



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาอุปกรณ์สาธิตความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงกว้างการติดไฟ

Developing Equipment for the Relation of Temperature and Flammability Limits

นามผู้วิจัย นางสาวศิริรัชณี ศิริสวัสดิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( อาจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ, วศ.ด. )

ประธานสาขาวิชา

( รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเสรณี, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาอุปกรณ์สาธิตความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงกว้างการติดไฟ

Developing Equipment for the Relation of Temperature and Flammability Limits

โดย

นางสาวศิริรัชณี ศิริสวัสดิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริราชนี้ ศิริสวัสดิ์ 2554: การพัฒนาอุปกรณ์สาธิตความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ  
ช่วงกว้างการติดไฟ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)  
สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ, วศ.ด. 84 หน้า

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยการเรียนรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของช่วงกว้าง  
การติดไฟ ซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิง (ก๊าซหุงต้ม) กับการลุกไหม้  
ของไฟ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถใช้เป็นสื่อการสอนทดลองการเผาไหม้ให้เห็นภาพชัดเจน  
ยิ่งขึ้น (ณัฐธัญ, 2550) นอกเหนือจากการเรียนในตำราเกี่ยวกับการป้องกันอัคคีภัย โดยดำเนินการ  
พัฒนาอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มี  
ผลต่อช่วงกว้างการติดไฟของก๊าซหุงต้ม (LPG) โดยการเพิ่มอุปกรณ์สร้างความร้อน (Heater) และ  
อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิภายในตู้ (Thermocouple) นอกนั้นยังลดขนาดตู้ให้เล็กลงมีขนาดความกว้าง  
25 เซนติเมตร ความยาว 40 เซนติเมตร และความสูง 20 เซนติเมตร คำนวณเป็นปริมาตรเท่ากับ  
20,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรหรือ 20 ลิตร เพื่อลดโอกาสที่จะทำให้ผลการทดลองคาดเคลื่อนเพราะ  
ขนาดตู้ที่ใหญ่จะทำให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศกระจายไม่ทั่วถึงทั้งตู้ โครงสร้างทั้งหมดของ  
อุปกรณ์ทำจากสแตนเลสสตีล (Stainless Steel) และส่วนที่ต้องการให้สามารถมองเห็นขณะทำ  
การทดสอบจะใช้กระจกใสติดฟิล์มนิรภัยเพื่อลดอันตรายในกรณีแรงดันจากการระเบิดภายในตู้  
มีผลทำให้กระจกแตก

การทดลองด้วยอุปกรณ์จะแสดงค่าที่เปลี่ยนของช่วงกว้างการติดไฟของก๊าซหุงต้ม  
เมื่อมีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิโดยทำการเปรียบเทียบกับทฤษฎีของ Burgess-Wheeler Law  
ซึ่งระบุว่าค่า LFL และ UFL มีความสัมพันธ์กับสารเคมีกลุ่ม Paraffin Hydrocarbon (Alkane)  
เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่จุดใดๆ ผลการทดสอบพบว่ามีความสอดคล้องกัน ทั้งนี้ยังมีอีกหลายทฤษฎี  
ที่เกี่ยวกับลุกไหม้และการลามไฟที่น่าทำการศึกษาทดลอง โดยสามารถใช้อุปกรณ์นี้นำไปพัฒนา  
ต่อยอดเพื่อทำการทดลองต่อไป เพื่อเป็นการพัฒนาและยกระดับความรู้ในการป้องกันและ  
ระงับเหตุอัคคีภัยในประเทศไทย

Siriratchanee Sirisawat 2011: Developing Equipment for the Relation of Temperature and Flammability Limits. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Mr. Supat Patvichaichod, Ph.D. 84 pages.

The objective of this research was to develop a flammability limit behavior learning equipment which was designed to study the relation between fuel gas (LPG) and combustion. The equipment can be used as an experimental model for observing combustion experiment. By including a heater and a thermocouple, the equipment was improved to give a better understanding of the relation between temperature and flammability limit of LPG beyond those from a basic fire fighting text book. To reduce the error from the mixing volume, the combustion chamber size was reduced to a width of 25 centimeter, length of 40 centimeter, and height of 20 centimeter which the volume is 20,000 cubic centimeter or 20 liter. The equipment was made from stainless steel with a safety sight glass installed for observation.

The result shows that the flammability limit of LPG varies with temperature and can be compared with Burgess-Wheeler Law's Theory. This theory mentioned "LFL and UFL is relative with the chemical in Paraffin Hydrocarbon (Alkane) Group in any increasing of temperature" Results of the experiment found that there is consistent with the theory. When the temperature in equipment increases, flammable limit is expansion too. In addition, there are many flammability and backfire theory which interesting for experiment. However, this equipment can be used to develop for other researches and to improve knowledge of fire protection and suppression in Thailand.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ ประธานกรรมการที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.ณัฐศักดิ์ บุญมี ที่ให้คำปรึกษาค้นคว้าวิจัย ให้นำแนะนำ ตลอดจน  
การตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคุณคุณวชิระ แก้วสกุล ผู้ให้คำปรึกษาและจัดทำอุปกรณ์ผู้ทดสอบ ขอขอบคุณ  
พี่ๆและเพื่อนพนักงานในบริษัท ปตท.เคมีคอล จำกัด (มหาชน) และคุณปราโมทย์ คล้ายเซย  
ผู้บังคับบัญชา ซึ่งเสียสละเวลาและช่วยเหลือแก้ไขปัญหาอุปสรรคจนกระทั่งการทดลองผ่านพ้นไป  
ด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณคุณภาวิณี อัมพันธ์ และคุณเครือมาส แสงจันทร์ เจ้าหน้าที่ธุรการประจำ  
ภาควิชาป้องกันอัคคีภัย ซึ่งให้ความช่วยเหลือและเอื้ออำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ศึกษา  
ปริญญาโท

ขอขอบคุณเทศบาลนครระยองที่เอื้ออำนวยความสะดวกและสถานที่ในการทดลองและคุณ โชคชัย  
सारะธนะ ที่สนับสนุนการทดลองตั้งแต่แรกเริ่มจนกระทั่งเสร็จสิ้น

ด้วยความดีและประโยชน์อันใด เนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่คุณแม่ คุณป้า  
และพี่สาวที่ได้สนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด

ศิริรัชณี ศิริสวัสดิ์

พฤษภาคม 2554

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	36
ผล	36
วิจารณ์	62
สรุปและข้อเสนอแนะ	64
สรุป	64
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ภาพอุปกรณ์การทดสอบ	67
ภาคผนวก ข เอกสารการสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิเปรียบเทียบ ก่อนการทดสอบ Advanced Signal Calibrator	76
ภาคผนวก ค อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด (Flow meter) ยี่ห้อ Agilent Flowmeter ADM2000	80
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	84

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง อัลเคน อัลกินและอัล ไคล์	7
2	แสดงสารประกอบของ LPG	8
3	แสดงข้อมูลทางกายภาพและเคมีและข้อมูลด้านอักษิภัยของ LPG	9
4	การติดไฟของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	11
5	แสดงอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องวัดอุณหภูมิและอุณหภูมิที่วัดด้วยหัววัดในตู้ทดสอบ ซึ่งแสดงค่าที่แสดงหน้าจอ Display	24
6	แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อ %LEL และ %UEL	26
7	การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (25°C)	27
8	การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (80°C)	30
9	การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (100°C)	32
10	การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (120°C)	34
11	สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิปกติ (25°C)	38
12	สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิปกติ (80°C)	43
13	สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิปกติ (100°C)	48
14	สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิปกติ (120°C)	52
15	ผลการทดสอบช่วงกว้างการติดไฟที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ	58
16	การตรวจวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด	60

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สามเหลี่ยมแสดงองค์ประกอบไฟ	5
2	ลักษณะการติดไฟแบบผสมก่อน	5
3	ลักษณะการติดไฟของเปลวไฟแบบแพร่	6
4	แสดงโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อัลเคน, อัลคีน และอัลไคล์	7
6	แสดงช่วงกว้างการติดไฟ (Flammability Limit)	10
7	แสดงความสัมพันธ์ช่วงกว้างการติดไฟ (Flammability Limit) กับพลังงานที่ใช้ในการจุดติดไฟ (Sparked energy)	10
8	แสดงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อช่วงกว้างการติดไฟของไอสารไวไฟในอากาศที่สภาวะความดันคงที่	13
9	ผลการทดลองความสัมพันธ์ของ Paraffin Hydrocarbon ที่ Standard Condition (25 °C, 1 atm)	13
10	ด้านหน้าอุปกรณ์ทดสอบ	16
11	ด้านหลังของอุปกรณ์ทดสอบซึ่งออกแบบโครงสร้างด้านล่างสำหรับ แผงควบคุมวงจร	18
12	แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในตู้ทดสอบ	19
13	แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ในห้องทดสอบ	20
14	ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับต่อสายส่ง LPG จากถังแก๊สเข้าสู่ตู้ทดสอบ	21
15	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Advanced Signal Calibrator ยี่ห้อ AMETEX รุ่น JOFRA, ASC 300	22
16	แสดงตำแหน่งจุดตรวจวัดอุณหภูมิในตู้ทดสอบ	23
17	แสดงค่าที่หัววัดอุณหภูมิในตู้ทดสอบแสดงผลที่จอ Display	23
18	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ในแต่ละจุดและค่าที่หัววัดอุณหภูมิ แสดงผลที่ Display	24
19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงกว้างการติดไฟเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ	26
20	ภาพอุปกรณ์ทดสอบขนาด 20 ลิตร	36

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบ (Flow meter)	37
22	ถังแก๊ส LPG และอุปกรณ์ปรับแรงดันเพื่อป้องกันมิให้ความดันที่ผ่าน Flow meter มากเกินไป	37
23	เริ่มการทดสอบโดยการตั้งเวลาที่ 40 วินาที	40
24	การเพิ่มเวลาขึ้นครั้งละ 5 วินาที เป็น 45,50,55,60 จนกระทั่ง 255 วินาที	40
25	การทดสอบที่ 40 วินาที ครั้งที่ 1 (ไม่ติดไฟ)	41
26	การทดสอบการจุดติดไฟที่ 45 วินาที ครั้งที่ 2 (ติดไฟ)	41
27	การทดสอบการจุดติดไฟที่ 145 วินาที ครั้งที่ 3	42
28	การทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C โดยการตั้งเวลาที่ 45 วินาที	45
29	การทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C โดยการตั้งเวลาที่ 165 วินาที	46
30	การทดสอบการจุดติดไฟที่ 165 วินาที ครั้งที่ 3	47
31	การทดสอบที่อุณหภูมิ 100 °C โดยการตั้งเวลาที่ 170 วินาที	50
32	การทดสอบการจุดติดไฟที่ 170 วินาที ครั้งที่ 3	51
33	การทดสอบที่อุณหภูมิ 120 °C โดยการตั้งเวลาที่ 180 วินาที	54
34	การเกิด Back draft เมื่อเพิ่มอากาศเข้าห้องทดสอบทำให้สัดส่วนอยู่ในช่วงการติดไฟ	56
35	ภาพเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อช่วงกว้างการติดไฟ ผลการทดสอบจริงเทียบกับการคำนวณ	59
36	การตรวจวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด	60
37	ภาพเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อช่วงกว้างการติดไฟผลการทดสอบจริงเทียบโดยใช้อัตราการไหลที่มาจากการใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด (Flow meter) ยี่ห้อ Agilent Flowmeter ADM2000	61

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	อุปกรณ์ทดสอบพร้อมขาตั้ง	68
ก2	ด้านข้างอุปกรณ์ทดสอบ	68
ก3	ด้านบนของอุปกรณ์ทดสอบ	69
ก4	ด้านข้างของอุปกรณ์ทดสอบซึ่งออกแบบให้มีช่องเปิด-ปิดได้	69
ก5	ชุดหม้อแปลงไฟฟ้า	70
ก6	การต่อวงจรเพื่อแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง	70
ก7	การติดตั้งชุดยิงแสงเพื่อเป็นตัวจุดระเบิด	71
ก8	สายไฟและสวิตช์กจุดระเบิด	71
ก9	Digital Timer	72
ก10	แสดงจุดติดตั้ง Solenoid Valve เพื่อควบคุมเชื้อเพลิง	72
ก11	แสดงหัวจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องทดสอบ	73
ก12	ใบพัดกววนขนาด 5*10 เซนติเมตร สำหรับผสมเชื้อเพลิงอากาศ ในห้องทดสอบให้เข้ากัน	73
ก13	หัววัดอุณหภูมิภายในตู้ทดสอบ	74
ก14	อุปกรณ์ลดความดันที่ต่อจากถังแก๊ส LPG	74
ก15	อุปกรณ์ปรับแรงดันเพื่อป้องกันมิให้ความดันที่ผ่าน Flow meter มากเกินไป	75
ก16	Flow meter ซึ่งกำหนดอัตราการไหลลงที่เท่ากับ 0.0083 ลิตร/วินาที	75

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

### คำอธิบายสัญลักษณ์

$X_L$	=	เศษส่วน โดยโมลที่ความเข้มข้น LFL
$X_U$	=	เศษส่วน โดยโมลที่ความเข้มข้น UFL
$X_I$	=	เศษส่วน โดยโมลของเชื้อเพลิง
$X_{ST}$	=	เศษส่วน โดยโมลที่ความเข้มข้นสำหรับการเผาไหม้โดยสมบูรณ์
$m$	=	มวลของเชื้อเพลิง, g
$V_{TOTAL}$	=	ปริมาตรโดยรวมของห้องเผาไหม้
$V_F$	=	ปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้
$V_{AIR}$	=	ปริมาตรของอากาศในห้องเผาไหม้
$V_{F,L}$	=	ปริมาตรต่ำสุดของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศสามารถติดไฟได้ของห้องเผาไหม้
$V_{F,ST}$	=	ปริมาตรความเข้มข้นของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศในสภาวะเผาไหม้ที่สมบูรณ์
$V_{F,U}$	=	ปริมาตรสูงสุดของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้

### คำย่อ

LEL	=	Lower Explosion Limit
UFL	=	Upper Explosion Limit
LFL	=	Lower Flammable Limit
UFL	=	Upper Flammable Limit
AIT	=	Auto Ignition Temperature
LPG	=	Liquefied Petroleum Gas
MW	=	Molecular Weight
TLV	=	Threshold Limit Value
LD	=	Lethal Dose
DC	=	Direct circuit

## การพัฒนาอุปกรณ์สาธิตความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วงกว้างการติดไฟ

### Developing Equipment for the Relation of Temperature and Flammability Limits

#### คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสนใจและพัฒนาความรู้เทคโนโลยีในด้านการป้องกันอัคคีภัยมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีเหตุการณ์ที่ไม่คาดฝันนั้นก็คืออัคคีภัย ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตคนเป็นมูลค่ามหาศาล ยกตัวอย่างเช่น กรณีรถแท็กซี่ที่ถนนเพชรบุรี แล้วเกิดเหตุเพลิงไหม้ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 90 ราย เหตุการณ์รถแท็กซี่ระเบิดที่พังงามีผู้เสียชีวิตมากกว่า 50 ราย เหตุการณ์ไฟไหม้ที่โรงแรมรอยัลจอมเทียน มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 95 ราย เหตุการณ์โรงงานอบลำไยระเบิดที่จังหวัดเชียงใหม่มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 35 ราย และเหตุการณ์ที่สะพานขวัญและเป็นที่ยกย่องมากที่สุดก็คือเหตุการณ์เพลิงไหม้โรงงานตุ๊กตาเคเดอร์ ซึ่งมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 180 ราย โดยมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดด้านการออกแบบทางวิศวกรรมของโครงสร้างอาคารและความบกพร่องของระบบบริหารจัดการด้านความปลอดภัย

