บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างลมกับการลุกลามของไฟ เพื่อที่จะหาค่าสัดส่วนที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงการจุดติดไฟ โดยในการหาค่าสัดส่วนนั้นจะทำได้ด้วยวิธีการทำการทดลองที่กำหนดความหนาของเชื้อเพลิงให้คงที่ เปลี่ยนตำแหน่งของการจุดไฟ และกำหนดความเร็วของลมเพื่อสังเกตุลักษณะของเปลวไฟทำมุมกับเชื้อเพลิง และในการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บค่าอัตราการลุกลามของไฟ อุณหภูมิของหน้าไฟและความสูงของเปลวไฟ โดยในการลุกลามของไฟจะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ แหล่งความร้อน แหล่งรับความร้อน และการถ่ายเทความร้อน ซึ่งอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าความร้อนของการถ่ายเทความร้อนของการพา และการแผ่รังสีความร้อนมีราคาสูง ดังนั้นแบบจำลองคอมพิวเตอร์จึงนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าการถ่ายเทความร้อนของไฟสู่เชื้อเพลิง เพื่อนำค่าที่ได้มาทำการหาสัดส่วนที่เป็นตัวบ่งชี้ของการจุดติดไฟ และทำการวาดกราฟ ซึ่งในการทดลองจะมีความเร็วลมที่ค่าต่างๆ อาทิเช่น การลุกลามไฟแบบไม่มีลม การลุกลามไฟแบบทิศเดียวกับลมและแบบย้อนทิศกับลม

สำหรับกราฟข้อมูลของอุณหภูมิเปลวไฟกำหนดให้แกนนอนเป็นระยะเวลาโดยที่อุณหภูมิของเปลวไฟสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งเท่ากับ 0 มีหน่วยเป็น วินาที แกนตั้งเป็นอุณหภูมิของเปลวไฟ มีหน่วยเป็น เคลวิน ส่วนกราฟข้อมูลของความสูงเปลวไฟกำหนดให้แกนนอนเป็นระยะเวลาของการลุกลามของไฟซึ่งกำหนดให้อยู่ในช่วงระยะเวลา 3 วินาที มีหน่วยเป็น วินาที แกนตั้งเป็นค่าความสูงของเปลวไฟ มีหน่วยเป็น เซนติเมตร สำหรับกราฟข้อมูลขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงกำหนดให้แกนนอนเป็นระยะเวลาของการลุกลามของไฟซึ่งกำหนดให้อยู่ในช่วงระยะเวลา 3 วินาที มีหน่วยเป็น วินาที แกนตั้งเป็นค่าองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น องศา โดยข้อมูลของความสูงของเปลวไฟและองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงจากการทดลองใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตสำหรับการเฉลี่ยส่วนกราฟข้อมูลของการแผ่รังสีและการพาความร้อนกำหนดให้แกนนอนเป็นระยะเวลาโดยกำหนดให้ตำแหน่งที่ 0 เป็นตำแหน่งที่เชื้อเพลิงติดไฟ มีหน่วยเป็น วินาที แกนตั้งเป็นค่าความร้อนสะสมที่เชื้อเพลิงได้รับ มีหน่วยเป็น กิโลจูล

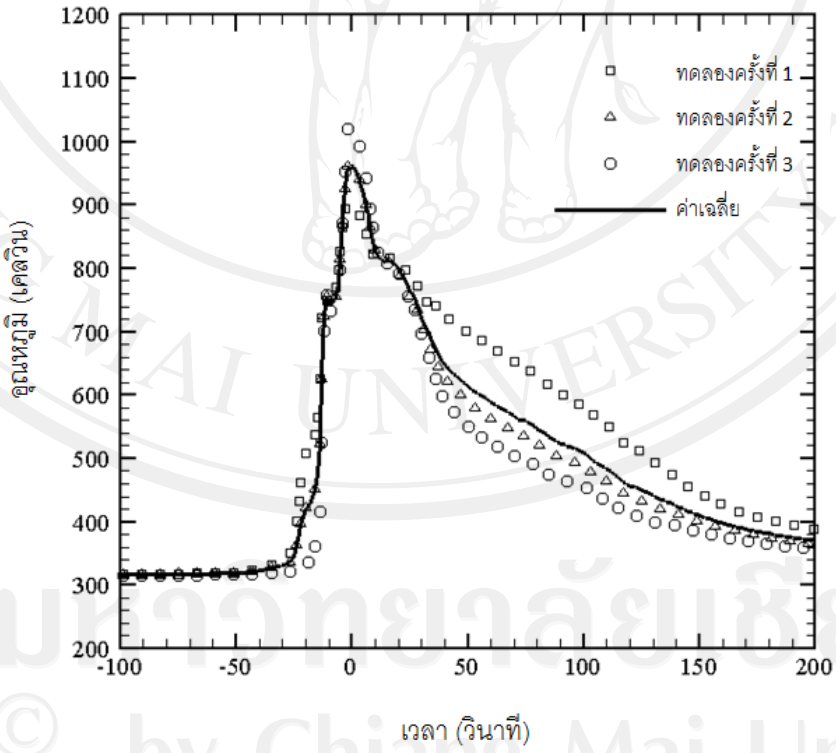
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1 การลุกลามไฟแบบไม่มีลม

การลุกลามไฟแบบไม่มีลม หมายถึง การลุกลามที่ไม่มีการบังคับทิศทางของลม โดยมีลักษณะการลุกลามของไฟแบบอิสระไม่มีการบังคับของทิศทางของลม ซึ่งในการลุกลามนั้นจะมีตัวบ่งชี้คือ อัตราการลุกลามไฟ การถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิของเปลวไฟ ความสูงของเปลวไฟ และองศาของหน้าไฟที่ทำมุมกับเชื้อเพลิง ระหว่างการลุกลามของไฟ โดยมีกราฟเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและแบบจำลองดังนี้

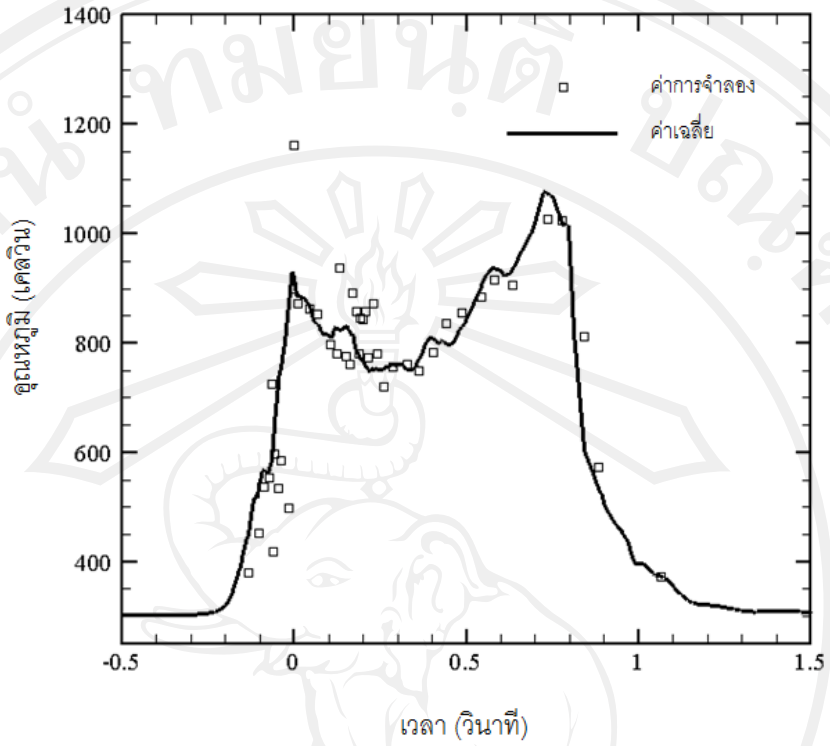
4.1.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองของการลุกลามแบบไม่มีลม

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเปลวไฟที่จุดวัดของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบไม่มีลม สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 21 และ รูปที่ 22 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 961±62 เคลวิน และค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 1019.5 เคลวิน



รูปที่ 21 : อุณหภูมิเปลวไฟของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

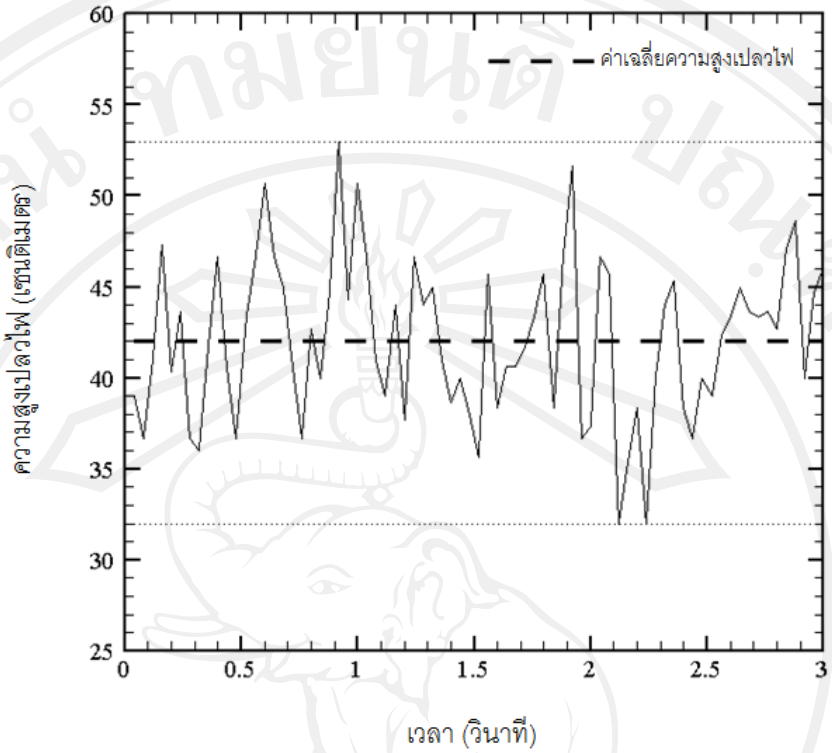


รูปที่ 22 : อุณหภูมิเปลวไฟของแบบจำลอง

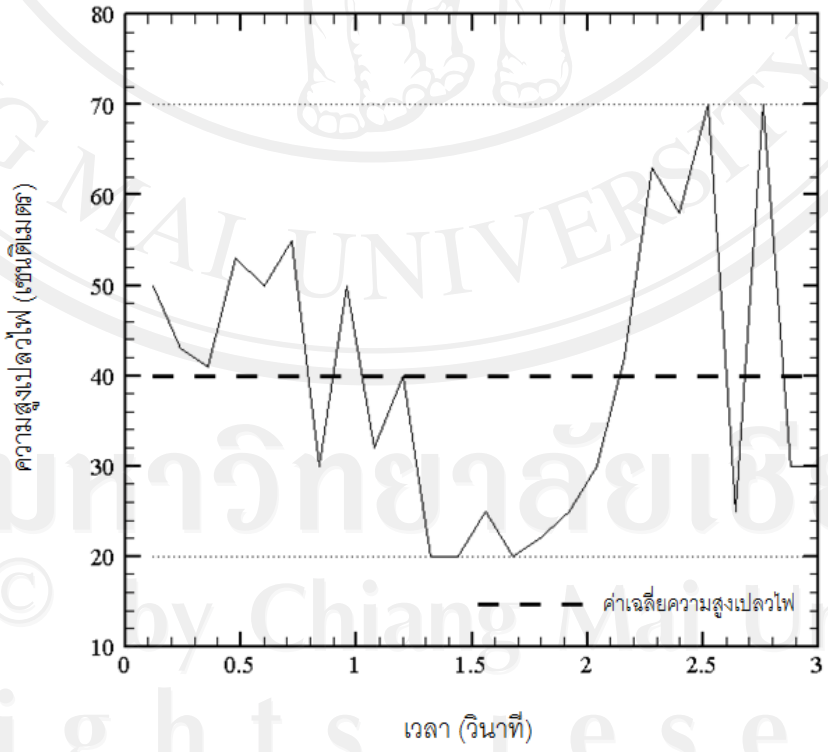
4.1.2 เปรียบเทียบความสูงของเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองของการลุกลามแบบไม่มีลม

จากการเก็บข้อมูลความสูงของเปลวไฟของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบไม่มีลม สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 23 และ รูปที่ 24 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.42 เมตร และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.4 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 23 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากการทดลอง

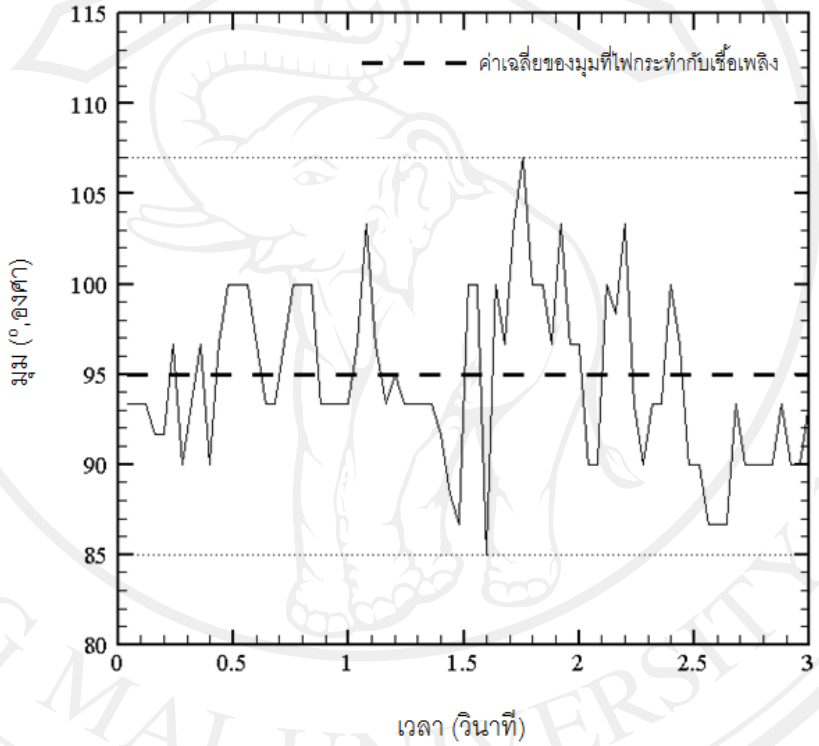


รูปที่ 24 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

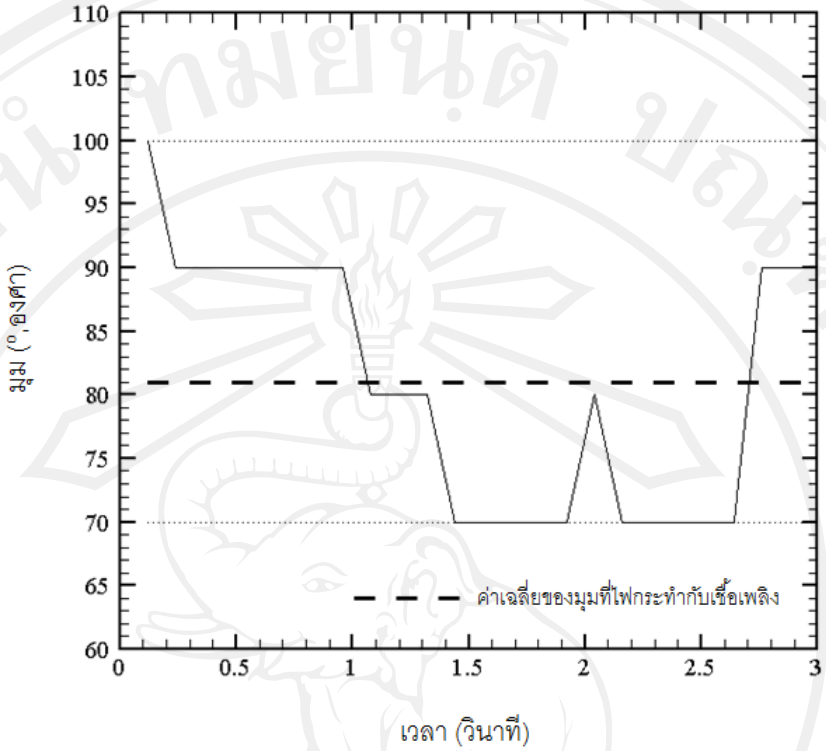
4.1.3 เปรียบเทียบองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงระหว่างการทดลองและแบบจำลองของการลุกลามแบบไม่มีลม

จากการเก็บข้อมูลองศาของเปลวไฟที่กระทำกับเชื้อเพลิงของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบไม่มีลม สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 25 และ รูปที่ 26 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 94±2 องศา และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 81 องศา



รูปที่ 25 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

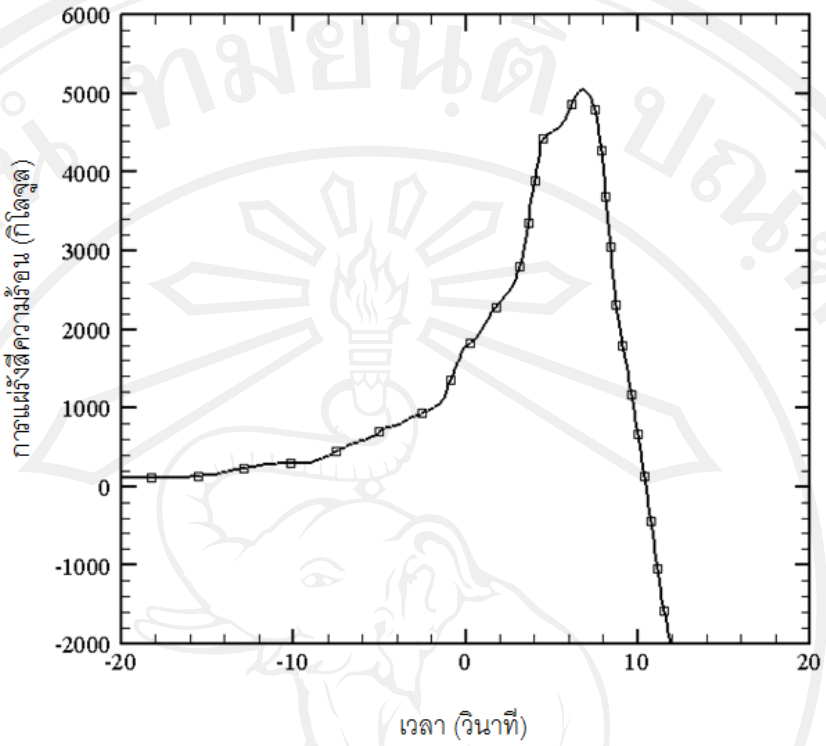


รูปที่ 26 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในแบบจำลอง

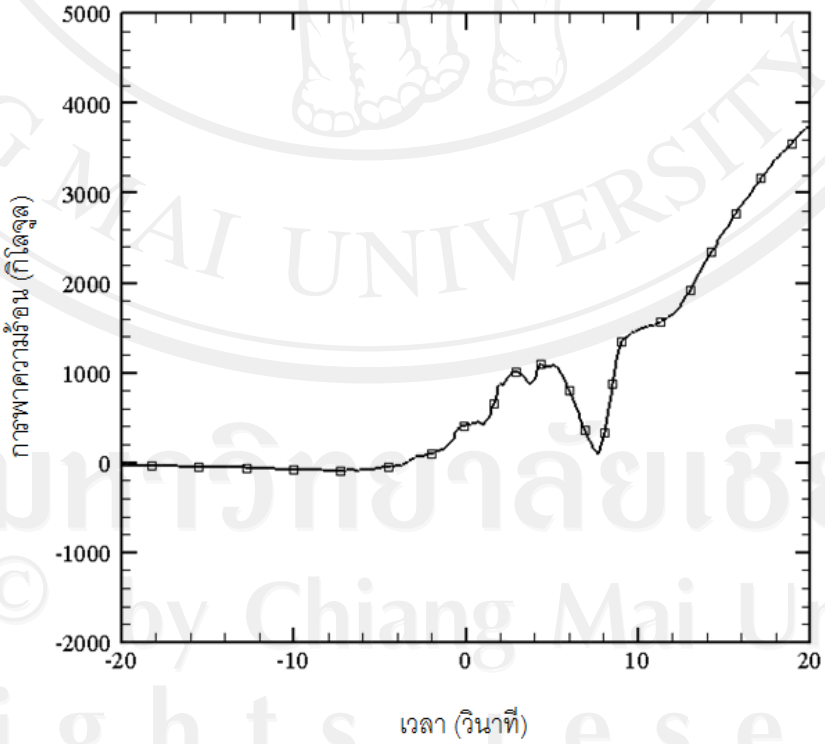
4.1.4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟ โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนของการลุกลามแบบไม่มีลม

จากการเก็บข้อมูลค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนของแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบไม่มีลม สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 27 และ รูปที่ 28 เพื่อนำมาใช้อธิบายถึงกลไกหลักของความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับสำหรับการจุดติดไฟ ไฟ ซึ่งวัดค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนได้เท่ากับ 1810.8 กิโลจูล และค่าความร้อนของการพาความร้อนได้เท่ากับ 471.9 กิโลจูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 27 : ค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 28 : ค่าความร้อนของการพาความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.5 ตารางแสดงสรุปผลของแบบจำลองและการทดลองของการลุกลามแบบไม่มีลม

จากกราฟสามารถสรุปค่าของแบบจำลองและการทดลอง เพื่อใช้เทียบความแม่นยำของแบบจำลองและการทดลอง ซึ่งใช้ค่าอุณหภูมิของเปลวไฟ ความสูงของเปลวไฟ และองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิง เพื่อที่จะสามารถนำค่าความร้อนที่วัดได้จากแบบจำลอง มาอธิบายถึงกลไกหลักที่ทำให้เชื้อเพลิงสามารถจุดติดไฟได้โดยไม่มีลม ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลของแบบจำลองของการลุกลามแบบไม่มีลม

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)	การถ่ายเทความร้อน			
					การแผ่รังสีความร้อน (กิโลจูล)	การพาความร้อน (กิโลจูล)	ค่าความร้อนสุทธิ (กิโลจูล)	สัดส่วนค่าการแผ่รังสีกับค่าความร้อนสุทธิ
ไม่บังคับ	0.14	1019.5	0.4	81	1810.8	471.9	2282.7	0.79

ตารางที่ 2 ผลการทดลองของการลุกลามแบบไม่มีลม

ครั้งที่	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)
1.	0.44	899.0	0.43	96
2.	0.47	962.5	0.43	96
3.	0.34	1022.5	0.41	92
ค่าเฉลี่ย	0.42	961±62	0.42	94±2

4.1.6 การเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองและแบบจำลองของการลุกลามที่ลุกลามแบบไม่มีลม

ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองและการทดลองสำหรับการลุกลามที่ไม่มีลม โดยสังเกตจากค่าของ อุณหภูมิของเปลวไฟ ค่าความสูงของเปลวไฟและองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง ได้ว่า อุณหภูมิของเปลวไฟจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 961±62 เคลวิน แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 1019.5 เคลวิน ค่าความสูงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.42 เมตร แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.4 เมตร และองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิงของการทดลองมีค่าเท่ากับ 94±2 องศา แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 81 องศา จากการเปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลอง ทำให้ทราบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ว่าผลมีความใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีและการพาความร้อนมาทำการวิเคราะห์ถึงสัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมด

4.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองและแบบจำลองของการลุกลามที่ลุกลามแบบไม่มีลม

จากผลของแบบจำลองและการทดลองของการลุกลามที่ไม่มีลม แสดงให้เห็นว่า การลุกลามของไฟเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงได้รับค่าความร้อนเท่ากับค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงต้องการสำหรับกระบวนการการเผาไหม้ ซึ่งค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับนั้น เกิดขึ้นจากกระบวนการการถ่ายเทความร้อนจากไฟสู่เชื้อเพลิงโดยมี การพาและการแผ่รังสีความร้อนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งค่าความร้อนจากการพาความร้อนสะสมวัดได้ มีค่าเท่ากับ 471.9 กิโลจูล การแผ่รังสีความร้อนสะสมมีค่าเท่ากับ 1810.8 กิโลจูล ค่าความร้อนสะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2282.7 กิโลจูล สัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 0.79 และองศาที่เปลวไฟทำกับผิวหน้าของเชื้อเพลิงเท่ากับ 81 องศา

จากข้อมูลทราบว่าสัดส่วนความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับในเงื่อนไขของการลุกลามแบบไม่มีลม มีสัดส่วนของการแผ่รังสีมากกว่าการพาความร้อนที่ไฟปล่อยมาสู่เชื้อเพลิง ส่วนในเงื่อนไขที่มีลมจะทำการกำหนดทิศทางและความเร็วของลม เพื่อจะอธิบายถึงสัดส่วนความร้อนที่มีผลต่อการจุดติดไฟในหัวข้อถัดไป

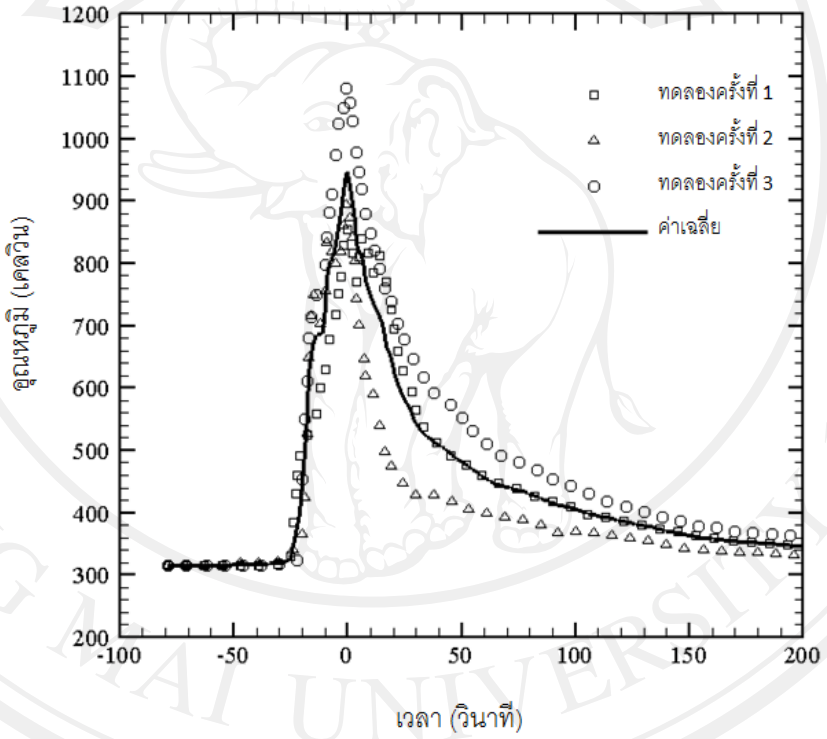
4.2 การลุกลามไฟแบบทิศเดียวกับลม

การลุกลามไฟแบบทิศเดียวกันกับลม หมายถึง การลุกลามที่มีลักษณะเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกันกับลม ซึ่งการลุกลามแบบนี้จะมีการลุกลามของไฟที่รวดเร็วและมีความรุนแรงสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอธิบายถึงผลของลมที่มีต่อการลุกลามของไฟ โดยจะอธิบายจาก การถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิของเปลวไฟ ความสูงของเปลวไฟ และองศาของหน้าไฟที่ทำมุมกับเชื้อเพลิง ที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของลมที่มีต่อการลุกลามไฟที่มีทิศเดียวกันกับลม โดยมีกราฟดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

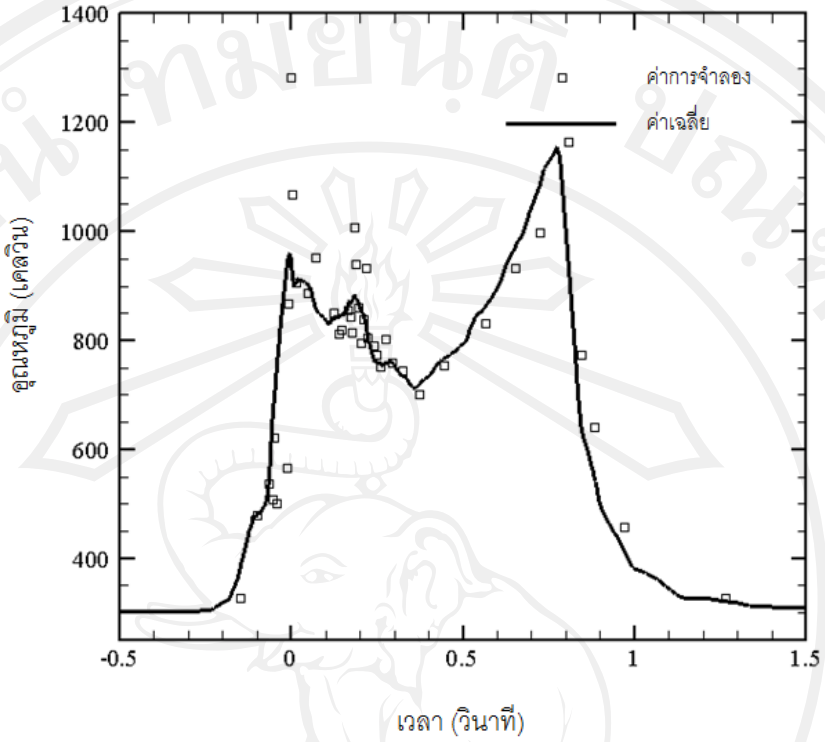
4.2.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเปลวไฟที่จุดวัดของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 29 และ รูปที่ 30 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 967±113 เคลวิน และค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 982.2 เคลวิน



รูปที่ 29 : อุณหภูมิเปลวไฟของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

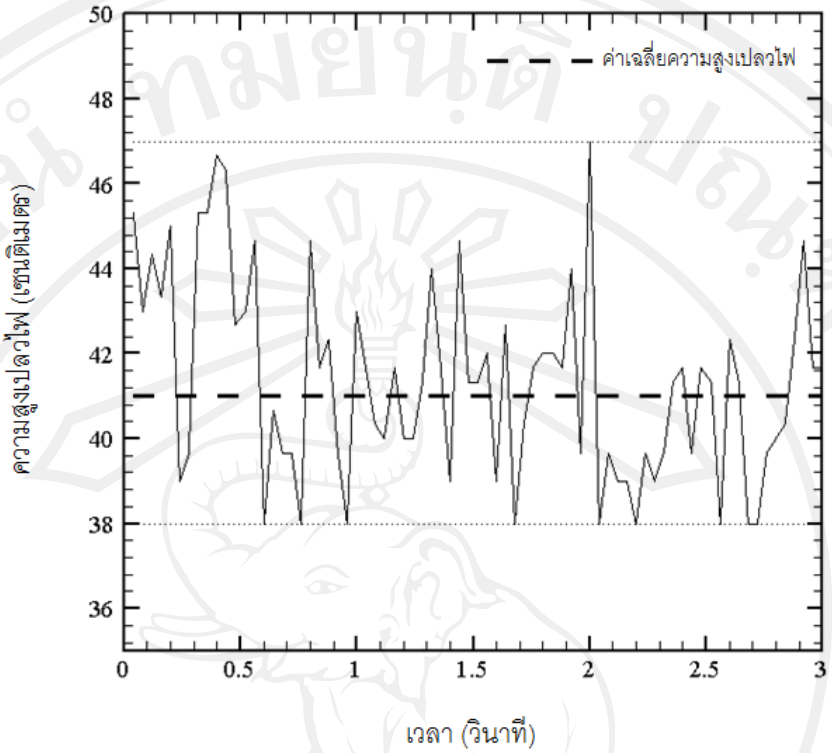


รูปที่ 30 : อุณหภูมิเปลวไฟของแบบจำลอง

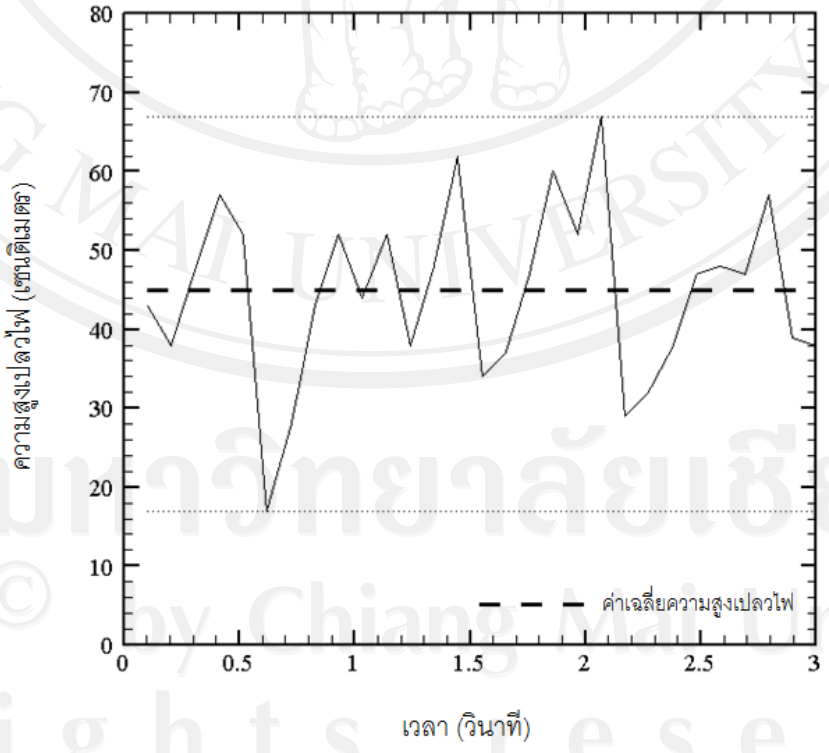
4.2.2 เปรียบเทียบความสูงของเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลความสูงของเปลวไฟของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 31 และ รูปที่ 32 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.42 เมตร และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.45 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 31 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากการทดลอง

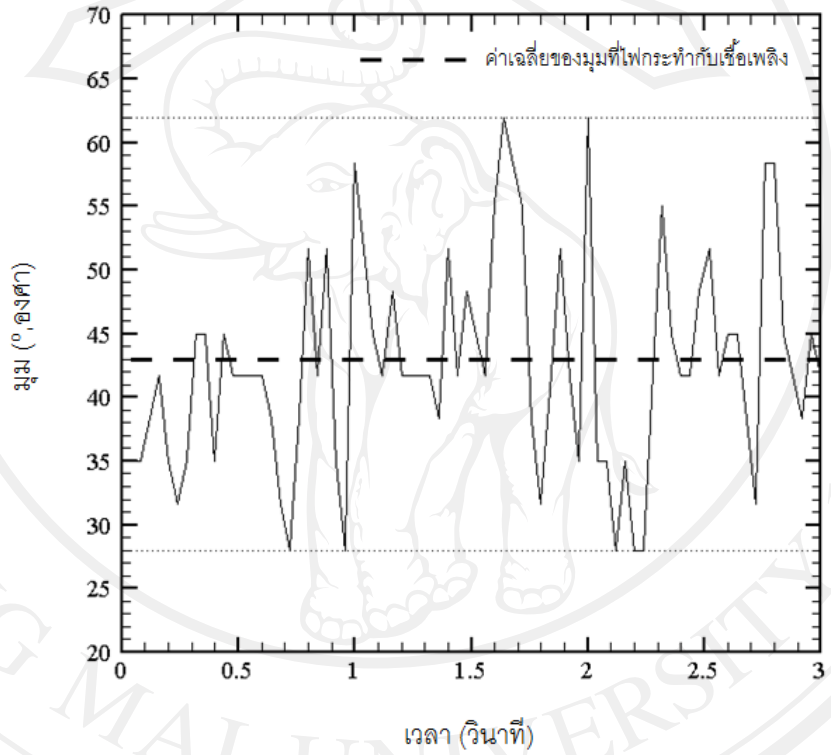


รูปที่ 32 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

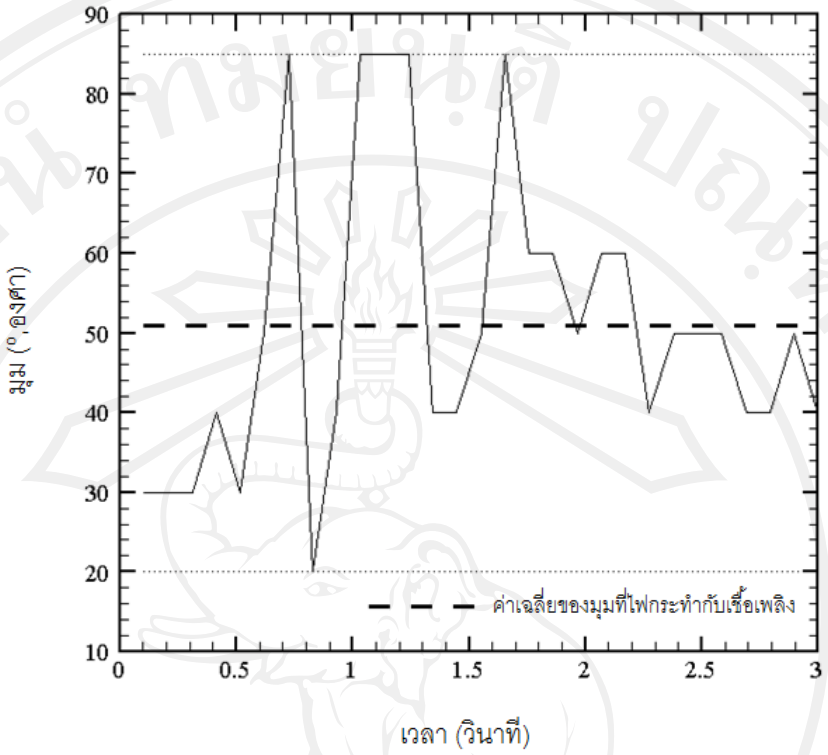
4.2.3 เปรียบเทียบองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลองศาของเปลวไฟที่กระทำกับเชื้อเพลิงของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 33 และ รูปที่ 34 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 42±2 องศา และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 51 องศา



