ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย — **สาขา**
โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง การจำลองลำควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Inclined Fire Plume

นามผู้วิจัย นายสุรชัย วัฒนดิเรก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา ....
(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....
(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจำลองลำควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Inclined Fire Plume

โดย

นายสุรชัย วัฒนดิเรก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุรชัย วัฒนดิเรก 2553: การจำลองลำควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)
สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D.
89 หน้า

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองพฤติกรรมการไหลของลำควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข LES (Large Eddy Simulation) โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS) การจำลองได้ดำเนินการสำหรับกองเพลิงขนาด 7.5 15 22.5 และ 30 kW โดยมีลมพัดในแนวระดับที่ความเร็ว 0.59 0.89 และ 1.15 m/s ตามลำดับ วัตถุประสงค์ในการศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง FDS และ 2) เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วลมและขนาดของกองเพลิงต่อมุมเอียงของลำควันเอียง

การศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการคำนวณได้ดำเนินการโดยเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS ที่ขนาดกริด 0.05 0.025 และ 0.0125 เมตรกับผลการทดลองของ Oka *et al.* (2008) การศึกษาแสดงให้เห็นว่า สำหรับกริดขนาด 0.0125 เมตรซึ่งเป็นกริดที่มีความละเอียดสูงสุดโดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลองมีค่าไม่เกิน 71.8% ในส่วนของผลกระทบของความเร็วลมและขนาดของกองเพลิงต่อมุมเอียงของลำควัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อกำหนดให้ขนาดของกองเพลิงคง ที่มุมเอียงของลำควันจะแปรผันตามความเร็วลม มุมเอียงเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่ม ในทางตรงกันข้าม เมื่อกำหนดให้ความเร็วลมคงที่ มุมเอียงของลำควันจะแปรผกผันกับขนาดของกองเพลิง มุมเอียงของลำควันมีค่าลดลงเมื่อกองเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้น

__________________ __________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Surachai Watanadirek 2010: A Numerical Simulation of Inclined Fire Plume. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Nathasak Boonmee, Ph.D. 89 pages.

This research performs a LES (Large Eddy Simulation) calculation of inclined plume by a Computational Fluid Dynamics fire model called FDS (Fire Dynamics Simulator). The calculations are carried out for fire sizes of 7.5, 15, 22.5, and 30 kW with horizontal wind blows at speeds of 0.59, 0.89, and 1.15 m/s respectively. The research focuses on 2 objects: 1) a grid refinement study of numerical simulation of inclined plume and 2) effects of horizontal wind speed and fire size to an inclined plume tilt angle.

The grid refinement study is performed for 3 numerical grid sizes of 0.05, 0.025, and 0.0125 m. The FDS simulation results are then compared with the inclined plume experiment carried out by Oka *et al.* (2008) The grid refinement study shows that for the finest grid size of 0.0125 m, the percent difference between the numerical and experimental results is not more than 71.8% For the effects of horizontal wind speed and fire size to an inclined plume tilt angle, the study shows that for a given fire size, the tilt angle increases as the horizontal wind speed increases. On the other hand, for a given wind speed, the tilt angle decreases as the fire size increases.

______________________________	______________________________	___ / ___ / ___
Student's signature	Thesis Advisor's signature	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐศักดิ์ บุญมี, Ph.D. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และรองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D. ประธานโครงการเปิดสอนหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยภาคพิเศษที่ให้คำปรึกษาในการเรียนและการค้นคว้าวิจัยรวมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาต แจ้งบำรุง, Ph.D. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขนซึ่งเป็นประธานการสอบวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์เดชา พวงดาวเรือง, Ph.D. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ เขตหนองแขม กรุงเทพมหานครในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยภาคพิเศษทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ อันเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการทุกท่านคณะวิศวกรรมศาสตร์หลักสูตรมหาบัณฑิตสาขาวิชา วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยภาคพิเศษที่ได้ให้ความช่วยเหลือและแนะนำต่างๆ และขอขอบพระคุณบริษัท เชฟรอนประเทศไทยสำรวจและผลิตและคณะกรรมการ Scholarship รวมทั้งเพื่อนพนักงานที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนทางด้านเงินทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆตลอดหลักสูตร

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขออุทิศส่วนบุญกุศลนี้ให้แด่ บิดาที่ได้เสีย ชีวิตไปแล้วและขอมอบแด่มารดาที่ได้อบรมเลี้ยงดูรวมถึงครอบครัวและเพื่อนๆที่ได้ให้กำลังใจกับ ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุรชัย วัฒนดิเรก

เมษายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์คำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	19
สรุปและข้อเสนอแนะ	34
สรุป	34
ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	36
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก ภาพจำลองลำควันเอียงด้วยโปรแกรม Math Lab	38
ภาคผนวก ข ข้อมูลคำสั่งจำลองลำควันเอียงด้วยโปรแกรม FDS	77
ภาคผนวก ค ข้อมูลคำสั่งจำลองลำควันเอียงด้วยโปรแกรม Math Lab	84
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1	ตารางช่วงระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์	13
2	ตารางจำนวนกริดที่นำมาใช้กับการจำลองลำควันเอียงของโปรแกรม FDS	15
3	ตารางกำหนดโดเมน (Domain)	17
4	ตารางแสดงผลกระทบของจำนวนกริดที่ใช้เวลาโปรแกรม FDS ในการ Run Input Files	20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	Schematic diagrams ของการทดลอง (a) Burner ที่มีลักษณะเป็นวงกลมและสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นสัญลักษณ์ของตำแหน่งกองเพลิงในการ Test I and III ตามลำดับ Test II กำหนดให้ Burner เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (c) Test III กำหนดให้ Burner เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า	3
2	เปรียบเทียบจากการวัดและการคำนวณความเร็วที่ใช้ Burner รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 0.1 m 0.3 m และ 0.1 m 0.5 m (a), (b) รูปทรงแบบขนานช่วงสั้นของ Burner สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ปะทะกับลม (c), (d) Perpendicular arrangement, long side ของ Burner พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ปะทะกับลม ค่า V คือค่าความเร็วของลม	4
3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจากการวัดกับการคำนวณ $\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL}$ (m/s)	6
4	การประมาณค่าของ γ จากตารางเปรียบเทียบที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง	7
5	การจำลอง Domain ด้วยโปรแกรม FDS ที่มีจำนวนกริด IJK $3\times2\times3$ (Coarse Grid) และมีขนาด Burner 0.2×0.2 m^2 16	
6	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z โดเมนจำนวนกริด $60\times40\times60$ Coarse Grid, V=0.59 m/s	22
7	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในโดเมนจำนวนกริด $120\times80\times120$ Moderate Grid, V=0.59 m/s	22
8	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในโดเมนจำนวนกริด $200\times80\times160$ Fine Grid, V=0.59 m/s	23
9	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Zโดเมนจำนวนกริด $60\times40\times60$ Coarse Grid, V=0.89 m/s	23
10	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในโดเมนจำนวนกริด $120\times80\times120$ Moderate Grid, V=0.89 m/s	24

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในโดเมนจำนวนกริด 200×80×160 Fine Grid, V=0.89 m/s	24
12	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z โดเมนจำนวนกริด 60×40×60 Coarse Grid, V=1.15 m/s	25
13	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในโดเมนจำนวนกริด 120×80×120 Moderate Grid, V=1.15 m/s	25
14	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในโดเมนจำนวนกริด 200×80×160 Fine Grid, V=1.15 m/s	26
15	กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิลำควันเอียงโดย Fix Grid IJK 60×40×60	27
16	กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิลำควันเอียงโดย Fix Grid IJK 120×80×120	27
17	กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิลำควันเอียงโดย Fix Grid IJK 200×80×160	28
18	กราฟแสดงความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยกำหนดความเร็ว V=0.59 m/s	28
19	กราฟแสดงความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยกำหนดความเร็ว V=0.89 m/s	29
20	กราฟแสดงความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยกำหนดความเร็ว V=1.15 m/s	29
21	กราฟแสดงลำควันเอียงทำมุมเอียงเฉลี่ย θ กับแกน z	30
22	ภาพการจำลองลำควันเอียงที่สภาวะ Steady State, V=0.59 m/s	31
23	ภาพการจำลองลำควันเอียงที่สภาวะ Steady State, V=0.89 m/s	32
24	ภาพการจำลองลำควันเอียงที่สภาวะ Steady State, V=1.15 m/s	32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 94.0, V=0.59 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60	39
ก2	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	40
ก3	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 55.9 ,V=0.59 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120	40
ก4	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	41
ก5	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.72 ,V=0.59 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160	41
ก6	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	42
ก7	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 89.4, V=0.59 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60	42
ก8	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	43
ก9	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 64.4 ,V=0.59 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120	43
ก10	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, 0.59 m/s	44
ก11	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 89.4 ,V=0.59 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160	44
ก12	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	45
ก13	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=0.59 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60	45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก14	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	46
ก15	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 83.6, V=0.59 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120	46
ก16	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	47
ก17	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 60.0 ,V=0.59 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160	47
ก18	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	48
ก19	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=0.59 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60	48
ก20	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	49
ก21	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 83.6, V=0.59 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120	49
ก22	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	50
ก23	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 60.0 ,V=0.59 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160	51
ก24	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s	51
ก25	ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=0.89 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60	52
ก26	แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s	52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ หน้า

ก27 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 28.8 ,V=0.89 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120 53

ก28 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 53

ก29 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.72 ,V=0.89 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160 54

ก30 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 54

ก31 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 70.25, V=0.89 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60 55

ก32 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 55

ก33 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 28.9 ,V=0.89 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120 56

ก34 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 56

ก35 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 47.35, V=0.89 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160 57

ก36 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 57

ก37 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 74.97, V=0.89 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60 58

ก38 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 58

ก39 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 18.8, V=0.89 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120 59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก40 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 59

ก41 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 37.6 ,V=0.89 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160 60

ก42 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 60

ก43 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 81.35, V=0.89 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60 61

ก44 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 61

ก45 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.34, V=0.89 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120 62

ก46 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 62

ก47 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.02 ,V=0.89 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160 63

ก48 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s 63

ก49 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=1.15 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60 64

ก50 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 64

ก51 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 18.6 ,V=1.15 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120 65

ก52 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก53 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.72,V=1.15 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160 66
ก54 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 66
ก55 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 89.9, V=1.15 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60 67
ก56 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 67
ก57 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 87.0 ,V=1.15 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120 68
ก58 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 68
ก59 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 47.35, V=1.15 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160 69
ก60 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 69
ก61 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 74.97, V=1.15 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60 70
ก62 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 71
ก63 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 18.8, V=1.15 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120 71
ก64 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 72
ก65 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 37.6 ,V=1.15 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160 72

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก66 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 73

ก67 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 81.35, V=1.15 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $60\times40\times60$ 73

ก68 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 74

ก69 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.34, V=1.15 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $120\times80\times120$ 74

ก70 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 75

ก71 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.02 ,V=1.15 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200\times80\times160$ 75

ก72 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s 76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A = พื้นที่ของการเผาไหม้มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

c_p = ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิห้อง

C_S = ค่าคงที่ของ (Smagorinsky)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Acceleration of Gravity)

ΔH_C = ความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat of Combustion) มีหน่วยเป็นกิโลจูลน์ต่อกรัม (kJ/g)

ΔH_O = อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งมีค่าประมาณ 13,100 กิโลจูลน์ต่อกิโลกรัม

h = เอนทัลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient)

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

k = ค่าคงที่ของการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

L = ความร้อนของการกลายเป็นไอ (Heat of Gasification) มีหน่วยเป็นกิโลจูลน์ต่อกรัม (kJ/g)

$\dot{m}''$ = อัตราการเผาไหม้ (Burning Rate)

$\dot{m}_I'''$ = อัตราการผลิตมวลของสปีซีส์ที่ i ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Mass Production Rate of ith species per unit volume)

P = ความดัน (Pressure)

p = ฟังก์ชันของผิวทรงกลม

$\dot{Q}$ = อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

$\dot{q}''$ = ฟลักซ์ความร้อนสุทธิที่ตกกระทบผิวของเชื้อเพลิง (Net Heat Flux) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (kW/m^2)

$\dot{q}'''$ = อัตราการปลดปล่อยความร้อนเชิงเคมีต่อหน่วยปริมาตร

q_r = เวกเตอร์การแผ่รังสีความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Radiative Heat Flux Vector)

R^* = ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

T	=	อุณหภูมิ (Temperature)
t	=	เวลา (Time)
T_b	=	จุดเดือด (Boiling Point)
T_0	=	อุณหภูมิของลำควัน
T_α	=	อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม
u	=	ความเร็วของเวกเตอร์ u, v และ w (Velocity Vector) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
u (z)	=	ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
u_0	=	ความเร็วลมมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)
Y_I	=	สัดส่วนของมวล (Mass Fraction)
z	=	ค่าคงที่ของการนำความร้อน (Thermal Conductivity)
Δz	=	ขนาดของกริด (Grid Size) มีหน่วยเป็นเมตร
σ	=	ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลท์มานน์ (Stefan-Boltzman Constant = 5.67×10^{-11} (kW/m^2K^4)
ρ	=	ความหนาแน่น (Density)
τ	=	แรงเค้นเฉือน (Viscous Stress Tensor)
χ	=	ประสิทธิภาพของการเผาไหม้
χ_r	=	ค่าประมาณเชิงประสบการณ์ของสัดส่วนเฉพาะที่
Δ	=	ขนาดของ Filter
FDS	=	Fire Dynamics Simulator
NIOSH	=	National Institute for Occupational Safety and Technology
NIST	=	National Institute of Standards and Technology
Pr	=	Prandtl Number
Sc	=	Schmidt Number

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจำลองลำควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

A Numerical Simulation of Inclined Fire Plume

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีอัคคีภัยเกิดขึ้นมากมายตามที่พักอาศัย อาคาร สำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งสร้างความเสียหายแก่ทรัพย์สิน, ชีวิตคนและรวมถึงเป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมากโดยไม่เว้นแต่ละวัน ดังนั้น การใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD Fire Model) ในการประเมินสภาวะขณะเกิดเพลิงไหม้ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยและระบบ ควบคุมควันไฟซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวางและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ตัวอย่างโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมีความสามารถในการคำนวณเกี่ยวกับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องมาจากเพลิงไหม้เช่นโปรแกรม SOFIE, CFX, PHOENICS, STAR-CD และFDS (Fire Dynamic Simulator) โปรแกรมที่กล่าวมานั้น FDS (Version 5) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่โดยเฉพาะสำหรับวิเคราะห์ปัญหาด้านอัคคีภัย จาก National Institute of Standard and Technology (NIST) ประเทศ สหรัฐอเมริกา (McGrattan and Fomey, 2005)

โครงการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้โปรแกรม FDS (Version 5) จำลองลำควันเอียงและคำนวณอัตราปล่อยพลังงานความร้อนและความเร็วในสภาวะลำควันเอียงในพื้นที่เปิด ผลที่ได้จากการคำนวณจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการของ Yasushi Oka, Osami Sugawa, Tomohiko Imamura [2] เพื่อแสดงให้เห็นถึงสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับความเร็วตามลำควันเอียงว่าเป็นจริงดังสูตรสมการที่ได้พัฒนาและคิดค้นหรือไม่ การทดลองจริงนั้นทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงมีอันตราย และเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณซึ่งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ FDS ช่วยในการจำลองจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าไม่เป็นอันตรายและไม่เป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulators (FDS) ในการจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ของลำควันเอียง

2. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการจำลองลำควันเอียงด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulators (FDS)

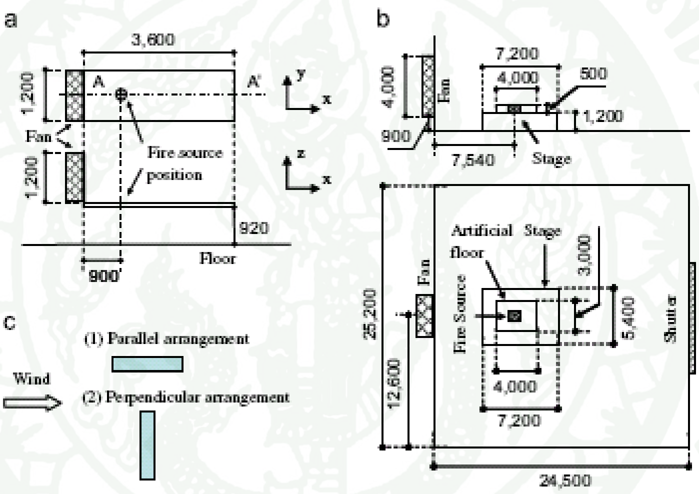
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนและความเร็วลมต่อมุมเอียงของลำควันเอียง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยพฤติกรรมลำควันเอียงที่ได้ทำการทดลองโดย Oka *et al.* (2008) ได้เอาผลจากการทดลองมาพัฒนาสูตรสมการ (Formula) ใหม่ๆใช้ในการคำนวณ เพื่อแสดงให้เห็นถึงสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับความเร็วตามลำควันเอียงที่เกิดขึ้นจากกองเพลิงที่มีลมพัดเข้ามาทางด้านข้างดังรูปภาพที่ 1



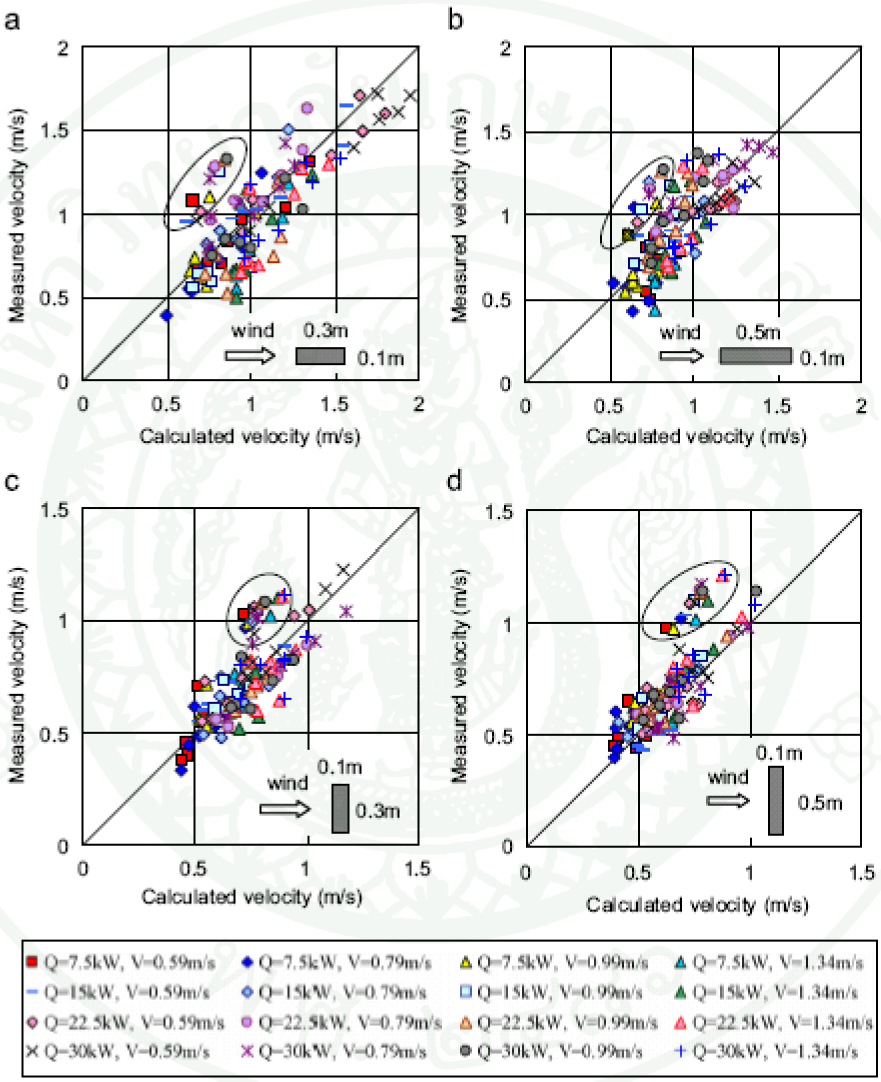
ภาพที่ 1 Schematic diagrams ของการทดลอง (a) Burner ที่มีลักษณะเป็นวงกลมและสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นสัญลักษณ์ของตำแหน่งกองเพลิงในการ Test I and III ตามลำดับTest II กำหนดให้ Burner เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (c) Test III กำหนดให้ Burner เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ที่มา: Fire Safety Journal 43 (2008)

Oka *et al.* (2008) ได้สรุปผลการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงสหสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับความเร็วตามแกนลำควันเอียงคือ (1) ความเร็วของลำควันร้อนตามแกนลำควันเอียงในสภาวะมีลมพัดมาทางด้านข้างกองเพลิงจะมีค่าต่ำกว่าที่ไม่มีลมพัดเข้ามา (2) ช่วงที่อุณหภูมิลดลงจะตรงกันข้ามกับระยะขอบเขตของลำควัน (Plume region) ซึ่งจะทำให้ความเร็วของลมที่พัดเข้ามาเพิ่มมากขึ้น (3) สูตรสมการคำนวณใหม่สำหรับการประมาณค่า ความเร็วลำควันร้อนตามแกนลำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ควันเอียงจะนำมาใช้คำนวณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับความเร็วลมที่พัดเข้ามาทางด้านข้างซึ่งขึ้นกับสมมุติฐานที่ว่าจะต้องมี ช่วงแพดานจำกัดความสูงของลำควันร้อนที่สามารถลอยไปถึง พฤติกรรมของลำควันร้อนนี้เป็นผลกระทบมาจากความเร็วลมที่พัดเข้ามาทางด้านข้างซึ่งจะมีความเหมือนและคล้ายคลึงกับการไหลแบบ Ceiling Jet มาก



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบจากการวัดและการคำนวณความเร็วที่ใช้ Burner รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 0.1 m × 0.3 m และ 0.1 m × 0.5 m (a), (b) รูปทรงแบบขนานช่วงสั้นของ Burner สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ปะทะกับลม (c), (d) Perpendicular arrangement, long side ของ Burner พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ปะทะกับลม ค่า V คือค่าความเร็วของลม V_{wind}

ที่มา: Fire Safety Journal 43 (2008)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเกิดเหตุเพลิงไหม้ ลำควันซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะลอยตัวขึ้นในแนวดิ่งซึ่งลำควันร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้นจากกองเพลิงเรียกว่า พลูม (Plume) เนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ที่เกิดจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเมื่อมีความเร็วลมพัดเข้ามาทางด้านข้าง (Crosswind) ก็จะทำให้ลำควันนั้นเอียงออกห่างจากแนวแกนสมมาตรซึ่งเราเรียกว่า ลำควันเอียง (Inclined Fire Plume) โดย Oka *et al.* (2008) ได้ทำการทดลองและเอาผลลัพธ์ที่ได้มาพัฒนาและคิดค้นสูตรสมการ (Formula) ใหม่ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามแกนลำควันเอียงดังต่อไปนี้

1. ความเร็วของลำควันร้อนตามแกนลำควันสมมาตรในกรณีที่ไม่มีลมพัดเข้ามาทางด้านข้าง (Velocity of the hot current along fire Plume axis in the absence of a crosswind)

