วิทยานิพนธ์

การประเมินความเสี่ยงและการปรับปรุงระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย ภายในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ กรณีศึกษา: บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด(มหาชน)

Risk Assessment and Improvement in Water Mist System for Fire Protection System in Fire Pump House Case study: Bangkok Aviation Fuel Services Public Company Limited

นายฉานฉลาด บุนนาค

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย | โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินความเสี่ยงและการปรับปรุงระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยภายในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ
กรณีศึกษา: บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

Risk Assessment and Improvement in Water Mist System for Fire Protection System in Fire Pump House. Case study: Bangkok Aviation Fuel Services Public Company Limited

นามผู้วิจัย นายฉานฉลาด บุนนาค

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย กฤชไมตรี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนนต์ วงษ์เกษม, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

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

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 2 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ.** 2561

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความเสี่ยงและการปรับปรุงระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย ภายในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ กรณีศึกษา: บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

Risk Assessment and Improvement in Water Mist System for Fire Protection System in Fire Pump House Case study: Bangkok Aviation Fuel Services Public Company Limited

โดย

นายฉานฉลาด บุนนาค

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2551

ฉานฉลาด บุนนาค 2551: การประเมินความเสี่ยงและการปรับปรุงระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยภายในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ กรณีศึกษา: บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย กฤตไมตรี, Ph.D. 146 หน้า

ระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย ภายในบริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ได้ถูกติดตั้งตามมาตรสากลของ NFPA ซึ่งการประเมินความเสี่ยง กรณีเกิดเหตุเพลิงลุกไหม้เครื่องยนต์ เครื่องสูบน้ำดับเพลิง ภายในอาคารที่มีระบบระงับอัคคีภัยแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง จะไม่สามารถทำการดับเพลิงตัวเองได้ เนื่องจากระบบท่อของหัวกระจายน้ำดับเพลิง ได้เชื่อมตรงกับท่อน้ำดับเพลิงหลัก ที่ออกจากเครื่องสูบน้ำดับเพลิง จึงได้พิจารณาระบบระงับอัคคีภัยแบบหมอกน้ำ ที่มีระบบน้ำดับเพลิงแยกเป็นอิสระกับท่อน้ำดับเพลิงหลัก ให้สามารถทำการควบคุมและดับเพลิงได้

การออกแบบโปรแกรม FDS และ Smoke View ช่วยให้พิจารณาถึงความสามารถในการดับเพลิงได้ ตามเงื่อนที่กำหนด คือ ระดับการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงในระดับที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ระดับพื้น จนถึง ระดับเพดาน ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับความสามารถในการดับเพลิงด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ ด้วยการทดลองเก็บค่าตอบสนองเวลาในการดับเพลิงได้ และนำโปรแกรม Minitab มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ และประมวลผล จึงจะทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อเวลา ในการดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทั้งนี้จากผลของขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง จากที่มีระดับความเสี่ยงสูง ได้ถูกปรับลดให้เป็นระดับความเสี่ยงน้อย ด้วยการปรับปรุงระบบระงับอัคคีภัยแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง เป็นระบบการดับเพลิงแบบหมอกน้ำ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงประเภท บี (ตามเงื่อนไขการทดลอง) เป็นอย่างดี อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม ไม่ทิ้งสารตกค้างในบรรยากาศ หรือก่อให้เกิดมลพิษ

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ๒๕ / ๓.๑ / ๕๗

Chanchalad Bunnag 2008: Risk Assessment and Improvement in Water Mist System for Fire Protection System in Fire Pump House. Case study: Bangkok Aviation Fuel Services Public Company Limited. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Department of Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Pichai Kritmaitree, Ph.D. 146 pages.

Fire Prevention and Suppression system, in BAFS was installed in accordance with NFPA standard. Risk assessment was made for a case of a fire at the fire pump inside the building which equipped with a sprinkle system. It was found that the system could operate by itself due to the sprinkle system is directly coupled to the main fire system. It is considering the water mist fire suppression system of which systems are separated from the main fire system, enabling the fire control and fire suppression are operable.

Designing of FDS and Smoke View is helping to evaluate the suppression capability, in accordance with specified condition, i.e. installing sprinkler at different levels, from floor to ceiling. The comparison will be made against the water mist fire suppression system, by monitoring the time spent in suppressing a fire, simultaneously bringing in the Minitab program, in order to assist the analysis and the evaluation. Therefore, the outcome will efficiently state the factor of time affecting the fire suppression.

From the outcome of risk assessment, the high risk level is reduced to low risk level, just by alternating the sprinkle system to the water mist fire suppression system. Also from the test result, it was found that the water mist fire suppression system is very effective for Class B fire suppression (according to test condition). Furthermore, it does not leave any residual which could affect the environment or created pollutions.

Chanchalad B. K. Pichai 27 / May / 08

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย กฤตไมตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ นี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพ่อฉาดฉาน บุนนาค คุณสกล พร้อมวงษ์ คุณฉาดเฉลียว บุนนาค และทีมงานบริษัท ดี ดี ไฟร์ แอนด์ เซฟตี้ จำกัด ที่ได้ช่วยเหลือในการจัดเตรียมพื้นที่การทดลอง การลุกไหม้ เชื้อเพลิงประเภท บี และอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ เพื่อให้การทดลองลุล่วงไปด้วยดี ตามวัตถุประสงค์ในการทดลอง

ขอขอบคุณ ผู้บริหารบริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้โอกาส และทุนการศึกษาแก่ ข้าพเจ้าในการศึกษาหาความรู้ และนำความรู้ที่ได้ ไปพัฒนาระบบความปลอดภัยต่างๆ ที่เกี่ยว เช่นระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย ภายในบริษัท

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอกราบมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์ และผู้มีอุปการคุณทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบันนี้

ฉานฉลาด บุนนาค

เมษายน 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	52
ผลและวิจารณ์	66
ผล	66
วิจารณ์	91
สรุปและข้อเสนอแนะ	93
สรุป	93
ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	94
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก การประเมินความเสี่ยง	97
ภาคผนวก ข ตาราง c-Factor	119
ภาคผนวก ค ตาราง เส้นผ่าศูนย์กลางของขนาดท่อ	121
ภาคผนวก ง ความรู้พื้นฐานในการป้องกันและระงับอัคคีภัย	124
ภาคผนวก ฉ การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง	142
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	146

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	ตารางแสดงพื้นที่ป้องกันสูงสุด แยกตามลักษณะของพื้นที่	13
2	ตารางแสดงความต้องการการใช้น้ำในการดับเพลิง สำหรับระบบท่อหัวกระจายน้ำดับเพลิง	14
3	ตารางแสดงจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงเทียบกับขนาดท่อและลักษณะพื้นที่	15
4	ตารางแสดงเวลาความต้องการในการใช้น้ำในการดับเพลิง	17
5	ตารางแสดงการกำหนดปัจจัยในการทดลอง	41
6	ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ ที่ผสมในการหุงข้าว	42
7	ตารางแสดงระดับความเสี่ยง	53
8	ตารางแสดงผลการสุ่มตัวอย่างการทดลอง จำนวน 24 ตัวอย่างการทดลอง	64
9	ตารางแสดงผลระดับความเสี่ยง จากการประเมินความเสี่ยง	68
10	ตารางแสดงผลการเก็บค่าตอบสนอง (Y) คือเวลาในการดับเพลิงได้ หน่วยวินาที	84
11	ตารางAnalysis of Variance for Y, using Adjusted SS for Tests	86
12	ตาราง Least Squares Means for Y	88
13	ตารางแสดงผลการทดลอง ตามระดับของปัจจัยที่เลือก	89

ตารางผนวกที่

ก1	ตารางแสดงวิธีการประมาณระดับความเสี่ยง	113
ก2	แผนงานการควบคุมตามระดับความเสี่ยงเบื้องต้น	115
ข1	ตาราง c-Factor	120
ค1	ตาราง Aboveground Piping Diameters	122
ค2	ตาราง Underground Piping Diameters	123
จ1	ตารางการแบ่งประเภทของเชื้อเพลิง	129
จ2	ตารางแสดงบริเวณพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยกับชนิดของเครื่องดับเพลิง	136

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

จ3 ตารางแสดงสัดส่วนระยะการติดตั้งจากวัสดุที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ เชื้อเพลิงประเภท บี 137

จ4 ตารางปริมาณน้ำสำรองต่อหน่วยพื้นที่ 139

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ภาพแสดงแผนภาพระบบท่อน้ำดับเพลิงในห้องเครื่องสูบน้ำดับเพลิง	2
2	ภาพภายในห้องเครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลัก	2
3	ภาพภายนอกห้องเครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลัก ซึ่งต่อระบบท่อน้ำดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำ (Deluge System)	3
4	แผนผัง 24 Volt Single Line	4
5	แผนผัง 24 Volt Single Line (DCS)	4
6	ภาพระบบท่อเปียก (Wet Pipe System)	8
7	ภาพแสดงระบบท่อแห้ง (Dry Pipe System)	9
8	ภาพแสดงระบบท่อแห้ง แบบชลอน้ำเข้า (Pre-Action System)	10
9	ภาพแสดงระบบเปิด (Deluge System)	11
10	ภาพแสดงการหาค่าความหนาแน่นของน้ำดับเพลิงต่อหน่วยพื้นที่	16
11	แนวคิดทางวิศวกรรมคุณภาพ	27
12	ภาพความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ	29
13	ภาพหลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง	30
14	ภาพกระบวนการที่มีปัจจัย(Factor) ที่ส่งผลต่อค่าตอบสนอง Y	40
15	ภาพกระบวนการที่ระบุปัจจัย(Factor) ที่ส่งผลต่อค่าตอบสนอง Y	41
16	ภาพถังเหล็กสำหรับเผาเชื้อเพลิง	45
17	ภาพเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง แบบปรับแรงดันได้	46
18	ภาพหัวฉีดหมอกน้ำ	47
19	ภาพตัดขวาง หัวฉีดหมอกน้ำ	47
20	ภาพรูปการกระจายน้ำของหัวฉีดหมอกน้ำ	48
21	ภาพเครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม	50
22	ภาพเครื่องมือวัดอุณหภูมิด้วยคลื่นแสงอินฟาเรด	51
23	ภาพแสดงระบบการทดลอง High Pressure Water Mist	63
24	ภาพแสดงความหนาแน่นของน้ำดับเพลิงต่อหน่วยพื้นที่	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

25	ภาพแสดงผังการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงและระยะห่าง จากการคำนวณ	73
26	ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิง จากการคำนวณ	77
27	ภาพแสดงแบบตัวอย่างผังการวางท่อน้ำดับเพลิง	78
28	ภาพจำลองผังการวางท่อน้ำและหัวฉีดหมอกน้ำ	79
29	ภาพแสดงการทำงาน Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 0.60 เมตร	81
30	ภาพแสดงการทำงาน Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 1.50 เมตร	82
31	ภาพแสดงการทำงาน Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 2.00 เมตร	83
32	ภาพแสดง Normal Probability plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง	85
33	ภาพแสดง Residual Plot แสดงการกระจายแบบสุ่ม และมีความแปรปรวนคงที่	86
34	ภาพแสดงผล Main Effects Plot ของปัจจัยที่ผลกระทบต่อค่าตอบสนอง	87
35	ภาพแสดงผล Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม	88
36	ภาพแสดงผลสรุปของค่าตอบสนองเวลาในการดับเพลิง	90

ภาพผนวกที่

ก1	ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงทั้งหมด	100
ก2	การจำแนกประเภทของกิจกรรม	104
ก3	การชี้บ่งอันตราย	106
ก4	การกำหนดความเสี่ยง	110
ก5	การประเมินความเสี่ยง	112
ก6	การเตรียมแผนปฏิบัติการควบคุมความเสี่ยง	114
ก7	การทบทวนความเพียงพอของแผนปฏิบัติการ	117
จ1	สามเหลี่ยมไฟ	125
จ2	องค์ประกอบการเกิดเพลิงไหม้	126
จ3	วิธีการดับเพลิง 4 วิธี	132

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ฉ1	ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด ระดับล่าง	143
ฉ2	ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด ระดับกลาง	144
ฉ3	ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด ระดับบน	145

การประเมินความเสี่ยงและการปรับปรุงระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยภายในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ
กรณีศึกษา : บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

Risk Assessment and Improvement in Water Mist System

for Fire Protection System in Fire Pump House

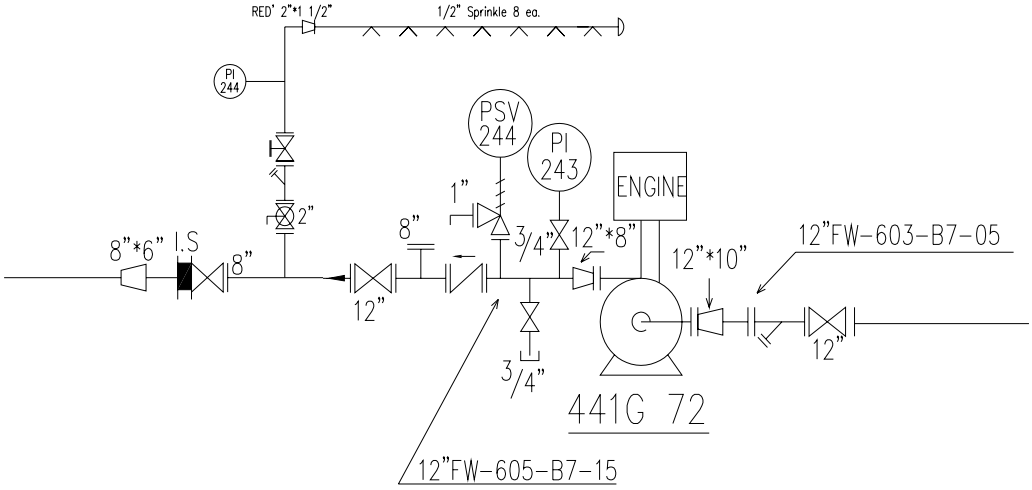
Case study: Bangkok Aviation Fuel Services Public Company Limited

คำนำ

การป้องกันและระงับอัคคีภัย ได้ถูกระบุ อยู่ในประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัย ในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานสำหรับลูกจ้าง ปี พ.ศ. 2534 และพระราชบัญญัติคุ้มครองอาคาร ปี พ.ศ.2522 ซึ่งจะเน้นในเรื่องความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน แหล่งเก็บกักเชื้อเพลิง รวมถึงอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง (Fire Pump House)

อาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง หรือ Fire Pump House ถือเป็นอีกอาคารหนึ่งที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับระบบการระงับอัคคีภัย เนื่องจากภายในอาคารนั้น มีเครื่องกำเนิดแรงดันและส่งน้ำดับเพลิงไปทำการดับเพลิง ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่อยนต์ดีเซล มีการใช้น้ำมันดีเซล ที่เป็นเชื้อเพลิงประเภท บี (Class B) ซึ่งหากเกิดอัคคีภัย ภายในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง จะต้องมีระบบดับเพลิงที่เป็นอิสระ ไม่ต่อเชื่อมกับท่อออก(Pump Discharge)ของเครื่องสูบน้ำดับเพลิง ซึ่งเมื่อเกิดอัคคีภัยในอาคารดังกล่าวจากกรณีน้ำมันเชื้อเพลิงลุกไหม้ ระบบดับเพลิงดังกล่าว จะไม่สามารถทำงานได้ ตามภาพที่ 1 ถึงภาพที่ 3

ทั้งนี้อาจสร้างความเสียหายหรือทำให้เกิดการลุกลามของอัคคีภัย ไปยังแหล่งอื่นที่ใกล้เคียงได้ ซึ่งหลักการนี้ ได้รับคำชี้แนะการตรวจประเมินระบบความปลอดภัยในคลังน้ำมันจากคณะผู้ประเมินความปลอดภัยในสถานประกอบการสำหรับการทำประกันภัย (Insurance Surveillance Audit) ว่าอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิงควรมีระบบที่ป้องกันและระงับอัคคีภัย ที่ทำงานได้อย่างอิสระ



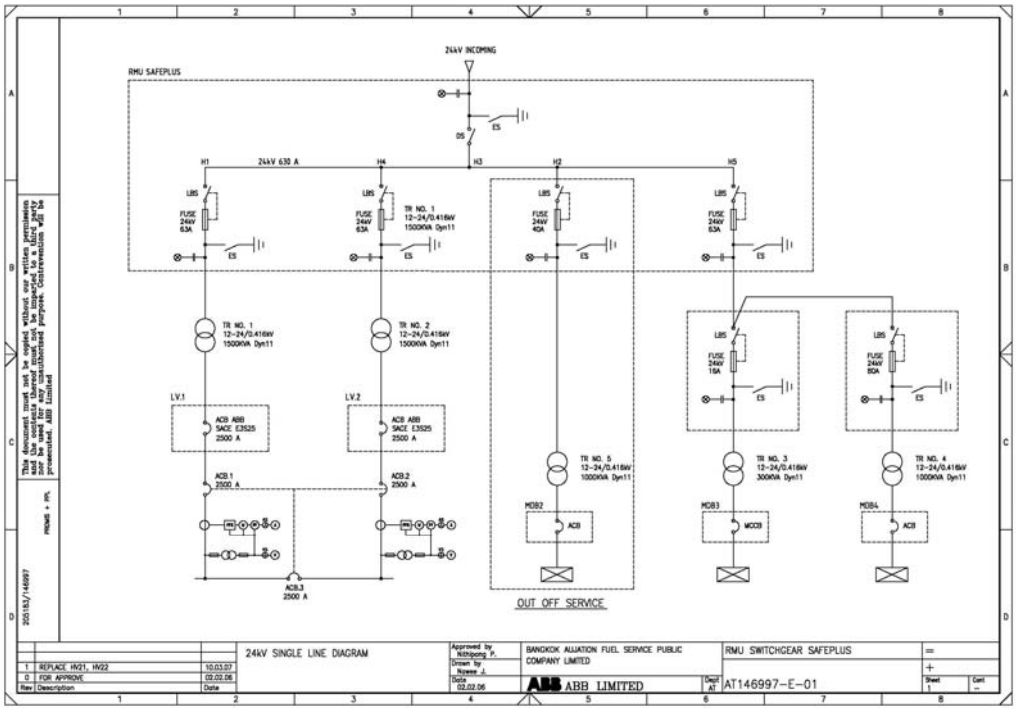
ภาพที่ 1 ภาพแสดงแผนภาพระบบท่อน้ำดับเพลิงในห้องเครื่องสูบน้ำดับเพลิง

ภาพที่ 2 ภาพภายในห้องเครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลัก

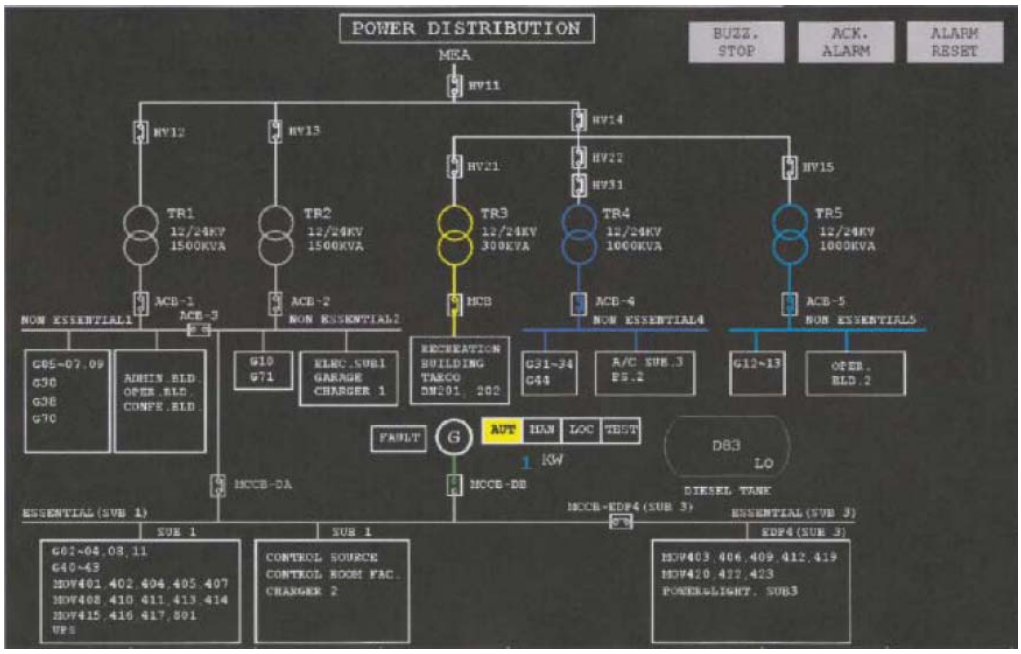
ภาพที่ 3 ภาพภายนอกห้องเครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลัก ซึ่งต่อระบบท่อน้ำดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำ (Deluge System)

ระบบไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลักแบบใช้กระแสไฟฟ้า (G71) ดังนั้น เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ ระบบกระแสไฟฟ้า จะถูกตัดลง ทำให้เครื่องสูบน้ำดับเพลิง แบบใช้กระแสไฟฟ้า จะไม่สามารถทำงานได้ ประกอบกับระบบเครื่องปั้นไฟฟ้าสำรองขนาด 850 KVA ก็มิได้มีระบบกระแสไฟฟ้าสำรอง จ่ายเข้าสู่ระบบเครื่องสูบน้ำดับเพลิงแบบใช้กระแสไฟฟ้า

ดังนั้นในกรณี ที่เกิดเพลิงไหม้ที่เครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลักแบบเครื่องยนต์ ในระบบน้ำดับเพลิงทั้งหมด ก็จะไม่สามารถใช้งานได้ โดยศึกษาจากภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5 เป็นภาพแสดงระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง ผ่านหม้อแปลง และนำเข้ามาใช้งานในส่วนต่างๆ ของคลังน้ำมัน



ภาพที่ 4 แผนผัง 24 Volt Single Line



ภาพที่ 5 แผนผัง 24 Volt Single Line (DCS)

อัคคีภัย เป็นภัยที่เกิดขึ้นได้ทุกที่ และทุกเวลา ในสถานที่ ที่ขาดการบำรุง ดูแล และรักษา ให้มีสภาพความปลอดจากอัคคีภัย ดังนั้นการป้องกัน ก็เป็นมาตรการหนึ่ง ที่ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอัคคีภัย ได้เป็นอย่างดี แต่ระบบระงับอัคคีภัย ก็เป็นอีกมาตรการหนึ่งที่ไม่สามารถลดความเสี่ยงภัยได้ แต่สามารถลดความสูญเสียต่อชีวิต ทรัพยสิน และสิ่งแวดล้อม ได้ และหากนำระบบระงับอัคคีภัย ได้ถูกนำมาใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ก็จะทำการระงับอัคคีภัย ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบป้องกันอัคคีภัย (Passive System) ที่ใช้งานได้ดี ได้แก่ ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบทางหนีไฟ ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน ระบบตรวจจับควันไฟ และความร้อน (Smoke and Heat Detection System) เป็นต้น ซึ่งระบบต่างๆที่กล่าวมานั้น จะต้องมีการบำรุงดูแล และรักษา ให้มีสภาพพร้อมใช้งาน ได้ตลอดเวลา และเป็นระบบที่สามารถช่วยลำเลียงหรืออพยพ ผู้ประสบภัยให้ออกมาจากพื้นที่ที่ประสบภัย ได้อย่างปลอดภัย

ระบบระงับอัคคีภัย (Active System) เป็นระบบที่ใช้ในการตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน ที่เกิดขึ้นในทันที ได้แก่ ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Fire Sprinkler) ระบบดับเพลิงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ระบบดับเพลิงก๊าซเฉื่อย (Inergen Gas) ระบบดับเพลิงด้วยสารดับเพลิงชนิด FM200 และระบบดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ (Water Mist)เป็นต้น ซึ่งมีเพียงระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Fire Sprinkler) ที่ไม่ได้เป็นระบบที่แยกอิสระออกจากท่อน้ำดับเพลิงหลัก ดังนั้นหากระบบน้ำดับเพลิง หรือ เครื่องสูบน้ำดับเพลิงไม่สามารถใช้งานได้ การระงับอัคคีภัย ก็จะไม่สามารถใช้งานได้ด้วยเช่นกัน และอาจจะส่งผลให้เกิดการลุกลามของเพลิงไหม้ ได้

ระบบดับเพลิงต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อมีการใช้งานเพื่อระงับอัคคีภัย หรือเพื่อการทดสอบระบบการทำงาน หรือเกิดจากผิดพลาดของสัญญาณ ล้วนแต่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยตรง เช่นในเรื่องการสลายตัวของสารเคมี หรือ การทำลายชั้นบรรยากาศ ส่วนการดับเพลิงด้วยน้ำ เป็นการดับเพลิงที่เป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมมากที่สุด

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) และออกแบบการทดลอง (Design of Experimental) เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อสถานประกอบการ และช่วยพัฒนาระบบดับเพลิงให้มีความเหมาะสมกับสถานที่ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดับเพลิงเชื้อเพลิงประเภทบี (น้ำมันเชื้อเพลิง) ด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ

2. เพื่อใช้หลักทางวิศวกรรมความปลอดภัย มาประเมินความเสี่ยง ระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง

3. เพื่อใช้หลักทางวิศวกรรม ในการออกแบบโปรแกรมจำลองการเกิดเพลิงไหม้และการดับเพลิง เปรียบเทียบกับการทดลองการดับเพลิงจริงด้วยระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ

4. เพื่อใช้หลักการทางวิศวกรรมความปลอดภัย ในการเปรียบเทียบการทำงานของระบบดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง และระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ

การตรวจเอกสาร

1. การประเมินความเสี่ยง

นริศ (2551) ในปัจจุบันพบว่า อุบัติเหตุที่เกิดจากการทำงานนั้นมีอัตราที่สูงขึ้น ซึ่งสาเหตุที่เกิดนั้นมีหลายประการ ผู้ประกอบการหรือเจ้าของโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องปฏิบัติอย่างไรหรือมีนโยบายที่ชัดเจนอย่างไรในการลดอุบัติเหตุอันเกิดจากการทำงานในสถานประกอบการ และให้ความเชื่อมั่นความปลอดภัยในการทำงานแก่คนงาน การทำงานที่มีความปลอดภัยคือสภาพที่ไม่มีภยันตราย ดังนั้นความปลอดภัยในการทำงานจึงหมายถึงการทำงานที่ปราศจากอันตราย ไม่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ กล่าวคือ ไม่ก่อให้เกิดสิ่งต่าง ๆ ได้แก่ การเจ็บป่วย หรือเป็นโรค การบาดเจ็บ พิการหรือตาย ทรัพย์สินเสียหาย เสียเวลา ขบวนการผลิตหยุดชะงัก คนงานเสียขวัญและกำลังใจในการทำงาน กิจการเสียชื่อเสียง ซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนแต่เป็นผลเสียทั้งสิ้น การกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศ ก็ได้ยกเอาประเด็นเรื่องความปลอดภัยในการทำงานมาเป็นเครื่องมือพิจารณาในการค้าขายระหว่างประเทศ เนื่องจากความปลอดภัยในการทำงานนั้นเป็นปัจจัยพื้นฐานในการเพิ่มผลผลิตที่มีคุณภาพ รัฐบาลจึงสนับสนุนส่งเสริมให้ผู้ประกอบการ เสริมสร้างประสิทธิภาพการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ โดยเน้นให้สถานประกอบการคำนึงถึงความปลอดภัยในการทำงาน ได้มีการออกระเบียบโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารความเสี่ยง พ.ศ.2543 ขึ้น เพื่อให้ผู้ประกอบกิจการโรงงาน หรือผู้ขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน หรือใบอนุญาตขยายโรงงาน ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน โดยต้องทำการศึกษา วิเคราะห์และทบทวนการดำเนินงานเพื่อชี้บ่งอันตราย ประเมินความเสี่ยง และจัดทำแผนงานการจัดการความเสี่ยง

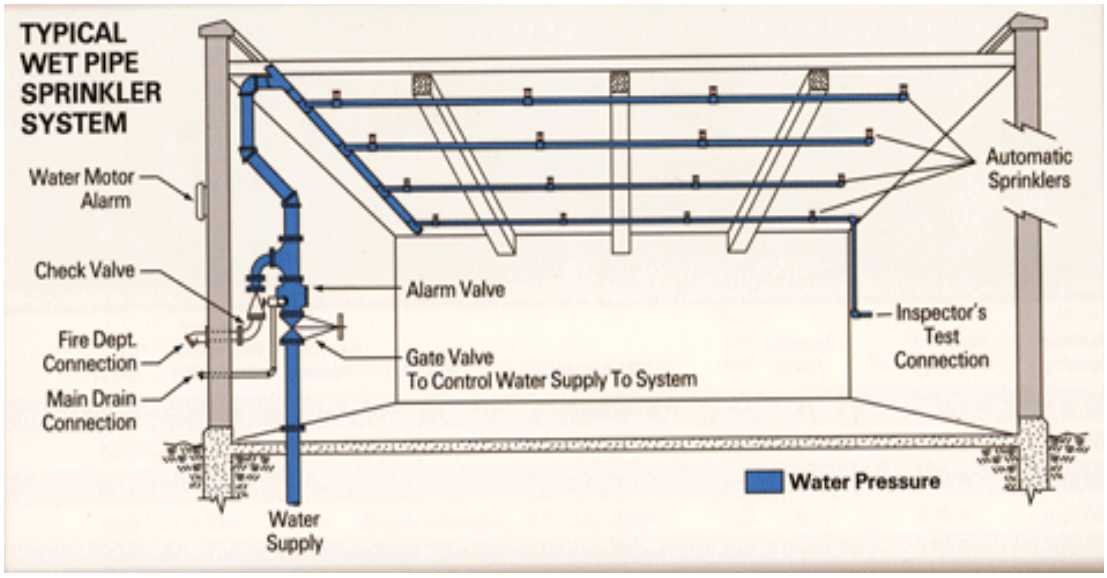
Louvar (1998) กล่าวถึงเรื่องการประเมินความเสี่ยงนั้นเริ่มต้นจากการค้นหาอันตรายที่มีอยู่ทั้งหมด แล้วทำการจัดเรียงลำดับของอันตรายที่จะเกิดขึ้น โดยใช้องค์ประกอบสองอย่างคือโอกาสที่จะเกิด และความรุนแรงของอันตราย เพื่อใช้ในการคำนวณจากนั้นดำเนินการจัดลำดับความเสี่ยงหรืออันตรายที่จะเกิดขึ้นเพื่อหาว่าความเสี่ยงใดยอมรับได้หรือยอมรับไม่ได้ ถ้าความเสี่ยงนั้นๆ ยอมรับได้ก็ให้ดำเนินการกิจกรรมนั้นๆ ต่อไป แต่ถ้าความเสี่ยงนั้นๆ ยอมรับไม่ได้ให้ทำการปรับปรุงระบบ วางแผนใหม่ หรือทำระบบเตือนต่างๆ ฯลฯ

2. ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic Sprinkler System)

การป้องกันอัคคีภัย มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร และทรัยพ์สิน ซึ่งระบบดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ได้รับการยอมว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลิงไหม้ได้ดีมาก และเป็นแพร่หลายไปทั่วโลก เนื่องจากความสามารถควบคุมเพลิงไว้ให้อยู่ในวงจำกัด ไม่ให้ลุกลามเป็นวงกว้างออกไป สามารถลดการแพร่กระจายควันไฟ และที่สำคัญสามารถชลอการลุกลามได้อย่างมีประสิทธิ ทำให้ ผู้ประสบภัยมีเวลาในการอพยพหนีไฟ มากขึ้น ซึ่งหมายถึง มีความปลอดภัยในชีวิตมากยิ่งขึ้น และลดความเสียหายที่เกิดขึ้นให้อยู่ในพื้นที่ที่จำกัด อีกด้วย

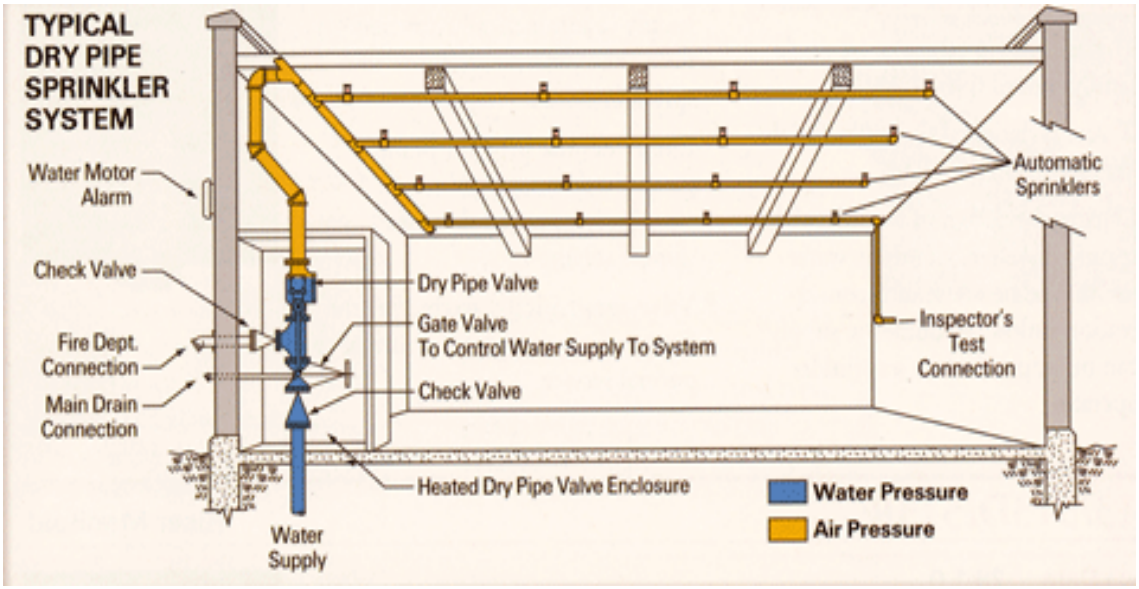
2.1 ประเภทของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง มีดังนี้

