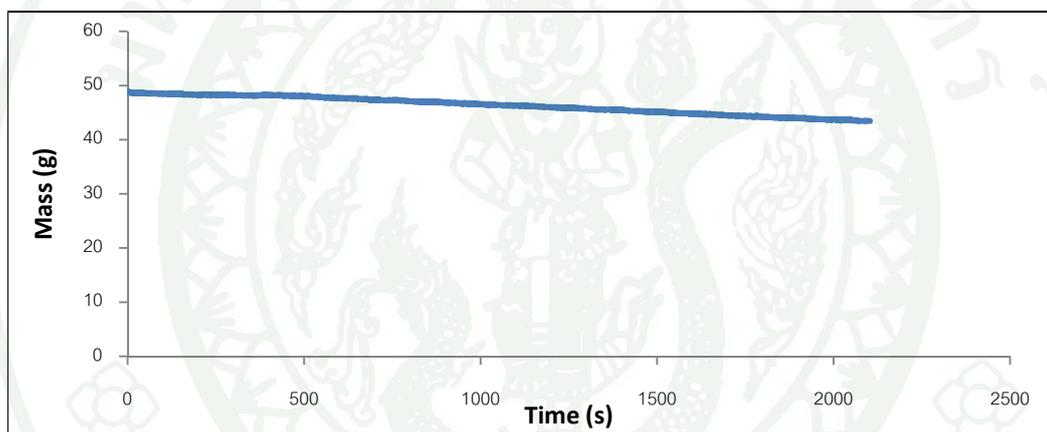
ภาพผนวกที่ ข137 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 20 kW/m^2 (PP20-2)



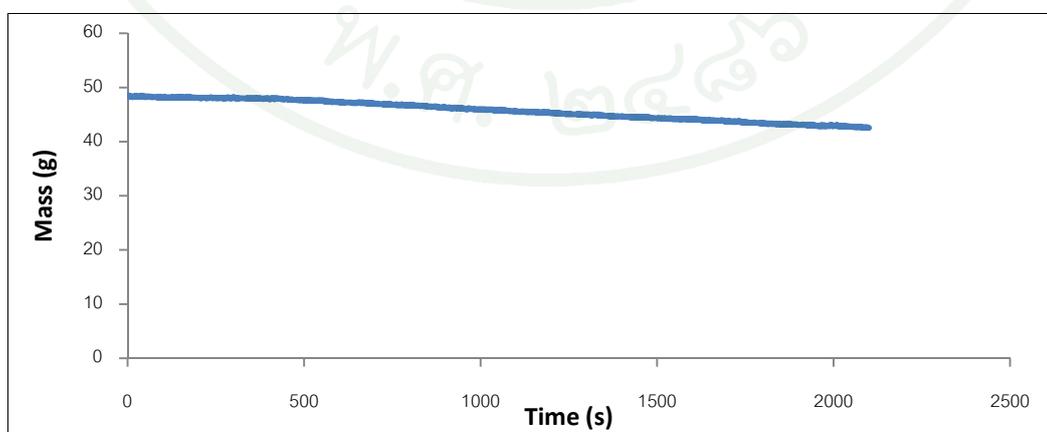
ภาพผนวกที่ ข138 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 15 kW/m^2 (PP15-1)



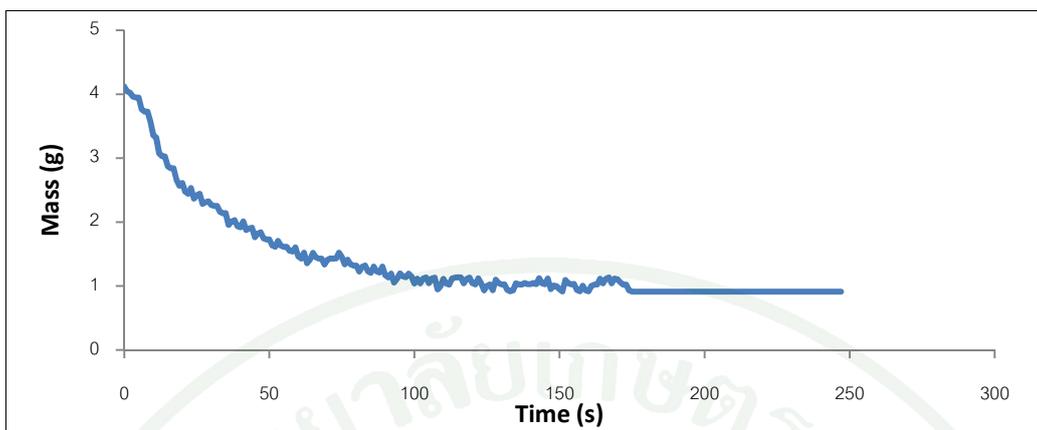
ภาพผนวกที่ ข139 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 15 kW/m^2 (PP15-2)



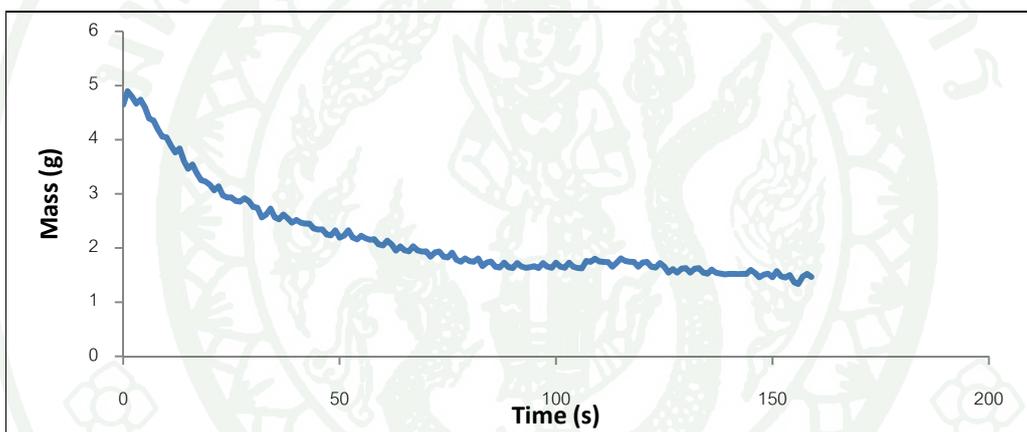
ภาพผนวกที่ ข140 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 12 kW/m^2 (PP12-1)



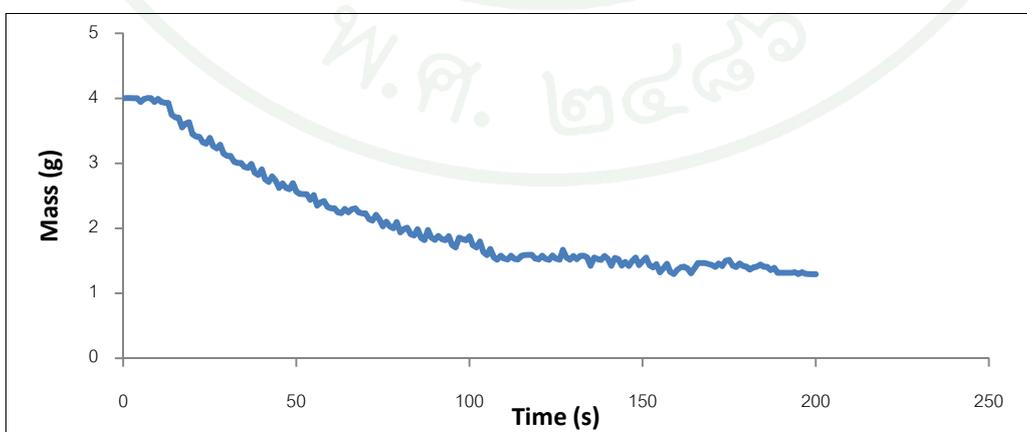
ภาพผนวกที่ ข141 แสดงการสูญเสียมวลของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ 12 kW/m^2 (PP12-2)



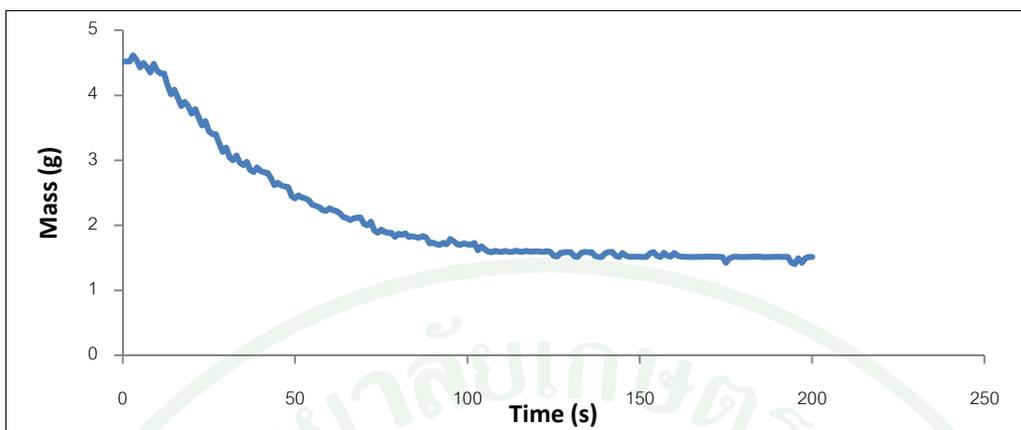
ภาพผนวกที่ ข142 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 50 kW/m^2 (Viny150-1)



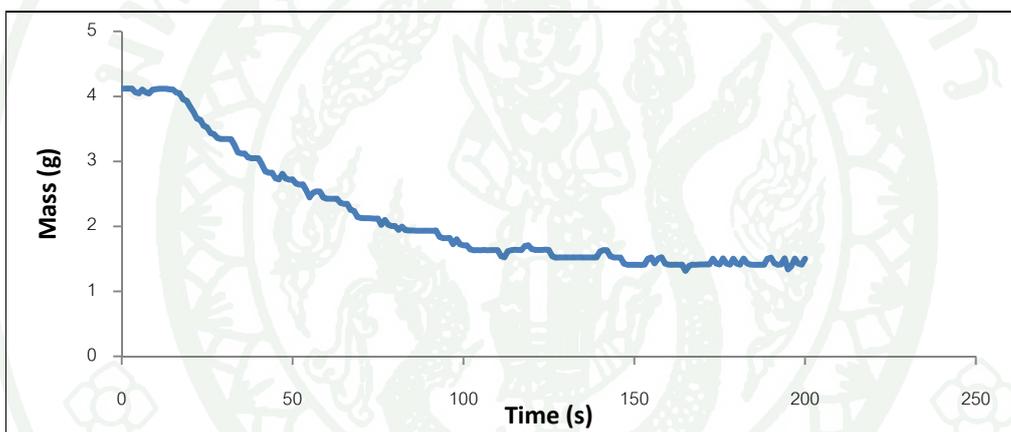
ภาพผนวกที่ ข143 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 50 kW/m^2 (Viny150-2)



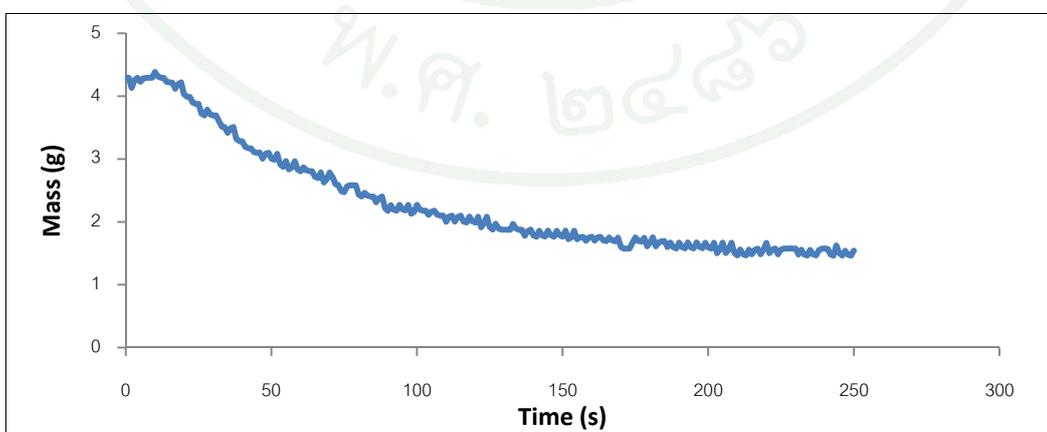
ภาพผนวกที่ ข144 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 40 kW/m^2 (Viny140-1)



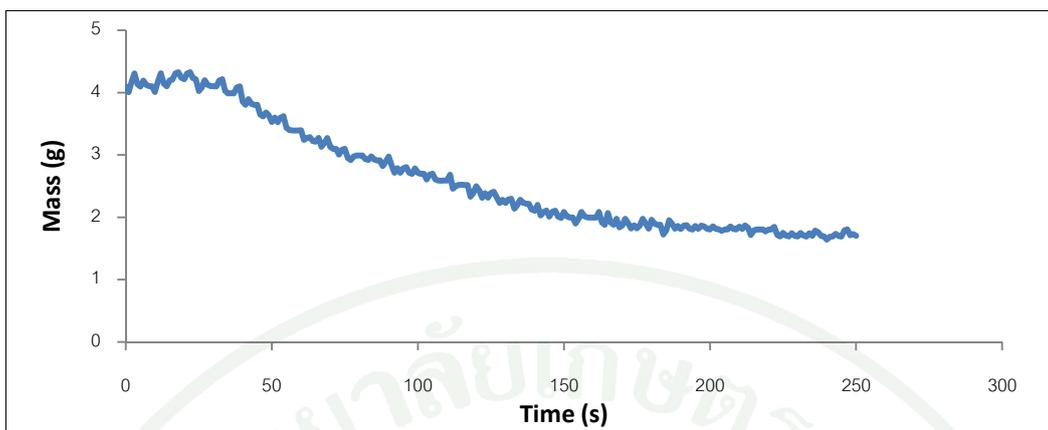
ภาพผนวกที่ ข145 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 40 kW/m^2 (Viny140-2)



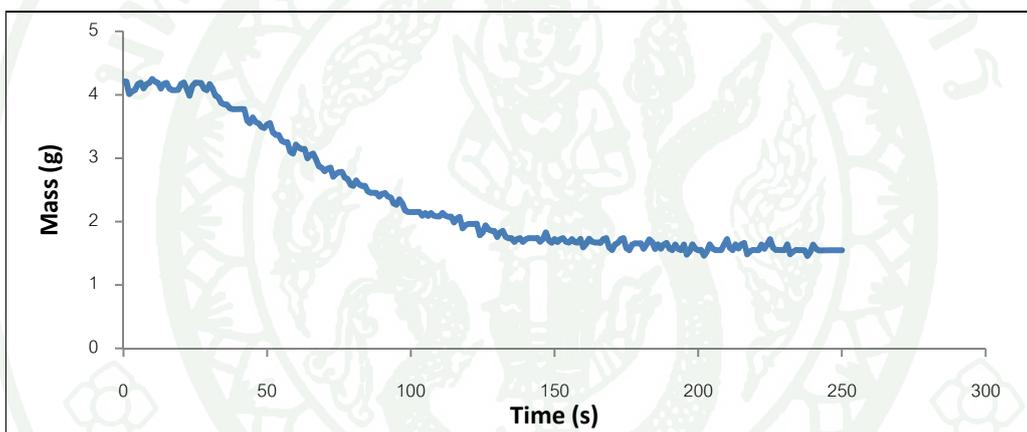
ภาพผนวกที่ ข146 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 30 kW/m^2 (Viny130-1)



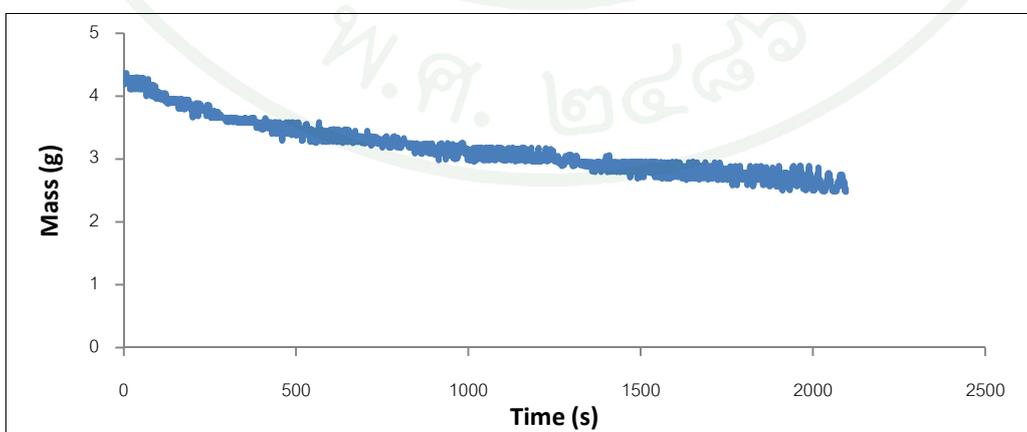
ภาพผนวกที่ ข147 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 30 kW/m^2 (Viny130-2)



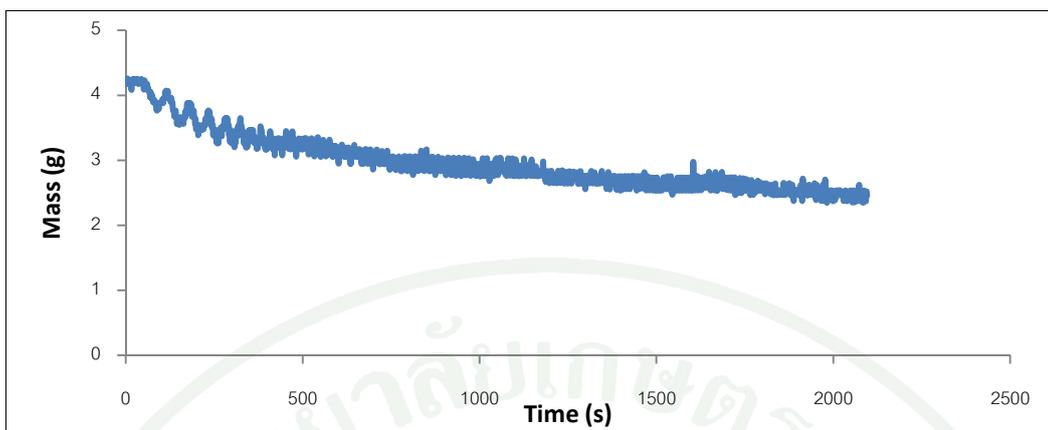
ภาพผนวกที่ ข148 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 20 kW/m^2 (Viny120-1)



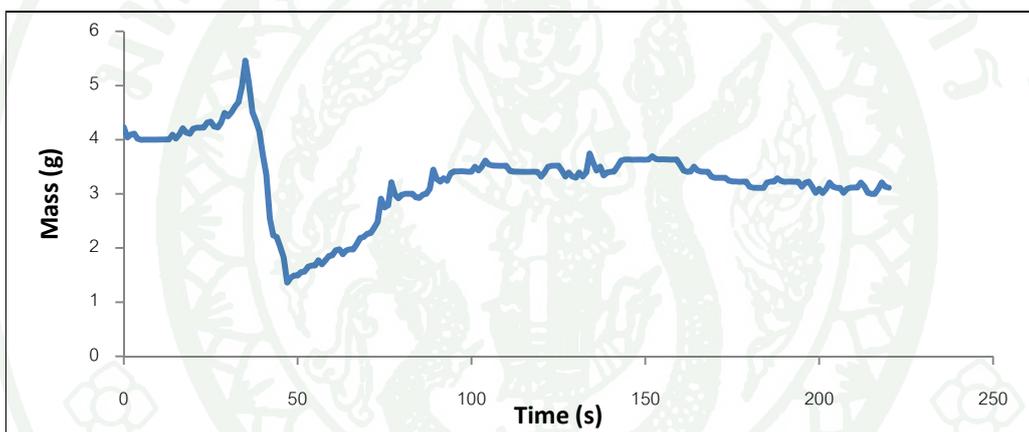
ภาพผนวกที่ ข149 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 20 kW/m^2 (Viny120-2)



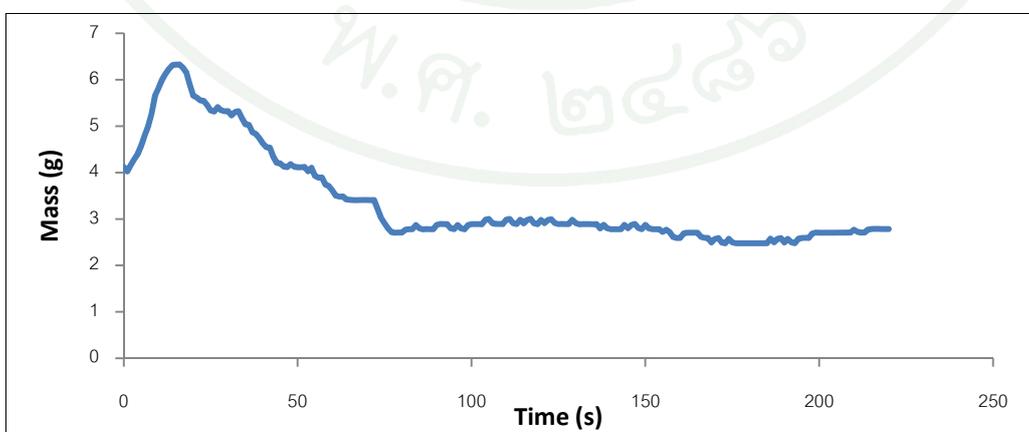
ภาพผนวกที่ ข150 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 15 kW/m^2 (Viny115-1)



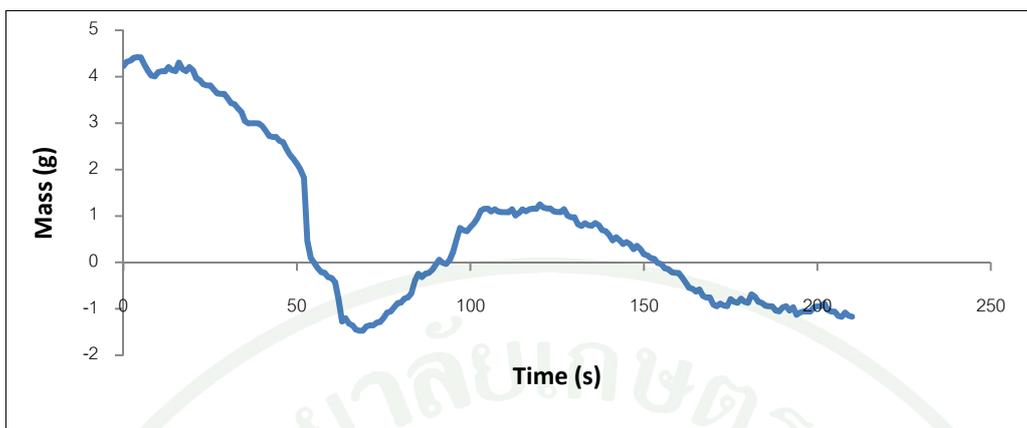
ภาพผนวกที่ ข151 แสดงการสูญเสียมวลของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 15 kW/m^2 (Viny115-2)



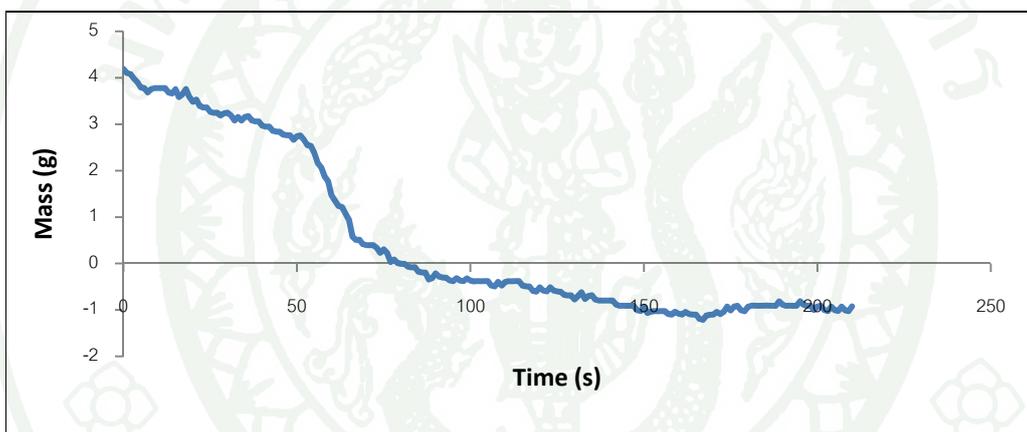
ภาพผนวกที่ ข152 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา 10mm ที่ 50 kW/m^2 (PE-F 50-1)



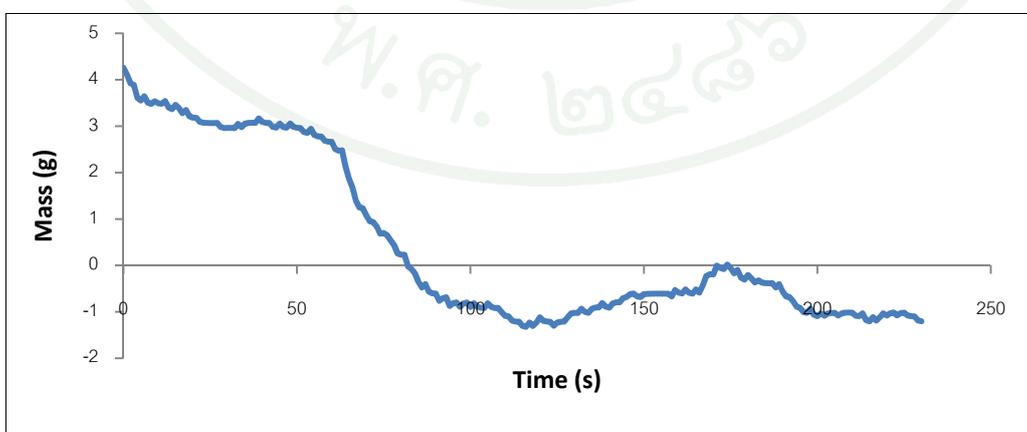
ภาพผนวกที่ ข153 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา 10mm ที่ 50 kW/m^2 (PE-F 50-2)



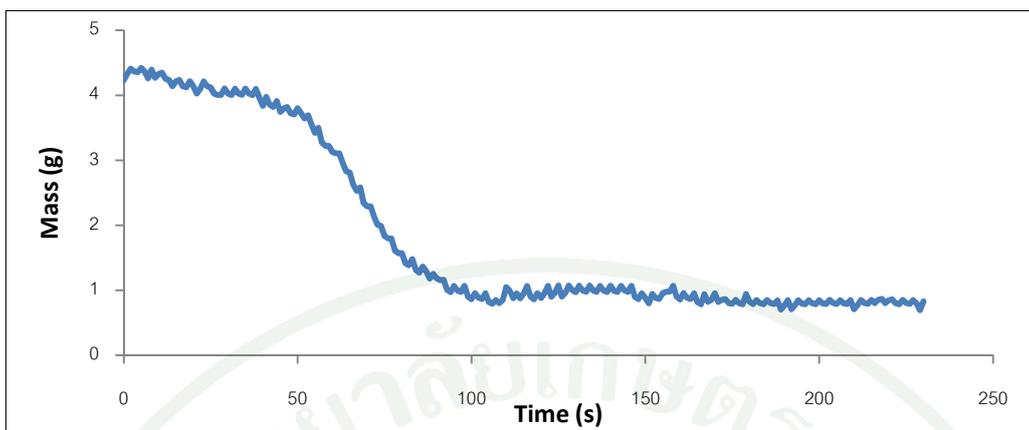
ภาพผนวกที่ ข154 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 40 kW/m^2 (PE-F 40-1)



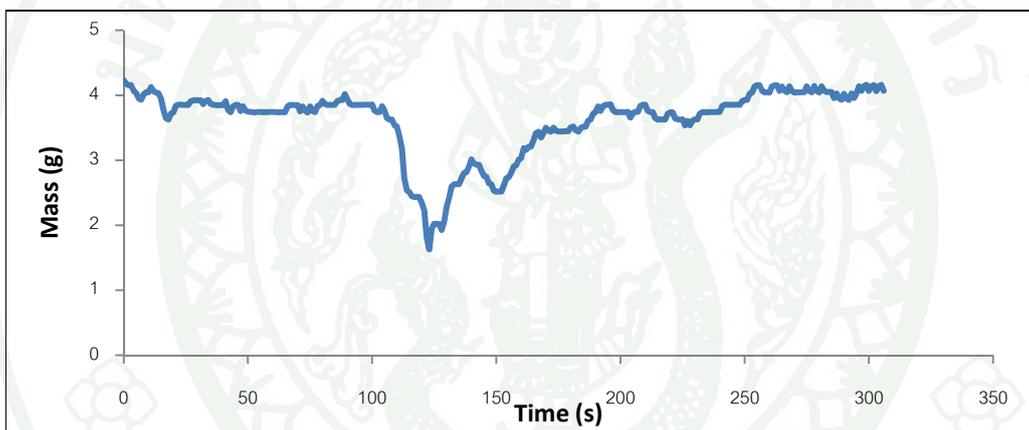
ภาพผนวกที่ ข155 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 40 kW/m^2 (PE-F 40-2)



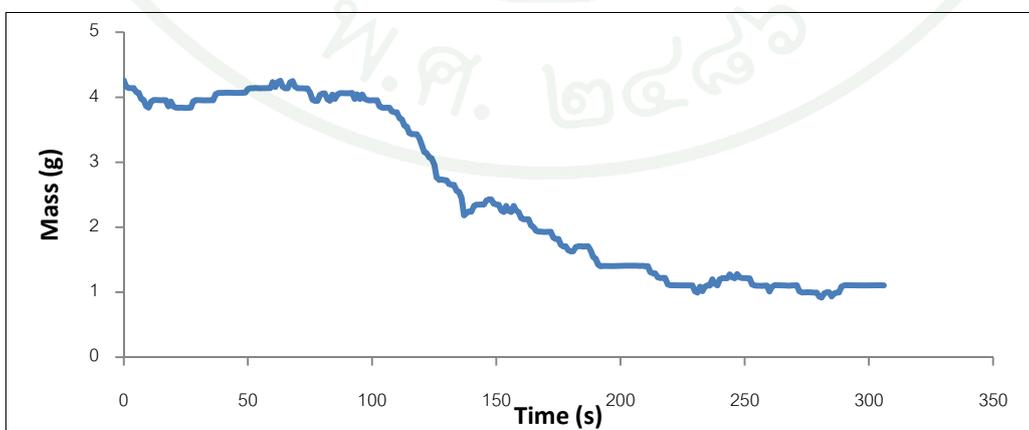
ภาพผนวกที่ ข156 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 30 kW/m^2 (PE-F 30-1)



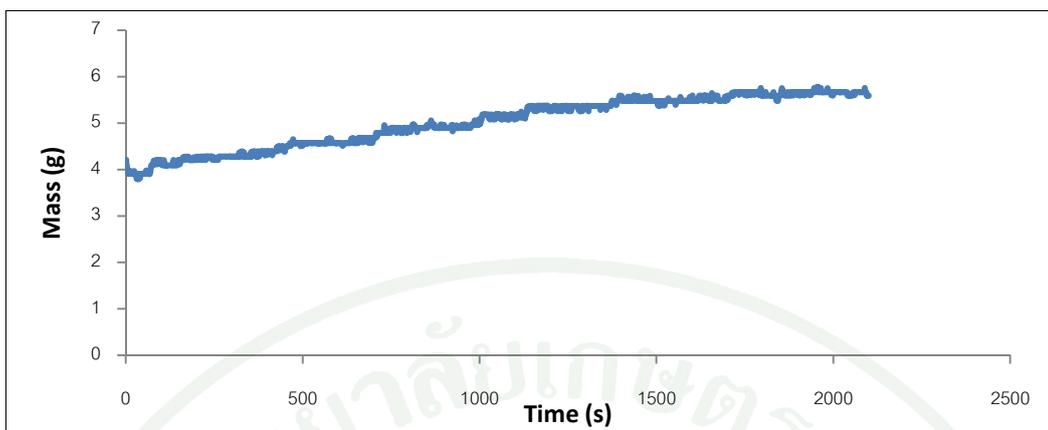
ภาพผนวกที่ ข157 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 30 kW/m^2 (PE-F 30-2)



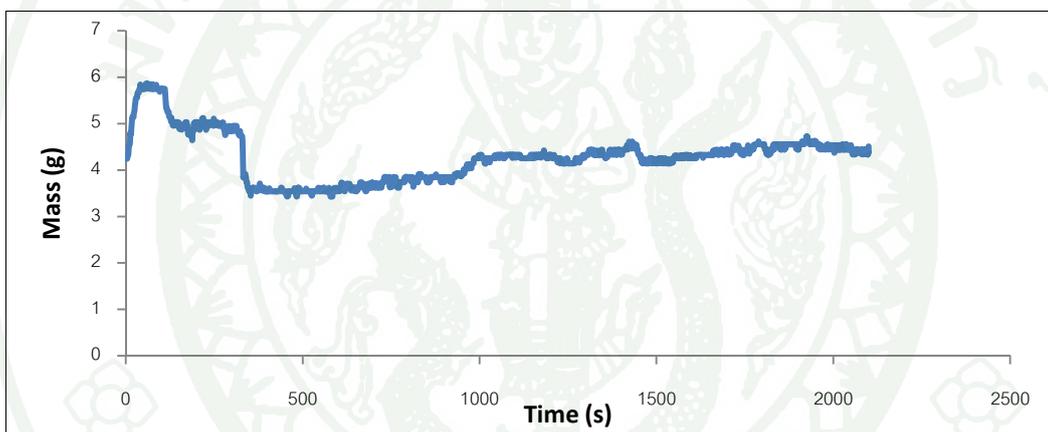
ภาพผนวกที่ ข158 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 20 kW/m^2 (PE-F 20-1)



ภาพผนวกที่ ข159 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 20 kW/m^2 (PE-F 20-2)

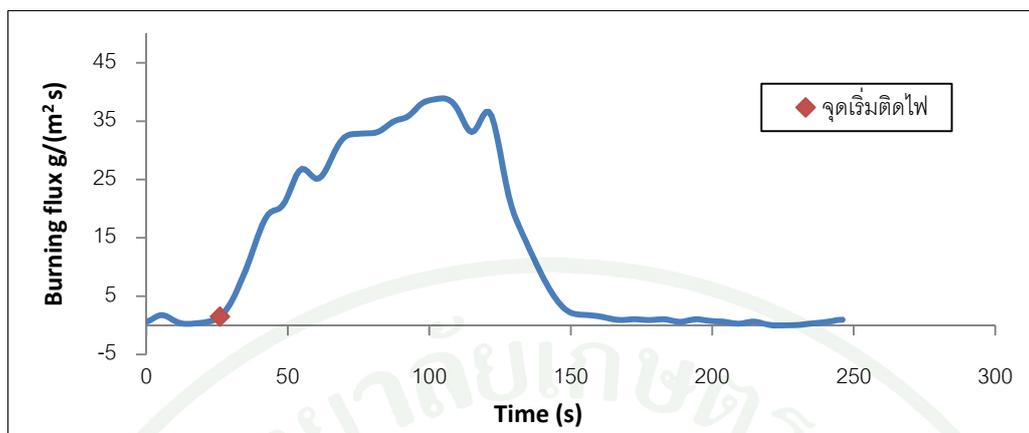


ภาพผนวกที่ ข160 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 15 kW/m^2 (PE-F 15-1)

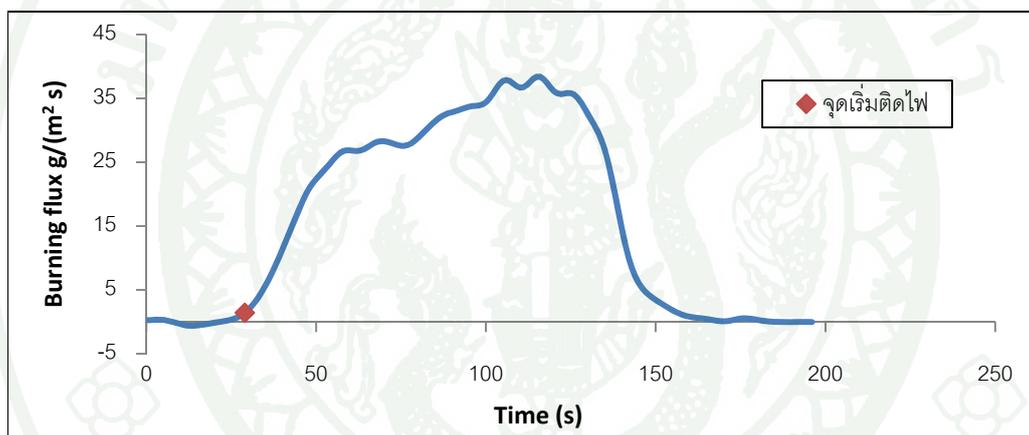


ภาพผนวกที่ ข161 แสดงการสูญเสียมวลของ PE Foam หนา10mm ที่ 15 kW/m^2 (PE-F 15-2)

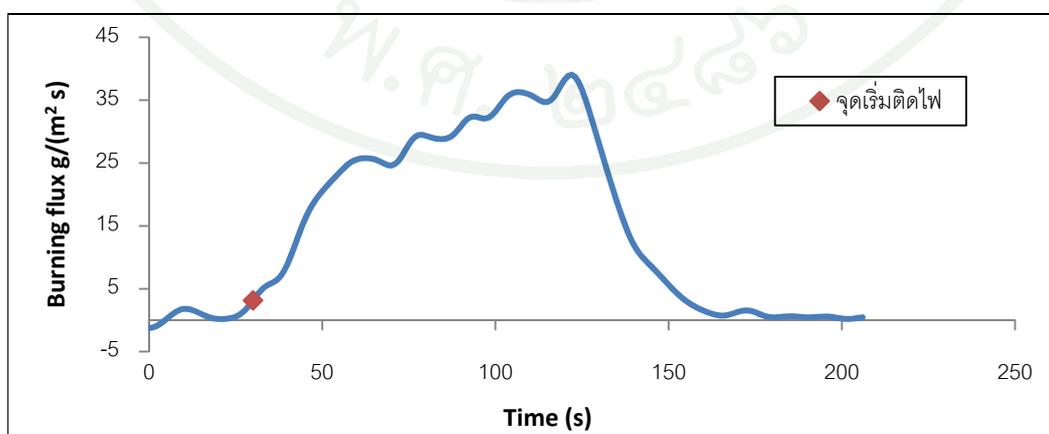




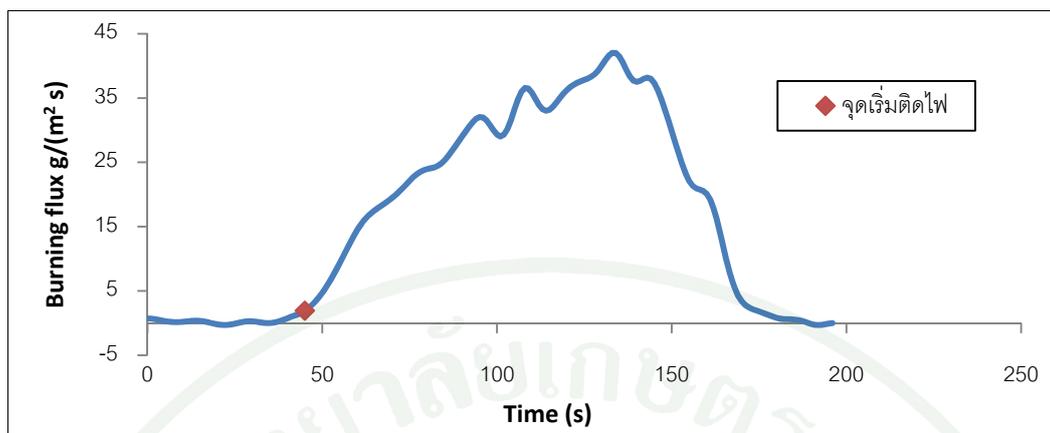
ภาพผนวกที่ ค1 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PMMA50-1)



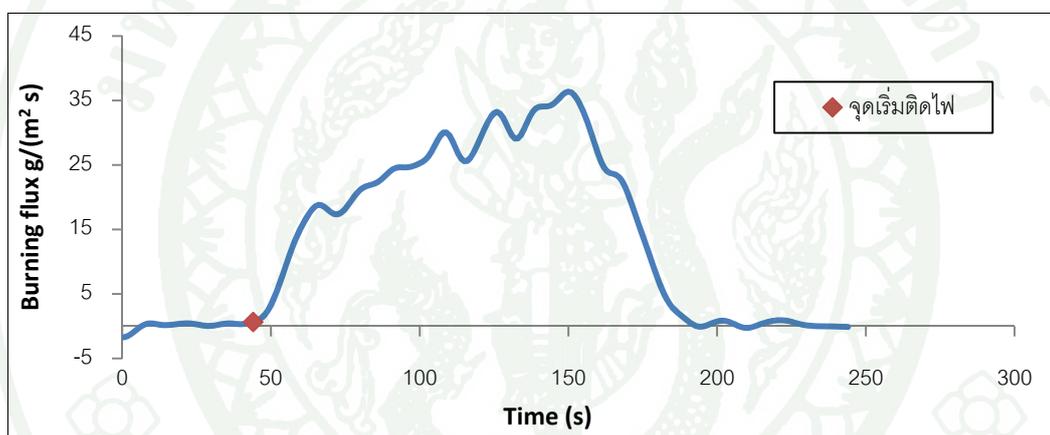
ภาพผนวกที่ ค2 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PMMA50-2)



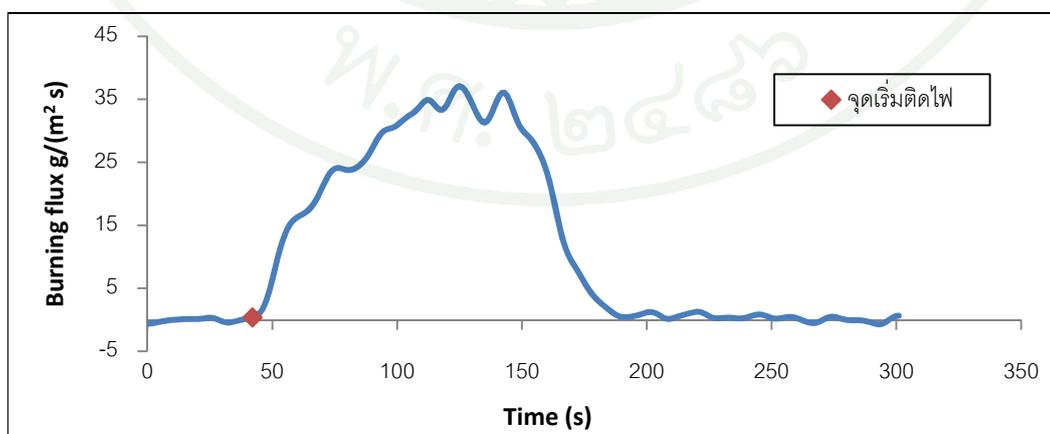
ภาพผนวกที่ ค3 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PMMA50-3)



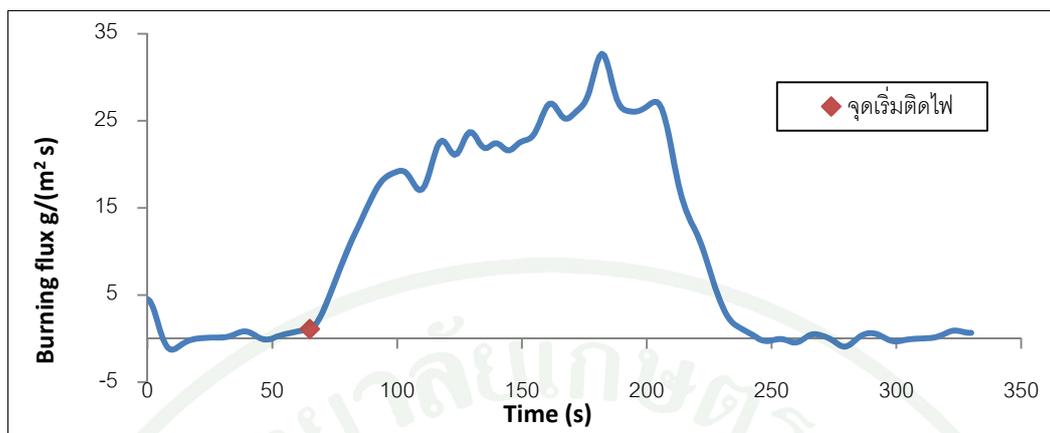
ภาพผนวกที่ ค4 แสดงฟลักซ์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (PMMA40-1)



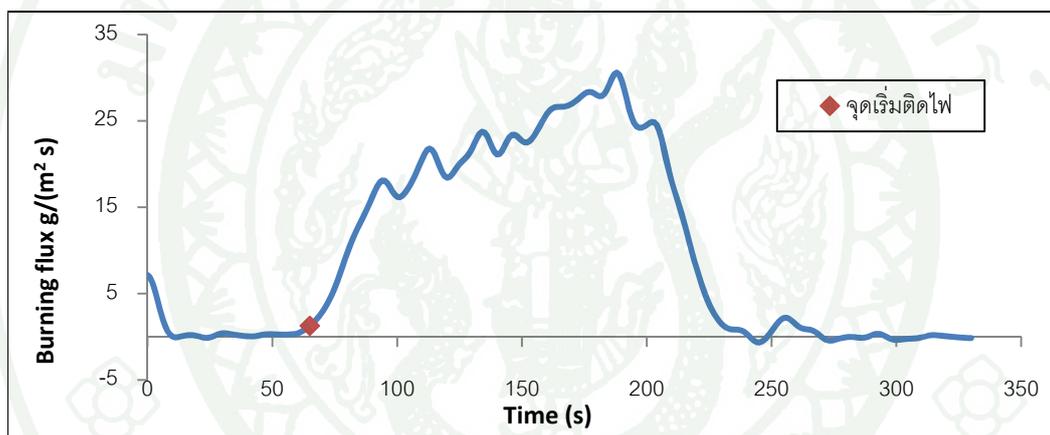
ภาพผนวกที่ ค5 แสดงฟลักซ์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (PMMA40-2)