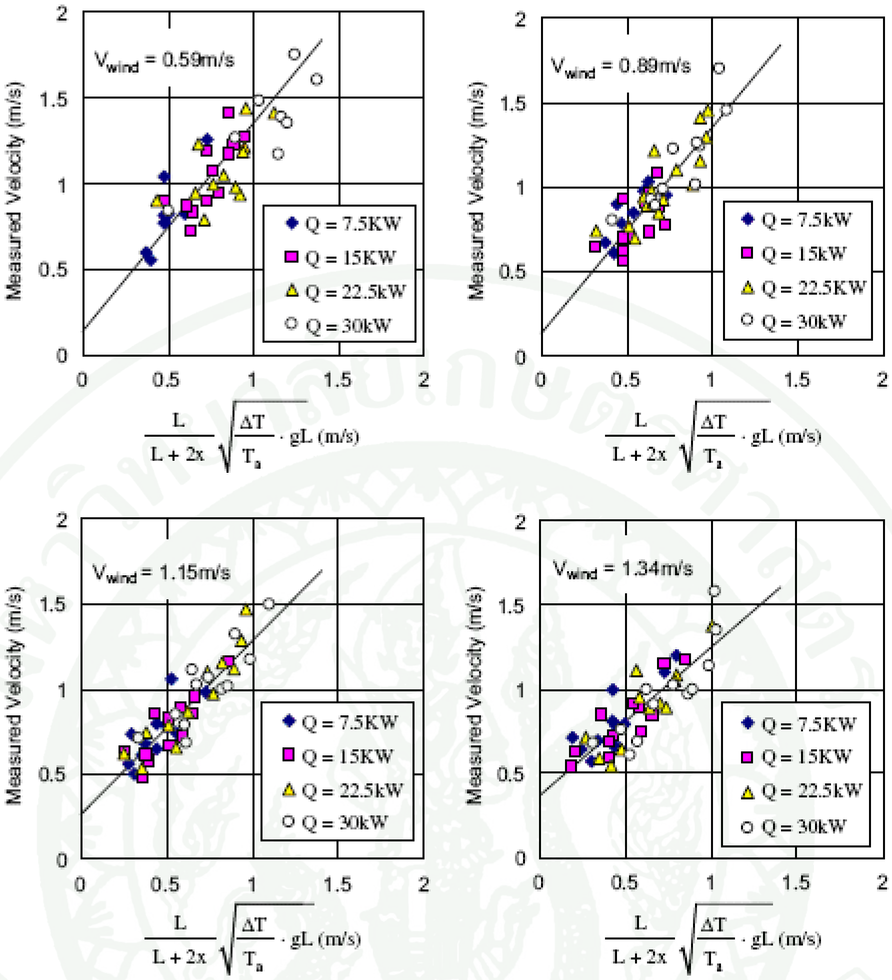
$$V_{cal} = \sqrt{\gamma V_{\mathrm{up}}^2 + \varepsilon V_{wind}^2} \qquad (1)$$

2. ความเร็วของลำควันร้อนที่เพิ่มขึ้นตามแกนลำควันเอียงในกรณีที่มีลมพัดเข้ามาทางด้านข้าง (Velocity of the hot current along inclined fire plume axis in the presence of crosswinds)

$$V_{cal} \approx V_{\mathrm{up}} = \gamma\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a} gL} \qquad (2)$$

ความยาวต่างๆตามรูปเรขาคณิตในพื้นที่เปิด (unconfined space) คือสมการ $\frac{L}{(L+2x)}$ และให้ x คือระยะในแนวนอนจากศูนย์กลางของ Burner ถึงจุดเป้าหมายที่จะวัด (measurement point) และถ้า fire plume เพิ่มมากขึ้นไปตามแนวดิ่ง โดยที่ไม่มีลมพัดเข้ามาค่าของ x จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และ L คือค่าของความสูงจากพื้นผิวของแหล่งกำเนิดกองเพลิงและในกรณีที่มีกระแสลมแรงพัดเข้ามาทางด้านข้างมากจะทำให้ค่า γV_{up}^2 ในรากที่สองเทอมแรกของสมการที่ (1) ลดลงเพราะค่าของ ΔT มีอุณหภูมิลดลงโดยที่มีความเร็วลมที่พัดเข้ามาทางด้านข้างเพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วที่หาได้ส่วนใหญ่มาจากในรากที่สองเทอมที่สองของสมการที่ (1) และค่าที่ได้ของ V_{cal} จะใกล้เคียงกับค่าของ V_{wind} ในช่วงที่ห่างจากกองเพลิงโดยที่ $V_{\mathrm{cal}} \approx \varepsilon V_{wind}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



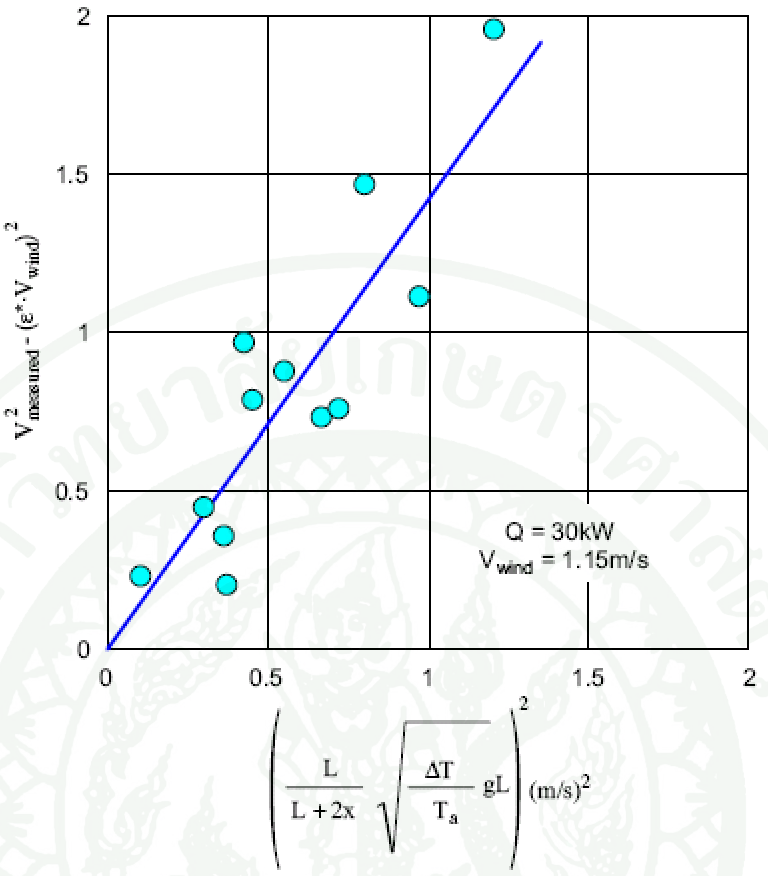
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจากการวัดกับการคำนวณ $\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL}$ (m/s)

ที่มา: Fire Safety Journal 43 (2008)

3. ความเร็วของลำควันร้อนที่เพิ่มขึ้นตามลำควันเอียง ในขณะที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีความเร็วลมพัดเข้ามาทางด้านข้างสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$V_{cal} = \left[\left(\gamma \frac{L}{L+2x}\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL}\right)^2 + (\varepsilon V_{wind})^2\right]^{1/2} \qquad (3)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 การประมาณค่าของ γ จากตารางเปรียบเทียบที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง

ที่มา: Fire Safety Journal 43 (2008)

4. แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator) หรือ FDS เป็น โปรแกรมทางด้าน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) หรือ CFD สำหรับจำลองการเคลื่อนที่ของไฟโดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) ในการแก้สมการการเคลื่อนที่ของของไหลซึ่งเป็นการไหลที่ความเร็วต่ำ (Low Speed)

ในส่วนของแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Hydrodynamics Model) สำหรับ Fire Dynamics Simulator (FDS) ได้รับการพัฒนาโดย NIST (National Institute of Standards and Technology) โดยแก้สมการอนุรักษ์ซึ่งประกอบไปด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 Navier-Stokes Equations

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial r} + \nabla.\rho \,\mathrm{u} = 0 \qquad (4)$$

สมการอนุรักษ์สปีซีส์ (Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial r}(\rho Y_i) + \nabla.\rho Y_i \,\mathrm{u} = \nabla \,.\, \rho D_i \nabla Y_i + m_i''' \qquad (5)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

$$\rho \;\frac{\partial \mathrm{u}}{\partial t} + (\mathrm{u}.\nabla)\,\mathrm{u} + \nabla \dot{p} - \dot{\rho} g = \mathrm{f} + \nabla.\tau \qquad (6)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla.\rho h \bar{u} = \frac{dp}{dt} + q''' + \nabla.k\nabla T + \nabla.\sum_i \rho h_i D_i \nabla Y_i - \nabla.\bar{q}_v \qquad (7)$$

โดยที่

ρ = ความหนาแน่น (Density)

$\bar{u}$ = เวกเตอร์ความเร็ว (Velocity vector)

Y_i = เศษส่วนโดยมวลของมวลย่อยที่ l (Mass Faction)

$\dot{m}_i'''$ = อัตราการทำปฏิกิริยาต่อปริมาตรของมวลย่อยที่ l (Mass Production Rate of i species per unit volume)

D_i = สัมประสิทธิ์การแพร่ของมวลย่อยที่ l (Diffusion Coefficient)

$\bar{f}$ = แรงภายนอกที่กระทำต่อของไหล

τ = แรงเค้นเฉือน (Viscous stress tensor)

h = เอนทาลปี (Enthalpy; Heat Transfer Coefficient)

$\bar{q}_r$ = ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน (Radiative Heat Flux Vector)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

T = อุณหภูมิ (Temperature)

การใช้โปรแกรม FDS ต้องกำหนดโดเมนของการคำนวณ (Computational Domain) และ ค่าขอบเขต (Boundary Conditions) โดยโปรแกรม จะทำการแบ่ง โดเมนออกเป็นปริมาตร (Finite Volume) ขนาดเล็กจำนวนมากเรียกว่าการสร้างกริด (Grid Generation) ในสภาวะต่างๆ ภายในปริมาตรที่จำกัด จะถูกคำนวณโดยใช้สมการข้างต้นทั้งนี้จำนวนกริดหรือขนาดกริดที่ใช้กำหนดในแบบจำลองจะต้องได้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง และมีความเที่ยงตรงตามทฤษฎี รวมถึงมีระยะเวลาในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ (CPU Time) ที่เหมาะสม

4.2 FDS ใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ในแบบจำลองเชิงตัวเลขมี 2 ระเบียบวิธีที่นำมาใช้พิจารณา ค่าความหนืดเชิงพลวัต (Dynamic Viscosity) หรือ μ ได้แก่ ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) และระเบียบวิธี Direct Numerical Simulation (DNS) โดยระเบียบวิธีที่เหมาะสมกับ การจำลองเพลิงไหม้สำหรับพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor Fire Model) จะใช้ระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งใช้ Sub grid Scale Model ของSmagorinsky สำหรับการจำลองสภาวะการไหล แบบ ปั่นป่วนในส่วนของการเผาไหม้เพื่อแก้ปัญหาขนาด กริดที่ไม่สามารถทำให้ละเอียดเพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ของ Smagorinsky ค่าความหนืดดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\mu_{\mathrm{LES}} = \rho(C_S\Delta)^2\left[2(def\mathrm{u}).(def\mathrm{u}) - \frac{2}{3}(\nabla.\mathrm{u})^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (8)$$

โดย C_S เป็นค่าคงที่ของ Smagorinsky, Δ เป็นขนาดของ Filter และพจน์แปลงรูปสัมพันธ์กับฟังก์ชันการกระจาย (Dissipation Function) ดังสมการที่ (8) ซึ่งเป็นฟังก์ชันการกระจายเป็นการถ่ายโอนพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนในระเบียบวิธี LES ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สสาร (Material Diffusivity) จะสัมพันธ์กับค่าความหนืดแบบปั่นป่วน (Turbulent Viscosity) ในการคำนวณจะกำหนดให้ Prandtl Number (Pr) และ Schmidt Number (Sc) มีค่าคงที่ในการจำลองของ FDS ค่าคงที่ของ Smagorinsky จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.2 ตลอดทุกกรณี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 แบบจำลองการเผาไหม้สัดส่วนสารผสม (Mixture Fraction Based Infinitely Fast Chemical Reaction) โดย FDS ใช้แบบจำลองบนสมมติฐานที่ว่าอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ ถูกควบคุมโดยอัตราที่เชื้อเพลิงกับอากาศผสมกัน (Mixed Controlled) เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอากาศอย่างรวดเร็ว (Infinitely Fast Chemical Reaction) ได้เป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในการจำลองเพลิงไหม้ภายนอกอาคาร (Fires and Flow in Outdoor) [1] FDS สามารถกำหนดให้มีลมเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อให้การจำลองสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของมวลกับสารผสมเรียกว่า ความสัมพันธ์สถานะ (State Relation) ความสัมพันธ์สถานะที่เกิดจาก เปลวไฟที่แพร่แบบราบเรียบ (Laminar Diffusion Flameเป็นฟังก์ชั่นแบบเชิงเส้นซึ่งนำไปสู่การอธิบายปรากฏการณ์เปลวไฟโดย อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนสามารถคำนวณได้จากอัตราการใช้ออกซิเจนที่ผิวนอกของ เปลวไฟโดยใช้สมมติฐานว่าทั้งสองค่านี้เป็นสัดส่วน โดยตรงต่อกัน และไม่ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงซึ่งรูปแบบทั่วไปของปฏิกิริยาการเผาไหม้แสดงได้ดังสมการ

จากสมการปริมาณสัมพันธ์ (9) อัตราการใช้เชิงมวลของเชื้อเพลิง และตัวออกซิไดส์สัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\dot{m}'''_F}{\nu_F M_F} = \frac{\dot{m}'''_O}{\nu_O M_O} \qquad (10)$$

ความสัมพันธ์สถานะสำหรับทั้งตัวทำปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์สามารถอนุพัทธ์ (Derived) โดยพิจารณาปฏิกิริยาอุดมคติของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน

$$\begin{aligned} &\mathrm{C_X H_Y} + \eta(\mathrm{x} + \mathrm{y}/4)(\mathrm{O_2} + 3.76\mathrm{N2}) \rightarrow \max(0,1-\eta)\mathrm{C_X H_Y} + \min(1,\eta)\mathrm{xCO_2} + \\ &\min(1,\eta)(\mathrm{y}/2)\mathrm{H_2O} + \max(0,\eta-1)(\mathrm{x}+\mathrm{y}/4)\mathrm{O_2} + \eta(\mathrm{x}+\mathrm{y}/4)3.76\mathrm{N_2} \end{aligned} \qquad (11)$$

พารามิเตอร์ η มีค่าตั้งแต่ 0 ซึ่งแสดงถึงสภาวะที่มีแต่เชื้อเพลิงไม่มีออกซิเจนถึง α ซึ่งแสดงถึงสภาวะที่มีแต่ออกซิเจน และไม่มีเชื้อเพลิง การสมนัยกันระหว่าง η และ Z สามารถหาได้โดยการใช้นิยามของ Z เพื่อหาสัดส่วนผสมดังสมการ (12) กับฝั่งซ้ายของสมการ (11) และสัดส่วนเชิงมวลของผลิตภัณฑ์ได้จากฝั่งขวาของสมการ (11)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Z = \frac{sY_F - (\mathrm{Y_O} - \mathrm{Y_O^{\alpha}})}{sY_F^{l} + Y_O^{\alpha}}; s = \frac{v_0 M_O}{v_F M_F} \quad (12)$$

นิพจน์ของอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน สามารถอนุพัทธ์ได้จากสมการการอนุรักษ์ และความสัมพัทธ์สถานะของออกซิเจน ซึ่งอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเป็นฟังก์ชั่นของอัตราการใช้ออกซิเจน

$$\dot{q}''' = \Delta H_O \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{o}}''' \quad (13)$$

โดย ΔH คือ อัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ซึ่งมีค่าประมาณ 13,100 กิโลจูลน์ต่อกิโลกรัม

จากการอนุรักษ์เชิงมวลของออกซิเจน คือ

$$\rho \frac{DY_O}{D_t} = \nabla . \rho \nabla Y_O + \dot{m}_{\mathrm{o}}''' \quad (14)$$

สัดส่วนสารผสมเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์ ซึ่งได้มาจากสมการอนุรักษ์การรวมเชิงเส้นของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla . \rho D \nabla Z \quad (15)$$

สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นนิพจน์ของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อน โดยใช้สมการอนุรักษ์ของสารผสม (15) และความสัมพันธ์สถานะของออกซิเจน $Y_0(Z)$

$$-\dot{m}_o''' = \nabla\left(\rho D \frac{dY_O}{dZ} \nabla Z\right) - \frac{dY_O}{dZ} \nabla . \rho D \nabla Z = \rho D \frac{d^2 Y_O}{dZ^2} \left|\nabla Z\right|^2 \quad (16)$$

แบบจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Fires and Flows in Outdoor) ในการจำลองเพลิงไหม้ในพื้นที่ภายนอกอาคาร (Outdoor) มีลักษณะไม่แตกต่างกับการจำลองเพลิงไหม้ภายในอาคาร (Indoor) เนื่องจากมีหลายตัวแปร (Parameters) ที่คล้ายกัน แต่ในการจำลองเพลิง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไหม้ภายนอกอาคารสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นไปสภาพความจริงที่เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วของลมจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในโปรแกรม FDS สามารถกำหนดเงื่อนไขที่เกี่ยวกับความเร็วลมได้โดยใช้คำสั่ง PROFILE ในบรรทัดของคำสั่ง SURF ซึ่งสามารถกำหนดลักษณะของลมได้เช่น PROFILE = ‘PARABOLIC’ จะสร้างลมที่มีลักษณะโค้งจากสมการที่ (17)

$$u(z) = u_0 (z / z_0)^P \tag{17}$$

โดย $u(z)$ คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที, u_0 คือ ความเร็วลมมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที, z คือ ความสูงของระดับต่างๆที่สนใจมีหน่วยเป็นเมตร, z_0 คือ ความสูงทั้งหมดของวัตถุมีหน่วยเป็นเมตร และ P คือ ฟังก์ชั่นของพื้นผิววัตถุ

4.4 ตัวแปรไร้หน่วยในการจำลองเพลิงไหม้ (Dimensionless Parameters in Fire Phenomenon) การใช้ขนาด (Δz) ที่เหมาะสมนอกจากจะจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของลำควันได้แล้ว ขนาดของกริดที่เหมาะสมควรบอกถึงอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนของเพลิงไหม้ ซึ่ง Ma and Quintiere (2003) ได้ใช้ FDS (Version 2) จำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของอ่างไฟ (Pool Fire) และการเคลื่อนที่ของลำควันโดยเสนอไร้หน่วย R^* เพื่อเป็นตัวแปรที่รวมขนาดของกริดและอัตราปล่อยพลังงานความร้อนเข้าด้วยกันตามสมการดังนี้

$$R^* = \frac{\Delta z}{\left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\alpha C_T T_\alpha \sqrt{g}} \right)^{2/5}} \tag{18}$$

โดย R^* คือ ขนาดของกริดในเทอมตัวแปรไร้หน่วย, Δz คือขนาดของกริด, $\dot{Q}$ คืออัตราการปล่อยพลังงานความร้อน ρ_α, T_α และ C_P คือ ความหนาแน่น, อุณหภูมิ และความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่อุณหภูมิห้อง และ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 เมตรต่อวินาที ^{2}

Ma and Quintiere (2003) พบว่า R^* = 0.05 จะให้ผลการคำนวณอุณหภูมิของลำควันในช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous Flame) มีความแม่นยำสูงสุด ทั้งนี้เพราะขนาดของกริดสามารถจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเปลวไฟได้ อย่างไรก็ตามในการจำลองเพลิงไหม้ของการวิจัยนี้ค่า R^* ดังกล่าวอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณมาก และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้ผลการคำนวณที่สนใจจะอยู่ในช่วงลำควัน (Plume) ซึ่งสามารถใช้ขนาดของกริดที่ใหญ่กว่าได้ เพราะในช่วงลำควันมีขนาดที่ใหญ่กว่าช่วงเปลวไฟต่อเนื่อง (Continuous Flame)

4.5 การวิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำของผลการคำนวณ จากโปรแกรม FDS จะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (Average Percent Difference) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Average Percent Difference} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{X_i - Y_i|}{Y_i}\right)x100\%}{n} \qquad (19)$$

โดย X คืออุณหภูมิของลำควันเอียงที่คำนวณได้จากโปรแกรม FDS และ Y คืออุณหภูมิของลำควันเอียงที่ได้จากการทดลองของ Oka และคณะ

5. ตารางแผนวิจัย

ตารางที่ 1 ตารางช่วงระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

Year 2008 - 2010	A Numerical Simulation of Inclined Fire Plume																		
Itim	Month																		
	Oct-08	Nov	Dec	Jan-09	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan-10	Feb	Mar	Apr
1. กำหนดหัวข้อวิทยานิพนธ์																			
2. แต่งตั้งอาจารย์ที่ปรึกษา																			
3. ศึกษาค้นคว้าเรื่องที่เกี่ยวข้อง																			
4. ส่งโครงการวิทยานิพนธ์																			
5. ทำวิทยานิพนธ์																			
6. สอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์																			

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์Notebook CPU AMDXP1700 + GHz, RAM 3 GB, Hard Dice 250 GB. หน่วยประมวลผลกลาง 2 GHz และหน่วยความจำ 3 GB

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Smoke View Version 5.0

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ FDS Version 5.0

4. โปรแกรม Microsoft Office XP PROD.

5. โปรแกรม Fortran

6. โปรแกรม Math Lab Version 7.2.0.232 (R2006a)

7. โปรแกรม Digitizer

8. โปรแกรม Microsoft Word / Excel Chart Wizard

9. Printer HP – 88OC Inkjet

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

กำหนด Fire Scenario รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับการศึกษาวิจัยและการเลือกใช้โปรแกรมที่เหมาะสม เช่น โปรแกรม Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 โปรแกรม Smokeview โปรแกรม Visual Fortran Version 6.0 โปรแกรม MathLab Version 7.2 โปรแกรม Microsoft Excel Chart Wizard และโปรแกรม Microsoft Word รวมถึงข้อมูลคำสั่ง (Input File) สำหรับการจำลองลำควันเอียง

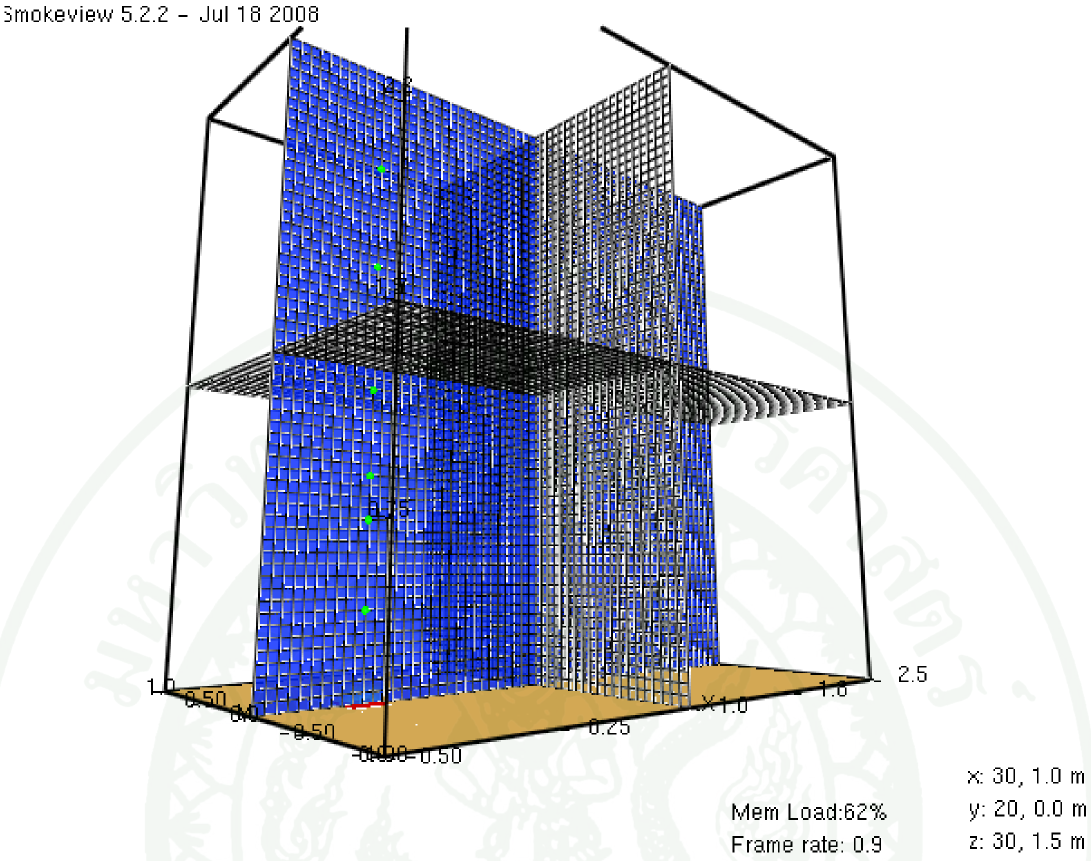
การหาขนาดของ Grid ที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ของโปรแกรม FDS