การที่ได้กล่าวมาในข้างต้นทำให้หลายองค์กรหรือหน่วยงานได้มีการศึกษาพฤติการณ์ของการเกิดไฟ และปัจจัยหลายๆ ประการที่สามารถทำให้เกิดการลามไฟและระเบิด (Explosion) โดยการจัดทำอุปกรณ์เพื่อช่วยการเรียนรู้ซึ่งสามารถจำลองให้เห็นลักษณะการติดไฟในรูปแบบต่างๆ รวมถึงคุณสมบัติของการติดไฟของสารแต่ละชนิดซึ่งจะมีช่วงค่าการติดไฟ (Limit of Flammability) มากน้อยแตกต่างกันซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถใช้เป็นสื่อการสอนที่มีประสิทธิภาพทำให้ผู้ที่ศึกษาได้เห็นภาพจริงการระเบิดลูกไหม้ของเปลวไฟ (Flame difision) และเพิ่มความระมัดระวังในการทำงานซึ่งเกี่ยวกับการป้องกันและระงับเหตุด้านอัคคีภัย

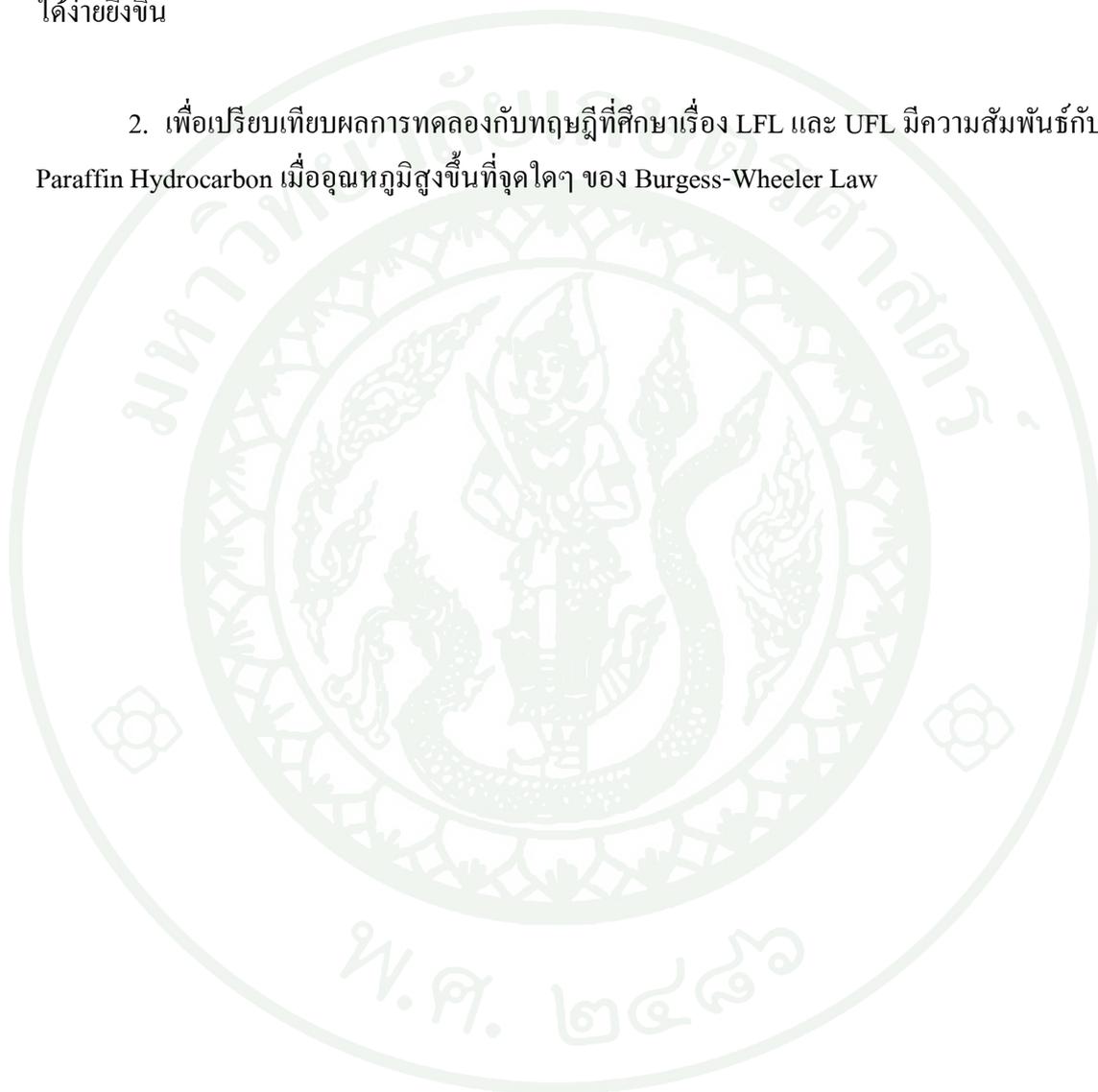
วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงจะพัฒนาอุปกรณ์ดังกล่าวเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มหรือลดช่วงกว้างของการติดไฟ (Limit of Flammability) โดยจะศึกษาความเปลี่ยนแปลงค่าขีดจำกัดช่วงล่างของการติดไฟ (Lower Flammable Limit: LFL) และ ค่าขีดจำกัดบนของการติดไฟ (Upper Flammable Limit : UFL) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงหากมีการแปรผันของอุณหภูมิขณะเกิดการเผาไหม้ โดยอุปกรณ์เพื่อช่วยการเรียนรู้ที่จะจัดทำขึ้นนี้จะสามารถแสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของ

ความสามารถในการติดไฟของก๊าซหุงต้ม(LPG) โดยหากทำการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิเพื่อเป็นข้อมูล  
ศึกษาและสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ในการสาธิตและอธิบายคุณสมบัติการติดไฟ ช่วยให้ผู้ที่  
ศึกษาเกิดความสนใจและสามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อจัดทำอุปกรณ์ช่วยการเรียนรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความเปลี่ยนแปลงของช่วงกว้างการติดไฟของก๊าซหุงต้มและสาริตให้ผู้ศึกษาเกิดความสนใจและสามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎีที่ศึกษาเรื่อง LFL และ UFL มีความสัมพันธ์กับ Paraffin Hydrocarbon เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่จุดใดๆ ของ Burgess-Wheeler Law



## การตรวจเอกสาร

การป้องกันการเกิดไฟไหม้และการระเบิดของสารไวไฟต่างๆซึ่งทำให้เกิดความเสียหายนั้น ต้องการการศึกษาลักษณะของการติดไฟอันเกี่ยวข้องกับแก๊สและไอระเหยของสารติดไฟ เช่น จิตจำกัณฑ์ของการติดไฟ, ส่วนประกอบของการจุดติดไฟและอัตราการเผาไหม้ซึ่งเป็นที่มีความสัมพันธ์กันภายใต้หลากหลายเงื่อนไข ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทดลองและบันทึกไว้สามารถนำมาพัฒนาเป็นหลักการทฤษฎีเป็นแนวทางในการป้องกันและควบคุมแก้ไขปัญหาการเกิดไฟไหม้

### 1. ธรรมชาติของไฟ

อัคคีภัยหรือไฟที่ลุกไหม้นั้น ก่อนจะเกิดการลุกไหม้จะต้องมีปฏิกิริยาหรือการรวมตัวของ 3 องค์ประกอบหลัก คือ ความร้อน (Heat), เชื้อเพลิง (Fuel) และออกซิเจน (Oxygen) ในการลุกไหม้หรือติดไฟนั้นเป็นปฏิกิริยาด้านเคมี ซึ่งจะดำเนินต่อเนื่องไปจนกว่าองค์ประกอบทั้งหมด ปฏิกิริยาเคมี จะทำให้เกิดสารใหม่เกิดขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงอะตอมของสารใหม่ โดยมีการดูดกลืนหรือคายความร้อนออกมาให้สภาพแวดล้อมโดยรอบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะหมายถึง ลักษณะที่มิเกิดการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะการเปลี่ยนแปลงจากสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหลายปฏิกิริยาที่สังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงช้าหรือเร็วและบางปฏิกิริยาที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ พื้นที่ผิวของสาร, ความเข้มข้นของสาร และอุณหภูมิ โดยมีนัยสัมพันธ์ดังนี้

1.1 พื้นที่ผิวของสาร สารตั้งต้นที่พื้นที่ผิวมากมีผลให้อนุภาคของสารมีโอกาสเข้าชนกัน ได้มากจึงเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น

1.2 ความเข้มข้นของสาร สารตั้งต้นในปฏิกิริยามีความเข้มข้นมาก จะทำให้จำนวนอนุภาคของสารตั้งต้นในระบบเพิ่มขึ้น ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดการชนกันจึงมีมากขึ้นและอนุภาคที่มีพลังงานสูงก็จะมีจำนวนมากขึ้นด้วยจึงส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าสูง

1.3 อุณหภูมิ ปฏิกิริยาเคมีมักจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงได้เร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ

## องค์ประกอบของไฟ



ภาพที่ 1 สามเหลี่ยมแสดงองค์ประกอบไฟ

## 2. ลักษณะการติดไฟ

## Premixed Flame

การลุกติดไฟซึ่งมีเชื้อเพลิงและออกซิเจนผสมกันก่อนจนเป็นของผสมก่อนจะเกิดจากเผาไหม้

ดังภาพ



ภาพที่ 2 ลักษณะการติดไฟแบบผสมก่อน

### Diffusion Flame

การลุกติดไฟซึ่งเชื้อเพลิงและออกซิเจนแยกกันก่อนการเผาไหม้ โดยเชื้อเพลิงและออกซิเจนจะพบกันที่เขตปฏิกิริยา (Flame Zone)



ภาพที่ 3 ลักษณะการติดไฟของเปลวไฟแบบแพร่

### 3. คุณสมบัติของสารที่ใช้ในการทดลอง

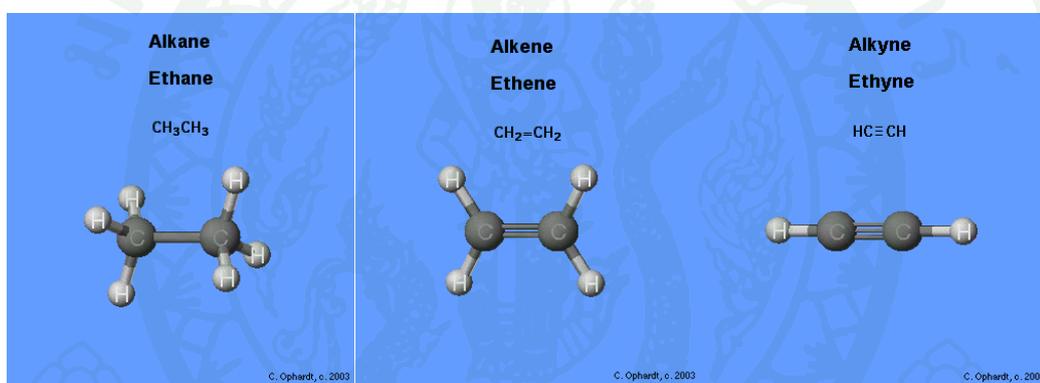
สารประกอบของคาร์บอน

สารต่างๆ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น แบ่ง เป็น 2 ประเภท คือ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งในที่นี้จะอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับสารอินทรีย์เท่านั้น เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

สารประกอบของไฮโดรคาร์บอน คือ สารประกอบที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอนเท่านั้น เป็นสารประกอบโคเวเลนต์ พันธะระหว่างคาร์บอนอาจเป็นพันธะเดี่ยว หรืออัลเคน (Alkanes) พันธะคู่หรืออัลคีน (Alkenes) หรือพันธะสามหรืออัลไคด์ (Alkyls) ก็ได้ ดังภาพที่ 4 และตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง อัลเคน อัลคีนและอัลไคล์

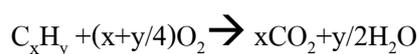
	อัลเคน	อัลคีน	อัลไคล์
สูตรทั่วไป	$C_nH_{2n+2}$	$C_nH_{2n}$	$C_nH_{2n-2}$
ชนิดของพันธะ	พันธะเดี่ยวทั้งหมด	พันธะคู่ 1 พันธะ นอกนั้นพันธะเดี่ยว ทั้งหมด	พันธะสาม 1 พันธะ นอกนั้นพันธะเดี่ยว ทั้งหมด
การเผาไหม้	ไม่มีเขม่า	มีเขม่า	มีเขม่ามาก
จุดเดือด	น้อยกว่าอัลไคล์แต่ มากกว่าอัลคีน	น้อยกว่าอัลเคน และอัลไคล์	มากกว่าอัลเคน และอัลคีน



ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อัลเคน, อัลคีน และอัลไคล์

### 3.1 อัลเคน(Alkanes) หรือ Paraffin Hydrocarbon

คำว่า Paraffins มาจากคำว่า Parum affins แปลว่าองไวต่ำ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว มีสูตรทั่วไปคือ  $C_nH_{2n+2}$  โดย n คือจำนวนอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 1, 2, 3 เช่น  $CH_4$ ,  $C_2H_6$  เป็นต้น มีคุณสมบัติทั่วไป คือ ไม่นำไฟฟ้า ไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายไม่มีขั้ว และสถานะจะขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของคาร์บอน 1-4 อะตอมจะมีสถานะเป็นก๊าซ, 5-17 อะตอมจะมีสถานะเป็นของเหลว และถ้า 18 อะตอมขึ้นไปจะมีสถานะเป็นของแข็ง เมื่อเผาไหม้อัลเคนจะไม่เกิดเขม่าในกรณีสันดาปอย่างสมบูรณ์ จะได้ก๊าซ  $CO_2$ ,  $H_2O$  แต่ถ้าสันดาปไม่สมบูรณ์จะเกิด  $CO$ ,  $H_2O$  พลังงานสมการเผาไหม้คือ



### 3.2 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)

แก๊ส LPG ย่อมาจากคำว่า Liquefied Petroleum Gas เป็นสารไฮโดรคาร์บอนกลุ่มอัลเคน (Alkanes) หรือ Paraffin Hydrocarbon ส่วนใหญ่เป็นแก๊สผสม ระหว่างแก๊ส Propane(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) และ Butane(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) โดยมีส่วนผสมในอัตราส่วนที่ไม่แน่นอน ใช้เป็นก๊าซหุงต้มในครัวเรือนและเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมและรถยนต์มีคุณสมบัติหนักกว่าอากาศ โดยทั่วไปไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่เนื่องจากเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศจึงมีโอกาสสะสมและลุกติดไฟได้ง่าย ดังนั้น จึงมีข้อกำหนดให้เติมสารมีกลิ่นเพื่อเป็นการระวังภัยหากเกิดการรั่วไหล โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2,3

ตารางที่ 2 แสดงสารประกอบของ LPG

ชื่อสารเคมี	เปอร์เซ็นต์	ค่ามาตรฐานความปลอดภัย	
		TVL	LD 50
ชนิดของพิษ	พิษเฉียบพลันทั้งหมด	พิษเฉียบพลัน 1 พิษนอกนั้นพิษเฉียบพลันทั้งหมด	พิษเฉียบพลัน 1 พิษนอกนั้นพิษเฉียบพลันทั้งหมด
การเผาไหม้	ไม่มีเขม่า	มีเขม่า	มีเขม่ามาก
จุดเดือด	น้อยกว่าอัลไคลด์แต่ มากกว่าอัลคีน	น้อยกว่าอัลเคน และอัลไคลด์	มากกว่าอัลเคน และอัลคีน

ที่มา: Unique Gas and Petrochemicals Public Company Limited (n.d.)

### ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลทางกายภาพและเคมีและข้อมูลด้านอัคคีภัยของ LPG

จุดเดือด	-5 ถึง 0 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	-187 องศาเซลเซียส
ความถ่วงจำเพาะ	0.5300-0.5600Liquid
ลักษณะ	ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น
อัตราการระเหย	Applicable 100%
จุดวาบไฟ	-73 องศาเซลเซียส
%LEL	2.1%
%UEL	9.5%
Autoignition Temperature	462 องศาเซลเซียส

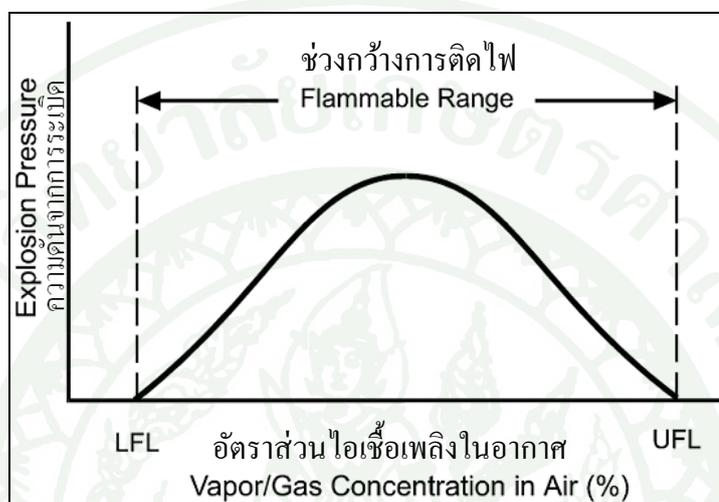
#### 4. ช่วงกว้างการติดไฟ (Flammability Limit)

ไอระเหยของสารไวไฟที่ผสมกับอากาศจะสามารถเกิดการเผาไหม้ได้ เมื่ออัตราส่วนผสมของความเข้มข้นไอระเหยของสารไวไฟและอากาศผสมกันอยู่ในช่วงหนึ่งซึ่งเหมาะสมต่อการจุดติดไฟ (ณัฐธัญ, 2550)

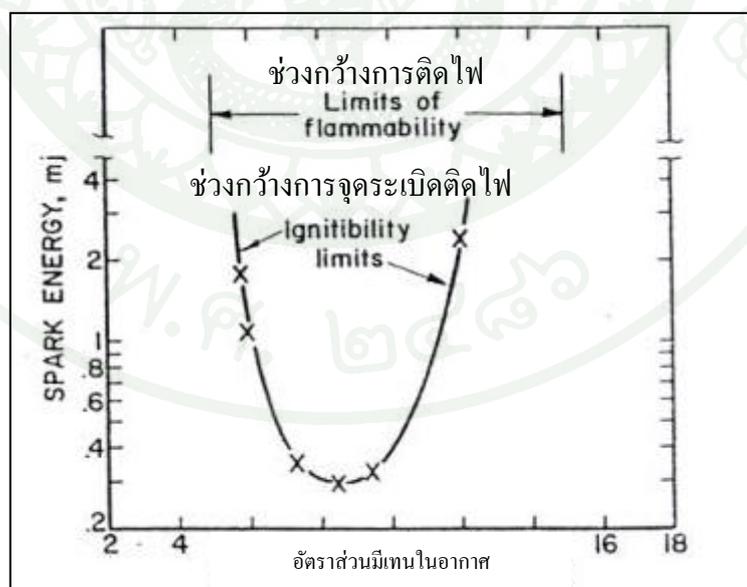
ของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจน การจุดระเบิด (Ignition) จะเกิดได้เมื่อมีพลังงานเพียงพอ (Sparked energy) โดยอัตราส่วนที่เชื้อเพลิงและอากาศผสมกันและสามารถติดไฟได้ เมื่อมีการจุดระเบิดเรียกว่า “ช่วงกว้างการติดไฟ (Flammability Limit) ซึ่ง ช่วงกว้างการติดไฟจะเป็นช่วงอัตราส่วนของเชื้อเพลิงและอากาศ ตั้งแต่ LFL ถึง UFL (ดังภาพที่ 6)

Lower Flammable Limit (LFL) หรือ Lower Explosion Limit (LEL) คือปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแก๊สหรือไอระเหยขั้นต่ำของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศจนเกิดเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดการจุดติดไฟได้ ถ้ามีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงเจือปนในอากาศเข้มข้นน้อยกว่านี้ จะไม่เพียงพอให้จุดติดไฟ

Upper Flammable Limit (UFL) หรือ Upper Explosion Limit (UEL) คือปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแก๊สหรือไอระเหยเข้มข้นมากที่สุดของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศจนเกิดเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมทำให้เกิดการจุดติดไฟได้ ถ้ามีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงเจือปนในอากาศเข้มข้นมากกว่านี้ จะไม่สามารถจุดติดไฟ



ภาพที่ 6 แสดงช่วงกว้างการติดไฟ (Flammability Limit)



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ช่วงกว้างการติดไฟ (Limits of flammability) กับพลังงานที่ใช้ในการจุดติดไฟ (Sparked energy)

## ทฤษฎี Le Chatelier's Law

ค่าความเข้มข้นของช่วงกว้างการติดไฟต่ำสุดของเชื้อเพลิงผสมประเภทพาราฟินส์ไฮโดรคาร์บอน ( $C_nH_{2n+2}$ ) มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ดังสมการ (Quintiere, 2005) ไว้ว่า

$$\frac{1}{X_L} = \sum_{i=1}^{N_{fuel}} \left( \frac{X_i}{X_{Li}} \right) \quad (1)$$

จะได้

$$X_L = 0.55X_{st} \quad (2)$$

และ

$$X_u = 6.5 X^{1/2} \quad (3)$$

เมื่อ

$X_L$  คือ % by mole ของเชื้อเพลิงที่ Lower Limit

$X_u$  คือ % by mole ของเชื้อเพลิงที่ Upper Limit

$X_{st}$  คือ % by mole ของเชื้อเพลิงที่สภาวะมาตรฐาน ( $25^\circ C, 1 \text{ atm}$ )

จากสมการด้านบนสามารถนำมาคำนวณปริมาณ LEL และ UEL ของเชื้อเพลิงผสมประเภทพาราฟินส์ไฮโดรคาร์บอนได้ ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือ LPG ซึ่งมีส่วนประกอบของโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) เป็นร้อยละ 40 และ 60 ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูล LEL และ UEL จากตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การติดไฟของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

Fuel	LFL(%)	UFL(%)	AIT(C)	$T_L$ (C)
n-Butane	1.8	8.4	405	-72
Propane	2.1	9.5	450	-102

ที่มา: Beyler (1995)

การคำนวณหา  $X_L, X_U$  ของ LPG หาได้จาก จากคำนวณจาก ของ โพรเพน = 2.1% และ บิวเทน = 1.8% ตามสมการที่ (1)

$$X_L \text{ ของแก๊สหุงต้ม (LPG)} = \frac{100}{\frac{40}{2.1} + \frac{60}{1.8}} = 1.9\% \text{ โดยปริมาตร}$$

$X_L$  ของ LPG = 100 และจากสมการที่ (3) สามารถนำค่า  $X_L$  ที่ได้มาหาค่า  $X_U$  ดังนี้

$$X_U = 6.5\sqrt{1.9} = 8.9\% \text{ โดยปริมาตร}$$

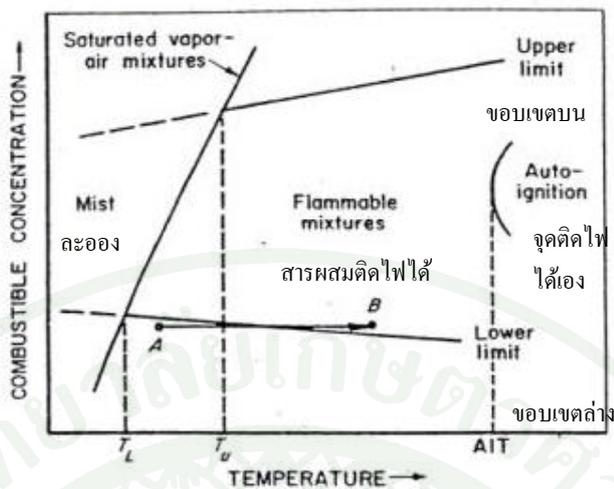
#### จากทฤษฎี Burgess-Wheeler Law

LFL และ UFL มีความสัมพันธ์กับ Paraffin Hydrocarbon เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นที่จุดใดๆทำให้เกิดผลกระทบจากอุณหภูมิที่มีต่อช่วงกว้างการติดไฟเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ช่วงกว้างการติดไฟเพิ่มขึ้น ดังสมการ (4), (5) และภาพที่ 8, 9

$$X_{L,T} / X_{L,T25^{\circ}\text{C}} = 1 - 0.000721 (T - 25^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

และ

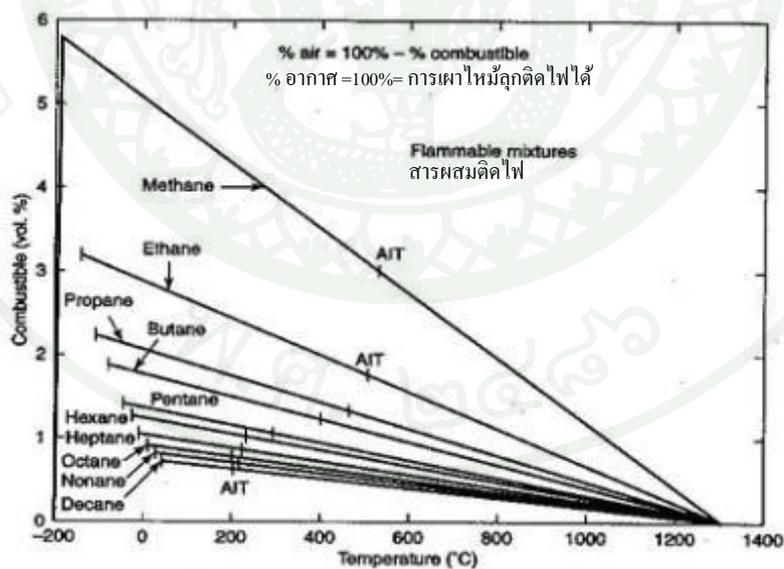
$$X_{U,T} / X_{U,T25^{\circ}\text{C}} = 1 - 0.000721 (T - 25^{\circ}\text{C}) \quad (5)$$



อุณหภูมิ

ภาพที่ 8 แสดงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อช่วงกว้างการติดไฟของไอสารไวไฟ ในอากาศที่สภาวะความดันคงที่

ที่มา: Zabetakis (1965)



\*W. Jost and H.O. Croft, *Explosion Processes in Gases*, New York, McGraw-Hill Book Company, 1946.

ภาพที่ 9 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของ Paraffin Hydrocarbon ที่ Standard Condition (25 °C, 1 atm)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับออกแบบและทดสอบ
  - 1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์
  - 1.2 เครื่องพิมพ์
  - 1.3 ดินสอ
  - 1.4 ไม้บรรทัด
  - 1.5 กระดาษ
  - 1.6 กล้องถ่ายรูป
  - 1.7 กล้องวิดีโอ
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและทดสอบ
  - 2.1 Solenoid Valve DC ,24V
  - 2.2 ชุดตรวจวัดอุณหภูมิ(Temp. RTD)
  - 2.3 มอเตอร์และใบพัดกวนขนาด 15\*5 cm.
  - 2.4 ชุดจ่ายไฟแรงสูง
  - 2.5 อุปกรณ์สร้างความร้อน(Heater)
  - 2.6 Stainless steel 1 mm
  - 2.7 กระจกติดฟิล์มนิรภัย ขนาด ๒๕๖๖
  - 2.8 เหล็กฉากรูปตัว L
  - 2.9 Remote switch และสายไฟยาว 550 cm. สำหรับกดจุดระเบิด
  - 2.10 ปลั๊กและสายไฟยาว 260 cm.
  - 2.11 Gate Valve
  - 2.12 ถังก๊าซหุงต้ม (LPG)
  - 2.13 สายยางส่งก๊าซหุงต้มเข้าสู่ทดสอบ
  - 2.14 หม้อแปลง 24V,12V

2.15 Controller

2.16 ชุด Timer กำหนดเวลาของ Solenoid Valve DC ,24V

2.17 ชุด Timer กำหนดเวลาของชุดจ่ายไฟแรงสูง

2.18 ชุดแผง PC Board สำหรับปรับรอบมอเตอร์

2.19 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Advanced Signal Calibrator AMETEX รุ่น JOFRA,

ASC 300

### วิธีการ

1. ออกแบบชุดทดสอบ
2. ประกอบอุปกรณ์ควบคุมการทดสอบ
3. ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ความร้อนและอุปกรณ์ตรวจวัดความร้อน
4. ทำการทดสอบช่วงกว้างการติดไฟของก๊าซหุงต้ม (LPG) ในอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิ

ที่กำหนด

## 1. รายละเอียดวิธีการ



ภาพที่ 10 ด้านหน้าอุปกรณ์ทดสอบ

1.1 ออกแบบตู้ทดสอบโดยใช้สเตนเลสเป็นโครงสร้างและมีกระจกติดฟิล์มนิรภัยเพื่อความปลอดภัยของผู้ทดสอบเป็นอุปกรณ์เสริมเพื่อให้มองเห็นภาพการจลจรเบิดได้ กระจกติดฟิล์มนิรภัยขนาด 19.5 cm x 38.5 cm. จำนวน 2 แผ่นสำหรับประกอบด้านหน้าและด้านหลัง และขนาด 19.5 cm x 24.5 cm. จำนวน 1 แผ่นสำหรับประกอบด้านข้างของตู้ทดสอบ ดังภาพที่ 10 และภาคผนวก ก-1,ก-2

จัดทำขาตั้งตู้ทดสอบด้วย Stainless steel สูง 120 cm เพื่อสะดวกต่อการทดสอบ โดยติดล้อไว้ที่ขาทั้ง 4 ด้านเพื่อความสะดวกสำหรับการเคลื่อนย้ายระหว่างการทดสอบ

1.2 ออกแบบด้านบนให้สามารถเปิดออกได้เมื่อมีการระเบิดเพื่อลดแรงดันภายในซึ่งอาจมีผลทำให้กระจกแตกหรืออุปกรณ์อื่นชำรุด ใช้แผ่นสแตนเลสขนาด 15\*40 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น นำมาติดบานพับเชื่อมติดกับขอบบนของผู้ทั้งสองฝั่งตีแผ่น โลหะให้แนบสนิทชิดขอบตู้เพื่อลดอัตราการรั่วไหลของเชื้อเพลิงออกสู่ภายนอก จากนั้นเชื่อมหูหิ้วติดเพื่อสะดวกต่อการเปิด-ปิดระบายอากาศ ดังภาพในภาคผนวก ก-3

