

การศึกษาผลกระทบของการจัดวางมุมของแผ่นเชื้อเพลิงที่มีต่อพฤติกรรมการลามของเปลวไฟ

The of Effect of The Angle of Orientation on Flame Spread Over Combustible Sheet

สุเจตน์ วันชาติ¹, มานิต สุจันงค์²

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

Sujate Wanchat¹, Manit Sujumnong²

Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

E-mail: sujatewanchat@hotmail.com¹, mansuj@kku.ac.th²

บทคัดย่อ

การศึกษาการลามไฟ บนพื้นผิวของเชื้อเพลิงแข็ง สำหรับกรณีของการลามแบบ Downward Spread ครั้งนี้เป็นการศึกษาในลักษณะการสร้างและทดสอบ(Experimentation) ซึ่งเชื้อเพลิงแข็งที่เลือกใช้คือแผ่น Polymethylmethacrylate (PMMA) ความหนา 2 mm ซึ่งถูกจัดอยู่ในเชื้อเพลิงแข็งกลุ่มประเภท Thin Sheet [1] จากการเปลี่ยนค่ามุมเอียงของการวางตัวของแผ่นเชื้อเพลิงระหว่าง 0 ถึง 90 องศา พบว่าอัตราการลามแบบ Downward Spread ของไฟมีค่าความเร็วระหว่าง 8.74 ถึง 9.23×10^{-3} cm/s ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องต่อสมการการทำนายของ M.B. Aayani [2] นอกจากนี้การทดลองยังพบอีกว่า มุมของ Thermal Decomposition หรือมุมของการเกิด Pyrolysis มีการเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของความเอียงของแผ่นเชื้อเพลิง

คำหลัก: การลามของเปลวไฟ, Downward Spread, พื้นผิวไฟโรไลซิส, เปลวไฟผนัง

Abstract

The study of downward flame spread over combustible solid sheet was experimentally studied by using Polymethylmethacrylate (PMMA) thickness of 2 mm (thin sheet [1]) as the sample sheet. The experiment was conducted under the series of inclined angles. The study was aimed at the effect of angular orientation on the flame spread rate. The variation of inclination was from horizontal to vertical configuration namely 0° to 90° referenced to horizontal plane. The results revealed that angular orientation created minor impact on the flame spread rate in such a way that the range of spread rate is between 8.74 to 9.23×10^{-3} cm/s. The spread rate tends to increase with angle orientation. Furthermore, the test also reveals that the Pyrolysis angle changed with the angle of inclination

Keyword: Flame Spread, Downward Spread, Pyrolysis Region

1.บทนำ

เมื่อเกิดเพลิงไหม้ การลามของเปลวไฟที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของของแข็งเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ทำให้ความรุนแรงหรือความเสียหายเพิ่มมากขึ้น การเข้าใจถึงพฤติกรรมการลามไฟที่เกิดขึ้นดังกล่าวมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการป้องกันอัคคีภัย การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นถึงการเข้าใจพฤติกรรมของการลามไฟโดยศึกษาในรูปแบบของการสร้างและทดสอบ (Experimental Study) โดยการศึกษาที่ใช้แผ่น PMMA ความหนา 2 mm ความกว้างของแผ่น 10 cm และความยาว 30 cm เป็นวัสดุทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 ระยะของการทดสอบการลามไฟของการทดสอบมีระยะทาง 15 cm

ความเร็วของการลามของไฟสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์พื้นฐาน ระหว่างระยะทาง และเวลาที่ใช้ในการลาม กล่าวคือ

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

เมื่อ ΔS คือ ระยะทางของการลามไฟ (m)

Δt คือ เวลาที่ใช้ในการลามไฟ (s) และ

V คือ อัตราการลามไฟ (Fire Spread) m/s

ตารางที่ 1 แสดงถึงสมบัติทางกายภาพของแผ่น PMMA ที่เกี่ยวข้องในการศึกษา การทำนายค่าความเร็วของการลามไฟมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อยู่บ้างแต่ไม่มากกล่าวคือ J.G. Quintiere [1] ใช้สมการที่ (2) เพื่อทำนายค่าความเร็วในการลามไฟ โดยค่าคงที่ของสมการแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 สมการการหาความเร็วในการลามไฟคือ

$$V = \frac{\phi}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2} \quad (2)$$