2.1.1 ระบบท่อเปียก (Wet Pipe System) เป็นระบบที่ภายในท่อน้ำดับเพลิง มีน้ำอยู่ภายใต้แรงดันที่กำหนด และพร้อมจะทำงานตลอดเวลา เมื่อกระเปาะอุณหภูมิได้รับความร้อนและแตกขึ้นมา ระบบนี้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิห้อง ไม่ทำให้น้ำเป็นน้ำแข็ง



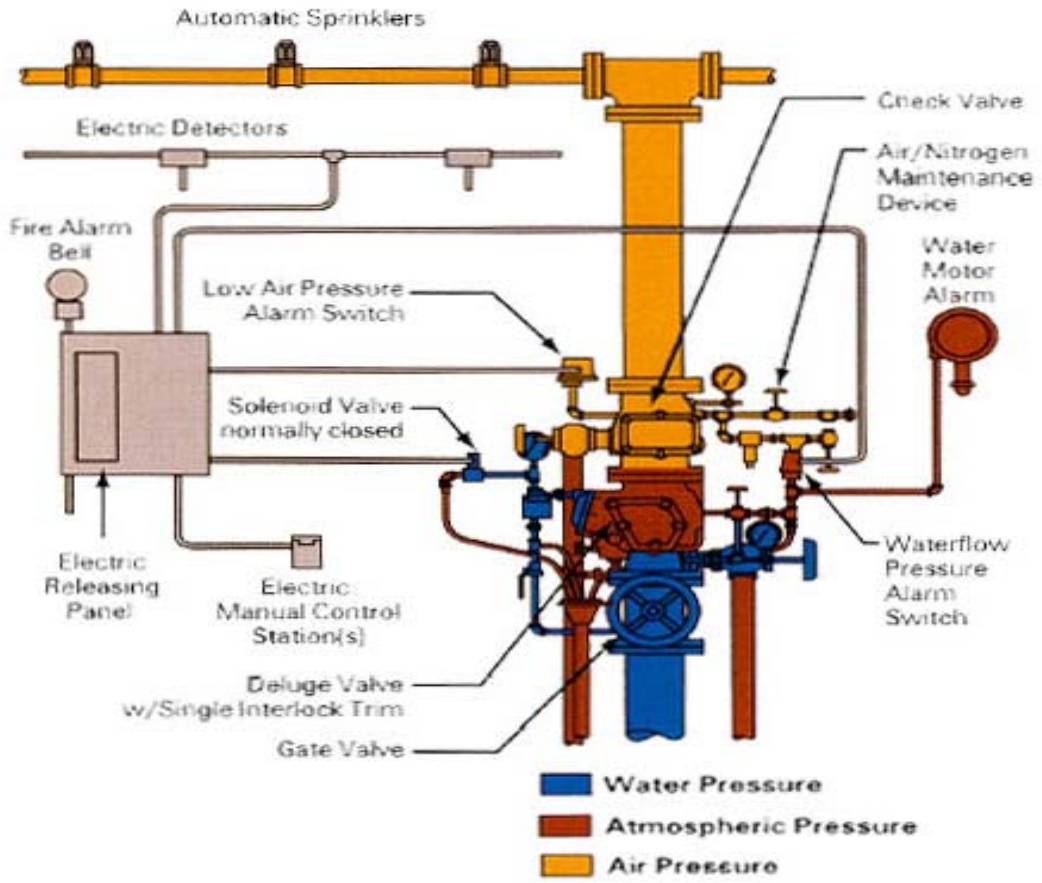
ภาพที่ 6 ภาพแสดงระบบท่อเปียก (Wet Pipe System)

2.1.2 ระบบท่อแห้ง (Dry Pipe System) เป็นระบบที่ไม่มีน้ำในท่อดับเพลิง จะดับเพลิงได้ก็ต้องมีการจ่ายน้ำมาจากต้นทาง ระบบนี้เหมาะกับพื้นที่ ที่มีอุหภูมิห้อง ที่ทำให้น้ำเป็นน้ำแข็งได้โดยง่าย หรือเป็นพื้นที่ที่ต้องได้รับการตัดสินใจก่อนให้ระบบทำงาน



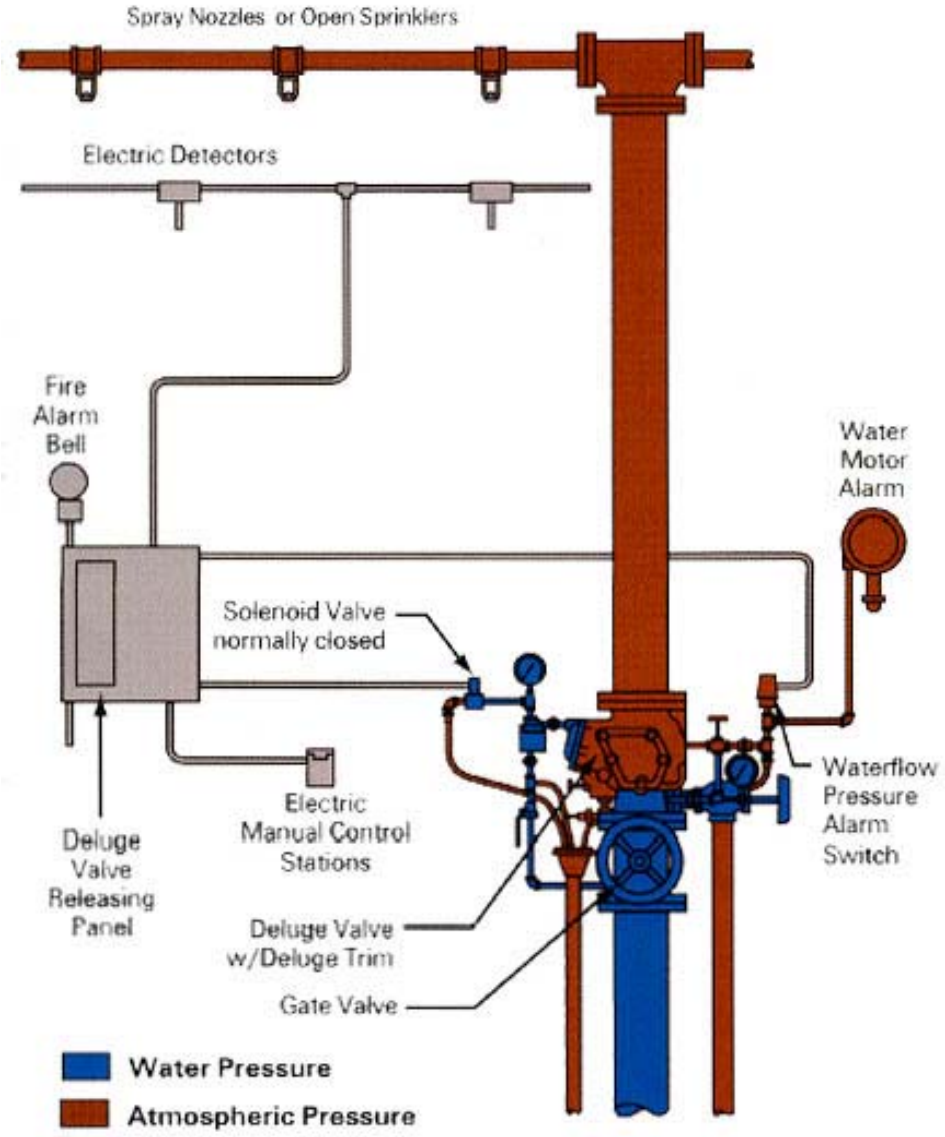
ภาพที่ 7 ภาพแสดงระบบท่อแห้ง (Dry Pipe System)

2.1.3 ระบบท่อแห้งแบบชลอน้ำเข้า (Pre-action System) ระบบนี้เหมาะสมกับพื้นที่ป้องกันที่ต้องการหลีกเลี่ยง การทำงานหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่อาจผิดพลาด และก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินหรืออุปกรณ์ที่มีมูลค่าสูง



ภาพที่ 8 ภาพแสดงระบบท่อแห้ง แบบชลอน้ำเข้า (Pre-Action System)

2.1.4 ระบบเปิด (Deluge System) เป็นระบบดับเพลิงสำหรับป้องกันพื้นที่พิเศษ ที่ต้องการน้ำดับเพลิงจำนวนมากออกจากหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบเปิด (Open Sprinkler) พร้อมกันทุกหัวกระจายน้ำดับเพลิง



ภาพที่ 9 ภาพแสดงระบบเปิด (Deluge System)

2.2 การแบ่งประเภทของพื้นที่ครอบครองสำหรับอาคาร (Occupancy Classification)แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.2.1 พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย (Light Hazard Occupancies)

ก. พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย ควรจะจำแนกหรือแยกส่วนออกจากพื้นที่อันตรายอื่นๆ เนื่องจากในพื้นที่อันตรายน้อยจะมีการเก็บวัสดุ หรือวัสดุที่ลุกไหม้ได้จำนวนน้อย เช่น ที่พักอาศัย สำนักงานทั่วไป สถานศึกษา โรงพยาบาล เป็นต้น

2.2.2 พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง (Ordinary Hazard Occupancies)

ก. พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง (กลุ่มที่ 1) เป็นพื้นที่ ที่จำแนกหรือแยกส่วนออกจากพื้นที่อันตรายส่วนอื่นๆ เนื่องจากในพื้นที่มีความสามารถในการลุกไหม้ต่ำ แต่มีจำนวนเชื้อเพลิงปานกลาง เช่น โรงงานผลิตอุปกรณ์อิเลกโทรนิคส์ โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง เป็นต้น

ข. พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง (กลุ่มที่ 2) เป็นพื้นที่ ที่จำแนกหรือแยกส่วนออกจากพื้นที่อันตรายส่วนอื่นๆ เนื่องจากในพื้นที่มีความสามารถในการลุกไหม้ต่ำ แต่มีจำนวนเชื้อเพลิงปานกลางถึงมาก เช่น โรงงานผลิตสิ่งทอ โรงงานผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ เป็นต้น

2.2.3 พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (Extra Hazard Occupancies)

ก. พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (กลุ่ม 1) พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก จำแนกหรือแยกส่วนออกจากพื้นที่อันตรายอื่นๆ เนื่องจากในพื้นที่อันตรายมาก จะมีการเก็บวัสดุหรือวัสดุที่ลุกไหม้ ที่ซึ่งสามารถลุกไหม้ได้ง่าย หรือมีความไวไฟสูง ได้แก่ ของเหลวติดไฟ (Flammable Liquid) เช่น โรงงานผลิตไม้อัด และไม้แผ่น โรงงานอุตสาหกรรมยาง เป็นต้น

ข. พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (กลุ่ม 2) พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก จำแนกหรือแยกส่วนออกจากพื้นที่อันตรายอื่นๆ เนื่องจากในพื้นที่อันตรายมาก จะมีการเก็บวัสดุหรือวัสดุที่ลุกไหม้ที่มีปริมาณมาก ที่ซึ่งสามารถลุกไหม้ได้ง่าย หรือมีความไวไฟสูง ได้แก่

ของเหลวติดไฟ (Flammable Liquid) เช่น โรงกลั่นน้ำมัน คลังน้ำมัน โรงพ่นสี โรงงานผลิตยางมะตอย เป็นต้น

2.3 ขนาดของพื้นที่ป้องกัน (System Protection Area Limitations.)

จากการกำหนดพื้นที่ครอบครอง เพื่อหาปริมาณและความดันของน้ำดับเพลิงที่ต้องการเพื่อดับเพลิงที่เกิดขึ้น จะต้องพิจารณาถึง พื้นที่เท่าใดที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานจริง หรือ จำนวนเท่าใดที่หัวหระจายน้ำดับเพลิงถูกคาดการณ์ว่าจะแตกมากที่สุดและสามารถดับเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นได้ ขนาดของพื้นที่ป้องกันสูงสุด (Maximum Floor) เป็นการป้องกันพื้นที่ในชั้นนั้นๆ ด้วยระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ซึ่งคิดต่อระบบท่อแนวดิ่ง (Sprinkler System Riser) หรือระบบท่อร่วม(Combines System Riser) ควรจะเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงพื้นที่ป้องกันสูงสุด แยกตามลักษณะของพื้นที่

Occupancies Classification	Maximum Floor Area	
	ft^2	m^2
Light hazard	52,000	4,831
Ordinary hazard	52,000	4,831
Extra hazard - Pipe schedule	25,000	2,323
Extra hazard - Hydraulically calculated	40,000	3,716

ที่มา : NFPA 13 (2000)

นอกจากนี้ปริมาณการใช้น้ำในการดับเพลิงของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ว่าต้องมีปริมาณมาก หรือน้อยเพียงใด ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อการแตกของหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งในที่นั้นๆ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

- อาคารที่ติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงมีการติดตั้งเป็นแบบบางพื้นที่ (Partial Sprinkler) หรือแบบทั่วทั้งอาคาร (Fully Sprinkler)

- การเกิดเพลิงไหม้แบบรุนแรงและรวดเร็ว (Rapid Fire and Flash Fire)

- ความดันของระบบส่งน้ำดับเพลิง
- สิ่งกีดขวางแนวกระจายน้ำของหัวกระจายน้ำดับเพลิง
- อาคารที่มีเพดานสูง
- ช่องเปิดภายในอาคาร
- ระบบของการทำงานที่เลือกใช้ เช่น ท่อเปียก หรือ ท่อแห้ง

2.4 การหาขนาดท่อน้ำดับเพลิงและปริมาณน้ำดับเพลิง

2.4.1 โดยใช้ตารางท่อPipe Schedule Method. เป็นการหาปริมาณที่ใช้ขั้นต่ำ (Minimum Requirement) สามารถกำหนดได้ตามประเภทของพื้นที่ครอบครอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความต้องการการใช้น้ำในการดับเพลิง สำหรับระบบท่อหัวกระจายน้ำดับเพลิง

Water Supply Requirements for Pipe Schedule Sprinkler Systems			
Occupancy Classification	Minimum Residual Pressure Required (psi)	Acceptable Flow at Base of Riser (Including Hose Stream Allowance) (gpm)	Duration (minutes)
Light hazard	15	500-700	30-60
Ordinary hazard	20	850-1500	60-90

Note: For SI units, 1 gpm = 3.785 L/min; 1 psi = 0.0689 bar.

ที่มา : NFPA 13 (2000)

2.4.2 การหาขนาดท่อน้ำดับเพลิงโดยใช้ตารางท่อ (Pipe Schedule Method)ตารางท่อสำหรับพื้นที่ครอบครองประเภทอันตรายน้อยและปานกลาง การหาขนาดท่อน้ำดับเพลิง โดยใช้ตารางท่อ (Pipe Schedule Method) ตารางที่ 3

ก. จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงบนท่อแยกแต่ละท่อ ต้องไม่เกิน 8 หัว

ข. ขนาดของท่อน้ำต่อจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงสำหรับพื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย และพื้นที่ครอบครองปานกลาง เมื่อติดตั้งที่เพดาน

ค. ในกรณี ที่จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง บนท่อย่อยจำเป็นต้องเกินกว่า 8 หัว ให้ 2 หัวสุดท้ายบนปลายท่อย่อยให้มีขนาด 1” (25 mm) หัวถัดมาบนท่อย่อยเป็น 1 ¼” (32 mm)

ตารางที่ 3 ตารางแสดงจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงเทียบกับขนาดท่อและลักษณะพื้นที่

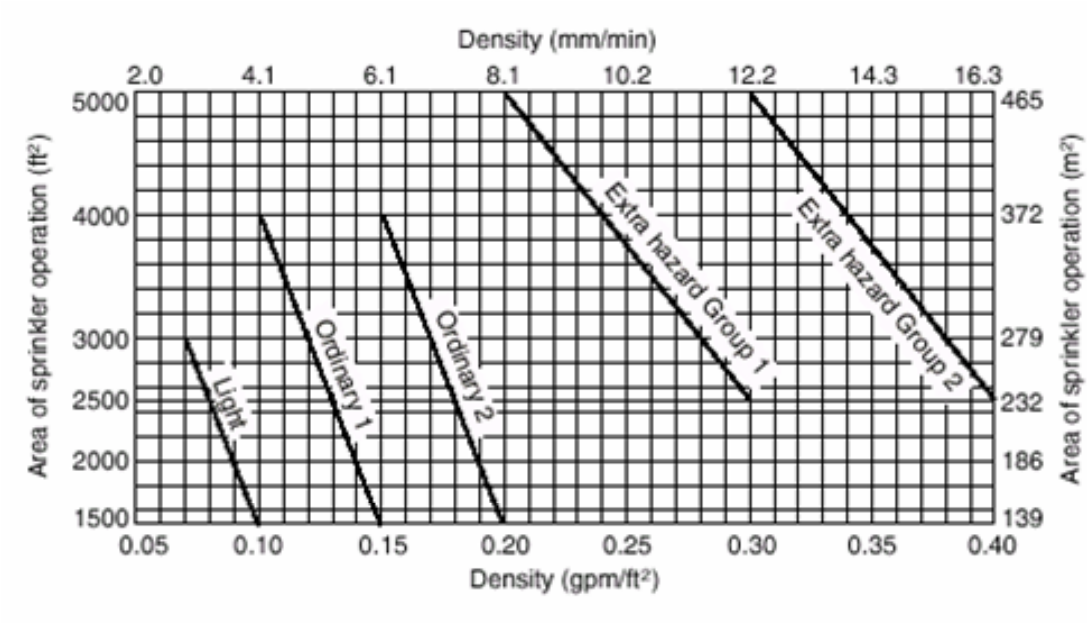
Pipe Schedule for Steel Pipe and Copper Pipe				
Pipe Diameter (inch.)	Number of Sprinkler Nozzle			
	Steel Pipe		Copper Pipe	
	Light Hazard	Ordinary Hazard	Light Hazard	Ordinary Hazard
1 (25 mm)	2	2	2	2
1 ¼ (32 mm)	3	3	3	3
1 ½ (40 mm)	5	5	5	5
2 (50 mm)	10	10	12	12
2 ½ (65 mm)	30	20	12	25
3 (80 mm)	60	40	65	45
3 ½ (86 mm)	100	65	115	75
4 (100 mm)	ตารางที่ 1	100	ตารางที่ 1	115
5(125 mm)		160		180
6(150 mm)		275		300
8 (200 mm)		ตารางที่ 1		ตารางที่ 1

ที่มา: NFPA 13 (2000)

2.4.3 การหาขนาดท่อน้ำ และความต้องการใช้น้ำ โดยใช้การคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation Methods) ดังตารางที่ 4 และมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

ก. ต้องแบ่งประเภทของอาคารว่าจัดอยู่ในพื้นที่ครอบครองแบบใด (Selecting occupancy)

ข. หาค่าความหนาแน่นของน้ำดับเพลิง ต่อหน่วยพื้นที่ (Selecting a hydraulic density)จากภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ภาพแสดงการหาค่าความหนาแน่นของน้ำดับเพลิงต่อหน่วยพื้นที่

ที่มา: NFPA 13 (2000)

ค. กำหนดหาความยาวของการไหลที่ครอบคุมพื้นที่ที่ต้องการ (Determining the length of the hydraulically most demanding area)

ง. กำหนดการจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง ตลอดความยาวของพื้นที่ (Determining the number of sprinkler flowing along the length of the design area)

จ. กำหนดลักษณะของหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในพื้นที่ (Determining the configuration of sprinklers in the hydraulically most demanding area)

ฉ. กำหนดหาปริมาณน้ำต่ำที่สุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum flow at the hydraulically most demanding sprinkler)

ช. กำหนดแรงดันน้ำต่ำสุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum pressure at the hydraulically most demanding sprinkler)

ซ. คำนวณหาความเสียดทาน ที่สูญเสียไปแต่ละท่อส่งน้ำ และรวมทั้งหมด

ที่มา : Robert (1997)

ตารางที่ 4 ตารางแสดงเวลาความต้องการในการใช้น้ำในการดับเพลิง

Hose Stream Demand and Water Supply Duration Requirements for Hydraulically Calculated Systems			
Occupancy	Inside Hose (gpm)	Total Combined Inside and Outside Hose (gpm)	Duration (minutes)
Light hazard	0, 50, or 100	100	30
Ordinary hazard	0, 50, or 100	250	60–90
Extra hazard	0, 50, or 100	500	90–120

For SI units, 1 gpm = 3.785 L/min.

ที่มา : NFPA 13 (2000)

2.4.4 สมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง(Hydraulic Calculation Procedures)

ก. สูตรคำนวณหาค่าความดันลด (Pressure Drop) บนพื้นฐานของ Hazen-Williams

$$p = 4.52Q^{1.85} / C^{1.85} d^{4.87} \quad (1)$$

เงื่อนไข

p = frictional resistance in psi per foot of pipe

Q = flow in gpm

C = friction loss coefficient

d = actual internal diameter of pipe in inches

ข. สูตรคำนวณหาค่าแรงดันการไหลเริ่มต้น

$$P_v = 0.001123Q^2 / D^4 \quad (2)$$

เงื่อนไข

P_v = velocity pressure in psi (SI: 1 psi = 0.0689 bar)

Q = flow in gpm (SI : 1 gal = 3.785 L)

D = inside diameter in inches (SI: 1 in. = 25.4 mm)

ค. สูตรคำนวณหาค่าแรงดันปกติ(Normal Pressure,P_n)

$$P_n = P_t - P_v \quad (3)$$

เงื่อนไข

P_n = normal pressure

P_t = total pressure in psi (bar)

P_v = velocity pressure in psi (bar)

3. แบบจำลองเมื่อเพลิงไหม้ ด้วย โปรแกรม FDS & Smoke View

NIST (2007) Fire Dynamic Simulator (FDS) ได้รับการพัฒนามากว่า 25 ปี แต่สำหรับโปรแกรมในรุ่นแรก ทางสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) ได้เริ่มนำออกเผยแพร่ในปี ค.ศ. 2000 และดำเนินการปรับปรุงเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันโดยอาศัยเสียงตอบรับจากผู้ใช้ในแต่ละรุ่นนำมาพัฒนาประสิทธิภาพของตัวโปรแกรม ให้มีขีดความสามารถสูงยิ่งขึ้นในการคำนวณและแสดงผล

โปรแกรมรุ่นแรกออกแบบให้มุ่งเน้นไปในการศึกษาพฤติกรรมของควันไฟ และศึกษาการออกแบบการทำงานของระบบดับเพลิงหัวกระจายน้ำอัตโนมัติ ต่อมาได้มีการพัฒนาโดยมีเป้าหมายให้โปรแกรมมีขีดความสามารถในการคำนวณมากขึ้นสำหรับฝึกหัดการแก้ปัญหาของวิศวกรป้องกันอัคคีภัย พร้อมกับการศึกษาพลศาสตร์อัคคีและการเผาไหม้โดยจำลองแบบในเรื่องต่างๆดังนี้

แบบจำลองการไหลของความร้อน (Hydrodynamic Model) FDS ได้ใช้สมการที่เหมาะสมกับการคำนวณการไหลของอากาศร้อนอย่างช้าๆและให้ความสำคัญกับควันและการส่งผ่านความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยการจัดลำดับการคำนวณตามพื้นที่และเวลา

แบบจำลองการเผาไหม้ (Combustion Model) ในการใช้งาน FDS ส่วนใหญ่พิจารณาการเผาไหม้จากปฏิกิริยาทางเคมีของสารตั้งต้นเพียงตัวเดียว โดยจะมีองค์ประกอบหลักที่ต้องการพิจารณาจากสารเคมีหรือวัตถุเดียวแล้วมีการลามไฟไปยังอีกวัตถุหนึ่ง เช่น การเผาไหม้ของเบนซินบนพรม ซึ่ง FDS จะสามารถคำนวณการเผาไหม้ในวัตถุที่สองจากปฏิกิริยาทางเคมีของวัตถุแรก จากองค์ประกอบคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกซิเดชั่นของคาร์บอนมอนอกไซด์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Transport) โดยรวมจะคล้ายกับวิธีการคำนวณปริมาณความร้อนของการพาความร้อนที่เรียกว่า Finite Volume Method (FVM) คือการประมาณค่าหรือสุ่มคำนวณจากมุมต่าง 100 จุดในแต่ละองศา โดย FDS จะแบ่งการคำนวณสำหรับเรื่องนี้เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของการคำนวณในแต่ละเวลาการคำนวณของ CPU

นอกจากนี้ FDS จะคำนวณตามเงื่อนไขของพื้นที่โดยผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ร่วมถึงวัสดุที่ใช้ (มีการบ่งบอกของคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ) เนื่องจากขอบเขตของการคำนวณความร้อนในแต่ละจุดจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังกล่าวตามเวลาที่พิจารณา การคำนวณของโปรแกรมจะเริ่มจากการป้อนข้อมูลและเงื่อนไขที่กำหนดและนำมาคำนวณบน DOS, Mac OS, Unix หรือ Linux ขึ้นกับคุณสมบัติการติดตั้งนั้น บนคอมพิวเตอร์

หลังจากการคำนวณเสร็จสิ้น ผลที่ได้จะนำมาแสดงผลเป็นภาพสามมิติโดยใช้โปรแกรม Add in สำเร็จรูปที่ติดตั้งมาคู่กันเรียกว่า โปรแกรม Smoke view ซึ่งจะแสดงผลตามข้อมูลและการคำนวณที่ให้ไว้ โดยศักยภาพของโปรแกรม Smoke view จะได้รับการพัฒนาตาม FDS ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในการบริหารจัดการระบบการป้อนข้อมูลของ FDS มากกว่าเนื่องจากพื้นฐานการใช้งานหลักจะอยู่ที่การป้อนข้อมูลและการระบุการแสดงผล

3.1 การสร้างแบบจำลอง จำเป็นต้องเขียนข้อกำหนดต่างๆ ที่ โปรแกรมต้องการ ได้แก่

3.1.1 ขอบเขตของแบบจำลอง

3.1.2 ขนาดของแบบจำลอง

3.1.3 การกำหนดคุณลักษณะของผนังล้อมรอบ (Surface Properties)

3.1.4 การกำหนดขนาดและตำแหน่งของเชื้อเพลิง (Ignition Source)

3.1.5 การกำหนดคุณลักษณะของเชื้อเพลิง (Fuel Properties)

3.1.6 กำหนดอุปกรณ์และคุณลักษณะของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ที่มา : NIST (2007)

4. ระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำแรงดัน (NFPA 750)

Ecke(2004) เป็นเวลากว่า 15 ปี ที่มีการพัฒนาการใช้ระบบน้ำดับเพลิงแบบหมอกน้ำ เพื่อทดแทนระบบดับเพลิง ฮารอน (Halon) ตามสนธิสัญญา มอลทริออล (The Montreal Protocol) ที่จะลดการใช้สารที่มีผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะสาร CFC (Chloro Fluoro Carbon) ที่ทำลายชั้น Ozone อยู่ในปัจจุบัน แต่มาตรฐานควบคุมยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในปัจจุบัน มีมาตรฐานต่างๆ ได้กล่าวไว้ดังนี้

4.1 NFPA (National Fire Protection Association)

ได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ (Water Mist) มาตั้งแต่ช่วงต้นของ ค.ศ. 1990 ซึ่งได้สร้างมาตรฐานใหม่ขึ้นมาสำหรับระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ คือ NFPA 750 เป็นฉบับแรกในปีค.ศ. 1996 ฉบับที่ 2 ในปีค.ศ. 2000 ฉบับที่ 3 ในปี ค.ศ. 2003 และฉบับที่ 4 ปีค.ศ. 2006

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีการสร้างความเข้าใจในเทคโนโลยี และความรู้ประสบการณ์ มาโดยตลอด แต่ในช่วงต้นๆ ค.ศ. 1990 ทาง NFPA ไม่สามารถสร้างกฎเกณฑ์ อย่างง่ายๆ ในการออกแบบระบบดับเพลิงหมอกน้ำได้ หรือ วิธีทดสอบระบบฯ ได้ ล่วงมาถึงปี ค.ศ. 2000 ผู้เขียน NFPA ได้จัดเตรียมคำแนะนำ ในการพัฒนาการทดสอบระบบฯ ถึงอย่างไร NFPA ก็ยังไม่มีระบบการทดสอบที่เป็นมาตรฐาน อย่างเป็นทางการได้

ในปัจจุบัน มีหัวข้อหนึ่งที่คณะกรรมการของ NFPA ได้พิจารณาคือ วัตถุที่กีดขวางในการดับเพลิง ซึ่งการนำเสนอนี้ ได้รวมถึงกฎเกณฑ์ต่างๆ ที่รวมไปถึงเรื่องหัวฉีดหมอกน้ำสำหรับดับเพลิง ที่ต้องการทราบตำแหน่งการติดตั้ง เพื่อจะไม่ให้สิ่งที่กีดขวางทำลายการปกคลุมของหมอกน้ำ ซึ่งคล้ายๆกับในมาตรฐาน NFPA 13 ที่จะกำหนดตำแหน่งการติดตั้งของหัวกระจายน้ำดับเพลิงในตำแหน่ง ใกล้ๆกัน หรือ สูงกว่า หรือ ต่ำกว่า สิ่งกีดขวาง ที่กำหนดในมาตรฐาน NFPA 750 นอกจากนี้ คณะกรรมการ NFPA ยังมีคำถามเกี่ยวกับระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการป้องกันเพลิง ซึ่งในการนำเสนอ ในครั้งต่อไป ควรกำหนดเวลาขั้นต่ำในการป้องกัน 20 นาที เป็นอย่างน้อย เพื่อลดความสับสนเกี่ยวกับระยะเวลาน้อยที่สุดในการป้องกันพื้นที่ ซึ่งจะทำการปรับปรุงมาตรฐาน NFPA 750 ในฉบับที่ 4 ที่จะพิจารณาในปี ค.ศ. 2005 และจัดพิมพ์เผยแพร่ราวต้นปี ค.ศ. 2006

4.2 UL (Underwriters Laboratories certifies)

มาตรฐานการทดสอบของ UL 2167 (UL Standard foe safety of Water Mist Nozzles for Fire Protection Services) ตามข้อกำหนดของ IMO (International Marinetime Organization) ซึ่งเป็นเอกสารตอบโต้ทางจดหมาย ซึ่งเอกสารฉบับแรกได้ถูกเขียนออกมาเมื่อ ค.ศ. 2002 และถูกปรับปรุงล่าสุดเมื่อปี ค.ศ. 2004

นอกจากนั้น การทดสอบทั่วไปกับหัวฉีด เช่น การกีดขวาง จุดเยือกแข็ง การทดสอบการทนต่อความร้อน และ ขั้นตอนการทดสอบการดับเพลิงในเรือ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในสนธิสัญญาของ IMO เช่น MSC 688/728 และ A.800(19)

4.3 FM (Factory Mutual)

FM ได้จัดเตรียมเอกสารฉบับร่าง ที่เรียกว่า FM 5560 และเป็นมาตรฐานใหม่ ที่ต้องดำเนินหน้าต่อไป ซึ่งมีความตั้งใจไม่ให้มีใจความเกินกว่า 275 หน้า แต่จะมีผลกระทบต่ออุตสาหกรรม ซึ่งเพิ่งจะเริ่มต้นใช้งาน

นอกจากนั้น มาตรฐาน ยังคลอบคลุมหลายอย่าง ที่ใช้ประโยชน์ รวมถึง พื้นที่ครอบครองอื่นๆ ที่โรงงานผู้ผลิตได้สนใจในการใช้หมอกน้ำ แทนในหลายๆพื้นที่ โดยมาตรฐานนี้ เป็นการรวบรวมความรู้ แหล่งที่มาของหมอกน้ำดับเพลิง ของความต้องการการใช้ประโยชน์พื้นฐาน สิ่งที่สำคัญ โรงงานผู้ผลิต เข้าใจมาตรฐานนี้ จะช่วยให้ตัดสินใจในการลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ในการทำการทดสอบ

ถึงแม้ว่าในยุโรป จะมีการพัฒนาการใช้ระบบหมอกน้ำดับเพลิง เป็นส่วนใหญ่ แต่มาตรฐานในยุโรป ก็ยังไม่ออกมารองรับการใช้งานในปัจจุบัน องค์กรมาตรฐานในยุโรป (The European standard Organization) ได้กำหนดให้มีคณะทำงานผู้เชี่ยวชาญที่เรียกว่า The work group 5 of the technical committee CEN/TC 191 “Fixed firefighting systems” ในปี ค.ศ. 1998/1999 มีการพัฒนามาตรฐานสำหรับ หมอกน้ำดับเพลิง ในการออกแบบและติดตั้ง