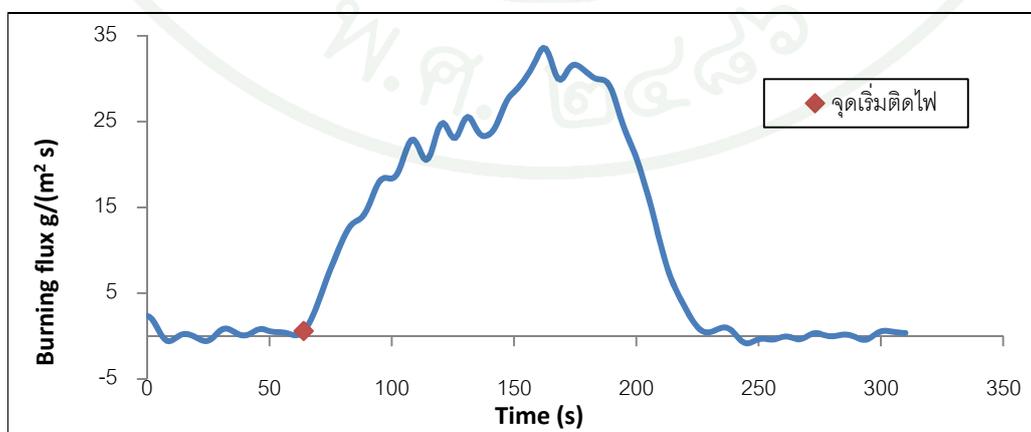
ภาพผนวกที่ ค6 แสดงฟลักซ์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (PMMA40-3)



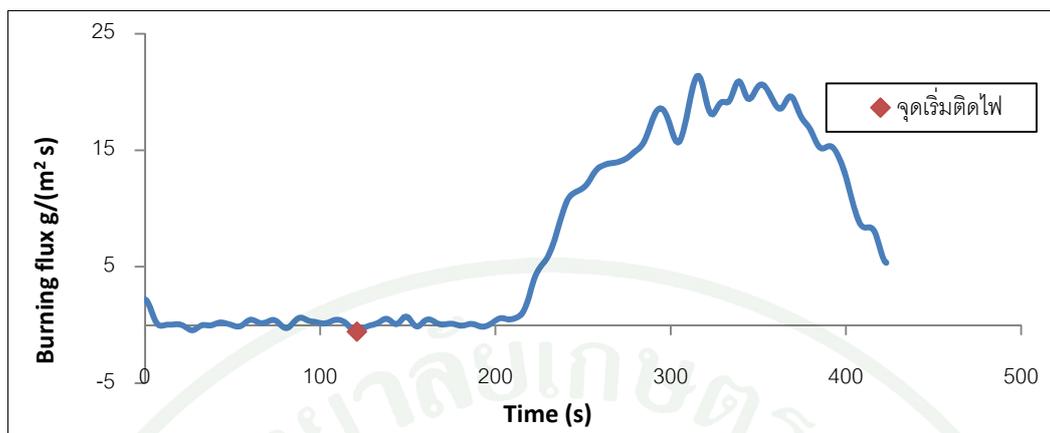
ภาพผนวกที่ ๗ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $30 kW/m^2$ (PMMA30-1)



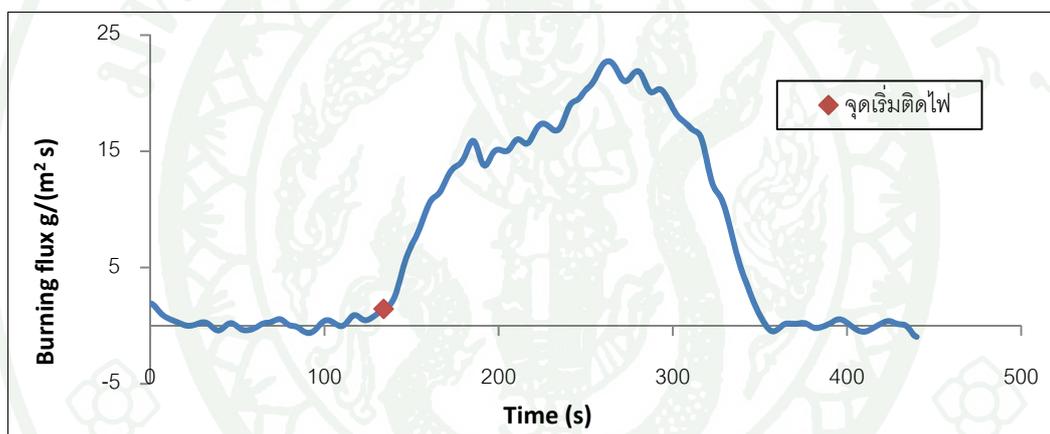
ภาพผนวกที่ ๘ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $30 kW/m^2$ (PMMA30-2)



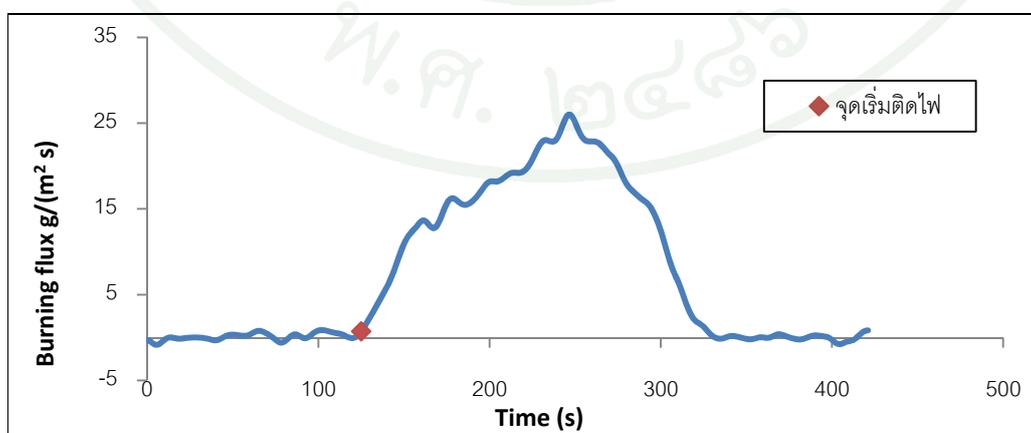
ภาพผนวกที่ ๙ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $30 kW/m^2$ (PMMA30-3)



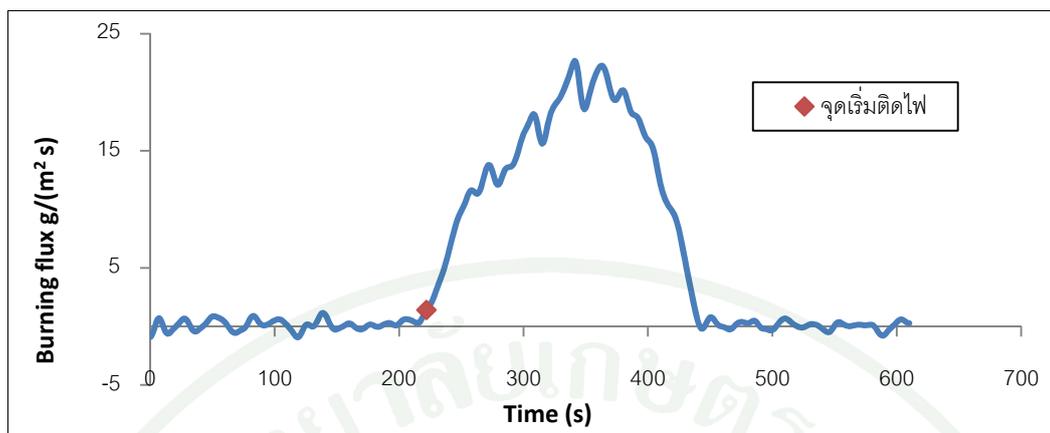
ภาพผนวกที่ ค10 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $20 \text{ kW}/m^2$ (PMMA20-1)



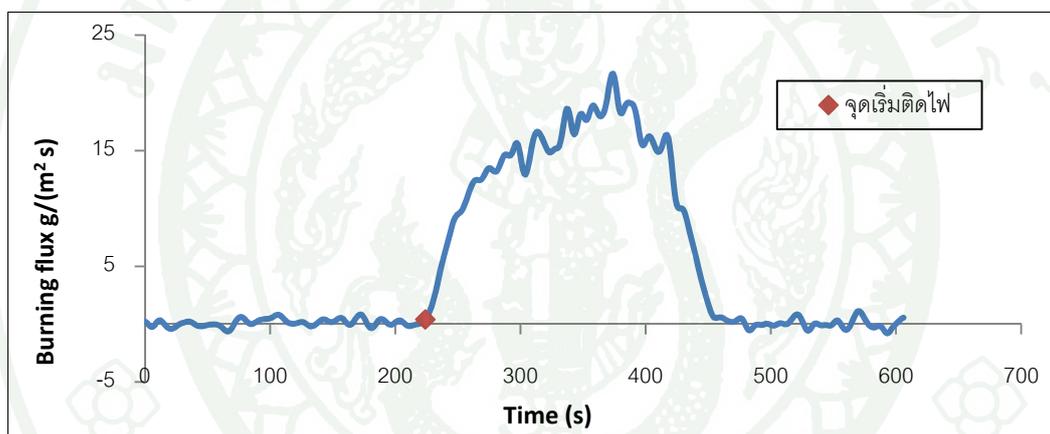
ภาพผนวกที่ ค11 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $20 \text{ kW}/m^2$ (PMMA20-2)



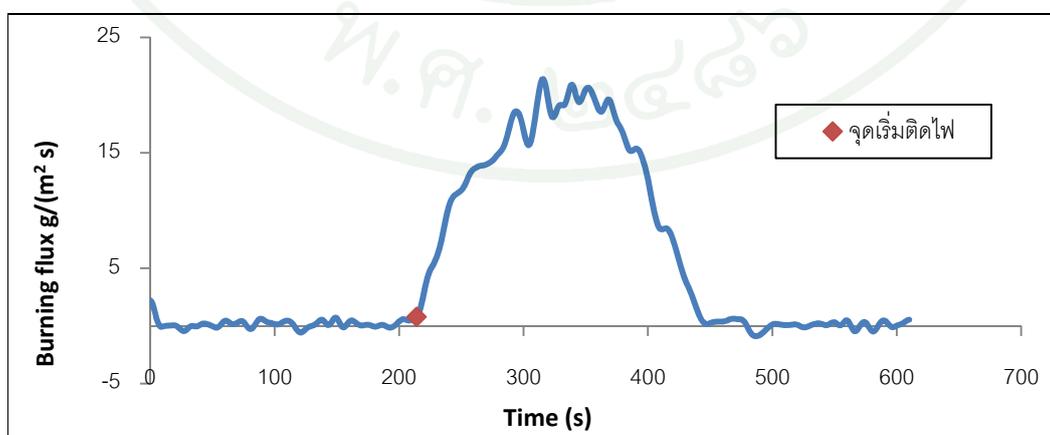
ภาพผนวกที่ ค12 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $20 \text{ kW}/m^2$ (PMMA20-3)



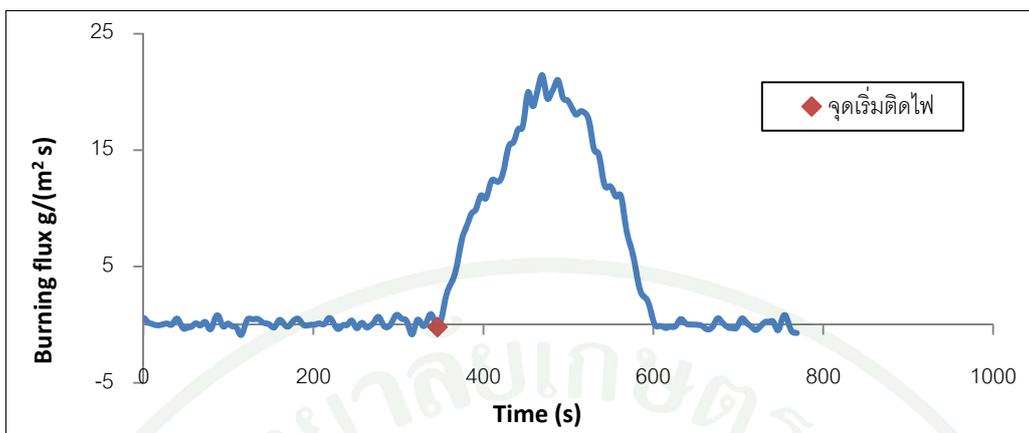
ภาพผนวกที่ ค13 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $15 kW/m^2$ (PMMA15-1)



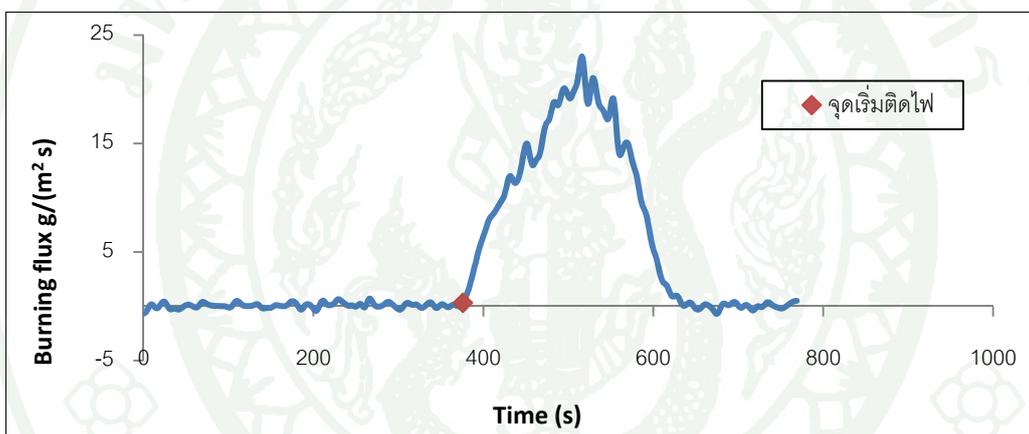
ภาพผนวกที่ ค14 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $15 kW/m^2$ (PMMA15-2)



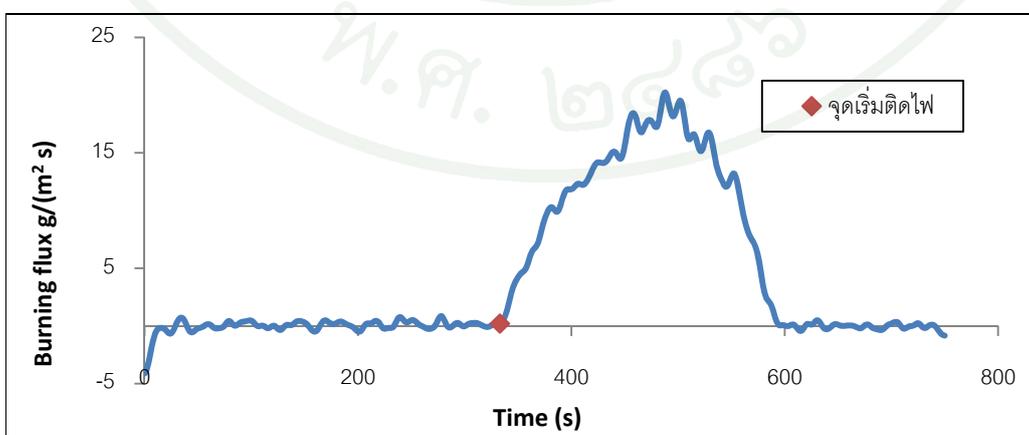
ภาพผนวกที่ ค15 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $15 kW/m^2$ (PMMA15-3)



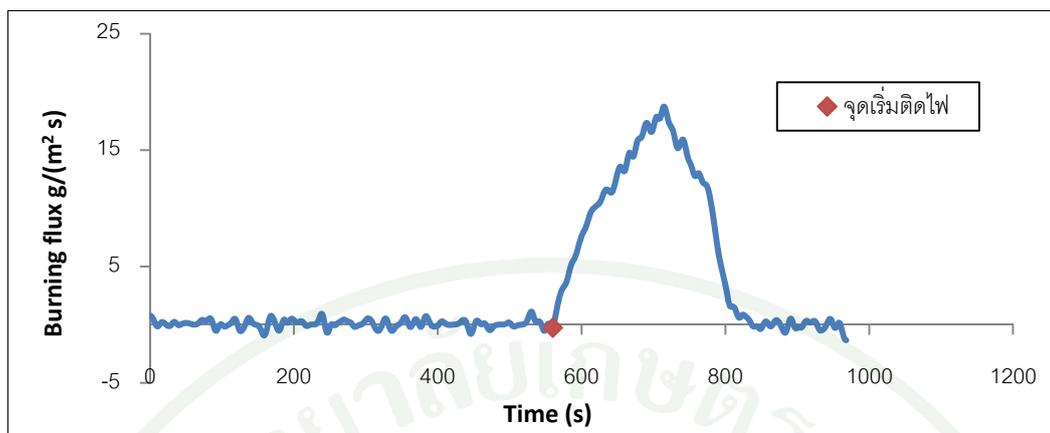
ภาพผนวกที่ ค16 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (PMMA12-1)



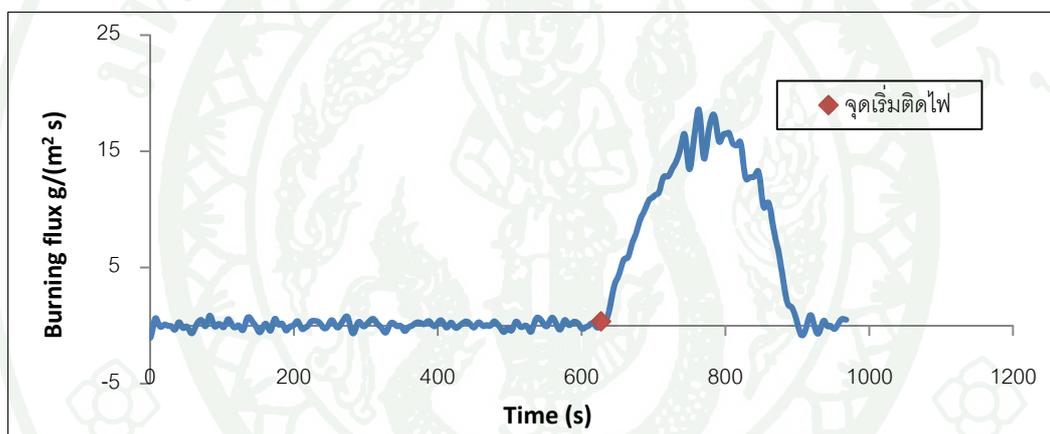
ภาพผนวกที่ ค17 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (PMMA12-2)



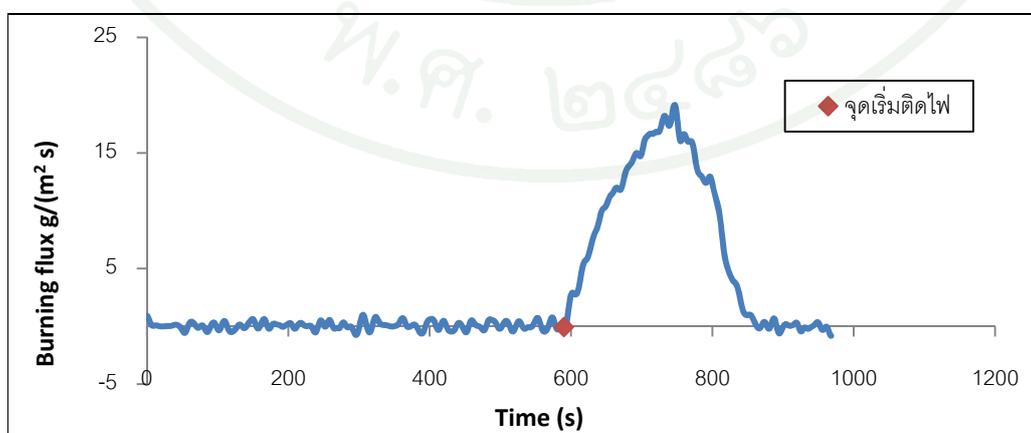
ภาพผนวกที่ ค18 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ 12 kW/m^2 (PMMA12-3)



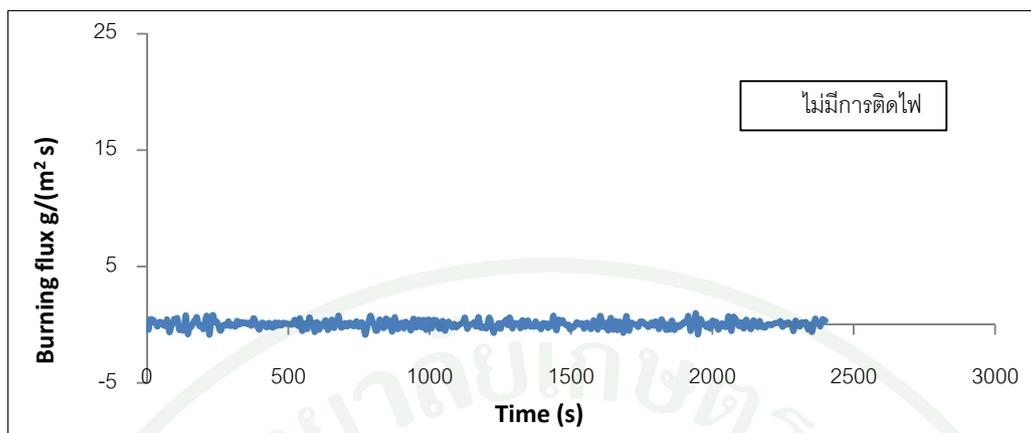
ภาพผนวกที่ ค19 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หน้า 3 mm ที่ $10 \text{ kW}/\text{m}^2$ (PMMA10-1)



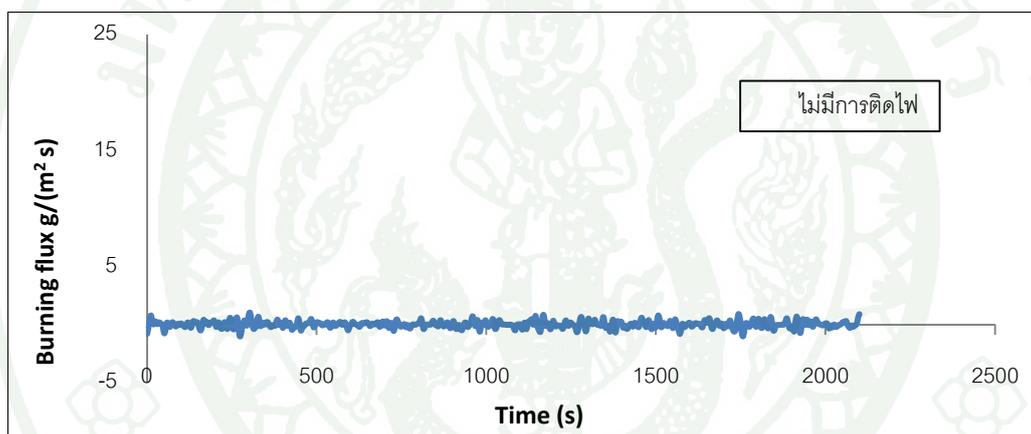
ภาพผนวกที่ ค20 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หน้า 3 mm ที่ $10 \text{ kW}/\text{m}^2$ (PMMA10-2)



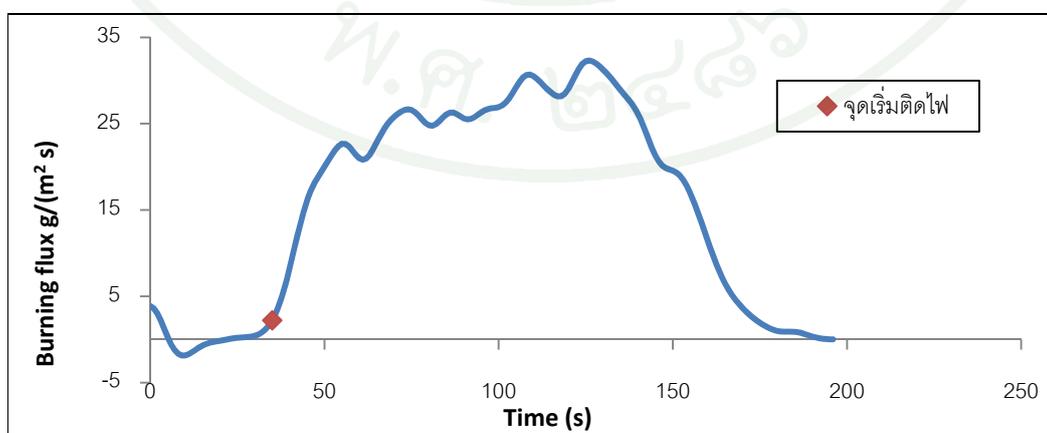
ภาพผนวกที่ ค21 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หน้า 3 mm ที่ $10 \text{ kW}/\text{m}^2$ (PMMA10-3)



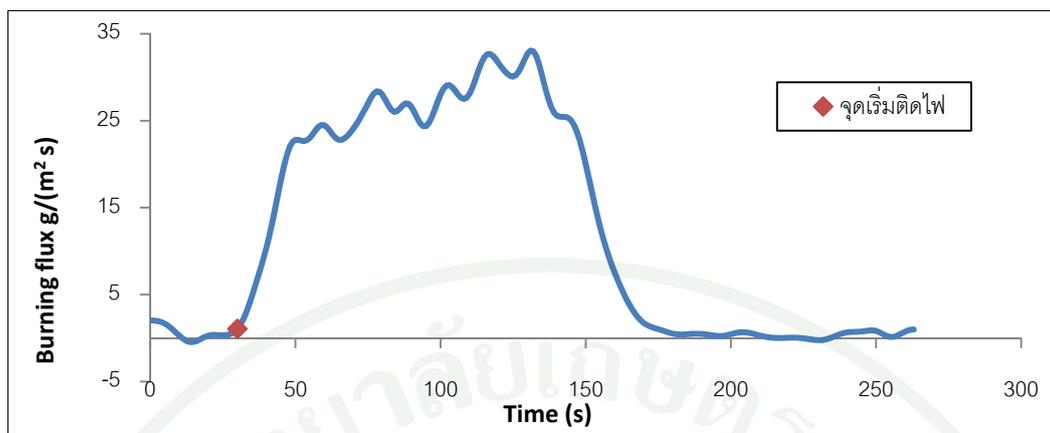
ภาพผนวกที่ ค22 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $8 kW/m^2$ (PMMA8-1)



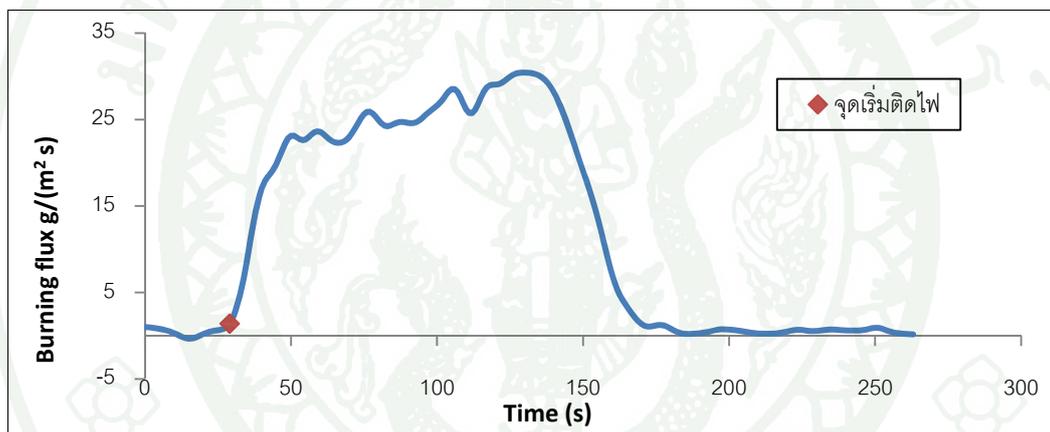
ภาพผนวกที่ ค23 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PMMA หนา 3 mm ที่ $8 kW/m^2$ (PMMA8-2)



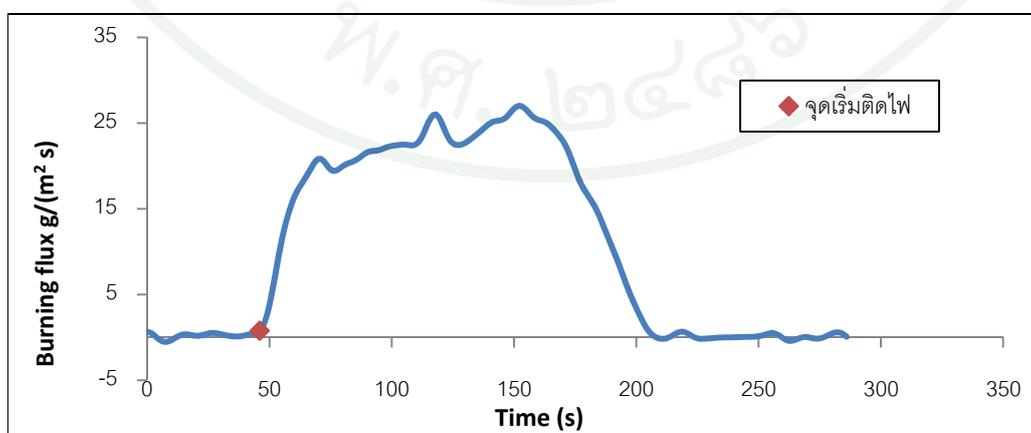
ภาพผนวกที่ ค24 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หนา 3 mm ที่ $50 kW/m^2$ (ABS50-1)



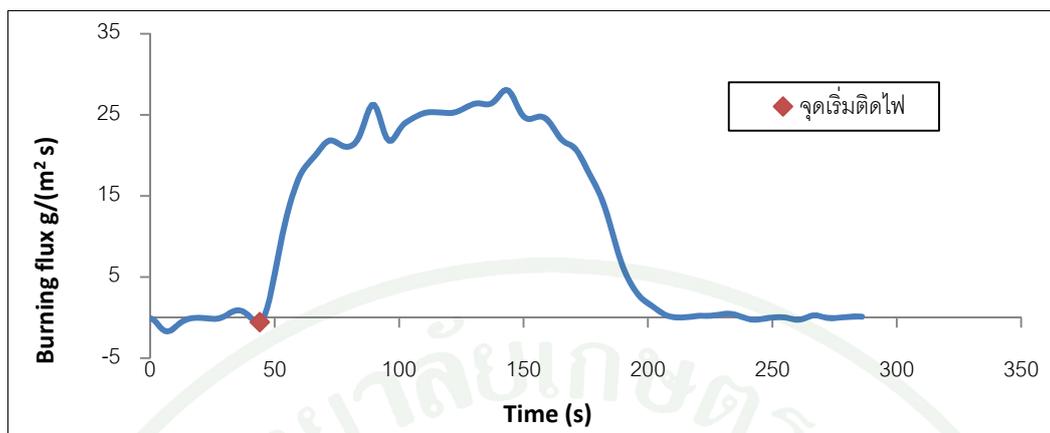
ภาพผนวกที่ ค25 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หนา 3 mm ที่ $50 kW/m^2$ (ABS50-2)



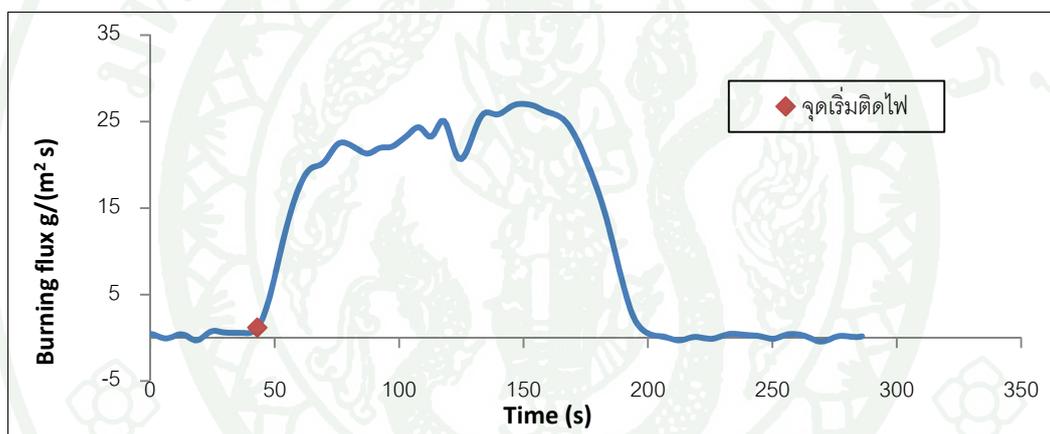
ภาพผนวกที่ ค26 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หนา 3 mm ที่ $50 kW/m^2$ (ABS50-3)



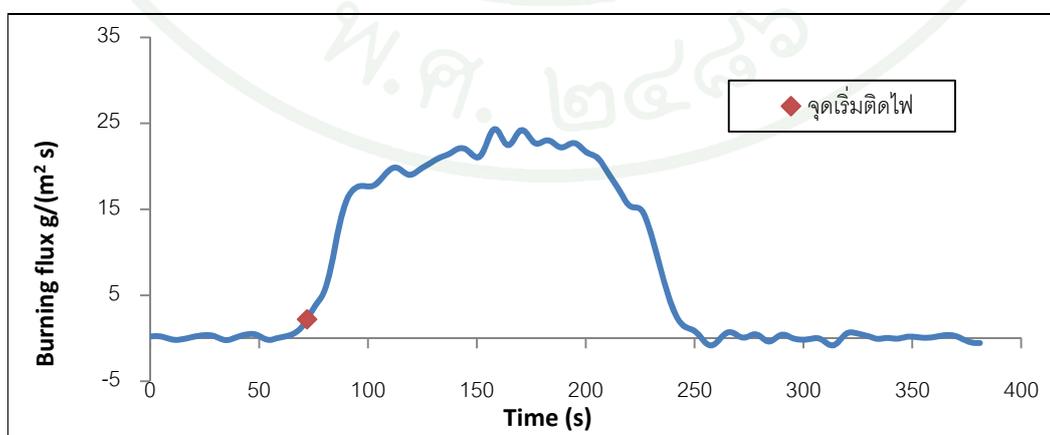
ภาพผนวกที่ ค27 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หนา 3 mm ที่ $40 kW/m^2$ (ABS40-1)



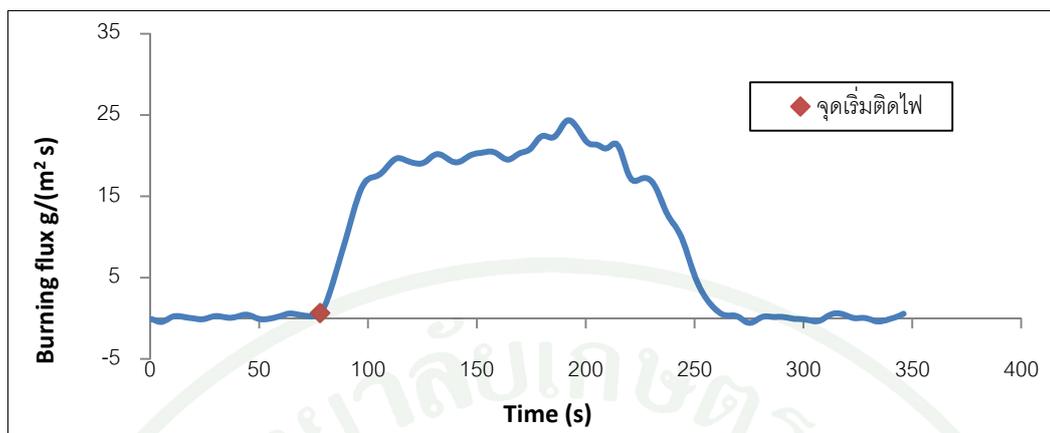
ภาพผนวกที่ ค28 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $40 kW/m^2$ (ABS40-2)



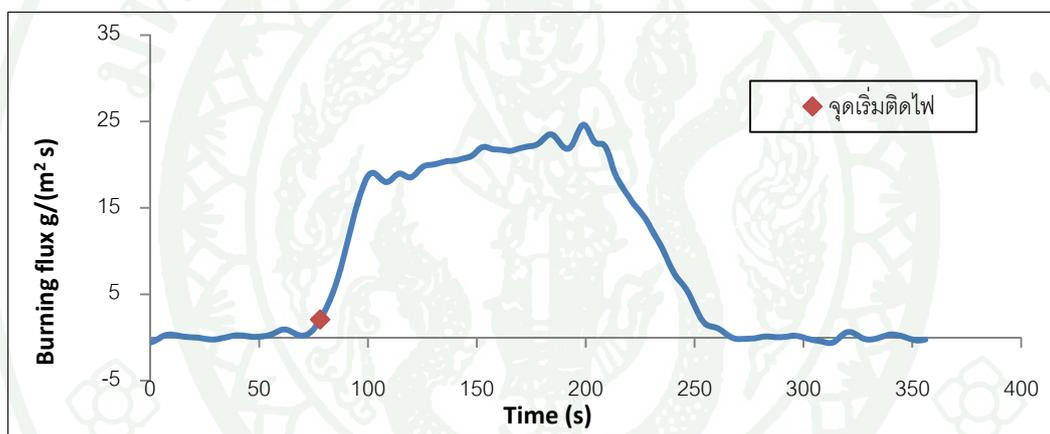
ภาพผนวกที่ ค29 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $40 kW/m^2$ (ABS40-3)



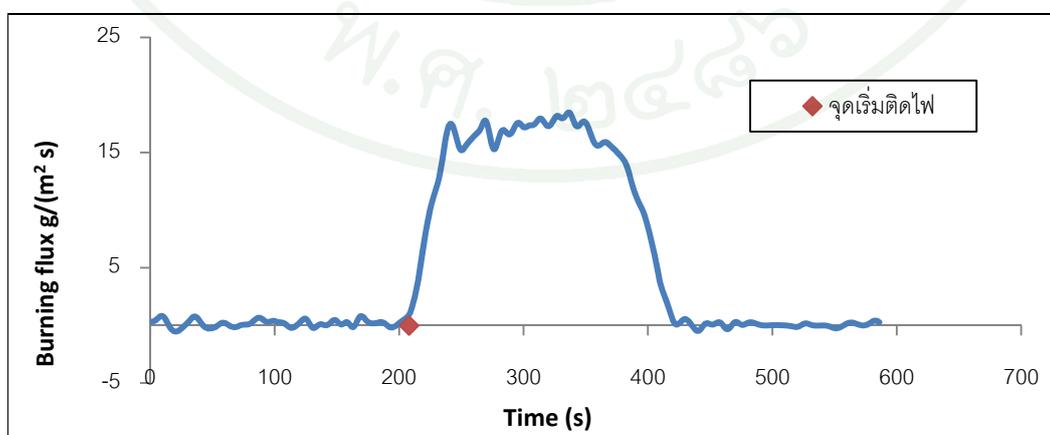
ภาพผนวกที่ ค30 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $30 kW/m^2$ (ABS30-1)



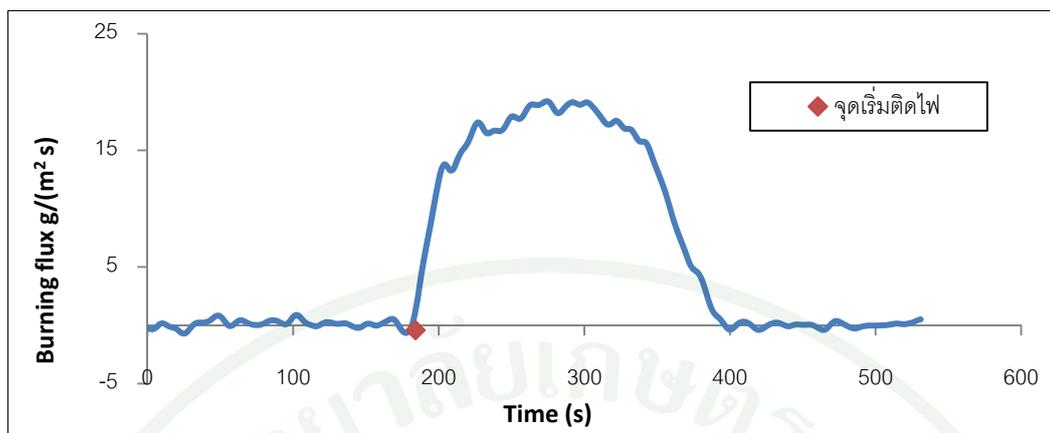
ภาพผนวกที่ ค31 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หนา 3 mm ที่ $30 kW/m^2$ (ABS30-2)



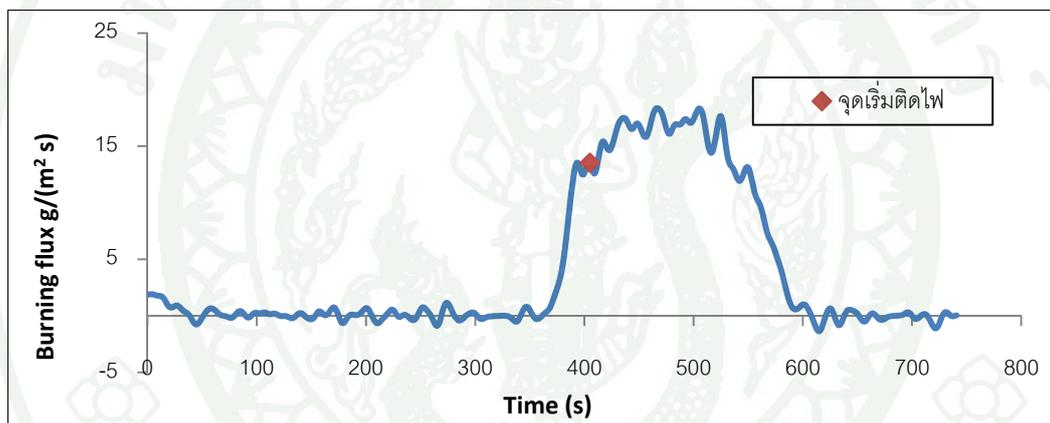
ภาพผนวกที่ ค32 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หนา 3 mm ที่ $30 kW/m^2$ (ABS30-3)



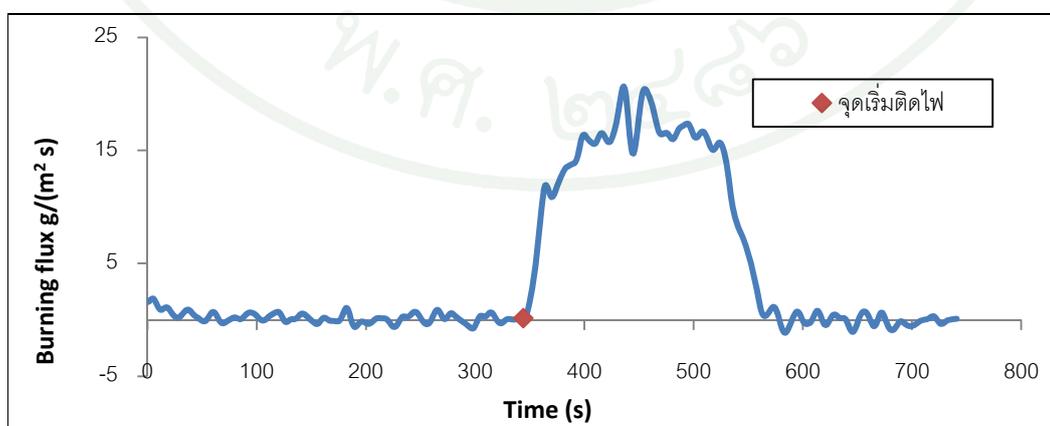
ภาพผนวกที่ ค33 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หนา 3 mm ที่ $20 kW/m^2$ (ABS20-1)



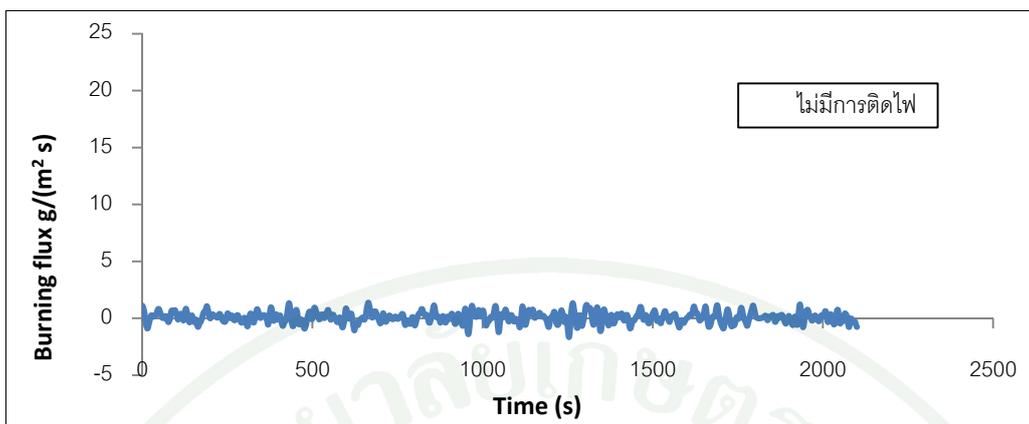
ภาพผนวกที่ ค34 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $20 kW/m^2$ (ABS20-2)



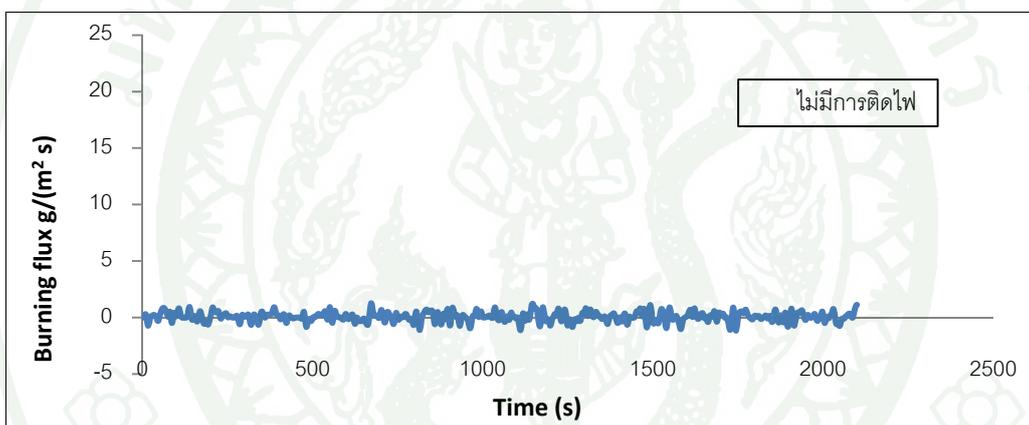
ภาพผนวกที่ ค35 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $15 kW/m^2$ (ABS15-1)