เมื่อ ϕ คือ ค่าคงที่ของการลามไฟ

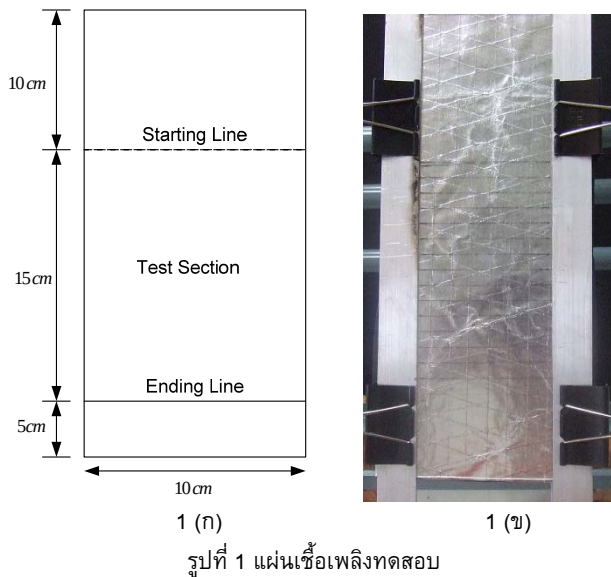
k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเชื้อเพลิง

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความจุความร้อนของเชื้อเพลิง

T_{ig} คือ อุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิง

T_s คือ อุณหภูมิของเชื้อเพลิงที่ยังไม่ติดไฟขณะเริ่มต้น



ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของแผ่น PMMA [2]

ความหนาแน่นของ PMMA เริ่มต้น, ρ	1190 (kg / m^3)
ความจุความร้อนจำเพาะ ของ PMMA เริ่มต้น, C	1465 ($J / kg \cdot K$)
ความร้อนของการ แยกสลาย, h_{de}	1.356×10^6 (J / Kg)
สัมประสิทธิ์การนำความ ร้อนของ PMMA เริ่มต้น, k_s	0.21 ($W / m \cdot K$)
สัมประสิทธิ์การนำความ ร้อนของไอ PMMA, k_g	0.041 ($W / m \cdot K$)
อุณหภูมิไฟโรไลซิส, T_p	673 (K)
อุณหภูมิบรรยากาศ, T_o	298 (K)

Ayani [2] ยังได้ปรับปรุงแบบจำลองของ Suzuki [3] โดยคำนึงถึงอิทธิพลของมุมไฟโรไลซิสในการลามไฟเพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น Ayani ได้เสนอแบบจำลองดังรูปที่ 2 และความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (3) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอัตราการลามของไฟบนแผ่นเชื้อเพลิงแข็ง กล่าวคือ

$$V = \frac{2aq''_s}{\rho[c(T_p - T_o) + h_{de}]} \left(\frac{1}{\delta} \right) + \frac{q''_p}{\rho \sin(\alpha)[c(T_p - T_o) + h_{de}]} \quad (3)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วในการลามของเปลวไฟ (m / s)

a คือ Characteristic length (m)

ρ คือ ความหนาแน่นของแผ่นเชื้อเพลิง (kg / m^3)

C คือ ค่าความจุความร้อนของเชื้อเพลิง ($J / kg \cdot K$)

T_p คือ อุณหภูมิของการไฟโรไลซิส (K)

δ คือ ความหนาของแผ่นเชื้อเพลิง (m)

T_o คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของเชื้อเพลิงที่ยังไม่ติดไฟ (K)

h_{de} คือ เอนโทรปีการแยกสลาย (Enthalpy of degradation)
(J / Kg)

q''_s คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่พื้นผิวไฟโรไลซิส
(W / m^2)

q''_p คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่พื้นผิวด้านหน้าของของ
นำของไฟ (Flame Front) (W / m^2)

เมื่อ $q''_s \cong 5.8 \times 10^4$ W / m^2

$q''_p \cong 2.2 \times 10^4$ W / m^2

เมื่อมุมการวางตัวของแผ่นเชื้อเพลิงเท่ากับ 90 องศา [2]

ค่า q''_s และ q''_p ที่มุมการวางตัวของแผ่นเชื้อเพลิงที่ค่าต่างๆ สามารถหาได้จากการศึกษาของ Ito [4] ซึ่งได้ทำการวัดฟลักซ์ความร้อนระหว่างการลามไฟในกรณีที่มีการจัดวางมุมการเอียงต่างๆ ด้วยเทคนิค Holographic Interferometer

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าคงที่การลามไฟจาก ASTM E 1321

