



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

การศึกษาเชิงทดลองการลุกไหม้ได้เองของซังข้าวโพด
An Experimental Study of Spontaneous Ignition of Corncob

วิทัศน์ พรหมมี (Witat Prommee)¹ ชัยยการ จันทร์สุวรรณ (Chaiyakon Jansuwan)² ณัฐศักดิ์ บุญมี (Nathasak Boonmee)³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาเชิงทดลองการลุกไหม้ได้เองของซังข้าวโพด โดยใช้ทฤษฎีของ Frank-Kamenetskii ในการหาค่าคุณสมบัติการจุดติดไฟด้วยตัวเองของซังข้าวโพดและประมาณหาขนาดกองเก็บซังข้าวโพดที่ไม่ทำให้เกิดการติดไฟ ในทดลองนำภาชนะใส่ซังข้าวโพดทดสอบ 2 รูปทรง แต่ละรูปทรงมี 3 ขนาด ได้แก่ ภาชนะรูปทรงลูกบาศก์ขนาดความยาว ด้าน 5 , 6.5 และ 8 เซนติเมตร ภาชนะรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 , 7 และ 8 เซนติเมตร นำภาชนะทดสอบ เข้าไปในตู้อบเพื่อหาอุณหภูมิจุดติดไฟของซังข้าวโพด จากการทดลอง สามารถวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติการลุกไหม้ได้เองของ ซังข้าวโพด สร้างกราฟความสัมพันธ์ของขนาดรูปทรงภาชนะใส่ซังข้าวโพดและอุณหภูมิและนำผลวิเคราะห์มาประยุกต์กับการ ประมาณขนาดกองเก็บซังข้าวโพดไม่ติดไฟที่เหมาะสม ได้โดยใช้พื้นที่ใต้เส้นกราฟแสดงขนาดขนาดกองเก็บซังข้าวโพดที่ปลอดภัย ณ.อุณหภูมิต่างๆ

คำสำคัญ คุณสมบัติการลุกไหม้ได้เองของซังข้าวโพด ทฤษฎีของ Frank-Kamenetskii กองเก็บซังข้าวโพดที่ปลอดภัย
ลุกไหม้ได้เอง

¹ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
บางเขน e-mail address: witat.p@ku.ac.th

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
e-mail address: fengckj@ku.ac.th

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
e-mail address: fengnab@ku.ac.th



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference

Abstract

This paper presents the results of an experimental study on the spontaneous ignition of corncobs using Frank-Kamenetskii's theory to determine the self-ignition properties of corn cobs and estimate the size of non-flammable corncob storage piles. In the experiment, two shapes of crushed corncob baskets were tested, each shape had 3 sizes: cube-shaped baskets with side lengths of 5, 6.5, and 8 centimeters, and cylindrical baskets with 5.5, 7, and 8 centimeters in diameter. It can be analyzed to determine the spontaneous ignition properties of corncobs. A graph of the relationship between the size of the corncob basket shape and the temperature was created. The analysis results were applied to estimate the appropriate size of the non- ignition corncob pile. The area under the graph line shows the size of the safe corncob storage pile at various temperatures.



Keywords: Auto-ignition properties of corncobs, Frank-Kamenetskii's theory, Safe corn cob storage, Spontaneous ignition



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

บทนำ

ข้าวโพดนับว่าเป็นพืชสำคัญอันดับสามของโลก รองจากข้าวสาลีและข้าว ข้าวโพดใช้เป็นอาหารทั้งของคนและสัตว์ ในประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพด ประมาณ 8 ล้านไร่ต่อปี ได้ผลผลิตประมาณ 3 ล้านตันต่อปี ซึ่งหลังจากการแปรรูปแล้วจะเหลือซึ่งข้าวโพดเป็นจำนวนมากทำให้เกิดกองซึ่งข้าวโพดขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนี้ยังสามารถนำไปใช้ได้เช่น เฟอร์นิเจอร์ วัสดุก่อสร้าง อาหารสัตว์ ปุ๋ยหมัก เชื้อเพลิงชีวมวล ฯลฯ ที่ผ่านมามีเหตุการณ์ไฟไหม้กองซึ่งข้าวโพดหลายครั้ง ทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีคายความร้อนด้วยตัวเอง จนเกิดการจุดติดไฟแบบการลุกไหม้ได้เอง ผู้วิจัยจึงทำการทดลองหา ขนาดการกองเก็บที่ปลอดภัย เพื่อป้องกันการเกิดการจุดติดไฟได้เองของซึ่งข้าวโพด

วัตถุประสงค์

เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหการเกิดการสะสมความร้อนจากการกองเก็บซึ่งข้าวโพดจนเกิดกระบวนการจุดติดไฟแบบการลุกไหม้ได้เอง ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้แบบการลุกไหม้ได้เองของซึ่งข้าวโพด เพื่อหาคุณสมบัติการจุดติดไฟแบบการลุกไหม้ได้เองของซึ่งข้าวโพด สำหรับใช้ในการประมาณขนาดกองเก็บและเผื่อระวางรวมถึงควบคุมการจัดเก็บในช่วงฤดูที่มีอุณหภูมิที่อาจทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อป้องกันและควบคุมการจุดติดไฟแบบการลุกไหม้ได้เองโดยใช้ทฤษฎีของ Frank-Kamenetskii ในการวิเคราะห์

การศึกษาเชิงทดลองนี้จะพิจารณาปัจจัยทางด้าน ขนาดภาชนะ และ เปรียบเทียบรูปทรงระหว่างทรงลูกบาศก์และทรงกระบอกว่ามีผลกระทบกับคุณสมบัติการเกิดการเผาไหม้แบบการลุกไหม้ได้เองของซึ่งข้าวโพดจากการสะสมความร้อนจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมหรือไม่เท่ากัน โดยไม่พิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อการเกิดกระบวนการจุดติดไฟแบบการลุกไหม้ได้เองของซึ่งข้าวโพด เช่น ความพรุน ความชื้น ความหนาแน่น และการปนเปื้อน เป็นต้น

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิเคราะห์การลุกไหม้ได้เองของ Frank-Kamenetskii จะวิเคราะห์ตัวเลข Damkohler (δ) ซึ่งตัวเลขนี้หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานเคมีเนื่องจากการเผาไหม้ต่อพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการนำความร้อน โดยตัวเลข Damkohler (δ) เป็นฟังก์ชันของขนาดและอุณหภูมิ ซึ่งสามารถเขียนได้ในเทอมสมการที่ (1)

$$\delta = \left(\frac{E}{\bar{R}T_\infty} \right) \left[\frac{r_0^2 (A \Delta h_c) e^{-\frac{E}{\bar{R}T_\infty}}}{kT_\infty} \right] \quad (1)$$

เมื่อ A คือ Pre-exponent factor, Δh_c คือ ความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง, E คือ พลังงานกระตุ้น, $\bar{R}$ คือค่าคงที่ของแก๊ส, T_∞ คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และ r_0 คือ ขนาด (James G, Quintiere, 2006)

Bi คือ ตัวเลข Biot หมายถึงอัตราส่วนระหว่างการพาความร้อนต่อการนำความร้อน ที่ผิวของเชื้อเพลิง โดย ตัวเลข Bi มีค่าเท่ากับ $Bi = h/(k/r_0)$

เมื่อ h คือ การพาความร้อน, k/r_0 คือ การนำความร้อน (James G, Quintiere, 2006)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference

ตัวเลข Damkohler จากสมการที่ (1) มีเทอมที่แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ได้แก่ $\frac{E}{R}$ และ $\frac{A\Delta h_c}{k}$ ซึ่ง 2 เทอมนี้ไม่ขึ้นกับขนาดรูปทรงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยถ้านำเชื้อเพลิงทดสอบมาควบคุมอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมด้วยตู้บซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงมากๆ (อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเท่ากับอุณหภูมิผิวเชื้อเพลิงทดสอบ $T_s = T_\infty$ เป็นผลให้ $Bi \rightarrow \infty$) เราสามารถคำนวณหาค่า $\frac{E}{R}$ และ $\frac{A\Delta h_c}{k}$ ได้จากผลการทดลองหาอุณหภูมิจุดติดไฟได้เอง T_{ig} ของชั้นเชื้อเพลิงทดสอบในภาชนะบรรจุรูปทรงลูกบาศก์ที่ขนาด r_o แตกต่างกัน

จัดรูปสมการที่ (1) ใหม่และหาค่าล็อกทั้งสองข้างของสมการ จะได้ตามสมการที่ (2) ซึ่งสามารถเทียบกับสมการเส้นตรง $y = mx + c$ เมื่อ m คือความชัน และ c คือ จุดตัดแกน y

$$\ln \left[\delta_c \left(\frac{T_{ig}^2}{r_o^2} \right) \right] = - \left(\frac{E}{R} \right) \frac{1}{T_{ig}} + \ln \left[\left(\frac{E}{R} \right) \left(\frac{A\Delta h_c}{k} \right) \right] \quad (2)$$

จากนั้นจะได้สมการตัวเลข Damkohler ซึ่งจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าตัวเลข Damkohler วิกฤต โดยถ้าตัวเลข Damkohler ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าตัวเลข Damkohler วิกฤต ก็แสดงว่าเกิดการลุกไหม้ติดไฟด้วยตัวเอง

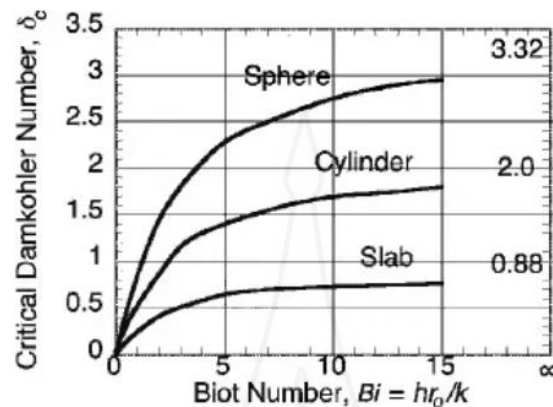
ตัวเลข Damkohler วิกฤต δ_c เป็นตัวเลขไร้มิติซึ่งแสดงถึงสภาวะวิกฤต เมื่ออัตราการปล่อยพลังงานความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีภายในก้อนเชื้อเพลิงมีค่ามากกว่าอัตราการสูญเสียความร้อนที่ผิวเชื้อเพลิง ซึ่งถ้าค่า Damkohler มากกว่าค่าวิกฤตแสดงว่าจะมีความร้อนสะสมอยู่ในก้อนเชื้อเพลิงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนนำไปสู่การจุดติดไฟแบบ สฟอนเทเนียส ได้ ที่สภาวะที่การพาความร้อนที่ผิวเชื้อเพลิงมีค่าสูงมากๆ จะทำให้อัตราส่วนการพาต่อการนำความร้อน ($Bi \rightarrow \infty$) ตัวเลข Damkohler วิกฤตจะมีค่าขึ้นกับรูปทรงเรขาคณิตของก้อนเชื้อเพลิงเท่านั้น ในกรณีของก้อนเชื้อเพลิงรูปทรงลูกบาศก์ เลข Damkohler วิกฤตจะมีค่าเท่ากับ 2.52 แต่สำหรับก้อนเชื้อเพลิงรูปทรงกระบอก ค่า Damkohler วิกฤตสามารถคำนวณตามสมการที่ (3)

$$\delta_c = 2.0 + 0.841 \left(\frac{r_o}{l_o} \right)^2 \quad (3)$$

เมื่อ r_o คือ รัศมี และ l_o คือ ครึ่งหนึ่งของความสูง (Robert G, Zalosh, 2002)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 1 ค่า Damkohler วิกฤต δ_c แปรผันตามรูปทรงและตัวเลข Bi (James G, Quintiere, 2006)

ตารางที่ 1 แสดงค่า Damkohler วิกฤต δ_c สำหรับรูปทรงต่างๆ (James G, Quintiere, 2006)

รูปทรง	Critical Damkohler Number (δ_c)
แผ่นหนา $2r_0$	0.88
ทรงกระบอกรัศมี r_0 ยาว ∞	2.0
ทรงกระบอกรัศมี r_0 ยาว $2l_0$	$2.0 + 0.841(r_0/l_0)^2$
ทรงกลมรัศมี r_0	3.32
ลูกบาศก์ ด้านยาว $2r_0$	2.52
กล่องสี่เหลี่ยมขนาด $2l_0 \times 2a_0 \times 2b_0$	$0.873[1 + (l_0/a_0)^2 + (l_0/b_0)^2]$
โดย ($l_0 < a_0, b_0$)	

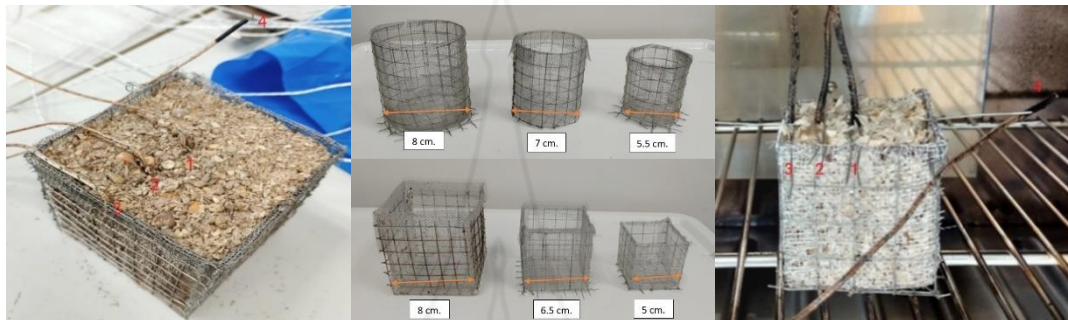
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองหาอุณหภูมิการลุกไหม้ได้เองของซังข้าวโพด ดำเนินการโดยเริ่มจากการสุ่มเก็บตัวอย่างจากกองเก็บซังข้าวโพด ณ โรงสีข้าวโพดแห่งหนึ่ง จ.หนองบัวลำภู เพื่อใช้เป็นวัสดุทดสอบ โดยกำหนด ความหนาแน่น และ ความชื้น เป็นตัวแปรควบคุม กำหนดภาชนะบรรจุ (Basket) รูปทรง ลูกบาศก์มีความยาวด้าน 5 , 6.5 และ 8 เซนติเมตร และ ทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 , 7 และ 8 เซนติเมตรแล้ว ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ Thermocouple K-Type จำนวน 4 จุด ได้แก่ กึ่งกลางชั้นทดสอบ ระหว่างกึ่งกลางกับผิวด้านนอกชั้นทดสอบ ผิวด้านนอกชั้นทดสอบ และภายในตู้อบ ตาม ภาพที่ 2 จากนั้นนำชั้นทดสอบเข้าตู้อบ ตั้งค่าตู้อบให้ทำงาน ตามอุณหภูมิที่กำหนด โดยปรับเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 1 องศาเซลเซียส โดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อหาค่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ณ จุดที่ ทำให้อุณหภูมิที่กึ่งกลางของชั้นทดสอบมีค่ามากกว่า



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

อุณหภูมิผิวของชั้นทดสอบและเกิดการลุกไหม้ได้เอง (T_{ig}) โดยตั้งการหมุนเวียนอากาศไว้ ให้มากที่สุด เพื่อให้การพาความร้อนมีค่าสูง ($Bi = \infty$) ซึ่งยืนยันได้จากค่า $T_s = T_{oven}$



ภาพที่ 2 ตัวอย่างซังข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง ภาพขณะบรรจุวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และ ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 2 ตารางน้ำหนักเพื่อกำหนดความหนาแน่นซังข้าวโพดในภาชนะบรรจุรูปทรงลูกบาศก์

Cube sample	size			Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)	Weight (g)
	Width (cm)	Length (cm)	Height (cm)			
1	5	5	5	125	0.376	47
2	6.5	6.5	6.5	275	0.376	103
3	8	8	8	512	0.376	193

ตารางที่ 3 ตารางน้ำหนักเพื่อกำหนดความหนาแน่นซังข้าวโพดในภาชนะบรรจุรูปทรงกระบอก

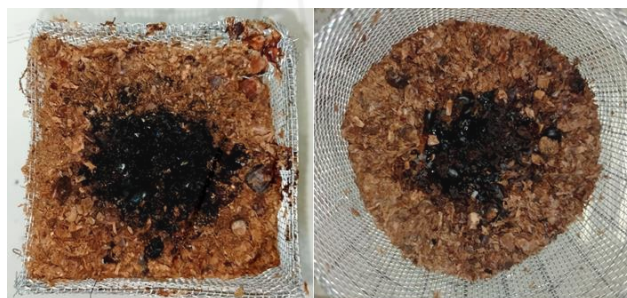
cylinder sample	size		Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)	Weight (g)
	Diameter (cm)	Height (cm)			
1	5.5	5.5	131	0.376	49
2	7	7	269	0.376	101
3	8	8	402	0.376	151



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

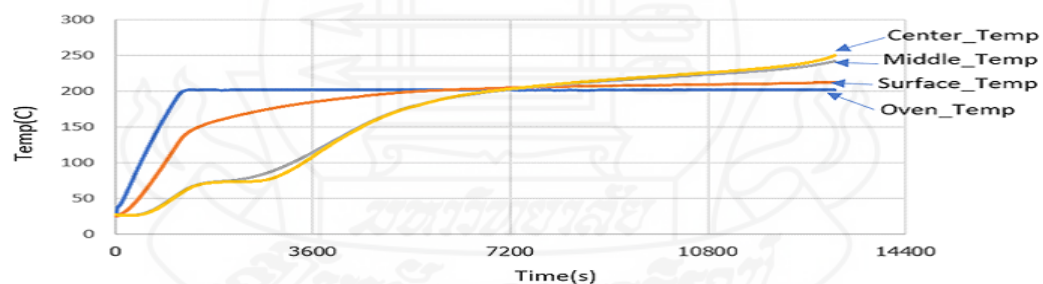
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ชั้นทดสอบที่เกิดการลุกติดไฟแบบสฟอนเทเนียส จะพบว่าเนื้อวัสดุใช้ทดสอบบริเวณกึ่งกลางเปลี่ยนเป็นสีดำ ดังแสดงใน ภาพที่ 3 เนื่องจากการเกิดกระบวนการไพโรไลซิสภายในชั้นทดสอบ ลักษณะการขยายเป็นวงกว้างรอบจุดกึ่งกลาง สู่ผิวชั้นงาน ส่วนเนื้อวัสดุทดสอบที่ยังไม่เปลี่ยนเป็นสีดำจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนทดสอบ

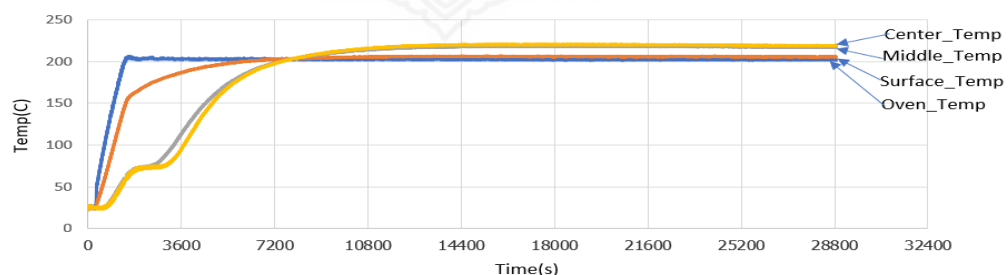


ภาพที่ 3 ตัวอย่างซังข้าวโพดที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง

จากภาพที่ 3 ในช่วงเวลาการทดลอง ชั้นทดสอบจะได้รับพลังงานสะสมจน จุดกึ่งกลางวัสดุมีอุณหภูมิเท่ากับของเตาอบ (อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการติดไฟ) จะสังเกตได้ว่าจุดที่เกิดการลุกไหม้จะเกิดตรงกึ่งกลางของภาชนะทดสอบ เนื่องจากเนื้อวัสดุ ตรงส่วนนี้คายความร้อนได้ช้าที่สุดจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ก่อนส่วนอื่นๆ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงตัวอย่างซังข้าวโพดที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาชนะลูกบาศก์ขนาด 5 cm.



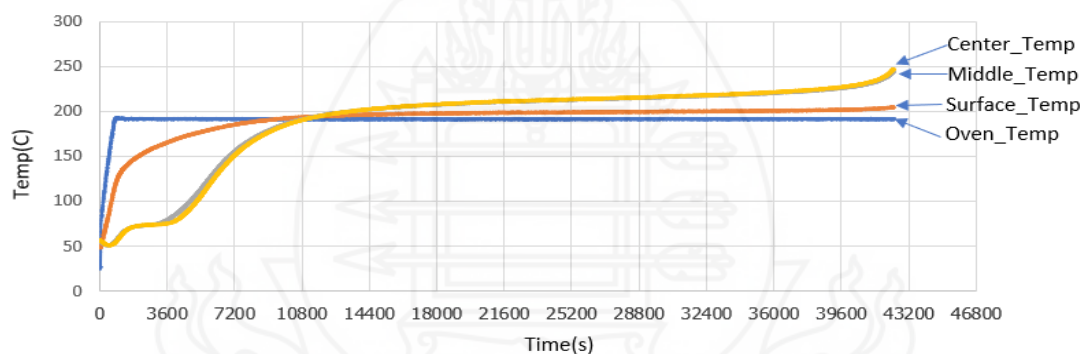
ภาพที่ 5 กราฟแสดงตัวอย่างซังข้าวโพดที่ไม่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาชนะลูกบาศก์ขนาด 5 cm.



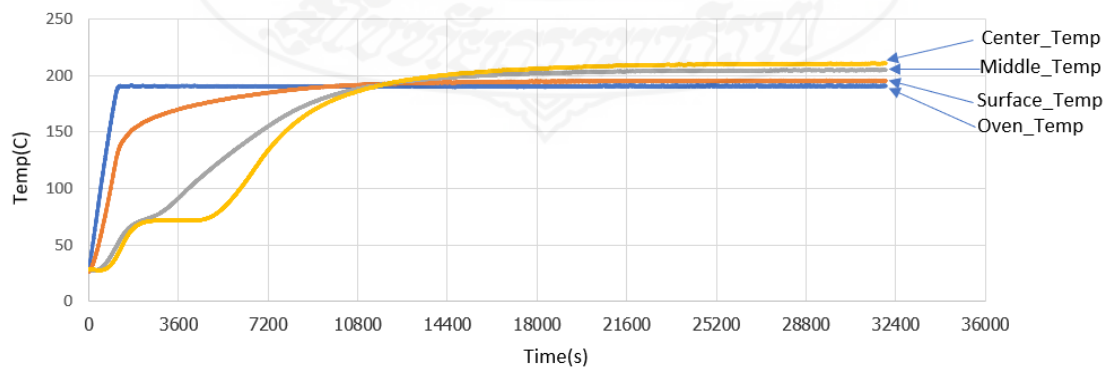
การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 4 บันทึกผลการทดลองขึ้นทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ที่มีความยาวด้านขนาด 5.0 เซนติเมตร

No	Size			Weight (cm)	Oven temperature (c)	Ignition results
	Width (cm)	Length (cm)	Height (cm)			
1	5	5	5	47	200	Not Ignite
2	5	5	5	47	200	Not Ignite
3	5	5	5	47	201	Ignite
4	5	5	5	47	201	Ignite
5	5	5	5	47	203	Ignite
6	5	5	5	47	204	Ignite



ภาพที่ 6 กราฟแสดงตัวอย่างซึ่งข้าวโพดที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะลูกบาศก์ขนาด 6.5 cm



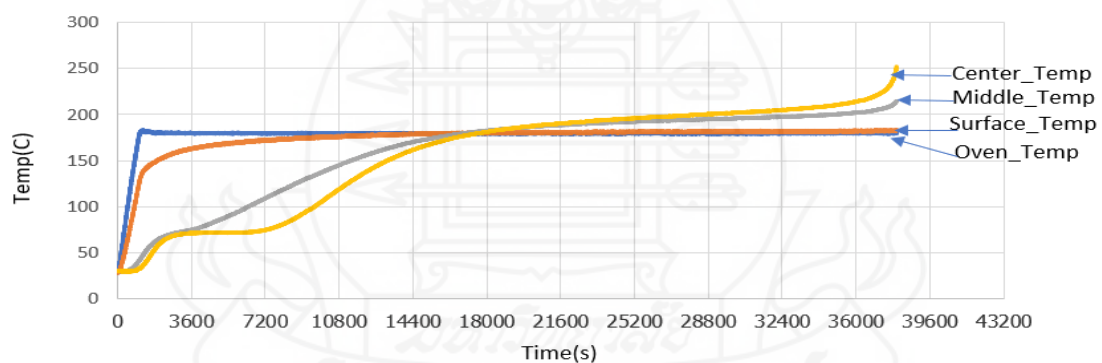
ภาพที่ 7 กราฟแสดงตัวอย่างซึ่งข้าวโพดที่ไม่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะลูกบาศก์ขนาด 6.5 cm



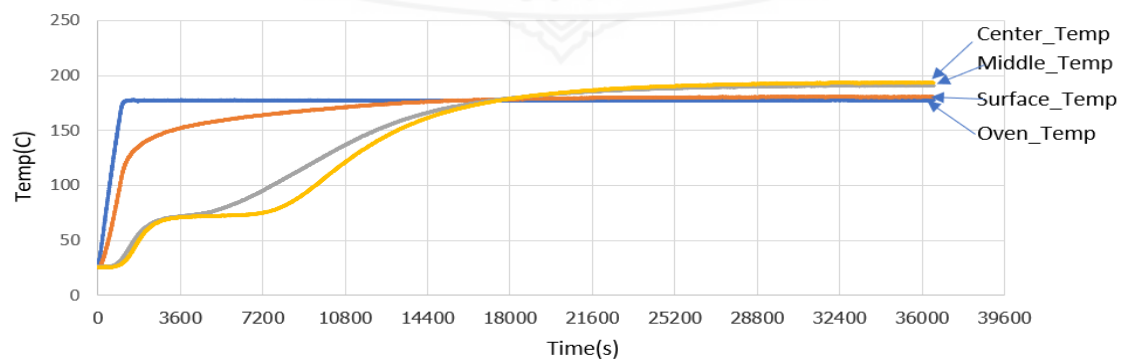
การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 5 บันทึกผลการทดลองขึ้นทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ที่มีความยาวด้านขนาด 6.5 เซนติเมตร

No	Size			Weight (cm)	Oven temperature (c)	Ignition results
	Width (cm)	Length (cm)	Height (cm)			
1	6.5	6.5	6.5	103	188	Not Ignite
2	6.5	6.5	6.5	103	189	Not Ignite
3	6.5	6.5	6.5	103	189	Not Ignite
4	6.5	6.5	6.5	103	190	Ignite
5	6.5	6.5	6.5	103	190	Ignite
6	6.5	6.5	6.5	103	191	Ignite
7	6.5	6.5	6.5	103	192	Ignite
8	6.5	6.5	6.5	103	194	Ignite



ภาพที่ 8 กราฟแสดงตัวอย่างช่วงช่วงไฟที่เกิดขึ้นจากการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะลูกบาศก์ขนาด 8 cm



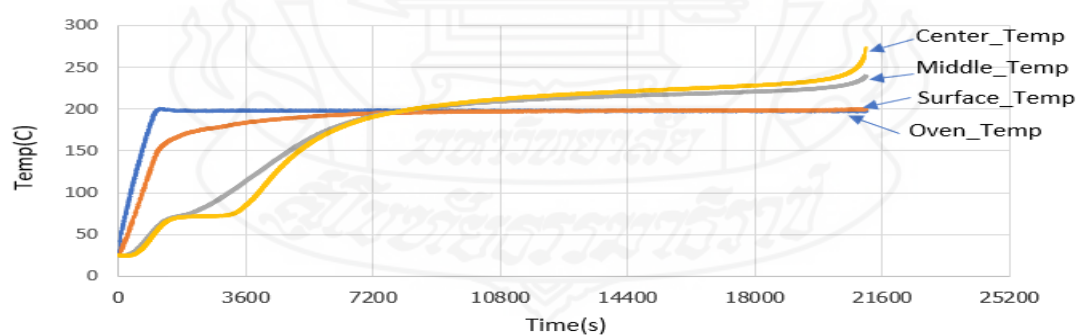
ภาพที่ 9 กราฟแสดงตัวอย่างช่วงช่วงไฟที่ไม่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะลูกบาศก์ขนาด 8 cm



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 6 บันทึกผลการทดลองขึ้นทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ที่มีความยาวด้านขนาด 8.0 เซนติเมตร