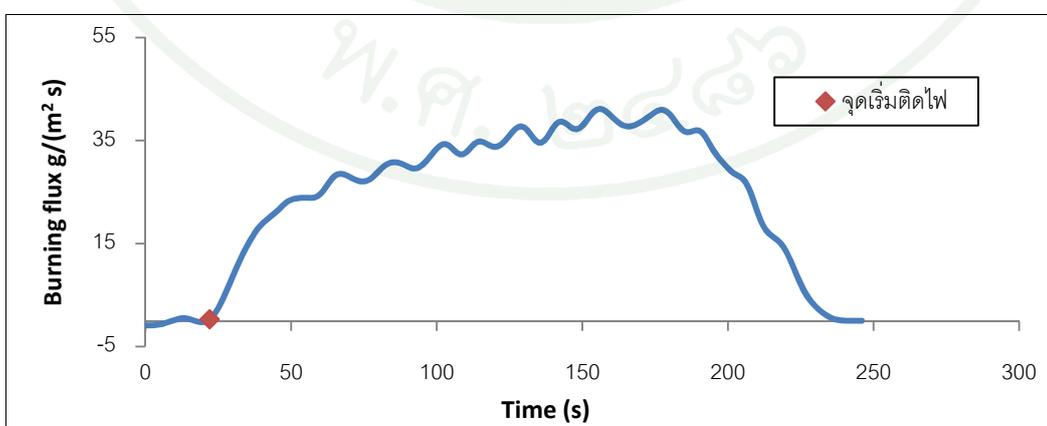
ภาพผนวกที่ ค36 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $15 kW/m^2$ (ABS15-2)



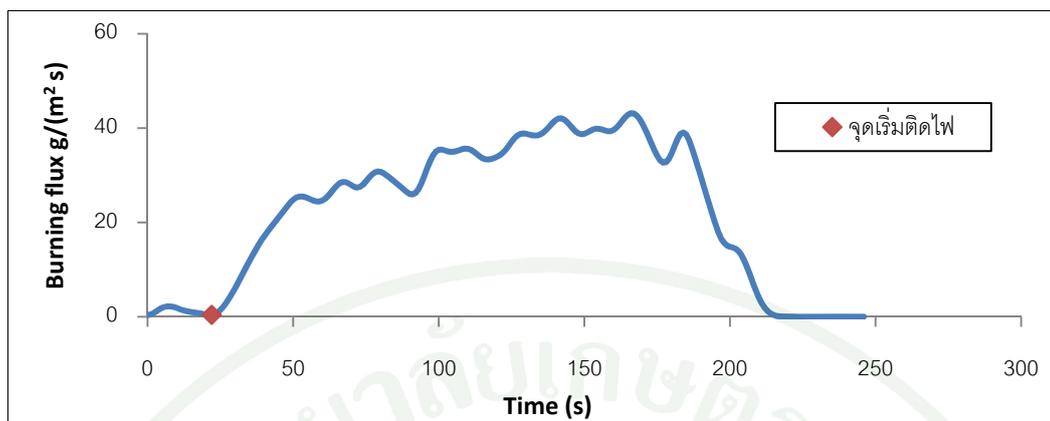
ภาพผนวกที่ ค37 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $12 kW/m^2$ (ABS12-1)



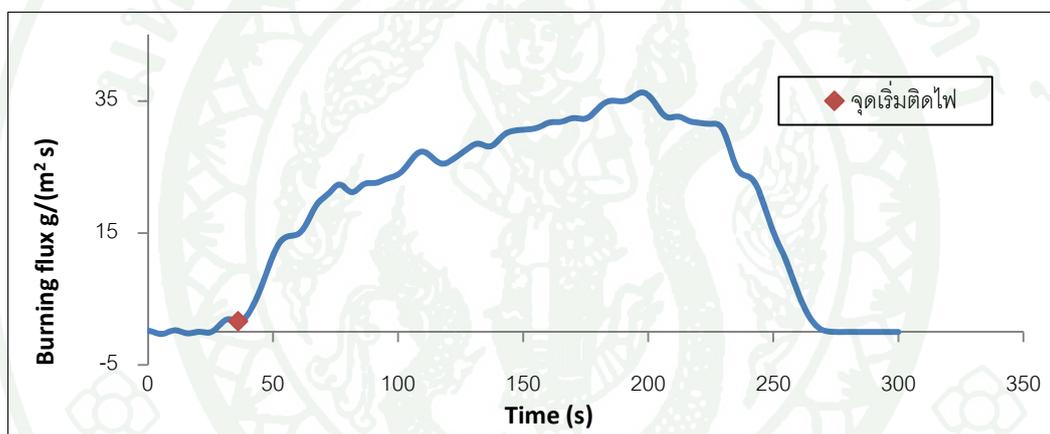
ภาพผนวกที่ ค38 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ ABS หน้า 3 mm ที่ $12 kW/m^2$ (ABS12-2)



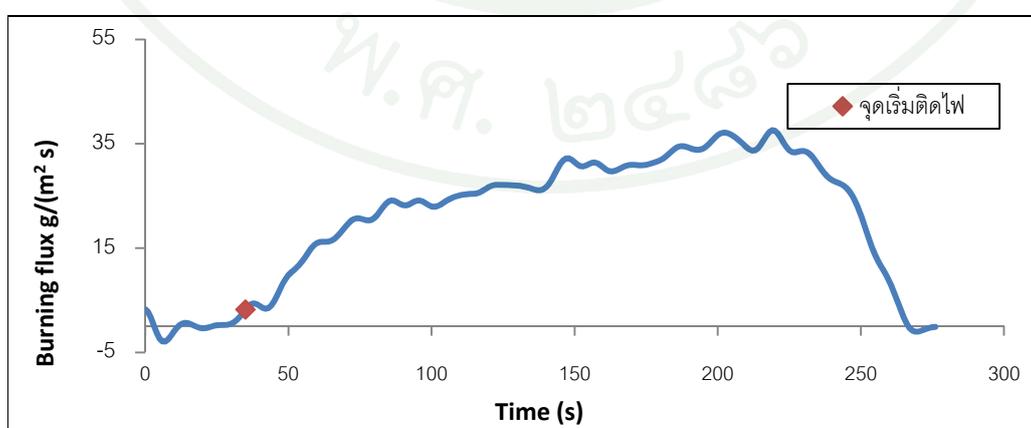
ภาพผนวกที่ ค39 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หน้า 15 mm ที่ $50 kW/m^2$ (Arcylic 50-1)



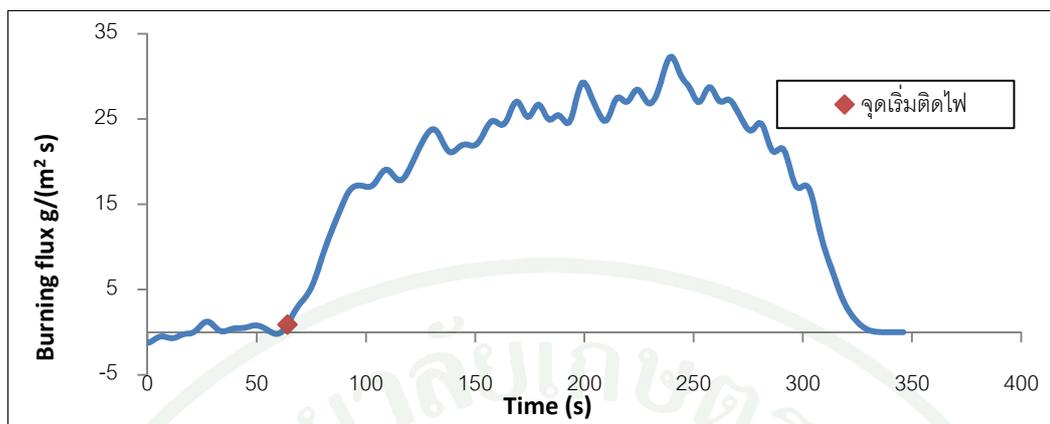
ภาพผนวกที่ ค40 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ $50 kW/m^2$ (Arcylic 50-2)



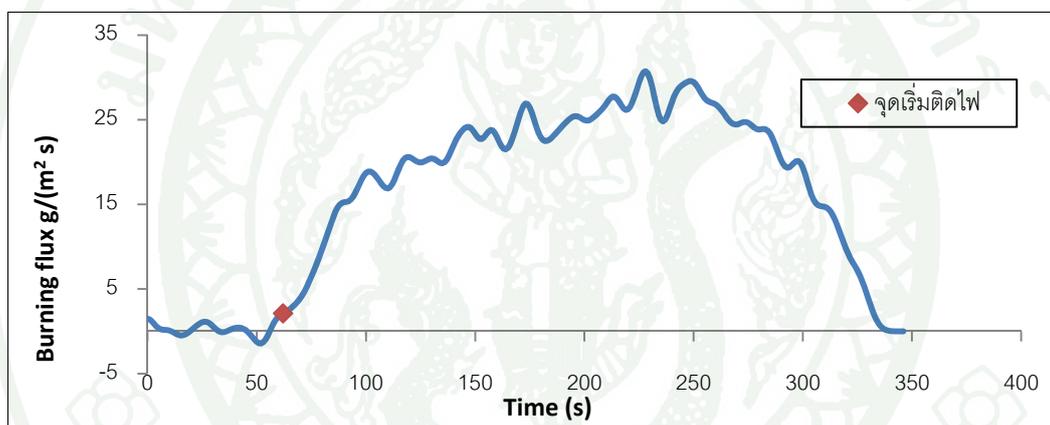
ภาพผนวกที่ ค41 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ $40 kW/m^2$ (Arcylic 40-1)



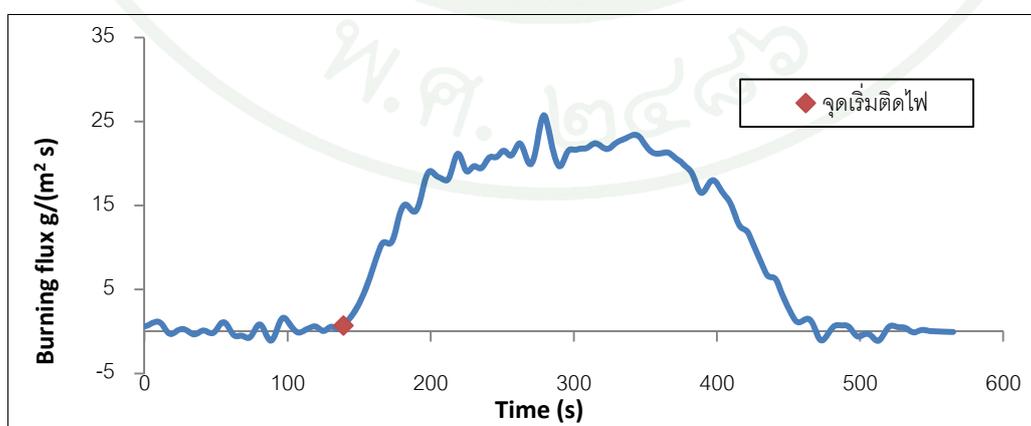
ภาพผนวกที่ ค42 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ $40 kW/m^2$ (Arcylic 40-2)



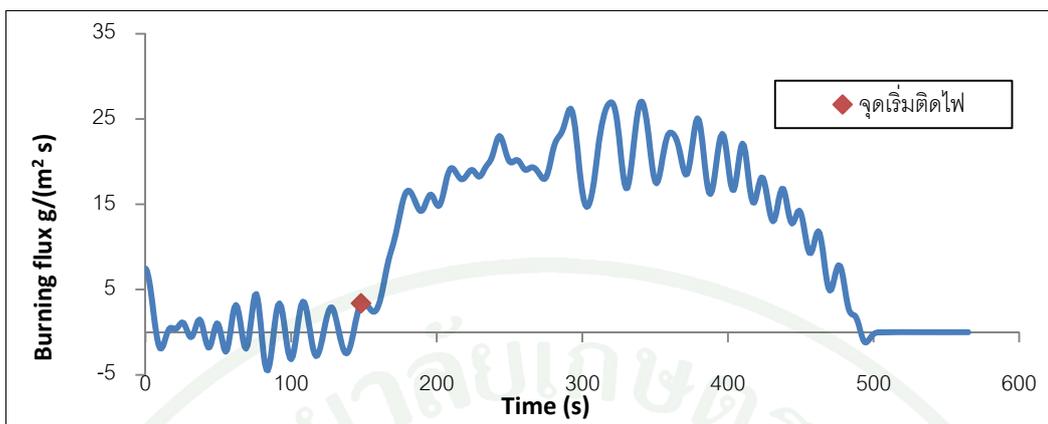
ภาพผนวกที่ ค43 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา15mm ที่ $30 kW/m^2$ (Arcylic 30-1)



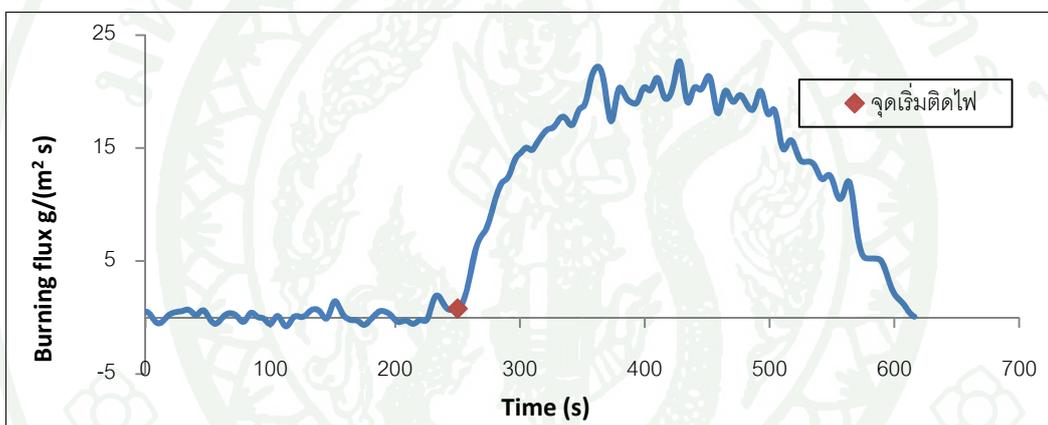
ภาพผนวกที่ ค44 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา15mm ที่ $30 kW/m^2$ (Arcylic 30-2)



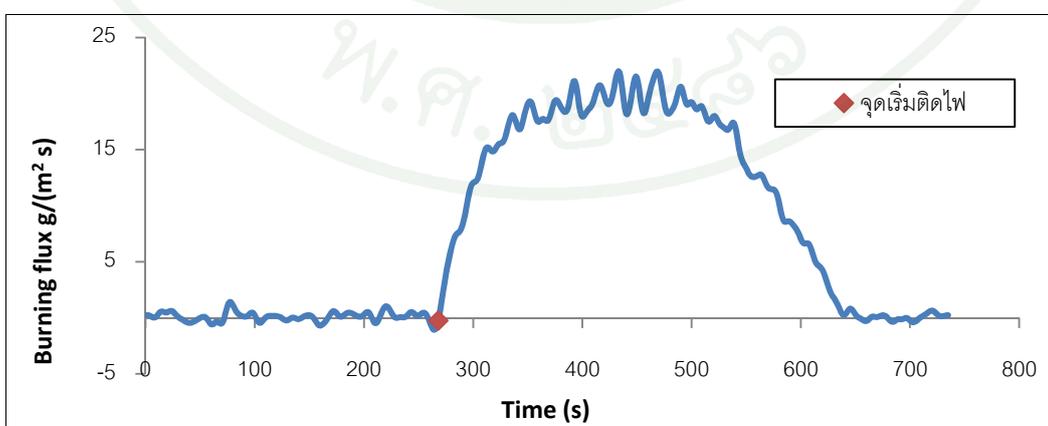
ภาพผนวกที่ ค45 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา15mm ที่ $20 kW/m^2$ (Arcylic 20-1)



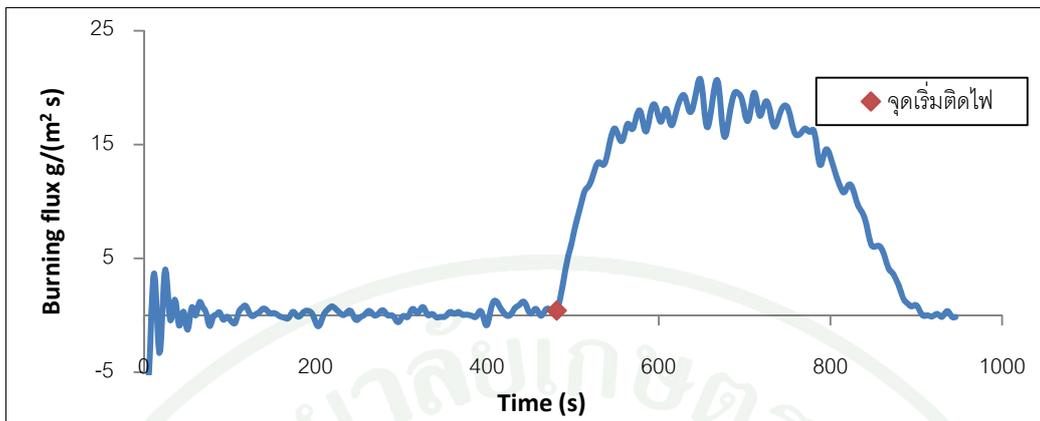
ภาพผนวกที่ ค46 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา15mm ที่ $20 kW/m^2$ (Arcylic 20-2)



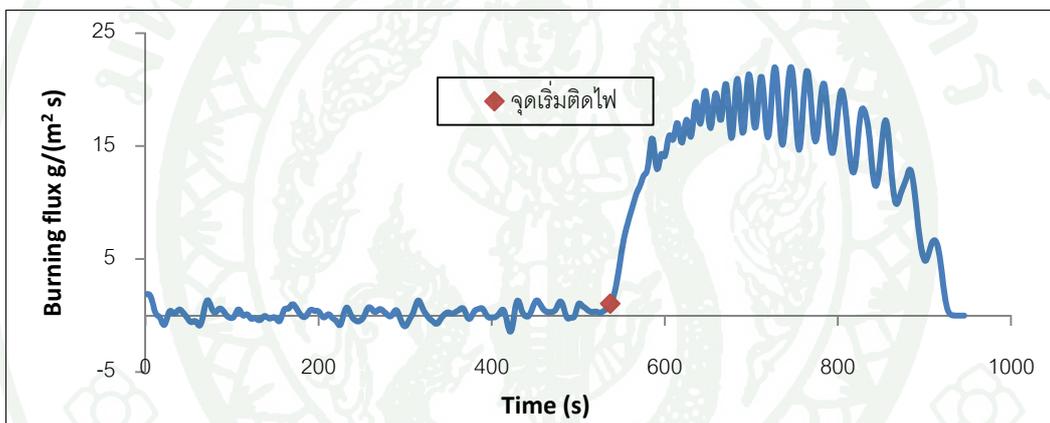
ภาพผนวกที่ ค47 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา15mm ที่ $15 kW/m^2$ (Arcylic 15-1)



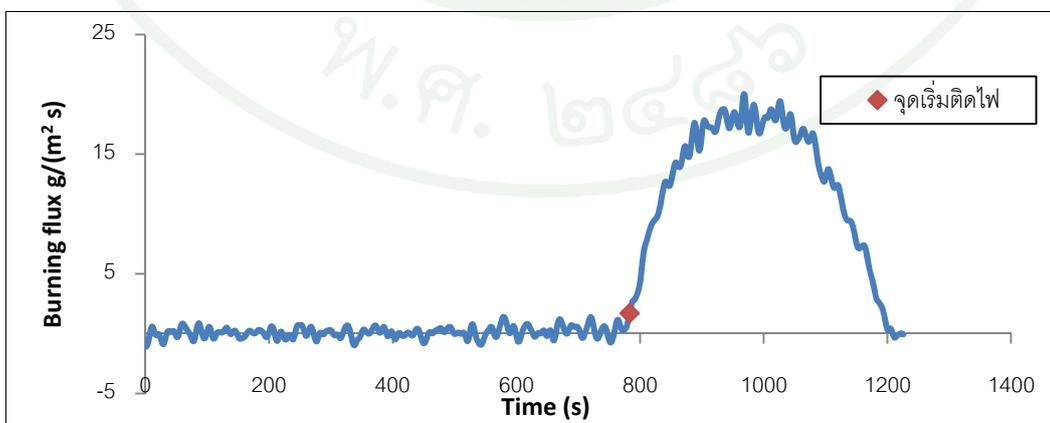
ภาพผนวกที่ ค48 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา15mm ที่ $15 kW/m^2$ (Arcylic 15-2)



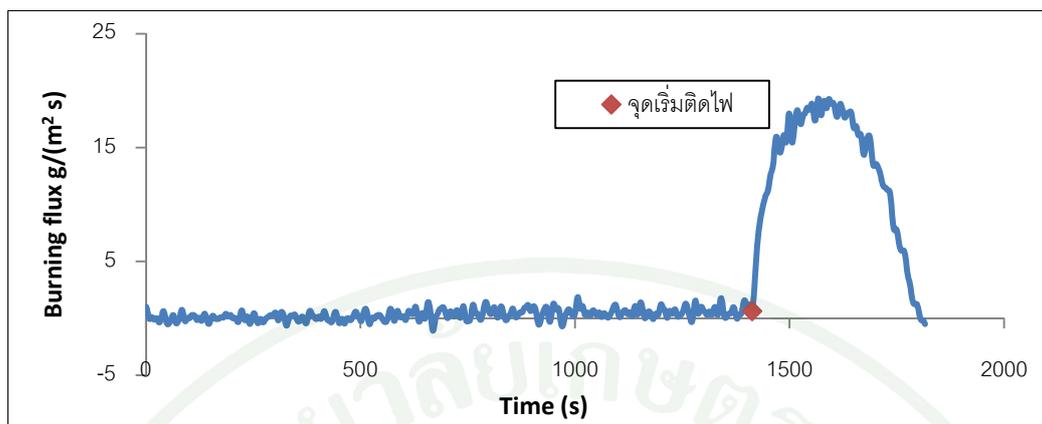
ภาพผนวกที่ ค49 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ 12 kW/m² (Arcylic 12-1)



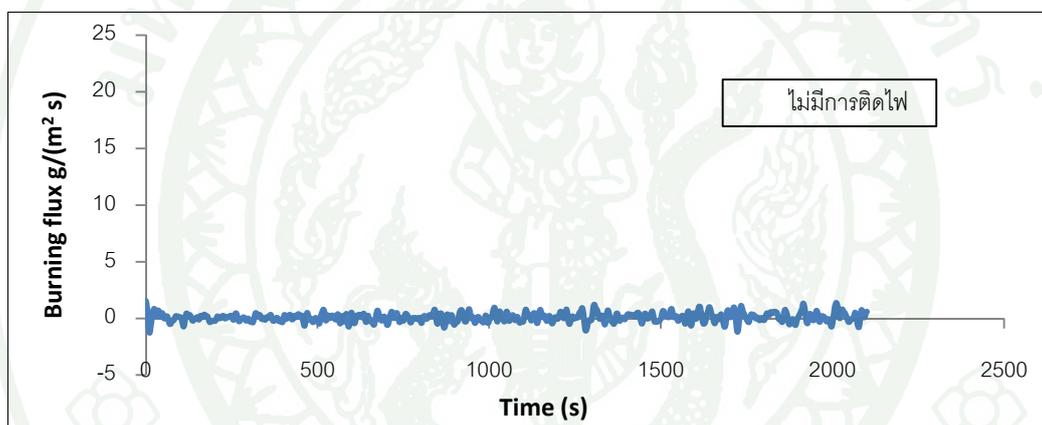
ภาพผนวกที่ ค50 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ 12 kW/m² (Arcylic 12-2)



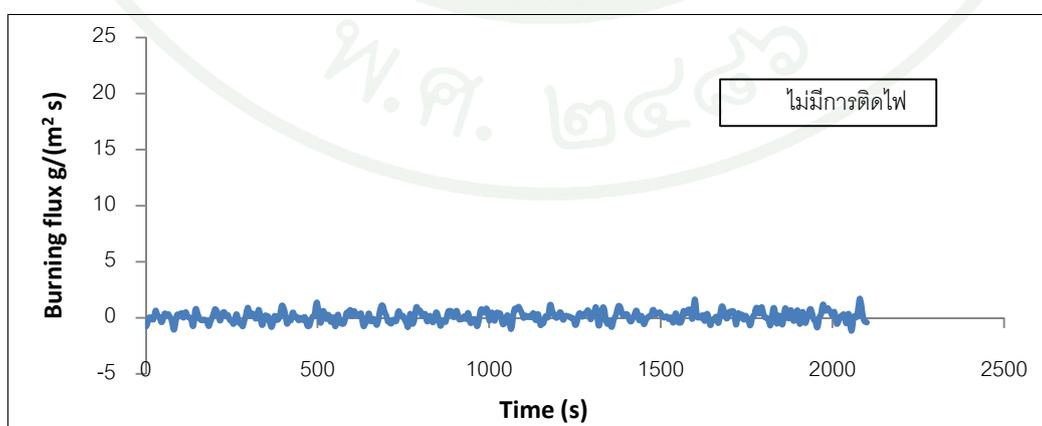
ภาพผนวกที่ ค51 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ 10 kW/m² (Arcylic 10-1)



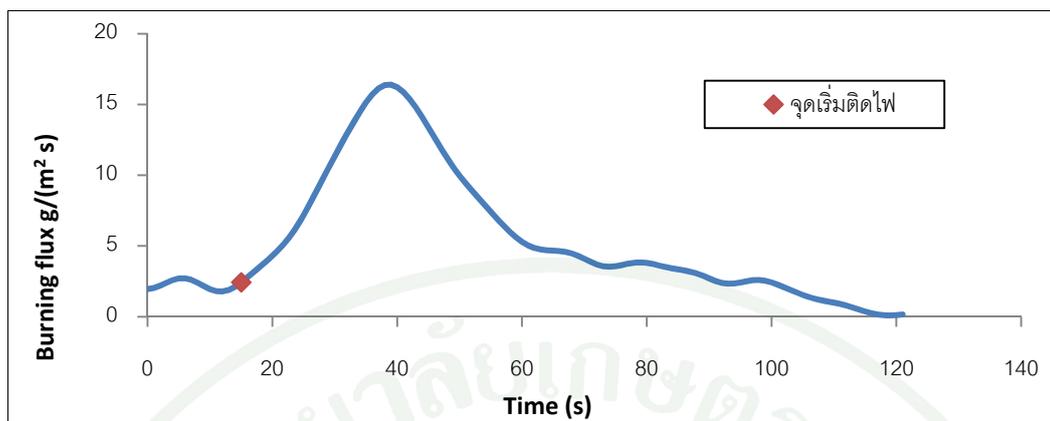
ภาพผนวกที่ ค52 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ $10 \text{ kW}/m^2$ (Arcylic 10-2)



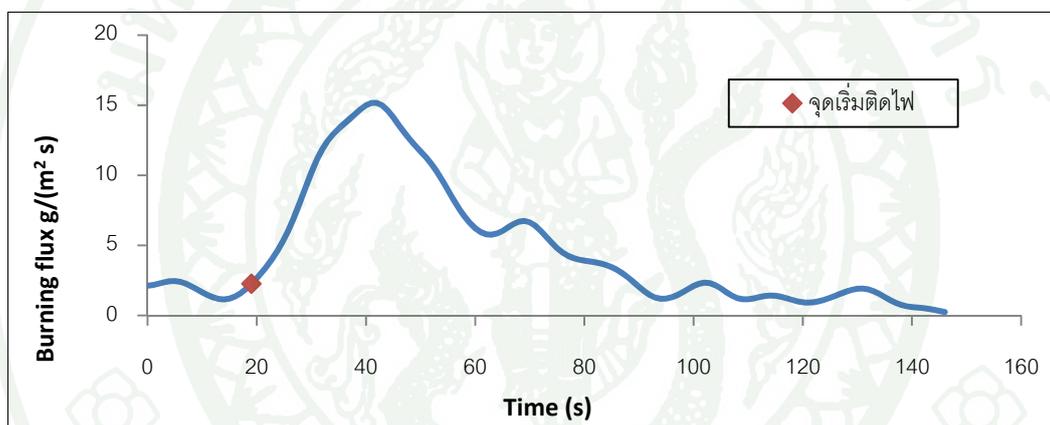
ภาพผนวกที่ ค53 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ $8 \text{ kW}/m^2$ (Arcylic 8-1)



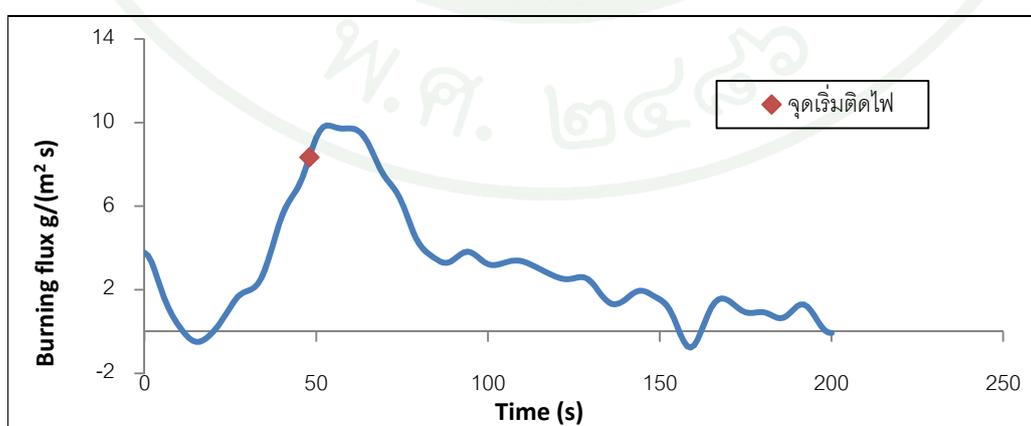
ภาพผนวกที่ ค54 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Arcylic หนา5mm ที่ $8 \text{ kW}/m^2$ (Arcylic 8-2)



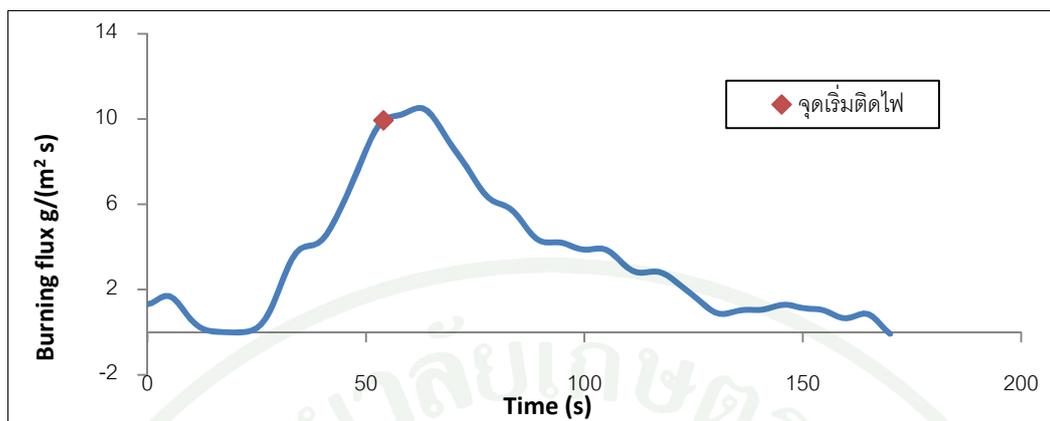
ภาพผนวกที่ ค55 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PVC หนา 1.6 mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PVC 50-1)



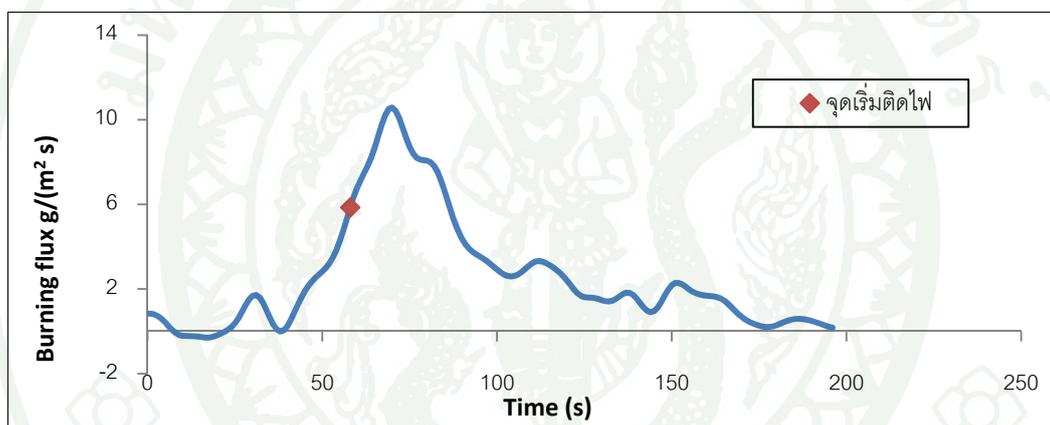
ภาพผนวกที่ ค56 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PVC หนา 1.6 mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PVC 50-2)



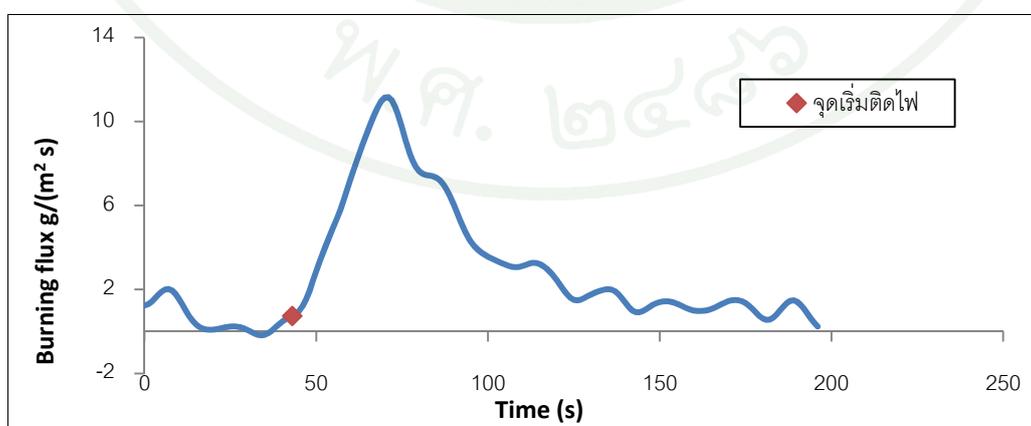
ภาพผนวกที่ ค57 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PVC หนา 1.6 mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (PVC 40-1)



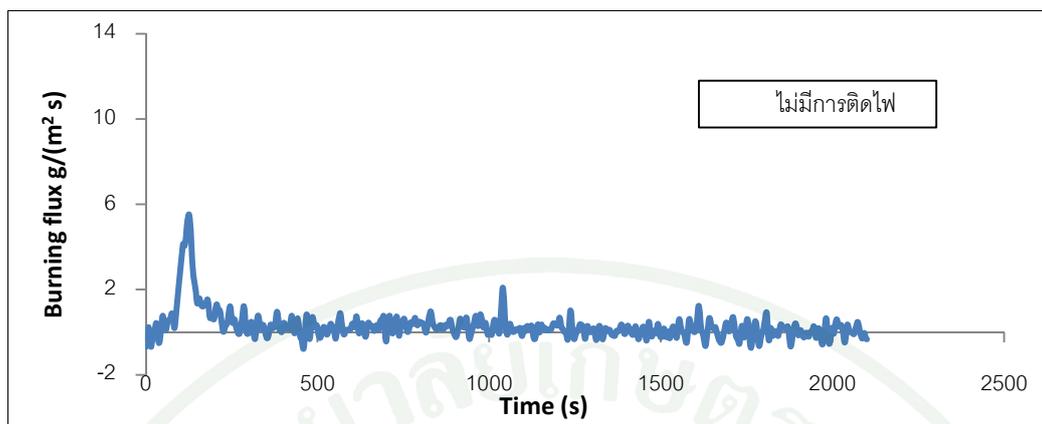
ภาพผนวกที่ ค58 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PVC หน้า1.6mm ที่ 40 kW/m^2 (PVC 40-2)



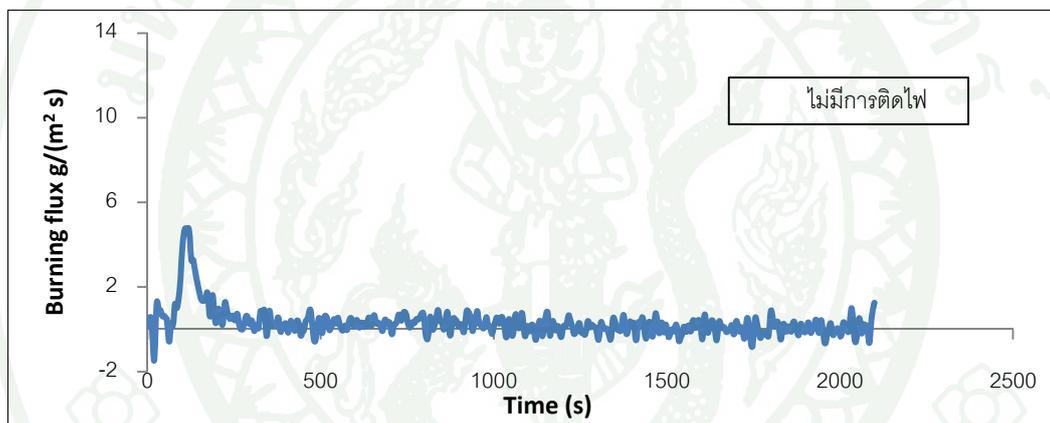
ภาพผนวกที่ ค59 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PVC หน้า1.6mm ที่ 30 kW/m^2 (PVC 30-1)



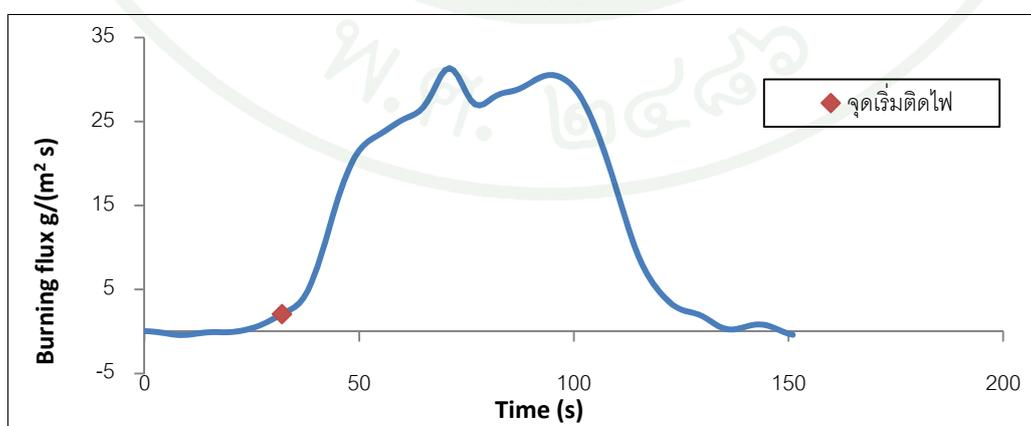
ภาพผนวกที่ ค60 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PVC หน้า1.6mm ที่ 30 kW/m^2 (PVC 30-2)



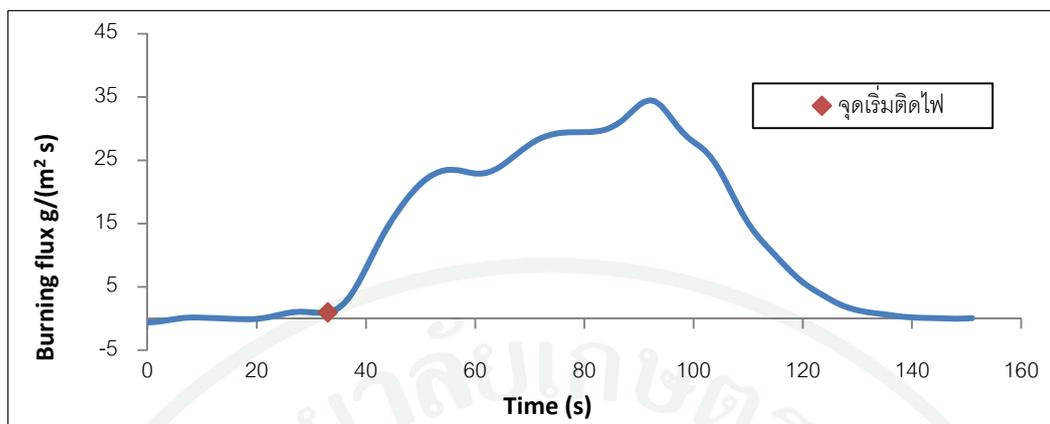
ภาพผนวกที่ ค61 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m^2 (PVC 20-1)



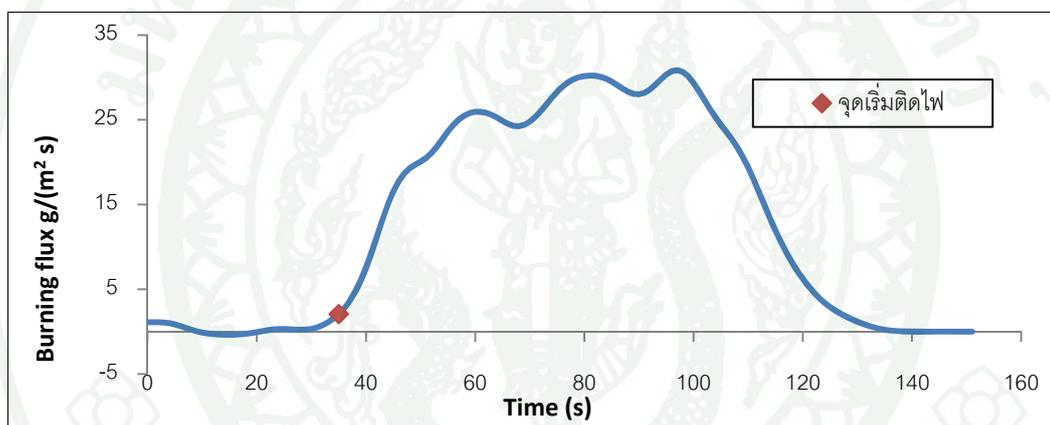
ภาพผนวกที่ ค62 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PVC หนา1.6mm ที่ 20 kW/m^2 (PVC 20-2)



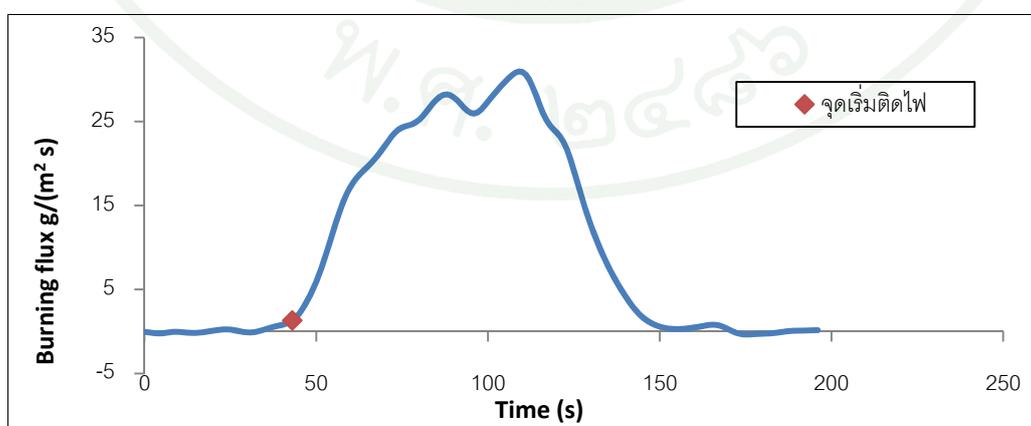
ภาพผนวกที่ ค63 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ 50 kW/m^2 (HIPS 50-1)



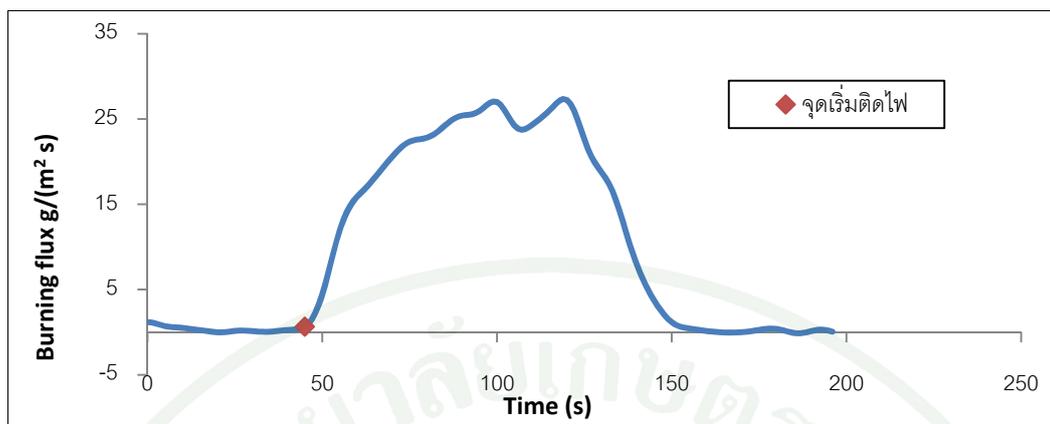
ภาพผนวกที่ ค64 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (HIPS 50-2)