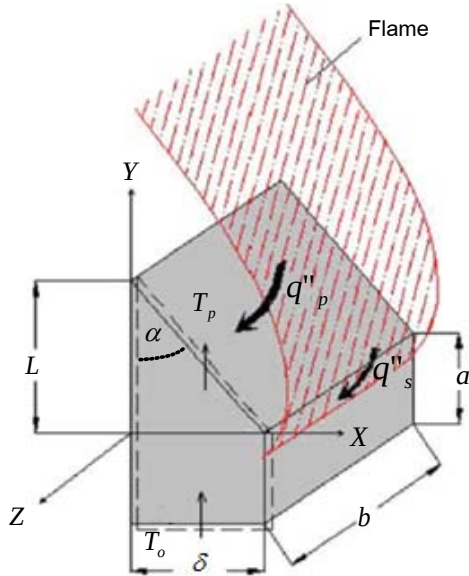
วัสดุ	T_{ig} ($^{\circ}C$)	$k\rho c$ $\left(\frac{kW}{m^2K} \right)^2 s$	ϕ $\left(\frac{kW^2}{m^3} \right)$	$T_{s'min}$ ($^{\circ}C$)
Wood Fiber board	355	0.46	2.3	210
Wood hard board	365	0.88	11.0	40
plywood	390	0.54	13.0	120
PMMA	380	1.0	14.4	<90
Flexible foam plastic	390	0.32	11.7	120
Rigid foam plastic	435	0.03	4.1	215
Acrylic Capet	300	0.42	9.9	165
Wallpaper on plaster board	412	0.57	0.8	240
Asphalt shingle	378	0.70	5.4	140
Glass reinforce plastic	390	0.32	10.0	80

Ayani [2] ยังได้นำผลการทดลองมาพัฒนาได้สมการทำนายความเร็วในการลามไฟอย่างง่ายกล่าวคือ

$$V = 0.1038 \times (1/\delta) + 0.0347 \quad (4)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วการลามไฟ (mm/s)

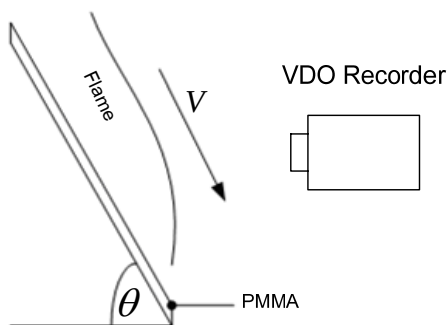
δ คือ ความหนาของแผ่นเชื้อเพลิง (mm)



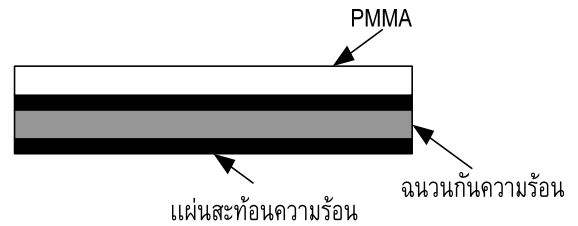
รูปที่ 2 แบบจำลองความร้อนจากเปลวไฟที่ถ่ายเทสู่เชื้อเพลิง [2]

2. การทดลอง

รูปที่ 3 แสดงถึงการจัดวางมุมความเอียง (Incline Angle) ของแผ่นเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้ในการทดสอบ โดยเมื่อมุม θ เท่ากับ 0 องศา หมายถึงการลามของเปลวไฟเมื่อแผ่นเชื้อเพลิงอยู่ในแนวระนาบ และเมื่อมุม θ เท่ากับ 90 องศาหมายถึงแผ่นเชื้อเพลิงวางตัวในแนวตั้ง เพื่อให้สมมุติฐานของการไม่มีความร้อนสูญเสียหรือนำความร้อนเข้าจากด้านหลังของแผ่นเชื้อเพลิงทดสอบ(Adiabatic Condition) ด้านหลังของแผ่นทดสอบจึงถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนแบบฟองน้ำความหนา 1 เซนติเมตร และได้ตรวจสอบคำนวณหาค่าความร้อนสูญเสียบริเวณแผ่นสะท้อนความร้อนพบว่ามิต้น้อยมาก รูปที่ 4 แสดงถึงองค์ประกอบด้านหลังของแผ่นทดสอบดังกล่าว