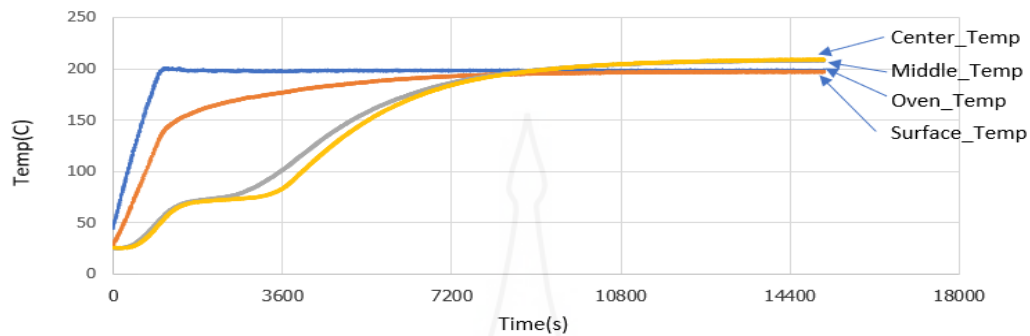
No	Size			Weight (cm)	Oven temperature (c)	Ignition results
	Width (cm)	Length (cm)	Height (cm)			
1	8	8	8	193	176	Not Ignite
2	8	8	8	193	176	Not Ignite
3	8	8	8	193	177	Ignite
4	8	8	8	193	177	Ignite
5	8	8	8	193	180	Ignite
6	8	8	8	193	181	Ignite
7	8	8	8	193	183	Not Ignite
8	8	8	8	193	184	Ignite
9	8	8	8	193	185	Ignite
10	8	8	8	193	186	Ignite
10	8	8	8	193	188	Ignite



ภาพที่ 10 กราฟแสดงตัวอย่างซึ่งข้าวโพดที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะรูปทรงกระบอกขนาด 5.5 cm



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 11 กราฟแสดงตัวอย่างชั่งข้าวโพดที่ไม่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะรูปทรงกระบอกขนาด 5.5 cm

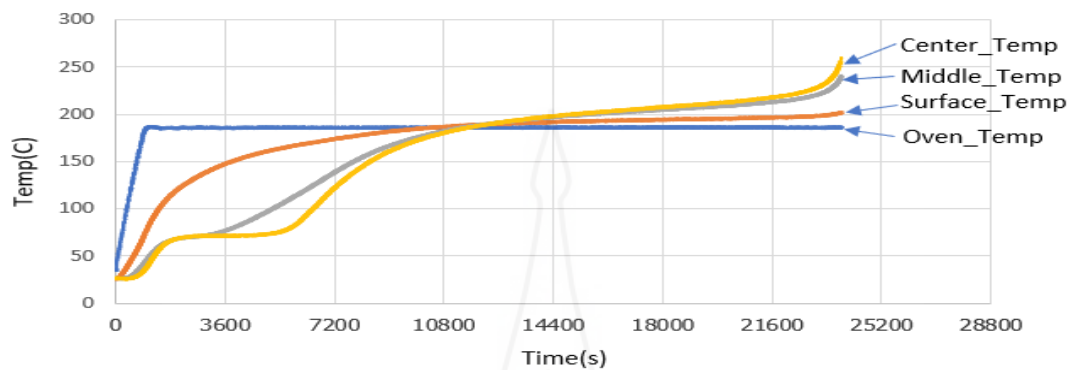
ตารางที่ 7 บันทึกผลการทดลองขึ้นทดสอบรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ ความสูงขนาด 5.5 เซนติเมตร

No	Diameter (cm)	Size		Oven temperature (c)	Ignition results
		Height (cm)	Weight (cm)		
1	5.5	5.5	49	188	Not Ignite
2	5.5	5.5	49	189	Not Ignite
3	5.5	5.5	49	189	Not Ignite
4	5.5	5.5	49	190	Not Ignite
5	5.5	5.5	49	190	Not Ignite
6	5.5	5.5	49	191	Not Ignite
7	5.5	5.5	49	192	Not Ignite
8	5.5	5.5	49	193	Not Ignite
9	5.5	5.5	49	194	Not Ignite
10	5.5	5.5	49	194	Not Ignite
11	5.5	5.5	49	195	Ignite
12	5.5	5.5	49	195	Ignite
13	5.5	5.5	49	197	Ignite

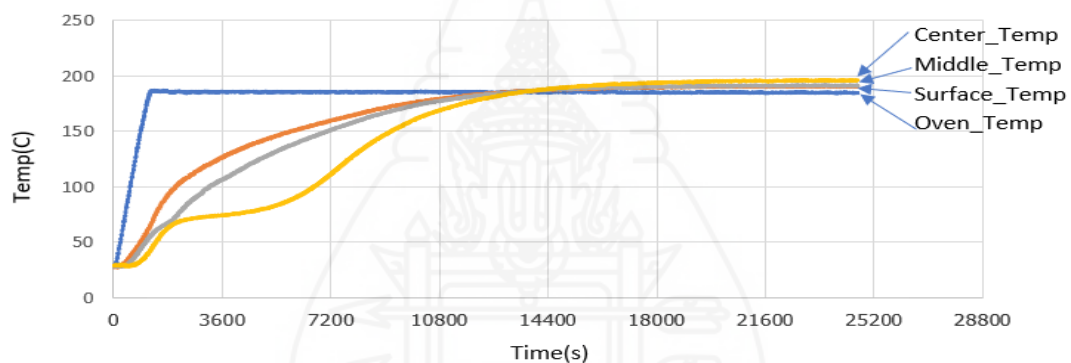


การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 12 กราฟแสดงตัวอย่างขังข้าวโพดที่ไม่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะรูปทรงกระบอกขนาด 7 cm



ภาพที่ 13 กราฟแสดงตัวอย่างขังข้าวโพดที่ไม่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะรูปทรงกระบอกขนาด 7 cm

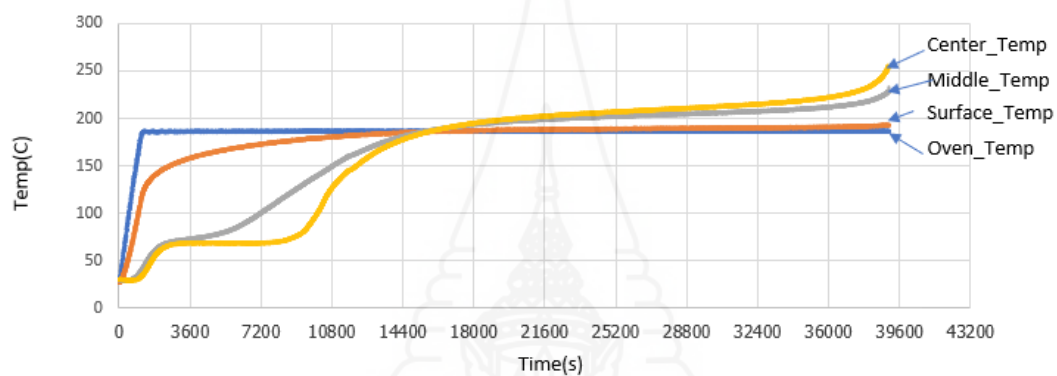
ตารางที่ 8 บันทึกผลการทดลองขึ้นทดสอบรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ ความสูงขนาด 7 เซนติเมตร