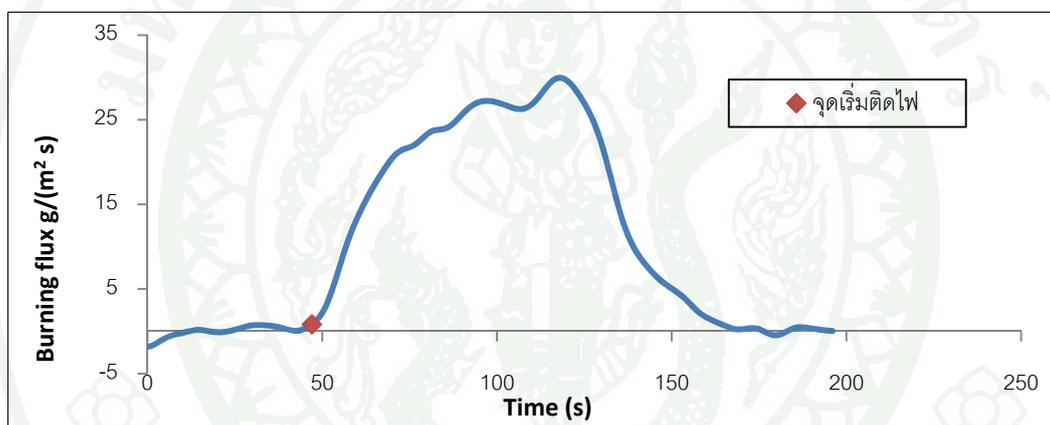
ภาพผนวกที่ ค65 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (HIPS 50-3)



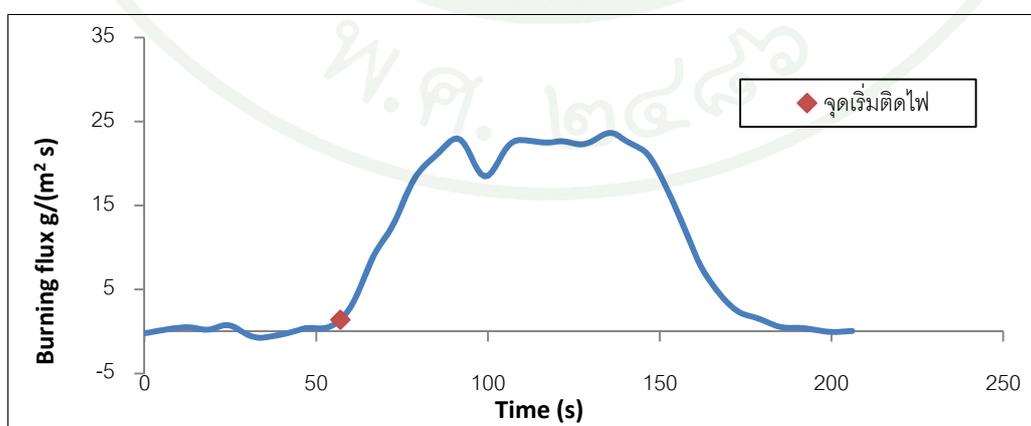
ภาพผนวกที่ ค66 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (HIPS 40-1)



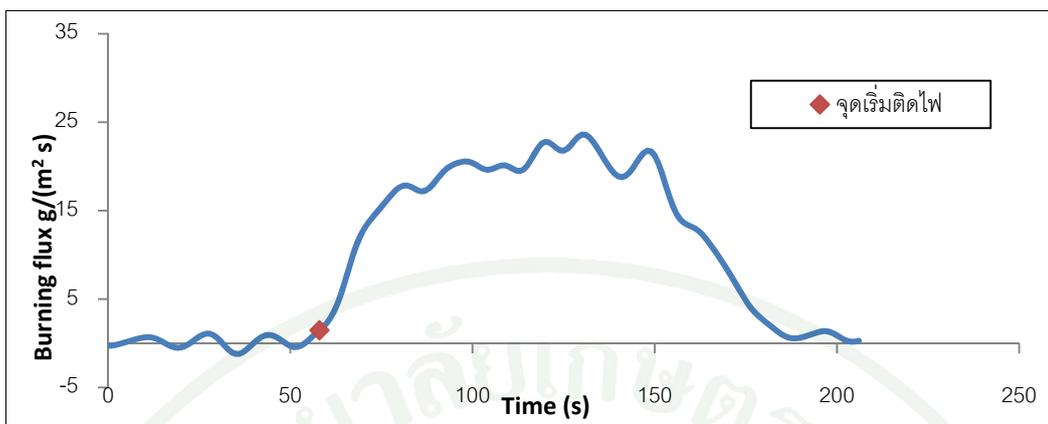
ภาพผนวกที่ ค67 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (HIPS 40-2)



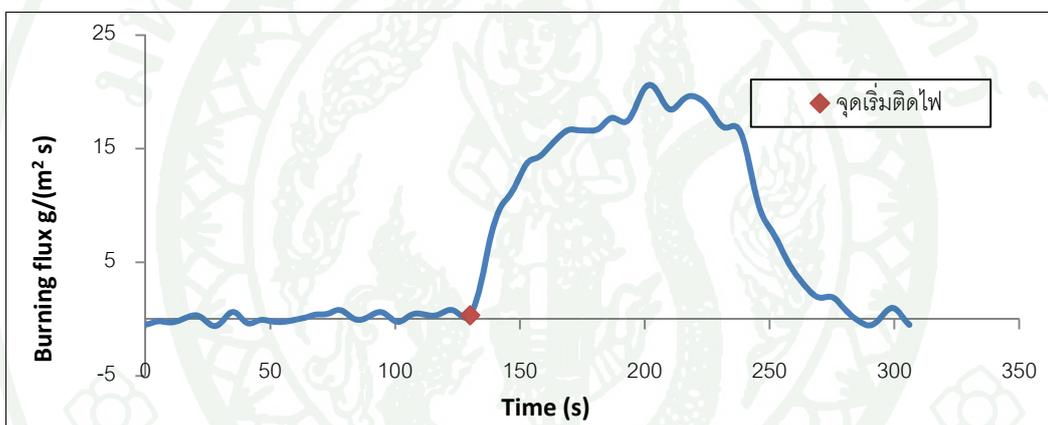
ภาพผนวกที่ ค68 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (HIPS 40-3)



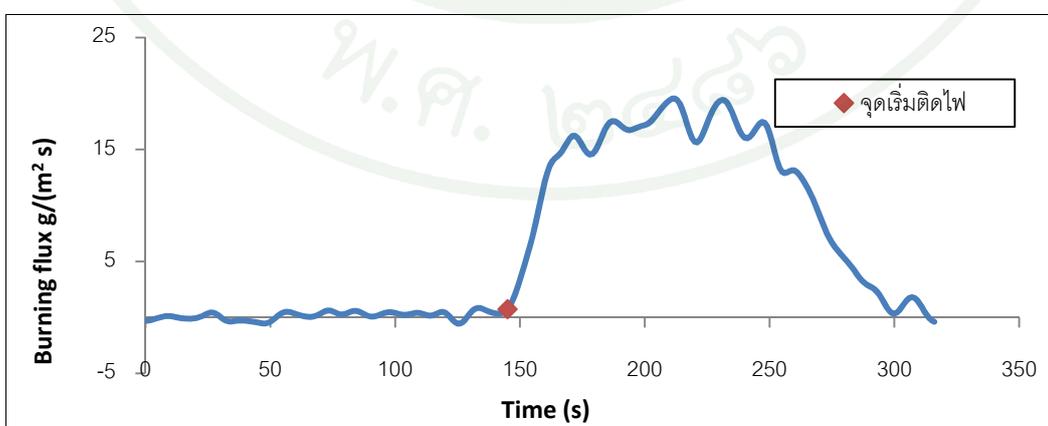
ภาพผนวกที่ ค69 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ $30 \text{ kW}/m^2$ (HIPS 30-1)



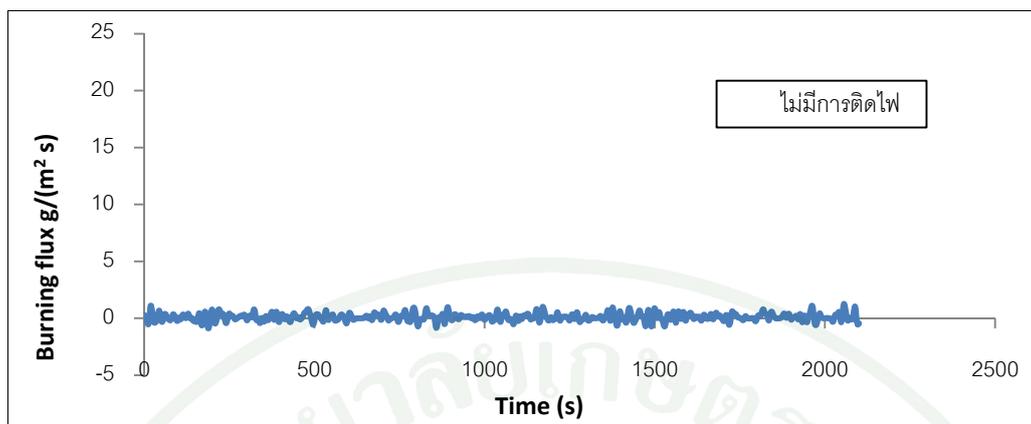
ภาพผนวกที่ ๗๐ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ 30 kW/m² (HIPS 30-2)



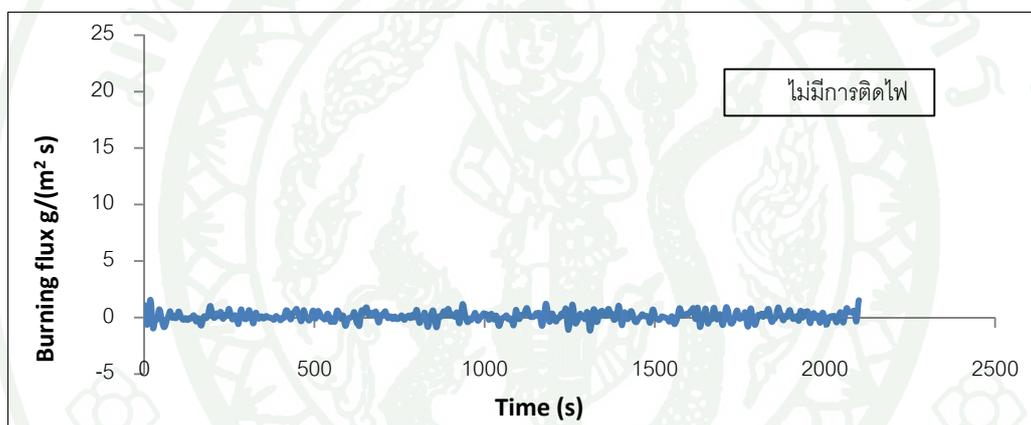
ภาพผนวกที่ ๗๑ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m² (HIPS 20-1)



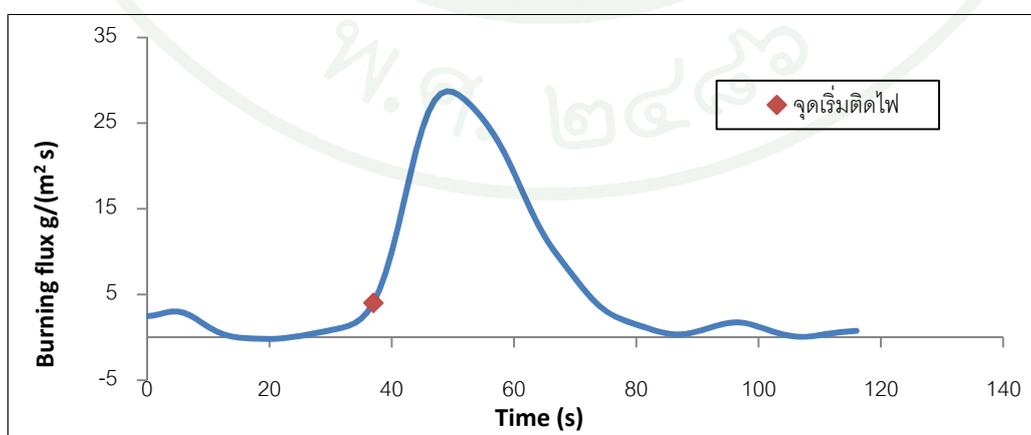
ภาพผนวกที่ ๗๒ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา2mm ที่ 20 kW/m² (HIPS 20-2)



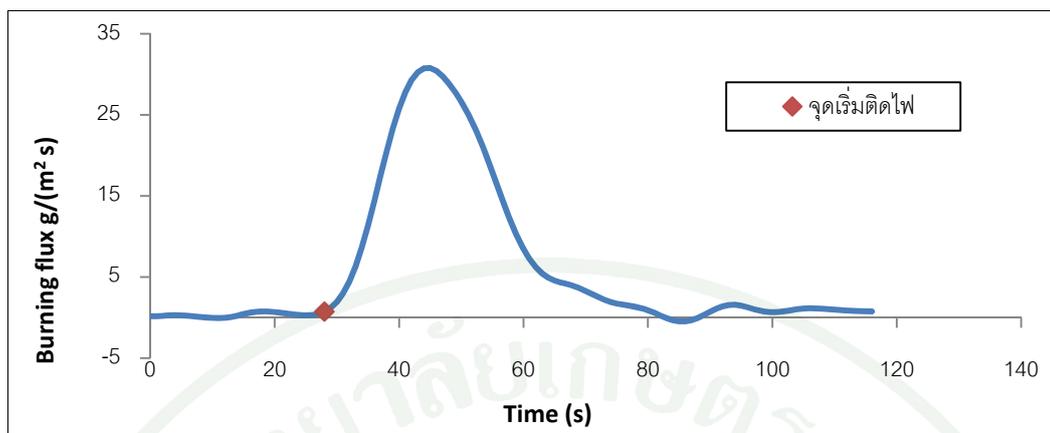
ภาพผนวกที่ ๗3 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา 2mm ที่ 15 kW/m^2 (HIPS 15-1)



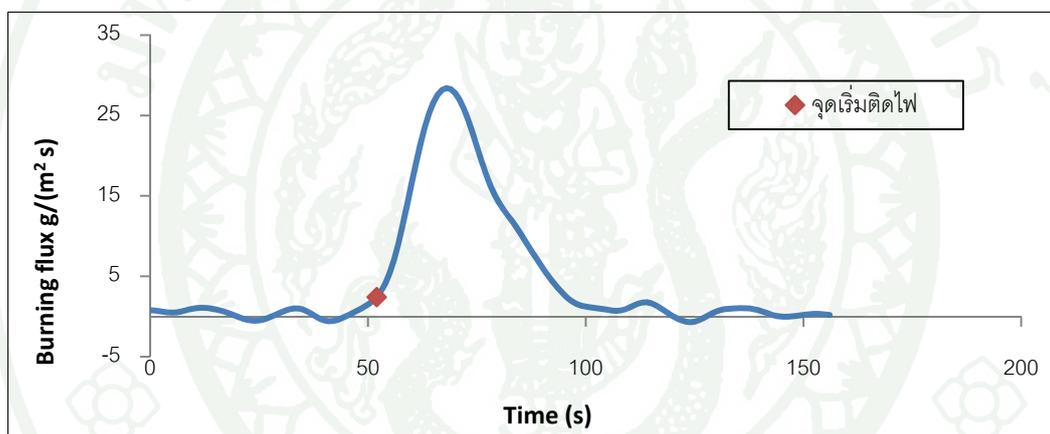
ภาพผนวกที่ ๗4 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ HIPS หนา 2mm ที่ 15 kW/m^2 (HIPS 15-2)



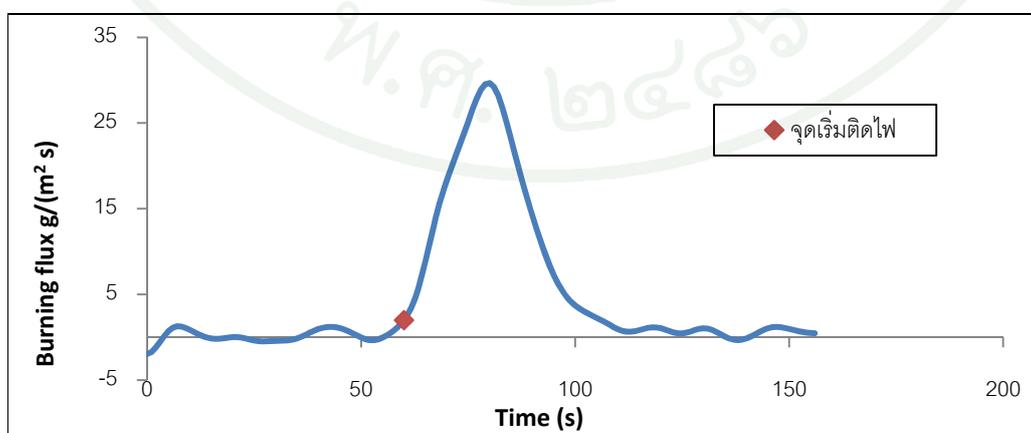
ภาพผนวกที่ ๗5 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polycarbonate หนา 4mm ที่ 50 kW/m^2 (Poly 50-1)



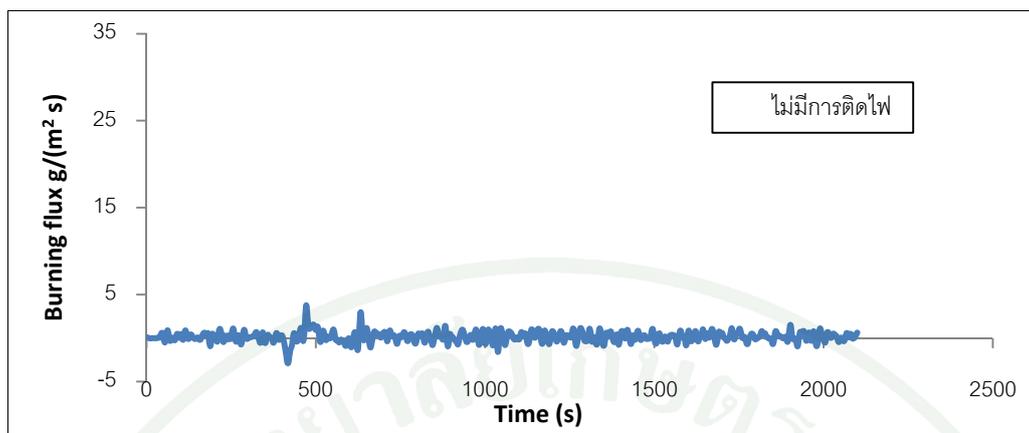
ภาพผนวกที่ ๗๖ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 50 kW/m² (Poly 50-2)



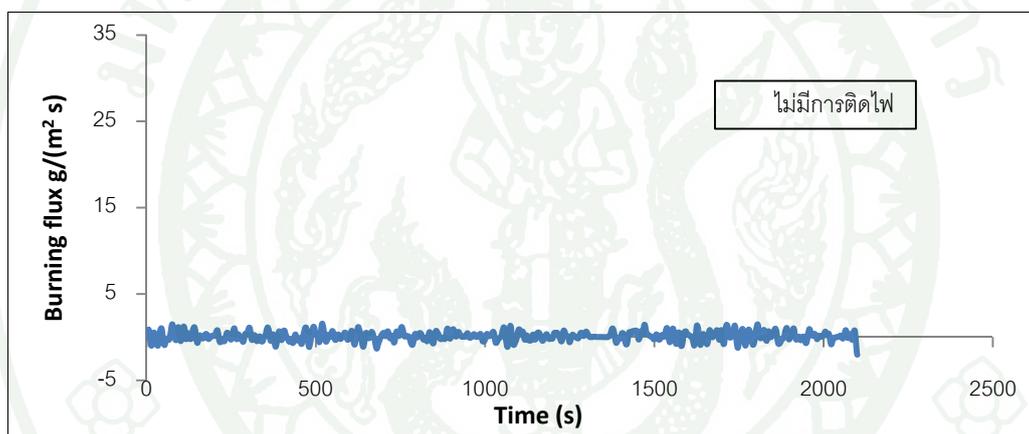
ภาพผนวกที่ ๗๗ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 40 kW/m² (Poly 40-1)



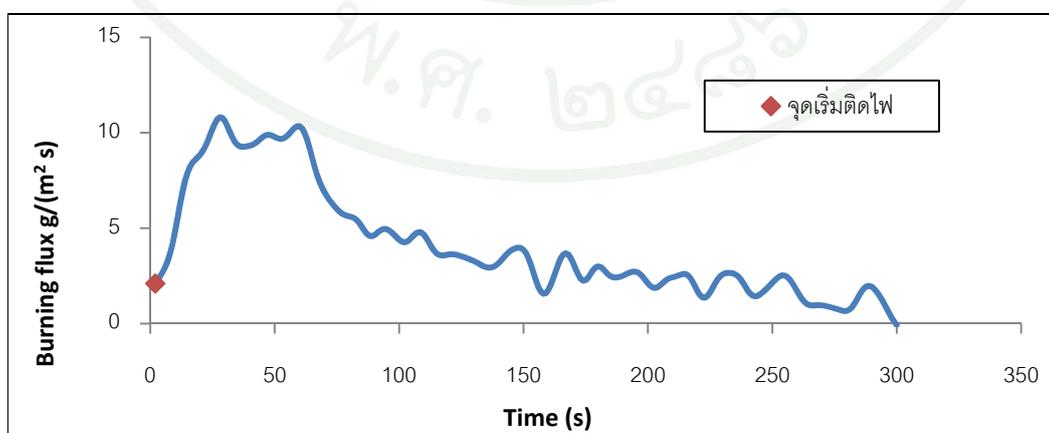
ภาพผนวกที่ ๗๘ แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 40 kW/m² (Poly 40-2)



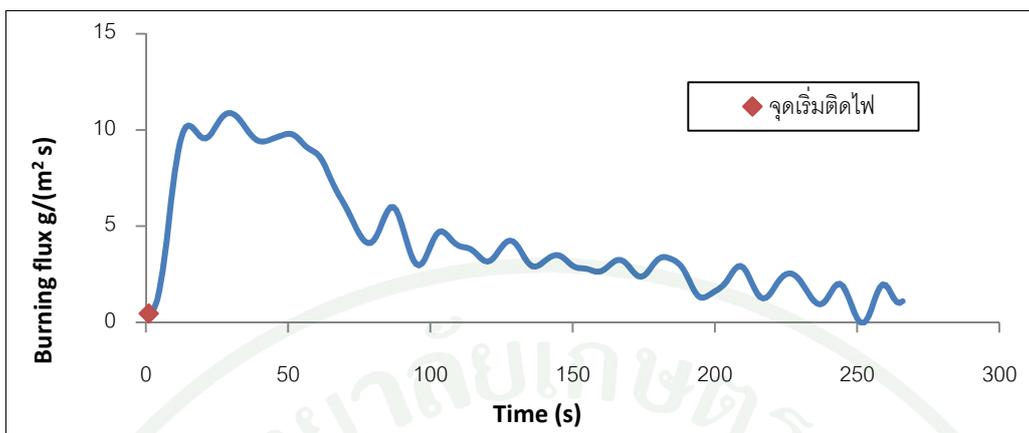
ภาพผนวกที่ ค79 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 30 kW/m² (Poly 30-1)



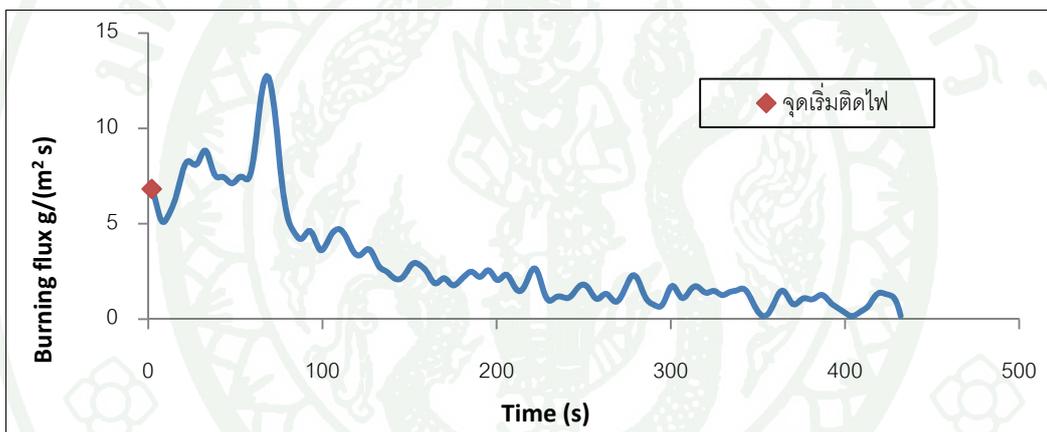
ภาพผนวกที่ ค80 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polycarbonate หนา14mm ที่ 30 kW/m² (Poly 30-2)



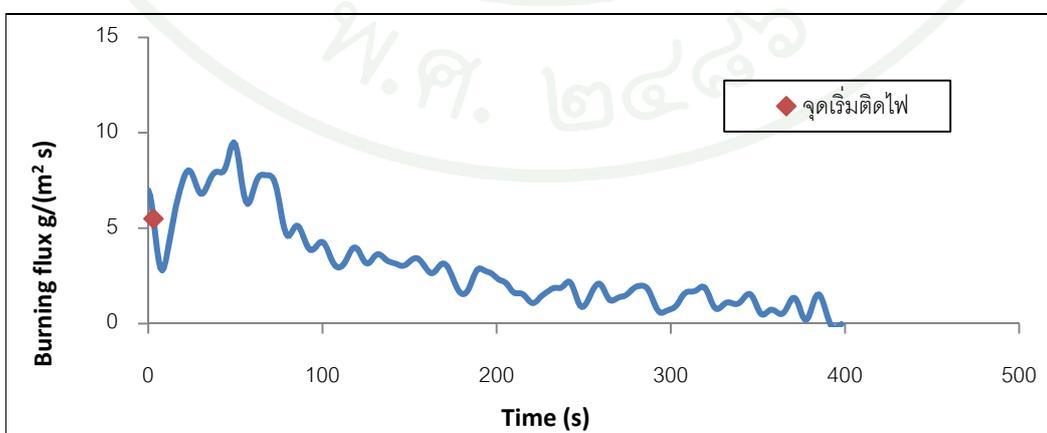
ภาพผนวกที่ ค81 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m² (EVA 50-1)



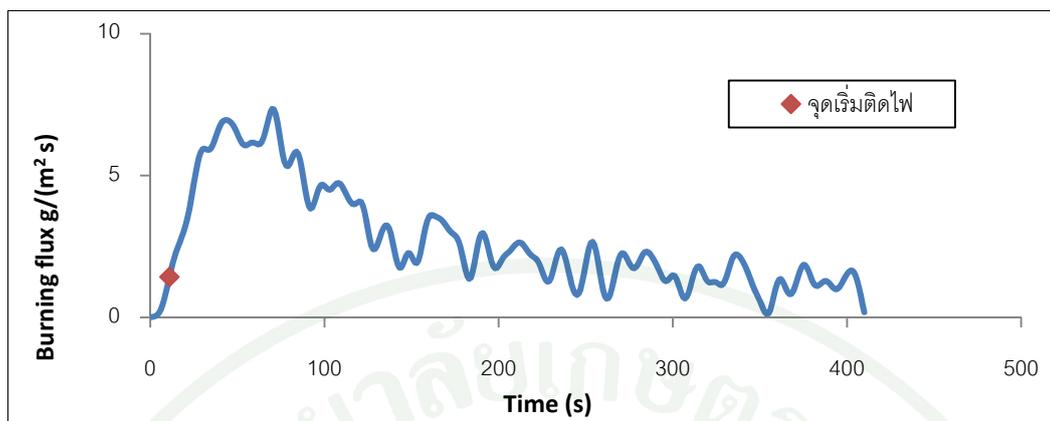
ภาพผนวกที่ ค82 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ 50 kW/m² (EVA 50-2)



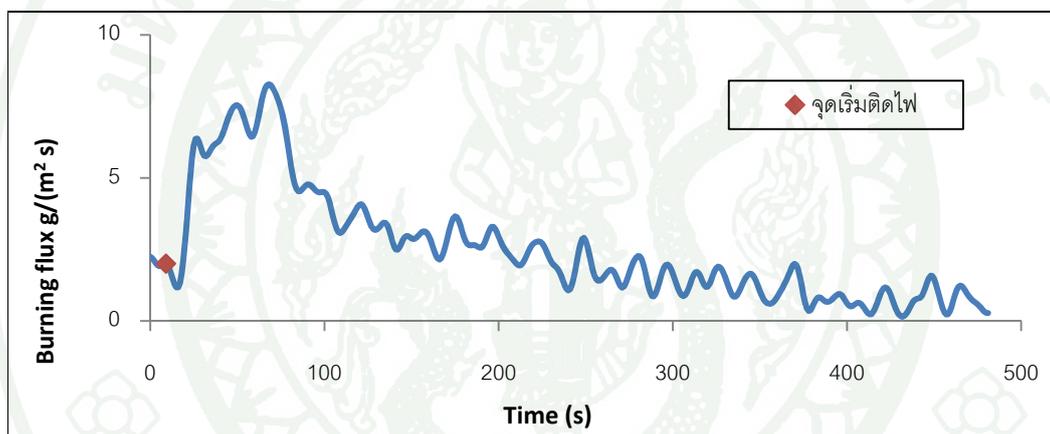
ภาพผนวกที่ ค83 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m² (EVA 40-1)



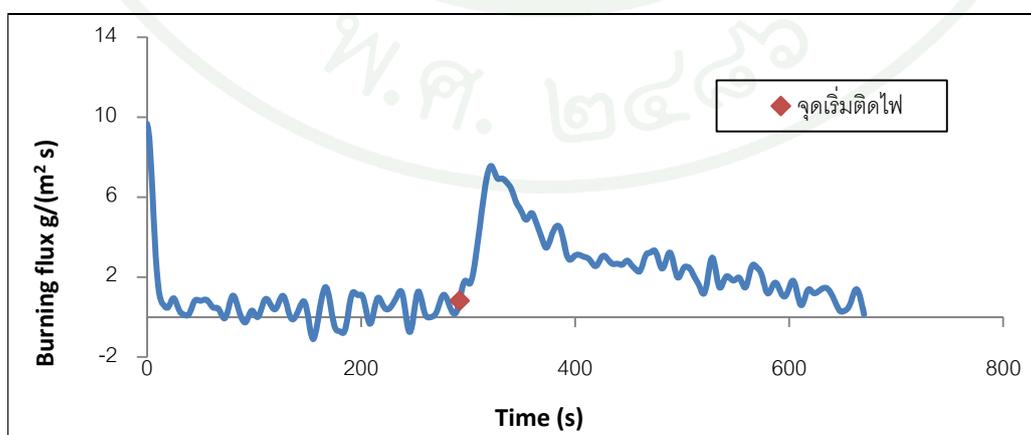
ภาพผนวกที่ ค84 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ 40 kW/m² (EVA 40-2)



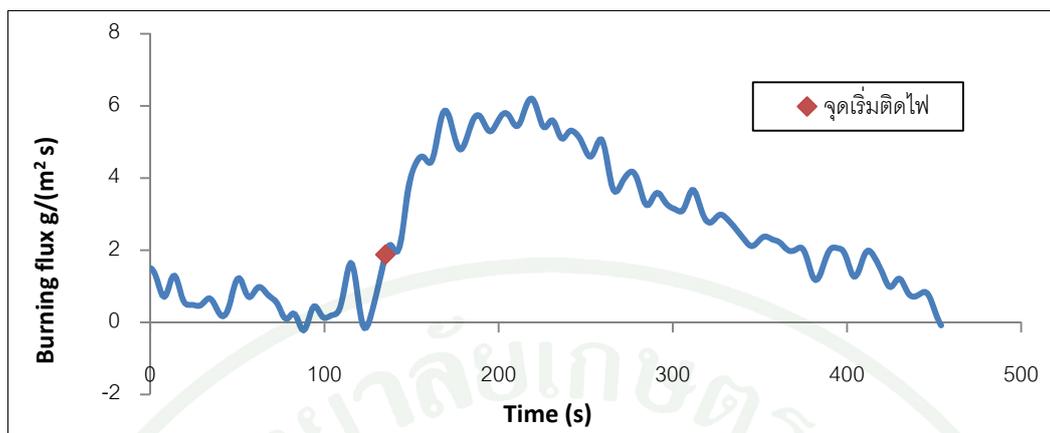
ภาพผนวกที่ ค85 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ $30 kW/m^2$ (EVA 30-1)



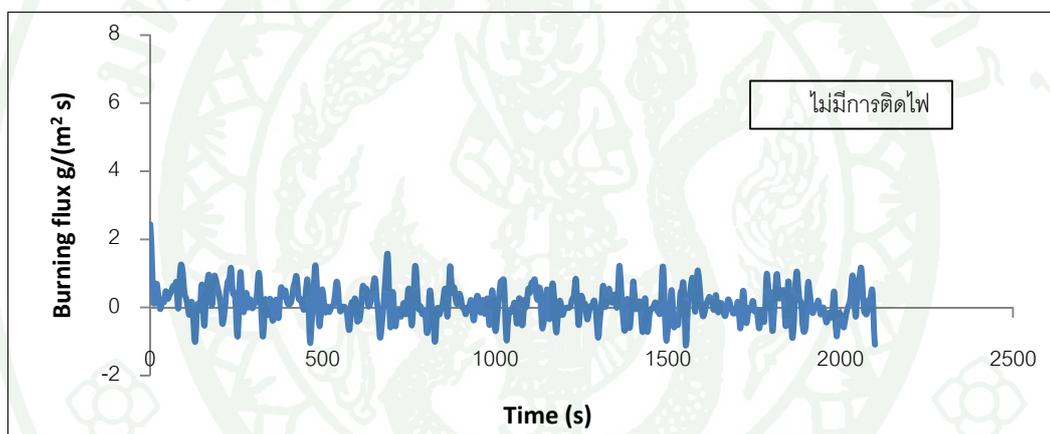
ภาพผนวกที่ ค86 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ $30 kW/m^2$ (EVA 30-2)



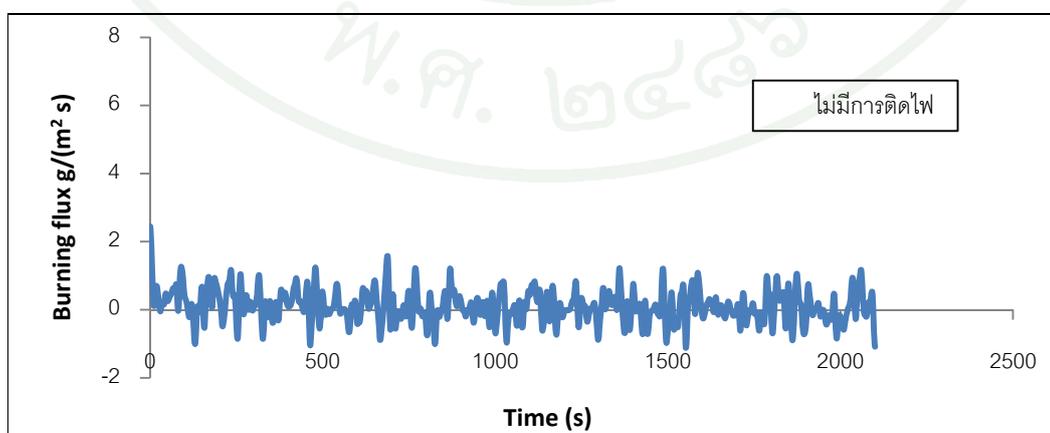
ภาพผนวกที่ ค87 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ $20 kW/m^2$ (EVA 20-1)



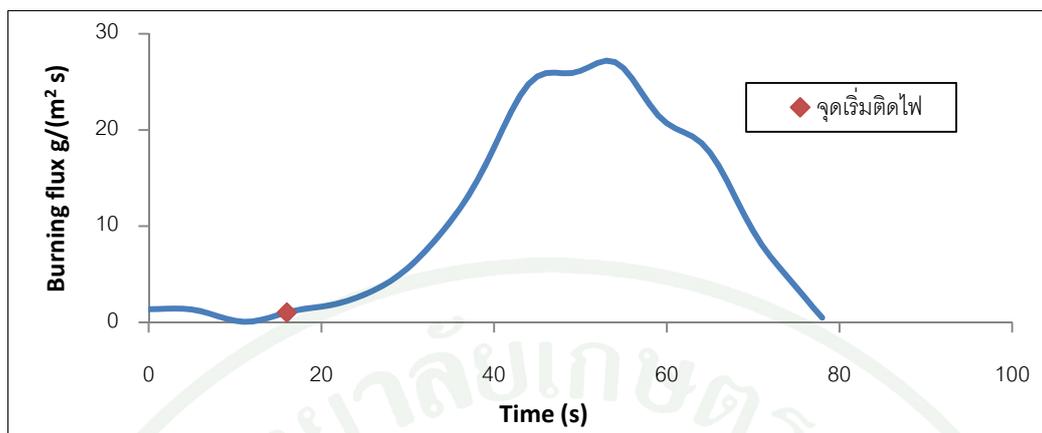
ภาพผนวกที่ ค88 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ $20 kW/m^2$ (EVA 20-2)



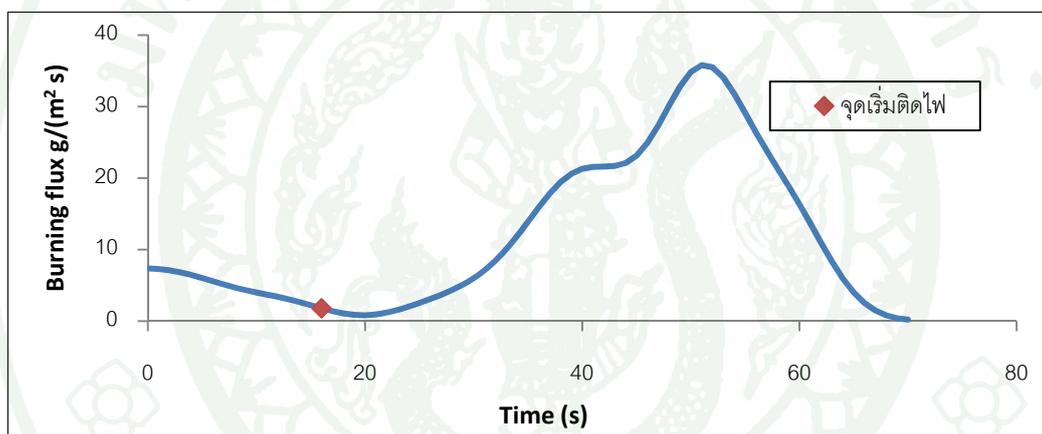
ภาพผนวกที่ ค89 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ $15 kW/m^2$ (EVA 15-1)



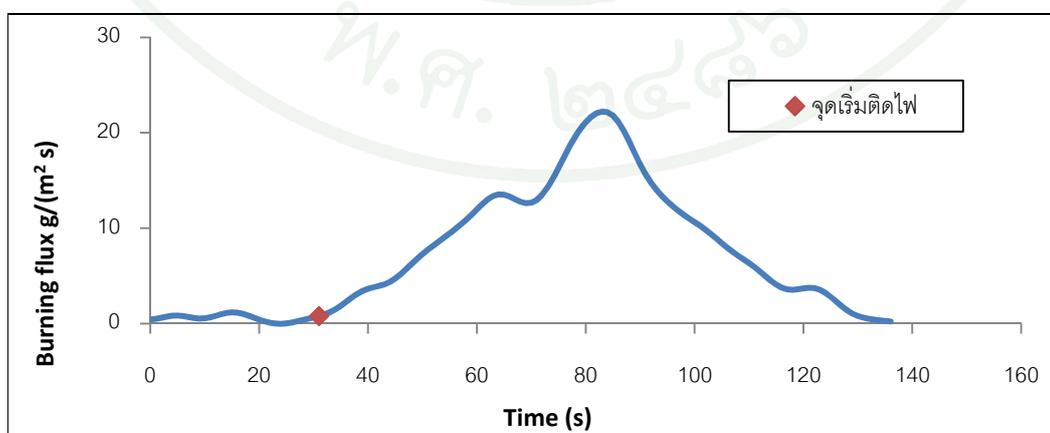
ภาพผนวกที่ ค90 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ EVA หนา15mm ที่ $15 kW/m^2$ (EVA 15-2)



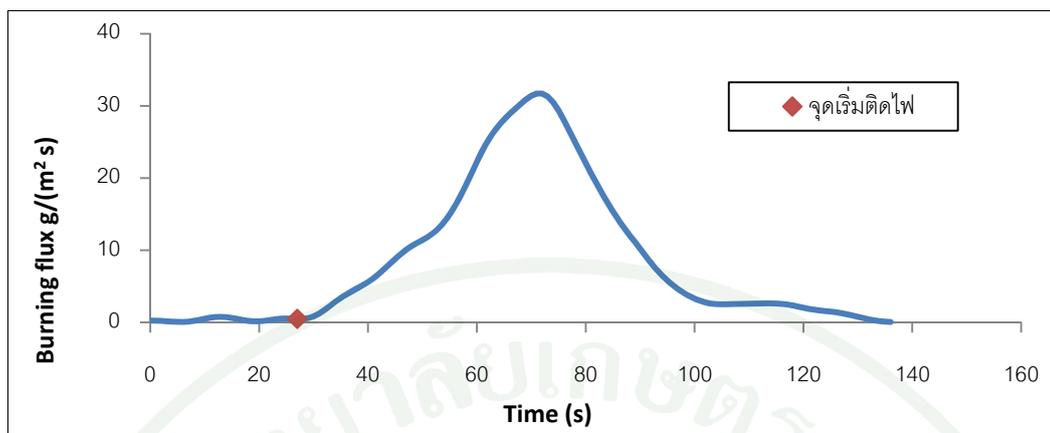
ภาพผนวกที่ ค91 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PE 50-1)



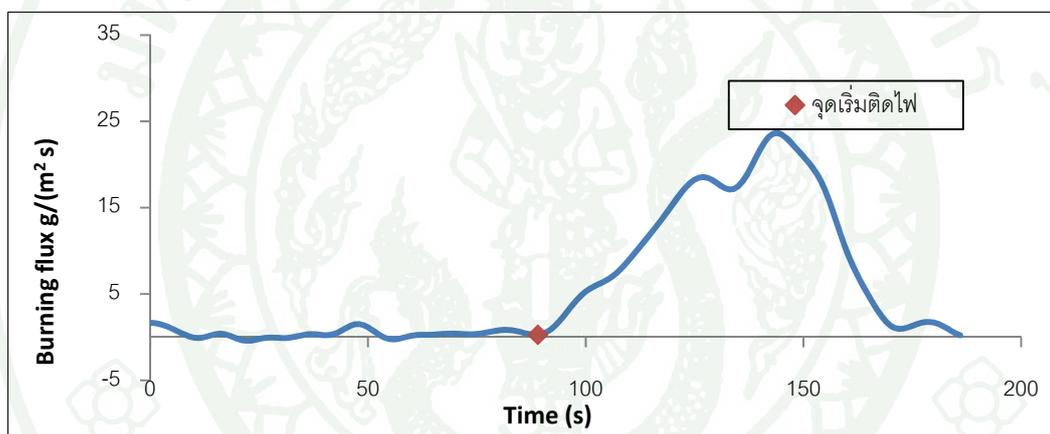
ภาพผนวกที่ ค92 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PE 50-2)



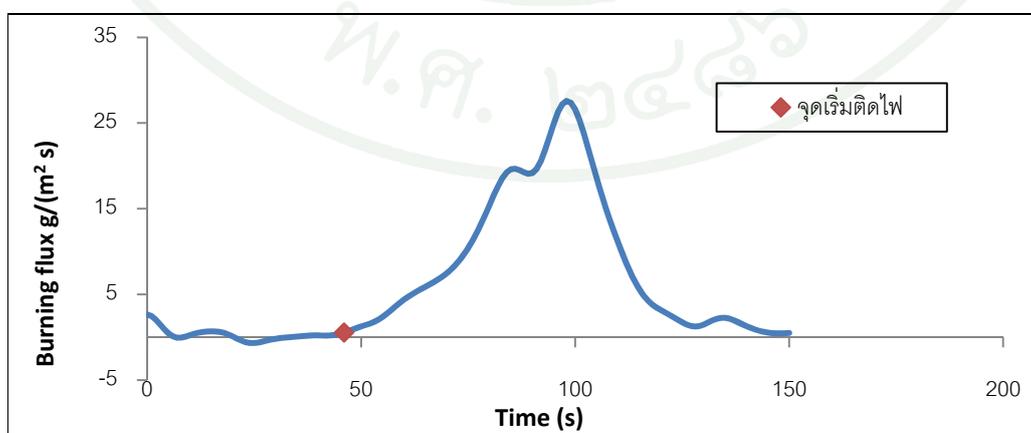
ภาพผนวกที่ ค93 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PE 40-1)



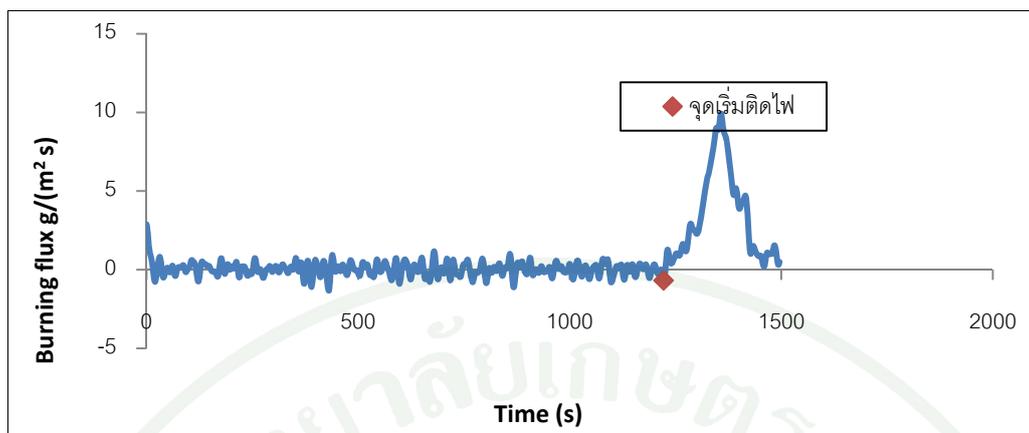
ภาพผนวกที่ ค94 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $40 kW/m^2$ (PE 40-2)