Raffel (2005:75) ความแตกต่างของคำว่า Water Spray (ละอองน้ำ) กับ Water Mist (หมอกน้ำ) ซึ่งใน NFPA ได้ให้คำแนะนำดังนี้ว่า Water Mist คือละอองน้ำ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหยดน้ำเล็กกว่า 1,000 ไมครอน (microns) หรือ 1 มิลลิเมตร (mm)

Yanga and Parkera (2004:41) หมอกน้ำซึ่งมีความละเอียดมาก ถูกพบว่ามีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการดับเพลิง และเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่จะไม่ใช้ Fluorocarbon-based ในระบบการดับเพลิงแบบ Fire Suppression ในการพัฒนาและนำระบบหมอกน้ำดับเพลิงไปใช้งาน สิ่งสำคัญ ต้องเข้าใจถึง ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ ปริมาณความหนาแน่น และปริมาณการจ่ายน้ำ ที่จะช่วยลดการแผ่รังสีความร้อน

ระบบหมอกน้ำดับเพลิง (Water Mist) ในต่างประเทศได้นำมาประยุกต์ใช้ในการดับเพลิงอย่างมากมาย เช่น

- หัวแท่นขุดเจาะน้ำมัน
- เครื่องยนต์ดีเซล สำหรับการติดต่อสื่อสาร
- โรงอัดก๊าซ
- เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า
- ระบบสิ่งอำนวยความสะดวก
- โรงงานปิโตรเคมิคอล
- สถาบัน เป็นต้น

ส่วนในประเทศไทย ได้มีการนำระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ มาใช้กับโรงผลิตไฟฟ้าในห้องผลิตกระแสไฟฟ้า (Turbine)

4.4 ระบบ Water Mist ในมาตรฐาน NFPA 750 กล่าวไว้ 3 ระบบ ดังนี้

4.4.1. High Pressure System เป็นระบบหมอกน้ำดับเพลิง ที่จ่ายน้ำด้วยแรงดันไม่น้อยกว่า 500 psi (34.5 bar)

4.4.2. Intermediate Pressure System เป็นระบบหมอกน้ำดับเพลิง ที่จ่ายน้ำด้วยแรงดันระหว่าง 175-500 psi (12.1 - 34.5 bar)

4.4.3. Low Pressure System เป็นระบบหมอกน้ำดับเพลิง ที่จ่ายน้ำด้วยแรงดันไม่มากกว่า 175 psi (12.1 bar)

ข้อกำหนดในการคำนวณ Spacing Coverage และค่า K-Factor ของหัวฉีดหมอกน้ำจะขึ้นอยู่กับโรงงานผู้ผลิตหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิง

การนำระบบ Water Mist มีข้อบ่งใช้ และและจำกัด ในการใช้งาน ถึงแม้ว่าระบบนี้สามารถใช้งานได้หลากหลาย อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น

- การดับเพลิง (Fire Extinguishment)
- การระงับอัคคีภัย (Fire Suppression)
- การควบคุมเพลิงไฟม้ (Fire Control)
- การควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)

แต่ข้อพึงระวัง ในการใช้ Water Mist โดยเฉพาะกับ โลหะที่ลุกไหม้ได้ (Combustible Solid) ห้ามทำการฉีดไปโดยตรง เนื่องจาก จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการระเบิดที่รุนแรงได้ หรืออาจจะทำให้เกิดก๊าซพิษได้เช่นกัน ได้แก่

- Reactive metals เช่น lithium, sodium, potassium, magnesium, titanium, zirconium, uranium and plutonium

- Metal alkoxides เช่น sodium methoxide
- Metal amides เช่น sodium amide
- Carbides เช่น calcium carbide
- Halides เช่น benzoyl chloride and aluminum chloride
- Hydrides เช่น lithium aluminum hydride
- Oxyhalides เช่น phosphorus oxybromide
- Silanes เช่น trichloromethylsilane
- Sulfides เช่น phosphorus pentasulfide
- Cyanates เช่น methylisocyanate

ที่มา : NFPA 750 (2000)

ความปลอดภัยต่อบุคคล เมื่อมีการใช้งานระบบ Water Mist เนื่องจากระบบนี้ เป็นใช้น้ำเป็นสารดับเพลิง ดังนั้นความเป็นพิษต่อบุคคล จึงไม่มี เหมือนกับสารดับเพลิงชนิดอื่นๆ ที่มีการลดปริมาณออกซิเจน เพื่อตัดองค์ประกอบของไฟ จึงเป็นข้อดีให้มีเวลาในการช่วยเหลือผู้ที่ติดอยู่ภายในห้อง หรือเพิ่มเวลาในการอพยพออกจากพื้นที่เกิดเหตุ ได้อย่างปลอดภัย

Raffel (2005:128) ถึงแม้ หมอกน้ำดับเพลิงจะสามารถลดความร้อนได้เร็ว หากแต่จะมีความอันตราย เมื่อหมอกน้ำ ได้สัมผัสกับเปลวเพลิงโดยตรง หรือสัมผัสกับโลหะที่มีความร้อนสูง จะทำให้เกิด Hot Stream (ไอน้ำร้อน) ซึ่งอัตราส่วนในการขยายตัวจากละอองน้ำ 1 หน่วย จะได้ ไอน้ำร้อนประมาณ 1,700 หน่วย (1:1,700)

4.5 หลักการคำนวณระบบดับเพลิง Water Mist

4.5.1. คำนวณหาปริมาตรของห้อง (Determine The Hazard Volume) ซึ่งปริมาตรห้องไม่ควรมากกว่า 260 ตารางเมตร

4.5.2. คำนวณหาตารางของหัวฉีด (Determine the nozzle Grid)

4.5.3. คำนวณหา ระยะห่างระหว่างหัวฉีด (Determine the nozzle spacing)

4.5.4. คำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในระบบ (Determine the size of Water Mist System)

4.5.5. สร้างแบบจำลองการวางท่อ (Determine the piping Lay out)

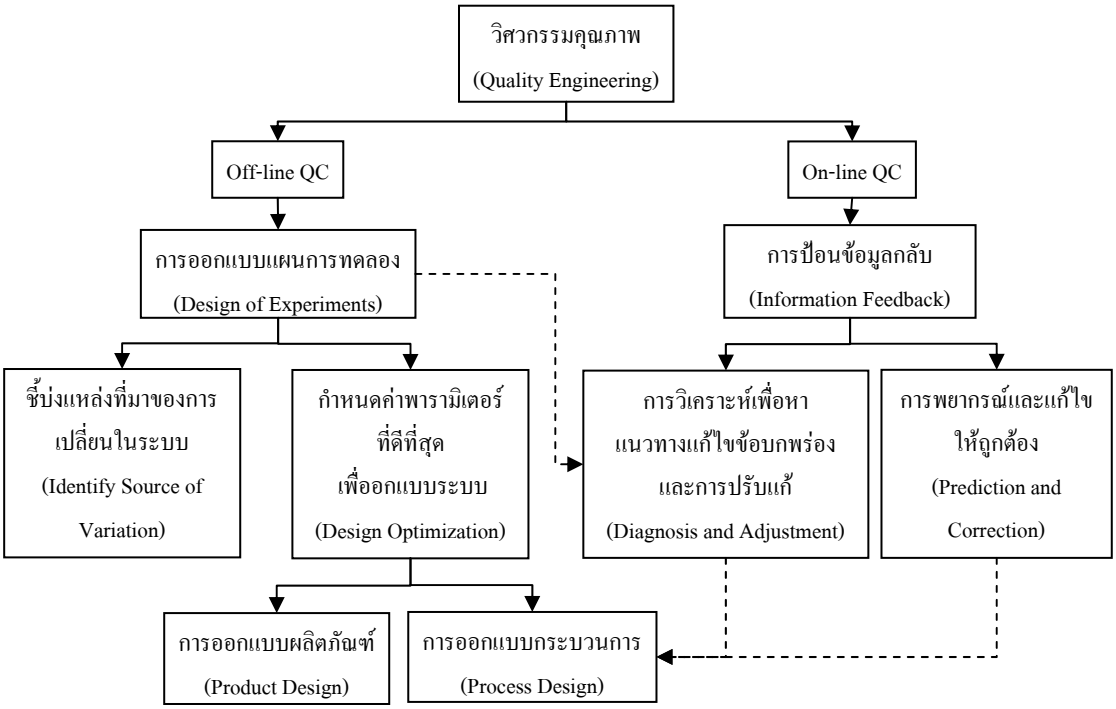
4.5.6. คำนวณและกำหนดขนาดท่อ (Determine the pipe Size)

ที่มา : Fike (2007)

5. การออกแบบการทดลอง หรือ Design of Experiment (DOE)

5.1 ความสำคัญของการออกแบบการทดลอง

คุณภาพ ในปัจจุบันได้เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมทุกด้านว่าเป็นส่วนที่สำคัญและผลักดันให้กลุ่มผู้ผลิตต่างๆ มีความสามารถในการแข่งขันทางการค้าในระดับสากลได้อย่างแพร่หลาย หลักการวิศวกรรมคุณภาพ ได้จัดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมคุณภาพขณะที่ปิดสายการผลิตหรือก่อนการผลิต (Off-line Quality Control) และการควบคุมคุณภาพเมื่อดำเนินการผลิตแล้ว (On-line Quality Control) ซึ่งการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองจะเข้ามามีบทบาททั้งสองส่วนโดยเฉพาะในส่วนแรก ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แนวคิดทางวิศวกรรมคุณภาพ

5.2 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments)

5.2.1 การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ

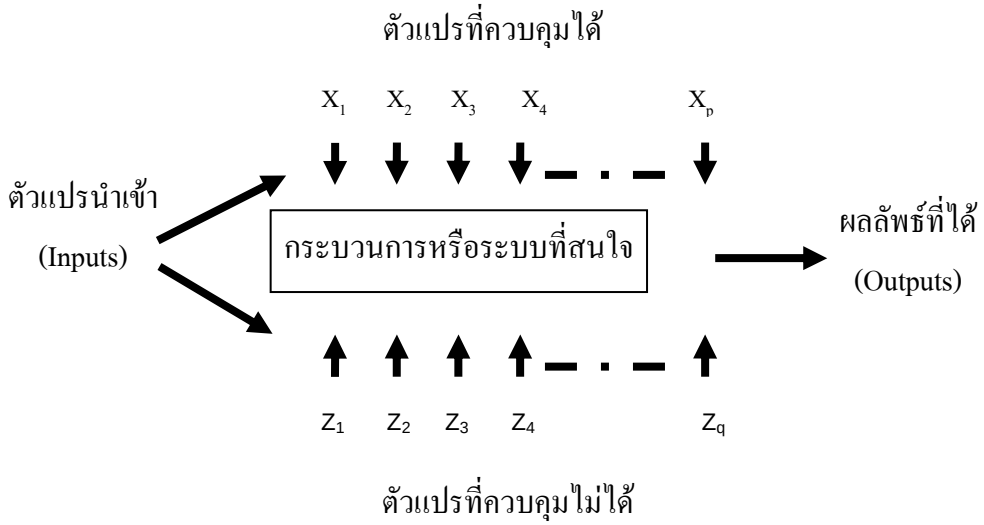
5.2.2 การทดลอง (Experiments) หมายถึง สิ่งที่จัดทำขึ้นเพื่อการค้นหาองค์ความรู้หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาไปเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่สนใจ โดยผู้ทำการศึกษาในสาขานั้น ๆ

5.2.3 การออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments) คือการทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพท์ที่ได้ (Output or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น

5.2.4 ตัวแปร(ปัจจัย) นำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 12

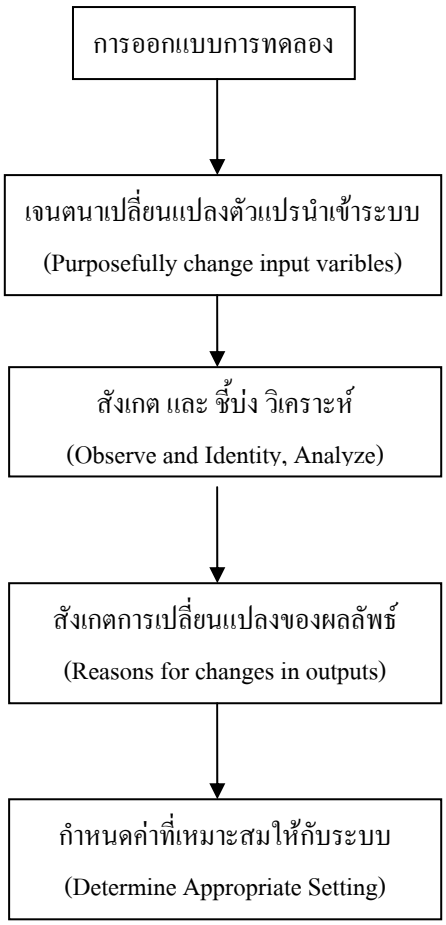
ก. กลุ่มที่ควบคุมได้เรียกว่า “ตัวแปร (หรือปัจจัย)ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร(หรือปัจจัย)ที่สามารถออกแบบได้”(Design Variables or Factors)

ข. กลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปร(หรือปัจจัย)ที่รบกวนระบบ” (Uncontrollable or Noise Variables (Factors))



ภาพที่ 12 ภาพความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก หรือส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม เนื่องจากในการควบคุมต้องใช้ความระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานที่ควบคุม อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ โดยสรุปในการออกแบบการทดลองมีหลักการสำคัญดังสรุปได้ในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ภาพหลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง

ดังนั้นในภาพรวมการออกแบบการทดลองจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในส่วนของการออกแบบกระบวนการ ในด้านการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบหรือกระบวนการ เช่น ในการผลิตน้ำอัดลม การกำหนดส่วนผสมเพื่อให้ได้รสชาติที่เหมาะสม กำหนดความเร็วของสายพานเพื่อประโยชน์ในการบรรจุจะทำให้สูญเสียน้ำอัดลมน้อยที่สุดเป็นต้น ซึ่งในทางวิศวกรรมจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า “Parameter Design” ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบกระบวนการ (Design Process) ในระยะกลาง

5.3 การออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ (Process or Product Design) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

5.3.1 การออกแบบระบบ (System Design) คือการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการ เพื่อออกแบบตัวแบบเริ่มต้น (ต้นแบบ หรือ “basic prototype”) โดยตัวแบบนี้ถูกกำหนดโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ

5.3.2 การออกแบบค่าพารามิเตอร์ (Parameter Design) คือการศึกษาเพื่อกำหนดและระบุค่าที่ดีที่สุดและเหมาะสมภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ต้องการให้กับกระบวนการ เช่น การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการขับรถเพื่อให้เครื่องยนต์กินน้ำมันน้อยที่สุด หรือระยะทาง (กิโลเมตร)ต่อลิตรมากที่สุด การบรรจุไอศครีมต้องการประมาณสูญเสียของไอศครีมน้อยที่สุด การตัดบานกระจกต้องการให้มีขนาดพอดีกับที่ต้องการ เป็นต้น

5.3.3 การออกแบบค่าพิกัดเผื่อ (Tolerance Design) คือวิธีการกำหนดช่วงหรือพิกัดเผื่อที่เหมาะสมในการบวนการผลิต ที่จะทำให้คุณภาพทางการผลิตสูง และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด

บิดาของการออกแบบการทดลองคือ Sir Ronald A. Fisher ได้พัฒนาไว้ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 (ค.ศ.1922-1923) เพื่อใช้ในด้านการเกษตร ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น สายพันธุ์มีความคงทนมากขึ้น และได้พัฒนาด้านอุตสาหกรรมในช่วงปี ค.ศ. 1930s เป็นต้นมา การพัฒนาทางด้านนี้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องแบบแผนการทดลองและวิธีการวิเคราะได้พัฒนาขึ้นมาก เช่น ในปี ค.ศ. 1951 Boxและ Wilson ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรผิวสะท้อน (Response Surface Methodology; RSM) ในช่วงปีค.ศ. 1980s งานของ Dr. Genechi Taguchi วิศวกรไฟฟ้าชาวญี่ปุ่น ได้ทำให้การออกแบบแผนการทดลองกลับมาใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอีกครั้ง เนื่องจากท่านได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ของท่านเอง โดยหลีกเลี่ยงการใช้ตัวสถิติที่ยุ่งยาก แต่ยังคงอิงการประมาณค่าและหลักการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean; ANOM) เพื่อใช้ในการปรับปรุง Modem และการส่งสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีผู้นำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆอีกอย่างกว้างขวาง

5.4 ประโยชน์ของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญพอสรุปได้เป็น 4 ส่วน คือ

5.4.1 กำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้ (Xs) ที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพท์หรือตัวแปรตอบสนอง (Y)

5.4.2 กำหนดค่าของตัวแปร (ปัจจัย) ทีควบคุมได้ (Xs) ที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง (Y) เพื่อให้โอกาสที่ผลของค่าตัวแปรตอบสนองที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด

5.4.3 กำหนดค่าของปัจจัยที่ควบคมุได้ (Xs) ที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง (Y) โดยทำให้ค่าความแปรปรวนของ Y มีค่าต่ำที่สุด

5.4.4 กำหนดค่าของปัจจัยที่ควบคุมได้ (Xs) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Y) เพื่อทำให้ผลกระทบของตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Zs) มีค่าน้อยที่สุด

ในการทำการออกแบบการทดลองนั้น ต้องทำการตั้งวัตถุประสงค์ขึ้นก่อน และวัตถุประสงค์ในลำดับที่สูงขึ้นนั้นจะบรรลุได้ต้องผ่านการวิเคราะห์ในส่วนก่อนหน้าไปพร้อมกันด้วย เช่น ถ้าตั้งวัตุประสงค์ตาม (2) ไว้ ต้องทำการวิเคราะห์ (1) มาก่อน หรือถ้าตั้งวัตถุประสงค์ตาม (3) ไว้ ต้องการทำการวิเคราะห์ (1) และ (2) ไปพร้อมกันด้วย

ตัวอย่างที่ 1.1 กระบวนการเจาะชิ้นงาน ต้องการให้เส้นผ่านศูนย์กลางตรงกับเป้าหมายที่ระบุไว้ และยังต้องการให้เท่ากันทุกชิ้นถ้าเป็นไปได้ นั่นคือ ต้องการให้ความแปรปรวนของขนาดต่ำที่สุด ซึ่งต้องประยุกต์ใช้หลักการวิจัยขั้นดำเนินงาน การวิเคราะห์การถดถอยมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่า Y และความแปรปรวนของ Y และหาค่าที่ดีที่สุดของเงื่อนไขในการเจาะ ดังแสดงเป็นสมการ(4) ตัวแบบได้ดังนี้

$$\text{Min } V_x(y) \text{ ; s.t. } | \mu_{y/x} - \text{Targat} | \ < \ 0.00001 \qquad (4)$$

โดยจากสมการตัวแบบนี้ จะสามารถกำหนดค่าของตัวแปรที่ควบคุมได้ (Xs) โดยอาศัยหลักวิชาการวิจัยขั้นดำเนินงาน โดยสรุป การนำเทคโนโลยีการออกแบบแผนการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตสามารถทำให้เกิดประโยชน์คือ

- ปรับปรุงผลที่ได้จากกระบวนการผลิต
- ลดการเปลี่ยนแปลง (ความแปรปรวน) ของผลลัพท์ ทำให้ผลลัพท์ใกล้ค่าเป้าหมายหรือตรงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด ซึ่งจะเป็นผลดีของการแข่งขันทางการผลิต
- ลดเวลาในการพัฒนากระบวนการหรือระบบนั้น ๆ (ยกเลิกการทดลองแบบลองถูก- ลองผิด)
- ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม

นอกจากนี้ วิธีการออกแบบแผนการทดลองยังมีบทบาทสำคัญในกิจกรรมการออกแบบทางวิศวกรรมเมื่อต้องการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่หรือต้องการที่จะปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ การนำการออกแบบแผนการทดลองเข้าไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมนั้นสามารถทำได้โดย

- นำไปช่วยในการประเมินผล และเปรียบเทียบเลือกโครงร่างตัวแบบพื้นฐาน
- นำไปประเมินการเลือกหรือเปลี่ยนวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้
- นำไปช่วยในการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ ให้มีคุณภาพดีภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่กำหนด ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมหรือเงื่อนไขประกอบอื่นๆ (Robustness)
- นำไปใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เป็นกุญแจตัวสำคัญของผลิตภัณฑ์หรือมีผลกระทบต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์

5.5 ข้อแนะนำและกลยุทธ์ในการออกแบบแผนการทดลอง

ก่อนที่จะกล่าวถึงข้อแนะนำและกลยุทธ์ในการออกแบบแผนการทดลอง มีคำศัพท์พื้นฐานที่ควรทราบดังนี้

- ตัวแปรตอบสนอง (Responses) คือ ตัวแปรผลลัพท์ (Output) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) ที่ต้องการควบคุมให้เป็นตามมาตราฐานที่ต้องการ

- ปัจจัย (Factors) คือ ตัวแปรนำเข้า (Input) ที่ใช้ในระบบหรือกระบวนการ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังที่กล่าวมาแล้วคือ ปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

- ระดับปัจจัย (Level of Factor) คือ จำนวนค่าของปัจจัยที่เปลี่ยนไปในการทดลองหนึ่ง ๆ เช่น อุณหภูมิที่ใช้ทดลอง คือ 100 °C 500°C และ 900°C นั่นคือ ปัจจัยอุณหภูมิทำการศึกษาที่ 3 ระดับ

- วิธีปฏิบัติ (Treatment) คือข้อกำหนดสำหรับทุกปัจจัยที่ศึกษาในการทดลองนั่น ๆ เช่น ถ้าในการทดลองทำการศึกษา ปัจจัย A และ ปัจจัย B ที่ 2 และ 3 ระดับ จะมีวิธีปฏิบัติที่เป็นไปได้แตกต่างกัน เท่ากับ 2x3=6 วิธี จะเห็นว่า จำนวนวิธีปฏิบัติที่เป็นไปได้ จะเท่ากับ ผลคูณของระดับทุกปัจจัยในการทดลอง

- จำนวนครั้งที่ทดลอง (Runs or Experimental Runs) คือ จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำ ต่อหนึ่งแผนการทดลอง มีค่าเท่ากับผลคูณของ จำนวนวิธีปฏิบัติ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ (Replicates)

ตัวอย่าง 1.2 : กระบวนการทอผ้า ทำการศึกษา % ฝ้ายที่ผสมเพื่อใช้ในการทอที่ 15% 20% 25% และ 30% แต่ละ % ที่ผสมจะนำมาทอผ้า 3 ผืน เพื่อทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ของผ้า จากตัวอย่างนี้ จะพบว่าปัจจัยที่ศึกษา คือ % ฝ้ายศึกษา 4 ระดับ คือ 15% 20% 25% และ 30% ทำซ้ำ 3 ครั้ง (Replicate =3) ดังนั้น จำนวนการทดลองทั้งหมดคือ 4 x 3 = 12 การทดลอง

จะเห็นว่าในการทำการทดลองมีการทำซ้ำ ซึ่งอาจจะส่งผลให้ผู้ทดลอง เมื่อต้องทดลองในจำนวนมากเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง จึงไม่ทำการทดลองจริงทุกครั้ง

และทำการแต่งค่าข้อมูลขึ้นมาแทน เพื่อป้องกันพฤติกรรมดังกล่าว จึงมีข้อแนะนำในการออกแบบแผนการทดลองดังนี้

5.5.1 ข้อแนะนำในการออกแบบแผนการทดลอง (Guideline for Designing Experiments) แบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอนดังนี้ คือ

ก. กำหนดปัญหาที่ต้องการจะแก้ไข ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการระบุวัตถุประสงค์ของการทดลอง (จากตัวอย่างที่ 1.2) การทอผ้ามีปัญหา คือ ผ้าขาดบ่อย เส้นใยไม่คงทน ขาดง่าย วัตถุประสงค์ของการทดลองคือ พัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้ได้เส้นใยที่ทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าสูงที่สุด ดังนั้น ค่าตอบสนองที่สนใจ คือ ค่า Tensile Strength

ข. เลือกปัจจัยที่จะการแปรค่าในการทดลอง และจำนวนระดับที่ใช้ในการทดลอง(จากตัวอย่างที่ 1.2) เลือกศึกษาเพียงปัจจัยเดียว คือเปอร์เซนต์ของฝ้ายที่นำมาผสม ซึ่งการทดลองโดยใช้ปัจจัยเดียวนั้น เรียกว่า การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design) หรือ การทดลองแบบจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) และการทดลองที่ 15% 20% 25% และ 30% ซึ่งหมายถึง จำนวนปัจจัยที่ใช้คือ 4 ระดับ

ค. กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรผลลัพธ์ (ควรระบุให้ตรงกับปัญหาหรือวัตถุประสงค์ที่ทำการทดลอง) จากตัวอย่างที่ 1.2 ปัญหาคือ ค่าต้านทานแรงดึงไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นค่าตัวแปรตอบสนองที่ใช้คือ ค่า Tensile strength

ง. เลือกรูปแบบการทดลอง จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของจำนวนปัจจัยที่ใช้ กรณีสนใจศึกษาปัจจัยเดียว แบบแผนการทดลองที่ใช้คือ การจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) กรณีที่สองปัจจัย โดยไม่สนใจผลกระทบร่วม (อันตรกิริยา หรือ Interaction) แบบแผนการทดลองที่ใช้คือ การจำแนกสองทาง (Two-Way ANOVA) หรือการออกแบบแบบสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (Complete Randomized Block Design) กรณีศึกษาสองปัจจัยหรือมากกว่า และสนใจผลกระทบร่วม แบบแผนการทดลองที่ใช้คือ การทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiments) เป็นต้น

จ. การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล ในการทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงหลักการ 3 R’s ได้แก่ ทดลองอย่างสุ่ม (Randomization) แต่ละการทดลองต้องทำซ้ำ (Replicate) และพยายามลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Reduction of Error) เช่นความคลาดเคลื่อนในการวัด

สภาพแวดล้อม เงื่อนไขของปัจจัยที่ทำการทดลอง เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว ผู้ทดลองต้องคำนึงหลัก RVPP ได้แก่ การทำการทดลองต้องไม่อคติ วิเคราะห์ตรงประเด็น (Relevant) เลือกตัวแปรที่เหมาะสมและสมเหตุสมผล (Validity) การทดลองต้องมีการวัดผลที่ชัดเจนแม่นยำ (Precise) และต้องทำได้จริงในทางปฏิบัติ (Practicable) ไม่ว่าจะเป็นด้านค่าใช้จ่าย (Economically) เวลา (Timely) และทดลองได้จริง (Executable)

ฉ. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เน้นหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าเฉลี่ย (Mean Plot) และผลกระทบร่วมของปัจจัย (Interaction Plot) ในปัจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติอยู่มากมาย เช่น SPSS, Minitab, Statistica, SAS, Statgraphics และอื่นๆ ซึ่งผู้ทำการทดลองจะต้องมีความเข้าใจทางทฤษฎี เพียงพอจึงจะมีความสามารถในการตีความผลลัพธ์ทางสถิติในระดับหนึ่ง และเลือกใช้คำสั่งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์นั้นตามต้องการ

ช. การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.5.2 กลยุทธ์ในการทำการทดลอง (Experimental Strategy) แบ่งได้เป็น 4 ขั้น โดยสรุปได้ดังนี้

ก. รู้วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ข. เข้าใจโดยชัดเจนว่า ปัจจัยอะไรคือปัจจัยที่จะทำการศึกษาในการทดลอง

ค. กำหนดจำนวนระดับของปัจจัยที่เลือกศึกษา

ง. กำหนดค่าช่วงเริ่มต้นที่เหมาะ (Initial Factor Settings) สำหรับปัจจัยที่จะทำการศึกา ซึ่งโดยทั่วไป ถ้าเป็นระดับที่ดำเนินการอยู่แล้ว จะอ้างอิงจากเกณฑ์เดิม แต่ถ้าเป็นระบบใหม่จะอ้างอิงกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบนั้น

5.6 ประเภทของการทดลอง (Types of Experiment)

ในการทดลองสามารถจำแนกประเภท (ชนิด) ของการทดลองได้เป็น 5 ประเภทหลัก ตามข้อมูลที่ทราบเกี่ยวกับระบบและวัตถุประสงค์ของการทดลอง ดังนี้

5.6.1 การทดลองเดี่ยว หรือการทดลองเพียงครั้งเดียว (Single Experiment) เป็นการทดลองในกรณีที่มีความรู้ความเข้าใจในระบบหรือกระบวนการที่ต้องการศึกษาเป็นอย่างดี ทราบถึงปัจจัยที่มีความสำคัญในกระบวนการเบื้องต้น แต่ต้องการทราบและชี้บ่งถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

5.6.2 การทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous Experiment) เป็นการทำการทดลองเพื่อที่จะลดค่าการ เปลี่ยนแปลง (Variation) ในกระบวนการโดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงกระบวนการอย่างชัดเจน เช่น ต้องการปรับปรุงดัชนีวัดสมรรถภาพของกระบวนการ (Cp, Cpk, Cpm) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ผู้ที่ทดลองไม่มีความรู้ในกระบวนการหรือระบบที่ต้องการปรับปรุงมากนัก แต่ทราบว่ากระบวนการยังไม่ได้มาตรฐาน มีของเสียทั้งที่ต้องทำลายทิ้ง (Scrap) และของเสียที่นำกลับแก้ไขได้ (Rework) มากเกินไป

5.6.3 การทดลองแบบตัดทิ้ง (Screening Experiment) เป็นการทดลองที่ทำขึ้นสำหรับศึกษาระบบ หรือกระบวนการใหม่ ที่เพิ่งทำการติดตั้งหรือจะติดตั้งพัฒนาขึ้นใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใหญ่หรือซับซ้อน และผู้ทดลองมีความเข้าใจในกระบวนการเล็กน้อย วัตถุประสงค์ของการทำการทดลองนี้ คือพยายามปรับลดรายละเอียดของตัวแปรหรือปัจจัยในกระบวนการหรือระบบเพื่อที่จะได้จำนวนปัจจัยที่เหมาะสม และทำการทดลองได้จริงในการทดลอง เพื่อกำหนดค่าที่เหมาะที่สุดที่จะใช้ในกระบวนการหรือระบบที่ศึกษาต่อไป

5.6.4 การทดลองแบบเจาะจง (Focus Experiment) เป็นการทดลองที่ทำขึ้น โดยมีเป้าหมายกำหนดจากความต้องการในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยที่เลือกศึกษานั้นๆ

5.6.5 การทดลองเชิงลำดับ (Sequential Experiment) เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเนื่องจากกระบวนการที่สนใจศึกษาสวามารถแบ่งขั้นตอน หรือกระบวนการย่อยๆ ออกเป็นจำนวนมากได้ ทำให้มีปัจจัยที่ศึกษาในภาพรวมในแต่ละขั้นตอนจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องแบ่งกระบวนการออกเป็นส่วนๆ และทำการทดลองกำหนดปัจจัย จากนั้นจึงนำมารวมเป็นข้อกำหนดของกระบวนการในภาพรวม เพื่อให้สามารถทำการศึกษากระบวนการหรือระบบที่มีขนาดใหญ่มากได้จริงในทางปฏิบัติ

5.7 ระยะการออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design Phase)

เนื่องจากในการออกแบบแผนการทดลอง มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตและลดการเปลี่ยนแปลงในระบบ ทำให้ผลลัพธ์ใกล้และตรงเป้าหมายมากขึ้น แนวทางในการพัฒนาที่แน่นอนทำให้ช่วยลดเวลาในการพัฒนากระบวนการหรือระบบนั้นๆ และทำให้ค่าใช้จ่ายและเวลาโดยรวมในการพัฒนาต่ำลง ซึ่งเป็นไปตามของการควบคุมคุณภาพขณะปิดสายการผลิต (Off-line QC) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

5.7.1 ระยะการวางแผนการทดลอง (Planning Phase)

ก. จัดตั้งคณะทำงานที่รับผิดชอบ

ข. กำหนดวัตถุประสงค์ในการทำการทดลอง

ค. ระบุตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรปัจจัยที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้

ง. กำหนดวิธีการวัดค่า (เก็บรวบรวมข้อมูล)

5.7.2 ระยะการออกแบบการทดลอง (Designing Phase)

ก. เลือกรูปแบบการทดลองที่เหมาะสม

ข. กำหนดช่วง หรือค่าเริ่มต้น สำหรับตัวแปรที่ควบคุมได้ในการทดลอง

5.7.3 ระยะทำการทดลอง (Conducting Phase)

ก. เตรียมการทดลอง

ข. ทำการทดลองตามที่วางแผนไว้ โดยลำดับการทดลองทำอย่างสุ่ม

ค. ทำการทดสอบและตรวจสอบข้อมูล เพื่อความชัดเจนถูกต้อง

5.7.4 ระยะการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Analysis Phase)

ก. ใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบสมมติฐาน

ข. ชี้บ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง

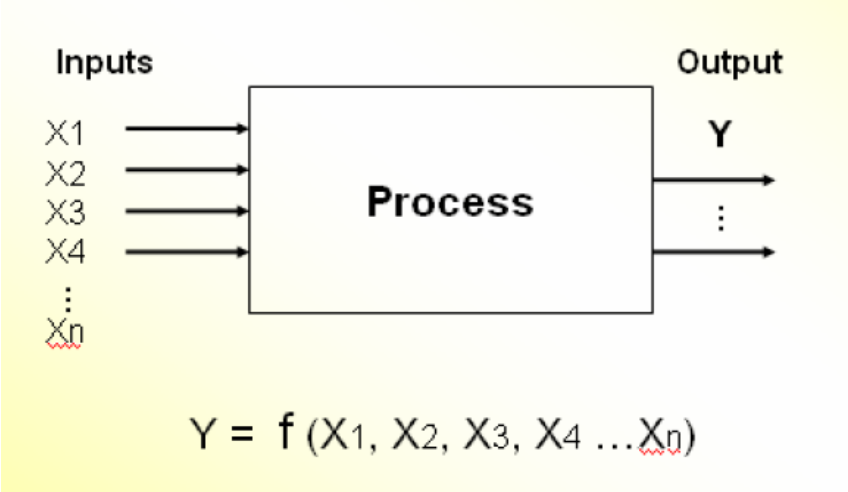
ค. กำหนดค่าพารามิเตอร์ ที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงกระบวนการ

ง. ทำการทกลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Run) เพื่อสนับสนุนค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดไว้ว่าเหมาะสมจริง เนื่องจากในการทำการทดลอง ยังมีอิทธิพลของกลุ่มปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ถูกนำมาพิจารณากำหนดค่าด้วย

ที่มา : ประไพศรี (2550)

จรัส (2551) การออกแบบการทดลอง หรือ Design of Experiment (DOE) เป็นเครื่องมือคุณภาพที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรมมานานพอสมควรแล้ว อย่างไรก็ตามเครื่องมือนี้มักไม่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในอุตสหกรรมไทย เนื่องจากมักถูกมองว่าเป็นเครื่องมือคุณภาพชั้นสูง ใช้ยาก ผู้ใช้ต้องมีความรู้ทางสถิติชั้นสูงเป็นอย่างดี คำร่ำลือดังกล่าวอาจจะเป็นเรื่องจริงในอดีต แต่ในปัจจุบันการเรียนรู้เรื่องการออกแบบการทดลองไม่ยากอย่างที่คิด เนื่องจากมี statistical software เช่น โปรแกรม Minitab เกิดขึ้นทำให้สามารถการคำนวณที่ซับซ้อนทางสถิติได้ การออกแบบการทดลองที่ถูกร่ำลือว่ายากนักหนานั้นที่จริงแล้วเป็นอย่างไรกัน

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของ input (factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ output (response) ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 14 ภาพกระบวนการที่มีปัจจัย(Factor) ที่ส่งผลต่อค่าตอบสนอง Y

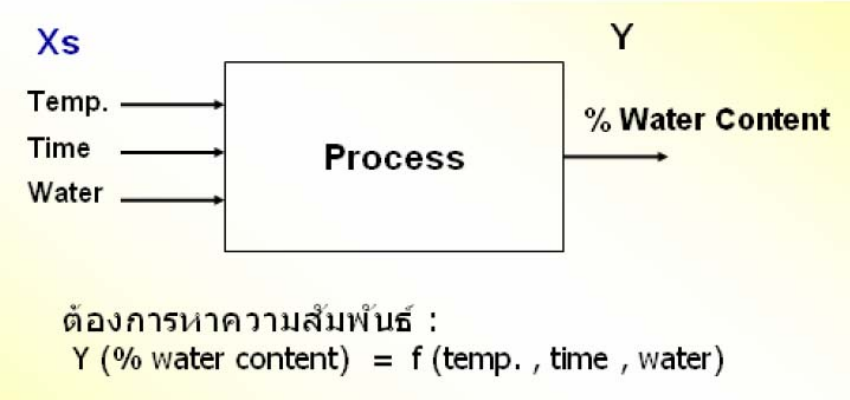
จากภาพที่ 14 จะเห็นว่ากระบวนการมีปัจจัย (factor) หรือ input (X1, X2, X3, X4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (quality characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองต้องการที่จะทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X ต่างๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้ จะทำให้มี ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (process knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ตัวอย่าง

ต้องการจะหุงข้าวที่มีคุณภาพดี ปกติข้าวมีคุณลักษณะด้านคุณภาพหลายอย่างของข้าว ที่ต้องการ เช่นความหอม ความอร่อย ความสะอาด ความนุ่มของข้าว แต่ในที่นี้เพื่อมิให้ตัวอย่างซับซ้อนจนเกินไป จะสนใจเรื่องความนุ่มของข้าวแต่เพียงอย่างเดียว

ในการทำ DOE จำเป็นต้องมีคุณลักษณะทางคุณภาพ หรือ output response (Y) ที่มีค่าเชิงปริมาณ (quantitative value) หรือเป็นตัวเลข ในที่นี้สมมุติว่า วัดความนุ่มของข้าวทางอ้อมโดยใช้ % ของน้ำ (water content) หลังการหุงข้าวเป็น Y (หรือตัวแปรตาม) จากการสำรวจความต้องการของลูกค้า พบว่า % ของน้ำที่เหมาะสมคือ 50% ถ้าสูงไปข้าวจะนิ่มเกินไป แต่ถ้าต่ำเกินไปข้าวก็จะแข็งเกินไป ดังนี้การทำทำ DOE ครั้งนี้ จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะปรับหรือตั้งค่ากระบวนการเพื่อให้ข้าวที่มี

คุณลักษณะทางคุณภาพตรงตามความของลูกค้าคือมี % ของน้ำ 50% ปัญหา คือ จะปรับหรือตั้งค่ากระบวนการของอย่างไรดี



ภาพที่ 15 ภาพกระบวนการที่ระบุปัจจัย(Factor) ที่ส่งผลต่อค่าตอบสนอง Y

ภาพที่ 15 เกิดจากทีมงานที่ทำ DOE ได้ระบุถึงปัจจัยหรือ Input ที่น่าจะส่งผลต่อ % ของปริมาณน้ำในข้าว จะเห็นว่ากระบวนการหุงข้าวมี factor ที่สนใจได้แก่ อุณหภูมิ (temp.) เวลา (time) และปริมาณน้ำ (water) ในการทด DOE จะทำการทดลองเพื่อหาว่า temp. , time และ water (หรือตัวแปรอิสระ Xs) ส่งผลต่อค่า % water content (Y) อย่างไร

ขั้นตอนต่อไป ถ้าต้องการ % ของน้ำหลังการหุง = 50% ควรจะปรับ อุณหภูมิ (temp.) เวลา (time) และ ปริมาณน้ำ (water) ในช่วงใดจึงจะเหมาะสม ในขั้นตอนนี้ จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอยู่บ้างเพื่อที่จะประมาณหาช่วงของค่า Xs ต่างๆ ที่เหมาะสม หลังจากนั้น จะกำหนดเป็นค่า low (-1) และ high (+1) ของการทดลอง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางแสดงการกำหนดปัจจัยในการทดลอง

Setting	Low (-1)	High (+1)	หน่วย
Temperature	120	140	°C
Time	5	10	นาที
Water	1	2	ลิตร

ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ % ของน้ำหลังการหุง = 50% น่าจะอยู่ในช่วงนี้ แต่ไม่ทราบว่าอยู่ที่จุดใดแน่ ถ้าสามารถหาความสัมพันธ์ Y (% water content) = f (temp. , time , water) จะทำให้สามารถปรับค่า factors ต่างๆ ได้โดยง่าย ต่อจากนั้นทำการทดลองตามรูปแบบที่ได้ถูกกำหนดไว้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำ ที่ผสมในการหุงข้าว

Run	Factor			Water Content (%)			
	Temp. (°C)	Time (min.)	Water (Lts.)	Y1	Y2	Y3	Y Avg
1	120	5	1	71.01	68.91	70.07	70.00
2	140	5	1	64.36	60.45	61.18	61.00
3	120	10	1	57.84	56.82	56.34	57.00
4	140	10	1	38.30	37.27	38.44	38.00
5	120	5	2	78.00	77.95	78.05	78.00
6	140	5	2	67.50	66.74	66.76	67.00
7	120	10	2	63.00	63.10	62.90	63.00
8	140	10	2	46.00	45.84	46.16	46.00

จะเห็นได้ว่าการทดลองนี้ประกอบไปด้วยสภาวะการทดลองจำนวน 8 สภาวะ ซึ่งมักถูกเรียกว่า Run โดยที่แต่ละ Run จะมีการปรับ factor ต่างๆ ที่ต่างกัน เกิดเป็นการผสมของ factor ต่างๆ หลายแบบ ส่วนผสมต่างๆ ของ factor เหล่านี้ถูกออกแบบมาโดยนักสถิติ จึงเรียกการทดลองแบบนี้ว่า การออกแบบการทดลอง หรือ Design of Experiment แต่ละ Run จะวัดค่า % water จำนวน 3 ค่า เรียกค่าที่วัด 3 ค่านี้ว่า 3 replicate ในการทำ DOE จำเป็นต้องมี replicate เพื่อที่จะนำไปคำนวณหานัยสำคัญทางสถิติต่อไป

ข้อมูลจากการทดลองดังกล่าวทำให้สามารถสร้างสมการทางสถิติ (5)ได้ดังนี้ (มิได้แสดงวิธีคำนวณไว้ การคำนวณตรงนี้ ถ้าไม่มี Statistical software มาช่วยจะถือได้ว่าเป็นการคำนวณทางสถิติที่ซับซ้อน)

Coded Equation:

% water content = 60 – 7*Temp. – 9*Time + 3.5*water – 2 * Temp.* Time + 0.5 * Temp.*Time*Water (5)

หมายเหตุ สมการนี้เป็น Coded equation คือหากจะแทนค่าเพื่อหา % water content ต้องแทนค่าตัวแปรต่างๆ เป็นค่า code เช่น ถ้าจะแทนค่าอุณหภูมิ = 120 °C ลงในสมการต้องแทนค่าด้วย -1 ถ้าจะแทนค่าอุณหภูมิ = 140 °C ลงในสมการต้องแทนค่าด้วย +1

จากสมการดังกล่าวสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ % water content = 50% สภาวะหนึ่งได้แก่

อุณหภูมิ = 116.33 °C
เวลา = 8 นาที
ปริมาณน้ำ = 1 ลิตร

จะเห็นได้ว่าสภาวะเหมาะสมที่ได้ไม่จำเป็นต้องมีค่าเหมือนสภาวะที่ทำการทดลองมาและบางครั้งอาจออกนอกช่วงที่ทำการทดลองเล็กน้อย ค่าที่ใช้ในการปรับสถาวะของกระบวนการดังกล่าวจะช่วยทำให้มีกระบวนการที่มีการทำงานอย่างเหมาะสมตรงตามความต้องการของลูกค้าจากตัวอย่างการใช้ DOE ที่ผ่านมา อาจเป็นว่ามีกระบวนการในบริษัทอีกมากมายที่ อาจนำเทคนิค DOE ไปประยุกต์ใช้ได้ ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะว่าในอุตสาหกรรมนั้นการใช้ทคโนโลยีมักนำหน้าความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมอยู่มาก ทำให้ไม่ทราบความสัมพันธ์ Y=f(Xs) ที่แท้จริง การใช้เทคนิค DOE ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะหาความสัมพันธ์ Y=f(Xs) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงสถิติที่แม้อาจไม่ถูกต้องแม่นยำเท่าความสัมพันธ์ที่แท้จริงแต่ก็เพียงพอที่จะทำให้ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการได้อย่างรวดเร็วอันเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในยุคที่มีการแข่งขันกันสูงอย่างเช่นในปัจจุบัน

DOE เป็นเครื่องมือคุณภาพตัวหนึ่งซึ่งจะมีทำการทดลองตามรูปแบบที่ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ แล้วสร้างเป็นสมการทางสถิตซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบประมาณการระหว่างค่าตัวแปรอิสระ (ซึ่งมักเป็น Quality Characteristics) กับตัวแปรตาม (ซึ่งมักเป็น (Process/Product Variables) อันจะช่วยอำนวยประโยชน์ในการปรับกระบวนการเพื่อให้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดพกพา (Notebook Computer)

2. โปรแกรม (Software)

    2.1 Microsoft Office 2003

    2.2 FDS (Fire Dynamic Simulator) Version 4

    2.3 Smokeview Program Version 4

    2.4 Minitab version 14

    2.5 AutoCAD v.2007

3. Laser Printer

4. อุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าตอบสนองในการดับเพลิง

    4.1 น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล)

    4.2 ถังเหล็กสำหรับเผาเชื้อเพลิง (Fuel Container) ภาพที่ 16

        4.2.1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

ภาพที่ 16 ภาพถังเหล็กสำหรับเผาเชื้อเพลิง

4.3 High Pressure Pump (0-130 bar) ภาพที่ 17

4.3.1.	ปริมาณน้ำ	500 (8.3)	L/hr(l/m)
4.3.2.	กำลัง	2.3	Hp/kw
4.3.3.	แรงดัน	0-130	bar
4.3.4.	กำลังไฟฟ้า	230/50	V/Hz
4.3.5.	ความเร็วรอบ	2800	rpm.
4.3.6.	อุณหภูมิ	50	°C
4.3.7.	ขนาด (LxWxH)	24x34x50	mm.
4.3.8.	หนัก	18	kg.

ภาพที่ 17 ภาพเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูงแบบปรับแรงดันได้

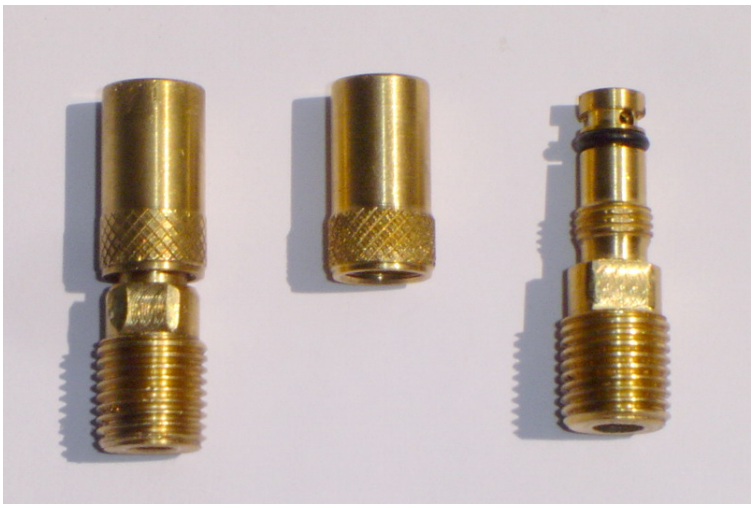
4.4 Water Mist Discharge Nozzle ภาพที่ 18 – ภาพที่ 20

4.4.1. อัตรการไหล 2 ลิตรต่อนาที

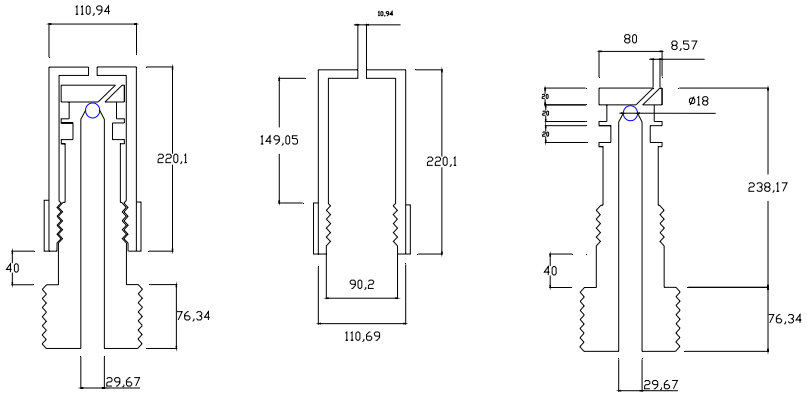
4.4.2. วัสดุทำจากทองเหลือง

4.4.3. แรงดันใช้งาน 130 bar

4.4.4. มุมกว้างหมอกน้ำ 35 องศา



ภาพที่ 18 ภาพหัวฉีดหมอกน้ำ



ภาพที่ 19 ภาพตัดขวาง หัวฉีดหมอกน้ำ

ภาพที่ 20 รูปแบบการกระจายน้ำของหัวฉีดหมอกน้ำ

4.5 น้ำยาโฟมเข้มข้น (Aqueous Film Forming Foam ,AFFF)

4.5.1. Fire fighting concentrate

4.5.2. 3 % Aqueous Film Forming Foam (AFFF)

4.5.3. Appearance.: Pale Yellow Liquid

4.5.4. Specific Gravity @ 68°F (20°C) : 1.030

4.5.5. pH @ 68°F(20°C) : 8.0

4.5.6. Viscosity @ 68°F (20°C) : 2.0 csks (2.0 mm2/sec)

4.5.7. Maximum Usable Temperature: 120°F (49°C)

4.5.8. Minimum Usable Temperature : 35°F (2°C)

4.5.9. Freeze Point : 23°F (-5°C)

4.5.10. Effect of Freeze/Thaw : No Performance Loss

4.6 ท่อสแตนเลส (Stanless Steel Pipeline)

4.6.1. 12 ft. ;Diameter 1/4 inch จำนวน 4 ท่อ

4.6.2. 10 ft. ;Diameter 1/4 inch จำนวน 4 ท่อ

4.6.3. 8 ft. ;Diameter 1/4 inch จำนวน 2 ท่อ

4.6.4. 6 ft. ;Diameter 1/4 inch จำนวน 2 ท่อ

4.6.5. 90 Degree Elbow Connector ;Diameter 1/4 inch จำนวน 4 ชิ้น

4.6.6. Plug ;Diameter 1/4 inch จำนวน 2 ชิ้น

4.6.7. 3 Way Connection ;Diameter 1/4 inch จำนวน 1 ชิ้น

4.7 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม (Humidity meter and Wind Speed meter) ภาพที่ 21

4.7.1. เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

4.7.2. Operating temperature : -10 °C to +50 °C

4.7.3. ช่วงของการวัดค่า ความชื้นสัมพัทธ์ (RH Range) : 0 to 100 %RH

4.7.4. ช่วงของการวัดค่า Wind Speed Range : 0.4 to 20 m/s

ภาพที่ 21 เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

4.8 เครื่องวัดอุณหภูมิความร้อนด้วยคลื่นแสงอินฟาเรด (IR Thermometer) ภาพที่ 22

4.8.1. มีลำแสงเลเซอร์ชี้ตำแหน่ง และไฟส่องจอดูในที่มืด

4.8.2. ความแม่นยำในการวัดสูงถึง ± 1%

4.8.3. ช่วงการวัด -32 °C ถึง 760 °C

4.8.4. คงค่าที่วัดไว้หลังจากปล่อยไกที่ด้าม สำหรับการอ่านค่าในตำแหน่งที่เข้าถึงได้ยาก

4.8.5. เก็บบันทึกค่าที่อ่านไว้ในหน่วยความจำได้

4.8.6. สามารถต่อโพรบแบบ RTD ได้เพื่อการวัดแบบสัมผัส

4.8.7. มุมของการวัดที่ชัดเจนมาก สามารถวัดอุณหภูมิของเป้าหมายเล็กๆ ได้ในระยะไกลด้วยอัตราส่วน 50:1 (ระยะห่างต่อขนาดเป้า)

4.8.8. แสดงค่าการวัด ต่ำสุด/สูงสุด/เฉลี่ย

4.8.9. ปรับค่า emissivity ได้เพื่อการวัดที่แม่นยำที่สุด

ภาพที่ 22 ภาพเครื่องมือวัดอุณหภูมิความร้อนด้วยคลื่นแสงอินฟาเรด

วิธีการ

1. การประเมินความเสี่ยง เมื่อเกิดอัคคีภัยในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลัก

การประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ ใช้หลักการประเมินความเสี่ยง มาตรฐานอุตสาหกรรม 18001 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 จำแนกประเภทของกิจกรรมของงาน

1.2 ชี้บ่งอันตราย

1.3 กำหนดระดับความเสี่ยง

1.3.1. พิจารณาโอกาส ที่จะเกิดอุบัติเหตุ

ก. โอกาสเกิดน้อย (ไม่น่าจะเกิดอุบัติเหตุ)

ข. โอกาสเกิดปานกลาง (เกิดขึ้นได้ยาก)

ค. โอกาสเกิดมาก

1.3.2. พิจารณา ระดับความรุนแรงของอุบัติเหตุ

ก. การบาดเจ็บหรือความเจ็บป่วยเล็กน้อย

1) การบาดเจ็บ/เจ็บป่วย เล็กน้อย ขั้นปฐมพยาบาล (ไม่ถึงขั้นหยุดงาน)

2) ทรัพย์สินเสียหายเล็กน้อย มีมูลค่าไม่เกิน 5,000 บาท

ข. การบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยระดับปานกลาง เช่น

1) การบาดเจ็บ/ เจ็บป่วยถึงขั้นหยุดงาน แต่ไม่ถึงขั้นพิการ ทุพพลภาพ

2) ทรัพย์สินเสียหายมากกว่า 5,000 บาท แต่ไม่เกิน 100,000 บาท

ค. การบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยรุนแรง

1) การบาดเจ็บ / เจ็บป่วยถึงขั้นหยุดงานพิการ สูญเสียอวัยวะ และเสียชีวิต

2) ทรัพย์สินเสียหายมีมูลค่ามากกว่า 100,000 บาท

1.4 เลือกระดับความเสี่ยง โดยพิจารณาจาก จาก ตาราง 7

ตารางที่ 7 ตารางแสดงการจัดระดับความเสี่ยง

โอกาสที่จะเกิด	ระดับความรุนแรงของอันตราย		
	อันตรายเล็กน้อย	อันตรายปานกลาง	อันตรายร้ายแรง
ไม่น่าจะเกิด (น้อย)	ความเสี่ยงเล็กน้อย	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	ความเสี่ยงปานกลาง
เกิดขึ้นได้ยาก (ปานกลาง)	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง
มีโอกาสที่จะเกิดมาก	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้

1.5 เตรียมแนวปฏิบัติการควบคุมความเสี่ยง

1.6 ทบทวนความเพียงพอของแผนปฏิบัติการ

2. ศึกษาทฤษฎี และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอก. 18001 ระบบจัดการอาชีวอนามัยและควมปลอดภัย มาตรฐานอุตสาหกรรม 18001

2.2 NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler System

2.3 NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems

3. ออกแบบระบบระงับอัคคีภัย โดยใช้มาตรฐาน NFPA 13

3.1 ต้องแบ่งประเภทของอาคารว่าจัดอยู่ในพื้นที่ครอบครองแบบใด (Selecting occupancy)

3.2 คำนวณหาพื้นที่ของห้อง (Determine The Hazard Area)

3.3 หาค่าความหนาแน่นของน้ำดับเพลิง ต่อหน่วยพื้นที่ (Selecting a hydraulic density)

3.4 กำหนดหาจำนวนแถวของการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Determine the number of branch line)

3.5 กำหนดหาระยะห่างระหว่างแถว (Determine the distance between branch line ,L)

3.6 กำหนดหาระยะห่างสูงสุดระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Determine the maximum allowable distance between sprinkler, S)

3.7 กำหนดหาจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่น้อยที่สุด ในแต่ละแถว (Determine the minimum of sprinklers on each branch line)

3.8 กำหนดหาระยะที่แท้จริงของระยะห่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Determine the actual distance between sprinkler, Sact)

3.9 จำนวนทั้งหมดของหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ใช้ในระบบ (The total number of sprinkler)

3.10 ตรวจสอบความสอดคล้องกับมาตรฐาน (Verify sprinkler coverage)

3.11 กำหนดหาปริมาณน้ำต่ำที่สุด ที่ต้องการในระบบ (Determine the minimum flow(Q) that must be applied to a design area of 538.25 ft2)

3.12 กำหนดหาความยาวของการไหลที่ครอบคุมพื้นที่ที่ต้องการ (Determining the length of the hydraulically most demanding area)

3.13 กำหนดการจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง ตลอดความยาวของพื้นที่ (Determining the number of sprinkler flowing along the length of the design area)

3.14 กำหนดลักษณะของหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในพื้นที่ (Determining the configuration of sprinklers in the hydraulically most demanding area)

3.15 กำหนดหาปริมาณน้ำต่ำที่สุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum flow at the hydraulically most demanding sprinkler, As)

3.16 กำหนดแรงดันน้ำต่ำสุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum pressure at the hydraulically most demanding sprinkler)

3.17 คำนวณ Friction Loss ในระบบท่อ ขนาด 1 ½ ” Sch.40 Black Steel Pipe

3.18 คำนวน Friction Loss ตลอดความยาวของท่อ

3.19 แรงดันน้ำขั้นต่ำที่ต้องใช้ในระบบดับเพลิง (Determine the minimum pressure in demanding sprinkler)

4. ออกแบบระบบดับเพลิง ในโปรแกรม Smoke View (FDS) กับขนาดพื้นที่ทดลอง

ขนาดห้องทดลอง ด้านแกน X = 2.2 เมตร ด้านแกน Y = 6.0 เมตร และด้านแกน Z = 2.2 เมตร ขนาดกองเพลิง มีขนาดด้านแกน X = 0.4 เมตร ด้านแกน Y = 0.5 เมตร และด้านแกน Z = 0.2 เมตร ตั้งอยู่บริเวณท้ายห้องทดลอง กำหนดให้มีการทดสอบ โดยติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 สูงจากพื้น 0.60 เมตร ระดับที่ 2 สูงจากพื้น 1.50 เมตร และระดับที่ 3 สูงจากพื้น 2.00 เมตร และระยะเวลาในการทำการทดลองในโปรแกรม 50 วินาที โดยกำหนด การเขียนโปรแกรม FDS เพื่อใช้ในการทดลองเป็นดังนี้

4.1 กำหนดให้ Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 0.60 เมตร

&HEAD CHID='FloorLevel', TITLE='Container20Foot' / All output files will have names beginning with "SE6"

&GRID IBAR=40, JBAR=80, KBAR=20, / Specify number of grid cells in the x, y, and z directions, respectively

&PDIM XBAR=2.2, YBAR=6.0, ZBAR=2.2/ Specify the coordinates of the computational domain (in meters). XBAR, YBAR, and ZBAR indicate the maximum x, y, and z values. XBAR0, YBAR0, and ZBAR0 indicate the minimum x, y, and z values, and are assumed to be zero, unless otherwise specified.

&TIME TWFIN=50.0 / Time when finished (length of simulation)

&MISC SURF_DEFAULT='GYPSUM BOARD',NFRAMES=3600, DATABASE='database4.data'

REACTION='POLYURETHANE' / The SURF line corresponding to GYPSUM BOARD will be applied to all obstructions, unless otherwise specified.

NFRAMES specifies the default number of output dumps per calculation.

DATABASE indicates the location of the file containing surface and reaction parameters.

REACTION indicates that the combustion stoichiometry will be similar to that of polyurethane.

&SURF ID='FIRE',HRRPUA=1000. / A Heat Release Rate Per Unit Area of 1000 kW/m^2 will be applied to any surface with the attribute SURF_ID='BURNER'.

&VENT XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.20, 0.20,SURF_ID='FIRE' / Burner Areas

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.20, 0.20 ,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Upper

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.0,0..0,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Floor

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.0, 0.20,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Side

&VENT XB= 0.60,1.60, 0.00, 0.00, 0, 2.00, SURF_ID='OPEN' / Door

&HOLE XB=0.60,1.60, 0.00, 0.00, 0, 2.00 / Door

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE(1)=150.0, VALUE(2)=325.0 / Instructs FDS to create Isosurfaces for temperature values of 150 and 325 degrees C.Isosurfaces may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Isosurface file.

&SMOD XYZ= 1.1, 1.0, 2.15, LENGTH=1.8, ACTIVATION_OBSCURATION=1.0, LABEL='Heskestad model'/

&HEAT XYZ= 1.1, 2.5, 2.5, RTI=132.0, ACTIVATION_TEMPERATURE=70.0, LABEL='fire' /

&SPRK XYZ= 0.10, 3.25, 0.60, MAKE='uk25_07', /

&SPRK XYZ= 2.10, 3.25, 0.60, MAKE='uk25_07', /

&PL3D DTSAM=30. / FDS will create a Plot3D file every DTSAM seconds.

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces.

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE' / Tells FDS to record the wall temperature of all solid surfaces.

&BNDF QUANTITY='BURNING_RATE' / Tells FDS to record the burning rate (mass loss per unit area) of all solid surfaces.Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

4.2 กำหนดให้ Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 1.50 เมตร

&HEAD CHID='FloorLevel', TITLE='Container20Foot' / All output files will have names beginning with "SE6"

&GRID IBAR=40, JBAR=80, KBAR=20, / Specify number of grid cells in the x, y, and z directions, respectively

&PDIM XBAR=2.2, YBAR=6.0, ZBAR=2.2/ Specify the coordinates of the computational domain (in meters). XBAR, YBAR, and ZBAR indicate the maximum x, y, and z values. XBAR0, YBAR0, and ZBAR0 indicate the minimum x, y, and z values, and are assumed to be zero, unless otherwise specified.

&TIME TWFIN=50.0 / Time when finished (length of simulation)

&MISC SURF_DEFAULT='GYPSUM BOARD',NFRAMES=3600, DATABASE='database4.data'

REACTION='POLYURETHANE' / The SURF line corresponding to GYPSUM BOARD will be applied to all obstructions, unless otherwise specified.

NFRAMES specifies the default number of output dumps per calculation.

DATABASE indicates the location of the file containing surface and reaction parameters.

REACTION indicates that the combustion stoichiometry will be similar to that of polyurethane.

&SURF ID='FIRE',HRRPUA=1000. / A Heat Release Rate Per Unit Area of 1000 kW/m^2 will be applied to any surface with the attribute SURF_ID='BURNER'.

&VENT XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.20, 0.20,SURF_ID='FIRE' / Burner Areas

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.20, 0.20 ,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Upper

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.0,0..0,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Floor

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.0, 0.20,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Side

&VENT XB= 0.60,1.60, 0.00, 0.00, 0, 2.00, SURF_ID='OPEN' / Door

&HOLE XB=0.60,1.60, 0.00, 0.00, 0, 2.00 / Door

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE(1)=150.0, VALUE(2)=325.0 / Instructs FDS to create Isosurfaces for temperature values of 150 and 325 degrees C.Isosurfaces may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Isosurface file.

&SMOD XYZ= 1.1, 1.0, 2.15, LENGTH=1.8, ACTIVATION_OBSCURATION=1.0, LABEL='Heskestad model'/

&HEAT XYZ= 1.1, 2.5, 2.5, RTI=132.0, ACTIVATION_TEMPERATURE=70.0, LABEL='fire' /

&SPRK XYZ= 0.10, 3.25, 1.50, MAKE='uk25_07', /

&SPRK XYZ= 2.10, 3.25, 1.50, MAKE='uk25_07', /

&PL3D DTSAM=30. / FDS will create a Plot3D file every DTSAM seconds.

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces.

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE' / Tells FDS to record the wall temperature of all solid surfaces.

&BNDF QUANTITY='BURNING_RATE' / Tells FDS to record the burning rate (mass loss per unit area) of all solid surfaces.Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

4.3 กำหนดให้ Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 2.00 เมตร

&HEAD CHID='FloorLevel', TITLE='Container20Foot' / All output files will have names beginning with "SE6"

&GRID IBAR=40, JBAR=80, KBAR=20, / Specify number of grid cells in the x, y, and z directions, respectively

&PDIM XBAR=2.2, YBAR=6.0, ZBAR=2.2/ Specify the coordinates of the computational domain (in meters). XBAR, YBAR, and ZBAR indicate the maximum x, y, and z values. XBAR0, YBAR0, and ZBAR0 indicate the minimum x, y, and z values, and are assumed to be zero, unless otherwise specified.

&TIME TWFIN=50.0 / Time when finished (length of simulation)

&MISC SURF_DEFAULT='GYPSUM BOARD',NFRAMES=3600, DATABASE='database4.data'

REACTION='POLYURETHANE' / The SURF line corresponding to GYPSUM BOARD will be applied to all obstructions, unless otherwise specified.

NFRAMES specifies the default number of output dumps per calculation.

DATABASE indicates the location of the file containing surface and reaction parameters.

REACTION indicates that the combustion stoichiometry will be similar to that of polyurethane.

&SURF ID='FIRE',HRRPUA=1000. / A Heat Release Rate Per Unit Area of 1000 kW/m^2 will be applied to any surface with the attribute SURF_ID='BURNER'.

&VENT XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.20, 0.20,SURF_ID='FIRE' / Burner Areas

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.20, 0.20 ,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Upper

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.0,0..0,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Floor

&OBST XB= 0.88, 1.30, 3.0, 3.50, 0.0, 0.20,SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Side

&VENT XB= 0.60,1.60, 0.00, 0.00, 0, 2.00, SURF_ID='OPEN' / Door

&HOLE XB=0.60,1.60, 0.00, 0.00, 0, 2.00 / Door

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE(1)=150.0, VALUE(2)=325.0 / Instructs FDS to create Isosurfaces for temperature values of 150 and 325 degrees C.Isosurfaces may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Isosurface file.