1.3 ด้านข้างของอุปกรณ์ มี 4 ด้าน ประกอบไปด้วย ด้านที่เป็นกระจกติดฟิล์มนิรภัย จำนวน 3 ด้าน และอีกด้านหนึ่งทำด้วยแผ่นสแตนเลสทั้งแผ่นถูกออกแบบให้มีช่องเปิด-ปิดมีที่จับสำหรับเลื่อนได้ ขนาด 15\*15 cm. ดังภาพในภาคผนวก ก-4 เพื่ออธิบายลักษณะการเกิดการเผาไหม้ในกรณีที่เชื้อเพลิงมีความเข้มข้นเกินค่า UEL เมื่อเปิดออกจะทำให้เกิดอากาศไหลเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงภายในอุปกรณ์ทดสอบทำให้ส่วนผสมเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่ติดไฟได้และเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Back draft ซึ่งสามารถมองเห็นเปลวไฟพุ่งออกมาจากช่องเปิดได้

1.4 ออกแบบโครงสร้างด้านล่างตู้ทดสอบเพื่อจัดวางแผงวงจรควบคุมระบบกระแสไฟฟ้า, มอเตอร์และการควบคุมระบบสร้างความร้อนภายในตู้ทดสอบ โครงสร้างมีขนาด 40x25x20 cm เชื่อมติดบานพับกับแผ่น stainless steel เพื่อเปิด-ปิด ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ด้านหน้าของอุปกรณ์ทดสอบซึ่งออกแบบโครงสร้างด้านล่างสำหรับแผงควบคุมวงจร

## 1.2 โครงสร้างสำหรับวางตู้ทดสอบ

## 2. เมื่อประกอบโครงสร้างภายนอกแล้วเสร็จ จึงเริ่มติดตั้งอุปกรณ์ภายใน

เมื่อประกอบโครงสร้างภายนอกแล้วเสร็จ จึงเริ่มติดตั้งอุปกรณ์ภายใน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำการทดลอง โดยเริ่มดำเนินการประกอบระบบกลไกการทำงานและติดตั้งด้านล่างนอกตู้ทดลองตามลำดับ ดังต่อไปนี้

2.1 ติดตั้งชุด Controller เพื่อเป็นศูนย์สั่งการทำงานของ switch เปิด-ปิด และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆและแผงควบคุมวงจรไฟฟ้าตรง DC 12,24V ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ภายในตู้ทดสอบ

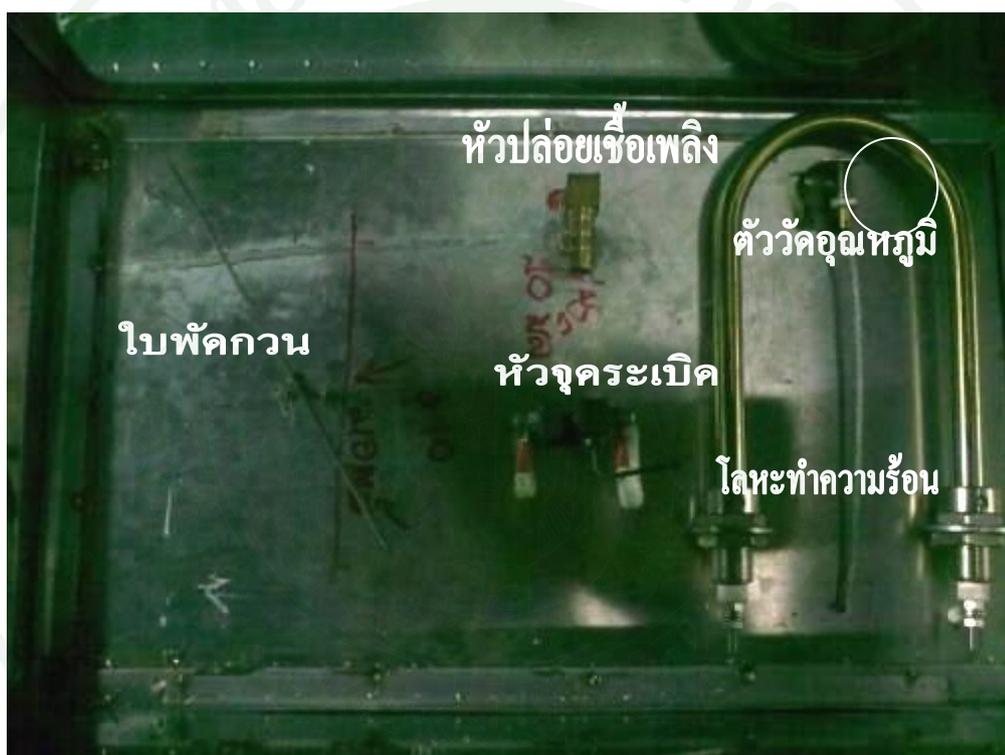
2.2 ติดตั้งชุดหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เพื่อเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสสลับ AC 220V จากแหล่งไฟฟ้าตามบ้านหรืออาคารทั่วไป เป็นไฟฟ้ากระแสตรง DC 12, 24V เพื่อเป็นแหล่งพลังงานของมอเตอร์และตัวจุกะเบิดภายในตู้ทดสอบ จากนั้นทำการเชื่อมต่อ switch เปิด-ปิด มอเตอร์ใบพัดควมพร้อมอุปกรณ์ปรับระดับความถี่รอบการหมุนของใบพัดเพื่อเลือกระดับความแรงของการหมุนเวียนอากาศภายในตู้ ดังภาพในภาคผนวก ก-5,ก-6,ก-7

2.3 ติดตั้งชุดจ่ายไฟแรงสูง (HIN) ที่ใช้ทั่วไปกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนลงบนแผง PC board เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนสำหรับการจุกะเบิดพร้อม ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานโดย Remote Switch ควบคุมการจุกะเบิดระยะไกลถึง 5.5 เมตร โดยต่อสายไฟออกมาภายนอกตู้ทดสอบ ทั้งนี้สายไฟที่ใช้เป็นสายไฟ VC ซึ่งมีความทนทานต่อความร้อนและการเสียดสีสูงกว่าสายไฟปกติเพื่อปลอดภัยของผู้ทดสอบ ดังภาพในภาคผนวก ก-8

2.4 ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์สร้างความร้อน (Heater) ,ชุดตรวจวัดอุณหภูมิ และ Delay สำหรับควบคุมการต้ระบบเพิ่มอุณหภูมิ

2.5 ติดตั้ง Solenoid Valve DC,24V ทำหน้าที่เป็นประตูเปิด-ปิด ทางเข้าของก๊าซหุงต้ม เข้าสู่ภายในตู้ทดสอบ โดยการทำงานจะพ่วงกับ Digital Timer ซึ่งใช้ในการตั้งเวลาที่ต้องการ ให้ Solenoid Valve ปิดเพื่อตัดก๊าซหุงต้มมิให้เข้าสู่ภายในตู้ ดังภาพในภาคผนวก ก9, ก10

2.6 เมื่อประกอบแผงวงจรกลไกภายในด้านล่างเรียบร้อยแล้ว ถัดไปติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้ ทดลอง ซึ่งประกอบด้วย โลหะสร้างความร้อน, ตัววัดอุณหภูมิ, หัวปล่อยเชื้อเพลิง, หัวจุดระเบิด และใบพัดกวนทำจาก Stainless steel ขนาด 5\*10 เซนติเมตร โดยจัดวางตำแหน่ง ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ในห้องทดสอบ

จุดปล่อยเชื้อเพลิงจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของตู้ทดสอบเพื่อการกระจายไปอย่างทั่วถึง โดยใช้ใบพัดกวนซึ่งควบคุมระดับความแรงด้วยมอเตอร์ด้านล่าง เพื่อให้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศเข้ากันได้ดี สำหรับอุปกรณ์ทำความร้อนและตัววัดอุณหภูมิจะอยู่ถัดจากหัวจุดระเบิด รูปภาพ อุปกรณ์แต่ละตัว ในภาคผนวก ก11, ก12, ก13

2.7 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับต่อสายส่ง LPG จากถังแก๊สเข้าสู่ตู้ทดสอบ โดยผ่านอุปกรณ์ลดความดัน (Regulator) เพื่อปรับลดความดันของแก๊ส LPG ที่ออกมาจากถังแก๊สให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จากนั้นต่อผ่านอุปกรณ์ปรับความดันอีกครั้งเพื่อปรับลดความดันให้คงที่สำหรับป้องกันมิให้ความดันที่จะเข้าสู่อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) มากเกินไปอันเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลชำรุดเสียหายได้ ภาพที่ 14 และภาพในภาคผนวก ก14, ก15



ภาพที่ 14 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับต่อสายส่ง LPG จากถังแก๊สเข้าสู่ตู้ทดสอบ

2.8 จากนั้นต่อท่อสายส่ง LPG ผ่านอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) ที่ยึดติดด้านข้างตู้ทดสอบซึ่งผ่านการสอบเทียบตามเอกสารใน ภาคผนวก ค โดยหมุนปรับอัตราการไหลของ LPG ไว้ที่ 30 ลิตร/นาที่ หรือ 0.0083 ลิตร/วินาที ซึ่งใช้เป็นค่าคงที่อัตราการไหลในการทดสอบครั้งนี้เพื่อใช้คำนวณปริมาตร LPG ในตู้ทดสอบ (โดยใช้อัตราการไหลคูณกับระยะเวลาที่ปล่อยแก๊ส LPG เข้าสู่ตู้ทดสอบ) ตรวจสอบโดยสังเกตกึ่งกลางของลูกบอลสีแดงจะต้องอยู่ระนาบพอดีระดับตัวเลข 30 ลิตร/ชั่วโมง ดังภาพในภาคผนวก ก16

เมื่อทำการประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดแล้วเสร็จ ทำการจดบันทึกข้อมูลค่าความดัน อัตราการไหลเพื่อใช้เป็นค่าควบคุมคงที่ในการทดสอบทุกครั้ง

### 3. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

ก่อนทำการทดลองทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีผลต่อช่วงกว้างการติดไฟนั้น ต้องทำการสอบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละจุดในตู้ทดสอบและตัวเลขที่แสดงบนหน้าจอ Display

#### 3.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องทดสอบ

กำหนดจุดตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Advanced Signal Calibrator ยี่ห้อ AMETEX รุ่น JOFRA, ASC 300 (รายละเอียดใน ภาคผนวก ข) โดยกำหนดจุดตรวจวัดจำนวน 2 ดังภาพที่ 15, 16, 17 เพื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิในจุดอื่นของห้องทดสอบกับค่าที่หัววัดอุณหภูมิวัดได้ซึ่งแสดงที่หน้าจอ Display 1



ภาพที่ 15 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Advanced Signal Calibrator ยี่ห้อ AMETEX รุ่น JOFRA, ASC 300



ภาพที่ 16 แสดงตำแหน่งจุดตรวจวัดอุณหภูมิในตู้ทดสอบ

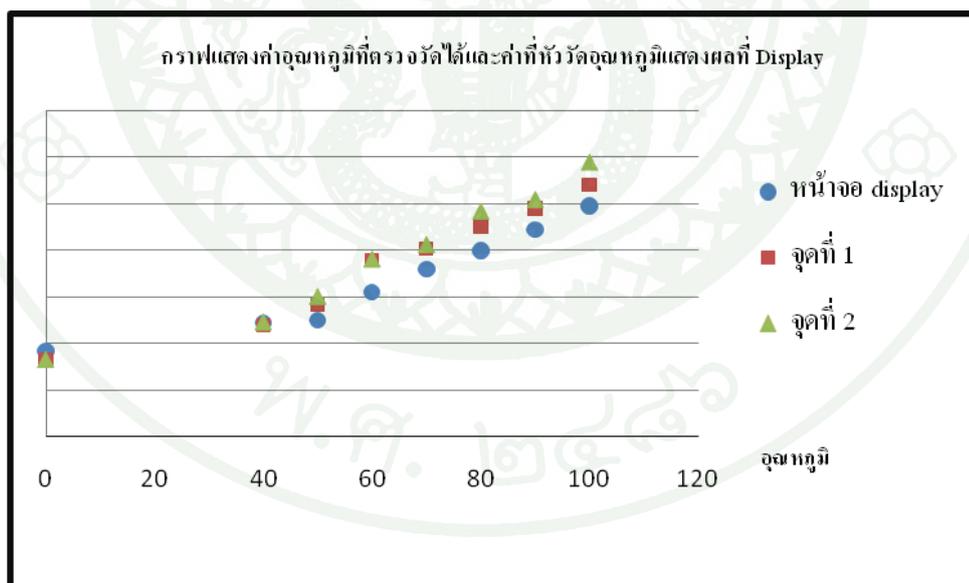


ภาพที่ 17 แสดงค่าที่หัววัดอุณหภูมิในตู้ทดสอบแสดงผลที่จอ Display

ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิกับค่าที่แสดงที่หน้าจอ Display มีค่าใกล้เคียงกัน ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 18

ตารางที่ 5 แสดงอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องวัดอุณหภูมิและอุณหภูมิที่วัดด้วยหัววัดในตัวทดสอบซึ่งแสดงค่าที่หน้าจอ Display

การปรับอุณหภูมิ (°C)	ค่าที่หน้าจอ Display (°C)	จุดที่ 1 (°C)	T จุดที่ 2 (°C)
0	37	33	33
40	49	47.7	49.2
50	50	56.5	60.2
60	62	75.9	76.3
70	72	80.6	82.5
80	80	90.3	96.9
90	89	98	102
100	99	108	118



ภาพที่ 18 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ในแต่ละจุดและค่าที่หัววัดอุณหภูมิแสดงผลที่ Display

### 3.2 การทดสอบดำเนินการทดสอบอุปกรณ์

จากการคำนวณตามจะทำให้ทราบค่า LEL ของ LPG เท่ากับ 1.9% และค่า UEL ของ LPG เท่ากับ 8.9% ซึ่งนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ต้องปล่อยเข้าสู่ห้องทดสอบที่มีขนาด 40 cm x 25 cm x 20 cm คิดเป็นปริมาตร 20,000 cm<sup>3</sup> หรือ 20 ลิตร โดยปล่อยปริมาณเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องทดลองด้วยอัตรา 0.0083 ลิตร/วินาที ซึ่งจะทำให้ทราบปริมาณเชื้อเพลิงในห้องทดสอบตามสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณ LPG ที่ \% LEL หรือ UEL} = (\% \text{LEL หรือ UEL} \times \text{ปริมาตรตู้ทดสอบ}) / 100 \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) คำนวณหาปริมาณ LPG ที่เป็นสัดส่วน LEL และ UEL ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณ LPG ที่ \% LEL} = 1.9 \times 20 \text{ ลิตร} / 100 = 0.38 \text{ ลิตร}$$

$$\text{ปริมาณ LPG ที่ \% UEL} = 8.9 \times 20 \text{ ลิตร} / 100 = 1.78 \text{ ลิตร}$$

เมื่อทราบปริมาณ LPG ที่จุด LEL และ UEL แล้ว สามารถนำมาคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการปล่อย LPG ด้วยอัตราการไหลที่คงที่ คือ 0.0083 ลิตร/วินาที ดังสมการ