รูปที่ 33 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

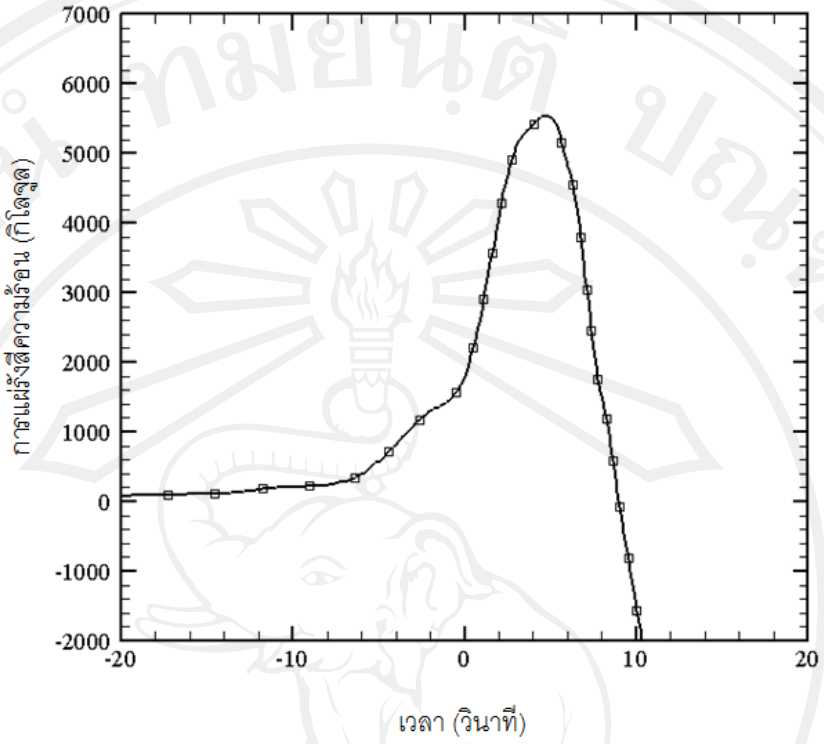


รูปที่ 34 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในแบบจำลอง

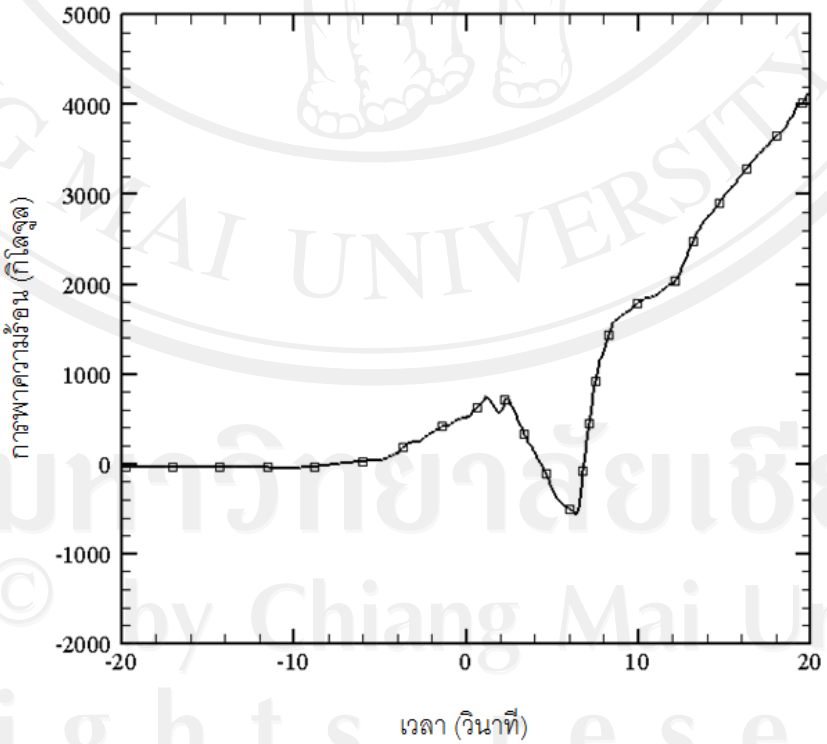
4.2.4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟ โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนของแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 35 และ รูปที่ 36 เพื่อนำมาใช้อธิบายถึงกลไกหลักของความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับสำหรับการจุดติดไฟ ไฟ ซึ่งวัดค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนได้เท่ากับ 1788.7 กิโลจูล และค่าความร้อนของการพาความร้อนได้เท่ากับ 528.3 กิโลจูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 35 : ค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน

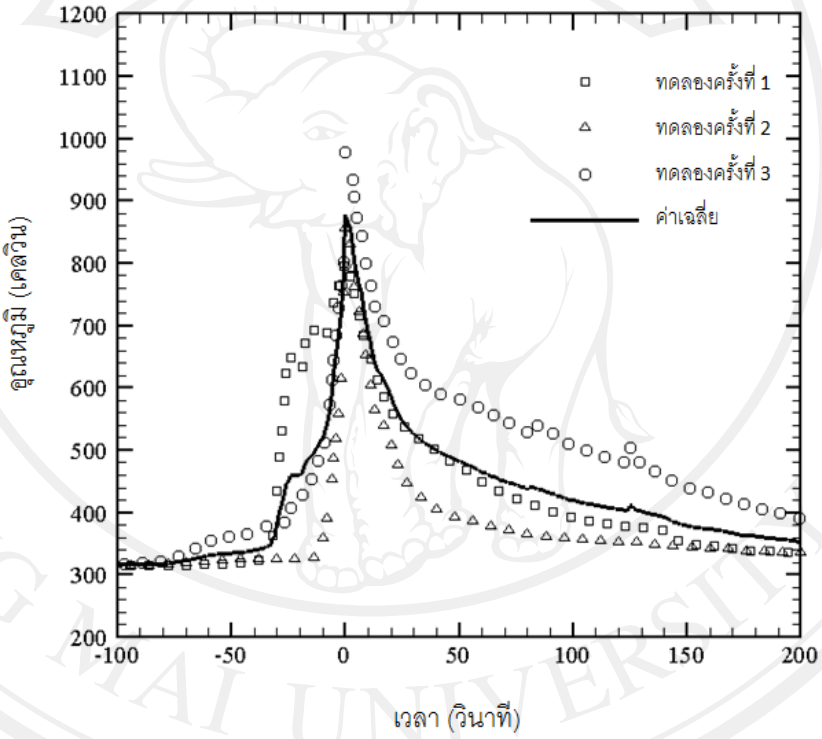


รูปที่ 36 : ค่าความร้อนของการพาความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

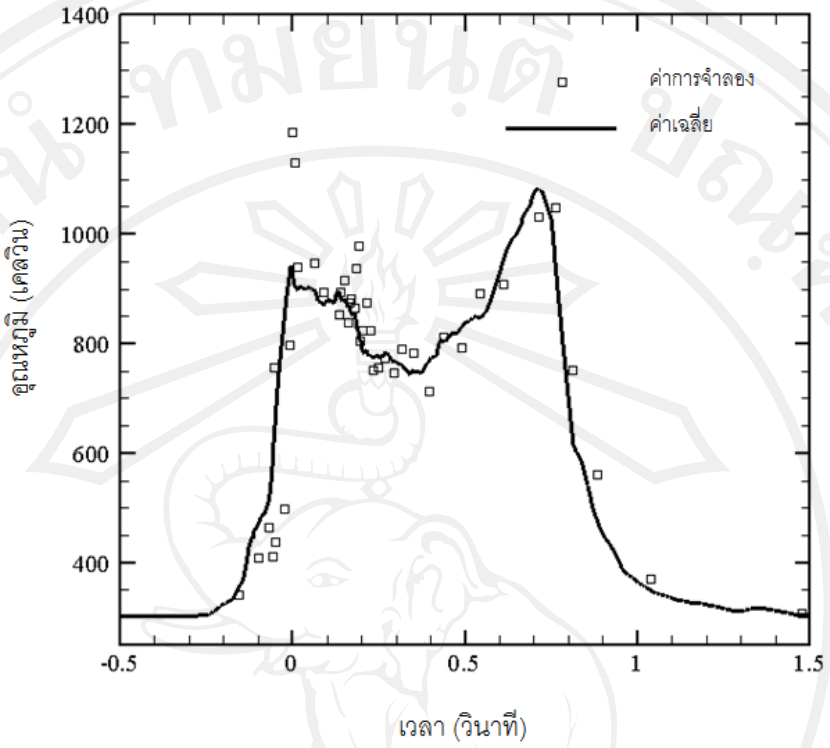
4.2.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเปลวไฟที่จุดวัดของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 37 และ รูปที่ 38 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 879±89 เคลวิน และค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 1051.4 เคลวิน



รูปที่ 37 : อุณหภูมิเปลวไฟของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

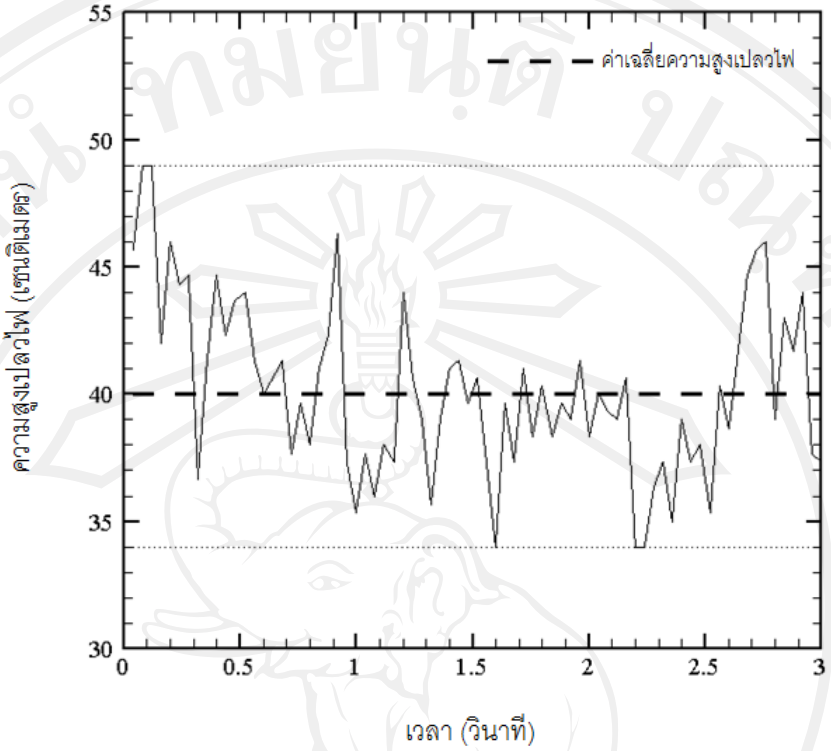


รูปที่ 38 : อุณหภูมิเปลวไฟของแบบจำลอง

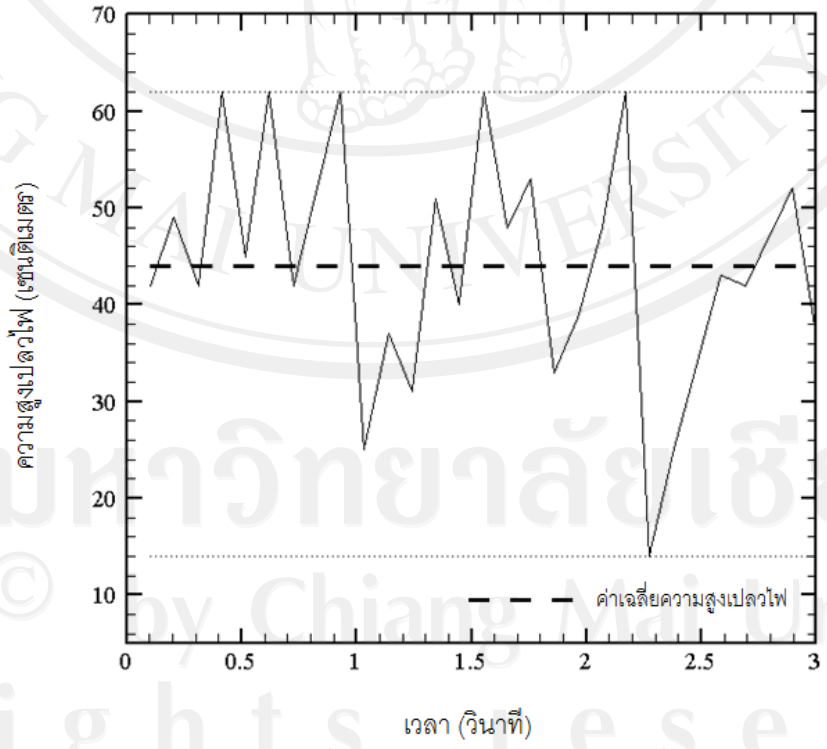
4.2.6 เปรียบเทียบความสูงของเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลความสูงของเปลวไฟของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 39 และ รูปที่ 40 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.40 เมตร และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.44 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 39 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากการทดลอง

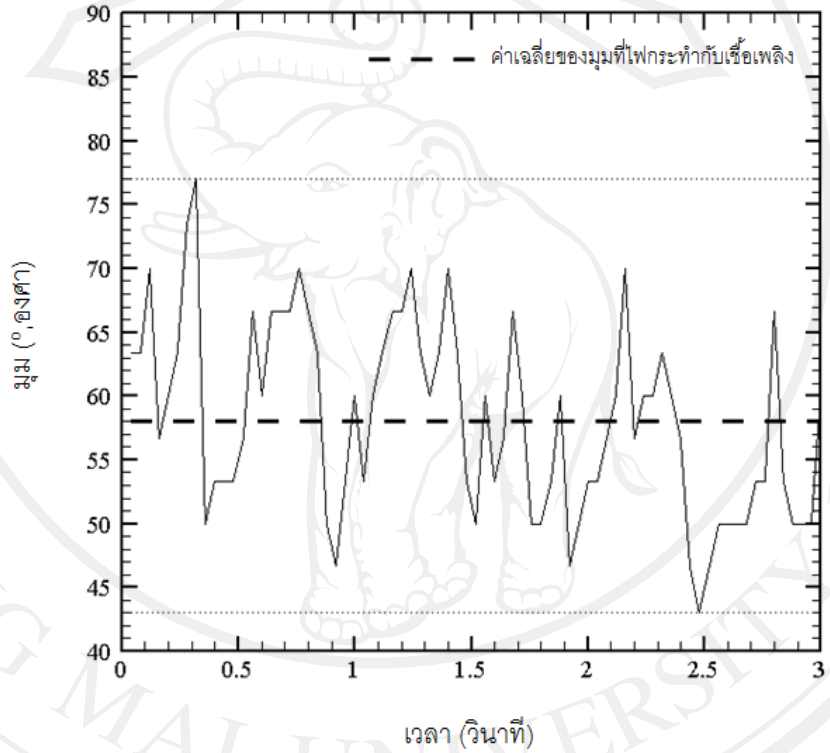


รูปที่ 40 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

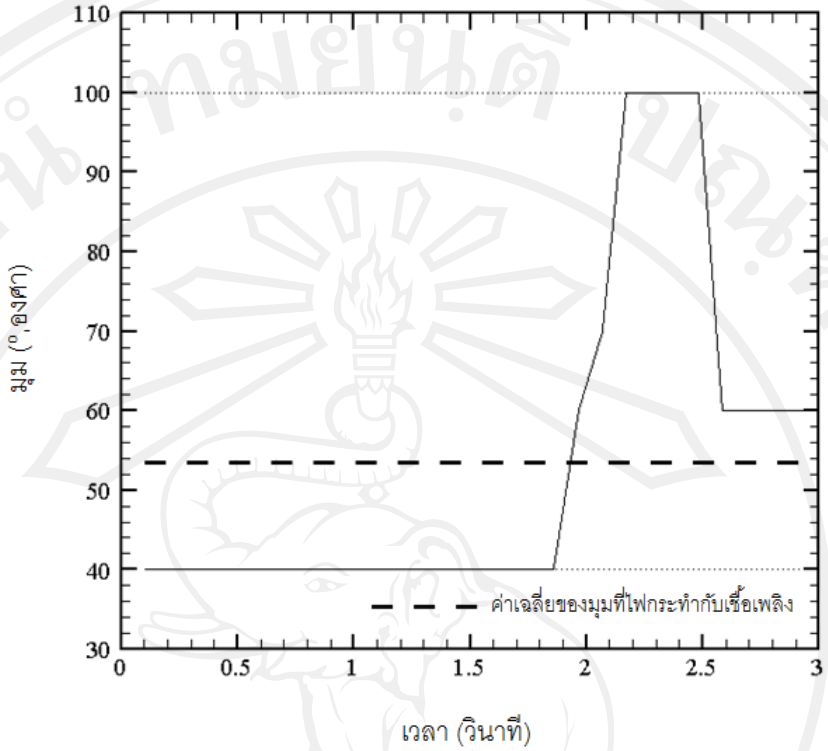
4.2.7 เปรียบเทียบองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลองศาของเปลวไฟที่กระทำกับเชื้อเพลิงของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 41 และ รูปที่ 42 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 58±7 องศา และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 54 องศา