&SMOD XYZ= 1.1, 1.0, 2.15, LENGTH=1.8, ACTIVATION_OBSCURATION=1.0, LABEL='Heskestad model'/

&HEAT XYZ= 1.1, 2.5, 2.5, RTI=132.0, ACTIVATION_TEMPERATURE=70.0, LABEL='fire' /

&SPRK XYZ= 0.10, 3.25, 2.00, MAKE='uk25_07', /

&SPRK XYZ= 2.10, 3.25, 2.00, MAKE='uk25_07', /

&PL3D DTSAM=30. / FDS will create a Plot3D file every DTSAM seconds.

&BNDF QUANTITY='GAUGE_HEAT_FLUX' / Tells FDS to record the gauge heat flux to all solid surfaces.

&BNDF QUANTITY='WALL_TEMPERATURE' / Tells FDS to record the wall temperature of all solid surfaces.

&BNDF QUANTITY='BURNING_RATE' / Tells FDS to record the burning rate (mass loss per unit area) of all solid surfaces.Boundary files may be viewed in Smokeview by selecting Load/Unload >Boundary file

5. การออกแบบการทดลองที่จะใช้ในการกำหนดการสุ่มตัวอย่างการทดลอง จาก โปรแกรม Minitab

5.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Design of Experimental)

5.1.1. ออกแบบการทดลอง (Experimental Design) โดยใช้ Minitab Program ซึ่งได้กำหนดปัจจัยและระดับดังนี้

ก. แรงดันน้ำ (Pressure)

1) Intermediate Pressure (25 bar)

2) High Pressure (50 bar)

ข. ระดับความสูงของหัวฉีดหมอกน้ำจากพื้นผิวเพลิงไหม้ (Nozzle Level)

1) Upper Level (4 ft.)

2) Middle Level (3 ft.)

3) Lower Level (2 ft.)

ค. ชนิดของสารดับเพลิง (Agent)

1) Water

2) AFFF Foam Solution 3%

5.2 แผนการทดลองดังนี้

5.2.1. แผนการทดลอง : $L_{12}\ 2^2.2^3.\ 2^2$

5.2.2. จำนวนการทดลองเต็มรูปแบบ : 4 x 8 x 4 = 128

5.2.3. จำนวนการทดลองซ้ำ (Replicate) : 2

5.2.4. จำนวนการทดลอง(Runs) : 12

5.2.5. จำนวนการทดลองทั้งสิ้น(Runs) : 24

5.3 หน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้การทดลองเพื่อเก็บค่าผลการทดลอง

5.3.1. Adjustable High Pressure Pump (0-130 bar) เพื่อใช้เป็นเครื่องต้นกำเนิดแรงดันน้ำในระบบดับเพลิง

5.3.2. ¼" Stanless Steel Pipe with Elbow เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการนำน้ำและสารละลายน้ำยาโฟม ไปใช้ในการทดลอง

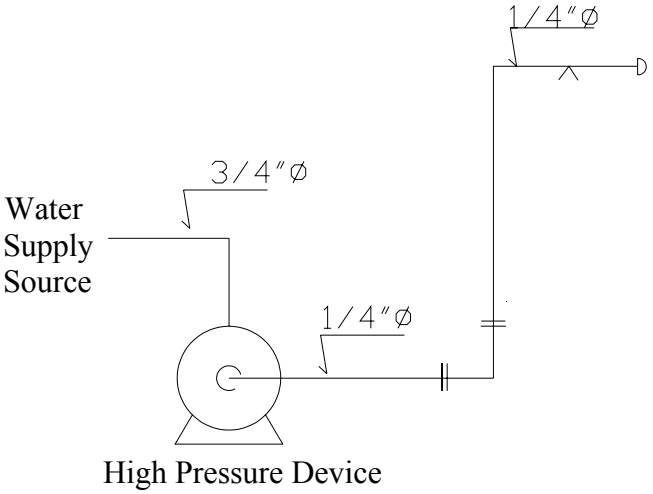
5.3.3. Water Mist Nozzle เพื่อใช้สร้างหมอกน้ำ ในการทดลอง IR Ther mometer range 0-760 °C เพื่อใช้ตรวจสอบอุณหภูมิ ก่อนเริ่มทำการทดลอง ให้มีสภาพปัจจัยเท่าเทียมกันทุกการทดลอง

5.3.4. Wind Speed Meter & Humidity Relative Meter เพื่อใช้ตรวจสอบสภาพแวดล้อม ก่อนและหลังทำการทดลอง

5.3.5. Fuel Container เพื่อใช้เป็นพื้นที่เกิดเพลิงไหม้

5.3.6. AFFF Foam Solution 3 % เพื่อใช้ในการดับเพลิง

ในการออกแบบ จะใช้ ให้น้ำหรือสารละลายน้ำยาโฟม AFFF 3% เข้าทาง Inlet ของ High Pressure Pump เป็นเครื่องต้นกำเนิดแรงดันของน้ำในระบบ ที่สามารถปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-130 บาร์ ต่อออกจาก Outlet เข้าระบบท่อ Stainless Steel ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ¼ นิ้ว และหัวฉีดหมอกน้ำ จำนวน 1 หัวฉีด ที่มีอัตราการจ่ายน้ำ 2 ลิตรต่อนาที ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ภาพแสดงระบบการทดลอง High Pressure Water Mist

5.4 ขั้นตอนเตรียมการทดสอบในการเผาเชื้อเพลิง

5.4.1. ต้องตรวจสอบหาพื้นที่ ที่ไม่มีกระแสลมพัดผ่าน โดยตรวจสอบได้จากเครื่องวัดความเร็วลม ต้องอ่านค่าได้ เท่ากับ 0 m/s

5.4.2. การเผาเชื้อเพลิงน้ำมัน ใช้น้ำมันเผาครั้งละ 0.5 ลิตร และตรวจวัดค่าอุณหภูมิความร้อนให้ได้ไม่ต่ำกว่า 600 °C โดยใช้เครื่องมือ IR Thermometer

5.4.3. ก่อนเริ่มทำการทดลอง ให้เผาเชื้อเพลิง ตามข้อ 5.4.2 เพื่อทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ ในการทำการครั้งแรก มีค่าเท่ากับการทำการทดลองครั้งหลัง

5.4.4. เมื่อทำการเผาเชื้อเพลิง ตามข้อ 5.4.2 แล้ว ให้เปิดเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง พร้อมเริ่มจับเวลาในการดับเพลิง และเมื่อเชื้อเพลิงหยุดการลุกไหม้ (ต้องไม่มีเปลวเพลิง) ให้หยุดเวลาพร้อมบันทึก

5.4.5. ทำการทดลอง ให้ครบทุกครั้งตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

5.4.6. นำผลที่ได้บันทึกค่าในโปรแกรม Minitab

การออกแบบการทดลอง เป็นการวิเคราะห์หาผลกระทบจากหลายๆ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าผลลัพธ์ที่สนใจ (Response, Y) โดยในแต่ละครั้งจะทำการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยอย่างเป็นระบบตามรูปแบบที่ได้วางแผนไว้แล้วทำการบันทึกผลการทดลองในแต่ละครั้ง เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลลัพธ์ และกำหนดการตั้งค่าปัจจัยที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

การใช้โปรแกรม Minitab เลือกการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการ Factorial Design ได้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการสุ่มตัวอย่างการทดลอง จำนวน 24 ตัวอย่างการทดลอง

StdOrder	RunOrder	Blocks	Pressure	Nozzle Level	Agent
5	1	1	Intermediate	Lower	Water
8	2	1	High	Upper	Foam
4	3	1	Intermediate	Middle	Foam
7	4	1	High	Upper	Water
3	5	1	Intermediate	Middle	Water
2	6	1	Intermediate	Upper	Foam
9	7	1	High	Middle	Water
6	8	1	Intermediate	Lower	Foam
11	9	1	High	Lower	Water
1	10	1	Intermediate	Upper	Water
12	11	1	High	Lower	Foam

ตารางที่ 8 (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Blocks	Pressure	Nozzle Level	Agent
10	12	1	High	Middle	Foam
14	13	2	Intermediate	Upper	Foam
21	14	2	High	Middle	Water
19	15	2	High	Upper	Water
17	16	2	Intermediate	Lower	Water
20	17	2	High	Upper	Foam
22	18	2	High	Middle	Foam
23	19	2	High	Lower	Water
18	20	2	Intermediate	Lower	Foam
15	21	2	Intermediate	Middle	Water
16	22	2	Intermediate	Middle	Foam
13	23	2	Intermediate	Upper	Water
24	24	2	High	Lower	Foam

6. การติดตั้งและทดสอบระบบดับเพลิงด้วยหมอกน้ำ ในพื้นที่ทดลอง (ภาคผนวก ฉ)

7. เก็บค่าผลการทดลอง และประมวลผลและสรุปการทดลอง ด้วยโปรแกรม Minitab

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การประเมินความเสี่ยง การเกิดอัคคีภัยในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิงหลัก

การประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ ใช้หลักการประเมินความเสี่ยง มาตรฐานอุตสาหกรรม 18001 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 จำแนกประเภทของกิจกรรมของงาน

การเดินเครื่องยนต์ เครื่องสูบน้ำดับเพลิง เพื่อทำการดับเพลิงที่เกิดเพลิงไหม้จริง หรือเพื่อการทำตรวจสอบและซ่อมบำรุง เครื่องยนต์ ตามรอบการบำรุงรักษา

1.2 ชี้บ่งอันตราย

กรณีเกิดน้ำมันรั่วไหลหรือกระเด็น จากระบบท่อส่งน้ำมัน มาสัมผัสเครื่องยนต์ที่มีความร้อน เกิดการสันดาป และเพลิงลุกไหม้ขึ้น และเมื่อเกิดเพลิงไหม้ขึ้น ภายในอาคาร เครื่องสูบน้ำดับเพลิง แบบเครื่องยนต์ดีเซล จะทำให้ไม่มีระบบน้ำดับเพลิง ใช้ในการดับเพลิงภายในอาคารดังกล่าว ได้ เนื่องจากระบบดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำ (Water Spray) รับน้ำโดยตรงจากท่อส่งน้ำดับเพลิง จึงไม่มีน้ำดับเพลิง เมื่อเครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

1.3 กำหนดความเสี่ยง

โอกาสในการเกิดเพลิงไหม้ มีโอกาสเกิดได้ยาก (ปานกลาง) เนื่องจากมีการตรวจสอบเป็นประจำ ทุกเดือน โดยมีเจ้าหน้าที่ ที่มีความรู้และความชำนาญ คอยควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์

1.3.1. การพิจารณาระดับความรุนแรง

ก. การบาดเจ็บหรือความเจ็บป่วยเล็กน้อย

1) การบาดเจ็บ/เจ็บป่วย เล็กน้อย ขั้นปฐมพยาบาล (ไม่ถึงขั้นหยุดงาน)

2) ทรัพย์สินเสียหายเล็กน้อย มีมูลค่าไม่เกิน 5,000 บาท

ข. การบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยระดับปานกลาง

1) การบาดเจ็บ/ เจ็บป่วยถึงขั้นหยุดงาน แต่ไม่ถึงขั้นพิการ ทุพพลภาพ

2) ทรัพย์สินเสียหายมากกว่า 5,000 บาท แต่ไม่เกิน 100,000 บาท

ค. การบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยรุนแรง

1) การบาดเจ็บ / เจ็บป่วยถึงขั้นหยุดงานพิการ สูญเสียอวัยวะ และเสียชีวิต

2) ทรัพย์สินเสียหายมีมูลค่ามากกว่า 100,000 บาท

จากระดับความรุนแรง เมื่อเกิดเหตุการณ์ หรือเพลิงไหม้ขึ้น ความเสียหายต่อทรัพย์สินเสียหายมีมูลค่ามากกว่า 100,000 บาท จึงจัดได้ว่าเป็นระดับความรุนแรงมาก

1.4 เลือกระดับความเสี่ยง

เมื่อทราบโอกาสที่จะเกิดอันตราย เป็นเกิดขึ้นได้ยาก(ปานกลาง) และระดับความรุนแรงของอันตราย เป็น อันตรายร้ายแรง จึงพิจารณาจากตารางด้านล่าง จากตารางที่ 9 แสดงระดับความเสี่ยง จึงทำให้มีระดับความเสี่ยง อยู่ที่**ความเสี่ยงสูง**

ตาราง 9 ตารางแสดงผลระดับความเสี่ยงจากการประเมินความเสี่ยง

โอกาสที่จะเกิด	ระดับความรุนแรงของอันตราย		
	อันตรายเล็กน้อย	อันตรายปานกลาง	อันตรายร้ายแรง
ไม่น่าจะเกิด (น้อย)	ความเสี่ยงเล็กน้อย	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	ความเสี่ยงปานกลาง
เกิดขึ้นได้ยาก (ปานกลาง)	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง
มีโอกาสที่จะเกิด (มาก)	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้

1.5 เตรียมแนวปฏิบัติการควบคุมความเสี่ยง

เนื่องจากระดับความเสี่ยง อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง จึงต้องลดความเสี่ยงลงก่อนจึงเริ่มทำงานได้ ต้องจัดสรรทรัพยากร และมาตรการให้เพียงพอเพื่อลดความเสี่ยงนั้น เมื่อความเสี่ยงเกี่ยวข้องกับงานที่กำลังทำอยู่จะต้องทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยการปรับปรุงระบบดับเพลิงที่เป็นแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Water Spray) เป็นแบบหมอกน้ำแรงดันสูง (High Pressure Water Mist) ที่มีระบบแยกออกเป็นอิสระ จากท่อน้ำดับเพลิงหลัก

1.6 ทบทวนความเพียงพอของแผนปฏิบัติการ

เมื่อมีการปรับปรุงระบบดับเพลิง เป็นแบบหมอกน้ำแรงดันสูง (Intermediate - High Pressure Water Mist) ทำให้ระดับความรุนแรงของอันตราย ลดลงอยู่ที่ระดับอันตรายเล็กน้อย ซึ่งโอกาสการเกิดอันตรายคงเดิม (โอกาสเกิดได้ยาก) ทำให้ระดับความเสี่ยง ตาราง 9 ผลระดับความเสี่ยง อยู่ที่ระดับความเสี่ยงยอมรับได้ ซึ่งไม่ต้องปรับปรุงขั้นตอนการทำงานเพิ่มเติม เพียงแต่ปรับปรุงระบบดับเพลิงใหม่เท่านั้น

2. ศึกษาทฤษฎี และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอก. 18001 ระบบจัดการอาชีวอนามัยและควมปลอดภัย มาตรฐานอุตสาหกรรม 18001

2.2 NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2002 Edition

2.3 NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems 2000 Edition

3. ออกแบบระบบระงับอัคคีภัย แบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยใช้มาตรฐาน NFPA 13

3.1 ต้องแบ่งประเภทของอาคารว่าจัดอยู่ในพื้นที่ครอบครองแบบใด (Selecting occupancy)

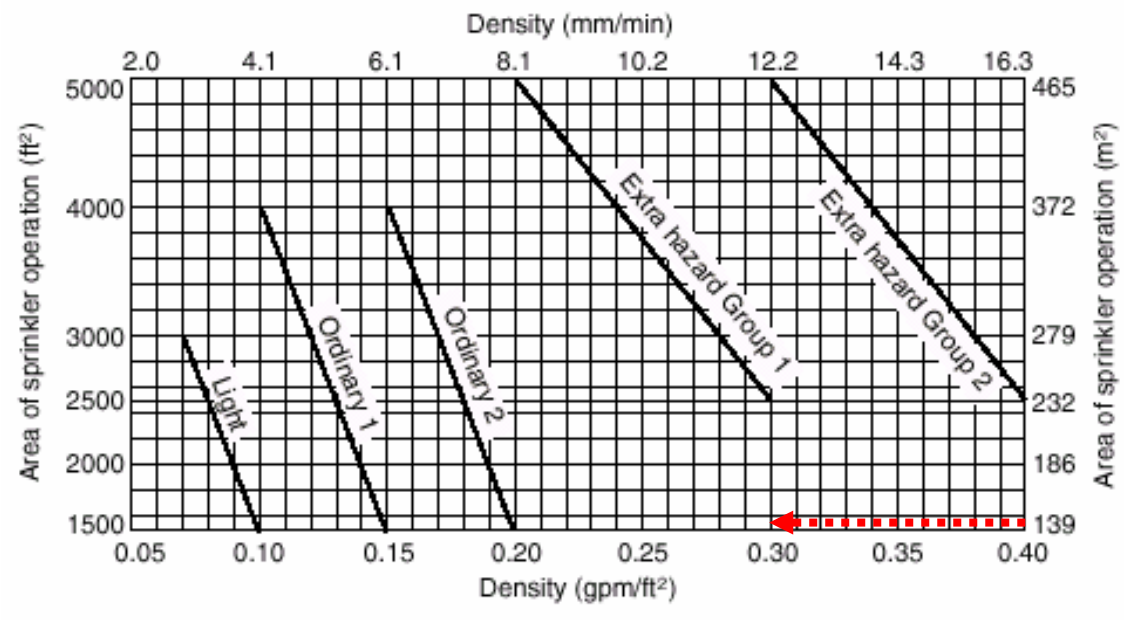
3.1.1 Extra Hazard Group 1

3.2 คำนวณหาพื้นที่ของห้อง (Determine The Hazard Area)

3.2.1 ขนาดอาคาร กว้าง 16.4 ft (5 m) ยาว 32.8 ft (10 m)

3.2.2 พื้นที่ รวม 50 ตารางเมตร(m^2) หรือ 538.25 ตารางฟุต (ft^2)

3.3 หาค่าความหนาแน่นของน้ำดับเพลิง ต่อหน่วยพื้นที่ (Selecting a hydraulic density) ภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ภาพแสดงความหนาแน่นของน้ำดับเพลิงต่อหน่วยพื้นที่

ที่มา : NFPA 13 (2000)

3.4 Specific Condition for Extra hazard group 1 occupancy

3.4.1 Design Density at 0.30 gpm/ft^2 (12.2 mm/min)

3.4.2 Maximum ft^2 limitation per sprinkler(Amax) is 100 ft^2

3.4.3 Maximum between branch line (Lmax) is 12 ft

3.4.4 Maximum distance between sprinkler(Smax) is 12 ft

3.5 กำหนดหาจำนวนแถวของการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Determine the number of branch line)

Formula : Number of branch line = Width of bay / L_{max}

= 32.8 ft / 12 ft

= 2.73

= ~ 3 line

3.6 กำหนดหาระยะห่างระหว่างแถว (Determine the distance between branch line ,L)

Formula : L = (Total width of bay) / (Number of branch line)

= 32.8 ft / 3 line

= 10.93 ft

Distance from the end line to the wall = ½(L)

= 10.93 ft / 2

= 5.465 ft

3.7 กำหนดหาระยะห่างสูงสุดระหว่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Determine the maximum allowable distance between sprinkler, S)

Formula : S = A_{max} / L

= 100 ft2 / 10.93 ft

= 9.15 ft

3.8 กำหนดหาจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่น้อยที่สุด ในแต่ละแถว (Determine the minimum of sprinklers on each branch line)

Formula : = (Total length of bay) / S

= 16.4 ft / 9.15 ft

= 1.79 (~ 2 sprinklers)

3.9 กำหนดหาระยะที่แท้จริงของระยะห่างหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Determine the actual distance between sprinkler, S_{act})

Formula : S_{act} = (Total length of bay) / Number of sprinkler on line)
= 16.4 ft / 2 sprinkler
= 8.2 ft

The distance from the end sprinkler to the wall = ½ (S_{act})
= 8.2 ft / 2
= 4.1 ft

3.10 จำนวนทั้งหมดของหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ใช้ในระบบ(The total number of sprinkler)

Formula : = Number of bay x Number sprinkler each branch line
= 3 x 2
= 6 sprinklers

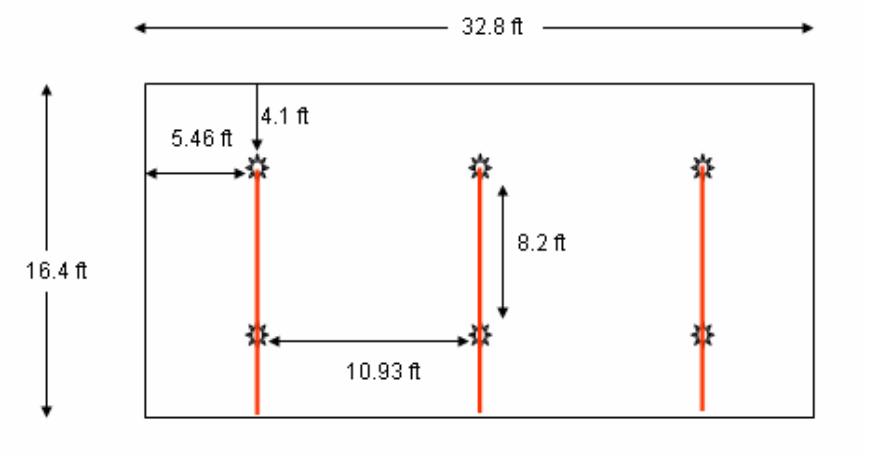
3.11 ตรวจสอบความสอดคล้องกับมาตรฐาน (Verify sprinkler coverage)

Specification : A_{max} for Extra Hazard Group 1 is 100 ft^2 , S = 8.2 ft , L = 10.93 ft

Formula : A = S x L
= 8.2 ft x 10.93 ft
= 89.626 ft^2

Result : A < A_{max} : Acceptable this design

ดังนั้นจึงสามารถออกแบบผังการวางท่อน้ำดับเพลิง โดยมีระยะห่างจากผนัง ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ภาพแสดงผังการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงและระยะห่าง จากการคำนวณ

Hydraulic Calculation Method for sprinkler Systems

3.12 กำหนดหาปริมาณน้ำต่ำที่สุด ที่ต้องการในระบบ (Determine the minimum flow(Q) that must be applied to a design area of 538.25 ft^2)

Formula : Q = (Area of operation) x (Density)

= 538.25 ft^2 x 0.30 gpm/ft^2

= 161.475 gpm

3.13 กำหนดหาความยาวของการไหลที่ครอบคุมพื้นที่ที่ต้องการ (Determining the length of the hydraulically most demanding area)

Formula : $L_{min} = (1.2) \times \sqrt{A}$

$= 1.2 \times \sqrt{538.25}$

= 27.84 ft

3.14 กำหนดการจำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง ตลอดความยาวของพื้นที่ (Determining the number of sprinkler flowing along the length of the design area)

Formula : $N_s = L_{min}/S$

$= 27.84 \text{ ft} / 8.2 \text{ ft/Sprinkler}$

$= 3.39$ Sprinklers

$= \sim 4$ Sprinklers

Formula : $L_{act} = N_s \times S$

$= 4 \text{ Sprinkler} \times 8.2 \text{ ft/sprinkler}$

$= 32.8 \text{ ft}$

3.15 กำหนดลักษณะของหัวกระจายน้ำดับเพลิง ในพื้นที่ (Determining the configuration of sprinklers in the hydraulically most demanding area)

Formula : $W = A / L$

$= 538.25 \text{ ft2} / 32.8 \text{ ft}$

$= 16.4 \text{ ft}$

3.16 กำหนดหาปริมาณน้ำต่ำที่สุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum flow at the hydraulically most demanding sprinkler, A_s)

Known : Small Area coverage of sprinkler $= 10.93 \text{ ft} \times 8.2 \text{ ft}$

$= 89.62 \text{ ft}^2$

Formula : $Q = (d) \times A_s$

$= (0.30 \text{ gpm/ft2}) \times 89.62 \text{ ft}^2$

$= 26.89$ gpm

3.17 กำหนดแรงดันน้ำต่ำสุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum pressure at the hydraulically most demanding sprinkler) , (K=5.6)

Known : Q = the flow at a sprinkler is 26.89 gpm

K = sprinkler discharge coefficient is 5.6

Formula : $Q = K \times \sqrt{P}$

$P = (Q/K)^2$

$= (26.89 \text{ gpm} / 5.6)^2$

$= 23.05$ psi

3.18 คำนวณ Friction Loss ในระบบท่อ ขนาด 1 ½ ” Sch.40 Black Steel Pipe (C 120)

Known : $Q = 161.376$ gpm

$C = 120$ (Hazen-William roughness coeffient)

$D = 1.61$ (Internal diameter of the pipe,inch)

Formula : $P_f = (4.52)x(Q^{1.85}) / (C^{1.85})x(D^{4.87})$

$= (4.52)x(161.376^{1.85}) / (120^{1.85})x(1.61^{4.87})$

$= 0.7689$ psi/ft

3.19 คำนวน Friction Loss ตลอดความยาวของท่อ

Known : Total Minimum of Length = (8.2x3) + (4.2x3) + (10.93x2)

= 59.06 ft

Formula :Total Friction Loss = $P_f \times L$

= 0.7689 psi/ft x 59.06 ft

= 45.41 psi

3.20 แรงดันน้ำขั้นต่ำที่ต้องใช้ในระบบดับเพลิง (Determine the minimum pressure in demanding sprinkler)

Formula : Total P_f = P_f area + P_f pipe

= 23.05 + 45.41

= 68.46 psi

ดังนั้น แรงดันขั้นต่ำที่ใช้ในระบบไม่ต่ำกว่า 68.46 psi หรือ 4.72 bar และปริมาณน้ำที่ต้องการต่ำที่สุดคือ 161.745 gpm หรือ 612.27 lpm

4. ออกแบบระบบระงับอัคคีภัย ด้วยระบบหมอกน้ำแรงดัน โดย Fike Corporation

4.1 วางตารางของหัวฉีด (Determine the nozzle Grid)

4.1.1 กำหนดระยะห่างระหว่างหัวฉีดไม่เกิน 2.44 เมตร (ขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตหัวฉีดหมอกน้ำ)

4.1.2 ความยาวของห้อง 10 เมตร (10 m / 2.44 m = 4.09 ~ 4 Nozzles)

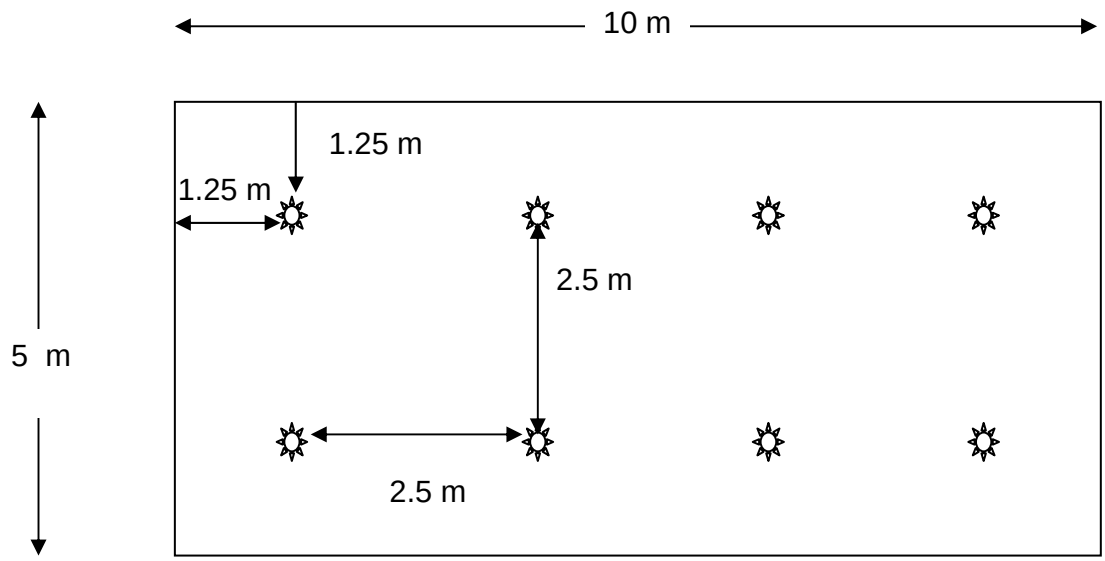
4.1.3 ความกว้างของห้อง 5 เมตร (5 m / 2.44 m = 2.04 ~ 2 Nozzles)

4.1.4 ดังนั้นความต้องการ Nozzle Grid คือ 4 x 2 = 8 Nozzles

4.2 คำนวณหา ระยะห่างระหว่างหัวฉีด (Determine the nozzle spacing) ภาพที่ 26

4.2.1 ด้านยาว 10 เมตร จะมีระยะห่างระหว่างหัวฉีดคือ 10 / 4 = 2.5 เมตร

4.2.2 ด้านกว้าง 5 เมตร จะมีระยะห่างระหว่างหัวฉีดคือ 5 / 2 = 2.5 เมตร



ภาพที่ 26 ภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิง จากการคำนวณ

4.3 คำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในระบบ (Determine the size of Water Mist System)

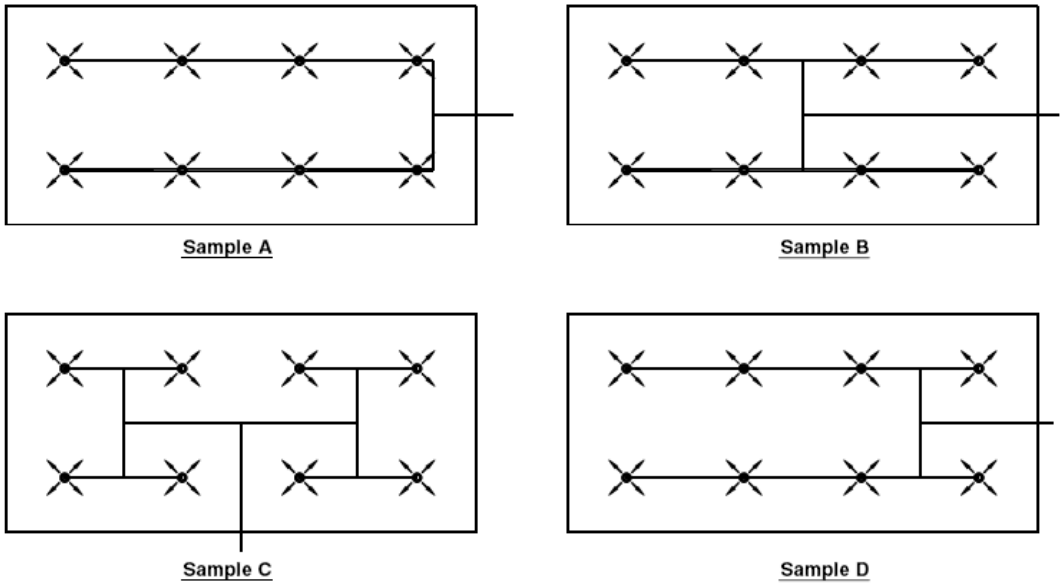
4.3.1 กำหนดขนาดและจำนวนหัวฉีดหมอกน้ำ โดยพิจารณาพื้นที่ Machinery Space เป็นพื้นฐานในการคำนวณ

ก. จำนวนหัวฉีดน้อยกว่า 6 หัว ต้องการปริมาณน้ำขั้นต่ำ 265 ลิตร

ข. จำนวนหัวฉีดระหว่าง 7-9 หัว ต้องการปริมาณน้ำขั้นต่ำ 405 ลิตร

ดังนั้น จากการคำนวณพื้นที่ ต้องใช้จำนวนหัวฉีดทั้งหมด 8 หัว จึงมีความต้องการน้ำในการดับเพลิงขั้นต่ำ 405 ลิตร ซึ่งหัวฉีดหมอกน้ำ มีอัตรการไหลประมาณ 8 ลิตรต่อนาที รวมอัตราการไหลขั้นต่ำทั้งสิ้น 64 ลิตรต่อนาทีหรือ 16.9 gpm

4.4 สร้างแบบจำลองการวางท่อ (Determine the piping Lay out) ภาพที่ 27 โดยเลือกตัวอย่าง C เป็น รูปแบบการวางท่อ



ภาพที่ 27 ภาพแสดงแบบตัวอย่างผังการวางท่อน้ำดับเพลิง

4.5 กำหนดหาปริมาณน้ำต่ำที่สุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum flow at the hydraulically most demanding sprinkler, A_s)

Known : Small Area coverage of sprinkler =8.2 ft x 8.2 ft

= 67.24 ft^2

Formula : Q = (d) x A_s

= (0.30 gpm/ft2) x 67.24 ft^2

= 4.46 gpm

4.6 กำหนดแรงดันน้ำต่ำสุด ที่ต้องการในพื้นที่ (Determining the minimum pressure at the hydraulically most demanding sprinkler) , (K=0.24)

Known : Q = the flow at a sprinkler is 4.46 gpm

K = sprinkler discharge coefficient is 0.24

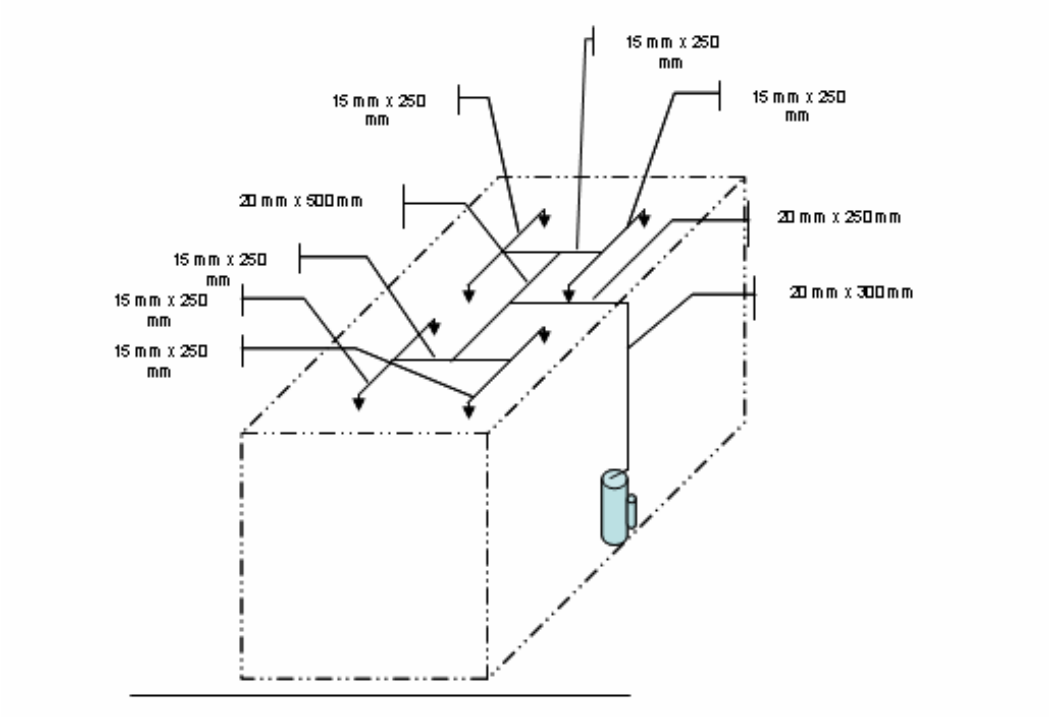
Formula : Q = K x $\sqrt{}$ P

P = $(Q/K)^2$

= $(4.46 \text{ gpm} / 0.24)^2$

= 345.34 psi

4.7 กำหนดขนาดท่อ (Determine the pipe Size) ภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ภาพจำลองผังการวางท่อน้ำและหัวฉีดหมอกน้ำ

4.8 คำนวณ Friction Loss ในระบบท่อ ขนาด ½ ” Sch.40 Black Steel Pipe (C 120)

Known : Q = 16.9 gpm

C = 120 (Hazen-William roughness coeffient)

D = 0.622 (Internal diameter of the pipe,inch)

Formula : P_f = $(4.52)x(Q^{1.85}) / (C^{1.85})x(D^{4.87})$

= $(4.52)x(16.9^{1.85}) / (120^{1.85})x(0.622^{4.87})$

= 0.869 psi/ft

4.9 คำนวน Friction Loss ตลอดความยาวของท่อ

Known : Total Minimum of Length = (8.2 x 6) + (16.39)

= 66 ft

Formula : Total Friction Loss = P_f x L

= 0.869 psi/ft x 66 ft

= 59.14 psi

4.10 แรงดันน้ำขั้นต่ำที่ต้องใช้ในระบบดับเพลิง (Determine the minimum pressure in demanding sprinkler)

Formula : Total P_f = P_f area + P_f pipe

= 345.34 + 59.14

= 404.48 psi

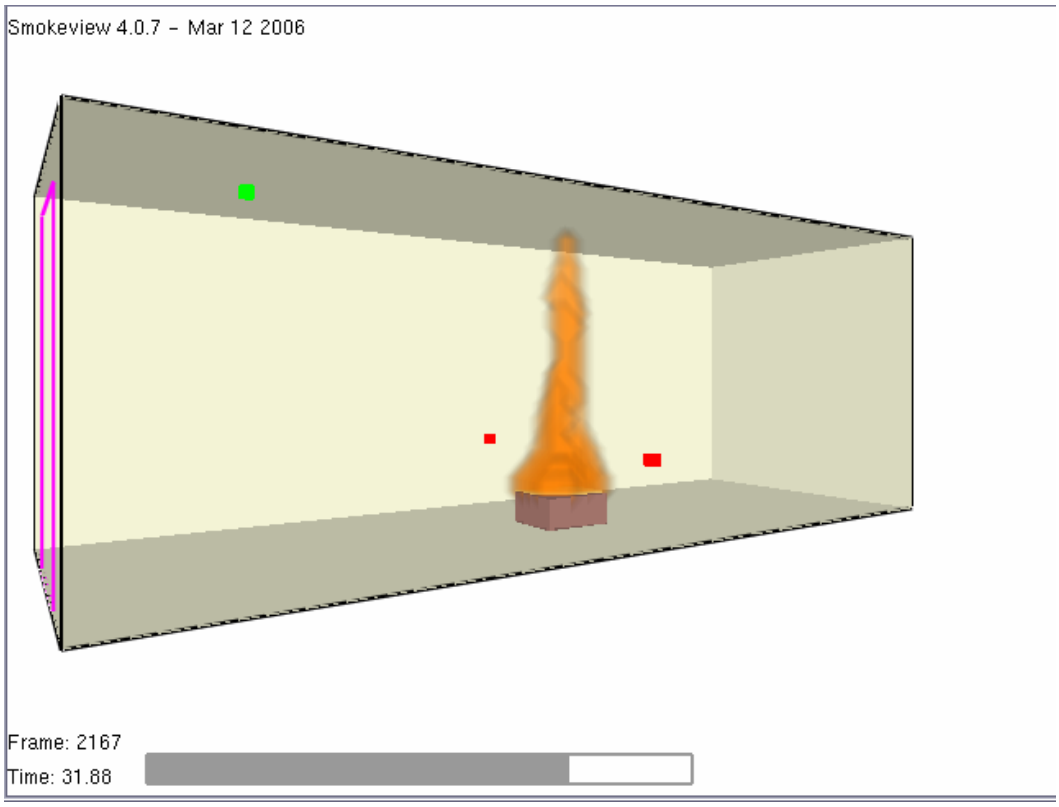
= 405 psi (27.92 bar)

ดังนั้น แรงดันขั้นต่ำที่ใช้ในระบบไม่ต่ำกว่า 405 psi หรือประมาณ 28 bar และปริมาณน้ำที่ต้องการต่ำที่สุดคือ 21.36 gpm หรือ 80.86 lpm

5. ออกแบบระบบดับเพลิง ในโปรแกรม Smoke View (FDS) กับขนาดพื้นที่ทดลอง

5.1 ผลการเขียนโปรแกรม FDS เพื่อใช้ในการทดลองกำหนดให้ Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 0.60 เมตร ภาพที่ 29

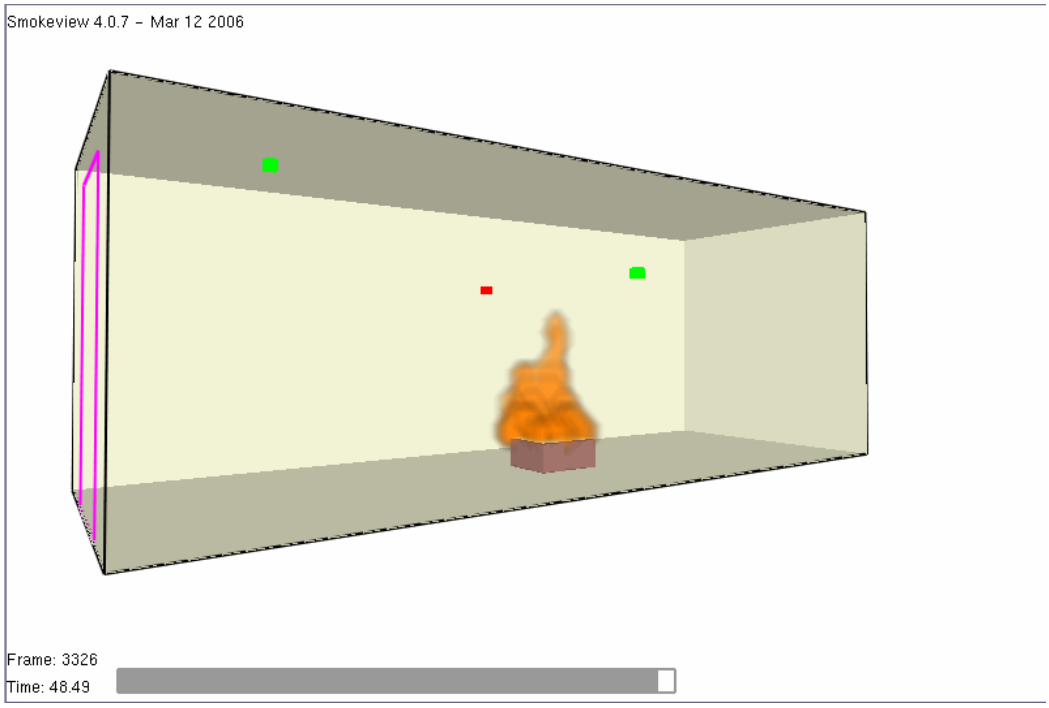
ผลจากการตอบสนองของโปรแกรม เมื่อเวลาผ่านไปครบ 50 วินาที ระบบการทำงานของหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิง ที่ติดตั้งไว้ในระดับ 0.60 เมตร ทั้ง 2 ข้างผนัง ไม่มีการทำงานหรือหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงทำงาน จากความร้อนที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 29 แสดงผลการทำงานของหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิง ที่ระดับ 0.60 เมตร

5.2 ผลการเขียนโปรแกรม FDS เพื่อใช้ในการทดลองกำหนดให้ Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 1.50 เมตร ภาพที่ 30

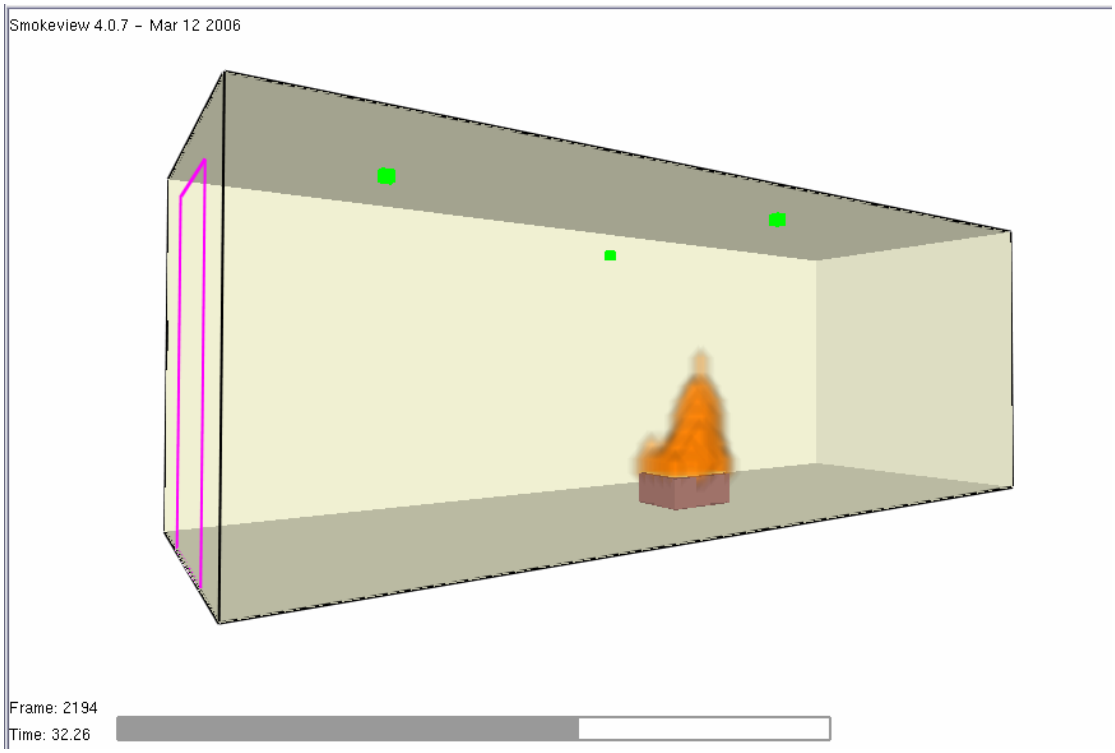
ผลการตอบสนองของโปรแกรม แสดงเห็นว่า เมื่อระดับหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงอยู่ที่ระดับ 1.50 เมตร ที่เวลาประมาณ 45 วินาที จะทำให้หัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิง จำนวน 1 หัวฉีด ทางซ้ายของกองเพลิง เกิดการทำงานขึ้น สามารถควบคุมความร้อนได้ แต่ไม่สามารถดับเพลิงได้



ภาพที่ 30 แสดงผลการทำงานของหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิง ที่ระดับ 1.50 เมตร

5.3 ผลการเขียนโปรแกรม FDS เพื่อใช้ในการทดลองกำหนดให้ Sprinkler อยู่ที่ระดับสูงจากพื้นประมาณ 2.00 เมตร ภาพที่ 31

ผลการตอบสนองของโปรแกรม แสดงเห็นว่าเมื่อหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิง ถูกติดตั้งที่ระดับความสูง 2.00 เมตร จะทำให้หัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิงทำงานได้เร็วขึ้นมากกว่าที่ระดับความสูง 1.60 เมตร ที่เวลาประมาณ 30 วินาที และแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการฉีดน้ำออกมาจากหัวกระจายน้ำมันดับเพลิง จะไม่สามารถดับเพลิงได้ในพื้นที่ที่กำหนดได้ แต่สามารถควบคุมเพลิงและความร้อนที่เกิดจาการเผาไหม้ได้



ภาพที่ 31 แสดงผลการทำงานของหัวฉีดกระจายน้ำดับเพลิง ที่ระดับ 2.00 เมตร

6. เก็บค่าผลการทดลอง และประมวลผลและสรุปการทดลอง ด้วยโปรแกรม Minitab

จากการทำการทดลอง การดับเพลิง เชื้อเพลิงประเภท บี (น้ำมันเชื้อเพลิง) โดยมีเงื่อนไขตามที่ได้กำหนดไว้ก่อนการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลอง เป็นค่าตอบสนองเวลาในการดับเพลิง หน่วย วินาที ดังตารางที่ 10

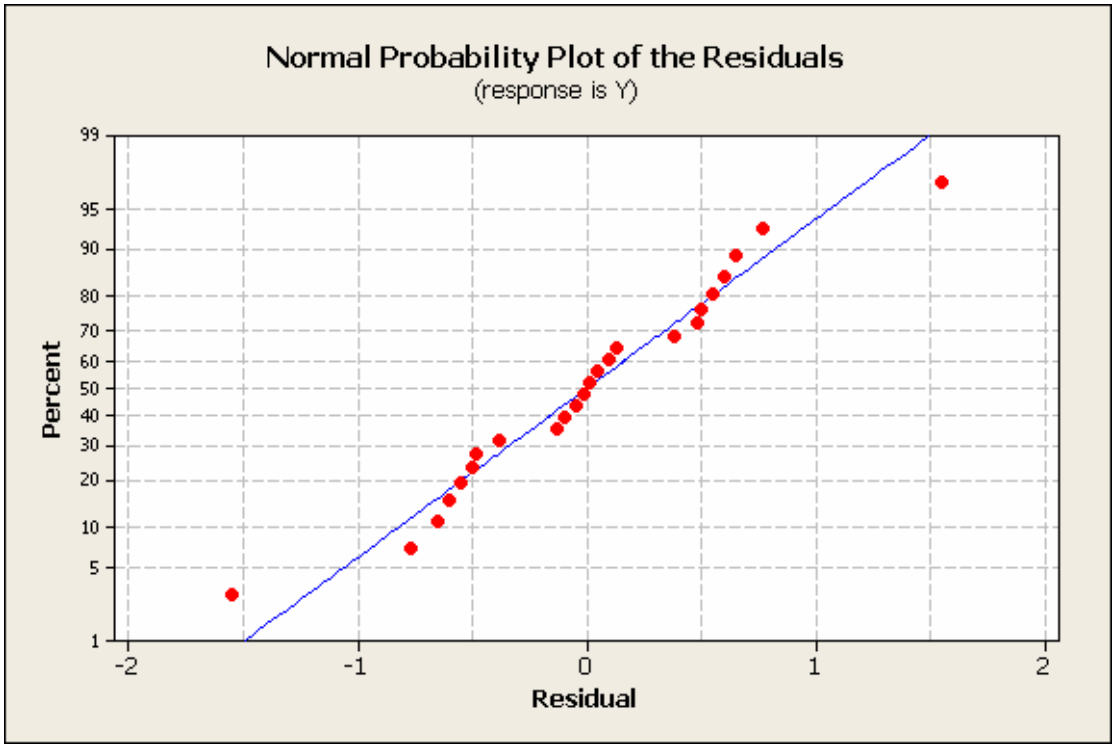
ตารางที่ 10 ตารางแสดงผลการเก็บค่าตอบสนอง (Y) คือเวลาในการดับเพลิงได้ หน่วย วินาที

StdOrder	RunOrder	Blocks	Pressure	Nozzle Level	Agent	Y (Second)
5	1	1	Intermediate	Lower	Water	2.57
8	2	1	High	Upper	Foam	3.12
4	3	1	Intermediate	Middle	Foam	1.9
7	4	1	High	Upper	Water	11.03
3	5	1	Intermediate	Middle	Water	2.24
2	6	1	Intermediate	Upper	Foam	2.28
9	7	1	High	Middle	Water	3.55
6	8	1	Intermediate	Lower	Foam	1.19
11	9	1	High	Lower	Water	1.01
1	10	1	Intermediate	Upper	Water	83.25
12	11	1	High	Lower	Foam	2.11
10	12	1	High	Middle	Foam	2.35
14	13	2	Intermediate	Upper	Foam	3.82
21	14	2	High	Middle	Water	3.64
19	15	2	High	Upper	Water	10.06
17	16	2	Intermediate	Lower	Water	1.27
20	17	2	High	Upper	Foam	3.15
22	18	2	High	Middle	Foam	1.15
23	19	2	High	Lower	Water	1.2
18	20	2	Intermediate	Lower	Foam	1.45

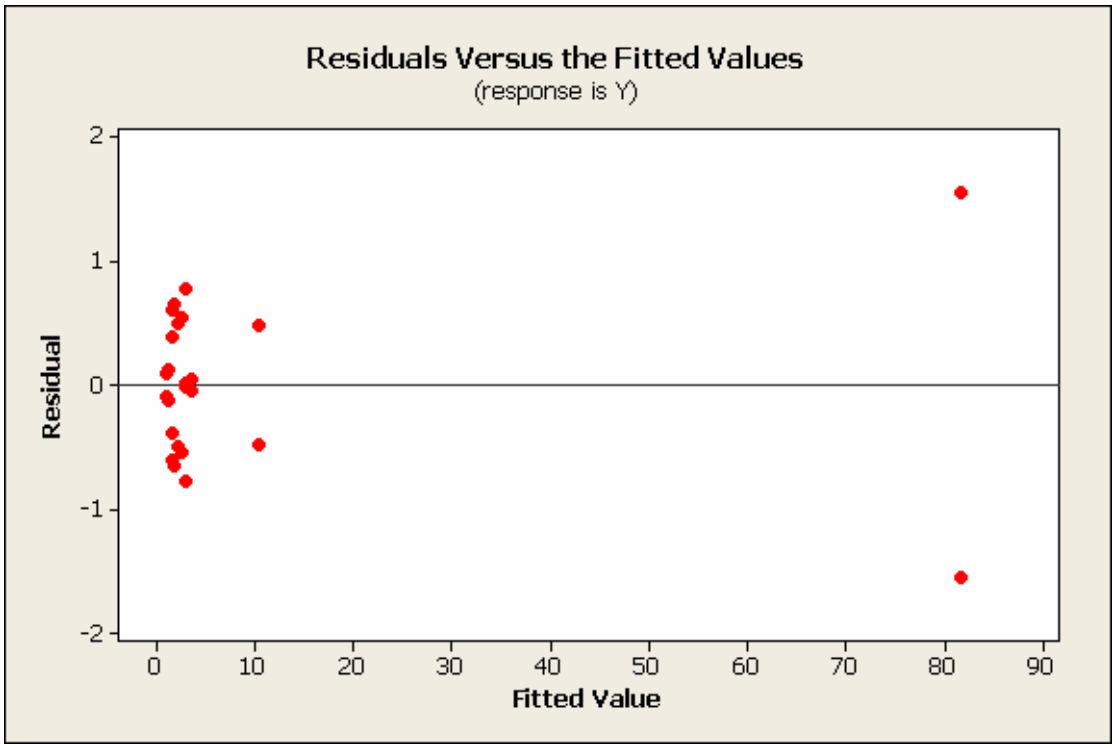
ตารางที่ 10 (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Blocks	Pressure	Nozzle Level	Agent	Y (Second)
15	21	2	Intermediate	Middle	Water	3.34
16	22	2	Intermediate	Middle	Foam	2.9
13	23	2	Intermediate	Upper	Water	80.15
24	24	2	High	Lower	Foam	1.35

การวิเคราะห์ผลโดยใช้ Program Minitab จากค่า Y (Gap/Error) ที่ได้ นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติจากโปรแกรม Minitab ในที่นี้เลือกการวิเคราะห์การทดลองแบบ Factorial โดยในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลวิเคราะห์ดังภาพที่ 32 และภาพที่ 34



ภาพที่ 32 ภาพแสดง Normal Probability plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง



ภาพที่ 33 ภาพแสดง Residual Plot แสดงการกระจายแบบสุ่ม และมีความแปรปรวนคงที่

แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ความแปรปรวนคงที่ และเป็นอิสระต่อกัน สามารถใช้ตาราง ANOVA ในการวิเคราะห์ได้ ดังตารางที่ 11 โดยกำหนดค่า Alpha = 0.05

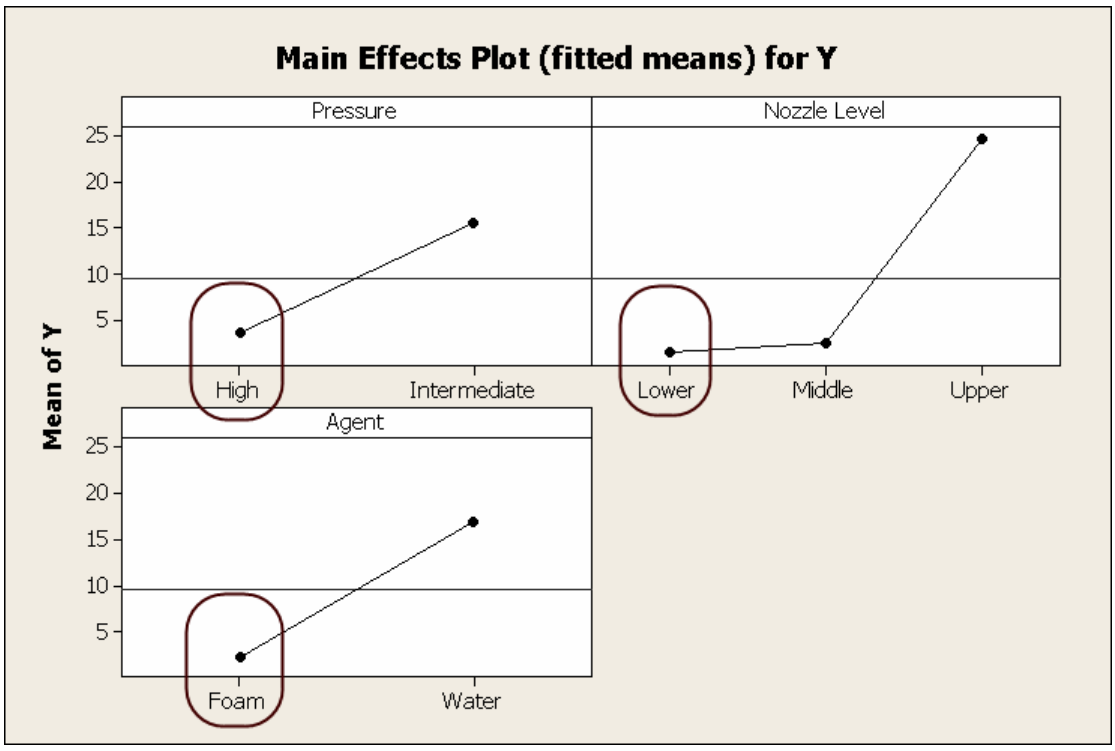
ตารางที่ 11 ตารางAnalysis of Variance for Y, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Remarks
Pressure	1	847.8	847.8	847.8	1073.52	0.000	< Alpha
Nozzle Level	2	2712.5	2715.5	1356.2	1717.41	0.000	Ignore
Agent	1	1298.6	1298.6	1298.6	1644.42	0.000	Ignore
Pressure*Nozzle Level	2	1677.8	1677.8	838.9	1062.31	0.000	
Pressure*Agent	1	840.4	840.4	840.4	1064.21	0.000	
Nozzle Level*Agent	2	2407.1	2407.1	1203.5	1524.04	0.000	< Alpha
Pressure*Nozzle Level*Agent	2	1699.0	1699.0	849.5	1075.71	0.000	

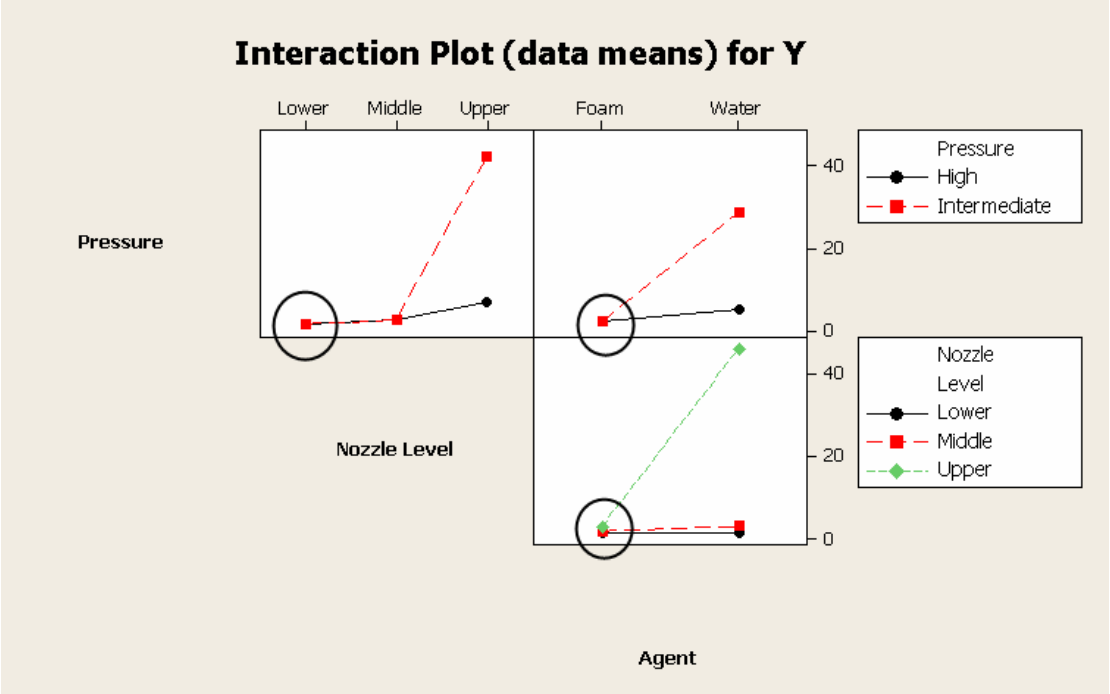
ตารางที่ 11 (ต่อ)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Remarks
Error	12	9.5	9.5	0.8			
Total	23	11492.6					

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ ไม่พิจารณา Interaction ระหว่าง Pressure, Nozzle L และ Agent แต่จะพิจารณา Interaction ระหว่าง 2 ปัจจัย เช่น Interaction ของ Nozzle L * Agent ซึ่ง มีค่า P-Value < Alpha (0.000 < 0.05) แสดงว่า ปัจจัยหลักมีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ และจะไม่พิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น จึงพิจารณา ปัจจัย Pressure ค่า P-Value < Alpha (0.000 < 0.05) จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้ง 3 มีผลกระทบต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณากราฟ Main Effects Plot ตามภาพที่ 34 และ Interaction Plot ตามภาพที่ 35



ภาพที่ 34 ภาพแสดงผล Main Effects Plot ของปัจจัยที่ผลกระทบต่อค่าตอบสนอง



ภาพที่ 35 ภาพแสดงผล Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม

ค่าตอบสนองเวลาในการดับเพลิง เป็นค่าที่น้อยที่สุด (Min) ดังนั้น ในการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดสอบ คือ ต้องเลือกใช้ ระบบน้ำที่มีดันสูง (High Pressure) และระดับการติดตั้งหัวฉีดหมอกน้ำ อยู่ระดับล่าง (Lower) และใช้สารละลายน้ำยาโฟม (Foam Solution) โดยมีการแสดงผลตารางที่ 12 ตาราง Least Squares Means for Y

ตารางที่ 12 ตาราง Least Squares Means for Y

Pressure * Nozzle Level * Agent			Mean	SE Mean
High	Lower	Foam	1.730	0.6284
High	Lower	Water	1.105	0.6284
High	Middle	Foam	1.750	0.6284
High	Middle	Water	3.595	0.6284
High	Upper	Foam	3.135	0.6284
High	Upper	Water	10.545	0.6284
Intermediate	Lower	Foam	1.320	0.6284

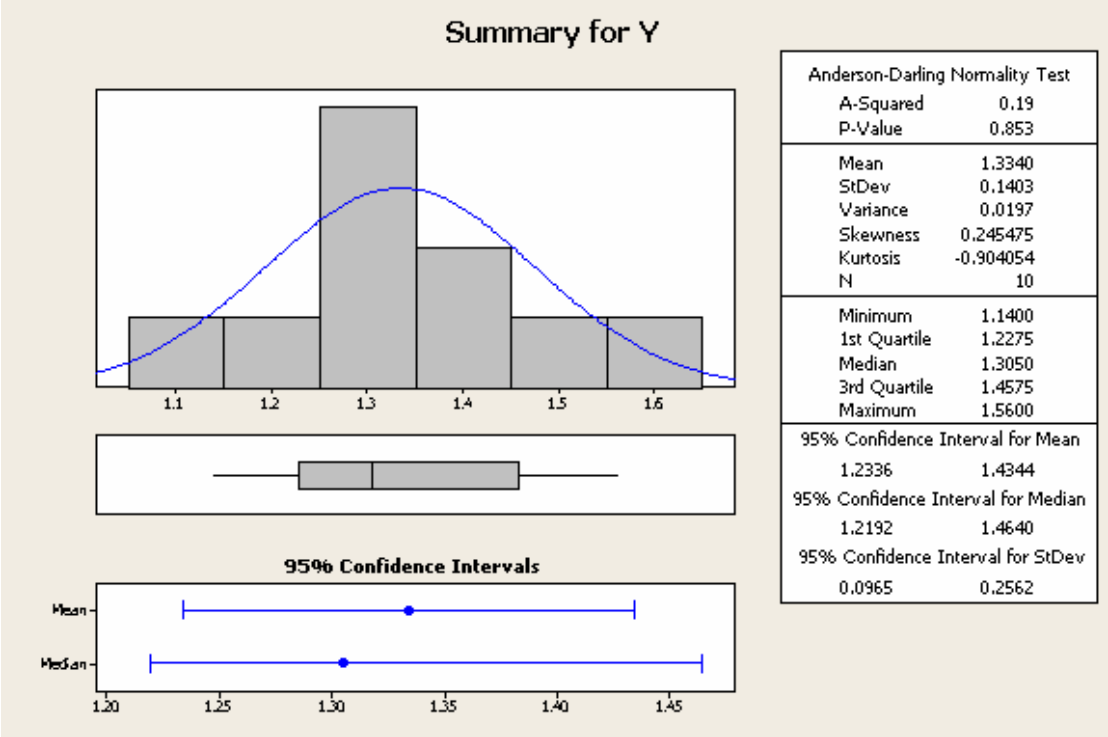
ตารางที่ 12 (ต่อ)

Pressure * Nozzle Level * Agent			Mean	SE Mean
Intermediate	Lower	Water	1.920	0.6284
Intermediate	Middle	Foam	2.400	0.6284
Intermediate	Middle	Water	2.790	0.6284
Intermediate	Upper	Foam	3.050	0.6284
Intermediate	Upper	Water	81.700	0.6284

หลังจากที่ได้กำหนดระดับปัจจัยต่างๆ จึงได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการเลือกระดับปัจจัย ทั้งสิ้น 10 การทดลอง ที่ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ตารางแสดงผลการทดลอง ตามระดับของปัจจัยที่เลือก

จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง	ค่าเวลาตอบสนองในการดับเพลิง(วินาที)
1	1.65
2	2.05
3	1.44
4	1.87
5	1.51
6	1.96
7	2.14
8	1.63
9	1.78
10	1.39



ภาพที่ 36 ภาพแสดงผลสรุปของค่าตอบสนองเวลาในการดับเพลิง

จากภาพที่ 36 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ไม่มีค่าผิดพลาด (Error) พบว่ามีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 1.3340 วินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation) เท่ากับ 0.1403 วินาที

