

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การศึกษาการดับเพลิงของหมอกน้ำด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Water mist fire suppression study by computational fluid dynamics

รณณชิต บุตรแสนคม¹, อภิชาติ แจ้งบำรุง^{2,*}

¹สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน กรุงเทพมหานคร 10900

ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-2942-8555 ต่อ 5839, โทรสาร: 0-2579-4576

E-mail: g5065738@ku.ac.th¹, fengacc@ku.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการดับเพลิงของหมอกน้ำต่อความสามารถในการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิโดยระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ลักษณะทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำ และขนาดมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำ โดยที่งานวิจัยนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำจาก 50 ไมโครเมตรจนถึง 1,000 ไมโครเมตร และทำการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดมุมกรวยในการฉีดหมอกน้ำจาก 30 องศา ถึง 90 องศา

ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำ มีผลต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการลดอุณหภูมิ กล่าวคือที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 50-100 ไมโครเมตร การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็นโดยส่วนใหญ่ และมีหมอกน้ำบางส่วนที่กระจายลอยฟุ้งไปตามอากาศ แต่เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำขนาดตั้งแต่ 150 ไมโครเมตรขึ้นไป การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นการไหลจากหัวฉีดตกสู่ด้านล่างซึ่งไม่เกิดลักษณะของพุ่มความเย็น และเมื่อทำการศึกษาถึงการเปลี่ยนขนาดมุมกรวยในการฉีดหมอกน้ำพบว่า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหมอกน้ำที่น้อยกว่า 100 ไมโครเมตร ขนาดมุมกรวยไม่มีผลอย่างเป็นนัยสำคัญที่จะเพิ่มพื้นที่ในการกระจายตัวของหมอกน้ำในการลดอุณหภูมิอันเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำ

คำหลัก: การดับเพลิง, หมอกน้ำ, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

This research studied the effect of the physical characteristics of water mist fire suppression on the water mist distribution and the temperature reduction by the 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 to 1,000 μm and the cone angles of water mist nozzle were varied from 30° to 90°.

The results showed that the diameters of water mist have 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 are 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 all diameters of water mist that are less than 100 μm , the cone angle has no significant effect on the water mist distribution and also the temperature reduction.

Keywords: Fire suppression, Water mist, Computational fluid dynamics

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบดับเพลิงภายในอาคารที่สำคัญชนิดหนึ่งคือการฉีดน้ำจากหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งที่ผนังห้อง โดยที่หัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ต้องถูกติดตั้งตามข้อบังคับทางกฎหมายการดับเพลิงโดยการฉีดน้ำผ่านหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงนั้นจะกระทำเมื่อตัวจับสัญญาณรับสัญญาณของความร้อนจนถึงอุณหภูมิค่าหนึ่งที่ตั้งไว้ น้ำจะถูกฉีดออกมาทำหน้าที่ดับเพลิงที่เกิดขึ้น ดังนั้นในอาคารต่างๆที่มีการติดตั้งระบบหัวฉีดดับเพลิงจะทำให้อาคารมีความปลอดภัยด้านอัคคีภัยมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากการฉีดน้ำออกมาเพื่อทำการดับเพลิง จะส่งผลไปยังอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ไม่ใช่แหล่งต้นเพลิงโดยเฉพาะอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เพราะน้ำจะเข้าไปในวงจรทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นเมื่อเพลิงดับลง ผลที่ตามมาอีกอย่างคือ อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ก็เสียหายไปด้วย ไม่ใช่เพราะเพลิงไหม้อย่างเดียวแต่เป็นเพราะน้ำด้วย และนอกจากนี้ในกรณีที่ระบบจับสัญญาณความร้อนมีความผิดพลาดจะทำให้มีการฉีดกระจายน้ำลงมาทั้งๆที่ไม่มีการเกิดอัคคีภัยขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์สำนักงาน ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในปัจจุบันจึงมีการใช้หัวฉีดกระจายน้ำความดันสูงที่สามารถฉีดน้ำออกมาเป็นลักษณะหมอกน้ำ (Water mist) ซึ่งหมอกน้ำนี้จะลดความเสียหายอันเนื่องจากน้ำต่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ได้ เพราะหมอกน้ำจะกระจายไปตามอากาศโดยรอบโดยมีพฤติกรรมเหมือนก๊าซ ไม่ได้ตกเป็นหยดน้ำสู่อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

สำหรับนิยามของหมอกน้ำที่ทาง NFPA (National Fire Protection Association ของสหรัฐอเมริกา) กล่าวไว้คือ 99% ของปริมาตรเป็นหยดน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1000 ไมโครเมตร [1]

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการทำการศึกษากฎการของการลดอุณหภูมิของบริเวณรอบๆ แหล่งความร้อนอันเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำ การ

