



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล

วิศวกรรมเครื่องกล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการเกิดไพโรไลซิสของไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สัก
ใน Cone Calorimeter

An Experimental Study of Pyrolysis of Beach Makha and Teak in
a Cone Calorimeter

นามผู้วิจัย นายอรรถพร สกุลสม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย ศิวะ โกศิษฐ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเชิงทดลองการเกิดไพโรไลซิสของไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สัก
ใน Cone Calorimeter

An Experimental Study of Pyrolysis of Beach Makha and Teak
in a Cone Calorimeter

โดย

นายอรรถพร สกุลสม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

พ.ศ. 2551

อรรถพร สกุลสม 2551: การศึกษาเชิงทดลองการเกิดไฟโรไลซิสของ ไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สักใน Cone Calorimeter ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D. 87 หน้า

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาเชิงทดลองการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ 3 ชนิด ประกอบด้วย ไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สัก ใน Cone Calorimeter ซึ่งไม้ทดสอบได้ถูกหุ้มฉนวนที่ด้านข้างและด้านหลังเพื่อให้การนำความร้อนในชิ้นไม้เป็นไปในทิศทางหนึ่งมิติ ฟลักซ์ความร้อนจาก cone heater ตกกระทบชิ้นไม้ทดสอบซึ่งถูกวางไว้ในแนวระดับ ในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของไม้ โดยฟลักซ์ความร้อนที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 15 20 และ 25 kW/m² ตลอดการทดลองในแต่ละครั้งเครื่องชั่งน้ำหนักได้ทำการบันทึกการสูญเสียมวลของไม้และกล้องวิดีโอได้ทำการบันทึกพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของชิ้นไม้ทดสอบ จากการศึกษาพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ glowing จากภาพวิดีโอทำให้สามารถหาเวลาในการจุดติดไฟแบบ glowing ของไม้ได้ โดยกำหนดจากเวลาที่เกิดจุดเรืองแสงบนผิวไม้เป็นครั้งแรก จากการวิเคราะห์เวลาในการจุดติดไฟแบบ glowing พบว่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟของไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สัก เท่ากับ 2.18 4.04 และ 6.97 kW/m² ตามลำดับ และความเฉื่อยทางความร้อนของไม้ทั้งสามชนิด มีค่าเท่ากับ 0.0222 0.0039 และ 0.0062 J²m⁻⁴K²s⁻¹ ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ในสภาวะคงตัวแปรผันตามฟลักซ์ความร้อนที่เพิ่มขึ้น

Atthaphorn Sakulsom 2008: An Experimental Study of Pyrolysis of Beach Makha and Teak in a Cone Calorimeter. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Mr. Nathasak Boonmee, Ph.D. 87 pages.

An experimental study of wood pyrolysis was performed in a cone calorimeter. The experiments were conducted for three wood species: Beach, Makha, and Teak. A wood sample was insulated on sides and back to promote a one-dimensional heat transfer. The wood sample was exposed horizontally to the cone heater where a heat flux direction is perpendicular to wood grain orientation. The applied incident heat fluxes were 15, 20, and 25 kW/m². A mass loss of each wood sample was continuously recorded by a load cell and a video camera was used to view the sample surface. Based on a video recording, an experimental glowing ignition time defined as the first time when a glowing spot appears on the wood surface could be determined. From the evaluation of the glowing ignition time, it was found that the critical heat fluxes for glowing ignition for Beach, Makha, and Teak were 2.18, 4.04, and 6.97 kW/m² respectively. The thermal inertia were 0.0222 0.0039 and 0.0062 J² m⁻⁴ K² s⁻¹. The experimental study found that at steady state the pyrolysis rate increased with an incident heat flux.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ที่ช่วยดูแล สั่งสอน และให้คำปรึกษาในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมไปถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชัย ศิวะโกศิษฐ กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำวิจัยด้วยเช่นกัน

ขอขอบพระคุณ Fire Safety Research Center ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง cone calorimeter เพื่อทำการทดลองในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณพี่ป้อม พี่ต้น เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกท่านที่เรียนปริญญาโทที่ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกลทุกคนที่ช่วยข้าพเจ้าจนทำการทดลองในครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณแม่ที่ช่วยดูแลข้าพเจ้ามาโดยตลอด น้องอ้อฟที่คอยเป็นเบื้องหลังให้ไม่ว่า จะเรื่องใดก็ตาม ขอขอบพระคุณภู่อืด ที่ช่วยหาหนังสือดีๆ มาให้เสมอ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพระพุทธศาสนา ที่ช่วยเป็นหลักยึดให้ข้าพเจ้าในยามที่จิตใจแปรปรวน ช่วยให้ข้าพเจ้าไม่หลงไหลไปในทางที่ผิด ขอขอบคุณพระอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยอบรมสั่งสอนเมื่อ ตอนที่ข้าพเจ้าบวชเรียนที่วัดชลประทานฯ ทำให้ข้าพเจ้าได้พบกับโลกอีกใบหนึ่ง

อรรถพร สกุลสม

สิงหาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	34
ผลและวิจารณ์	37
สรุป	53
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	54
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก กราฟแสดงการสูญเสียมวลของไม้	57
ภาคผนวก ข กราฟอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้	69
ภาคผนวก ค การคำนวณหาค่า T_{ig} β และความเฉื่อยทางความร้อน	80
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	87

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สรุปผลการทดลอง	40
2	แสดงค่าความหนาแน่นและฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้แต่ละชนิด	47
3	แสดงค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ได้จากการทดลองเทียบกับของ N. Boomme และ M.J. Spearpoint	49
4	แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณอุณหภูมิเริ่มจุดติดไฟของไม้ β_{ig} และ ความเอียงทางความร้อนของไม้ทั้ง 3 ชนิด	52
ตารางผนวกที่		
ก1	แสดงค่า m_0 ของไม้แต่ละชั้น	67

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงลักษณะแบบจำลองอินทิกรัลการจุดติดไฟ	12
2	แสดงส่วนประกอบของไม้ในแนวขวาง	18
3	แสดงค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ได้จากการทดลองเทียบกับของ N. Boomme และ M.J. Spearpoint	49
4	แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณ อุณหภูมิเริ่มจุดติดไฟของไม้ β_{ig} และ ความเอียงทางความร้อนของไม้ทั้ง 3 ชนิด	52
5	conical heater (จาก ASTM 1354-04a)	25
6	ระบบวิเคราะห์ก๊าซ (จาก ASTM 1354-04a)	30
7	กราฟแสดงฟลักซ์ความร้อนบริเวณที่วางชิ้นไม้เทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งได้ ของเครื่อง cone calorimeter	33
8	แสดงชิ้นไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด	34
9	แสดงแผนภาพการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองพฤติกรรมการติดไฟ และการเผาไหม้ของวัสดุ cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM E 1354	36
10	การสูญเสียมวลของไม้บีชในฟังก์ชันของเวลาที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (บีช-25-1)	37
11	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้บีช ที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (บีช-25-1)	39
12	รูปขยายอัตราการเกิดไฟโรไลซิสจากภาพที่ 2 ส่วนปลาย	39
13	พฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ glowing และการเผา (glowing combustion) ของไม้บีช ที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (บีช-25-1) ที่เวลา (ก) เริ่มต้น การทดลอง (ข) เวลา 253 วินาที เกิดการจุดติดไฟแบบ glowing (ค) เวลา 399 วินาที การเผา มีบริเวณรอยละ 50 ของพื้นผิว (ง) การเผาเข้าสู่ สภาวะคุตัว	41
14	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2	42
15	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2	42
16	แสดงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้บีชที่ฟลักซ์ความร้อน 15 20 และ 25 kW/m ²	44
18	แสดงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้มะค่าที่ฟลักซ์ความร้อน 15 20 และ 25 kW/m ²	44
19	แสดงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้สักที่ฟลักซ์ความร้อน 15 20 และ 25 kW/m ²	45
20	แสดงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสในสภาวะคงตัวของไม้ทั้ง 3 ชนิด ที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆ	46
21	แสดงจุดตัดที่ทำให้ทราบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้บีช	48
22	แสดงจุดตัดที่ทำให้ทราบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้มะค่า	48
23	แสดงจุดตัดที่ทำให้ทราบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้สัก	49
ภาพผนวกที่		
ก1	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้บีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m ² (บีช-1-15)	58
ก2	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้บีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m ² (บีช-2-15)	58
ก3	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้บีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m ² (บีช-1-20)	59
ก4	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้บีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m ² (บีช-2-20)	59
ก5	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้บีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m ² (บีช-1-25)	60
ก6	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้บีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m ² (บีช-2-25)	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก7	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m ² (มะค่า-1-15)	61
ก8	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m ² (มะค่า-2-15)	61
ก9	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m ² (มะค่า-1-20)	62
ก10	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m ² (มะค่า-2-20)	62
ก11	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m ² (มะค่า-1-25)	63
ก12	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m ² (มะค่า-2-25)	63
ก13	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m ² (สัก-1-15)	64
ก14	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m ² (สัก-2-15)	64
ก15	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m ² (สัก-1-20)	65
ก16	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m ² (สัก-2-20)	65
ก17	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m ² (สัก-1-25)	66
ก18	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m ² (สัก-2-25)	66
ก19	แสดงอัตราการสูญเสียมวลของ ไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m ² (สัก-3-25)	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 15 kW/m ² (ปืช-15-1)	70
ข2	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 15 kW/m ² (ปืช-15-2)	70
ข3	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 20 kW/m ² (ปืช-20-1)	71
ข4	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 20 kW/m ² (ปืช-20-2)	71
ข5	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 25 kW/m ² (ปืช-25-1)	72
ข6	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 25 kW/m ² (ปืช-25-2)	72
ข7	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้มะค่าที่ระดับพลังค์ความร้อน 15 kW/m ² (มะค่า-15-1)	73
ข8	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้มะค่าที่ระดับพลังค์ความร้อน 15 kW/m ² (มะค่า-15-2)	73
ข9	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้มะค่าที่ระดับพลังค์ความร้อน 20 kW/m ² (มะค่า-20-1)	74
ข10	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้มะค่าที่ระดับพลังค์ความร้อน 20 kW/m ² (มะค่า-20-2)	74
ข11	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้มะค่าที่ระดับพลังค์ความร้อน 25 kW/m ² (มะค่า-25-1)	75
ข12	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้มะค่าที่ระดับพลังค์ความร้อน 25 kW/m ² (มะค่า-25-2)	75
ข13	อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับพลังค์ความร้อน 15 kW/m ² (สัก-15-1)	76

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข14	อัตราการผลิตไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับพลังความร้อน 15 kW/m ² (สัก-15-2)	76
ข15	อัตราการผลิตไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับพลังความร้อน 20 kW/m ² (สัก-20-1)	77
ข16	อัตราการผลิตไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับพลังความร้อน 20 kW/m ² (สัก-20-2)	77
ข17	อัตราการผลิตไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับพลังความร้อน 25 kW/m ² (สัก-25-1)	78
ข18	อัตราการผลิตไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับพลังความร้อน 25 kW/m ² (สัก-25-2)	78
ข19	อัตราการผลิตไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับพลังความร้อน 25 kW/m ² (สัก-25-3)	79

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่
C	ความจุความร้อน
L	ความยาวของแผ่นระนาบ
Q	ฟลักซ์ความร้อน
T	อุณหภูมิ
V	ปริมาตร
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน
k	สภาพการนำความร้อน
m	มวล
q	ฟลักซ์การนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
t	เวลา
x	ระยะตามแนวแกน x
α	สภาพการดูดกลืนรังสีความร้อน
β	อัตราส่วนระหว่างลักซ์ความร้อนที่สูญเสียไปที่พื้นผิวโดยอยู่ในรูปการพาและการแผ่รังสีความร้อนเทียบกับฟลักซ์ความร้อนทั้งหมด
δ	ความลึก
ε	สภาพเปล่งรังสีความร้อน
ρ	ความหนาแน่น
σ	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann
ตัวห้อย	
0	สิ่งแวดล้อม
abs	สุทธิ
add	เพิ่ม
cr	วิกฤต
ig	จุดติดไฟ
m	เฉลี่ย
net	ทั้งหมด
rad	การแผ่รังสีความร้อน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

s	พื้นผิว
shaft	งานเนื่องจากเพลลา
x	ตามแนวแกน x
∞	ภายนอก

การศึกษาเชิงทดลองการเกิดไฟโรไลซิสของไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สัก ใน Cone Calorimeter

An Experimental Study of Pyrolysis of Beach Makha and Teak in a Cone Calorimeter

คำนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ทั้งตึกขนาดใหญ่จนถึงบ้านที่อยู่อาศัย ขนาดย่อมลงมา ในการก่อสร้างจะเลือกใช้วัสดุต่างๆ ตามความเหมาะสมและสวยงามตามที่มีการ ออกแบบมา และไม้เป็นวัสดุที่นิยมใช้เพื่อช่วยให้การก่อสร้างเป็นไปตามที่ออกแบบไว้มาตั้งแต่สมัย โบราณเนื่องจากความสะดวกและง่ายในการจัดหา มนุษย์เรารู้จักที่จะใช้ประโยชน์จากไม้มานาน เมื่อ 2000 ปีที่แล้วมนุษย์ก็รู้จักที่จะนำไม้มาใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน อุตสาหกรรมการ ก่อสร้างได้ใช้ไม้เป็นส่วนประกอบในการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ทั้งใช้เพื่อการตกแต่งความ สวยงาม และทำโครงสร้างความแข็งแรง ไม่ว่าจะเป็นวงกบ บานประตู หน้าต่าง หรือโครงสร้าง ต่างๆ เช่น เสา คาน รวมทั้งอุปกรณ์สำนักงานต่างๆ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นวางของ ตู้ ในอุตสาหกรรม การทำเฟอร์นิเจอร์จะมีไม้ที่ใช้อยู่หลายชนิด ไม้ที่นำมาทำเฟอร์นิเจอร์ผ่านการอบลดความชื้นมาแล้ว เพื่อป้องกันการเปลี่ยนรูปร่างของเนื้อไม้เมื่อนำมาทำเฟอร์นิเจอร์

ในอาคารที่อยู่อาศัยจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในด้านต่างๆ หนึ่งในนั้นจะเกี่ยวกับด้าน ความปลอดภัยด้านการป้องกันอัคคีภัย ไม้ถือเป็นวัสดุที่ติดไฟเป็นอย่างดี มนุษย์เรารู้จักที่จะใช้ไม้เป็น เชื้อเพลิงมาตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ ในบางที่ไม้ถูกใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อน ไม้ที่นำมาทำเฟอร์นิเจอร์ตามสำนักงานจะมีค่าความชื้นน้อยกว่าไม้ตามธรรมชาติ ทำให้เมื่อได้รับความ ร้อนหรือเกิดเพลิงไหม้จะทำให้ติดไฟได้ง่ายมากยิ่งขึ้น เมื่อเกิดเพลิงไหม้ในอาคาร ไม้จะทำให้ เกิดการลุกลามของการติดไฟได้เร็วขึ้น การศึกษาพฤติกรรมการติดไฟของไม้จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ในกระบวนการของการเผาไหม้ของไม้นั้น มีหลายสิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการนั้น ทำให้ การที่จะทำความเข้าใจกับกระบวนการการเผาไหม้ของไม้เป็นไปได้ยาก เพื่อให้เกิดความกระจ่าง เกี่ยวกับการเผาไหม้ของไม้ขึ้นมา จึงได้เลือกที่จะทำการศึกษการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ที่นำมาใช้ ในการทำเฟอร์นิเจอร์ เพราะเมื่อเราทราบถึงพฤติกรรมการลุกติดไฟของไม้แล้ว เราก็สามารถที่จะหา ทางป้องกันหรือสร้างมาตรฐานที่จะนำมาบังคับใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเพลิงไหม้ได้รัดกุมมากยิ่งขึ้น

การจุดติดไฟของไม้มี 2 แบบ คือ แบบจุดติดไฟด้วยตัวเอง(autoignition)เป็นการจุดติดไฟเมื่อก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของไม้มาผสมคลุกเคล้ากับอากาศจนอุณหภูมิของก๊าซผสมถึงจุด อุณหภูมิจุดติดไฟ (autoignition Temperature) ก็จะเกิดการติดไฟได้เอง ส่วนอีกแบบหนึ่งคือ แบบจุดติดไฟด้วยการนำ (piloted ignition) เป็นการจุดติดไฟเมื่อมีก๊าซบางส่วนที่ได้จากการเผาไหม้ของไม้ถูกให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอก ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ของไม้แบบจุดติดไฟด้วยตัวเองเมื่อได้รับความร้อน ประกอบไปด้วยไม้ 3 ชนิด คือ ไม้สัก ไม้มะค่า ไม้บีช เนื่องจากไม้ทั้ง 3 ชนิดนี้ถูกนำมาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์อย่างแพร่หลาย โดยใช้อุปกรณ์การทดสอบที่มีชื่อว่า cone calorimeter การทดลองได้มุ่งเน้นไปเพื่อศึกษาการจุดติดไฟแบบ glowing ของไม้ที่ปล่อยความร้อนต่ำ(15-25 kW/m²) ผลที่คาดว่าจะได้จากการทดลองประกอบด้วย เวลาในการจุดติดไฟแบบ glowing อัตราการเกิดไฟโรไลซิส ปล่อยความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ glowing และความเฉื่อยทางความร้อน เพื่อจะได้นำไปวิเคราะห์พฤติกรรมในการเผาไหม้ของไม้ทั้ง 3 ชนิด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมเกิดการเกิดไฟโรไลซิสของไม้เมื่อได้รับความร้อนที่ค่าพลังและความร้อนต่างๆ
2. เพื่อศึกษาการใช้งานเครื่อง cone calorimeter สำหรับใช้ในการทดลอง
3. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หาค่า thermal inertia ของไม้แต่ละชนิดได้
4. ได้มาซึ่งองค์ความรู้สำหรับนำไปพัฒนามาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย

การตรวจเอกสาร

ในการสืบค้นเอกสารเกี่ยวกับงานวิจัยในครั้งนี้พบงานวิจัยอยู่หลายชิ้น จึงได้ทำการคัดงานวิจัยบางส่วนมาเพื่อนำเสนอในครั้งนี้ โดยที่จะพยายามเน้นที่มีความเกี่ยวข้องกับการทดลองและสามารถนำมาเชื่อมโยงกันให้เกิดประโยชน์กับการทดลองมากยิ่งขึ้น

Boonmee and Quintiere (2002) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของไม้ 4 ชนิด ประกอบด้วย Redwood Red oak Douglas fir และ maple ที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำพบว่า เมื่อฟลักซ์ความร้อนที่ตกกระทบผิวไม้สูงกว่า 40 kW/m^2 ไม้จะสามารถจุดติดเปลวไฟได้อย่างรวดเร็ว (น้อยกว่า 30 วินาที) ในทางกลับกันถ้าฟลักซ์ความร้อนต่ำกว่า 40 kW/m^2 การเผาไหม้ของชั้นถ่านที่ผิวหน้าของไม้จะเกิดขึ้นอย่างมากก่อนที่ในบางครั้งการเผาไหม้ที่ไม้พัฒนาไปเป็นการเผาไหม้ ซึ่งสามารถมองเห็นเปลวไฟได้

Babrauskas (2002) ได้นิยาม การเผาไหม้ หรือ glowing combustion ของวัสดุว่าเป็นสถานะที่ผิวของวัสดุเป็นสถานะที่ผิวของวัสดุมีการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างของแข็งกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว

Boonmee and Quintiere (2005) ได้นิยามจุดที่ไม้ เริ่มต้นการคุ หรือการจุดติดไฟแบบ glowing ในทางทฤษฎีว่าเป็นจุดที่อัตราการเพิ่มของพลังงานที่ผิวหน้าของไม้ ซึ่งมาจากฟลักซ์ความร้อนภายนอกและการคายความร้อนจากการออกซิเดชันของชั้นถ่านมากกว่าอัตราการสูญเสียพลังงานที่ผิวหน้าของไม้เนื่องจากการพาความร้อนของอากาศและการนำความร้อนสู่ภายในเนื้อไม้

Yang *et al.* (2003) ทำการทดสอบผลกระทบจากฟลักซ์ความร้อนภายนอกที่มีค่าต่ำที่เกี่ยวกับไฟโรไลซิส และการเผาไหม้ของไม้ โดยใช้เครื่อง cone calorimeter แบบจำลองที่ถูกปรับปรุง ของไฟโรไลซิสของวัสดุถ่านเป็นจุดประสงค์ของการทดลองครั้งนี้ ในแบบจำลองมีตัวแปรพิเศษบางตัวที่มีผลต่อไฟโรไลซิส การเกิดไฟโรไลซิสของไม้และเวลาที่จุดติดไฟถูกทำนายโดยแบบจำลองที่สร้างขึ้น และถูกใช้เพื่ออธิบายกลไกของไฟโรไลซิสของไม้

Delichatsios and Bhargava (2003) เสนอตัวอย่าง การเทียบค่า ความต่อเนื่อง เพื่ออธิบาย คุณสมบัติประสิทธิภาพการลุกของเปลวไฟของวัสดุถ่าน โดยใช้อุปกรณ์ cone calorimeter ผลที่ได้จะนำมาเพื่อใช้ทำนายการลุกติดไฟ และการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ โดยค่าที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการใช้เครื่อง cone calorimeter ที่ค่าฟลักซ์ความร้อน และความหนาไม้ ที่ค่าต่างๆ

Rhodes and Quintiere (1996) อัตราการจุดติดไฟ และอัตราการเผาไหม้ ถูกพัฒนาสำหรับวัสดุ โพลีแคสท์ PMMA หนา (25 มม.) ในเครื่อง cone calorimeter จุดประสงค์เพื่อสร้างระเบียบการทดสอบสำหรับทำนาย การเผาไหม้ และการลุกติดไฟ จากข้อมูลที่ได้จากเครื่อง cone calorimeter การฉายรังสีระหว่าง $0-75 \text{ kW/m}^2$ ค่าประมาณอยู่ที่ประมาณ 37 kW/m^2 สำหรับ PMMA เนื่องจากเรขาคณิตของโคน ค่าความร้อน gasification ของ PMMA อยู่ที่ประมาณ 2.8 kW/g สูงกว่าค่าสำหรับตัวอย่าง PMMA ซึ่งเชื่อว่าน่าจะมีผลต่างของโครงสร้างโมเลกุลหรืออาจจะเกิดจากการย้อมสีของตัวอย่าง

Spearpoint and Quintiere (2000) ทำการทดลองและพิสูจน์ตามทฤษฎีของการจุดติดไฟไม้ ตัวอย่างหนา 50 มม. ในเครื่อง cone calorimeter โดยใช้ไม้ 4 ชนิด ทดสอบฟลักซ์ความร้อนไม่เกิน 75 kW/m^2 ในแนวนานกับเกรน เวลาที่จุดติดไฟจะถูกวัดจากเครื่อง cone calorimeter เพื่อใช้สำหรับพิสูจน์คุณสมบัติของวัสดุ คุณสมบัตินี้จะถูกใช้ในสมการอินทิเกรตสำหรับการนำความร้อนใน 1 มิติ แบบจำลองอินทิเกรตที่ทำขึ้นมาเพื่อทำนาย และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองที่ประมาณ 20 kW/m^2 ที่ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ พบกลไกการจุดติดไฟของไม้ต่างจากค่าฟลักซ์ความร้อนสูง ผลต่างเชื่อว่าเกิดจากการเกิดออกซิเดชันของถ่านที่อยู่ข้างหน้าขอบเขตการลุกติดไฟ

Grexa and Lübke (2001) ได้ทำการศึกษาผลกระทบเนื่องจากปริมาณของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อการจุดติดไฟของพาดิเคลบอร์ด์ การทดลองจะถูกทำและวัดค่าด้วยเครื่อง cone calorimeter โดยการฉายรังสีจากภายนอกอย่างสม่ำเสมอที่ฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ 50 kW/m^2 ทุกการทดลอง แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้การต้านทานลุกติดไฟของพาดิเคลบอร์ด์ดีขึ้นและไม่มีผลทางลบกับคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากผลต่างของการต้านทานการจุดติดไฟสารที่ต้านทานดีที่สุดคือส่วนผสมระหว่าง โมโนแอมโมเนียม กับ กรดบอริก

Gratkowski, Dembsey and Beyler (2006) ทำการศึกษาการติดไฟแบบคุกรุ่นของไม้อัดหนา 18 มม. ด้วยเครื่อง cone calorimeter ที่ฟลักซ์ความร้อน $6-15 \text{ kW/m}^2$ เป็นเวลา 8 ชม. ฟลักซ์ความร้อน

ที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการไหม้แบบคุกรุ่นได้ คือ 7.5 kW/m^2 ผลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีการติดไฟด้วยตัวเอง การลุกติดไฟทำการวัดอุณหภูมิภายในชิ้นงาน การกระจายตัวของอุณหภูมิในพื้นที่ผิวทำให้ทราบถึงการลุกติดไฟด้วยตัวเอง โดยจะเกิดการลุกติดไฟก่อนหลังจากนั้นจะเกิดการไหม้แบบคุกรุ่นออกมารอบๆ ทั่วพื้นผิว การจุดติดไฟแบบเข้มข้นเป็นการทำงานของฟลักซ์ความร้อน ซึ่งจะเกิดการเคลื่อนที่ไปยังพื้นผิวเปรียบเสมือนมีการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อน

Spearpoint and Quintiere (2000) ทำการทดลองและเปรียบเทียบผลทางทฤษฎีการเผาไหม้ 4 ชนิด ด้วยฟลักซ์ความร้อน $25\text{-}75 \text{ kW/m}^2$ ตามแนวนานและตั้งฉากกับเกรนของไม้ และทำการวัดอัตราการสูญเสียมวล อุณหภูมิ และอัตราการกลายเป็นถ่าน แบบจำลองการอินทิเกรตใน 1 มิติได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายถึงไฟโรไลซิสที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของก้อนถ่านที่ถูกเผาไหม้ด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่ ผลของแบบจำลองอินทิเกรตสำหรับอัตราการเผาไหม้ถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองระยะสั้นและระยะยาว เพื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียมวล อุณหภูมิ ผิว ปริมาณการกลายเป็นถ่าน และการแผ่ขยายความร้อนแบบยังผล

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานรูปหนึ่ง โดยส่งจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดทั้งสอง โดยพลังงานความร้อนนี้จะถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในการถ่ายเทความร้อนนั้นจะสนใจในอัตราการถ่ายเทพลังงานความร้อน หรือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อหนึ่งหน่วยเวลา

โดยทั่วไปแล้ว การถ่ายเทความร้อนนั้นมีกลไกการถ่ายเทอยู่ 3 วิธี คือ

1. การนำความร้อน (Heat conduction)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน จะอยู่กับที่และส่งต่อความร้อนไปให้ตัวกลางอื่นกันไปเรื่อยๆ โดยตัวกลางสามารถเป็นได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในตัวกลางที่เป็นของแข็งนั้น ความร้อนจะส่งผ่านจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลหนึ่ง โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน สำหรับตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซ ความร้อนจะถ่ายเท

ด้วยการชน (collision) และการแพร่ (diffusion) ของโมเลกุลตัวกลางที่มีระดับของพลังงานที่แตกต่างกัน

ในการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนนั้นจำเป็นต้องอาศัยกฎของฟูรีเยร์ (Fourier's Law of Heat Conduction) ซึ่งกล่าวไว้ว่า “พลังงานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยเวลาของการนำความร้อนผ่านตัวกลางนิสทางใดทิศทางหนึ่ง จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน และค่าความชันของอุณหภูมิภายในตัวกลางในทิศดังกล่าว”

อัตราการนำความร้อน (Rate of Heat Conduction) หมายถึง พลังงานความร้อนซึ่งถ่ายเทโดยการนำความร้อนในหนึ่งหน่วยเวลา โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\dot{Q}_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

เครื่องหมายลบในสมการ (1) เป็นผลจากกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ กล่าวคือ ความร้อนจะถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ

ค่าฟลักซ์การนำความร้อน (Conduction Heat Flux)

ค่าฟลักซ์การนำความร้อน (\dot{q}_x) คือ อัตราการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น W/m^2

$$\dot{q}_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

ค่าสภาพการนำความร้อน (k) เป็นคุณสมบัติเฉพาะทางกายภาพอย่างหนึ่งของตัวกลาง ซึ่งหมายถึง ความสามารถในการถ่ายเทพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อนของตัวกลาง ตัวกลางแต่ละชนิดจะมีค่าสภาพการนำความร้อนที่แตกต่างกันไป

2. การพาความร้อน (Heat convection)

คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่ของโมเลกุลของไหล และการเคลื่อนที่ไปทั้งก่อนปริมาตรของของไหล การพาความร้อนโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นระหว่างผิวของของแข็งกับการไหลของของไหลบนผิวของแข็งนั้น โดยที่อุณหภูมิของของไหลและอุณหภูมิที่ผิวของแข็งมีความแตกต่างกัน

การพาความร้อนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามการไหลของของไหล คือ

การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural or Free Convection) คือ การพาความร้อนซึ่งเป็นผลจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของของไหล แรงลอยตัวที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่และมีการพาความร้อนเกิดขึ้นนี้ มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหลใน 2 บริเวณที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน เมื่อมีผลต่างของอุณหภูมิที่บริเวณทั้งสองทำให้เกิดผลต่างของความหนาแน่นของอากาศที่บริเวณทั้งสอง ทำให้เกิดแรงลอยตัว อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะลอยขึ้นและพาความร้อนไปด้วย ในขณะที่ที่มีอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะลอยต่ำลงมาพร้อมกับความเย็นเมื่อเวลาผ่านไปวัสดุบริเวณนั้นจะมีอุณหภูมิต่ำลง

การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) คือ การพาความร้อนซึ่งเป็นผลมาจากแรงกระทำภายนอก (External Force) ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของของไหลและมีการพาความร้อนเกิดขึ้น โดยที่แรงกระทำภายนอกนี้อาจมาจากปั๊มในกรณีที่เป็นของเหลว หรือพัดลมในกรณีของก๊าซ

อัตราการพาความร้อนสามารถคำนวณได้โดยใช้กฎการทำให้เย็นลงของนิวตัน (Newton's Law of Cooling)

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h จะมีค่ามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของการไหล รูปทรงของวัตถุที่ของไหลไหลผ่าน คุณสมบัติของของไหล รวมถึงตำแหน่งบนผิวของวัตถุที่ของไหลไหลผ่าน

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน มีค่าแตกต่างกันบนผิวของวัตถุที่ของไหลไหลผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ที่แต่ละตำแหน่งจะเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ (Local heat transfer coefficient) อย่างไรก็ตามในการคำนวณทางวิศวกรรมโดยทั่วไปมักจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (Mean heat transfer coefficient) ซึ่งกรณีของแผ่นระนาบสามารถคำนวณได้จาก

$$h_m = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (4)$$

ดังนั้น อัตราการพาความร้อนเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_m = h_m A (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

3. การแผ่รังสีความร้อน (Heat radiation)

การแผ่รังสีความร้อนคือการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากผิวดังกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยจะถ่ายเทความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในรูปของโฟตอนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางในการส่งผ่าน

ฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสี (Thermal Radiation Heat Flux)

ฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสี หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกมาโดยการแผ่รังสีจากผิวของวัตถุที่อุณหภูมิสัมบูรณ์ค่าหนึ่ง ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ค่าฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสีนี้ สามารถคำนวณได้จากกฎของ Stefan-Boltzmann ซึ่งใช้กับการแผ่รังสีในอุดมคติของวัตถุดำ (Black body)

$$\dot{q}_b = \sigma T_s^4 \quad (6)$$

สำหรับกรณีของพื้นผิวจริง ฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวจะน้อยกว่ากรณีของวัตถุดำซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{q} = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (7)$$

โดยค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิว ε คือค่าที่แสดงถึงความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวนั้นเมื่อเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุดำ โดยค่าสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิว ε นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0-1

การแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีความร้อน (Radiation Exchange)

พิจารณาที่ผิวของวัตถุ A ซึ่งมีอุณหภูมิ T_1 ค่าสภาพการเปล่งรังสี ε_1 และมีขนาดพื้นที่ผิวเล็กมากขนาด A_1 เมื่อเทียบกับสิ่งแวดล้อมที่มีขนาดใหญ่โดยรอบ โดยที่สิ่งแวดล้อมโดยรอบมีอุณหภูมิ T_2 เมื่อเทียบพื้นผิวของวัตถุ A กับพื้นผิวของสิ่งแวดล้อมโดยรอบซึ่งเป็นสุญญากาศและมีขนาดใหญ่่มาก สามารถสมมติให้สิ่งแวดล้อมโดยรอบเป็นวัตถุดำ (Black body) ได้

ดังนั้น พลังงานความร้อนต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ถูกดูดจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่วัตถุ A จะมีค่าเท่ากับ

$$\dot{Q}_{abs} = \alpha_1 A_1 \sigma T_2^4 \quad (8)$$

ในทางวิศวกรรมแล้วเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการแผ่รังสีความร้อน โดยทั่วไปค่าสภาพการดูดกลืนความร้อน α จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าสภาพการเปล่งรังสี ε ดังนั้นสมการ (8) จะแสดงได้เป็น

$$\dot{Q}_{abs} = \varepsilon_1 A_1 \sigma T_2^4 \quad (9)$$

สำหรับการแผ่รังสีของวัตถุ A ไปยังสิ่งแวดล้อมโดยรอบ สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon_1 A_1 \sigma T_1^4 \quad (10)$$

ดังนั้น อัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิ \dot{Q}_{net} จากผิวของวัตถุ A สู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ มีค่าเท่ากับ

$$\dot{Q}_{net} = \varepsilon_1 A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (11)$$

โดยที่หากอัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิจากสมการที่ (11) มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่า มีการสูญเสียความร้อนออกจากวัตถุ A ในทางกลับกัน หากอัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิจากสมการที่ (11) มีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่ามีการรับความร้อนเข้าสู่วัตถุ A นอกจากนี้หากทำการกระจายพจน์ $(T_1^4 - T_2^4)$ ของสมการที่ (11) จะได้

$$\dot{Q}_{net} = \varepsilon_1 A_1 \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2) \quad (12)$$

ถ้าต้องการแสดงสมการที่ (12) ในรูปสมการการพาความร้อน และนิยามค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน h_r ซึ่งมีหน่วยเป็น W/m^2K จะได้

$$\dot{Q}_{net} = h_r A_1 (T_1 - T_2) \quad (13)$$

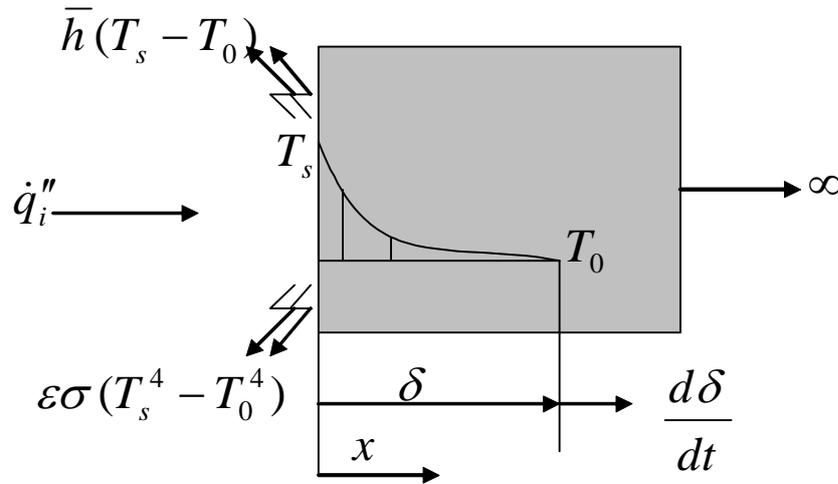
โดยที่

$$h_r = \varepsilon_1 \sigma (T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2) \quad (14)$$

จากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านมา Spearpoint and Quintere (2000) ได้พัฒนาแบบจำลองอินทิกรัลสำหรับการจุดติดไฟโดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานดังนี้

1. การจุดติดไฟเกิดขึ้นเมื่อมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต
2. วัสดุมีความเฉื่อยในการติดไฟ
3. วัสดุมีความหนาไม่จำกัด

แบบจำลองจะถูกทำให้ร้อนจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_0) และการส่งผ่านความร้อนจะเกิดขึ้นในแนวแกน x พิจารณาการสูญเสียความร้อนซึ่งเกิดจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น พลักซ์ความร้อนสุทธิที่ตกลงบนพื้นผิวสามารถเขียนอยู่ในรูป



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะแบบจำลองอินทิกรัลการจุดติดไฟ

$$\dot{q}''(t) = \alpha \dot{q}_i'' - \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_0^4) - \bar{h} (T_s - T_0) \quad (15)$$

สภาพการเปล่งรังสี (ε) และสภาพการดูดซับ (α) ของวัสดุจะเปลี่ยนไปตามเวลา แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อผิวหน้าวัสดุได้รับฟลักซ์ความร้อนจะทำให้ผิวหน้าไหม้เกรียมดำ สามารถเขียนสมการออกมาได้ใหม่

$$\dot{q}''(t) = \dot{q}_i'' - \sigma (T_s^4 - T_0^4) - \bar{h} (T_s - T_0) \quad (16)$$

β คือ ตัวแปรชี้วัดฟลักซ์ความร้อนไร้หน่วย ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ความร้อนที่สูญเสียไปที่พื้นผิว โดยอยู่ในรูปการพาและการแผ่รังสีความร้อนเทียบกับฟลักซ์ความร้อนทั้งหมด โดยเขียนอยู่ในรูป

$$\beta = \frac{\sigma (T_s^4 - T_0^4) + \bar{h} (T_s - T_0)}{\dot{q}_i''} \quad (17)$$

สมการ (17) สามารถเขียนใหม่ในรูป β ได้โดย

$$\dot{q}''(t) = \dot{q}_i'' (1 - \beta) \quad (18)$$

กฎการอนุรักษ์พลังงานสำหรับปริมาตรควบคุมเหมือนในภาพที่ 1 เขียนได้เป็น

$$\frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho u dV + \iint_{CS} \rho h(\bar{v} - \bar{w}) \bar{n} dS = \dot{Q}_{add} + \dot{W}_{shaft} + \iint p \bar{n} dS \quad (19)$$

แต่เนื่องจากไม่มีงานจาก shaft และงานเนื่องจากความดัน และฟลักซ์ความร้อนที่ให้เพิ่มต่อ
หนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่าเท่ากับ $\dot{q}''(t)$ สมการ (19) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{d}{dt} \iiint_{CV} \rho u dV + \iint_{CS} \rho h(\bar{v} - \bar{w}) \bar{n} dS = \dot{q}''(t) \quad (20)$$

บนสมมุติฐานที่ว่า ความหนาแน่น (ρ) และสภาพการนำความร้อน (k) ของวัสดุมีค่าคงที่
และการส่งผ่านความร้อนมีความเร็วเท่ากับ $\frac{d\delta}{dt}$ ในแนวแกน x สมการ (20) จะอยู่ในรูป

$$\rho c \frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x) dx + \rho c T_0 \left(-\frac{d\delta}{dt}\right) = \dot{q}''(t)$$

$$\text{หรือ} \quad \rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x) dx - T_0 \left(\frac{d\delta}{dt}\right) \right) = \dot{q}''(1 - \beta) \quad (21)$$

ฝั่งซ้ายของสมการ (7) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x) dx - T_0 \left(\frac{d\delta}{dt}\right) \right) &= \rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x) dx - T_0 d \int_0^\delta \frac{dx}{dt} \right) \\ &= \rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x) dx - d \int_0^\delta T_0 \frac{dx}{dt} \right) \\ &= \rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x) dx - d \int_0^\delta T_0 \frac{dx}{dt} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x) dx - \frac{d}{dt} \int_0^\delta T_0 dx \right) \\
&= \rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta (T(x) - T_0) dx \right) \tag{22}
\end{aligned}$$

จากสมการ (21) และ (22) นำมารวมกันได้

$$\rho c \left(\frac{d}{dt} \int_0^\delta (T(x) - T_0) dx \right) = \dot{q}_i''(1 - \beta) \tag{23}$$

เงื่อนไขขอบของสมการ (23) คือ

- i) $x = 0$, $\dot{q}''(t) = \dot{q}_i''(1 - \beta) = -k \left(\frac{dT}{dx} \right)$, เมื่อ k คือ สภาวะการนำความร้อน
- ii) $x = \delta$, $T = T_0$
- iii) $x = \delta$, $\frac{dT}{dx} = 0$ ไม่มีการสูญเสียความร้อน

Spearpoint and Quintiere ได้แนะนำสำหรับการกระจายตัวของอุณหภูมิจะสอดคล้องตามเงื่อนไขขอบดังสมการที่ (24)

$$T(x) - T_0 = \frac{\dot{q}_i''(t)}{2k} \delta \left(1 - \frac{x}{\delta} \right)^2 \tag{24}$$

หรือในรูปของตัวชี้วัดฟลักซ์ความร้อนไร้หน่วย β

$$T(x) - T_0 = \frac{\dot{q}_i''(1 - \beta)}{2k} \delta \left(1 - \frac{x}{\delta} \right)^2 \tag{25}$$

แทนสมการ (24) ลงในสมการ (23) และการส่งผ่านความร้อนลึก δ จะออกมาเป็น

$$\delta^2 = \frac{6 \frac{k}{\rho c} \int_0^t \dot{q}''(t) dt}{\dot{q}''(t)} \quad (26)$$

เทอม $\int_0^t \dot{q}''(t) dt$ สามารถหาได้จากเทอมของค่าฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยตั้งแต่ $t=0$ ถึง $t=t$

$$\text{หรือ} \quad \int_0^t \dot{q}''(t) dt = \left(\frac{\dot{q}''(t) + \dot{q}''(0)}{2} \right) t \quad (27)$$

แทนสมการ (27) ในสมการ (26) และตั้งแต่นั้น $t=0$, $\dot{q}''(0) = \dot{q}_i''$,

$$\delta^2 = 3 \frac{k}{\rho c} \left(\frac{\dot{q}''(t) + \dot{q}_i''}{\dot{q}''(t)} \right) t$$

โดยสามารถเขียนในรูปตัวชี้วัดฟลักซ์ความร้อนไร้นหน่วย β ได้เป็น

$$\delta^2 = 3 \frac{k}{\rho c} \left(\frac{2 - \beta}{1 - \beta} \right) t \quad (28)$$

จัดรูปสมการ (28) ใหม่ ออกมาได้เป็น

$$\delta = \frac{2k(T(x) - T_0)}{\dot{q}_i''(1 - \beta) \left(1 - \frac{x}{\delta}\right)^2}$$

$$\text{หรือ} \quad \delta^2 = \frac{4k^2(T(x) - T_0)^2}{[\dot{q}_i''(1 - \beta)]^2 \left(1 - \frac{x}{\delta}\right)^4} \quad (29)$$

นำสมการ (28) เท่ากับ (29) และจัดรูปออกมาใหม่ เพื่อหาค่า t

$$t = \frac{4}{3} \left(\frac{k\rho c(T(x) - T_0)^2}{\dot{q}''_i(1-\beta)(2-\beta)(1-\frac{x}{\delta})^4} \right) \quad (30)$$

ในช่วงที่เกิดการจุดติดไฟ จะมีเงื่อนไขที่ผิวหน้าของวัสดุ ($x = 0$) ดังนี้

- i) $t = t_{ig}$
- ii) $T(x) = T(0) = T_s = T_{ig}$
- iii) $\beta = \beta_{ig} = \frac{\sigma(T_{ig}^4 - T_0^4) + \bar{h}(T_{ig} - T_0)}{\dot{q}''_i}$

นำเงื่อนไขแทนลงในสมการ (30) เวลาในการจุดติดไฟสามารถหาได้จาก

$$t_{ig} = \frac{4}{3} \left(\frac{k\rho c}{(1-\beta_{ig})(2-\beta_{ig})} \right) \left(\frac{T_{ig} - T_0}{\dot{q}''_i} \right)^2 \quad (31)$$

จากสมการ (31) หากต้องการจะทราบเวลาในการจุดติดไฟจำเป็นต้องรู้ พลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟด้วยตัวเอง (\dot{q}''_{cr}) อุณหภูมิการจุดติดไฟ (T_{ig}) และ ความเฉื่อยทางความร้อน ($k\rho c$) โดยค่าทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากข้อมูลที่ทำการทดลอง

ในกรณีพลักซ์ความร้อนต่ำ เวลาที่จะใช้ในการจุดติดไฟนานมาก พลักซ์ความร้อนที่สูญเสียไปจะมาจาก การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนเท่านั้น โดยสามารถเขียนในรูปสมการได้เป็น

$$\dot{q}''_{cr} = \bar{h}(T_{ig} - T_0) + \sigma(T_{ig}^4 - T_0^4) \quad (32)$$

ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน มีความเกี่ยวข้องกับการคำนวณหาอุณหภูมิการจุดติดไฟ ชั้นขีดผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดไฟโรไลซิสบนผิวหน้าของวัสดุสามารถที่จะพิจารณาเป็นชั้นขีดผิวแบบลามินาร์ได้ การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับอุณหภูมิการจุดติดไฟไม่มีความสำคัญมากนัก โดยสามารถที่จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าคงที่ สำหรับการทดลองแบบตั้งฉากกับเกรนนั้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าเท่ากับ $13.39 \text{ W/m}^2\text{K}$

โครงสร้างของไม้

ไม้ที่ใช้ประโยชน์กันอยู่นั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการนำต้นไม้มารูป ซึ่งต้นไม้ถือเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง โครงสร้างต่างๆในไม้จึงมีความสลับซับซ้อนอยู่บ้าง เพื่อความเข้าใจให้มากยิ่งขึ้น ในส่วนนี้จะขอนำโครงสร้างของไม้มานำเสนอเล็กน้อยสำหรับทำความเข้าใจในเนื้อหาส่วนอื่นๆต่อไป

ต้นไม้เมื่อมีการเจริญเติบโตจะมีการสร้างชั้นไม้เพิ่มขึ้นระหว่างเนื้อไม้ที่มีอยู่ก่อนกับเปลือกไม้ตลอดลำต้น โดยชั้นไม้ที่เกิดขึ้นจะมีระยะเวลาการเติบโตปีละประมาณ 1 วง ชั้นไม้จึงถูกเรียกว่าวงปี ในวงปีจะประกอบไปด้วยเส้นใยวางตัวในแนวเดียวกับลำต้น เรียกทิศทางของแนวเส้นใยนี้ว่าแนวเกรน น้ำ และสารอาหารถูกขนถ่ายผ่านทางแนวเส้นใยนี้เพื่อไปหล่อเลี้ยงส่วนต่างๆของต้นไม้อย่างทั่วถึง

เมื่อพิจารณาแนวขวางของลำต้นดังแสดงในภาพที่ 2 สามารถที่จะแบ่งส่วนต่างๆของไม้ ออกได้เป็นสามส่วน

1. ส่วนที่อยู่ตรงใจกลางของลำต้นในแนวขวาง คือ แก่นไม้ ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยเซลล์ของไม้ที่ตายไปแล้ว
2. ส่วนที่อยู่ในแนวกลางของรูป คือ กระจุก จะมีส่วนที่จำเป็นแก่การดำรงชีวิตของต้นไม้ ได้แก่ แป้ง น้ำตาล และโปรตีน ส่วนนี้นับเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของต้นไม้
3. ส่วนนอกสุดของต้นไม้ตามแนวตัดขวาง คือ เปลือกไม้ ช่วยในการห่อหุ้มลำต้นของต้นไม้

โครงสร้างของไม้ทั้งสองส่วนซึ่งประกอบไปด้วย แก่นไม้ และกระจุก จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แต่แก่นไม้จะมีความหนาแน่นสูงกว่ากระจุก

โครงสร้างการวางตัวของแนวเกรนนั้น มีผลต่อการจุดติดไฟของไม้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการเกิดไฟโรไลซิสจะเคลื่อนตัวออกมาจากเนื้อไม้ได้ง่ายเมื่อฟลักซ์ความร้อนเคลื่อนที่ในแนวขนานกับแนวเกรน และเมื่อฟลักซ์ความร้อนเคลื่อนตัวในแนวตั้งฉากกับแนวเกรน ผลลัพธ์ที่ได้จากการเกิดไฟโรไลซิสจะเคลื่อนตัวออกมาจากเนื้อไม้ได้ช้ากว่า เนื่องมาจากผนังของเซลล์ในเนื้อเยื่อจะต้องแยกออกเป็นส่วนๆ ก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกมาได้ เพราะการจุดติดไฟเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม ดังนั้นจึงคาดว่า การจุดติดไฟเมื่อให้ฟลักซ์ความร้อนขนานกับแนวเกรน จะติดไฟได้ง่ายกว่าให้ฟลักซ์ความร้อนในแนวตั้งฉากกับแนวเกรน



ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบของไม้ในแนวขวาง

ไม้ถือเป็นวัสดุชนิดหนึ่ง ดังนั้นย่อมมีคุณสมบัติเฉพาะตัวเหมือนกับวัสดุชนิดอื่นๆ เช่นกัน ดังนั้นจึงควรจะทำความเข้าใจกับคุณสมบัติต่างๆ ของไม้ เพื่อช่วยให้การทดลองสามารถทำได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

1. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของไม้จะเปลี่ยนไปตามชนิดพันธุ์ อายุ และชิ้นส่วนของไม้ว่า ได้มาจากส่วนใด หากได้ไม้มาจากส่วนที่เป็นแก่นไม้ ก็จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าส่วนที่ได้มาจากเปลือกไม้ ในการทดลองครั้งนี้จะหาความหนาแน่นจากสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (33)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของไม้ m คือ มวลของไม้ได้จากการชั่งน้ำหนักของชิ้นไม้ V คือ ปริมาตรของไม้ ได้จากการวัดขนาดของชิ้นไม้

2. ความชื้นในเนื้อไม้

ในไม้ตามธรรมชาติจะมีความชื้นอยู่ โดยจะเปลี่ยนไปตามสิ่งแวดล้อมที่อยู่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมด้วย ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้มีผลต่อความยากง่าย ในการจุดติดไฟเป็นอย่างมาก เพราะเมื่อเริ่มต้นให้ความร้อนกับชิ้นไม้ค่าความจุความร้อนของไม้จะ เพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความจุความร้อนของน้ำที่อยู่ในเนื้อไม้ หลังจากนั้นน้ำที่อยู่ในชิ้นไม้จะระเหย ออกมาและทำให้ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของไม้เจือจางลงด้วย หากมีความชื้นสูงจะทำให้เวลาในการทนต่อการติดไฟสูงกว่าชิ้นไม้ที่ความชื้นต่ำกว่า อย่างไรก็ตามความชื้นในชิ้นไม้ก็ไม่มีผลต่อค่า พลังความร้อนวิกฤต เนื่องจากค่าพลังความร้อนวิกฤตนั้นใช้เวลาในการวัดนานมาก ซึ่งนานพอ ที่จะทำให้ชิ้นไม้แห้งลงได้ ชิ้นไม้ที่นำมาทำการทดลองครั้งนี้ได้ผ่านการอบเพื่อลดความชื้นในเนื้อไม้ มาแล้ว ซึ่งการอบนี้จะเป็นวิธีเดียวกับที่ใช้ในการอบ ไม้เพื่อนำไปทำเฟอร์นิเจอร์ทุกประการ

3. สภาพนำความร้อน (k)

สภาพนำความร้อนคือค่าที่ใช้วัดอัตราการไหลของความร้อนผ่านมหน้าของวัสดุใน 1 หน่วย พื้นที่ต่อผลต่างของอุณหภูมิ ในไม้นั้นสภาพการนำความร้อนขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่น ความชื้น และทิศทางของเกรนในเนื้อไม้

4. ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

ค่าความจุความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณของพลังงานที่ใช้สำหรับทำให้อุณหภูมิของวัสดุ หนึ่งหน่วยมวลมีค่าสูงขึ้นหนึ่งหน่วยอุณหภูมิ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของไม้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และค่าความชื้นในเนื้อไม้ โดยในไม้ที่มีความชื้นสูงจะมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงกว่าไม้ที่มีความชื้นต่ำ เนื่องจากความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าสูงกว่าค่าความจุความร้อนจำเพาะของ ไม้

5. ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต (\dot{q}_{cr}'')

ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต คือ ค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำที่สุดที่ไม่สามารถจะจุดติดไฟได้ด้วยตัวเอง โดยสามารถหาได้จากข้อมูลการจุดติดไฟที่ใช้เวลานาน สำหรับฟลักซ์ความร้อนที่ใช้เวลาในการจุดติดไฟเป็นอนันต์ สามารถที่จะคาดการณ์ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตได้จากข้อมูลการจุดติดไฟ โดยการเทียบบัญญัติโดยตรงกับเชิงเส้นจากการพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{\sqrt{t_{ig}}}$ กับค่าฟลักซ์ความร้อนต่ำ (\dot{q}_i'') จุดตัดระหว่างเส้นแนวโน้มเชิงเส้นของค่าที่พล็อตกราฟกับแกน x จะได้เป็นค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้ออกมา

6. ค่าความเฉื่อยทางความร้อน ($k\rho c$)

ความเฉื่อยทางความร้อนเป็นผลที่ได้จากคุณสมบัติของวัสดุ 3 ค่า ประกอบไปด้วย สภาพการนำความร้อน (k) ความหนาแน่น (ρ) และ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (c) โดยค่าความเฉื่อยทางความร้อนจะบอกถึงความยากง่ายในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุเมื่อได้รับความร้อน วัสดุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนสูง จะต้องใช้เวลานานกว่าวัสดุที่มีค่าความเฉื่อยทางความร้อนต่ำในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จากสมการ (31) นำมาจัดรูปใหม่

$$\frac{1}{\sqrt{t_{ig}}} = \left(\frac{4}{3} k\rho c \left[\frac{1}{(2 - \beta_{ig})(1 - \beta_{ig})} \right] \right)^{-1/2} \left(\frac{\dot{q}_i''}{T_{ig} - T_0} \right) \quad (34)$$

จากการพล็อตกราฟเพื่อหาค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตระหว่าง $\frac{1}{\sqrt{t_{ig}}}$ กับ \dot{q}_i'' ทำให้ทราบค่าความชันของเส้นแนวโน้มสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาความเฉื่อยทางความร้อนได้ โดยจัดรูปสมการ (18) ได้เป็น

$$\frac{1}{\dot{q}_i''} = \left(\frac{4}{3} k\rho c \left[\frac{1}{(2 - \beta_{ig})(1 - \beta_{ig})} \right] \right)^{-1/2} \left(\frac{1}{T_{ig} - T_0} \right)$$

โดย $\frac{1}{\sqrt{\dot{t}_{ig}}}$ = ความชันของเส้นแนวโน้มของการหาค่าฟังก์ชันความร้อนวิกฤต

ดังนั้น

$$slope = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left[\frac{1}{(2 - \beta_{ig})(1 - \beta_{ig})} \right] \right)^{-1/2} \left(\frac{1}{T_{ig} - T_0} \right) \quad (35)$$

7. สภาพการเปล่งรังสี (ϵ)

สภาพการเปล่งรังสีของวัสดุคืออัตราส่วนของพลังงานในการแผ่รังสี โดยเป็นสัดส่วนระหว่างส่วนที่พื้นผิวดูดกลืนไว้ได้ต่อส่วนที่ถูกถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแผ่รังสีมายังพื้นผิวทั้งหมด สำหรับค่าสภาพการเปล่งรังสีสำหรับไม้จะเปลี่ยนไปเมื่อผิวหน้าของชิ้นไม้ที่ใช้ทดลองถูกเผาไหม้จนผิวหน้าไหม้เกรียม ทำให้ชิ้นไม้ที่ใช้ทดสอบมีค่าสภาพเปล่งรังสีมีค่าเท่ากับ 1

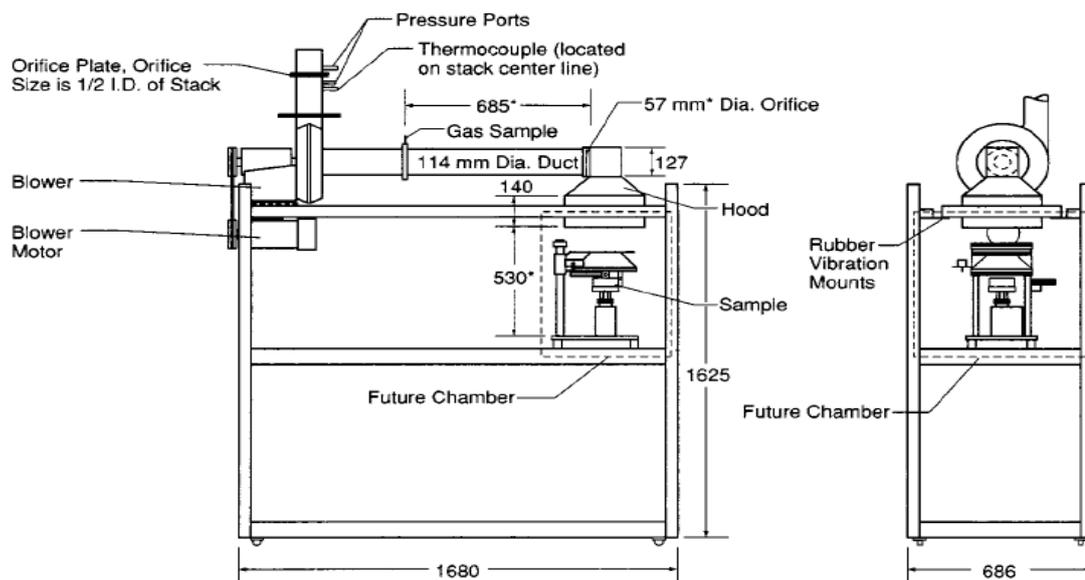
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การศึกษาลักษณะการติดไฟและการเผาไหม้ของไม้ดำเนินการ โดยใช้อุปกรณ์ cone calorimeter ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทดสอบพฤติกรรมการติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM E1354 ชิ้นไม้ทดสอบประกอบด้วยพรรณไม้ 3 ชนิด คือ ไม้สัก(ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 690 kg/m^3) ไม้บีช(ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 942 kg/m^3) และไม้มะค่า (ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 830 kg/m^3) ถูกตัดให้ได้ขนาดที่เหมาะสมโดยชิ้นไม้ทดสอบแต่ละชิ้นมีขนาดพื้นที่หน้าตัดด้านรับฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ $7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$ และหนา 2.5 cm ชิ้นไม้ทดสอบด้านที่ไม่ได้รับฟลักซ์ความร้อนที่เหลืออีก 3 ด้าน รวมทั้งด้านหลังได้ทำการหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อให้การนำความร้อนในชิ้นทดสอบเป็นไปในทิศทาง 1 มิติ (one dimensional heat conduction) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับในการทดลองประกอบไปด้วย

1. เครื่อง Cone calorimeter

โดยเครื่องทดสอบ cone calorimeter มีข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM 1354-04a โดยสรุปดังนี้



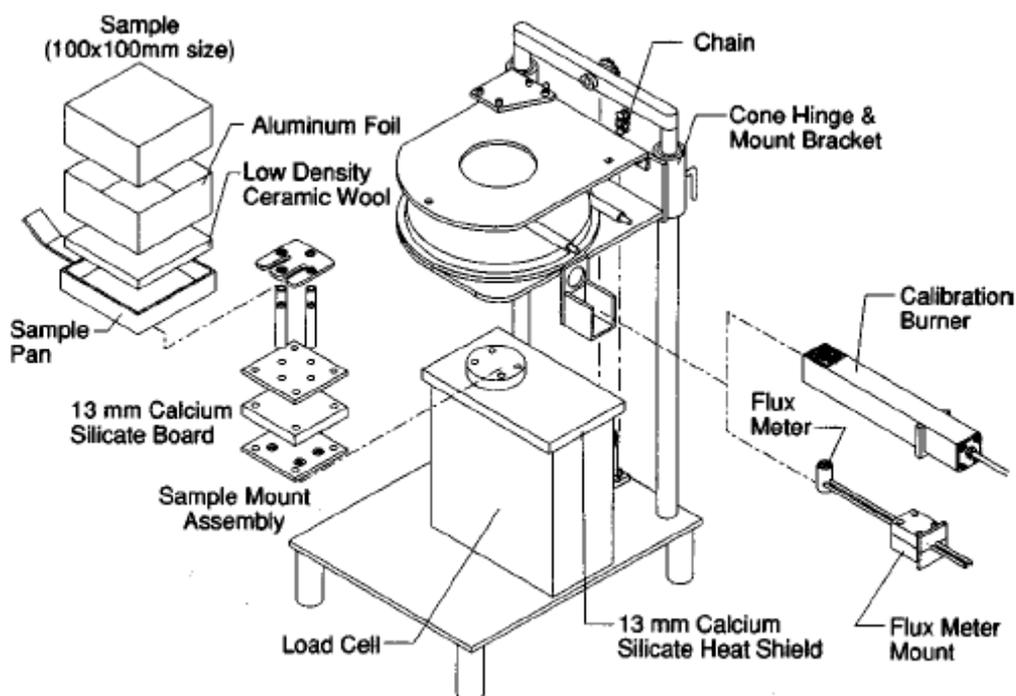
ภาพที่ 3 อุปกรณ์โดยรวมของเครื่อง cone calorimeter (จาก ASTM 1354-04a)

1) ขอบเขต

1.1) มาตรฐานนี้ใช้สำหรับวัดการตอบสนองของวัสดุในระดับรังสีความร้อน ทั้งที่มีและไม่มีการจุดติดไฟจากภายนอก

1.2) การทดสอบนี้ใช้หาการจุดติดไฟ อัตราการให้ความร้อน อัตราการสูญเสียมวล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ และการเกิดควันของวัสดุ

1.3) อัตราการปล่อยความร้อนหาโดยวัดจากการใช้ออกซิเจน ซึ่งหาจากความเข้มข้นของออกซิเจน และอัตราการไหลในไอเสีย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ หาโดยการวัดร่วมกันของอัตรา



ภาพที่ 4 เครื่อง cone calorimeter ส่วน cone heater (จาก ASTM-1354-04a)

การสูญเสียมวล และอัตราการให้ความร้อน คำนวณวัดโดยการบ่งแสงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้

1.4) ชั้นทดสอบจะวางไว้ในฟลักซ์ความร้อนในช่วง 0 ถึง 100 kW/m^2 หากมีการจุดระเบิดจากภายนอกจะใช้ หัวเทียน ช่วยในการจุดระเบิด ค่าของฟลักซ์ความร้อน และการจุดระเบิดจากภายนอก จะเป็นไปตามค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน การทดสอบโดยปกติ ชั้นทดสอบจะวางตำแหน่งในแนวนอน ไม่ว่าในการใช้งานจะใช้ในแนวตั้งหรือแนวนอน อุปกรณ์สามารถทดสอบในแนวตั้งได้ แต่ใช้เพื่อการทดสอบเท่านั้น

1.5) การจุดติด หาโดยวัดเวลาที่เริ่มให้ความร้อนจนเกิดไฟถาวร

1.6) การทดสอบนี้ใช้สำหรับการประเมินวัสดุและผลผลิต แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป้าหมายทางการออกแบบ หรือ การวิจัยและการพัฒนา ตัวอย่างของวัสดุ ชั้นทดสอบ มีทั้งชิ้นงานสำเร็จรูป และ ส่วนใดส่วนหนึ่งของชิ้นงานสำเร็จรูป

1.7) ใช้หน่วย SI (Standard International Unit)

1.8) ใช้สำหรับการวัดและให้รายละเอียดของการตอบสนองต่อความร้อนและไฟในการควบคุมของวัสดุ ชิ้นงาน หรือชิ้นส่วนประกอบ

1.9) มาตรฐานนี้ไม่ได้อ้างถึงความปลอดภัยทั้งหมดซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้งาน เป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการกำหนดข้อปฏิบัติทางความปลอดภัย และระบุความเป็นไปได้เอง

2) บทสรุป

การทดสอบนี้ขึ้นกับการสังเกต โดยความร้อนของการเผาไหม้ขึ้นตรงกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ ออกซิเจน 1 กก. จะใช้พลังงานความร้อน $13.1 \times 10^3 \text{ kJ}$ ชั้นทดสอบจะเผาไหม้ในอากาศ โดยอาศัย ฟลักซ์ความร้อน ที่กำหนด โดยฟลักซ์ความร้อนจะสามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 kW/m^2 อาจมีการจุดระเบิดจากภายนอก การวัดขั้นต้นคือ ความหนาแน่นของออกซิเจน และอัตราการไหลของไอเสีย การวัดอื่นๆ มีอัตราการสูญเสียมวล ช่วงเวลาการเกิดการจุดติด และการเกิดควัน

3) การใช้งาน

3.1) การทดสอบนี้ให้หาความร้อนที่เกิดขึ้น หรือช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ของวัสดุทดสอบ รวมทั้งหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ อัตราการสูญเสียความร้อน เวลาที่เกิดการเผาไหม้ และควัน

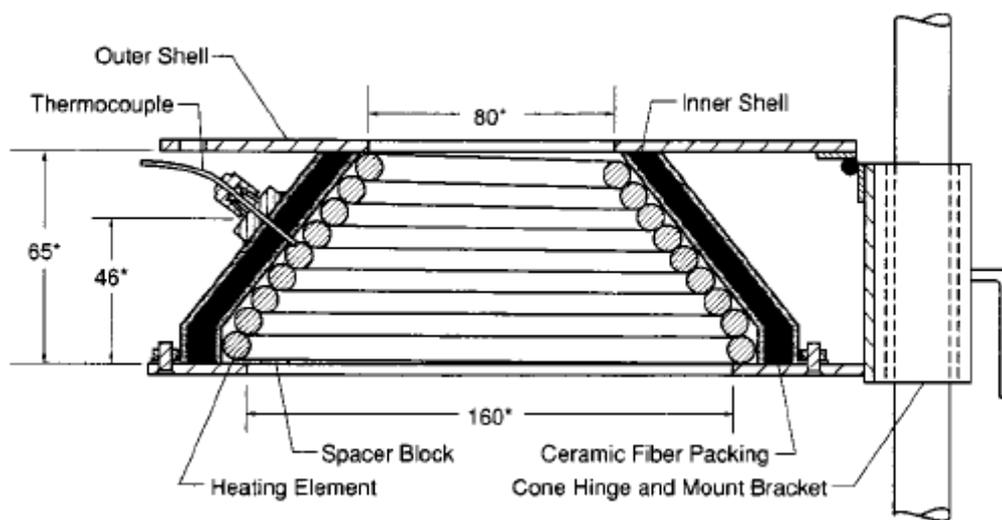
3.2) การทดสอบสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ไม่จำกัดว่าจะใช้แทนลักษณะการเกิดการเกิดไฟได้รูปแบบเดียว

3.3) การทดสอบใช้ไม่ได้กับชิ้นงานที่ไม่มีระนาบหรือผิวหน้าที่ใกล้เคียงระนาบ

4) เครื่องมือ/เครื่องทดสอบ

4.1) ทั่วไป

4.1.1) อุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วย conical radiant electric heater, capable of horizontal, vertical orientation, specimen holder, exhaust gas system with O₂ monitoring และ อุปกรณ์วัดอัตราการไหล, หัวเทียน และชุดจุดระเบิด, data collection and analysis system และ load cell ใช้วัดการลดลงของมวลชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 5 conical heater (จาก ASTM 1354-04a)

4.2) Conical heater

4.2.1) ประกอบด้วยลวดนำความร้อน อัตรา 500 W ที่ 240 V พันเป็นแท่งโคน ฮีทเทอร์อาจถูกห่อไว้ด้วย double-wall stales steel cone ซึ่งหุ้มด้วย fiber material มีความหนาแน่นประมาณ 100 Kg/m^2

4.2.2) ฮีทเทอร์อาจถูกแขวนไว้ จึงสามารถแกว่งไปอยู่ในแนวตั้งและแนวนอนได้ สามารถหีความร้อนที่ ผิวของชิ้นทดสอบได้ถึง 100 kW/m^2 และเท่ากับในพื้นที่ 50×50 มม. ในช่วง $\pm 2\%$ ในแนวนอน และ $\pm 10\%$ ในแนวตั้ง

4.2.3) ฟลักซ์ความร้อนจากฮีทเทอร์สามารถลงไว้ที่ระดับที่ตั้งไว้ได้โดยตัวควบคุมอุณหภูมิ และ type K stainless steel sheath thermo couples โดยมีด้านที่สัมผัสและไม่สัมผัสกับฮีทเทอร์เท่ากัน โดยปกติ thermo couple เป็นแบบ sheated มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 1.5 และ 1.6 มม. และมี unexposed hot junction หรืออีกแบบหนึ่ง อาจเป็น เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 3 มม. และ exposed hot junction หรือ เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 1 มม. และ unexposed hot junction ก็ได้เช่นกัน

4.3) การควบคุมอุณหภูมิ

4.3.1) เครื่องควบคุมอุณหภูมิของฮีทเทอร์ สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ไว้ได้ใน ช่วง $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ระบบที่เหมาะสมคือ 3-thermo controller และ thyrister unit สามารถเปลี่ยนกระแสได้ถึง 25 A ที่ 240 V

4.3.2) เครื่องควบคุมมีอุณหภูมิเข้ามาในช่วง 0 ถึง 1000°C โดยใช้สเกลอ่านได้ที่ 2°C หรือละเอียดกว่านั้น และมีการชดเชย cold junction อัตโนมัติ ตัวควบคุมอาจใช้กับระบบความปลอดภัย โดยในกรณีที่เกิดวงจรเปิดที่ thermo couple จะทำให้อุณหภูมิตกลงไปที่เกือบต่ำสุดของช่วงที่วัดได้

4.3.3) thyrister unit จะเป็นแบบ zero crossing ไม่เป็นแบบ phase angle

4.3.4) อุณหภูมิของฮีทเทอร์สามารถดูได้จากมิเตอร์ที่อ่านได้ละเอียดที่ $\pm 2^{\circ}\text{C}$ หรือละเอียดกว่า โดยอาจรวมไว้ในชุดควบคุมอุณหภูมิ

4.4) ระบบระบายไอเสีย

4.4.1) ระบบก๊าซไอเสีย ประกอบไปด้วย high temperature centrifugal exhaust fan, hood, intake and exhaust duct สำหรับพดลม และ orifice plate flow meter ระบบไอเสียสามารถสร้างกระแสได้ตั้งแต่ 0.012 ถึง $0.035 \text{ m}^3/\text{s}$

4.4.2) orifice (เส้นผ่านศูนย์กลาง 57 มม.) อยู่ระหว่าง hood และ duct เพื่อเพิ่มการผสมของอากาศ

4.4.3) ring sampler อยู่ใน fan intake duct สำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซ 685 cc. จาก hood ring sampler มี 12 รู เพื่อเจ็ลี่ยกระแส โดยหันหน้ารูออกจากกระแสเพื่อเลี่ยงการเกิดเขม่าอุดตัน

4.4.4) อุณหภูมิของก๊าซวัดได้โดยใช้ sheathed-junction three couple ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 3 มม. หรือ expose junction thermocouple เส้นผ่านศูนย์กลางนอก 3 มม. ติดไว้ที่ exhaust stack บนแนวเซ็นเซอร์ไลน์ จาก orifice ไปทาง upstream

4.4.5) อัตราการไหลหาได้โดยผลต่างความดันระหว่าง sharp-edged orifice ใน exhaust stack ที่ตำแหน่งห่างไป 350 มม. จากพดลมทาง downstream

4.4.6) ขนาดของระบบไอเสียนั้น สามารถปรับเปลี่ยนได้ ในส่วนที่จำเป็นสามารถปรับเปลี่ยนได้เล็กน้อย

4.5) load cell มีความละเอียดที่ 0.1 g และมีชั่งน้ำหนักรวมที่อย่างน้อย 3.5 kg โดยสามารถทดสอบแยกวัสดุชิ้นเดี่ยวๆ มีชั่งน้ำหนักอย่างน้อย 500 g

4.6) การจับชิ้นงาน

4.6.1) ด้านล่างของ horizontal specimen holder จะมีชั้นของแผ่นไฟเบอร์ความหนาแน่นต่ำ (65 kg/m^3) หนา 13 มม. เป็นอย่างน้อย ระยะระหว่างผิวด้านล่างของ cone heater และผิวบนของชิ้นทดสอบ จะต้องจัดให้มีระยะ 25 มม.

4.6.2) ด้านล่างของ vertical specimen holder มีภาคกันหยด สำหรับวัสดุที่หลอมได้ ชิ้นทดสอบจะติดตั้งเข้ากับ vertical specimen holder ได้ โดยติดเข้ากับแผ่นไฟเบอร์ ความหนาขึ้นกับความหนาชิ้นทดสอบแต่ต้องหนาน้อยกว่า 13 มม. ชั้นของของแข็ง ceramic-fiber mill board จะวางไว้ด้านหลังแผ่นไฟเบอร์

4.6.3) เทคนิคการทดสอบในแนวตั้งมีอยู่ในเอกสารมีอุปกรณ์เสริม เช่น wire grid และ retainer frame edge frame ใช้เพื่อลดการเผาไหม้ที่ขอบของชิ้นทดสอบ และ wire grid ใช้เพื่อป้องกันการลอกออกเป็นชั้นๆ ของชิ้นทดสอบ

4.7) การป้องกันการแผ่รังสี

Cone heater จะมี radiation shield ที่ถอดออกได้ เพื่อป้องกันชิ้นทดสอบจากฟลักซ์ความร้อนก่อนการทดสอบ ตัวป้องกันทำจากวัสดุไม่ติดไฟโดยมีความหนาไม่เกิน 12 มม. โดยอาจทำจากวัสดุต่อไปนี้

- water cooled and coated มีผิวสีดำด้าน $e = 0.95 \pm 0.05$
- hot-water cooled มีผิวบนเป็นโลหะเงาเพื่อลดการถ่ายเทฟลักซ์ความร้อน
- hot-water cooled มีผิวเป็นเซรามิก ลดการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวของชิ้นทดสอบ

4.8) วงจรการจุดระเบิด

การจุดระเบิดจากภายนอกใช้การปล่อยกระแส 10-kV ผ่าน หัวเทียนขนาด 3 มม. ที่ 13 มม. เหนือชิ้นทดสอบในตำแหน่งทางตั้ง ในแนวนอนหัวเทียนอยู่ที่ผิวหน้าของชิ้นทดสอบห่าง 5 มม. จากส่วนยอดของ specimen holder ค่าความต่างศักย์สูงจะไม่ต่อสายกราวด์มาลงที่เครื่อง

เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนการส่งผ่านข้อมูลสำหรับการทดสอบด้วยการจุดระเบิดด้วยหัวเทียน การปล่อยประจุจะเป็นไปอย่างต่อเนื่องที่ความถี่ 50 ถึง 60 Hz จนเกิด การลุดคิด

4.9) เวลาการจุดระเบิด

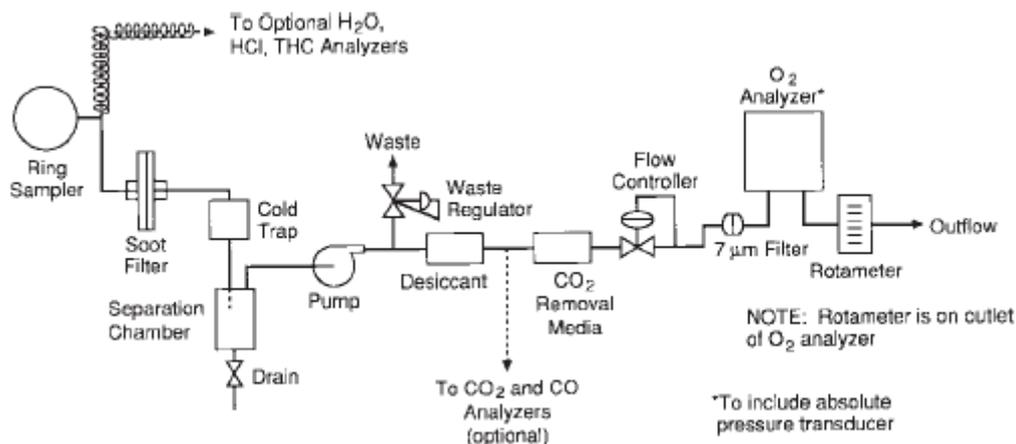
อุปกรณ์สำหรับจับเวลาในการเกิด sustained flaming สามารถบันทึกเวลาได้ 1 วินาที จนถึง 1 ชั่วโมง

4.10) การเก็บตัวอย่างก๊าซ

จะทำงานร่วมกับ ปีม, ฟิลเลอร์ ป้องกันทางเข้าอุดตัน, cold trap เพื่อดักความชื้น, by pass system ใช้ในการแยกกระแสสำหรับ oxygen analyzer, ที่ดักความชื้นอีกชั้นหนึ่งที่ดัก CO₂ เมื่อใช้ที่ดัก CO₂ กระแสที่เข้าสู่ oxygen analyzer จะต้องแห้งสนิท ที่ดัก CO₂ บางแบบจะใช้ที่ดักความชื้นอีกชั้นหนึ่งที่หลังที่ดัก CO₂

4.11) การวิเคราะห์ก๊าซ ออกซิเจน

เป็นแบบ paramagnetic มีช่วงที่วัดตั้งแต่ 0 ถึง 25% เครื่องวัดให้การตอบสนองในเชิงเส้นตรงและมีความผิดพลาดไม่เกิน ± 50 ppm oxygen rms ในช่วง ½ h. เนื่องจาก oxygen analyzer นั้น อ่อนไหวต่อความดันของกระแส ความดันของกระแสจะต้องถูกปรับให้เหมาะสมเพื่อให้ใช้ได้กับกระแสที่แกว่งไปมา และการอ่านค่าจาก analyzer จะชดเชยจาก absolute pressure regulator เพื่อให้ใช้ได้กับการเปลี่ยนแปลงของความดันบรรยากาศ ทั้ง analyzer และ absolute pressure regulator จะตั้งอยู่ในที่ที่อุณหภูมิคงที่



ภาพที่ 6 ระบบวิเคราะห์ก๊าซ (จาก ASTM 1354-04a)

4.12) ระบบ Smoke obscuration measuring

ประกอบด้วย helium-neon laser, silicon photo diodes เป็นลำแสงหลัก และตัวตรวจจับอ้างอิง และชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหา extinction coefficient และตั้งค่า zero reading ระบบออกแบบให้ติดกับท่อไอเสียได้อย่างยืดหยุ่น โดยใช้ refractory gasket โดยวิธีใดวิธีหนึ่งจากนี้

- a) ใช้ optical bench
- b) ใช้ split yoke mounting

แบ่งเป็นแบบ 2 ชั้น มาต่อดัดกันด้วยสกรู เครื่องวัดติดตั้งโดยใช้ท่อขนาดเล็ก เชื่อมติดกับด้านหนึ่งของ exhaust duct

4.13) Heat flux meter

4.13.1) อาจเป็นแบบ Gardon (foil) หรือ Schmidt-boelter (thermopile) โดยมีช่วงถึง 100 kW/m^2 พื้นผิวเซ็นเซอร์จะเป็นแบบวงกลมเรียบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12.5 มม. และเคลือบด้วยวัสดุต้านและทนทาน อุปกรณ์วัดพลังความร้อนใช้น้ำลวดความร้อน พลังความร้อนจะต้องไม่ผ่านกระจกใดๆ ก่อนจะมาถึงอุปกรณ์วัด อุปกรณ์จะต้องแข็งแรง ติดตั้งง่าย ใช้งานง่าย สเถียรในการเทียบวัด มีความละเอียด $\pm 3\%$

4.13.2) การเทียบวัดอุปกรณ์วัด จะเทียบกับอุปกรณ์ซึ่งเป็นมาตรฐาน และไม่ได้ใช้ในงานอื่น โดยเทียบวัดปีละ 1 ครั้ง

4.13.3) เครื่องวัดนี้สามารถเทียบวัด ชุดควบคุมอุณหภูมิได้ด้วย

4.14) การเทียบวัด burner

ใช้เมื่อเทียบวัดเครื่องวัด heat release โดย burner ทำมาจากท่อทองเหลืองหน้าตัดสี่เหลี่ยมมีปากท่อเป็นสี่เหลี่ยมและมีลวดตาข่ายให้ มีเทน แพร่เข้ามา ท่อจะบรรจุอยู่ในเส้นใยเซรามิก เพื่อให้การไหลมีความต่อเนื่องมากขึ้น

การเทียบวัด burner จะขึ้นอยู่กับเครื่องจ่ายมีเทน ที่มีความบริสุทธิ์ 99.5%

4.15) Optical calibration fiber

ใช้ glass neutral density fiber ที่มีค่าในการเทียบวัดที่ความยาวคลื่นเลเซอร์ 0.6328 ไมโครเมตร อย่างน้อย 2 ค่าในการเทียบวัด

4.16) การเก็บข้อมูล

ระบบเก็บข้อมูลจะต้องสามารถบันทึกผลจาก oxygen analyzer, orifice meter, Thermocouple, Load cell และ ระบบวัน ตัวเก็บข้อมูลจะมีความแม่นยำอย่างน้อยที่ 50 ppm สำหรับ ออกซิเจน, 0.5°C สำหรับอุณหภูมิ และ 0.01% ของสเกลของอุปกรณ์อื่นๆ จะต้องเก็บข้อมูลต่อเนื่องได้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทุกๆช่วงเวลาไม่เกิน 5 วินาที

5) อันตรายจากการเผาไหม้

การทดสอบเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิสูงและการเผาไหม้ อันตรายจึงมีได้ทั้งจากการเผาไหม้ การติดไฟของเสื้อผ้าหรือวัสดุต่างๆและการสูดดมควัน ผู้ทำการทดสอบจะต้องใช้อุปกรณ์ในการป้องกันตนในการทำการทดสอบ ห้ามจับ โคนฮีทเตอร์และส่วนที่เกี่ยวข้องขณะที่ยังร้อน เว้นแต่จะใส่อุปกรณ์ป้องกัน และควรป้องกันดวงตาจากโลหะหลอมเหลวหรือสะเก็ดขณะให้ความร้อน

6) การทดสอบชิ้นงาน

6.1) size and preparation

6.1.1) ชิ้นทดสอบจะมีขนาดใหญ่สุดได้ 100×100 มม.หนาได้ 50 มม. โดยตัดมาเพื่อเป็นตัวอย่างของชิ้นงานจริง สำหรับชิ้นงานปกติที่มีขนาดหนากว่า 50 มม. อาจตัดส่วนที่ไม่โดนฟลักซ์ความร้อนออกเพื่อให้เหลือความหนาไม่เกิน 50 มม. การห่ออลูมิเนียมฟอยล์ชิ้นเดียว ให้หันด้านมันเข้าหาชิ้นทดสอบ ห่อด้านข้างและด้านล่าง ฟอยล์มีความหนา 0.025 ถึง 0.04 มม.

6.1.2) ให้ชิ้นทดสอบซึ่งเป็นคอมโพสิตอยู่ในเงื่อนไขเหมือนใช้งานปกติ จัดเตรียมให้ด้านข้างได้รับการปกปิดหรือป้องกัน

6.1.3) คอมโพสิตบางชนิดและวัสดุซึ่งฟุ้งต่อได้ต้องใช้ที่ยึดแบบพิเศษและวิธีซึ่งทำให้ชิ้นงานทดสอบถูกยึดอย่างเหมาะสมระหว่างการเผาไหม้ ที่ยึดและวิธีการยึดแบบพิเศษจะต้องระบุไว้ในรายงานการทดสอบด้วย

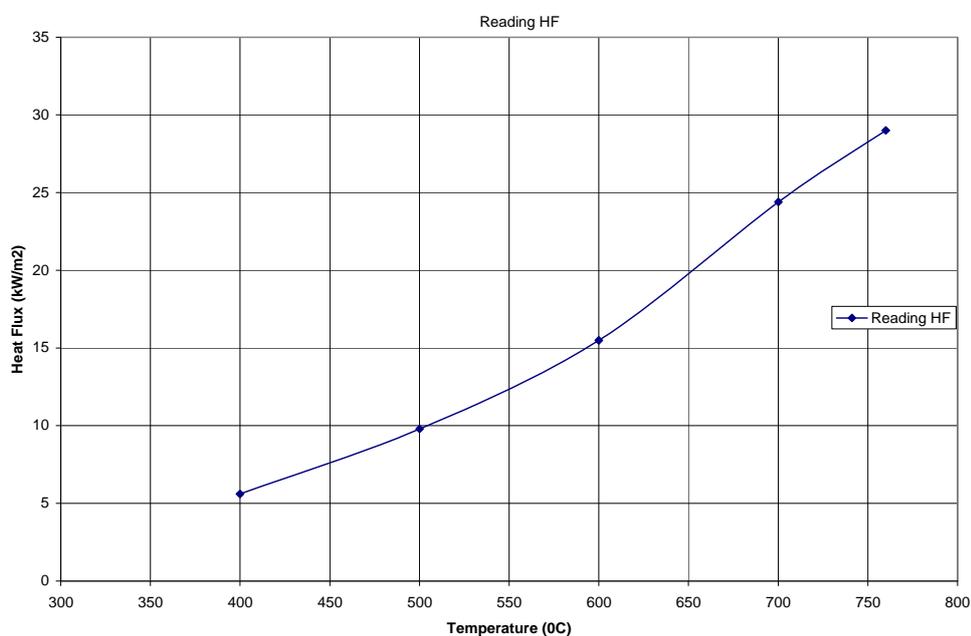
6.1.4) ชิ้นส่วนประกอบจะถูกทดสอบเหมือนที่กล่าวไว้ใน 6.1.2 และ 6.1.3 อย่างไรก็ดีตามเมื่อวัสดุบางๆ หรือคอมโพสิต ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนประกอบผลของช่องอากาศหรือธรรมชาติของโครงสร้างที่รองรับ มักจะส่งผลกระทบต่อที่เห็นได้ชัดเจนกับลักษณะการเผาไหม้ที่ผิวหน้า อิทธิพลของชั้นด้านล่างจะต้องถูกนำมาคำนึงถึงด้วย เพื่อให้แน่ใจได้ว่าผลการทดสอบที่ได้ตรงกับนำไปใช้จริง เมื่อชิ้นงานเป็นวัสดุหรือคอมโพสิตที่มีสารตั้งต้นแนบไปด้วยแล้ว อาจทดสอบโดยใช้สารตั้งต้นนั้นด้วย โดยใช้เทคนิคในการยึดติด เช่น ดัดกาว หรือใช้วิธีทางแมคคานิก

6.1.5) ชิ้นงานที่บางกว่า 6 มม. อาจทดสอบโดยทดสอบร่วมกับสารตั้งต้นที่ใช้ในเงื่อนไขการใช้งานจริง ทำให้ชิ้นทดสอบหนา 6 มม.หรือมากกว่า ในกรณีที่ชิ้นทดสอบบางกว่า 6 มม. และทดสอบโดยมีช่องอากาศใต้ด้านที่ไม่ถูกฟลักซ์ความร้อน จะมีช่องอากาศระหว่างพื้นผิวนั้นกับแผ่นไฟเบอร์ทนความร้อน โดยการใช้ metal space frame

6.2) สภาพเงื่อนไข

ชั้นทดสอบจะถูกปรับให้มีความชื้นเท่ากัน (น้ำหนักเท่ากัน) ที่อุณหภูมิภายนอก 23 ± 3 °c และความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 %

เพื่อความถูกต้องในการทำการทดลอง ได้ทำการเทียบวัดเครื่อง cone calorimeter ระหว่างอุณหภูมิที่เครื่องสามารถตั้งได้กับฟลักซ์ความร้อนตรงบริเวณที่วางชิ้นไม้ที่จะทำการทดลอง โดยทำการเทียบวัดที่อุณหภูมิต่างๆ ค่าที่ทำการเทียบวัดออกมาได้นำมาสร้างกราฟ



ภาพที่ 7 กราฟแสดงฟลักซ์ความร้อนบริเวณที่วางชิ้นไม้เทียบกับอุณหภูมิที่ตั้งได้ของเครื่อง cone calorimeter

2. ไม้มะค่าขนาด $7 \times 7 \times 2.5$ ซม.
3. ไม้สักขนาด $7 \times 7 \times 2.5$ ซม.
4. ไม้บีชขนาด $7 \times 7 \times 2.5$ ซม.