วิจารณ์

การทำวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาถึงแนวทางการปรับปรุง และพัฒนาระบบระงับอัคคีภัย ให้เหมาะสมกับพื้นที่ และชนิดของเชื้อเพลิง ด้วยเทคโนโลยี ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในการปรับปรุงครั้งนี้ ได้เลือกระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำแรงดัน ซึ่งในปัจจุบันกำลังเป็นที่สนใจของวิศวกรผู้ออกแบบ เนื่องจากเป็นนวัตกรรมที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และลดภาวะโลกร้อนได้เป็นอย่างดี

วิธีการดับเพลิง มีด้วยกัน 4 วิธี คือ การลดความร้อน (Reduction of Heat) การกำจัดหรือแยกเชื้อเพลิง (Removal of Fuel) การลดปริมาณออกซิเจน (Exclusion of Oxygen) และการขัดขวางปฏิบัติกิริยาลูกโซ่ (Inhibition of Chain Reaction) ซึ่งวิธีการต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อาจมีการผสมผสานการดับเพลิงเข้าด้วยกัน ดังเช่นการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำแรง (Pressure Water Mist) ที่ใช้ละอองน้ำที่มีความละเอียดระหว่าง 100 – 500 ไมครอน จะช่วยในการลดการแผ่รังสีความร้อน และดูดซับความร้อน ในเวลาเดียวกัน อีกทั้งปริมาณความหนาแน่นของละอองน้ำ ก็สามารถลดปริมาณออกซิเจนในบริเวณพื้นที่ที่ฉีดปกคลุม ซึ่งเป็นการขัดขวางปฏิกิริยาลูกโซ่ ได้ด้วยเช่นกัน

ผลการวิจัย ระบบดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ซึ่งจากการจำลองผลการดับเพลิงด้วยหัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยใช้โปรแกรม FDS และ แสดงผลด้วยโปรแกรม Smoke View จะเห็นได้ว่า ระบบดับเพลิงแบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง ไม่สามารถดับเพลิงได้ ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในการทดลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจะได้ผลตรงกันข้ามกับ ระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำแรงดัน ที่ได้ทำการทดลองและเก็บค่าตอบสนองเวลา(Y) ที่สามารถควบคุมเพลิง และทำการดับเพลิงได้ โดยใช้น้ำ และหากเปลี่ยนจากน้ำเป็นสารละลายน้ำยาโฟม (AFFF 3%) ความสามารถในการดับเพลิง ยิ่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในการทำการทดลอง ยังคงมีปัจจัยอื่น ที่อาจมีผลกระทบต่อเวลาการดับเพลิงได้ของหมอกน้ำ เช่น กระแสลม ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ตลอดจนปริมาณเชื้อเพลิง ซึ่งน่าจะมีผลกระทบต่อการทดลอง สำหรับการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัย ได้ควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้อยู่ในเงื่อนไขเดียวกันมากที่สุด

ทั้งนี้การเลือกใช้งานระบบดับเพลิงด้วยหมอกน้ำดับเพลิง ต้องพิจารณาในเรื่องตำแหน่งของหัวฉีดหมอกน้ำ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญอย่างมาก หากสามารถคาดการณ์ตำแหน่งของจุดที่อาจจะเกิดเพลิงไหม้ได้ จะทำให้ระบบดับเพลิงยิ่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่หากไม่สามารถคาดการณ์หรือกำหนดพื้นที่เกิดเพลิงไหม้ได้ ก็สามารถใช้ระบบดับเพลิงหมอกน้ำแรงดันได้เช่นกัน โดยพิจารณาพื้นที่คลอบคลุมทั้งหมด

ดังนั้นหากจะต้องออกแบบระบบดับเพลิงด้วยหมอกน้ำแรงดัน ควรจะต้องคำนึงถึงเรื่องตำแหน่งของเพลิงไหม้ ชนิดของเชื้อเพลิง ระยะคลอบคลุมของหัวฉีดหมอกน้ำ และแรงดันน้ำที่เหมาะสม

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การปรับปรุงระบบระงับอัคคีภัย ภายในอาคารเครื่องสูบน้ำดับเพลิง สามารถเป็นไปได้ เนื่องจากผลการทดลอง เป็นที่สนับสนุน แนวความคิด ที่ระบบระงับอัคคีภัย ต้องเป็นระบบที่ น่าเชื่อถือ มีการบำรุงรักษา ที่เหมาะสม ราคาไม่แพง และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนชีวิตของผู้ที่อาจประสบอัคคีภัยในสถานที่นั้นๆ

2. การใช้สารละลายน้ำยาโฟม แทนน้ำ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดับเพลิงได้ดียิ่ง และสามารถนำไปใช้กับพื้นที่ ที่มีเชื้อเพลิงประเภท เอ ได้ โดยการเปลี่ยนน้ำยาโฟม เป็นแบบประเภท เอ จะยิ่งทำให้การระงับอัคคีภัย ได้รวดเร็วขึ้น สามารถลดความเสียหายได้ และมีความปลอดภัยสำหรับผู้ประสบภัยในสถานที่นั้นๆ สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ระบบหมอกน้ำดับเพลิง ยังคงเป็นระบบที่ผู้ใช้งาน มีความไม่แน่ใจ ในเรื่องประสิทธิภาพ และการยอมรับจาก ผู้ใช้งานในเมืองไทย จึงควรมีการนำเสนอ การทดสอบ ตลอดผลการวิจัยที่หลากหลาย มากกว่านี้ เพื่อให้ผู้ใช้งาน มีโอกาสได้ศึกษาข้อมูล และสามารถตัดสินใจได้ อีกทั้งระบบการดับเพลิงด้วยหมอกน้ำดับเพลิงมีต้นทุนในการติดตั้ง ต่ำกว่า ระบบดับเพลิงชนิดอื่นๆ และค่าบำรุงดูแลรักษาระบบ มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด เนื่องจากใช้น้ำเป็นพื้นฐาน

2. เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานใด ที่กำหนดการผลิตหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิง จึงจำเป็นต้องพิจารณา ตามบริษัทผู้ผลิตหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิง เป็นกรณีไป ซึ่งไม่สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานในการออกแบบทั่วไปได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จรัล ทรัพย์เสรี. 2550. **รู้จักกับ DOE**. แหล่งที่มา: http://www.trecon.co.th/download/doe.pdf. , 15 มกราคม 2551.

นริศ โรจน์วิศาลทรัพย์. 2551. **การประเมินความเสี่ยง และ ความปลอดภัยในโรงงาน**. สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ. แหล่งที่มา: http://www.e-learning.dss.go.th /security.htm, 20 มกราคม 2551

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา . 2550. **การออกแบบแผนการทดลองสำหรับวิศวกร(Experimental Design for Engineers)**. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2549. **Experimental Design**. Top Publishing Co,Ltd, กรุงเทพฯ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสหากรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2551. **การประเมินความเสี่ยง** . แหล่งที่มา: http://www.tisi.go.th/training50/18001_50/index.html, 20 มกราคม 2551

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. **มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย**. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ

วิฑูรย์ สิมะโชคดี. 2547. **วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน**. พิมพ์ครั้งที่ 18. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ

Fike Corporation Company. 2007. **Micromist® Water Mist for Diesel Engines**. Available Source: http://www.fike.com/pub/fpsdocs/wap005.pdf, March 31, 2008

Fisher R.A. 1953. **The Design of Experiments**. Hafner Publishing Company, New York.

Louvar, J. and B.D. Louvar. 1998. **Health and Environmental Risk Analysis**. Printice Hall, New York.

McGrattan, K. and G. Forney. 2004. **Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide**. National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD.

McGrattan, K. 2004. **Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide**. National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD.

National Institute of Standards and Technology. 2007. **Fire Dynamic Simulator (FDS) and Smokeview**. (Computational Fluid Dynamic Model), MD.

NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2000 Edition

NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems 2000 Edition

Matthias Ecke . 2004 . **Water Mist and Standards – A Strong Dependence**. International Fire Protection. Page 19-20.

Shan Raffel. 2005. **3D Fire Fighting** . First Edition. Fire Protection Publication, Oklahoma State University, Oklahoma.

Robert M.Gagnon. 1997. **Design of Water-Based Fire Protection system**. Delmar Publishers., Albany, New York.

Wenhua Yang, Terry Parker, H.D. Ladouceur, Robert J.Kee. 2003. **The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression**. Fire Safety Journal 39(2004)41-66

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง

1. หลักการ

การประเมินความเสี่ยง เป็นขั้นตอนที่ระบุลำดับความเสี่ยงของอันตรายทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของงานที่ครอบคลุมสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ บุคลากร และขั้นตอนการทำงาน ที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยความเสียหายต่อทรัพย์สิน ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม หรือสิ่งต่าง ๆ รวมกัน ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงหลักการ และวิธีการประเมินความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัย และความปลอดภัย รวมทั้งอธิบายถึงความจำเป็นที่ต้องประเมินความเสี่ยงการประมาณระดับความเสี่ยง โดยคำนึงถึง ความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดอันตราย เพื่อนำมาพิจารณาว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้ หรือยอมรับไม่ได้ และการวางแผนควบคุมความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้

2. วัตถุประสงค์ของการประเมินความเสี่ยง

เพื่อให้ทราบถึงอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน ที่มีอยู่ทั้งหมดในบริษัท และจะได้ร่วมกันหามาตรการควบคุมความเสี่ยงที่มีอยู่ ก่อนที่จะเกิดอุบัติเหตุและการสูญเสีย

3. คำจำกัดความ

3.1 การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึง กระบวนการ การประมาณระดับความเสี่ยง และการตัดสิน ว่าความเสี่ยงนั้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่

3.2 ความเสี่ยง (Risk) หมายถึง ผลลัพธ์ของความน่าจะเกิดอันตราย และผลจากอันตรายนั้น (อุบัติเหตุหรืออุบัติการณ์)

3.3 การชี้บ่งอันตราย (Hazard Identification) หมายถึง กระบวนการ ในการรับรู้ถึงอันตรายที่มีอยู่ และการกำหนดลักษณะของอันตราย

3.4 อันตราย (Hazard) หมายถึง แหล่งหรือสถานการณ์ที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือความเจ็บป่วย ความเสียหายของทรัพย์สิน ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมหรือสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้รวมกัน

3.5 อุบัติเหตุ (Accident) หมายถึง เหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดคิดไว้ล่วงหน้า ซึ่งมีผลให้เกิดการเสียชีวิต ความเจ็บป่วย การบาดเจ็บ ความเสียหาย หรือความสูญเสียอื่น ๆ

3.6 ความเจ็บป่วยจากการทำงาน หมายถึง ความเจ็บป่วยที่ได้พิจารณาว่า มีสาเหตุจากกิจกรรม การทำงาน หรือสิ่งแวดล้อมของที่ทำงาน

4. การประเมินความเสี่ยง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนพื้นฐาน คือ

4.1 การชี้บ่งอันตราย

4.2 ประมาณค่าความเสี่ยงของอันตรายแต่ละอย่าง ความเป็นไปได้ และความรุนแรงของความเสียหาย

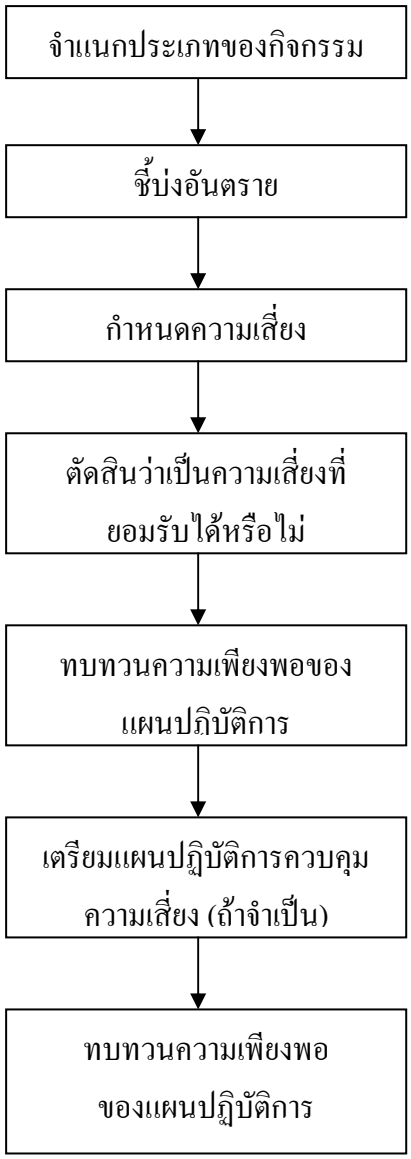
4.3 ตัดสินว่าความเสี่ยงใดที่ยอมรับได้

การประเมินที่ดำเนินไปโดยปราศจากการวางแผนที่ดี หรือประเมินด้วยความเชื่อว่าเป็นเรื่องยุ่งยากจะทำให้เสียเวลา และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงอะไรได้ องค์กรไม่ควรยึดติดอยู่กับการประเมินในรายละเอียดมากเกินไป ทำให้ไม่ประสบความสำเร็จในการดำเนินการ การประเมินความเสี่ยงจะให้ได้มาซึ่งแผนงาน เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปใช้เป็นมาตรฐานควบคุม

ผู้ประเมินความเสี่ยงที่ยังขาดประสบการณ์อาจขาดความรอบคอบ ปกติบุคคลที่อยู่ใกล้ชิดกับงานมากเกินไปอาจจะมองข้ามอันตราย หรือตัดสินว่าเป็นความเสี่ยงที่ไม่สำคัญ เพราะเข้าใจว่าไม่มีใครเคยได้รับอันตราย ควรจะให้ทุกคนประเมินความเสี่ยงด้วยมุมมองใหม่ ๆ และโดยการใช้คำถาม

การประเมินความเสี่ยงควรดำเนินการโดยบุคคลที่มีความรู้ ความสามารถ ซึ่งมีความรอบรู้ในกิจกรรมการดำเนินงานโดยเฉพาะมีการอบรมให้ความรู้ในการประเมินความเสี่ยงด้วยกระบวนการประเมินความเสี่ยง ตามภาพผนวกที่ ก1

ขั้นตอนพื้นฐานของการประเมินความเสี่ยง



ภาพผนวกที่ ก1 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงทั้งหมด

4.4 การประเมินความเสี่ยงอย่างมีประสิทธิภาพ องค์กรควรจะดำเนินตามเกณฑ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.4.1 จำแนกประเภทของกิจกรรมของงาน

ให้เขียนชนิดของกิจกรรมที่ปฏิบัติหน้าที่อยู่ และให้เขียนขั้นตอนปฏิบัติงาน ของแต่ละกิจกรรม โดยให้ครอบคลุม สถานที่ทำงาน เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ บุคลากร รวมทั้งทำการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าว

4.4.2 ชี้บ่งอันตราย

ชี้บ่งอันตรายทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง แต่ละกิจกรรมของงาน พิจารณาว่าใครจะได้รับอันตรายและจะได้รับอันตรายอย่างไร

4.4.3 กำหนดความเสี่ยง

ประมาณความเสี่ยงจากอันตรายแต่ละอย่าง โดยสมมุติว่ามีการควบคุมตามแผนหรือตามขั้นตอนการทำงานที่มีอยู่ ผู้ประเมินควรพิจารณาประสิทธิผลของการควบคุม และผลที่เกิดจากความล้มเหลวของการควบคุม

4.4.4 ตัดสินว่าความเสี่ยงยอมรับได้หรือไม่

ตัดสินว่า แผนหรือการระวังป้องกันด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยที่มีอยู่ (ถ้ามี) เพียงพอที่จะจัดการอันตรายให้อยู่ภายใต้การควบคุมและเป็นไปได้ตามข้อกำหนดตามกฎหมายหรือไม่

4.4.5 เตรียมแนวปฏิบัติการควบคุมความเสี่ยง (ถ้าจำเป็น)

หากพบว่า ขั้นตอนปฏิบัติข้อใดมีความหละหลวม ไม่ถูกต้อง และต้องการปรับปรุงแก้ไข เพื่อลดระดับหรืออันตราความเสี่ยงลงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เตรียมแผนงานที่

เกี่ยวข้องกับสิ่งต่าง ๆ ที่พบในการประเมิน หรือที่ควรเอาใจใส่ องค์กรควรแน่ใจว่าการควบคุมที่จัดทำใหม่และที่มีอยู่มีการนำไปใช้อย่างมีประสิทธิผล

4.4.6 ทบทวนความเพียงพอของแผนปฏิบัติการ

ประเมินความเสี่ยงใหม่ด้วยวิธีการควบคุมที่ได้มีการปรับปรุง และตรวจสอบว่าความเสี่ยงนั้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

4.5 ข้อกำหนดในการประเมินความเสี่ยง

4.5.1 แต่งตั้งผู้บริหารระดับสูงขององค์กร เพื่อส่งเสริมและจัดการกิจกรรมการประเมินความเสี่ยง

4.5.2 ปรึกษากับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องว่าควรวางแผนทำอะไร แล้วขอความคิดเห็นและคำมั่นสัญญา

4.5.3 กำหนดความต้องการของการฝึกอบรม การประเมินความเสี่ยงสำหรับบุคลากร หรือกลุ่มบุคคลที่เป็นผู้ประเมินแล้วจัดให้มีโครงการฝึกอบรมอย่างเหมาะสม

4.5.4 ทบทวนความเพียงพอของการประเมิน ให้กำหนดว่ารายละเอียดความเข้มงวดของการประเมินเหมาะสมและเพียงพอหรือไม่

4.5.5 จัดทำเอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดการ และสาระสำคัญที่พบจากการประเมิน

การประเมินความเสี่ยงในทางปฏิบัตินี้ จะครอบคลุมอันตรายของระบบอาชีวอนามัยและความปลอดภัยทั้งหมดเป็นการที่จะรวบรวมการประเมินความเสี่ยงทั้งหมดเข้าไว้ด้วยกัน ไม่ควรแยกแผนการประเมินอันตรายเกี่ยวกับสุขภาพอนามัย การเคลื่อนย้าย การขนส่งวัสดุสิ่งของด้วยแรงคน อันตรายจากเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์อื่น ๆ ถ้าแยกการประเมินออกเป็นเรื่อง ๆ โดยใช้วิธีการที่แตกต่าง การจัดลำดับความสำคัญของการควบคุมความเสี่ยงจะทำได้ยากขึ้น

4.6 หัวข้อประเมินความเสี่ยงต่อไปนี้ที่จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบตั้งแต่เริ่มแรก

4.6.1 การกำหนดรูปแบบง่าย ๆ สำหรับใช้ในการประเมินความเสี่ยง

4.6.2 เกณฑ์ของการแบ่งกิจกรรมของงาน และข้อมูลที่จำเป็นของแต่ละกิจกรรม

4.6.3 วิธีการชี้บ่งและการจัดลำดับความรุนแรงของอันตราย

4.6.4 ขั้นตอนการกำหนดความเสี่ยง

4.6.5 คำอธิบายการประมาณระดับความเสี่ยง

4.6.6 เกณฑ์การตัดสินว่า ความเสี่ยงนี้ยอมรับได้หรือไม่ และมาตรการที่วางแผนไว้หรือที่มีอยู่เพียงพอหรือไม่

4.6.7 กำหนดช่วงเวลาในการปรับปรุงแก้ไขตามความจำเป็น

4.6.8 วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมความเสี่ยง

4.6.9 เกณฑ์ของการทบทวนความเพียงพอของแผนงาน

4.7 รูปแบบการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Pro-Forma)

องค์กรควรมีการเตรียมรูปแบบง่าย ๆ ที่สามารถใช้เพื่อการบันทึกสิ่งที่ค้นพบจากการประเมินโดยทั่วไป จะครอบคลุมถึง และองค์กรควรจะมีการพัฒนาทุกขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง และทบทวนระบบอย่างต่อเนื่อง

4.7.1 กิจกรรมของงาน (Work Activity)

4.7.2 อันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น (Hazards)

4.7.3 มาตรการควบคุมที่มีอยู่ (Control in place)

4.7.4 บุคคลที่มีโอกาสเสี่ยง (Personnel at risk)

4.7.5 สิ่งที่น่าจะก่อให้เกิดอันตราย (ความเป็นไปได้ในการเกิดอันตรายนั้นมีมากน้อยเพียงใด)

4.7.6 ความรุนแรงของอันตราย

4.7.7 ระดับความเสี่ยง

4.7.8 สิ่งที่ต้องการทำภายหลังการประเมิน

4.7.9 รายละเอียดทั่วไป เช่น ชื่อผู้ประเมิน วันที่ประเมิน ฯลฯ

5. จำแนกประเภทของกิจกรรมของงาน (Classify work activities)

จำแนกประเภทของกิจกรรมของงาน

ภาพผนวกที่ ก2 การจำแนกประเภทของกิจกรรม

ขั้นตอนเริ่มต้นที่จำเป็นของการประเมินความเสี่ยง คือ การทำรายงานกิจกรรม เพื่อแบ่งกลุ่มอย่างเหมาะสม และสามารถบริหารข้อมูลนั้นได้ วิธีการแบ่งแยกประเภทกิจกรรมให้พิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้

5.1 ลักษณะภูมิประเทศภายใน หรือภายนอกสถานที่ทำงาน

5.2 ขั้นตอนในกระบวนการผลิต หรือการให้บริการ

5.3 แผนงานและผลของงาน

5.4 กำหนดภารกิจ เช่น การประกอบรถจักรยานยนต์ การผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ เป็นต้น

5.5 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแต่ละกิจกรรม ควรจะครอบคุลมกิจกรรมดังต่อไปนี้

5.5.1 งานที่ปฏิบัติ ระยะเวลาที่ปฏิบัติ และความถี่ของการปฏิบัติ

5.5.2 สถานที่ปฏิบัติงาน

5.5.3 ผู้รับผิดชอบทั้งในเวลาปกติ หรือปฏิบัติเป็นครั้งคราว

5.5.4 บุคคลอื่นที่อาจจะได้รับผลกระทบจากงาน เช่น ผู้ที่มาเยี่ยมชมโรงงาน ผู้รับเหมา ผู้ผลิตชิ้นส่วน บุคคลภายนอกที่เข้ามาติดต่อกับบริษัท ฯลฯ

5.5.5 การฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงาน

5.5.6 ขั้นตอนการปฏิบัติงานมีเขียนไว้หรือไม่สำหรับงานนั้น ๆ

5.5.7 อาคารสถานที่ และเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีการใช้งาน

5.5.8 เครื่องมือทุ่นแรงที่ใช้มีอะไรบ้าง

5.5.9 คู่มือการใช้งาน และการบำรุงรักษา ตามคำแนะนำของผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายสำหรับอาคารสถานที่เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือทุ่นแรง

5.5.10 ขนาดรูปร่าง ลักษณะพื้นผิว และน้ำหนักของวัตถุที่ทำการเคลื่อนย้าย

5.5.11 ระยะทางและความสูงที่ทำการเคลื่อนย้ายวัตถุด้วยมือ

5.5.12 การบริการต่าง ๆ ที่ใช้ เช่น เก็บขยะ การเติมน้ำยาดับเพลิง เป็นต้น

5.5.13 สารที่ใช้หรือที่เกี่ยวข้องในการทำงาน

5.5.14 ลักษณะทางกายภาพของสารที่ใช้ หรือที่เกี่ยวข้อง เช่น ควัน ก๊าซ ไอ ของเหลว ฝุ่น/ผง ของแข็ง เป็นต้น

5.5.15 รายละเอียดและเอกสารแนะนำ ถึงอันตรายที่เกิดจากสารที่ใช้หรือที่เกี่ยวข้อง

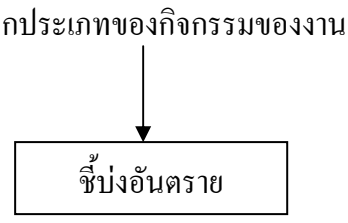
5.5.16 ข้อกำหนดตามกฎหมาย ข้อบังคับและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานที่ปฏิบัติ อาคารสถานที่และเครื่องจักร อุปกรณ์ที่ใช้ และสารที่ใช้หรือที่เกี่ยวข้อง

5.5.17 มาตรการควบคุมที่มีอยู่

5.5.18 ข้อมูลที่ได้จากการตรวจติดตาม ตรวจสอบ ประสบการณ์จากอุบัติการณ์ อุบัติเหตุและความเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารที่ใช้ ซึ่งเป็นข้อมูลทั้งจากภายใน และภายนอก

5.5.19 ข้อมูลการประเมินความเสี่ยงที่มีอยู่ ซึ่งสัมพันธ์กับกิจกรรมของงาน

6. การชี้บ่งอันตราย (Hazard Identification)



ภาพผนวกที่ ก3 การชี้บ่งอันตราย

การชี้บ่งอันตรายควรพิจารณาจากคำถาม 3 ข้อ ดังนี้

- มีแหล่งกำเนิดของอันตรายหรือไม่
- ใคร หรืออะไร ที่ได้รับอันตราย
- อันตรายจะเกิดขึ้นอย่างไร

อันตรายที่ไม่ปรากฏผลเด่นชัด หรือมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดอันตรายน้อยมาก ไม่จำเป็นต้องเขียนขั้นตอนปฏิบัติเป็นเอกสาร หรือจำต้องดำเนินการอะไรต่อไป

6.1 การแบ่งแยกประเภทของอันตรายอย่างกว้างๆ เพื่อช่วยในการบ่งชี้อันตราย ควรแบ่งแยกประเภทของอันตรายในลักษณะต่าง ๆ เช่น อาจแบ่งตามหัวข้อดังนี้

6.1.1 เครื่องจักรกล อันตรายจากเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ปั้นจั่น หม้อน้ำ

6.1.2 ไฟฟ้า อันตรายจากกระแสไฟฟ้า เครื่องใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้า

6.1.3 รังสี อันตรายจากสารที่มีกัมมันตภาพรังสี

6.1.4 สารเคมี อันตรายจากสารเคมีอันตราย วัตถุอันตราย หรือสารเคมีอื่น ๆ

6.1.5 อัคคีภัย และการระเบิด อันตรายจากไฟไหม้ แก๊ส LPG ระเบิด , สารเคมีและวัตถุอันตราย ระเบิด อันตรายจากธรรมชาติ เช่น ฝนตก น้ำท่วม ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า แผ่นดินไหว

6.1.6 อื่น ๆ ได้แก่ อันตรายจากมลภาวะต่าง ๆ เช่น อากาศเป็นพิษ ระดับเสียงเกินกว่าที่กำหนด แสงสว่างต่ำกว่าหรือเกินมาตรฐาน อันตรายจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัยและสภาพการทำงานที่ไม่ปลอดภัย ได้แก่ การหยอกล้อเล่นกันในขณะทำงาน , การฝ่าฝืนกฎระเบียบความปลอดภัย, มีคราบน้ำมันบนพื้น , การใช้ยานพาหนะที่ชำรุดเสียหาย

6.2 รายการอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น อันตรายที่เกิดจากการทำงานโดยทั่ว ๆ ไป จะมีดังต่อไปนี้

6.2.1 การลื่นหกล้ม เช่น มีน้ำมัน/น้ำนองพื้น ทำให้ลื่นหกล้ม , การสะดุดหกล้มพื้นต่างระดับ หรือสะดุดหกล้ม เนื่องจากมีวัตถุสิ่งของกีดขวาง เป็นต้น

6.2.2 การตกจากที่สูง

6.2.3 การตกหล่นของเครื่องมือ วัตถุ อุปกรณ์ ฯลฯ จากที่สูง เช่น ประแจ ไขควงหล่นตกในขณะซ่อมท่อด้านบนหลังคา เป็นต้น

6.2.4 บริเวณที่ว่างเหนือศีรษะไม่เพียงพอ

6.2.5 อันตรายที่เกิดจากการยก/หยิบจับ เครื่องมือ วัตถุดิบ ฯลฯ ได้แก่ สิ่งของตกหล่นกระแทกเท้า หยิบอะไหล่ ที่มีความคมทำให้ถูกบาด

6.2.6 อันตรายจากอาคารสถานที่ และเครื่องจักรอุปกรณ์ ขณะทำการประกอบ การนำมาใช้งาน การปฏิบัติงาน การบำรุงรักษา การปรับเปลี่ยน การซ่อมแซมและการรื้อถอน

6.2.7 อันตรายจากยานพาหนะ ทั้งในการขนส่งภายใน และภายนอกหน่วยงาน ได้แก่ การเข็นรถใส่ชิ้นงาน 2 คัน ทำให้กระแทกนิ้วมือ , อันตรายจากการขับรถ Fork Lift เป็นต้น

6.2.8 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด เช่น การเกิดไฟไหม้ในจุดที่มีการใช้วัตถุไวไฟ จุดที่มีการพ่นสี ผสมสี ห้องสต๊อกสี ทินเนอร์ บริเวณเก็บถังแก๊สไวไฟ และ LPG เป็นต้น

6.2.9 เหตุการณ์หรือสถานการณ์รุนแรงที่เกิดขึ้นกับพนักงาน

6.2.10 สารที่อาจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ ไอระเหยของสารเคมี เช่น สี ทินเนอร์ น้ำยา Coolant ฟูม ควัน ไอจากการเชื่อมโลหะ ฝุ่นเหล็กจากการขัดเจียร เป็นต้น

6.2.11 สารเคมีหรือวัตถุที่อาจทำอันตรายต่อนัยน์ตา ได้แก่ สารเคมีกระเด็น เศษเหล็กจากการเจียร ตัด กระเด็นเข้าตา

6.2.12 สารที่อาจจะทำให้เกิดอันตราย เมื่อมีการสัมผัส หรืออาจจะถูกดูดซึมผ่านผิวหนัง ได้แก่ สี ทินเนอร์ น้ำยา Coolant น้ำมัน เป็นต้น

6.2.13 สารที่อาจจะทำให้เกิดอันตรายจากการกลืนกินเข้าไป ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง , สี ทินเนอร์ , น้ำยา Coolant กรด, ด่าง , น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น

6.2.14 พลังงานที่เป็นอันตราย เช่น ไฟฟ้า รังสี เสียง ความสั่นสะเทือน ได้แก่ ไฟฟ้าดูด ไฟฟ้าช็อต เสียงดังจากเครื่องจักรและในสถานที่ทำงานที่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ความสั่นสะเทือนจากการใช้เครื่องเจาะ เป็นต้น

6.2.15 อาการความผิดปกติ ของมือ และแขน เนื่องจากการทำงาน ที่เป็นผลมาจากงานที่ทำซ้ำ ๆ กัน เช่น การพิมพ์งานโดยใช้เครื่องพิมพ์ดีดหรือคอมพิวเตอร์ การประกอบชิ้นส่วนในจุดเดิม เป็นต้น

6.2.16 อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ร้อนเกินไป เย็นเกินไป เป็นต้น

6.2.17 ระดับของแสงสว่าง เช่น แสงสว่างเกินไป หรือน้อยเกินไป ไม่ตรงตามที่มาตรฐานกำหนด

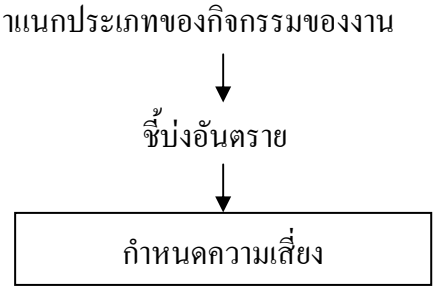
6.2.18 การลื่น การสะดุดพื้นผิวที่ไม่เรียบ

6.2.19 มีราวกั้น หรือราวบันไดไม่เพียงพอ

6.2.20 การปฏิบัติงานของผู้รับจ้าง ผู้รับเหมา ผู้ผลิตชิ้นส่วน

รายการที่แสดงไว้ข้างต้น องค์กรควรที่จัดทำรายการอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น โดยการพิจารณา ตามลักษณะของงาน และสถานที่ที่ทำงานนั้น

7. การกำหนดความเสี่ยง (Determine risk)



ภาพผนวกที่ ก4 การกำหนดความเสี่ยง

ความเสี่ยงจากอันตราย ควรพิจารณาจาก

7.1 การประมาณความรุนแรงของการบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วย ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับจากกิจกรรมการทำงาน เป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุดที่จะต้องนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยง เมื่อต้องการประเมินความรุนแรงของการบาดเจ็บหรือความเจ็บป่วย ควรพิจารณาจากสิ่งต่าง ๆ ที่ทำให้ส่วนของร่างกายที่ได้รับผลกระทบ ลักษณะของการบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วย โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ดังต่อไปนี้

7.1.1 การบาดเจ็บหรือความเจ็บป่วยเล็กน้อย

ก. การบาดเจ็บ/เจ็บป่วย เล็กน้อย ขั้นปฐมพยาบาล (ไม่ถึงขั้นหยุดงาน)

ข. ทรัพย์สินเสียหายเล็กน้อย มีมูลค่าไม่เกิน 5,000 บาท

7.1.2 การบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยระดับปานกลาง เช่น

ก. การบาดเจ็บ/ เจ็บป่วยถึงขั้นหยุดงาน แต่ไม่ถึงขั้นพิการ ทุพพลภาพ

ข. ทรัพย์สินเสียหายมากกว่า 5,000 บาท แต่ไม่เกิน 100,000 บาท

7.1.3 การบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยรุนแรง

ก. การบาดเจ็บ / เจ็บป่วยถึงขั้นหยุดงานพิการ สูญเสียอวัยวะ และเสียชีวิต

ข. ทรัพย์สินเสียหายมีมูลค่ามากกว่า 100,000 บาท

7.2 ความเป็นไปได้ของการบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วยที่อาจจะเกิดขึ้น