1. การสร้างแบบจำลองลำควันเอียง (Inclined Fire Plume Simulation) โดยโปรแกรม FDS ทำได้โดยเขียนข้อมูลคำสั่ง (Input File) ในโปรแกรม Notepad ซึ่งรหัส (Code) ได้พัฒนามาจากภาษา Fortran และภาษา C Complier โดยแบ่งเป็นข้อมูลคำสั่งที่จะทำการศึกษาวิจัยจำนวน 2 ข้อมูลคำสั่งคือ ข้อมูลคำสั่งที่หาผลกระทบของกริด (Grid refinement study) ต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงและสมการที่ได้คิดค้นโดย (Oka *et al.,* 2008)

ตารางที่ 2 ตารางจำนวนกริดที่นำมาใช้กับการจำลองลำควันเอียงของโปรแกรม FDS

Grid	Grid size (m)	Lx (m)	Ly (m)	Lz (m)	npx	npy	npz
Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 ภาพแสดงการจำลอง Domain จากการ Run Input File ด้วยโปรแกรม FDS ที่มีจำนวนกริด IJK $3\times2\times3$ (Coarse Grid) และมีขนาด Burner $0.2\times0.2\ m^2$

2. ข้อมูลคำสั่งสำหรับการศึกษาพฤติกรรมลำควันเอียงโดยกำหนด ความเร็วลม V=0.59 m/s, V=0.89 m/s, V=1.15 m/s และปล่อยพลังงานความร้อน (Heat Release Rate) $\dot{Q}$ = 7.5 kW, $\dot{Q}$ = 15 kW, $\dot{Q}$ = 22.5 kW, $\dot{Q}$ = 30 kW โดยกำหนดโดเมนสำหรับจำลองลำควันเอียง (Coarse Grid) ขนาด $Lx\times Ly\times Lz$ $3\times2\times3$ m, (Moderate Grid) ขนาด $Lx\times Ly\times Lz$ $3\times2\times3$ m, (Fine Grid) ขนาด $Lx\times Ly\times Lz$ $2.5\times1\times2$ m จำนวนกริด IJK $60\times40\times60$, IJK $120\times80\times120$, $200\times80\times160$ เพื่อหาค่าความแตกต่างของการคำนวณด้วยโปรแกรม FDS ให้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริงและผลลัพธ์ที่ได้จากสูตรสมการในแต่ละการจำลอง (Experiment) โดยมีรายละเอียดในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ตารางกำหนดโดเมน (Domain) ที่มีจำนวนกริด ความเร็วลม (V-FDS) และ Heat Release Rate คงที่ซึ่งเขียนไว้ใน Input File

V - FDS (m/s)	HRRPUA (kW/m^2)	Burner Area (m^2)	Q (kW)	Grid	Grid size (m)	Lx (m)	Ly (m)	Lz (m)	npx	npy	npz
0.59	187.5	0.04	7.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	375	0.04	15	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	562.5	0.04	22.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	750	0.04	30	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
0.89	187.5	0.04	7.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	375	0.04	15	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	562.5	0.04	22.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	750	0.04	30	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
1.15	187.5	0.04	7.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	375	0.04	15	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	562.5	0.04	22.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160
	750	0.04	30	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำการ Run Program เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรม

1. โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0) และ โปรแกรม Smokeview สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ www.fire.nist.gov/fds ของสถาบัน NIST โดยทำการติดตั้งโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ตามคำแนะนำของคู่มือการใช้งานซึ่งโปรแกรม Smokeview จะถูกติดตั้งพร้อมกับการติดตั้งโปรแกรม FDS Version 5.0 ส่วนข้อมูลคำสั่ง (Input File) จะต้องใช้โปรแกรม Dos ในการ Run Input File เพื่อสั่งคำนวณข้อมูลคำสั่งในการจำลองเพลิงไหม้ลำควันเอียงโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 เปิดโปรแกรม Dos ให้แสดงคำสั่ง Command Prompt

1.2 เปลี่ยน Directory โดยใช้ Code cd ไปยัง Directory ที่มีข้อมูลคำสั่งอยู่

1.3 สั่งคำนวณข้อมูลคำสั่งโดยใช้รหัส fds5 < และตามด้วยชื่อข้อมูลคำสั่งเช่น fds5 < IP_I_V0_59_Q7_5_F.fds เป็นต้น

2. โปรแกรม Visual Fortran Version 6.0 ใช้ในการแปลงข้อมูลเป็น Text File จากโปรแกรม FDS มาเป็นโปรแกรม Excel filename fds2ascii.csv เพื่อที่จะเอาเฉพาะข้อมูล (Data) ที่เป็นจำนวนตัวเลข ส่วนที่เป็น Text จะต้องตัดทิ้งไปแล้ว Save as เป็น Notepad filename fds2ascii.txt เพื่อที่จะนำข้อมูลชนิดข้อความมาใช้ร่วมกับโปรแกรม MathLab Version 7.2 เพื่อใช้โปรแกรมเขียนเฉพาะด้านกราฟิก

3. โปรแกรม MathLab Version 7.2 ใช้ในการ plot contour จากโปรแกรม Fortran มาเป็นรูปภาพเพื่อนำมาแสดงให้ทราบถึงมุมที่กระทำกับแกน z ที่เอียงไปจากแนวแกนสมมาตรและระยะลำควันเอียงในแนวแกน x ความสูงและทิศทางการเคลื่อนที่ของอุณหภูมิตามแนวลำควันเอียงและทิศทางการเคลื่อนที่ของความเร็วลมตามแกน Z

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. โปรแกรม Excel Chart Wizard ใช้สำหรับสร้างกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วลมกับอุณหภูมิลำควันเอียงและกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิลำควันเอียงที่จำลองด้วยโปรแกรม FDS กับการทดลองจริงและจากสูตรการสมการที่คิดค้นมา

การแสดงผลการคำนวณ

ผลการคำนวณที่ได้จาก FDS จะสร้างเป็นข้อมูลผลการคำนวณ (Output Files) ใน Directory เดียวกับที่ข้อมูลคำสั่ง (Input File) อยู่โดยโปรแกรม FDS จะสร้างเป็นข้อมูลสำหรับเปิดได้ด้วยโปรแกรม Excel File และสามารถดูภาพเคลื่อนไหวของแบบจำลองการเกิดเพลิงไหม้ได้จากโปรแกรม Smokeview โดยเปิดจากข้อมูลผลการคำนวณชนิด Smokeview Document ที่มีชื่อเดียวกับข้อมูลคำสั่งเช่น IP_I_V059_Q7_5_C.smv เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผลกระทบของขนาดกริด (Grid Refinement Study) ที่ใช้ในการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

จากข้อมูลคำสั่ง (Input Files) ที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรม FDS ที่มีจำนวนกริด (Grid Number) ที่แตกต่างกันไปในการจำลองลำควันเอียงที่มี Burner ขนาด $0.2 \times 0.2\ m^2$ ที่สภาวะ Steady State ซึ่งจะได้ผลของเวลาที่แตกต่างกันไปดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลกระทบของจำนวนกริดที่ใช้เวลาโปรแกรม FDS ในการ Run Input Files

V - FDS (m/s)	HRRPUA (kW/m^2)	Burner Area (m^2)	Q (kW)	Grid	Grid size (m)	Lx (m)	Ly (m)	Lz (m)	npx	npy	npz	เวลาเพลิงไหม้ (วินาที)	CPU Time (ชั่วโมง)
0.59	187.5	0.04	7.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	100.03	1.46
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	85.43	23.24
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	20.01	94.27
	375	0.04	15	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	99.65	2.18
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	100.01	41.85
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	94.86	20.01
	562.5	0.04	22.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	100.01	2.69
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	85.37	58.01
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	57.36	233.59
	750	0.04	30	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	100.01	3.01
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	100.01	60.82
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	67.79	324.09
0.89	187.5	0.04	7.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	100.03	2.44
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	30.01	21.68
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	20.01	75.69
	375	0.04	15	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	80.04	2.58
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	30.01	21.88
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	50.01	203.84
	562.5	0.04	22.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	82.29	3.57
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	20.01	18.96
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	39.57	192.02
	750	0.04	30	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	85.02	4.10
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	20.01	20.89
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	19.39	110.40
1.15	187.5	0.04	7.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	80.02	2.90
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	50.02	29.94
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	50.08	133.08
	375	0.04	15	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	100.02	1.80
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	89.46	60.93
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	60.62	222.73
	562.5	0.04	22.5	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	80.02	4.11
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	100.01	42.80
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	57.11	240.74
	750	0.04	30	Coarse	0.05	3	2	3	60	40	60	100.03	2.85
				Moderate	0.025	3	2	3	120	80	120	95.98	84.87
				Fine	0.0125	2.5	1	2	200	80	160	39.07	204.39

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

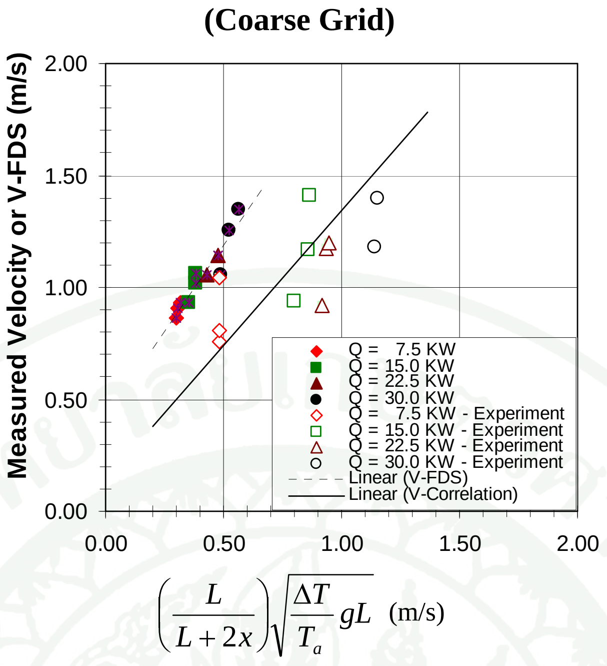
การใช้แบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยในการวิจัยนี้ พบข้อจำกัดและอุปสรรคบางประการมีดังต่อไปนี้

1. ในการจำลองลำควันเอียงด้วยโปรแกรม FDS ได้กำหนดการทดลองสั่งคำนวณข้อมูลคำสั่ง (Run Input File) และพิจารณาผลที่ได้จากการคำนวณ โดยพบว่ามีความเหมาะสมอยู่บ้างในการให้ผลคำนวณที่อยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) และถ้าต้องการพิจารณาหาผลกระทบขนาดของกริดจากการจำลองลำควันเอียงที่ใช้จำนวนกริดที่มีขนาดเล็กหรือละเอียดจะทำให้การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ CPU Time ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 ซึ่งใช้ระยะเวลาที่นานมากหรือไม่สามารถที่จะประมวลผลได้เลยถ้าหากประสิทธิภาพของ Computer ไม่ดีพอหรือหน่วยความจำ (Ram) ไม่เพียงพอ

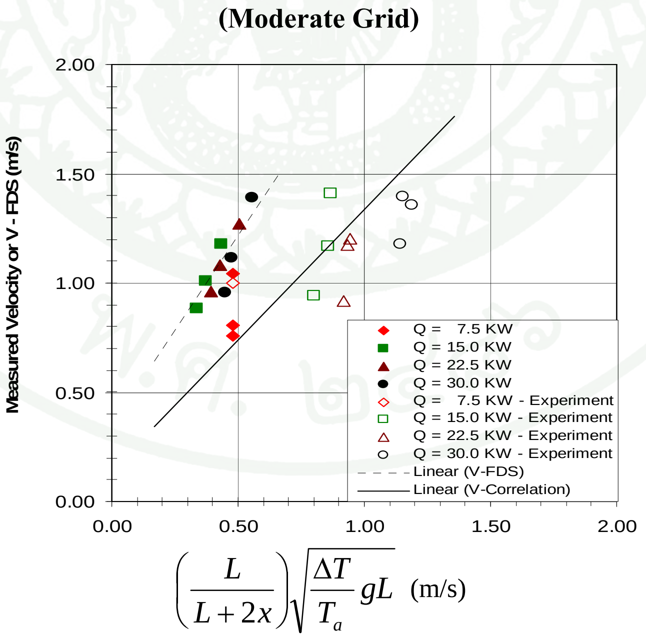
2. พบว่ายังมีปัญหาทางด้านกระแสไฟฟ้าดับบ่อยครั้งซึ่งทำให้ Computer ดับระยะเวลาที่นานซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เสียเวลาในการ Run โปรแกรม FDS อยู่บ้างถึงแม้ว่ามีระบบ UPS ในการสำรองในการจ่ายกระแสไฟให้กับ Computer ก็ตาม

ภาพที่ 6-14 โดยการสร้างแบบจำลองลำควันเอียงโดยโปรแกรม FDS Version 5.0 ซึ่งนำผลลัพธ์ข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟหาความสัมพันธ์ (Correlation) ของลำควันเอียงที่สภาวะคงที่ (Steady State) ที่ ความเร็วลม V=0.59 m/s, V=0.89 m/s และ V=1.15 m/s พัดผ่าน Burner ขนาดพื้นที่ 0.04 m^2 Q=30 kW ซึ่งมีโดเมนของการคำนวณ (Computational Domain) ขนาดจำนวนกริด IJK 60x40x60 (Coarse Grid), $120\times 80\times 120$ (Moderate Grid), $200\times 80\times 160$ (Fine Grid) โดยพบว่ารูปภาพที่ 8, 11, 14 ซึ่งมีโดเมนของการคำนวณกริดที่มีขนาดเล็กและละเอียด (Fine Grid) มีความแม่นยำมากขึ้นทำให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณจากสมการที่คิดค้นโดย Oka *et al.* (2008) ดังได้สังเกตุจากกราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิซึ่งเกาะกลุ่มกันตามแนวเส้นลำควันเอียง (V-FDS) ซึ่งขนานกับเส้นสมการ (V-Correlation) ในขณะผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองยังมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างและกระจัดกระจายอยู่บ้างดังภาพที่แสดงไว้ด้านล่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



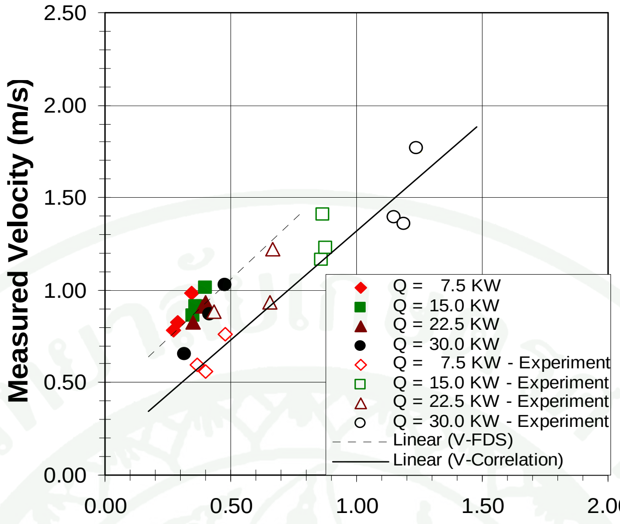
ภาพที่ 6 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $60\times40\times60$, V=0.59 m/s



ภาพที่ 7 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $120\times80\times120$, V=0.59 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

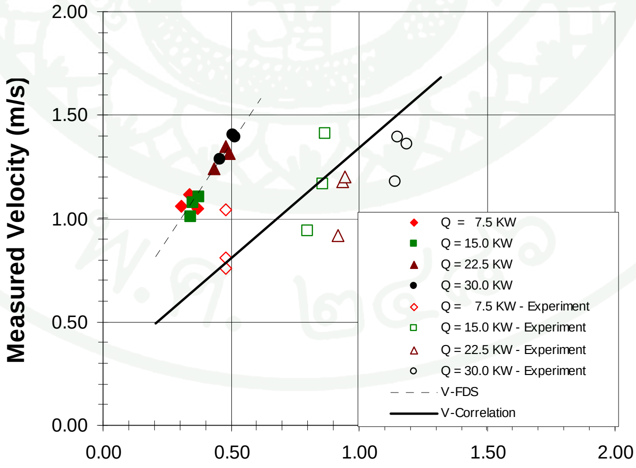
(Fine Grid)



$$\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL} \ \ \text{(m/s)}$$

ภาพที่ 8 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $200 \times 80 \times 160$, V=0.59 m/s

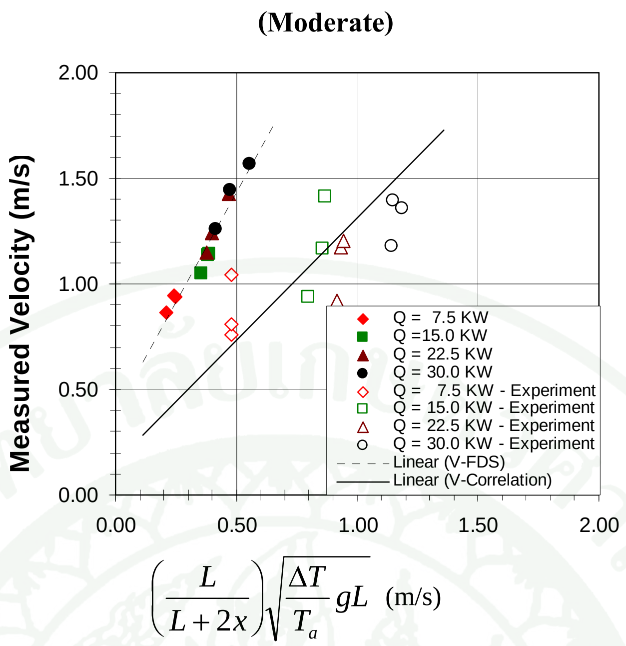
(Coarse Grid)



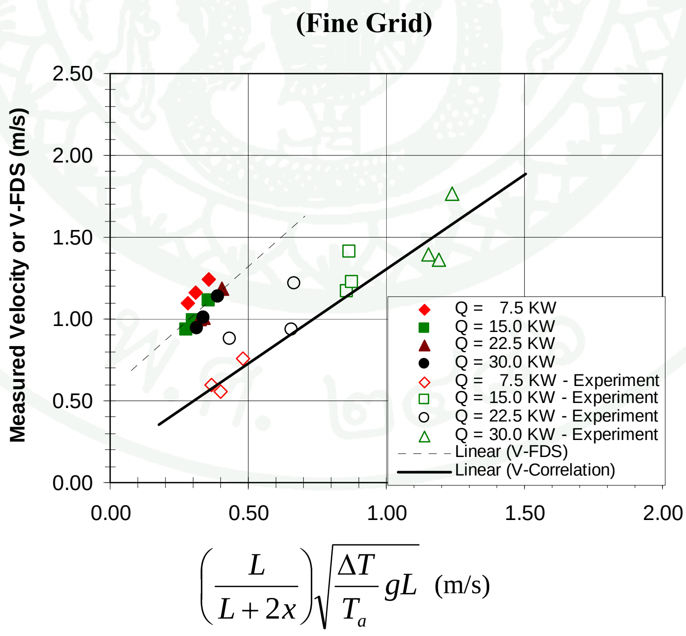
$$\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL} \ \ \text{(m/s)}$$

ภาพที่ 9 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $60 \times 40 \times 60$, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



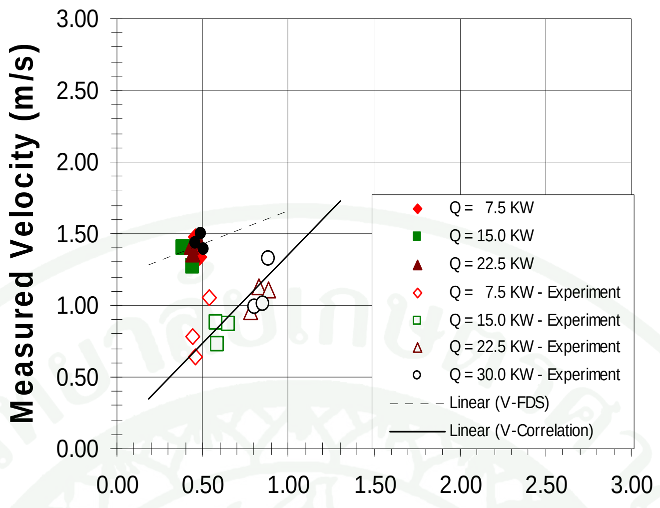
ภาพที่ 10 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $120 \times 80 \times 120$, V=0.89 m/s



ภาพที่ 11 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $200 \times 80 \times 160$, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

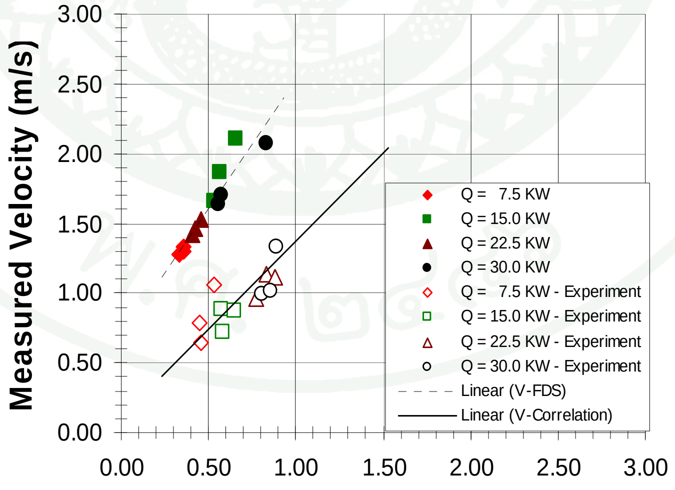
(Coarse Grid)



$$\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL} \quad \text{(m/s)}$$

ภาพที่ 12 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $60 \times 40 \times 60$, V=1.15 m/s

(Moderate Grid)

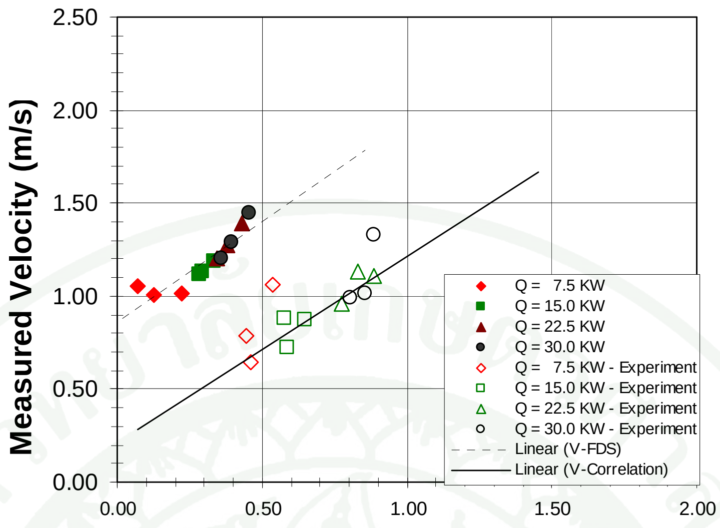


$$\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL} \quad \text{(m/s)}$$

ภาพที่ 13 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $120 \times 80 \times 120$, V=1.15 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Fine Grid)



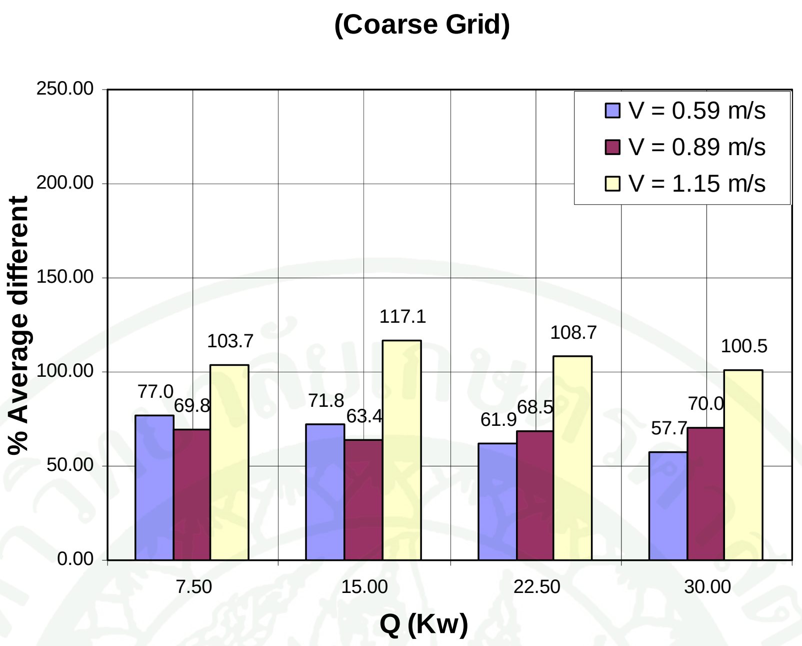
$$\left(\frac{L}{L+2x}\right)\sqrt{\frac{\Delta T}{T_a}gL} \quad \text{(m/s)}$$