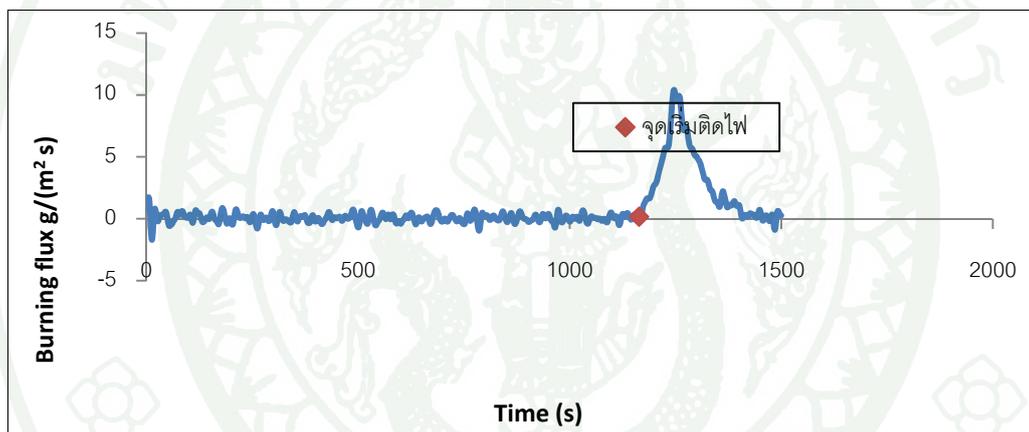
ภาพผนวกที่ ค95 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $30 kW/m^2$ (PE 30-1)



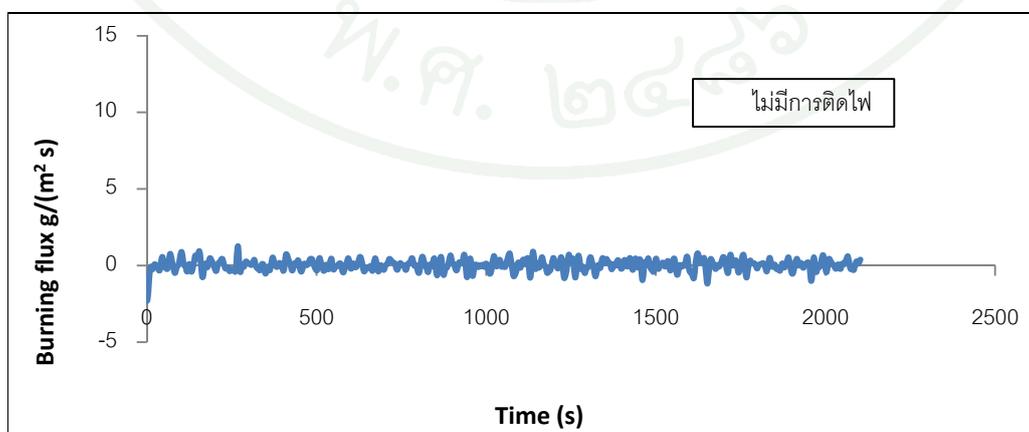
ภาพผนวกที่ ค96 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $30 kW/m^2$ (PE 30-2)



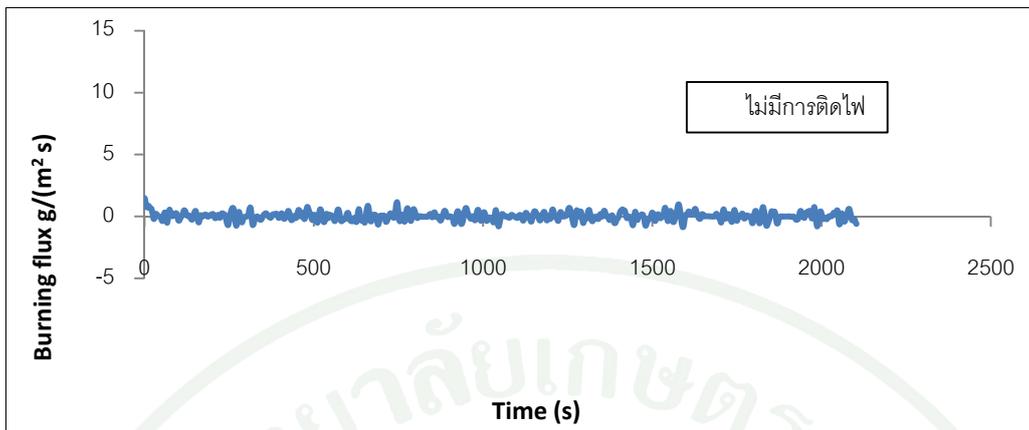
ภาพผนวกที่ ค97 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $20 kW/m^2$ (PE 20-1)



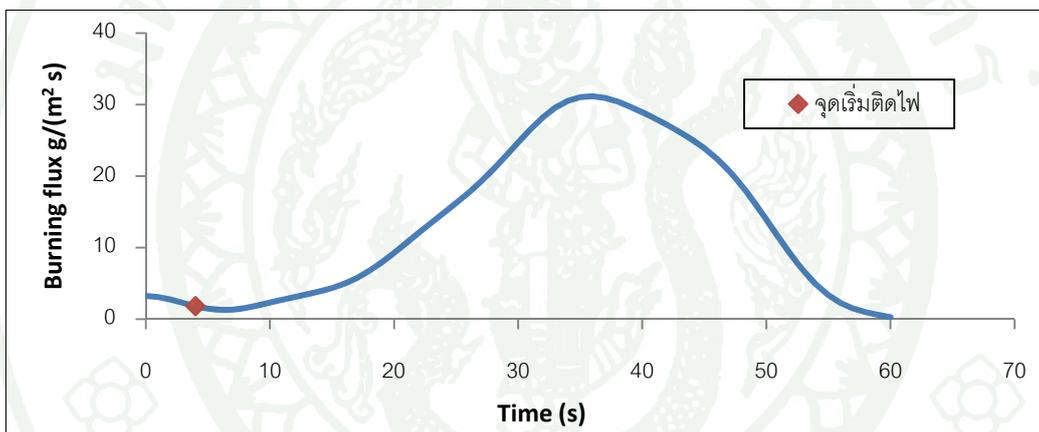
ภาพผนวกที่ ค98 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $20 kW/m^2$ (PE 20-2)



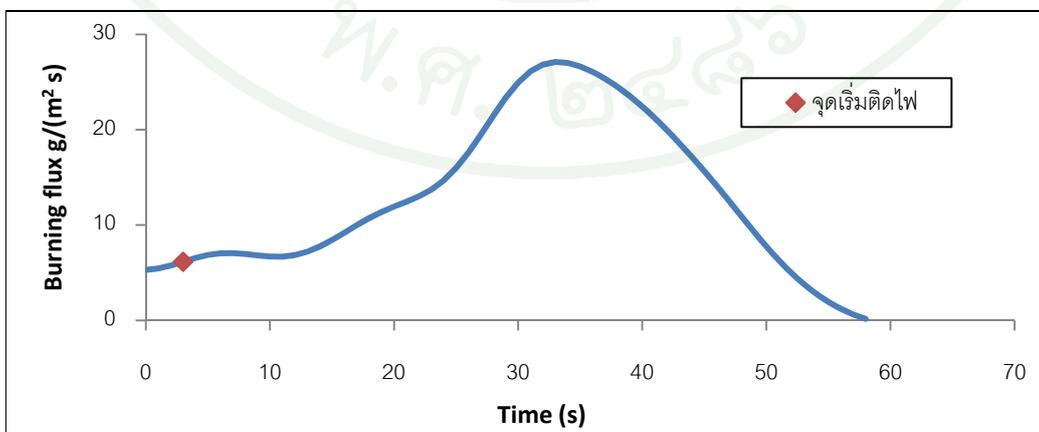
ภาพผนวกที่ ค99 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ $15 kW/m^2$ (PE 15-1)



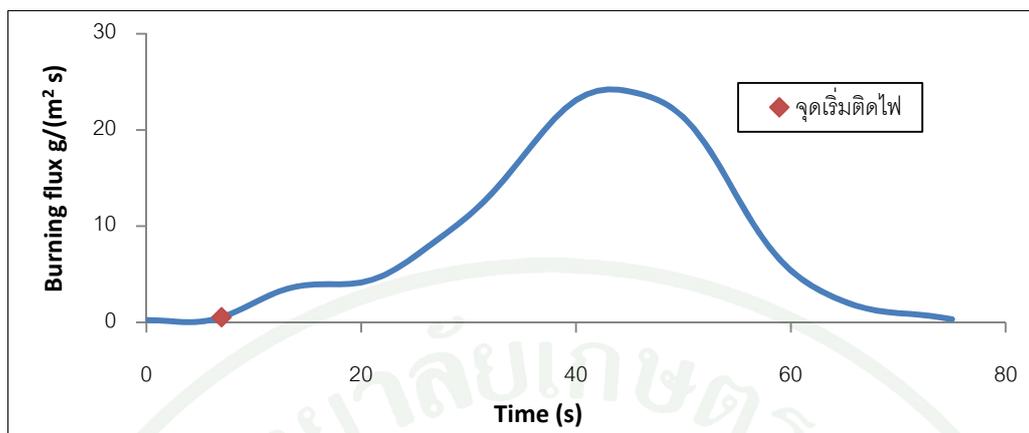
ภาพผนวกที่ ค100 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE หนา1mm ที่ 15 kW/m^2 (PE 15-2)



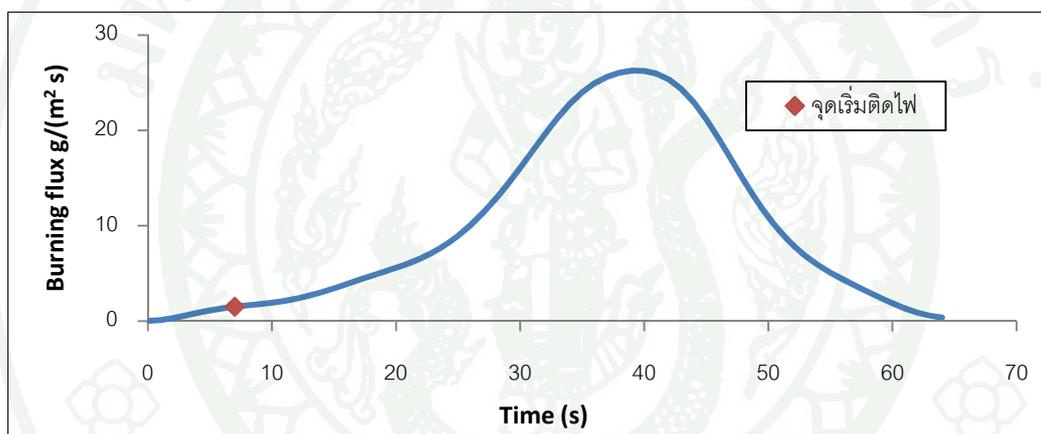
ภาพผนวกที่ ค101 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (PB 50-1)



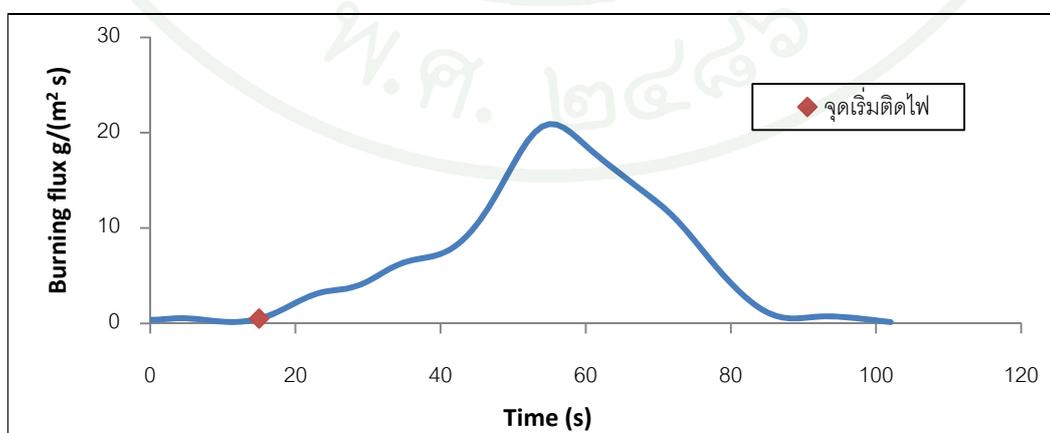
ภาพผนวกที่ ค102 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา15mm ที่ 50 kW/m^2 (PB 50-2)



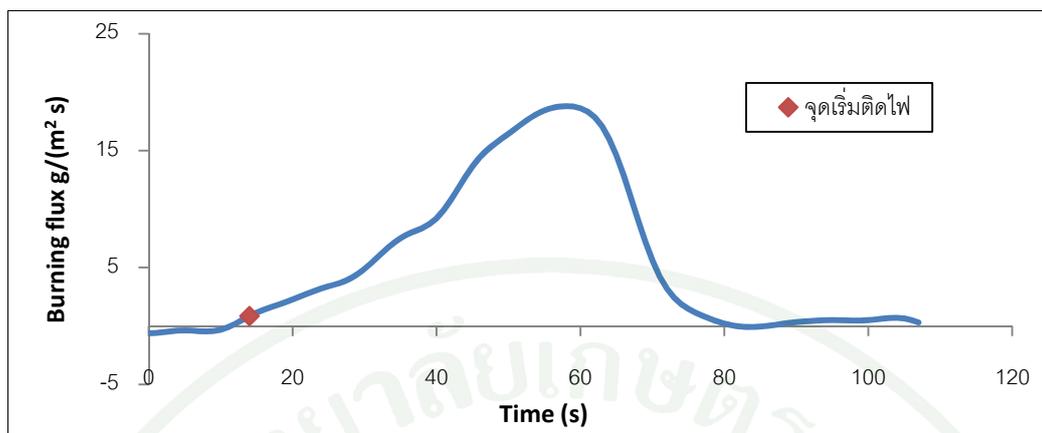
ภาพผนวกที่ ค103 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ 40 kW/m^2 (PB 40-1)



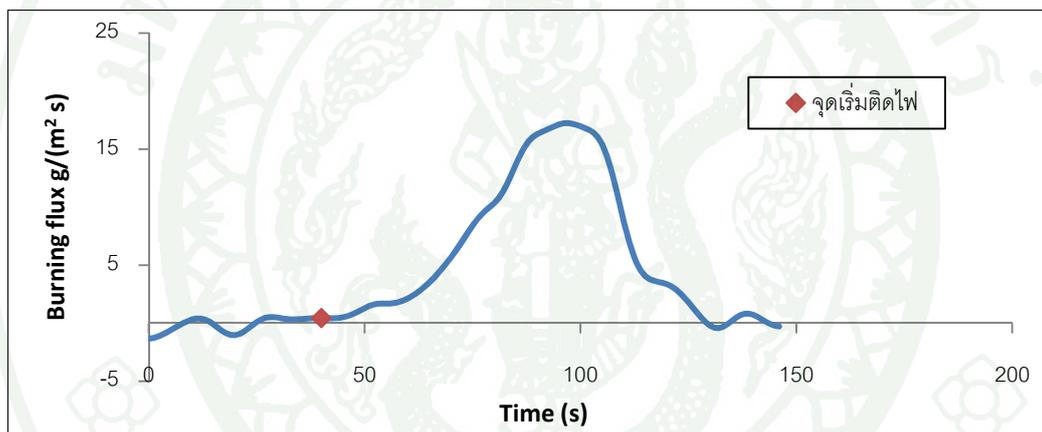
ภาพผนวกที่ ค104 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ 40 kW/m^2 (PB 40-2)



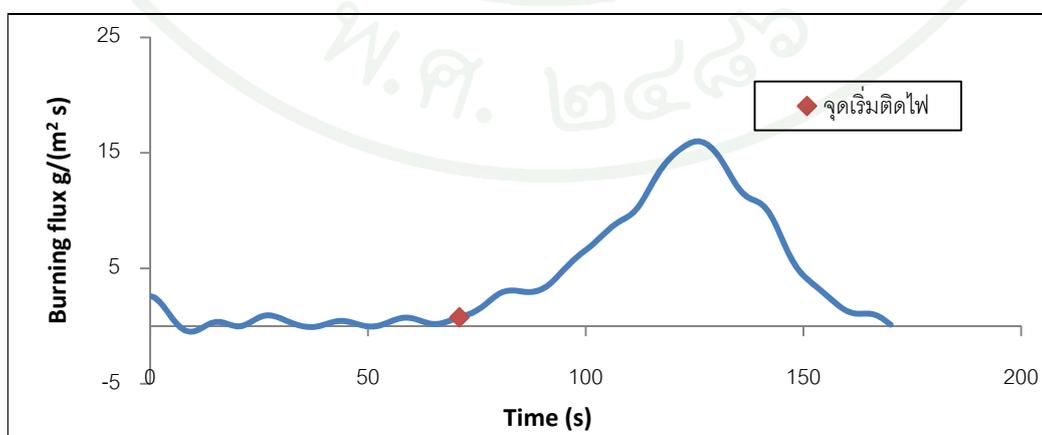
ภาพผนวกที่ ค105 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ 30 kW/m^2 (PB 30-1)



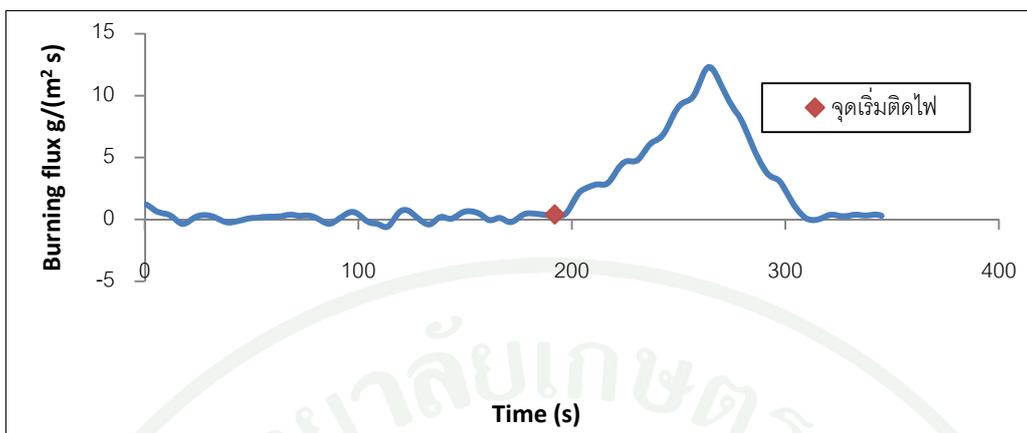
ภาพผนวกที่ ค106 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ 30 kW/m^2 (PB 30-2)



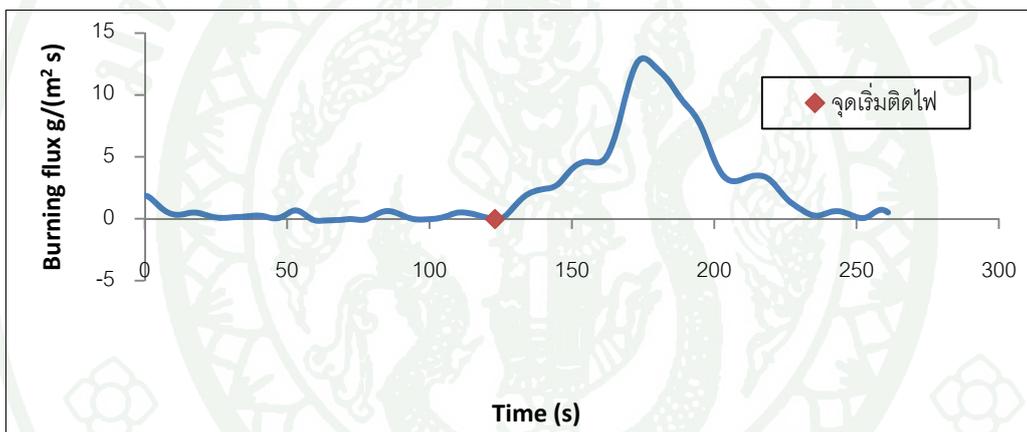
ภาพผนวกที่ ค107 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ 20 kW/m^2 (PB 20-1)



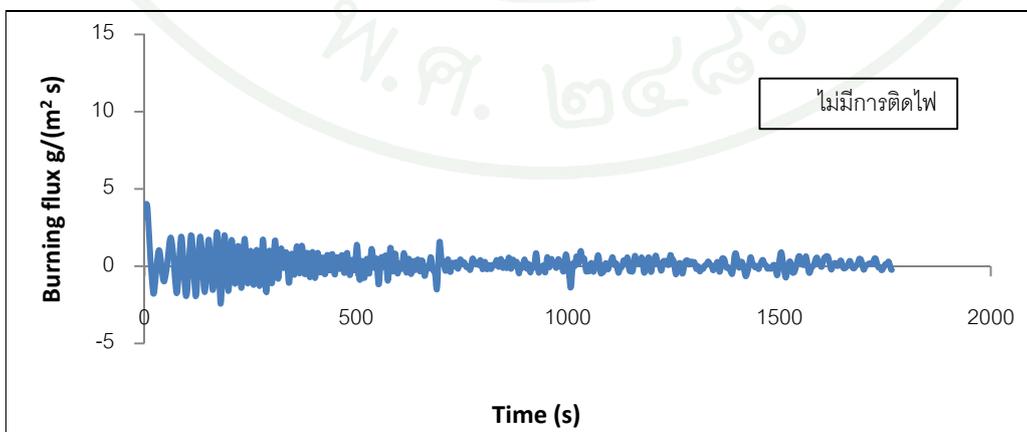
ภาพผนวกที่ ค108 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ 20 kW/m^2 (PB 20-2)



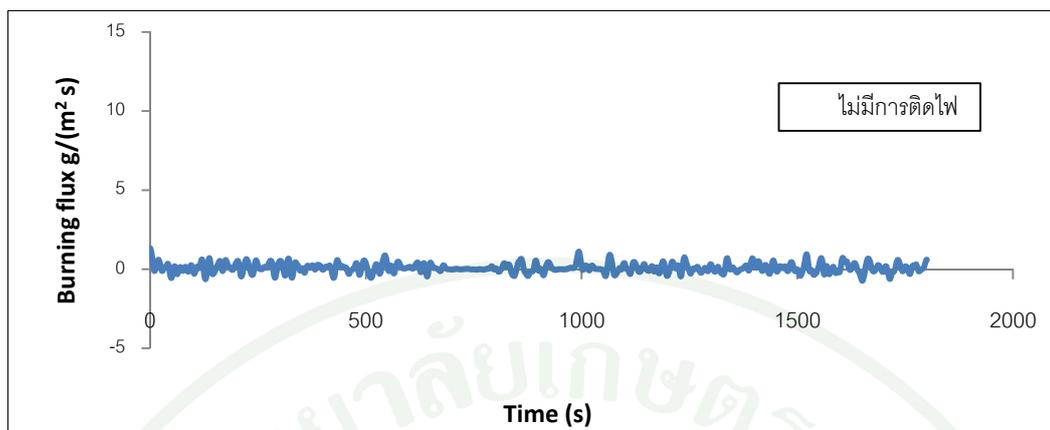
ภาพผนวกที่ ค109 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ $15 \text{ kW}/\text{m}^2$ (PB 15-1)



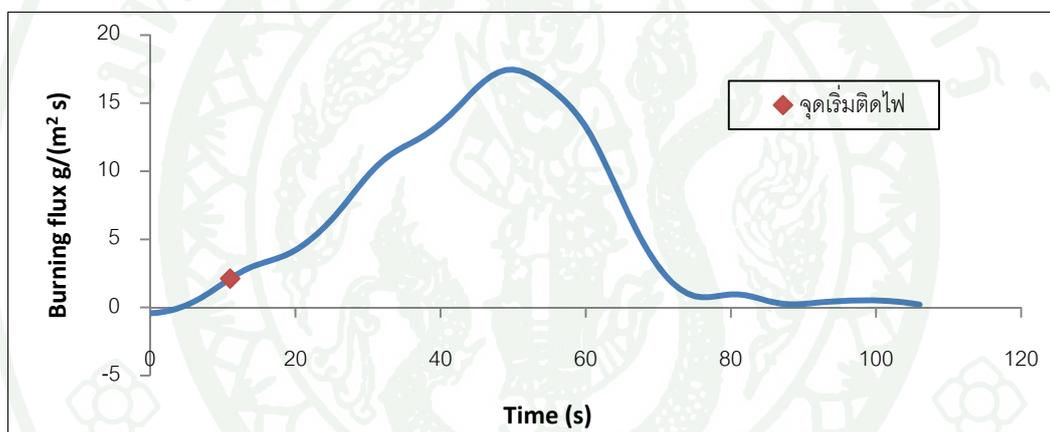
ภาพผนวกที่ ค110 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ $15 \text{ kW}/\text{m}^2$ (PB 15-2)



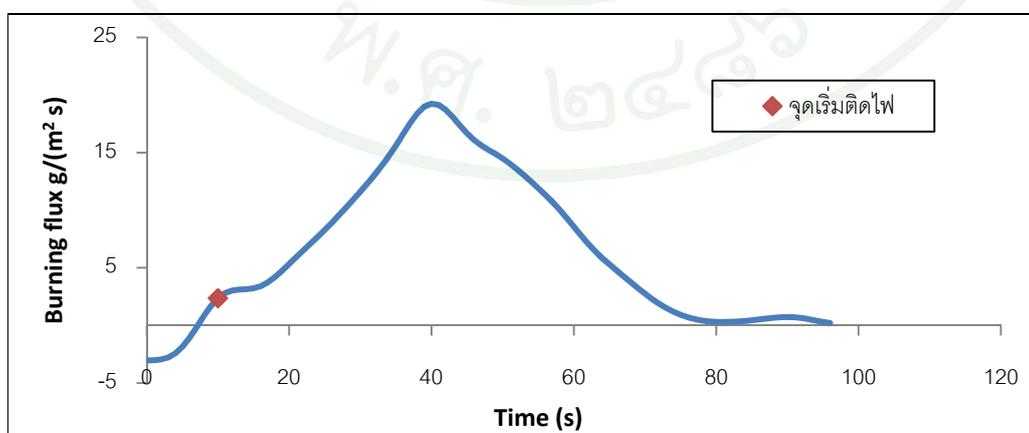
ภาพผนวกที่ ค111 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ $12 \text{ kW}/\text{m}^2$ (PB 12-1)



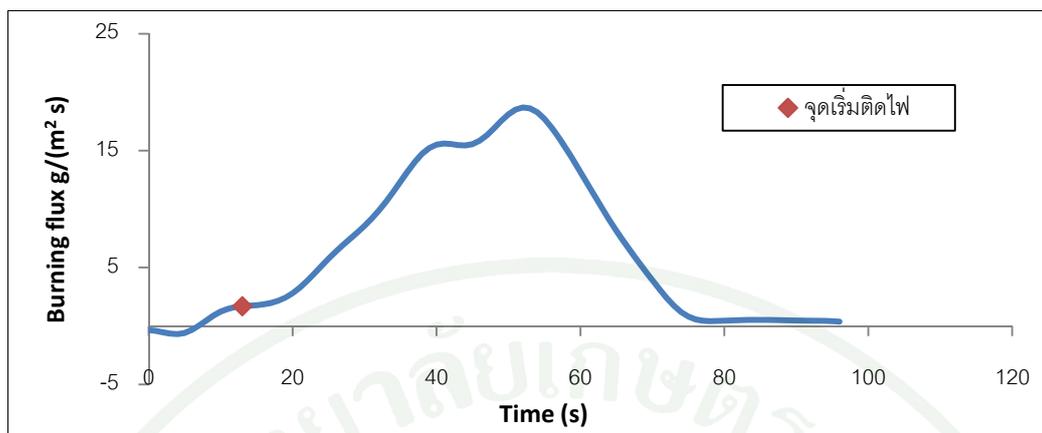
ภาพผนวกที่ ค112 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Plan Board หนา5mm ที่ 12 kW/m^2 (PB 12-2)



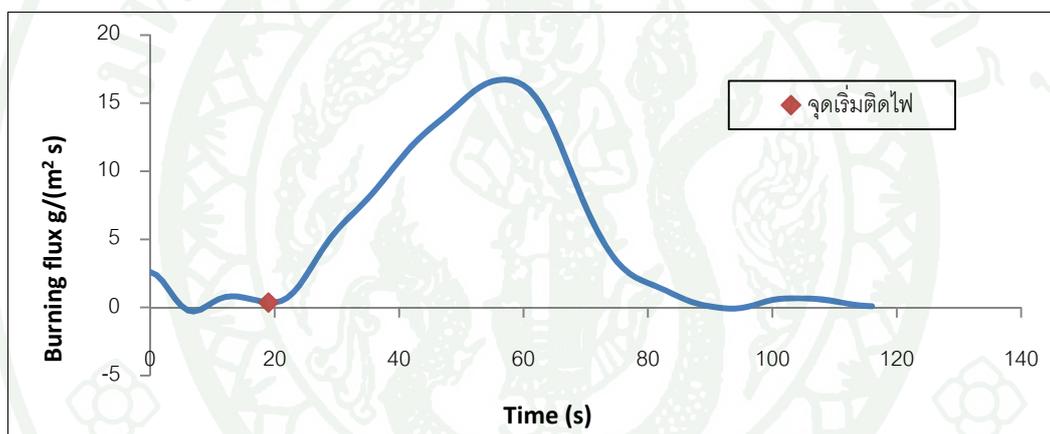
ภาพผนวกที่ ค113 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Nylon หนา5mm ที่ 50 kW/m^2 (Nylon 50-1)



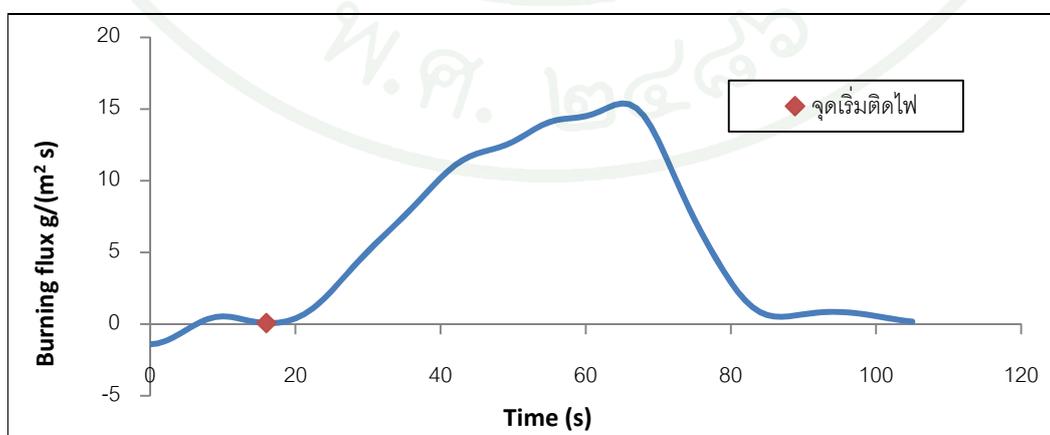
ภาพผนวกที่ ค114 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Nylon หนา5mm ที่ 50 kW/m^2 (Nylon 50-2)



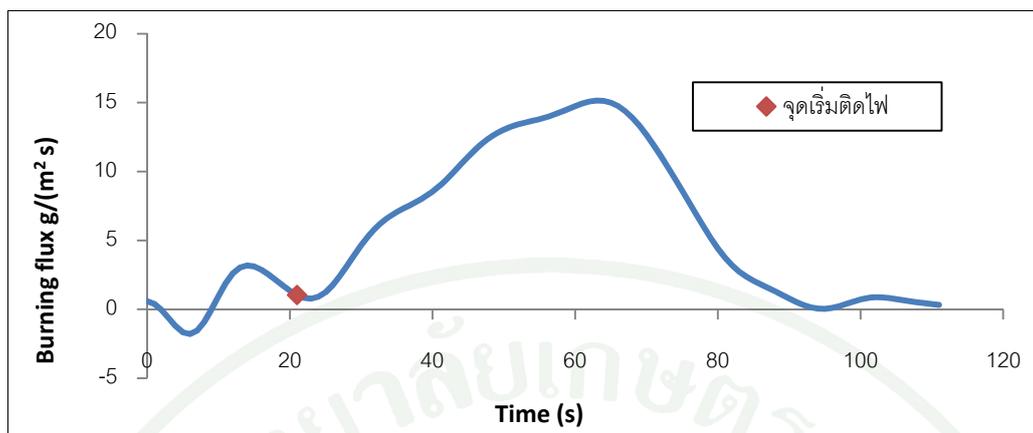
ภาพผนวกที่ ค115 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ $50 \text{ kW}/\text{m}^2$ (Nylon 50-3)



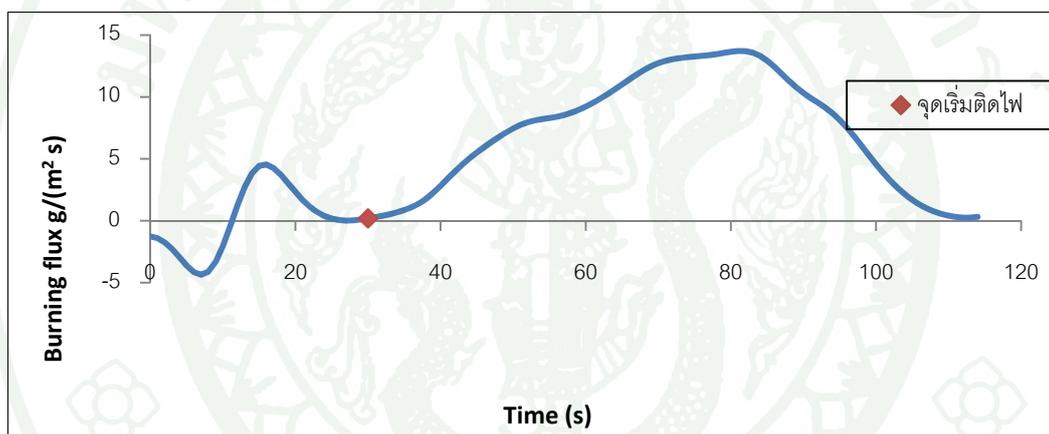
ภาพผนวกที่ ค116 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ $40 \text{ kW}/\text{m}^2$ (Nylon 40-1)



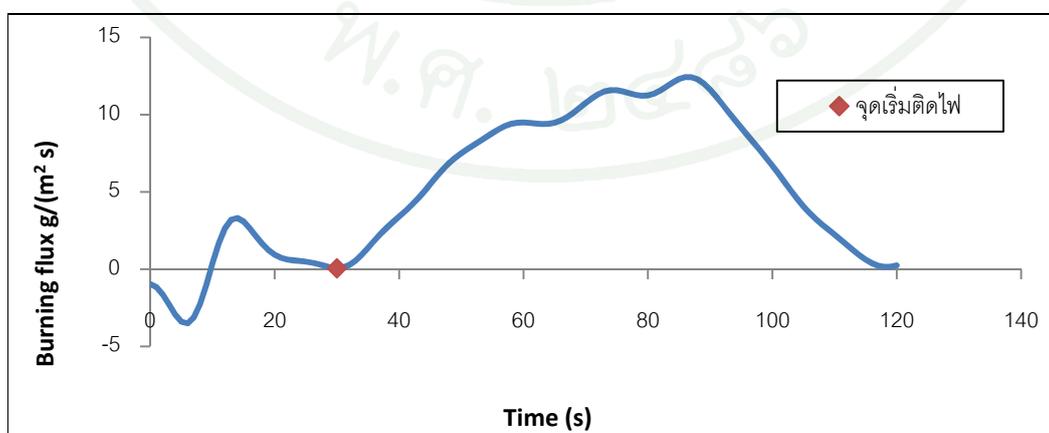
ภาพผนวกที่ ค117 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ $40 \text{ kW}/\text{m}^2$ (Nylon 40-2)



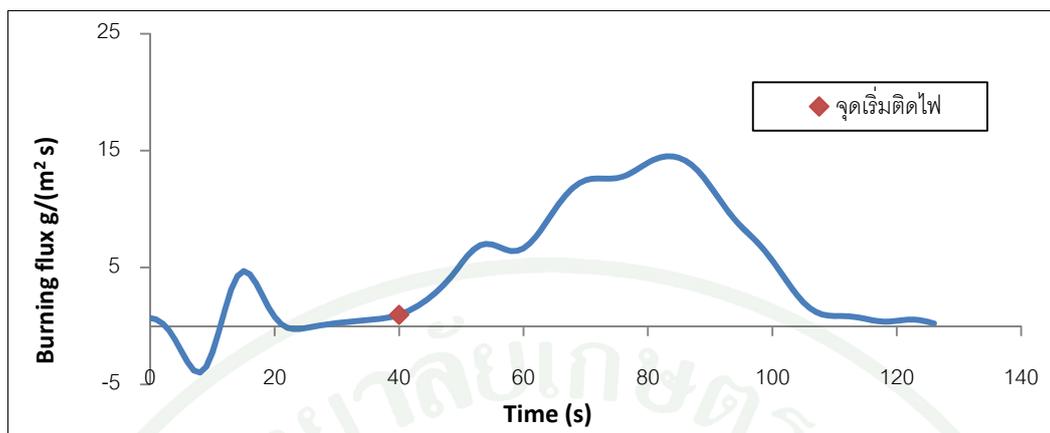
ภาพผนวกที่ ค118 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 40 kW/m^2 (Nylon 40-3)



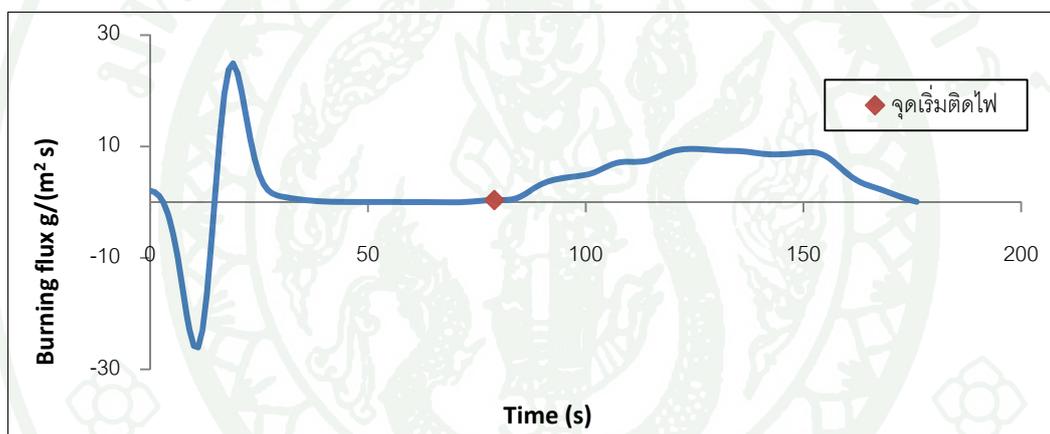
ภาพผนวกที่ ค119 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 30 kW/m^2 (Nylon 30-1)



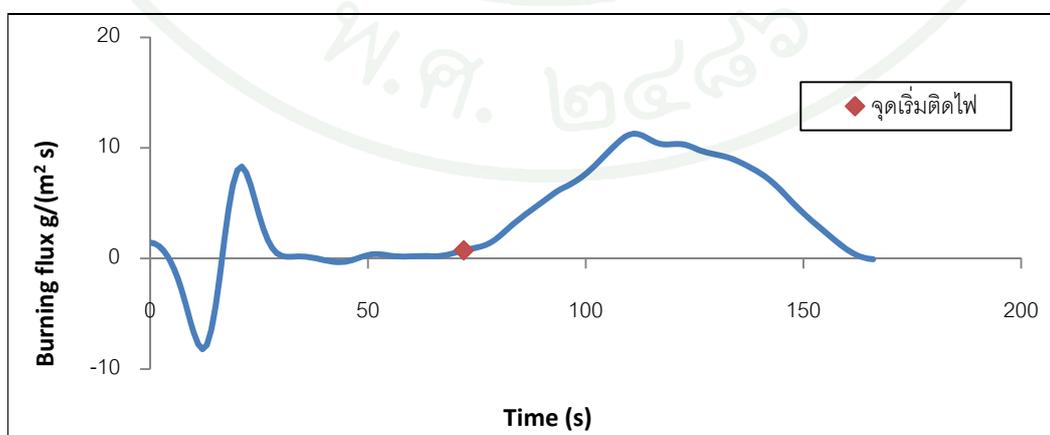
ภาพผนวกที่ ค120 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 30 kW/m^2 (Nylon 30-2)



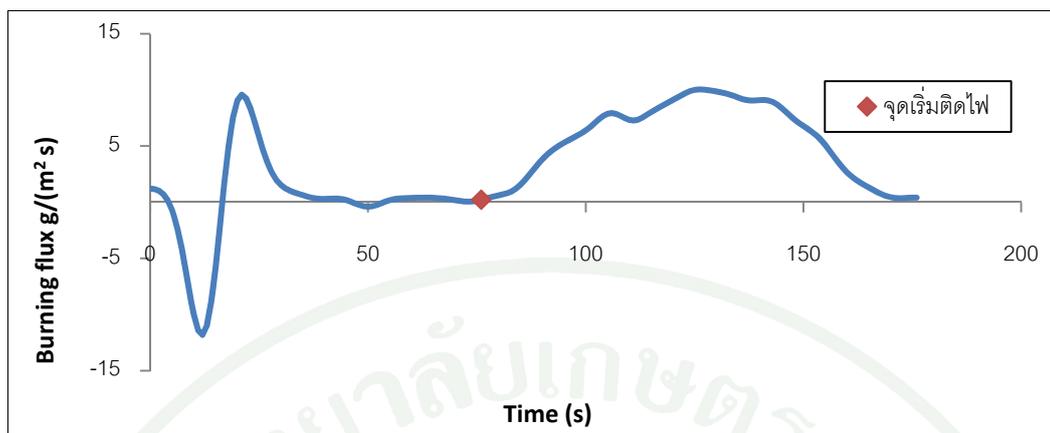
ภาพผนวกที่ ค121 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ $30 \text{ kW}/m^2$ (Nylon 30-3)



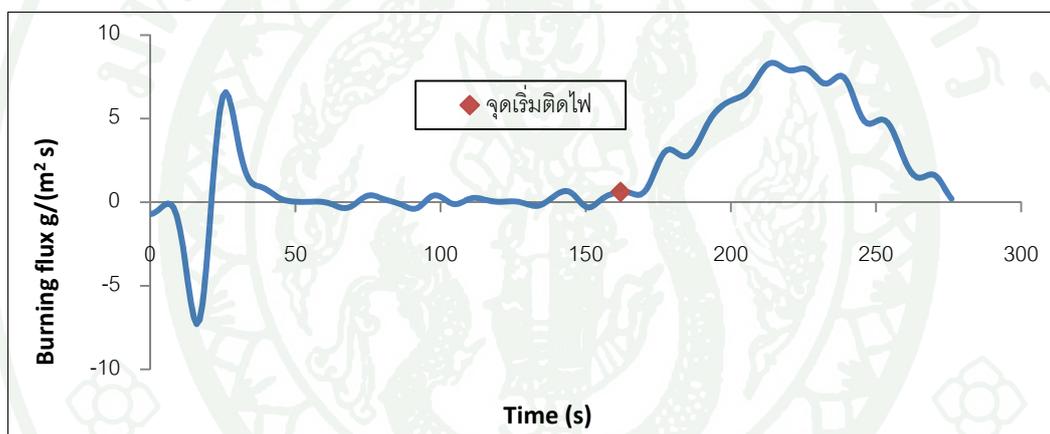
ภาพผนวกที่ ค122 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ $20 \text{ kW}/m^2$ (Nylon 20-1)



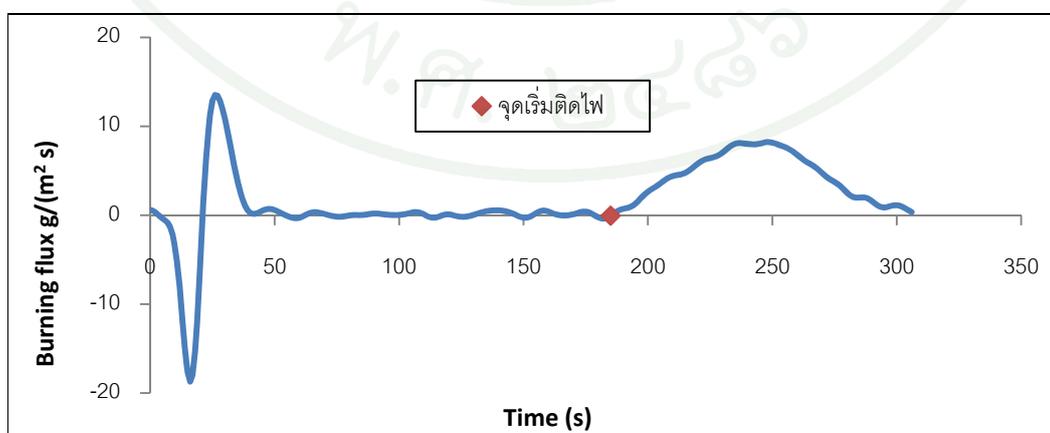
ภาพผนวกที่ ค123 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ $20 \text{ kW}/m^2$ (Nylon 20-2)



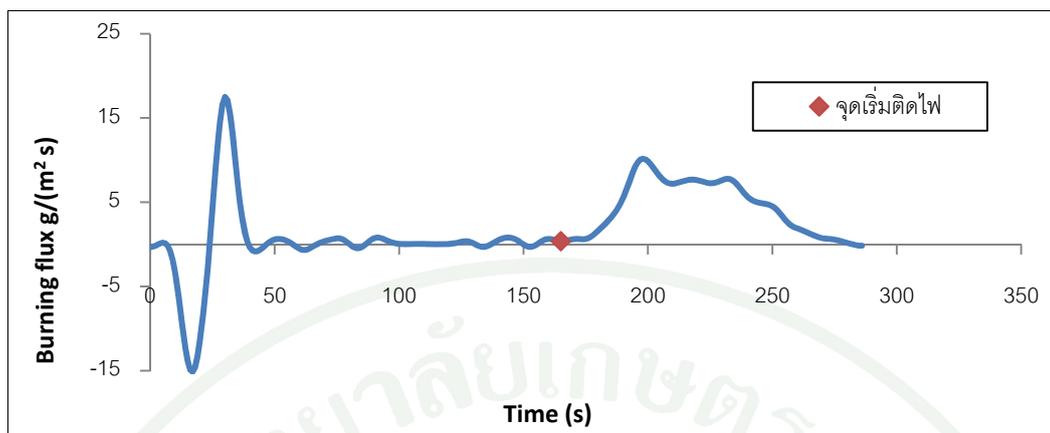
ภาพผนวกที่ ค124 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 20 kW/m^2 (Nylon 20-3)