รูปที่ 41 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

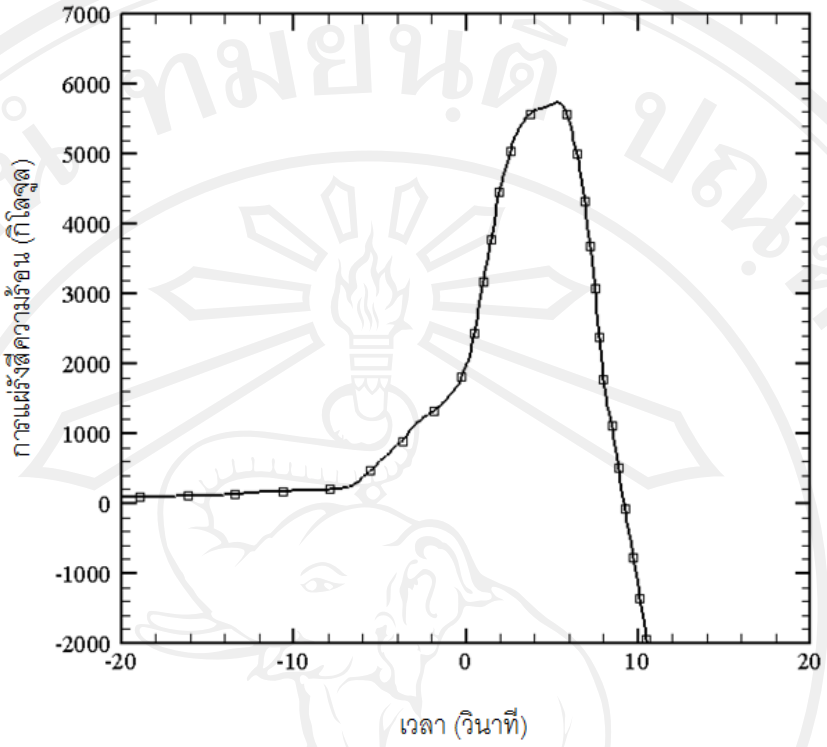


รูปที่ 42 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในแบบจำลอง

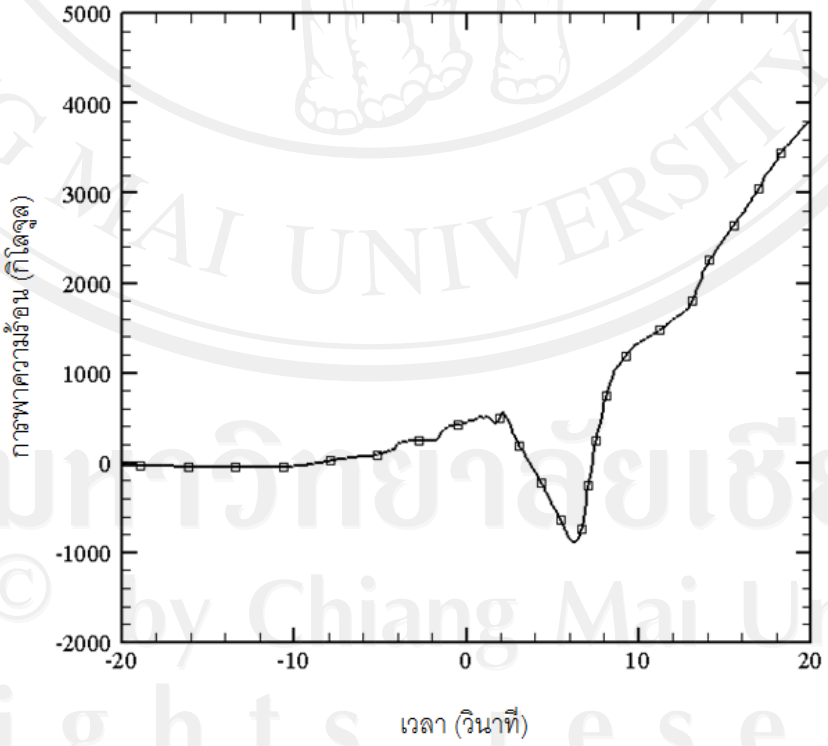
4.2.8 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟ โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนของแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 43 และ รูปที่ 44 เพื่อนำมาใช้อธิบายถึงกลไกหลักของความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับสำหรับการจุดติดไฟ ไฟ ซึ่งวัดค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนได้เท่ากับ 1994.2 กิโลจูล และค่าความร้อนของการพาความร้อนได้เท่ากับ 449.2 กิโลจูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 43 : ค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน

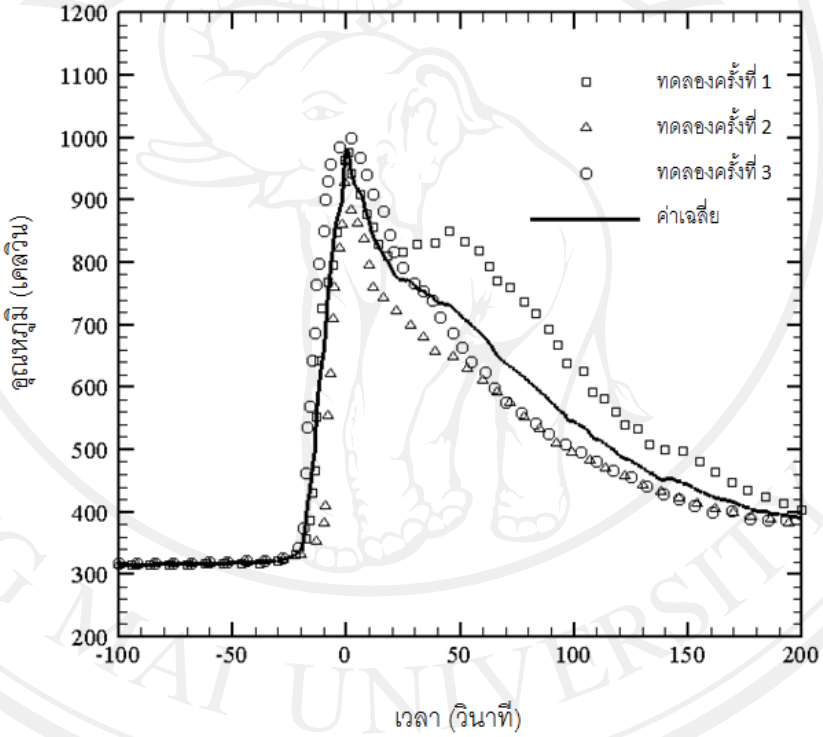


รูปที่ 44 : ค่าความร้อนของการพาความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

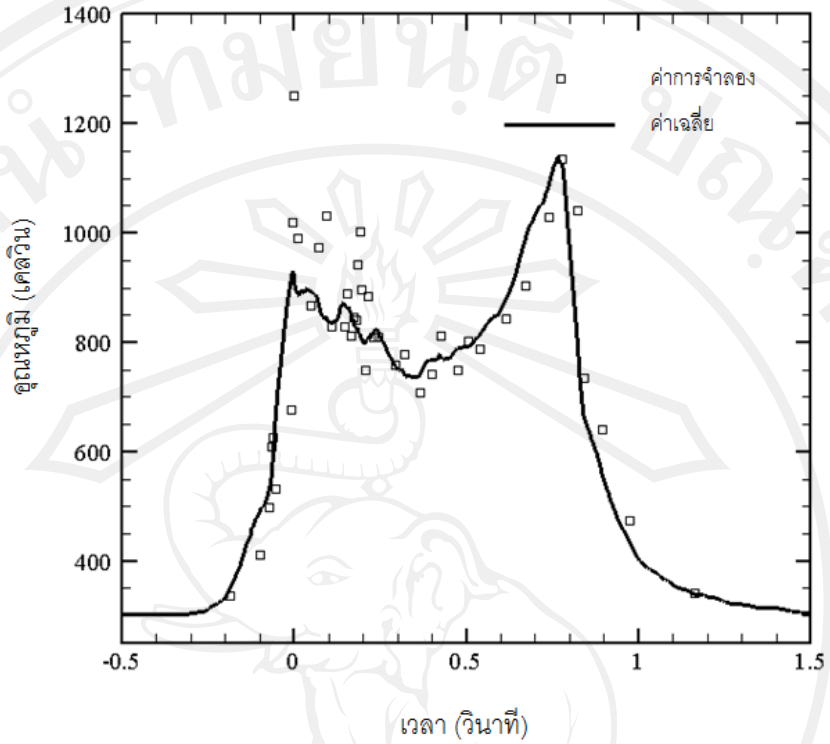
4.2.9 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเปลวไฟที่จุดวัดของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 45 และ รูปที่ 46 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 983±20 เคลวิน และค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 1001.2 เคลวิน



รูปที่ 45 : อุณหภูมิเปลวไฟของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

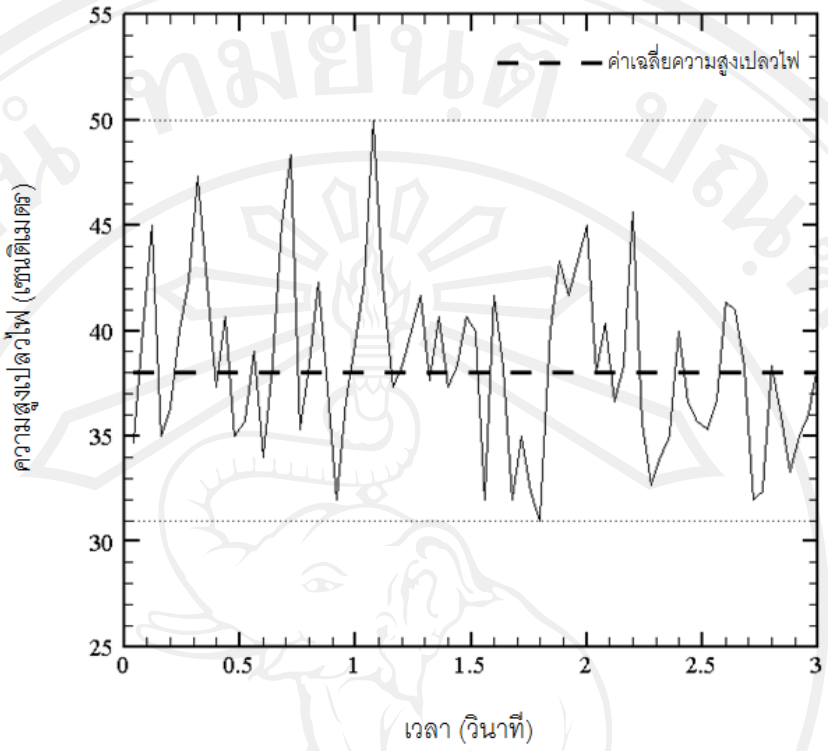


รูปที่ 46 : อุณหภูมิเปลวไฟของแบบจำลอง

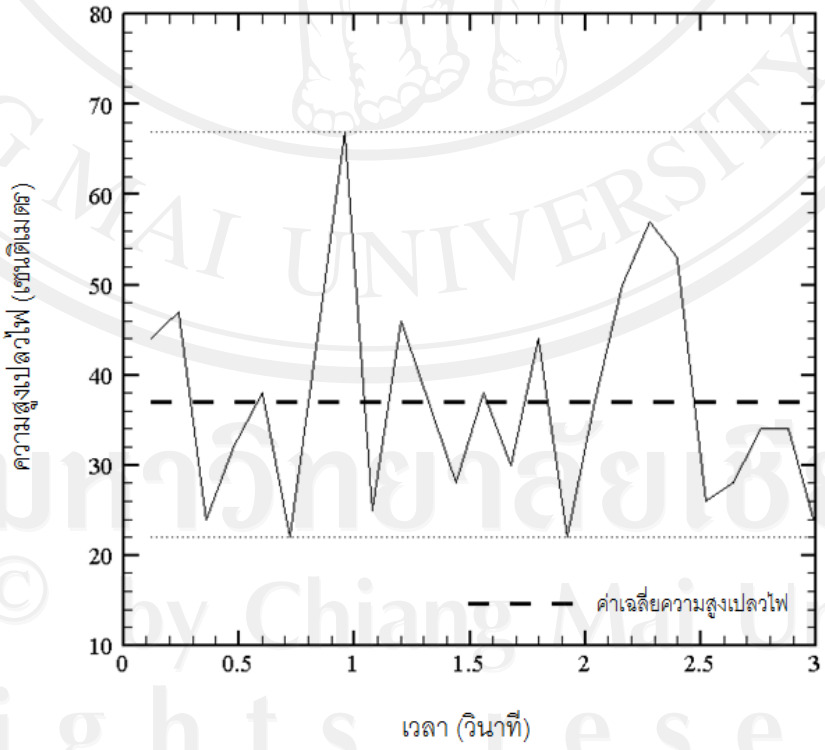
4.2.10 เปรียบเทียบความสูงของเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลความสูงของเปลวไฟของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 47 และ รูปที่ 48 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.38 เมตร และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.37 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 47 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากการทดลอง

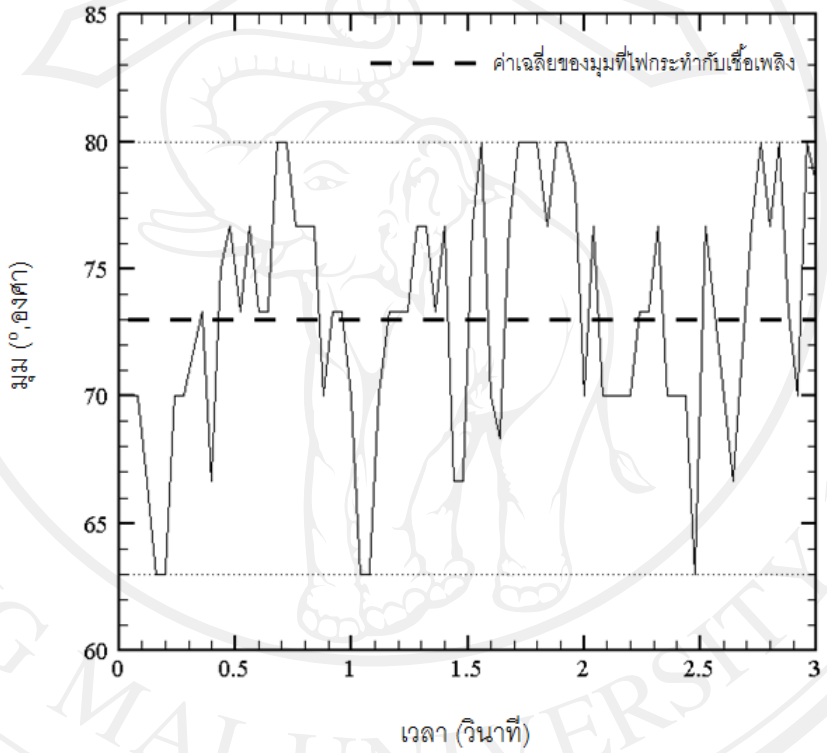


รูปที่ 48 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

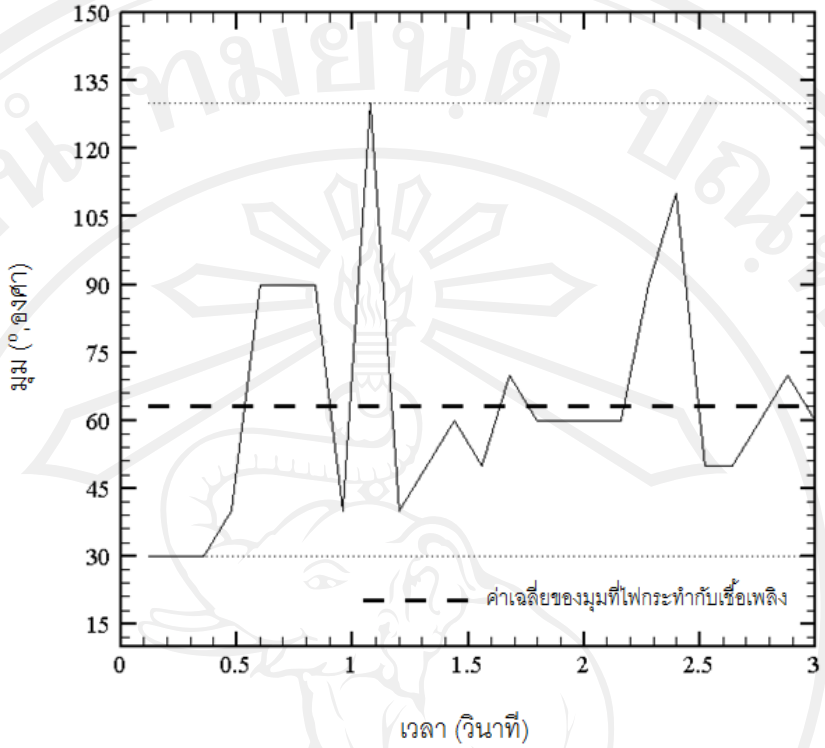
4.2.11 เปรียบเทียบองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลองศาของเปลวไฟที่กระทำกับเชื้อเพลิงของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 49 และ รูปที่ 50 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 73±2 องศา และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 63 องศา



รูปที่ 49 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

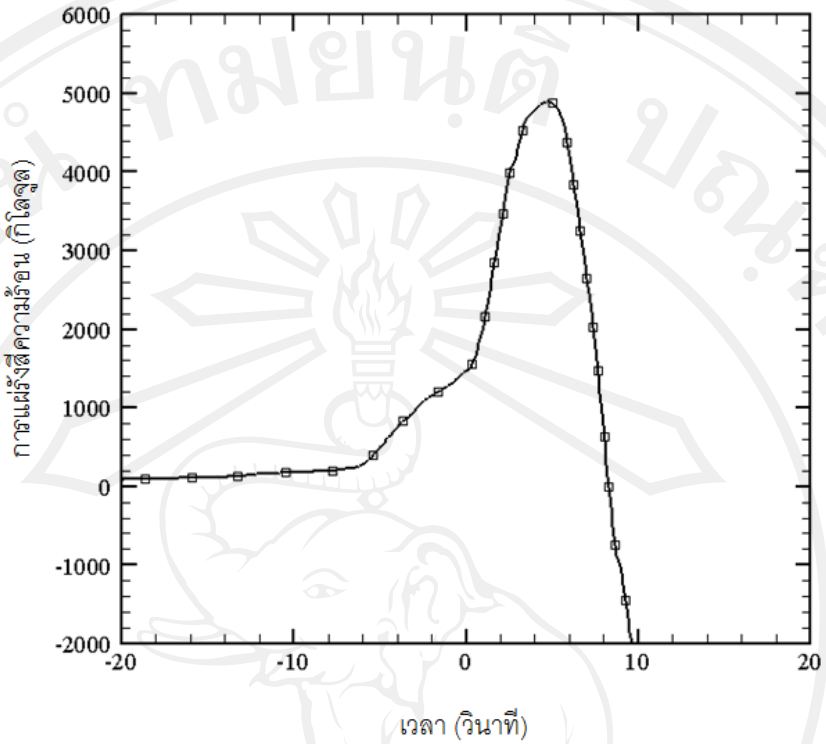


รูปที่ 50 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในแบบจำลอง

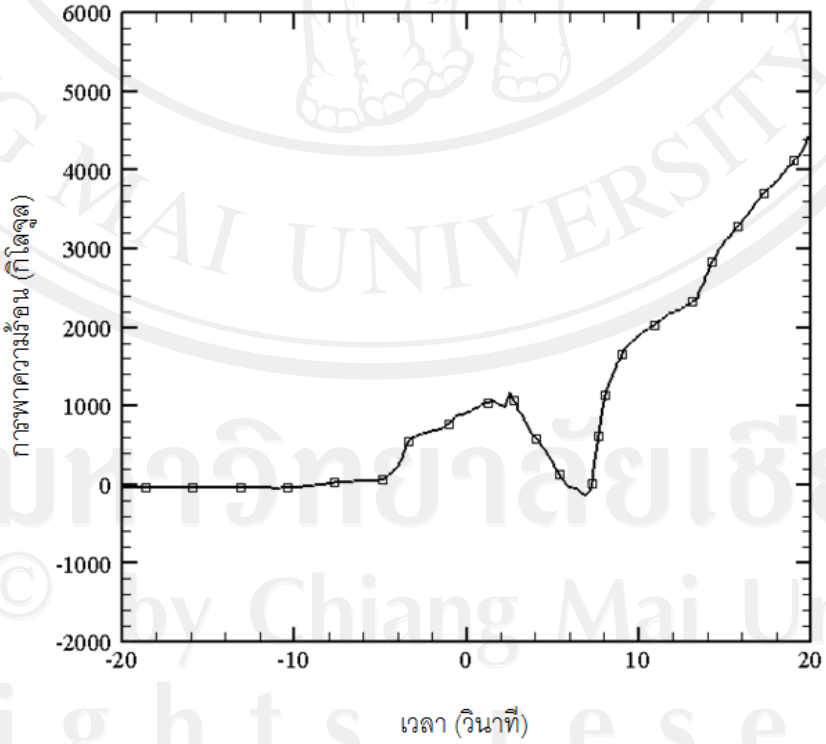
4.2.12 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟ โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนของแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 51 และ รูปที่ 52 เพื่อนำมาใช้อธิบายถึงกลไกหลักของความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับสำหรับการจุดติดไฟ ไฟ ซึ่งวัดค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนได้เท่ากับ 1474.7 กิโลจูล และค่าความร้อนของการพาความร้อนได้เท่ากับ 913.1 กิโลจูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 51 : ค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 52 : ค่าความร้อนของการพาความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.13 ตารางแสดงผลของการทดลองการลุกลามไฟแบบทิศเดียวกับลม