ภาพที่ 14 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ (Correlation) ของความเร็วตามแกน X และ Z ในสภาวะ Steady State โดยมีโดเมนจำนวนกริด $200 \times 80 \times 160$, V=1.15 m/s

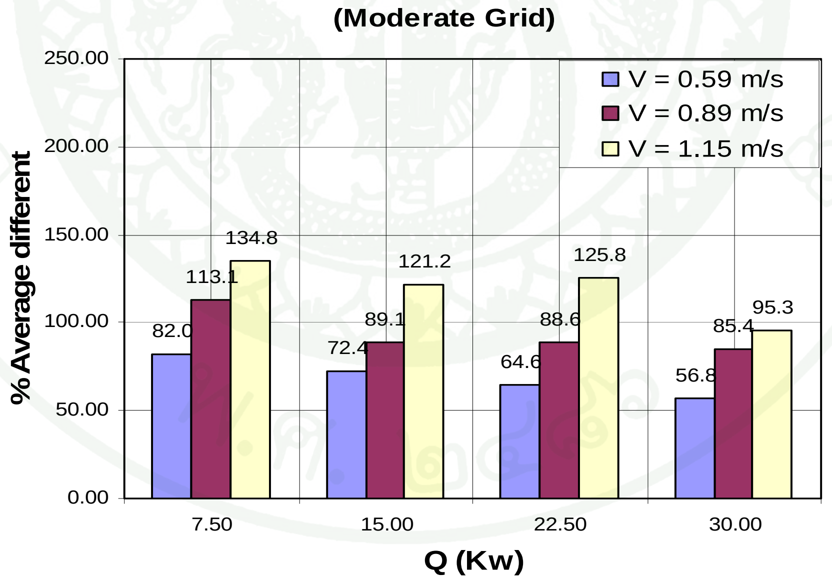
ภาพที่15-17 แสดงกราฟแท่งโดยกำหนดโดเมนที่มีจำนวนกริดแตกต่างกันคือ IJK $60 \times 40 \times 60$ (Coarse Grid), $120 \times 80 \times 120$ (Moderate Grid), $200 \times 80 \times 160$ (Fine Grid) มีความเร็วแปรผันตามที่กำหนดใน Input Files เพื่อเปรียบเทียบหาผลที่แตกต่างตามความเร็วลมที่มากระทำต่อกองเพลิงและจากภาพทั้งหมดจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะมากขึ้นเรื่อยๆ ก็ต่อเมื่อมีความเร็วลมที่มากระทำเพิ่มสูงขึ้นและถ้า Heat Release Rate เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยลงดังนั้นผลที่ได้จากการคำนวณด้วย FDS ที่มีโดเมนจำนวนกริดที่ละเอียด (Fine Grid) จะมีความแตกต่างน้อยกว่าการใช้จำนวนกริดแบบหยาบ (Coarse Grid) และแบบปานกลาง (Moderate Grid) ในทางกลับกันถ้ามีกระแสลมที่พัดผ่านน้อยค่าความแตกต่างก็จะน้อยตาม เนื่องจากอุณหภูมิร้อนของลำควันจะมีแรงต้านและลอยตัวขึ้นตามแนวแกนสมมาตรซึ่งทำให้ผลการคำนวณจะมีความแม่นยำมากกว่าที่มีความลมสูงๆ

จากผลการทดลองด้วยโปรแกรม FDS พบการใช้ข้อมูลคำสั่งที่มีจำนวนกริดที่ละเอียดจะมีความแม่นยำหรือมีค่าใกล้เคียงกับสูตรสมการที่คิดค้นโดย Y. Oka และคณะ โดยจะแตกต่างจากการทดลองจริงดังแสดงไว้ตามรูปภาพที่ 15 -20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

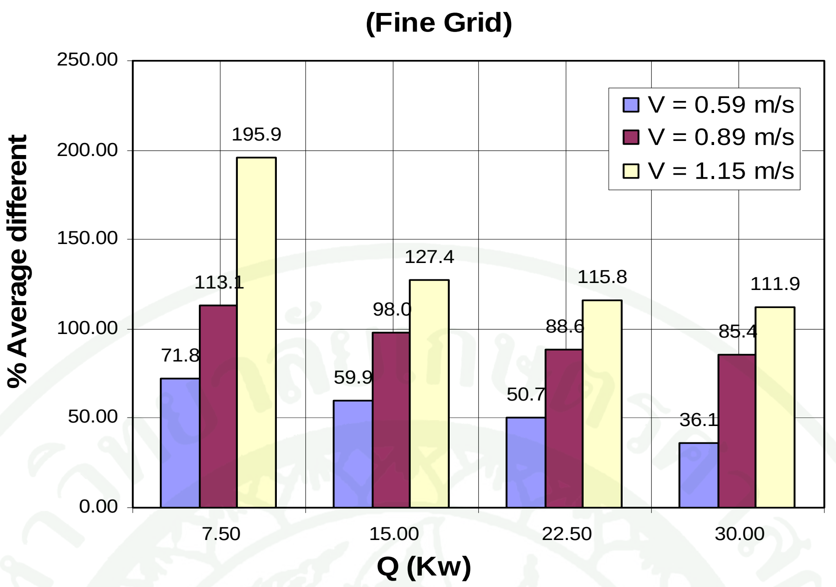


ภาพที่ 15 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิลำควันเอียงโดย Fixed Grid IJK $60\times40\times60$

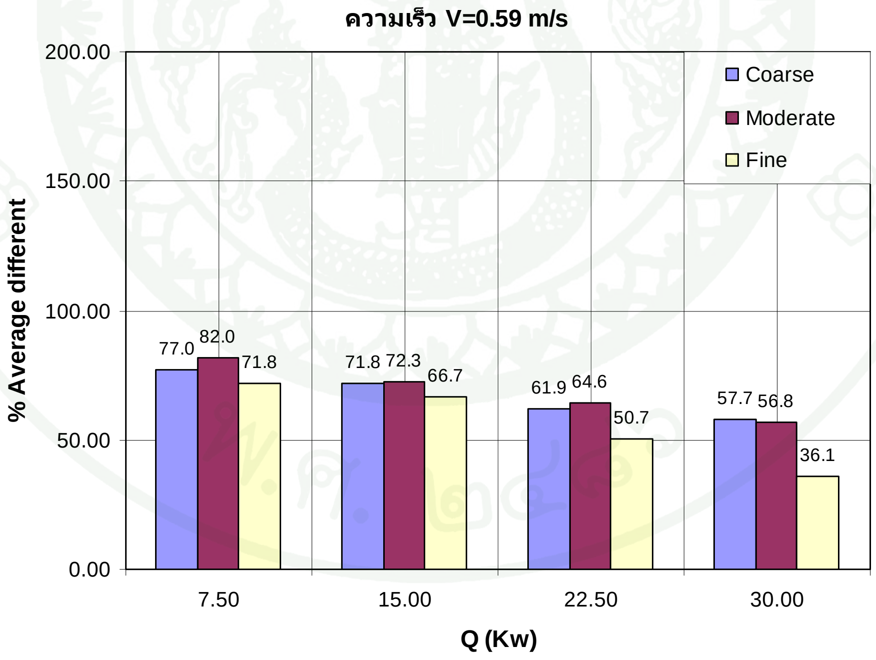


ภาพที่ 16 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิลำควันเอียงโดย Fixed Grid IJK $120\times80\times120$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

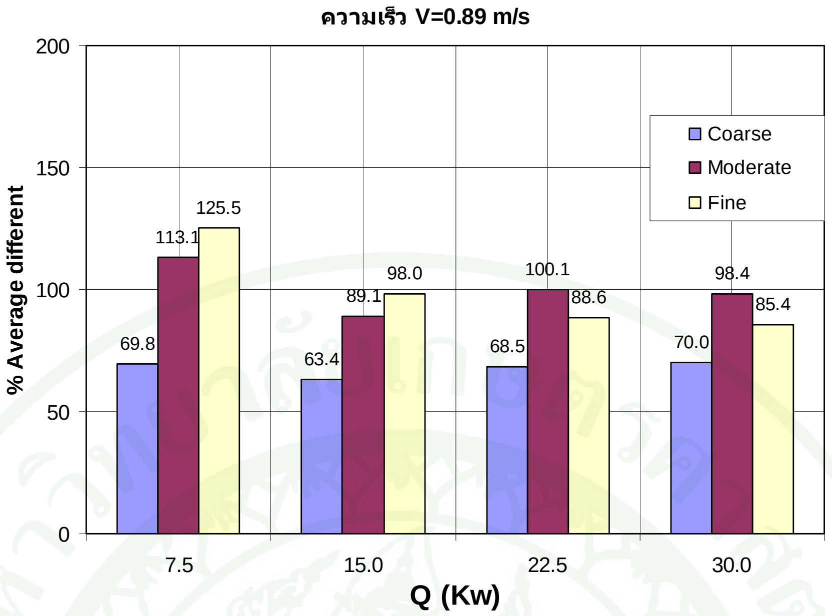


ภาพที่ 17 กราฟแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิลำควันเอียงโดย Fixed Grid IJK $200 \times 80 \times 160$

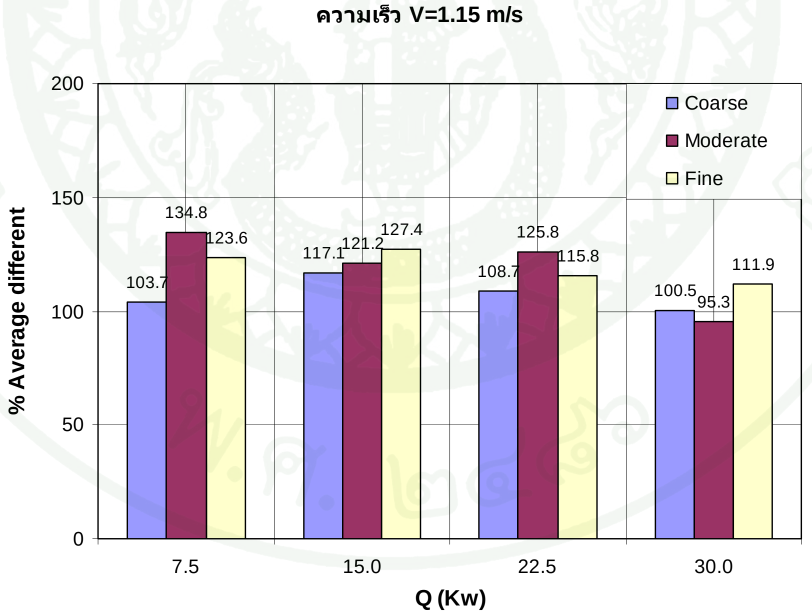


ภาพที่ 18 กราฟแสดงความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยกำหนดความเร็ว V=0.59 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



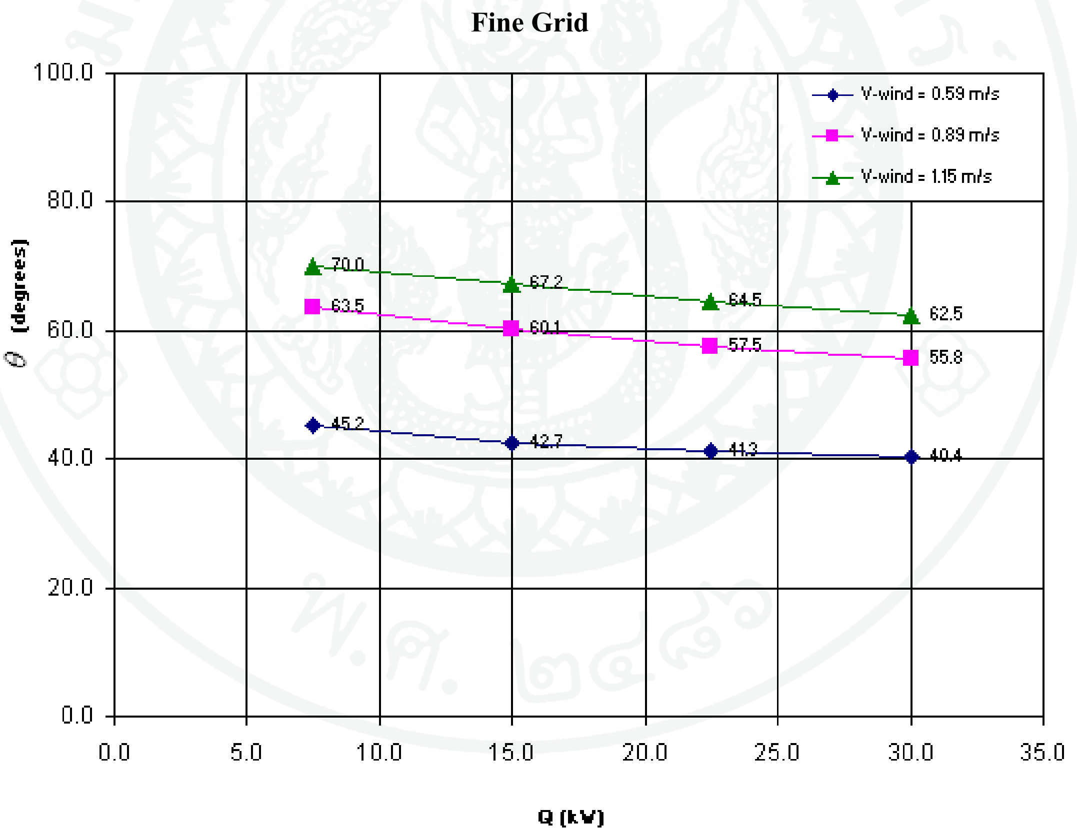
ภาพที่ 19 กราฟแสดง % ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยกำหนดความเร็ว V=0.89 m/s



ภาพที่ 20 กราฟแสดงความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยกำหนดความเร็ว V=1.15 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 18-20 แสดงกราฟแท่งที่กำหนดความเร็วลมคงที่ในสภาวะต่างๆ เช่น V=0.59 m/s, V=0.89 m/s, V=1.15 m/s ที่มีโดเมนจำนวนกริด IJK $60\times40\times60$ (Coarse Grid), $120\times80\times120$ (Moderate Grid), $200\times80\times160$ (Fine Grid), Burner มีขนาด $0.2\times0.2\ m^2$ จากผลการจำลองลำควันเอียงจะพบว่าถ้ากำหนดความเร็วลมคงที่และได้ใช้โดเมนจำนวนกริดที่มีความละเอียดมาก (Fine Grid) เมื่อกองเพลิงมีอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้มีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง (Strong Plume)ในขณะนั้นจึงทำให้ผลหรือค่าของความแตกต่างที่ได้จากการคำนวณด้วย FDS น้อยลงและมีความแม่นยำมากขึ้นและเมื่อมีความเร็วลมพัดผ่านเพิ่มมากขึ้นผลของการคำนวณก็จะมีความแตกต่างมากขึ้นตามไปด้วยและในกรณีที่มีโดเมนจำนวนกริดหยาบ (Coarse Grid) จะทำให้เห็นถึงค่าของความแตกต่างเพิ่มมากขึ้นอาจทำให้ผลที่ได้มีความแม่นยำในการคำนวณน้อยกว่าใช้โดเมนที่จำนวนกริดแบบละเอียด

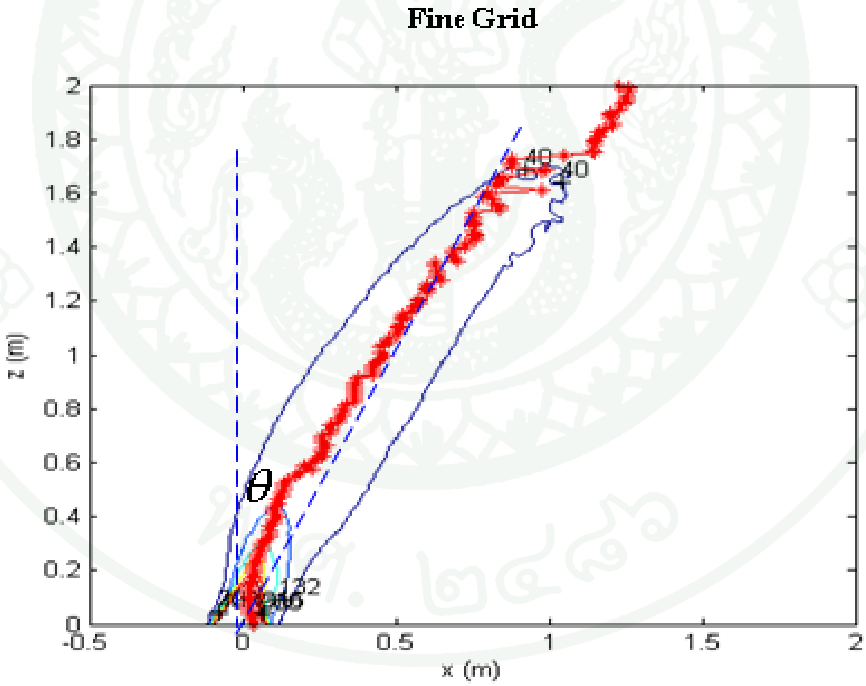


ภาพที่ 21 กราฟแสดงลำควันเอียงทำมุมเอียงเฉลี่ย θ กับแกน z โดยกำหนดความเร็วลมคงที่ V=0.59 m/s, V=0.89 m/s, V=1.15 m/s โดเมนIJK $200\times80\times160$ ที่ Q=7.5 kW, Q=15 kW, Q=22.5 kW, Q=30 kW.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

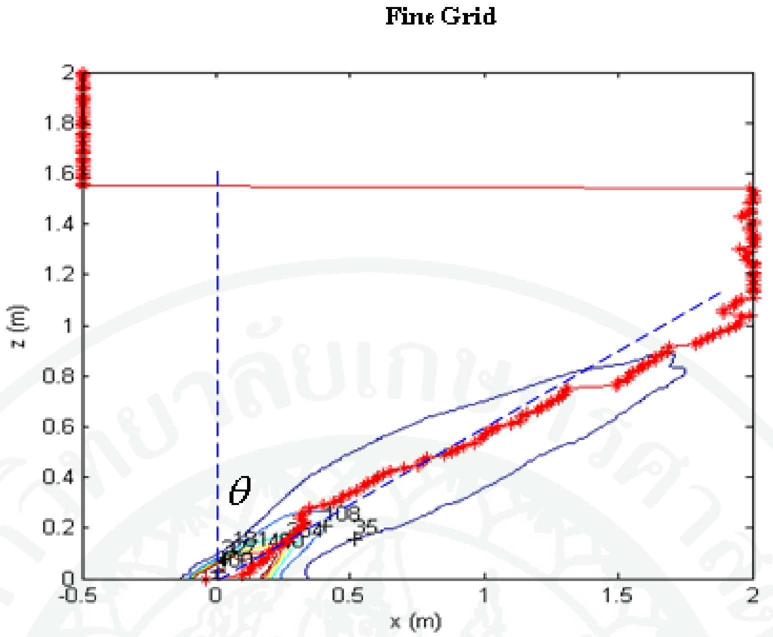
จากภาพที่ 21 แสดงการทำมุมเอียงของลำควันที่มีอุณหภูมิร้อนกับแนวแกนสมมาตรที่มีค่าความเร็วลมที่แตกต่างกันจะเห็นได้ว่าถ้ากองเพลิงมีอุณหภูมิน้อยและมีกระแสความเร็วลมพัดผ่านเพิ่มขึ้นจะทำให้ลำควันที่ลอยตัวสูงขึ้นทำมุมเอียงออกจากแนวแกนสมมาตรมากขึ้นแต่ถ้าอุณหภูมิของลำควันเพิ่มหรือร้อนมากขึ้นก็จะทำให้มุมเอียงของลำควันที่ทำกับแนวแกนสมมาตรมีค่าน้อยลงเนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อนของกองเพลิงลอยตัวสูงขึ้นจะมีแรงต้านกับทิศทางของกระแสลมที่พัดผ่านมาจึงเป็นเหตุให้ลำควันทำมุมเอียงกับแกนสมมาตรน้อยลง

การหามุมเอียงโดยใช้หลักทฤษฎีและสมการของพิธากอรัสในการหาระยะของความสูงในแนวแกนสมมาตรแกน z ดังเช่นสมการ $z = \sqrt{L^2 - x^2}$ และระยะลำควันที่เอียงออกจากแกนสมมาตรตามแนวแกน x ดังสมการ $x = \sqrt{L^2 - z^2}$ จุดมุ่งหมายเพื่อที่จะนำไปสู่การหามุม θ ที่ลำควันเอียงออกจากแกนสมมาตรโดยใช้สูตรสมการ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{z}\right)$

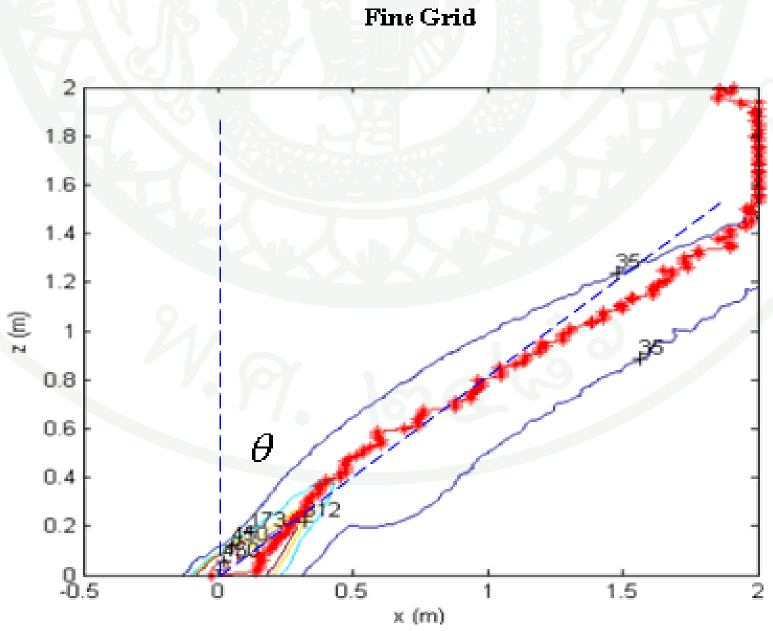


ภาพที่ 22 ภาพการจำลองลำควันเอียงที่สภาวะ Steady State, V=0.59 m/sพัดผ่าน Burner ขนาด 0.04 m^2 โดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$ ซึ่งทำให้ลำควันเอียงทำมุมเฉลี่ย $\theta = 42.4$ degrees กับแกน Z

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 ภาพการจำลองลำควันเอียงที่สภาวะ Steady State, V=0.89 m/s พัดผ่าน Burner ขนาด 0.04 m^2 โดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$ ซึ่งทำให้ลำควันเอียงทำมุมเฉลี่ย θ = 59.2 degrees กับแกน Z



ภาพที่ 24 ภาพการจำลองลำควันเอียงที่สภาวะ Steady State, V=1.15 m/s พัดผ่าน Burner ขนาด 0.04 m^2 โดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$ ซึ่งทำให้ลำควันเอียงทำมุมเฉลี่ย θ = 66.1 degrees กับแกน Z

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 21-24 แสดงการทำมุมเอียง θ (degree) กับแกน Z ที่สภาวะ Steady State ในขณะที่มีความเร็วลมพัดมากระทำกับกองเพลิงขนาด $0.2\times0.2\ \mathrm{m}^2$ ซึ่งมีโดเมน $Lx\times Ly\times Lz$ = $2.5\times1\times2$ m และมีจำนวนกริด (Grid Computation) IJK 200x80x160 (Fine Grid) ทำให้มุมของลำควันเอียง θ (degree) กับแกน Z ถ้ามีความเร็วเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ลำควันทำมุมเอียงกับแกน Z มากตามขึ้นด้วย

การศึกษาผลกระทบของการจำลองลำควันเอียงด้วยแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยซึ่งใช้โปรแกรม FDS ในการจำลองซึ่งจะมีความปลอดภัยสูงและลดระยะเวลาในการจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมืออีกทั้งยังสามารถที่จะกำหนดสถานการณ์ให้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงได้ โดยการศึกษาวิจัยนี้ได้ผลที่สอดคล้องกับสูตรสมการที่ Y. Oka และคณะ ได้คิดค้นมาก่อนแล้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองพฤติกรรมการไหลของลำควันเอียงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข LES (Large Eddy Simulation) โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulator (FDS) การจำลองได้ดำเนินการสำหรับกองเพลิงขนาด $0.2 \times 0.2\ m^2$ ที่อัตราการปล่อยพลังงานความร้อน 7.5 15 22.5 และ 30 kW โดยมีลมพัดในแนวระดับที่ความเร็ว 0.59, 0.89 และ 1.15 m/s ตามลำดับ