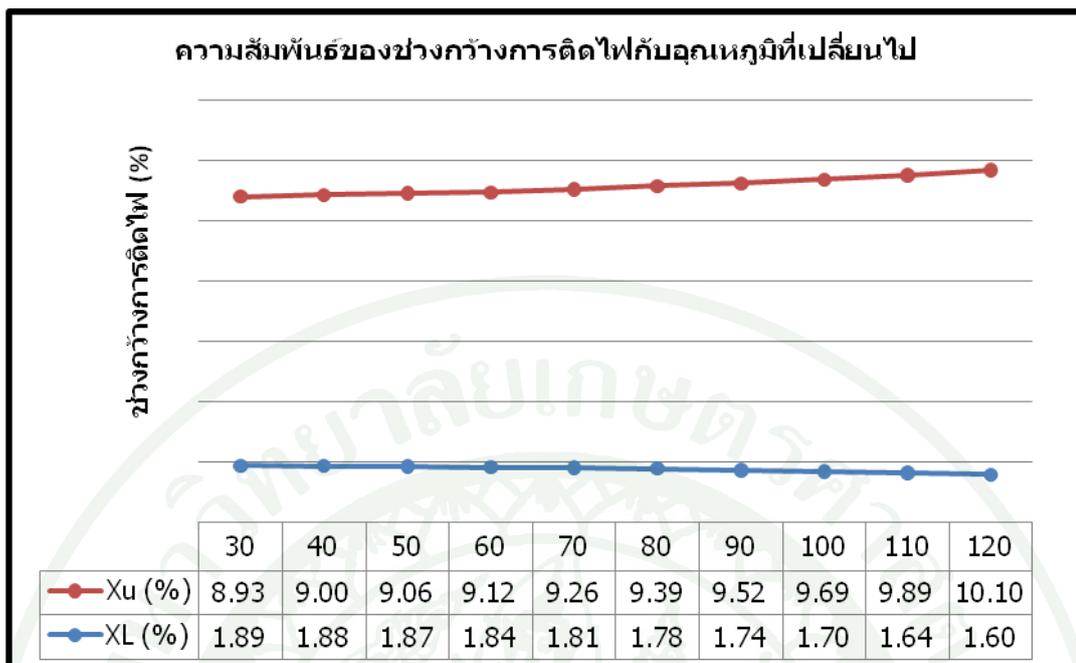
$$\text{เวลา} = \text{ปริมาณ LPG ที่ \% LEL หรือ UEL} / \text{อัตราการไหล} \quad (7)$$

$$\text{เวลาที่ LEL} = 0.38 / 0.0083 = 46 \text{ วินาที}$$

$$\text{เวลาที่ UEL} = 1.78 / 0.0083 = 214 \text{ วินาที}$$

ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จะตั้งเวลาในการปล่อย LPG เข้าสู่ห้องทดสอบตามค่าการคำนวณ %LEL และ %UEL ที่ 46 วินาทีและ 214 วินาที ตามลำดับ

และเมื่อคำนวณจากความสัมพันธ์ตามสมการ (4) (5) จะแสดงให้เห็นว่าช่วงกว้างของการติดไฟเพิ่มจะมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในห้องทดสอบ ดังภาพที่ 19 และตารางที่ 6



ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงกว้างการติดไฟเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อ %LEL และ %UEL

อุณหภูมิ(C)	$X_L$ (%)	$X_U$ (%)
25	1.9000	8.9000
30	1.8932	8.9321
40	1.8795	8.9963
50	1.8658	9.0604
60	1.8374	9.1246
70	1.8105	9.2550
80	1.7839	9.3864
90	1.7359	9.5186
100	1.6975	9.6866
110	1.6441	9.8918
120	1.5955	10.0998

ดำเนินการทดสอบอุปกรณ์ทั้งสิ้น 4 กรณี แยกเป็น

การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (25°C)

การทดสอบที่อุณหภูมิ 80 °C

การทดสอบที่อุณหภูมิ 100 °C

การทดสอบที่อุณหภูมิ 120 °C โดยในแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การทดสอบในกรณีแรกจะใช้อุณหภูมิทั่วไป ไม่เปิดอุปกรณ์ขดลวดทำความร้อน (Heater) ซึ่งจะทำการทดสอบช่วงว่างการคิดไฟในอุณหภูมิปกติ โดยเริ่มจากการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่คำนวณไว้เล็กน้อย และค่อยๆปรับเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่กำหนดอัตราไหลคงที่เท่ากับ 0.0083ลิตร/วินาที ครั้งละ 5 วินาทีหรือคิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 0.0415 ลิตร รวมเป็น 21 ระดับความเข้มข้นของเชื้อเพลิง โดยแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (25°C) จะได้จากจากการคำนวณในสมการที่ (6) ซึ่งปริมาณ LPG ที่ % LEL เท่ากับ 0.38 ลิตร และ % UEL เท่ากับ 1.78 ลิตร จากนั้นจึงคำนวณระยะเวลาในการปล่อยเชื้อเพลิงในอัตราการไหลที่คงที่ตามสมการการคำนวณที่ (7) ได้ เวลาที่ %LEL เท่ากับ 46 วินาทีและเวลาที่% UEL เท่ากับ 214 วินาที ดังที่แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (25°C)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร(ลิตร)	จำนวนครั้งที่ทดลอง	หมายเหตุ
40	0.33	3	
45	0.37	3	LEL จากการคำนวณ 0.38 ลิตร
50	0.42	3	
55	0.46	3	
60	0.50	3	
65	0.54	3	
70	0.58	3	
75	0.62	3	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร(ลิตร)	จำนวนครั้งที่ ทดลอง	หมายเหตุ
80	0.66	3	
85	0.71	3	
90	0.75	3	
95	0.79	3	
100	0.83	3	
105	0.87	3	
110	0.91	3	
115	0.95	3	
120	1.00	3	
125	1.04	3	
130	1.08	3	
135	1.12	3	
140	1.16	3	
145	1.20	3	
150	1.25	3	
155	1.29	3	
160	1.33	3	
165	1.37	3	
170	1.41	3	
175	1.45	3	
180	1.49	3	
185	1.54	3	
190	1.58	3	
195	1.62	3	
200	1.66	3	
205	1.70	3	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร(ลิตร)	จำนวนครั้งที่ ทดลอง	หมายเหตุ
210	1.74	3	
215	1.78	3	UEL จากการคำนวณ 1.78 ลิตร
220	1.83	3	
225	1.87	3	
230	1.91	3	
235	1.95	3	
240	1.99	3	

การทดสอบในกรณีที่ 2 ทำการเปิดอุปกรณ์ขดลวดทำความร้อน (Heater) เพื่อให้อุณหภูมิในห้องมีค่าใกล้เคียงที่ 80°C (ใช้ค่าที่แสดงผลที่หน้าจอ Display) โดยเริ่มจากการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่คำนวณไว้เล็กน้อย และค่อยๆปรับเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่กำหนดอัตราไหลคงที่เท่ากับ 0.0083 ลิตร/วินาที ครั้งละ 5 วินาทีหรือคิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 0.0415 ลิตร รวมเป็น 21 ระดับความเข้มข้นของเชื้อเพลิง โดยแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

การทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C จะได้จากผลการคำนวณในสมการที่ (6) ซึ่งปริมาณ LPG ที่ % LEL เท่ากับ 0.36 ลิตร และ % UEL เท่ากับ 1.87 ลิตร จากนั้นจึงคำนวณระยะเวลาในการปล่อยเชื้อเพลิงในอัตราการไหลที่คงที่ตามสมการการคำนวณที่ (7) ได้ เวลาที่ %LEL เท่ากับ 43 วินาทีและเวลาที่% UEL เท่ากับ 225 วินาที ดังที่แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (80°C)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร (ลิตร)	จำนวนครั้งที่ทดลอง	หมายเหตุ
40	0.33	3	
45	0.37	3	LEL จากการคำนวณ 0.36 ลิตร
50	0.42	3	
55	0.46	3	
60	0.50	3	
65	0.54	3	
70	0.58	3	
75	0.62	3	
80	0.66	3	
85	0.71	3	
90	0.75	3	
95	0.79	3	
100	0.83	3	
105	0.87	3	
110	0.91	3	
115	0.95	3	
120	1.00	3	
125	1.04	3	
130	1.08	3	
135	1.12	3	
140	1.16	3	
145	1.20	3	
150	1.25	3	
155	1.29	3	
160	1.33	3	
165	1.37	3	

ตารางที่ 8 (ต่อ)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร (ลิตร)	จำนวนครั้งที่ทดลอง	หมายเหตุ
170	1.41	3	
175	1.45	3	
180	1.49	3	
185	1.54	3	
190	1.58	3	
195	1.62	3	
200	1.66	3	
205	1.70	3	
210	1.74	3	
215	1.78	3	
220	1.83	3	
225	1.87	3	UEL จากการคำนวณ 1.87 ลิตร
230	1.91	3	
235	1.95	3	
240	1.99	3	

การทดสอบในกรณีที่ 3 ทำการเปิดอุปกรณ์ขดลวดทำความร้อน(Heater) เพื่อให้อุณหภูมิในห้องมีค่าใกล้เคียงที่  $100^{\circ}\text{C}$  (ใช้ค่าที่แสดงผลที่หน้าจอ Display) โดยเริ่มจากการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่คำนวณไว้เล็กน้อย และค่อยๆปรับเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่กำหนดอัตราไหลคงที่เท่ากับ 0.0083 ลิตร/วินาที ครั้งละ 5 วินาทีหรือคิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 0.0415 ลิตร รวมเป็น ระดับความเข้มข้นของเชื้อเพลิง โดยแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

การทดสอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  จะได้จากผลการคำนวณในสมการที่ (6) ซึ่งปริมาณ LPG ที่ % LEL เท่ากับ 0.34 ลิตร และ % UEL เท่ากับ 1.94 ลิตร จากนั้นจึงคำนวณระยะเวลาในการปล่อยเชื้อเพลิงในอัตราการไหลที่คงที่ตามสมการการคำนวณที่ (7) ได้ เวลาที่ %LEL เท่ากับ 40 วินาทีและเวลาที่ % UEL เท่ากับ 232 วินาที ดังที่แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (100°C)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร (ลิตร)	จำนวนครั้งที่ ทดลอง	หมายเหตุ
40	0.33	3	LEL จากการคำนวณ 0.34 ลิตร
45	0.37	3	
50	0.42	3	
55	0.46	3	
60	0.50	3	
65	0.54	3	
70	0.58	3	
75	0.62	3	
80	0.66	3	
85	0.71	3	
90	0.75	3	
95	0.79	3	
100	0.83	3	
105	0.87	3	
110	0.91	3	
115	0.95	3	
120	1.00	3	
125	1.04	3	
130	1.08	3	
135	1.12	3	
140	1.16	3	
145	1.20	3	
150	1.25	3	

## ตารางที่ 9 (ต่อ)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร(ลิตร)	จำนวนครั้งที่ ทดลอง	หมายเหตุ
155	1.29	3	
160	1.33	3	
165	1.37	3	
170	1.41	3	
175	1.45	3	
180	1.49	3	
185	1.54	3	
190	1.58	3	
195	1.62	3	
200	1.66	3	
205	1.70	3	
210	1.74	3	
215	1.78	3	
220	1.83	3	
225	1.87	3	
230	1.91	3	
235	1.95	3	UEL จากการคำนวณ 1.94 ลิตร
240	1.99	3	

การทดสอบในกรณีที่ 4 ทำการเปิดอุปกรณ์ขดลวดทำความร้อน (Heater) เพื่อให้ อุณหภูมิในห้องมีค่าใกล้เคียงที่ 120°C (ใช้ค่าที่แสดงผลที่หน้าจอ Display) โดยเริ่มจากการปล่อย เชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่คำนวณไว้เล็กน้อย และค่อยๆปรับเพิ่มปริมาตร เชื้อเพลิงที่กำหนดอัตราไหลคงที่เท่ากับ 0.0083ลิตร/วินาที ครั้งละ 5 วินาที หรือคิดเป็นปริมาตร เท่ากับ 0.0415ลิตร รวมเป็น ระดับความเข้มข้นของเชื้อเพลิง โดยแต่ละกรณีจะทำการทดลองซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง

การทดสอบที่อุณหภูมิ 120°C จะได้จากค่าการคำนวณในสมการที่ (6) ซึ่งปริมาณ LPG ที่ % LEL เท่ากับ 0.31 ลิตร และ % UEL เท่ากับ 2.01 ลิตร จากนั้นจึงคำนวณระยะเวลาในการปล่อยเชื้อเพลิงในอัตราการไหลที่คงที่ตามสมการการคำนวณที่ (7) ได้เวลาที่ %LEL เท่ากับ 38 วินาทีและเวลาที่% UEL เท่ากับ 250 วินาที ดังที่แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การทดสอบที่อุณหภูมิปกติ (120°C)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร (ลิตร)	จำนวนครั้งที่ ทดลอง	หมายเหตุ
40	0.33	3	LEL จากการคำนวณ 0.31 ลิตร
45	0.37	3	
50	0.42	3	
55	0.46	3	
60	0.50	3	
65	0.54	3	
70	0.58	3	
75	0.62	3	
80	0.66	3	
85	0.71	3	
90	0.75	3	
95	0.79	3	
100	0.83	3	
105	0.87	3	
110	0.91	3	
115	0.95	3	
120	1.00	3	
125	1.04	3	
130	1.08	3	
135	1.12	3	
140	1.16	3	

## ตารางที่ 10 (ต่อ)

เวลาที่ปล่อย LPG	ปริมาตร (ลิตร)	จำนวนครั้งที่ ทดลอง	หมายเหตุ
145	1.20	3	
150	1.25	3	
155	1.29	3	
160	1.33	3	
165	1.37	3	
170	1.41	3	
175	1.45	3	
180	1.49	3	
185	1.54	3	
190	1.58	3	
195	1.62	3	
200	1.66	3	
205	1.70	3	
210	1.74	3	
215	1.78	3	
220	1.83	3	
225	1.87	3	
230	1.91	3	
235	1.95	3	
240	1.99	3	
245	2.03	3	
250	2.08	3	UEL จากการคำนวณ 2.01 ลิตร
255	2.12	3	

## ผลและวิจารณ์

### ผล

1. การทดสอบในกรณีแรกจะใช้อุณหภูมิทั่วไป ซึ่งไม่เปิดอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) ซึ่งจะทำการทดสอบช่วงกว้างการติดไฟในอุณหภูมิปกติ โดยเริ่มจากการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่ที่ได้จากการคำนวณ ในสมการที่(4) และ (5) และค่อยๆ เพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงด้วยอัตราไหลคงที่ 0.083 ลิตร/วินาที จากการควบคุมด้วย Flow meter ดังภาพที่ 19, 20, 21 เริ่มต้นด้วยการปล่อยเชื้อเพลิง LPG เข้าห้องทดสอบในระยะเวลา 40 วินาที เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรได้ 0.033 ลิตร



ภาพที่ 20 ภาพอุปกรณ์ทดสอบขนาด 20 ลิตร

จากการคำนวณตามสมการ จะเริ่มจุดติดไฟที่ %LEL เท่ากับ 0.38 ลิตร คิดเป็นปริมาตร 1.9 % ของปริมาตรอากาศในห้องทดสอบขนาด 20 ลิตร ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 11



ภาพที่ 21 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบ (Flow meter)



ภาพที่ 22 ถังแก๊ส LPG และอุปกรณ์ปรับแรงดันเพื่อป้องกันมิให้ความดันที่ผ่าน Flow meter มากเกินไป

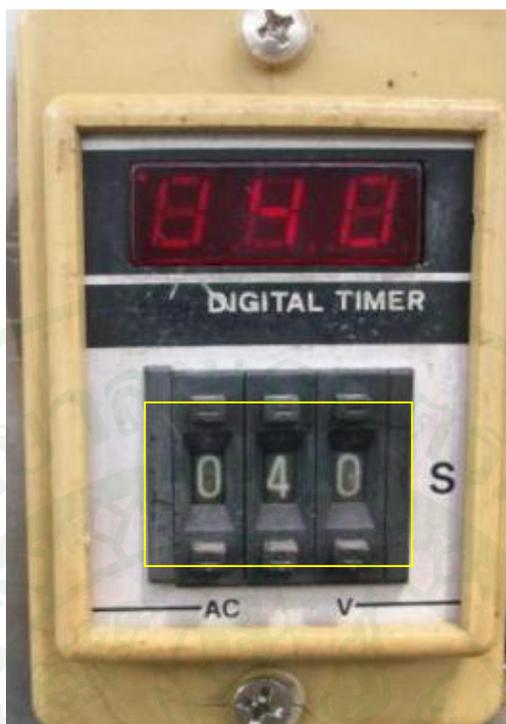
ตารางที่ 11 สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิปกติ (25°C)