จากกราฟสามารถสรุปค่าของแบบจำลองและการทดลอง เพื่อใช้เทียบความแม่นยำของแบบจำลองและการทดลอง ซึ่งใช้ค่าอุณหภูมิของเปลวไฟ ความสูงของเปลวไฟ และองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิง เพื่อที่จะสามารถนำค่าความร้อนที่วัดได้จากแบบจำลอง มาอธิบายถึงกลไกหลักที่ทำให้เชื้อเพลิงสามารถจุดติดไฟได้โดยมีการลุกลามไฟแบบทิศเดียวกับลม ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3, 4, 5 และ ตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลของแบบจำลองของการลุกลามแบบทิศเดียวกับลม

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)	การถ่ายเทความร้อน			
					การแผ่รังสีความร้อน (กิโลจูล)	การพาความร้อน (กิโลจูล)	ค่าความร้อนสุทธิ (กิโลจูล)	สัดส่วนค่าการแผ่รังสีกับค่าความร้อนสุทธิ
0.15	0.142	1001.2	0.37	63	1474.7	913.1	2387.8	0.62
0.30	0.143	1051.4	0.44	54	1994.2	449.2	2443.4	0.82
0.45	0.144	982.2	0.45	51	1788.7	528.3	2317.0	0.77

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการลุกลามแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)
1.	0.43	983.1	0.37	71
2.	0.49	962.9	0.40	75
3.	0.47	1003.3	0.38	73
ค่าเฉลี่ย	0.46	983±20	0.38	73±2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการลุกลามแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วเท่ากับ 0.30 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)
1.	0.65	800.8	0.41	66
2.	0.63	856.6	0.35	56
3.	0.58	978.2	0.41	53
ค่าเฉลี่ย	0.62	879±89	0.4	58±7

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการลุกลามแบบทิศเดียวกับลมที่ความเร็วเท่ากับ 0.45 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)
1.	0.78	854.7	0.39	44
2.	0.88	902.3	0.41	39
3.	0.80	1080.1	0.45	44
ค่าเฉลี่ย	0.82	967±113	0.42	42±2

4.2.14 การเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองและแบบจำลองของการลุกลามแบบทิศเดียวกับลม

ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองและการทดลองสำหรับการลุกลามแบบทิศเดียวกับลม โดยสังเกตจากค่าของ อุณหภูมิของเปลวไฟ ค่าความสูงของเปลวไฟและองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง ได้ว่า ที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของเปลวไฟจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 983±20 เคลวิน แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 1001.2 เคลวิน ค่าความสูงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.38 เมตร แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.37 เมตร และองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิงของการทดลองมีค่าเท่ากับ 73±2 องศา แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 63 องศา ที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของเปลวไฟจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 879±89 เคลวิน แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 1051.4 เคลวิน ค่าความสูงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.4 เมตร แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.44 เมตร และองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิงของการทดลองมีค่าเท่ากับ 58±7 องศา แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 54 องศา และที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของเปลวไฟจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 967±113 เคลวิน แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 982.2 เคลวิน ค่าความสูงจากการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดลองมีค่าเท่ากับ 0.42 เมตร แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.45 เมตร และองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิงของการทดลองมีค่าเท่ากับ 42±2 องศา แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 51 องศา จากการเปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลอง ทำให้ทราบว่าผลมีความใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีและการพาความร้อนมาทำการวิเคราะห์ถึงสัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมด

4.2.15 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองและแบบจำลองของการลุกลามแบบทิศเดียวกับลม

จากผลของแบบจำลองและการทดลองของการลุกลามแบบทิศเดียวกับลมแสดงให้เห็นว่าการลุกลามของไฟเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงได้รับค่าความร้อนเท่ากับค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงต้องการสำหรับกระบวนการการเผาไหม้ ซึ่งค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับนั้น เกิดขึ้นจากกระบวนการการถ่ายเทความร้อนจากไฟสู่เชื้อเพลิงโดยมี การพาและการแผ่รังสีความร้อนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งที่ความเร็วลม เท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที ค่าความร้อนจากการพาความร้อนสะสมวัดได้มีค่าเท่ากับ 913.1 กิโลจูล การแผ่รังสีความร้อนสะสมมีค่าเท่ากับ 1474.7 กิโลจูล ค่าความร้อนสะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2387.8 กิโลจูล สัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 0.62 และองศาที่เปลวไฟทำกับผิวหน้าของเชื้อเพลิงเท่ากับ 63 องศา ที่ความเร็วลม เท่ากับ 0.30 เมตรต่อวินาที ค่าความร้อนจากการพาความร้อนสะสมวัดได้ มีค่าเท่ากับ 449.2 กิโลจูล การแผ่รังสีความร้อนสะสมมีค่าเท่ากับ 1994.2 กิโลจูล ค่าความร้อนสะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2443.4 กิโลจูล สัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 0.82 และองศาที่เปลวไฟทำกับผิวหน้าของเชื้อเพลิงเท่ากับ 54 องศา ที่ความเร็วลม เท่ากับ 0.45 เมตรต่อวินาที ค่าความร้อนจากการพาความร้อนสะสมวัดได้ มีค่าเท่ากับ 528.3 กิโลจูล การแผ่รังสีความร้อนสะสมมีค่าเท่ากับ 1788.7 กิโลจูล ค่าความร้อนสะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2317 กิโลจูล สัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 0.77 และองศาที่เปลวไฟทำกับผิวหน้าของเชื้อเพลิงเท่ากับ 51 องศา

จากผลการทดลองและแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับเทียบกับค่าความร้อนที่ไฟปล่อยออกมาของแต่ละความเร็วลม แสดงให้เห็นได้ชัดว่าค่าความร้อนหลักที่เชื้อเพลิงได้รับมาจากการแผ่รังสีความร้อน จึงเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่าการลุกลามแบบทิศเดียวกับลมนั้นได้รับค่าความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนเป็นหลัก เนื่องจากความเร็วลมที่เพิ่มมากขึ้นทำให้องศาของหน้าไฟเอียงเข้าหาเชื้อเพลิงมากขึ้น ทรงผลให้เชื้อเพลิงรับค่าความร้อนสะสมของการแผ่รังสีความร้อนมากขึ้น อีกทั้งลมยังเป็นตัวกลางที่พาความร้อนจากไฟผ่านเชื้อเพลิงซึ่งทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้น จึงทำให้อัตราการลุกลามของไฟสูงขึ้น

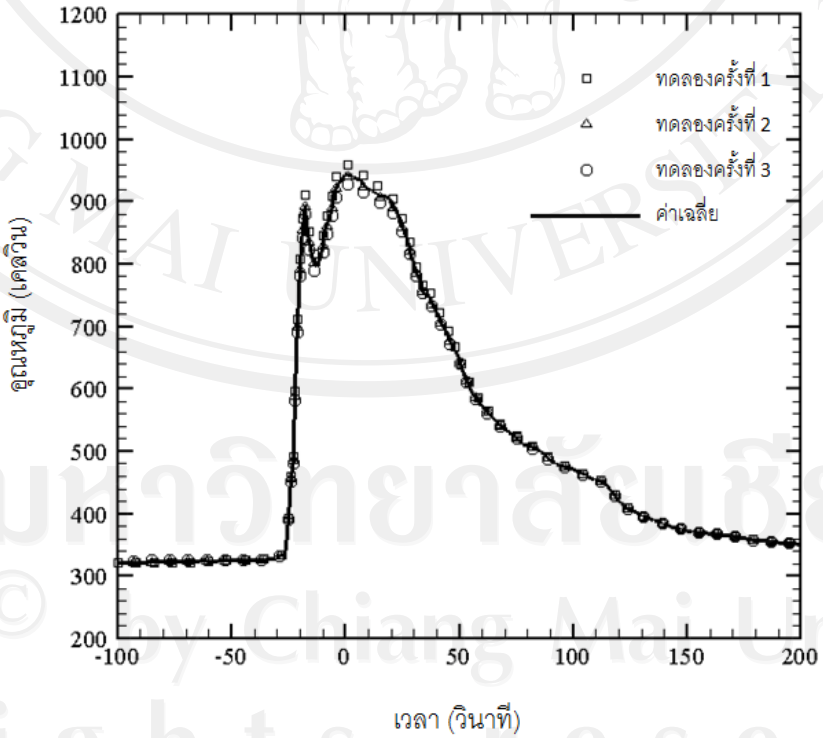
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การลุกลามไฟแบบย้อนทิศกับลม

การลุกลามไฟแบบย้อนทิศกับลม หมายถึง การลุกลามที่มีลักษณะเคลื่อนที่ย้อนทิศกับลม ซึ่งการลุกลามแบบนี้จะมีการลุกลามของไฟที่ช้าและมีความรุนแรงต่ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอธิบายถึงผลของลมที่มีต่อการลุกลามของไฟ โดยจะอธิบายจาก การถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิของเปลวไฟ ความสูงของเปลวไฟ และองศาของหน้าไฟที่ทำมุมกับเชื้อเพลิง ที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของลมที่มีต่อการลุกลามไฟที่มีทิศเดียวกันกับลม โดยมีกราฟดังนี้

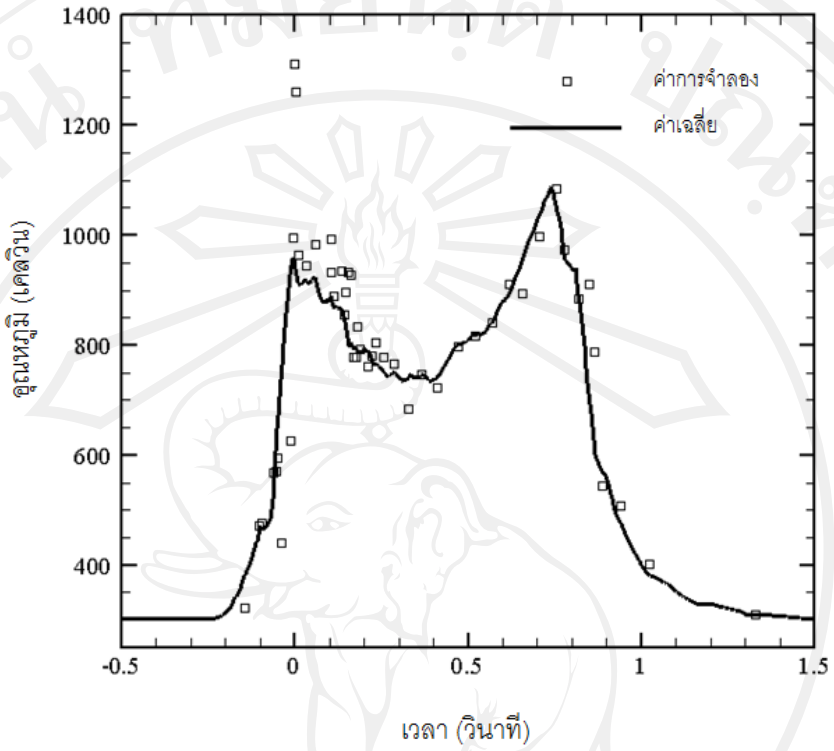
4.3.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเปลวไฟที่จุดวัดของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 53 และ รูปที่ 54 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 944±17 เคลวิน และค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 975.60 เคลวิน



รูปที่ 53 : อุณหภูมิเปลวไฟของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

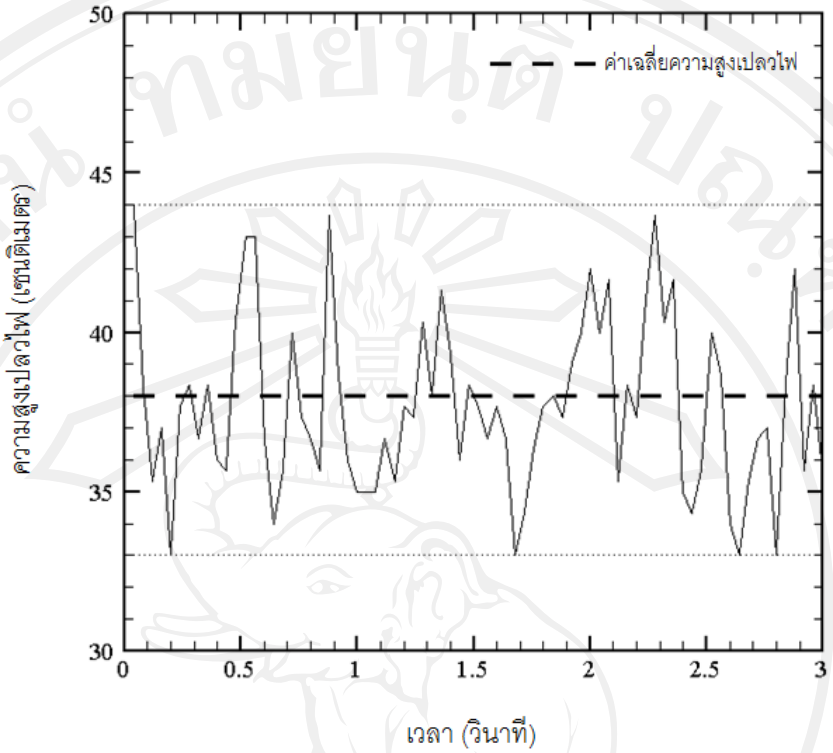


รูปที่ 54 : อุณหภูมิเปลวไฟของแบบจำลอง

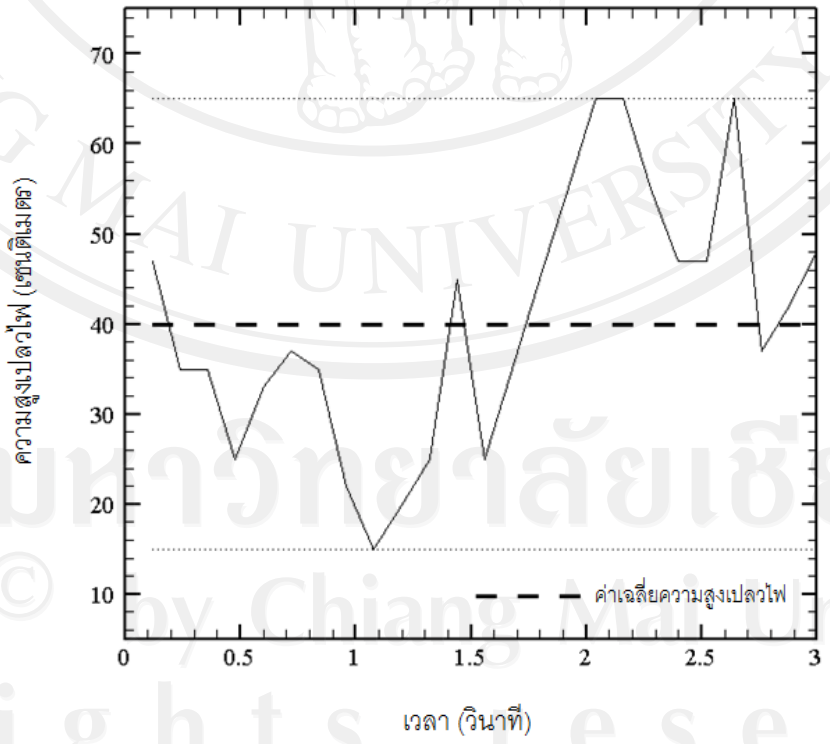
4.3.2 เปรียบเทียบความสูงของเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลความสูงของเปลวไฟของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 55 และ รูปที่ 56 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.38 เมตร และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.40 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 55 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากการทดลอง

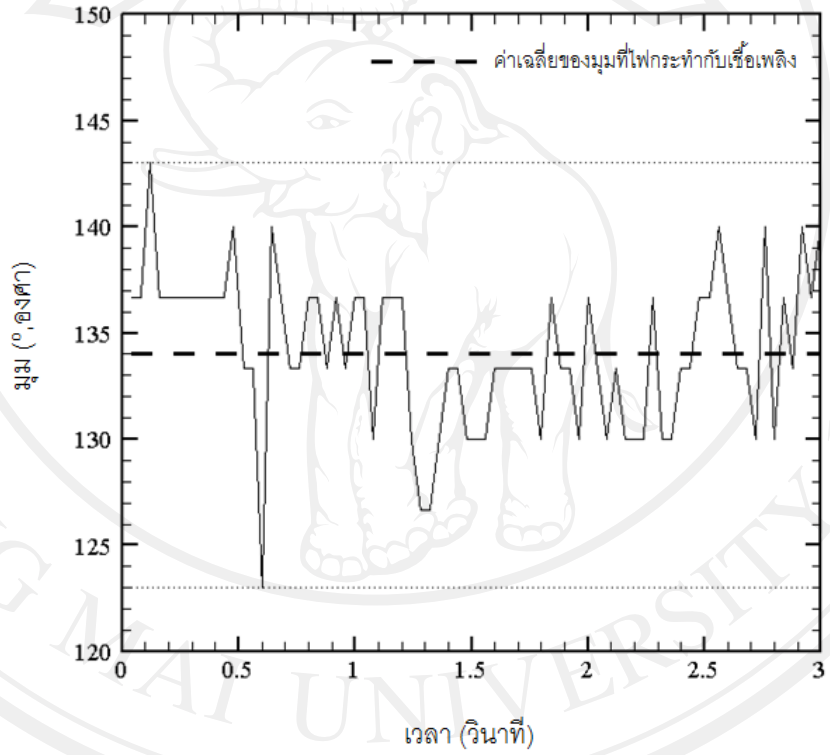


รูปที่ 56 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

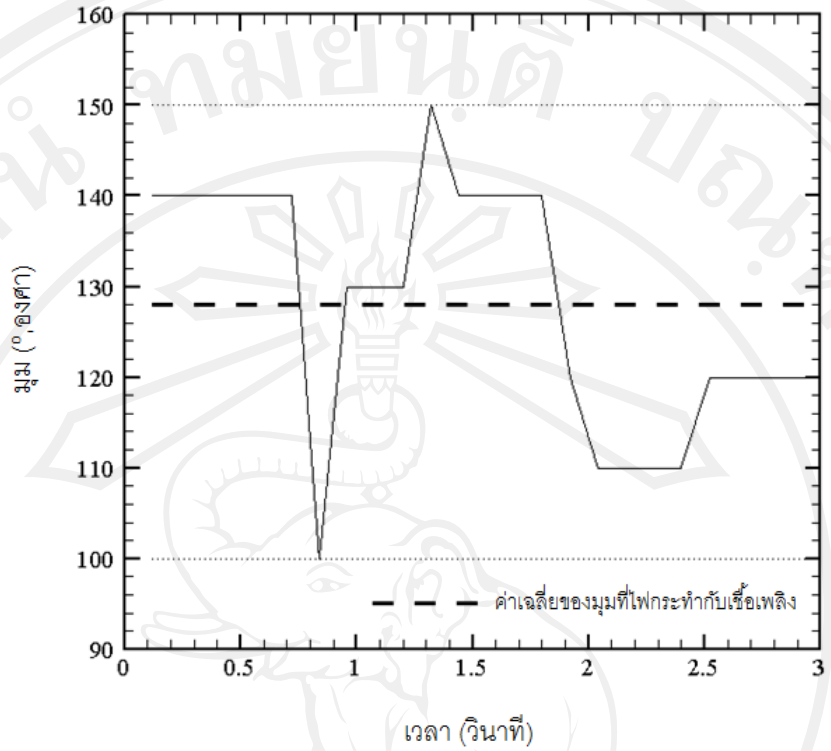
4.3.3 เปรียบเทียบองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลองศาของเปลวไฟที่กระทำกับเชื้อเพลิงของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 57 และ รูปที่ 58 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 134±5 องศา และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 128 องศา