การศึกษาผลกระทบของขนาดกริดต่อผลการคำนวณได้ดำเนินการโดยเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยแบบจำลอง FDS ที่ขนาดกริด 0.05 0.025 และ 0.0125 เมตรกับผลการทดลองของ Oka และ คณะ (2008) การศึกษาแสดงให้เห็นว่าสำหรับกริดขนาด 0.0125 เมตรซึ่งเป็นกริดที่มีความละเอียดสูงสุด ในงานวิจัยนี้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการจำลองกับผลการทดลองมีค่าไม่เกิน 127.4 % ในส่วนของผลกระทบของความเร็วลมและขนาดของกองเพลิงต่อมุมเอียงของลำควัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อกำหนดให้ขนาดของกองเพลิงคงที่มุมเอียงของลำควันจะแปรผันตามความเร็วลมโดยมุมเอียงเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่ม ในทางตรงกันข้ามเมื่อกำหนดให้ความเร็วลมคงที่มุมเอียงของลำควันจะแปรผกผันกับขนาดของกองเพลิง มุมเอียงของลำควันมีค่าลดลงเมื่อกองเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้นและการจำลองด้วยโปรแกรม FDS จะมีค่าแม่นยำมากขึ้นได้นั้นจะต้องมี Buoyancy Force ของอุณหภูมิร้อนลอยตัวมากขึ้นและมีแรงต้านกระแสลมที่พัดเข้ากองเพลิงซึ่งจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการจำลองลดน้อยลง จากการจำลองและศึกษาลำควันเอียงด้วยแบบพลศาสตร์จำลองอัคคีภัยด้วยโปรแกรม FDS และได้เปรียบเทียบกับสูตรสมการของ Y. Oka และคณะ

$$V_{cal} = \left[\left(\gamma \frac{L}{L+2x} \sqrt{\frac{\Delta T}{T_a} gL} \right)^2 + (\varepsilon V_{wind})^2 \right]^{1/2}$$

ที่ได้ทำการทดลองและคิดค้นพัฒนาสูตรสมการเหล่านี้ขึ้นมาซึ่งยังมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างและคาดเคลื่อนสาเหตุจากการทดลองโดยใช้มือจับ Probe หาตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิความร้อนของลำควันเอียงซึ่งการวัดด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างและมีความคาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับการจำลองและคำนวณด้วยโปรแกรม FDS ดังภาพที่ 8, 11 และภาพที่ 14

ข้อเสนอแนะ

1. การกำหนดเวลาสิ้นสุดการทำงานในการประมวลผลของข้อมูลคำสั่ง (Input File) ต้องไม่นานจนเกินไปเพราะอาจจะทำให้เสียเวลาในการประมวลผล ดังนั้นควรมีการคำนวณโดยใช้สูตรสมการ t (s) = S (m) / V (m/s) ด้วยมือล่วงหน้าก่อนเพราะจะได้ทราบถึงเวลาที่สภาวะอุณหภูมิคงที่ Steady State และเราสามารถที่จะกำหนดเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดได้ใน Input File

2. ควรเลือกใช้ Computer ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีหน่วยความจำสำรอง (Ram) มากอย่างน้อยประมาณ 3 Gb เพื่อการคำนวณที่มีประสิทธิภาพและประหยัดเวลาในการ Run Input File ด้วยโปรแกรม FDS

3. ควรมีระบบ UPS เพื่อสำรองจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ Computer เพื่อป้องกระแสไฟฟ้าตกหรือดับในขณะที่ Run Input File ด้วยโปรแกรม FDS

จากการศึกษาการจำลองลำควันเอียงด้วยแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยด้วยโปรแกรม FDS ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถนำข้อมูลคำสั่ง (Input Files) ไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulators (FDS) ในการจำลองพฤติกรรมเพลิงไหม้ของลำควันเอียงในสภาวะที่แตกต่างได้

สามารถที่จะนำผลกระทบของขนาดจำนวนกริดต่อผลการจำลองลำควันเอียงด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Fire Dynamics Simulators (FDS) ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดเวลาในการประมวลผลของการ Run Input Files

สามารถที่จะนำผลกระทบของอัตราการปล่อยพลังงานความร้อนและความเร็วลมต่อมุมเอียงของลำควันเอียงไปใช้เพื่อที่จะได้ทราบถึงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงและทิศทางการไหลของลำควันร้อนที่สภาวะต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Baum, H.R. 2000. **Large Eddy Simulations of Fires – From Concepts to Computations Fire Protection Engineering (Spring 2000).** Available Source: http//www.fpemag.com/archives/fpe.asp., December 20, 2009.

McCaffrey, B. J. 1979. **Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results**. National Bureau of Standards, Washington, DC.

McGrattan, K and G. Fomey. 2005. **Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide**. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburge, MD.

Oka, Y., O. Sugawa, T. Imamura, Y. Takeishi, Fire Safety Journal 43. 2008. 391-400 Correlation of temperature rise and velocity along an inclined fire plume axis in crosswinds.

Quintiere, J.G. and B.S. Grove. 1998. **A unified analysis for fire plumes**, in: Proceedings of the 27th Symposium on Combustion, pp 2757-2766.

Raunaq, H. 2007. Simulation of an experimental compartment fire by CFD. **Building and Environment (**42): 3149-3160.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ภาพจำลองลำควันเอียงด้วยโปรแกรม Smokeview และ Math Lab 7.2

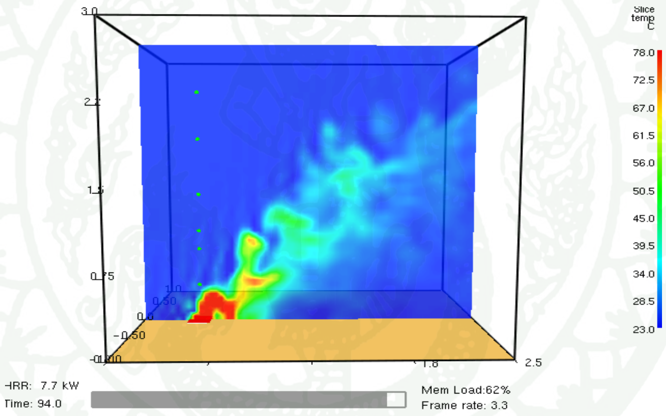
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Input File Data เป็นคำสั่งที่ใช้กับโปรแกรม Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 โดยใช้ Dos Command Prompt เป็นตัวเชื่อมในการ Run โปรแกรมเพื่อจำลองลำควันเอียงซึ่งมีความเร็ว (V) และจำนวน Grid ที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลของการจำลองด้วยโปรแกรม FDS กับผลของการทดลองจริงและสูตรสมการที่ได้ถูกพัฒนาคิดค้นโดย Oka *et al.* (2008)

1. ภาพจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q7_5_C.fds)

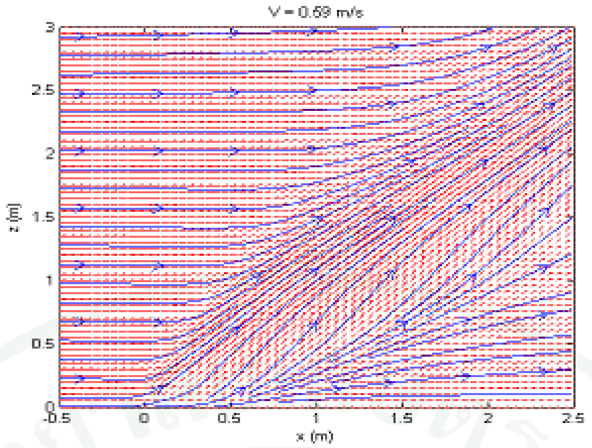
1.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 60×40×60, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก1 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 94.0, V=0.59 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

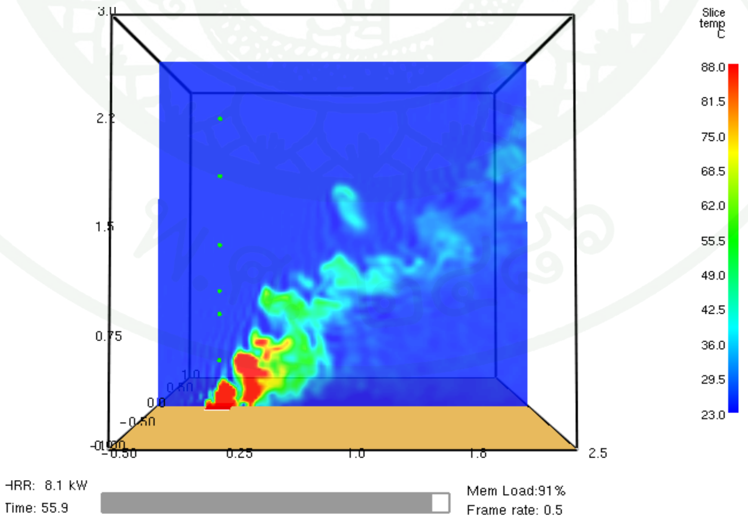


ภาพผนวกที่ ก2 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

2. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q7_5_M.fds)

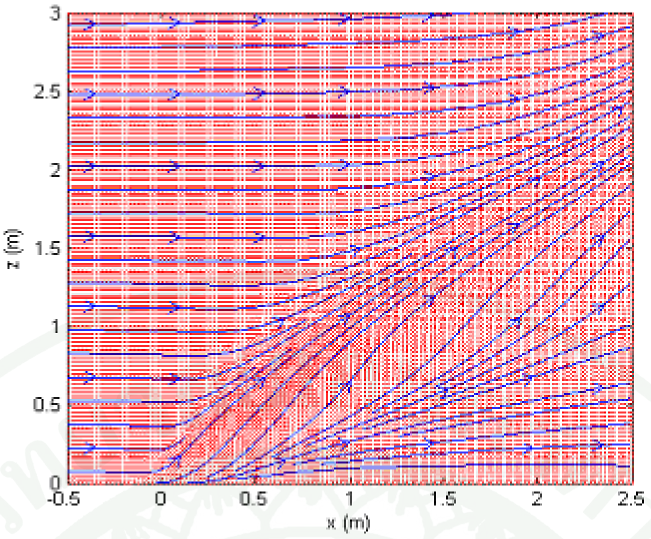
2.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก3 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 55.9 ,V=0.59 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

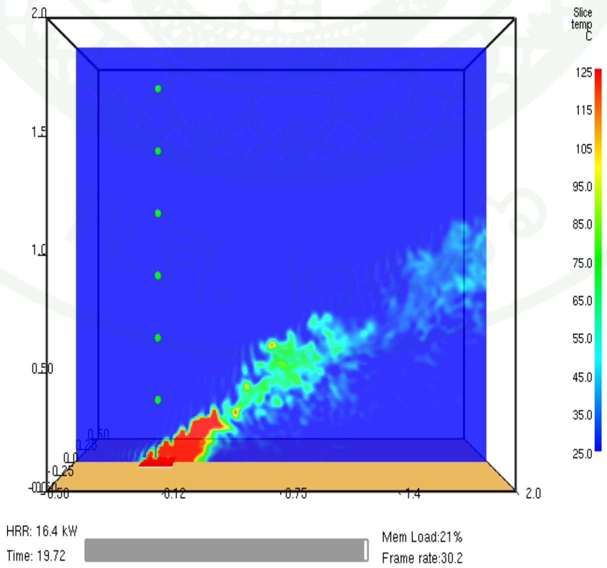


ภาพผนวกที่ ก4 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

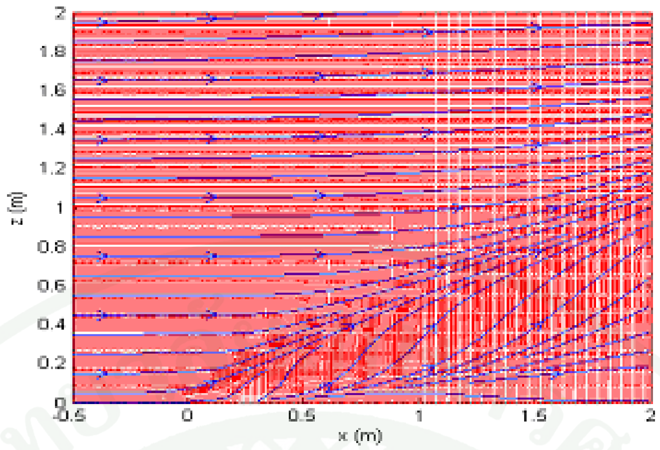
3. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q7_5_F.fds)

3.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก5 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.72 ,V=0.59 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$

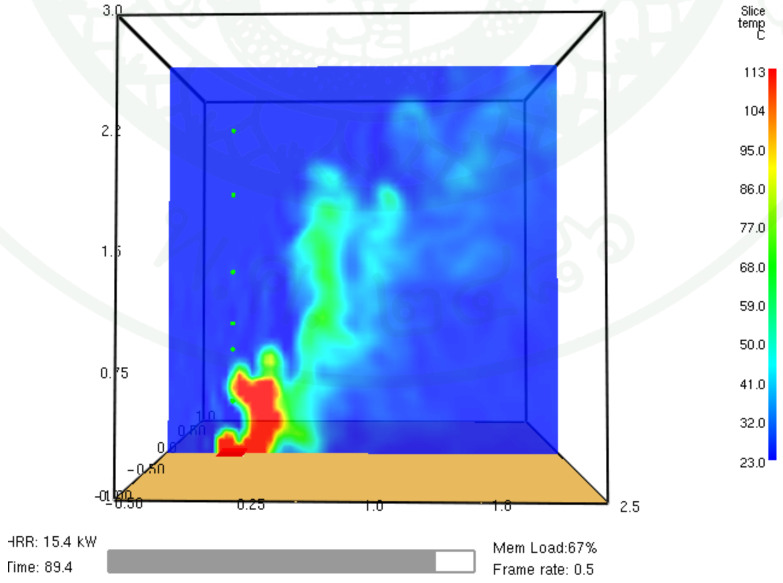


ภาพผนวกที่ ก6 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

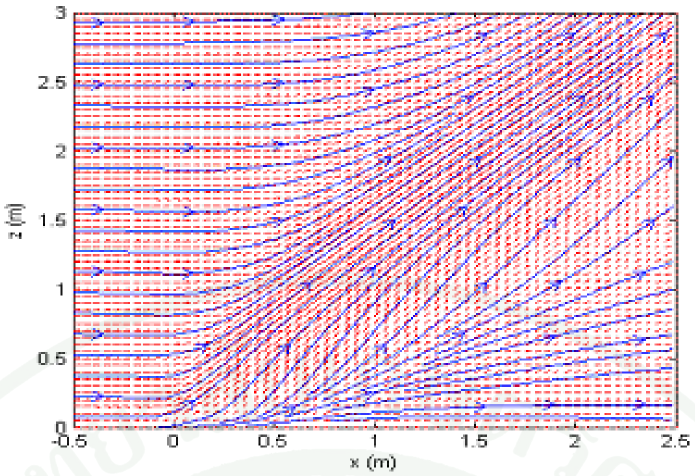
4. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q15_C.fds)

4.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 60×40×60, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก7 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 89.4, V=0.59 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60

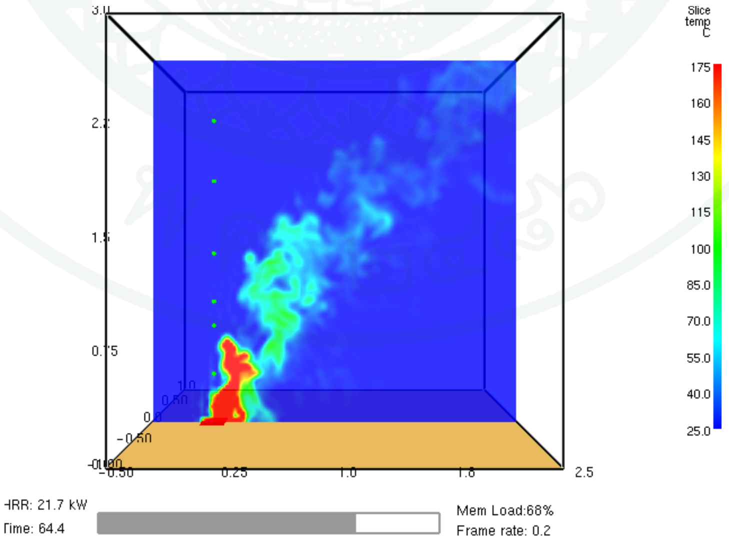


ภาพผนวกที่ ก8 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

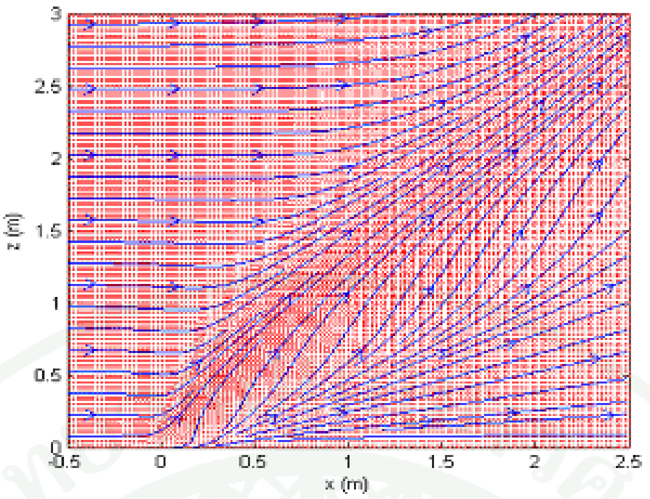
5. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q15_M.fds)

5.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $120\times80\times120$, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก9 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 64.4 ,V=0.59 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $120\times80\times120$

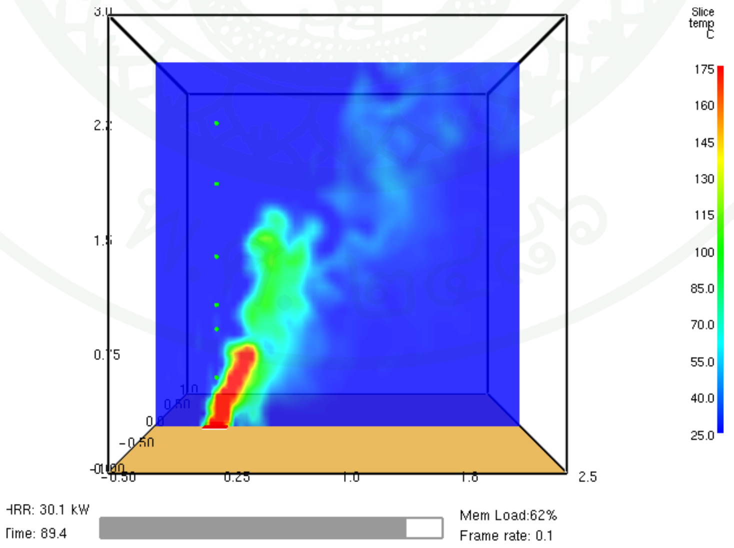


ภาพผนวกที่ ก10 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, 0.59 m/s

6. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q15_F.fds)

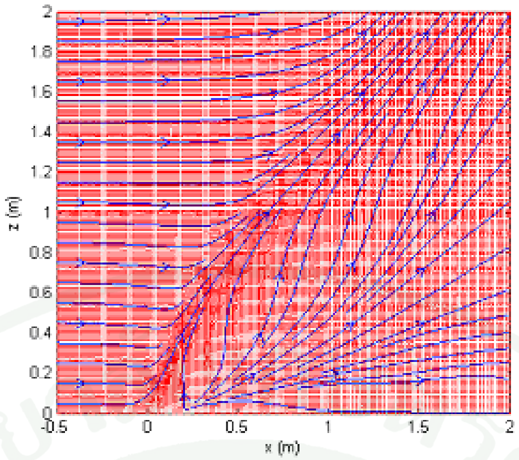
6.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก11 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 89.4 ,V=0.59 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

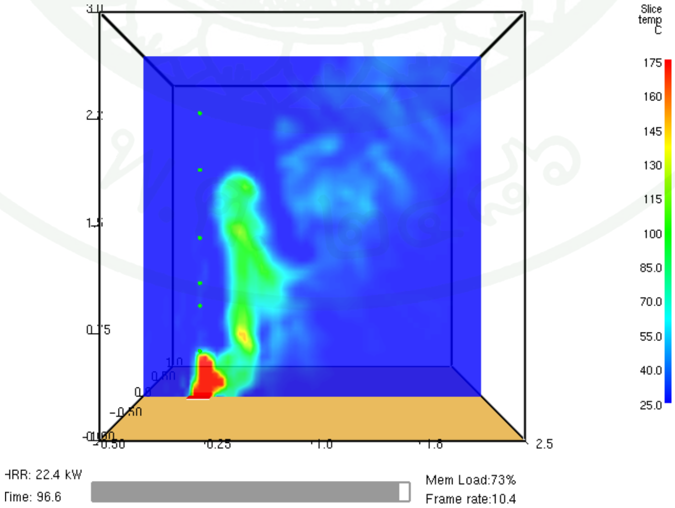


ภาพผนวกที่ ก12 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

7. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q22.5_C.fds)

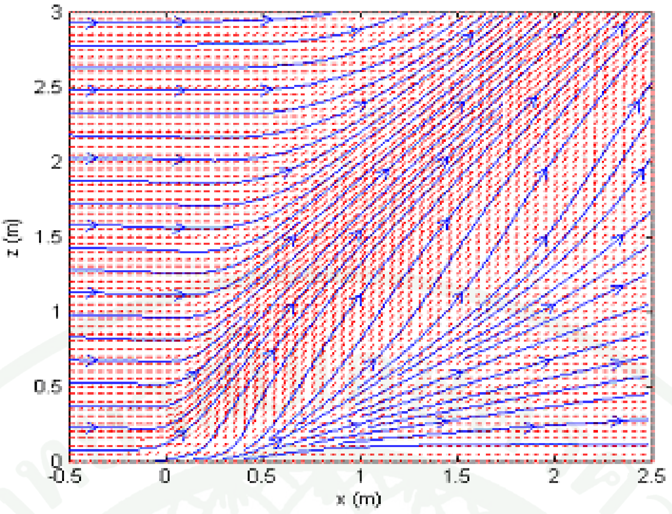
7.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$, Q = 22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก13 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=0.59 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

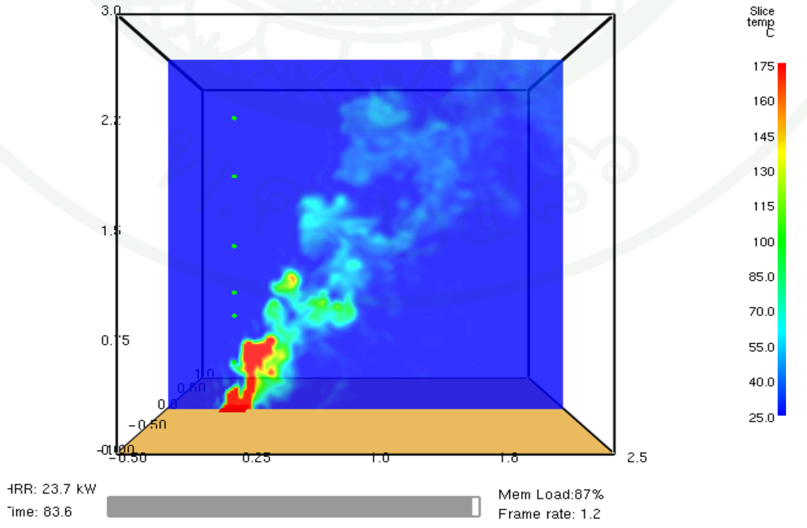


ภาพผนวกที่ ก14 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

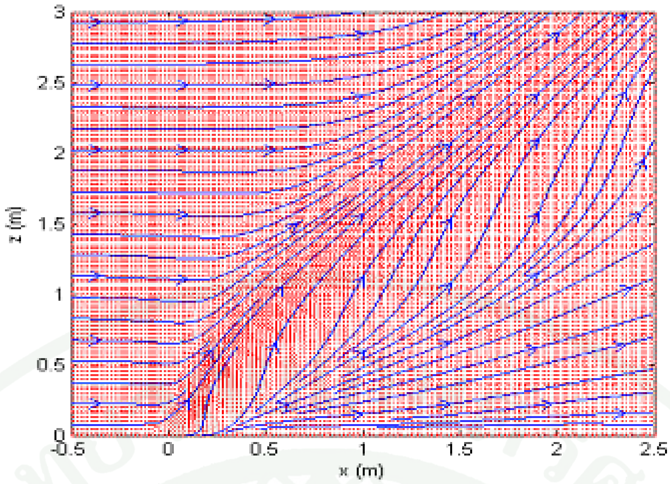
8. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q22.5_M.fds)