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
40	0.33	ไม่เกิดการติดไฟ	ไม่เกิดการติดไฟ	ไม่เกิดการติดไฟ
45	0.37	ไม่เกิดการติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
50	0.42	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
55	0.46	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
60	0.50	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
65	0.54	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
70	0.58	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
75	0.62	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
80	0.66	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
85	0.71	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
90	0.75	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
95	0.79	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
100	0.83	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
105	0.87	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
110	0.91	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
115	0.95	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
120	1.00	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
125	1.04	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
130	1.08	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
135	1.12	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
140	1.16	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
145	1.20	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ติดไฟ
150	1.25	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
155	1.29	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
160	1.33	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
165	1.37	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ

ตารางที่ 11 (ต่อ)

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
170	1.41	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
175	1.45	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
180	1.49	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
185	1.54	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
190	1.58	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
195	1.62	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
200	1.66	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
205	1.70	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
210	1.74	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
215	1.78	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
220	1.83	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
225	1.87	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
230	1.91	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
235	1.95	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
240	1.99	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
245	2.03	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
250	2.08	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
255	2.12	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ

จากการคำนวณนั้น อันที่จริงจะต้องเกิดการจุดติดไฟในห้องทดสอบ ตั้งแต่ 46 วินาที จนกระทั่ง 214 วินาที ซึ่งจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการทดสอบจริง เริ่มจุดติดไฟที่ 45 นาที คิดเป็นปริมาตร 0.37 ลิตรหรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 1.87% ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดสอบ ครั้งที่ 2 และ 3 และมีช่วงกว้างการจุดติดไฟไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงขีดสูงสุดที่ 145 วินาที คิดเป็น ปริมาตร 1.20 ลิตร หรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 6.03% ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดลองซ้ำ ครั้งที่ 3



ภาพที่ 23 เริ่มการทดสอบโดยการตั้งเวลาที่ 40 วินาที



ภาพที่ 24 การเพิ่มเวลาขึ้นครั้งละ 5 วินาที เป็น 45,50,55,60 จนกระทั่ง 255 วินาที



ภาพที่ 25 การทดสอบที่ 40 วินาที ครั้งที่ 1 (ไม่ติดไฟ)



ภาพที่ 26 การทดสอบการจุดติดไฟที่ 45 วินาที ครั้งที่ 2 (ติดไฟ)



ภาพที่ 27 การทดสอบการจุดติดไฟที่ 145 วินาที ครั้งที่ 3

2. การทดสอบในกรณีนี้ 2 จะใช้อุณหภูมิที่ 80°C โดยการเปิดอุปกรณ์ขดลวดทำความร้อน (Heater) และสังเกตอุณหภูมิที่เริ่มสูงขึ้นจากหน้าจอ Display โดยเริ่มจากการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่ที่ได้จากการคำนวณ ในสมการที่(4) และ (5) และค่อยๆ เพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงด้วยอัตราไหลคงที่ 0.083 ลิตร/วินาที จากการควบคุมด้วย Flow meter เริ่มต้นด้วยการปล่อยเชื้อเพลิง LPG เข้าห้องทดสอบในระยะเวลา 40 วินาที เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรได้ 0.033 ลิตร จากการคำนวณตามสมการ จะเริ่มจุดติดไฟที่ %LEL เท่ากับปริมาตรเชื้อเพลิง 0.36 ลิตร คิดเป็น 1.78 % และ% UEL เท่ากับปริมาตรเชื้อเพลิง 1.87 ลิตร คิดเป็น 9.39% ของปริมาตรอากาศในห้องทดสอบขนาด 20 ลิตร ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิ 80°C

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลxเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
40	0.33	ไม่เกิดการติดไฟ	ไม่เกิดการติดไฟ	ไม่เกิดการติดไฟ
45	0.37	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
50	0.42	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
55	0.46	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
60	0.50	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
65	0.54	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
70	0.58	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
75	0.62	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
80	0.66	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
85	0.71	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
90	0.75	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
95	0.79	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
100	0.83	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
105	0.87	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
110	0.91	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
115	0.95	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
120	1.00	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
125	1.04	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ

ตารางที่ 12 (ต่อ)

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
130	1.08	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
135	1.12	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
140	1.16	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
145	1.20	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
150	1.25	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
155	1.29	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
160	1.33	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
165	1.37	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
170	1.41	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
175	1.45	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
180	1.49	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
185	1.54	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
190	1.58	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
195	1.62	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
200	1.66	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
205	1.70	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
210	1.74	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
215	1.78	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
220	1.83	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
225	1.87	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
230	1.91	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
235	1.95	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
240	1.99	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
245	2.03	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
250	2.08	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
255	2.12	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ

จากการคำนวณตามสมการ (5) นั้น อันที่จริงจะต้องเกิดการจุดติดไฟในห้องทดสอบ ตั้งแต่ 43 วินาที จนกระทั่ง 225 วินาที ซึ่งจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการทดสอบจริง เริ่มจุดติดไฟที่ 45 นาที และมีช่วงกว้างการจุดติดไฟไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงขีดสูงสุดที่ 165 วินาที จากการทดสอบครั้งนี้มีการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าไปในห้องทดสอบ ทำให้ ช่วงกว้างการติดไปขยายขึ้นเป็นการ เริ่มจุดติดไฟที่ 45 นาที คิดเป็นปริมาตร 0.37 ลิตร หรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 1.87% ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง และมีช่วงกว้างการจุดติดไฟไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงขีดสูงสุดที่ 165 วินาที คิดเป็นปริมาตร 1.37 ลิตร หรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 6.87 % ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดลองซ้ำทั้ง 3 ครั้งเช่นกัน



ภาพที่ 28 การทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C โดยการตั้งเวลาที่ 45 วินาที



ภาพที่ 29 การทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C โดยการตั้งเวลาที่ 165 วินาที



ภาพที่ 30 การทดสอบการจุดติดไฟที่ 165 วินาที ครั้งที่ 3

3. การทดสอบในกรณีที่ 3 จะใช้อุณหภูมิที่  $100^{\circ}\text{C}$  โดยการเปิดอุปกรณ์ขดลวดทำความร้อน (Heater) และสังเกตอุณหภูมิที่เริ่มสูงขึ้นจากหน้าจอ Display โดยเริ่มจากการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่ที่ได้จากการคำนวณ ในสมการที่ (4) และ (5) และค่อยๆ เพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงด้วยอัตราไหลคงที่  $0.083$  ลิตร/วินาที จากการควบคุมด้วย Flow meter เริ่มต้นด้วยการปล่อยเชื้อเพลิง LPG เข้าห้องทดสอบในระยะเวลา 40 วินาที เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรได้  $0.33$  ลิตร จากการคำนวณตามสมการ จะเริ่มจุดติดไฟที่ %LEL เท่ากับปริมาตรเชื้อเพลิง  $0.34$  ลิตร คิดเป็น  $1.66\%$  และ % UEL เท่ากับปริมาตรเชื้อเพลิง  $1.94$  ลิตร คิดเป็น  $9.66\%$  ของปริมาตรอากาศในห้องทดสอบขนาด  $20$  ลิตร ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
40	0.33	ไม่เกิดการติดไฟ	ไม่เกิดการติดไฟ	ไม่เกิดการติดไฟ
45	0.37	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
50	0.42	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
55	0.46	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
60	0.50	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
65	0.54	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
70	0.58	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
75	0.62	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
80	0.66	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
85	0.71	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
90	0.75	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
95	0.79	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
100	0.83	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
105	0.87	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
110	0.91	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
115	0.95	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
120	1.00	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
125	1.04	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ

ตารางที่ 13 (ต่อ)

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลxเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
130	1.08	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
135	1.12	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
140	1.16	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
145	1.20	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
150	1.25	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
155	1.29	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
160	1.33	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
165	1.37	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
170	1.41	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
175	1.45	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
180	1.49	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
185	1.54	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
190	1.58	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
195	1.62	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
200	1.66	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
205	1.70	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
210	1.74	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
215	1.78	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
220	1.83	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
225	1.87	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
230	1.91	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
235	1.95	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
240	1.99	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
245	2.03	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
250	2.08	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
255	2.12	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ

จากการคำนวณตามสมการ (5) นั้น อันที่จริงจะต้องเกิดการจุดติดไฟในห้องทดสอบ ตั้งแต่ 40 วินาที จนกระทั่ง 232 วินาที ซึ่งจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการทดสอบจริง เริ่มจุดติดไฟที่ 45 นาที คิดเป็นปริมาตร 0.37 ลิตร และมีช่วงกว้างการจุดติดไฟไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงขีดสูงสุดที่ 170 วินาที จากการทดสอบครั้งนี้มีการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าไปในห้องทดสอบ ทำให้ ช่วงกว้างการติดไฟขยายขึ้นเป็นการ เริ่มจุดติดไฟที่ 45 นาที คิดเป็นปริมาตร 0.37 ลิตร หรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 1.87% ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง และมีช่วงกว้างการจุดติดไฟไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงขีดสูงสุดที่ 170 วินาที คิดเป็นปริมาตร 1.41 ลิตร หรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 7.08 % ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดลองซ้ำทั้ง 3 ครั้งเช่นกัน



ภาพที่ 31 การทดสอบที่อุณหภูมิ 100 °C โดยการตั้งเวลาที่ 170 วินาที



ภาพที่ 32 การทดสอบการจุดติดไฟที่ 170 วินาที ครั้งที่ 3

4. การทดสอบในกรณีที่ 4 จะใช้อุณหภูมิที่ 120°C โดยการเปิดอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) และสังเกตอุณหภูมิที่เริ่มสูงขึ้นจากหน้าจอ Display โดยเริ่มจากการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องทดสอบให้ต่ำกว่า % LEL ที่ที่ได้จากการคำนวณ ในสมการที่ (4) และ (5) และค่อยๆ เพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงด้วยอัตราไหลคงที่ 0.083 ลิตร/วินาที จากการควบคุมด้วย Flow meter เริ่มต้นด้วยการปล่อยเชื้อเพลิง LPG เข้าห้องทดสอบในระยะเวลา 40 วินาที เมื่อคำนวณเป็นปริมาตรได้ 0.33 ลิตร จากการคำนวณตามสมการ จะเริ่มจุดติดไฟที่ %LEL เท่ากับปริมาตรเชื้อเพลิง 0.31 ลิตร คิดเป็น 1.60 % และ% UEL เท่ากับปริมาตรเชื้อเพลิง 2.01 ลิตร คิดเป็น 10.1% ของปริมาตรอากาศในห้องทดสอบขนาด 20 ลิตร ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สรุปผลการทดสอบการจุดติดไฟที่อุณหภูมิ 120°C

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
40	0.33	ไม่เกิดการติดไฟ	ไม่เกิดการติดไฟ	ติดไฟ
45	0.37	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
50	0.42	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
55	0.46	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
60	0.50	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
65	0.54	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
70	0.58	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
75	0.62	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
80	0.66	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
85	0.71	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
90	0.75	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
95	0.79	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
100	0.83	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
105	0.87	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
110	0.91	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
115	0.95	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
120	1.00	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
125	1.04	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ

ตารางที่ 14 (ต่อ)

วินาที	ปริมาตร LPG (อัตราไหลเวลา)	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2	ผลการทดสอบ ครั้งที่ 3
130	1.08	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
135	1.12	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
140	1.16	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
145	1.20	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
150	1.25	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
155	1.29	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
160	1.33	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
165	1.37	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
170	1.41	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
175	1.45	ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
180	1.49	ไม่ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ
185	1.54	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
190	1.58	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
195	1.62	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
200	1.66	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
205	1.70	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
210	1.74	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
215	1.78	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
220	1.83	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
225	1.87	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
230	1.91	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
235	1.95	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
240	1.99	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
245	2.03	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
250	2.08	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ
255	2.12	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ

จากการคำนวณตามสมการ (5) จากการทดสอบครั้งนี้มีการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าไปในห้องทดสอบ ทำให้ ช่วงกว้างการคิดไปขยายขึ้นเป็นการ เริ่มจุดตัดไฟที่ 40 นาที คิดเป็น ปริมาตร 0.34 ลิตร หรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 1.67% ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดสอบครั้งที่ 3 และมีช่วงกว้างการจุดตัดไฟไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงขีดสูงสุดที่ 180 วินาที คิดเป็นปริมาตร 1.49 ลิตร หรือเชื้อเพลิงคิดเป็น 7.5 % ของอากาศในห้องทดสอบ

จากการทดสอบครั้งนี้มีการเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าไปในห้องทดสอบ ทำให้ ช่วงกว้างการคิดไปขยายขึ้นเป็นการ เริ่มจุดตัดไฟที่ 40 นาที คิดเป็นปริมาตร 0.34 ลิตร หรือ เชื้อเพลิงคิดเป็น 1.67% ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดสอบครั้งที่ 3 และมีช่วงกว้างการจุด ตัดไฟไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงขีดสูงสุดที่ 180 วินาที คิดเป็นปริมาตร 1.49 ลิตร หรือเชื้อเพลิง คิดเป็น 7.5 % ของอากาศในห้องทดสอบ จากการทดลองครั้งที่ 2,3 ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การทดสอบที่อุณหภูมิ 120 °C โดยการตั้งเวลาที่ 180 วินาที

ในกรณีที่เชื้อเพลิงในห้องทดสอบมากเกินไป หรือที่เรียกว่าหน้า คือมีอัตราส่วนเชื้อเพลิงสูงกว่า UEL นั้น เมื่อมีช่องเปิดให้อากาศเข้าไปจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Backdraft ซึ่งจากการทดลองนี้จะสามารถพบว่ามีเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบ ที่ 185 วินาทีแล้วทำการจุดระเบิดจะไม่เกิดการติดไฟ แต่เมื่อทำการเปิดช่องด้านข้างตู้ทดสอบ ทำให้มีอากาศเข้าไฟผสมกับเชื้อเพลิงทำให้สัดส่วนต่ำลงจาก UEL และเกิดการจุดติดไฟ ดังภาพที่ 34





(ก)

ภาพที่ 34 การเกิด Backdraft เมื่อเพิ่มอากาศเข้าห้องทดสอบทำให้สัดส่วนอยู่ในช่วงการติดไฟ



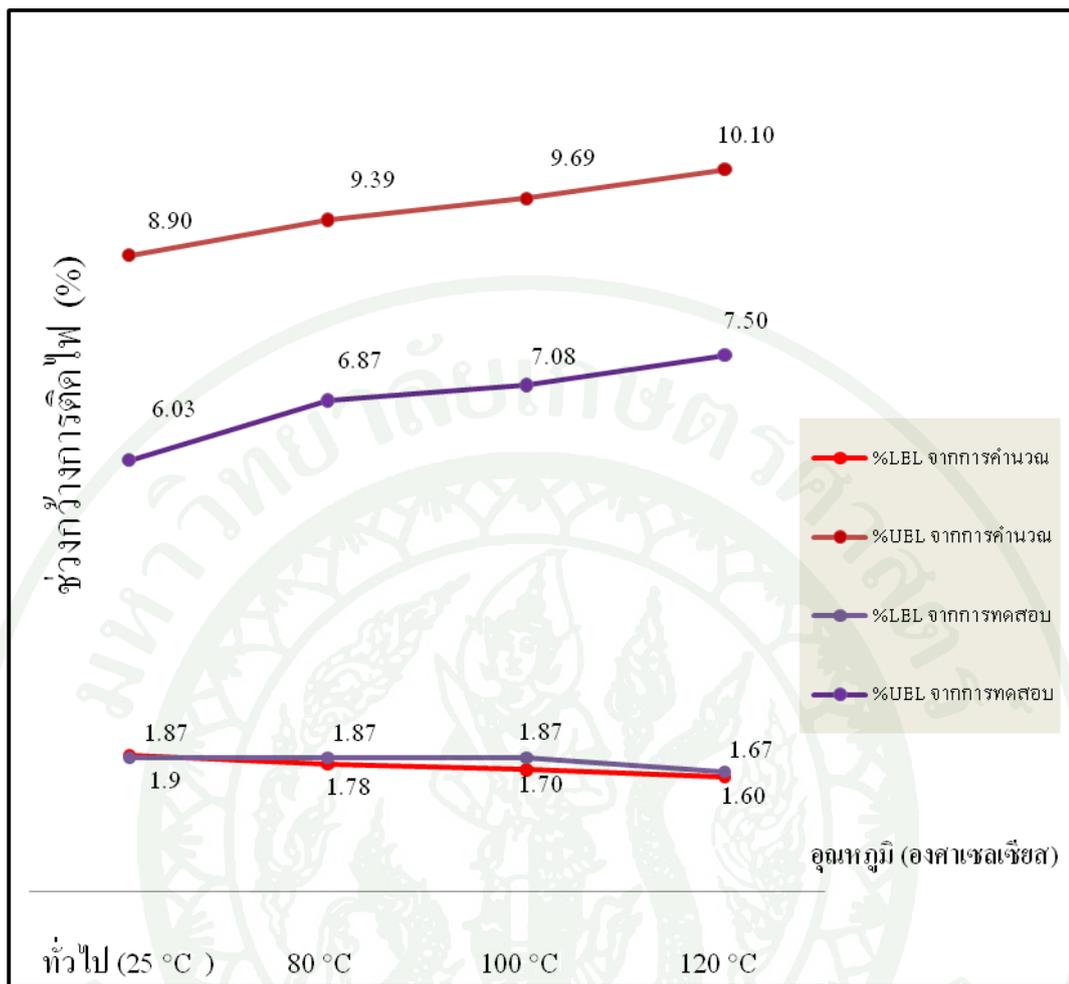
(๗)

ภาพที่ 34 (ต่อ)

จากการทดสอบทั้ง 4 กรณีจะพบว่า การทดสอบระหว่างอุณหภูมิและช่วงกว้างการติดไฟ มีการแปรผันตรงกันคือ เมื่ออุณหภูมิในห้องทดสอบสูงขึ้นช่วงกว้างการติดไฟกว้างขึ้นเช่นกัน ดูผลการทดสอบที่ตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบช่วงกว้างการติดไฟที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

อุณหภูมิ	ค่าที่มาจากการคำนวณ		ค่าที่มาจากการทดสอบจริง	
	%LEL	%UEL	%LEL	%UEL
ทั่วไป (25 °C)	1.9	8.9	1.87	6.03
80 °C	1.78	9.39	1.87	6.87
100 °C	1.7	9.69	1.87	7.08
120 °C	1.6	10.1	1.67	7.5



ภาพที่ 35 ภาพเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อช่วงกว้างการคิดไฟผลการทดสอบจริง เทียบกับการคำนวณ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลจากการทดลองจริงมีค่าแตกต่างจากการคำนวณทางทฤษฎีในระดับหนึ่ง ซึ่ง %LEL มีค่าต่างจากทฤษฎีประมาณ 5% และค่า %UEL มีค่าต่างจากทฤษฎีประมาณ 28%

ค่าความแตกต่างของการทดลองเมื่อเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีโดยเฉพาะค่าของ %UEL ค่อนข้างสูงทำให้ผู้วิจัยเกิดข้อสังเกตจึงทวนสอบหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อน น่าจะสัมพันธ์กับปริมาณของเชื้อเพลิงที่ปล่อยเข้าห้องทดสอบ จึงนำอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด (Flow meter) ยี่ห้อ Agilent Flowmeter ADM2000 ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลตั้งแต่ 0.5-1,000 มิลลิลิตร/นาที่ หรือ  $0.83 \times 10^{-7}$  - 0.0167 ลิตรต่อวินาที (ภาคผนวก จ) มาใช้ในการทดสอบ

อัตราการไหลของเชื้อเพลิงจริง พบว่า เมื่อเริ่มทำการปล่อยเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบโดยการปรับอัตราการไหลที่อุปกรณ์ Flow meter ที่ 0.0083 ลิตรต่อวินาทีนั้น เมื่อนำอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียดมาตรวจสอบเป็นจำนวน 3 ครั้ง จะได้ค่าอัตราการไหลดังตารางที่ 16 และภาพที่ 36

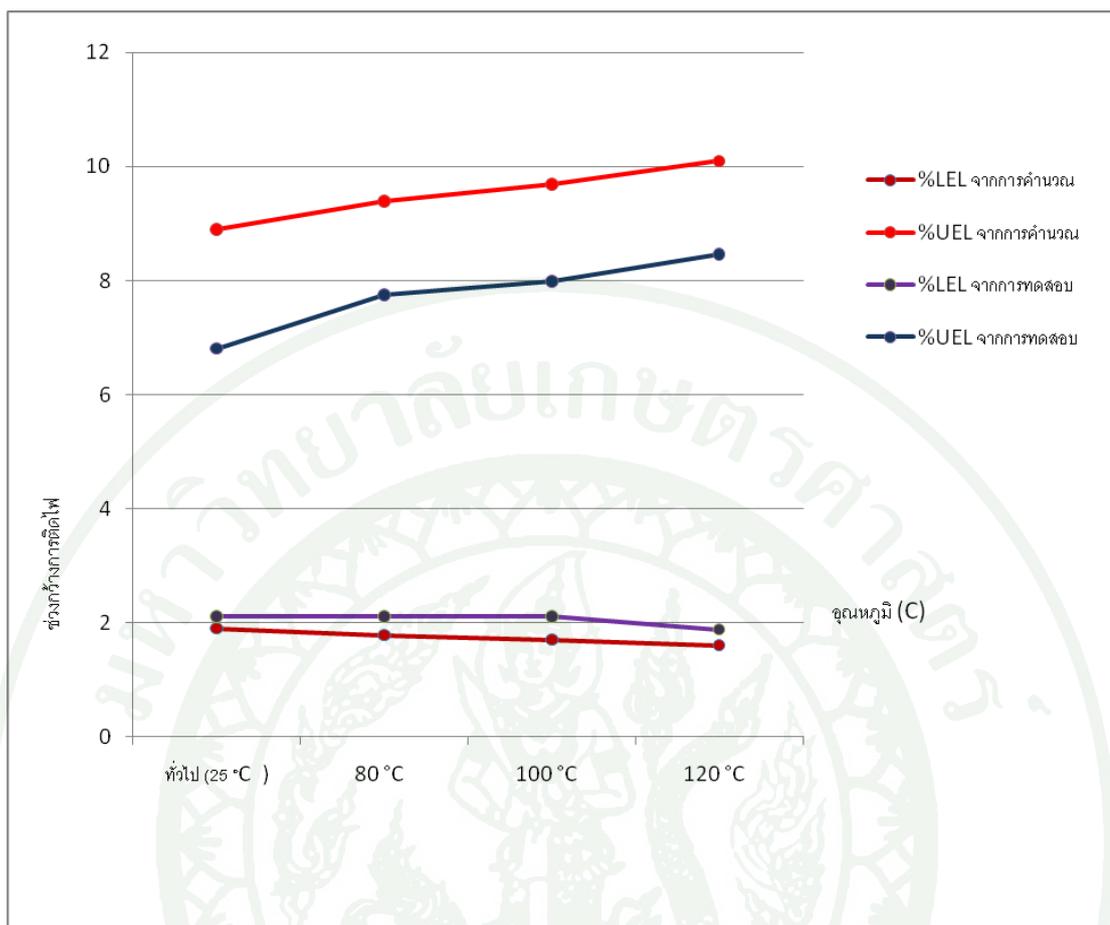
ตารางที่ 16 การตรวจวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด

การทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
อัตราการไหล(มิลลิลิตร/นาท)	567	570	566
อัตราการไหล(ลิตร/วินาที)	0.0094	0.0095	0.0094



ภาพที่ 36 การตรวจวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด

จึงสรุปว่า อัตราการไหลจริงจะมีค่าสูงกว่าที่สังเกตจากอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลที่ติดตั้งข้างตู้ทดสอบ จากการคำนวณจึงพบว่า % LEL มีค่าต่างจากทฤษฎีประมาณ 17.5% และค่า %UEL มีค่าต่างจากทฤษฎีประมาณ 16.3% ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ภาพเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อช่วงกว้างการติดไฟผลการทดสอบจริง  
เทียบโดยใช้อัตราการไหลที่มาจากการใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด  
(Flow meter) ยี่ห้อ Agilent Flowmeter ADM2000

## วิจารณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นการสอนเรื่องความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิกับความเปลี่ยนแปลงของช่วงกว้างการติดไฟของก๊าซหุงต้ม ซึ่งจากการทดสอบพบว่า สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนได้จริง ทำให้ผู้ศึกษาได้เห็นภาพการระเบิดจุดติดไฟจริง แต่ทั้งนี้ ยังพบประเด็นข้อบกพร่อง รวมถึงปัญหาอุปสรรคที่เห็นสมควรนำไปปรับปรุงแก้ไข เพื่อการพัฒนา อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1. เนื่องจากตู้ทดสอบได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการสาธิตการระเบิดจุดติดไฟ ทำให้ ต้องออกแบบขนาดให้มีความเหมาะสมและมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อความสะดวกในการสังเกต ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบจริงจะเห็นได้ว่าผลที่ออกมามีความแตกต่างจากการคำนวณจากทฤษฎีค่อนข้าง สูง เพราะการทดลองตามทฤษฎีนั้นใช้ The Cup burner ด้วยแก้วทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง วงนอกเพียง 28 มิลลิเมตร และบริเวณปล่องแก้วจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 8.5 หรือ 9.5 เซนติเมตร และมีความสูง 53.3 เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ทั้งสองชนิดมีขนาดแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดโอกาสที่ความแม่นยำจะคลาดเคลื่อนสูง

2. การคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงโดยใช้ Timer ส่งผลให้การทดสอบที่ใช้ระยะเวลาในการ ปลดปล่อยแก๊สเข้าห้องนานๆ เกิดโอกาสในการรั่วไหลเยอะมากขึ้น เนื่องจากยังมีช่องเปิดทางด้านบนที่ ใช้ในการระบายแรงดันและช่องเปิดด้านข้างซึ่งไม่สามารถซีลปิดสนิทได้ ทำให้เชื้อเพลิงหรือ อากาศไม่ได้ถูกควบคุมเป็นระบบปิด ร้อยเปอร์เซ็นต์

3. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล (Flow meter) ของเชื้อเพลิงเข้าสู่ตู้ทดสอบมีสเกลค่อนข้างถี่ และมีมาตรวัดเป็นลูกบอลสีแดง ทำให้การปรับค่าอัตราการไหลในการทดสอบมีโอกาส คลาดเคลื่อนได้

4. จุดที่ทำการตรวจวัดอุณหภูมิในตู้ทดสอบมีเพียงจุดเดียว ซึ่งอากาศที่สัมผัสกับความร้อน จากอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) อาจมีอุณหภูมิไม่เท่ากันทั้งตู้ทดสอบถึงแม้จะมีใบพัดคววน ควรเพิ่มจุดตรวจวัดอุณหภูมิเพื่อนำค่ามาเฉลี่ยจะทำให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น

5. ขดลวดจากชุดอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) ติดตั้งใกล้ด้านที่เป็นกระจกมากเกินไป เมื่อทดสอบทอลงซ้ำหลายๆ ครั้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้กระจกเกิดการสะสมความร้อนจนกระทั่งเกิดรอยร้าวขึ้น แต่เนื่องจากติดฟิล์มนิรภัย จึงไม่ก่อให้เกิดอันตรายและเสียหายอื่น



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการทดลองทั้ง 4 กรณีสามารถสรุปได้ว่าช่วงกว้างการติดไฟมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้ทดสอบให้สูงขึ้นด้วยอุปกรณ์สร้างความร้อนภายในตู้จะพบว่า %LEL จะต่ำลงกว่าการทดลองที่อุณหภูมิปกติ รวมถึง %UEL จะสูงขึ้นซึ่งแปรผันตรงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเช่นกัน ถึงแม้ผลการทดสอบจริงจะได้ค่าแตกต่างจากการคำนวณทางทฤษฎี เหตุเพราะขนาดของตู้ทดสอบนั้นใหญ่กว่าอุปกรณ์ cup burner ที่ใช้ในการทดลองตามทฤษฎีและประสิทธิภาพของตู้ทดสอบเนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยากรต่างๆทำให้ตู้ทดลองมิได้เป็นระบบปิด ร้อยเปอร์เซ็นต์ แต่ผลการทดลองก็สามารถใช้อธิบายทฤษฎีความสัมพันธ์ของ **Burgess-Wheeler Law** ที่ระบุว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีความสัมพันธ์ต่อ %LEL และ %UFL ของสารกลุ่ม Paraffin Hydrocarbon หรือ สารไฮโดรคาร์บอนกลุ่มอัลเคนนั่นเอง ตามที่แสดงกราฟความสัมพันธ์ในภาพที่ 8, 9 นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์สาธิตการจุดติดไฟและการเผาไหม้ซึ่งจะใช้เป็นสื่อการสอนสำหรับงานป้องกันอัคคีภัยที่งานป้องกันบรรเทาสาธารณภัย เทศบาลนครระยอง ได้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและสามารถเป็นตัวอย่างในการพัฒนาอุปกรณ์ในสายงานป้องกันอัคคีภัยต่อไปในอนาคต

### ข้อเสนอแนะ

สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการจุดติดไฟหรือเผาไหม้ซึ่งมีความความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ควรเพิ่มจุดตรวจวัดอุณหภูมิให้มากขึ้นเพื่อจะได้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องทดสอบที่ใกล้เคียงจุดที่เกิดการติดไฟจริง ทั้งนี้การปล่อยเชื้อเพลิงเข้าห้องทดสอบควรใช้การคำนวณปล่อยเป็นปริมาตรในระยะเวลาที่สั้นเพื่อลดอัตราการรั่วไหลออกสู่ภายนอก สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ตู้ทดสอบควรศึกษาคูณสมบัติอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องติดตั้งภายในตู้ทดสอบเนื่องจากมีความร้อนและแรงดันจากการเผาไหม้ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหายได้ รวมถึงผู้ทดสอบต้องทำการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลทุกครั้งที่มีการทดสอบเพื่อความปลอดภัย

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ณัฐชัย ละอองทอง. 2550. การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยการเรียนรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของช่วงกว้างการติดไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Quintiere, J.G. 2005. **Fundamental of Fire Phenomena**. Chichester, UK, John Wiley & Sons.

Zabetakis, M.G. 1965. **Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors**. Washington DC, Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior.