No	Size		Weight (cm)	Oven temperature (c)	Ignition results
	Diameter (cm)	Height (cm)			
1	7	7	101	184	Not Ignite
2	7	7	101	184	Not Ignite
3	7	7	101	185	Not Ignite
4	7	7	101	185	Ignite
5	7	7	101	186	Not Ignite
5	7	7	101	186	Ignite

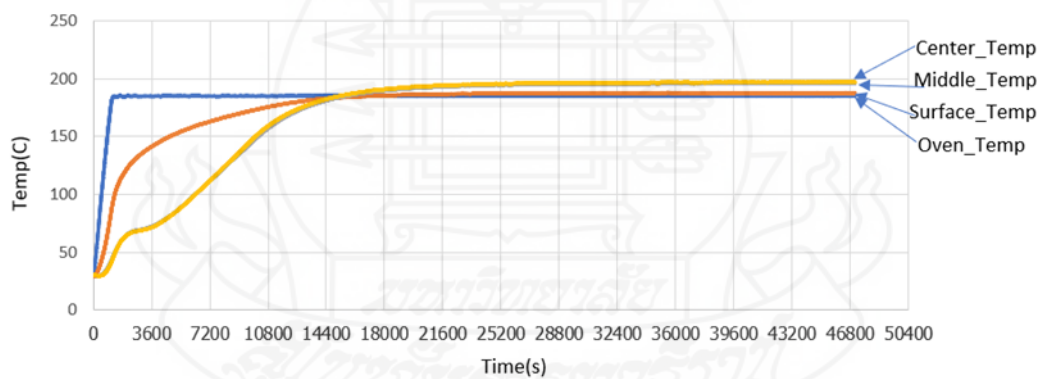


การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

6	7	7	101	187	Ignite
7	7	7	101	187	Ignite
8	7	7	101	188	Not Ignite
9	7	7	101	188	Ignite
10	7	7	101	189	Not Ignite



ภาพที่ 14 กราฟแสดงตัวอย่างซึ่งข้าวโพดที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะรูปทรงกระบอกขนาด 8 cm



ภาพที่ 15 กราฟแสดงตัวอย่างซึ่งข้าวโพดที่ไม่เกิดการลุกไหม้ได้เอง, ภาพขณะรูปทรงกระบอกขนาด 8 cm



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ตารางที่ 9 บันทึกผลการทดลองขึ้นทดสอบรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับความสูงขนาด 8 เซนติเมตร

No	Diameter (cm)	Size		Oven temperature (c)	Ignition results
		Height (cm)	Weight (cm)		
1	8	8	151	183	Not Ignite
2	8	8	151	184	Not Ignite
3	8	8	151	184	Not Ignite
4	8	8	151	185	Ignite
5	8	8	151	185	Ignite

หาค่า $\frac{E}{R}$ และ $\frac{A\Delta h_c}{k}$

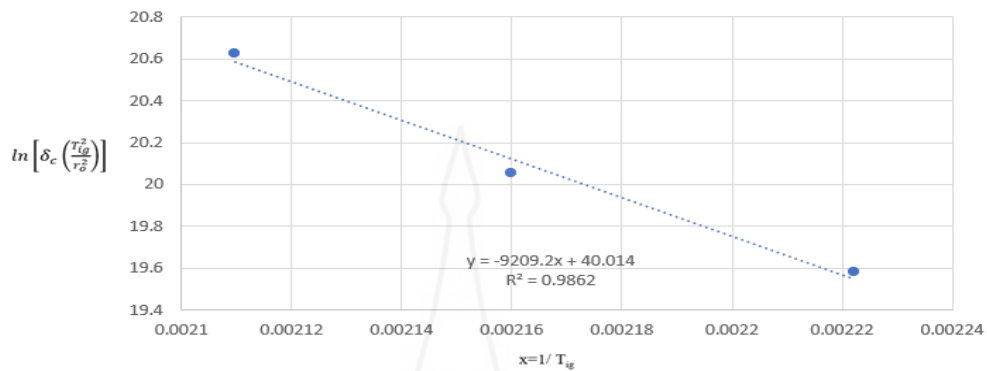
คำนวณหาค่า $\frac{E}{R}$ และ $\frac{A\Delta h_c}{k}$ จากค่า T_{ig} ที่ได้จากการทดลอง ตาม ตารางที่ 10 สำหรับชิ้นงานทดสอบทรงลูกบาศก์ และตารางที่ 11 สำหรับชิ้นงานทดสอบทรงกระบอก ได้กราฟและสมการเส้นตรง

ตารางที่ 10 ผลการทดลองขึ้นงานทดสอบทรงลูกบาศก์ที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง

Cube 2l _o (cm.)	l _o (m.)	T _{ig} (°C)	T _{ig} (°K)	δ_c	$y = \ln \left[\delta_c \left(\frac{T_{ig}^2}{r_o^2} \right) \right]$	x=1/ T _{ig}
5.0	0.025	201	474	2.52	20.62	0.00211
6.5	0.0325	190	463	2.52	20.05	0.00216
8.0	0.04	177	450	2.52	19.58	0.00222



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 16 สมการเชิงเส้นของชิ้นงานทดสอบทรงลูกบาศก์ที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง

จาก ภาพที่ 16 ความชันของกราฟคือค่า $\frac{E}{R}$ มีค่าเท่ากับ 9209 K และ $\frac{A\Delta h_c}{k}$ มีค่าเท่ากับ $2.582 \times 10^{13} \text{ K/m}^2$ สามารถเขียน สมการหาค่า Damkohler ตามสมการที่ 4

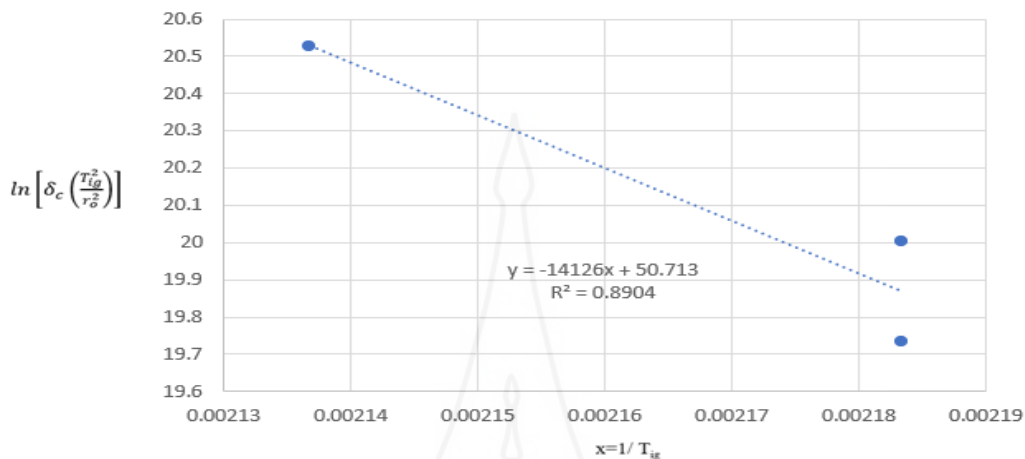
$$\delta = 2.378 \times 10^{17} \left[\frac{l_o^2}{T_{\infty}^2} \right] e^{-9209/T_{\infty}} \quad (4)$$

ตารางที่ 11 ผลการทดลองชิ้นงานทดสอบทรงกระบอกที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง

Cylinder 2r _o , 2l _o (cm.)	r _o , l _o (m.)	T _{ig} (°C)	T _{ig} (°K)	δ_c	$y = \ln \left[\delta_c \left(\frac{T_{ig}^2}{r_o^2} \right) \right]$	$x = 1/T_{ig}$
5.5	0.0275	195	468	2.84	20.53	0.00214
7.0	0.035	185	458	2.84	20.00	0.00218
8.0	0.04	185	458	2.84	19.74	0.00228



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 17 สมการเชิงเส้นของชั้นงานทดสอบทรงกระบอกที่เกิดการลุกไหม้ได้เอง

จาก ภาพที่ 17 ความชันของกราฟคือค่า $\frac{E}{R}$ มีค่าเท่ากับ 14126 K และ $\frac{A\Delta h_c}{k}$ มีค่าเท่ากับ $7.465 \times 10^{17} \text{ K/m}^2$ สามารถเขียน สมการหาค่า Damkohler ตามสมการที่ 5

$$\delta = 1.055 \times 10^{22} \left[\frac{r_0^2}{T_\infty^2} \right] e^{-14126/T_\infty} \quad (5)$$

เปรียบเทียบพลังงานกระตุ้น (Activation Energy : E)

จาก ตารางที่ 4 พบว่าค่า E (Activation Energy) มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งเป็นค่าที่ เปรียบเทียบกันระหว่าง การทดลองของชั้นทดสอบรูปทรงกระบอก และทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นคาดว่าเป็นผลจากการใช้วัสดุที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น ลักษณะความพรุน ความหนาแน่น วิธีการจัดเก็บ และการปนเปื้อน หากนำค่าที่ได้ไปประเมินลักษณะการกองเก็บที่ปลอดภัยควรใช้ ค่าพลังงานกระตุ้นที่ต่ำกว่า เพราะ จะเกิดการลุกไหม้ได้เองก่อน

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบค่า พลังงานกระตุ้น (E : Activation Energy)

Method	Basket Shape	$E/\bar{R}$ (K)	E (kJ/mol)	Reference
Frank-Kamenetskii	Cube	9209	76.53	experiment
Frank-Kamenetskii	Cylinder	14126	117.39	experiment



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

การประเมินลักษณะการกองเก็บที่ปลอดภัยจากการลัดไฟแบบสพอนเทเนียส

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ว่า หากค่า δ มากกว่า δc เป็นเงื่อนไขในการเกิดการลัดไฟแบบสพอนเทเนียส ดังนั้นสามารถประเมินการกองเก็บที่ปลอดภัยได้จากการออกแบบการกองเก็บในลักษณะที่มี δ น้อยกว่า δc โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) และ (7)

ทรงสี่เหลี่ยมขนาด $2l_0 \times 2a_0 \times 2b_0$ โดย $l_0 < a_0, b_0$

$$0.873 \left[1 + \left(\frac{l_0}{a_0} \right)^2 + \left(\frac{l_0}{b_0} \right)^2 \right] = 2.378 \times 10^{17} \left[\frac{l_0^2}{T_\infty^2} \right] e^{-9209/T_\infty} \quad (6)$$

ทรงกระบอกรัศมี r_0 สูง, $2l_0$

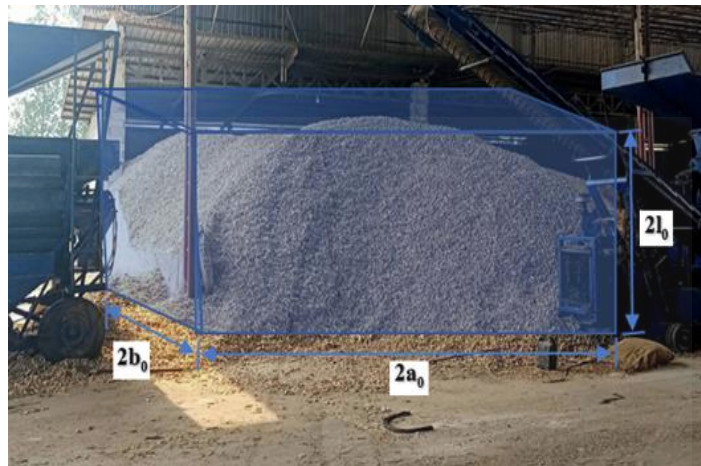
$$2.0 + 0.841 \left(\frac{r_0}{l_0} \right)^2 = 1.055 \times 10^{22} \left[\frac{r_0^2}{T_\infty^2} \right] e^{-14126/T_\infty} \quad (7)$$

จาก ภาพที่ 19 และ ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดการลัดไฟแบบสพอนเทเนียสกับขนาดกองเก็บซึ่งข่าวโพด โดยแสดงอุณหภูมิ ระหว่าง $40^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$ ซึ่ง อุณหภูมิ ประเทศไทยสูงสุดที่ 44.6°C จากกราฟจะเห็นได้ว่าทั้งรูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปทรงกระบอก ขนาดกองเก็บเข้าสู่อนันต์ จึงสามารถกล่าวได้ว่าเมื่อขนาดการกองเก็บใหญ่ขึ้นมากๆ รูปทรงไม่มีผลหรือมีผลน้อยมาก (เส้นกราฟเริ่มคงที่แม้กองเก็บขนาดใหญ่ขึ้น) ในการเกิดการลัดไฟแบบสพอนเทเนียสการประเมินการกองเก็บนั้นสามารถประเมินได้จากกราฟ การกองเก็บใดๆ ที่อยู่ในพื้นที่ใต้กราฟมีความเสี่ยงต่ำในการเกิดการลัดไฟได้เองแบบสพอนเทเนียส เพื่อความปลอดภัย แนะนำขนาดการกองเก็บสูงไม่เกิน 3 เมตร, 2.5 เมตร และ 2 เมตร ในอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 40°C , 45°C และ 50°C ตามลำดับ