8.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$, Q = 22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก15 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 83.6, V=0.59 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$

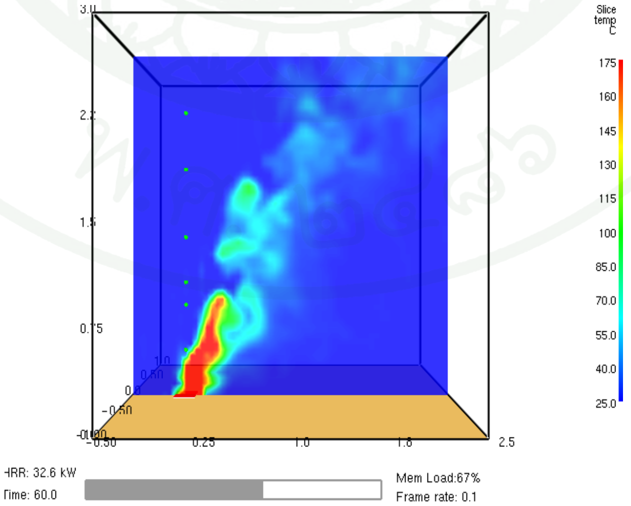


ภาพผนวกที่ ก16 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

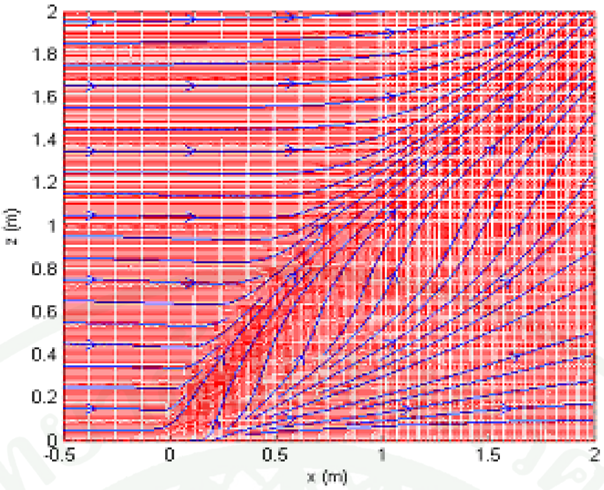
9. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q22.5_F.fds)

9.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2 (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, $Q = 22.5$ kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ $V = 0.59$ m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก17 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 60.0 ,V=0.59 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$

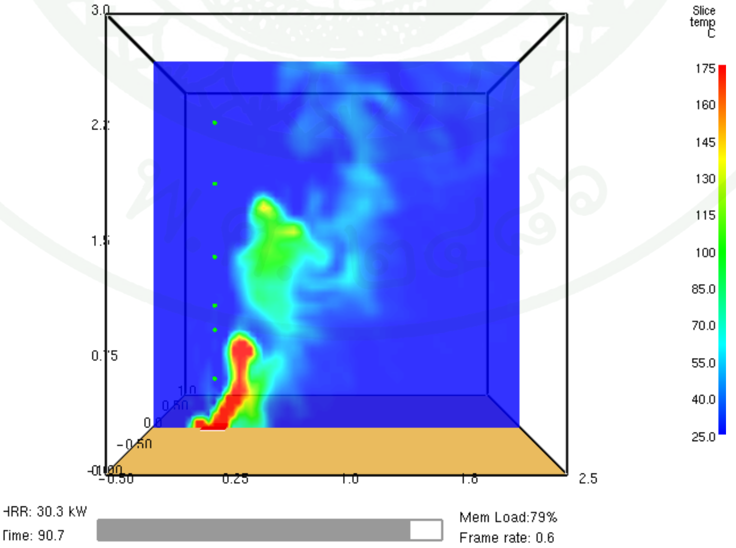


ภาพผนวกที่ ก18 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

10. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q30_C.fds)

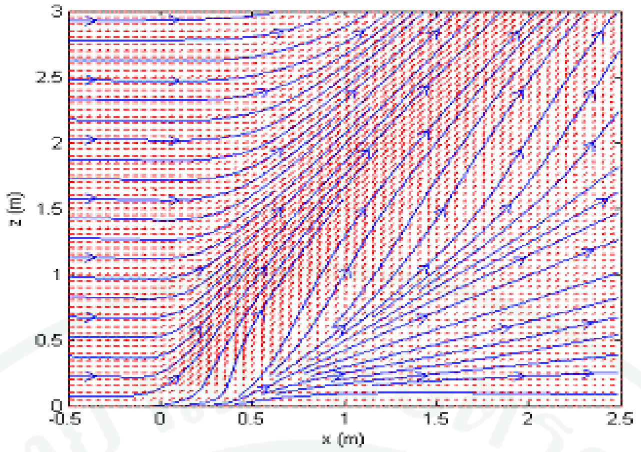
10.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 60×40×60, Q = 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก19 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=0.59 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

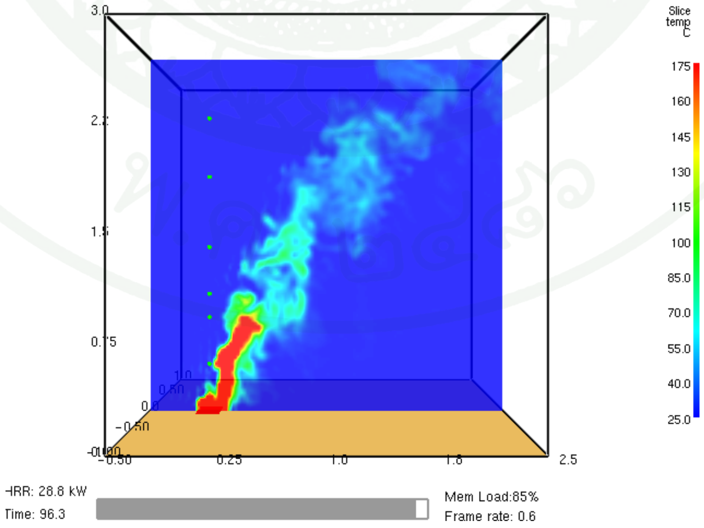


ภาพผนวกที่ ก20 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

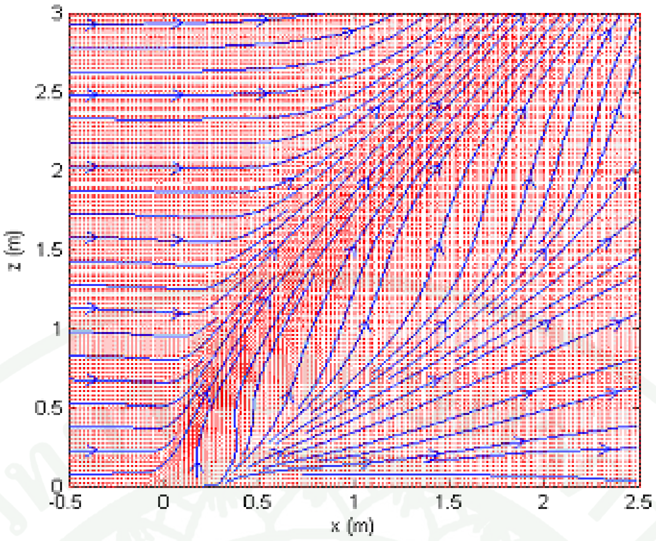
11. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q30_M.fds)

11.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$, Q = 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก21 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 83.6, V=0.59 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$



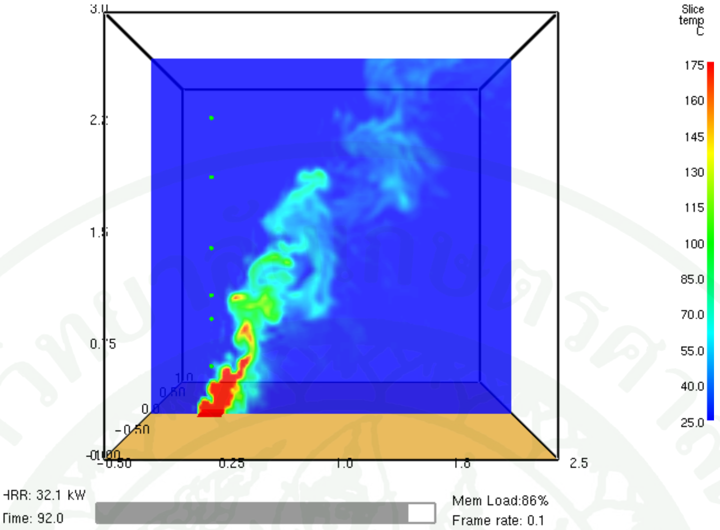
ภาพผนวกที่ ก22 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

12. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V059_Q30_F.fds)

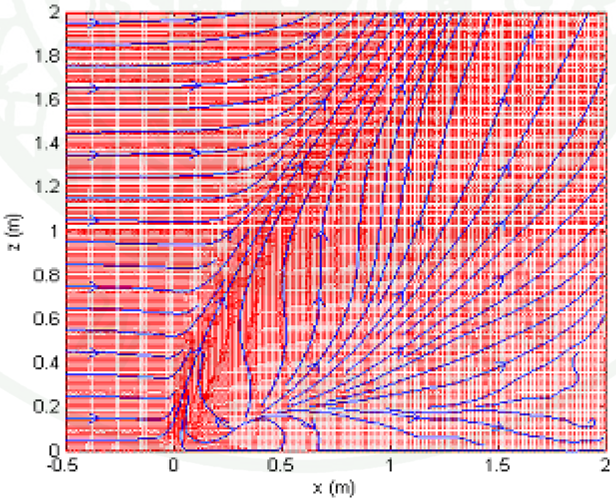
12.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q= 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.59 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก23 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 60.0 ,V=0.59 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160

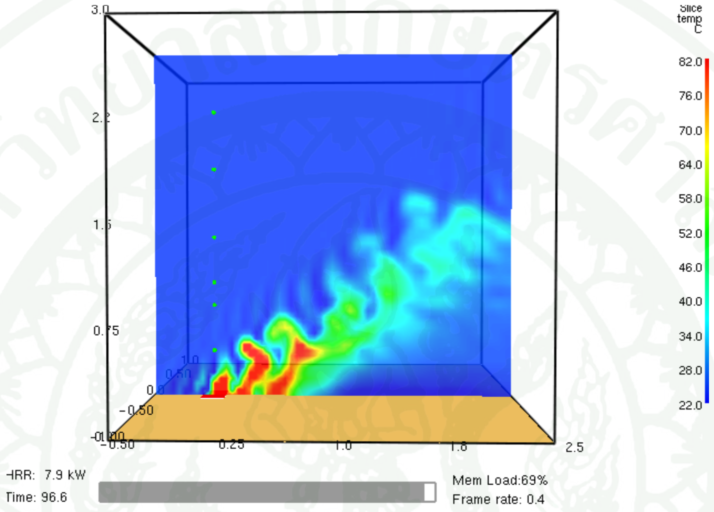


ภาพผนวกที่ ก24 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.59 m/s

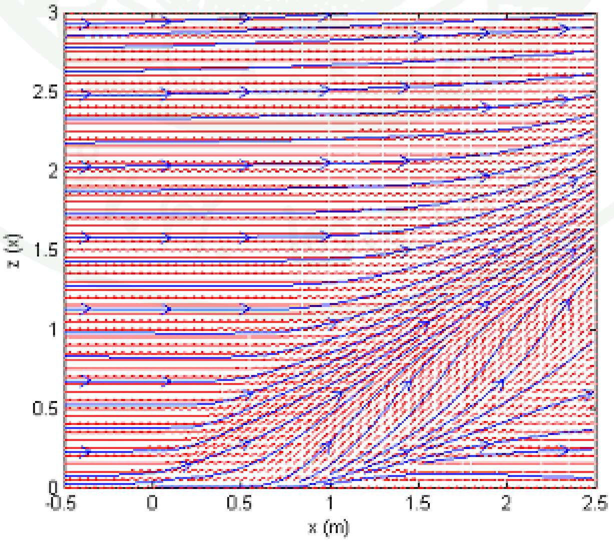
13. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q7_5_C.fds)

13.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $60\times40\times60$, $Q = 7.5$ kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ $V = 0.89$ m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก25 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=0.89 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $60\times40\times60$



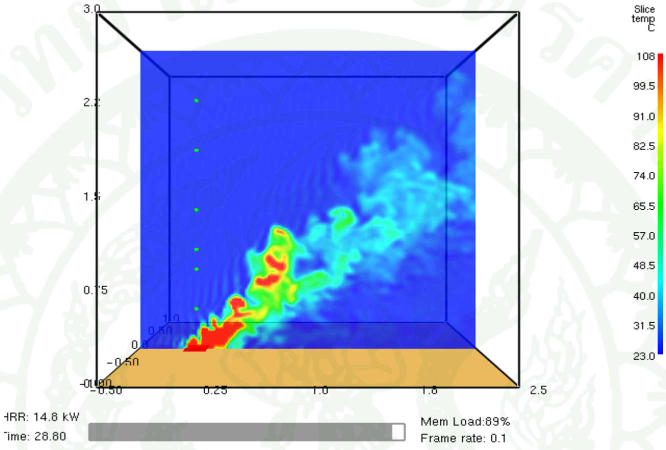
ภาพผนวกที่ ก26 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

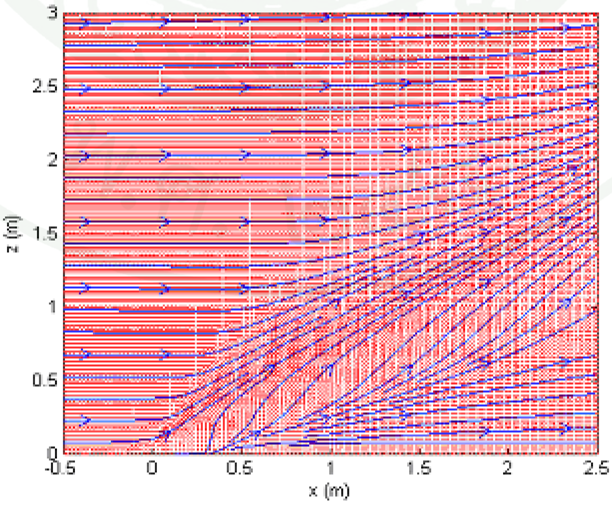
14. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q7_5_M.fds)

14.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก27 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 28.8 ,V=0.89 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $120 \times 80 \times 120$

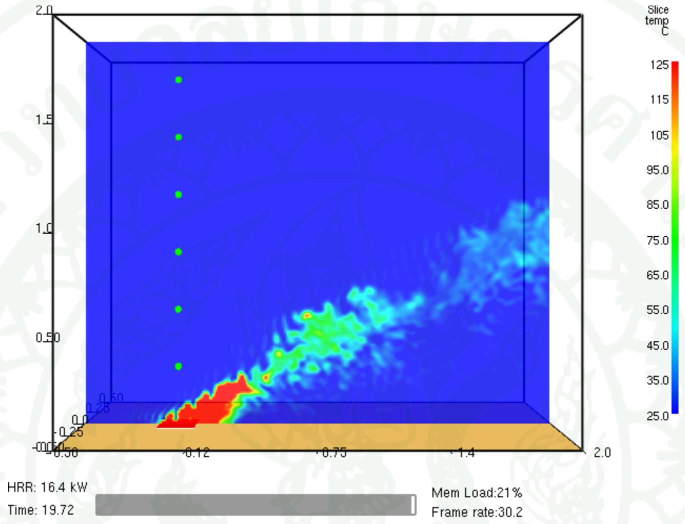


ภาพผนวกที่ ก28 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

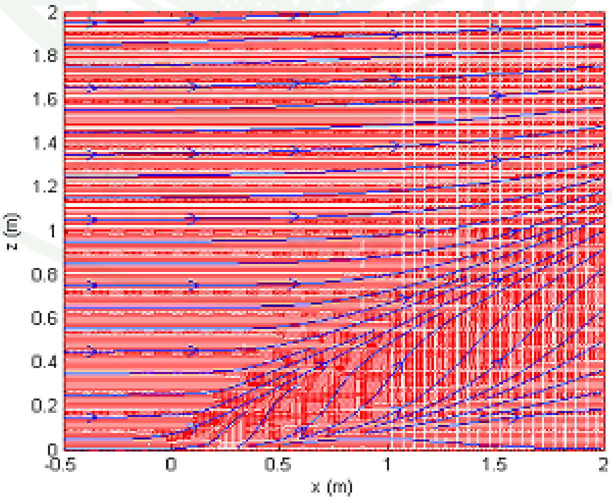
15. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q7_5_F.fds)

15.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก29 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.72 ,V=0.89 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$

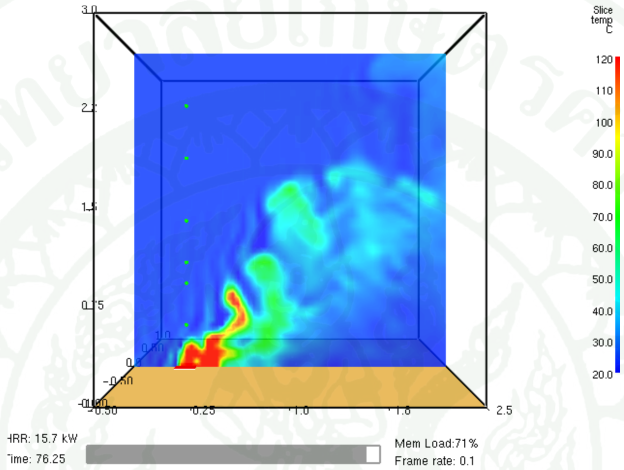


ภาพผนวกที่ ก30 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

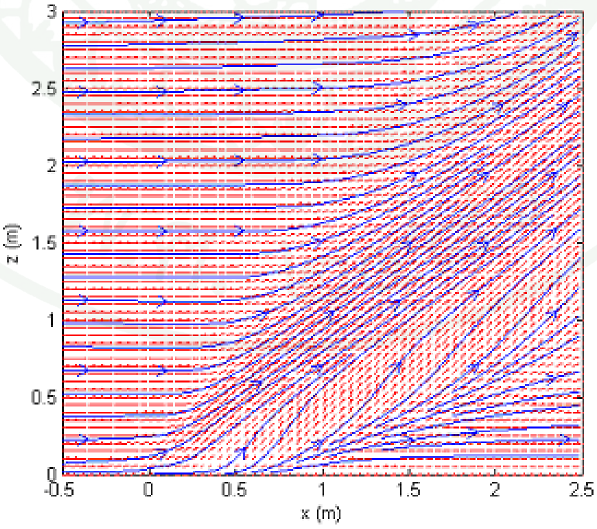
16. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q15_C.fds)

16.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 60×40×60, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก31 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 70.25, V=0.89 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60



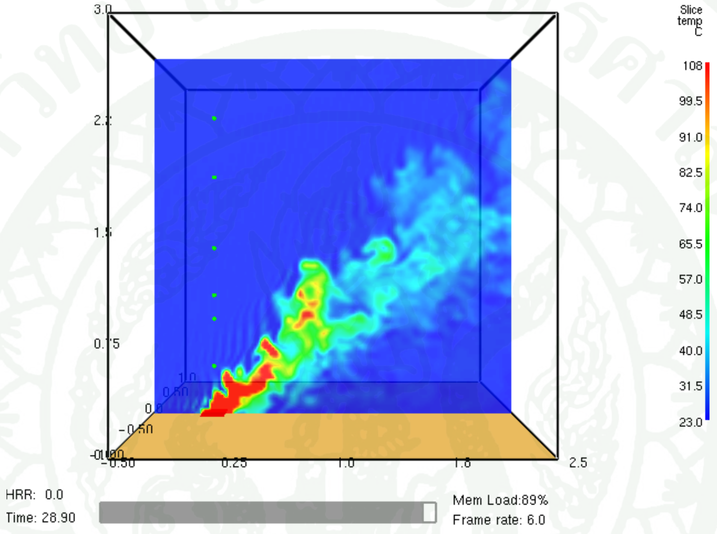
ภาพผนวกที่ ก32 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

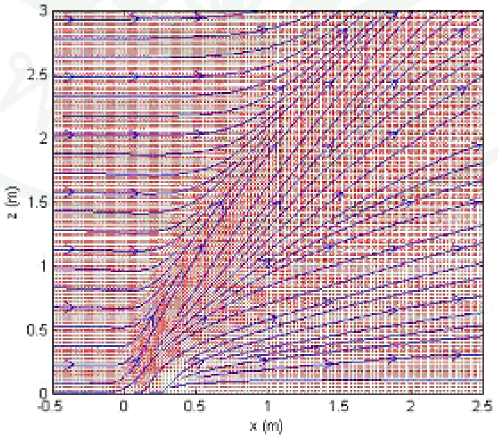
17. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q15_M.fds)

17.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 120×80×120, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก33 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 28.9 ,V=0.89 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120

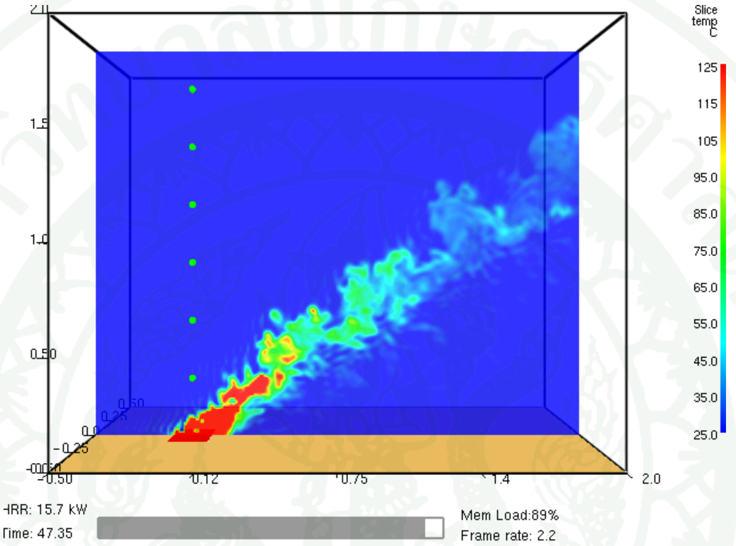


ภาพผนวกที่ ก34 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

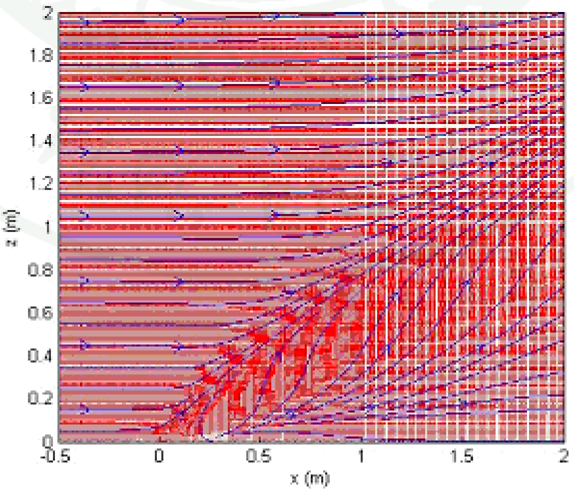
18. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q15_F.fds)

18.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2 (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก35 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 47.35, V=0.89 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$

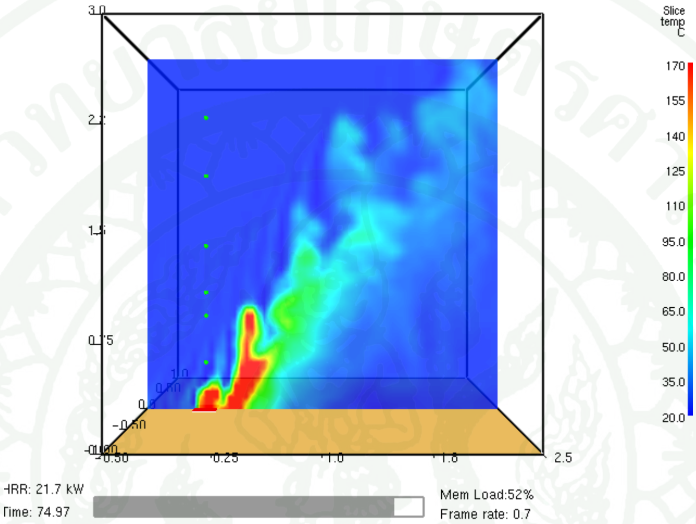


ภาพผนวกที่ ก36 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

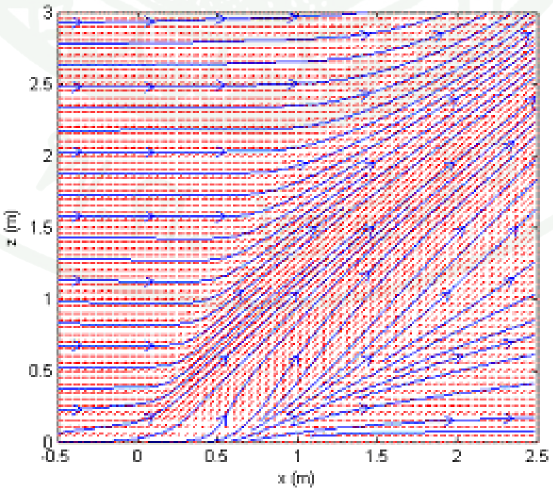
19. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q22.5_C.fds)