ไม้ทั้ง 3 ชนิดที่นำมาใช้ในการทดลองนั้น จะถูกตัดให้มีขนาดกว้าง 7 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตร และหนา 2.5 เซนติเมตร ทุกชิ้น โดยให้หน้าตัดส่วนที่ได้รับฟลักซ์ความร้อนจากเครื่อง cone calorimeter อยู่ในทิศตั้งฉากกับเกรนของไม้



ภาพที่ 8 แสดงชิ้นไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด

5. คอมพิวเตอร์
6. กล้องบันทึกวิดีโอ

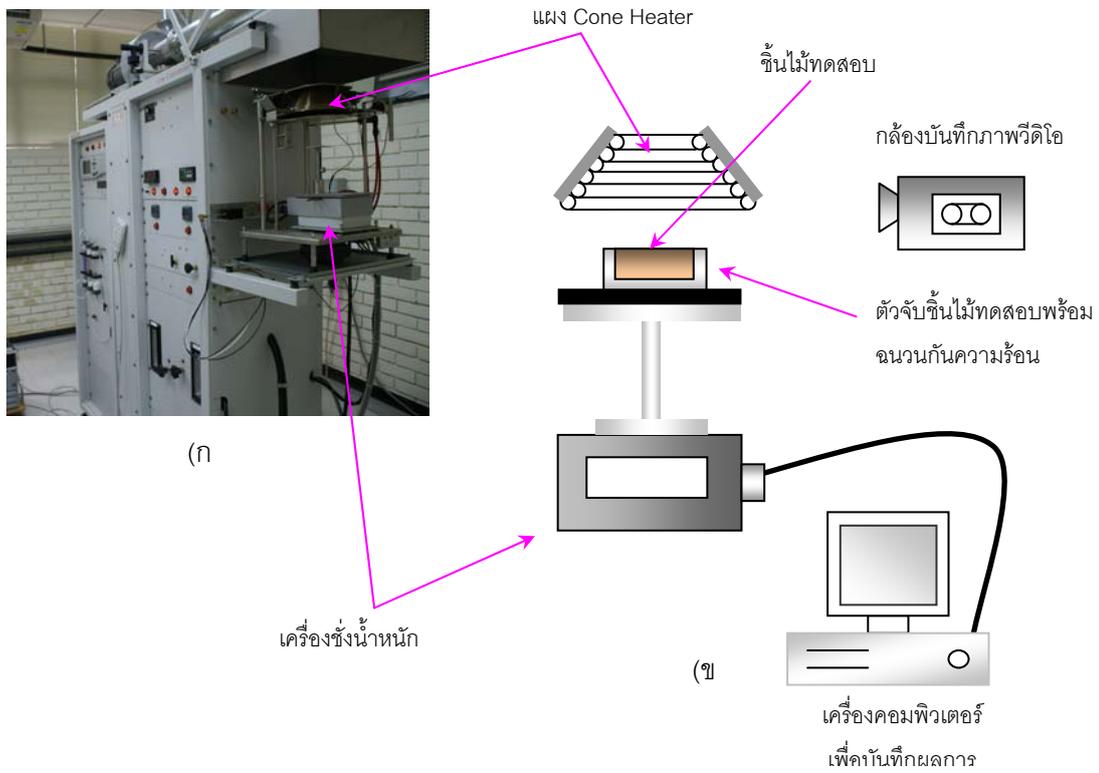
วิธีการ

1. รวบรวมข้อมูลและรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่อง cone calorimeter และบทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. จัดเตรียมไม้ที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้ไม้แบบเดียวกับที่ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ตามสำนักงานมาทำการทดลอง

3. ทำการทดลองให้ความร้อนกับไม้ด้วยเครื่อง cone calorimeter โดยจะทำการทดลองที่ ฟลักซ์ความร้อน 3 ค่าประกอบไปด้วย 15 20 และ 25 kW/m² ในการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ อย่างน้อย 2 ครั้งต่อ 1 การทดลอง ที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะได้ค่าอัตราการสูญเสียมวลของไม้ เวลาที่เกิดการจุดติดไฟ มาทำการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤต และค่าความเฉื่อยการทางความร้อน 5 วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง

ในการทดลองเริ่มต้นโดยการนำชิ้นไม้ทดสอบหุ้มฉนวนความร้อนวางบนเครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกน้ำหนักของชิ้นไม้ตลอดช่วงเวลาในการทดสอบพฤติกรรม การเผาไหม้ โดยความถี่ในการเก็บข้อมูลจะเก็บทุกๆ 1 วินาที การทดสอบเริ่มต้นโดยการควบคุม ระดับฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผง cone heater ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ระดับฟลักซ์ความร้อนที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าแปรผันเท่ากับ 15 20 และ 25 kW/m² ตามลำดับ เมื่อฟลักซ์ความร้อน จาก cone heat เข้าสู่สถานะคงตัว แผ่นฉนวนกั้นซึ่งติดตั้งหน้าแผง cone heater ได้เปิดออกทำให้ชิ้นไม้ ทดสอบได้รับฟลักซ์ความร้อนอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด โดยฟลักซ์ความร้อนที่ตก กระทบผิวไม้ตั้งฉากกับแนวแกนของชิ้นไม้ทดสอบ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองชิ้นไม้ทดสอบแต่ ละชิ้นเริ่มตั้งแต่เปิดแผงฉนวนกั้น cone heater จนกระทั่งอัตราการสูญเสียมวลของชิ้นไม้ทดสอบเข้าสู่ สภาวะคงตัวใช้เวลาโดยประมาณ 30 ถึง 40 นาทีแล้วแต่ชนิดของไม้ การทดลองแต่ละฟลักซ์ความ ร้อนสำหรับไม้แต่ละชนิดทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย ตลอดช่วงเวลาในการ ทดลองกล้องบันทึกภาพวิดีโอได้ทำการบันทึกภาพผิวหน้าของไม้ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงทาง กายภาพของชิ้นไม้ทดสอบ จากนั้นภาพวิดีโอที่บันทึกได้ทำการเล่นซ้ำเพื่อหาเวลาในการจุดติดไฟ แบบ glowing ของไม้โดยสังเกตจากเวลาที่ผิวไม้เกิดจุดเรืองแสงสีแดงเป็นครั้งแรก (first glowing) และเวลาที่ผิวไม้โดยประมาณร้อยละ 50 เกิดการเผาคุ (50% glowing combustion)

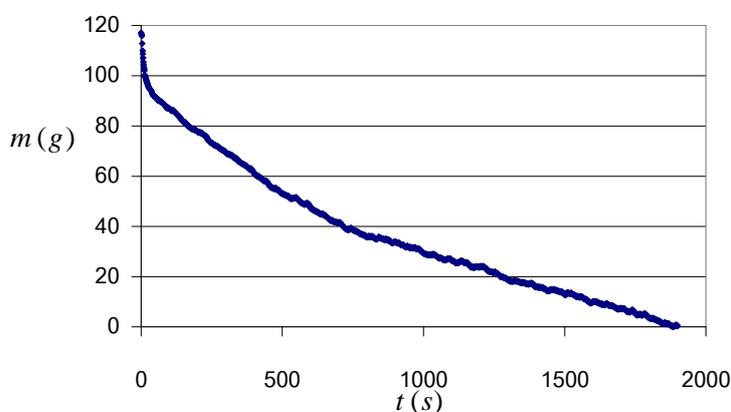


ภาพที่ 9 แสดงแผนภาพการจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองพฤติกรรมการติดไฟและการเผาไหม้ของวัสดุ cone calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM E 1354

ผลและวิจารณ์

1. อัตราการเกิดไพโรไลซิส (Pyrolysis Rate)

การทดลองได้มีการบันทึกการสูญเสียมวลของชิ้นไม้ทดสอบในเทอมของเวลา ตัวอย่างผลการทดลองสำหรับไม้บีชที่ได้รับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (บีช-25-1) ได้แสดงไว้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 10 การสูญเสียมวลของไม้บีชในฟังก์ชันของเวลาที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (บีช-25-1)

อัตราการเกิดไพโรไลซิส (pyrolysis rate, \dot{m}'') สามารถหาได้จากการหาอนุพันธ์เชิงตัวเลขแบบกึ่งกลาง (numerical central differential) ของการสูญเสียมวลของชิ้นไม้ทดสอบโดย

$$\dot{m}''(t_n) = -\frac{1}{A_S} \left(\frac{m(t_{n+1}) - m(t_{n-1}))}{t_{n+1} - t_{n-1}} \right) \quad (36)$$

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

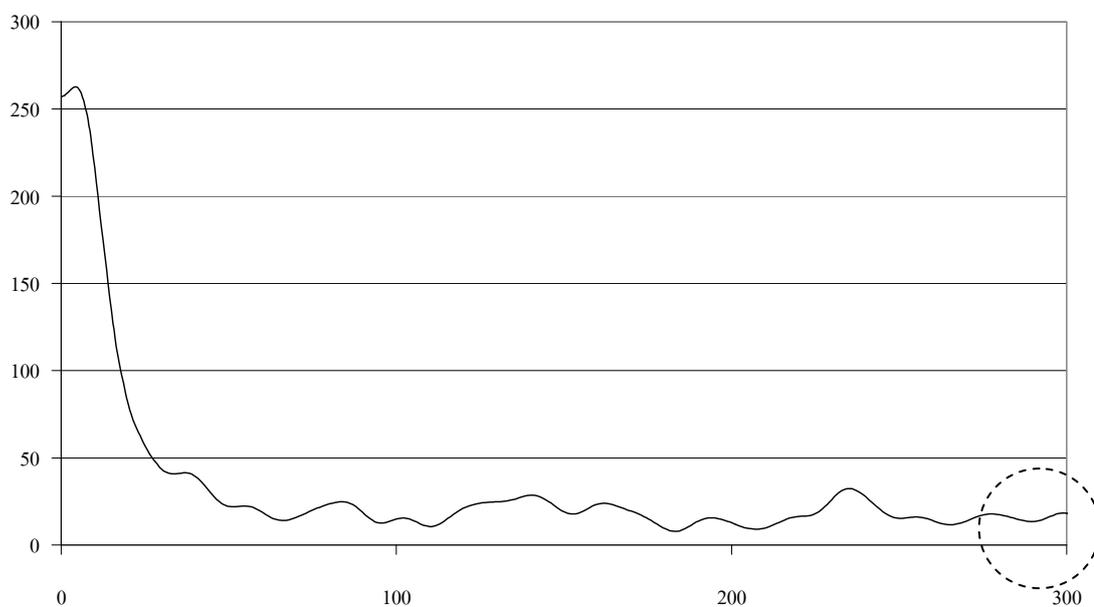
สำหรับอัตราการเกิดไฟโรไลซิสที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสุดท้ายของการทดลอง สามารถหาได้จากอนุพันธ์เชิงตัวเลขแบบไปข้างหน้า (numerical forward differential) และ อนุพันธ์เชิงตัวเลขแบบไปข้างหลัง (numerical backward differential) ตามลำดับ เนื่องจากกราฟการสูญเสียมวลของชิ้นทดสอบไม่สม่ำเสมอ ทำให้อัตราการเกิดไฟโรไลซิสที่หาจากสมการที่ (36) เกิดการแกว่งไปมา (fluctuation) อย่างมาก ดังนั้นการคำนวณ 3 point moving average ของอัตราการเกิดไฟโรไลซิสที่คำนวณจากสมการที่ (36) ได้นำมาใช้เพื่อลดพฤติกรรมแกว่งไปมา อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ปืชที่ระดับพลังความร้อน 25 kW/m^2 หลังจากหาค่า 3 point moving average ได้แสดงไว้ในภาพที่ 11 และ 12

จากภาพที่ 11 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสเพิ่มขึ้นตามเวลาในช่วงแรกของการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลานี้ผิวหน้าของไม้ยังไม่มีชั้นของถ่านเกิดขึ้น อัตราการเกิดไฟโรไลซิสเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดหลังจากนั้นมีค่าลดลงเมื่อผิวหน้าของไม้กลายเป็นถ่านทั้งหมด การลดลงของอัตราการเกิดไฟโรไลซิสเนื่องจากถ่านที่ผิวหน้าของไม้มีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนและการถ่ายเทมวลของก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นภายในเนื้อไม้ ทำให้การนำความร้อนที่ผิวไม้สู่ภายในเนื้อไม้และก๊าซเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นภายในจะไหลออกมาสู่ภายนอกเป็นไปได้ยาก เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการเกิดไฟโรไลซิสเข้าสู่สภาวะคงตัว เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ผิวหน้าของชิ้นทดสอบเข้าสู่สภาวะคงตัว

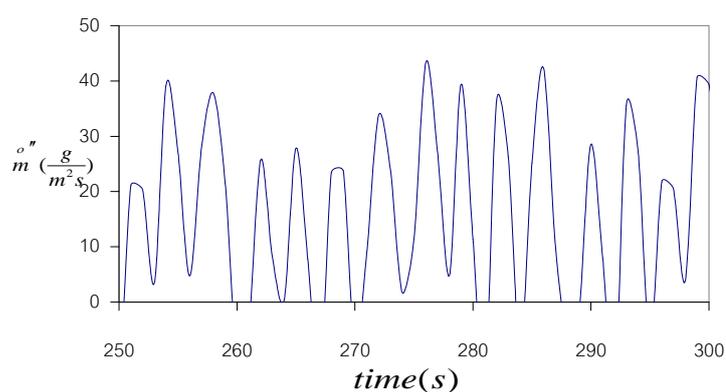
2. พฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ glowing และ การเผาคุ (glowing combustion)

ภาพที่ 11 ได้แสดงพฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ glowing และ การเผาคุของไม้ปืชที่ระดับพลังความร้อน 25 kW/m^2 (ปืช-25-1) เมื่อชิ้นไม้ทดสอบได้รับพลังความร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของไม้เพิ่มสูงขึ้นทำให้อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการที่สีของไม้เริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่งอุณหภูมิที่ผิวหน้าของไม้เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง การจุดติดไฟแบบ glowing ได้เกิดขึ้นโดยสังเกตได้จากการเกิดจุดเรืองแสงสีแดงที่ผิวไม้ (ดูภาพที่ 13 (ข) ประกอบ) เมื่อเวลาผ่านไป การจุดติดไฟแบบ glowing ได้ขยายบริเวณกว้างขึ้นโดยที่เวลาประมาณ 399 วินาที ผิวหน้าของไม้ที่เกิดการเผาคุได้มีบริเวณโดยประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่ผิวหน้าทั้งหมด (ภาพที่ 13 (ค)) จากนั้นการเผาคุได้ขยายบริเวณต่อไปจนครอบคลุมพื้นที่ผิวหน้าของไม้ทั้งหมด เนื่องจากมีการบุนนนวนรอบชิ้นไม้ทดสอบเพื่อให้นำความร้อนในไม้เป็นไปในทิศทาง 1 มิติ การเปลี่ยนสภาพจากไม้เป็นชั้นของถ่านเกิดขึ้นในแนวขนานกับผิวหน้าของไม้ลึกลงไปใน

เนื้อไม้ จากนั้นการเผาคุ้ได้เข้าสู่สภาวะคงตัวโดยสังเกตได้จากอัตราการเกิดไฟโรไลซิสลู่เข้าสู่ค่าคงตัว โดยประมาณเท่ากับ $9.50 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$ (ดูภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้บีช ที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (บีช-25-1)



ภาพที่ 12 รูปขยายอัตราการเกิดไฟโรไลซิสจากภาพที่ 2 ส่วนปลาย

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลอง

ดัชนีการทดลองที่	ชนิดของไม้	ฟลักซ์ความร้อน q'' (kW/m ²)	อัตราการเกิดไพโรไลซิสที่สถานะคงตัว (g/m ² .s)	เวลาในการจุดติดไฟแบบ glowing $t_{glowing}$ (s)	เวลาที่มีการเผาคุ้อยละ 50 ของพื้นผิว (s)
บีช-15-1	บีช	15	2.82	781	1193
บีช-15-2	บีช	15	5.60	786	1211
บีช-20-1	บีช	20	8.54	540	788
บีช-20-2	บีช	20	8.58	552	752
บีช-25-1	บีช	25	9.50	253	399
บีช-25-2	บีช	25	10.50	248	387
มะค่า-15-1	มะค่า	15	4.54	784	1285
มะค่า-15-2	มะค่า	15	5.37	601	1107
มะค่า-20-1	มะค่า	20	4.79	439	738
มะค่า-20-2	มะค่า	20	6.18	395	840
มะค่า-25-1	มะค่า	25	5.85	188	373
มะค่า-25-2	มะค่า	25	7.10	117	322
สัก-15-1	สัก	15	3.84	1317	1635
สัก-15-2	สัก	15	5.03	803	1221
สัก-20-1	สัก	20	7.51	496	798
สัก-20-2	สัก	20	5.58	501	802
สัก-25-1	สัก	25	*	103	*
สัก-25-2	สัก	25	9.46	118	311
สัก-25-3	สัก	25	7.63	175	297

หมายเหตุ * ชิ้นไม้ทดสอบจุดติดไฟและเกิดการเผาไหม้แบบมีเปลวไฟที่เวลา 324 วินาที

ผลการทดลองทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 โดยเวลาในการจุดติดไฟแบบ glowing ได้ นียามจากเวลาที่ผิวไม้ปรากฏจุดเรืองแสงเป็นครั้งแรก และอัตราการเกิดไฟโรไลซิสเฉลี่ยคือ อัตรา การเกิดไฟโรไลซิสเมื่อชิ้นไม้ทดสอบเข้าสู่สภาวะคงตัว

3. วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสในสภาวะคงตัว (Steady State Pyrolysis Rate)



(ก) เริ่มการทดลอง



(ข) เวลา 253 วินาที เกิดการจุดติดไฟแบบ glowing

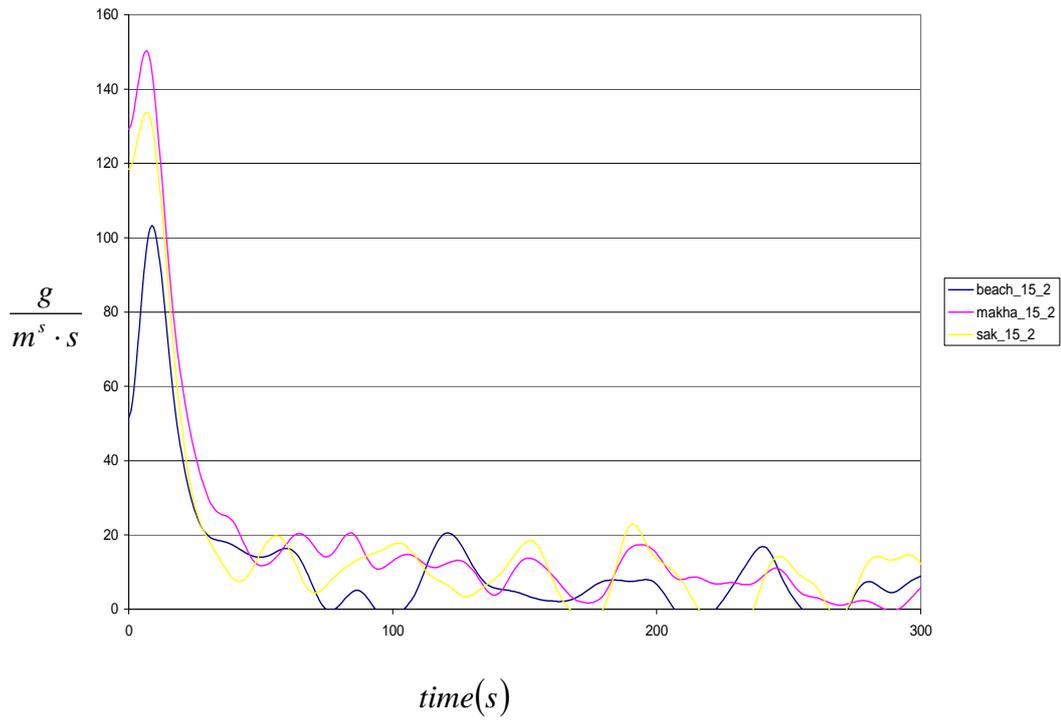


(ค) เวลา 399 วินาที การเผาไหม้ บริเวณร้อยละ 50 ของพื้นผิว

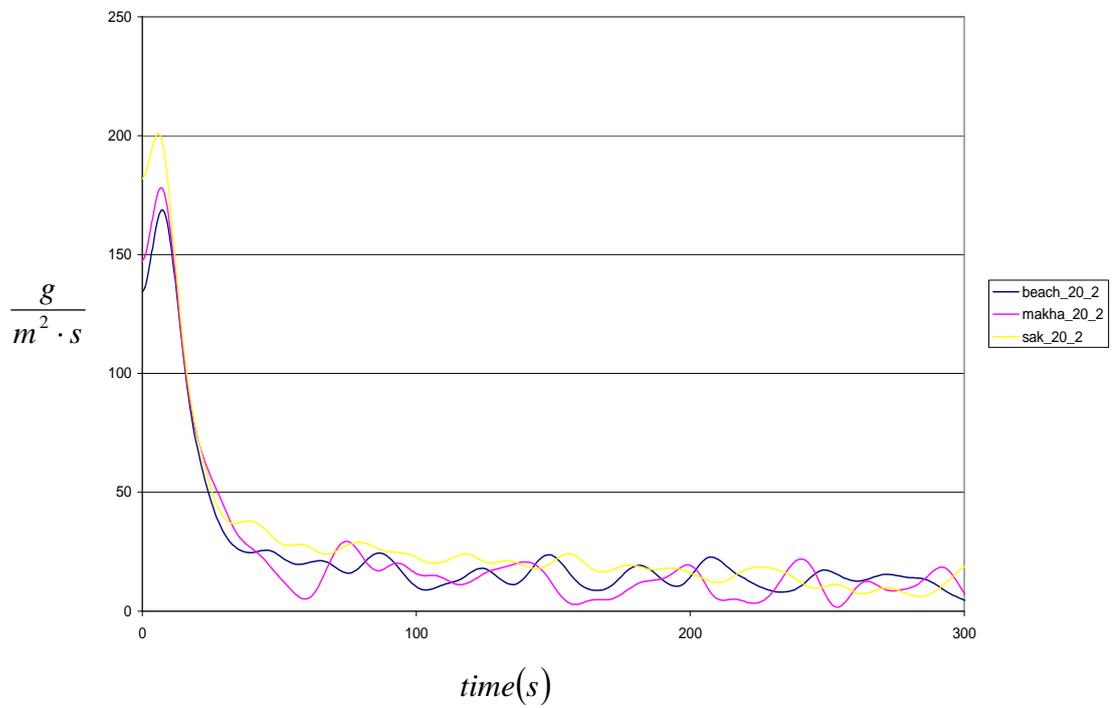


(ง) การเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัว

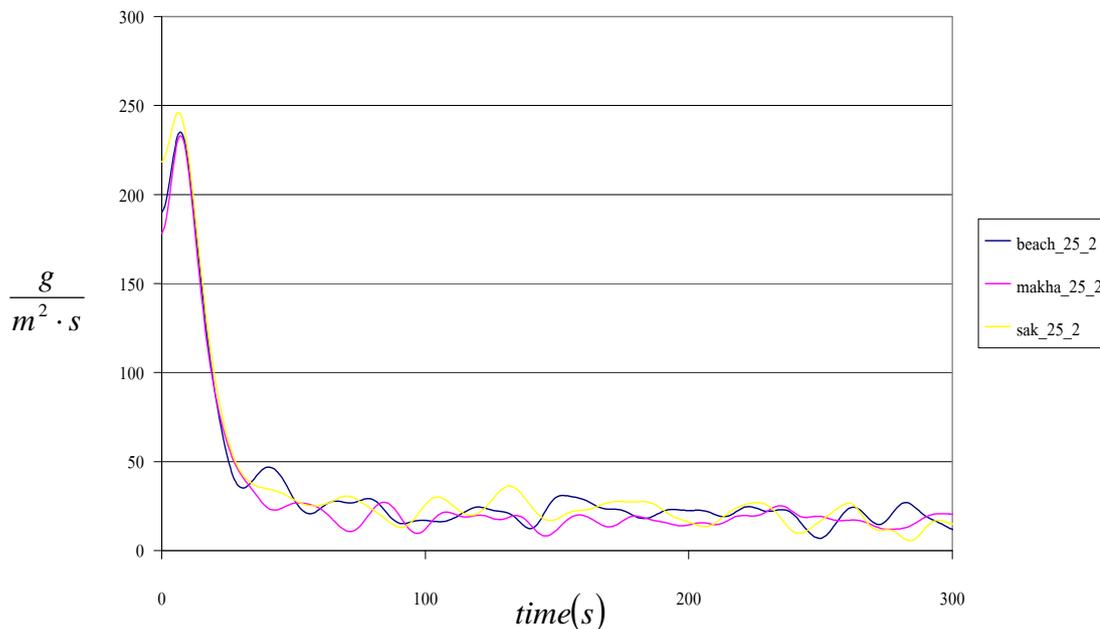
ภาพที่ 13 พฤติกรรมการจุดติดไฟแบบ glowing และการเผาไหม้ (glowing combustion) ของไม้บีช ที่ระดับพลังความร้อน 25 kW/m^2 (บีช-25-1) ที่เวลา (ก) เริ่มต้นการทดลอง (ข) เวลา 253 วินาที เกิดการจุดติดไฟแบบ glowing (ค) เวลา 399 วินาที การเผาไหม้ มีบริเวณร้อยละ 50 ของพื้นผิว (ง) การเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัว



ภาพที่ 14 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m²



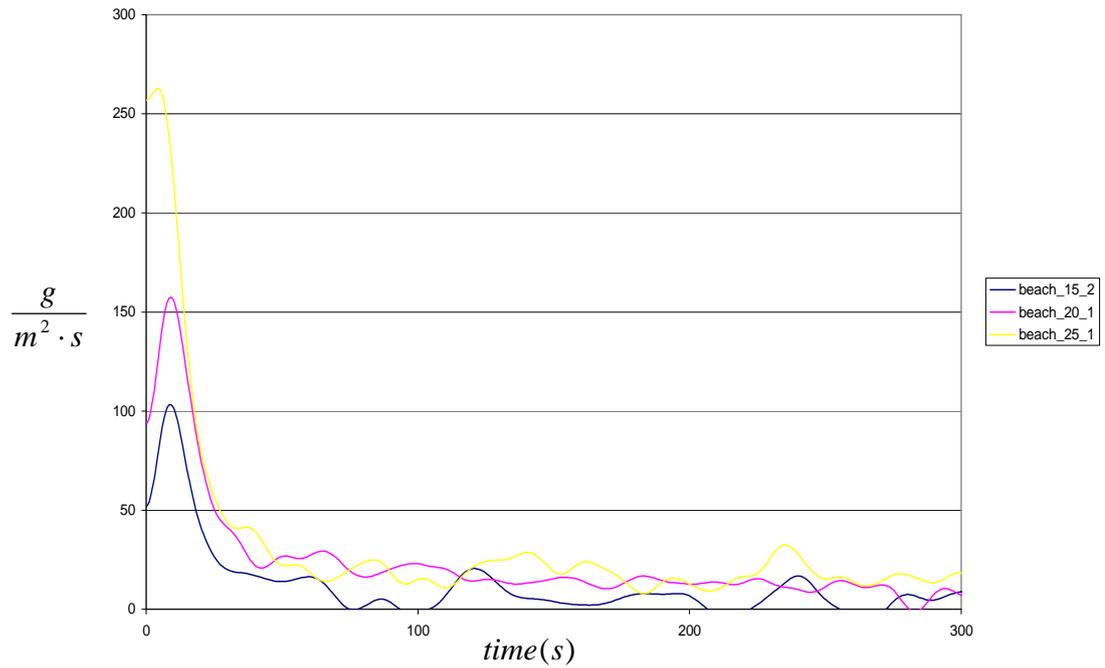
ภาพที่ 15 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m²