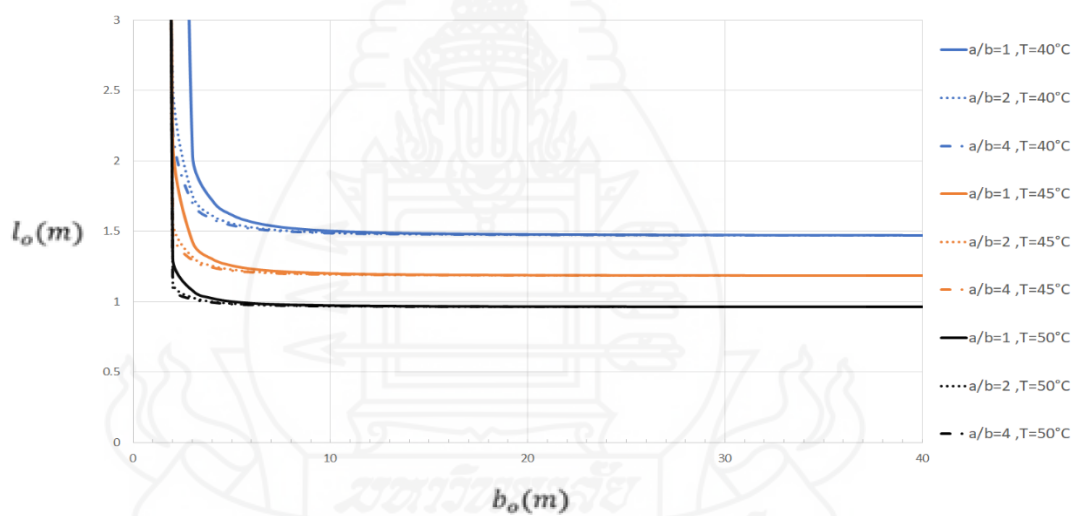


การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference



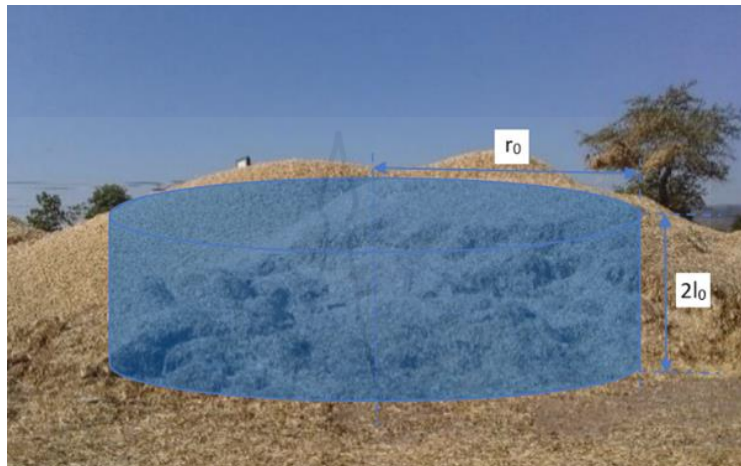
ภาพที่ 18 ขนาดการเก็บรูปทรงสี่เหลี่ยม โดย $2b_0, 2a_0, 2l_0$ (กว้าง, ยาว, สูง)



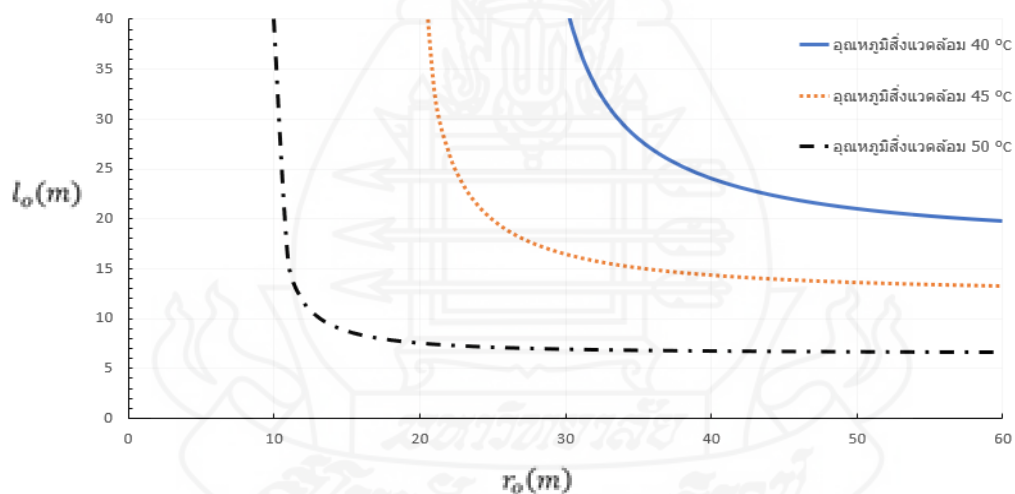
ภาพที่ 19 อุณหภูมิจุดติดไฟได้เองและความสัมพันธ์ของขนาดการเก็บรูปทรงสี่เหลี่ยม



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 20 ขนาดการเก็บรูปทรงกระบอก โดย r_0 คือ รัศมี $2l_0$ คือ ความสูง



ภาพที่ 21 อุณหภูมิจุดติดไฟได้เองและความสัมพันธ์ของขนาดการเก็บรูปทรงกระบอก

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเชิงทดลองการลุกไหม้ได้เองของซังข้าวโพด เพื่อหาคุณสมบัติการลุกไหม้ได้เอง โดยใช้ทฤษฎี ของ *Frank-Kamenetskii* ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยกำหนด รูปทรงลูกบาศก์ และทรงกระบอก ขนาด และอุณหภูมิภายในตู้อบ จะได้ค่า พลังงานกระตุ้น 76.53 kJ/mol สำหรับรูปทรงลูกบาศก์ และ 117.39 kJ/mol สำหรับรูปทรงกระบอก



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ข้อเสนอแนะ

การประเมินการกึ่งเก็บที่ปลอดภัยจากการเกิดการจุดติดไฟได้เอง (ลุกติดไฟแบบสปอนเทเนียส) สามารถประมาณได้จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่กับขนาดกึ่งเก็บซึ่งซ้ำโวด การกึ่งเก็บใดๆ ที่อยู่ในพื้นที่ได้กราฟมีความเสี่ยงต่ำที่จะเกิดการจุดติดไฟได้เอง(ลุกติดไฟแบบสปอนเทเนียส)

การวิจัยนี้ได้แสดงระเบียบวิธีการทดลอง เพื่อหาคุณสมบัติการลุกไหม้ได้เอง โดยใช้ทฤษฎี ของ *Frank-Kamenetskii* ในการวิเคราะห์ สามารถนำไปใช้กับวัสดุอื่นๆ ที่มีลักษณะขึ้นเล็กมีความพรุน และ การกึ่งเก็บขนาดใหญ่ เช่น กึ่งเก็บขยะ กึ่งเก็บกากอ้อย กึ่งเก็บกลบ กึ่งเก็บขี้เลื่อย กึ่งเก็บโยมะพร้าวๆ หรือโซลเก็บผลิตทางการเกษตร เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดการจุดติดไฟได้เอง หากต้องการผลการทดลองที่ใกล้เคียงยิ่งขึ้น ควรใช้วัสดุในที่เก็บกึ่งเก็บสถานที่คาดว่าเสี่ยงต่อการเกิดเหตุเพลิงไหม้ ซึ่งค่าคุณสมบัติการติดไฟ ของกึ่งเก็บวัสดุจะไม่คงที่ซึ่งอาจจะเกิดจาก สายพันธุ์พืช ขนาดวัสดุ ความชื้น การปนเปื้อน และความหนาแน่น เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ณัฐศักดิ์ บุญมี. 2560. พลศาสตร์อัคคีภัย (พิมพ์ครั้งที่2). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เบญจมาศ ทองศรี. 2558. การศึกษาเชิงทดลองการจุดติดไฟแบบสปอนเทเนียสของขี้เลื่อย.

[วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU E-Thesis)

พงษ์ศักดิ์ พงษ์สัมพันธ์. 2558. การศึกษาเชิงทดลองการลุกไหม้ได้เองของกากอ้อย.

[วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU E-Thesis)

เพ็ญอาภา บุญมาดี. 2559. การศึกษาเชิงทดลองการลุกไหม้ได้เองของกลบขาว.

[วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU E-Thesis)

มนตรี เมธาวิวัฒน์. 2562. การศึกษาเชิงทดลองการลุกไหม้ได้เองของกากถั่วเหลือง.

[วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU E-Thesis)

James G. Quintiere. 2006. Fundamentals of Fire Phenomena. John Wiley & Sons Ltd, England.

Robert G. Zalosh. 2002. Industrial Fire Protection Engineering. John Wiley & Sons Ltd, England.