รูปที่ 3 มุมการจัดวางแผ่นเชื้อเพลิง



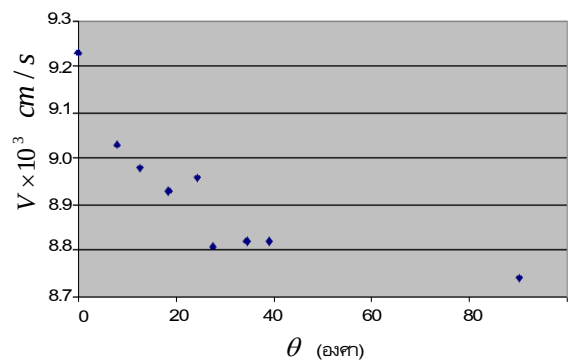
รูปที่ 4 ระบบฉนวนกันความร้อนด้านหลังแผ่นทดสอบ

3. ผลการทดลอง

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของอัตราการลามไฟแบบ Downward ของแผ่นเชื้อเพลิงแข็ง PMMA โดยที่มีอัตราการลามไฟด้านเดียวเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากับ $28^{\circ}C$ และการลามไฟมีสภาวะแวดล้อมแบบลมสงบ (Still Air) โดยไม่มีอิทธิพลของลมจากภายนอกช่วยเสริม (No Wind-Aided Effect) เพื่อสะดวกต่อการสังเกตข้อมูลจากตารางที่ 3 ได้ถูกนำมาแสดงในรูปที่ 5

ตารางที่ 3 การลามของเปลวไฟแบบลง (downward flame spread)

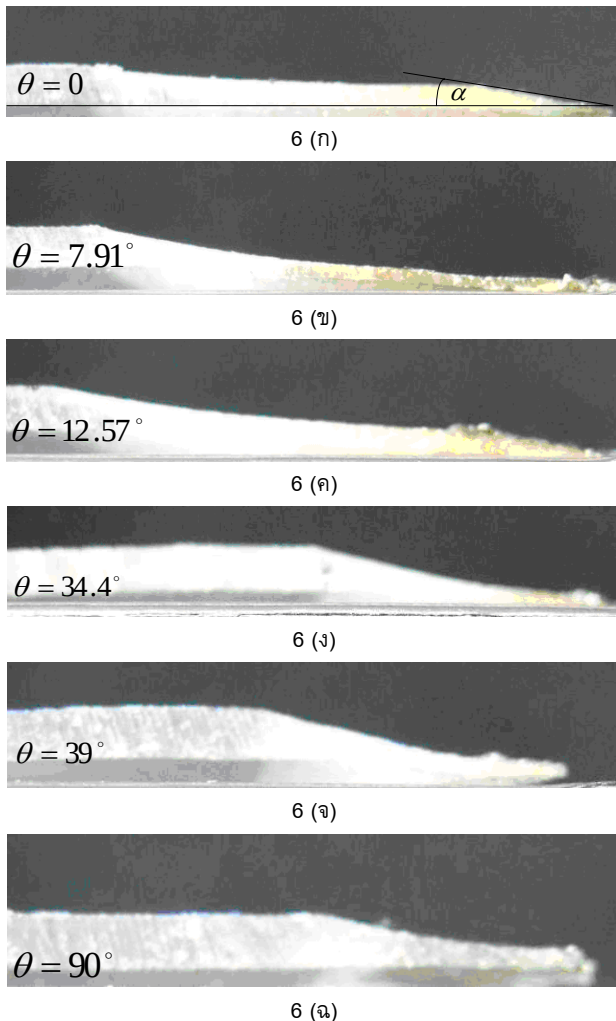
θ (องศา)	$V \times 10^{-3} \text{ cm / s}$
0	9.23
7.91	9.03
12.57	8.98
18.55	8.93
24.22	8.96
27.44	8.81
34.40	8.82
39	8.82
90	8.74



รูปที่ 5 อัตราการลามของเปลวไฟเทียบกับมุม θ การจัดวางที่ได้จากการทดลอง

พื้นผิวของเชื้อเพลิงที่เกิดกระบวนการ Pyrolysis เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการคำนวณการถ่ายโอนความร้อนระหว่างเปลวไฟและเชื้อเพลิง หากเราสามารถทราบถึงพื้นผิว Pyrolysis ที่ถูกต้องจะมีประโยชน์ต่อ

การพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเผาไหม้ และการหาค่าอัตราการลามไฟ รูปที่ 6 แสดงมุมของการเกิดกระบวนการ Thermal decomposition หรือ Pyrolysis ของแผ่น PMMA ของการศึกษานี้ และพบว่ารูปร่างของพื้นผิว Pyrolysis มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (เมื่อเทียบกับสมมุติฐานพื้นผิว Pyrolysis เป็นเส้นตรง) ซึ่งหมายถึงว่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องมีค่าเพิ่มขึ้น มุมไฟโรไลซิสเป็นมุมระหว่างจากระนาบของพื้นผิวไฟโรไลซิสกับระนาบของแผ่นเชื้อเพลิงเป็นตัวบ่งชี้ขนาดพื้นที่ของบริเวณไฟโรไลซิส โดยพื้นที่ของการไฟโรไลซิสจะแปรผกผันกับขนาดของมุมไฟโรไลซิส ตารางที่ 4 เป็นข้อมูลของค่า α (มุมไฟโรไลซิส) เมื่อ θ เปลี่ยนแปลง

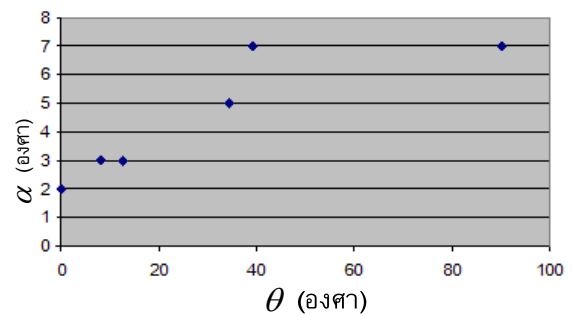


รูปที่ 6 ภาพตัดขวางของพื้นผิวไฟโรไลซิสของแผ่นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4 ค่ามุมไฟโรไลซิส α

θ (องศา)	α (องศา)
0	2
7.91	3
12.57	3
34.4	5
39	7
90	7

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเอียงของแผ่นเชื้อเพลิงถึงระดับหนึ่ง (ประมาณ 40 องศา) จะพบว่ามุม Pyrolysis ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งควรได้รับการค้นคว้าต่อไปในอนาคต



รูปที่ 7 มุมไฟโรไลซิสเมื่อเปลี่ยนค่ามุม θ

4. สรุป

การศึกษาการลามของไฟ เมื่อเชื้อเพลิงแข็งมีการจัดวางตัวในแนวเอียง โดยไฟมีการลามฝั่งเดียว ด้านบนของแผ่นเชื้อเพลิงในสภาพลมสงบนี้ พบว่าอัตราการลามของเปลวไฟแบบลามลงมีค่าความเร็วระหว่าง 8.74 ถึง 9.23×10^{-3} cm/s ซึ่งการลามของไฟจะช้าลงเมื่อความเอียงของแผ่นเชื้อเพลิงชันมากขึ้น อย่างไรก็ตาม สมการการทำนายอัตราการลามไฟของ Ayani [2] ยังมีประโยชน์กล่าวคือสามารถคำนวณได้สะดวกและมีความน่าเชื่อถือ หากพิจารณาถึงพื้นผิวไฟโรไลซิสของการลามไฟแล้วจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า พื้นผิวดังกล่าวมีความโค้งซึ่งส่งผลให้มีความมากกว่าการประมาณ (ผิวเรียบไม่โค้ง) อันจะทำให้ข้อมูลดังกล่าวมีการศึกษาเพื่อพัฒนาความแม่นยำของการทำนายอัตราการลามไฟต่อไป จากการศึกษาพบว่า มุมไฟโรไลซิสมีการเปลี่ยนแปลงคือเมื่อ แผ่นเชื้อเพลิงมีค่าความชันในระยะเริ่มต้นคือ $\theta \leq 40$ องศา อย่างไรก็ตามผลกระทบของมุมไฟโรไลซิสต่อการถ่ายโอนความร้อนระหว่างเปลวไฟและผิวของเชื้อเพลิงยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณและสถานที่

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] James G. Quintiere. 1998, Principle of Fire Behaviour, Delmar Publishers.
- [2] M.B. Ayani, 2006. " Downward Flame Spread over PMMA Sheet in Quiescent Air: Experimental and Theoretical Studies," Fire Safety Journal V.41, P.164-169
- [3] M. Suzuki, 1994. "Behaviour of Fires Spread Downward Over Thick Paper," In: Proceedings of the 25th symposium (international) on combustion. The Combustion Institute 1994. p. 1439 - 1446

- [4] A. Ito and T. Kashiwagi, 1988." Characterization of Flame Spread Over PMMA Using Holographic Interferometer Sample Orientation Effects," Combustion and Flame, V.71, p. 189 - 204