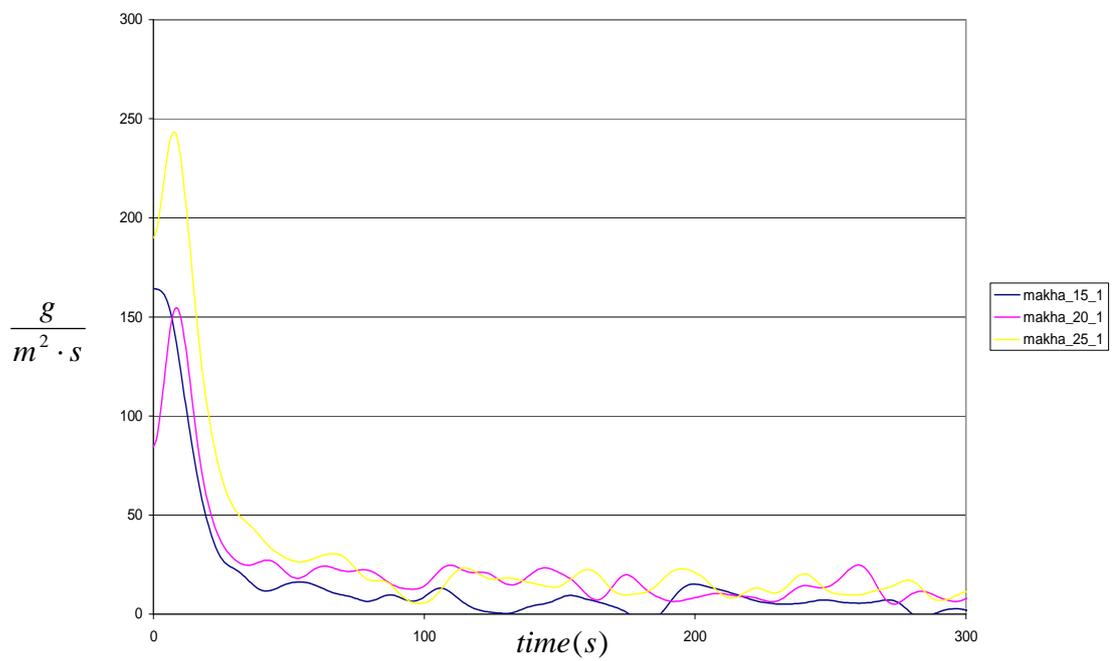
ภาพที่ 16 แสดงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m²

จากภาพที่ 14 ถึงภาพที่ 16 ในช่วงฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ 15 kW/m² ไม้มะค่าจะมีอัตราการเกิดไฟโรไลซิสสูงสุด รองลงมาเป็นไม้สักและไม้บีชมีอัตราต่ำสุด เมื่อเปลี่ยนฟลักซ์ความร้อนเป็น 20 kW/m² อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้บีชจะเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าไม้มะค่าและไม้สักจะมีอัตราการเกิดไฟโรไลซิสต่ำสุด และที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m² จะมีแนวโน้มอัตราการเกิดไฟโรไลซิสเหมือนกับช่วงฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m² แต่จะมีอัตราการเกิดที่สูงกว่าในทุกชนิดไม้

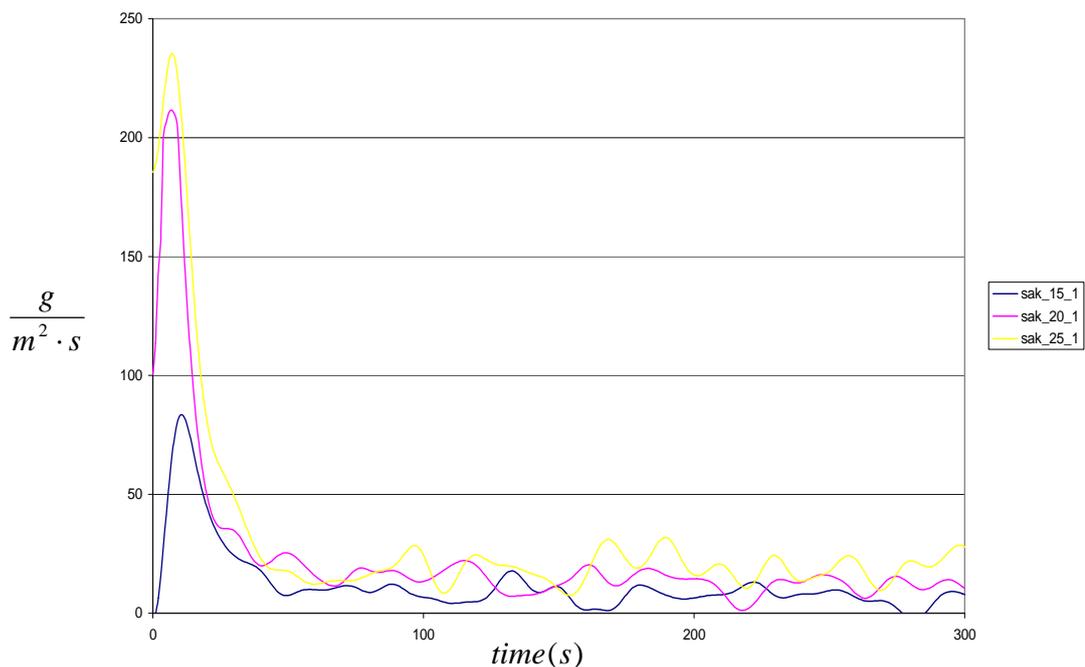
จากภาพที่ 17 ถึงภาพที่ 19 ซึ่งเป็นการแสดงถึงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ฟลักซ์ความร้อน 15 20 และ 25 kW/m² จะเห็นว่าในช่วงเริ่มต้นอัตราการเกิดไฟโรไลซิสจะสูงกว่า เพราะเมื่อไม้ได้รับความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟโรไลซิสได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในพอเวลาผ่านไปช่วงระยะผิวไม้จะเกิดกลายเป็นถ่านขัดขวางการนำความร้อนลงไปผิวไม้ทำให้อัตราการเกิดไฟโรไลซิสต่ำลงกว่าในช่วงแรก และเมื่อเพิ่มขนาดของฟลักซ์ความร้อนให้สูงขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดไฟโรไลซิสสูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 17 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้บีชที่ฟลักซ์ความร้อน 15 20 และ 25 kW/m²

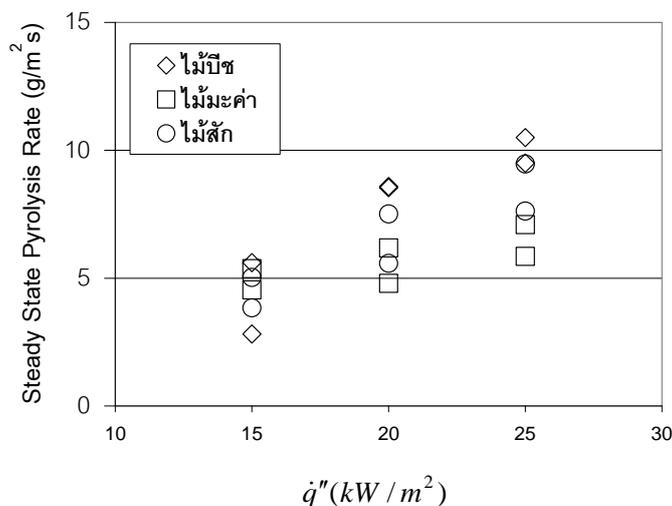


ภาพที่ 18 แสดงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้มะค่าที่ฟลักซ์ความร้อน 15 20 และ 25 kW/m²



ภาพที่ 19 แสดงอัตราการเกิดไพโรไลซิสของไม้สักที่ฟลักซ์ความร้อน 15 20 และ 25 kW/m²

ภาพที่ 20 พล็อตอัตราการเกิดไพโรไลซิสในสถานะคงกับฟลักซ์ความร้อนสำหรับไม้ 3 ชนิด เมื่อเพิ่มฟลักซ์ความร้อนการเกิดไพโรไลซิสมีอัตราเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเกิดไพโรไลซิสแปรผันโดยตรงแบบเอ็กโปเนนเชียลกับอุณหภูมิ การเพิ่มฟลักซ์ความร้อนส่งผลให้อัตราการนำความร้อนและอุณหภูมิของชิ้นไม้ทดสอบเพิ่มสูง ดังนั้นอัตราการเกิดไพโรไลซิสจึงเพิ่มสูงขึ้น ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m² อัตราการเกิดไพโรไลซิสในสถานะคงตัวของไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สักมีค่าเท่ากับ 4.2 5.0 และ 4.4 g/m².s ตามลำดับ ในขณะที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m² อัตราการเกิดไพโรไลซิสในสถานะคงตัวของไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สักมีค่าเท่ากับ 10.0 6.5 และ 8.5 g/m².s ตามลำดับ



ภาพที่ 20 แสดงอัตราการเกิดไพโรไลซิสในสภาวะคงตัวของไม้ทั้ง 3 ชนิด ที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆ

3.2 ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ glowing (Critical Heat Flux for Glowing Ignition)

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการจุดติดไฟกับฟลักซ์ความร้อน สามารถแสดงได้โดยใช้สมการการนำความร้อน ผลเฉลยของสมการ สามารถเขียนได้ในรูป

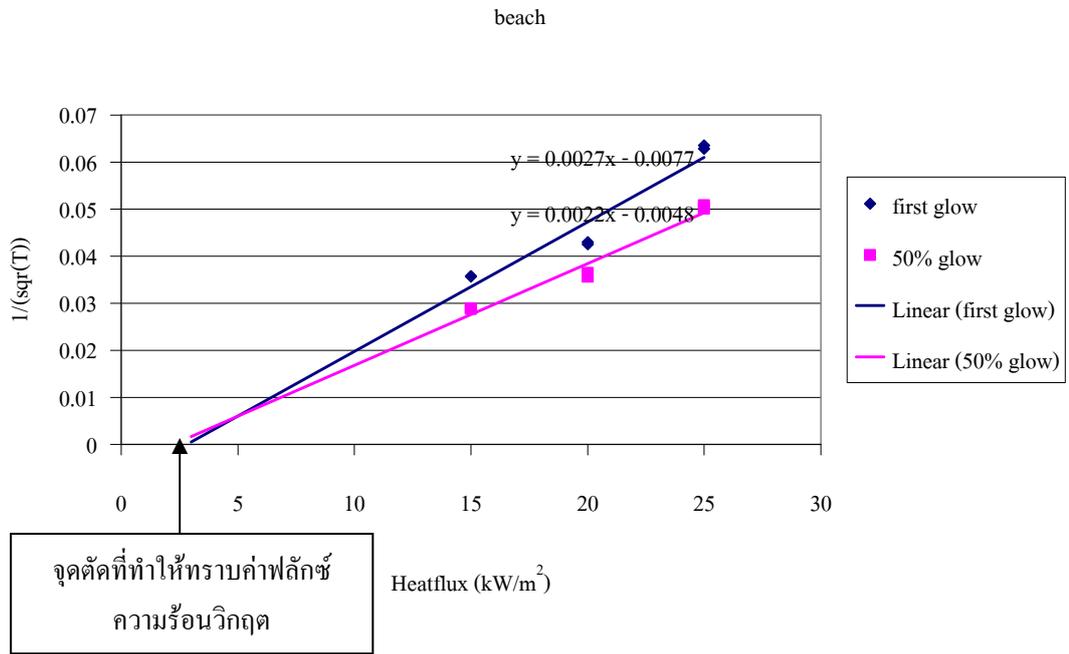
$$t_{ig} = C(k\rho c) \left[\frac{(T_{ig} - T_{\infty})}{q''} \right]^2 \quad (37)$$

เมื่อ t_{ig} คือเวลาที่ใช้ในการรับความร้อนจนกระทั่งเกิดการจุดติดไฟ C คือค่าคงที่ โดยแนะนำให้ใช้ค่า $C = \pi/4 = 0.785 k\rho c$ คือ ค่าความเฉื่อยการพาความร้อน T_{ig} คือ อุณหภูมิของพื้นผิวที่เกิดการจุดติดไฟ T_{∞} คือ อุณหภูมิสถานะแวดล้อม q'' คือ อัตราฟลักซ์ความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในการหาความสัมพันธ์ของเวลาในการจุดติดไฟแบบ glowing จะกำหนดให้ t_{ig} เป็น $t_{glowing}$ โดยกำหนดให้อยู่ในเทอม $1/\sqrt{t_{glowing}}$ เพื่อนำมาพล็อตกราฟกับฟลักซ์ความร้อน (q'') ดัง แสดงไว้ในภาพที่ 21 ถึงภาพที่ 23 เมื่อ q'' มีค่าลดลงการอัตราการเกิดไพโรไลซิสมีค่าลดลงทำให้เวลาที่ใช้ในการจุดติดไฟแบบ glowing นานมากขึ้น ($t_{glowing}$ มีค่าเพิ่ม) ดังนั้นค่าส่วนกลับของ $t_{glowing}$ ในเทอม

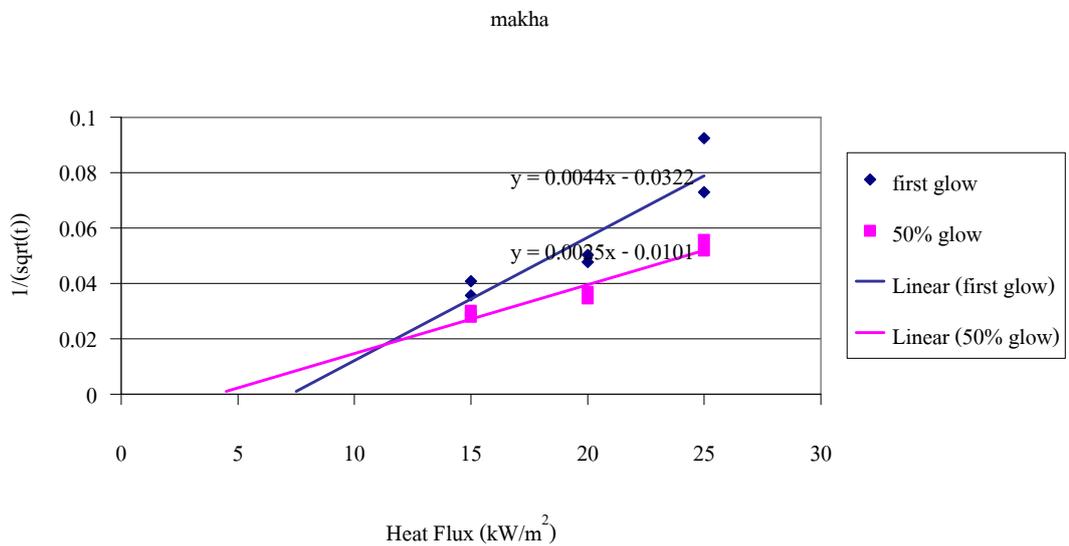
$1/\sqrt{t_{glowing}}$ มีค่าลดลง เมื่อลด \dot{q}'' จนถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งการจุดติดไฟแบบ glowing ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ในกรณีนี้เวลาที่ใช้ในการจุดติดไฟจะมากเป็นอนันต์ (ในทางปฏิบัติการอาจพิจารณาจากการจุดติดไฟไม่เกิดขึ้นภายในเวลา 1 ถึง 2 ชั่วโมง) เราเรียกฟลักซ์ความร้อนต่ำที่สุดที่การจุดติดไฟแบบ glowing สามารถเกิดขึ้นได้ว่า ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสำหรับการจุดติดไฟแบบ glowing (critical heat flux for glowing ignition, \dot{q}''_{crit}) จากกราฟในภาพที่ 18 เมื่อ $t_{glowing} \rightarrow \infty$ ทำให้ $1/\sqrt{t_{glowing}} \rightarrow 0$ ในกรณีของการจุดติดไฟแบบมีเปลวไฟ ค่า $1/\sqrt{t_{glowing}}$ จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ \dot{q}'' ถ้าประยุกต์ความสัมพันธ์เชิงเส้นใช้กับการจุดติดไฟแบบ glowing เราสามารถประมาณหาค่า \dot{q}''_{crit} ได้โดย \dot{q}''_{crit} สำหรับไม้บีช ไม้มะค่า และไม้สักประมาณจากภาพที่ 18 ถึงภาพที่ 20 มีค่าเท่ากับ 2.18 4.04 และ 6.97 kW/m² ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงความหนาแน่นของไม้แต่ละชนิด (ความหนาแน่นเท่ากับ 690 830 และ 942 kg/m³ สำหรับ ไม้สัก ไม้มะค่า และไม้บีช ตามลำดับ) พบว่าค่า \dot{q}''_{crit} จะแปรผกผันกับความหนาแน่น ไม้ที่มีค่า \dot{q}''_{crit} สูงจะติดไฟได้ยากกว่าไม้ที่มีค่า \dot{q}''_{crit} ถ้าเรียงลำดับความสามารถในการจุดติดไฟแบบ glowing จากง่ายไปยากจะพบว่า ไม้บีชสามารถจุดติดไฟแบบ glowing ได้ง่ายที่สุด ในขณะที่ไม้สักสามารถจุดติดไฟแบบ glowing ได้ยากที่สุด

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่นและฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้แต่ละชนิด

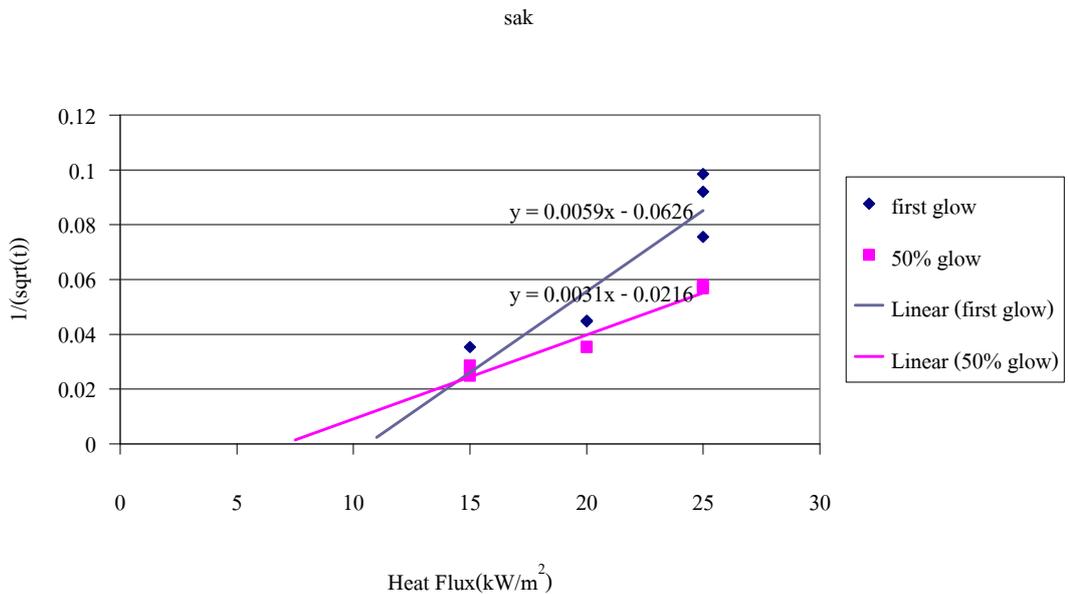
ชนิดไม้	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ฟลักซ์ความร้อนวิกฤต (kW/m ²)
บีช	690	2.18
มะค่า	830	4.04
สัก	942	6.97



ภาพที่ 21 แสดงจุดตัดที่ทำให้ทราบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้บีช



ภาพที่ 22 แสดงจุดตัดที่ทำให้ทราบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้มะค่า



ภาพที่ 23 แสดงจุดตัดที่ทำให้ทราบค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้สัก

จากค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้ที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าของ N. Boonmee และ M.J. Spearpoint ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ได้จากการทดลองเทียบกับของ N. Boonmee และ M.J. Spearpoint

	ค่าที่ได้จากการทดลอง (glowing)	N. Boonmee (autoignition)	M.J. Spearpoint (piloted ignition)
ฟลักซ์ความร้อน วิกฤต (kW/m ²)	2.18	35	15.5

จากค่าที่แสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองจะต่ำกว่าค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของอีก 2 ท่าน โดยค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ได้จากการทดลองนั้นจะต่ำที่สุด เนื่องมาจากฟลักซ์ความร้อนนี้จะทำให้เกิดเพียงแค่การจุดติดไฟเป็นจุดแดงเล็กน้อย ส่วนของ Spearpoint จะเป็นการจุดติดไฟแบบมีแหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอกเข้ามาช่วยให้เกิดการลุกติดจนเกิดมีเปลวไฟ จึงใช้ฟลักซ์ความร้อนมากกว่าค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ได้จากการทดลอง แต่จะมีค่า

น้อยกว่าของ Boonmee เพราะค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของ Boonmee จะทำให้ชิ้นไม้ลุกติดจนเกิดเปลวไฟด้วยตัวเอง จึงต้องใช้ฟลักซ์ความร้อนสูงกว่าค่าของทุกคน

3.3 ความเฉื่อยทางความร้อน (Thermal inertia)

ค่าความเฉื่อยทางความร้อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อไม้ได้รับความร้อน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$slope = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left(\frac{1}{(2 - \beta_{ig})(1 - \beta_{ig})} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{T_{ig} - T_0} \right) \quad (35)$$

$slope$ คือ ค่าความชันของกราฟที่แสดงอัตราการเกิดไฟโรไลซิสในสถานะคงตัวของไม้ที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆ $k\rho c$ คือ ความเฉื่อยทางความร้อน β_{ig} คือ อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์ความร้อนที่ไม้ได้รับกับฟลักซ์ความร้อนที่ไม่ปล่อยออกไป T_{ig} คือ อุณหภูมิเริ่มติดไฟของไม้ T_0 คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมขณะทำการทดลอง ค่าของ β_{ig} นั้นสามารถหาได้จากสมการ

$$\beta_{ig} = \frac{\sigma(T_{ig}^4 - T_0^4) + \bar{h}(T_{ig} - T_0)}{q_i''} \quad (17)$$

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลมานน์ มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \bar{h}$ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน q_i'' คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ไม้ได้รับ ในที่นี้จะใช้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตในการคำนวณ แต่จากสมการที่ (3) เราทราบค่าเพียงแค่ $slope$ กับ T_0 ส่วนค่า β_{ig} ที่หาจากสมการที่ (4) ก็ทราบเพียงค่า σ T_0 และ q_i'' ซึ่งใช้ค่าของฟลักซ์ความร้อนวิกฤตในการคำนวณ ซึ่งยังไม่ทราบค่าอุณหภูมิเริ่มจุดติดไฟของไม้ ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาความเฉื่อยทางความร้อนออกมาได้ แต่จากสมการ

$$q_{cr}'' = \bar{h}(T_{ig} - T_0) + \sigma(T_{ig}^4 - T_0^4) \quad (32)$$

ทำให้สามารถที่จะคำนวณหาอุณหภูมิเริ่มจุดติดไฟของไม้ได้ โดยจะกำหนดให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ $13.39 \text{ W/m}^2\text{K}$ ส่วน q_{cr} คือ ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ได้มาจากการทดลอง จากค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้ปืชมีค่าเท่ากับ 2.18 Kw/m^2 นำมาทำการหาอุณหภูมิเริ่มจุดติดไฟของไม้โดยสมการ (5) ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่า 296.15 k จะได้ว่าเท่ากับ

$$2180 = (13.39)(T_{ig} - 296.15) + (5.67 \times 10^{-8})(T_{ig}^4 - 296.15^4)$$

$$T_{ig} = 391.67 \text{ k}$$

นำค่าอุณหภูมิเริ่มจุดติดไฟของไม้ไปคำนวณหาค่า β_{ig} จากสมการ(4)

$$\beta_{ig} = \frac{(5.67 \times 10^{-8})(391.67^4 - 296.15^4) + (13.39)(391.67 - 296.15)}{2180}$$

$$\beta_{ig} = 0.9987$$

นำค่า β_{ig} แทนลงในสมการ(3)เพื่อคำนวณหาค่าความเฉื่อยทางความร้อน โดยค่าความชันของไม้ปืชมีค่าเท่ากับ 0.0222

$$0.0222 = \left(\frac{4}{3} k\rho c \left(\frac{1}{(2 - 0.9987)(1 - 0.9987)} \right) \right)^{\frac{-1}{2}} \left(\frac{1}{391.67 - 296} \right)$$

$$k\rho c = 0.0222$$

วิธีการคำนวณของไม้มะค่าและไม้สักนั้นจะมีวิธีการคำนวณที่เหมือนกันกับการคำนวณของไม้ปืชดังที่แสดงไว้ข้างต้น และสามารถที่จะดูวิธีการคำนวณของไม้ทั้งสองชนิดได้ในภาคผนวก ก โดยค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดจะแสดงอยู่ในตารางที่ 3

ตารางที่ 4 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณอุณหภูมิเริ่มจุดติดไฟของไม้ β_{ig} และความเสียหาย ความร้อนของไม้ทั้ง 3 ชนิด

ชนิดไม้	T_{ig} (K)	β_{ig}	kpc ($J^2m^{-4}K2s^{-1}$)
บีช	391.67	0.9987	0.0222
มะค่า	452.57	0.9992	0.0039
สัก	525.69	0.9959	0.0062

สรุป

ในการป้องกันอัคคีภัยในอาคารนั้น หากเราเข้าใจถึงพฤติกรรมและการเกิดการเผาไหม้ของวัสดุต่างๆ จะทำให้สามารถออกแบบการป้องกันอัคคีภัยได้อย่างรัดกุมมากยิ่งขึ้น และไม้ก็ถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอันดับต้นๆ ในการก่อสร้าง ตกแต่งและใช้สอยตามอาคารบ้านเรือนต่างๆ หากสามารถทราบถึงพฤติกรรมของไม้ชนิดต่างๆ ได้ จะทำให้การป้องกันอัคคีภัยมีความปลอดภัยและนำมาคาดการณ์แนวโน้มการเกิดอัคคีภัยได้อย่างแม่นยำขึ้น

ในการทดลองครั้งนี้เลือกที่จะสนใจในพฤติกรรมการจุดติดไฟด้วยตัวเองของไม้ โดยได้เลือกไม้ที่เป็นที่นิยมในการนำมาทำเฟอร์นิเจอร์มา 3 ชนิด ได้แก่ ไม้บีช ไม้มะค่า ไม้สัก จากผลการทดลองทำให้ทราบพฤติกรรมของไม้ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งค่าอัตราการเกิดไฟโรไลซิสและเวลาที่เกิดการติดไฟแบบ glowing สามารถนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาค่า ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตและความเฉื่อยทางความร้อนของไม้ทั้ง 3 ชนิดได้ ซึ่งค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตจะเท่ากับ 2.18 4.04 และ 6.97 kW/m² ตามลำดับ ส่วนค่าความเฉื่อยทางความร้อนจะมีค่าเท่ากับ 0.0222 0.0039 และ 0.0062 J²m⁻⁴K2s⁻¹ ตามลำดับ

จากข้อมูลที่ได้มาจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ถ้าเรียงลำดับความสามารถในการจุดติดไฟแบบ glowing จากง่ายไปยากจะพบว่าไม้บีชสามารถจุดติดไฟแบบ glowing ได้ง่ายที่สุด ในขณะที่ไม้สักสามารถจุดติดไฟแบบ glowing ได้ยากที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

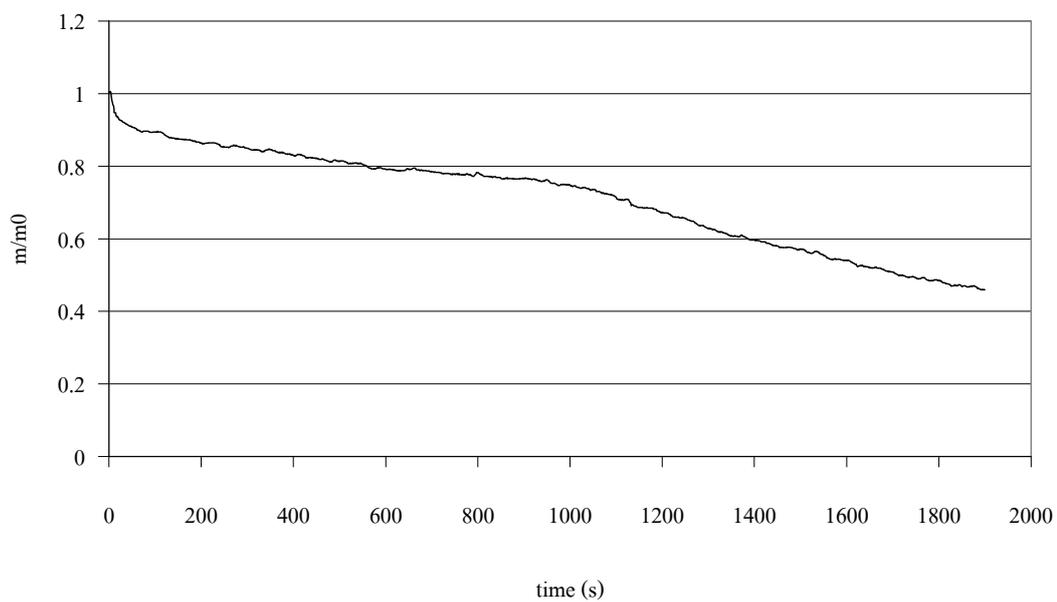
- ชวลิต กิตติชัยการ. 2549. การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรีชา เกียรติกระจาย. 2529. เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานจากไม้. โครงการเผยแพร่ความรู้ทางวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ โทนานนท์. 2528. ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย. ฝ้ายวิจัยขั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ASTM E1354. 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.
- Babrauskas, V. 2002. Ignition of wood: A Review of the State of the Art. **Journal of Fire Protection Engineering.** 12: 163-189.
- Boonmee, N. and J.G. Quintiere. 2002. Glowing and Flaming Auto-Ignition of Wood. **Twenty-Ninth Symposium (International) on Combustion.** 29: 289-296.
- _____. 2005. Glowing Ignition of Wood: The Onset of Surface Combustion. **Thirtieth Symposium (International) on Combustion.** 30: 2303-2310.
- Brian, T. R and G.Q. James. 1996. Burning Rate and Flame Heat Flux for PMMA in a Cone Calorimeter. **Fire Safety Journal.** 26: 221-240.
- Cengel, Y.A. 2006. **Heat and Mass Transfer.** 3rd ed. McGraw-Hill, Inc., Singapore.