กระจายตัวของหมอกน้ำอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเงื่อนไขของขนาดของหมอกน้ำและมุมกรวยในการฉีดของหัวฉีดหมอกน้ำโดยระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมต่างๆอันเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบฉีดหมอกน้ำดับเพลิงในอนาคตต่อไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการกระจายตัวของเปลวไฟ คว้นไฟ และการดับเพลิงนั้นมีการทำทั้งโดยการทดลองจริงและการจำลองโดยอาศัยระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ดังเช่น

Raunaq Hasib (2007) [2] ได้จำลองการเกิดอัคคีภัยในห้องโดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ในการศึกษาเขาสนใจในกรณีสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว ผลที่ได้เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับการทดลองจริงพบว่า ที่เวลาใดๆ ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง ทำให้เขาสรุปว่าการจำลองโดยอาศัยวิธีการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถศึกษาการไหลและการกระจายตัวของความร้อน และคว้นไฟได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

Monica Galdo Vega (2008) [3] ได้จำลองพฤติกรรมของอัคคีภัยในระบบหมุนเวียนอากาศตามแนวยาว (Longitudinal Ventilation System) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Fluent v6.0 แก่ระบบสมการ Navier-Stoke เปรียบเทียบกับการทดลองจริงโดยใช้ผลของอุณหภูมิเปรียบเทียบ โดยได้ผลอุณหภูมิจากการทดลองจริงและการจำลองที่สอดคล้องกัน

ชัยณรงค์ (2549) [4] ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย เพื่อศึกษากรณีการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในห้องเครื่องส่งลมเย็นภายในอาคารสูง ซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน และนำข้อมูลที่ได้รับจากโปรแกรมมาทำการพิจารณาการออกแบบปรับปรุงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอัคคีภัย เพื่อพัฒนาเวลาในการตอบสนองของระบบตรวจจับอัคคีภัย

วีรวิทย์ (2549) [5] ทำการศึกษาและจำลอง เหตุอัคคีภัย เพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของ ห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน โดยการประยุกต์ใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป 3 ส่วนที่นำมาประกอบกัน คือ โปรแกรม Fire Dynamics Simulator โปรแกรม Smokeview และโปรแกรม PyroSim โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อจำลองการเกิดอัคคีภัยในอากาศยาน ชนิด Airbus 380 (A380) ที่สามารถโดยสารได้ มากกว่า 555 คน โดยการจำลองจะครอบคลุม การศึกษาพลศาสตร์อัคคีภัย การออกแบบระบบ ตรวจจับความร้อนบนห้องสินค้าบนอากาศยานส่วน หน้า เพื่อที่จะนำผลมาเสนอแนะการปรับปรุงเพิ่มเติม ในส่วนของระบบป้องกันอัคคีภัยและระบบตรวจจับ ความร้อน

กิตติสันต์ (2550) [6] ทำการใช้ระเบียบวิธี เชิงตัวเลขในการศึกษาพฤติกรรมของไฟ และการ แพร่กระจายของควันจากการจำลองเพลิงไหม้ถึงเก็บ น้ำมันดีเซลขนาดใหญ่ โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ ของไหลเชิงคำนวณ คือ โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) และยังแนะนำการอพยพหนีไฟเมื่อ เกิดเพลิงไหม้ถึงน้ำมันดีเซลด้วย

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการศึกษาการเกิด อัคคีภัยและเสนอมาตรการป้องกันหรือดับเพลิง เพิ่มเติมจากส่วนที่มีอยู่ เช่น เพิ่มระบบการระบายควัน การติดตั้งหัวฉีดดับเพลิง หรืออุปกรณ์ตรวจจับเพื่อ ป้องกันอัคคีภัย ส่วนในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการ จำลองพฤติกรรมการดับเพลิงด้วยน้ำโดยเฉพาะด้วย หมอกน้ำ (Water mist fire suppression) ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางพลศาสตร์ของไหลเชิง คำนวณยังมีเป็นจำนวนน้อย และโดยส่วนใหญ่เป็น งานวิจัยในต่างประเทศ อาทิเช่น

Sung Chan Kim และ Hong Sun Ryou (2003) [7] ได้ทำการทดลองการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ ในห้องขนาด 4.0 m x 4.0 m x 2.3 m แล้วทำการวัด อุณหภูมิเทียบกับเวลาด้วย Thermocouples ชนิด K ปริมาณความเข้มข้นของ Oxygen วัดโดย Gas analyzer ซึ่งพบช่วงที่แตกต่างกันสองช่วงในการ

กระจายตัวของอุณหภูมิ คือ ช่วงที่อุณหภูมิเย็นลง อย่างรวดเร็ว และ ช่วงที่อุณหภูมิลดลงอย่างช้าๆ และได้ทำการจำลองแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยใช้โปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS Version 3.0) เปรียบเทียบกับการทดลองจริงได้ผล ของอุณหภูมิเทียบกับเวลาที่สอดคล้องกัน

K.C. Adiga (2007) [8] ได้ทดลองดับเพลิง ด้วยหมอกน้ำขนาดเล็กมาก ($<10\ \mu\text{m}$) ในห้องขนาด ปริมาตร 28 ลูกบาศก์เมตร ได้โมเมนต์ของน้ำที่ออก จากหัวฉีดที่น้อยกว่า 1 m/s แล้วได้จำลองแบบ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม Fluent และใช้ระเบียบวิธี Lagrangian Discrete Phase Model (DPM) สำหรับจำลองหมอกน้ำ พบว่าหมอกน้ำ ขนาดเล็กมาก หรือ Ultra fine mist (UFM) มี พฤติกรรมเหมือนก๊าซที่หนาแน่น และพบว่าผลการ จำลองแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเปรียบเทียบกับ การทดลองจริงได้ข้อมูลที่สอดคล้องกัน

HART, R.A. (2003) [9] ได้ทำการจำลอง พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการดับเพลิงด้วย หมอกน้ำโดยใช้โปรแกรม Fluent โดยแบบจำลองของ อัคคีภัยใช้ Non-Premixed Combustion Model และ แบบจำลองของหมอกน้ำใช้ Lagrangian Discrete Phase Model โดยใช้แบบจำลองอุโมงค์สามมิติ โดยมี หัวฉีดหมอกน้ำ 6 หัว ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการกระจาย ตัวของหมอกน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ไมโครเมตร ว่าการกระจายตัวของหมอกน้ำมีลักษณะ เป็นพุ่มกลาวคือการกระจายขยายพื้นที่มากขึ้นเมื่อ ระยะห่างจากตัวหัวฉีดมากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการทดลองจริงของการ ดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ ได้แก่

Lvyi Chen (2008) [10] ทำการศึกษากการ ดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ (Water mist fire suppression) ภายใต้ค่าความเร็วระบายอากาศตามแนวยาว (Longitudinal ventilation velocity) ที่แตกต่างกัน ภายในอุโมงค์ โดยเป็นการทดลองแบบย่อขนาด (Scaling) จากการทดลองจริงของ Siemens Building Technologies ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยใช้

หัวฉีดหมอกน้ำสองชนิดในการดับเพลิงจากถังไม้ ภายใต้ความเร็วการระบายอากาศ 5 ค่า

จากการตรวจสอบเอกสารข้างต้นทำให้พบว่า ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการฉีดหมอกน้ำ อันได้แก่ ขนาดของหมอกน้ำต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิ และมุมกรวยของหัวฉีดต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิ เป็นส่วนที่ยังไม่มีการศึกษาในเชิงลึก และการศึกษาโดยการทดลองนั้นทำได้ยากอันเนื่องจากขาดชุดทดลอง ซึ่งการจัดสร้างนั้นต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง การศึกษาโดยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม Fluent จึงเป็นการศึกษาที่ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบดับเพลิงด้วยหมอกน้ำต่อไปในอนาคต

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

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

3.1.1 สมการกฎทรงมวล (Continuum Equation)

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

3.1.2 สมการกฎทรงโมเมนตัม (Momentum Equation)

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

3.1.3 สมการกฎทรงพลังงาน (Energy Equation)

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

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

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

3.1.4.1 สมการพลังงานจลน์ปั่นป่วน (Turbulent Kinetic Energy Equation)

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

3.1.4.2 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

3.1.5 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

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

3.2 การดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ

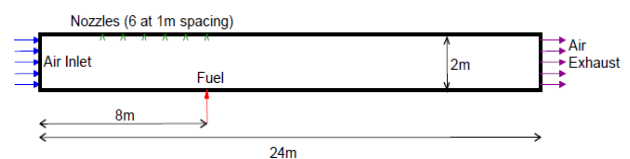
การดับเพลิงด้วยน้ำเป็นวิธีการดับเพลิงที่เป็นที่นิยมวิธีหนึ่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน น้ำสามารถหาได้ง่ายกว่าสารดับเพลิงประเภทอื่นเพราะมนุษย์มีใช้ในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว การใช้น้ำดับเพลิงนั้นไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ไม่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ น้ำมีกลไกในการดับเพลิงโดยการดูดซับความร้อนโดยตรงจากเปลวไฟ จากผลผลิตจากการเผาไหม้ และจากผิวของเชื้อเพลิงด้วยคุณสมบัติทั้งค่าความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงที่สูง รวมถึงการสามารถแทนที่ออกซิเจน และลดการการถ่ายเทรังสีความร้อนในปฏิกิริยาการเผาไหม้

ถ้าแบ่งประเภทการดับเพลิงแบบอัตโนมัติโดยน้ำด้วยขนาดหยดน้ำ (Water droplet) จะแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ เป็นแบบกระจายน้ำดับเพลิงทั่วไป (Sprinkler) และแบบหมอกน้ำ (Water mist) สำหรับการดับเพลิงด้วยการกระจายน้ำดับเพลิงทั่วไปนั้นขนาดหยดน้ำจะมีขนาดใหญ่กว่าแบบหมอกน้ำ มีข้อดีคือ ราคาในการติดตั้งและบำรุงรักษาถูกกว่า แต่มีข้อเสีย คือ หยดน้ำขนาดใหญ่จะสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุและอุปกรณ์บางชนิด เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า และยังใช้น้ำปริมาณมากในการดับเพลิง สำหรับการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ ขนาดหยดน้ำจะมีขนาดเล็กกว่า ไม่สร้างความเสียหายให้แก่วัสดุและอุปกรณ์บางชนิด ทั้งยังใช้น้ำปริมาณน้อยกว่า และหมอกน้ำยังมีพฤติกรรมเหมือนก๊าซ แต่มีราคาในการติดตั้งและบำรุงรักษาแพงกว่า

4. ผลการศึกษา

การศึกษาในขั้นต้นทำโดยสร้างแบบจำลองการฉีดหมอกน้ำโดยทำการเปรียบเทียบ (Validation) กับผลการจำลองของ HART, R.A. (2003) ซึ่งเป็นการจำลองการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำโดยใช้โปรแกรม Fluent ที่ใช้การจำลองไฟในลักษณะ Non-Premixed Combustion Model และส่วนการจำลองการฉีดหมอกน้ำจะใช้หลักการของ Lagrangian Discrete Phase Model

ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองที่ศึกษาเป็นการจำลองในลักษณะ 3 มิติ โดยมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีความยาว 24 เมตร แต่จะจำลองเพียงครึ่งหนึ่งคือ 12 เมตร เนื่องจากความยาวสมมาตรกัน และมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $2 \times 2 \text{ m}^2$ ที่ปลายทั้งสองด้านของอุโมงค์จะเป็นส่วนของช่องลมเข้าและช่องลมออก โดยที่กริดทั้งหมดมีจำนวน 172,215 กริด แหล่งความร้อนเป็นแบบฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ที่ไม่พิจารณาการเผาไหม้โดยแหล่งความร้อนมีการให้ความร้อนโดยตรงและคงที่ขนาด $20,180 \text{ kW/m}^2$ ผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ตำแหน่งกลางพื้นอุโมงค์ขนาดด้านละ 5 เซนติเมตร และอยู่ที่ตำแหน่งระยะ 8 เมตรห่างจากช่องลมเข้า หัวฉีดหมอกน้ำมีจำนวน 6 หัวที่กลางเพดานอุโมงค์โดยหัวฉีดที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่งที่ระยะ 3 เมตรจากช่องลมเข้าแล้วมีระยะห่างหัวฉีดละ 1 เมตรจนถึงด้านบนของแหล่งความร้อน 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



รูปที่ 1 แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัย

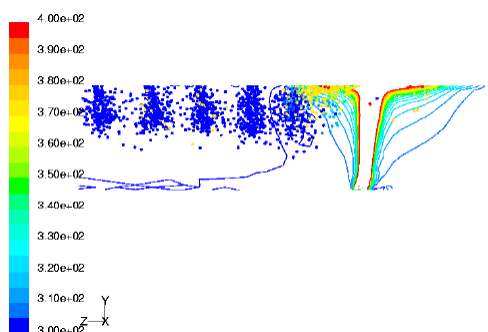
การเริ่มฉีดหมอกน้ำจะทำการฉีดเมื่อการกระจายความร้อนเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากมีการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน ซึ่งจากการจำลองพบว่าระยะเวลาที่การกระจายความร้อนเข้าสู่สภาวะคงตัวคือ 30 วินาที หลังจากให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน ดังแสดงการกระจายตัวของความร้อนเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวในรูปที่ 2



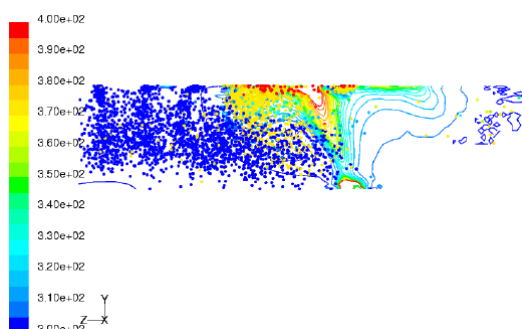
รูปที่ 2 การกระจายตัวของความร้อนในเวลา 30 วินาทีหลังจากการให้ความร้อนกับแหล่งความร้อน

4.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองการดับเพลิงของหมอกน้ำกับงานวิจัยของ HART, R.A. (2003)

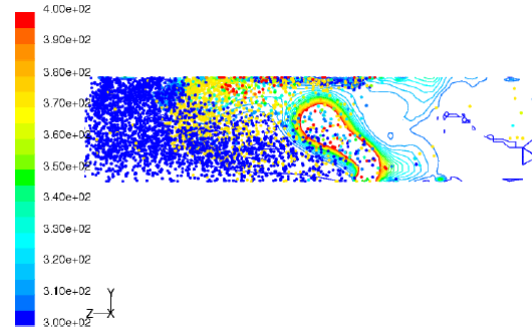
ผลการศึกษาของ HART, R.A. (2003) ได้แสดงถึงผลของการฉีดหมอกน้ำเมื่อเวลา 2, 4 และ 5 วินาทีหลังจากการกระจายตัวของความร้อนเข้าสู่สภาวะคงตัว รูปที่ 3, 4 และ 5 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของความร้อนที่เวลา 2, 4 และ 5 วินาทีหลังจากมีการฉีดหมอกน้ำโดยใช้ Temperature Contour ที่นำผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำนำมาแสดงรวมกัน



รูปที่ 3 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาที

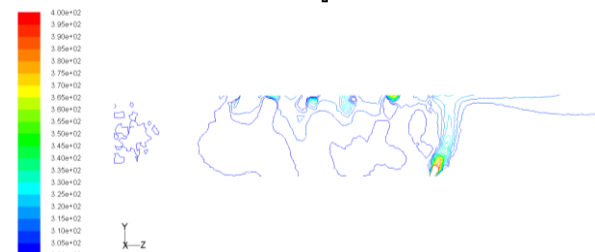


รูปที่ 4 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 4 วินาที

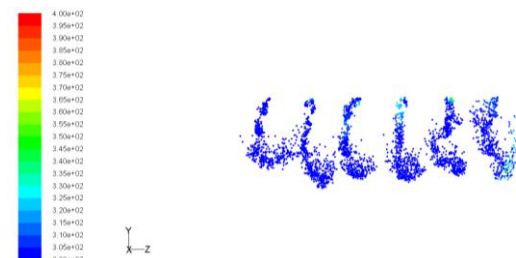


รูปที่ 5 การกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาที

ผลการจำลองในงานศึกษาวิจัยนี้แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำ ในแต่ละเวลา ดังแสดงในรูปที่ 6 – 8 ด้านล่าง

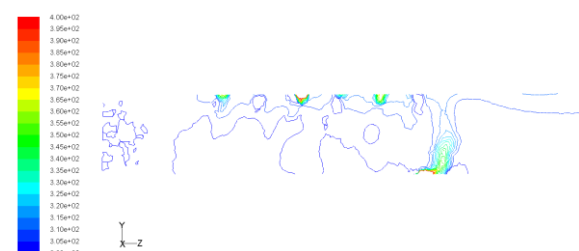


ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

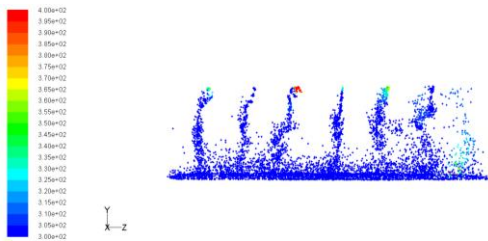


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 6 ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 2 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้



ก) การกระจายตัวของอุณหภูมิ

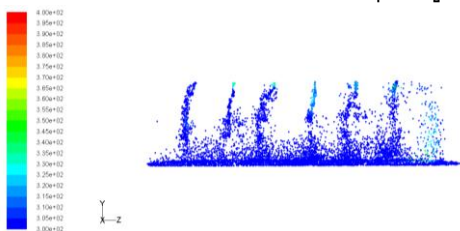


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 7 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 4 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้



ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

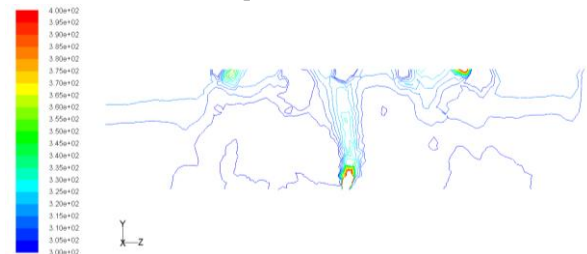
รูปที่ 8 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 5 วินาทีจากการจำลองในงานวิจัยนี้

จากผลการจำลองพบว่าลักษณะทั้งการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและลักษณะการกระจายตัวของหมอกน้ำมีลักษณะเหมือนกับงานวิจัยของ HART, R.A. (2003) กล่าวคือ การกระจายตัวของอนุภาคน้ำของไฟมีลักษณะเป็นพวยพุ่งสูงชัน ส่วนหมอกน้ำที่ถูกฉีดลงมาจะมีลักษณะเป็นพวยพุ่งและมีการกระจายขยายพื้นที่มากขึ้นตามระยะทางที่ห่างจากหัวฉีดและมีการลดอนุภาคน้ำของพวยพุ่งความร้อนลงเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำ

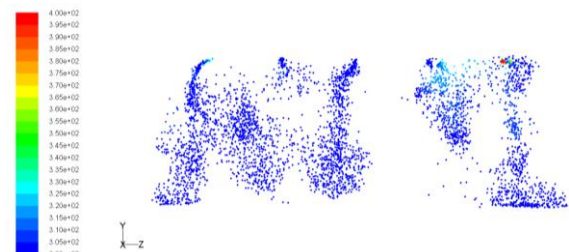
4.2 การศึกษาผลการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำอันเนื่องมาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำ

การศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำ จะทำการจำลองในลักษณะทางกายภาพที่มีลักษณะเป็นอนุโมเมนต์ที่มีความยาวเหลือเพียงแค่ 8 เมตร เพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณลง และจำนวนหัวฉีดลดลงเหลือเพียง 5 หัว และช่องลมเข้ากำหนดให้ความเร็วลมเป็นศูนย์ โดยที่ขนาดของหมอกน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก 50 ไมโครเมตรจนถึง 1000 ไมโครเมตร โดยใช้หัวฉีดที่มีมุมกรวยที่ 35°

ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำต่อการกระจายตัวของอนุภาคน้ำของหมอกน้ำแสดงในรูป 9 – 12

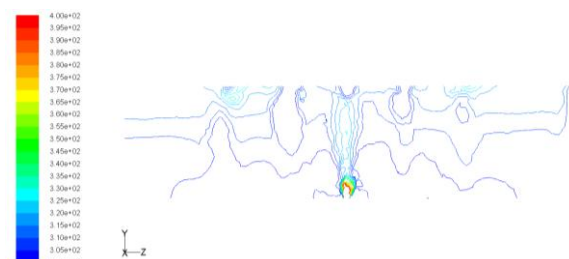


ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ

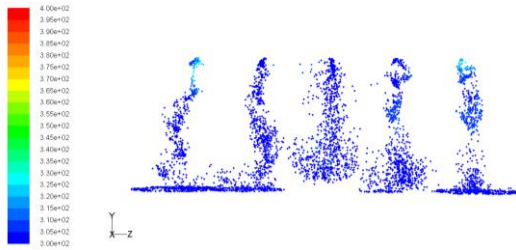


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 9 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 50 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

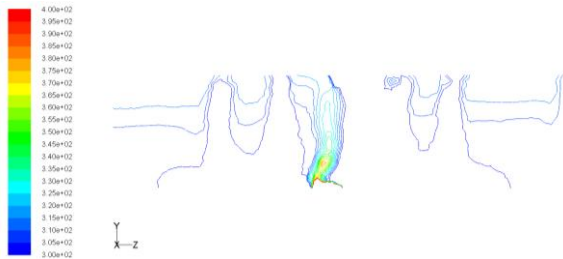


ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

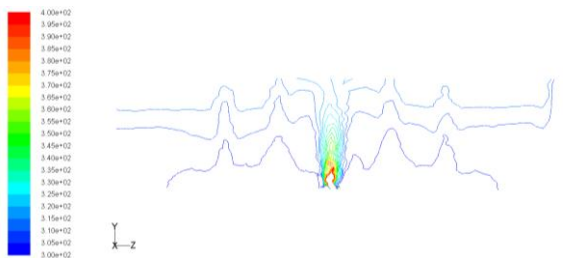
รูปที่ 10 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 100 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที



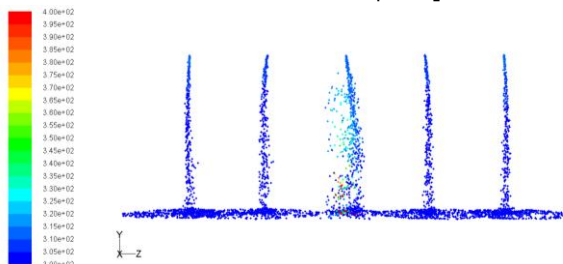
ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ

ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 11 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 150 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที



ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

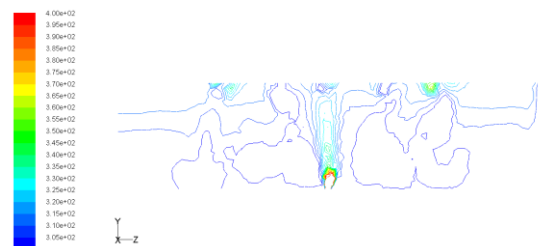
รูปที่ 12 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำหลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำขนาด 250 ไมโครเมตรเป็นเวลา 3 วินาที

จากผลการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของอนุภาคน้ำเมื่อหมอกน้ำมีขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็นจะสามารถลดอุณหภูมิของพุ่มความร้อนได้มากกว่าหมอกน้ำขนาดใหญ่และการกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นพุ่มไปจนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำมีขนาด 100 ไมโครเมตร เมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำใหญ่ขึ้นการกระจายตัวของหมอกน้ำจะลดลงเป็นอย่างมาก และเมื่อขนาดของหมอกน้ำใหญ่มาก เช่นที่มากกว่า 200 ไมโครเมตร การกระจายตัวของหมอกน้ำจะไม่เกิดลักษณะของพุ่ม

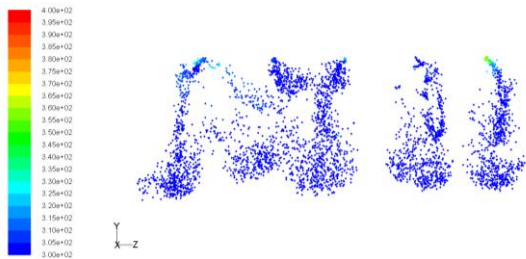
4.3 การศึกษาผลการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำอันเนื่องมาจากมุมกรวยของหัวฉีด

การศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงมุมกรวยของหัวฉีดต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำทำการเปลี่ยนมุมกรวยจาก 30° – 90° ขนาดของอุโมงค์ลงเหลือ 8 เมตรและหัวฉีดเหลือ 5 หัว เพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณลงและช่องลมเข้ากำหนดให้ความเร็วลมเป็นศูนย์ โดยที่กำหนดให้หมอกน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ไมโครเมตร

รูปที่ 13-17 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงมุมกรวยขนาดต่างๆต่อการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำ

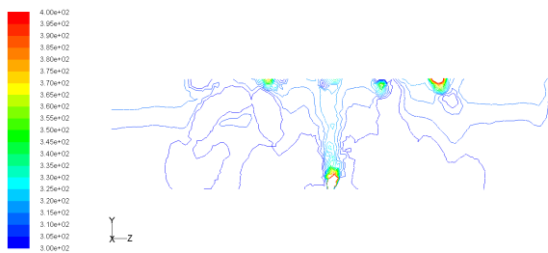


ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ

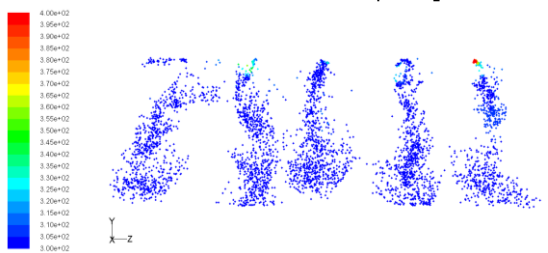


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 13 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำเมื่อใช้หัวฉีดที่มีมุมกรวยเท่ากับ 30°หลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 3 วินาที

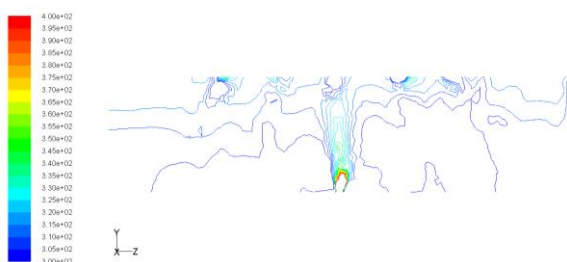


ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ

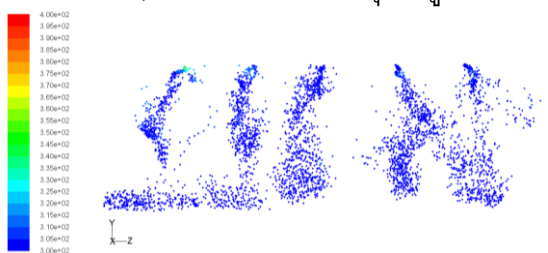


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 14 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำเมื่อใช้หัวฉีดที่มีมุมกรวยเท่ากับ 45°หลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 3 วินาที

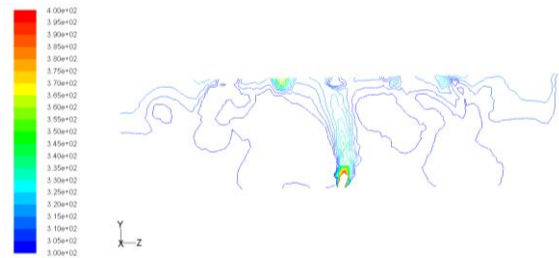


ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ

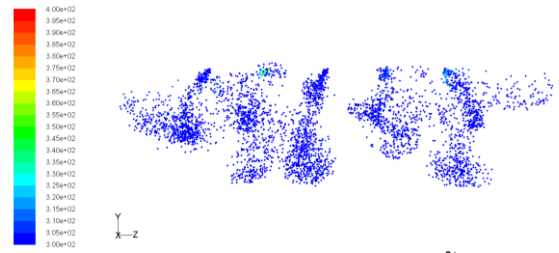


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 15 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำเมื่อใช้หัวฉีดที่มีมุมกรวยเท่ากับ 60°หลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 3 วินาที

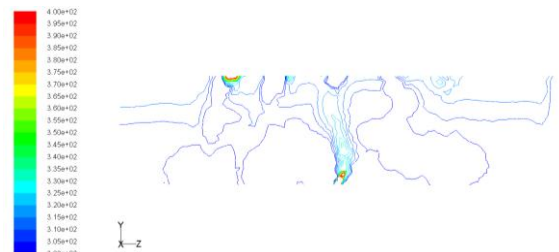


ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ

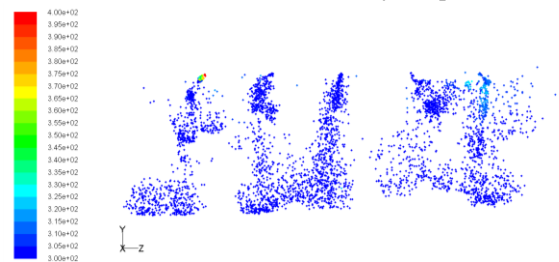


ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 16 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำเมื่อใช้หัวฉีดที่มีมุมกรวยเท่ากับ 75°หลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 3 วินาที



ก) การกระจายตัวของอนุภาคน้ำ



ข) การกระจายตัวของหมอกน้ำ

รูปที่ 17 ผลของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและการกระจายตัวของหมอกน้ำเมื่อใช้หัวฉีดที่มีมุมกรวยเท่ากับ 90°หลังจากเริ่มฉีดหมอกน้ำเป็นเวลา 3 วินาที

ผลการศึกษาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมกรวยพบว่า การกระจายตัวของอนุภาคน้ำโดยทั่วไปมีลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือ มุมกรวยไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญของการกระจายตัวของอนุภาคน้ำและพบว่าการกระจาย

ตัวหมอกน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมกรวยนั้น โดยทั่วไปมีลักษณะเหมือนกัน กล่าวคือมุมกรวยไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญของการกระจายตัวของหมอกน้ำเช่นกัน ถ้าขนาดของหมอกน้ำมีขนาดเล็กที่สามารถทำให้การไหลลงมีลักษณะเป็นพุ่ม

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำและมุมกรวยของหัวฉีดหมอกน้ำต่อการกระจายตัวและการลดอุณหภูมิ โดยที่การศึกษาทำการโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำจาก 50–1,000 ไมโครเมตรและมุมกรวยจาก 30–90 องศา ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำมีผลต่อการกระจายตัวของหมอกน้ำและการลดอุณหภูมิ โดยที่การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อหมอกน้ำมีขนาดเล็กและมีลักษณะเป็นพุ่มความเย็นจะสามารถลดอุณหภูมิของพุ่มความร้อนได้มากกว่าหมอกน้ำขนาดใหญ่ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่อยู่ระหว่าง 50-100 ไมโครเมตร การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นพุ่ม และมีหมอกน้ำบางส่วนที่กระจายลอยฟุ้งไปตามอากาศ แต่เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมอกน้ำขนาดตั้งแต่ 150 ไมโครเมตรขึ้นไป การกระจายตัวของหมอกน้ำจะมีลักษณะเป็นการไหลจากหัวฉีดตกสู่ด้านล่างซึ่งไม่เกิดลักษณะการกระจาย ส่วนในการศึกษาในเรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนขนาดมุมกรวยในการฉีดหมอกน้ำพบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหมอกน้ำที่มีขนาดน้อยกว่า 100 ไมโครเมตรการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยทั่วไปมีลักษณะเหมือนกัน และพบว่าขนาดมุมกรวยไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญในการเพิ่มพื้นที่ในการกระจายตัวของหมอกน้ำในการลดอุณหภูมิอันเนื่องมาจากการฉีดหมอกน้ำ ซึ่งเป็นการสรุปภายใต้สมมุติฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] NFPA 750. (2003). *Standard on water mist fire protection systems*. NFPA, Quincy, MA.

[2] Raunaq Hasib. (2007). Simulation of an experimental compartment fire by CFD. *Building and Environment*. (42): 3149-3160.

[3] Monica Galdo Vega. (2008). Numerical 3D simulation of a longitudinal ventilation system. *Tunnelling and Underground Space Technology*. (23): 539-551.

[4] ชัยณรงค์ คงเจริญสุข. (2549). การศึกษาและออกแบบเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับอัคคีภัยในห้องเครื่องส่งลมเย็นโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[5] วีรวิทย์ วัฒนาสวัสดิ์. (2549). การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยของห้องเก็บสินค้าในอากาศยาน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] กิตติสันต์ ศิวรานนท์. (2550). การศึกษาพฤติกรรมเพลิงไหม้ของถังเก็บน้ำมันดีเซลขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[7] Sung Chan Kim, Hong Sun Ryou. (2003). An experimental and numerical study on fire suppression using a water mist in an enclosure. *Building and Environment*. (38): 1309-1316.

[8] K.C. Adiga. (2007). A computational and experimental study of ultra fine water mist as a total flooding agent. *Fire safety Journal*. (42): 150-160.

[9] HART, R.A. (2003). Numerical simulation of water mist suppression of tunnel-fire scenarios, In *International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries 3. Ed.* CSIRO, Melbourne, Australia.

[10] Lvyi Chen. (2008). Experimental study of water mist fire suppression in tunnels under longitudinal ventilation. *Building and Environment*. (44): 446-455.