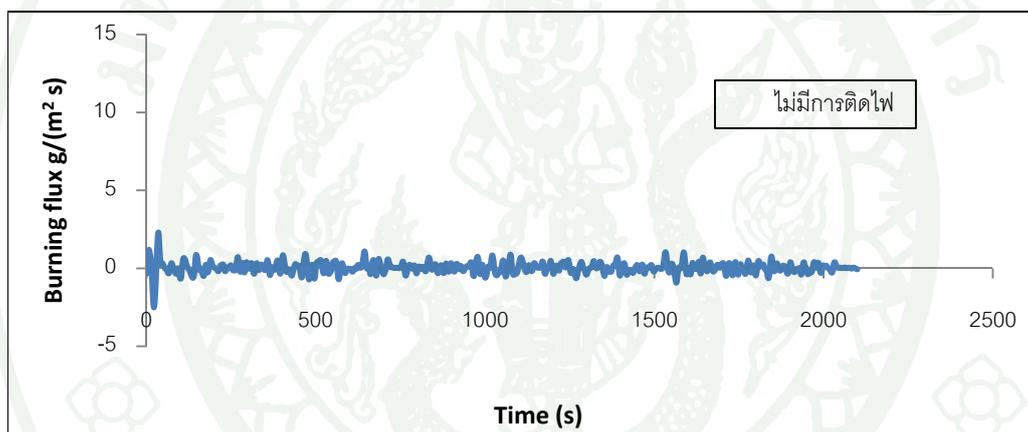
ภาพผนวกที่ ค125 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 15 kW/m^2 (Nylon 15-1)



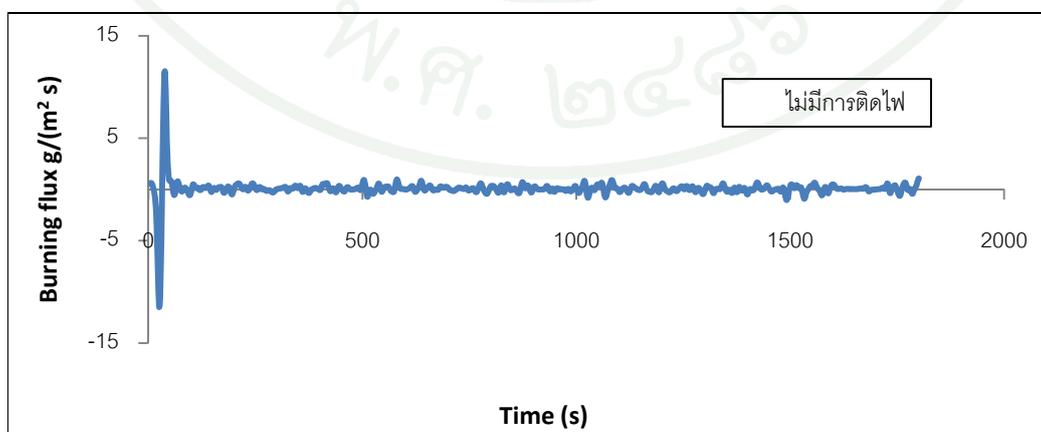
ภาพผนวกที่ ค126 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 15 kW/m^2 (Nylon 15-2)



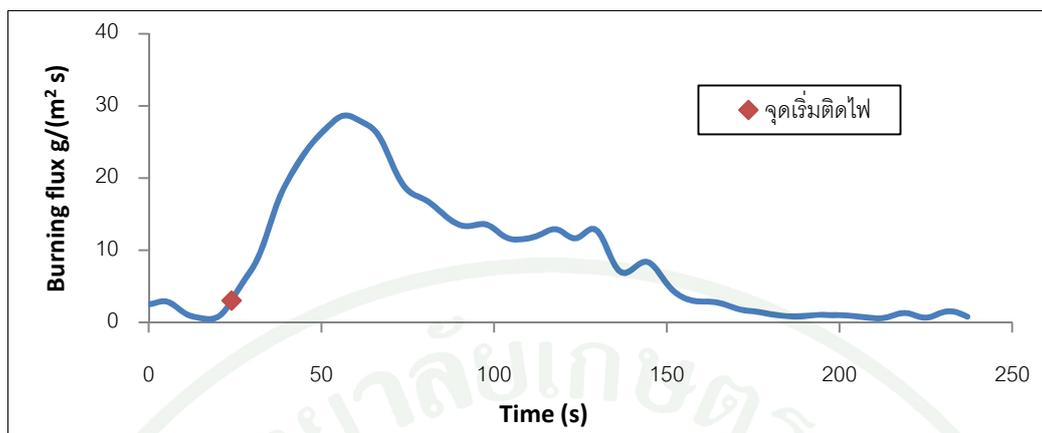
ภาพผนวกที่ ค127 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 15 kW/m^2 (Nylon 15-3)



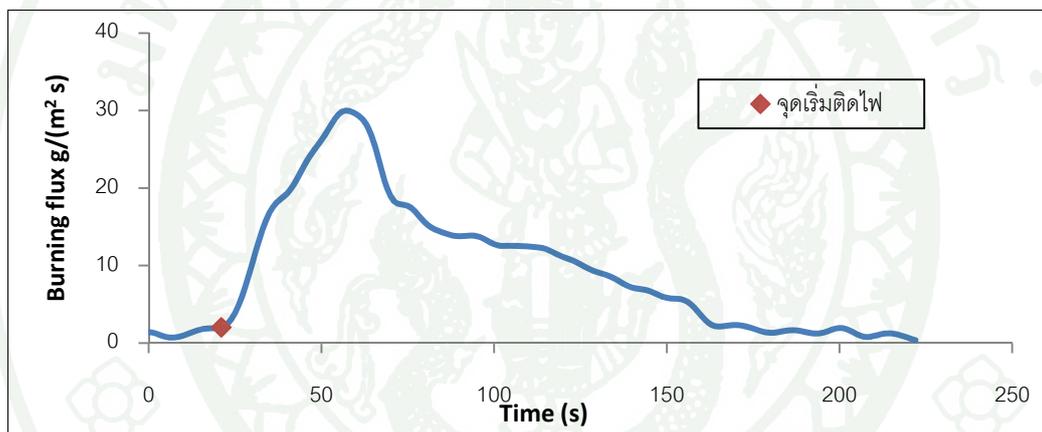
ภาพผนวกที่ ค128 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 12 kW/m^2 (Nylon 12-1)



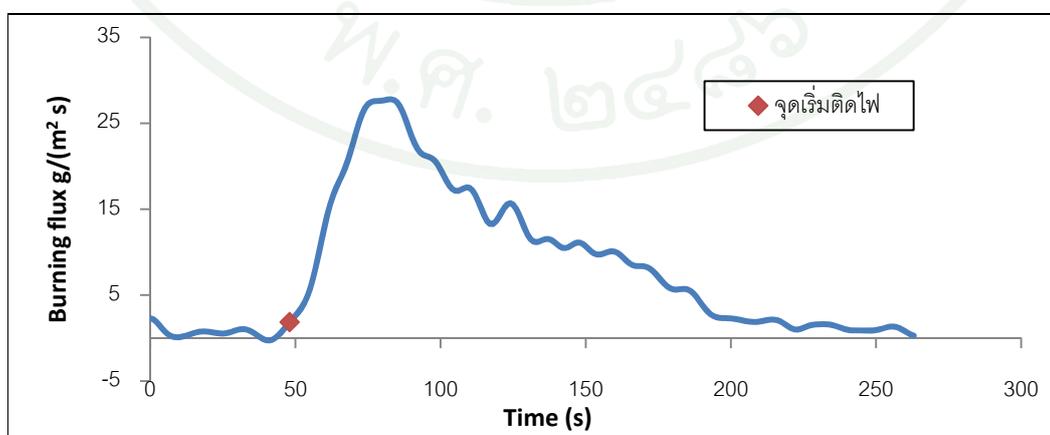
ภาพผนวกที่ ค129 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Nylon หนา 15mm ที่ 12 kW/m^2 (Nylon 12-2)



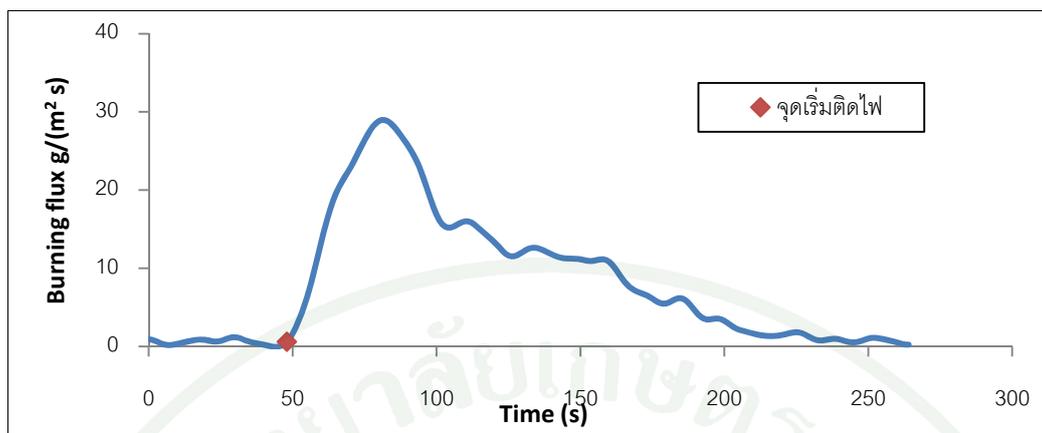
ภาพผนวกที่ ค130 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PP50-1)



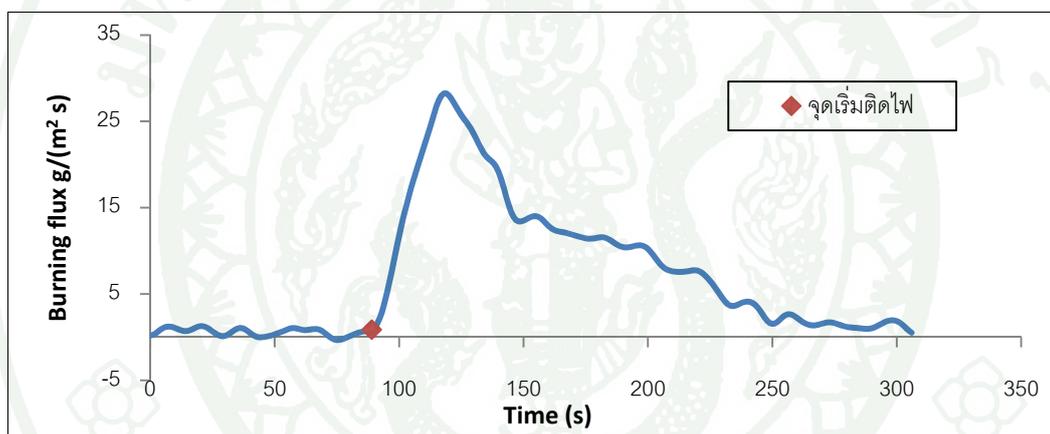
ภาพผนวกที่ ค131 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ $50 \text{ kW}/m^2$ (PP50-2)



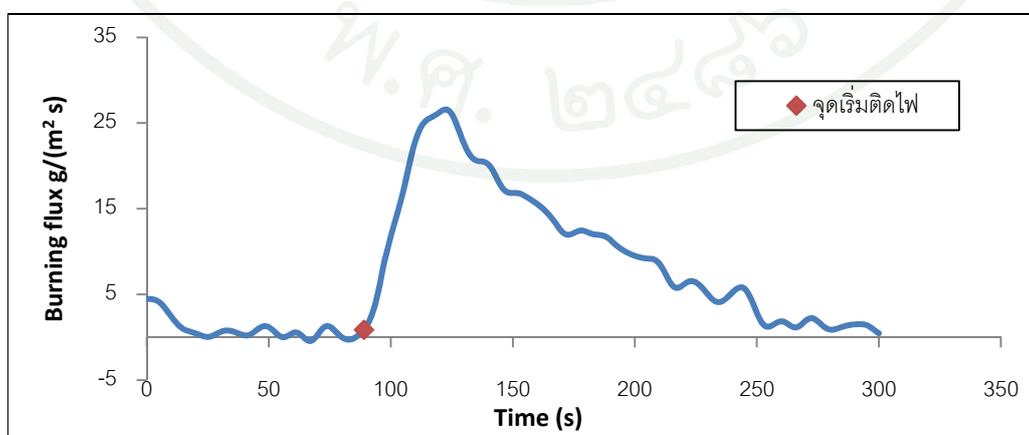
ภาพผนวกที่ ค132 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ $40 \text{ kW}/m^2$ (PP40-1)



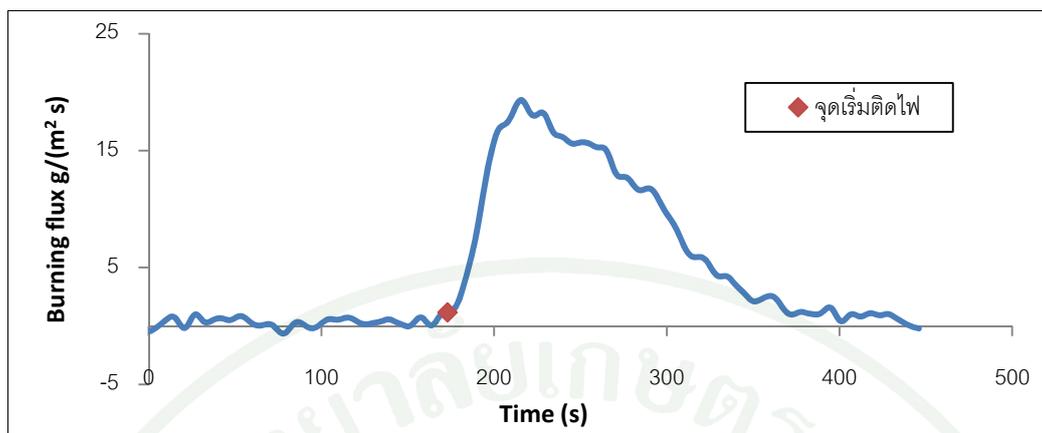
ภาพผนวกที่ ค133 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 40 kW/m^2 (PP40-2)



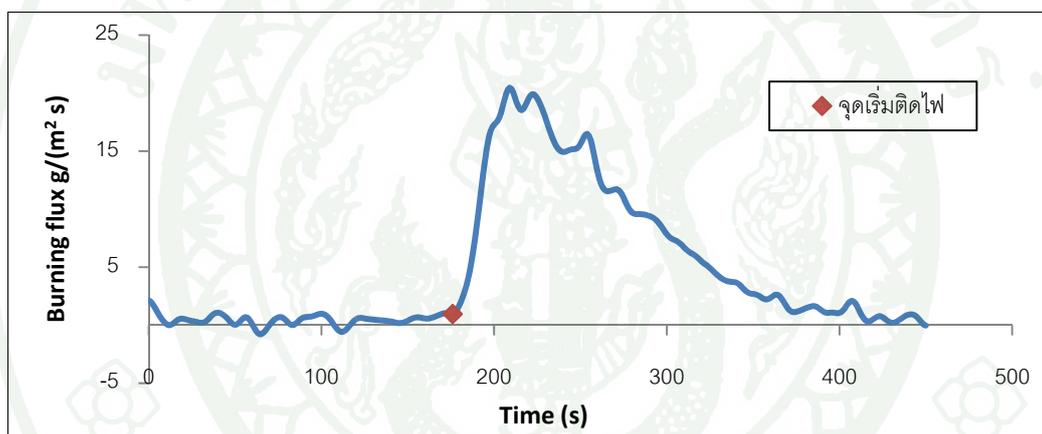
ภาพผนวกที่ ค134 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 30 kW/m^2 (PP30-1)



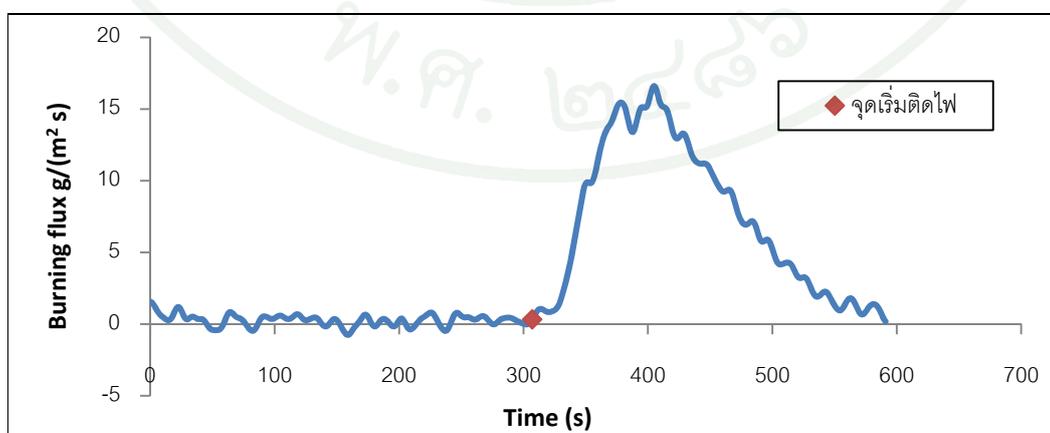
ภาพผนวกที่ ค135 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ 30 kW/m^2 (PP30-2)



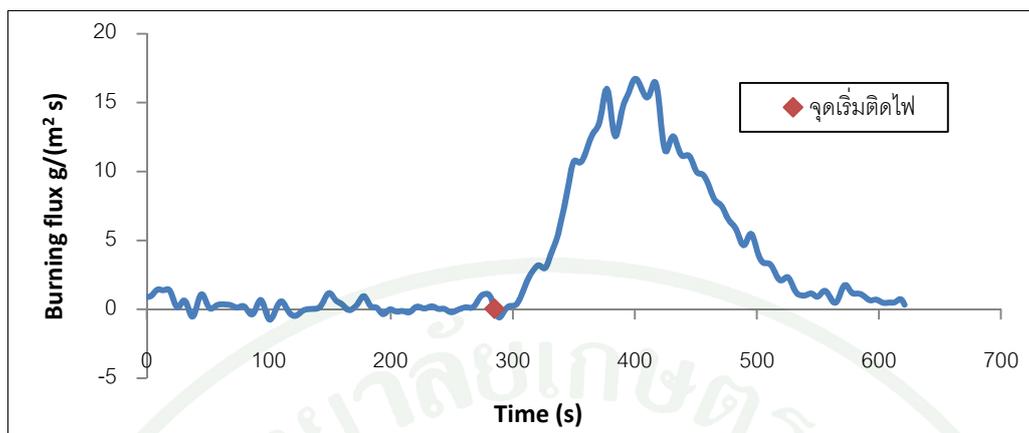
ภาพผนวกที่ ค136 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ $20 kW/m^2$ (PP20-1)



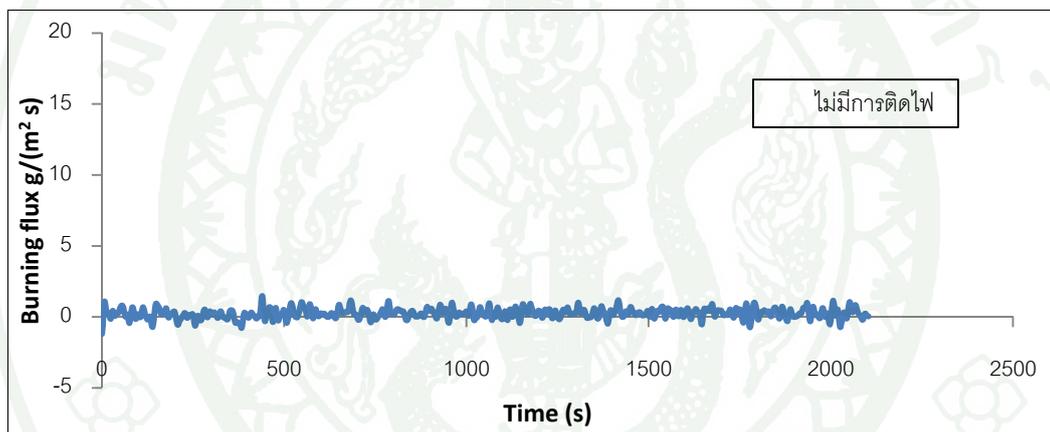
ภาพผนวกที่ ค137 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ $20 kW/m^2$ (PP20-2)



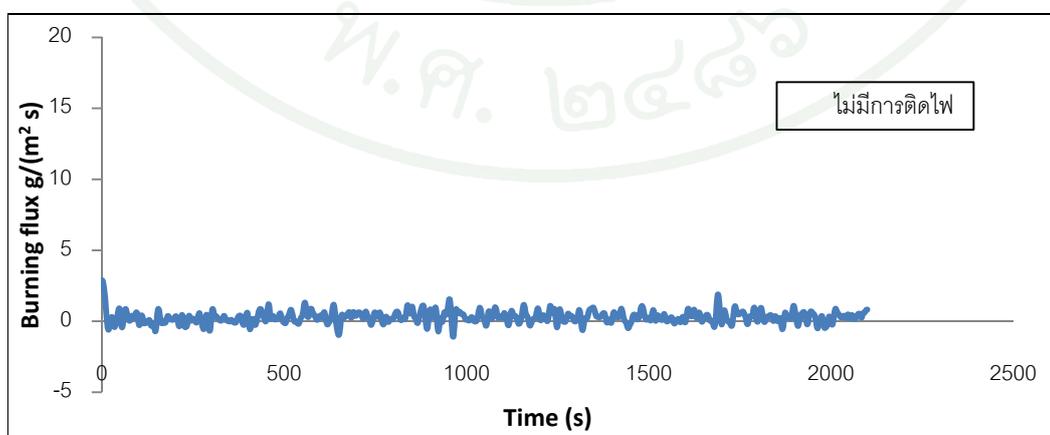
ภาพผนวกที่ ค138 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หนา 5 mm ที่ $15 kW/m^2$ (PP15-1)



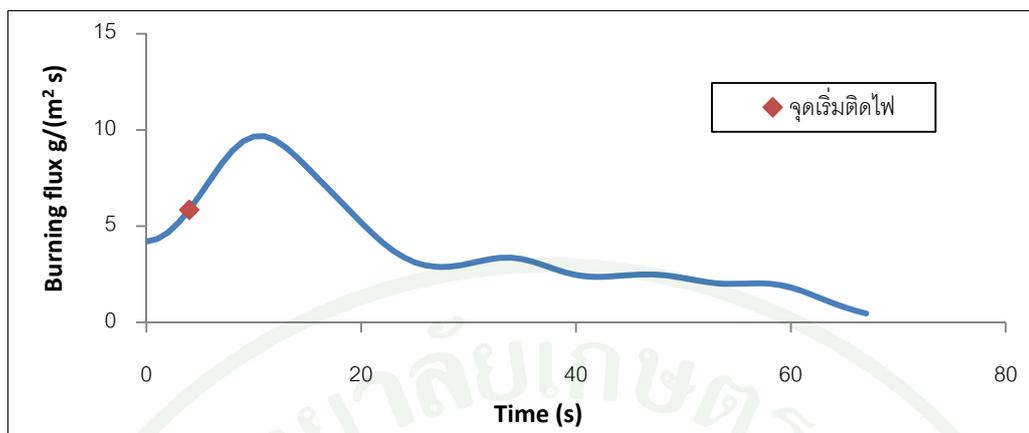
ภาพผนวกที่ ค139 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ $15 kW/m^2$ (PP15-2)



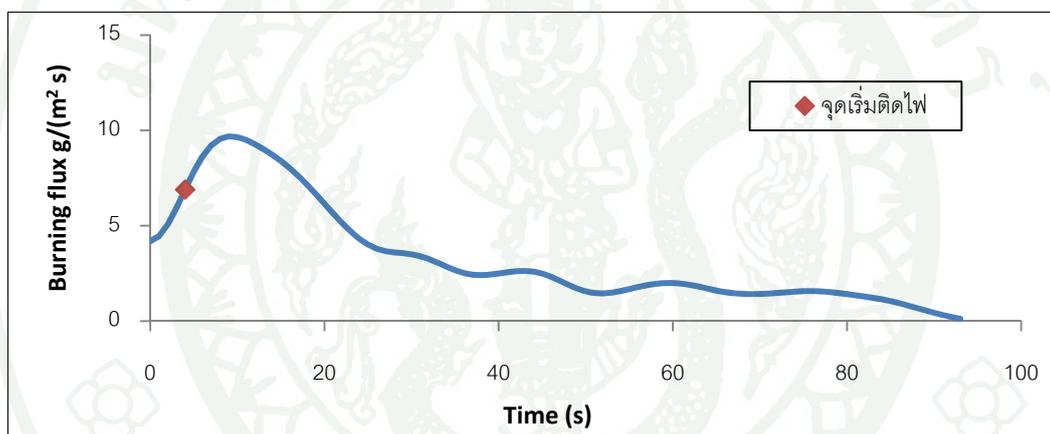
ภาพผนวกที่ ค140 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ $12 kW/m^2$ (PP12-1)



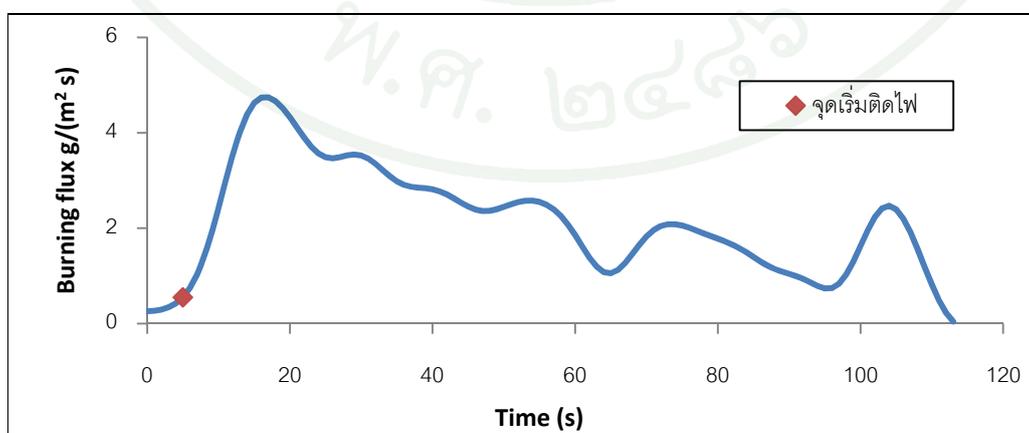
ภาพผนวกที่ ค141 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Polypropylene หน้า 5 mm ที่ $12 kW/m^2$ (PP12-2)



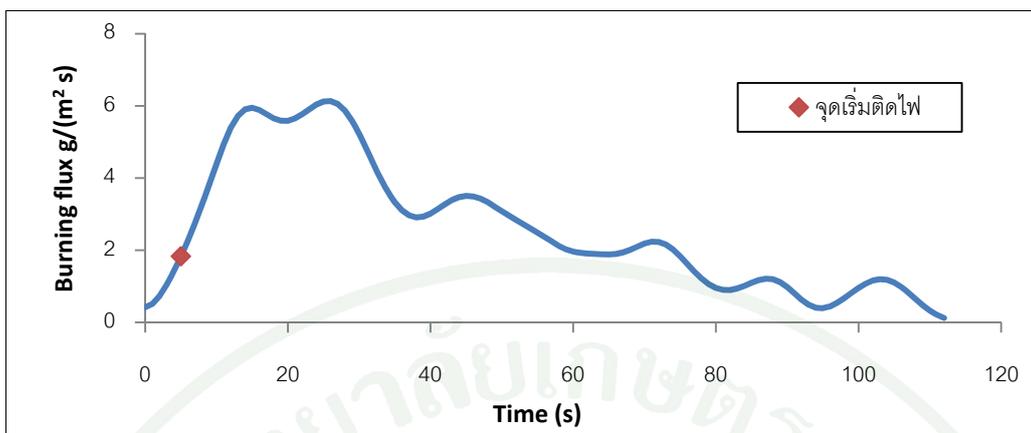
ภาพผนวกที่ ค142 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 50 kW/m² (Viny150-1)



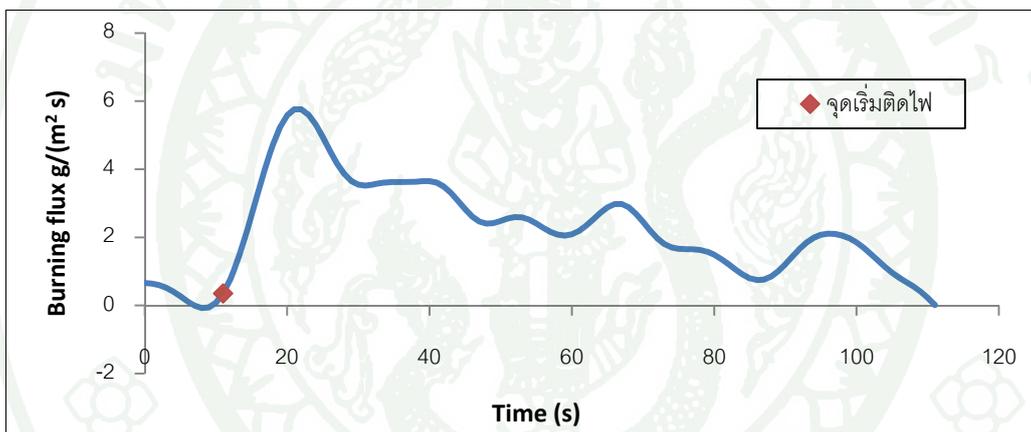
ภาพผนวกที่ ค143 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 50 kW/m² (Viny150-2)



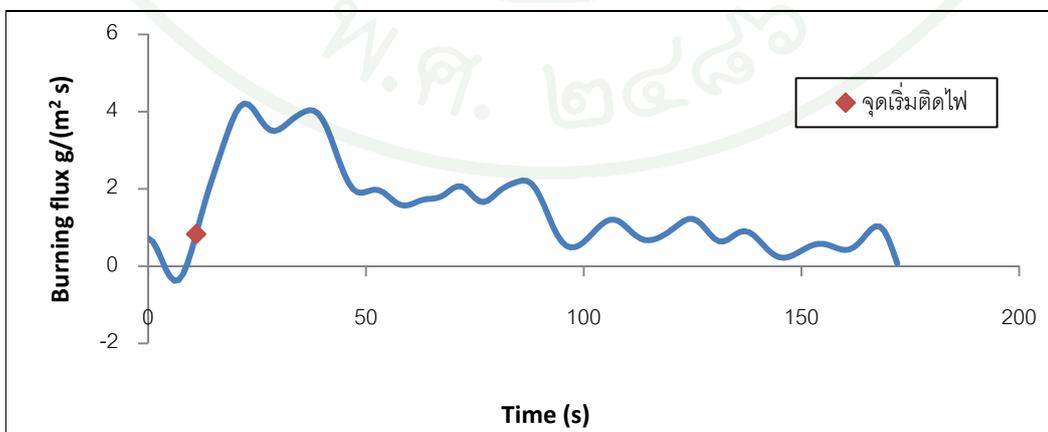
ภาพผนวกที่ ค144 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 40 kW/m² (Viny140-1)



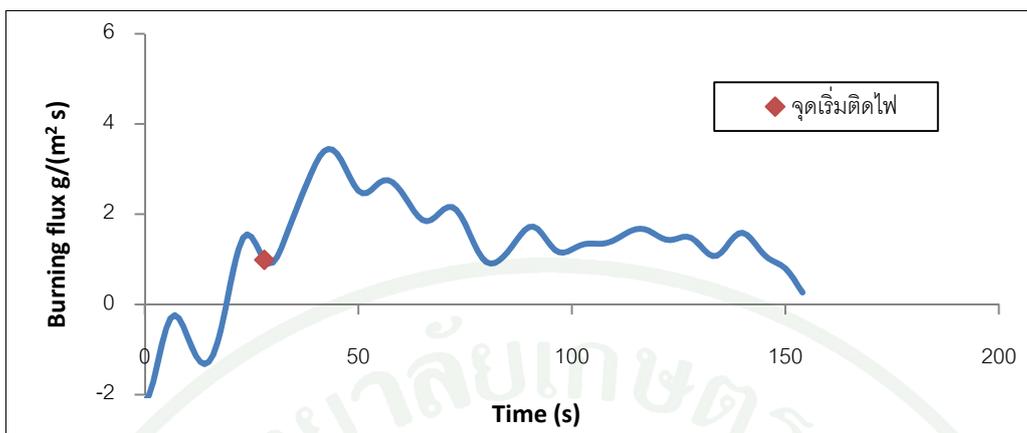
ภาพผนวกที่ ค145 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 40 kW/m² (Vinyl40-2)



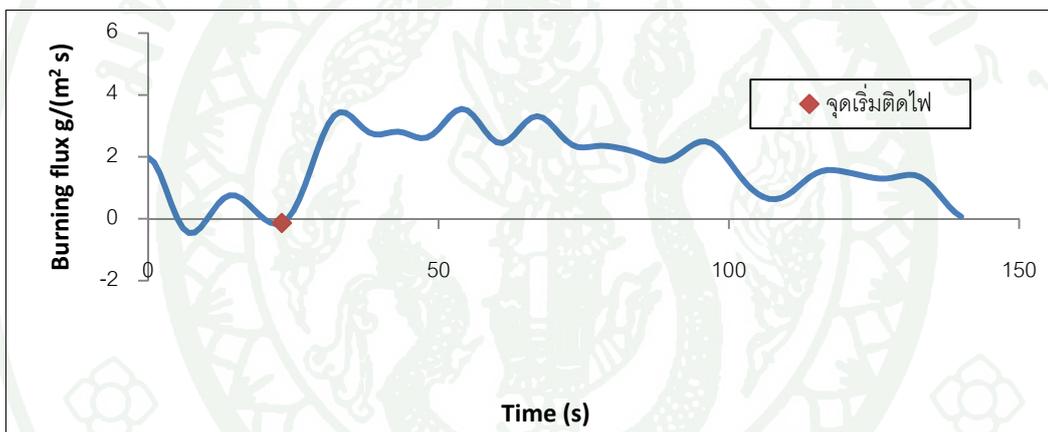
ภาพผนวกที่ ค146 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 30 kW/m² (Vinyl30-1)



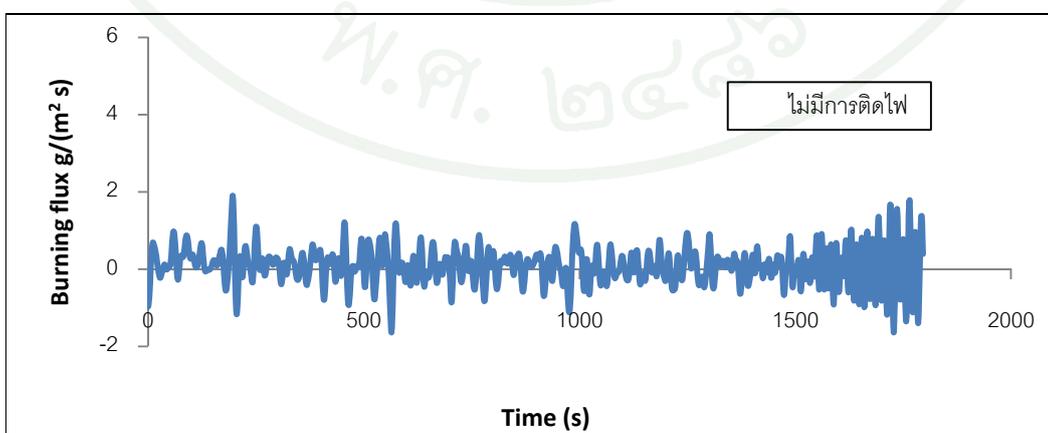
ภาพผนวกที่ ค147 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 30 kW/m² (Vinyl30-2)



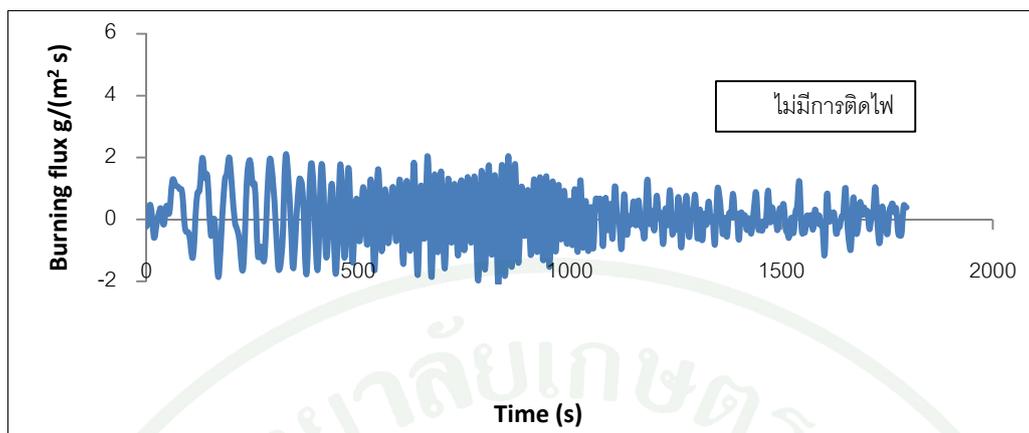
ภาพผนวกที่ ค148 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 20 kW/m² (Vinyl20-1)



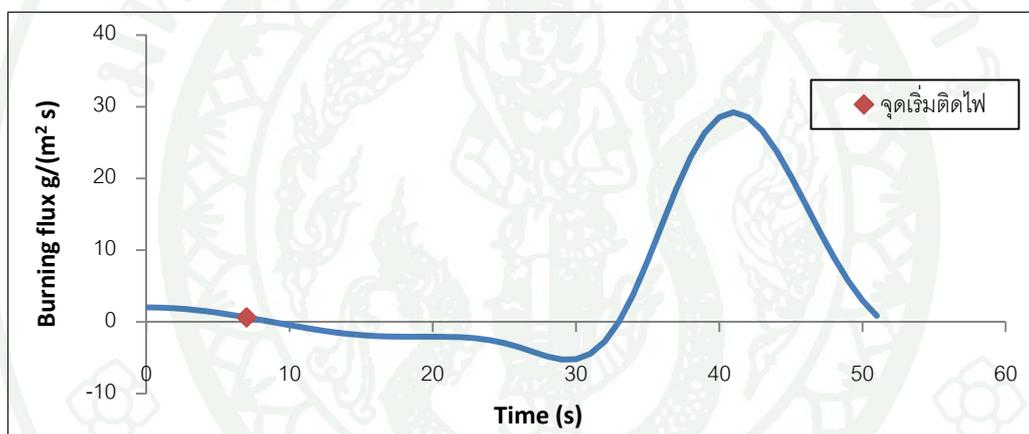
ภาพผนวกที่ ค149 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 20 kW/m² (Vinyl20-2)



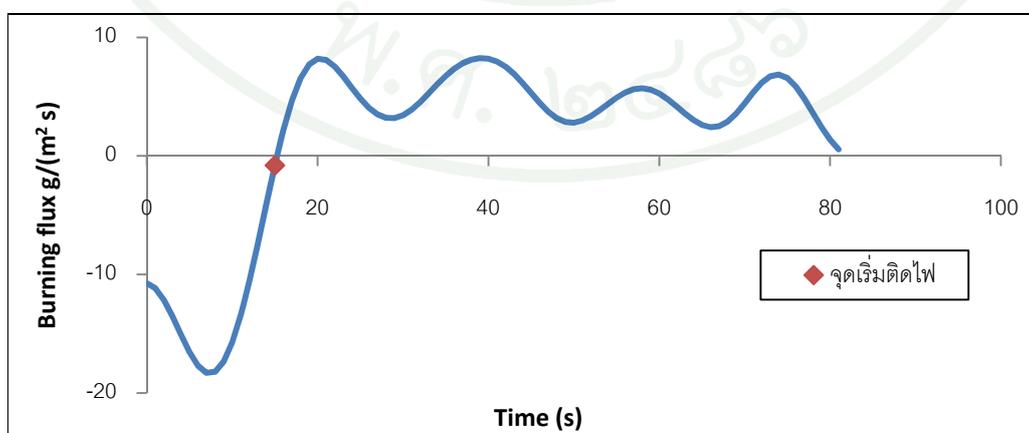
ภาพผนวกที่ ค150 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 15 kW/m² (Vinyl15-1)



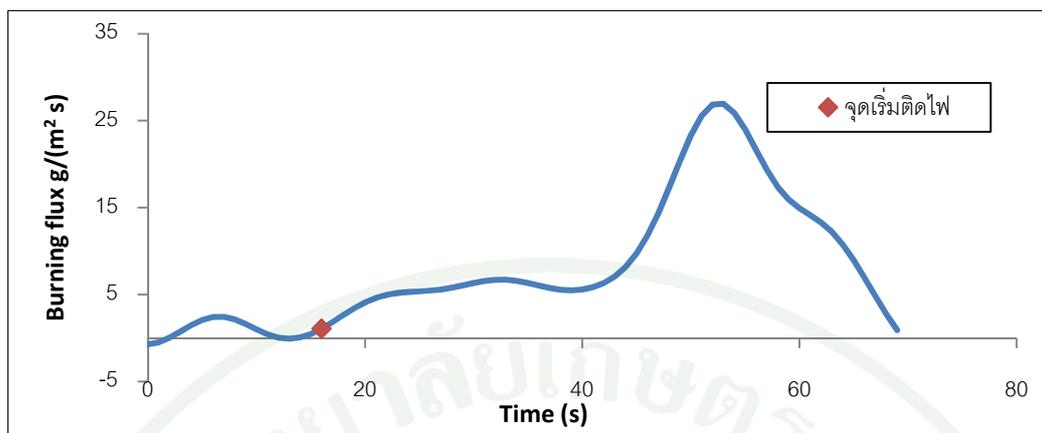
ภาพผนวกที่ ค151 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ Vinyl หนา 0.5 mm ที่ 15 kW/m^2 (Vinyl15-2)



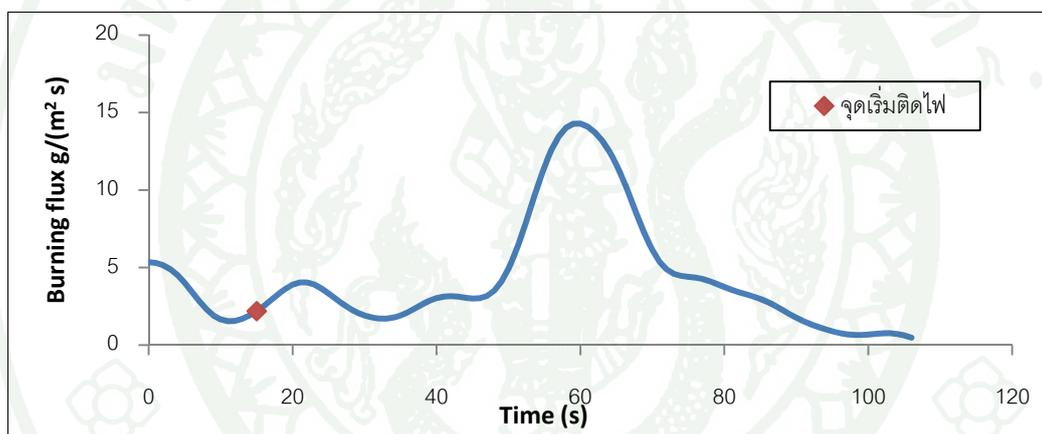
ภาพผนวกที่ ค152 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา 10mm ที่ 50 kW/m^2 (PE-F 50-1)



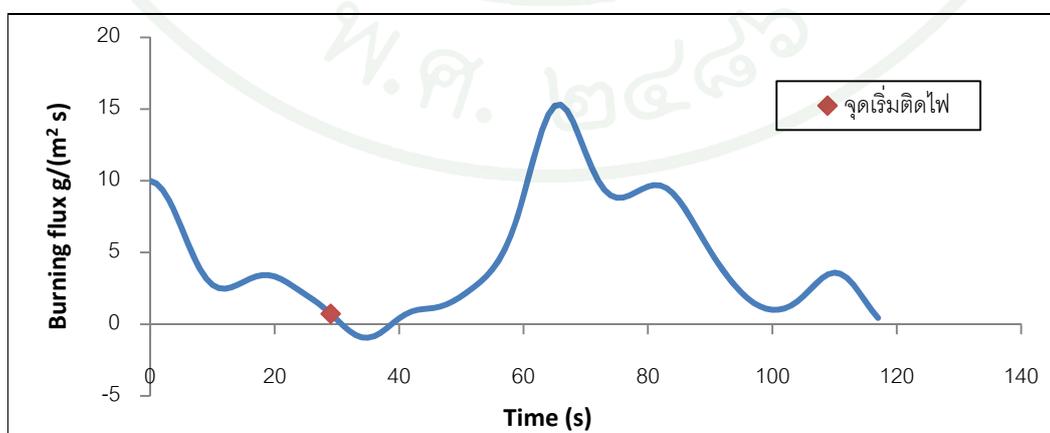
ภาพผนวกที่ ค153 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา 10mm ที่ 50 kW/m^2 (PE-F 50-2)



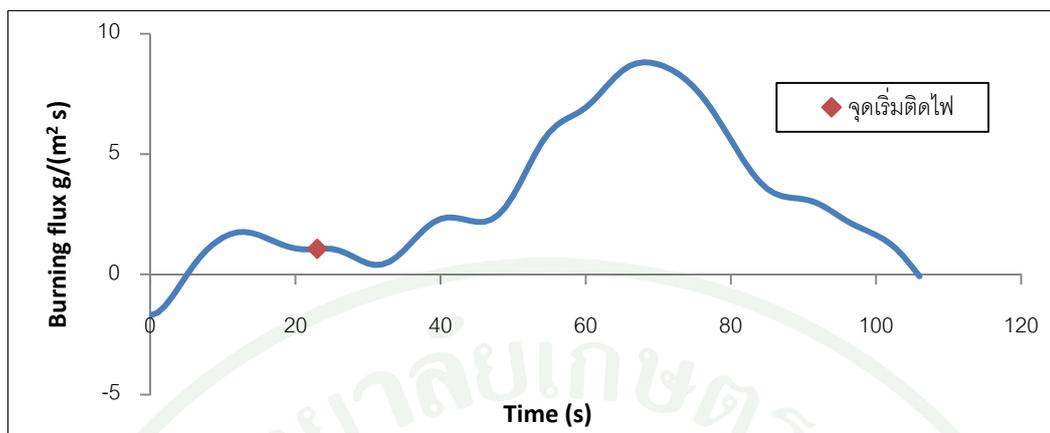
ภาพผนวกที่ ค154 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 40 kW/m^2 (PE-F 40-1)