- Delichatsios, B.P. and A. Bhargava. 2003. Flammability properties for charring materials. **Fire Safety Journal**. 38: 219-228.
- Gratkowski, M.T., N.A. Dembsey and C.L. Beyler. 2006. **Radiant smoldering ignition of plywood**. *Fire Safety Journal*. 41: 427-443.
- Grexa, O. and H. Lubke. 2001. Flammability parameters of wood tested on a cone calorimeter. **Polymer Degradation and Stability**. 74: 427-432.
- Quintiere, J.G. 1998. **Principles of Fire behavior**. Delmar Publishers, England.
- _____. 2006. **Fundamentals of Fire Phenomena: Chapter 7, Ignition of Solids**. John Wiley & Sons. Chichester, England.
- Spearpoint, M.J. and J.G. Quintiere. 2000. **Predicting the Burning of Wood Using an Integral Model**. The Combustion Institute.
- _____. 2000. Predict the piloted ignition of wood in the cone calorimeter using an integral model-effect of species, grain orientation and heat flux. **Fire safety Journal**. 36: 391-415.
- Yang, L., X. Chen, X. Zhou and W. Fan. 2003. The pyrolysis and ignition of charring materials under an external heat flux. **Combustion and Flame**. 133: 407-413.

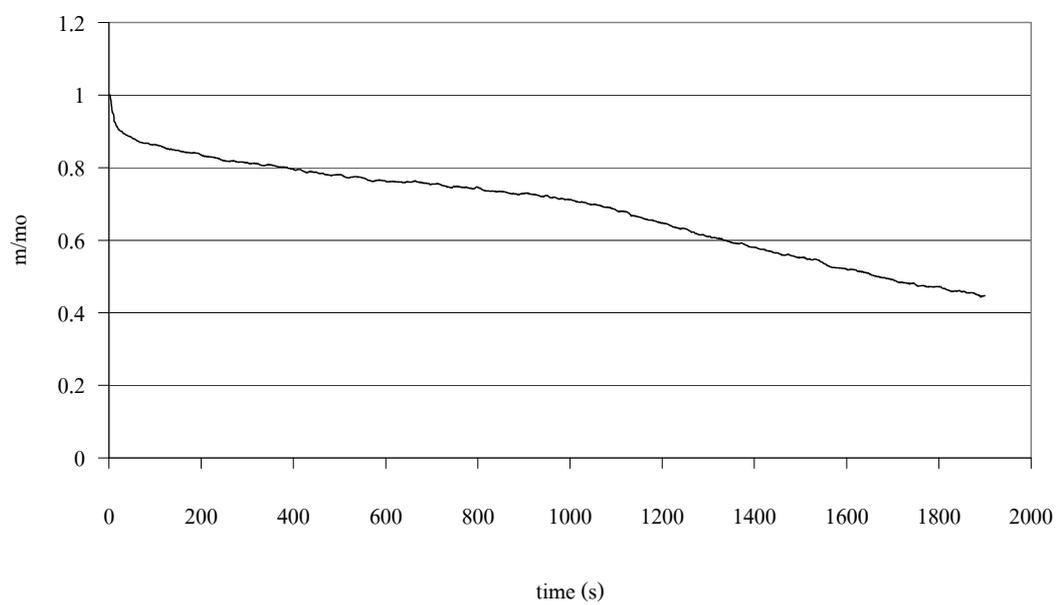
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

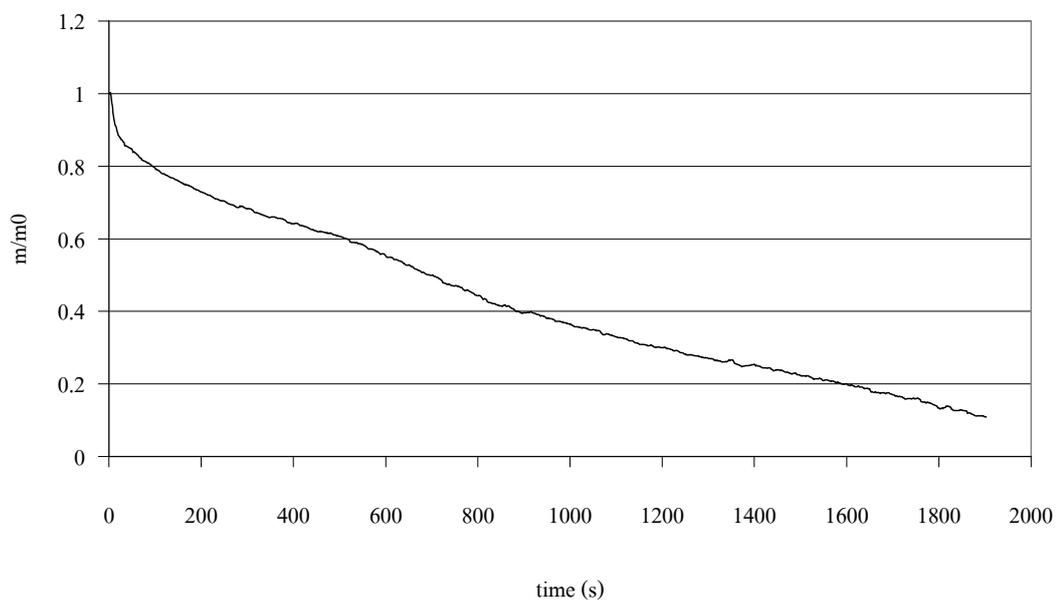
กราฟแสดงการสูญเสียมวลของไม้



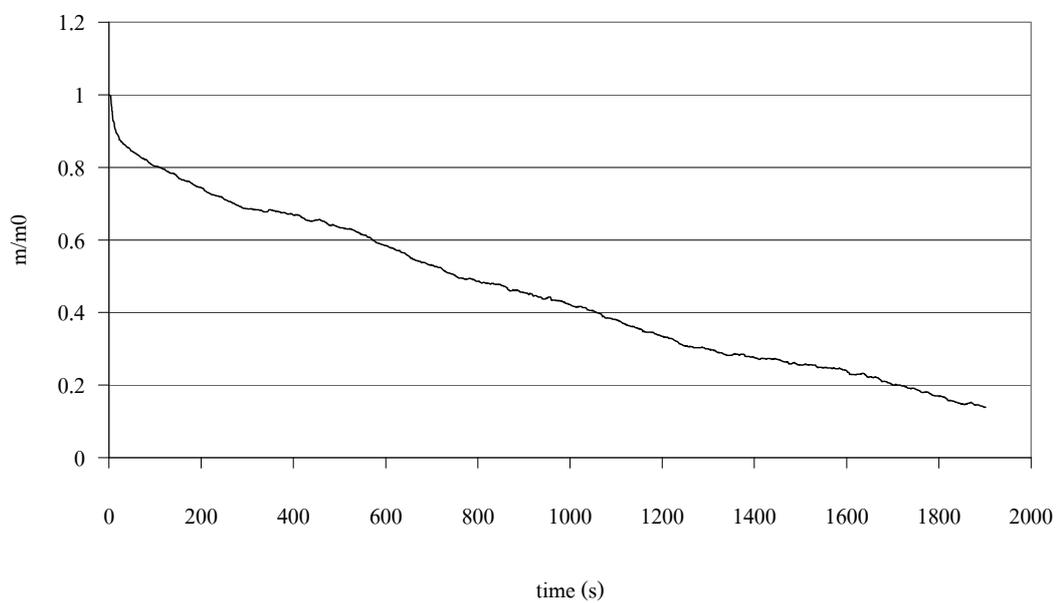
ภาพผนวกที่ ก1 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้พีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (พีช-1-15)



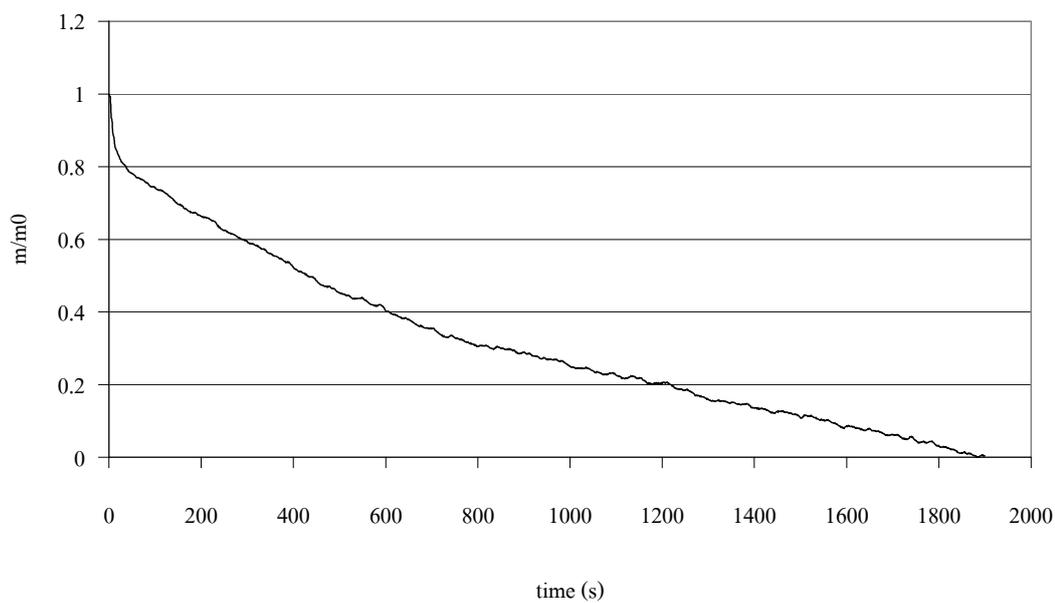
ภาพผนวกที่ ก2 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้พีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (พีช-2-15)



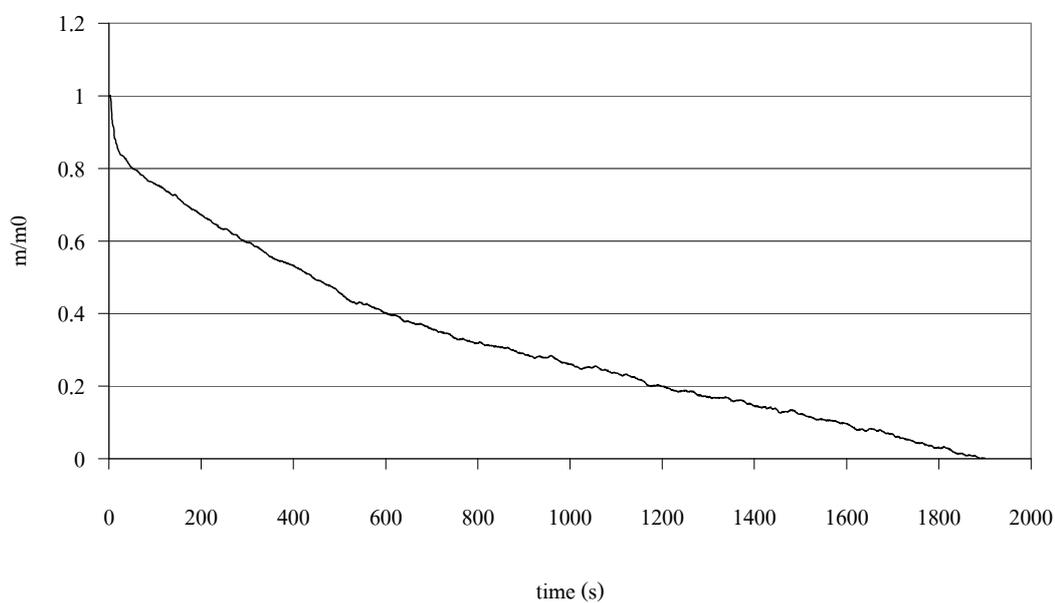
ภาพผนวกที่ ก3 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้พีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (ไม้ช-1-20)



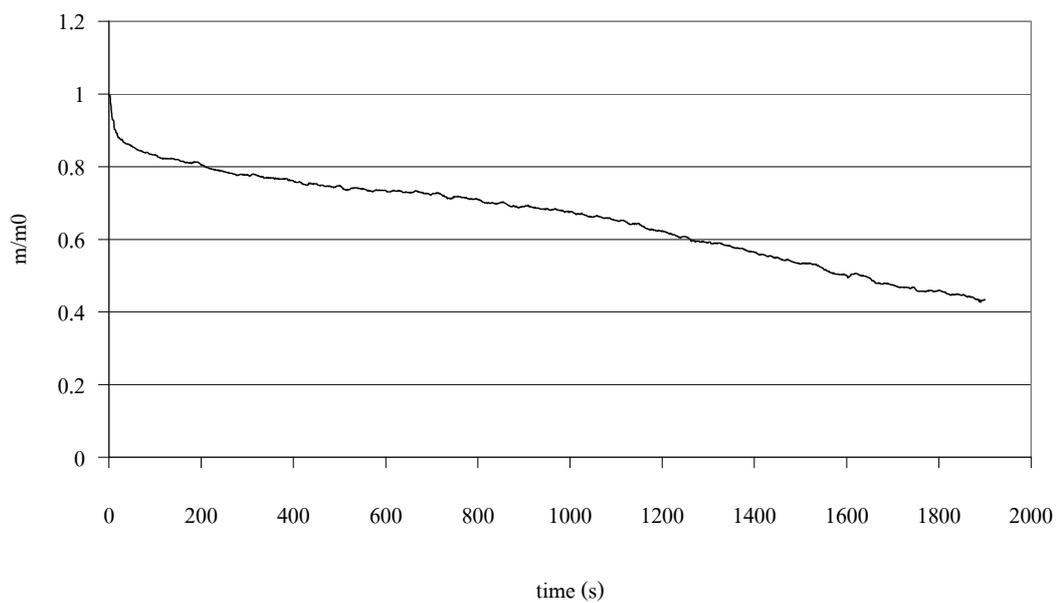
ภาพผนวกที่ ก4 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้พีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (ไม้ช-2-20)



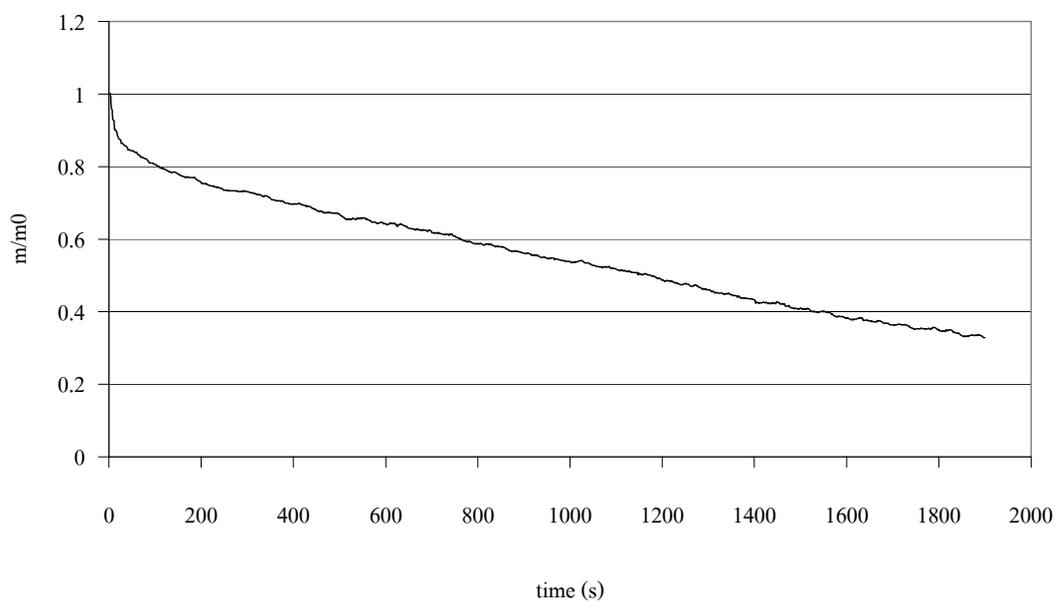
ภาพผนวกที่ ก5 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้พีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (ไม้ช-1-25)



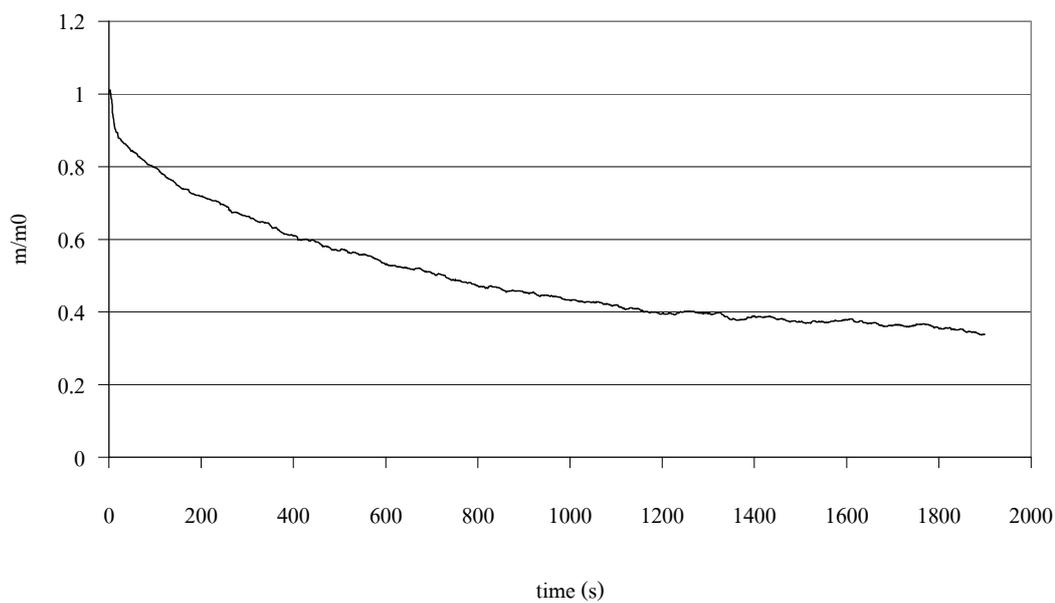
ภาพผนวกที่ ก6 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้พีช ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (ไม้ช-2-25)



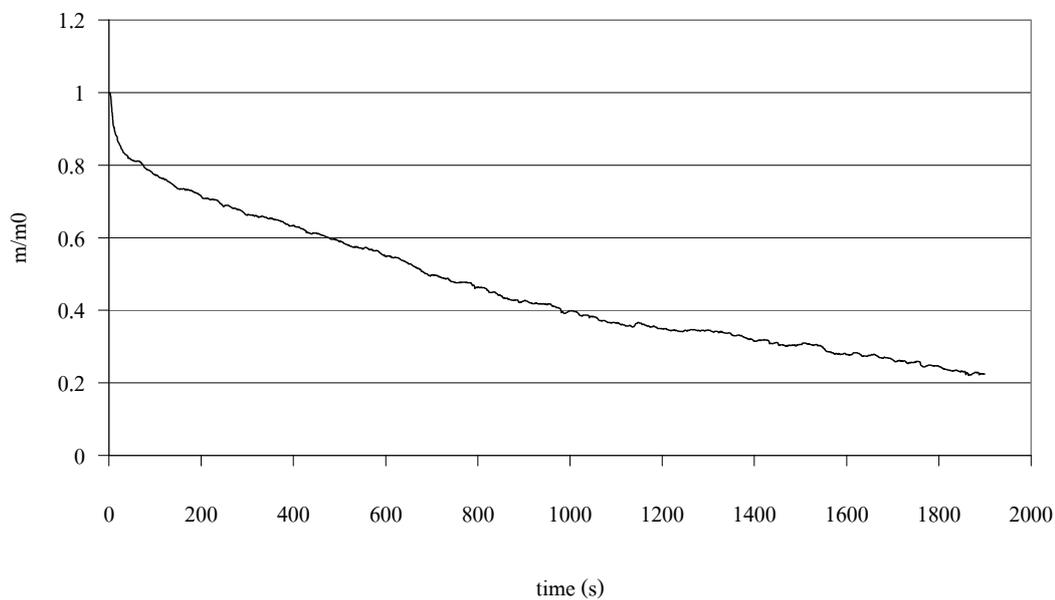
ภาพผนวกที่ ก7 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2
(มะค่า-1-15)



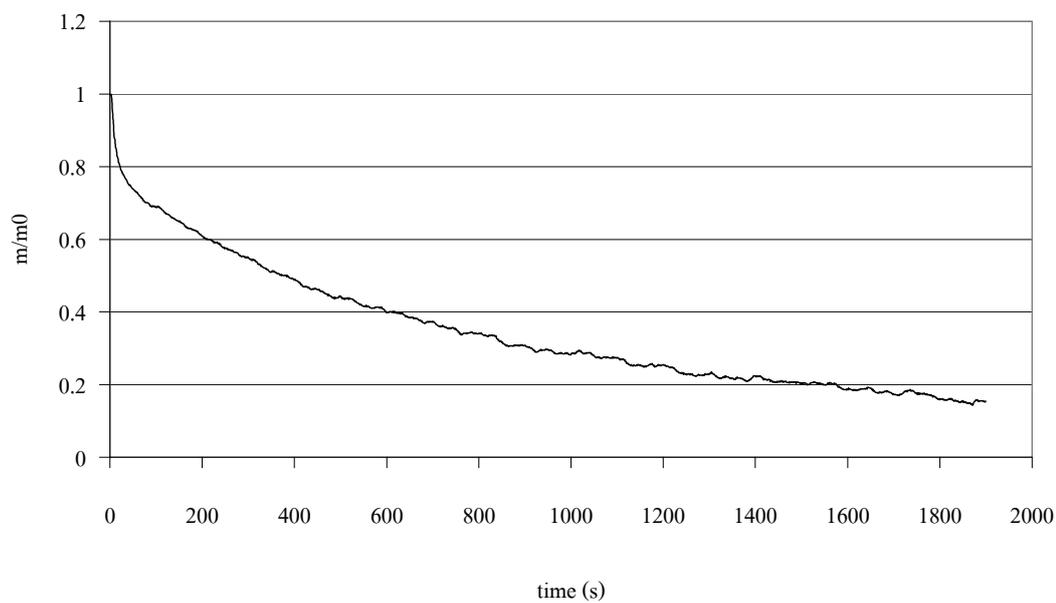
ภาพผนวกที่ ก8 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2
(มะค่า-2-15)



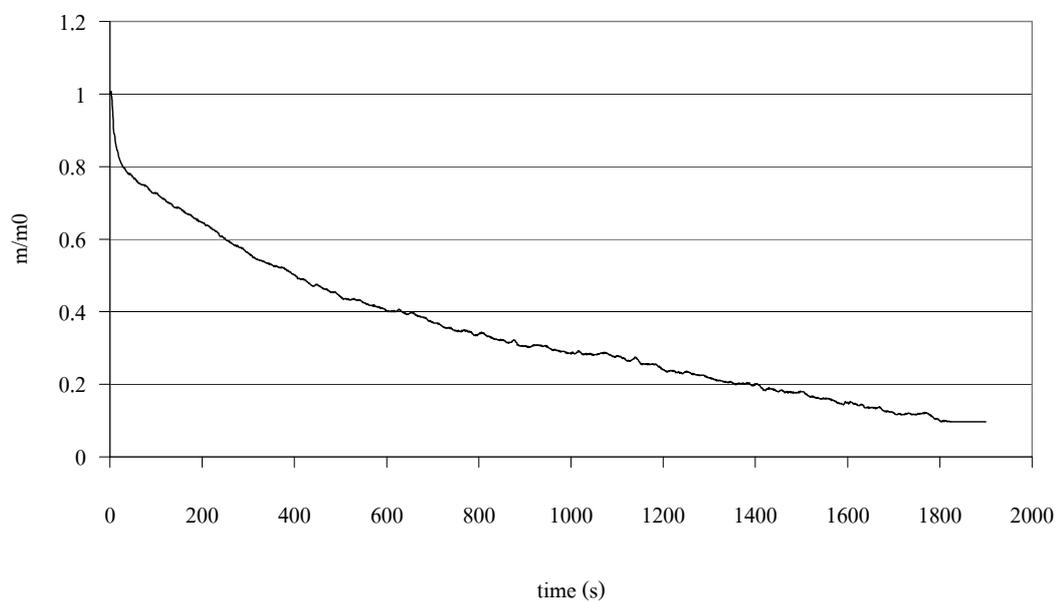
ภาพผนวกที่ ก9 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2
(มะค่า-1-20)



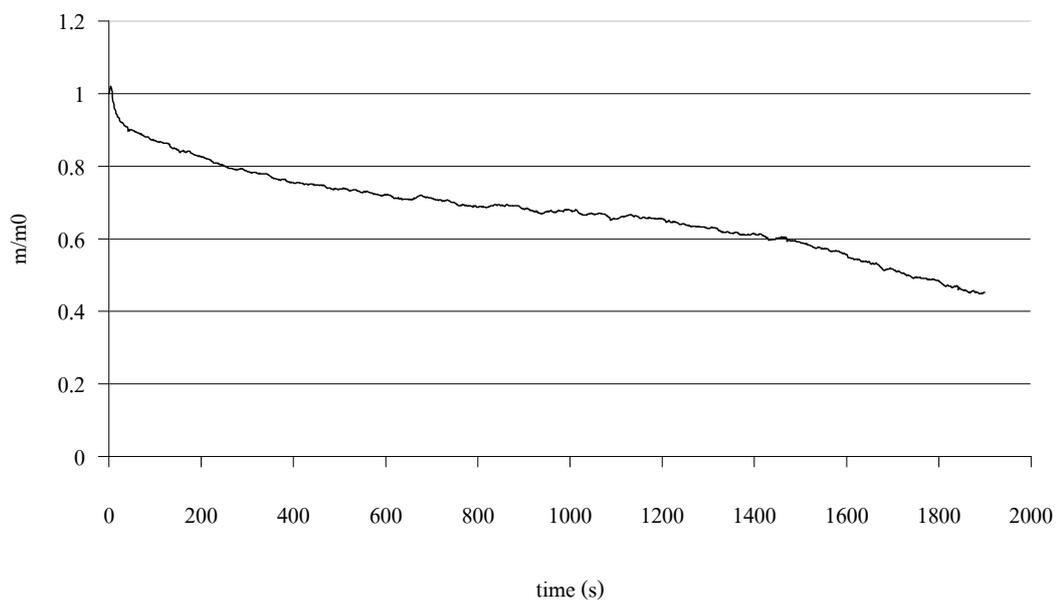
ภาพผนวกที่ ก10 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2
(มะค่า-2-20)



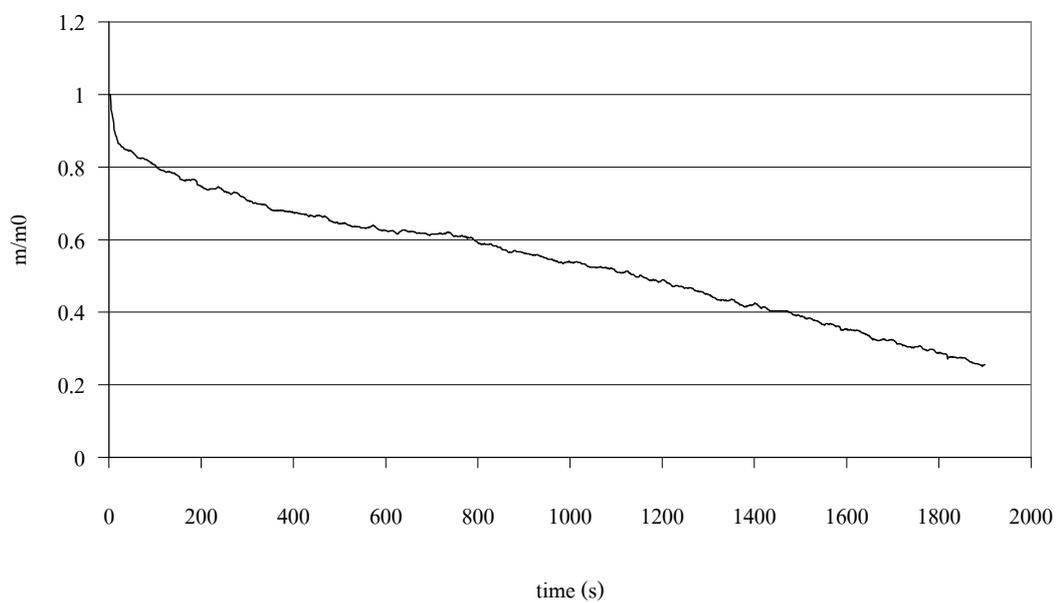
ภาพผนวกที่ ก11 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2
(มะค่า-1-25)