ภาคผนวก





ภาพผนวกที่ ก1 อุปกรณ์ทดสอบพร้อมขาตั้ง



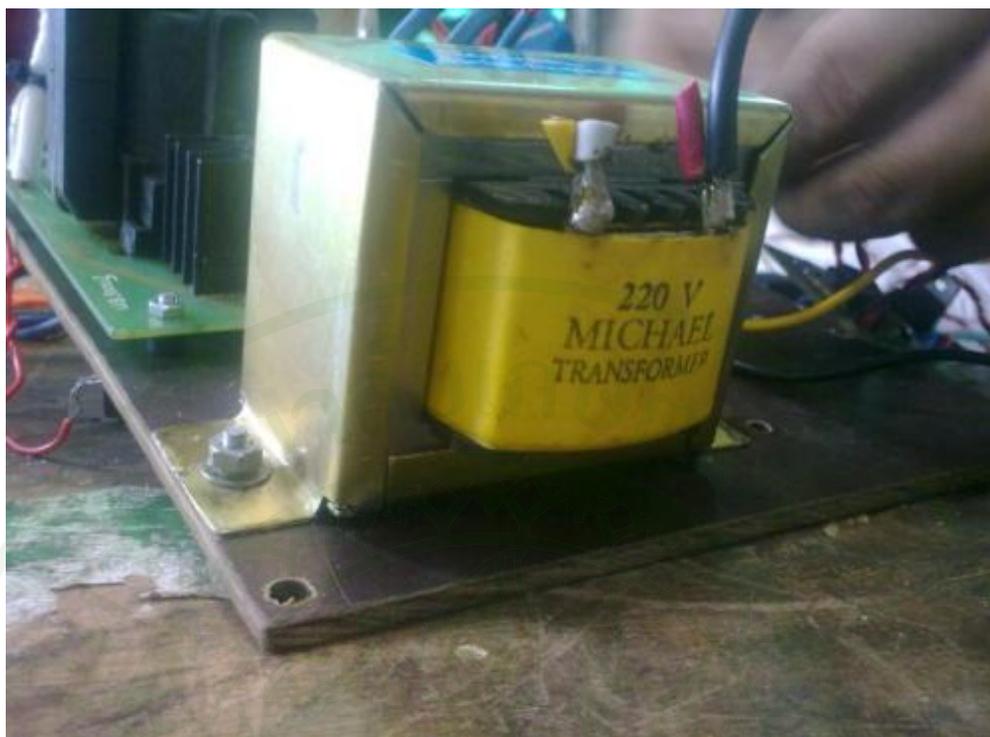
ภาพผนวกที่ ก2 ด้านข้างอุปกรณ์ทดสอบ



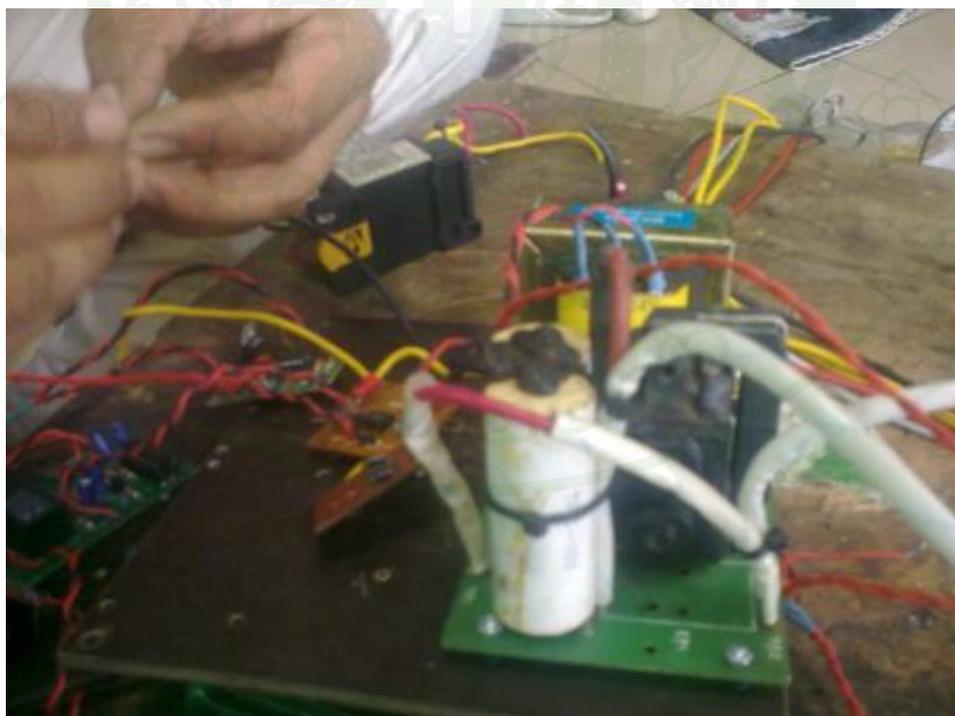
ภาพผนวกที่ ก3 ด้านบนของอุปกรณ์ทดสอบ



ภาพผนวกที่ ก4 ด้านข้างของอุปกรณ์ทดสอบซึ่งออกแบบให้มีช่องเปิด-ปิดได้



ภาพผนวกที่ ๕ ชุดหม้อแปลงไฟฟ้า



ภาพผนวกที่ ๖ การต่อวงจรเพื่อแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพผนวกที่ ก7 การติดตั้งชุดยิงแสงเพื่อเป็นตัวจุดระเบิด



ภาพผนวกที่ ก8 สายไฟและสวิตช์กจุดระเบิด



ภาพผนวกที่ ก9 Digital Timer



ภาพผนวกที่ ก10 แสดงจุดติดตั้ง Solenoid Valve เพื่อควบคุมเชื้อเพลิง



ภาพผนวกที่ ก11 แสดงหัวจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องทดสอบ



ภาพผนวกที่ ก12 ไม้พืดกวางขนาด 5\*10 เซนติเมตร สำหรับผสมเชื้อเพลิงอากาศในห้องทดสอบให้เข้ากัน



ภาพผนวกที่ ก13 หัววัดอุณหภูมิภายในตู้ทดสอบ



ภาพผนวกที่ ก14 อุปกรณ์ลดความดันที่ต่อจากถังแก๊ส LPG



ภาพผนวกที่ ก15 อุปกรณ์ปรับแรงดันเพื่อป้องกันมิให้ความดันที่ผ่าน Flow meter มากเกินไป



ภาพผนวกที่ ก16 Flow meter ซึ่งกำหนดอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 0.0083ลิตร/วินาที



ST-01/02

**CERTIFICATE OF CALIBRATION**

Issued By **Carrier Technology Laboratory**  
Date of Issue **18 March 2010**

Certificate Number  
**10CE045**  
Page 1 of 3

**Carrier Technology (Thailand) Co.,Ltd.**  
**267/154 Sukhumvit Road ,Tambol Maptaphut**  
**Muang Rayong District ,Rayong Province 21150**  
**Tel. : 0 3860 8827 Fax : 0 3860 8828**

Approved Signatory

Surak C.  Sophon Ch.

**Customer :** TOC Glycol Company Limited  
9 Soi G12, Hemaraj Eastern Industrial Estate, Pakorn Songkhrao-Rat Rd,  
Tambon Maptaphut, Amphur Muang Rayong, Rayong 21150

**Date Received :** 16 March 2010

**Instrument -** System ID : E0196  
Description : Advanced Signal Calibrator  
Manufacturer : Ametek  
Model Number : ASC300G  
Serial Number : 9271085  
Procedure Version : 739

Customer Ref. -

**Environmental Conditions**

Temperature : 23°C ± 2°C      Mains Voltage : 220V ± 10V  
Relative Humidity : 50%RH ± 15%RH      Mains Frequency : 50Hz ± 1Hz

**Comments**

Instrument was placed in lab and allowed to stabilise before calibration.  
Calibration results was found accurate as shown on date and place calibration only.

*Handwritten notes:*  
25/03/10  
25/03/10

**Traceability Information**

Instrument Description	Serial Number	Certificate Number	Cal. Date	Cal. Period
3041 Precision Multi-Product Calibrator	F1027B8	EL-0143/09	15/06/2009	52
5075 Precision Multimeter	1224B04	EL-0144/09	16/06/2009	52
ZX74 D.C. Resistance Boxes	007511/02	SE015-01	08/07/2009	52

Calibrated By : **Jaturaporn J.**

Date of Calibration : **18 March 2010**

The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k=2, providing a level of confidence of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements.

This certificate provides traceability of measurement to recognised National standards, and to the units of measurements realised at the National Physical Laboratory or other recognised National standards laboratories.  
Copyright of this certificate is owned by the issuing laboratory and may not be reproduced except with the prior written approval of the issuing laboratory.

# CERTIFICATE OF CALIBRATION



Certificate Number

10CE045

Page 2 of 3

Test Title	Applied Value	Reading Value	Uncertainties
<b>Function : mA Read Verification</b>			
<b>Range : 0 to 24 mADC</b>			
24 mA D.C.	4.000mA	3.999mA	0.12uA
24 mA D.C.	8.000mA	7.999mA	0.99uA
24 mA D.C.	12.000mA	12.000mA	0.99uA
24 mA D.C.	16.000mA	16.000mA	0.99uA
24 mA D.C.	20.000mA	19.999mA	0.99uA
24 mA D.C.	24.000mA	24.000mA	1.39uA
<b>Function : Isolated mA Read Verification</b>			
<b>Range : 0 to 24 mADC</b>			
24 mA D.C.	4.000mA	4.000mA	0.12uA
24 mA D.C.	8.000mA	8.000mA	0.99uA
24 mA D.C.	12.000mA	12.000mA	0.99uA
24 mA D.C.	16.000mA	16.000mA	0.99uA
24 mA D.C.	20.000mA	20.000mA	0.99uA
24 mA D.C.	24.000mA	24.000mA	1.39uA
<b>Function : mA Source Verification</b>			
<b>Range : 0 to 24 mADC</b>			
24 mA D.C.	4.000mA	3.999mA	0.41uA
24 mA D.C.	8.000mA	7.999mA	0.41uA
24 mA D.C.	12.000mA	12.000mA	1.21uA
24 mA D.C.	16.000mA	15.999mA	1.21uA
24 mA D.C.	20.000mA	19.999mA	1.21uA
24 mA D.C.	24.000mA	23.998mA	2.41uA
<b>Function : RTD Pt100 4Wire Read Verification</b>			
<b>Range : -200 to 800 °C</b>			
800 °C	-200.0°C	-199.9°C	0.13°C
800 °C	-100.0°C	-99.9°C	0.13°C
800 °C	0.0°C	0.1°C	0.12°C
800 °C	300.0°C	300.1°C	0.14°C
800 °C	600.0°C	600.1°C	0.15°C
800 °C	800.0°C	800.2°C	0.15°C
<b>Function : RTD Pt100 Source Verification</b>			
<b>Range : -200 to 800 °C</b>			
800 °C	-200.0°C	-200.0°C	0.14°C
800 °C	-100.0°C	-100.0°C	0.14°C
800 °C	0.0°C	0.0°C	0.14°C
800 °C	300.0°C	300.0°C	0.14°C
800 °C	600.0°C	600.0°C	0.14°C
800 °C	800.0°C	800.0°C	0.14°C
<b>Function : Thermocouple Type K Read Verification</b>			
<b>Range : -200 to 1370 °C ( CJC OFF )</b>			
1370 °C	-180.0°C	-179.8°C	0.17°C

Transilite ProCal / ProCal-Track : Standard Certificate V1.00

# CERTIFICATE OF CALIBRATION



Certificate Number

10CE045

Page 3 of 3

Test Title	Applied Value	Reading Value	Uncertainties
1370 °C	0.0°C	0.1°C	0.17°C
1370 °C	1370.0°C	1370.1°C	0.42°C
<b>Function : Thermocouple Type K Source Verification</b>			
<b>Range : -200 to 1370 °C ( CJC OFF )</b>			
1370 °C	-180.0°C	-179.9°C	0.17°C
1370 °C	0.0°C	0.0°C	0.17°C
1370 °C	1370.0°C	1370.0°C	0.42°C
<b>Function : Thermocouple Type E Read Verification</b>			
<b>Range : -200 to 950 °C ( CJC OFF )</b>			
950 °C	-200.0°C	-200.0°C	0.34°C
950 °C	0.0°C	0.0°C	0.34°C
950 °C	950.0°C	950.0°C	0.34°C
<b>Function : Thermocouple Type E Source Verification</b>			
<b>Range : -200 to 1000 °C ( CJC OFF )</b>			
950 °C	-200.0°C	-199.8°C	0.34°C
950 °C	0.0°C	0.1°C	0.34°C
950 °C	950.0°C	950.0°C	0.34°C

END OF TEST DATA



ภาคผนวก ค  
อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่างละเอียด (Flow meter) ยี่ห้อ Agilent Flowmeter ADM2000



**Agilent Flowmeter ADM2000****Product Specifications**

- Flow range: 0.5 to 1000 mL/min, autoranging
- Accuracy  $\pm$  3% of reading, or  $\pm$  0.2 mL/min, whichever is greater.
- Tubing temperature range: -62°C to 110°C
- Operating temperature range: 0°C to 45°C
- Power: 9V battery (alkaline), or AC power adapter
- Display: 16 character alphanumeric
- Automatic power off
- Split ratio mode with continuous split flow rate reading
- NIST traceability
- Compatible with non-corrosive and non-flammable gases
- Self-checking power on sequence
- Volumetric and mass flow measurements
- RS232 output
- Each flowmeter individually computer calibrated

## Certificate of Calibration

### Agilent Technologies

2850 Centerville Rd., Wilmington, DE 19808

**Model:** 2000-series  
**Serial:** US09E38773

**Calib Date:** May 13, 2009  
**ReCal Date:** Aug 13, 2010

**Calibrated by:** Gail *Gail Hill* **Test Station:** 100-28  
**Work Order:** 2000-134 **Traceable Standards:** Teledyne 1813, 1817, 1796  
**Test Environment:** 25.0-deg. Celsius 28.16-inches HgA ( 95.3-KPa)

**Instrument Maintenance Prior to Calibration:** Installed New Battery

As per Agilent procedure PC090301, ANSI/NCSL Z-540-1-1994, the above designated flow meter was calibrated to within an absolute accuracy of 3-percent to NIST traceable flow rate standards manufactured by Cincinnati Test Systems Inc. These flow rate standards are periodically verified to the above listed NIST traceable standards which have a reported absolute accuracy of 0.5-percent.

### Calibration Results

Flow Rates (ml/min)		% -Diff	Result
Actual	Measured		
5.23	5.16	-1.34	PASS
54.02	54.26	0.44	PASS
103.8	104.0	0.19	PASS
534.5	535.5	0.19	PASS
790.1	797.0	0.87	PASS
951.4	956.7	0.56	PASS
Flow Rates (sccm)		% -Diff	Result
Actual	Measured		
4.84	4.81	-0.62	PASS
49.98	50.21	0.46	PASS
96.03	96.03	0.00	PASS
494.5	495.5	0.20	PASS
731.0	736.4	0.74	PASS
880.2	887.3	0.81	PASS

Calibrated by California Integration Coordinators, Inc.  
2929 Grandview, Placerville, CA 95667-4635  
Phone: (530) 626-6168 Fax: (530) 626-7740 www.cic-inc.com

Reproduction prohibited, request an original copy from Agilent Technologies

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวศิริรัชณี ศิริสวัสดิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	28 พฤษภาคม 2528
สถานที่เกิด	จ.นราธิวาส
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะสาธารณสุขศาสตร์ วิชาเอกอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ทีโอซี ไกลคอลล จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-