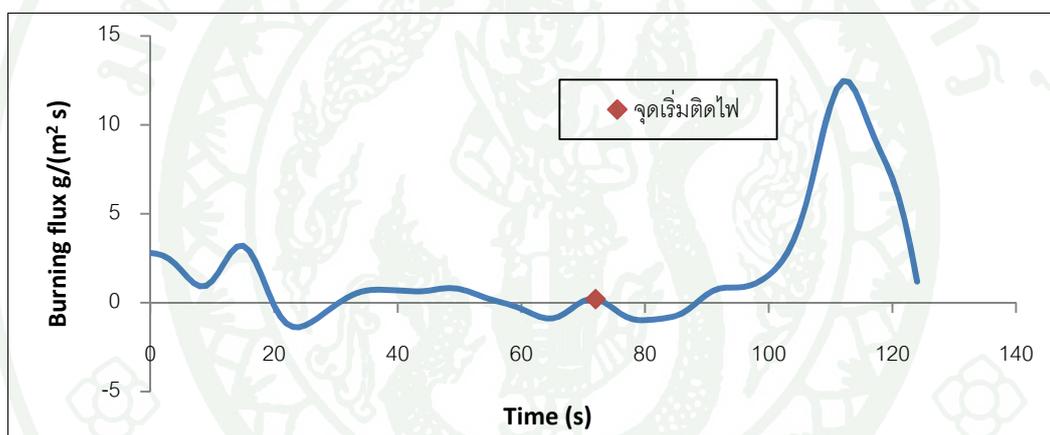
ภาพผนวกที่ ค155 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 40 kW/m^2 (PE-F 40-2)



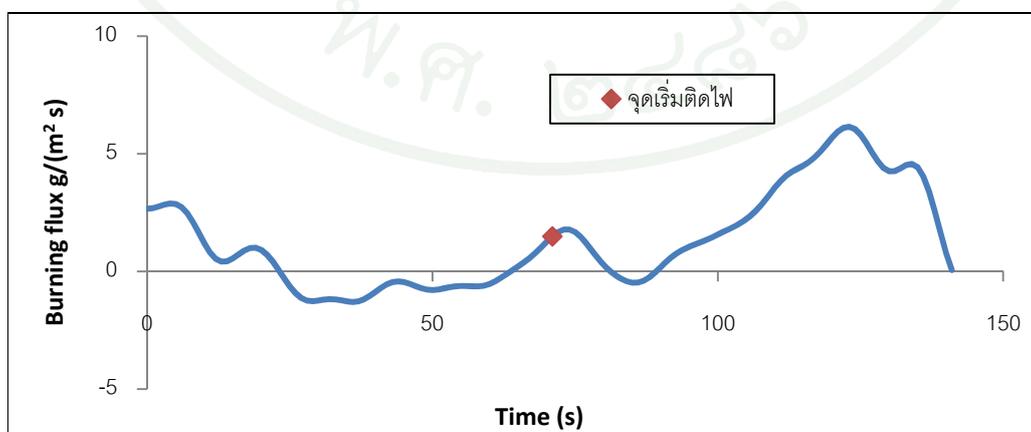
ภาพผนวกที่ ค156 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 30 kW/m^2 (PE-F 30-1)



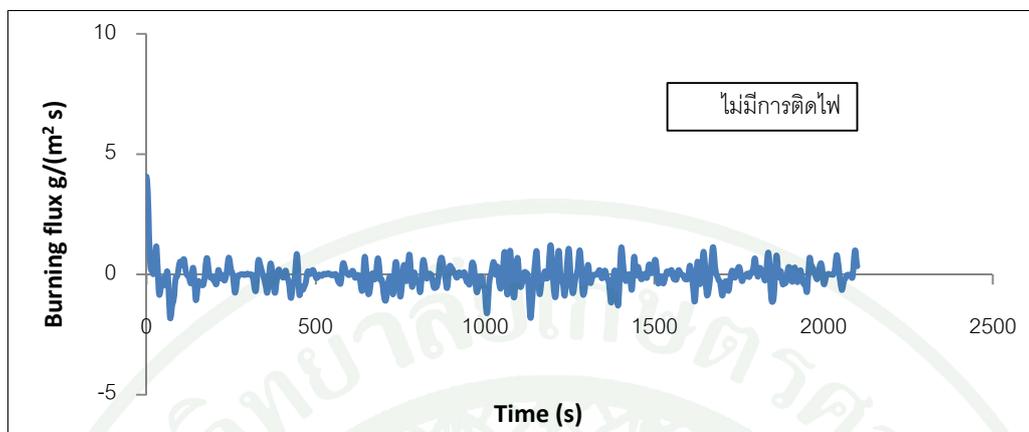
ภาพผนวกที่ ค157 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 30 kW/m^2 (PE-F 30-2)



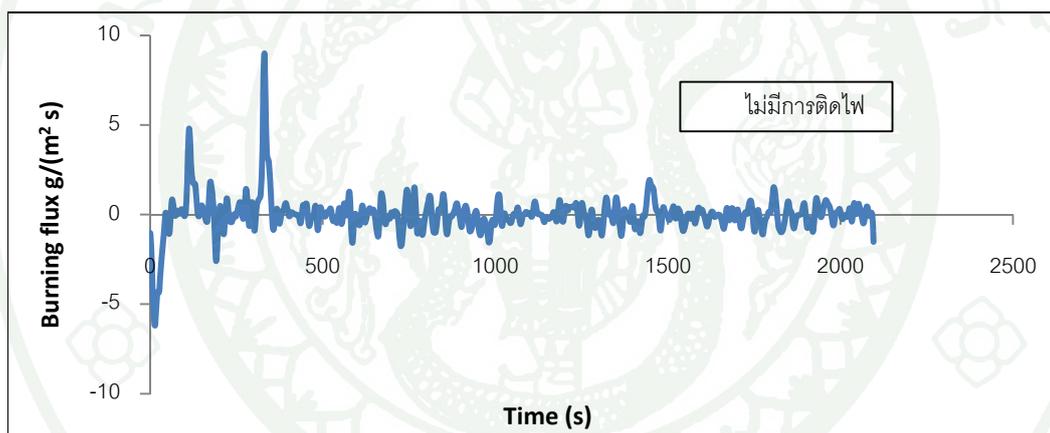
ภาพผนวกที่ ค158 แสดงพลักร์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 20 kW/m^2 (PE-F 20-1)



ภาพผนวกที่ ค159 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 20 kW/m² (PE-F 20-2)

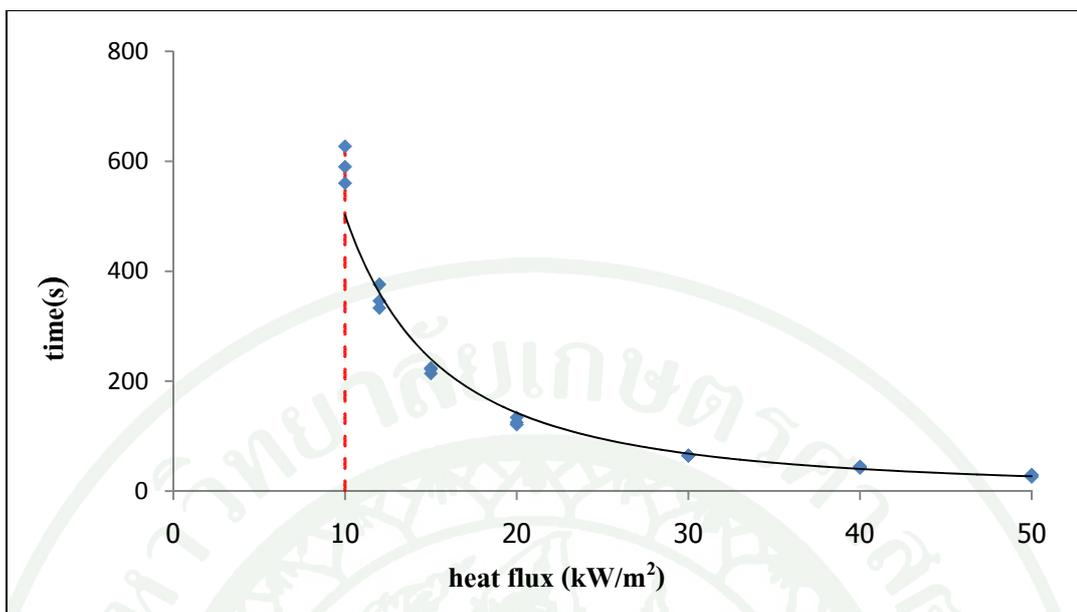


ภาพผนวกที่ ค160 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 15 kW/m² (PE-F 15-1)

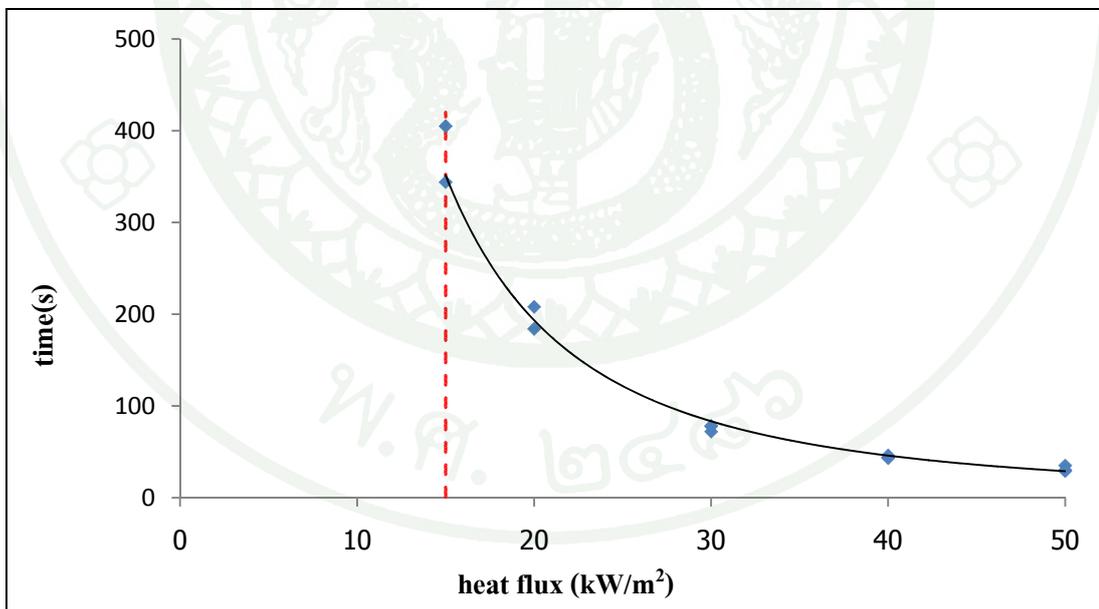


ภาพผนวกที่ ค161 แสดงพลั๊กซ์การเผาไหม้ของ PE Foam หนา10mm ที่ 15 kW/m² (PE-F 15-2)

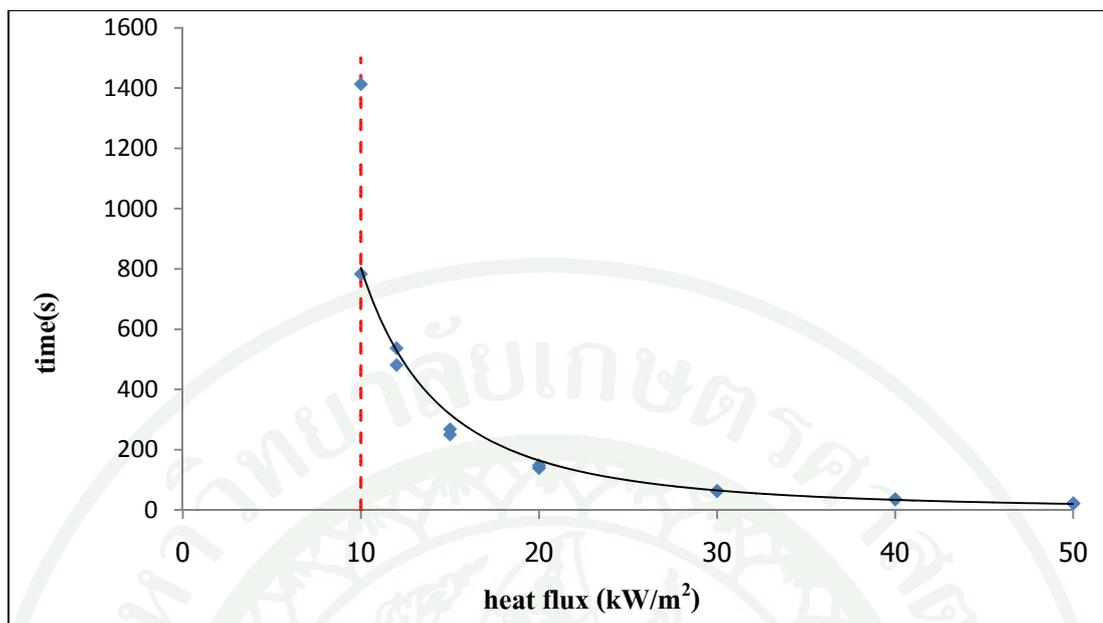




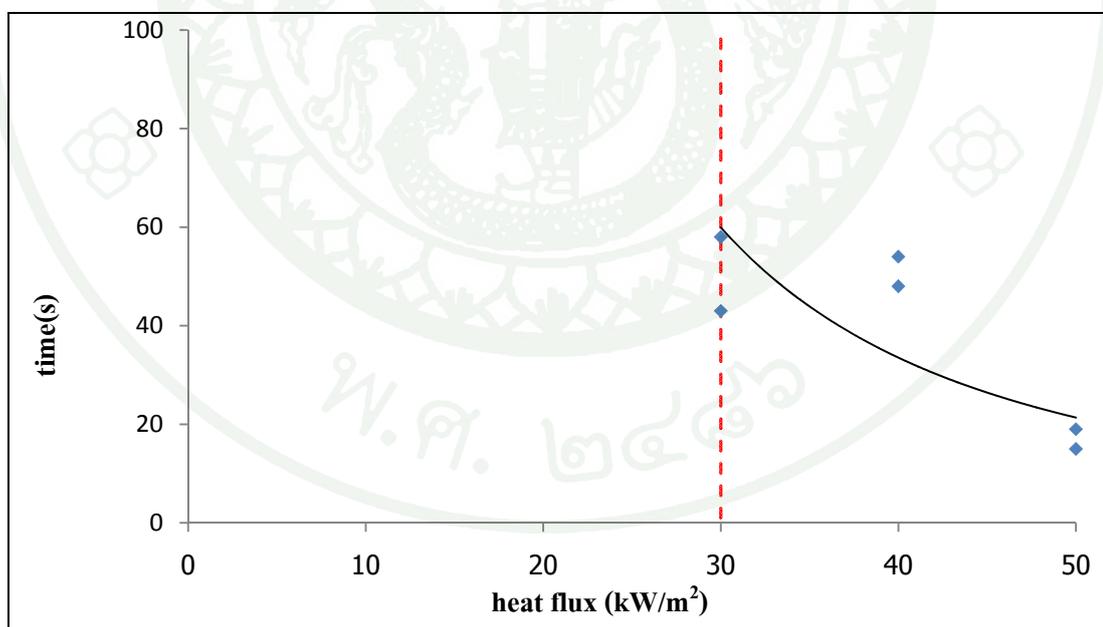
ภาพผนวกที่ ๑1 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PMMA ความหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 10 kW/m^2



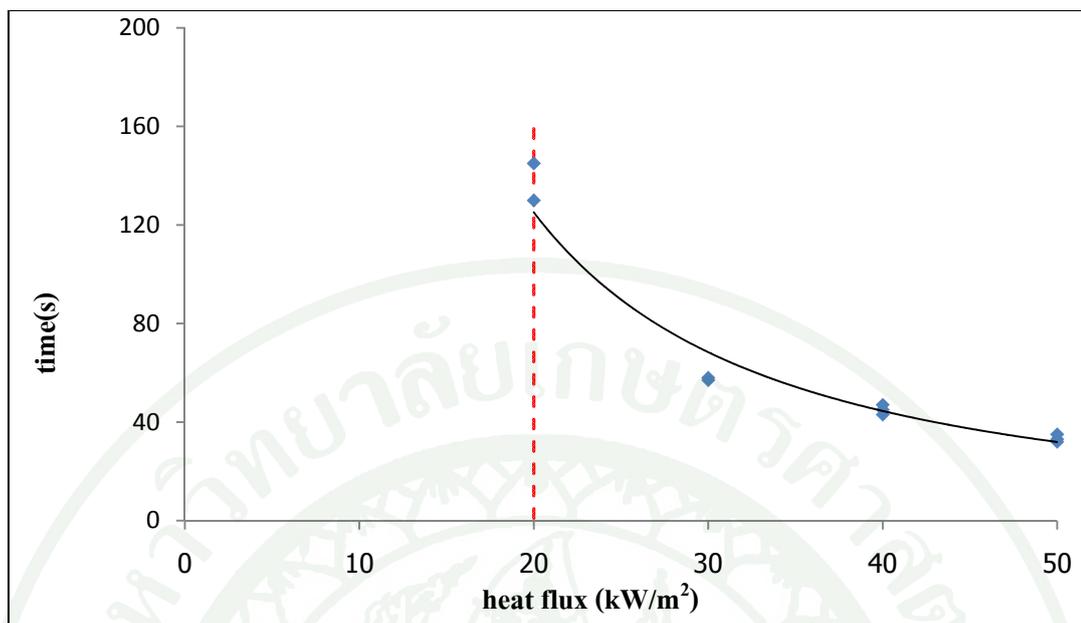
ภาพผนวกที่ ๑2 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ ABS ความหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m^2



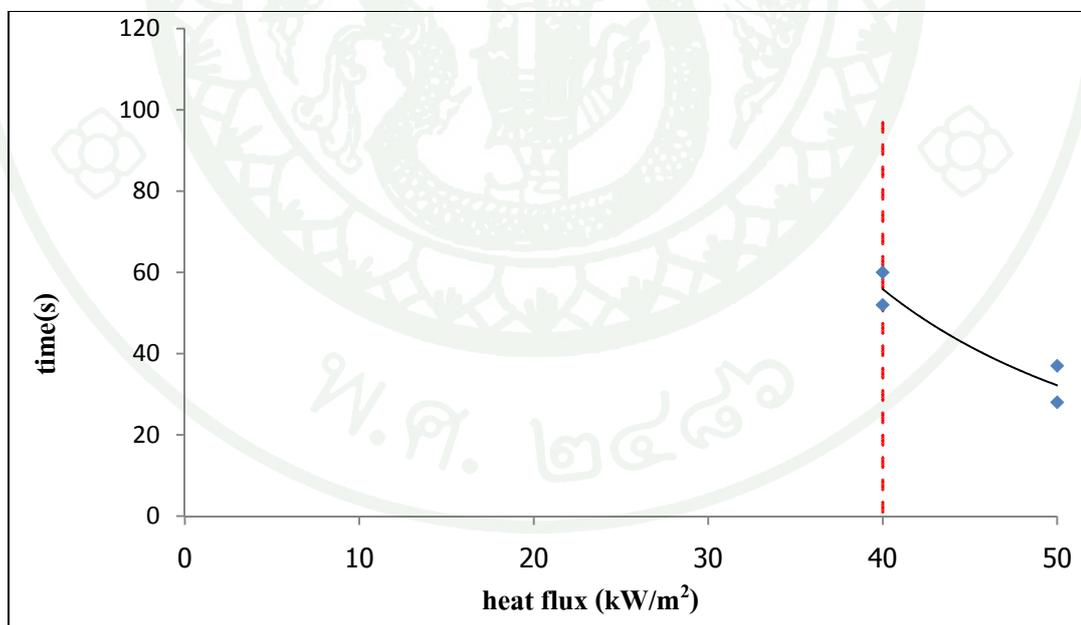
ภาพผนวกที่ 33 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Acrylic ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 10 kW/m²



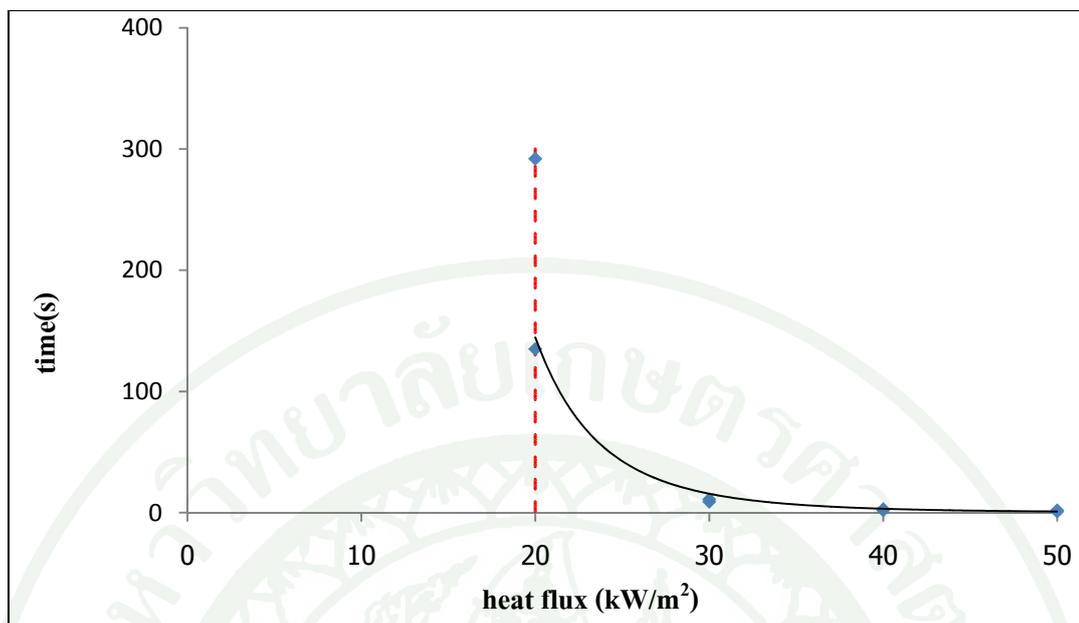
ภาพผนวกที่ 34 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PVC Floor ความหนา 1.6 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 30 kW/m²



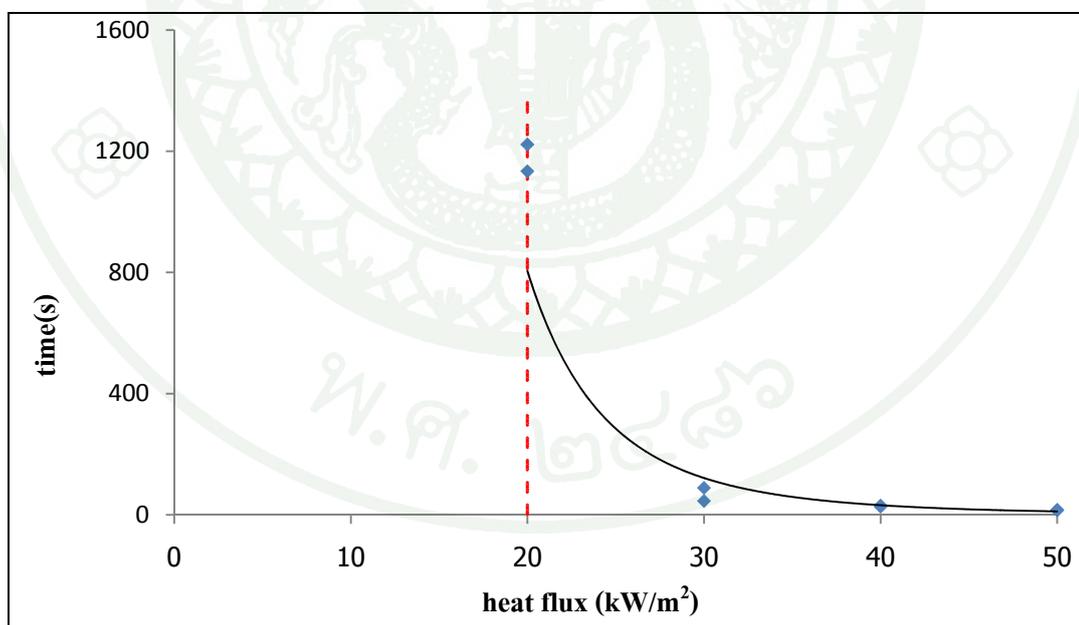
ภาพผนวกที่ 5 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ HIPS ความหนา 2 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m²



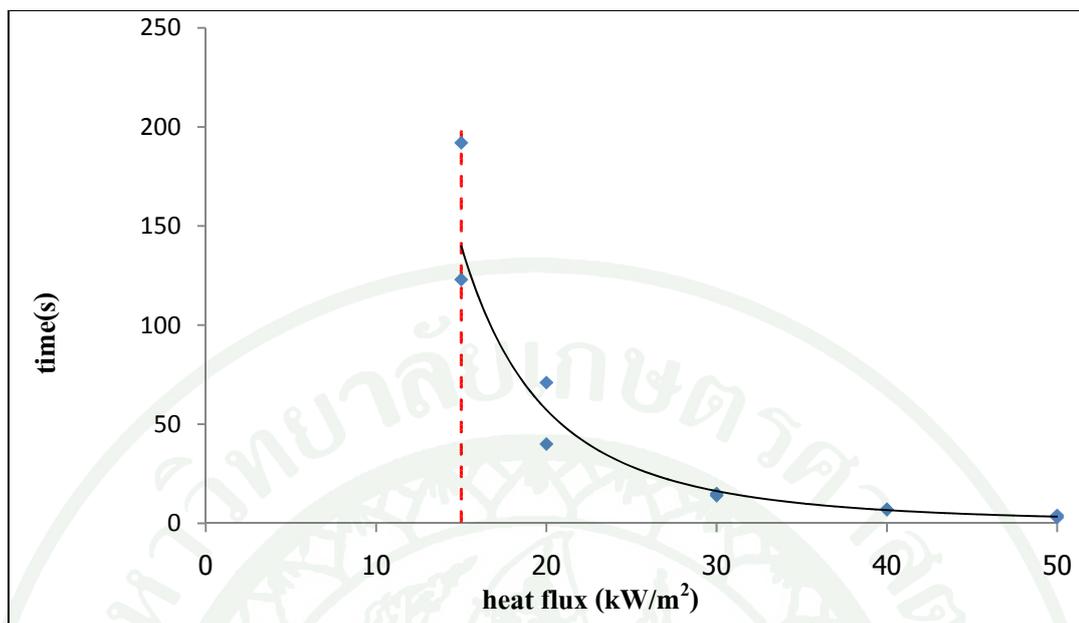
ภาพผนวกที่ 6 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Polycarbonate ความหนา 4 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 40 kW/m²



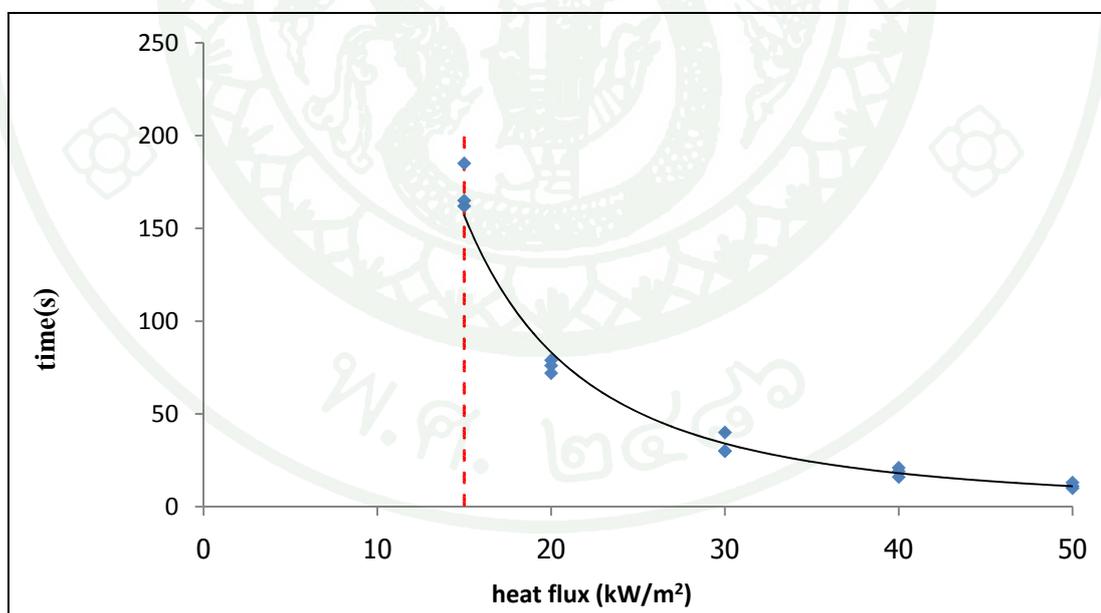
ภาพผนวกที่ 7 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ EVA ความหนา 15 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m²



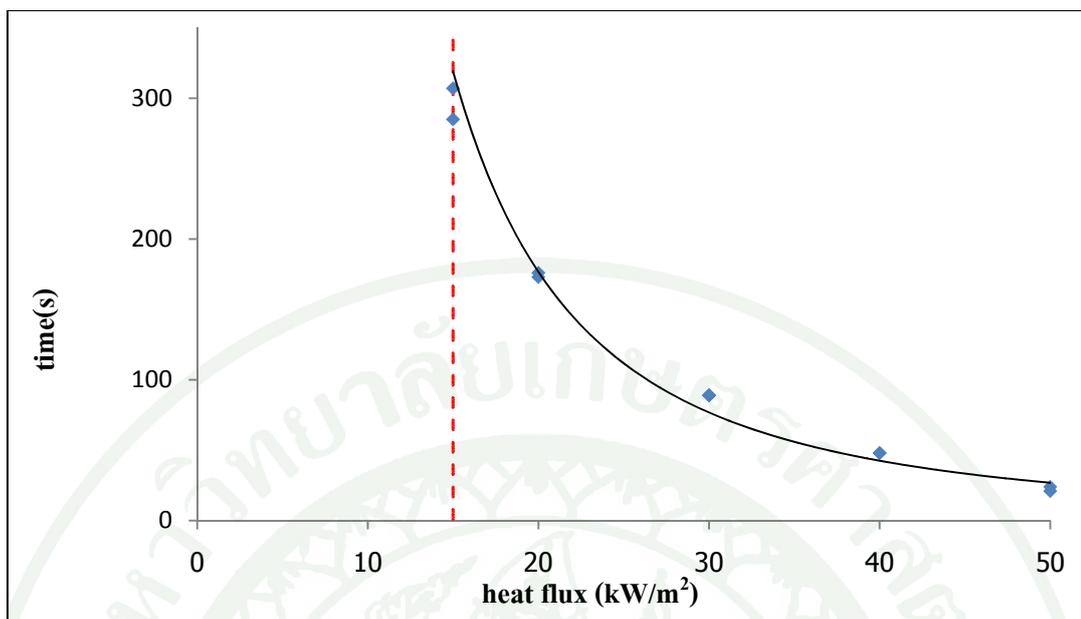
ภาพผนวกที่ 8 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE ความหนา 1 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m²



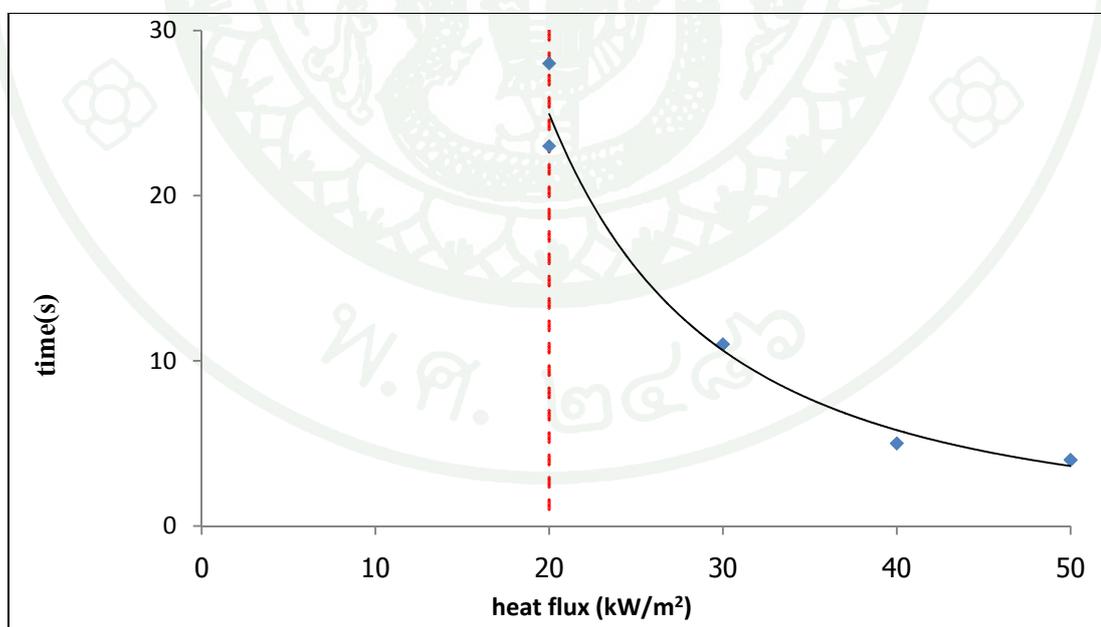
ภาพผนวกที่ 9 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Plan Board ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m²



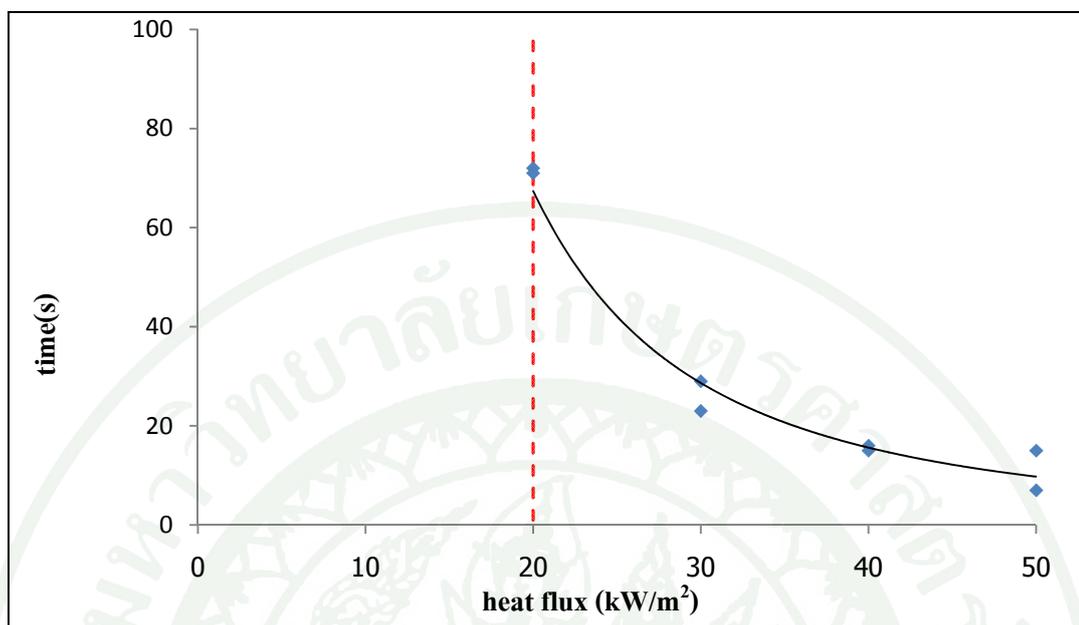
ภาพผนวกที่ 10 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Nylon ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m²



ภาพผนวกที่ 11 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene ความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 15 kW/m^2

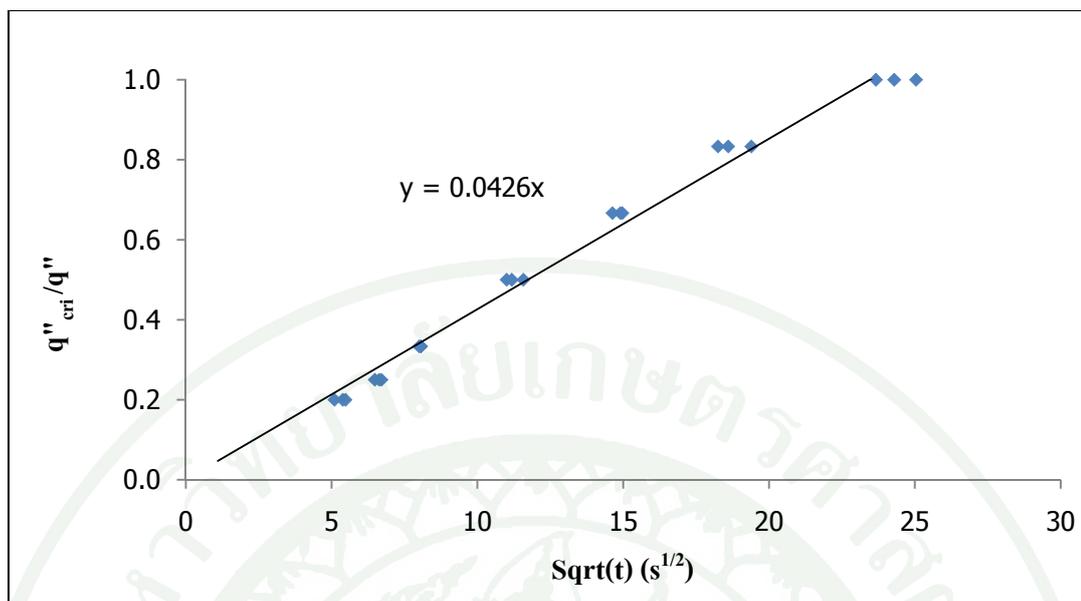


ภาพผนวกที่ 12 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl ความหนา 0.5 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m^2

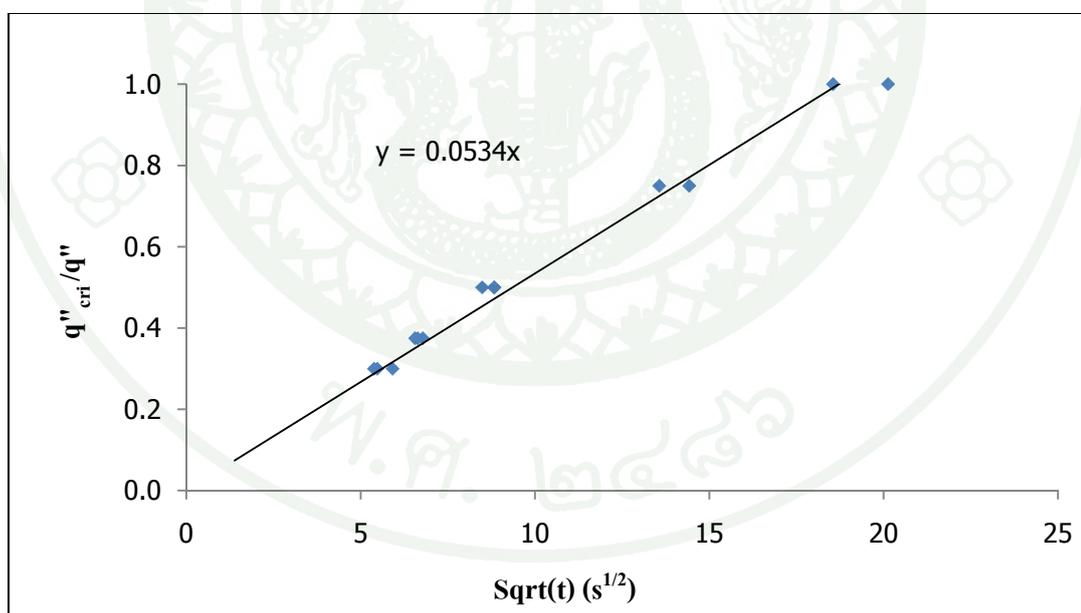


ภาพผนวกที่ 13 แสดงความสัมพันธ์เวลาการจุดติดไฟ กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam ความหนา 10 มิลลิเมตร มีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเท่ากับ 20 kW/m²

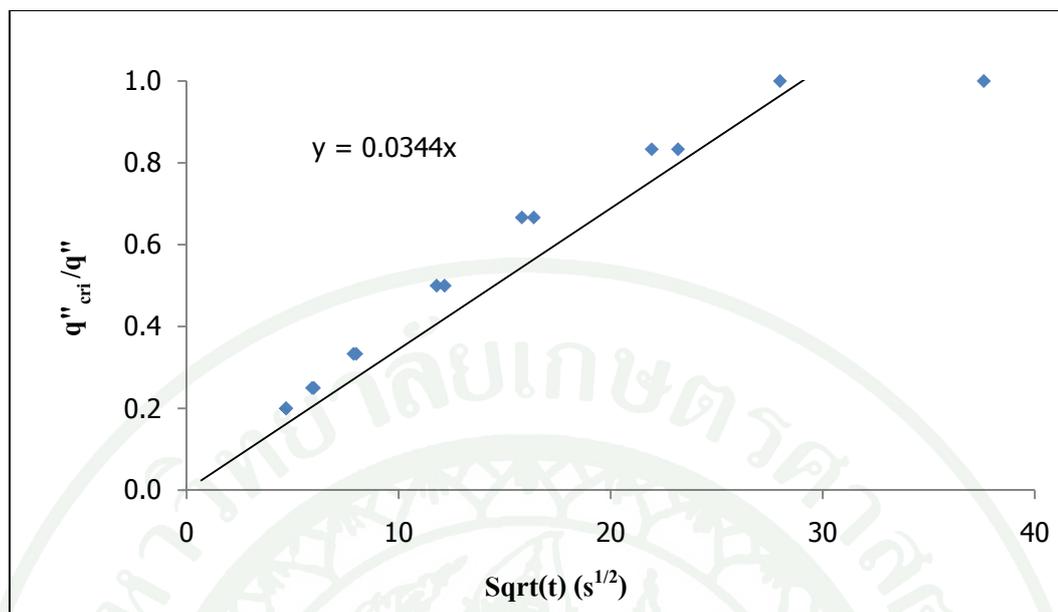




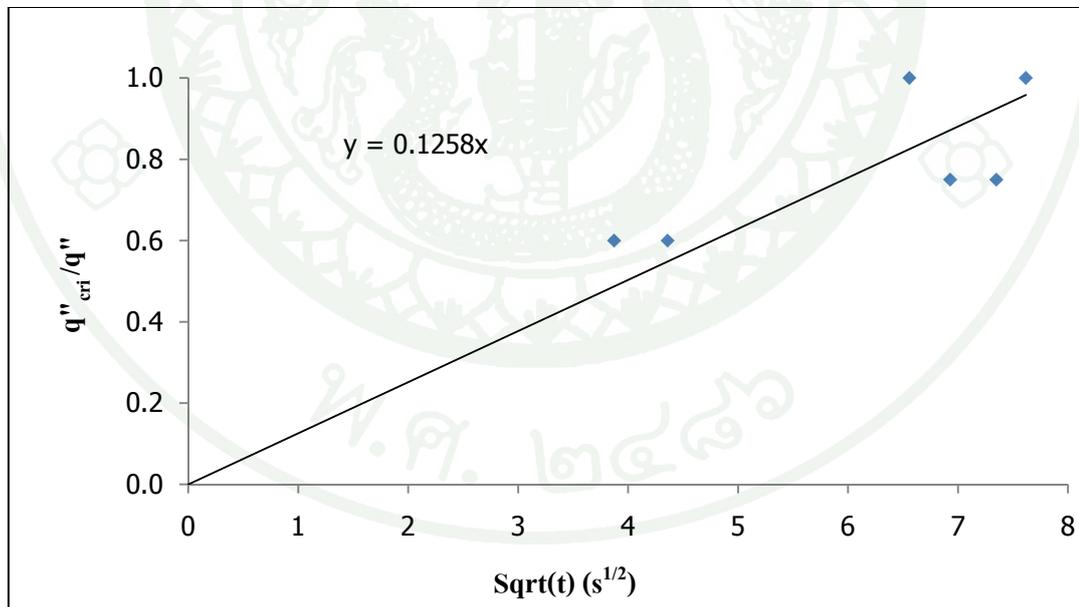
ภาพผนวกที่ ๑1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ q''_{crit}/q''_i ของ PMMA หนา 3 mm
ได้ $b = 0.042$



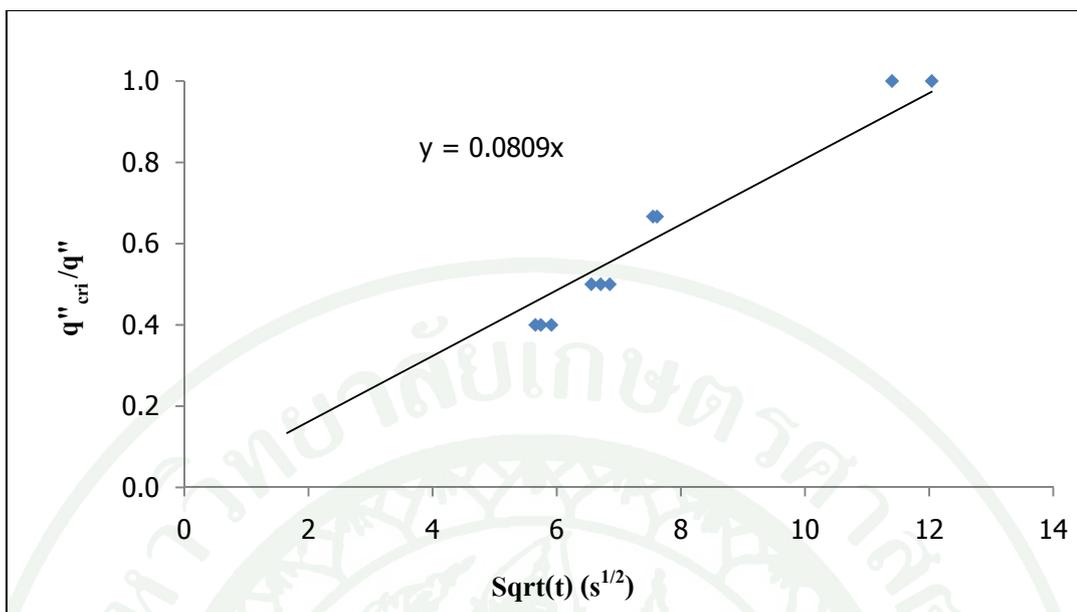
ภาพผนวกที่ ๑2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ q''_{crit}/q''_i ของ ABS หนา 3 mm
ได้ $b = 0.053$