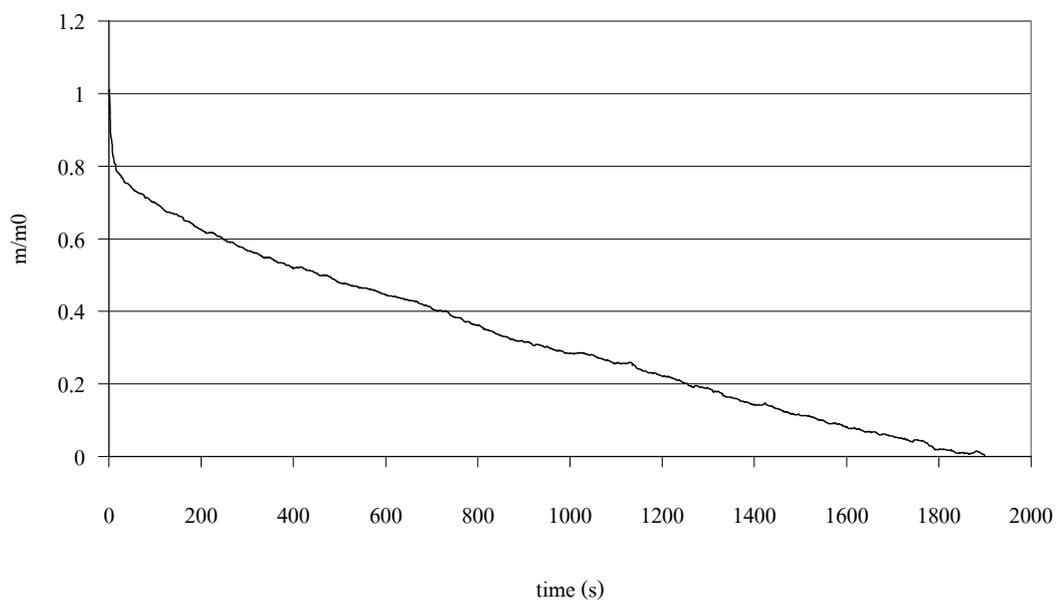
ภาพผนวกที่ ก12 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้มะค่า ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2
(มะค่า-2-25)



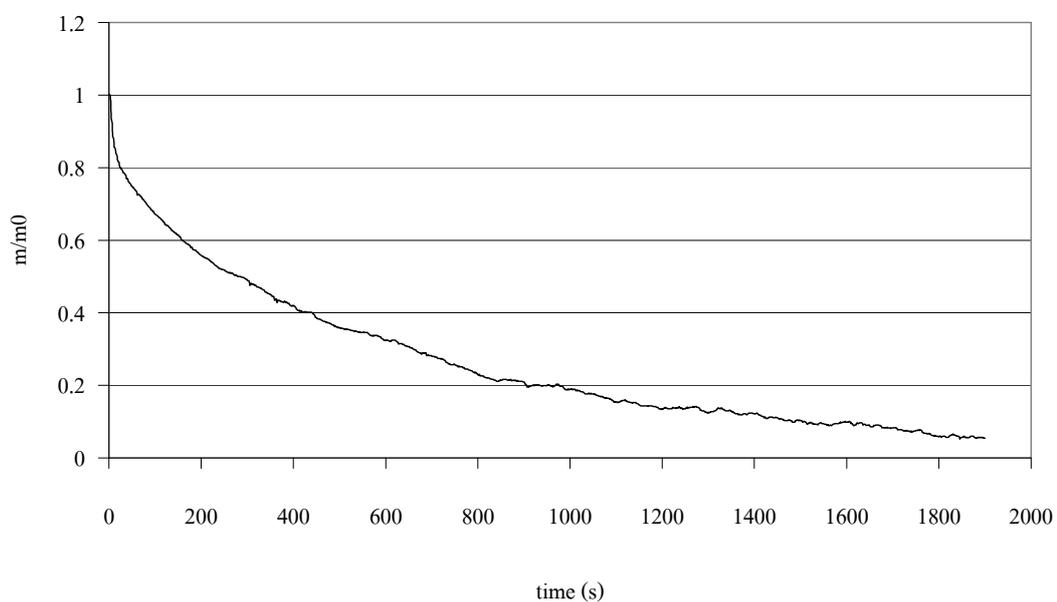
ภาพผนวกที่ ก13 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (สัก-1-15)



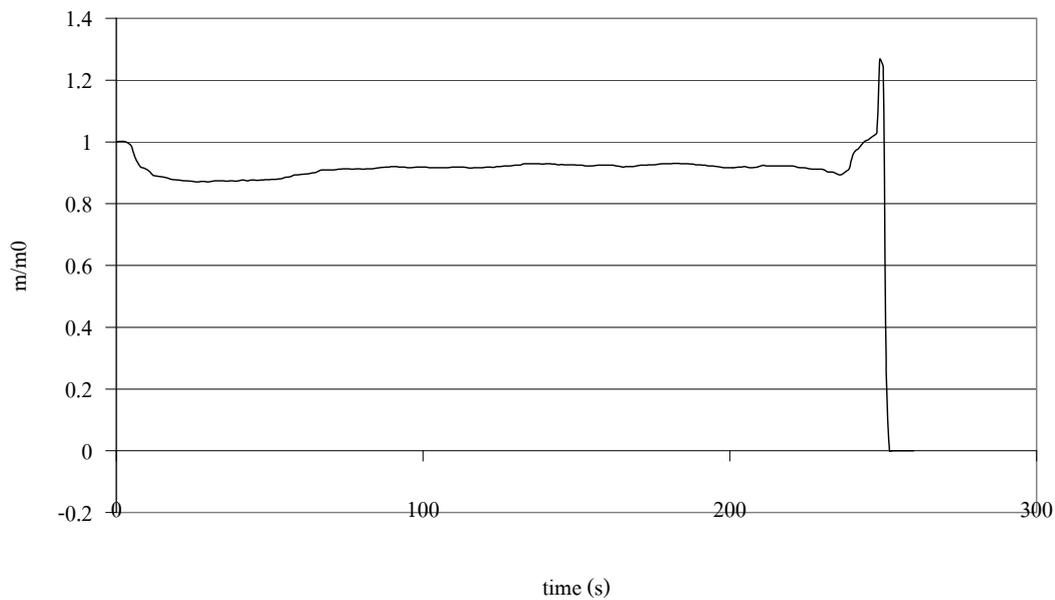
ภาพผนวกที่ ก14 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (สัก-2-15)



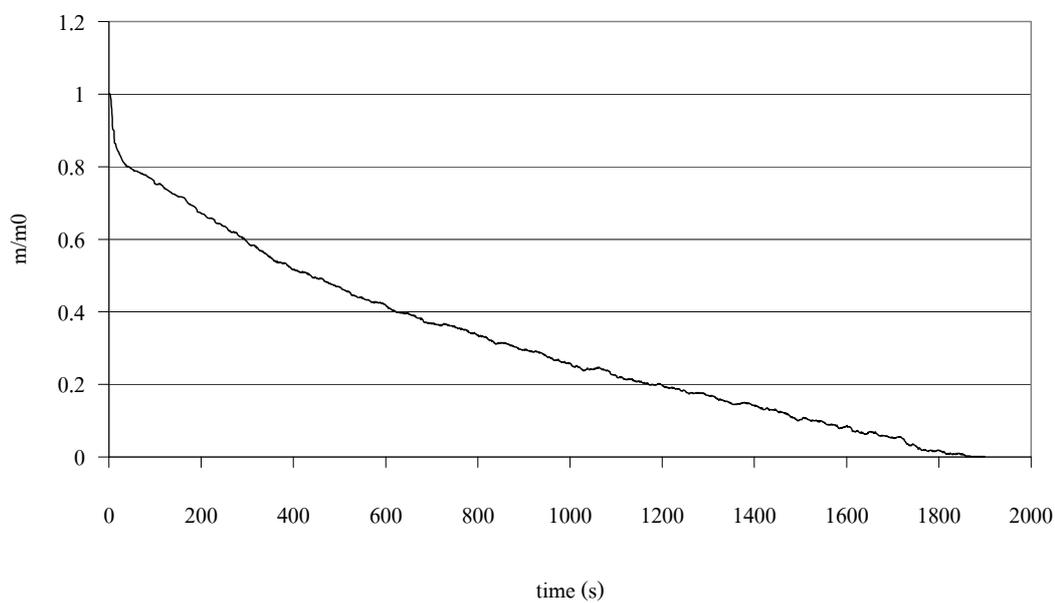
ภาพผนวกที่ ก15 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (สัก-1-20)



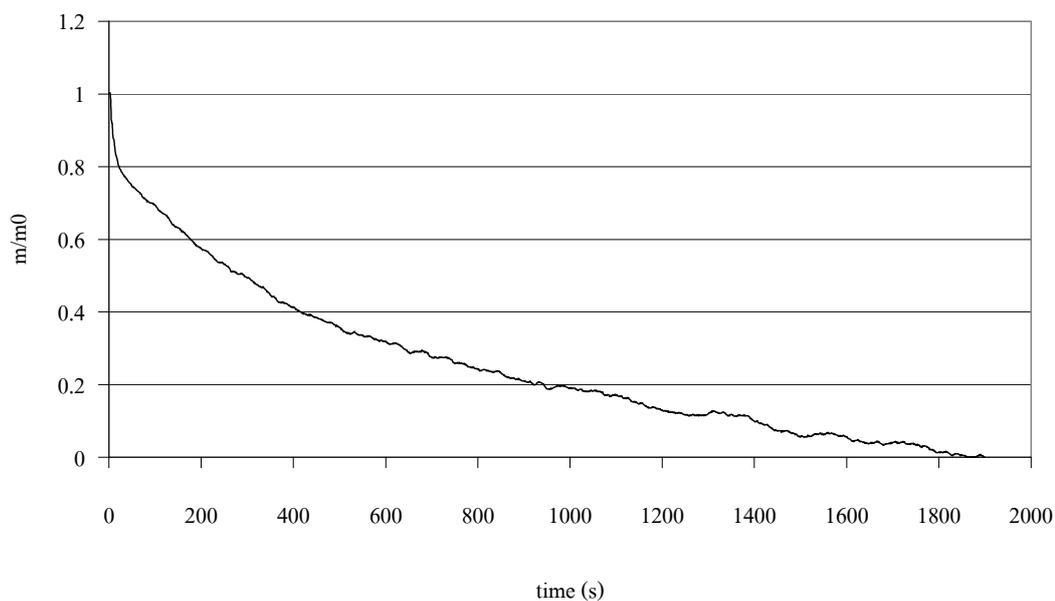
ภาพผนวกที่ ก16 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (สัก-2-20)



ภาพผนวกที่ ก17 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (สัก-1-25)



ภาพผนวกที่ ก18 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (สัก-2-25)



ภาพผนวกที่ ก19 แสดงอัตราการสูญเสียมวลของไม้สัก ที่ฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (สัก-3-25)

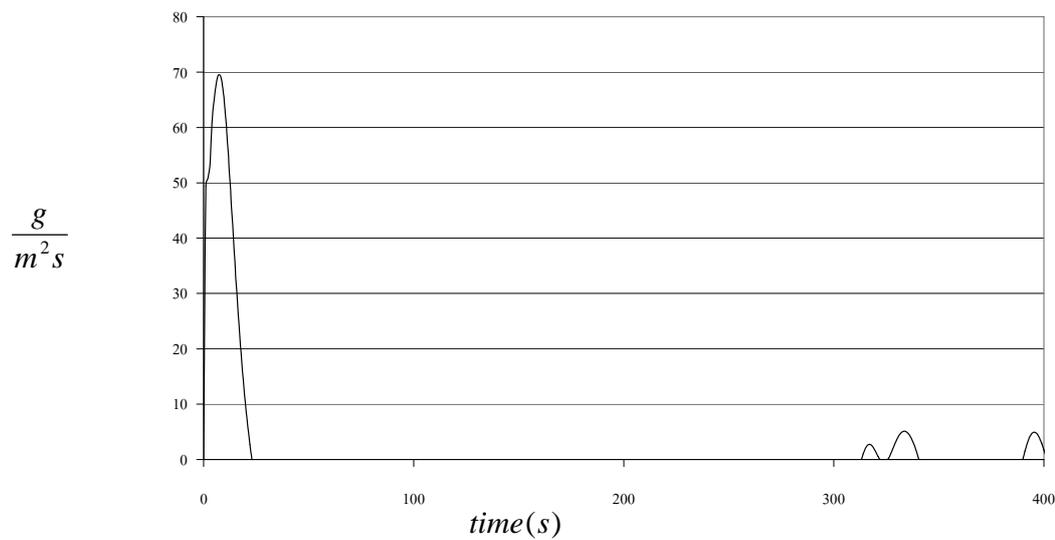
ตารางผนวกที่ ก1 แสดงค่า m_0 ของไม้แต่ละชิ้น

ดัชนีการทดลองที่	ชนิดไม้	m_0 (g)
บีช-15-1	บีช	120.377
บีช-15-2	บีช	115.532
บีช-20-1	บีช	112.534
บีช-20-2	บีช	116.044
บีช-25-1	บีช	114.044
บีช-25-2	บีช	120.166
มะค่า-15-1	มะค่า	100.794
มะค่า-15-2	มะค่า	101.968
มะค่า-20-1	มะค่า	100.526
มะค่า-20-2	มะค่า	103.799
มะค่า-25-1	มะค่า	101.371
มะค่า-25-2	มะค่า	103.238
สัก-15-1	สัก	83.63

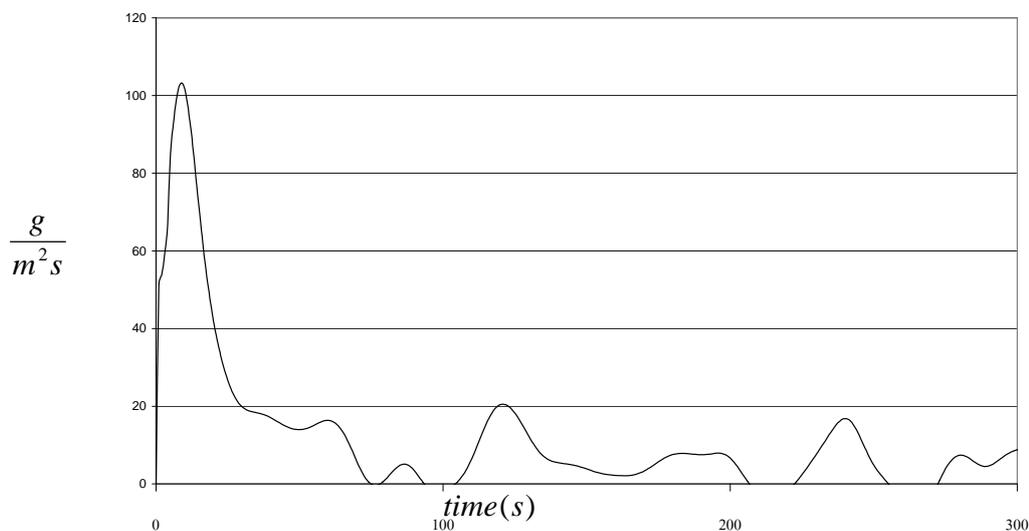
ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ดัชนีการทดลองที่	ชนิดไม้	m0 (g)
สัก-15-2	สัก	83.056
สัก-20-1	สัก	81.291
สัก-20-2	สัก	85.277
สัก-25-1	สัก	84.881
สัก-25-2	สัก	83.128
สัก-25-3	สัก	88.515

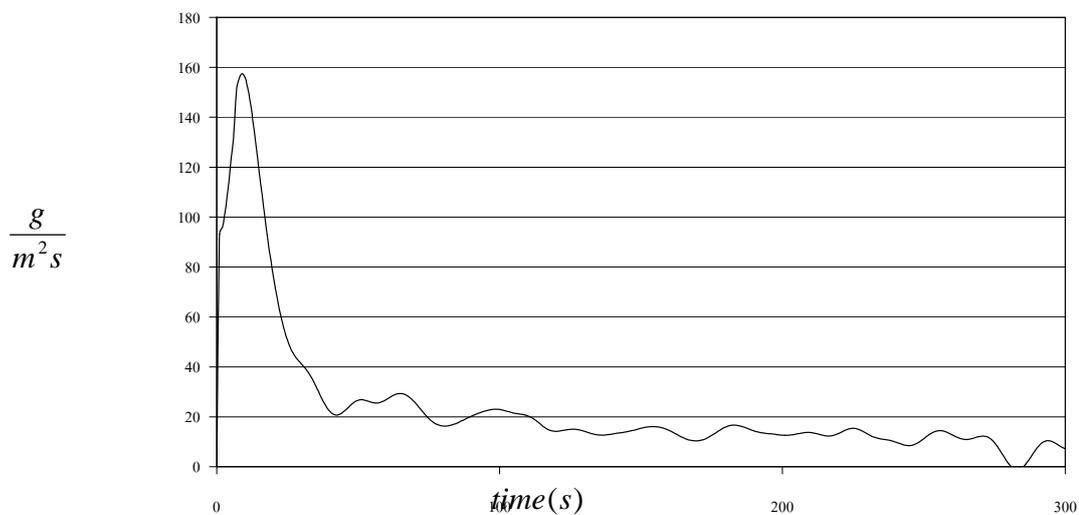
ภาคผนวก ข
กราฟอัตราการเกิดไฟโรไลซิสของไม้



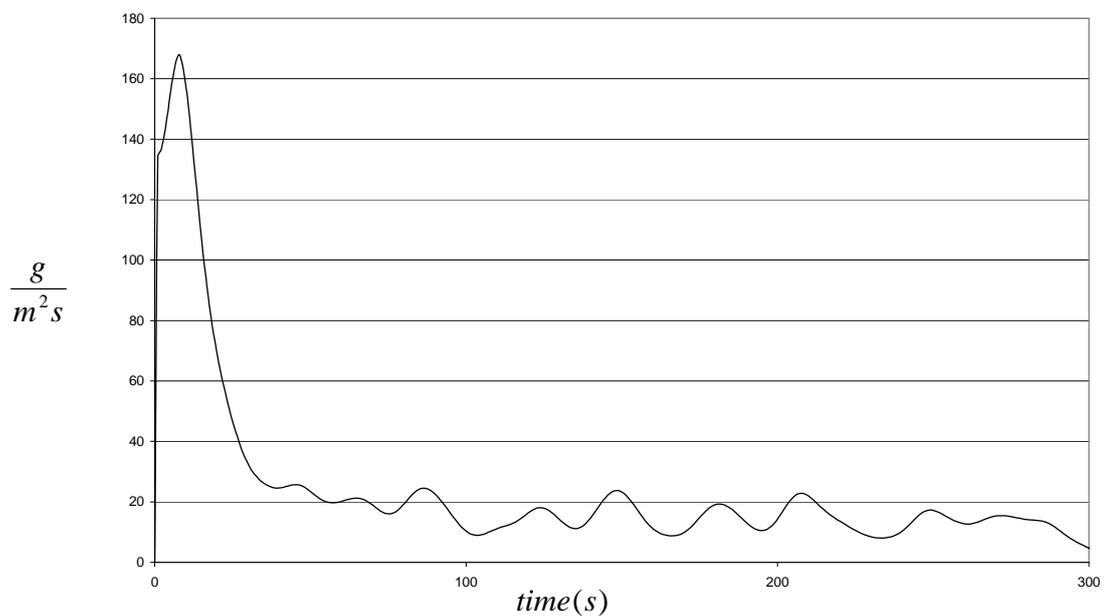
ภาพผนวกที่ ข1 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้บีชที่ระดับพลังค์ความร้อน 15 kW/m^2 (บีช-15-1)



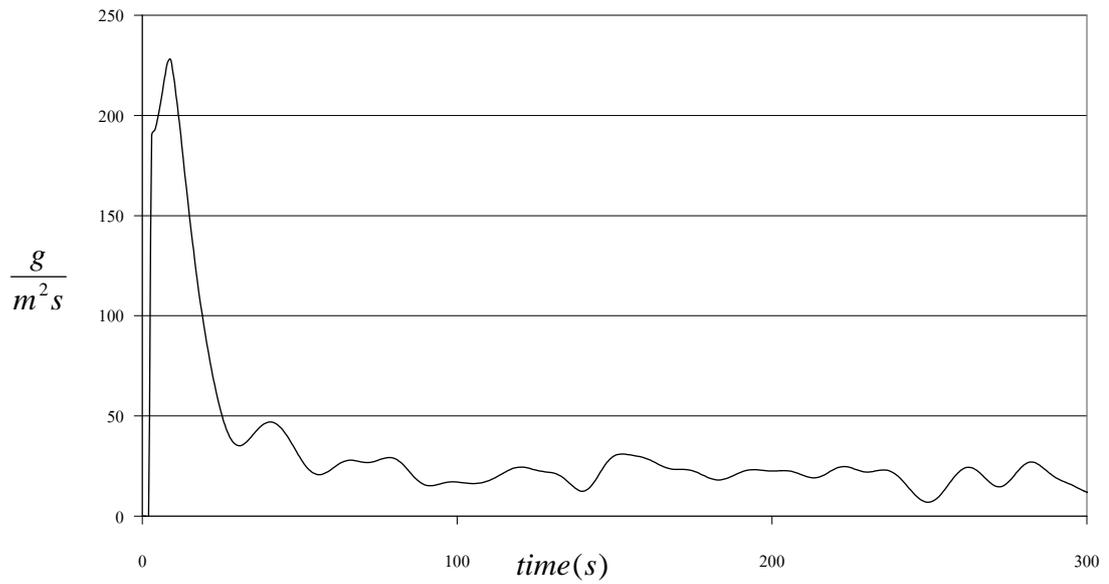
ภาพผนวกที่ ข2 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้บีชที่ระดับพลังค์ความร้อน 15 kW/m^2 (บีช-15-2)



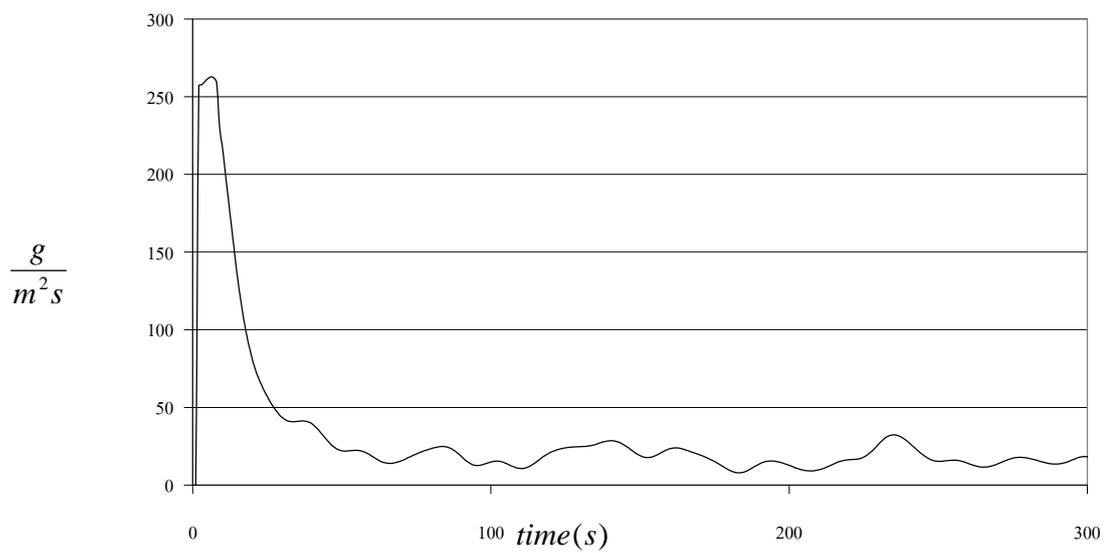
ภาพผนวกที่ ข3 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 20 kW/m^2 (ปืช-20-1)



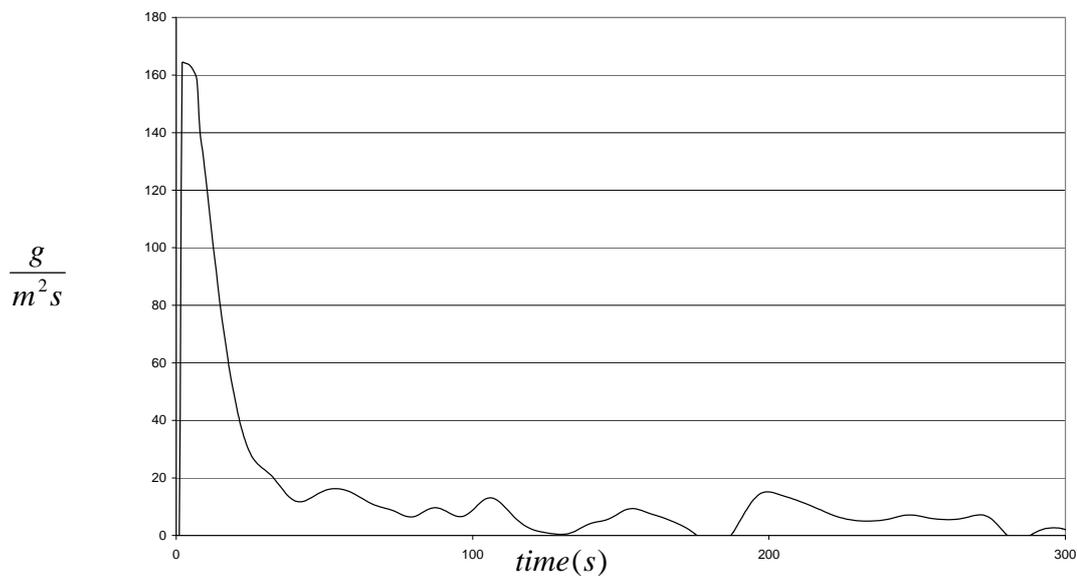
ภาพผนวกที่ ข4 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 20 kW/m^2 (ปืช-20-2)



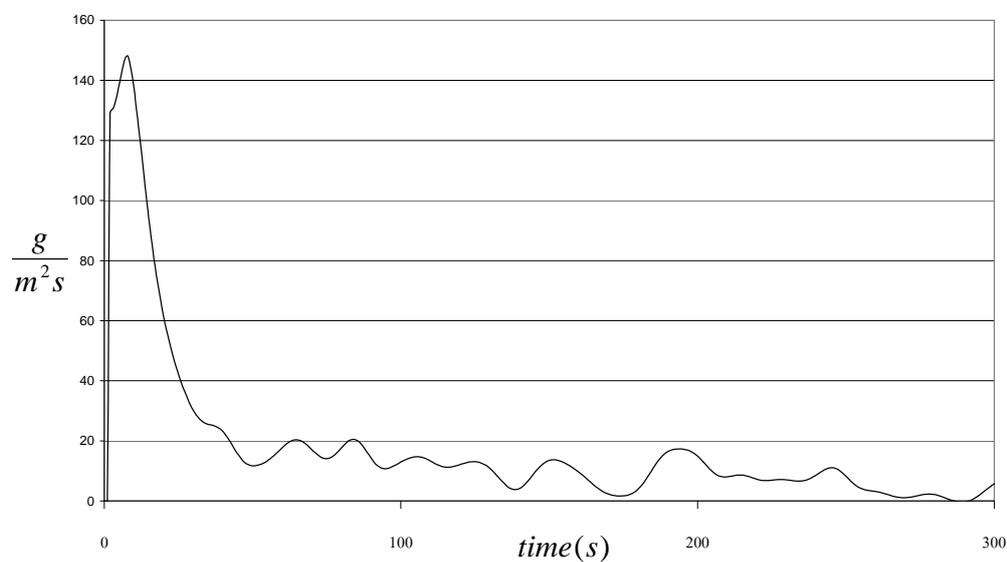
ภาพผนวกที่ ข5 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 25 kW/m^2 (ปืช-25-1)