รูปที่ 57 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

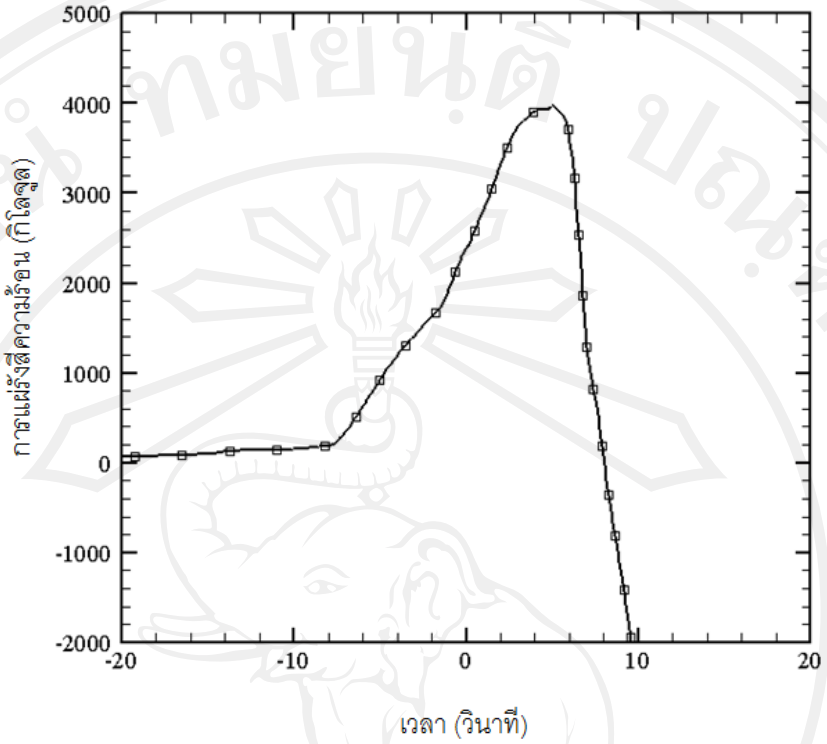


รูปที่ 58 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในแบบจำลอง

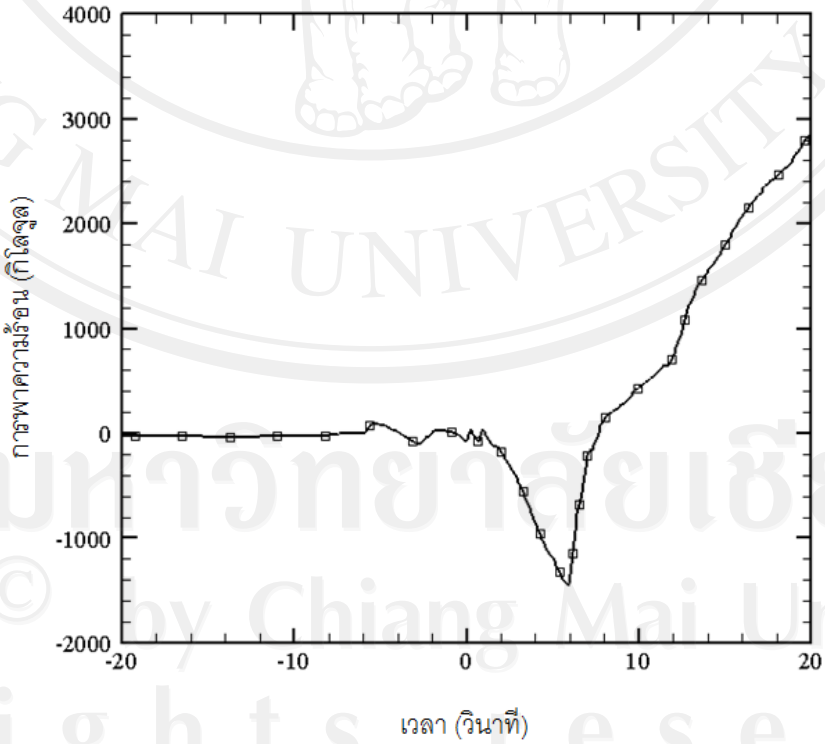
4.3.4 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟ โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนของแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 59 และ รูปที่ 60 เพื่อนำมาใช้อธิบายถึงกลไกหลักของความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับสำหรับการจุดติดไฟ ไฟ ซึ่งวัดค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนได้เท่ากับ 2400.2 กิโลจูล และค่าความร้อนของการพาความร้อนได้เท่ากับ -68.7 กิโลจูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 59 : ค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน

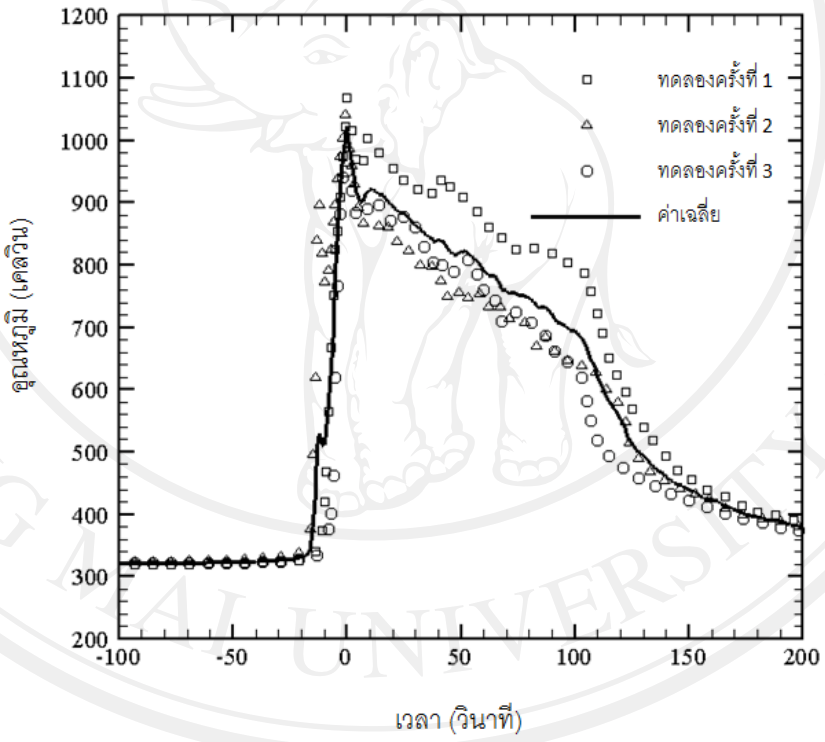


รูปที่ 60 : ค่าความร้อนของการพาความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

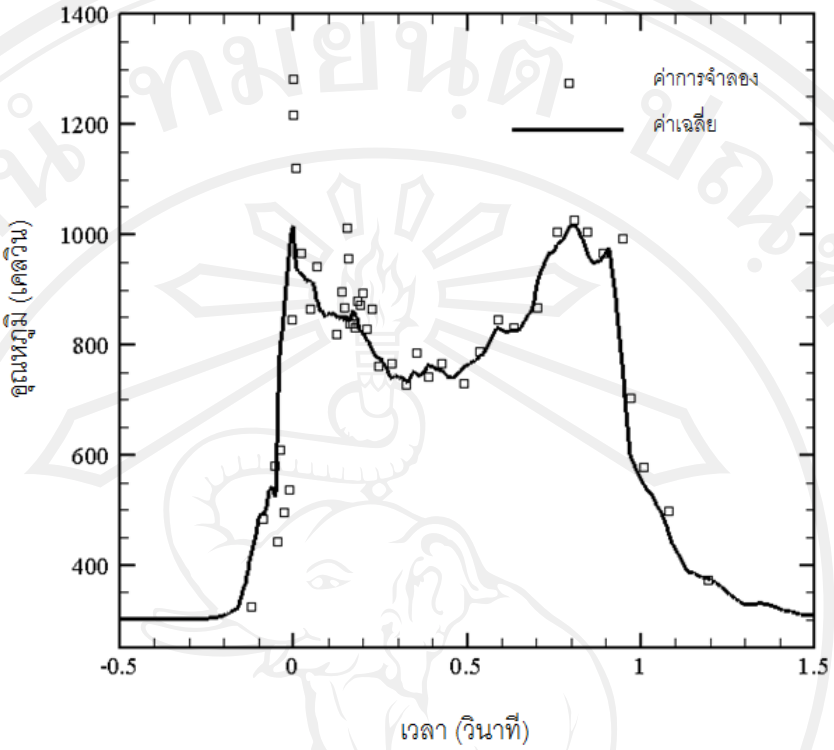
4.3.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเปลวไฟที่จุดวัดของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 61 และ รูปที่ 62 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 1023±60 เคลวิน และค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 960.7 เคลวิน



รูปที่ 61 : อุณหภูมิเปลวไฟของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

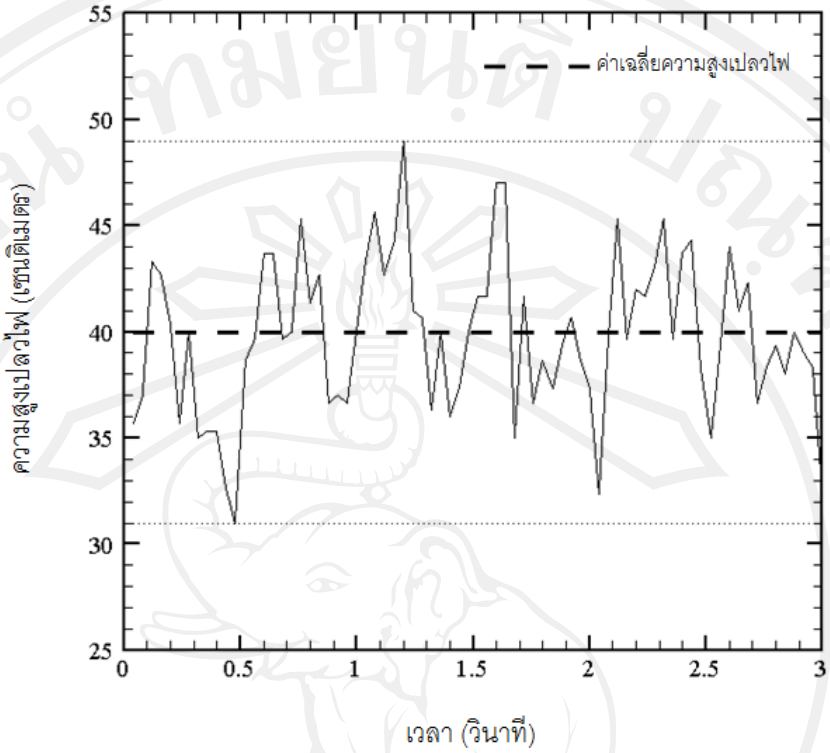


รูปที่ 62 : อุณหภูมิเปลวไฟของแบบจำลอง

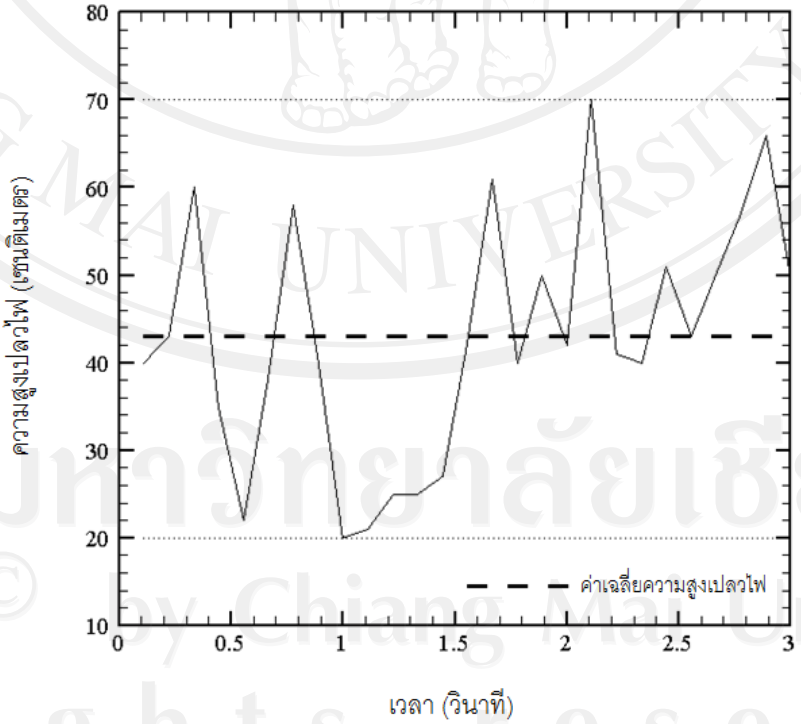
4.3.6 เปรียบเทียบความสูงของเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลความสูงของเปลวไฟของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 63 และ รูปที่ 64 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.39 เมตร และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.43 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 63 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากการทดลอง

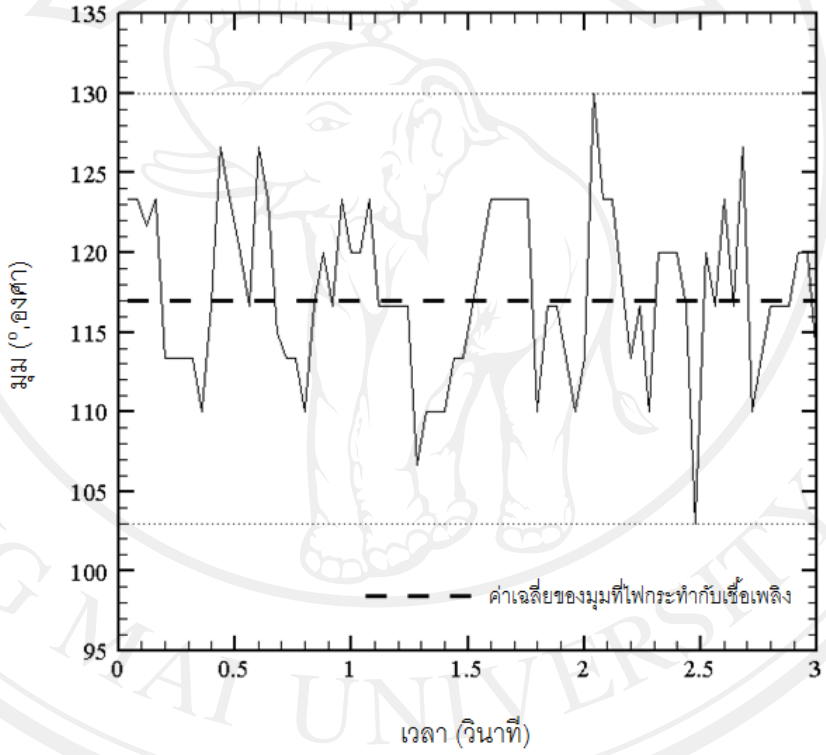


รูปที่ 64 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

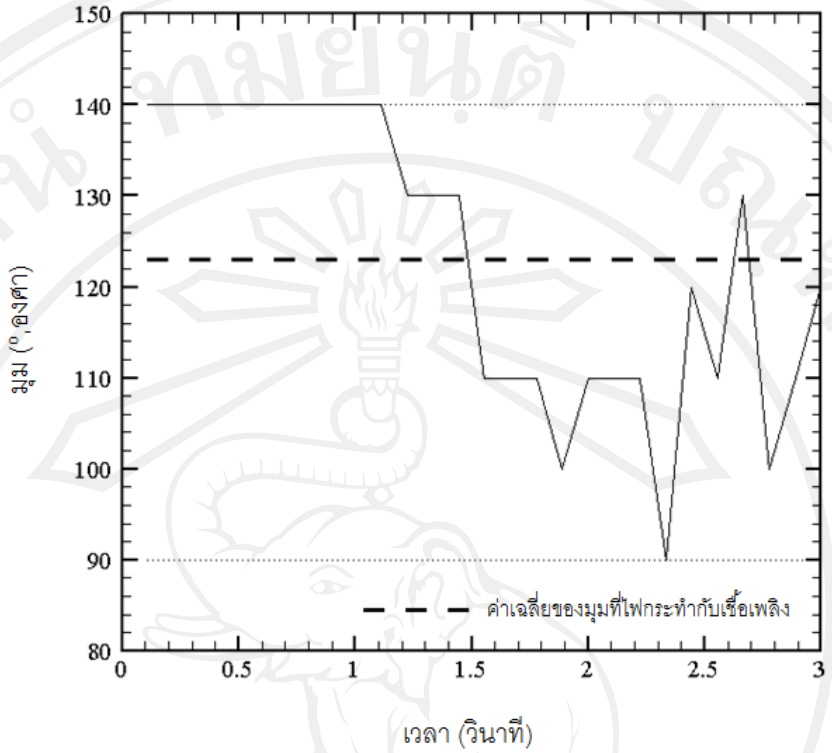
4.3.7 เปรียบเทียบองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลองศาของเปลวไฟที่กระทำกับเชื้อเพลิงของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 65 และ รูปที่ 66 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 117±6 องศา และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 123 องศา