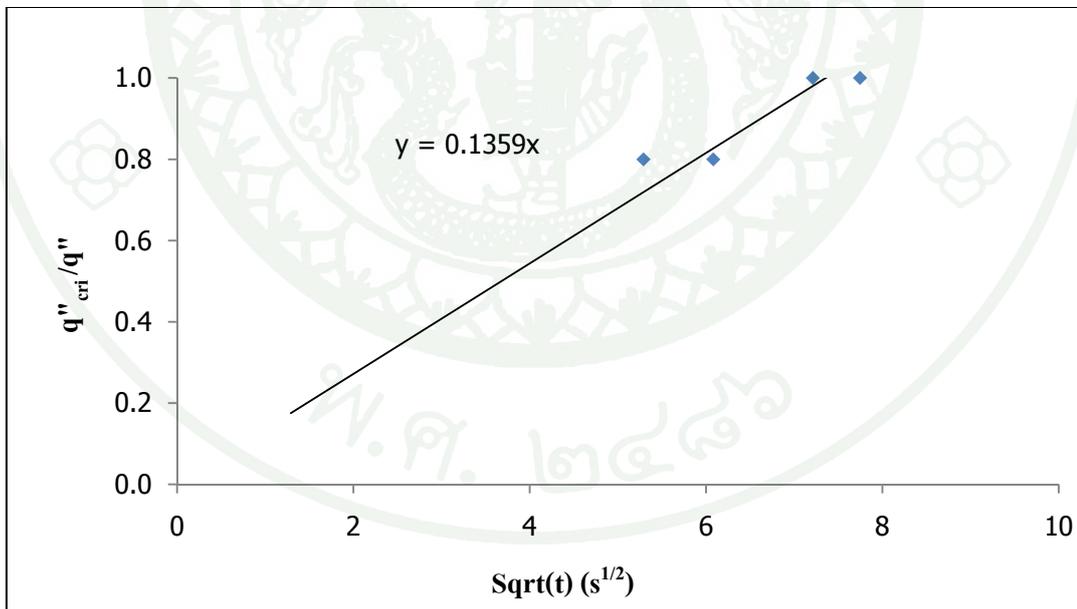
ภาพผนวกที่ ๓ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ q''_{crit}/q''_i ของ Acrylic หนา 5 mm
ได้ $b = 0.034$



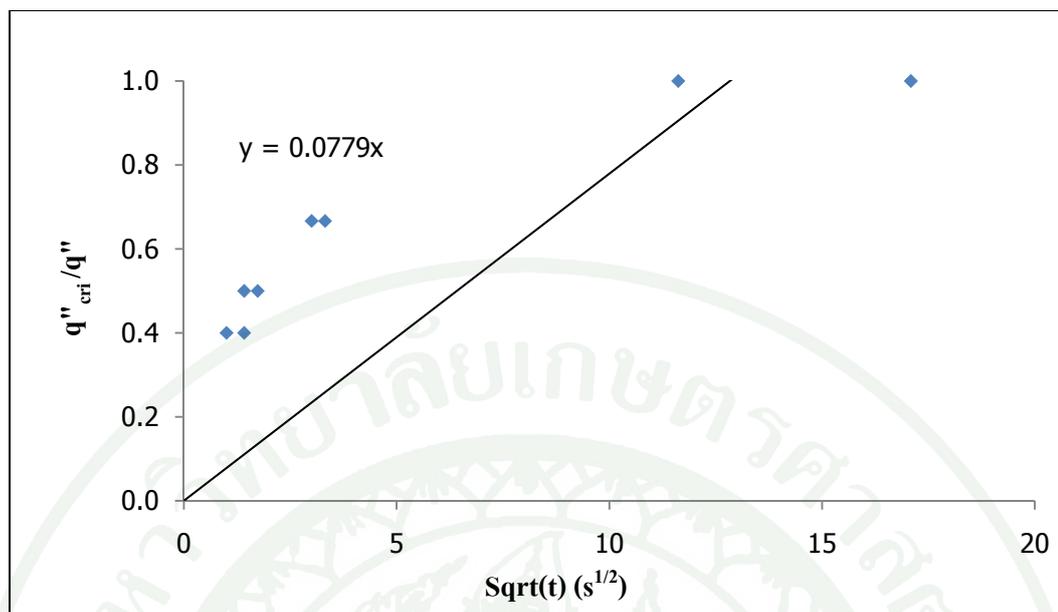
ภาพผนวกที่ ๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ q''_{crit}/q''_i ของ PVC Floor หนา 1.6 mm
ได้ $b = 0.125$



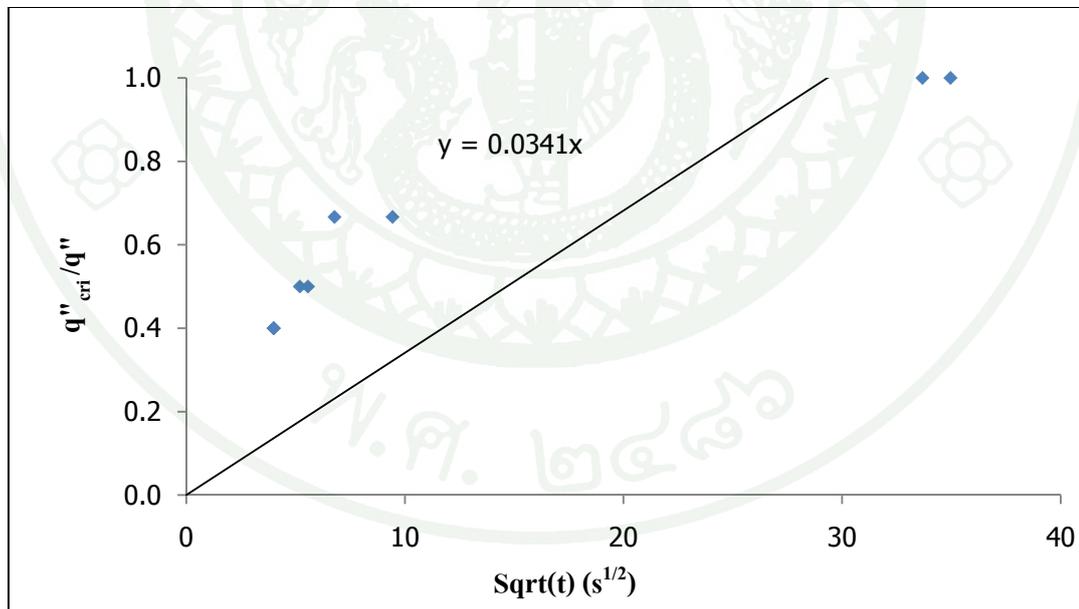
ภาพผนวกที่ ๖ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ ของ HIPS หนา 2 mm
ได้ $b = 0.080$



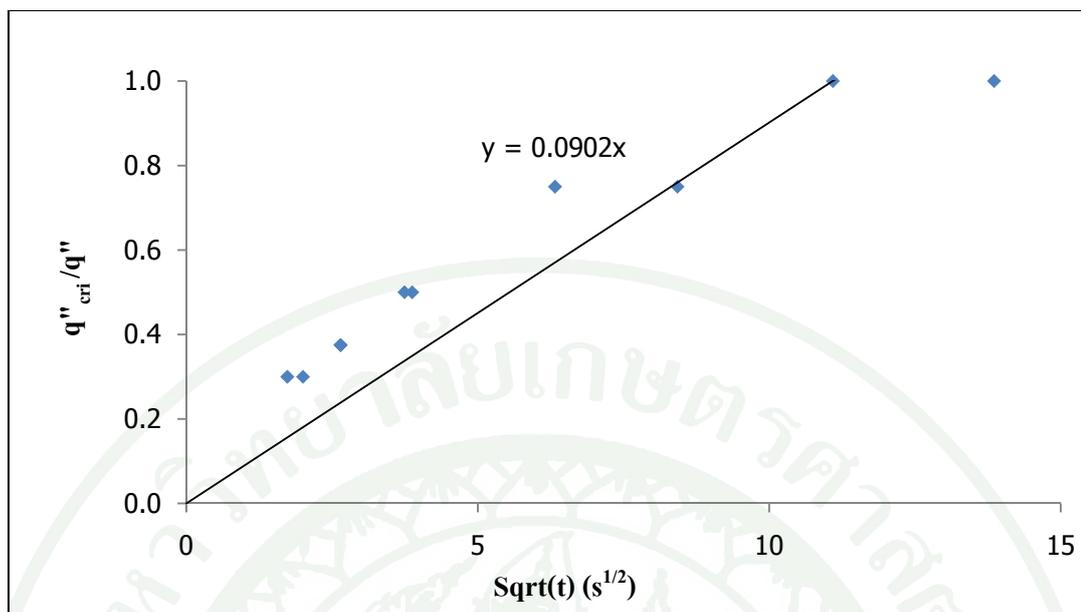
ภาพผนวกที่ ๗ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ ของ Polycarbonate หนา 4 mm
ได้ $b = 0.135$



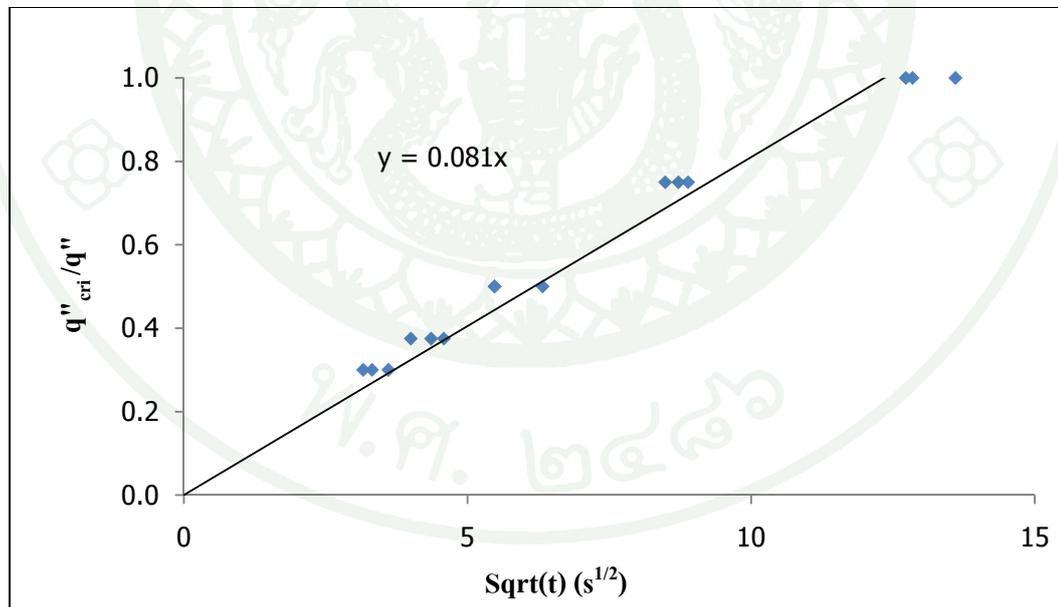
ภาพผนวกที่ ๗ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ ของ EVA หน้า 15 mm
ได้ $b = 0.077$



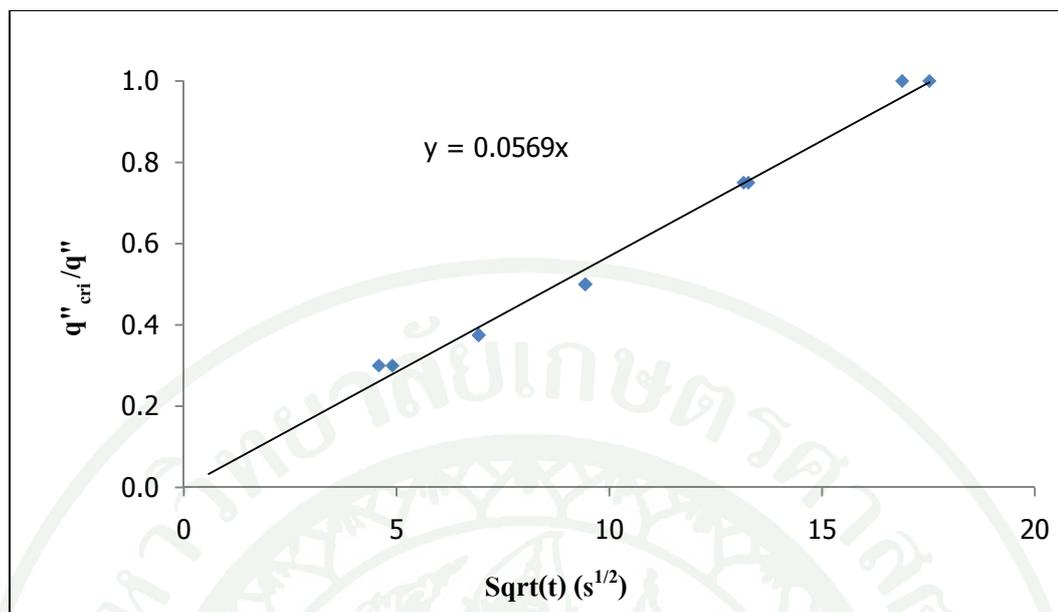
ภาพผนวกที่ ๘ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ ของ PE หน้า 1mm
ได้ $b = 0.034$



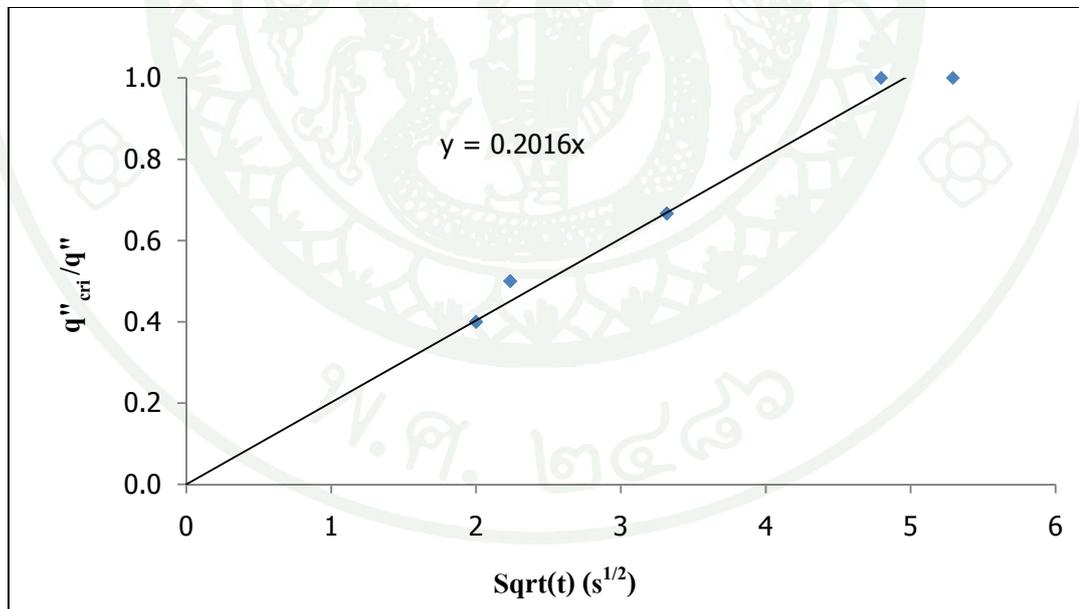
ภาพผนวกที่ ๑๑ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ ของ Plan Board หน้า 5 mm
ได้ $b = 0.090$



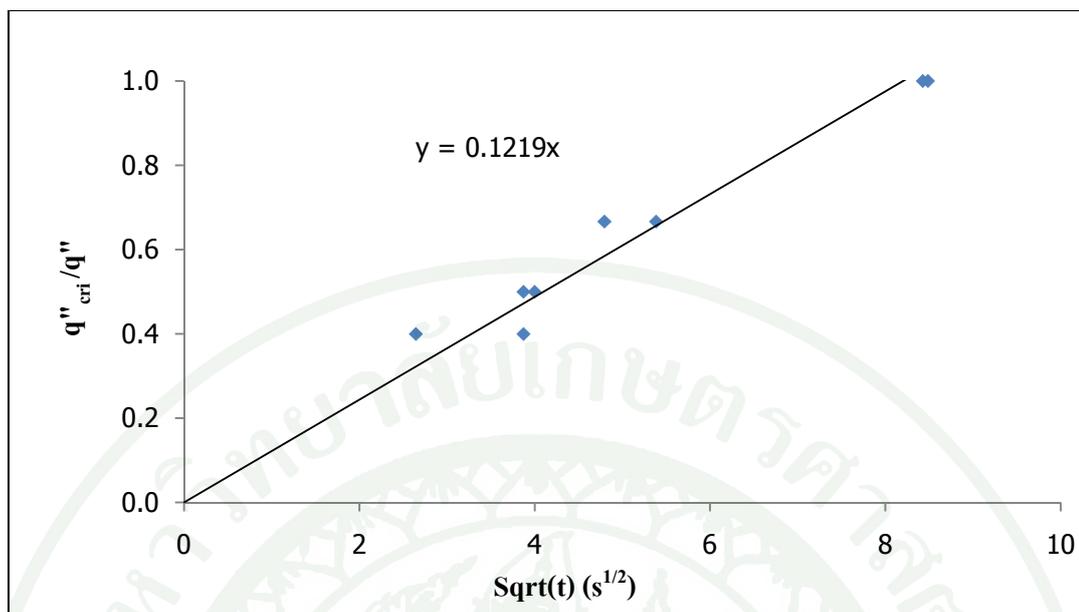
ภาพผนวกที่ ๑๑๐ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ ของ Nylon หน้า 5 mm
ได้ $b = 0.081$



ภาพผนวกที่ จ11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ q''_{crit}/q''_i ของ Polypropylene หนา 5 mm
ได้ $b = 0.056$



ภาพผนวกที่ จ12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ q''_{crit}/q''_i ของ Vinyl หนา 0.5 mm
ได้ $b = 0.201$

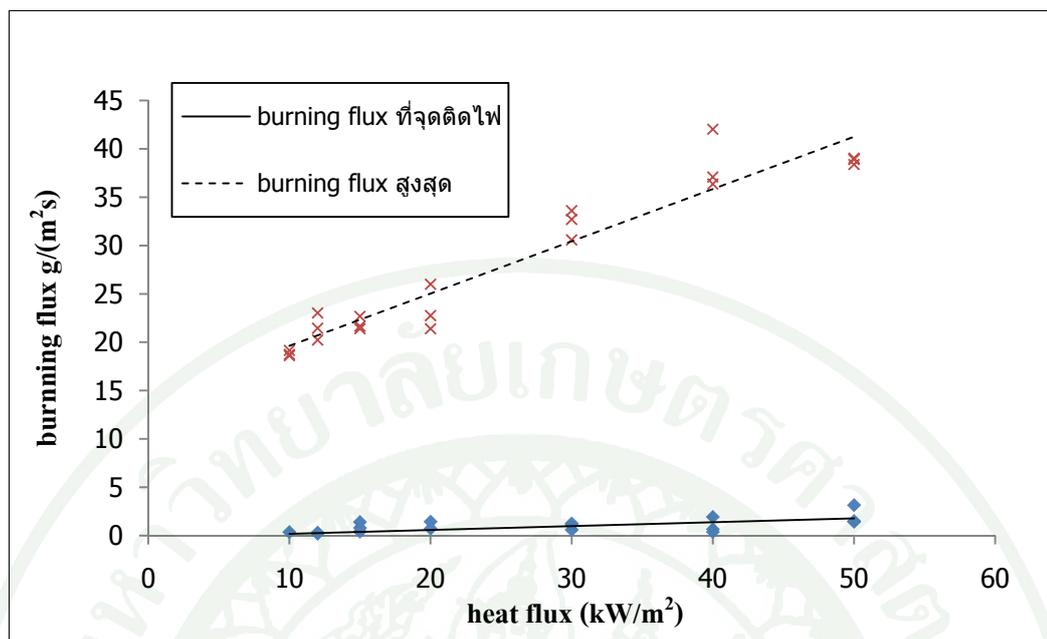


ภาพผนวกที่ ๑๑๓ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{t_{ig}}$ กับ $\dot{q}''_{crit}/\dot{q}''_i$ ของ PE Foam หนา 10 mm
ได้ $b = 0.121$

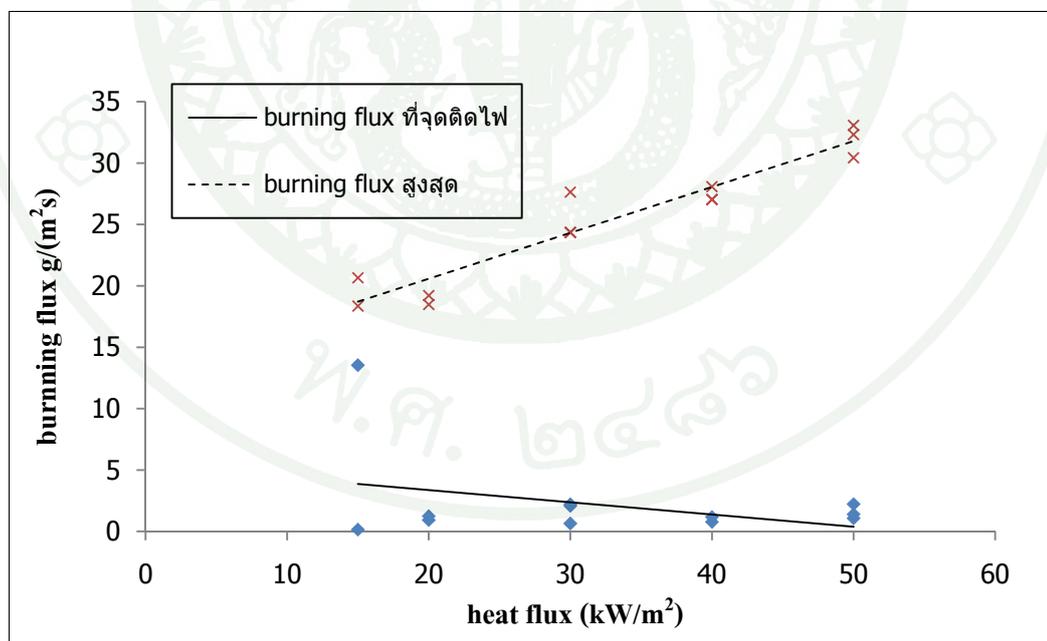


ภาคผนวก จ

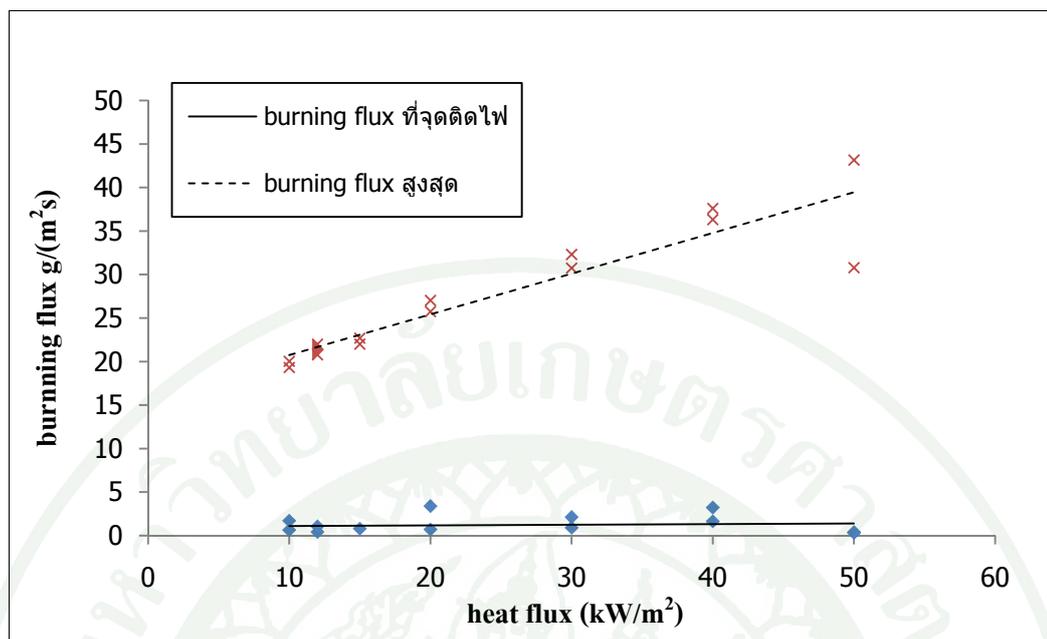
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของBurning fluxกับระดับฟลักซ์ความร้อน



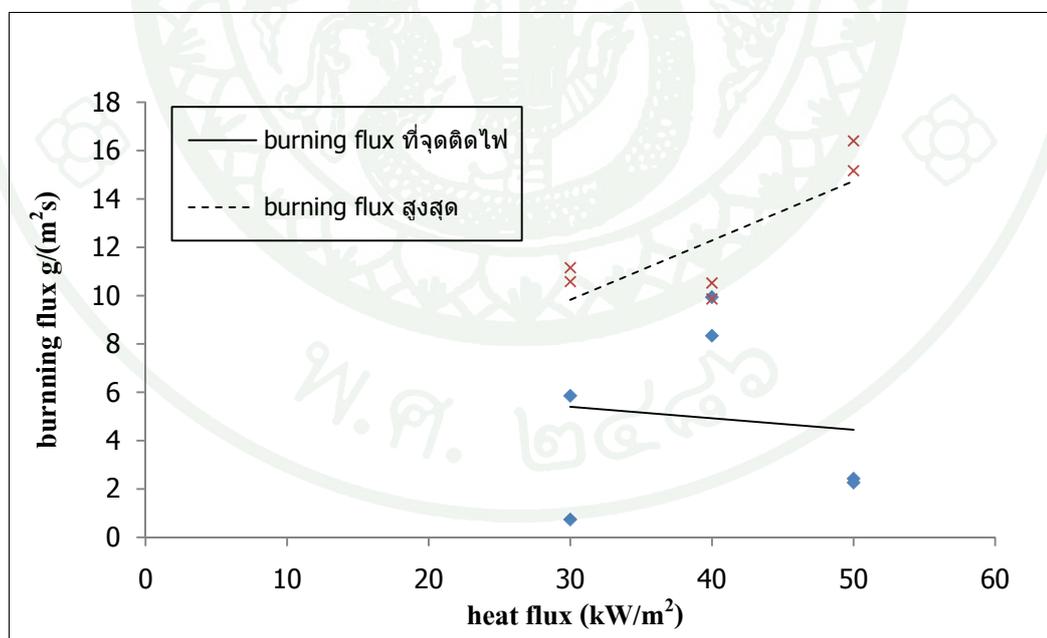
ภาพผนวกที่ ๑1 แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PMMA
หน้า 3 mm



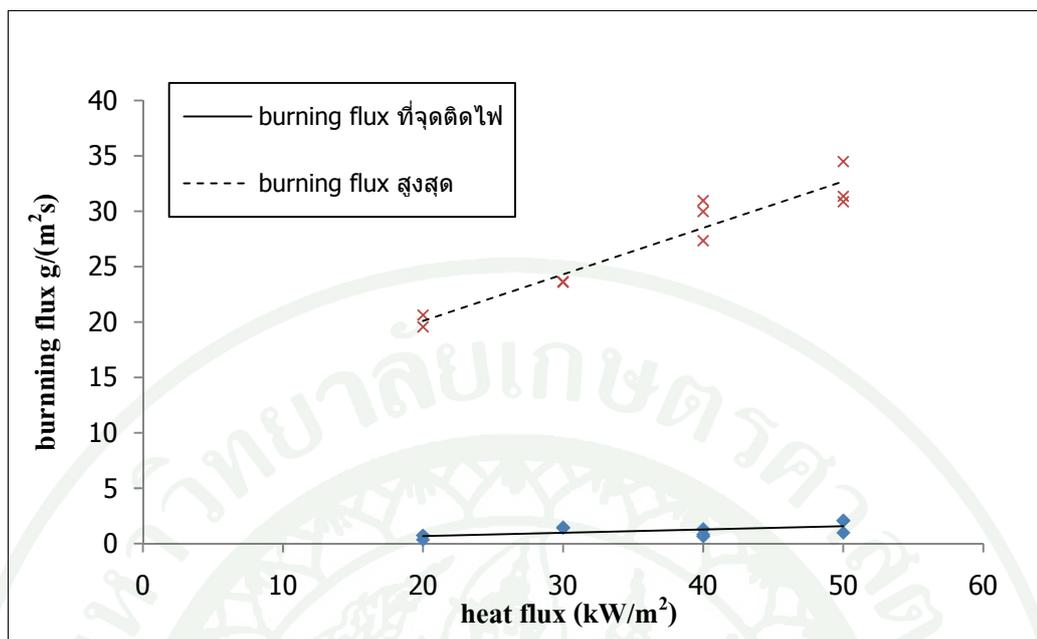
ภาพผนวกที่ ๑2 แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ ABS
หน้า 3 mm



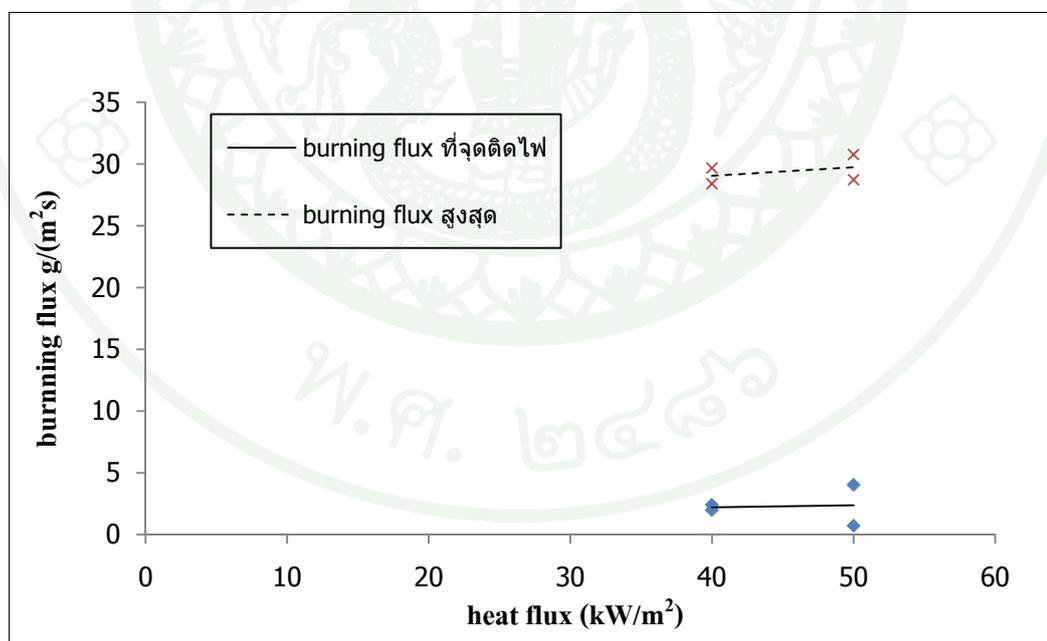
ภาพผนวกที่ ๓ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Acrylic
หนา 5 mm



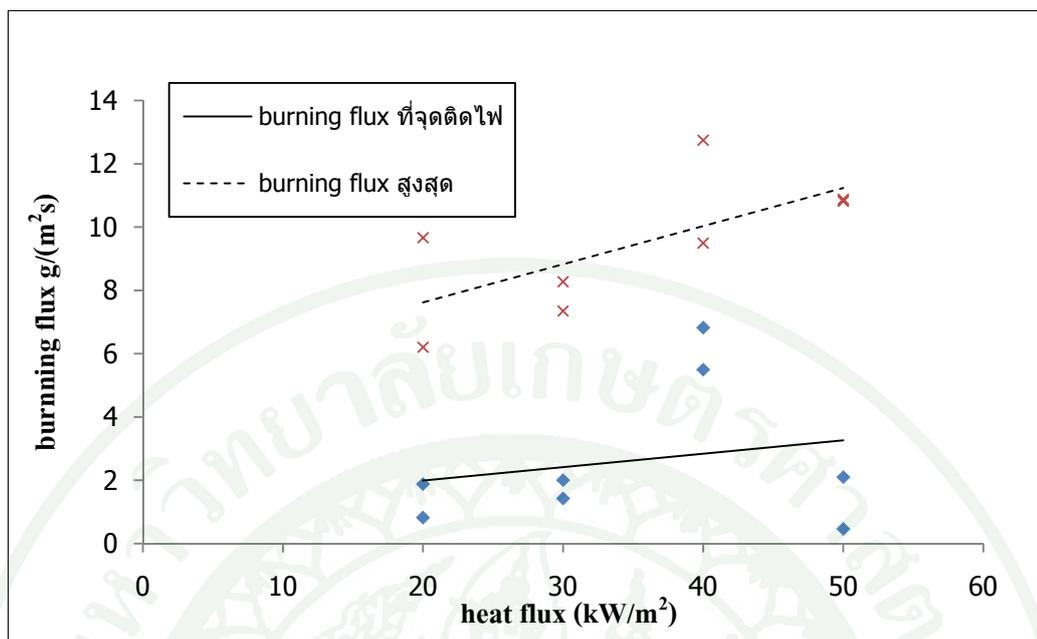
ภาพผนวกที่ ๔ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PVC Floor
หนา 1.6 mm



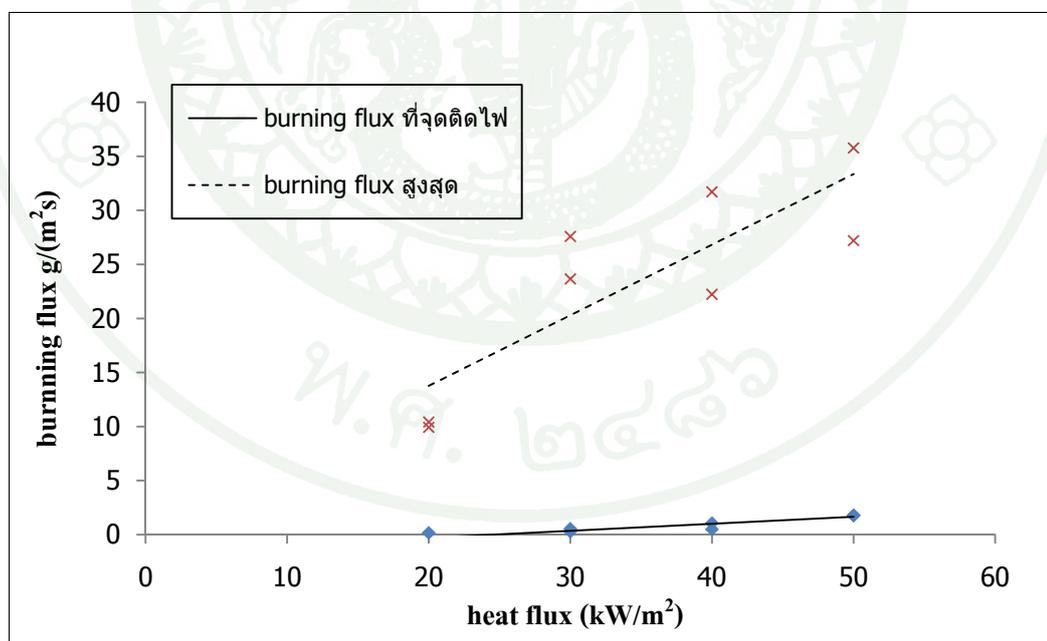
ภาพผนวกที่ ๑5 แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ HIPS
หน้า 2 mm



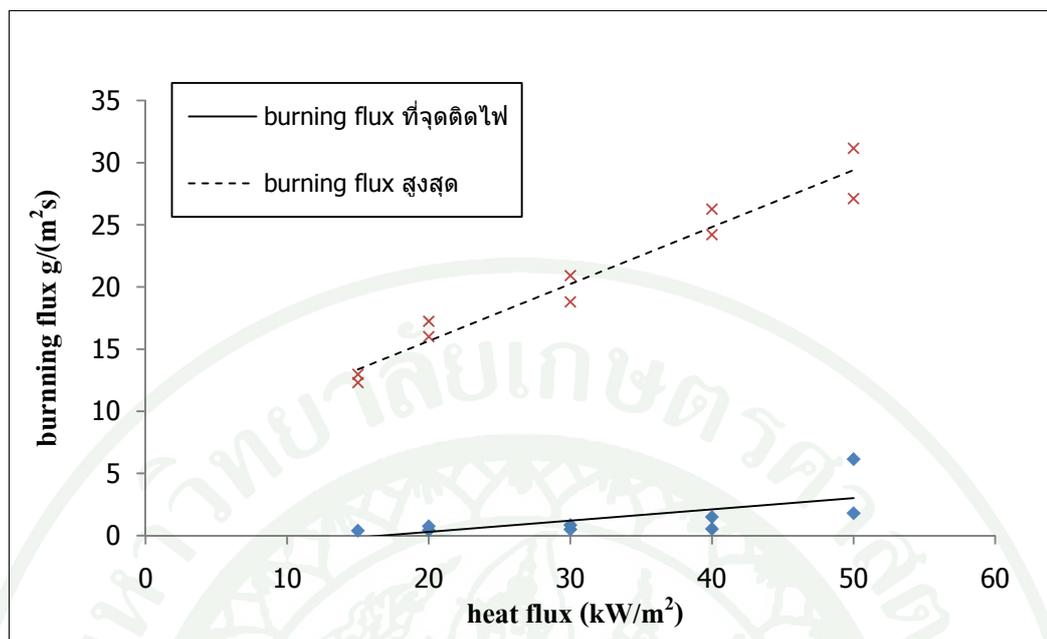
ภาพผนวกที่ ๑6 แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ
Polycarbonate หน้า 4 mm



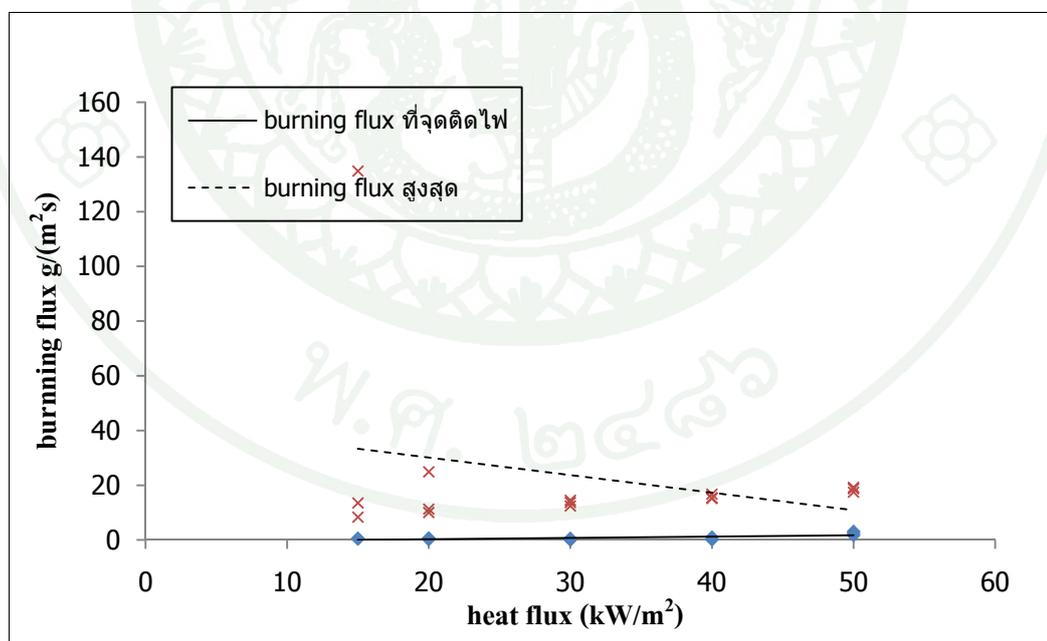
ภาพผนวกที่ ๗ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ EVA
หน้า 15 mm



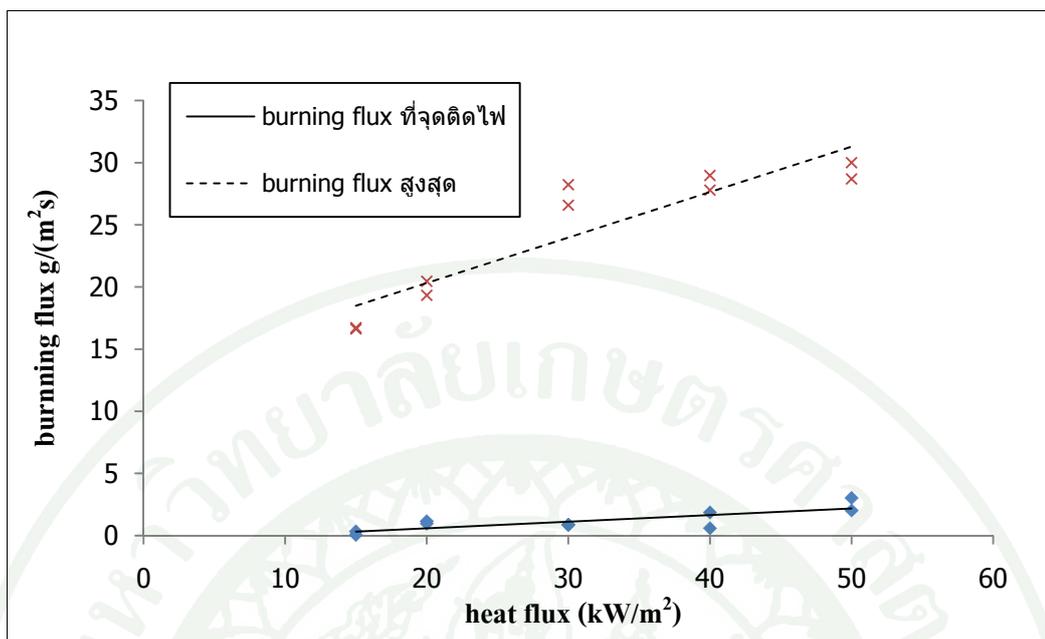
ภาพผนวกที่ ๘ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE
หน้า 1 mm



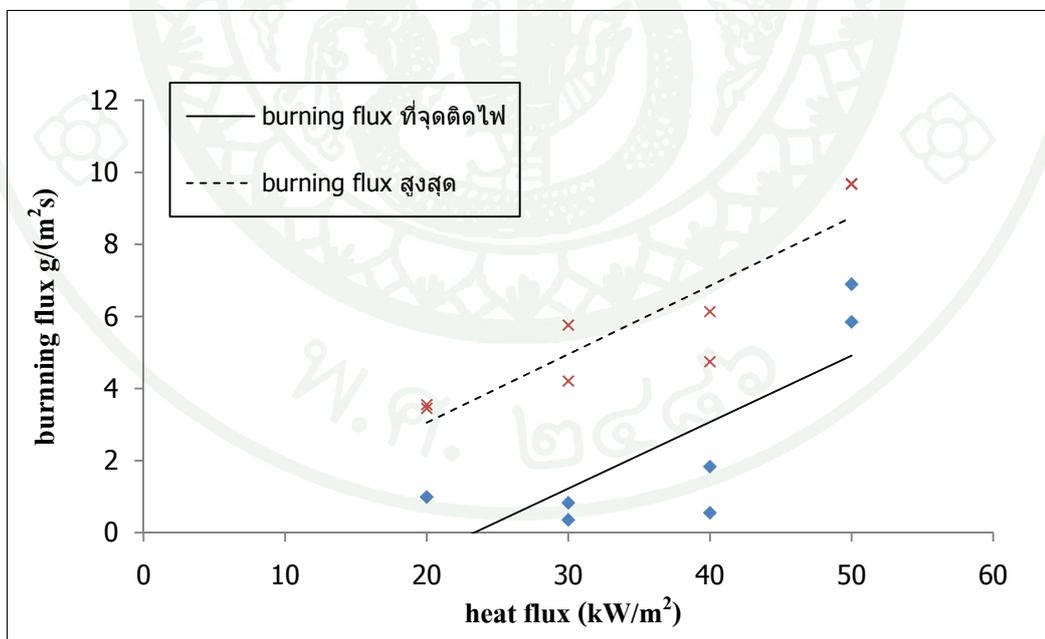
ภาพผนวกที่ ๑๑ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ
Plan Board หน้า 5 mm



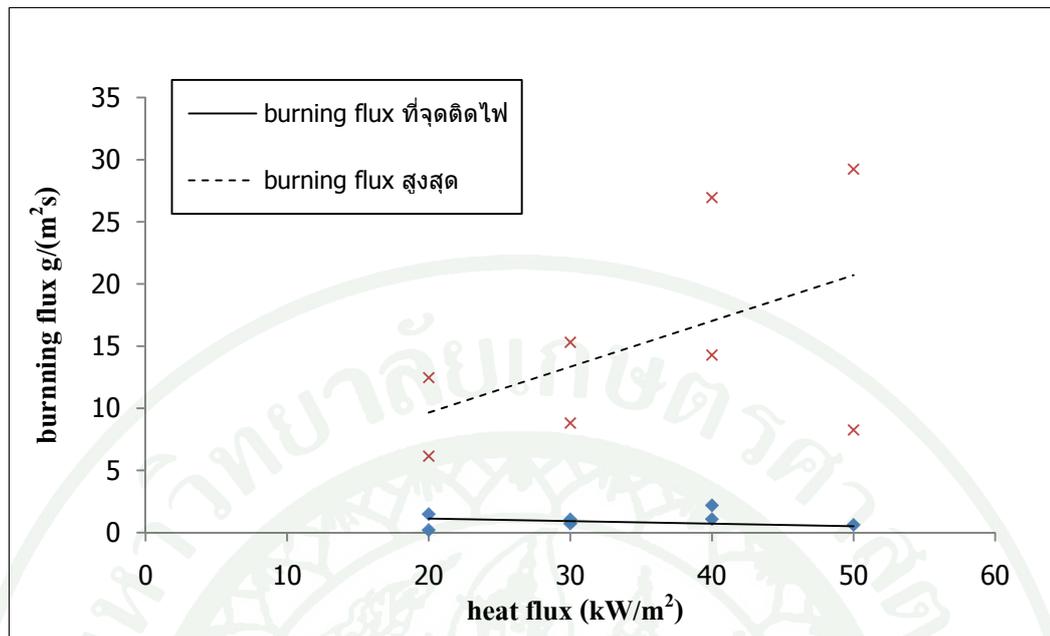
ภาพผนวกที่ ๑๑๐ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Nylon
หน้า 5 mm



ภาพผนวกที่ ๑๑ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Polypropylene หน้า 5 mm



ภาพผนวกที่ ๑๒ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ Vinyl หน้า 0.5 mm



ภาพผนวกที่ ๑๑๓ แสดงความสัมพันธ์ของ burning flux กับระดับฟลักซ์ความร้อนของ PE Foam
หนา 10 mm

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายกิตติ ฤชณะเบญญา
เกิดวันที่	9 มีนาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-