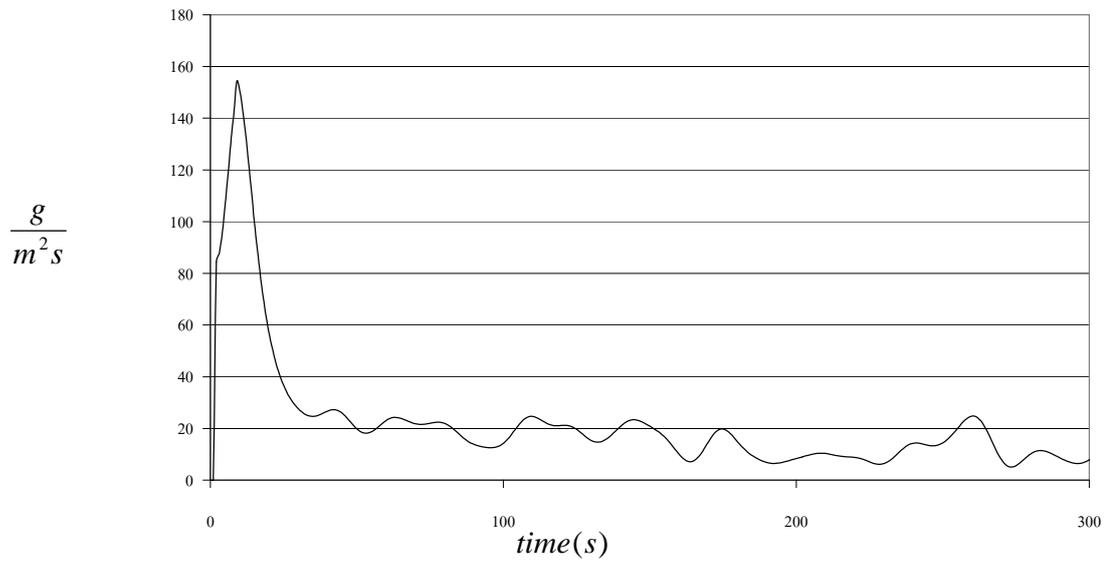
ภาพผนวกที่ ข6 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้ปืชที่ระดับพลังค์ความร้อน 25 kW/m^2 (ปืช-25-2)



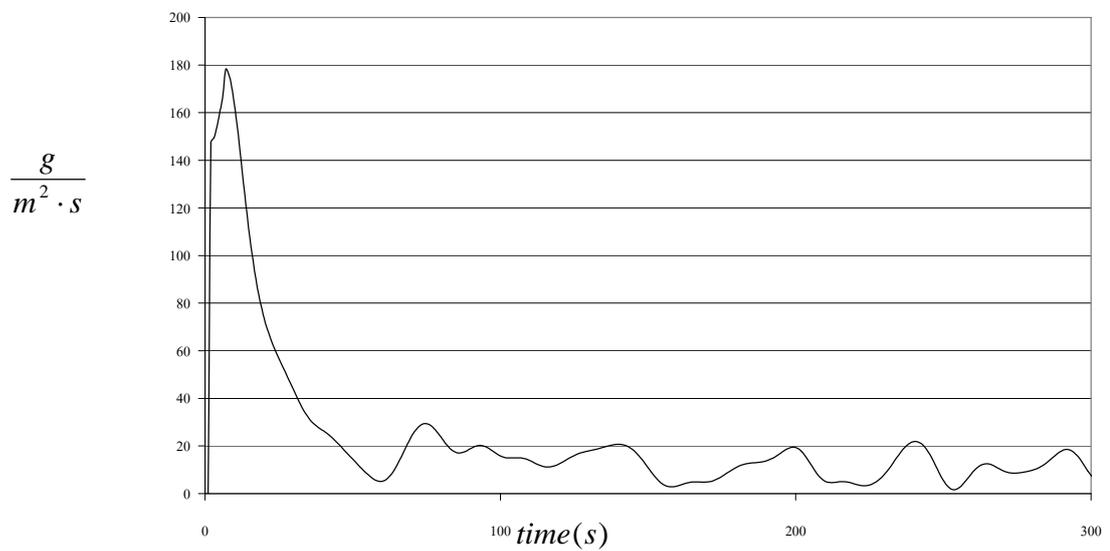
ภาพผนวกที่ ข7 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้มะค่าที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (มะค่า-15-1)



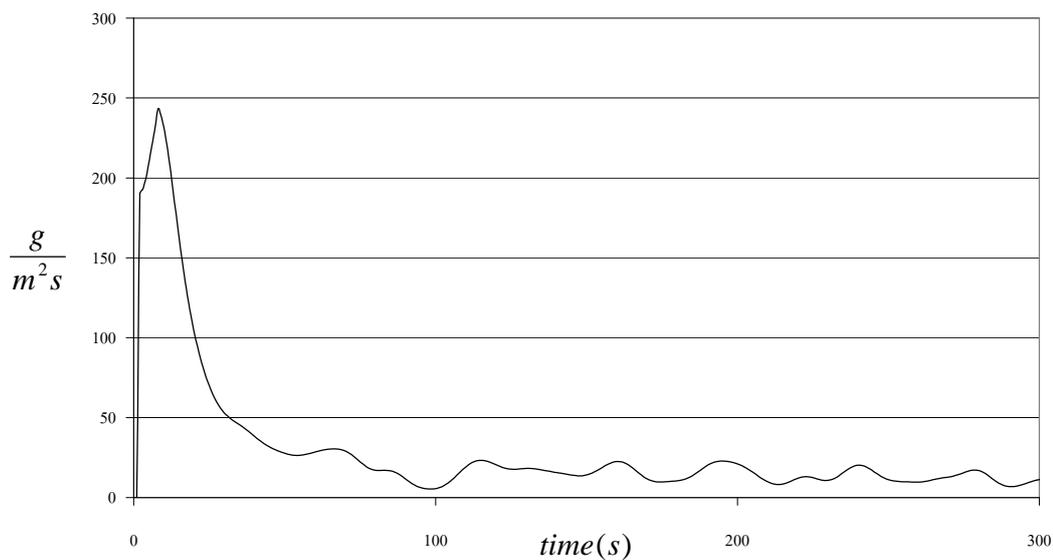
ภาพผนวกที่ ข8 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้มะค่าที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (มะค่า-15-2)



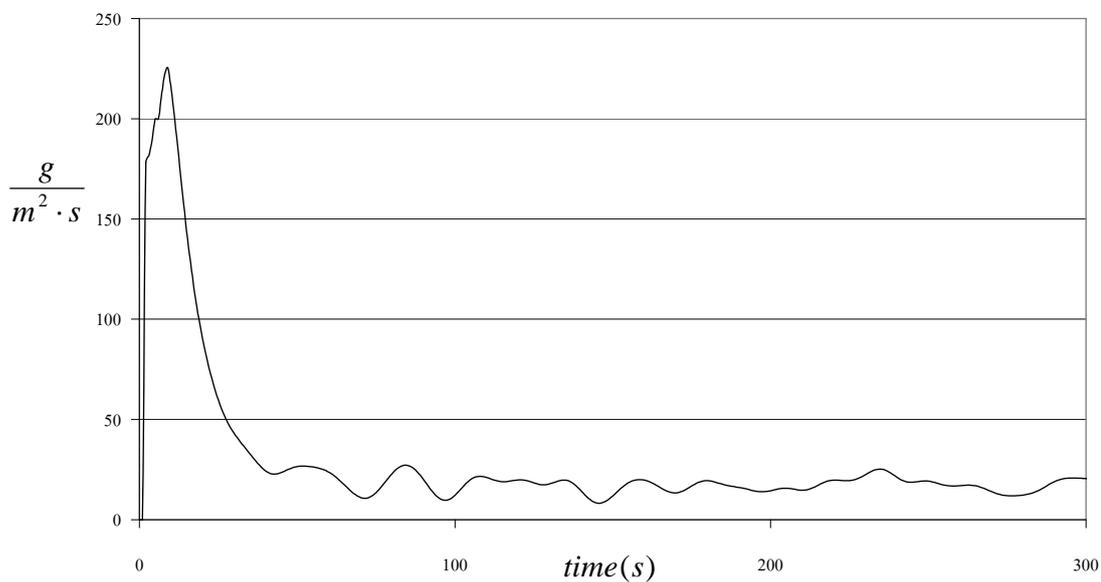
ภาพผนวกที่ ข9 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้มะค่าที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (มะค่า-20-1)



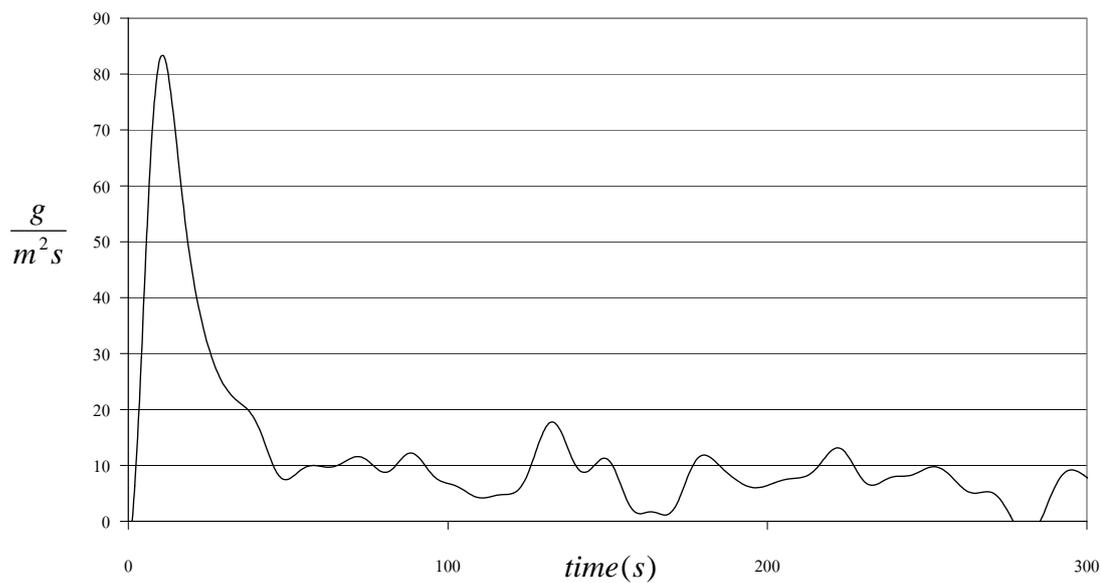
ภาพผนวกที่ ข10 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้มะค่าที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (มะค่า-20-2)



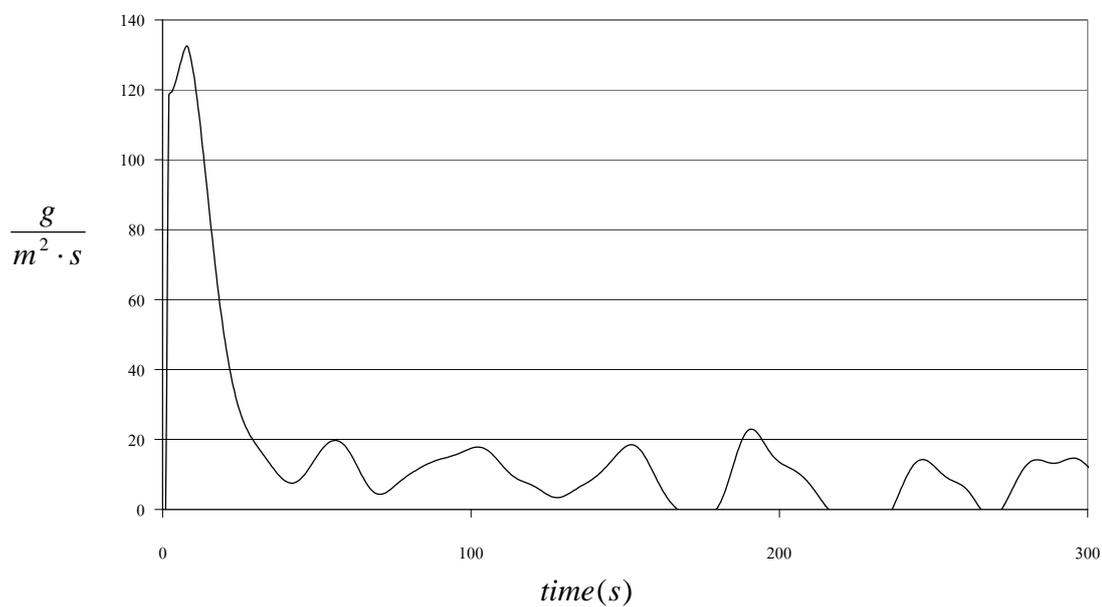
ภาพผนวกที่ ข11 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้มะค่าที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (มะค่า-25-1)



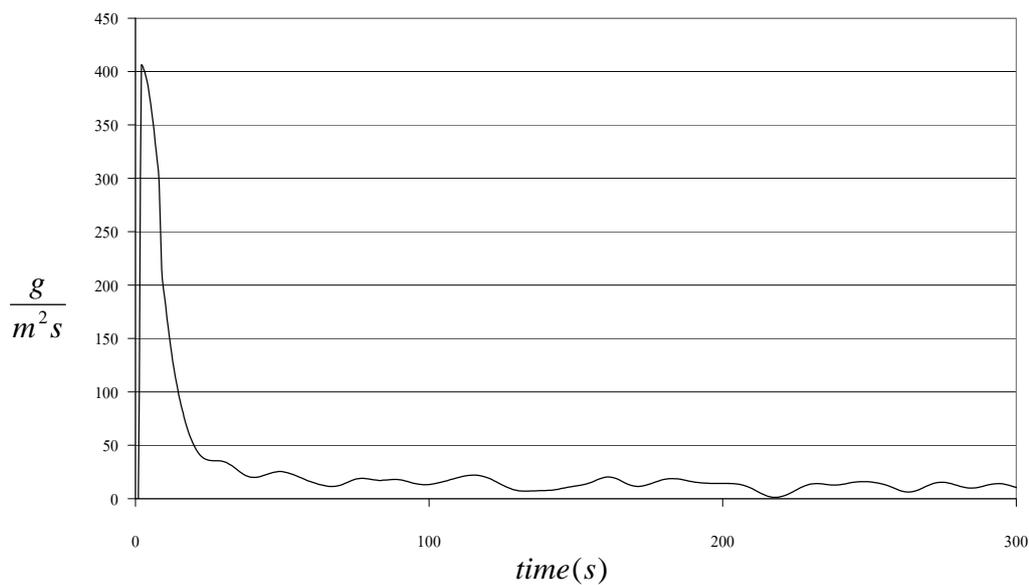
ภาพผนวกที่ ข12 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้มะค่าที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (มะค่า-25-2)



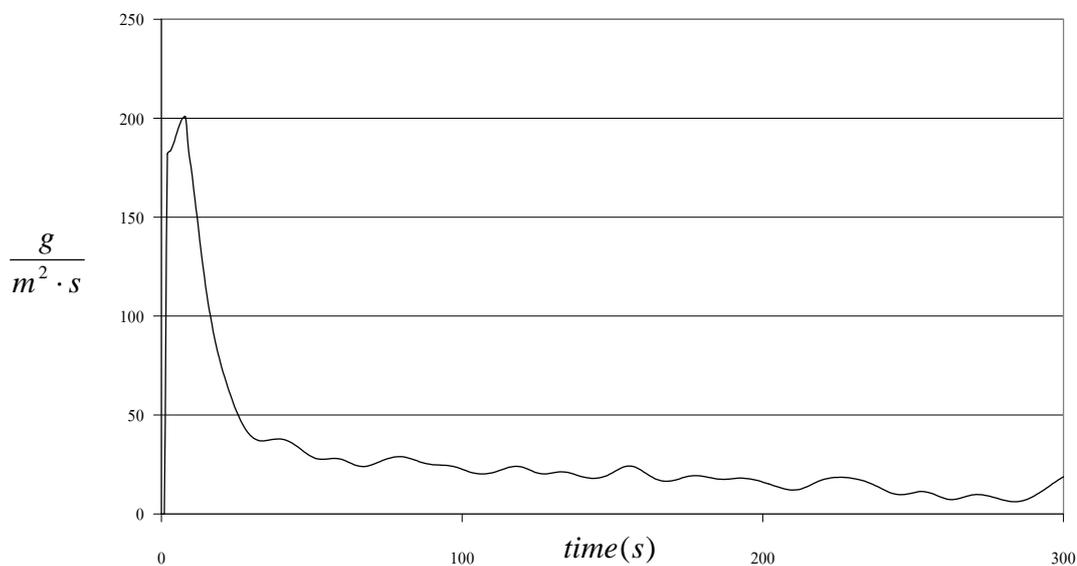
ภาพผนวกที่ ข13 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้สักที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (สัก-15-1)



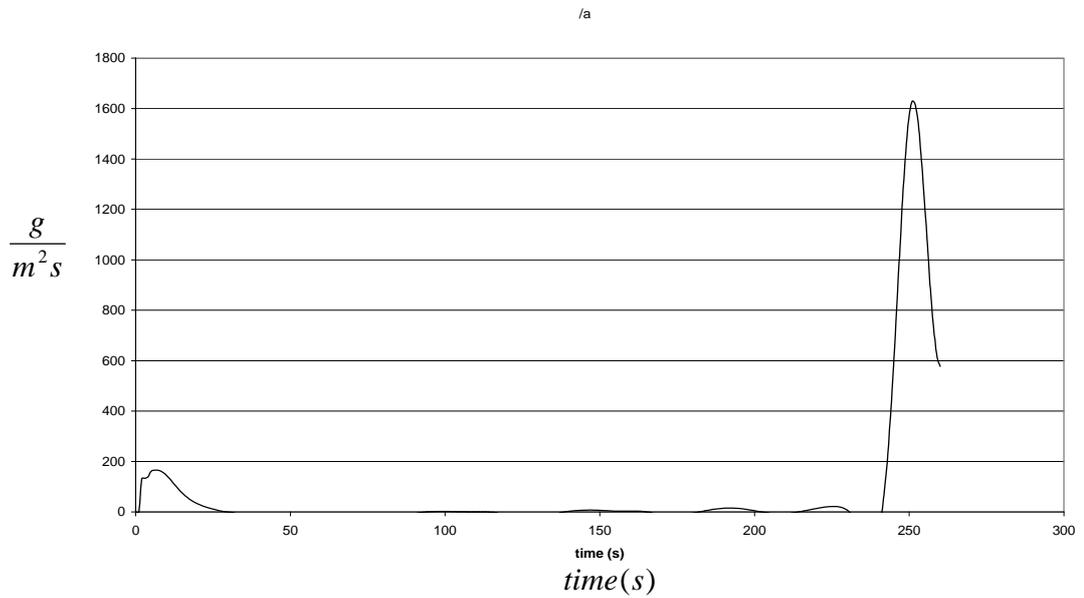
ภาพผนวกที่ ข14 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้สักที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 15 kW/m^2 (สัก-15-2)



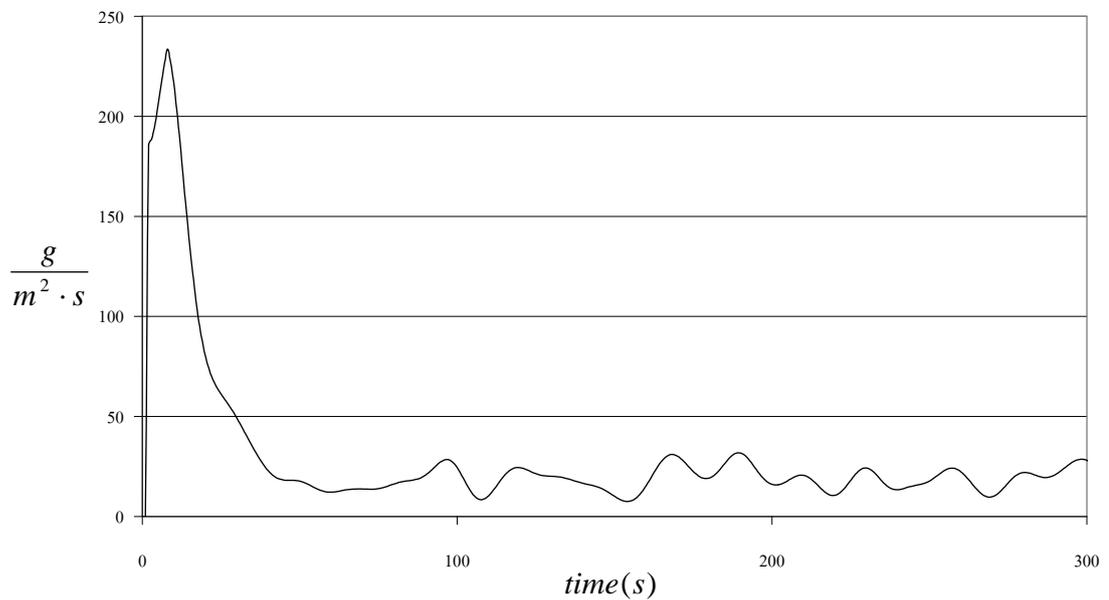
ภาพผนวกที่ ข15 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้สักที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (สัก-20-1)



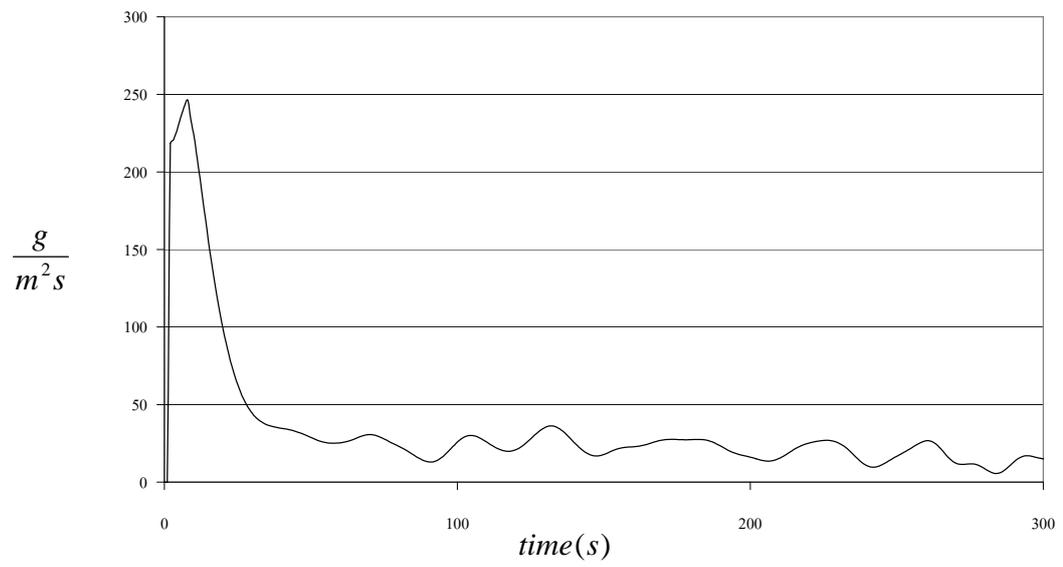
ภาพผนวกที่ ข16 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้สักที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 20 kW/m^2 (สัก-20-2)



ภาพผนวกที่ ข17 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้สักที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (สัก-25-1)



ภาพผนวกที่ ข18 อัตราการเกิดไฟโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average
สำหรับไม้สักที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (สัก-25-2)



ภาพผนวกที่ ข19 อัตราการเกิดไพโรไลซิสหลังจากทำการหาค่า 3 point moving average สำหรับไม้สักที่ระดับฟลักซ์ความร้อน 25 kW/m^2 (สัก-25-3)

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาค่า T_{ig} β และความเฉื่อยทางความร้อน

การคำนวณหาค่า T_{ig} , β และความเฉื่อยทางความร้อน

การคำนวณหาค่า T_{ig} , β และความเฉื่อยทางความร้อน สำหรับไม้ปืช

จากสมการ (32)

$$\dot{q}_{cr}'' = \bar{h}(T_{ig} - T_o) + \sigma(T_{ig}^4 - T_o^4)$$

ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้ปืช	=	2.18	kW/m ²
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	=	13.39	W/m ² K
ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann	=	5.67×10^{-8}	W/m ² K ⁴
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	=	296	K

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการ (32)

$$2180 = 13.39(T_{ig} - 296) + 5.67 \times 10^{-8}(T_{ig}^4 - 296^4)$$

สามารถหาค่าอุณหภูมิจุดติดไฟได้เท่ากับ 391.67 K

นำค่าอุณหภูมิการจุดติดไฟไปคำนวณหาค่า β_{ig} ได้จากสมการ (17)

$$\beta_{ig} = \frac{\sigma(T_{ig}^4 - T_o^4) + \bar{h}(T_{ig} - T_o)}{q_i''}$$

โดย q_i'' จะใช้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตมาใช้คำนวณ

แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงไปในสมการ (17)

$$\beta_{ig} = \frac{5.67 \times 10^{-8}(391.67^4 - 296^4) + 13.39(391.67 - 296)}{2180}$$

ค่า β_{ig} สำหรับไม้ปืชมีค่าเท่ากับ 0.9987

จากสมการ (35) สามารถหาค่าความเฉื่อยทางความร้อนได้

$$slope = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left(\frac{1}{(2 - \beta_{ig})(1 - \beta_{ig})} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{T_{ig} - T_0} \right)$$

ค่า *slope* ของไม้บีชมีค่าเท่ากับ 0.0022

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ (35)

$$0.0022 = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left(\frac{1}{(2 - 0.9987)(1 - 0.9987)} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{391.67 - 296} \right)$$

ความเฉื่อยทางความร้อนของไม้บีชเท่ากับ $0.0222 \text{ J}^2 \text{ m}^{-4} \text{ K}^2 \text{ s}^{-1}$

การคำนวณหาค่า T_{ig} , β และความเฉื่อยทางความร้อน สำหรับไม้มะค่า

จากสมการ (32)

$$\dot{q}_{cr}'' = \bar{h}(T_{ig} - T_o) + \sigma(T_{ig}^4 - T_o^4)$$

ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้บีซ	=	4.04	kW/m ²
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	=	13.39	W/m ² K
ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann	=	5.67×10^{-8}	W/m ² K ⁴
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	=	296	K

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการ (32)

$$4040 = 13.39(T_{ig} - 296) + 5.67 \times 10^{-8}(T_{ig}^4 - 296^4)$$

สามารถหาค่าอุณหภูมิจุดติดไฟได้เท่ากับ 452.57 K

นำค่าอุณหภูมิการจุดติดไฟไปคำนวณหาค่า β_{ig} ได้จากสมการ (17)

$$\beta_{ig} = \frac{\sigma(T_{ig}^4 - T_o^4) + \bar{h}(T_{ig} - T_o)}{q_i''}$$

โดย q_i'' จะใช้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตมาใช้คำนวณ

แทนค่าตัวแปรต่างๆลงในสมการ (17)

$$\beta_{ig} = \frac{5.67 \times 10^{-8}(452.57^4 - 296^4) + 13.39(452.57 - 296)}{4040}$$

ค่า β_{ig} สำหรับไม้บีซมีค่าเท่ากับ 0.9992

จากสมการ (35) สามารถหาค่าความเฉื่อยทางความร้อนได้

$$slope = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left(\frac{1}{(2 - \beta_{ig})(1 - \beta_{ig})} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{T_{ig} - T_0} \right)$$

ค่า *slope* ของไม้บีชมีค่าเท่ากับ 0.0035

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ (35)

$$0.0035 = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left(\frac{1}{(2 - 0.9992)(1 - 0.9992)} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{452.57 - 296} \right)$$

ความเฉื่อยทางความร้อนของไม้บีชเท่ากับ $0.0039 \text{ J}^2\text{m}^{-4}\text{K}^2\text{s}^{-1}$

การคำนวณหาค่า T_{ig} , β และความเฉื่อยทางความร้อน สำหรับไม้สัก

จากสมการ (32)

$$\dot{q}_{cr}'' = \bar{h}(T_{ig} - T_o) + \sigma(T_{ig}^4 - T_o^4)$$

ฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของไม้สัก =	6.97	kW/m ²
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน =	13.39	W/m ² K
ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann =	5.67×10^{-8}	W/m ² K ⁴
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม =	296	K

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการ (32)

$$6970 = 13.39(T_{ig} - 296) + 5.67 \times 10^{-8}(T_{ig}^4 - 296^4)$$

สามารถหาค่าอุณหภูมิจุดติดไฟได้เท่ากับ 525.69 K

นำค่าอุณหภูมิการจุดติดไฟไปคำนวณหาค่า β_{ig} ได้จากสมการ (17)

$$\beta_{ig} = \frac{\sigma(T_{ig}^4 - T_o^4) + \bar{h}(T_{ig} - T_o)}{q_i''}$$

โดย q_i'' จะใช้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตมาใช้คำนวณ

แทนค่าตัวแปรต่างๆลงในสมการ (17)

$$\beta_{ig} = \frac{5.67 \times 10^{-8}(525.69^4 - 296^4) + 13.39(525.69 - 296)}{6970}$$

ค่า β_{ig} สำหรับไม้สักมีค่าเท่ากับ 0.9959

จากสมการ (35) สามารถหาค่าความเฉื่อยทางความร้อนได้

$$slope = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left(\frac{1}{(2 - \beta_{ig})(1 - \beta_{ig})} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{T_{ig} - T_0} \right)$$

ค่า *slope* ของไม้บีชมีค่าเท่ากับ 0.0031

แทนค่าตัวแปรลงในสมการ (35)

$$0.0031 = \left(\frac{4}{3} k \rho c \left(\frac{1}{(2 - 0.9959)(1 - 0.9959)} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{525.69 - 296} \right)$$

ความเฉื่อยทางความร้อนของไม้บีชเท่ากับ $0.0062 \text{ J}^2\text{m}^{-4}\text{K}^2\text{s}^{-1}$

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายอรรถพร สกุดสม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	6 มีนาคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-