19.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$, Q = 22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก37 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 74.97, V=0.89 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$



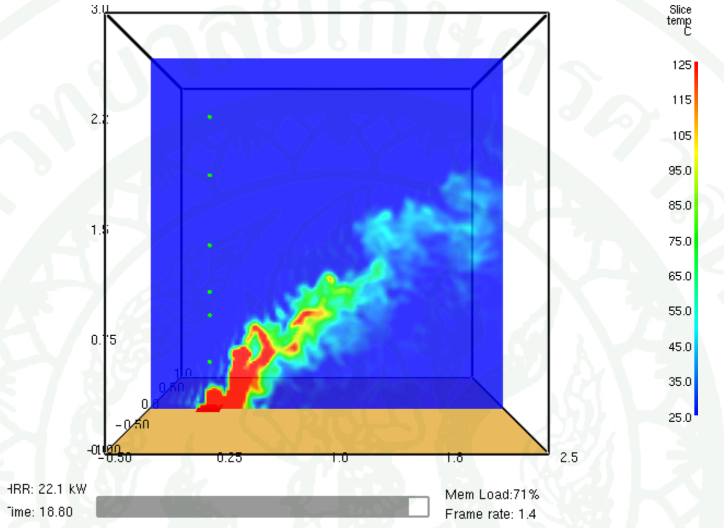
ภาพผนวกที่ ก38 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

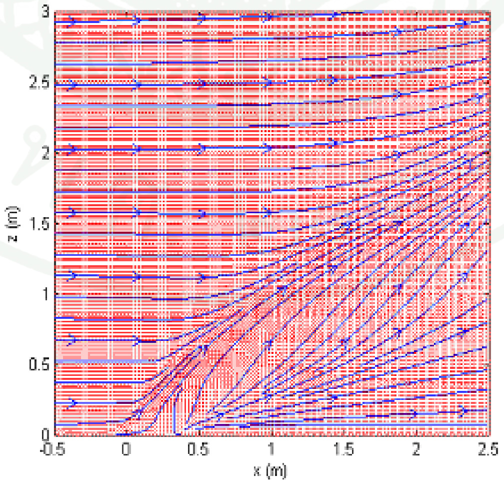
20. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q22.5_M.fds)

20.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 120×80×120,Q=22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก39 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 18.8, V=0.89 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120



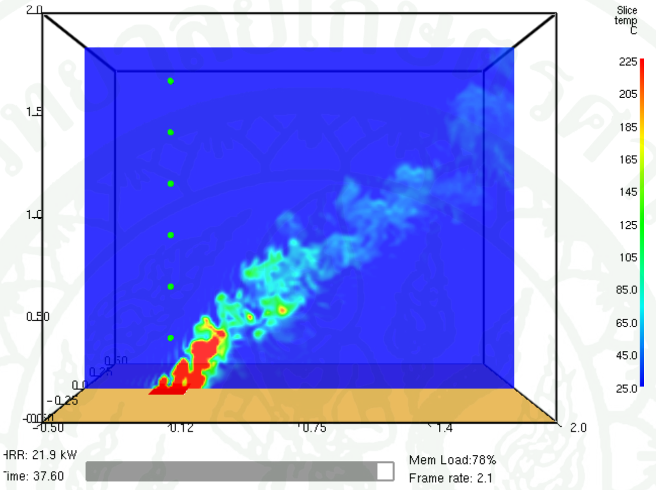
ภาพผนวกที่ ก40 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

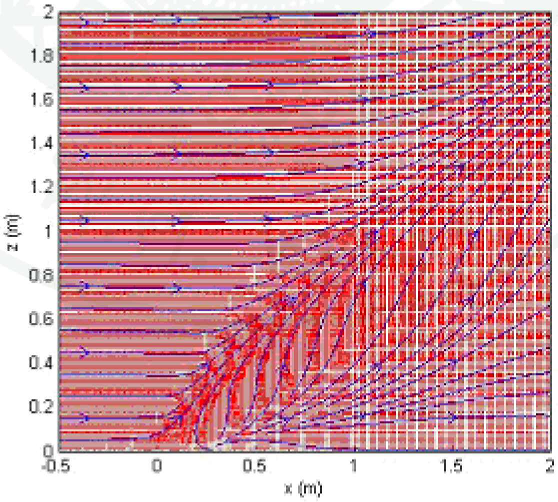
21. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q22.5_F.fds)

21.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q = 22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก41 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 37.6 ,V=0.89 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$

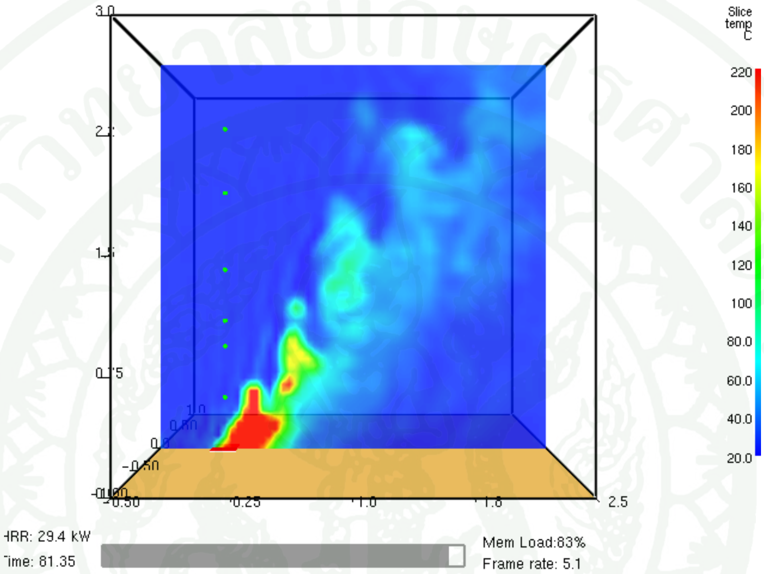


ภาพผนวกที่ ก42 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

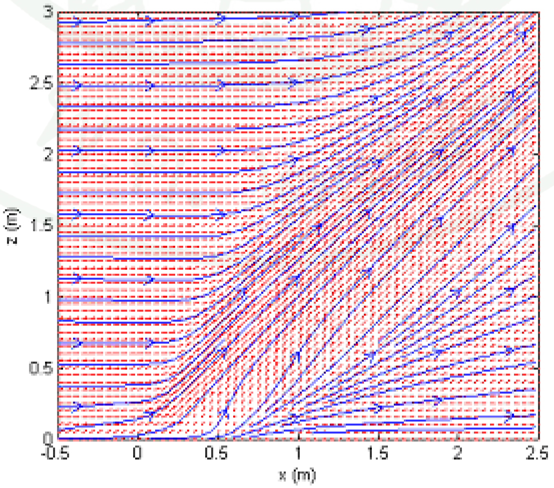
22. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q30_C.fds)

22.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$, Q = 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก43 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 81.35, V=0.89 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$

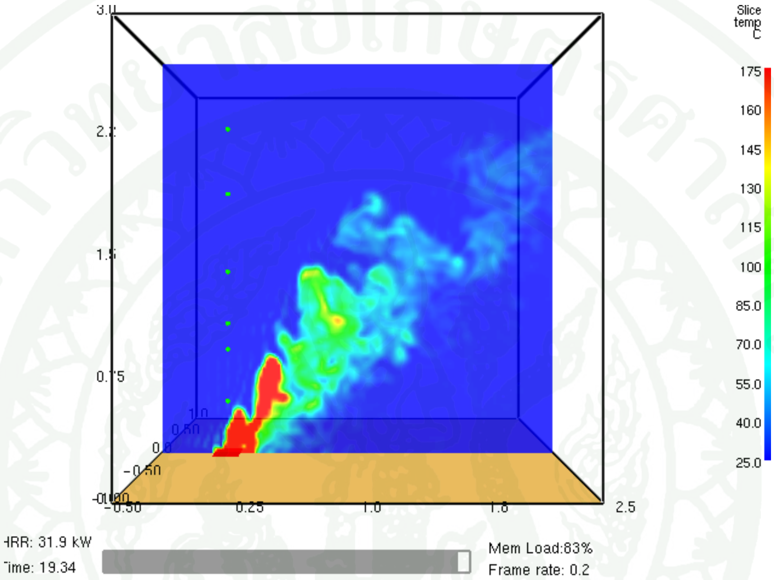


ภาพผนวกที่ ก44 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

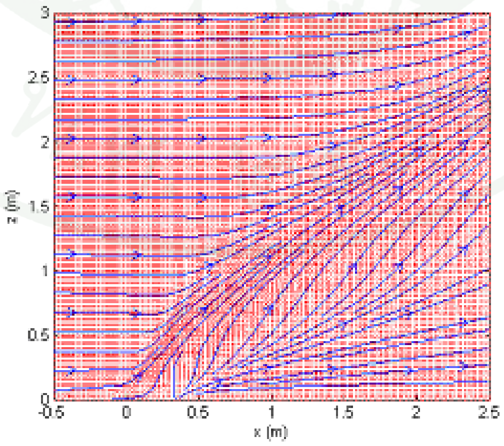
23. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q30_M.fds)

23.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 120×80×120, Q = 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก45 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.34, V=0.89 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120



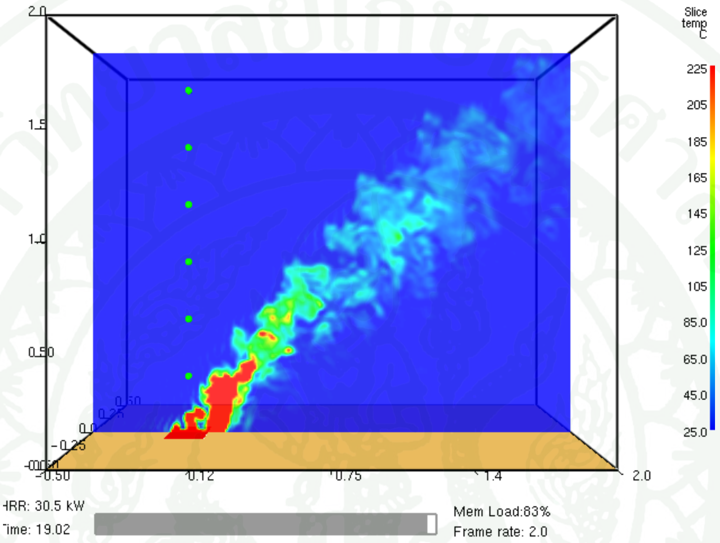
ภาพผนวกที่ ก46 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

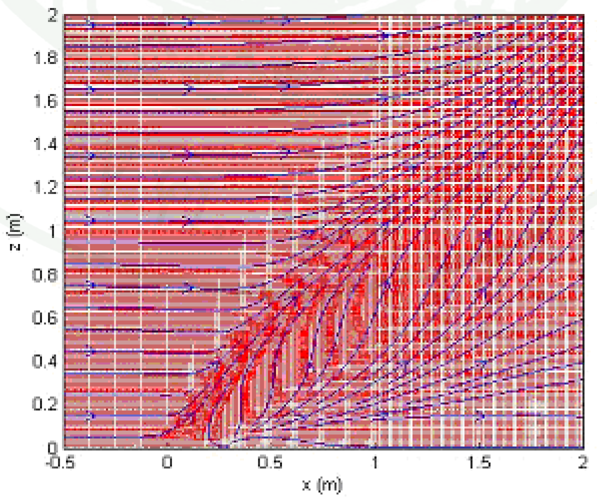
24. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V0_89_Q30_F.fds)

24.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200\times 80\times 160$, Q= 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 0.89 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก47 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.02 ,V=0.89 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200\times 80\times 160$



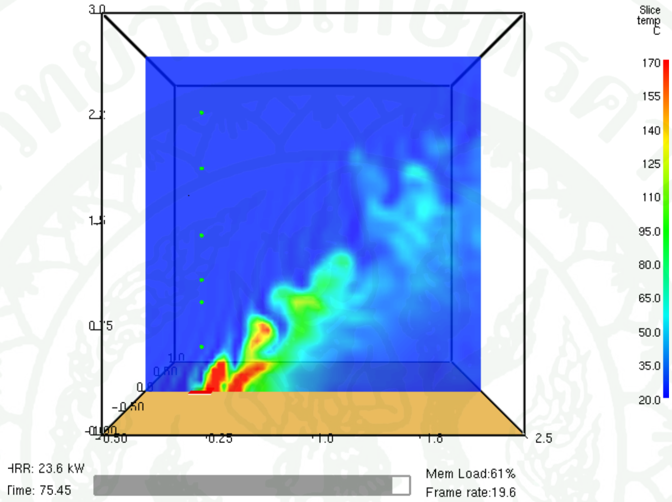
ภาพผนวกที่ ก48 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=0.89 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

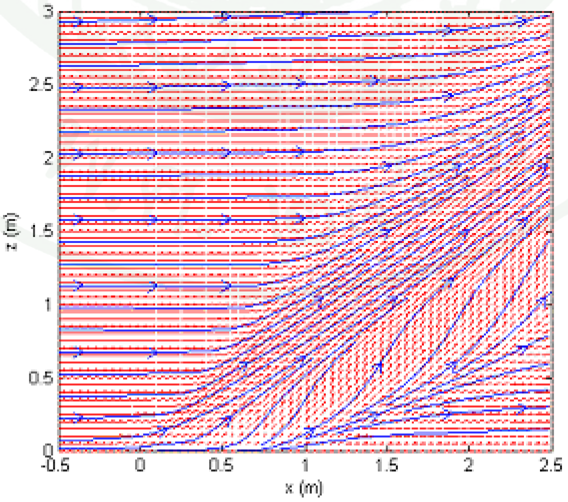
25. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q7_5_C.fds)

25.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 60×40×60, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก49 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 96.6, V=1.15 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60

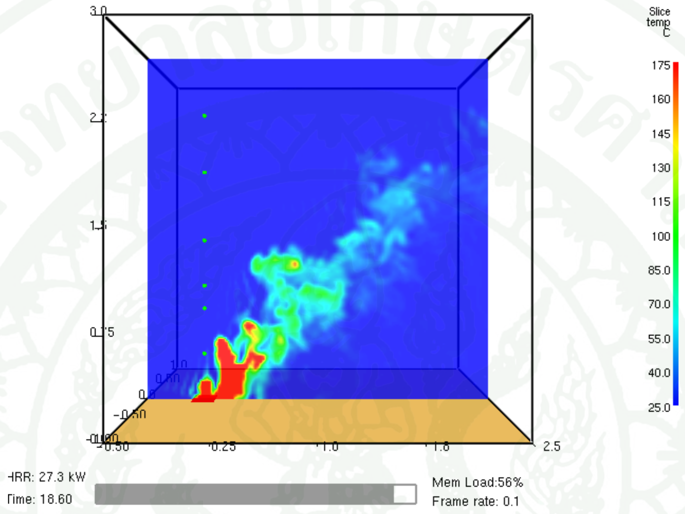


ภาพผนวกที่ ก50 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

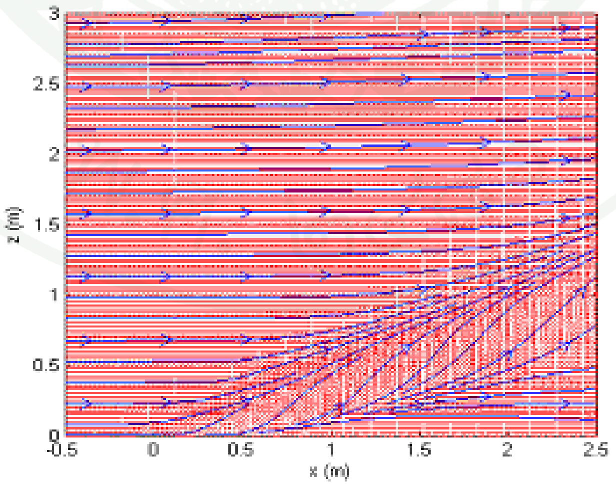
26. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q7_5_M.fds)

26.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 120× 80× 120, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก51 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 18.6 ,V=1.15 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120× 80× 120

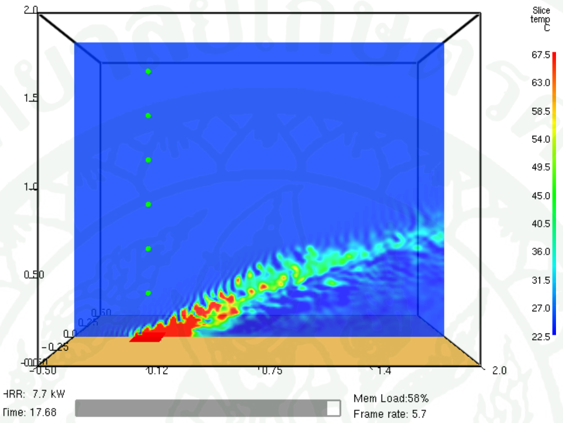


ภาพผนวกที่ ก52 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

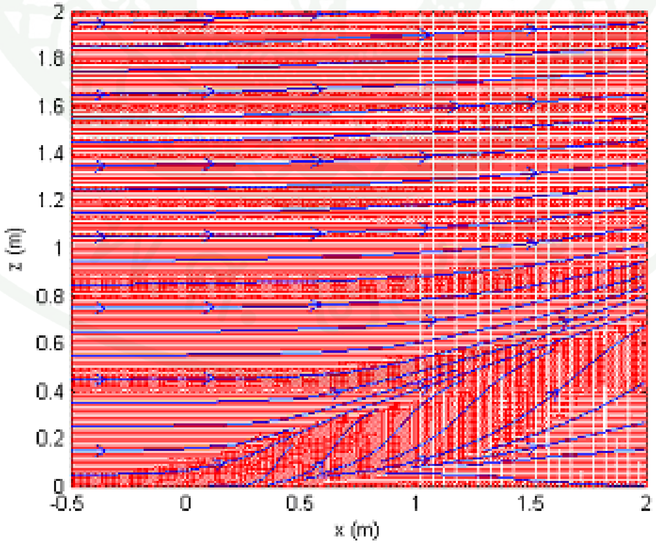
27. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q7_5_F.fds)

27.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง $A_{Square}\ 0.2 \times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q = 7.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก53 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.72,V=1.15 m/s, Q=7.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$



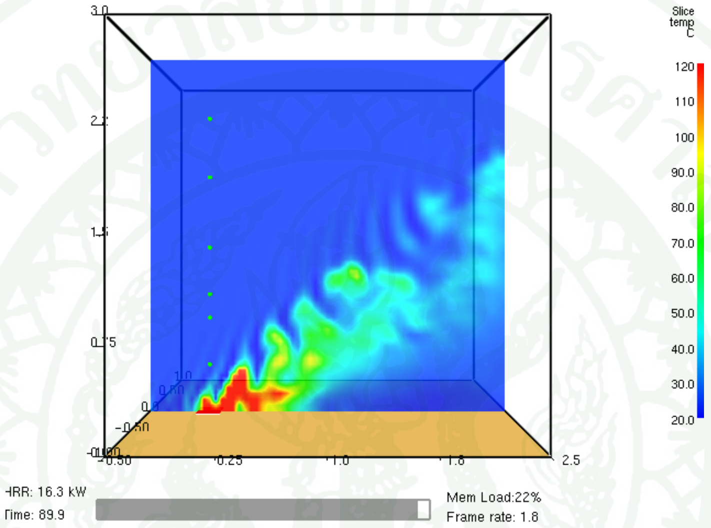
ภาพผนวกที่ ก54 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

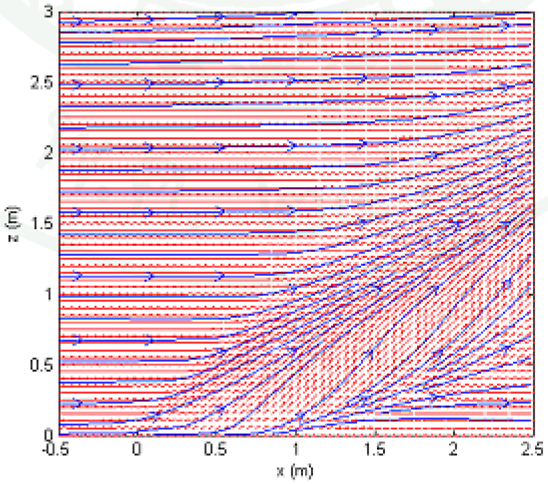
28. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q15_C.fds)

28.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 60×40×60, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก55 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 89.9, V=1.15 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60



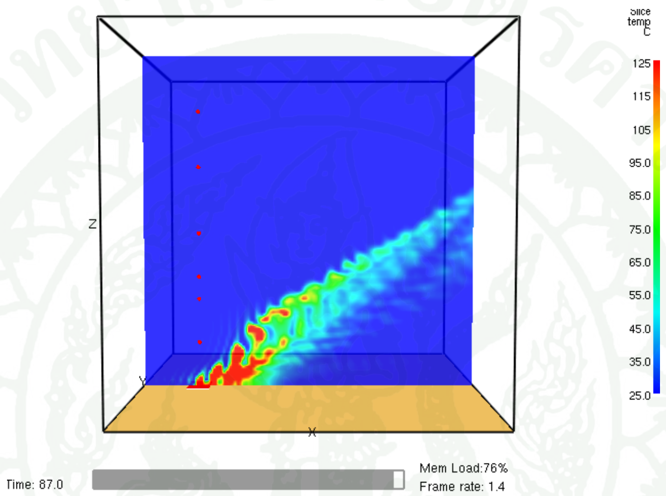
ภาพผนวกที่ ก56 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

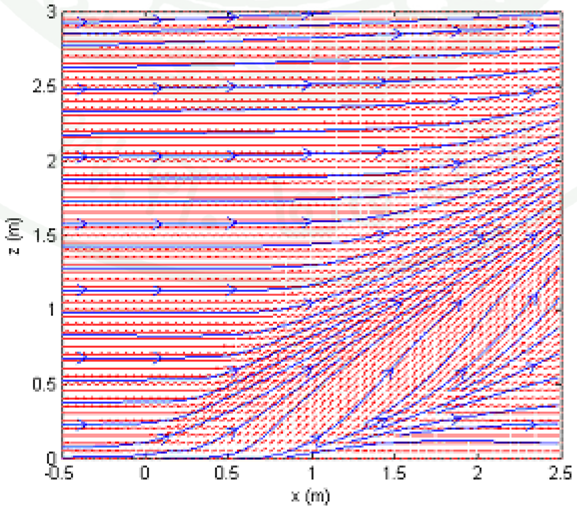
29. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q15_M.fds)

29.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 120×80×120, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก57 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 87.0 ,V=1.15 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120



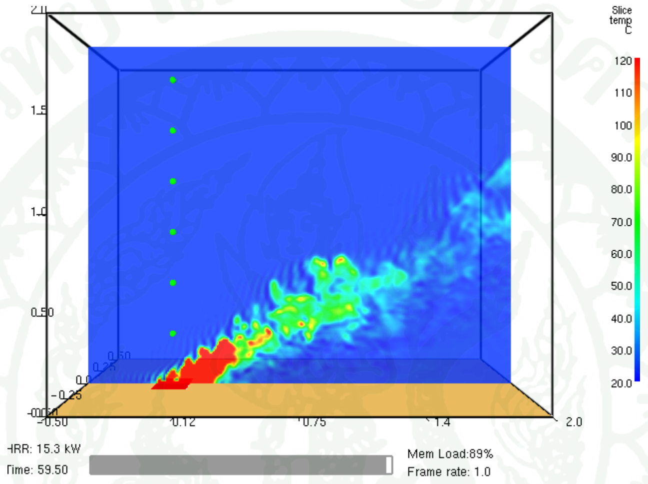
ภาพผนวกที่ ก58 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

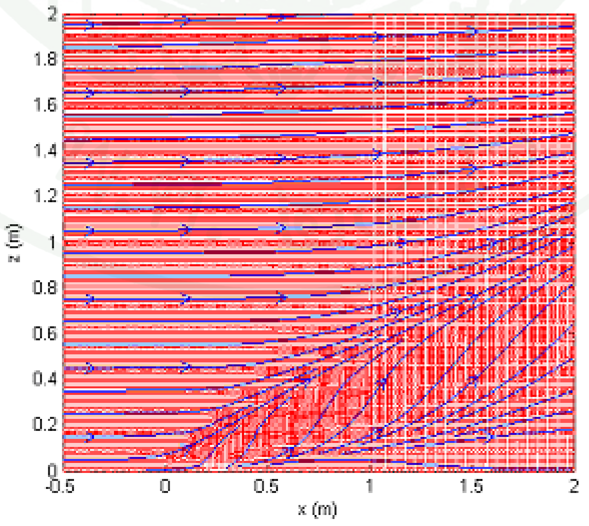
30. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q15_F.fds)

30.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 200×80×160, Q = 15 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก59 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 47.35, V=1.15 m/s, Q=15 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 200×80×160



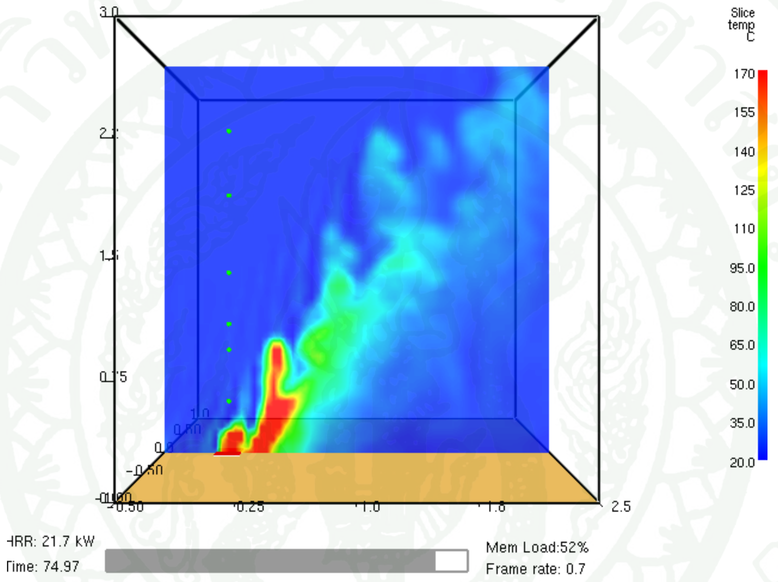
ภาพผนวกที่ ก60 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

31. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q22.5_C.fds)

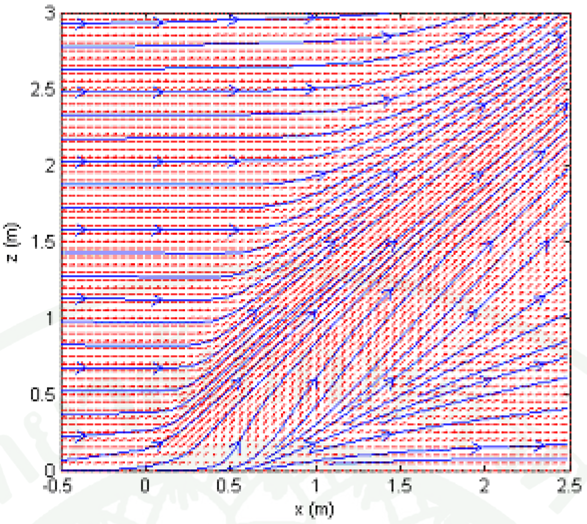
31.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$, Q = 22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก61 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 74.97, V=1.15 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $60 \times 40 \times 60$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

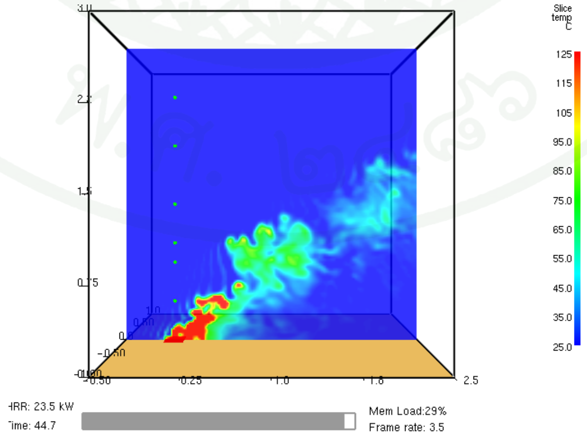


ภาพผนวกที่ ก62 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

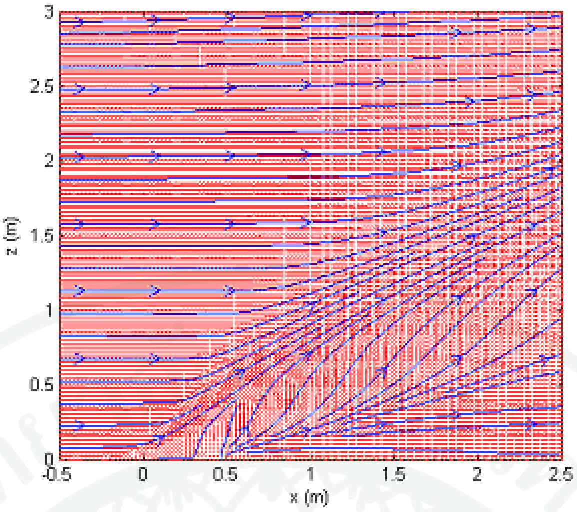
32. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q22_5_M.fds)

32.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 120×80×120,Q=22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก63 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 18.8, V=1.15 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 120×80×120

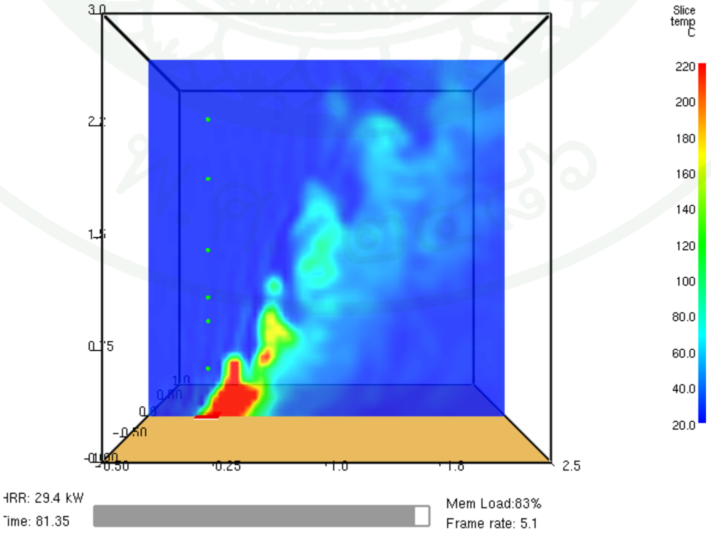


ภาพผนวกที่ ก64 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

33. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q22.5_F.fds)

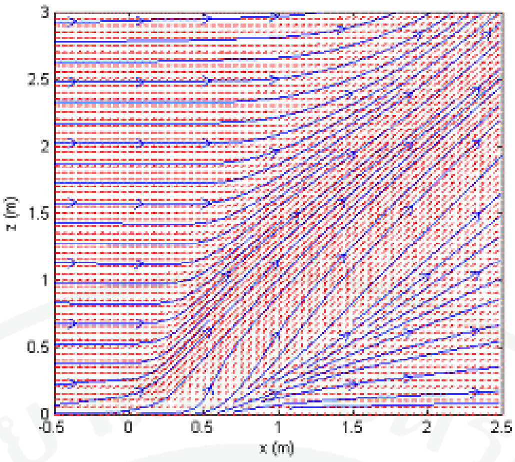
33.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2\times 0.2 = 0.04\ m^2$ (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200\times 80\times 160$, Q = 22.5 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก65 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 37.6 ,V=1.15 m/s, Q=22.5 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200\times 80\times 160$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

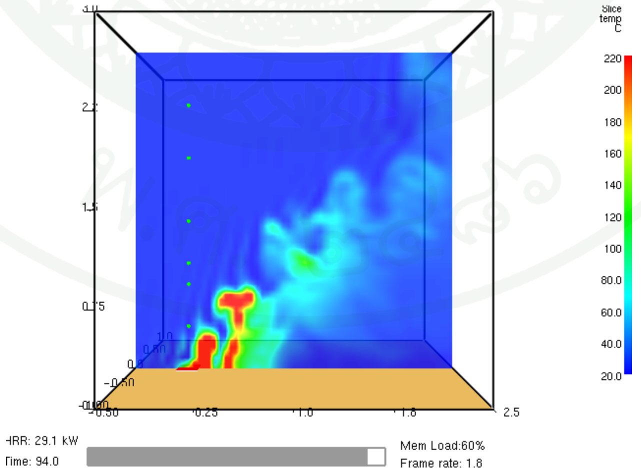


ภาพผนวกที่ ก66 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

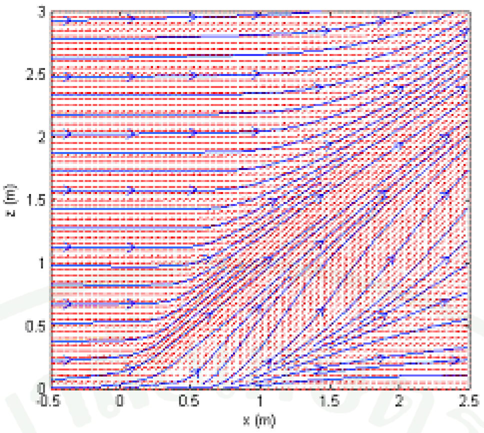
34. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q30_C.fds)

34.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} 0.2 × 0.2 = 0.04 m^2 Coarse Grid โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK 60×40×60, Q = 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Coarse Grid)



ภาพผนวกที่ ก67 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 81.35, V=1.15 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK 60×40×60

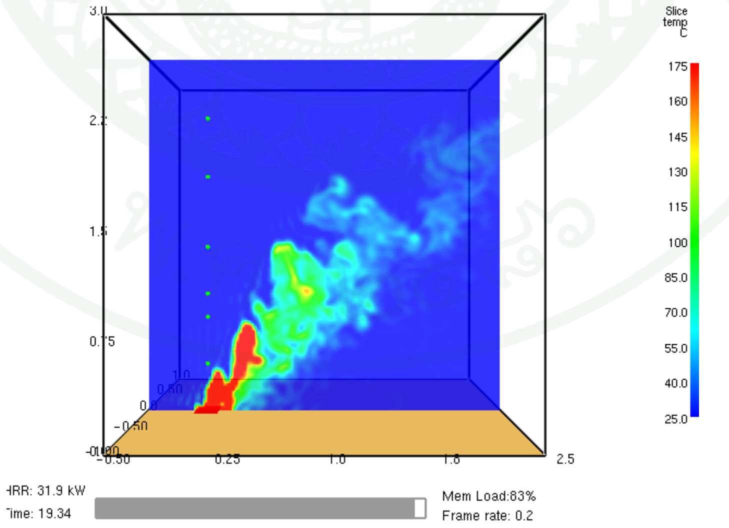


ภาพผนวกที่ ก68 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

35. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q30_M.fds)

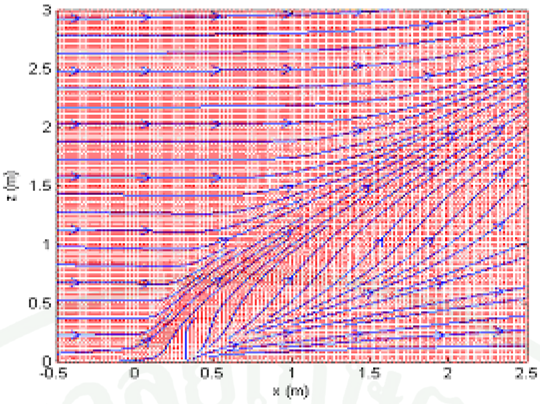
35.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2\times 0.2=0.04\ m^2$ (Moderate Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $120\times 80\times 120$, Q = 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Moderate Grid)



ภาพผนวกที่ ก69 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.34, V=1.15 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $120\times 80\times 120$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

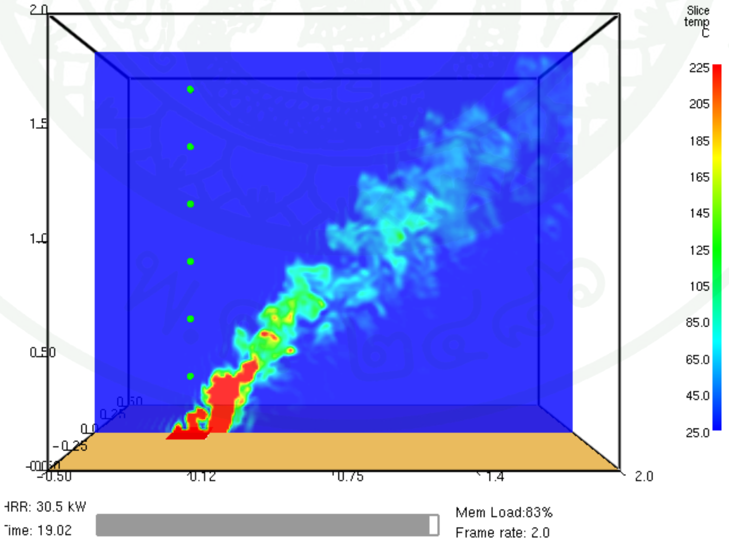


ภาพผนวกที่ ก70 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

36. ข้อมูลคำสั่งการจำลองลำควันเอียง (IP_I_V1_15_Q30_F.fds)

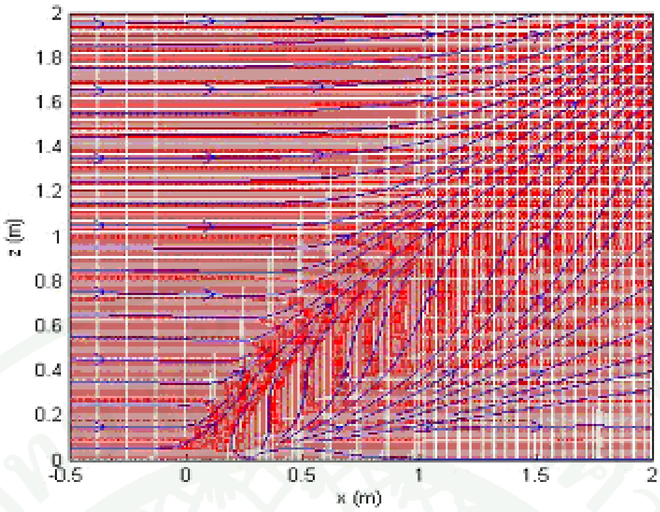
36.1 กรณีที่ 1 สำหรับพื้นที่กองเพลิง A_{Square} $0.2 \times 0.2 = 0.04$ m^2 (Fine Grid) โดยกำหนดโดเมนจำนวนกริดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$, Q= 30 kW ซึ่งมีความเร็วลมคงที่ V = 1.15 m/s

Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5.0 (Fine Grid)



ภาพผนวกที่ ก71 ภาพการจำลองลำควันเอียงตามระนาบแกน Y=0 ที่วินาที 19.02 ,V=1.15 m/s, Q=30 kW โดยกำหนดโดเมน IJK $200 \times 80 \times 160$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ก72 แสดงทิศทางของลม (Stream line)ที่พัดผ่านกองเพลิงตามระนาบแกน Y=0, V=1.15 m/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของข้อมูลคำสั่ง (FDS Input Files)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) ข้อมูลคำสั่งสำหรับศึกษาผลกระทบของขนาดกริด (Input Files)

ข้อมูลคำสั่งลำควันเอียงที่มีโดเมนจำนวนกริด IJK $60\times40\times60$ (Coarse Grid) ที่มีความเร็วลม V=0.59 m/s พัดผ่าน Burner ขนาด $0.2\times0.2\ \mathrm{m}^2$, Q=7.5 kW

IP_I_V059_Q7_5_C.fds

```
&HEAD CHID='IP_I_V059_Q7_5_C'/

&TIME T_END=100.00, WALL_INCREMENT=4/

&DUMP RENDER_FILE='IP_I_V059_Q7_5_C.ge1'/

&MISC TMPA=25.00/

&MESH ID='MESH', IJK=60,40,60, XB=-0.50,2.50,-1.00,1.00,0.00,3.00/

&SURF ID='Burner',

FYI='fire',

COLOR='RED',

HRRPUA=187.50/

&SURF ID='Fan',

FYI='Fan',

RGB=51,51,204,

VEL=-0.59,

POROUS=.TRUE./
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='THCP01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,0.4000/

&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,0.80/

&DEVC ID='THCP03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,1.00/

&DEVC ID='THCP04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,1.40/

&DEVC ID='THCP05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,2.00/

&DEVC ID='THCP06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,2.50/

&VENT SURF_ID='Burner', XB=-0.1000,0.1000,-0.1000,0.1000,0.00,0.00/ Burner

&VENT SURF_ID='Fan', XB=-0.50,-0.50,-1.00,1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
X_MIN_FAN

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=2.50,2.50,-1.00,1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
X_MAX

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.50,1.00,1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
Y_MAX

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.50,-1.00,-1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
Y_MIN

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.50,-1.00,1.00,3.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
Z_MAX

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.00/

&SLCF QUANTITY='U-VELOCITY', PBY=0.00/

&SLCF QUANTITY='W-VELOCITY', PBY=0.00/

&TAIL /
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ข้อมูลคำสั่งลำควันเอียงที่มีโดเมนจำนวนกริด IJK $120\times80\times120$ (Moderate Grid) ที่มีความเร็วลม V=0.59 m/s พัดผ่าน Burner ขนาด 0.2×0.2 m^2 , Q=7.5 kW

IP_I_V059_Q7_5_M.fds

```
&HEAD CHID=' IP_I_V059_Q7_5_M'/

&TIME T_END=100.00, WALL_INCREMENT=4/

&DUMP RENDER_FILE='IP_I_V059_Q7_5_M.ge1'/

&MISC TMPA=25.00/

&MESH ID='MESH', IJK=120,80,120, XB=-0.50,2.50,-1.00,1.00,0.00,3.00/

&SURF ID='Burner',

FYI='fire',

COLOR='RED',

HRRPUA=187.50/

&SURF ID='Fan',

FYI='Fan',

RGB=51,51,204,

VEL=-0.59,

POROUS=.TRUE./

&DEVC ID='THCP01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,0.4000/

&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,0.80/

&DEVC ID='THCP03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,1.00/
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='THCP04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,1.40/

&DEVC ID='THCP05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,2.00/

&DEVC ID='THCP06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,2.50/

&VENT SURF_ID='Burner', XB=-0.1000,0.1000,-0.1000,0.1000,0.00,0.00/ Burner

&VENT SURF_ID='Fan', XB=-0.50,-0.50,-1.00,1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
X_MIN_FAN

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=2.50,2.50,-1.00,1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
X_MAX

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.50,1.00,1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
Y_MAX

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.50,-1.00,-1.00,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
Y_MIN

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.50,-1.00,1.00,3.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/
Z_MAX

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.00/

&SLCF QUANTITY='U-VELOCITY', PBY=0.00/

&SLCF QUANTITY='W-VELOCITY', PBY=0.00/

&TAIL /
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) ข้อมูลคำสั่งลำควันเอียงที่มีโดเมนจำนวนกริด IJK $120\times80\times120$ (Fine Grid) ที่มีความเร็ว V=0.59 m/s พัดผ่าน Burner ขนาด 0.2×0.2 m^2, Q=7.5 kW

IP_I_V059_Q7_5_F.fds

```
&HEAD CHID='IP_I_V059_Q7_5_F'/

&TIME T_END=85.00, WALL_INCREMENT=4/

&DUMP RENDER_FILE='IP_I_V059_Q7_5_F.ge1'/

&MISC TMPA=25.00/

&MESH ID='MESH', IJK=200,80,160, XB=-0.50,2.00,-0.50,0.50,0.00,2.00/

&SURF ID='Burner',

FYI='fire',

COLOR='RED',

HRRPUA=187.50/

&SURF ID='Fan',

FYI='Fan',

RGB=51,51,204,

VEL=-0.59,

POROUS=.TRUE./

&DEVC ID='THCP01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,0.3000/

&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,0.60/

&DEVC ID='THCP03', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,0.90/
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
&DEVC ID='THCP04', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,1.20/

&DEVC ID='THCP05', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,1.50/

&DEVC ID='THCP06', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.00,0.00,1.80/

&VENT SURF_ID='Burner', XB=-0.1000,0.1000,-0.1000,0.1000,0.00,0.00/ Burner

&VENT SURF_ID='Fan', XB=-0.50,-0.50,-0.50,0.50,0.00,2.00, COLOR='INVISIBLE'/
X_MIN_FAN

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=2.00,2.00,-0.50,0.50,0.00,2.00, COLOR='INVISIBLE'/
X_MAX

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.00,0.50,0.50,0.00,2.00, COLOR='INVISIBLE'/
Y_MAX

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.00,-0.50,-0.50,0.00,2.00, COLOR='INVISIBLE'/
Y_MIN

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.50,2.00,-0.50,0.50,2.00,2.00, COLOR='INVISIBLE'/
Z_MAX

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.00/

&SLCF QUANTITY='U-VELOCITY', PBY=0.00/

&SLCF QUANTITY='W-VELOCITY', PBY=0.00/

&TAIL /
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

รายละเอียดของข้อมูลคำสั่ง (Math Lab Input File)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โปรแกรม MathLab version 7

ใช้สำหรับแปลงไฟล์ที่มาจากการคอมไพล์ของโปรแกรม FORTRAN ในรูปของ *.txt เช่น IP_I_V059_Q7_5_F_fds2ascii.txt โดย MathLab จะทำการแปลงเป็นรูปภาพเพื่อบ่งบอกถึงอุณหภูมิและทิศทางการเคลื่อนที่ของลำควันเอียงที่มีการจำลองด้วยโปรแกรม FDS โดยการเขียนโปรแกรม Math Lab Input File ด้านล่างนี้จะนำไปใช้กับสภาวะต่างๆของกองเพลิงที่มีความเร็วลมและพื้นที่ ที่แตกต่างกันดังที่ได้มีอยู่ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

IP_I_V059_Q7_5_F

```
% Plot Slice and This M-file is used to plot slice file data from FDS

clc

clear all

close all

npx = 200; % input npy or npx

npz = 160;

fid = fopen('IP_I_V059_Q7_5_F_fds2ascii.txt'); % change name to the file you save.

[A,count] = fscanf(fid,'%g',[5 inf]);

x = A(1,1:npx+1);

z = A(2,1:npx+1:(npx+1)*(npz+1));

x = x';

z = z';

A3 = A(3,:);

A4 = A(4,:);
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
A5 = A(5,:);
p = 1;
for k = 1:npz+1
for i = 1:npx+1
p = (k-1)*(npx+1)+i;
T(i,k) = A3(p);
u(i,k) = A4(p);
w(i,k) = A5(p);
end
end
%find the plume axis based on maximum temperature
T_max = ones(npx+1,npz+1);
for k = 1:npz+1
[Tm(k),i_max(k)] = max(T(:,k));
T_max(i_max(k),k)=Tm(k);
end
c_level = linspace(40,300,8); % Fire plume size
CON=contour(x,z,T',c_level); hold on;
clabel(CON);
%quiver(x,z,u',w');
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

```
plot(x(i_max),z,'r-*');hold off
figure
quiver(x,z,u',w','r');hold on
streamslice(x,z,u',w','r');
axis([-.5,2,0,2]);
[temp,r]=max(T(121,:));
x(121)
z(r)
T(121,r)
u(121,r)
w(121,r)
[temp,r]=max(T(161,:));
x(161)
z(r)
T(161,r)
u(161,r)
w(161,r)
[temp,r]=max(T(181,:));
x(181)
z(r)
```

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

T(181,r)

u(181,r)

w(181,r)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสุรชัย วัฒนดิเรก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 ตุลาคม 2509
สถานที่เกิด	จ. ตาก
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ควบคุมการผลิตอาวุโส
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เชฟรอนประเทศไทยสำรวจและผลิต
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	Chevron Scholarship for Master Engineering of Fire Protection

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์