รูปที่ 65 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

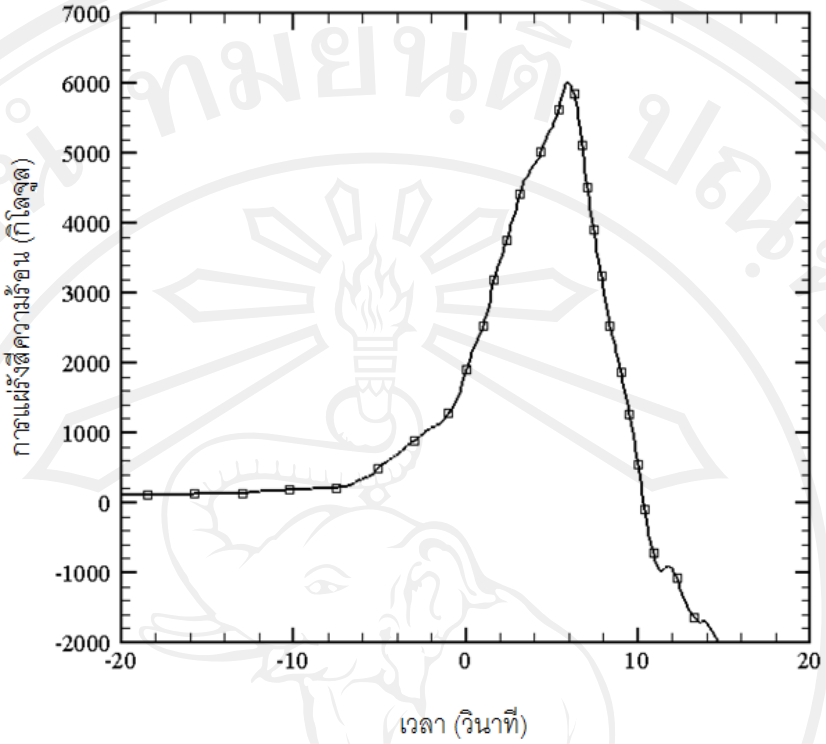


รูปที่ 66 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในแบบจำลอง

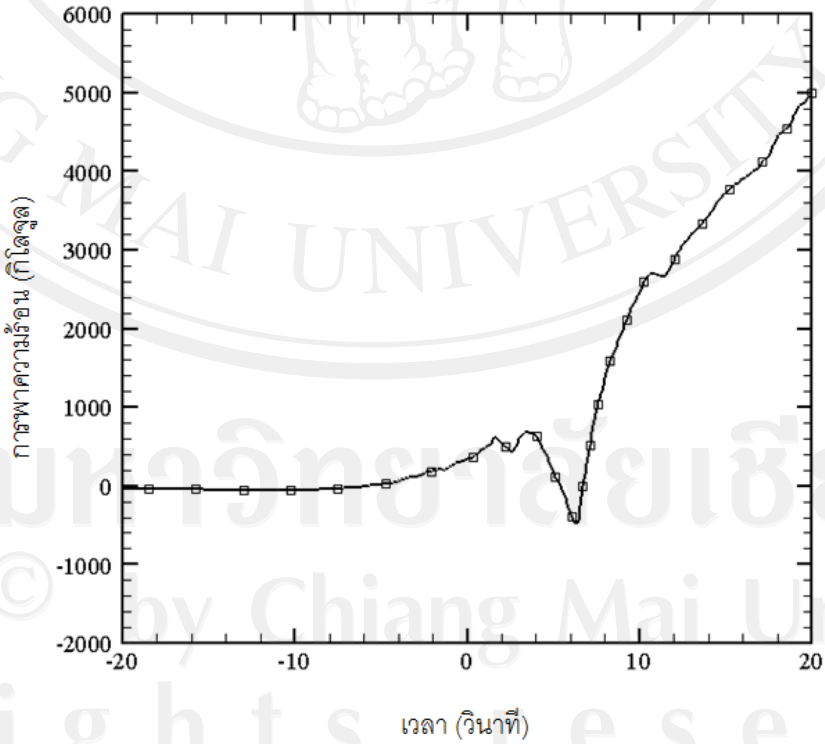
4.3.8 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟ โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนของแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 67 และ รูปที่ 68 เพื่อนำมาใช้อธิบายถึงกลไกหลักของความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับสำหรับการจุดติดไฟ ไฟ ซึ่งวัดค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนได้เท่ากับ 1912.9 กิโลจูล และค่าความร้อนของการพาความร้อนได้เท่ากับ 340.4 กิโลจูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 67 : ค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน

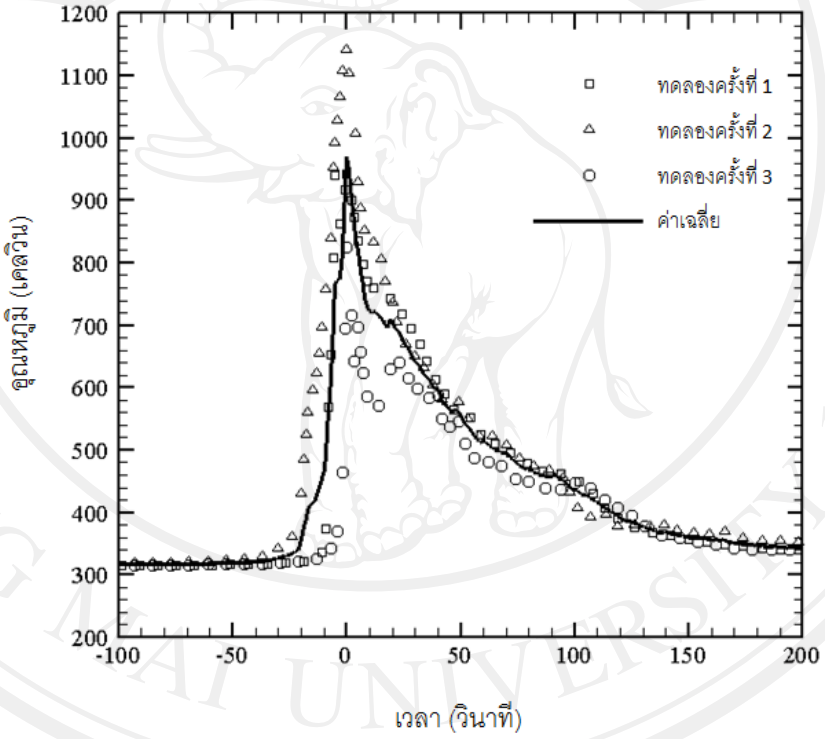


รูปที่ 68 : ค่าความร้อนของการพาความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

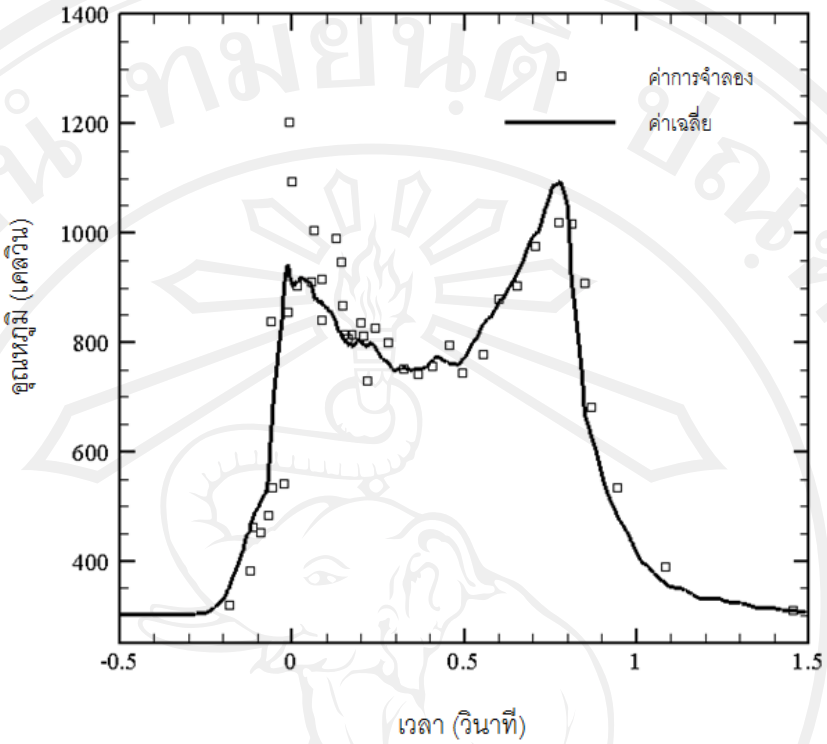
4.3.9 เปรียบเทียบอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเปลวไฟที่จุดวัดของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 69 และ รูปที่ 70 ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลอง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 970±156 เคลวิน และค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 966.5 เคลวิน



รูปที่ 69 : อุณหภูมิเปลวไฟของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

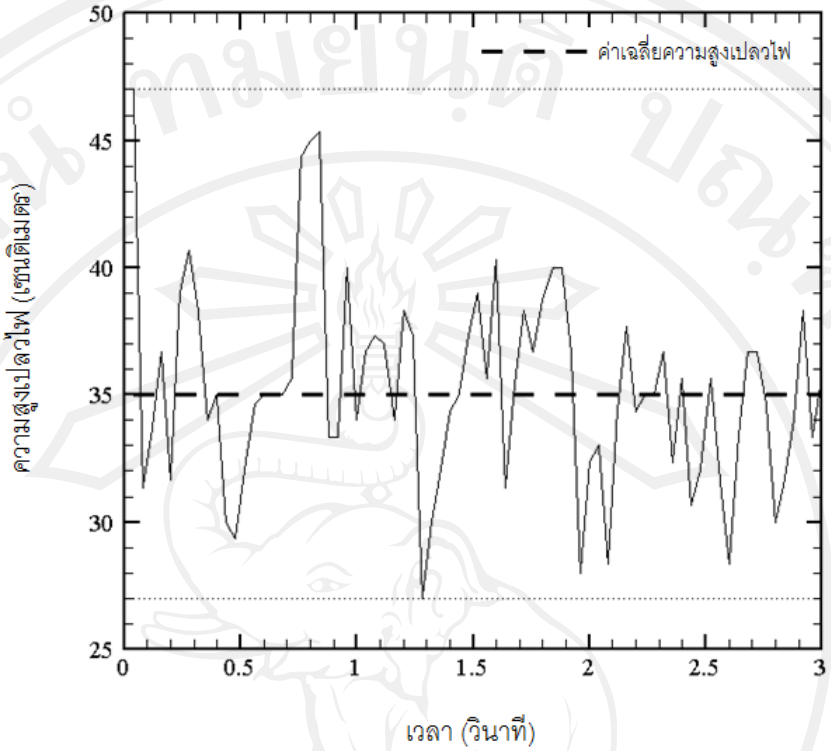


รูปที่ 70 : อุณหภูมิเปลวไฟของแบบจำลอง

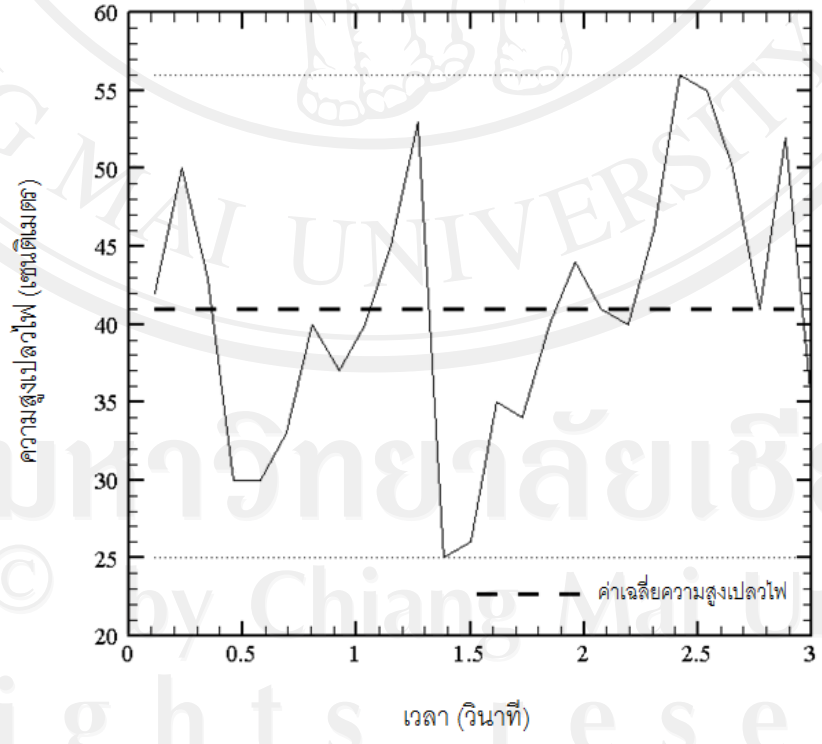
4.3.10 เปรียบเทียบความสูงของเปลวไฟระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลความสูงของเปลวไฟของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 71 และ รูปที่ 72 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.35 เมตร และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.41 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 71 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากการทดลอง

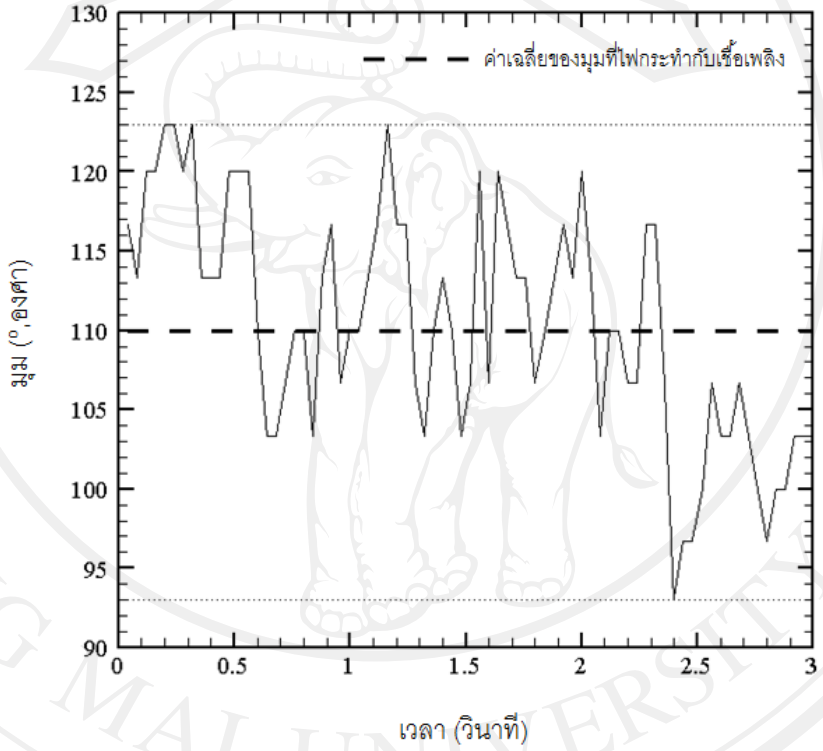


รูปที่ 72 : ค่าความสูงของเปลวไฟจากแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

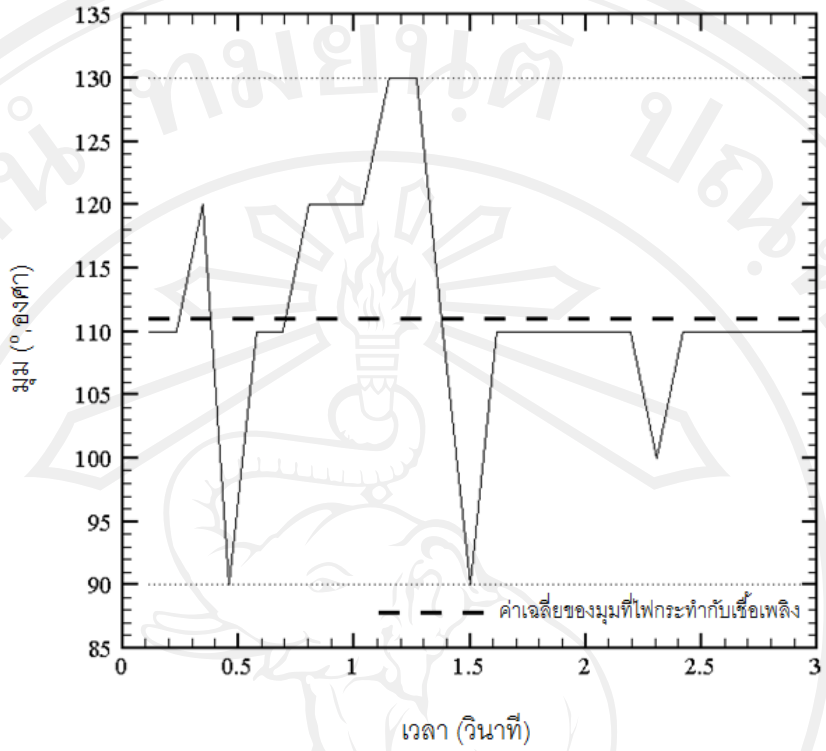
4.3.11 เปรียบเทียบองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงระหว่างการทดลองและแบบจำลองที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลองศาของเปลวไฟที่กระทำกับเชื้อเพลิงของการทดลองและแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 73 และ รูปที่ 74 เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความแม่นยำของการทดลองกับแบบจำลองโดยที่ค่าเฉลี่ยของการทดลองมีค่าเท่ากับ 110±6 องศา และค่าของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 111 องศา



รูปที่ 73 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

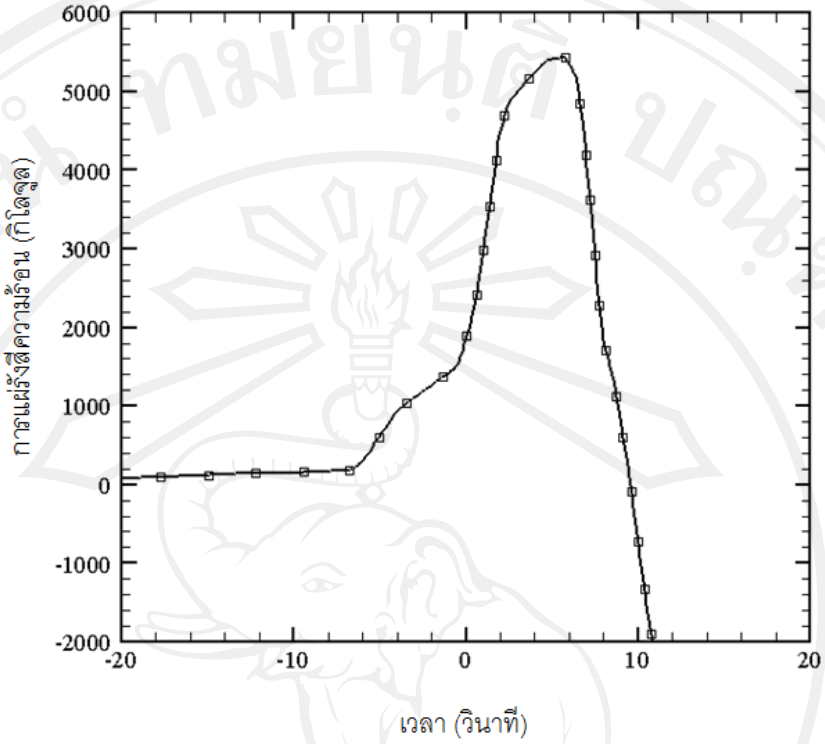


รูปที่ 74 : ขนาดขององศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิงในแบบจำลอง

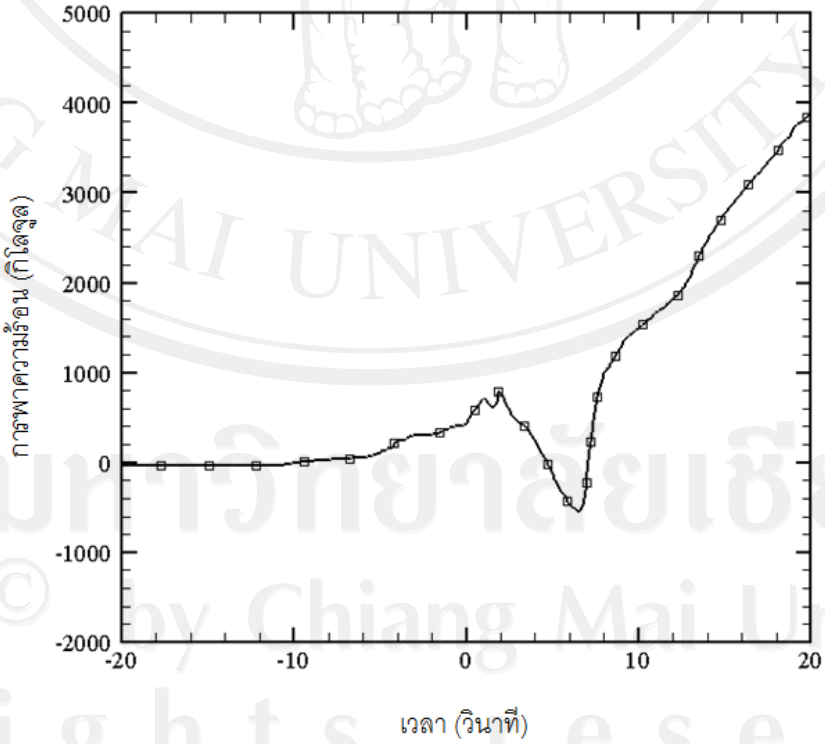
4.3.12 กราฟแสดงการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟ โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที

จากการเก็บข้อมูลค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนของแบบจำลองการลุกลามของไฟแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที สามารถวาดกราฟได้ดังรูปที่ 75 และ รูปที่ 76 เพื่อนำมาใช้อธิบายถึงกลไกหลักของความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับสำหรับการจุดติดไฟ ไฟ ซึ่งวัดค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อนได้เท่ากับ 1889.1 กิโลจูล และค่าความร้อนของการพาความร้อนได้เท่ากับ 431.8 กิโลจูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 75 : ค่าความร้อนของการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 76 : ค่าความร้อนของการพาความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.13 ตารางแสดงผลของการทดลองการลุกลามแบบย้อนทิศกับลม

จากกราฟสามารถสรุปค่าของแบบจำลองและการทดลอง เพื่อใช้เทียบความแม่นยำของแบบจำลองและการทดลอง ซึ่งใช้ค่าอุณหภูมิของเปลวไฟ ความสูงของเปลวไฟ และองศาที่เปลวไฟกระทำต่อเชื้อเพลิง เพื่อที่จะสามารถนำค่าความร้อนที่วัดได้จากแบบจำลอง มาอธิบายถึงกลไกหลักที่ทำให้เชื้อเพลิงสามารถจุดติดไฟได้โดยมีการลุกลามไฟแบบย้อนทิศกับลม ซึ่งแสดงดังตารางที่ 7, 8, 9 และ ตารางที่ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลของแบบจำลองของการลุกลามแบบย้อนทิศกับลม

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)	การถ่ายเทความร้อน			
					การแผ่รังสีความร้อน (กิโลจูล)	การพาความร้อน (กิโลจูล)	ค่าความร้อนสุทธิ (กิโลจูล)	สัดส่วนค่าการแผ่รังสีกับค่าความร้อนสุทธิ
0.15	0.136	966.5	0.41	111	1889.1	431.8	2321	0.81
0.30	0.133	960.7	0.43	123	1912.9	340.4	2253.3	0.85
0.45	0.131	975.6	0.40	128	2400.2	-68.7	2331.5	1.03

ตารางที่ 8 ผลการทดลองการลุกลามแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)
1.	0.40	943.3	0.35	117
2.	0.46	1141.1	0.35	105
3.	0.37	824.3	0.35	109
ค่าเฉลี่ย	0.41	970±156	0.35	110±6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 9 ผลการทดลองการลุกลามแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วเท่ากับ 0.30 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)
1.	0.35	1069	0.40	116
2.	0.36	1049.6	0.38	124
3.	0.43	950.6	0.41	112
ค่าเฉลี่ย	0.38	1023±60	0.39	117±6

ตารางที่ 10 ผลการทดลองการลุกลามแบบย้อนทิศกับลมที่ความเร็วเท่ากับ 0.45 เมตรต่อวินาที

ครั้งที่	อัตราการลุกลาม (เมตรต่อนาที)	อุณหภูมิเปลวไฟที่จุดวัดค่า (เคลวิน)	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)	องศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง (องศา)
1.	0.32	961.1	0.36	138
2.	0.36	941.7	0.40	135
3.	0.33	928.5	0.37	129
ค่าเฉลี่ย	0.34	944±17	0.38	134±5

4.3.15 การเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองและแบบจำลองสำหรับการลุกลามแบบย้อนทิศกับลม

ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองและการทดลองสำหรับการลุกลามแบบย้อนทิศกับลม โดยสังเกตจากค่าของ อุณหภูมิของเปลวไฟ ค่าความสูงของเปลวไฟและองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิง ได้ว่า ที่ความเร็วลม 0.15 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของเปลวไฟจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 970±156 เคลวิน แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 966.5 เคลวิน ค่าความสูงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.35 เมตร แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.41 เมตร และองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิงของการทดลองมีค่าเท่ากับ 110±6 องศา แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 111 องศา ที่ความเร็วลม 0.30 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของเปลวไฟจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 1023±60 เคลวิน แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 960.7 เคลวิน ค่าความสูงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.39 เมตร แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.43 เมตร และองศาที่เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิงของการทดลองมีค่าเท่ากับ 117±6 องศา แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 123 องศา และที่ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของเปลวไฟจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 944±17 เคลวิน แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 975.6 เคลวิน ค่าความสูงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.38 เมตร แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.40 เมตร และองศาที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลวไฟทำต่อเชื้อเพลิงของการทดลองมีค่าเท่ากับ 134±5 องศา แบบจำลองมีค่าเท่ากับ 128 องศาจากการเปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลอง ทำให้ทราบว่าผลมีความใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีและการพาความร้อนมาทำการวิเคราะห์ถึงสัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมด

4.3.15 การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลของแบบจำลองและการทดลองสำหรับการลุกลามแบบย้อนทิศกับลม

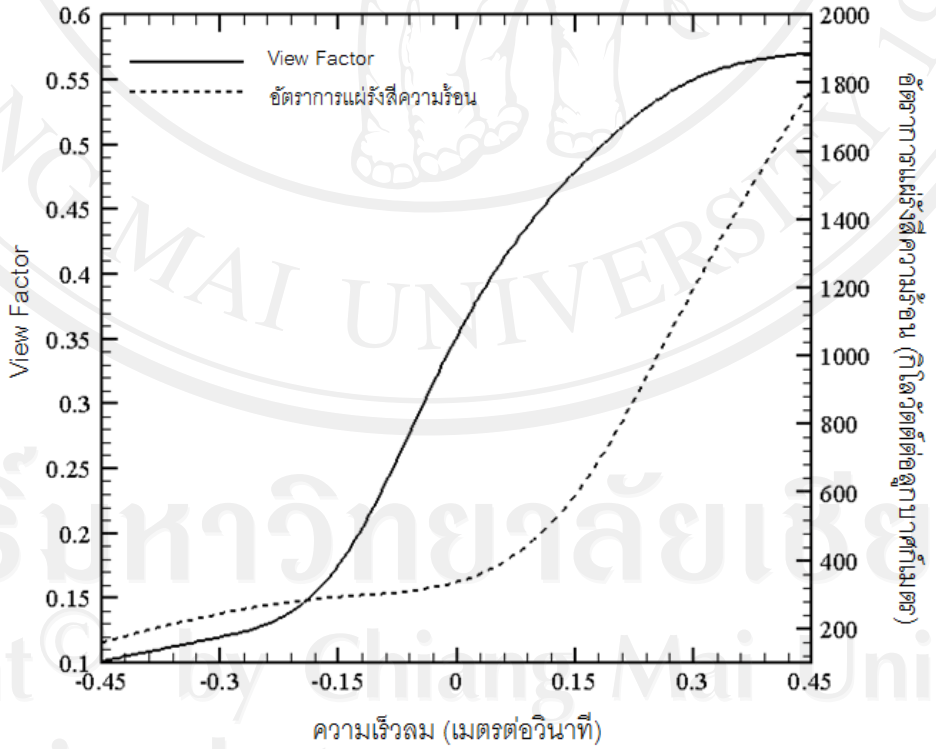
จากผลของแบบจำลองและการทดลองของการลุกลามแบบย้อนทิศกับลมแสดงให้เห็นว่าการลุกลามของไฟเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงได้รับค่าความร้อนเท่ากับค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงต้องการสำหรับกระบวนการการเผาไหม้ ซึ่งค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับนั้น เกิดขึ้นจากกระบวนการการถ่ายเทความร้อนจากไฟสู่เชื้อเพลิงโดยมี การพาและการแผ่รังสีความร้อนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งที่ความเร็วลม เท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที ค่าความร้อนจากการพาความร้อนสะสมวัดได้มีค่าเท่ากับ 431.8 กิโลจูล การแผ่รังสีความร้อนสะสมมีค่าเท่ากับ 1889.1 กิโลจูล ค่าความร้อนสะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2321 กิโลจูล สัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 0.81 และองศาที่เปลวไฟทำกับผิวหน้าของเชื้อเพลิงเท่ากับ 111 องศา ที่ความเร็วลม เท่ากับ 0.30 เมตรต่อวินาที ค่าความร้อนจากการพาความร้อนสะสมวัดได้ มีค่าเท่ากับ 340.4 กิโลจูล การแผ่รังสีความร้อนสะสมมีค่าเท่ากับ 1912.9 กิโลจูล ค่าความร้อนสะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2253.3 กิโลจูล สัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 0.85 และองศาที่เปลวไฟทำกับผิวหน้าของเชื้อเพลิงเท่ากับ 123 องศา ที่ความเร็วลม เท่ากับ 0.45 เมตรต่อวินาที ค่าความร้อนจากการพาความร้อนสะสมวัดได้ มีค่าเท่ากับ -68.7 กิโลจูล การแผ่รังสีความร้อนสะสมมีค่าเท่ากับ 2400.2 กิโลจูล ค่าความร้อนสะสมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2331.5 กิโลจูล สัดส่วนความร้อนระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 1.03 และองศาที่เปลวไฟทำกับผิวหน้าของเชื้อเพลิงเท่ากับ 128 องศา

จากผลการทดลองและแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับเทียบกับค่าความร้อนที่ไฟปล่อยออกมาของแต่ละความเร็วลม แสดงให้เห็นได้ชัดว่าค่าความร้อนหลักที่เชื้อเพลิงได้รับมาจากการแผ่รังสีความร้อน จึงเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่าการลุกลามแบบย้อนทิศกับลมนั้นได้รับค่าความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนเป็นหลัก เนื่องจากความเร็วลมที่เพิ่มมากขึ้นทำให้องศาที่เอียงออกมากขึ้นของไฟกับเชื้อเพลิง ทำให้อัตราการลุกลามของไฟช้าลงทรงผลให้เชื้อเพลิงรับค่าความร้อนสะสมของการแผ่รังสีความร้อนมากขึ้น อีกทั้งลมยังเป็นตัวกลางที่ระบายความร้อนออกจากเชื้อเพลิงจึงทำให้ค่าความร้อนของการพาความร้อนลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

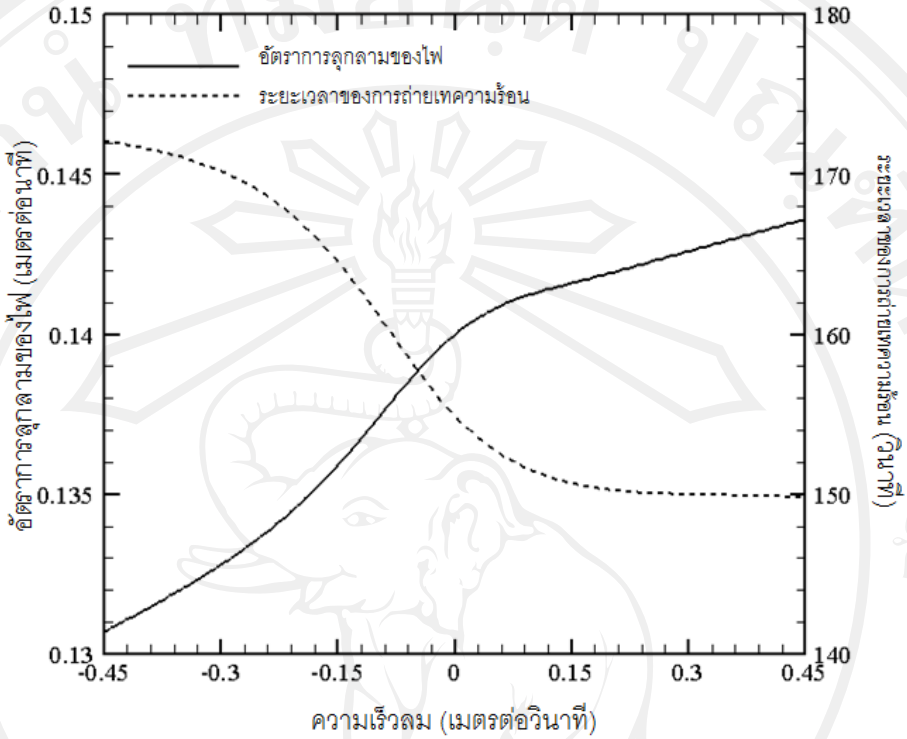
4.4 การวิเคราะห์ผลของลมที่มีต่อการลุกลามของไฟ

จากผลของแบบจำลองและการทดลอง แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกันกับการลุกลามของไฟมีผลต่อองศาของเปลวไฟเข้าใกล้เชื้อเพลิงมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าของ View Factor ระหว่างไฟกับเชื้อเพลิงมีค่ามากขึ้นทำให้อัตราการแผ่รังสีความร้อนเพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นในทิศทางย้อนกับการลุกลามของไฟมีผลต่อองศาของเปลวไฟออกห่างจากเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้ค่าของ View Factor ระหว่างไฟกับเชื้อเพลิงมีค่าลดลงทำให้อัตราการแผ่รังสีความร้อนลดลง อีกทั้งความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการลุกลามมีการเปลี่ยนแปลงน้อยโดยที่มีระยะเวลาของการถ่ายเทความร้อนลดลง ดังแสดงในรูปที่ 77 และ 78 ซึ่งกำหนดแกนนอนให้เป็นความเร็วลมโดยเริ่มจาก -0.45 (เครื่องหมายแสดงถึงทิศทางของลมที่ย้อนทิศกับการลุกลามของไฟ) ถึง 0.45 ส่วนรูปที่ 77 กำหนดแกนตั้งด้านซ้ายให้เป็นค่า View Factor ไม่มีหน่วย และแกนตั้งด้านขวากำหนดให้เป็น อัตราการแผ่รังสีความร้อน มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร และรูปที่ 78 กำหนดแกนตั้งด้านซ้ายให้เป็นอัตราการลุกลามของไฟ มีหน่วยเป็นเมตรต่อนาที และแกนตั้งด้านขวากำหนดให้เป็นระยะเวลาของการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็นวินาที ตามลำดับ



รูปที่ 77 : ความสัมพันธ์ของ View Factor และอัตราการแผ่รังสีความร้อน เทียบกับความเร็วลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 78 : ความสัมพันธ์ของอัตราการลุกลามของไฟและเวลาเทียบกับความเร็วลม

4.5 การเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองและแบบจำลอง

ในการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและแบบจำลองได้ใช้ค่าของ อุณหภูมิที่เปลวไฟ ความสูงของเปลวไฟ และองศาที่เปลวไฟทำกับเชื้อเพลิง มีค่าความผิดพลาดของค่าอุณหภูมิอยู่ที่ 5.1 % ค่าความผิดพลาดของความสูงเปลวไฟอยู่ที่ 7.5 % และค่าความผิดพลาดขององศาที่เปลวไฟทำกับเชื้อเพลิงอยู่ที่ 6.1 % เนื่องจากในการวัดค่าของความสูงและองศาของเปลวไฟที่ทำกับเชื้อเพลิงใช้สายตาในการวัดข้อมูลจึงทำให้ข้อมูลเกิดการผิดพลาดของข้อมูล ส่วนในการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิเปลวไฟนั้นมีการวัดข้อมูลที่ทำให้ค่าผิดพลาดต่ำกว่า ทั้งนี้ทั้งนั้นค่าความผิดพลาดโดยรวมยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นค่าความผิดพลาดของแบบจำลองอยู่ที่ประมาณ 5.1 % [18]

4.6 การเปรียบเทียบผลกับงานวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของความร้อนที่มีต่อการลุกลามของไฟที่สามารถทำให้ไฟจุดติดได้ เกิดจากค่าความร้อนที่มาจากการแผ่รังสีความร้อนซึ่งเหมือนงานวิจัยอื่น ๆ เช่น ในปี 2001 Morandini ได้กล่าวว่าการเผาไหม้ช่วงแรกจะมีค่าความร้อนของการแผ่รังสีที่มีมากกว่าการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พาความร้อน [19] ในปีเดียวกัน Simeoni ได้อธิบายว่าการลุกลามของไฟที่มีความเร็วลมต่ำกว่า 2 เมตรต่อวินาที ค่าความร้อนจากการแผ่รังสีจะมีผลต่อการจุดติดไฟมากกว่าการพาความร้อน [20] ในปี 2005 Zhou ได้แสดงถึงที่ตำแหน่งของอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงจุดติดไฟนั้นมีสัดส่วนของการจุดติดไฟที่มีผลมาจากค่าความร้อนจากการแผ่รังสี [21] ในปี 2007 Wang ได้อธิบายว่าช่วงแรกของการติดไฟ ร้อยละ 70 ของค่าความร้อนมาจากการแผ่รังสีความร้อนของไฟ [22] และในปีเดียวกัน Ferragut ได้อธิบายไว้ด้วยแบบจำลองว่าความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับเกิดจากการสะสมความร้อนของการถ่ายเทความร้อนตั้งแต่เริ่มการลุกลามของไฟ โดยที่ความร้อนที่เชื้อเพลิงได้รับส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีความร้อน [23]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved