การศึกษาผลกระทบของการแบ่งกั้นพื้นที่ภายในอาคาร ความขรุขระของผิวท่อ และความเร็วของการไหลในท่อต่อการออกแบบระบบกระจายน้ำดับเพลิงในอาคารสูง

Study on the Effects of Interior Space Partitioning, Pipe Surface Roughness, and Water Flow Velocity on the Design of Sprinkler Systems in High-Rise Buildings

รัตตินันท์ เวชตรียานนท์[1] และ ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ[2*]

Rattinan Wettreeyanon[1] and Prakob Surawattanawan[2*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

[1]Safety Engineering Program, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*E-mail: fengpsw@ku.ac.th

Received: Jun 12, 2025

Revised: Jul 06, 2025

Accepted: Jul 16, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงในอาคาร โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีศึกษาใน 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ (1) การแบ่งกั้นพื้นที่การใช้งานภายในอาคาร (2) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวท่อส่งน้ำ (C-factor) และ (3) ความเร็วของน้ำภายในท่อ โดยใช้หลักการคำนวณทางไฮดรอลิกตามมาตรฐาน NFPA 13 ร่วมกับการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงปริมาณ ผลการศึกษาพบว่า การแบ่งกั้นพื้นที่ภายในอาคารส่งผลให้การออกแบบระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงจำเป็นต้องมีจำนวนหัวและมีความหนาแน่นต่อการจัดวางเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความดันของหัวกระจายน้ำที่อยู่ไกลที่สุดลดลงต่ำกว่าค่าขั้นต่ำที่มาตรฐานกำหนดส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง นอกจากนี้ค่าความขรุขระของผิวท่อที่เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานทำให้ความดันสูญเสียในระบบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะเมื่อท่อมีการใช้งานเกิน 20 ปี ส่วนการเพิ่มความเร็วน้ำในท่อจาก 10 ฟุตต่อวินาที เป็น 12 ฟุตต่อวินาที ส่งผลให้ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้นมากกว่า 12% ซึ่งอาจต้องเพิ่มขนาดของเครื่องสูบน้ำดับเพลิงเพื่อชดเชยความดันที่สูญเสียให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การออกแบบระบบหัวกระจายน้ำที่มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่า ควรพิจารณาปัจจัยข้างต้นร่วมกันอย่างเป็นระบบ โดยให้เกิดสมดุลทั้งด้านเทคนิคและต้นทุน เพื่อให้สามารถวางแผนการออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพใช้งานจริงในระยะยาว

คำสำคัญ: การป้องกันอัคคีภัย การป้องกันอัคคีภัยด้วยน้ำ ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ อายุการใช้งานของท่อน้ำ NFPA 13 การจัดสรรพื้นที่อาคาร การวิเคราะห์การไหลของของไหล

Abstract

This study aimed to examine the effects of key factors influencing the performance of sprinkler systems in buildings. It focused on comparative analysis of three main aspects: (1) partitioning of usable interior building spaces, (2) the roughness coefficient of the fire water supply pipe (C-factor), and (3) fire water velocity inside the pipe. The analysis was based on hydraulic calculation principles in accordance with NFPA 13, combined with quantitative data comparison. The results demonstrated that the partitioning of usable interior building space resulted in the design of the sprinkler system requiring higher number and density of sprinkler heads, causing the pressure of the most hydraulically remote sprinkler head to drop below the minimum requirement specified by the standard, thereby reducing the system effectiveness. In addition, the increase in pipe roughness due to aging

significantly raised the system's pressure loss, particularly when the pipe had been in service for more than 20 years. Furthermore, increasing the water velocity inside the pipe from 10 feet per second to 12 feet per second increased pressure loss by more than 12%, potentially requiring increased fire pump capacity to compensate for the pressure loss for the system to operate efficiently. The findings suggest that designing an effective and cost-efficient sprinkler system requires systematic consideration of the above factors, balancing technical and economic aspects to develop a design plan that is suitable for actual long-term operating conditions.

Keywords: Fire protection, Water based fire protection, Automatic sprinkler system, Lifespan of water pipes, NFPA 13, Building space allocation, Fluid flow analysis

1. บทนำ

อาคารสูง หมายถึง อาคารที่มีความความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป โดยวัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า ตามคำนิยามของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาเมืองและการขยายตัวของพื้นที่ชุมชนเมืองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการก่อสร้างอาคารสูงเป็นจำนวนมาก อาคารประเภทนี้มีความซับซ้อนทั้งในด้านโครงสร้างวิศวกรรม วิศวกรรมระบบและการใช้งานภายใน อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ เช่น การอพยพหนีไฟ และการเข้าถึงของเจ้าหน้าที่ดับเพลิง จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัยที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Sprinkler system) เป็นหนึ่งในระบบป้องกันอัคคีภัยที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถทำงานได้อัตโนมัติเมื่อเกิดอุณหภูมิสูงจากเปลวไฟ ผ่านกลไกของกระเปาะแก้ว (Glass bulb) ซึ่งบรรจุของเหลวพิเศษภายใน เมื่อของเหลวดังกล่าวได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวและแตกออกเมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด ทำให้สามารถควบคุมเพลิงไหม้ได้ในระยะเริ่มต้นก่อนที่เหตุการณ์จะลุกลาม ระบบนี้จึงถือเป็นกลไกสำคัญในการลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

การออกแบบระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงสามารถดำเนินการโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน NFPA 13 ซึ่งกำหนดแนวทางและข้อกำหนดทางเทคนิคต่าง ๆ เพื่อให้มั่นใจว่าระบบสามารถจ่ายน้ำได้อย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณทางไฮดรอลิก (Hydraulic calculation) ซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์ความดันและอัตราการไหลภายในระบบท่ออย่างเป็นระบบ [1]-[4], [5] การออกแบบที่ดีไม่เพียงแค่ทำตามข้อกำหนดในมาตรฐานเท่านั้น แต่ควรวิเคราะห์ปัจจัยด้านการเสื่อมสภาพของระบบตลอดอายุการใช้งาน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าความขรุขระของผิวท่อ (C-factor) [6] ซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความดันสูญเสียและประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว นอกจากนี้ ในกระบวนการออกแบบควรพิจารณาข้อจำกัดและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ ทั้งในสภาวะปัจจุบันและการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เช่น ลักษณะการใช้งานอาคาร การเปลี่ยนแปลงผังพื้นที่ ตลอดจนความเสื่อมสภาพของวัสดุและอุปกรณ์ประกอบเพื่อให้สามารถออกแบบระบบดับเพลิงที่มีความเสถียรและคงประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการใช้งาน

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยทางวิศวกรรมที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงในอาคารสูง โดยเน้นการศึกษาผลกระทบจาก (1) การแบ่งกั้นพื้นที่ใช้งานภายในอาคาร (2) ค่าความขรุขระของผิวภายในท่อส่งน้ำ (C-Factor) และ (3) ความเร็วของน้ำในท่อ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความดันสูญเสียในระบบและประสิทธิภาพการจ่ายน้ำของหัวกระจายน้ำ การวิเคราะห์ดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเชิงวิศวกรรมสำหรับการออกแบบและการปรับปรุงระบบให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงของอาคารสูงในปัจจุบันและอนาคต

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. การวิเคราะห์และออกแบบระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง เป็นระบบป้องกันอัคคีภัยอัตโนมัติที่ติดตั้งภายในอาคารโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมหรือดับเพลิงในระยะเริ่มต้นก่อนที่เพลิงจะลุกลาม ระบบนี้ทำงานโดยใช้น้ำเป็นสารดับเพลิงหลัก และทำงานได้โดยอัตโนมัติเมื่อเกิดอุณหภูมิสูงจากเปลวไฟ [5] โดยระบบที่นิยม

ติดตั้งในประเทศไทย คือ ระบบท่อเปียก (Wet pipe system) และหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบหลอดแก้ว (Glass bulb) เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับความร้อน เมื่อเกิดเพลิงไหม้ความร้อนจะทำให้อุณหภูมิบริเวณหัวกระจายน้ำเพิ่มขึ้น ของเหลวภายใน Glass bulb จะขยายตัวจนหลอดแก้วแตกเมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด (Temperature rating) การแตกของ Glass bulb จะปลดล็อควาล์วในหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำให้น้ำถูกปล่อยออกมาเพื่อดับเพลิงบริเวณนั้น

ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะต้องประกอบด้วยระบบท่อยืน และเครื่องสูบน้ำดับเพลิง (Fire pump) เป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างของระบบดับเพลิงภายในอาคาร โดยเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารสูงที่ความสามารถของแรงดันจากแหล่งจ่ายน้ำภายนอกไม่สามารถรองรับความต้องการได้อย่างเพียงพอ ระบบทั้งสองจึงทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อรับประกันว่าน้ำสามารถส่งไปยังอุปกรณ์ดับเพลิงต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอในภาวะฉุกเฉิน [7], [8]

การออกแบบระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะต้องคำนึงถึงการพิจารณาการเลือกจุดที่เป็นพื้นที่ที่มีความต้องการใช้งานระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงสูงสุด (Most demanding area) สามารถพิจารณาได้จากพื้นที่ที่มีระยะไกลที่สุด หรือพื้นที่ที่ต้องการน้ำมากที่สุดและอัตราการไหลของน้ำสูงสุด โดยความดันในการออกแบบของหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่อยู่ไกลที่สุดต้องไม่ต่ำกว่า 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (0.5 บาร์) [5] และความเร็วของน้ำภายในท่อส่งจ่ายน้ำดับเพลิงไม่ควรเกิน 10 ฟุตต่อวินาที [9] เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากแรงกระแทกของน้ำ (Water hammer) ลดการสึกกร่อนของท่อ และช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบ

2.2. การออกแบบระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอาคารสูง 8 ชั้น

จากการออกแบบกรณีศึกษาอาคาร 8 ชั้น แบ่งออกเป็นชั้นใต้ดิน 1 ชั้น ความสูงจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงพื้นดาดฟ้า เท่ากับ 23.8 เมตร ดังแสดงใน Figure 1 นำมาจัดวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงให้สอดคล้องเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 13 ซึ่งกำหนดพื้นที่ป้องกันและระยะห่างของหัวกระจายน้ำดับเพลิงสูงสุดแบ่งออกตามพื้นที่ครอบคลุมแต่ละประเภท ดังแสดงใน Table 1 โดยจะนำค่าเหล่านี้มาใช้ในการคำนวณวิธี Hydraulic calculation

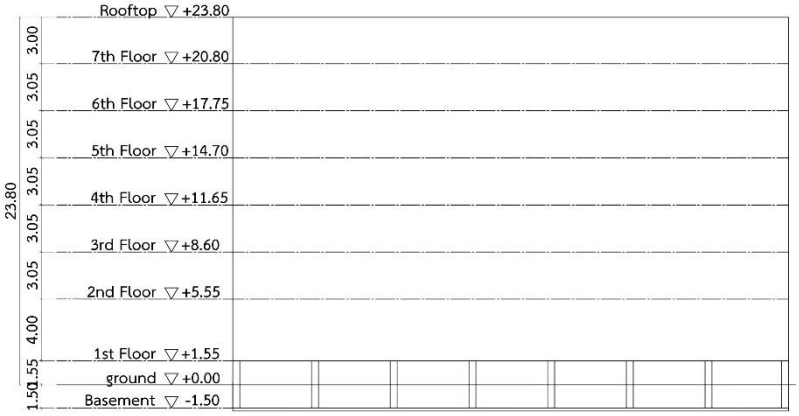

Figure 1 The height of each floor in a building (in meters)

Table 1 Maximum protection area and Maximum spacing of standard pendent and upright spray sprinklers

Hazard category	Maximum protection area		Maximum spacing	
	ft^2	m^2	ft^2	m^2
Light hazard	225	20	15	4.6
Ordinary hazard	130	12	15	4.6
Extra hazard (density ≥ 0.25 gpm/ft^2)	100	9	12	3.6

จากการออกแบบตามมาตรฐาน NFPA 13 โดยหัวกระจายน้ำดับเพลิงถูกจัดวางเป็นรูปแบบกิ่ง (Tree pattern) ลักษณะหัวเป็นแบบหัวคว่ำ (Pendent) สามารถวาง branch lines ได้จำนวน 8 เส้น ระยะห่างระหว่าง branch lines เท่ากับ 4.50 เมตร แต่ละ branch lines มีหัวกระจายน้ำดับเพลิงจำนวน 5 หัว ระยะห่างแต่ละหัวเท่ากับ 4.20 เมตร (Figure 2 และ Figure 3) สำหรับกรณีไม่มีการแบ่งกั้นพื้นที่ภายในอาคาร

NFPA 13 ระบุการใช้ปริมาณน้ำขั้นต่ำต่อพื้นที่การทำงานของหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยแบ่งตามประเภทของความเสี่ยงอัคคีภัย ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งโดยทั่วไปมักเลือกจุดที่ต่ำที่สุดยกเว้นในกรณีที่ไม่สามารถเข้ากับ fire pump ได้ สามารถเลือกจุดอื่นได้โดยให้ขยับขึ้นมาตามแนวเส้นของกราฟ

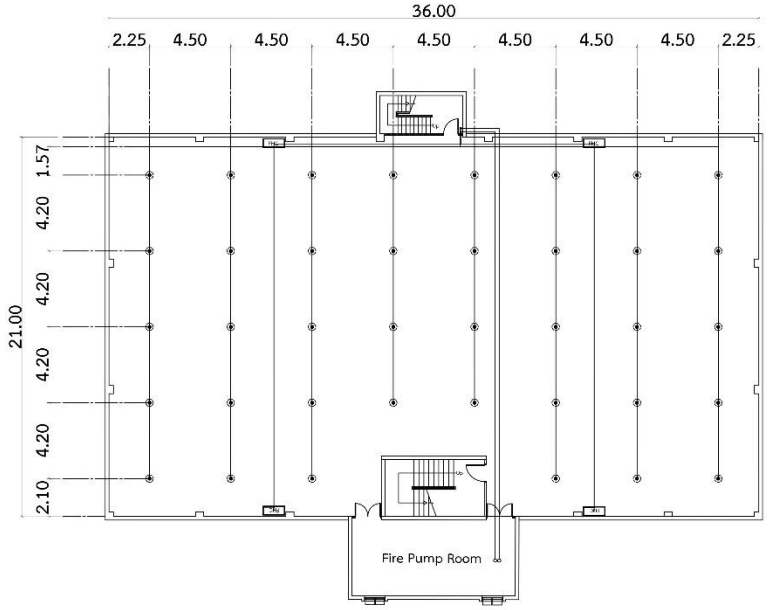

Figure 2 The design of a sprinkler system for the basement (in meters) :8 branch lines, 5 sprinklers per line

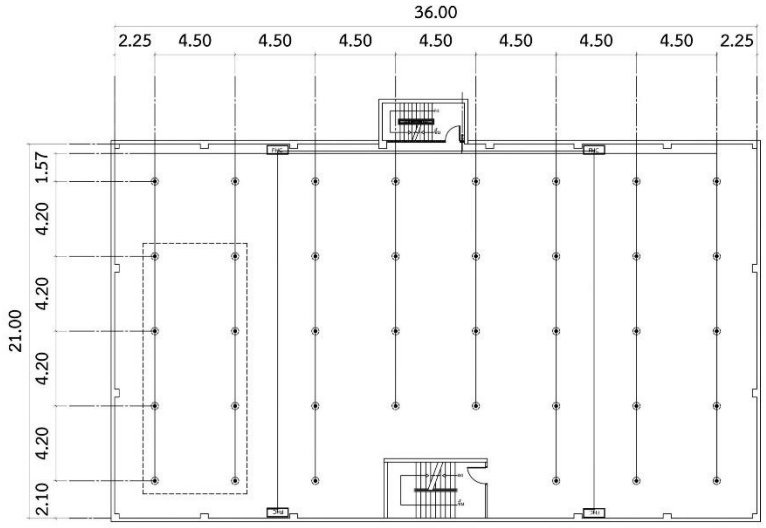

Figure 3 The design of a sprinkler system and the hydraulically most demanding area on the 7th floor (in meters) : 8 branch lines, 5 sprinklers per line

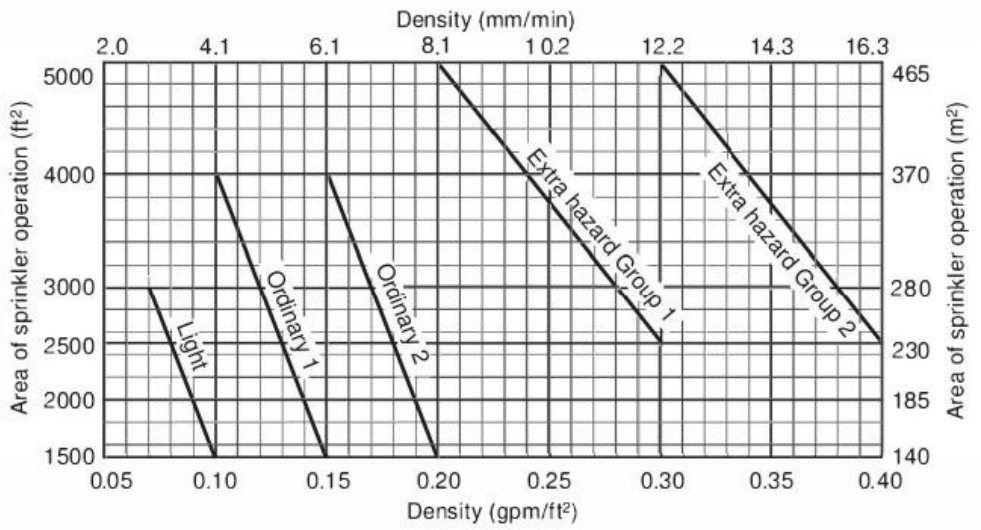

Figure 4 Water density per area of sprinkler operation curves

2.3. การคำนวณหาจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ทำงานในพื้นที่ป้องกันเพื่อกำหนดพื้นที่และนำมาคำนวณด้วยวิธี Hydraulic calculation

การคำนวณความยาวต่ำสุดของพื้นที่การทำงานตามแนว branch lines ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{length}_S = 1.2\sqrt{\text{design area}} \quad (1)$$

โดยที่

length_S = ความยาวของพื้นที่การทำงานตามแนว branch lines (เมตร)

Design area = พื้นที่ป้องกันที่ใช้ในการออกแบบ (ตารางเมตร)

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ทำงานตามแนว branch line

$$N_S = \frac{\text{length}_S}{S} \quad (2)$$

โดยที่

N_S = จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ทำงานตามแนว branch line

length_S = ความยาวของพื้นที่การทำงานตามแนว branch lines (เมตร)

S = ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง (เมตร)

ความยาวต่ำสุดของพื้นที่การทำงานตามแนวตั้งฉาก branch lines

$$\text{length}_L = \frac{A}{\text{length}_S} \quad (3)$$

โดยที่

length_L = ความยาวของพื้นที่การทำงานตามแนวตั้งฉาก branch lines (เมตร)

length_S = ความยาวของพื้นที่การทำงานตามแนว branch lines (เมตร)

A = พื้นที่ป้องกันที่ใช้ในการออกแบบ (ตารางเมตร)

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ทำงานตามแนวตั้งฉาก branch line

$$N_L = \frac{\text{length}_L}{L} \quad (4)$$

โดยที่

N_L = จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ทำงานตามแนวตั้งฉาก branch line

length_L = ความยาวของพื้นที่การทำงานตามแนวตั้งฉาก branch lines (เมตร)

L = ระยะห่างระหว่าง branch lines (เมตร)

การคำนวณค่าอัตราการไหลของหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่มีความต้องการน้ำมากที่สุดหรือหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่อยู่ไกลที่สุด ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = d \times A_S \quad (5)$$

โดยที่

Q = อัตราการไหลของหัวกระจายน้ำดับเพลิง (แกลลอนต่อนาที)

d = ความหนาแน่นของน้ำดับเพลิง (แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต)

A_S = พื้นที่ป้องกันต่อหัวกระจายน้ำดับเพลิง (ตารางฟุต)

การคำนวณค่าความดันต่ำสุดที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงที่มีความต้องการน้ำมากที่สุดหรือหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่อยู่ไกลที่สุด ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = K\sqrt{P} \quad (6)$$

โดยที่

Q = อัตราการไหลของหัวกระจายน้ำดับเพลิง (แกลลอนต่อนาที)

K = K-factor ของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

P = ความดันที่หัวกระจายน้ำดับเพลิง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่ออ้างอิงตาม NFPA 13 สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times\left(Q^{1.85}\right)}{\left(C^{1.85}\right)\times\left(D^{4.87}\right)}\times L \quad (7)$$

โดยที่

P = ความดันสูญเสียในท่อ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

Q = อัตราการไหลภายในท่อ (แกลลอนต่อนาที)

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (นิ้ว)

L = ความยาวของท่อ (ฟุต)

สมการนี้จะใช้ในการคำนวณความดันสูญเสียจากแรงเสียดทานของน้ำที่ไหลในท่อ โดยมีค่า C-factor เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ความขรุขระของพื้นผิวด้านในท่อ ถ้าค่า C มีค่าสูงแสดงว่าผิวท่อด้านในมีความเรียบมาก และค่า C ที่มีค่าต่ำแสดงว่าผิวท่อด้านในมีความขรุขระ

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss สามารถวิเคราะห์ได้จาก

$$P = 0.433 \times h \quad (8)$$

โดยที่

P = ความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

h = ความสูง (ฟุต)

ปรับค่าความดันสูญเสีย ณ จุดเดียวกัน โดยปรับจุดที่มีความดันต่ำกว่าให้มีค่าเท่ากับความดันจุดที่สูงกว่า หลังจากการปรับความดันจะทำให้อัตราการไหลมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย คำนวณได้จาก

$$Q_{adjust} = Q_{low} \times \sqrt{\frac{P_{high}}{P_{low}}} \quad (9)$$

โดยที่

Q_{adjust} = อัตราการไหลหลังจากการปรับค่า (แกลลอนต่อนาที)

Q_{low} = อัตราการไหล ณ จุดที่ต่ำกว่า (แกลลอนต่อนาที)

P_{low} = ความดัน ณ จุดที่ต่ำกว่า (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

P_{high} = ความดัน ณ จุดที่สูงกว่า (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

ตัวอย่างการวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง (ไม่มีการกั้นพื้นที่) สามารถวาดแผนภาพ ดังแสดงใน Figure 5

จุด C ใน Figure 5 คือ Header ซึ่งเป็นจุดรวมระหว่างระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงและตู้สายฉีดน้ำดับเพลิง แต่ในการศึกษานี้จะศึกษาเฉพาะระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 1

จัดระดับความเสี่ยงของอาคารทุกชั้นเป็น Light Hazard เนื่องจากอาคารสำนักงานนี้ไม่มีวัสดุไวไฟหรือกิจกรรมที่ก่อให้เกิดความร้อนหรือเปลวไฟโดยอ้างอิงจาก NFPA 13

เลือกค่า density area เป็น d = 0.1 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต

ระยะห่างระหว่าง branch line เท่ากับ 14.85 ฟุต

ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง เท่ากับ 13.86 ฟุต

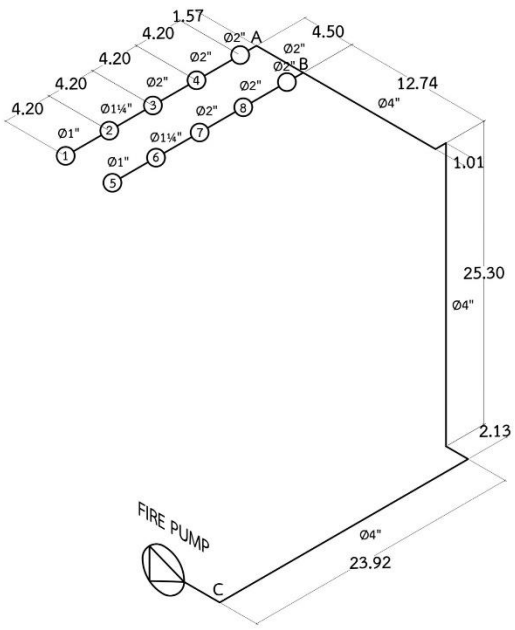

Figure 5 Diagram for calculating flow rate and pressure in a sprinkler system (in meters)

ขั้นตอนที่ 2

เริ่มต้นจากหัวกระจายน้ำดับเพลิงจุดที่ 1 - 2

หาค่าอัตราการไหล ณ จุดเริ่มต้น วิเคราะห์ได้จาก

$Q = d \times A_S$

$Q = 0.1 \times \left(4.5 \times 4.2 \times 3.3^2\right) = 20.58$ แกลลอนต่อนาที

หาความดันเริ่มต้นที่ระบบต้องการ ณ หัวกระจายน้ำดับเพลิงที่อยู่ไกลสุด เมื่อเลือกใช้ K-factor เป็น 5.6 วิเคราะห์ได้จาก (ความดันของหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่อยู่ไกลที่สุดจะต้อง ≥ 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

$Q = K\sqrt{P}$ จะได้ $P = 13.51$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 3

หาค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ

- ใช้ท่อ Black steel ขนาด 1 นิ้ว

(เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 1.049 นิ้ว)

- สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (ใช้ C = 120 กรณีเป็นท่อใหม่)

- ความยาวท่อทั้งหมด เท่ากับ 16.96 ฟุต มีรายละเอียดดังนี้

1) ความยาวตามแนวท่อ เท่ากับ 13.86 ฟุต

2) ความยาวส่วนที่ยื่นต่อจากปลายข้อต่อแนวดิ่ง เท่ากับ 0.5 ฟุต

3) ข้อต่อ 90° elbow 1" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 2.60 ฟุต

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ คำนวณได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times\left(Q^{1.85}\right)}{\left(C^{1.85}\right)\times\left(D^{4.87}\right)}\times L = 2.33$$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ค่าความดันสูญเสีย elevation loss เนื่องจากความสูงคำนวณได้จาก $P = -0.433 \times h$

เมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงอยู่ต่ำกว่าระดับท่อในแนวดิ่ง 0.5 ฟุต

$P = -0.433 \times 0.5 = -0.22$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ค่าความดันสูญเสียในท่อทั้งหมด เท่ากับ

$13.51 + 2.33 - 0.22 = 15.62$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 4

ตรวจสอบความเร็วของน้ำภายในท่อ คำนวณได้จาก (ความเร็วของน้ำภายในท่อจะต้อง ≤ 10 ฟุตต่อวินาที)

$$V = \frac{Q}{A} = 7.77$$ ฟุตต่อวินาที

ขั้นตอนที่ 5

หัวกระจายน้ำดับเพลิงจุดที่ 2 - 3

ค่าอัตราการไหล (เมื่อใช้ K-factor เป็น 5.6) วิเคราะห์ได้จาก

$Q = K\sqrt{P} = 22.13$ แกลลอนต่อนาที

เมื่อค่าความดันมาจาก P total ของช่วงหัวที่ 1 - 2 เท่ากับ 15.62 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อัตราการไหลรวมที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงหัวที่ 2 เท่ากับ

$Q\ total = 22.13 + 20.58 = 42.71$ แกลลอนต่อนาที

ขั้นตอนที่ 6

หาค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ

- ใช้ท่อ Black steel ขนาด 1 1/4 นิ้ว

(เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 1.380 นิ้ว)

- สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (ใช้ C = 120 กรณีเป็นท่อใหม่)

- ความยาวท่อทั้งหมด เท่ากับ 17.16 ฟุต มีรายละเอียดดังนี้

1) ความยาวตามแนวท่อ เท่ากับ 13.86 ฟุต

2) ข้อต่อ Tee-straight 1 1/4" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 3.30 ฟุต

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ คำนวณได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times(Q^{1.85})}{(C^{1.85})\times(D^{4.87})} \times L = 2.39 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว}$$

ค่าความดันสูญเสียในท่อทั้งหมด เท่ากับ

$15.62 + 2.39 = 18.01$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 7

ตรวจสอบความเร็วของน้ำภายในท่อ คำนวณได้จาก (ความเร็วของน้ำภายในท่อจะต้อง ≤ 10 ฟุตต่อวินาที)

$$V = \frac{Q}{A} = 9.32 \text{ ฟุตต่อวินาที}$$

ขั้นตอนที่ 8

หัวกระจายน้ำดับเพลิงจุดที่ 3 - 4

ค่าอัตราการไหล (เมื่อใช้ K-factor เป็น 5.6) วิเคราะห์ได้จาก

$Q = K\sqrt{P} = 23.77$ แกลลอนต่อนาที

เมื่อค่าความดันมาจาก P total ของช่วงหัวที่ 2 - 3 เท่ากับ 18.01 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อัตราการไหลรวมที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงหัวที่ 3 เท่ากับ

$Q \text{ total} = 42.71 + 23.77 = 66.48$ แกลลอนต่อนาที

ขั้นตอนที่ 9

หาค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ

- ใช้ท่อ Black steel ขนาด 2 นิ้ว

(เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 2.067 นิ้ว)

- สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (ใช้ C = 120 กรณีเป็นท่อใหม่)

- ความยาวท่อทั้งหมด เท่ากับ 19.36 ฟุต มีรายละเอียดดังนี้

1) ความยาวตามแนวท่อ เท่ากับ 13.86 ฟุต

2) ข้อต่อ Tee-straight 2" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 5.50 ฟุต

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ คำนวณได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times(Q^{1.85})}{(C^{1.85})\times(D^{4.87})} \times L = 0.85 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว}$$

ค่าความดันสูญเสียในท่อทั้งหมด เท่ากับ

$18.01 + 0.85 = 18.86$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 10

ตรวจสอบความเร็วของน้ำภายในท่อ คำนวณได้จาก (ความเร็วของน้ำภายในท่อจะต้อง ≤ 10 ฟุตต่อวินาที)

$$V = \frac{Q}{A} = 6.47 \text{ ฟุตต่อวินาที}$$

ขั้นตอนที่ 11

หัวกระจายน้ำดับเพลิงจุดที่ 4 - A

ค่าอัตราการไหล (เมื่อใช้ K-factor เป็น 5.6) วิเคราะห์ได้จาก

$Q = K\sqrt{P} = 24.32$ แกลลอนต่อนาที

เมื่อค่าความดันมาจาก P total ของช่วงหัวที่ 3 - 4 เท่ากับ 18.86 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อัตราการไหลรวมที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงหัวที่ 3 เท่ากับ

$Q \text{ total} = 66.48 + 24.32 = 90.80$ แกลลอนต่อนาที

ขั้นตอนที่ 12

หาค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ

- ใช้ท่อ Black steel ขนาด 2 นิ้ว

(เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 2.067 นิ้ว)

- สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (ใช้ C = 120 กรณีเป็นท่อใหม่)

- ความยาวท่อทั้งหมด เท่ากับ 24.54 ฟุต มีรายละเอียดดังนี้

1) ความยาวตามแนวท่อ เท่ากับ 19.04 ฟุต

2) ข้อต่อ Tee-straight 2" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 5.50 ฟุต

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ คำนวณได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times(Q^{1.85})}{(C^{1.85})\times(D^{4.87})} \times L = 1.93 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว}$$

ค่าความดันสูญเสียในท่อทั้งหมด เท่ากับ

$18.86 + 1.93 = 20.79$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 13

ตรวจสอบความเร็วของน้ำภายในท่อ คำนวณได้จาก (ความเร็วของน้ำภายในท่อจะต้อง ≤ 10 ฟุตต่อวินาที)

$$V = \frac{Q}{A} = 8.83 \text{ ฟุตต่อวินาที}$$

ขั้นตอนที่ 14

หัวกระจายน้ำดับเพลิงจุดที่ A - B

ในช่วงจุด A ถึง จุด B ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง แสดงว่าช่วงนี้ไม่มีอัตราการไหลเนื่องมาจากหัวกระจายน้ำดับเพลิง ดังนั้น อัตราการไหลรวม เท่ากับ 90.80 แกลลอนต่อนาที

ขั้นตอนที่ 15

หาค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ

- ใช้ท่อ Black steel ขนาด 2 นิ้ว

(เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 2.067 นิ้ว)

- สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (ใช้ C = 120 กรณีเป็นท่อใหม่)

- ความยาวท่อทั้งหมด เท่ากับ 25.85 ฟุต มีรายละเอียดดังนี้

1) ความยาวตามแนวท่อ เท่ากับ 14.85 ฟุต

2) ข้อต่อ Tee-straight 2" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 5.50 ฟุต

3) ข้อต่อ 90° elbow 2" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 5.50 ฟุต

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ คำนวณได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times\left(Q^{1.85}\right)}{\left(C^{1.85}\right)\times\left(D^{4.87}\right)} \times L = 2.04 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว}$$

ค่าความดันสูญเสียในท่อทั้งหมด เท่ากับ

$20.79 + 2.04 = 22.83$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 16

ตรวจสอบความเร็วของน้ำภายในท่อ คำนวณได้จาก (ความเร็วของน้ำภายในท่อจะต้อง ≤ 10 ฟุตต่อวินาที)

$$V = \frac{Q}{A} = 8.83 \text{ ฟุตต่อวินาที}$$

ขั้นตอนที่ 17

หัวกระจายน้ำดับเพลิงจุดที่ 5 - 8 - B

เนื่องจากช่วง 5 - 8 - B มีอุปกรณ์ประกอบและความยาวของท่อทุกส่วนเหมือนกับช่วง 4 - A ดังนั้น อัตราการไหลรวม เท่ากับ 90.80 แกลลอนต่อนาที

ขั้นตอนที่ 18

หาค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ

- ใช้ท่อ Black steel ขนาด 2 นิ้ว

(เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 2.067 นิ้ว)

- สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (ใช้ C = 120 กรณีเป็นท่อใหม่)

- ความยาวท่อของข้อต่อ Tee-side 2" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 12.00 ฟุต

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ คำนวณได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times\left(Q^{1.85}\right)}{\left(C^{1.85}\right)\times\left(D^{4.87}\right)} \times L = 0.95 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว}$$

ค่าความดันสูญเสียในท่อทั้งหมด เท่ากับ

$20.79 + 0.95 = 21.74$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 19

ตรวจสอบความเร็วของน้ำภายในท่อ คำนวณได้จาก (ความเร็วของน้ำภายในท่อจะต้อง ≤ 10 ฟุตต่อวินาที)

$$V = \frac{Q}{A} = 8.83 \text{ ฟุตต่อวินาที}$$

ขั้นตอนที่ 20

ช่วงจุด A + B

พิจารณาที่จุด B พบว่าความดันระว่างจุด 2 จุด มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้น จึงต้องปรับจุดที่มีความดันต่ำกว่าให้มีค่าเท่ากับความดันจุดที่สูงกว่า หลังจากการปรับความดันจะทำให้อัตราการไหลมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย คำนวณได้จาก

$$Q_{adjust} = Q_{low} \times \sqrt{\frac{P_{high}}{P_{low}}}$$

$$= 90.80 \times \sqrt{\frac{22.83}{21.74}} = 93.05 \text{ แกลลอนต่อนาที}$$

ผลรวมอัตราการไหล ที่จุด B

$$Q\ total = Q\ (AB) + Q_{Adjust}$$

$$= 90.80 + 93.05 = 183.85$$ แกลลอนต่อนาที

ความดันสูญเสียในท่อ ที่จุด B มีค่าเท่ากับช่วง A - B ดังนั้น ค่าความดันสูญเสีย เท่ากับ 22.83 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 21

ช่วงจุด B ถึงจุด C (Header)

เนื่องจากช่วง B - Header ไม่มีหัวกระจายน้ำดับเพลิง แสดงว่าช่วงนี้ไม่มีอัตราการไหลเนื่องมาจากหัวกระจายน้ำดับเพลิง ดังนั้น อัตราการไหลรวม เท่ากับ 183.85 แกลลอนต่อนาที

ขั้นตอนที่ 22

หาค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ

- ใช้ท่อ Black steel ขนาด 2 นิ้ว

(เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ เท่ากับ 2.067 นิ้ว)

- สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (ใช้ C = 120 กรณีเป็นท่อใหม่)

- ความยาวท่อทั้งหมด เท่ากับ 280.83 ฟุต มีรายละเอียดดังนี้

1) ความยาวตามแนวท่อ เท่ากับ 214.83 ฟุต

2) ข้อต่อ Tee-side 4" จำนวน 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 22.00 ฟุต

3) ข้อต่อ 90° elbow 4" จำนวน 4 ตัว มีความยาวเทียบเคียง เท่ากับ 44.00 ฟุต

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ คำนวณได้จาก Hazen-Williams formula

$$P = \frac{(4.52)\times\left(Q^{1.85}\right)}{\left(C^{1.85}\right)\times\left(D^{4.87}\right)} \times L = 3.17$$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ค่าความดันสูญเสีย elevation loss เนื่องจากความสูง คำนวณได้จาก $P = 0.433 \times h$ เมื่อ h = 83.49 ฟุต

$$P = 0.433 \times 83.49 = 36.15$$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ค่าความดันสูญเสียในท่อทั้งหมด เท่ากับ

$$22.83 + 36.15 + 3.17 = 62.14$$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ขั้นตอนที่ 23

ตรวจสอบความเร็วของน้ำภายในท่อ คำนวณได้จาก (ความเร็วของน้ำภายในท่อจะต้อง ≤ 10 ฟุตต่อวินาที)

$$V = \frac{Q}{A} = 4.71$$ ฟุตต่อวินาที

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1. ผลกระทบจากการแบ่งกั้นพื้นที่การใช้งาน

จากการศึกษาการออกแบบการจัดวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงในพื้นที่อาคารที่ไม่มีการแบ่งกั้นเทียบกับพื้นที่ที่มีการแบ่งกั้นตามการใช้งาน พบว่า การแบ่งกั้นพื้นที่ภายในอาคารส่งผลให้การออกแบบระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงจำเป็นต้องมีจำนวนหัวและมีความหนาแน่นต่อการจัดวางเพิ่มมากขึ้น ตามหลักการคำนวณของ Hydraulic calculation ที่กำหนดใน NFPA 13 ซึ่งมีการคำนวณระยะห่างระหว่างหัวและระยะห่างระหว่าง branch line ต่อพื้นที่การทำงานตามข้อกำหนดของการออกแบบ รวมถึงการใช้ค่า K-factor เท่ากับ 5.6 ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีการใช้งานโดยส่วนใหญ่ในการประยุกต์ใช้งานตามข้อกำหนดมาตรฐานส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยเฉพาะค่าความดันที่หัวกระจายน้ำซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ไกลที่สุดจากแหล่งจ่ายน้ำซึ่งในกรณีที่มีการแบ่งกั้นพื้นที่ใช้งาน พบว่าค่าความดันในบริเวณดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าค่าขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน NFPA 13 ซึ่งระบุว่าความดันที่หัวกระจายน้ำที่อยู่ไกลที่สุดต้องไม่ต่ำกว่า 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากค่าความดันต่ำกว่าที่กำหนดจะส่งผลให้ระบบไม่สามารถกระจายน้ำได้อย่างครอบคลุมและไม่สามารถควบคุมเพลิงไหม้ได้อย่างเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบ

แนวทางการแก้ไขกรณีนี้สามารถดำเนินการได้สองรูปแบบ ดังนี้

แนวทางการแก้ไขรูปแบบที่ 1 คือ การปรับค่า K-factor ของหัวกระจายน้ำดับเพลิงจาก 5.6 เป็น 2.8 เนื่องจากการเลือกค่า K-factor ที่ต่ำลงตามสมการความสัมพันธ์การไหลของหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะส่งผลให้ความดันที่หัวกระจายน้ำที่อยู่ไกลที่สุดมีค่าสูงขึ้นจนผ่านเกณฑ์และทำให้อัตราการไหลเพียงพอสำหรับการป้องกันอัคคีภัย โดยในแต่ละชั้นสามารถออกแบบและจัดวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงได้จำนวน 10

branch lines แต่ละ branch lines ติดตั้งหัวกระจายน้ำ จำนวน 6 หัว ดังแสดงใน Figure 6 และ Figure 7

แนวทางการแก้ไขรูปแบบที่ 2 คือ การปรับเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ เนื่องจากการแบ่งกั้นพื้นที่ภายในอาคารออกเป็นห้องย่อยหลายส่วน ส่งผลให้การออกแบบระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวน branch lines และหัวกระจายน้ำดับเพลิงมากขึ้น เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ตามข้อกำหนด อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนวณความดันเริ่มต้นที่หัวกระจายน้ำในตำแหน่งที่ต้องการน้ำมากที่สุด หรือจุดที่อยู่ไกลที่สุดของระบบ พบว่าค่าความดันที่ได้ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน NFPA 13 ส่งผลให้ระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ข้อกำหนดของประเภทความเสี่ยงอัคคีภัยแบบ Light Hazard ด้วยเหตุนี้จึงมีการพิจารณาปรับประเภทของพื้นที่ครอบครองจากกลุ่มความเสี่ยงต่ำ (Light Hazard) เป็นกลุ่มความเสี่ยงปานกลาง (Ordinary Hazard) เพื่อให้สามารถเพิ่มค่าความหนาแน่นของน้ำ (Design Density) จาก 0.10 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต เป็น 0.15 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบความดันที่หัวกระจายน้ำได้สอดคล้องกับข้อกำหนด และสามารถส่งน้ำไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยในแต่ละชั้นสามารถออกแบบและจัดวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงได้จำนวน 10 branch lines แต่ละ branch lines ติดตั้งหัวกระจายน้ำ จำนวน 7 หัว ดังแสดงใน Figure 8 และ Figure 9

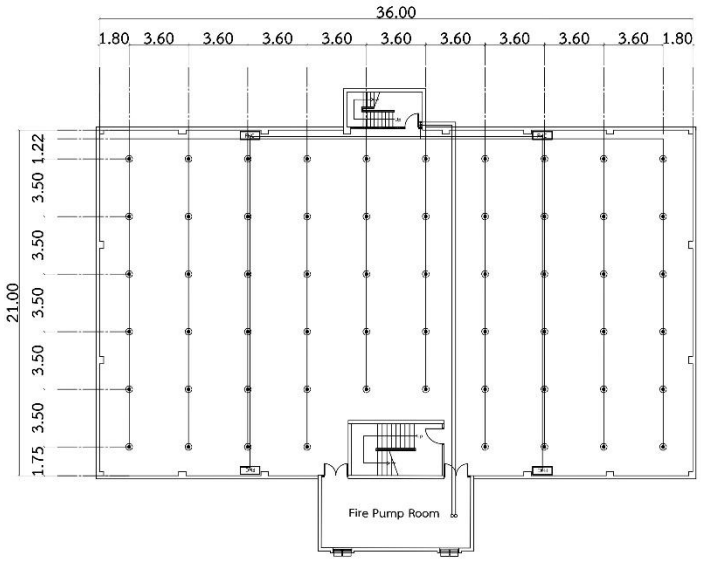

Figure 6 The design of a sprinkler system for the basement (in meters) : 10 branch lines, 6 sprinklers per line

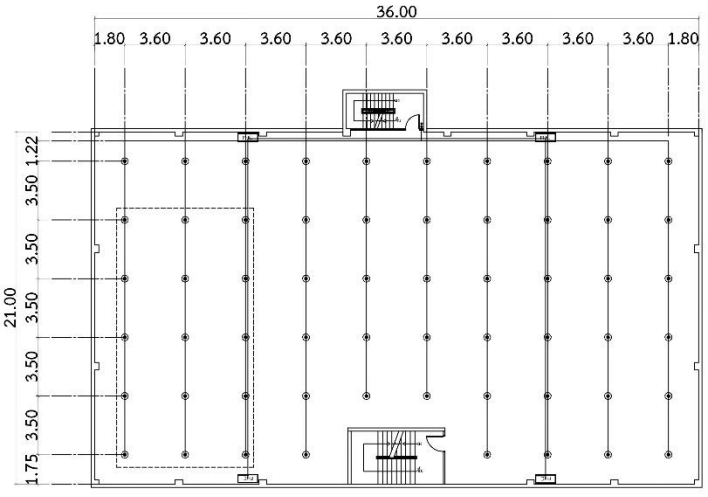

Figure 7 The design of a sprinkler system and the hydraulically most demanding area on the 7th floor (in meters) : 10 branch lines, 6 sprinklers per line

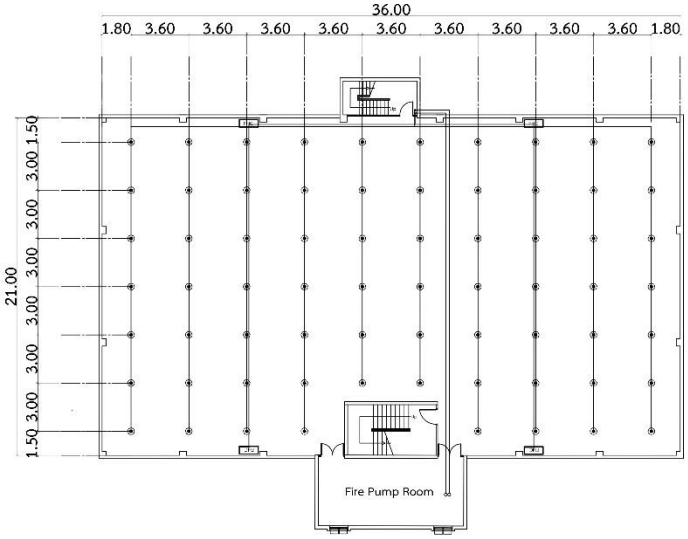

Figure 8 The design of a sprinkler system for the basement (in meters) : 10 branch lines, 7 sprinklers per line

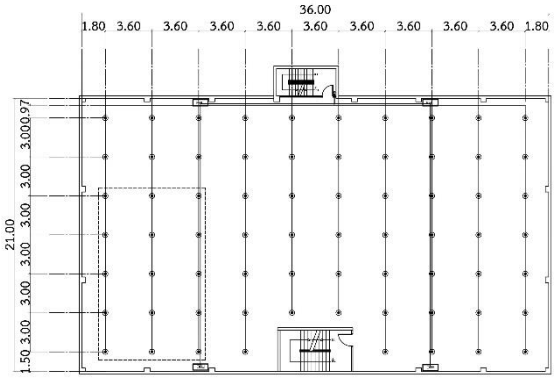

Figure 9 The design of a sprinkler system and the hydraulically most demanding area on the 7th floor (in meters) : 10 branch lines, 7 sprinklers per line

จากการคำนวณแบบไฮดรอลิก (Hydraulic calculation) ของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง กรณีที่ไม่มีการแบ่งกั้นพื้นที่และกรณีที่มีการแบ่งกั้นพื้น สามารถสรุปค่าอัตราการไหลรวมและความดันสูญเสีย ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Comparison of total flow rate and pressure loss of sprinkler system

Design	Sprinkle system	
	Total flow rate (gpm)	Pressure loss (psi)
Without space partitioning (K = 5.6)	183.85	62.14
With space partitioning (Type 1) (K adjusted to 2.8)	214.58	70.16
With space partitioning (Type 2) (reclassified as ordinary hazard)	302.97	63.45

เมื่อนำค่าอัตราการไหลรวมและความดันสูญเสียมาวิเคราะห์ พบว่า เมื่อมีการแบ่งกั้นพื้นที่และดำเนินการแก้ไขตามรูปแบบที่ 1 คือ การปรับค่า K-factor ของหัวกระจายน้ำดับเพลิงจาก 5.6 เป็น 2.8 ค่าอัตราการไหลสูงขึ้น เท่ากับ 214.58 แกลลอนต่อนาที คิดเป็น 16.71% และค่าความดันสูญเสียสูงขึ้น เท่ากับ 70.16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว คิดเป็น 12.91% วิธีนี้จะทำให้ระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น ทั้งในด้านการเลือกอุปกรณ์ การเพิ่มขนาดเครื่องสูบน้ำดับเพลิงและการเพิ่มความแข็งแรงของท่อส่งน้ำ นอกจากนี้หัวกระจายน้ำที่มี K-factor ต่ำไม่ค่อยเป็นที่นิยมในท้องตลาด ส่งผลให้มีอุปกรณ์ผลิตออกมาน้อย และอาจมีต้นทุนสูงเกินความจำเป็นในการติดตั้งและบำรุงรักษา

ในส่วนของแนวทางการแก้ไขรูปแบบที่ 2 คือ การปรับเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ โดยการเปลี่ยนประเภทของความเสี่ยงอัคคีภัยจาก Light Hazard เป็น Ordinary Hazard พบว่า ค่าอัตราการไหลสูงขึ้น เท่ากับ 302.97 แกลลอนต่อนาที คิดเป็น 64.79% และค่าความดันสูญเสียสูงขึ้น เท่ากับ 63.45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว คิดเป็น 2.11% ซึ่งวิธีนี้จะทำให้มีจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงมีความหนาแน่นมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่การครอบคลุมต่อหัวแคบลง ส่งผลให้ขนาดท่อ เครื่องสูบน้ำดับเพลิง และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย เพื่อรองรับแรงดันและปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นอันเป็นปัจจัยสำคัญต่อการคงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบโดยรวม

จากการศึกษาจึงพิจารณาเลือกแนวทางการแก้ไขโดยการปรับค่า K-factor ของหัวกระจายน้ำดับเพลิง เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถดำเนินการได้ง่ายกว่า มีความคุ้มค่า และช่วยลดผลกระทบต่อการออกแบบและการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงในภาพรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2. ผลกระทบจากความขรุขระของผิวท่อ

ความขรุขระของผิวท่อดับเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการไหลของน้ำภายในระบบดับเพลิง โดยเฉพาะในระบบที่คำนวณแบบไฮดรอลิก (Hydraulic calculation) เนื่องจากมาตรฐาน NFPA 13 ไม่มีการระบุค่าความขรุขระ (C-factor) ของท่อเหล็กดำ (Black steel pipe) ที่เสื่อมสภาพจากการใช้งานไว้อย่างชัดเจน แต่สำหรับ Fire Protection Handbook ได้เสนอค่า C-value ของท่อ Cast Iron (Unlined) ที่ใช้งานในระบบส่งน้ำดับเพลิงมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 100 ในช่วงเริ่มต้นของการใช้งานและเมื่ออายุการใช้งานของท่อเพิ่มขึ้น ค่า C-value จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีการบำรุงรักษาหรือมีการสะสมตะกรันภายในท่อ ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งแสดงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า C-value ตลอดช่วงอายุการใช้งาน 50 ปี ทั้งนี้สอดคล้องกับข้อกำหนดใน NFPA 25 ที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนหัวกระจายน้ำเมื่อมีอายุการใช้งานครบ 50 ปี ดังนั้นจึงมีการประมาณค่าถึงแค่ 50 ปี [10] อย่างไรก็ตามในประเทศไทยนิยมใช้ท่อ Black steel ดังนั้นในการศึกษานี้จึงอนุมานว่าอัตราการลดลงของค่า C-value ของท่อ Black steel เป็นไปในอัตราเดียวกันกับท่อ Cast Iron (Unlined) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบท่อที่ใช้งานในระยะยาวจึงสามารถดำเนินการโดยการเทียบเคียงกับข้อมูลของวัสดุที่มีลักษณะใกล้เคียง เช่น ท่อ Cast iron (Unlined) ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Comparison of pipe life and roughness coefficient of pipes [5], [11]

Pipe life	Roughness coefficient (C-factor)	
	Cast iron	Black steel
New	100	120
10 years old	90	108
15 years old	75	90
20 years old	65	78
30 years old	55	66
50 years old	50	60

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (C-factor) จากสมการ Hazen-Williams มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความดันสูญเสียในระบบส่งน้ำดับเพลิง สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังแสดงใน Figure 10 จากกราฟพบว่า เมื่อท่อมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น ค่าความดันสูญเสียในระบบจะเพิ่มสูงขึ้น สามารถสังเกตุได้ว่าเมื่ออายุการใช้งานของท่อผ่านไป 10 ปี ค่าความดันของระบบต้องการเพิ่มขึ้น 4.29% และเมื่ออายุการใช้งานของท่อผ่านไป 20 ปี ค่าความดันของระบบต้องการเพิ่มขึ้น 20.00% ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แนวโน้มดังกล่าวมีสาเหตุมาจากการลดลงของค่า C-factor ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของความขรุขระของผิวภายในท่อ อันเป็นผลมาจากการใช้งานต่อเนื่องในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบท่อที่ติดตั้งในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การสะสม

ของสนิม ตะกรัน หรือการกัดกร่อนของวัสดุ ซึ่งส่งผลให้พื้นผิวท่อสูญเสียความเรียบและเกิดแรงเสียดทานต่อการไหลของน้ำมากขึ้น ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลโดยตรงต่อแรงดันสูญเสียในระบบ และอาจมีผลต่อประสิทธิภาพของการทำงานของหัวกระจายน้ำโดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ห่างจากแหล่งจ่ายน้ำมากที่สุด (most demanding area) ดังนั้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุท่อกับค่า C-factor จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบและประเมินสมรรถนะของระบบดับเพลิงในระยะยาว

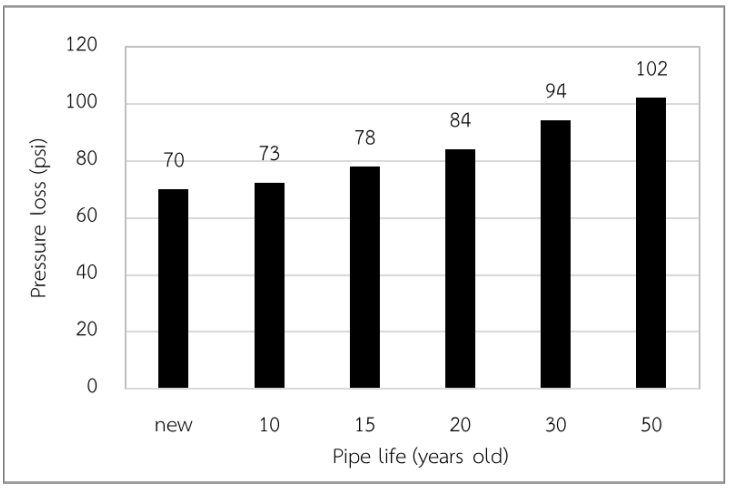

Figure 10 The relationship between pipe life and pressure loss in the system

แนวทางการแก้ไขสามารถดำเนินการได้หลายรูปแบบ รูปแบบแรกคือการเลือกใช้ fire pump ขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อชดเชยความดันสูญเสียที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแม้จะสามารถแก้ปัญหาได้โดยตรง แต่ก็ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบเพิ่มสูงขึ้น รูปแบบที่สอง คือ การเพิ่มขนาดของท่อเพื่อชดเชยความดันสูญเสียในอนาคต แนวทางนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบท่อส่งน้ำดับเพลิงในระยะยาว โดยเฉพาะในระบบที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ และต้องการลดภาระการบำรุงรักษาในอนาคต

3.3. ผลกระทบจากความเร็วน้ำภายในท่อ

เนื่องจากมาตรฐาน NFPA 13 ไม่ได้ระบุแนวทางอย่างชัดเจนเกี่ยวกับค่าความเร็วของน้ำภายในท่อดับเพลิง การออกแบบระบบจึงควรพิจารณาความเร็วของน้ำเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อค่าความดันสูญเสียในระบบท่อ ความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์ Water hammer และส่งผลต่อการเลือกขนาดของเครื่องสูบน้ำดับเพลิง รวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ หากความเร็วของน้ำสูงเกินไปอาจทำให้ระบบสูญเสียความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มความเสี่ยงต่อความเสียหายของท่อหรืออุปกรณ์ประกอบระบบ ในขณะที่มาตรฐาน ASHRAE ได้แนะนำช่วงความเร็วที่เหมาะสมไว้ระหว่าง 4–10 ฟุตต่อวินาที [9] ดังนั้นในการศึกษาและวิเคราะห์ครั้งนี้ ได้กำหนดให้ค่าความเร็วของน้ำในท่อน้อยกว่าเท่ากับ 10 ฟุตต่อวินาที ซึ่งถือเป็นค่ากลางที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการประเมินและวิเคราะห์ความดันสูญเสียภายในระบบ โดยพิจารณาเฉพาะกรณีศึกษาท่อ Black steel Schedule 40 ที่มีค่า C-factor เท่ากับ 120 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้แทนสภาพท่อใหม่

เมื่อนำค่าความเร็วของน้ำภายในท่อมาใช้ในการวิเคราะห์แรงดันในระบบกระจายน้ำดับเพลิงสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าความดันสูญเสีย ดังแสดงใน Figure 11 จากกราฟ พบว่า เมื่อปรับขนาดท่อเล็กลงส่งผลให้ความเร็วของน้ำในท่อเพิ่มขึ้น ค่าความดันสูญเสียในระบบจะเพิ่มสูงขึ้น สามารถสังเกตได้ว่าเมื่อกำหนดให้ความเร็วภายในท่อให้มีค่าไม่เกิน 11 ฟุตต่อวินาที ค่าความดันสูญเสียของระบบต้องการเพิ่มขึ้น 4.11% และเมื่อกำหนดให้ความเร็วภายในท่อให้มีค่าไม่เกิน 12 ฟุตต่อวินาที ค่าความดันของระบบต้องการเพิ่มขึ้นถึง 12.33% ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เมื่อปรับขนาดท่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิม โดยกำหนดความเร็วของน้ำในท่อให้มีค่าไม่เกิน 9 ฟุตต่อวินาที พบว่าต้องการความดันลดลงต่ำกว่าเดิม 1.37% และเมื่อกำหนดให้ความเร็วภายในท่อให้มีค่าไม่เกิน 8 ฟุตต่อวินาที ต้องการความดันลดลงต่ำกว่าเดิม

4.11% จะสังเกตุได้ว่าแนวโน้มดังกล่าวมีสาเหตุมาจากการปรับเพิ่มหรือลดขนาดของท่อ ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มและลดความเร็วน้ำในท่อของระบบ โดยเมื่อท่อมีขนาดเล็กลงความดันภายในท่อก็จะเพิ่มสูงขึ้น อันเป็นผลมาจากการออกแบบระบบตั้งแต่เริ่มต้น ค่าความเร็วในท่อที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลโดยตรงต่อแรงดันสูญเสียในระบบ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ได้ง่าย ดังนั้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในท่อและค่าความดันสูญเสียจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบระบบที่มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพในระยะยาว รวมถึงกรณีที่อาคารมีขนาดใหญ่และต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของผู้ออกแบบหลายฝ่าย การกำหนดเกณฑ์ที่ชัดเจนจะช่วยให้การออกแบบระบบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบในภาพรวม

จากการวิเคราะห์การกำหนดค่าความเร็วน้ำในท่อพบว่า แต่ละทางเลือกมีผลต่อทั้งประสิทธิภาพทางเทคนิคและต้นทุนรวมของระบบดับเพลิง เมื่อกำหนดความเร็วน้ำในท่อให้มีค่าสูงขึ้นการเลือกใช้ท่อจะมีขนาดเล็กซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุท่อ แต่กลับต้องเลือกเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อชดเชยความดันสูญเสียที่เพิ่มขึ้นจากความเร็วของน้ำที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบอาจเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามการเลือกใช้ท่อขนาดใหญ่จะช่วยลดความดันสูญเสีย ทำให้สามารถเลือกใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กลง แต่ต้องแลกกับต้นทุนวัสดุท่อที่สูงขึ้น ดังนั้น การพิจารณาเลือกแนวทางที่เหมาะสมควรประเมินจากทั้งมิติของประสิทธิภาพระบบและต้นทุนรวมตลอดอายุการใช้งาน เพื่อให้ได้ระบบดับเพลิงที่มีเสถียรภาพและความคุ้มค่าในระยะยาว

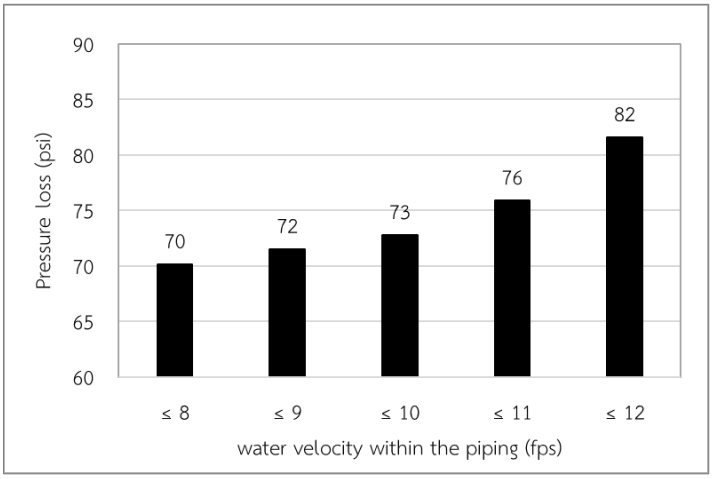

Figure 11 The relationship between the velocity of water flow and pressure loss in the system

4. บทสรุป

การออกแบบระบบดับเพลิงด้วยน้ำจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ร่วมด้วยเนื่องจากอาจส่งผลกระทบได้ทั้งในปัจจุบันและอนาคต รวมถึงส่งผลต่อความดันสูญเสียของระบบ การศึกษานี้ได้นำเสนอแนวคิดในการออกแบบและวิเคราะห์ปัจจัยที่ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงในอาคาร โดยเน้นการวิเคราะห์ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ 1) การแบ่งกั้นพื้นที่ใช้งาน 2) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวท่อ (C-factor) 3) ความเร็วน้ำภายในท่อ การศึกษาครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี Hydraulic calculation และการประยุกต์ใช้สมการ Hazen-Williams ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความซับซ้อนของระบบท่อจากการแบ่งพื้นที่การใช้งาน ทำให้ต้องปรับอัตราการไหลและความดันให้สูงขึ้น ส่งผลต่อความดันสูญเสียของระบบและขนาดของเครื่องสูบน้ำดับเพลิงที่ต้องเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความขรุขระของผิวท่อที่เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งาน และความเร็วน้ำภายในท่อที่มีความเร็วมากเกินความจำเป็นจัดเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความดันสูญเสียในระบบมากขึ้นเช่นกัน ทั้งสามปัจจัยข้างต้นล้วนมีผลกระทบที่สำคัญต่อการทำงานของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง การออกแบบระบบจึงไม่ควรพิจารณาเพียงแค่ความสามารถในการส่งน้ำเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบในระยะยาว โดยเฉพาะค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้น ความเร็วของน้ำในท่อที่ควรมีค่าไม่เกิน 10 ฟุตต่อวินาที และรูปแบบการใช้งานพื้นที่ที่ส่งผลต่อการกระจายน้ำ การออกแบบที่ดีควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และต้นทุนเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมั่นคงและคุ้มค่าในระยะยาว

5. References

[1] Kumar, K.S. and Amin, S.Y.M. 2021. Design of fire fighting sprinkler system by Autodesk Revit. **Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering.** 2(2): 678-684.

[2] Liu, X., Shi, J.X. and Meng, J. 2022. Analysis on hydraulic calculation of pipelines in automatic sprinkler systems. **Journal of Physics: Conference Series.** 2206: 012006.

[3] Silmiy, H.S. and et al. 2023. Design of an automatic sprinkler system in a milk production company's coal ware house. **Jurnal Ilmiah Teknik Industri dan Inovasi.** 1(3): 19-25.

[4] Benbott, O. and Djedri, A. 2022. **Study and Design of a Sprinkler System in an Industrial Unit.** https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/30959/1/benbott-djedri.pdf. Accessed 20 May 2025.

[5] National Fire Protection Association. 2022. **NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems.** https://www.edufire.ir/storage/Library/ETFA-ABI/NFPA/NFPA%2013-2022.pdf. Accessed 12 May 2025.

[6] Wang, Y. and Bai, S. 2025. Pipe roughness calibration in oil field water injection system. **AIMS Mathematics.** 10(3): 5052-5070.

[7] National Fire Protection Association. 2024. **NFPA 14 Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems.** https://fire-gas.com/storage/2024/06/NFPA-14-2024.pdf. Accessed 12 May 2025.

[8] National Fire Protection Association. 2019. **NFPA 20 Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.** https://edufire.ir/storage/Library/ETFA-ABI/NFPA/NFPA%2020-2019.pdf. Accessed 12 May 2025.

[9] Kennedy, H.E. 2021. **ASHRAE Handbook-Fundamentals.** Georgia: ASHRAE.

[10] National Fire Protection Association. 2020. **NFPA 25 Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems.** https://hse-me.ir/wp-content/uploads/2021/01/NFPA25-2020.pdf. Accessed 12 May 2025.

[11] Cote, A.E. 2008. **Fire Protection Handbook. 20th edition.** Quincy: National Fire Protection Association.