



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Study of Water Mist Fire Suppression by Computational Fluid Dynamics Method

نامผู้วิจัย นายรณนฤชิต บุตรแสนคม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชาติ แจ่มบำรุง, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์เสรี เสวตเสรณี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบสืงจิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Study of Water Mist Fire Suppression by Computational Fluid Dynamics Method

โดย

นายรณนฤชิต บุตรแสนคม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รณฤชิต บุตรแสนคม 2554: การศึกษาการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำโดยวิธีพลศาสตร์ของ
ไหลเชิงคำนวณ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขา
วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิชิต แจ่งบำรุง, Ph.D. 77 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการดับเพลิงของหมอก
น้ำต่อความสามารถในการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิโดยระเบียบวิธีทาง
พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ลักษณะทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ
หมอกน้ำและขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำ โดยที่งานวิจัยนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำที่ 50 ไมโครเมตร, 100 ไมโครเมตร, 150 ไมโครเมตร, 200
ไมโครเมตร, 250 ไมโครเมตร, 500 ไมโครเมตร, 750 ไมโครเมตร และ 1,000 ไมโครเมตร และทำ
การเปลี่ยนแปลงค่าขนาดมุมกรวยในการฉีดหมอกน้ำที่ 30 องศา, 45 องศา, 60 องศา, 75 องศา
และ 90 องศา

ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำมีผลต่อการกระจาย
ตัวของหมอกน้ำซึ่งส่งผลต่อการลดอุณหภูมิ กล่าวคือที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 50-100
ไมโครเมตร การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็นโดยส่วนใหญ่ และมี
หมอกน้ำบางส่วนที่กระจายลอยฟุ้งไปตามอากาศ แต่เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำ
ขนาดตั้งแต่ 150 ไมโครเมตรขึ้นไป การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นการไหลจาก
หัวฉีดตกสู่ด้านล่างซึ่งไม่เกิดลักษณะของพุ่มความเย็น และเมื่อทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนขนาด
มุมกรวยในการฉีดหมอกน้ำพบว่า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหมอกน้ำที่ 50 ไมโครเมตร ขนาดมุม
กรวยไม่มีผลที่จะเพิ่มพื้นที่ในการกระจายตัวของหมอกน้ำในการลดอุณหภูมิอันเนื่องมาจากการฉีด
หมอกน้ำ

Ronnaruchit Butrasankhom 2011: Study of Water Mist Fire Suppression by Computational Fluid Dynamics Method. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Apichart Chaengbamrung, Ph.D. 77 pages.

This research studied the effect of the physical characteristics of water mist fire suppression on the water mist distribution and the temperature reduction by computational fluid dynamics. Physical characteristics that were studied are the diameter of water mist and the cone angle of water mist nozzle. Water mist diameters were varied from 50 μm , 100 μm , 150 μm , 200 μm , 250 μm , 500 μm , 750 μm and 1,000 μm and the cone angles of water mist nozzle were varied from 30°, 45°, 60°, 75° and 90°.

The results showed that the diameters of water mist had the effect on the distribution of water mist and the temperature reduction. For the diameters of the water mist equal to 50 μm to 100 μm , water mist distributions were mostly like cooling plume but for the diameters are larger than 150 μm , the water mist distribution were not like cooling plume but fall down directly. The effect of the cone angles of water mist nozzle on the water mist distribution showed that for the diameter of water mist is 50 μm ; the cone angle had no effect on the water mist distribution and also temperature reduction.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.อภิชาติ แจ่มบำรุง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก เป็นอย่างสูงในการให้คำปรึกษาและข้อแนะนำในการทำวิจัยประกอบวิทยานิพนธ์ และได้เอื้อเพื่อ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยทุกท่านที่ได้สั่งสอนให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่เข้ามาศึกษา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยทุกท่านที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี

และที่สำคัญอย่างที่สุด ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ อ.พรพรรณ บุตรแสนคม และรศ.รณฤทธิ์ บุตรแสนคม มารดาและบิดา ผู้ที่เป็นบุคคลที่สนับสนุนผู้วิจัยในทุกด้านตั้งแต่เกิดมาจนกระทั่งบัดนี้

รณฤทธิ์ บุตรแสนคม

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญภาพ	(2)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	77

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ภาพ Top view ของการทดลองจริงของ Raunaq Hasib ที่มีอักคิ์ขนาด 0.01 ตารางเมตร	4
2 ภาพแสดง Thermocouple ที่ตำแหน่งต่างๆของการทดลองจริงของ Raunaq Hasib	5
3 ภาพแสดงแบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม CFX ของ Raunaq Hasib	5
4 ตัวอย่างผลของอุณหภูมิกับเวลาที่ตำแหน่งต่างๆของการจำลองโดยโปรแกรม CFX เปรียบเทียบกับการทดลองจริงของ Raunaq Hasib	6
5 ภาพแสดง Layout การทดลองจริงของ Monica Galdo Vega	7
6 ภาพแสดง Layout การทดลองจริงแบบ 606A, 612B และ 611	8
7 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 300 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 606A เปรียบเทียบกับการจำลอง	8
8 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 480 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 606A เปรียบเทียบกับการจำลอง	9
9 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 600 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 606A เปรียบเทียบกับการจำลอง	9
10 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 300 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 612B เปรียบเทียบกับการจำลอง	9
11 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 480 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 612B เปรียบเทียบกับการจำลอง	10
12 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 600 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 612B เปรียบเทียบกับการจำลอง	10
13 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 120 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 611 เปรียบเทียบกับการจำลอง	10
14 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 480 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 611 เปรียบเทียบกับการจำลอง	11

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 600 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 611 เปรียบเทียบกับการจำลอง	11
16	ภาพแสดง Layout การทดลองจริงของ Sung Chan Kim และ Hong Sun Ryou	13
17	ผลของอุณหภูมิกับเวลาของการจำลองโดยโปรแกรม FDS เปรียบเทียบกับการทดลองจริงของ Sung Chan Kim และ Hong Sun Ryou เมื่อยังไม่มีกรณีหมอกน้ำ	13
18	ผลของอุณหภูมิกับเวลาของการจำลองโดยโปรแกรม FDS เมื่อมีกรณีหมอกน้ำของ Sung Chan Kim และ Hong Sun Ryou	13
19	การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มกรณีหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที	14
20	การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มกรณีหมอกน้ำเป็นเวลา 4 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที	15
21	การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มกรณีหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที	15
22	การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มกรณีหมอกน้ำเป็นเวลา 1 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที	16
23	การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มกรณีหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที	16

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	การกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 3 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที	17
25	ผลการทดลองจริงของการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำของ Lvyi Chen	18
26	แสดงหัวฉีดแบบ Single fluid และ Dual fluid	21
27	แสดงมุมกรวยและรัศมีของหัวฉีดในโปรแกรม Fluent	22
28	การแลกเปลี่ยนมวล โมเมนตัม และความร้อน ระหว่าง Continuous phase และ Discrete phase ในโปรแกรม Fluent	25
29	แบบจำลองจากงานวิจัยของ Hart	27
30	แบบจำลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับของ Hart	28
31	แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำและขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำ	30
32	การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 10 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน	31
33	การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 20 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน	32
34	การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 30 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน	32
35	การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 40 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน	33
36	การกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาทีของ Hart	34
37	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	การกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 4 วินาทีของ Hart	36
39	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 4 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้	37
40	การกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาทีของ Hart	38
41	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้	39
42	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 50 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	41
43	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 100 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	42
44	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 150 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	43
45	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 200 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	44
46	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 250 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	45
47	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 500 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	46
48	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 750 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	47
49	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 1,000 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที	48
50	ผลของการกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 30° เป็นเวลา 3 วินาที	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
51	ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่ม ฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 45° เป็นเวลา 3 วินาที	51
52	ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่ม ฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 60° เป็นเวลา 3 วินาที	52
53	ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่ม ฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 75° เป็นเวลา 3 วินาที	53
54	ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่ม ฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 90° เป็นเวลา 3 วินาที	54
ภาพผนวกที่		
1	แบบจำลองของอุโมงค์และกริดที่ใช้ในการจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Hart	62
2	แบบจำลองของอุโมงค์และกริดที่ใช้ในการจำลองเปลี่ยนแปลงค่าขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของหมอกน้ำและมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำ	63
3	แบบจำลอง Solver ที่ใช้	64
4	แบบจำลอง Operating Conditions ที่ใช้	65
5	แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับผนัง	66
6	แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับแหล่งความร้อน	67
7	แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมเข้าสำหรับการ เปรียบเทียบกับกริดจำลองของ Hart	68
8	แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมเข้าสำหรับใช้จำลองการ เปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำและขนาดมุมกรวยของหัวฉีด	69
9	แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมออก	70
10	แบบจำลอง Materials ที่ใช้	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่

หน้า

11	แบบจำลอง Time step sizes และ Iterations ที่ใช้	72
12	แบบจำลอง Viscous model ที่ใช้	73
13	แบบจำลอง Species Model ที่ใช้	74
14	แบบจำลอง Discrete Phase Model ที่ใช้	75
15	แบบจำลอง Set Injection Properties ที่ใช้	76

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CFD	=	Computational Fluid Dynamics
FDS	=	Fire Dynamics Simulator
μm	=	micro metre
NFPA	=	National Fire Protection Association (America)
r	=	Radius of nozzle
θ	=	Cone angle of nozzle
DPM	=	Lagrangian Discrete Phase Model
kW/m^2	=	kilowatt per square metre
K	=	Kelvin
m^2	=	square metre
$^{\circ}\text{C}$	=	degree Celsius
$^{\circ}\text{F}$	=	degree Fahrenheit
ρ	=	Density
t	=	Time
v	=	Velocity
F	=	Force
E	=	Energy
k	=	Turbulent Kinetic Energy
ε	=	Dissipation
μ	=	Viscosity
u	=	Velocity
p	=	Particle
D	=	Drag
g	=	Gravity
d	=	diameter
Re	=	Reynolds number
τ	=	Shear force

การศึกษาการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Study of Water Mist Fire Suppression by Computational Fluid Dynamics Method

คำนำ

ปัจจุบันระบบดับเพลิงภายในอาคารที่สำคัญชนิดหนึ่งคือการฉีดน้ำจากหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งที่ผนังเพดานห้อง โดยที่หัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ต้องถูกติดตั้งตามข้อบังคับทางกฎหมาย การดับเพลิงโดยการฉีดน้ำผ่านหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงนั้นจะกระทำเมื่อตัวจับสัญญาณรับสัญญาณของความร้อนจนถึงอุณหภูมิค่าหนึ่งที่ตั้งไว้ น้ำจะถูกฉีดออกมาทำหน้าที่ดับเพลิงที่เกิดขึ้น ดังนั้นในอาคารต่างๆที่มีการติดตั้งระบบหัวฉีดดับเพลิงจะทำให้อาคารมีความปลอดภัยด้านอัคคีภัยมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากการฉีดน้ำออกมาเพื่อทำการดับเพลิง จะส่งผลไปยังอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ไม่ใช่แหล่งต้นเพลิง โดยเฉพาะอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เพราะน้ำจะเข้าไปในวงจรทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นเมื่อเพลิงดับลง ผลที่ตามมาอีกอย่างคือ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ก็เสียหายไปด้วย ไม่ใช่เพราะเพลิงไหม้เพียงอย่างเดียวแต่เป็นเพราะน้ำด้วย และนอกจากนี้ในกรณีที่ระบบจับสัญญาณความร้อนมีความผิดพลาดจะทำให้มีการฉีดกระจายน้ำลงมาทั้งๆที่ไม่มีการเกิดอัคคีภัยขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์สำนักงาน ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในปัจจุบันจึงมีการใช้หัวฉีดกระจายน้ำความดันสูงที่สามารถฉีดน้ำออกมาเป็นลักษณะหมอกน้ำ (Water mist) ซึ่งหมอกน้ำนี้จะลดความเสียหายอันเนื่องมาจากน้ำต่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ได้ เพราะหมอกน้ำจะกระจายไปตามอากาศโดยรอบโดยมีพฤติกรรมเหมือนก๊าซ ไม่ได้ตกเป็นหยดน้ำสู่อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

สำหรับการแบ่งประเภทการดับเพลิงแบบอัตโนมัติโดยน้ำด้วยขนาดหยดน้ำ (Water droplet) จะแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ เป็นแบบกระจายน้ำดับเพลิงทั่วไป (Sprinkler) และแบบหมอกน้ำ (Water mist) สำหรับการดับเพลิงด้วยการกระจายน้ำดับเพลิงทั่วไปนั้น ขนาดหยดน้ำจะมีขนาดใหญ่กว่าแบบหมอกน้ำ มีข้อดีคือ ราคาในการติดตั้งและบำรุงรักษาถูกกว่า แต่มีข้อเสียคือหยดน้ำขนาดใหญ่จะสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุและอุปกรณ์บางชนิด เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า และยังใช้น้ำปริมาณมากในการดับเพลิง สำหรับการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ ขนาดหยดน้ำจะมีขนาดเล็กกว่าไม่สร้างความเสียหายให้แก่วัสดุและอุปกรณ์บางชนิด ทั้งยังใช้น้ำปริมาณน้อยกว่า และหมอกน้ำยังมีพฤติกรรมเหมือนก๊าซ แต่มีราคาในการติดตั้งและบำรุงรักษาแพงกว่า

การศึกษาพฤติกรรมของอค์กั๊ย เช่น การลุกไหม้ของไฟ การแพร่ของเปลวไฟ การไหลของควันไฟ และการดับเพลิง เป็นต้น ในปัจจุบันสามารถทำได้โดยการทดลองจริง และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การทดลองจริงถ้าแบ่งตามขนาดการทดลองจะแบ่งได้สามประเภท คือ การทดลองขนาดย่อเล็ก (bench scale) การทดลองขนาดย่อกลาง (intermediate scale) และการทดลองขนาดจริง (full scale) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นแบ่งได้หลายประเภท แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันสำหรับศึกษาพฤติกรรมของอค์กั๊ย คือ แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics model) เนื่องจากผลการจำลองใกล้เคียงการทดลองจริงที่สุด

การทดลองจริงนั้นเสียค่าใช้จ่ายสูง เป็นอันตราย และทำการทดลองได้ยาก เมื่อเทียบกับการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณซึ่งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยซึ่งเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ไม่เป็นอันตราย และยังจำลองได้หลากหลายรูปแบบเพื่อที่จะสามารถศึกษาพฤติกรรมของการไหลและการแพร่กระจายของเปลวไฟได้โดยไม่ต้องใช้เวลาสถานที่และการเงินมากนักในการสร้างชุดทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการทำการศึกษาพฤติกรรมของการลดอุณหภูมิของบริเวณรอบๆ แหล่งความร้อนอันเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำ การกระจายตัวของหมอกน้ำอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเงื่อนไขของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำและมุมกรวยในการฉีดของหัวฉีดหมอกน้ำโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมต่างๆอันเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบ (Validation) การจำลองการดับเพลิงของหมอกน้ำโดยผู้วิจัยกับการจำลองการดับเพลิงของหมอกน้ำที่มีผลการศึกษาในอดีตโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันเนื่องมาจากหมอกน้ำด้วยการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการกระจายตัวของอนุภาคน้ำมันเนื่องมาจากหมอกน้ำด้วยการจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำที่ 50 ไมโครเมตร, 100 ไมโครเมตร, 150 ไมโครเมตร, 200 ไมโครเมตร, 250 ไมโครเมตร, 500 ไมโครเมตร, 750 ไมโครเมตร และ 1,000 ไมโครเมตร ที่ขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำคงที่ที่ 35 องศา
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำที่ 30 องศา, 45 องศา, 60 องศา, 75 องศา และ 90 องศา ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำคงที่ที่ 50 ไมโครเมตร

ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ

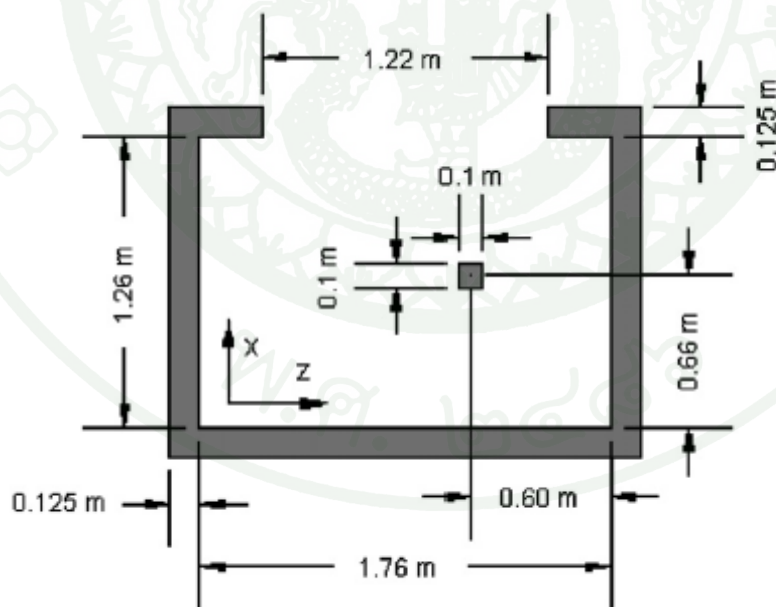
1. สามารถนำผลที่ได้มาใช้ในการพิจารณาเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำในการดับเพลิงได้อย่างเหมาะสม
2. สามารถนำผลที่ได้มาใช้ในการพิจารณาเลือกขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำในการดับเพลิงได้อย่างเหมาะสม

การตรวจเอกสาร

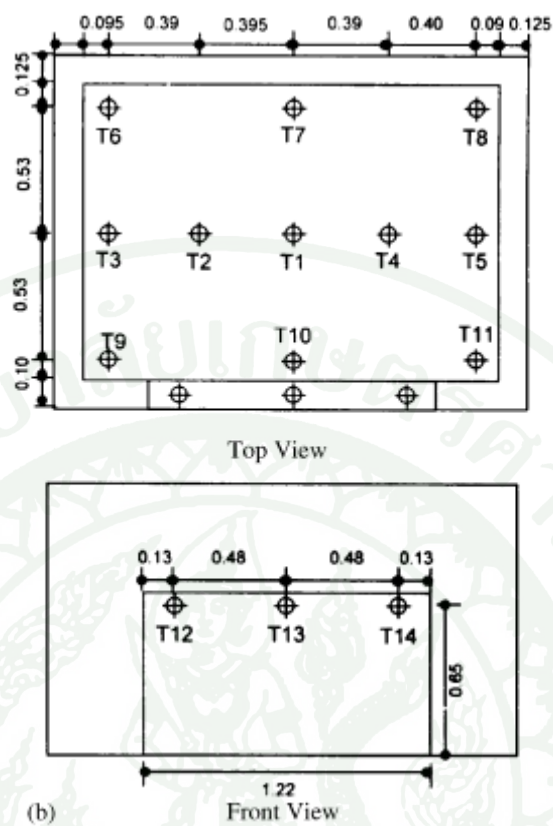
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการกระจายตัวของเปลวไฟ ควันไฟ และการดับเพลิงนั้นมีการทำวิจัยทั้งโดยการทดลองจริง และการจำลองโดยอาศัยวิธีการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

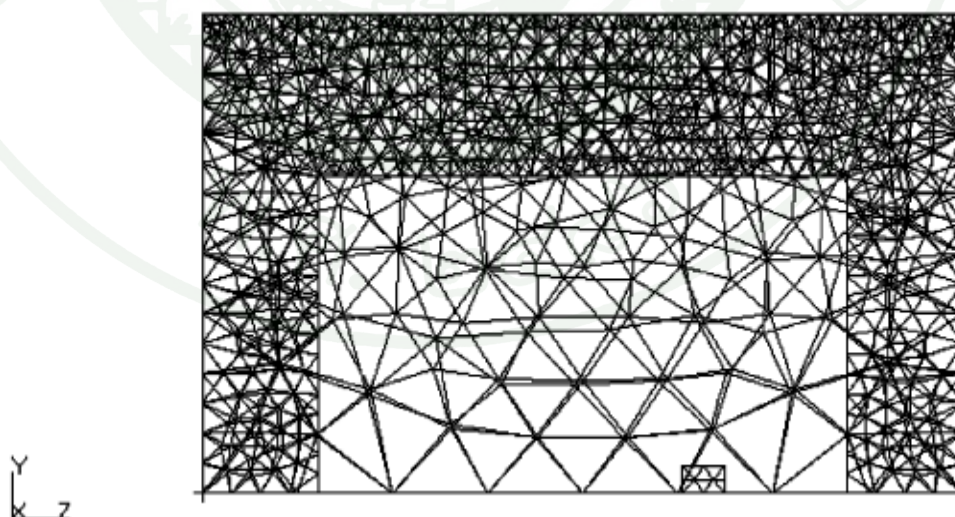
Hasib (2007) ได้จำลองการเกิดอัคคีภัยในห้องโดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม CFX ในการศึกษาเขาสนใจในกรณีสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว ผลที่ได้เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงพบว่า ที่เวลาใดๆ ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดลองจริง ทำให้เขาสรุปว่าการจำลองโดยอาศัยวิธีการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถศึกษาการไหลและการกระจายตัวของความร้อนและควันไฟได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ดังภาพต่อไปนี้



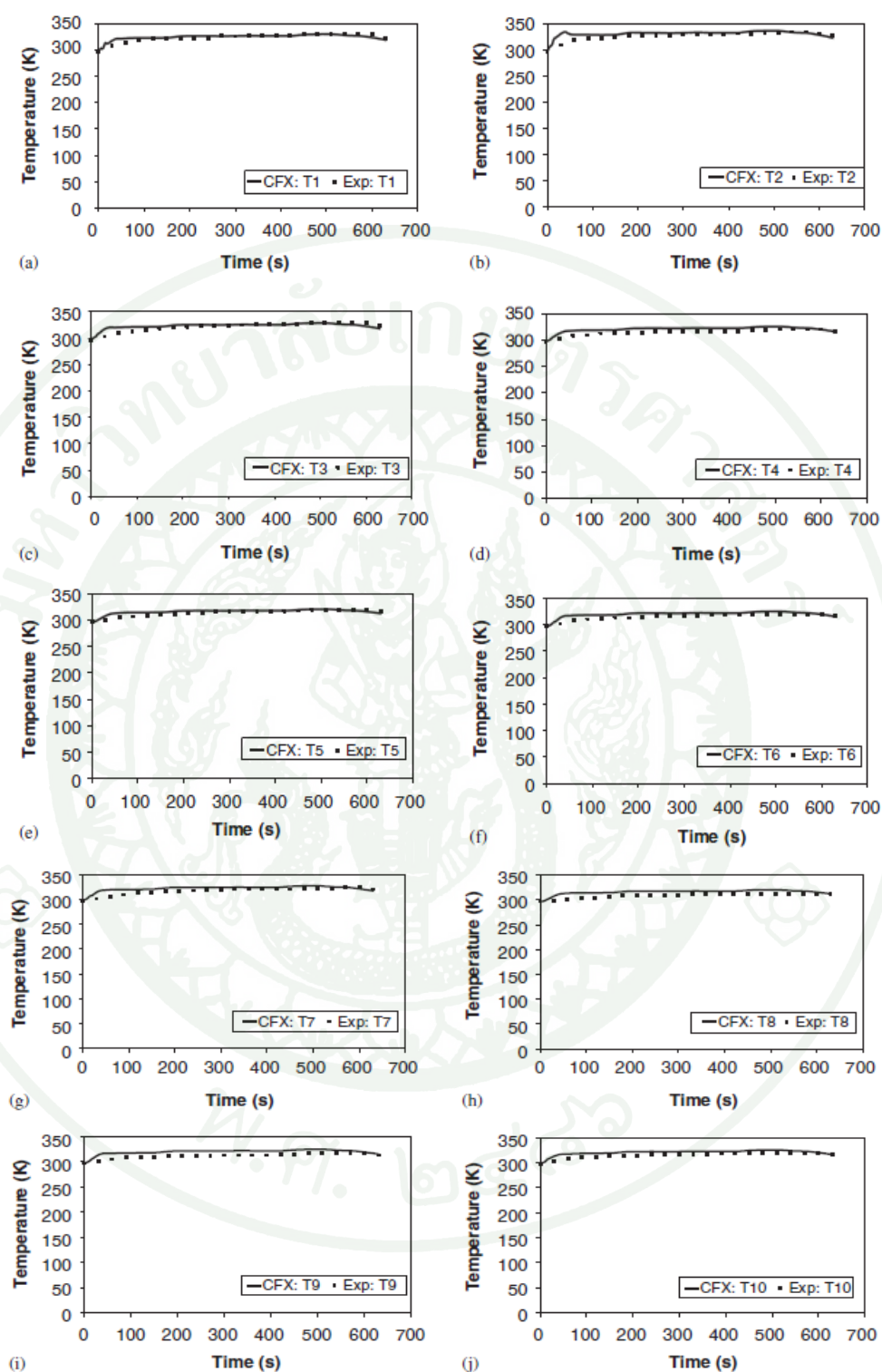
ภาพที่ 1 ภาพ Top view ของการทดลองจริงของ Raunaq Hasib ที่มีอัคคีภัยขนาด 0.01 ตารางเมตร



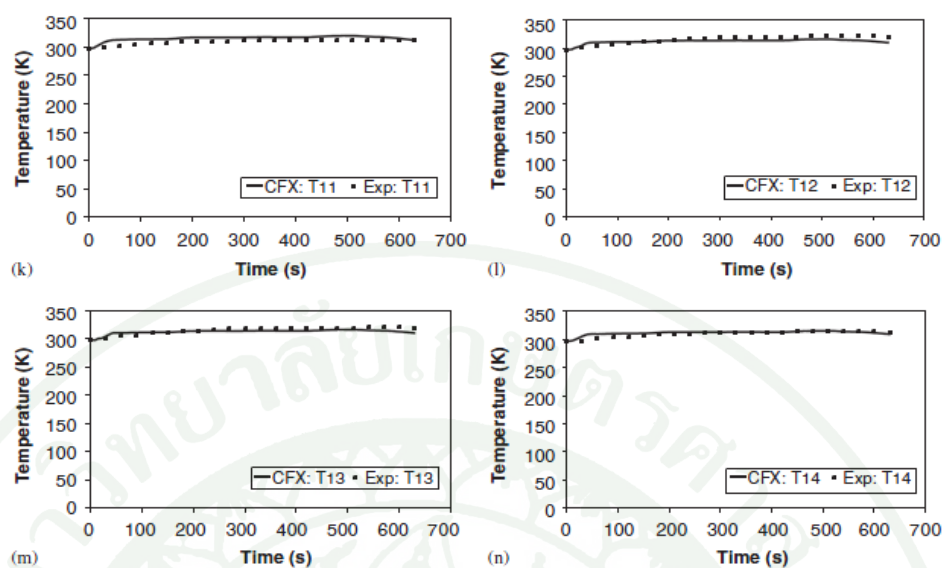
ภาพที่ 2 ภาพแสดง Thermocouple ที่ตำแหน่งต่างๆของการทดลองจริงของ Raunaq Hasib



ภาพที่ 3 ภาพแสดงแบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม CFX ของ Raunaq Hasib

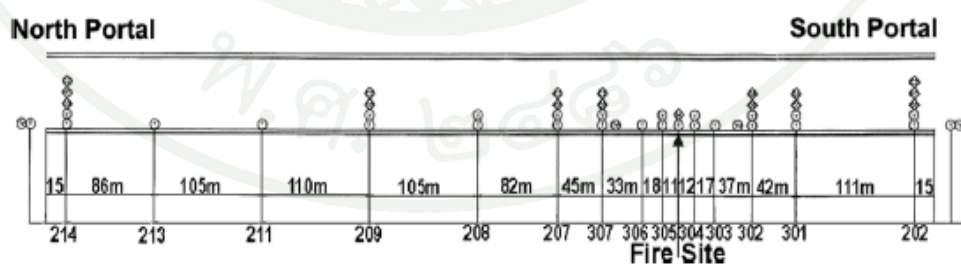


ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลของอุณหภูมิกับเวลาที่ตำแหน่งต่างๆของการจำลองโดยโปรแกรม CFX
เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงของ Raunaq Hasib

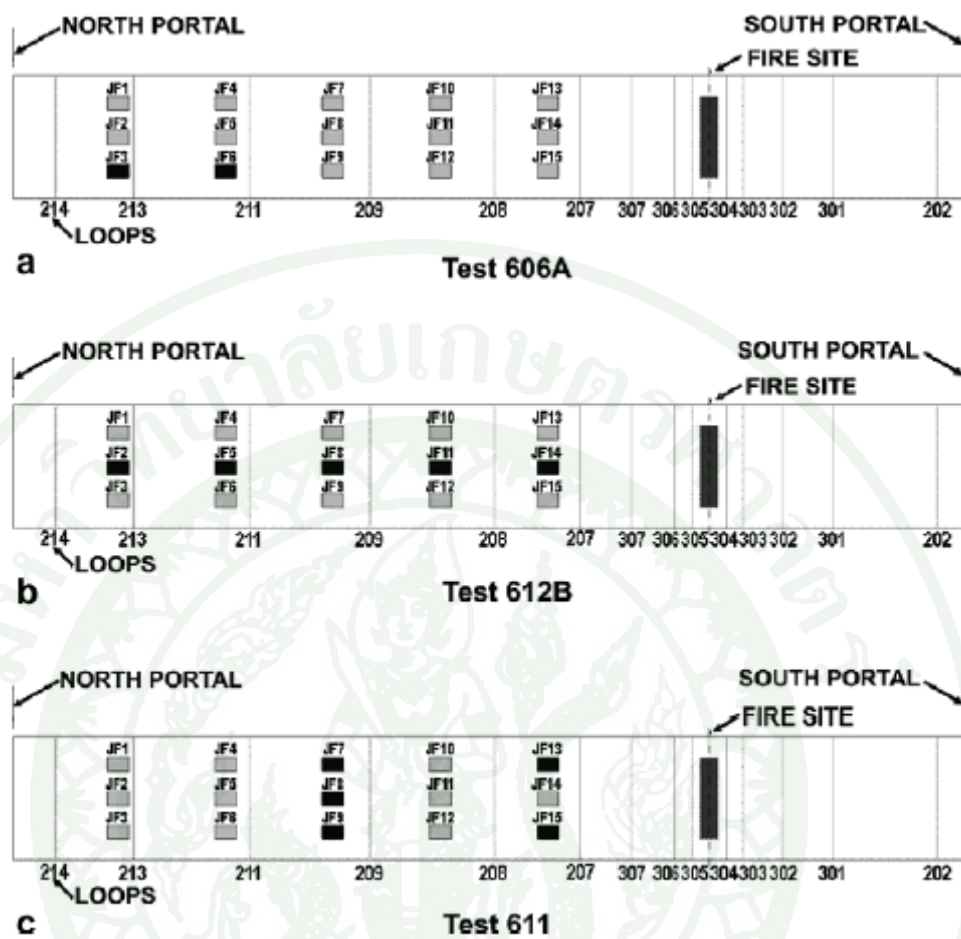


ภาพที่ 4 (ต่อ)

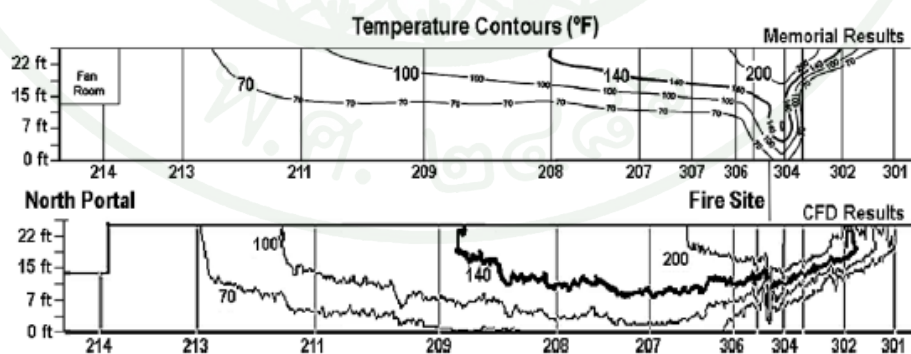
Vega (2008) ได้จำลองพฤติกรรมของอัคคีภัยในระบบหมุนเวียนอากาศตามแนวยาว (Longitudinal Ventilation System) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Fluent v6.0 แก่ระบบสมการ Navier-Stoke เปรียบเทียบกับการทดลองจริงโดยใช้ผลของอุณหภูมิเปรียบเทียบ โดยได้ผลอุณหภูมิจากการทดลองจริงและการจำลองที่สอดคล้องกันตามภาพตัวอย่างของ Temperature contours ของผลการจำลองโดยโปรแกรม Fluent เปรียบเทียบกับการทดลองจริงของ Monica Galdo Vega ที่เวลาและการทดลองที่ต่างกัน ดังภาพต่อไปนี้



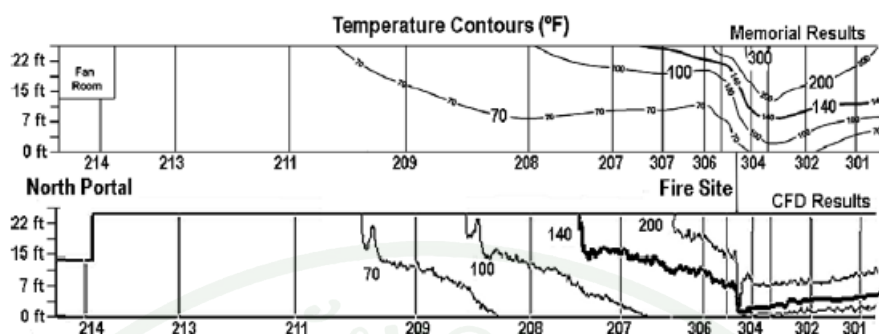
ภาพที่ 5 ภาพแสดง Layout การทดลองจริงของ Monica Galdo Vega



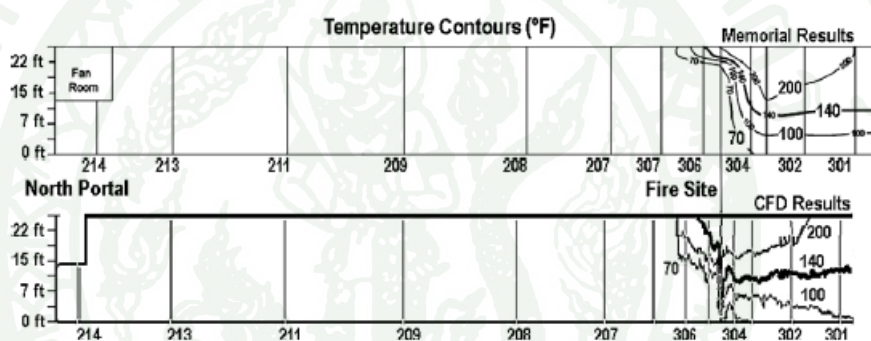
ภาพที่ 6 ภาพแสดง Layout การทดลองจริงแบบ 606A, 612B และ 611



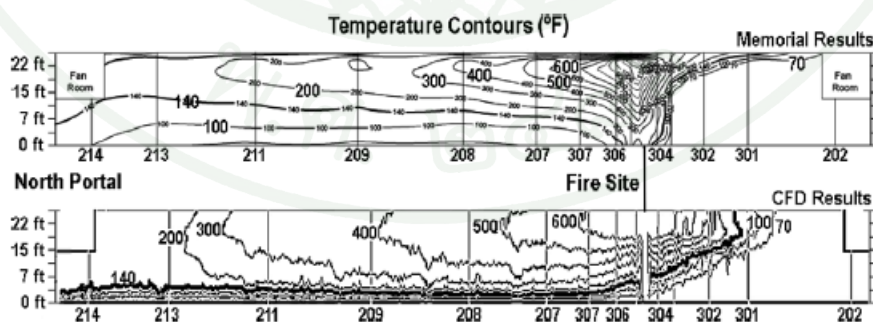
ภาพที่ 7 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 300 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 606A เปรียบเทียบกับการจำลอง



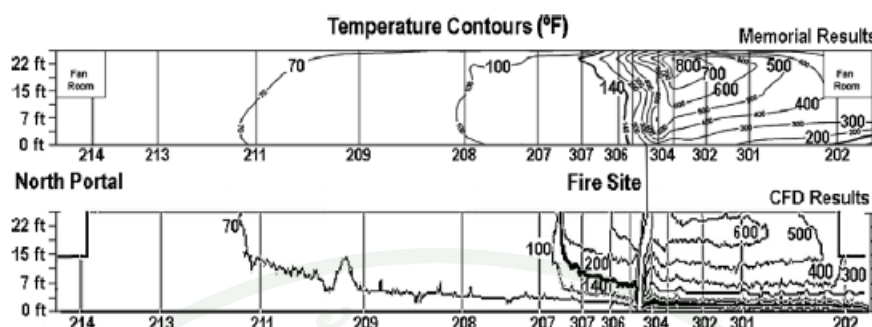
ภาพที่ 8 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 480 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 606A เปรียบเทียบกับการจำลอง



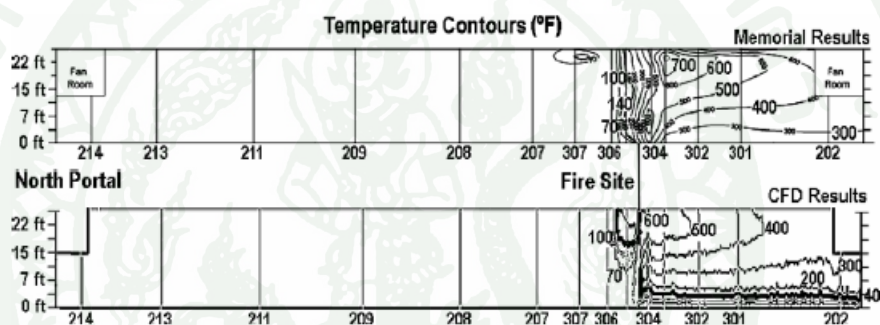
ภาพที่ 9 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 600 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 606A เปรียบเทียบกับการจำลอง



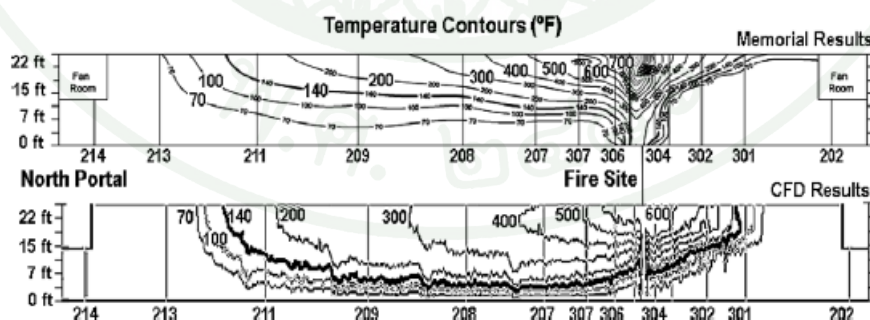
ภาพที่ 10 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 300 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 612B เปรียบเทียบกับการจำลอง



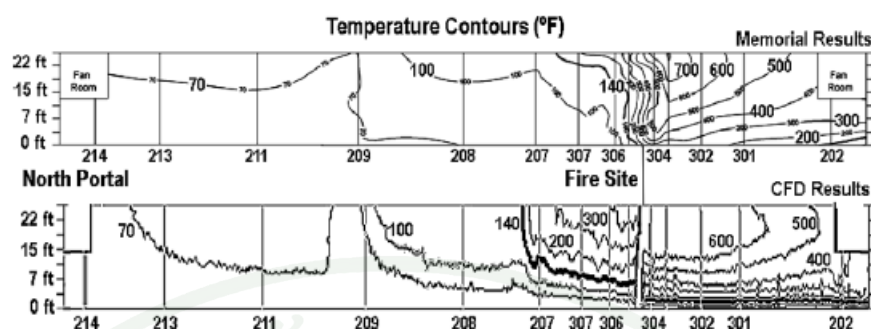
ภาพที่ 11 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 480 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 612B เปรียบเทียบกับการจำลอง



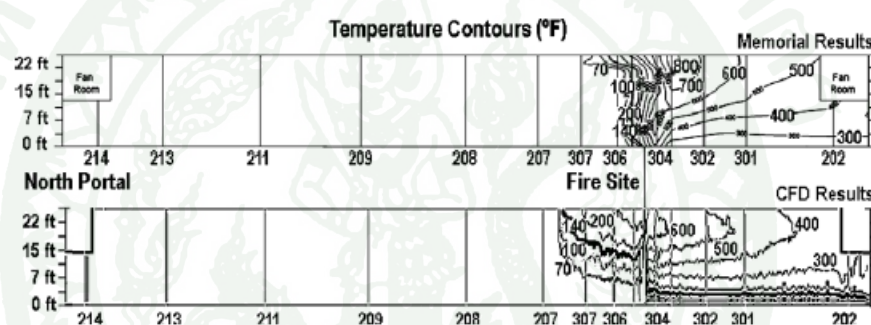
ภาพที่ 12 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 600 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 612B เปรียบเทียบกับการจำลอง



ภาพที่ 13 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 120 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 611 เปรียบเทียบกับการจำลอง



ภาพที่ 14 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 480 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 611 เปรียบเทียบกับการจำลอง



ภาพที่ 15 Contours ของอุณหภูมิที่เวลา 600 วินาทีของการทดลองจริงแบบ 611 เปรียบเทียบกับการจำลอง

ชัยณรงค์ (2549) ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อวกาศเพื่อศึกษากรณีการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในห้องเครื่องส่งลมเย็นภายในอาคารสูง ซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน และนำข้อมูลที่ได้รับจากโปรแกรมมาทำการพิจารณาการออกแบบปรับปรุงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอวกาศเพื่อพัฒนาเวลาในการตอบสนองของระบบตรวจจับอวกาศ

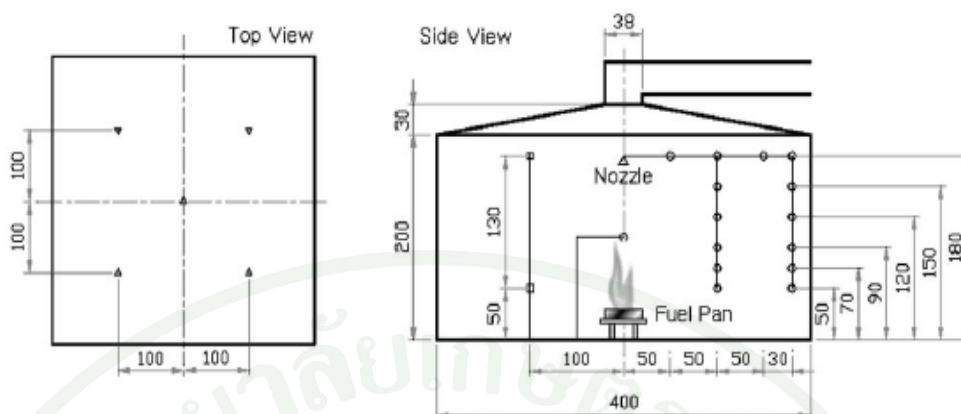
วีรวิทย์ (2549) ทำการศึกษาและจำลองเหตุอวกาศเพื่อออกแบบระบบป้องกันอวกาศของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป 3 ส่วนที่นำมาประกอบกัน คือ โปรแกรม Fire Dynamics Simulator โปรแกรม Smokeview และโปรแกรม PyroSim โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการเกิดอวกาศในอากาศยานชนิด Airbus 380 (A380) ที่สามารถโดยสาร

ได้มากกว่า 555 คน โดยการจำลองจะครอบคลุม การศึกษาพลศาสตร์อัคคีภัย การออกแบบระบบ ตรวจจับความร้อนบนห้องสินค้าบนอากาศยานส่วนหน้า เพื่อที่จะนำผลมาเสนอแนะการปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนขอระบบป้องกันอัคคีภัยและระบบตรวจจับความร้อน

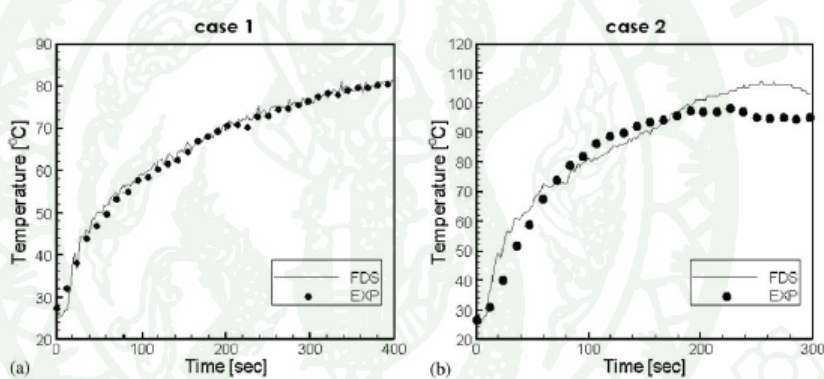
กิตติสันต์ (2550) ทำการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการศึกษาพฤติกรรมของไฟ และการแพร่กระจายของควันจากการจำลองเพลิงไหม้ถึงเก็บน้ำมันดีเซลขนาดใหญ่ โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ คือ โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) และยังแนะนำการอพยพหนีไฟเมื่อเกิดเพลิงไหม้ถึงน้ำมันดีเซลด้วย

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการศึกษาการเกิดอัคคีภัยและเสนอมาตรการป้องกันหรือดับเพลิงเพิ่มเติมจากส่วนที่มีอยู่ เช่น เพิ่มระบบการระบายควัน การติดตั้งหัวฉีดดับเพลิง หรืออุปกรณ์ตรวจจับเพื่อป้องกันอัคคีภัย ส่วนในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการจำลองพฤติกรรมการดับเพลิงด้วยน้ำโดยเฉพาะด้วยหมอกน้ำ (Water mist fire suppression) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณยังมีเป็นจำนวนน้อย และโดยส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยในต่างประเทศ อาทิเช่น

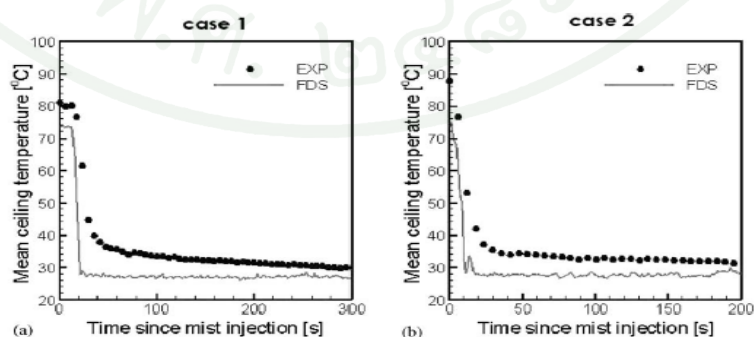
Kim and Ryou (2003) ได้ทำการทดลองการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำในห้องขนาด 4.0 m x 4.0 m x 2.3 m แล้วทำการวัดอุณหภูมิเทียบกับเวลาด้วย Thermocouples ชนิด K ปริมาณความเข้มข้นของ Oxygen วัดโดย Gas analyzer ซึ่งพบช่วงที่แตกต่างกันสองช่วงในการกระจายตัวของอุณหภูมิ คือ ช่วงที่อุณหภูมิเย็นลงอย่างรวดเร็ว และ ช่วงที่อุณหภูมิลดลงอย่างช้าๆ และได้ทำการจำลองแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS Version 3.0) เปรียบเทียบกับการทดลองจริงได้ผลของอุณหภูมิเทียบกับเวลาที่สอดคล้องกัน ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 16 ภาพแสดง Layout การทดลองจริงของ Sung Chan Kim และ Hong Sun Ryou

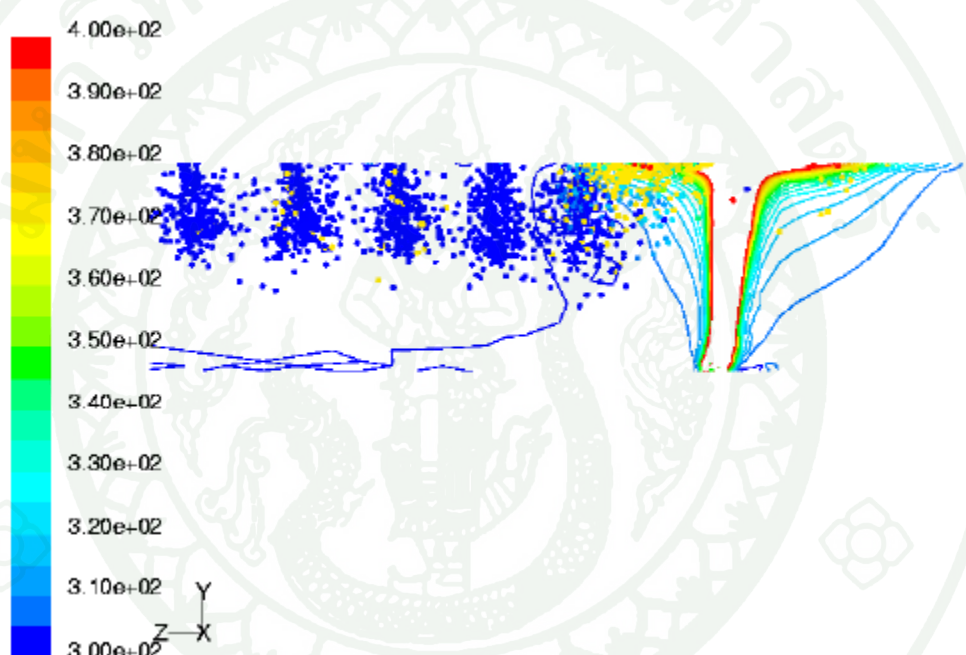


ภาพที่ 17 ผลของอุณหภูมิกับเวลาของการจำลองโดยโปรแกรม FDS เปรียบเทียบกับการทดลองจริงของ Sung Chan Kim และ Hong Sun Ryou เมื่อยังไม่มีกรีดหมอกน้ำ

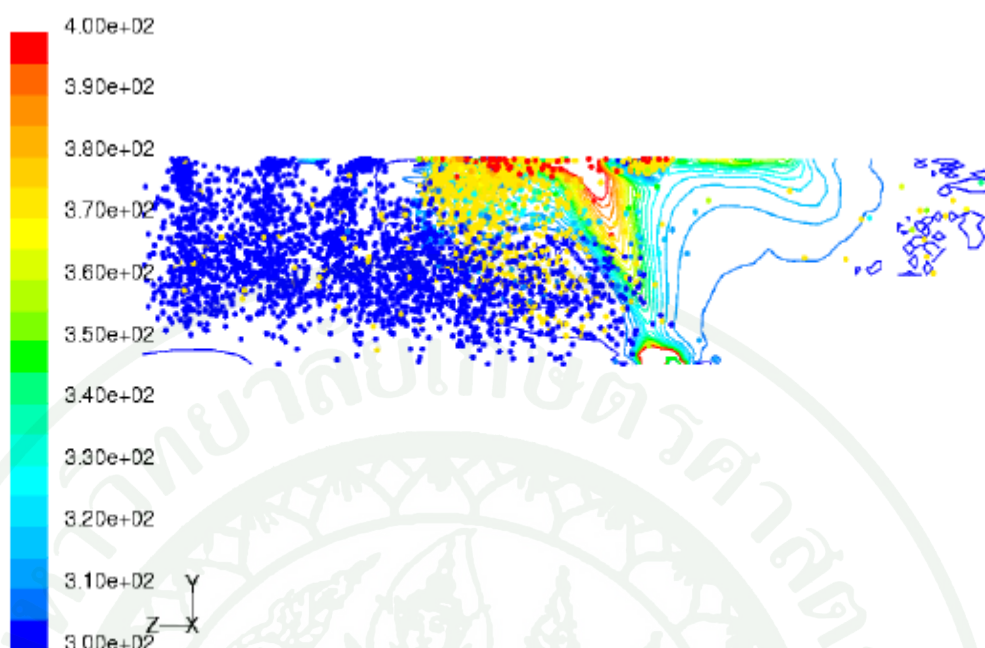


ภาพที่ 18 ผลของอุณหภูมิกับเวลาของการจำลองโดยโปรแกรม FDS เมื่อมีการกรีดหมอกน้ำของ Sung Chan Kim และ Hong Sun Ryou

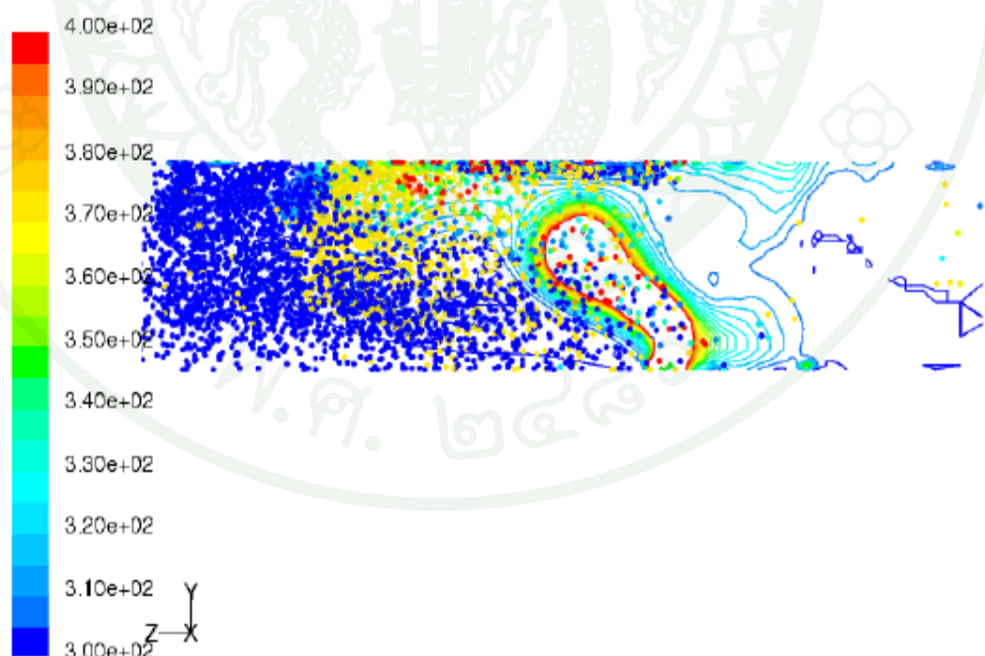
HART (2003) ได้ทำการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ โดยใช้โปรแกรม Fluent โดยแบบจำลองของอณูกลีภัยใช้ Non-Premixed Combustion Model และแบบจำลองของหมอกน้ำใช้ Lagrangian Discrete Phase Model โดยใช้แบบจำลองอุโมงค์สามมิติ โดยมีหัวฉีดหมอกน้ำ 6 หัว โดยมีการจำลองกรณีอัตราการไหลของมวลน้ำที่ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที และ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของหมอกน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ไมโครเมตร ว่าการกระจายตัวของหมอกน้ำมีลักษณะเป็นพุ่มกล่าวคือการกระจายขยายพื้นที่มากขึ้นเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดมากขึ้น ดังภาพต่อไปนี้



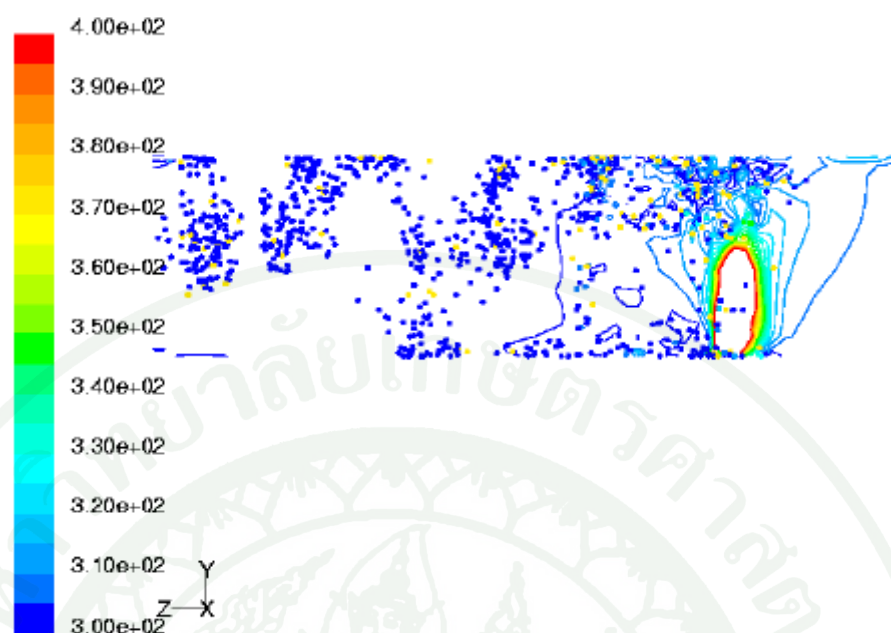
ภาพที่ 19 การกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที



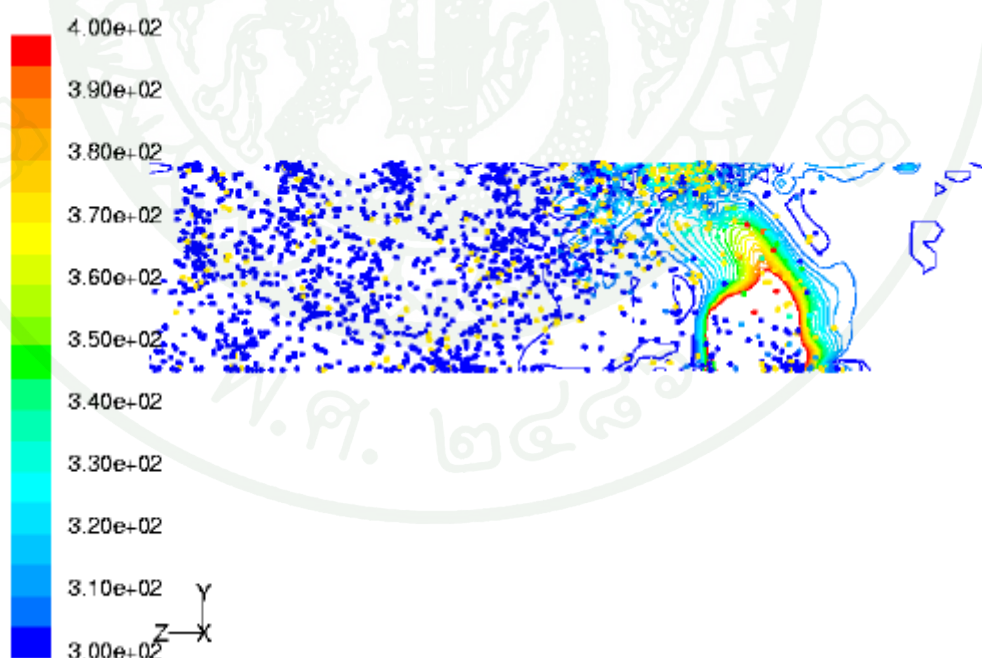
ภาพที่ 20 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 4 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที



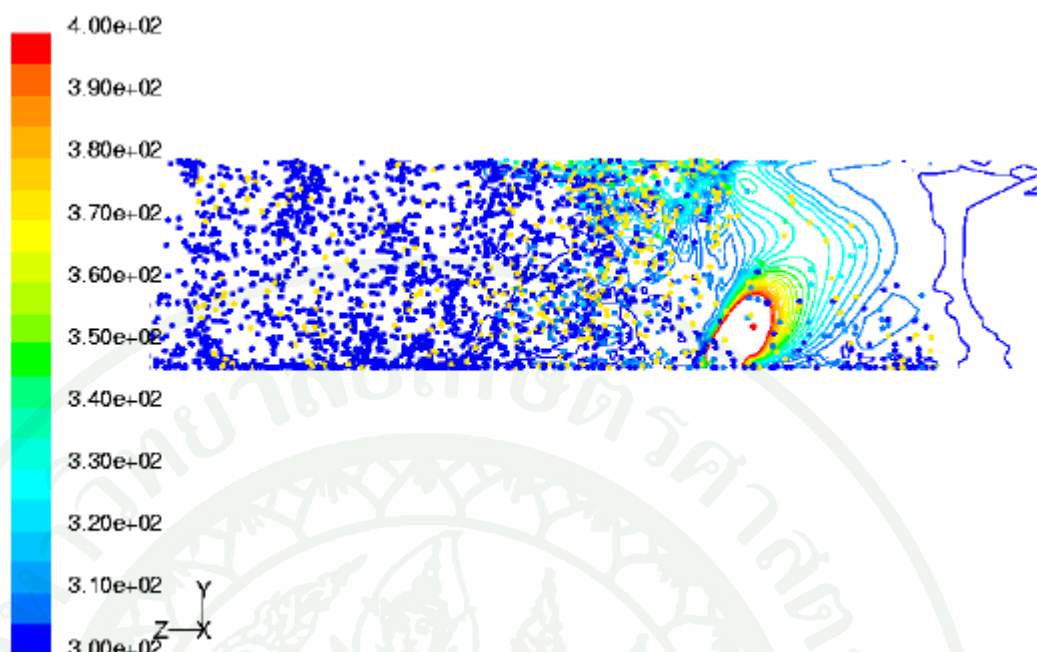
ภาพที่ 21 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที



ภาพที่ 22 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 1 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที



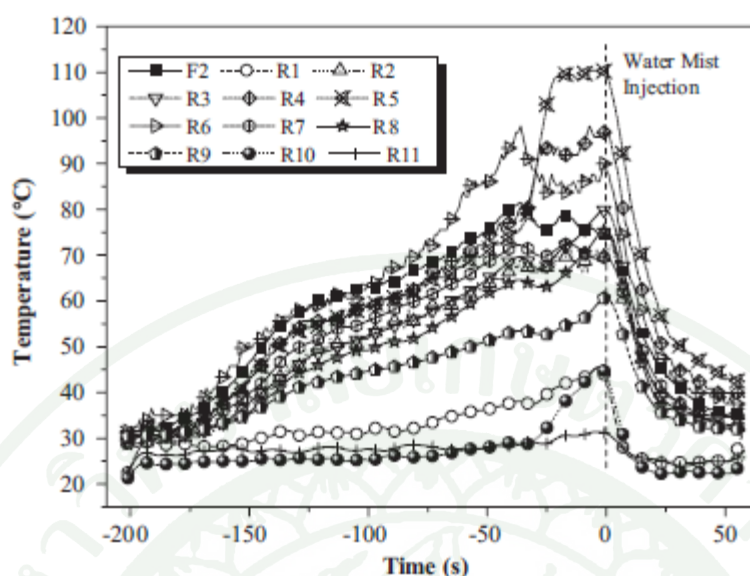
ภาพที่ 23 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที



ภาพที่ 24 การกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 3 วินาที เมื่อใช้หัวฉีดที่มีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที

Adiga (2007) ได้ทดลองดับเพลิงด้วยหมอกน้ำขนาดเล็กมาก ($<10\ \mu\text{m}$) ในห้องขนาดปริมาตร 28 ลูกบาศก์เมตร ได้โมเมนต์ของน้ำที่ออกจากหัวฉีดที่น้อยกว่า $1\ \text{m/s}$ แล้วได้จำลองแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม Fluent และใช้ระเบียบวิธี Lagrangian Discrete Phase Model (DPM) สำหรับจำลองหมอกน้ำ พบว่าหมอกน้ำขนาดเล็กมาก หรือ Ultra fine mist (UFM) มีพฤติกรรมเหมือนก๊าซที่หนาแน่น และพบว่าผลการจำลองแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงได้ข้อมูลที่สอดคล้องกัน

Chen (2008) ทำการศึกษาการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ (Water mist fire suppression) ภายใต้อัตราความเร็วระบายอากาศตามแนวยาว (Longitudinal ventilation velocity) ที่แตกต่างกันภายในอุโมงค์ โดยเป็นการทดลองแบบย่อขนาด (Scaling) จากการทดลองจริงของ Siemens Building Technologies ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยใช้หัวฉีดหมอกน้ำสองชนิดในการดับเพลิงจากถังไม้ ภายใต้อัตราความเร็วระบายอากาศ 5 ค่า ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 25 ผลการทดลองจริงของการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำของ Lvyi Chen

จากการตรวจสอบเอกสารข้างต้นทำให้พบว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการดับเพลิงของหมอกน้ำ อันได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิ และขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิ เป็นส่วนที่ยังไม่มีการศึกษาในทางลึก และการศึกษาโดยการทดลองนั้นทำได้ยากอันเนื่องจากขาดชุดทดลอง ซึ่งการจัดสร้างนั้นต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง การศึกษาโดยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม Fluent จึงเป็นการศึกษาที่ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบดับเพลิงด้วยหมอกน้ำต่อไปในอนาคต

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การดับเพลิงด้วยน้ำ

การดับเพลิงด้วยน้ำเป็นวิธีการดับเพลิงที่เป็นที่นิยมวิธีหนึ่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน น้ำสามารถหาได้ง่ายกว่าสารดับเพลิงประเภทอื่นเพราะมนุษย์มีใช้อยู่ในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว การใช้ น้ำดับเพลิงนั้นไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ไม่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ น้ำมีกลไกในการดับเพลิงโดยการดูดซับความร้อนโดยตรงจากเปลวไฟ จากผลผลิตจากการเผาไหม้ และจากผิว

ของเชื้อเพลิงด้วยคุณสมบัติทั้งค่าความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงที่สูง รวมถึงการสามารถแทนที่ออกซิเจน และลดการการถ่ายเทรังสีความร้อนในปฏิกิริยาการเผาไหม้

สำหรับการดับเพลิงด้วยน้ำที่มีการติดตั้งแบบอัตโนมัติสามารถแบ่งได้เป็น แบบระบบฉีดน้ำฝอยดับเพลิง และระบบหมอกน้ำดับเพลิง

ระบบฉีดน้ำฝอยดับเพลิง (Water Spray Fixed System)

เป็นระบบสำหรับควบคุมการลุกไหม้ (fire control) การดับเพลิง (extinguishment) การป้องกันไม่ให้เกิดเพลิงไหม้ (fire prevention) และการป้องกันพื้นที่โดยรอบ (exposure protection) ระบบฉีดน้ำฝอยดับเพลิงเหมาะสำหรับใช้ป้องกันอันตราย ดังนี้

1. ของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ
2. อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า Oil switch มอเตอร์ รางเคเบิล
3. วัสดุติดไฟได้ทั่วไป เช่น กระดาษ ไม้ และผ้า
4. ของแข็งอันตรายบางชนิด เช่น Propellant และ pyrotechnics

หัวฉีดกระจายน้ำฝอย (Water Spray Nozzle) หัวฉีดสำหรับระบบฉีดน้ำฝอยดับเพลิง จะต้องผ่านการทดสอบและได้รับมาตรฐานจากสถาบันที่เชื่อถือได้ โดยที่หัวฉีดจะต้องมีการแบ่งบอกรายละเอียดต่างๆลงบนหัวฉีดอย่างถาวร เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ รุ่น ขนาดของหัวฉีด (Orifice) เป็นต้น ถ้าต้องการติดตั้งหัวฉีดในสภาพแวดล้อมที่กัดกร่อน จะต้องเป็นหัวฉีดที่เคลือบป้องกันการกัดกร่อนในระหว่างกระบวนการผลิต ต้องมีหัวฉีดแบบปิดและหัวตรวจจับ (pilot sprinkler) สำรองไว้เพื่อทดแทนได้อย่างทันที โดยจำนวนที่สำรองจะขึ้นอยู่กับจำนวนของหัวฉีดแบบปิด หรือหัวตรวจจับที่มีอยู่ในระบบ

ระบบหมอกน้ำดับเพลิง (Water Mist System)

เป็นระบบดับเพลิงด้วยวิธีการใช้น้ำที่มีการฉีดเป็นละอองฝอยละเอียดคล้ายหมอก เพื่อทำการดูดซับความร้อน กั้นออกซิเจน หรือเป็นการกั้นรังสีความร้อน เพื่อควบคุม และเพื่อระงับอัคคีภัย ระบบน้ำดับเพลิงแบบหมอกน้ำ เป็นระบบป้องกันอัคคีภัยที่มีการใช้น้ำที่เป็นละออง

ฝอยละเอียดมาก ความละเอียดของละอองฝอยของหยดน้ำปริมาณมากทำให้เกิดเป็นสภาพเหมือนหมอก โดยมีคุณสมบัติในการควบคุมและการดับเพลิงได้ด้วยการลดความร้อนของเปลวไฟ การสกัดกั้นออกซิเจนโดยฝอยน้ำที่ระเหยเป็นไอ และกั้นรังสีความร้อน ระบบหมอกน้ำดับเพลิงถูกใช้งานอย่างกว้างขวางกับวัตถุประสงค์ในการป้องกันอัคคีภัยแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

1. การดับเพลิง
2. การหยุดยั้งเพลิงไหม้
3. การควบคุมเพลิงไหม้
4. การควบคุมอุณหภูมิ
5. การป้องกันพื้นที่โดยรอบ

ระบบหมอกน้ำดับเพลิงสามารถแบ่งแยกได้ตามประเภทของความดันใช้งานของระบบทั้งหมด 3 ระบบ คือ

ระบบความดันต่ำ (Low Pressure System) ความดันใช้งานในระบบจะเท่ากับ 12.1 บาร์ (175 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หรือน้อยกว่า

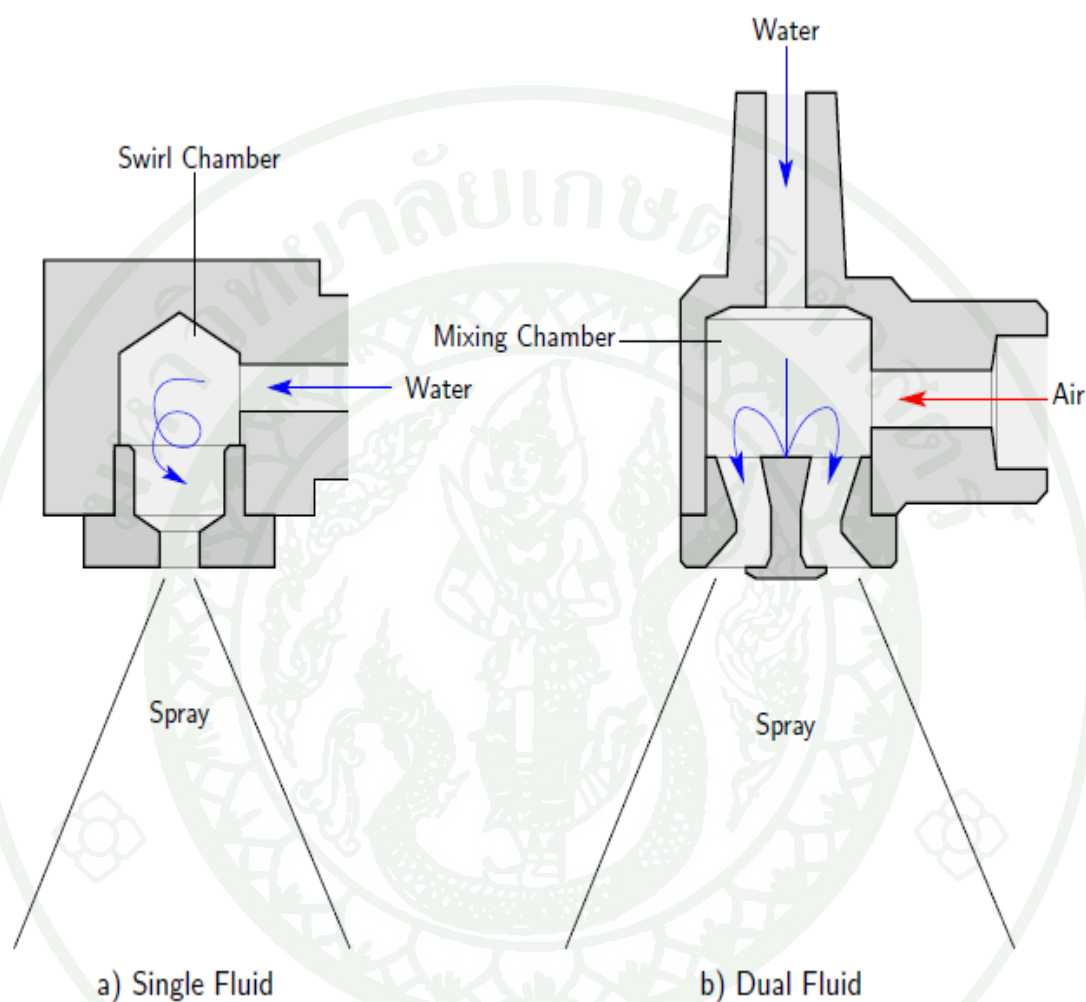
ระบบความดันปานกลาง (Intermediate Pressure System) ความดันใช้งานในระบบจะต้องมากกว่า 12.1 บาร์ (175 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) แต่ไม่น้อยกว่า 34.5 บาร์ (500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

ระบบความดันสูง (High Pressure System) ความดันใช้งานในระบบ จะเท่ากับ 34.5 บาร์ (500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หรือมากกว่า

หัวฉีด (Discharge Nozzle) สำหรับระบบหมอกน้ำดับเพลิง จะต้องผ่านการทดสอบและได้รับมาตรฐานรับรองจากสถาบันที่เชื่อถือได้ โดยที่หัวฉีดจะต้องมีการบ่งบอกรายละเอียดต่างๆลงบนหัวฉีดอย่างถาวร เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ รุ่น ขนาดของช่องฉีด (Orifice) เป็นต้น

สำหรับนิยามของหมอกน้ำที่ทาง NFPA (National Fire Protection Association ของสหรัฐอเมริกา) กล่าวไว้คือ 99% ของปริมาตรเป็นหยดน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1000 ไมโครเมตร

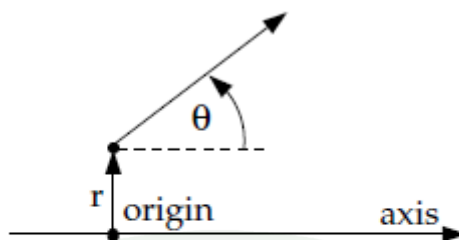
หัวฉีด (Nozzle) มีหน้าที่ทำการเปลี่ยนแปลงการไหลแบบต่อเนื่องของของไหลให้เป็นหยด ชนิดของหัวฉีดที่ใช้โดยทั่วไปนั้นแบ่งเป็นแบบ Single fluid และ Dual fluid ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 26 แสดงหัวฉีดแบบ Single fluid และ Dual fluid

สำหรับมุมกรวยของหัวฉีดที่ใช้ในการจำลองโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของโปรแกรม Fluent มีลักษณะเป็นดังภาพต่อไปนี้

เมื่อ r คือ รัศมีของหัวฉีด และ θ คือ มุมกรวยของหัวฉีด



ภาพที่ 27 แสดงมุมกรวยและรัศมีของหัวฉีดใน โปรแกรม Fluent

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย การจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเป็นการแก้ระบบสมการ Navier-Stokes ซึ่งเป็นระบบสมการของ สมการเชิงอนุพันธ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน ซึ่งได้ประจักษ์ขึ้นจากความจริงที่ว่า มวลนั้นไม่มีการสูญหาย การใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน และพลังงานนั้นไม่มีการสูญหาย ตามลำดับ

การศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคจะทำโดยอาศัยหลักการของการไหลที่กำหนดให้เป็น การไหลแบบปั่นป่วน(Turbulence) ที่สภาวะไม่คงตัว (Unsteady) แบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible) ในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ ส่วนการกระจายตัวของหมอกน้ำจะใช้หลักการของ Lagrangian Discrete Phase Model (DPM) ซึ่งมีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

สมการกฎทรงมวล (Continuum Equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

สมการกฎทรงโมเมนตัม (Momentum Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla(\rho \vec{v}) = -\nabla p + \nabla(\bar{\vec{\tau}}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

สมการกฎทรงพลังงาน (Energy Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla(\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j J_j + (\bar{\vec{\tau}} \cdot \vec{v})) + S_h \quad (3)$$

สมการ $k - \varepsilon$ มาตรฐานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (Standard $k - \varepsilon$ model)

แบบจำลองการปั่นป่วนที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 2 สมการโดยพิจารณาผลของการพาและการแพร่แบบปั่นป่วนของพลังงาน 2 ตัวแปรคือ Turbulent Kinetic Energy ซึ่งบ่งบอกถึงพลังงานจลน์ปั่นป่วน และ Dissipation ที่แสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทของอัตราการสลายตัวของพลังงานจลน์ปั่นป่วน

สมการพลังงานจลน์ปั่นป่วน (Turbulent Kinetic Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

สมการการถ่ายเทของอัตราการสลายตัวของพลังงานจลน์ปั่นป่วน (Dissipation Rate Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (5)$$

เมื่อ $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$

และ turbulent viscosity, μ_t หาได้จากสมการ

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

เมื่อ C_μ เป็นค่าคงที่

Lagrangian Discrete Phase Model (DPM) สำหรับจำลองหมอกน้ำ

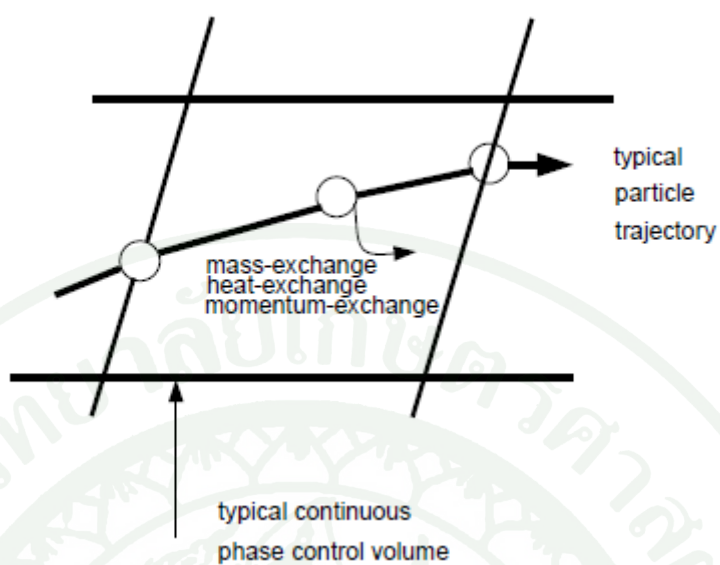
เส้นทางโคจร (Trajectory) ของอนุภาคของหมอกน้ำหาได้จากสมการ

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (7)$$

เมื่อเทอมแรกคือ แรงต้าน เทอมที่สองคือแรงโน้มถ่วง และเทอมที่สามคือแรงอื่นๆ แรงต้านหาได้จาก

$$F_D = \frac{18 \mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D \text{Re}}{24} \quad (8)$$

การจำลองการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำในโปรแกรม Fluent จะเป็นการนำเอา Discrete phase ที่จำลองการกระจายตัวของหมอกน้ำกับ Continuous phase ที่จำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิจากแหล่งความร้อนให้มีการแลกเปลี่ยนมวล โมเมนตัม และความร้อนกัน ดังแสดงในภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 28 การแลกเปลี่ยนมวล โมเมนตัม และความร้อน ระหว่าง Continuous phase และ Discrete phase ในโปรแกรม Fluent

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลาง 2.2 GHz และหน่วยความจำ 2 GB
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Fluent 6.2

วิธีการ

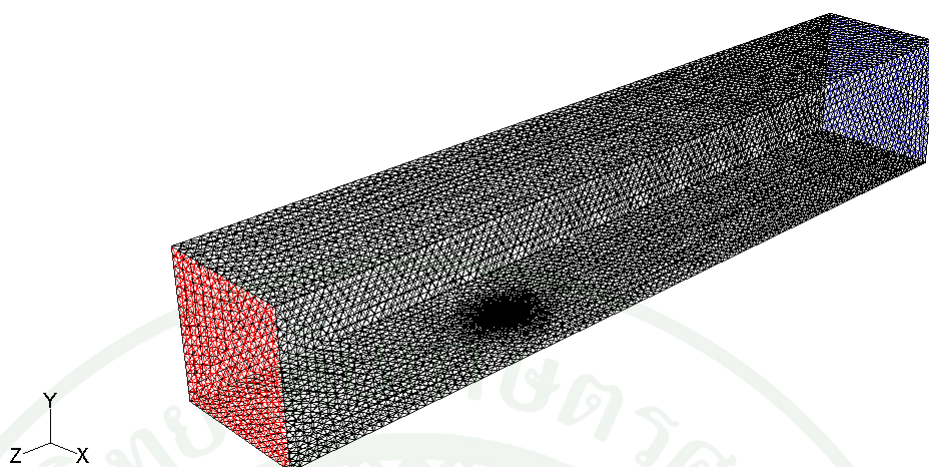
1. การเปรียบเทียบการจำลองการดับเพลิงของหมอกน้ำกับงานวิจัยของ HART (2003)

การศึกษาในขั้นต้นทำโดยสร้างแบบจำลองการดับเพลิงของหมอกน้ำโดยทำการเปรียบเทียบ (Validation) กับผลการจำลองจากงานวิจัยของ HART, R.A. (2003) ซึ่งเป็นการจำลองการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำโดยใช้โปรแกรม Fluent ที่ใช้การจำลองอักษิภยในลักษณะ Non-Premixed Combustion Model และส่วนการจำลองการฉีดหมอกน้ำจะใช้หลักการของ Lagrangian Discrete Phase Model ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองของ Hart เป็นการจำลองในลักษณะ 3 มิติ โดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีความยาว 24 เมตร แต่จะจำลองเพียงครึ่งหนึ่งคือ 12 เมตร เนื่องจากความยาวสมมาตรกันเพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณลง และมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \text{ m}^2$ ที่ปลายทั้งสองด้านของอุโมงค์จะเป็นส่วนของช่องลมเข้าและช่องลมออก โดยที่กริดทั้งหมดมีจำนวน 150,000 กริด แหล่งความร้อนเป็นแบบ Non-Premixed Combustion มีความร้อนขนาด 50.45 kW และมีการฉีดเชื้อเพลิงขึ้นมาผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งกลางพื้นอุโมงค์ขนาดด้านละ 5 เซนติเมตร และอยู่ที่ตำแหน่งระยะ 8 เมตรห่างจากช่องลมเข้า หัวฉีดหมอกน้ำมีจำนวน 6 หัวที่กลางเพดานอุโมงค์โดยหัวฉีดที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่งที่ระยะ 3 เมตรจากช่องลมเข้าแล้วมีระยะห่างหัวฉีดละ 1 เมตรจนไปถึงด้านบนของแหล่งความร้อน สำหรับช่องลมเข้ามีการกำหนดค่าของความเร็วลมเป็น 0.1 เมตรต่อวินาที ไหลจากช่องลมเข้าผ่านไปจนถึงช่องลมออก สำหรับหมอกน้ำของแต่ละหัวฉีดมีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที มีเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำขนาด 50 ไมโครเมตร โดยมีขนาดมุมกรวยในการฉีด 35° ความเร็วเริ่มต้นของหมอกน้ำคือ 0.1 เมตรต่อวินาที และน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 300 K โดยใช้ time step เท่ากับ 0.02 วินาที

ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองที่ศึกษาของผู้วิจัยเป็นการจำลองในลักษณะ 3 มิติ โดยเลือกการจำลองโดยใช้โปรแกรม Fluent สาเหตุที่เลือกใช้โปรแกรม Fluent ในการทดลองเนื่องจากเลือกจากทรัพยากรโปรแกรมที่มีให้จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีความยาว 12 เมตรตามแบบการจำลองของ Hart มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \text{ m}^2$ ที่ปลายทั้งสองด้านของอุโมงค์จะเป็นส่วนของช่องลมเข้าและช่องลมออก โดยที่กริดทั้งหมดมีจำนวน 172,215 กริด แหล่งความร้อนเป็นแบบ ฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Heat flux) ที่ไม่พิจารณาการเผาไหม้ สาเหตุที่เลือกใช้เป็นแบบ heat flux ไม่เลือกพิจารณาการเผาไหม้แบบของ Hart เนื่องจากผู้วิจัยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการจำลอง การเลือกใช้ heat flux จึงเหมาะสมกว่าเพราะการพิจารณาการเผาไหม้นั้นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะมีความสามารถในการคำนวณที่ช้า โดยแหล่งความร้อนมีการให้ความร้อนโดยตรงและขนาด $20,180 \text{ kW/m}^2$ ผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งกลางพื้นอุโมงค์ขนาดด้านละ 5 เซนติเมตร และอยู่ที่ตำแหน่งระยะ 8 เมตรห่างจากช่องลมเข้า ขนาดความร้อน $20,180 \text{ kW/m}^2$ ที่ใช้นั้น คำนวณมาจากความร้อนขนาด 50.45 kW ของ Hart มาทำการเปลี่ยนให้เป็น heat flux ต่อหน่วยพื้นที่ ที่มีขนาด 0.0025 ตารางเมตร หัวฉีดหมอกน้ำมีจำนวน 6 หัวที่กลางเพดานอุโมงค์โดยหัวฉีดที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่งที่ระยะ 3 เมตรจากช่องลมเข้าแล้วมีระยะห่างหัวฉีดละ 1 เมตรจนไปถึงด้านบนของแหล่งความร้อน สำหรับช่องลมเข้ามีการกำหนดค่าของความเร็วลมเป็น 0.1 เมตรต่อวินาที ไหลจากช่องลมเข้าผ่านไปจนถึงช่องลมออก สำหรับหมอกน้ำของแต่ละหัวฉีดมีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที มีเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำขนาด 50 ไมโครเมตร โดยมีขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำที่ 35° ความเร็วเริ่มต้นของหมอกน้ำคือ 0.1 เมตรต่อวินาที และน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 300 K โดยใช้ time step เท่ากับ 0.02 วินาที



ภาพที่ 29 แบบจำลองจากงานวิจัยของ Hart



ภาพที่ 30 แบบจำลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับของ Hart

2. การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำอันเนื่องมาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำ

เนื่องจากผู้วิจัยมีข้อสันนิษฐานว่าหมอกน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะกระจายตัวเป็นพลุ่มได้ฟุ้งกระจายกว่าหมอกน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่หรือไม่ จึงทำการศึกษาด้วยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำจาก 50 ไมโครเมตร จนถึง 1,000 ไมโครเมตร โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำที่ 50 ไมโครเมตร, 100 ไมโครเมตร, 150 ไมโครเมตร, 200 ไมโครเมตร, 250 ไมโครเมตร, 500 ไมโครเมตร, 750 ไมโครเมตร และ 1,000 ไมโครเมตร โดยนำผลการจำลองที่วินาทีที่ 3 หลังจากฉีดหมอกน้ำมาเปรียบเทียบ โดยใช้หัวฉีดที่มีมุมกวาดที่ 35°

การศึกษการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการกระจายตัวของอุณหภูมิ จะทำการจำลองในลักษณะทางกายภาพที่มีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีความยาวเหลือ 8 เมตร เพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณลง และจำนวนหัวฉีดลดลงเหลือเพียง 5 หัว และช่องลมเข้ากำหนดให้ความเร็วลมเป็นศูนย์

ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองที่ศึกษาเป็นการจำลองในลักษณะ 3 มิติ โดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีความยาว 8 เมตร และมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \text{ m}^2$ ที่ปลายทั้งสองด้านของอุโมงค์จะเป็นส่วนของช่องลมเข้าและช่องลมออก โดยที่กริดทั้งหมดมีจำนวน 119,285 กริด แหล่งความร้อนเป็นแบบ ฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Heat flux) ที่ไม่พิจารณาการเผาไหม้โดยแหล่ง

ความร้อนมีการให้ความร้อนโดยตรงและขนาด $20,180 \text{ kW/m}^2$ ผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งกลางพื้นอุโมงค์ขนาดด้านละ 5 เซนติเมตร และอยู่ที่ตำแหน่งระยะกึ่งกลางของอุโมงค์ หัวฉีดหมอกน้ำมีจำนวน 5 หัวที่กลางเพดานอุโมงค์โดยหัวฉีดที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่งที่ระยะ 2 เมตรจากช่องลมเข้าแล้วมีระยะห่างหัวฉีดละ 1 เมตร ผ่านด้านบนของแหล่งความร้อน สำหรับช่องลมเข้ามีการกำหนดค่าของความเร็วลมเป็นศูนย์ สำหรับหมอกน้ำของแต่ละหัวฉีดมีอัตราการไหลของมวลน้ำ $0.016 \text{ กิโลกรัมต่อวินาที}$ โดยมีขนาดมุมกรวยในการฉีด 35° ความเร็วเริ่มต้นของหมอกน้ำคือ $0.1 \text{ เมตรต่อวินาที}$ และน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 300 K โดยใช้ time step เท่ากับ 0.02 วินาที

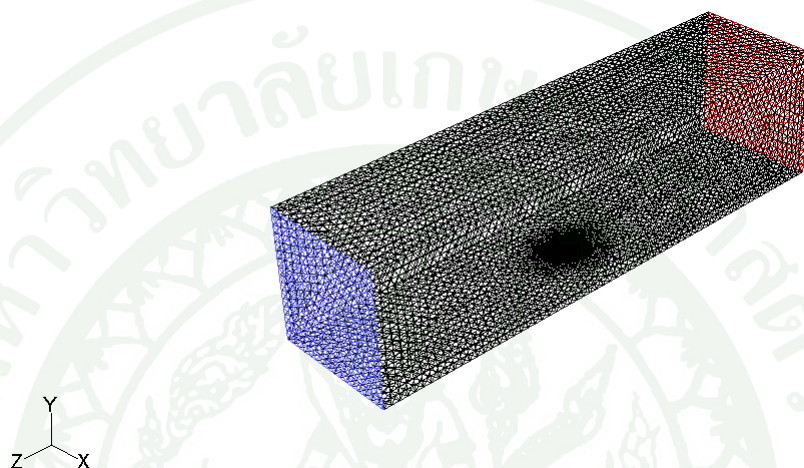
3. การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำอันเนื่องมาจากมุมกรวยของหัวฉีด

เนื่องจากผู้วิจัยมีข้อสันนิษฐานว่าเมื่อมุมกรวยของหัวฉีดมีขนาดใหญ่มกกว่านั้นหมอกน้ำจะกระจายเป็นพุ่มได้ฟุ้งกระจายกว่ามุมกรวยของหัวฉีดมีขนาดเล็กกว่าหรือไม่ จึงทำการศึกษด้วยการเปลี่ยนขนาดมุมกรวยของหัวฉีดจาก 30° จนถึง 90° โดยใช้มุมกรวยของหัวฉีดที่ $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ และ 90° โดยนำผลการจำลองที่วินาทีที่ 3 หลังจากฉีดหมอกน้ำมาเปรียบเทียบ โดยกำหนดให้หมอกน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่ที่ 50 ไมโครเมตร

การศึกษการเปลี่ยนแปลงมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการกระจายตัวของอุณหภูมิจะทำการจำลองในลักษณะทางกายภาพที่มีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีความยาวเหลือ 8 เมตร เพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณลง และจำนวนหัวฉีดลดลงเหลือเพียง 5 หัว และช่องลมเข้ากำหนดให้ความเร็วลมเป็นศูนย์

ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองที่ศึกษาเป็นการจำลองในลักษณะ 3 มิติ โดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีความยาว 8 เมตร และมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \text{ m}^2$ ที่ปลายทั้งสองด้านของอุโมงค์จะเป็นส่วนของช่องลมเข้าและช่องลมออก โดยที่กริดทั้งหมดมีจำนวน 119,285 กริด แหล่งความร้อนเป็นแบบ ฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Heat flux) ที่ไม่พิจารณาการเผาไหม้โดยแหล่งความร้อนมีการให้ความร้อนโดยตรงและขนาด $20,180 \text{ kW/m}^2$ ผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งกลางพื้นอุโมงค์ขนาดด้านละ 5 เซนติเมตร และอยู่ที่ตำแหน่งระยะกึ่งกลางของอุโมงค์ หัวฉีดหมอกน้ำมีจำนวน 5 หัวที่กลางเพดานอุโมงค์โดยหัวฉีดที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่งที่ระยะ 2 เมตรจากช่องลมเข้าแล้วมีระยะห่างหัวฉีดละ 1 เมตร ผ่านด้านบนของแหล่งความร้อน สำหรับช่องลมเข้ามี

การกำหนดค่าของความเร็วลมเป็นศูนย์ สำหรับหมอกน้ำของแต่ละหัวฉีดมีอัตราการไหลของมวลน้ำ 0.016 กิโลกรัมต่อวินาที มีเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำขนาด 50 ไมโครเมตร ความเร็วเริ่มต้นของหมอกน้ำคือ 0.1 เมตรต่อวินาที และน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 300 K โดยใช้ time step เท่ากับ 0.02 วินาที



ภาพที่ 31 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำและขนาดมุมกระจายของหัวฉีดหมอกน้ำ

ผลและวิจารณ์

1. การเปรียบเทียบผลการจำลองการดับเพลิงของหมอกน้ำกับงานวิจัยของ HART, (2003)

เนื่องจากก่อนที่จะฉีดหมอกน้ำ Hart ได้หาสภาวะ steady ของการกระจายตัวของความร้อนก่อนที่จะทำการฉีดหมอกน้ำ แต่เนื่องจากโมเดลของ Hart และผู้วิจัยมีความแตกต่างกันที่เงื่อนไขของแหล่งความร้อน โดยแหล่งความร้อนของ Hart เป็นแบบ Non-Premixed Combustion และมีการฉีดเชื้อเพลิงขึ้นมาผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งกลางพื้นอุโมงค์ แต่แหล่งความร้อนของผู้วิจัยเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Heat flux) ที่ไม่พิจารณาการเผาไหม้ โดยแหล่งความร้อนมีการให้ความร้อนโดยตรงและขนาด $20,180 \text{ kW/m}^2$ ผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งกลางพื้นอุโมงค์ จึงสันนิษฐานเวลาที่เข้าสู่สภาวะ steady ของการกระจายตัวของความร้อนน่าจะแตกต่างกันก่อนที่จะทำการฉีดหมอกน้ำจึงได้ทำการจำลอง ซึ่งได้ผลดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 32 การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 10 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน



ภาพที่ 33 การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 20 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน



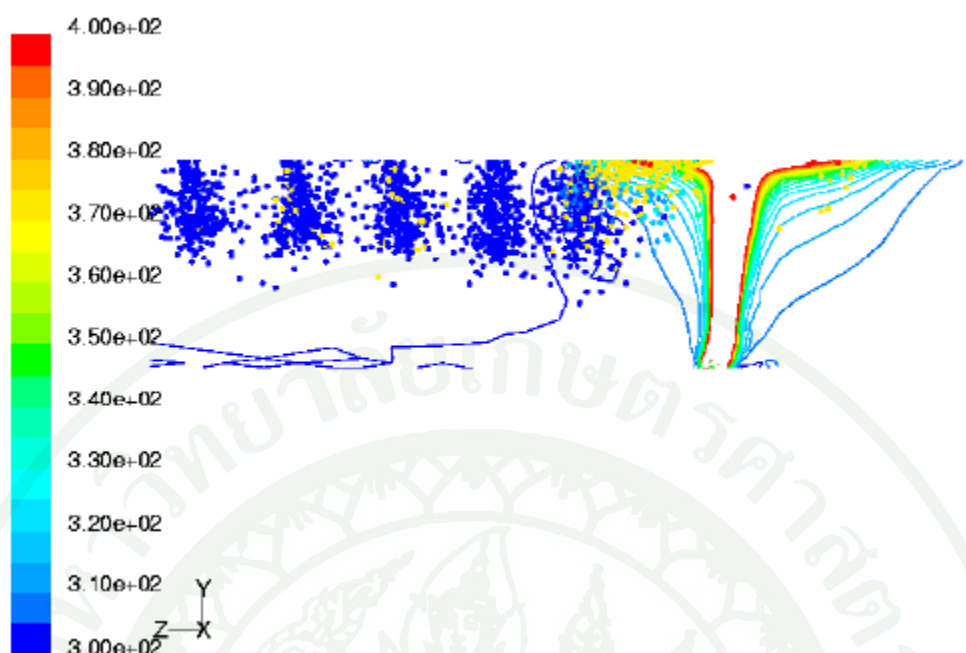
ภาพที่ 34 การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 30 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน



ภาพที่ 35 การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 40 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน

การเริ่มฉีดหมอกน้ำจะทำการฉีดเมื่อการกระจายความร้อนเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากมีการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน ซึ่งจากการจำลองพบว่าระยะเวลาที่การกระจายความร้อนเข้าสู่สภาวะคงตัวคือ 30 วินาทีหลังจากให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน เพราะว่าหลังจากวินาทีที่ 30 ไปแล้ว การกระจายตัวของความร้อนไม่มีความแตกต่าง ดังภาพแสดงการกระจายตัวของความร้อนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจาก 30 วินาที

ผลการจำลองของ Hart เปรียบเทียบกับผลการจำลองของผู้วิจัยหลังจากที่มีการฉีดหมอกน้ำที่เวลาต่างๆสามารถเปรียบเทียบได้ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 36 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาทีของ Hart

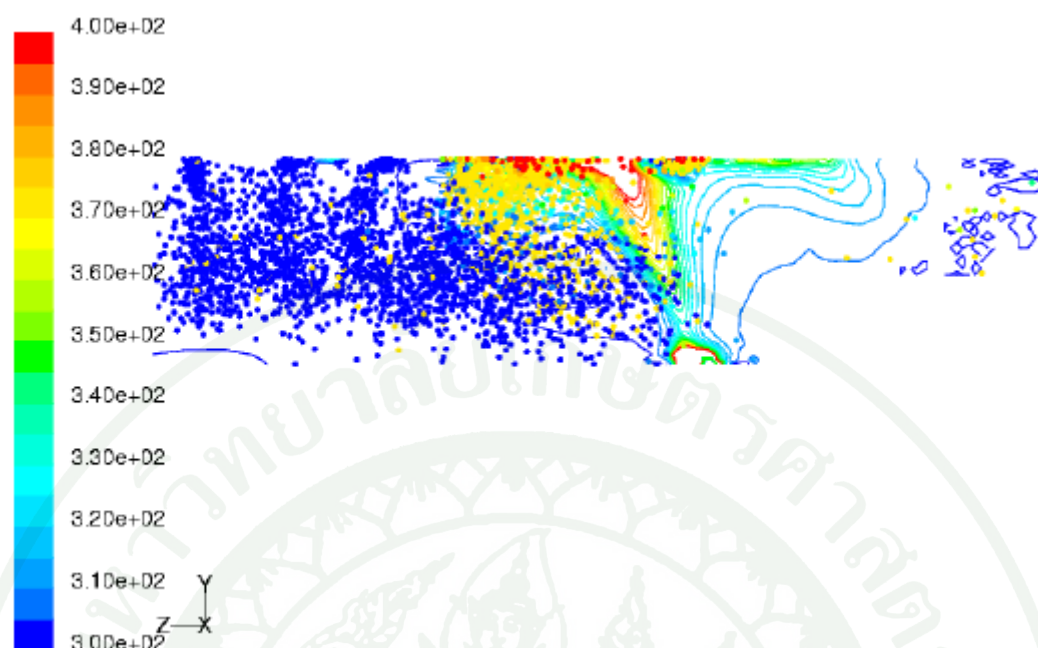


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

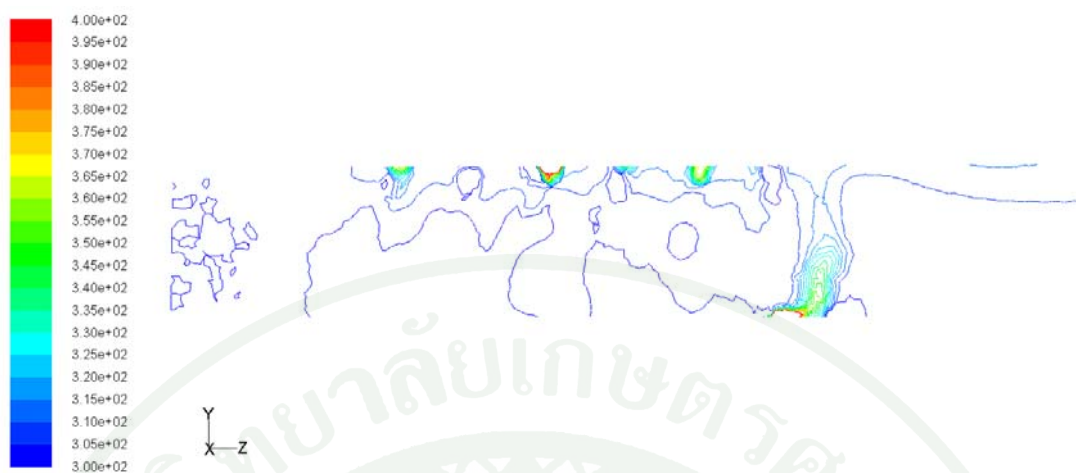


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

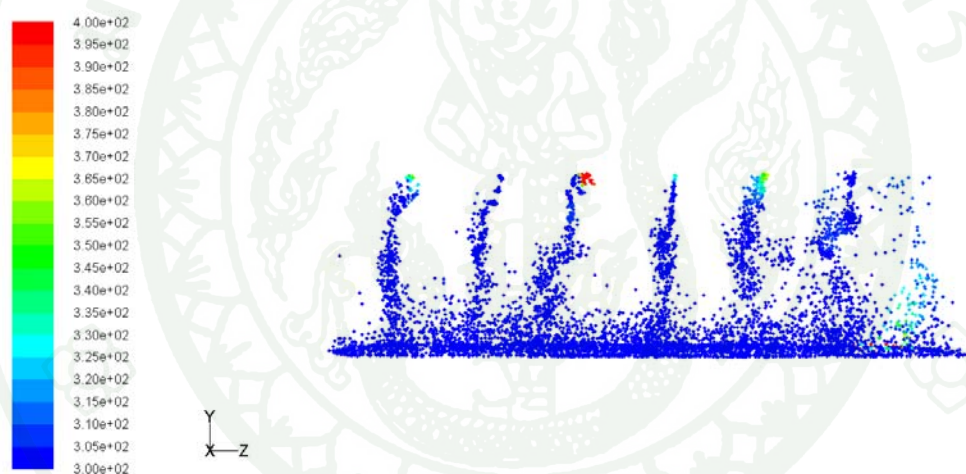
ภาพที่ 37 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 38 การกระจายตัวของอนุภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำ
เป็นเวลา 4 วินาทีของ Hart

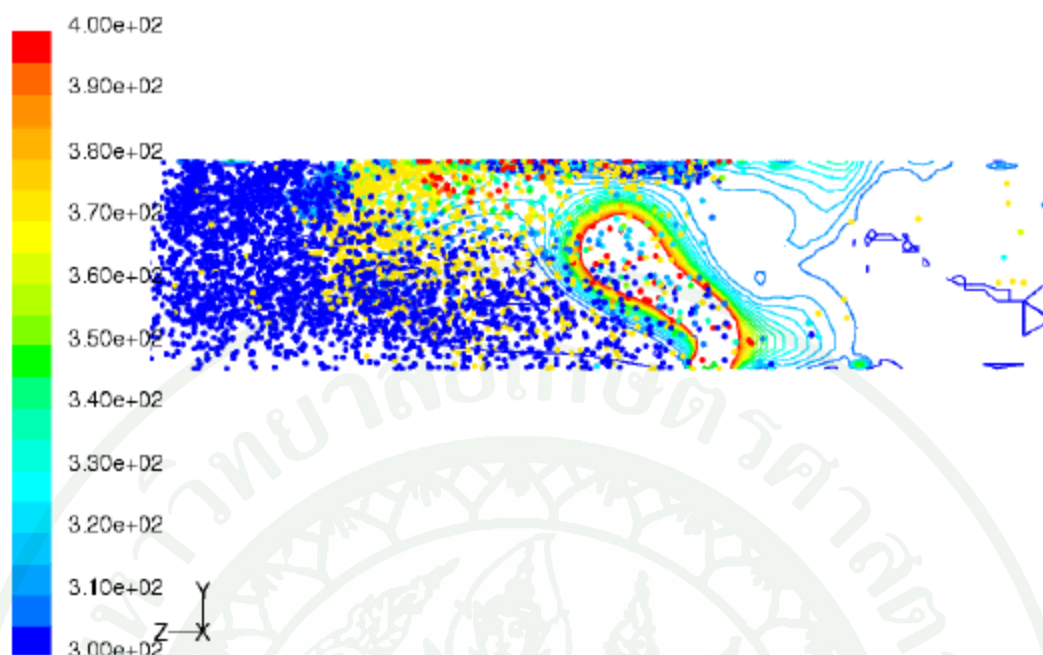


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

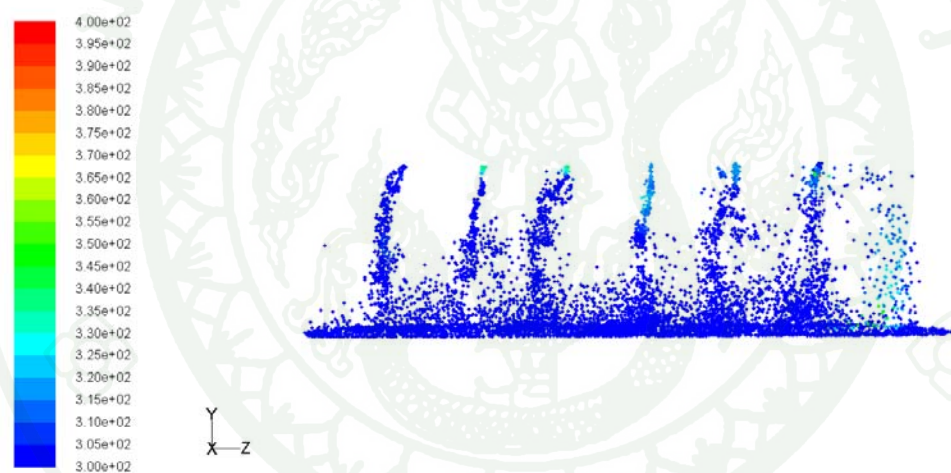
ภาพที่ 39 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 4 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 40 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาทีของ Hart



ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

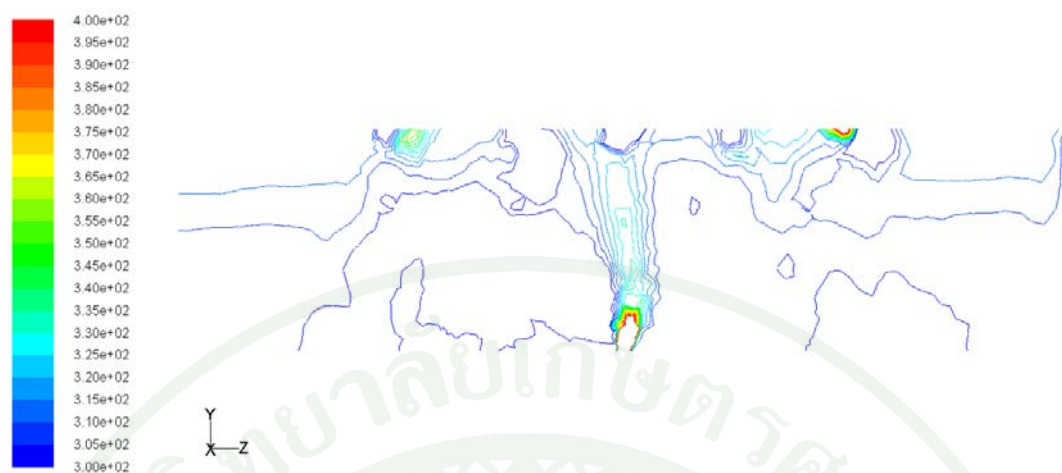
ภาพที่ 41 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้

จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองของ Hart และการจำลองโดยผู้ทำวิจัยพบว่าการกระจายตัวของความร้อนมีลักษณะเหมือนกัน แต่การกระจายตัวของหมอน้ำจากการจำลองโดยผู้วิจัยมีการกระจายโดยมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็น แต่ของ Hart แต่มีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นแก๊สที่พุ่งกระจายไปตามพื้นที่ว่าง

สาเหตุที่การกระจายตัวของหมอน้ำของผู้วิจัยมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็นแทนที่จะเป็นแก๊สที่พุ่งกระจายไปตามพื้นที่ว่างน่าจะเป็นเพราะว่าผู้วิจัยกำหนดค่ารัศมีของหัวฉีดตามค่า default ของ fluent ที่เป็นศูนย์อันเนื่องมาจากผู้วิจัยไม่ทราบค่ารัศมีของหัวฉีดจากการทดลองของ Hart จึงทำให้หมอน้ำมีการพุ่งกระจายออกมาไม่มากนัก

2. ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอน้ำอันเนื่องมาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอน้ำ

ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอน้ำต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอน้ำแสดงในภาพดังต่อไปนี้



ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

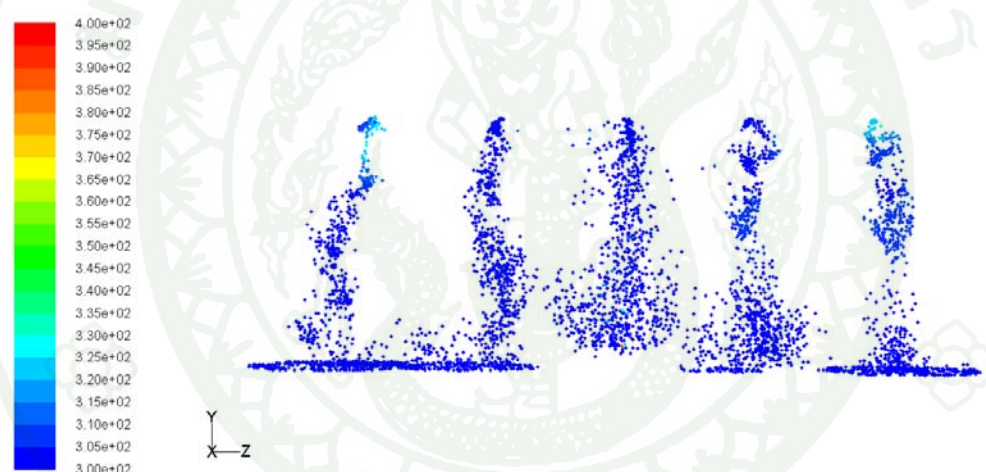


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 42 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 50 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

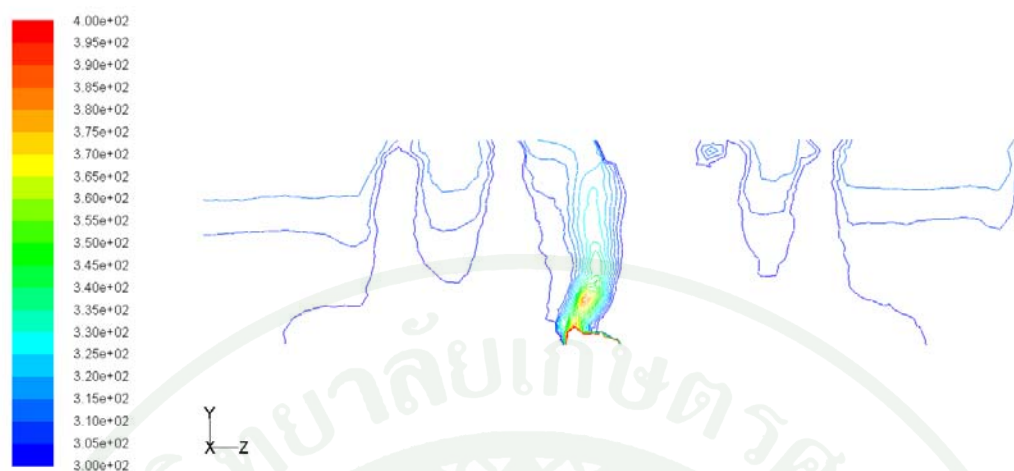


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

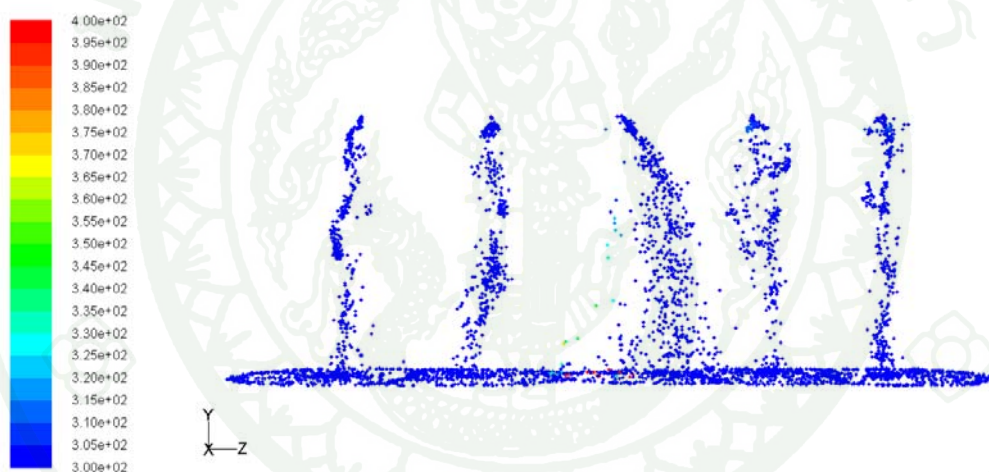


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 43 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 100 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

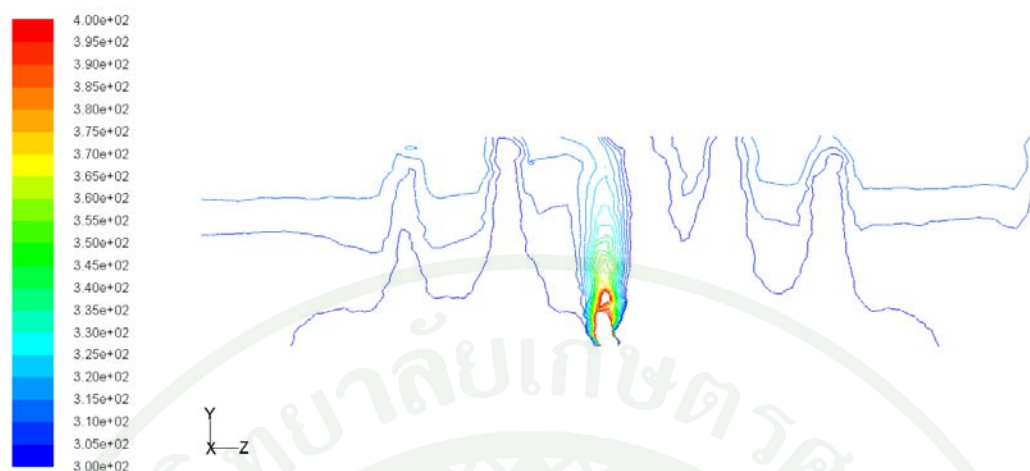


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

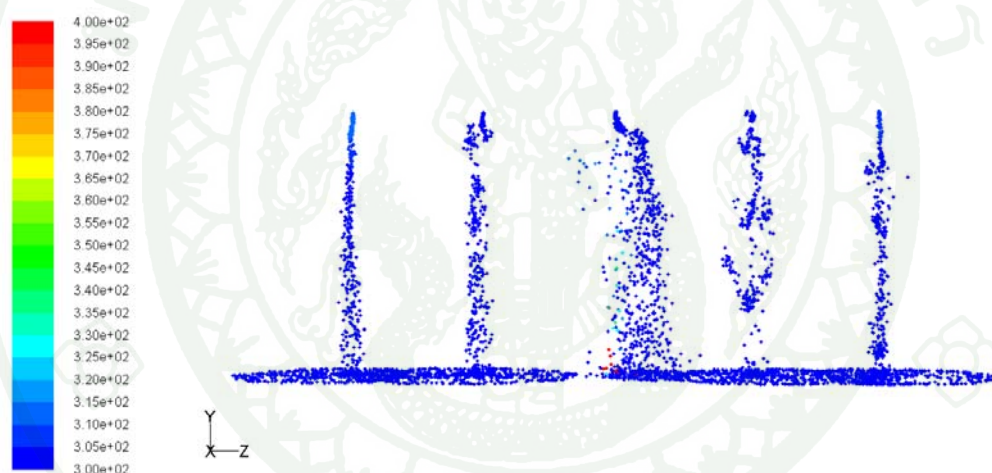


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 44 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 150 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

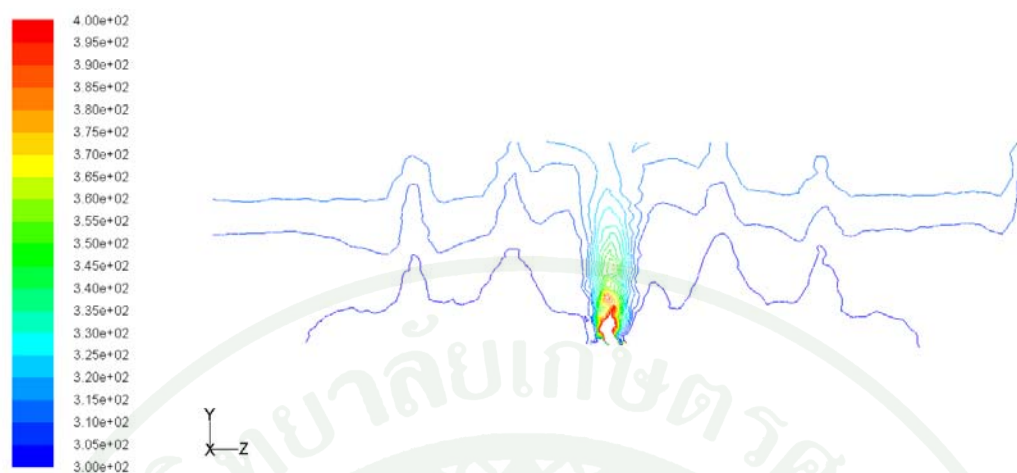


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

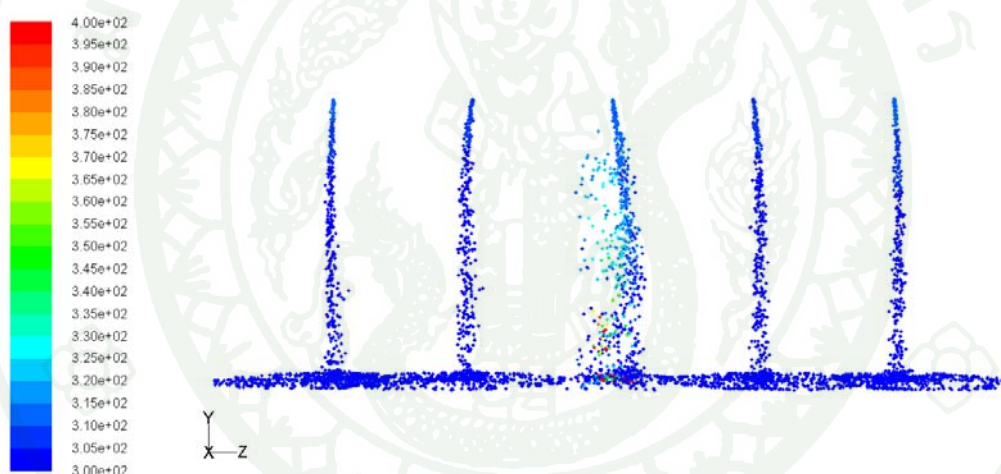


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 45 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 200 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

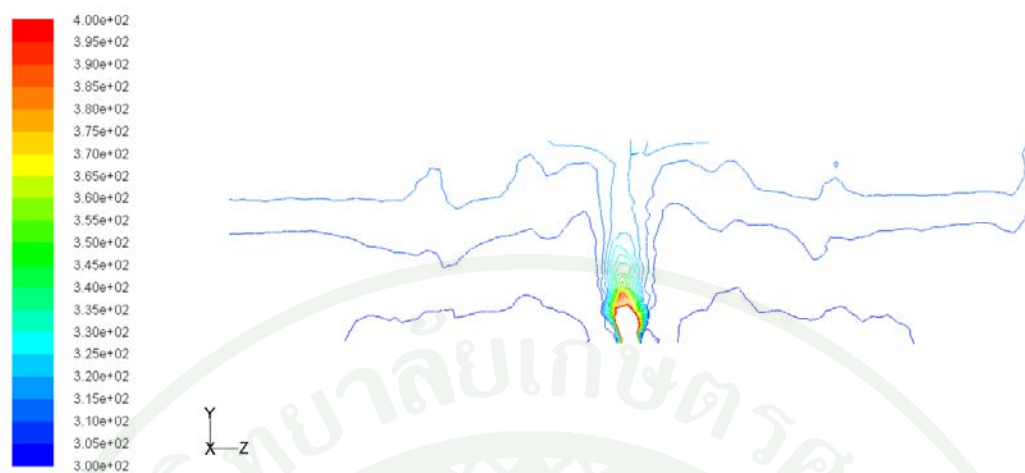


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิจาก

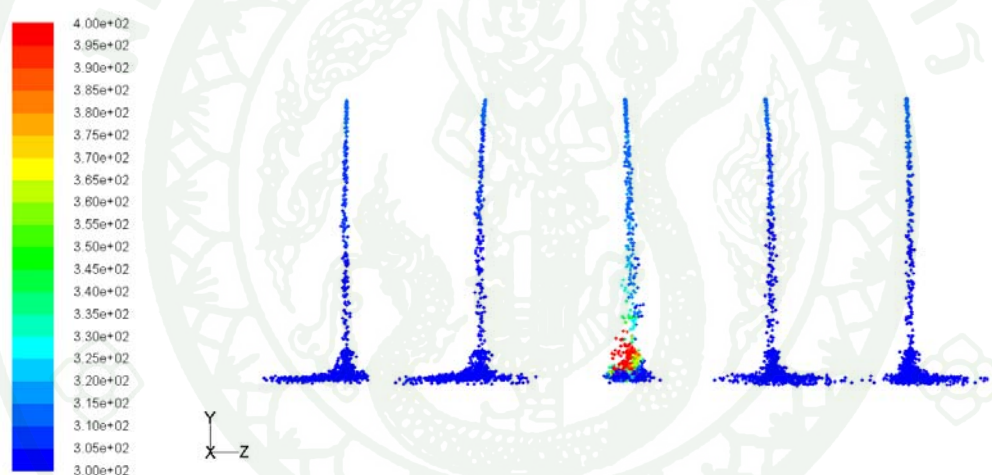


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 46 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิจากและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 250 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

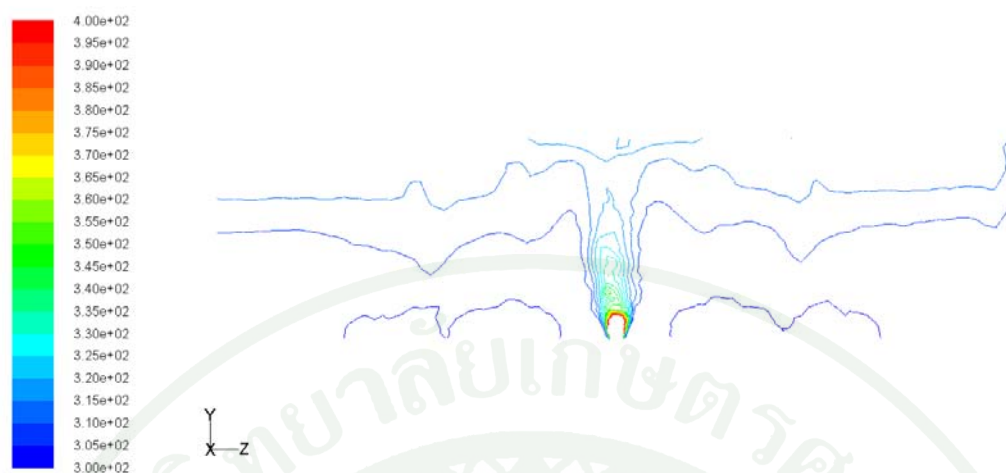


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

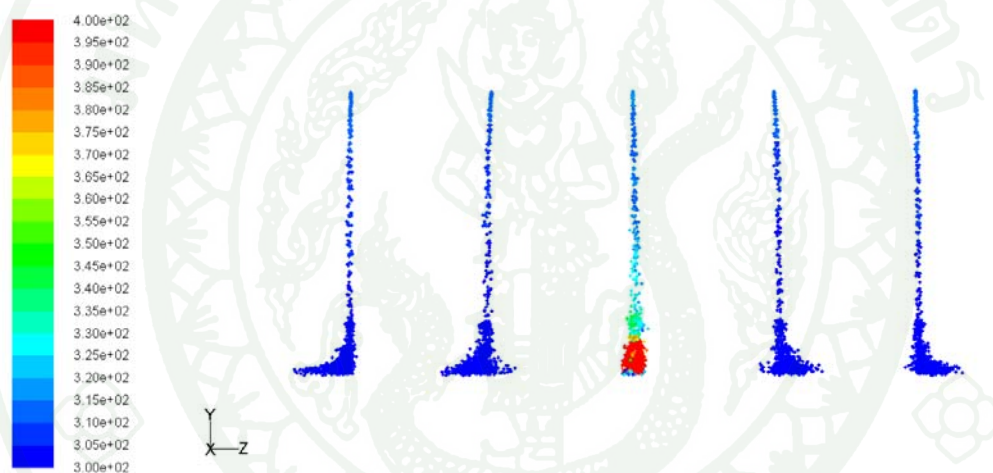


ข) การกระจายตัวของหมอนน้ำ

ภาพที่ 47 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอนน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอนน้ำขนาด 500 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

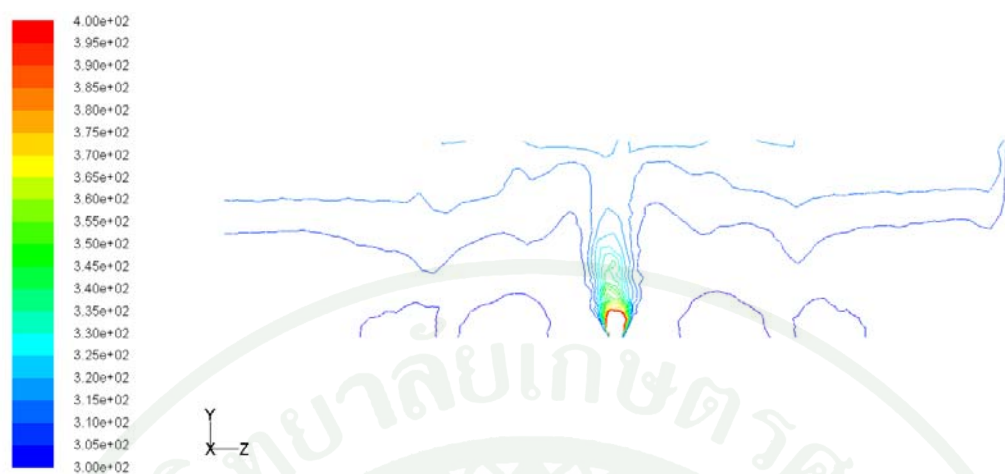


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

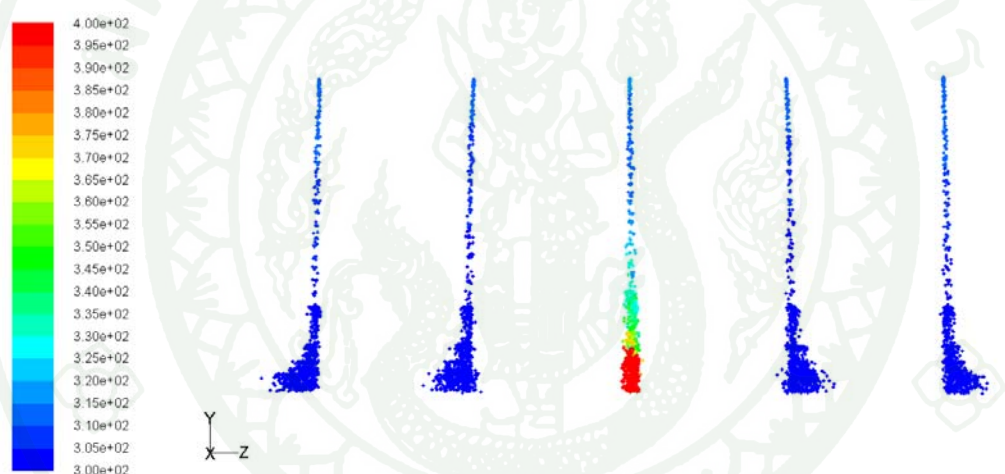


ข) การกระจายตัวของหมอนน้ำ

ภาพที่ 48 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอนน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอนน้ำขนาด 750 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที



ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 49 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 1,000 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

จากผลการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อหมอน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กและมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็นจะสามารถลดอุณหภูมิของพุ่มความร้อนได้มากกว่าหมอน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ และการกระจายตัวของหมอน้ำจะมีลักษณะเป็นพุ่มไปจนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอน้ำมีขนาด 100 ไมโครเมตร เมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอน้ำใหญ่ขึ้นการกระจายตัวของหมอน้ำจะลดลงเป็นอย่างมาก และเมื่อขนาดของหมอน้ำใหญ่มาก เช่น ที่มากกว่า 200 ไมโครเมตร การกระจายตัวของหมอน้ำจะไม่เกิดลักษณะของพุ่ม

สาเหตุเนื่องจากหมอน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่านั้นจะมีขนาดมวลที่น้อยกว่า จึงเกิดโมเมนต์ที่น้อยกว่า ดังนั้นจะสามารถเกิดการฟุ้งกระจายได้มากกว่าหมอน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าที่มีขนาดมวลที่มากกว่าจึงเกิดโมเมนต์ที่มากกว่าแต่จะเกิดการฟุ้งกระจายได้น้อยกว่า ทั้งนี้เมื่อใช้มุมกรวยของหัวฉีดที่ 35°

3. ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอน้ำอันเนื่องมาจากมุมกรวยของหัวฉีด

ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของมุมกรวยของหัวฉีดหมอน้ำต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิของหมอน้ำแสดงในภาพดังต่อไปนี้

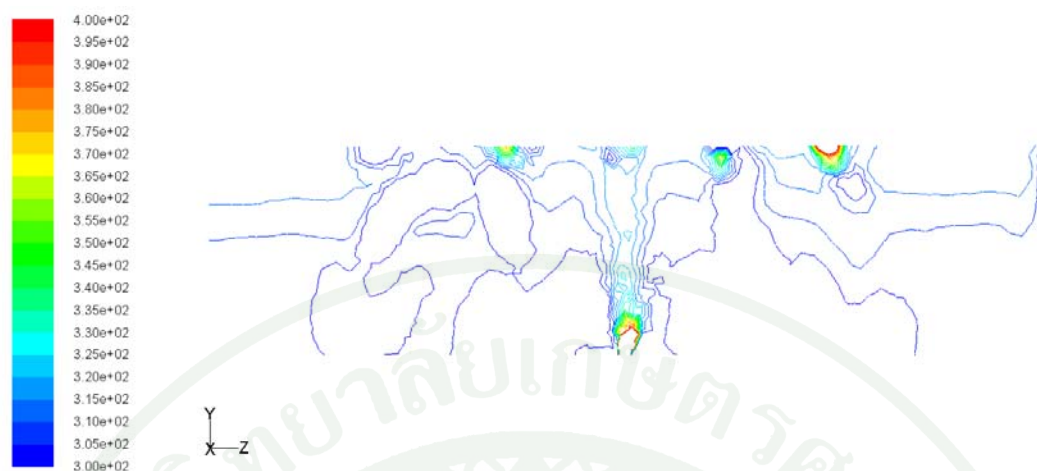


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 50 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 30° เป็นเวลา 3 วินาที



ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 51 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 45° เป็นเวลา 3 วินาที

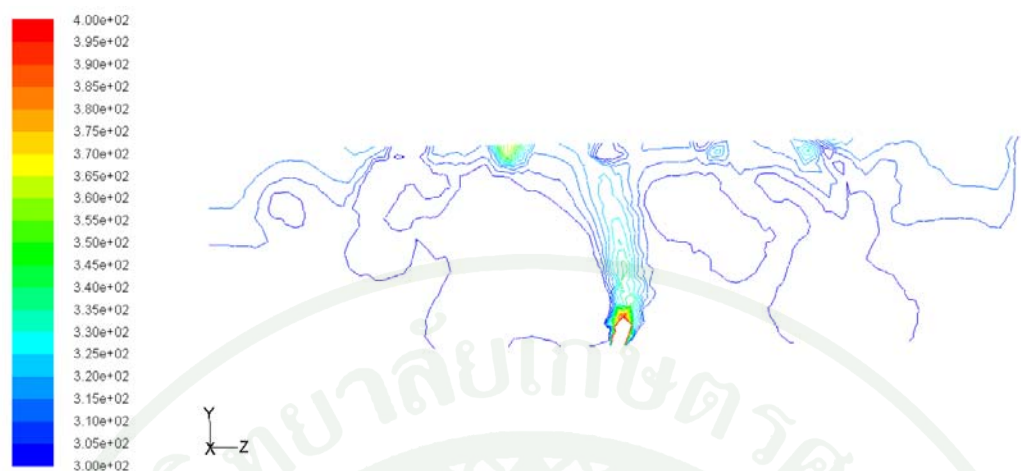


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 52 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 60° เป็นเวลา 3 วินาที

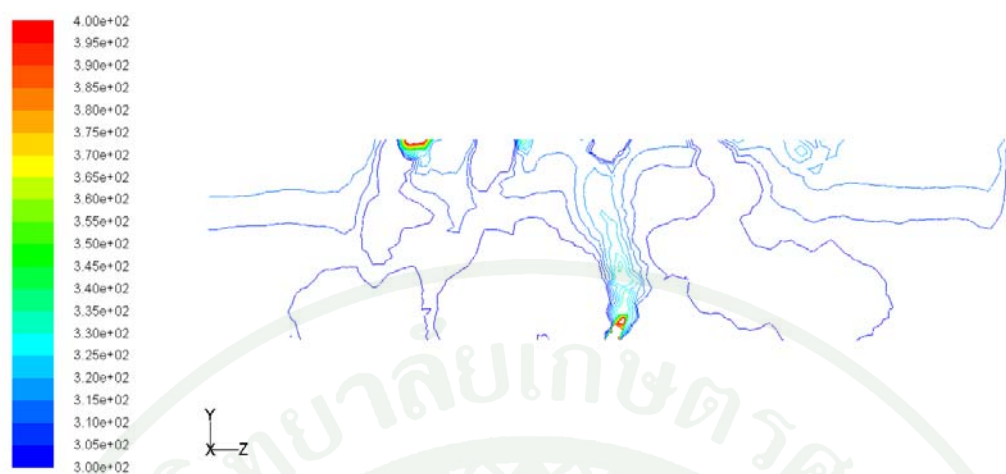


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 53 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 75° เป็นเวลา 3 วินาที



ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

ภาพที่ 54 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำที่มีมุมกรวยเท่ากับ 90° เป็นเวลา 3 วินาที

ผลการศึกษาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำพบว่าการกระจายตัวของอนุภาคน้ำโดยทั่วไปมีลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำไม่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและพบว่าการกระจายตัวของหมอกน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมกรวยนั้น โดยทั่วไปมีลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำไม่มีผลต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำเช่นกัน ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำมีขนาดเล็กที่สามารถทำให้การไหลลงมีลักษณะเป็นพุ่ม

สาเหตุเนื่องจากเมื่อเปลี่ยนขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำให้ใหญ่ขึ้น แต่ยังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำที่ 50 ไมโครเมตรเท่ากันนั้น หมอกน้ำจะมีขนาดมวลที่เท่ากันจึงมีโมเมนตัมที่เท่ากันจึงเกิดการกระจายตัวของหมอกน้ำที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำที่ 50 ไมโครเมตรเท่ากัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหมอกน้ำและมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำต่อการกระจายตัวและการลดอุณหภูมิ โดยที่การศึกษาทำโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำที่ 50 ไมโครเมตร, 100 ไมโครเมตร, 150 ไมโครเมตร, 200 ไมโครเมตร, 250 ไมโครเมตร, 500 ไมโครเมตร, 750 ไมโครเมตร และ 1,000 ไมโครเมตรและมุมกรวยที่ 30 องศา, 45 องศา, 60 องศา 75 องศา และ 90 องศา ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำมีผลต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิ โดยที่การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อหมอกน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กและมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็นจะสามารถลดอุณหภูมิของพุ่มความร้อนได้มากกว่าหมอกน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่อยู่ระหว่าง 50-100 ไมโครเมตร การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นพุ่ม และมีหมอกน้ำบางส่วนที่กระจายลอยฟุ้งไปตามอากาศ แต่เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำขนาดตั้งแต่ 150 ไมโครเมตรขึ้นไป การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นการไหลจากหัวฉีดตกสู่ด้านล่างซึ่งไม่เกิดลักษณะการฟุ้งกระจาย ส่วนในการศึกษาในเรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนขนาดมุมกรวยของหัวฉีดในการฉีดหมอกน้ำพบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหมอกน้ำที่มีขนาด 50 ไมโครเมตรการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยทั่วไปมีลักษณะเหมือนกัน และขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำไม่มีผลในการเพิ่มพื้นที่ในการกระจายตัวของหมอกน้ำในการลดอุณหภูมิอันเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำ

ซึ่งการสรุปทั้งหมดนี้เป็นการสรุปภายใต้สมมุติฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ข้อเสนอแนะ

1. โมเดลที่ใช้ในการจำลองของผู้วิจัยมีความแตกต่างในค่าเงื่อนไขของแหล่งความร้อนจากของ Hart โดยเป็นแบบ Heat flux คงที่ ไม่พิจารณาการเผาไหม้ ต่างกับของ Hart ที่มีการใช้ Non-Premixed Combustion มีการติดเชื้อเพลิงและมีการพิจารณาถึงการเผาไหม้ จึงทำให้การเข้าสู่สภาวะ Steady ของการจำลองโดยผู้วิจัยใช้เวลาที่นานกว่าการเข้าสู่สภาวะ Steady ของ Hart ซึ่งการจำลองต่อไปควรจะมีการพิจารณาถึงการเผาไหม้ด้วย โดยอาจจะเป็นการจำลองแบบ Scaling ที่มีขนาดเล็กกว่า
2. ค่ารัศมีของหัวฉีดหมอกน้ำผู้วิจัยไม่ทราบค่าจากการทดลองของ Hart จึงกำหนดให้เป็นศูนย์ตามค่า Default ของ Fluent จึงทำให้การกระจายตัวของหมอกน้ำจากการจำลองของผู้วิจัยมีลักษณะที่เป็นพุ่มแต่ไม่เกิดลักษณะการฟุ้งกระจายเหมือนของ Hart ซึ่งการจำลองต่อไปควรพิจารณาถึงค่ารัศมีของหัวฉีดหมอกน้ำด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กิตติสันห์ ศิวรานนท์. 2550. การศึกษาพฤติกรรมเพลิงไหม้ของถังเก็บน้ำมันดีเซลขนาดใหญ่ด้วย
ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยณรงค์ คงเจริญสุข. 2549. การศึกษาและออกแบบเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอัคคีภัยในห้อง
เครื่องส่งลมเย็นโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีรวิทย์ วัฒนาสวัสดิ์. 2549. การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของ
ห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- HART, R.A. 2003. Numerical simulation of water mist suppression of tunnel-fire scenarios, pp.
35-40. *In International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries*
3. Ed. CSIRO, Melbourne, Australia.
- Adiga, K.C. 2007. A computational and experimental study of ultra fine water mist as a total
flooding agent. **Fire safety Journal** (42): 150-160.
- Chen, L. 2008. Experimental study of water mist fire suppression in tunnels under longitudinal
ventilation. **Building and Environment** (44): 446-455.
- Vega, M.G. 2008. Numerical 3D simulation of a longitudinal ventilation system. **Tunnelling
and Underground Space Technology** (23): 539-551.
- NFPA 750. 2003. **Standard on water mist fire protection systems**. NFPA, Quincy, MA.
- Hasib, R. 2007. Simulation of an experimental compartment fire by CFD. **Building and
Environment** (42): 3149-3160.

Kim, S.C. and H.S. Ryou. 2003. An experimental and numerical study on fire suppression using a water mist in an enclosure. **Building and Environment** (38): 1309-1316.

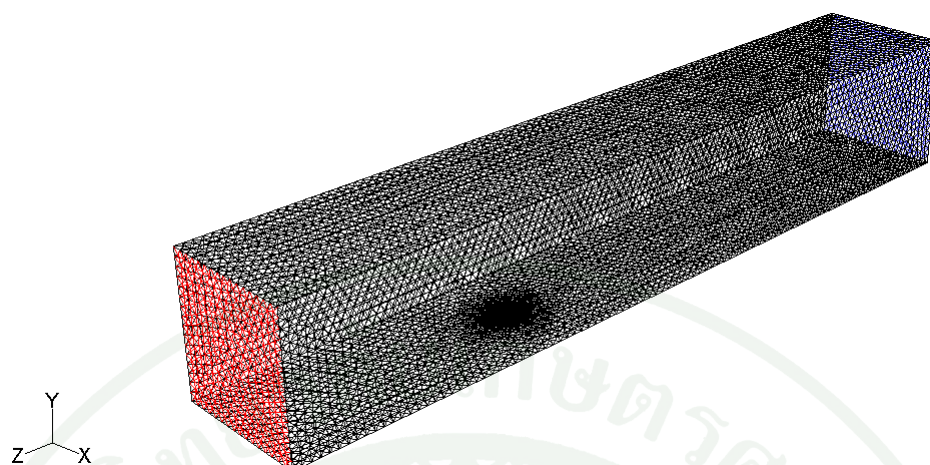




ภาคผนวก

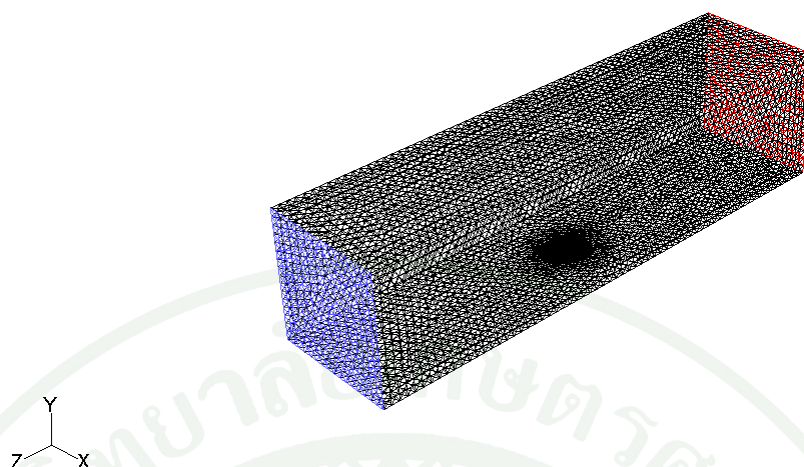


แบบจำลองที่ใช้ใน โปรแกรม Fluent



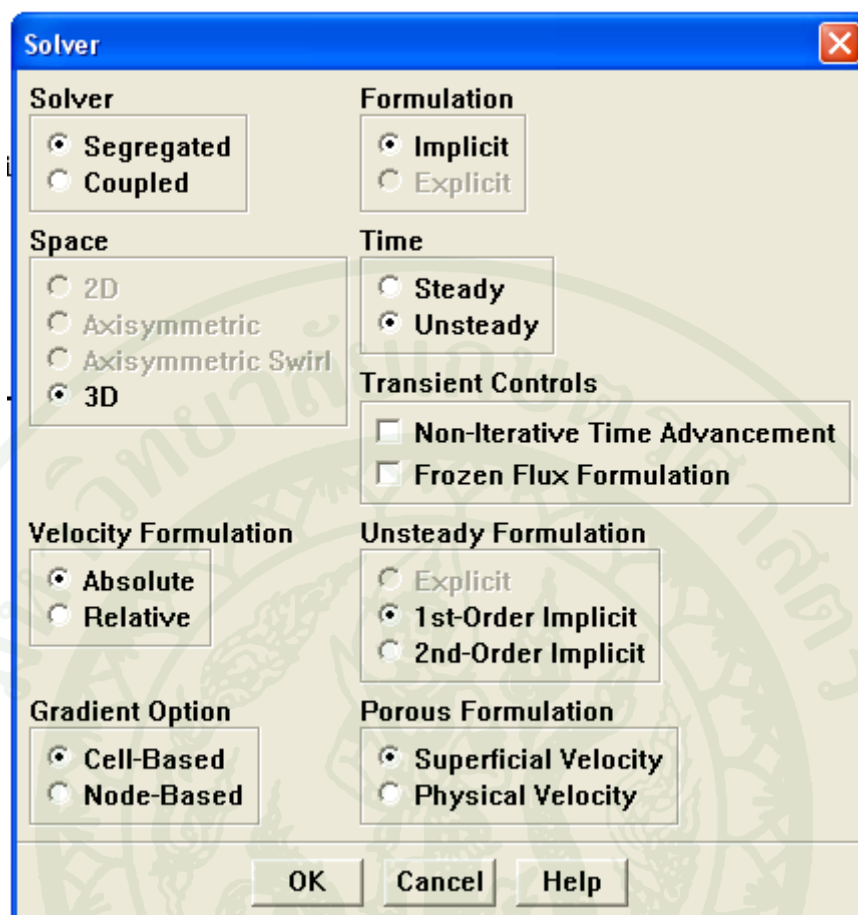
ภาพผนวกที่ 1 แบบจำลองของอุโมงค์และกริดที่ใช้ในการจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Hart

เป็นแบบจำลองอุโมงค์ที่มีขนาดความยาว 12 เมตร ช่องลมเข้าเป็นสีน้ำเงิน ช่องลมออกเป็นสีแดง ผนังเป็นสีดำ มีพื้นที่แหล่งความร้อนอยู่ที่ผนังด้านล่าง มีกริดจำนวน 172,215 กริด



ภาพผนวกที่ 2 แบบจำลองของอุโมงค์และกริดที่ใช้ในการจำลองเปลี่ยนแปลงค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอน้ำและมุมกรวยของหัวฉีดหมอน้ำ

เป็นแบบจำลองอุโมงค์ที่มีขนาดความยาว 8 เมตร ช่องลมเข้าเป็นสีน้ำเงิน ช่องลมออกเป็นสีแดง ผนังเป็นสีดำ มีพื้นที่แหล่งความร้อนอยู่ที่ผนังด้านล่าง มีกริดจำนวน 119,285 กริด



ภาพผนวกที่ 3 แบบจำลอง Solver ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Solver ที่ใช้ในโปรแกรม Fluent โดยเป็น Solver แบบ Segregated เป็น Space แบบ 3D เป็น Formulation แบบ Implicit เป็น Time แบบ Unsteady

Operating Conditions

Pressure

Operating Pressure (pascal)
101325

Reference Pressure Location

X (m) 0

Y (m) 0

Z (m) 0

Gravity

☒ Gravity

Gravitational Acceleration

X (m/s²) 0

Y (m/s²) -9.81

Z (m/s²) 0

Boussinesq Parameters

Operating Temperature (k)
300

Variable-Density Parameters

☐ Specified Operating Density

OK Cancel Help

ภาพผนวกที่ 4 แบบจำลอง Operating Conditions ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Operating Conditions ที่ใช้ในโปรแกรม Fluent เป็น Pressure แบบ Operating Pressure ที่ 101,325 pascal เป็น Gravity แบบ Gravitational Acceleration เป็น Boussinesq Parameters แบบ Operating Temperature ที่ 300 K

Wall

Zone Name
wall.4

Adjacent Cell Zone
fluid

Thermal | DPM | Momentum | Species | Radiation | UDS | Granular

Thermal Conditions

☒ Heat Flux Heat Flux [w/m2] 0 constant
☐ Temperature
☐ Convection
☐ Radiation
☐ Mixed

Wall Thickness (m) 0

Heat Generation Rate (w/m3) 0 constant

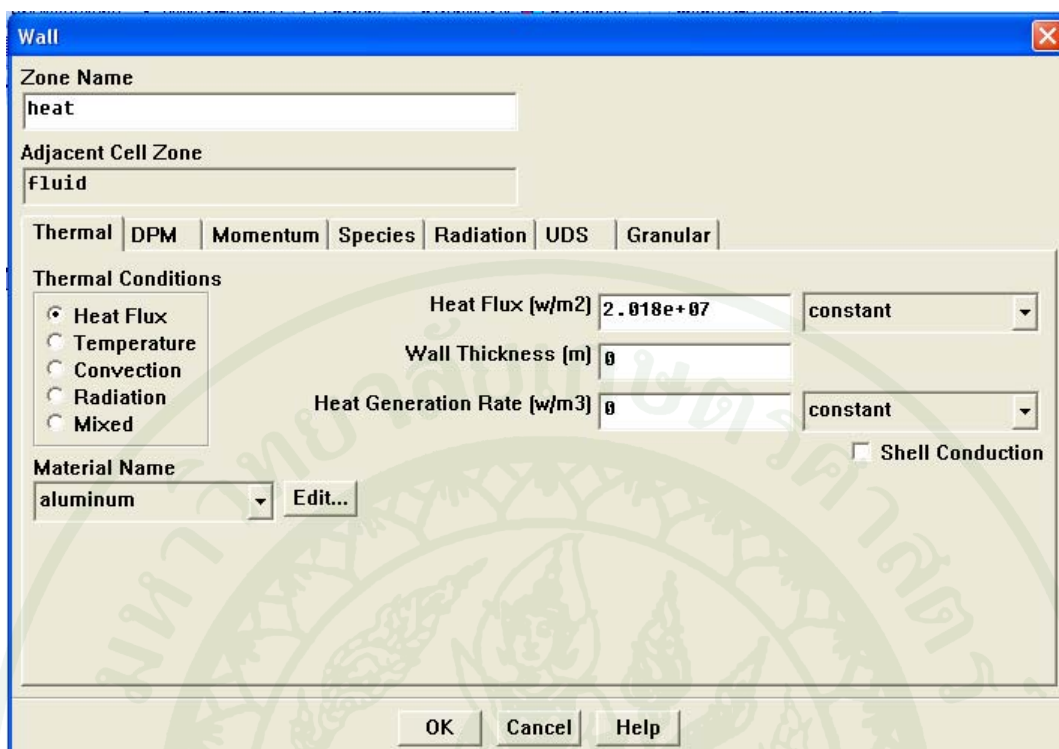
☐ Shell Conduction

Material Name
aluminum Edit...

OK Cancel Help

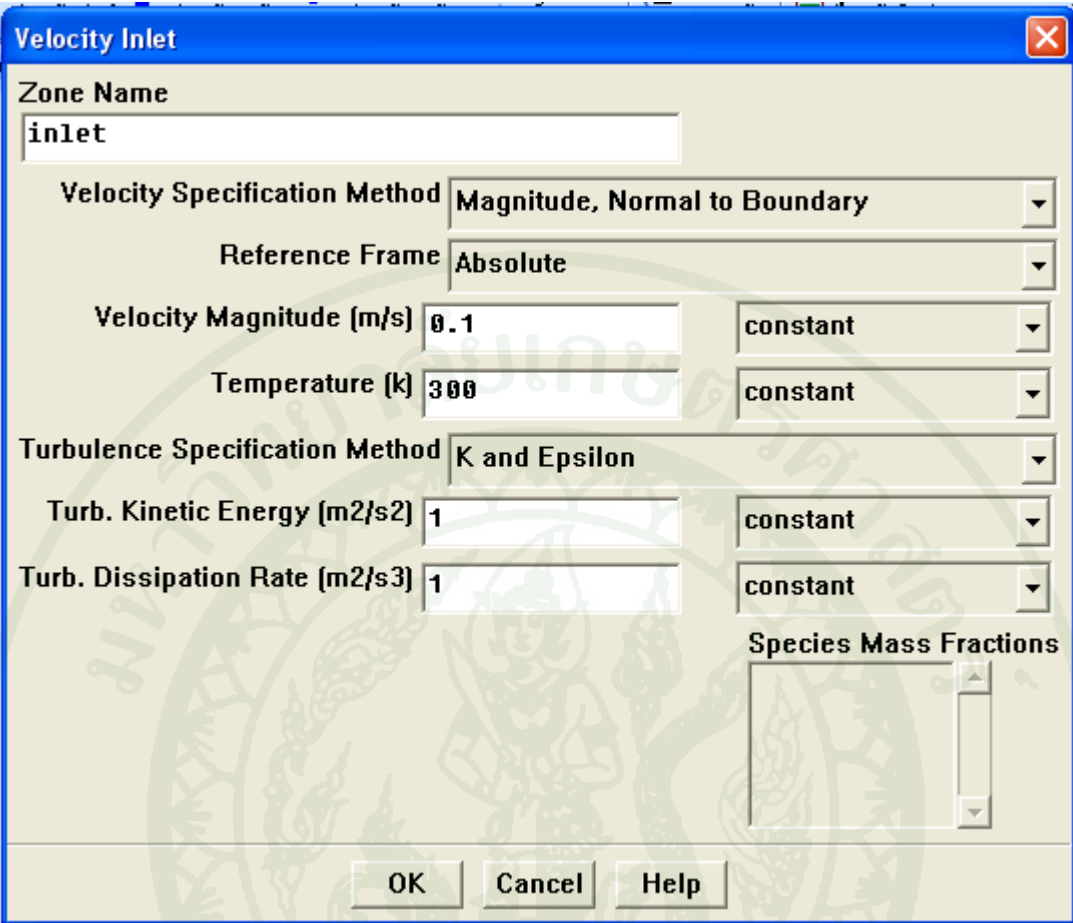
ภาพผนวกที่ 5 แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับผนัง

เป็นแบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับผนัง โดยกำหนดให้เป็น Wall มี Thermal Conditions เป็น Heat flux มีค่าเป็นศูนย์



ภาพผนวกที่ 6 แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับแหล่งความร้อน

เป็นแบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับแหล่งความร้อน โดยกำหนดให้เป็น Wall มี Thermal Conditions เป็น Heat flux มีค่า $20,180 \text{ kW/m}^2$



Velocity Inlet

Zone Name
inlet

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s): 0.1 constant

Temperature (K): 300 constant

Turbulence Specification Method: K and Epsilon

Turb. Kinetic Energy (m2/s2): 1 constant

Turb. Dissipation Rate (m2/s3): 1 constant

Species Mass Fractions

OK Cancel Help

ภาพผนวกที่ 7 แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมเข้าสำหรับการเปรียบเทียบกับผลการจำลองของ Hart

เป็นแบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมเข้าสำหรับการเปรียบเทียบกับผลการจำลองของ Hart โดยกำหนดให้เป็น Velocity Inlet มี Velocity Magnitude ที่ 0.1 เมตรต่อวินาที และมีอุณหภูมิที่ 300 K

Velocity Inlet

Zone Name
velocity_inlet.2

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s): 0 constant

Temperature (K): 300 constant

Turbulence Specification Method: K and Epsilon

Turb. Kinetic Energy (m2/s2): 1 constant

Turb. Dissipation Rate (m2/s3): 1 constant

Species Mass Fractions

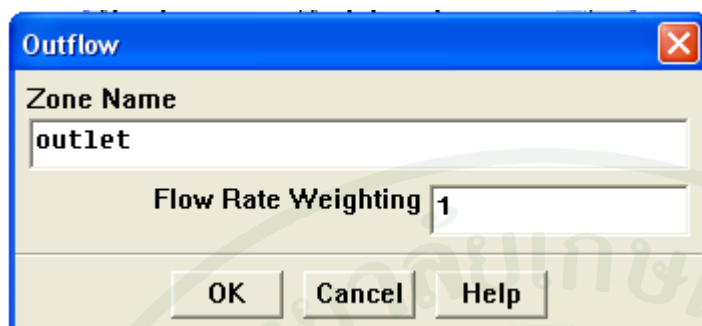
h2o	0	constant
o2	0	constant

Discrete Phase BC Type: escape

OK Cancel Help

ภาพผนวกที่ 8 แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมเข้าสำหรับใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำและขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำ

เป็นแบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมเข้าสำหรับใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำและขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำ โดยกำหนดให้เป็น Velocity Inlet มี Velocity Magnitude เป็นศูนย์ และมีอุณหภูมิที่ 300 K



ภาพผนวกที่ 9 แบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมออก

เป็นแบบจำลอง Boundary Conditions ที่ใช้สำหรับช่องลมออก โดยกำหนดให้เป็น Outflow

Materials

Name:

Material Type:

Order Materials By: ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula:

Fluent Mixture Materials:

Fluent Database...

User-Defined Database...

Mixture:

Properties

Mixture Species:

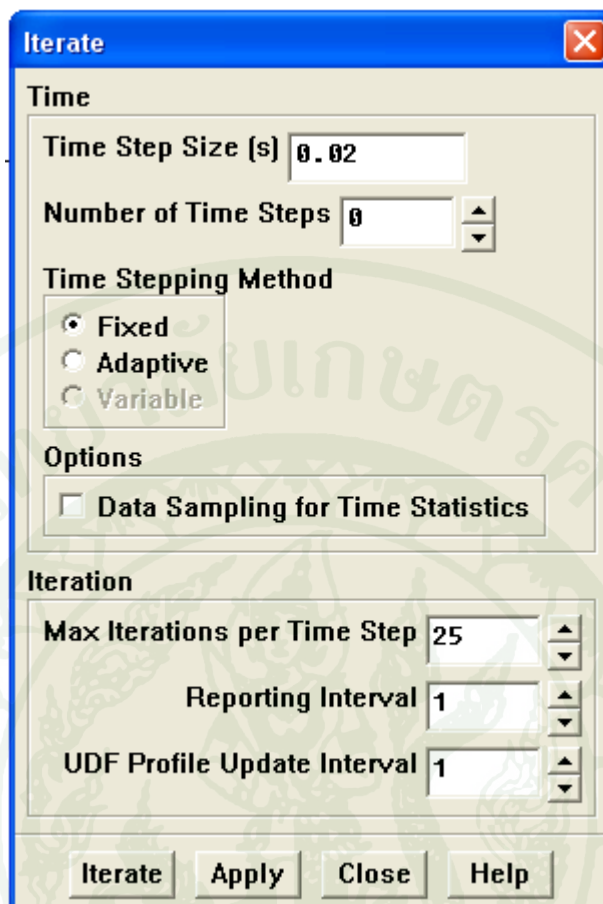
Density (kg/m³):

Cp (j/kg-k):

Thermal Conductivity (w/m-k):

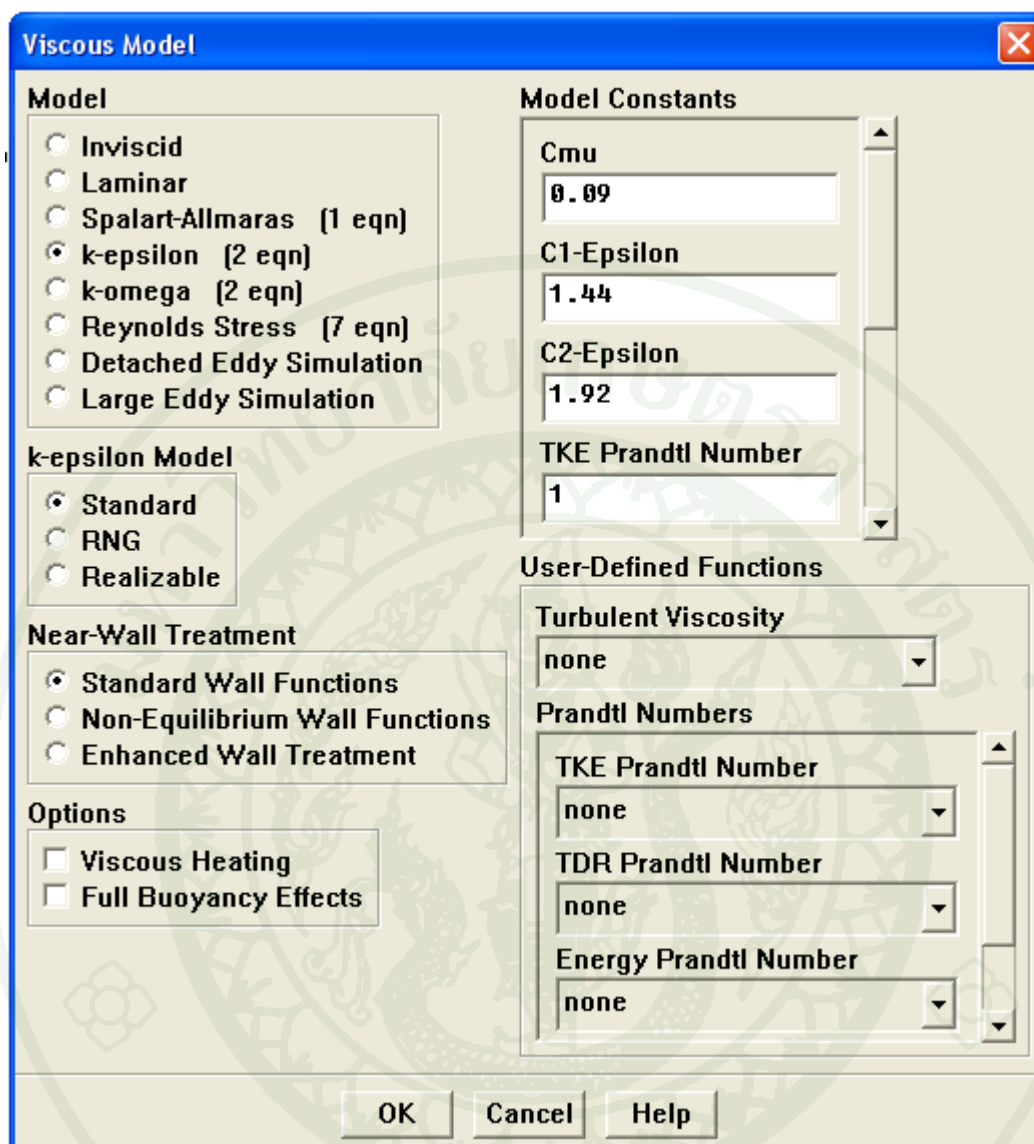
ภาพผนวกที่ 10 แบบจำลอง Materials ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Materials ที่ใช้ โดย Material Type เป็นแบบ mixture มีค่า Properties ของ Density เป็น incompressible ideal gas



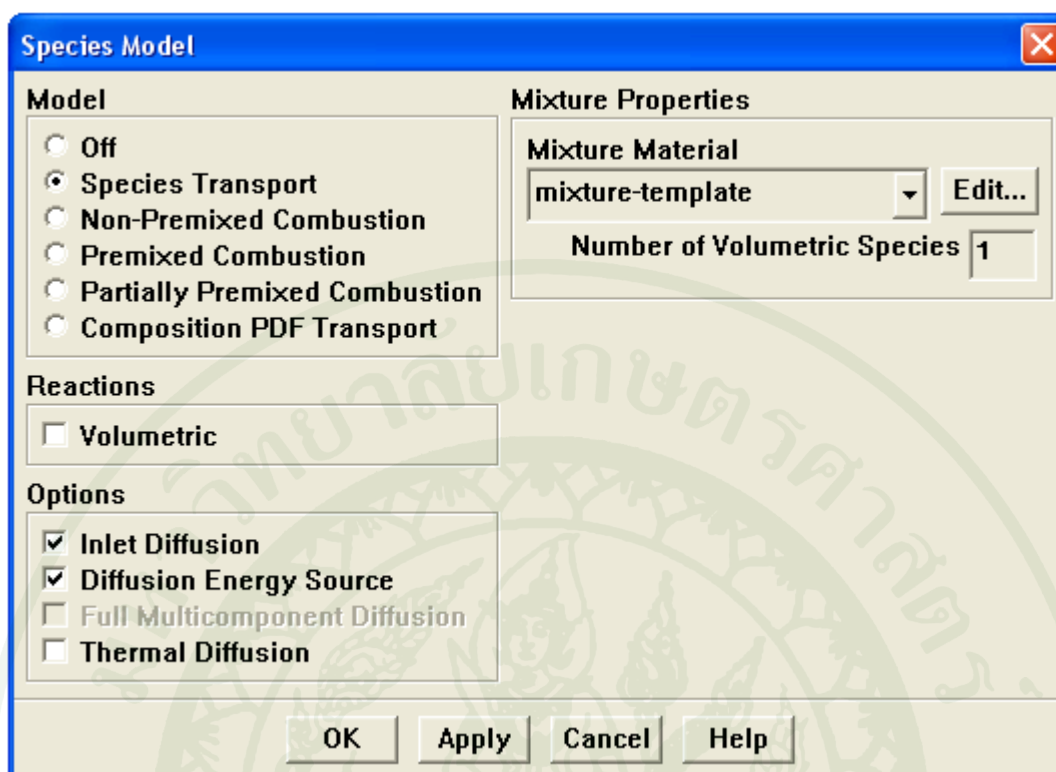
ภาพผนวกที่ 11 แบบจำลอง Time step sizes และ Iterations ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Iterate ที่ใช้ โดยมี Time step size ที่ 0.02 s และมี Max iterations per time step ที่ 25 ครั้ง



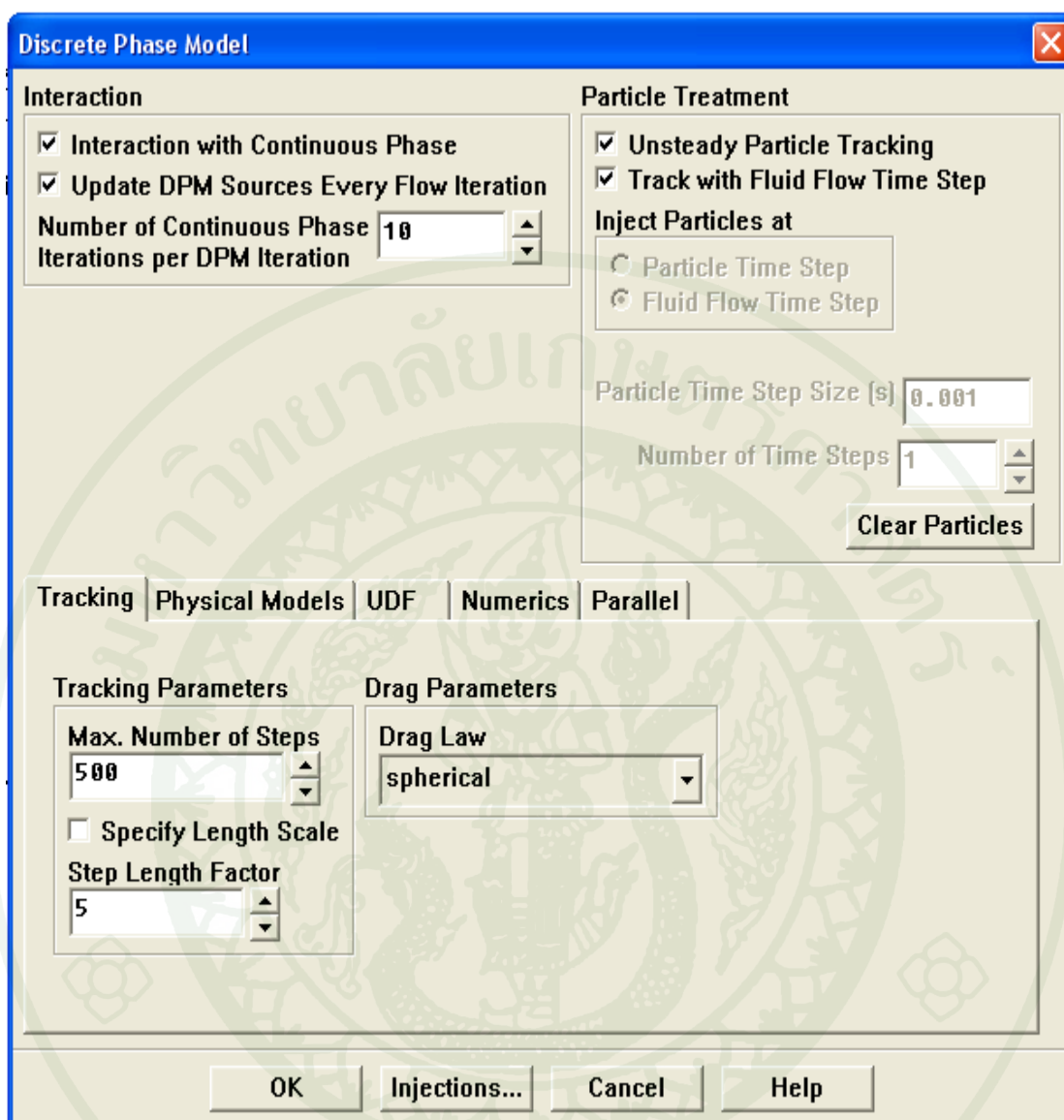
ภาพผนวกที่ 12 แบบจำลอง Viscous Model ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Viscous Model ที่ใช้ โดยเป็น Model แบบ Standard k-epsilon



ภาพผนวกที่ 13 แบบจำลอง Species Model ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Species Model ที่ใช้ โดยเป็น Model แบบ Species Transport



ภาพผนวกที่ 14 แบบจำลอง Discrete Phase Model ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Discrete Phase Model ที่ใช้ โดยกำหนดให้มี Interaction with continuous phase มี Update DPM sources every flow iteration มี Number of continuous phase iterations per DPM iteration ที่ 10 ครั้ง

Set Injection Properties

Injection Name: injection-0

Injection Type: solid-cone Number of Particle Streams: 6

Particle Type: ☐ Inert ☒ Droplet ☐ Combusting ☐ Custom

Material: water-liquid Diameter Distribution: uniform Oxidizing Species:

Evaporating Species: h2o Devolatilizing Species: Product Species:

Point Properties Turbulent Dispersion Wet Combustion UDF Multiple Reactions

Stochastic Tracking

☒ Discrete Random Walk Model
☒ Random Eddy Lifetime
Number of Tries: 1
Time Scale Constant: 0.15

Cloud Tracking

☐ Cloud Model
Min. Cloud Diameter (m): 0
Max. Cloud Diameter (m): 100000

OK File... Cancel Help

ภาพผนวกที่ 15 แบบจำลอง Set Injection Properties ที่ใช้

เป็นแบบจำลอง Set injection properties ที่ใช้ โดยเป็น Injection type แบบ solid cone เป็น Particle type แบบ Droplet เป็น Material แบบ water liquid

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายรณนฤชิต บุตรแสนคม
เกิดวันที่	30 มิถุนายน 2522
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งปัจจุบัน	Senior Engineer
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	Koyo Joint (Thailand) Co., Ltd.