เมื่อทำการค้นหาสิ่งที่น่าจะทำให้เกิดการบาดเจ็บ หรือความเจ็บป่วย ต้องมีการพิจารณาความเพียงพอของมาตรการควบคุมที่ได้นำไปใช้ และรวบรวมขึ้น ข้อกำหนดตามกฎหมายและหลักปฏิบัติที่เหมาะสม

ข้อมูลพื้นฐานที่ควรจะนำมาพิจารณาเพิ่มเข้าไปในข้อมูลกิจกรรมของงาน ได้แก่

7.2.1 จำนวนพนักงานที่อยู่ในความเสี่ยงนั้น

7.2.2 ความถี่และช่วงระยะเวลาที่สัมผัสอันตราย

7.2.3 ความบกพร่องของการให้บริการต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้า น้ำประปา ระบบ Air Supply การจ่ายลม เป็นต้น

7.2.4 ความบกพร่องของส่วนประกอบของอาคารสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ และอุปกรณ์ความปลอดภัย เช่น สัญญาณแจ้งเหตุฉุกเฉินทำงานผิดพลาด อุปกรณ์ความปลอดภัยของเครื่องจักรชำรุด เป็นต้น

7.2.5 การสัมผัสกับสิ่งที่มีอันตราย

7.2.6 ประสิทธิภาพและความเพียงพอของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และอัตราการใช้ของอุปกรณ์เหล่านั้น

7.2.7 การกระทำที่ไม่ปลอดภัย การชอบเสี่ยง และการจงใจไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบและขั้นตอนการทำงาน เช่น

7.2.8 ไม่รู้ว่าอะไรคือ ความเสี่ยงและอันตราย

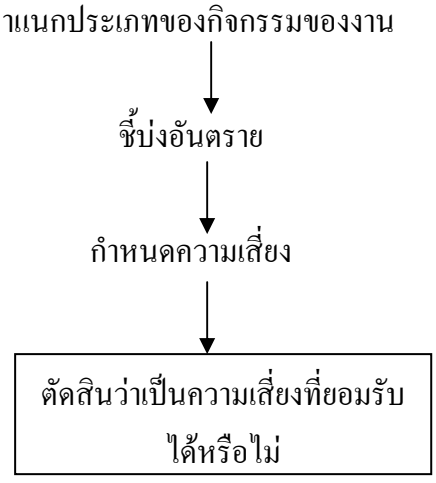
ก. ขาดความรู้ สภาพร่างกายที่ไม่เอื้ออำนวย หรือขาดความชำนาญในงาน

ข. ประเมินความเสี่ยงต่ำกว่าความเป็นจริง

ค. ประมาณวิธีการทำงานและสิ่งอำนวยความปลอดภัยไว้ต่ำเกินไป

ความเสี่ยงที่กล่าวมาแล้วนั้น ต้องคำนึงถึงจำนวนพนักงาน และจำนวนบุคคลอื่น ๆ ด้วย เช่น ผู้รับเหมา ผู้ผลิตชิ้นส่วน ถ้ามีจำนวนคนมากขึ้น ความเสี่ยงก็ย่อมมากขึ้น แต่ในมุมกลับกัน งานที่มีความเสี่ยงสูงในตัวมันเอง โดยที่มีคน ๆ เดียวทำงานนั้นก็ย่อมเป็นไปได้

8. การประมาณความเสี่ยง (การตัดสินว่าเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้หรือไม่)



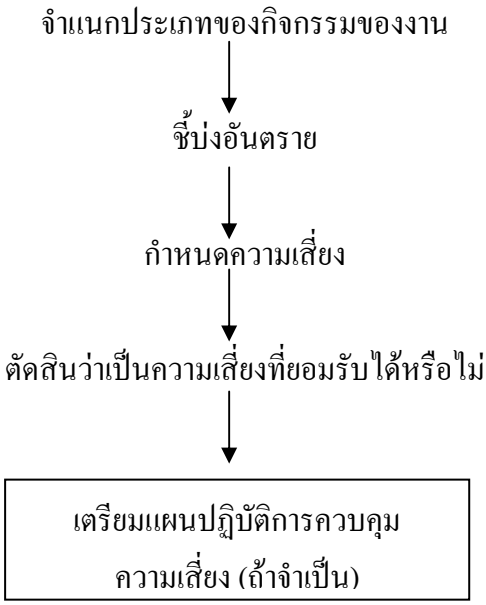
ภาพผนวกที่ ก5 การประมาณความเสี่ยง

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงวิธีการประมาณระดับความเสี่ยง และสำหรับตัดสินว่าความเสี่ยงนั้นยอมรับได้หรือไม่ความเสี่ยงจะถูกพิจารณาจากการประมาณโอกาสที่จะเกิดและความรุนแรงของความเสียหาย

โอกาสที่จะเกิด	**ระดับความรุนแรงของอันตราย**		
	อันตรายเล็กน้อย	**อันตรายปานกลาง**	**อันตรายร้ายแรง**
ไม่น่าจะเกิด (น้อย)	ความเสี่ยงเล็กน้อย	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	ความเสี่ยงปานกลาง
เกิดขึ้นได้ยาก (ปานกลาง)	ความเสี่ยงที่ยอมรับได้	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง
มีโอกาสที่จะเกิด (มาก)	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง	ความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้

หมายเหตุ “ยอมรับได้” หมายถึง ความเสี่ยงที่ถูกลดลงจนอยู่ในระดับต่ำสุด เท่าที่สามารถปฏิบัติได้อย่างสมเหตุสมผล

9. การเตรียมแผนปฏิบัติการควบคุมความเสี่ยง



ภาพผนวกที่ ก6 การเตรียมแผนปฏิบัติการควบคุมความเสี่ยง

ผลที่ได้จากการประเมินความเสี่ยง ควรนำไปใช้ในการปรับปรุงหรือควบคุมการทำงานการควบคุมอันตรายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การควบคุมที่แหล่งกำเนิดอันตรายนั้น ๆ ซึ่งควรดำเนินการเป็นลำดับแรก แต่หากไม่สามารถปฏิบัติได้หรือยังมีความเสี่ยงอยู่ ควรพิจารณากำหนดมาตรการควบคุมที่ทางผ่านระหว่างแหล่งกำเนิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน แล้วจึงพิจารณามาตรการควบคุมที่ผู้ปฏิบัติงาน ดังตารางผนวกที่ ก2

ตารางผนวกที่ 2ก แผนงานการควบคุมตามระดับความเสี่ยงเบื้องต้น

ระดับความเสี่ยง	การปฏิบัติและเวลาที่ใช้
เล็กน้อย (Trivial)	ไม่ต้องทำอะไร และไม่จำเป็นต้องมีการเก็บบันทึกเป็นเอกสาร
ยอมรับได้ (Tolerable)	ไม่ต้องมีการควบคุมเพิ่มเติม การพิจารณาความเสี่ยงอาจจะทำเมื่อเห็นว่าคุ้มค่า หรือการปรับปรุงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น อาจจะทำการควบคุมมากขึ้นเป็นพิเศษก็ได้ ถ้าต้องการให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลในการทำงานมากขึ้น การติดตามตรวจสอบยังคงต้องทำ เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมยังคงมีอยู่
ปานกลาง (Moderate)	จะต้องใช้ความพยายามที่จะลดความเสี่ยง แต่ค่าใช้จ่ายของการป้องกันควรจะมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ และมีการจำกัดงบประมาณ จะต้องมีมาตรการเพื่อลดความเสี่ยงภายในเวลาที่กำหนด เมื่อความเสี่ยงระดับปานกลางมีความสัมพันธ์กับการเกิดความเสียหายร้ายแรง ควรทำการประเมินเพิ่มเติมเพื่อหาค่าของความน่าจะเป็นของความเสียหายที่แม่นยำขึ้น เพื่อเป็นหลักในการตัดสินความจำเป็นสำหรับมาตรการควบคุมว่าต้องมีการปรับปรุง หรือไม่
สูง (Substantial)	ต้องลดความเสี่ยงลงก่อนจึงเริ่มทำงานได้ ต้องจัดสรรทรัพยากร และมาตรการให้เพียงพอเพื่อลดความเสี่ยงนั้น เมื่อความเสี่ยงเกี่ยวข้องกับงานที่กำลังทำอยู่จะต้องทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน
ไม่อาจยอมรับได้ (Intolerable)	งานจะเริ่มหรือทำต่อไปไม่ได้ จนกว่าจะลดความเสี่ยงลง ถ้าไม่สามารถลดความเสี่ยงได้ ถึงแม้จะใช้ความพยายามอย่างเต็มที่แล้วก็ตาม จะต้องหยุดการทำงานนั้น

9.1 ในการกำหนดมาตรการควบคุม ควรพิจารณาเลือกประเด็นต่าง ๆ ต่อไปนี้

9.1.1 ถ้าเป็นไปได้ให้กำจัดอันตรายหลายประเภทไปพร้อม ๆ กัน หรือลดความเสี่ยงที่แหล่งกำเนิด เช่น การใช้สารเคมีที่ปลอดภัยกว่าสารเคมีที่ใช้อยู่ เป็นต้น

9.1.2 ถ้ากำจัดตามข้อ 1 ไม่ได้ ให้พยายามลดความเสี่ยงลง เช่น การติดตั้งระบบระบายอากาศ (Hood) ในงานเชื่อมโลหะ เป็นต้น

9.1.3 ถ้าเป็นไปได้ ให้ปรับหรือกำหนดงานให้เหมาะสมกับสมรรถภาพร่างกาย และจิตใจของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การทำงานกับเครื่องจักร ต้องจัดคนให้มีความสูงพอดีกับเครื่องจักร เพื่อให้ทำงานได้สะดวกเหมาะสม

9.1.4 พิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีที่ก้าวหน้าให้เกิดประโยชน์ต่อการปรับปรุงเพื่อการควบคุมอันตราย เช่น การใช้ปั๊มดูดสารเคมีอันตรายเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตแทนการใช้คนเติมสารเคมีโดยตรง เป็นต้น

9.1.5 พิจารณาเลือกมาตรการป้องกันที่สามารถคุ้มครองได้ทุกคน

9.1.6 ใช้เทคนิคควบคุมอันตรายควบคู่กับกำหนดวิธีการควบคุมการปฏิบัติงาน

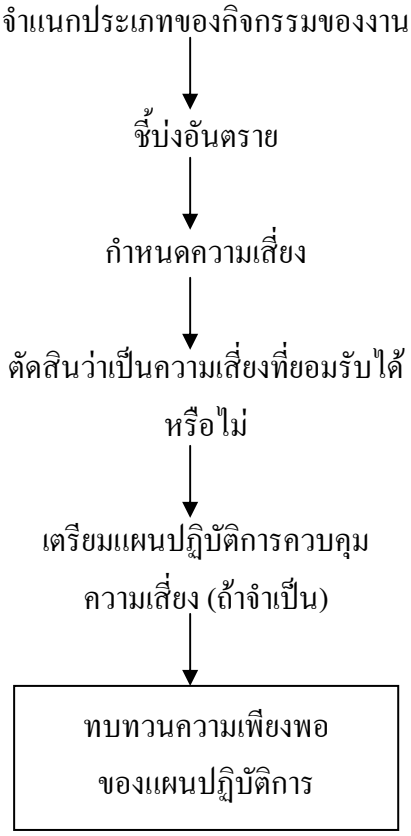
9.1.7 กำหนดให้มีการวางแผนการบำรุงรักษา เช่น การบำรุงรักษาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร การบำรุงรักษาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เป็นต้น

9.1.8 ถ้าไม่สามารถควบคุมตามมาตรการข้างต้น ให้พิจารณาใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเป็นทางเลือกสุดท้าย

9.1.9 กำหนดมาตรการการเตรียมความพร้อมกรณีเกิดภาวะฉุกเฉิน

9.1.10 กำหนดตัวชี้การวัดผลเชิงรุก เพื่อติดตามตรวจสอบว่า มีการปฏิบัติตามมาตรการควบคุมที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ควรมีการพิจารณาเกี่ยวกับการจัดทำแผนฉุกเฉิน และการอพยพพนักงาน ซึ่งรวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ สำหรับเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับอันตรายที่มีอยู่ในหน่วยงาน

10. ทบทวนความเพียงพอของแผนปฏิบัติการ



ภาพผนวกที่ ก7 การทบทวนความเพียงพอของแผนปฏิบัติการ

ควรมีการทบทวนแผนปฏิบัติการก่อนนำไปใช้งานจริง โดยการตอบคำถามต่อไปนี้

10.1 เมื่อมีการปรับปรุงแล้ว ระดับความเสี่ยงลดลงจนยอมรับได้หรือไม่

10.2 ผลจากการปรับปรุงตามข้อ 1 ก่อให้เกิดอันตรายขึ้นใหม่หรือไม่

10.3 ได้เลือกวิธีการแก้ไขปัญหาที่คุ้มค่ามีประสิทธิภาพและประสิทธิผลหรือไม่

10.4 มาตรการควบคุมที่ใช้นั้นเป็นที่ยอมรับของผู้ปฏิบัติงาน และสามารถนำไปปฏิบัติได้หรือไม่

10.5 จะมีการนำมาตรการนี้ไปใช้ และจะไม่ถูกละเลยเมื่อเผชิญหน้ากับภาวะต่างๆ หรือไม่ ถ้ามีงานเร่งด่วนอาจจะละเลยมาตรการที่ต้องปฏิบัตินั้น เป็นต้น

11. การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข และการจัดทำใหม่

การประเมินความเสี่ยงควรเป็นกระบวนการที่ต้องทำอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การจัดความเพียงพอของมาตรการควบคุมควรมีการทบทวนอย่างต่อเนื่อง และมีการปรับปรุงใหม่ตามความจำเป็น ในทำนองเดียวกันถ้าสภาพการเปลี่ยนไป และทำให้อันตราย และความเสี่ยงเปลี่ยนไปด้วย ควรทบทวนการประเมินความเสี่ยงใหม่

ที่มา : มอก. 18001 (2550)

ภาคผนวก ข

ตาราง c-Factor

C-Factors

ตารางผนวกที่ ข1 C-factors required for hydraulic calculations of sprinkler systems per NFPA 13

Kind of Pipe	c-factor
Unlined Cast or Ductile Iron	100
Black Steel (Dry systems including preaction)	100
Black Steel (Wet and deluge systems)	120
Galvanized (All Systems)	120
Listed Plastic	150
Cement Lined Cast or Ductile Iron	140
Copper Tube or Stainless Steel	150

Source: Reprinted with permission from NFPA 13-1996, *Installation of sprinkler Systems.* Copyright 1996, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. This reprinted material is not official position of the National Fire Protection Association, which is represented only by the standard in its entirely.

ภาคผนวก ค

ตาราง เส้นผ่าศูนย์กลางของขนาดท่อ

(Pipe Diameters Table)

ตารางผนวกที่ ค1 Table C-1 Aboveground Piping Diameters (in inches).

	Nominal Diameter											
	0.75”	1”	1.25”	1.5”	2”	2.5”	3”	3.5”	4”	5”	6”	8”
Steel Pipe Diameter												
Schedule 10		1.097	1.442	1.682	2.157	2.635	3.26	3.76	4.26	5.295	6.357	8.249
Schedule 30												8.071
Schedule 40		1.049	1.38	1.61	2.067	2.469	3.068	3.548	4.026	5.047	6.065	7.981
Copper Pipe Diameter												
Type K	0.745	0.995	1.245	1.481	1.959	2.435	2.907	3.385	3.857	4.805	5.741	7.583
Type L	0.785	1.025	1.265	1.505	1.985	2.465	2.945	3.425	3.905	4.875	5.845	7.725
Type M	0.811	.1055	1.291	1.527	2.009	2.495	2.981	3.459	3.935	4.907	5.881	7.785
CPVC Plastic Pipe Diameter												
	0.884	1.109	1.400	1.602	2.003	2.423	2.951					

ตารางผนวกที่ ค2 Table C-2 Underground Piping Diameters

	Nominal Diameter									
	4”	6”	8”	10”	12”	14”	16”	18”	20”	24”
Ductile Iron Pipe Diameter										
Class 50		6.4	8.51	10.52	12.58	14.64	16.72	18.8	20.88	24.04
Class 51	4.25	6.34	8.45	10.46	12.52	14.58	16.66	18.75	20.82	24.78
Class 52	5.155	6.275	8.385	10.4	12.46	14.52	16.4	18.68	20.76	24.72
Class 54		6.16	8.27	10.28	12.34					
Cast-Iron Pipe Class 150 Diameter										
Unlined	4.1	6.14	8.23	10.22	12.24	18.28	16.32	18.34	20.363	24.34
Enamel-Lined	3.98	6.02	8.11	10.1	12.12	14.09	16.13			
Cement-Lined	3.85	5.89	7.98	9.97	11.99	13.9	15.94			
Plastic Underground Pipe Diameter										
PVC Class 150	4.24	6.09	7.98	9.79	11.65					
PVC Class 200	4.08	5.86	7.68	9.42	11.2					

ภาคผนวก ง

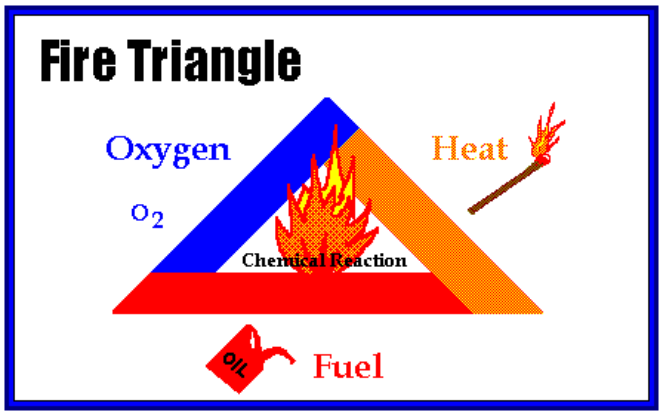
ความรู้พื้นฐานในการป้องกันและระงับอัคคีภัย

การดับเพลิงขั้นต้น เป็นการดับเพลิงก่อนที่เพลิงจะลุกลามและไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น ความสำคัญในการเรียนรู้และฝึกอบรมการดับเพลิงขั้นต้นจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับพนักงานทุกคน ซึ่งสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้นี้ สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันของทุกท่านได้ และเป็นเป้าประสงค์อย่างหนึ่ง ในการฝึกอบรมดับเพลิงขั้นต้น การฝึกบุคลากรให้ทำการดับเพลิงได้นั้น จำเป็นที่จะต้องรู้ ถึงสิ่งจำเป็นของผู้ที่ดับเพลิงต้องมี และมีความสำคัญอย่างไร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดับเพลิงมีตั้งแต่แบบเคลื่อนย้ายได้ น้ำหนักเบา จนถึงแบบที่ไม่สามารถเคลื่อนย้าย และมีน้ำหนักมาก ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ จะมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานตามแต่ที่จะผลิตออกมาใช้ แต่ที่สำคัญกว่านั้นคือ อุปกรณ์ตอบโต้อัคคีภัย ที่บริษัทฯ ได้จัดเตรียมได้ ตามจุดใช้งานต่างๆ และอีกสิ่งหนึ่งที่ไม่ควรละเลย คือ เครื่องตรวจจับควัน หรือความร้อน และสัญญาณเตือนภัยต่างๆ จะต้องได้รับการบำรุงดูแล รักษา ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมอยู่เสมอ และต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม

1. ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้

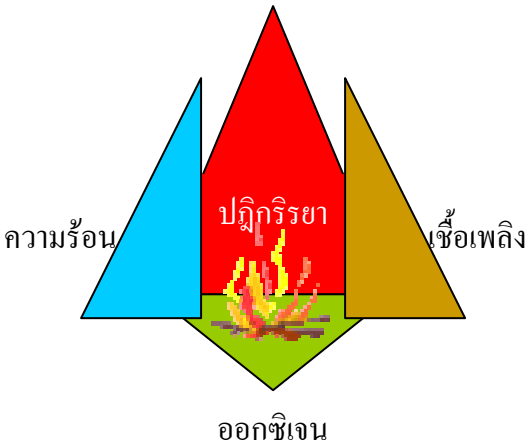
การสันดาป หรือการเผาไหม้ (COMBUSTION) คือ ปฏิกิริยาเคมี ที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ซึ่งเป็นผลให้เกิดความร้อนและแสงสว่างกับสภาพการเปลี่ยนแปลง ไฟจะเกิดขึ้นได้ต้องประกอบด้วย องค์ประกอบ 3 อย่าง หรือเรียกว่า ทฤษฎีสามเหลี่ยมของไฟ คือ 1. เชื้อเพลิง 2. ความร้อน 3. ออกซิเจน



ภาพผนวกที่ จ1 สามเหลี่ยมของไฟ

เมื่อเกิดไฟขึ้น และมีการเกิดไฟอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วย องค์ประกอบ 4 อย่างเป็นองค์ประกอบของการลุกไหม้อย่างต่อเนื่องมีผลให้เกิดเพลิงไหม้ เรียก ทฤษฎีปีรามิดของไฟ (Tetrahedron)

1. เชื้อเพลิง
2. ความร้อน
3. ออกซิเจน
4. ปฏิกิริยาลูกโซ่



ภาพผนวกที่ จ2 องค์ประกอบของการเกิดเพลิงไหม้

1.1 เชื้อเพลิง (Fuel)

เชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้มาจากสารเคมี ซึ่งอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ สารอนินทรีย์ และอินทรีย์เคมี

1.1.1 สารอนินทรีย์เคมี เป็นสารที่เป็นพวกแร่ธาตุ ที่ไม่ได้เกิดจากสิ่งมีชีวิต และไม่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) เช่น โปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) โซเดียม (Na) แอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) รวมทั้งกรดต่างๆ เช่น Sulfuric acid (H_2SO_4) Hydrochloric acid (HCI) และ Nitric acid (HNO_3) เป็นต้น

1.1.2 สารอินทรีย์เคมี เป็นสารที่มาจากสิ่งมีชีวิต มีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอน (C) อยู่เสมอ เป็นสารเคมีที่ได้มาจากร่างกายมนุษย์ สัตว์ และพืช เมื่อสิ่งเหล่านี้ตายและทับทมกันนานนับพันล้านปี ก็จะกลายเป็นน้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ สารอินทรีย์ที่เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสารไวไฟหรือสารระเบิด ได้มาจากน้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากอินทรีย์สารถูก

นำไปผลิตสารเคมีอื่นได้อีกมากมาย เช่น ผลิตน้ำมันเบนซิน (Gasoline) น้ำมันดีเซล (Solar oil) น้ำมันก๊าด (Kerosene) น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) ผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ รวมทั้งเส้นใยสังเคราะห์ ผลิตยารักษาโรค เครื่อง-สำอาง ตัวทำลาย (Solvent) ยากำจัดแมลง ศัตรู ปุ๋ย และวัตถุระเบิดต่างๆ เป็นต้น

1.2 ความร้อน (Heat)

เป็นสิ่งที่ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้นถึงจุดติดไฟ (Ignition point) ทำให้องค์ประกอบของการการเกิดไฟ (ปฏิกิริยาการสันดาป) เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม ซึ่งเชื้อเพลิงแต่ละชนิดย่อมจะมีจุดติดไฟไม่เหมือนกัน เช่น เชื้อเพลิงเหลวอาจมีจุดติดไฟต่ำกว่าพวกเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งสามารถแยกคุณสมบัติของความร้อนที่ทำให้เชื้อเพลิงถึงจุดติดไฟต่างๆ ดังนี้

1.2.1 จุดวาบไฟ (Flash point) คือ จุดที่มีปริมาณความร้อนเพียงพอให้เชื้อเพลิงเหลวหรือแข็งใดๆ คายไอหรือกลายเป็นไอเข้าผสมกับอากาศอย่างได้สัดส่วน และการเกิดลุกไหม้วาบขึ้นชั่วขณะแล้วก็จะดับไป เพราะอัตราการระเหยของสารเชื้อเพลิงจากของแข็งหรือของเหลวน้อยเกินกว่าที่จะทำให้เกิดเปลวไฟอย่างต่อเนื่อง

1.2.2 จุดลุกติดไฟ (Fire Point) คือจุดที่มีปริมาณความร้อนเพียงพอให้เชื้อเพลิงเหลวหรือแข็งใดๆ คายไอหรือกลายเป็นไอเข้าผสมกับอากาศอย่างได้สัดส่วน และการเกิดลุกไหม้ขึ้น เมื่อมีเปลวไฟหรือประกายไฟที่เหมาะสม และเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง โดนปกติและจุดติดไฟของสารเชื้อเพลิงจะสูงกว่าจุดวาบไฟมากหรือน้อยขึ้นกับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ

1.2.3 จุดลุกติดไฟได้เอง (Auto-Ignition temperature หรือ AIT) คือจุดอุณหภูมิที่ทำให้สารเชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้ขึ้นได้เอง โดไม่ต้องอาศัยการจุดติดไฟจากแหล่งภายนอก

ในการเกิดเพลิงไหม้จะมีปฏิกิริยาดูดและคายความร้อนเกิดขึ้น

ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) คือ การเกิดปฏิกิริยาแล้วได้พลังงานความร้อนเกิดขึ้น เช่นปฏิกิริยาสันดาป หรือปฏิกิริยาการลุกไหม้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + 94.5 \text{ Kcal/mol}$$

ปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) คือ การเกิดปฏิกิริยาแล้วมีการใช้พลังงานความร้อนไป ทำให้ความร้อนลดลงจึงทำให้สามารถดับไฟได้

$$H_2O\ (I) + 10.5\ Kcal/mol \longrightarrow H_2O\ (g)$$

1.3 ออกซิเจน ในบรรยากาศ ทั่วๆ ไป จะมีก๊าซต่างๆ ผสมกันอยู่ ในอัตราส่วนไนโตรเจน (Nitrogen, N_2) 79.04% , ออกซิเจน (Oxygen, O_2) 20.93% , คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide,CO_2) 0.03 %

โดยออกซิเจนจะเป็นตังทำให้เกิดการเผาไหม้ การเผาไหม้แต่ละครั้งต้องการออกซิเจนประมาณ 16% เท่านั้น ถ้าออกซิเจนต่ำกว่า 16% ก็จะไม่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ต่อไป ไฟจึงจะมอดดับลงได้ ดังนั้นจะเห็นว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดถูกล้อมรอบไปด้วยออกซิเจนอย่างเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ ยิ่งมีออกซิเจนมากเชื้อเพลิงก็ยิ่งติดไฟได้ดีขึ้น และเชื้อเพลิงบางประเภทมีออกซิเจนในตัวเองอย่างเพียงพอที่จะทำให้ตัวเองลุกไหม้ได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนที่อยู่โดยรอบ

1.4 ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chemical Chain Reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการลุกติดไฟอย่างต่อเนื่อง ตราบเท่าที่ยังมีองค์ประกอบทั้ง 3 อย่าง หนุนเนื่องกันอยู่ ทำให้ขนาดและความรุนแรงของเพลิงเพิ่มขึ้น เมื่อรวมกันในปริมาณและคุณสมบัติที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลุกติดไฟขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าขาดอย่างใดอย่างหนึ่งแล้วปฏิกิริยาลุกติดไฟจะไม่เกิดขึ้น จากเหตุผลนี้เอง ทำให้เกิดการคิดค้นสารที่ใช้ในการกำจัดองค์ประกอบของไฟตัวใดตัวหนึ่ง หรือหลายตัวให้หมดไปเพื่อให้ไฟดับ

2. การแบ่งประเภทของเพลิง แบ่งออกเป็น 4 ประเภท

ตารางผนวกที่ จ1 ตารางการการแบ่งประเภทของเชื้อเพลิง

ประเภทของเชื้อเพลิง	คำอธิบาย	สัญลักษณ์
เอ (A)	เพลิงที่เกิดจากวัตถุไหม้ไฟโดยทั่วไป เช่น ไม้, กระดาษ, ถ่านหิน เป็นต้น เชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดเพลิงประเภทนี้ เมื่อเผาไหม้แล้ว จะมีขี้เถ้าเหลืออยู่	เป็นเครื่องหมาย ภายในมีอักษร A โดยจะมีสีของพื้นเป็นสีเขียว ตัวอักษรสีดำ
บี (B)	เพลิงที่เกิดจากสารเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและแก๊ส เมื่อเผาไหม้แล้ว จะไม่มีขี้เถ้าเหลืออยู่	เป็นเครื่องหมาย ภายในมีอักษร B โดยจะมีสีของพื้นเป็นสีแดง ตัวอักษรสีดำ
ซี (C)	เพลิงทีที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่	เป็นเครื่องหมาย ภายในมีอักษร C โดยจะมีสีของพื้นเป็นสีฟ้า ตัวอักษรสีดำ
ดี (D)	เพลิงที่เกิดจากโลหะติดไฟ เช่น แมกนีเซียม, ไตตาเนียม, ลิเทียม	เป็นเครื่องหมาย ภายในมีอักษร D โดยจะมีสีของพื้นเป็นสีเหลือง ตัวอักษรสีดำ

3. การป้องกันแหล่งกำเนิดของการติดไฟ

การเกิดเพลิงไหม้นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างความร้อน เชื้อเพลิง และออกซิเจนในอากาศ เมื่อทราบว่าอะไรบ้างที่สามารถเป็นแหล่งให้เกิดความร้อนสูงพอที่จะติดไฟได้ จำเป็นต้องควบคุมไม่ให้มีองค์ประกอบอีก 2 อย่าง เข้าไปอยู่ร่วมด้วย แต่ถ้าควบคุมไม้ได้ทั้ง 2 อย่าง ซึ่งปกติควบคุมออกซิเจนไม่ได้เพราะโดยปกติจะมีออกซิเจนผสมอยู่ในอากาศโดยธรรมชาติ จึงต้องดูแลควบคุมไม่ให้เชื้อเพลิงเข้าไปสัมผัสกับสิ่งที่ทำให้เกิดความร้อนสูง

ข้อแนะนำสำหรับการดูแลป้องกันแหล่งกำเนิดของการติดไฟนั้น อาจทำได้โดยการลดความร้อน และ /หรือการกำจัดหรือป้องกันไม่ให้มีเชื้อเพลิงไปสัมผัสความร้อน ซึ่งกล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

3.1 อุปกรณ์ไฟฟ้า ควรใช้ให้เหมาะสมกับงาน และควรมีการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร นอกจากนี้การทำความสะอาดอุปกรณ์ไฟฟ้าควรใช้น้ำยาเฉพาะและควรเป็นชนิดที่ไม่ไวไฟ

3.2 การลดความเสียดทาน อาจทำได้โดยการใช้สารสำหรับหล่อลื่นที่ไม่ไวไฟและเป็นชนิดที่ได้รับการแนะนำจากผู้สร้างอุปกรณ์หรือฝ่ายวิศวกรรมควรมีการทำความสะอาดอุปกรณ์เสมอ ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของฝุ่นซึ่งอาจเป็นเชื้อไฟ

3.3 วัสดุไวไฟชนิดพิเศษ ควรเก็บรักษาให้ถูกต้องซึ่งควรเป็นการเสนอแนะจากฝ่ายวิศวกรรมหรือผู้เชี่ยวชาญ

3.4 การเชื่อมและการตัดโลหะ ควรจัดเป็นบริเวณแยกต่างหากจากงานอื่น ๆ ควรอยู่ในบริเวณที่มีการถ่ายเทอากาศสะดวกและพื้นที่จะต้องเป็นชนิดทนไฟ แต่ถ้าหากจัดให้อยู่แยกต่างหากไม่ได้ก็ควรจัดเตรียมบริเวณสำหรับการตัดและการเชื่อมนั้น ต้องคำนึงถึงการใช้พื้นที่ทนไฟ การป้องกันประกายไฟจากการเชื่อมหรือตัดไม่ให้กระเด็นไปในบริเวณอื่น ๆ โดยเฉพาะต้องไม่มีเชื้อเพลิงอยู่ในบริเวณใกล้เคียงและควรจัดหาอุปกรณ์สำหรับดับเพลิงไว้ในบริเวณนี้ด้วย

3.5 การใช้เตาเผาแบบเปิดหรือเปลวไฟที่ไม่มีสิ่งปิดคลุม ที่ ต้องมีการป้องกันการกระเด็นของลูกไฟ ต้องไม่เก็บสารที่เป็นเชื้อเพลิงไว้ในบริเวณที่ใกล้เคียง ไม่ควรทิ้งให้ติดไฟโดยไม่มีการดูแล รวมทั้งต้องมีการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสม

3.6 การสูบบุหรี่และการจุดไฟ ควรจัดให้มีบริเวณสูบบุหรี่สำหรับพนักงาน และจัดป้ายแสดงบอกไว้และต้องเข้างวดให้พนักงานปฏิบัติตาม บริเวณที่อนุญาตให้สูบบุหรี่ควรจัดภาชนะสำหรับใส่ขี้บุหรี่ ในบริเวณใดที่ห้ามการสูบบุหรี่ควรห้ามจุดไฟด้วยและเตรียมการสำหรับป้องกันการเกิดอัคคีภัยที่อาจเกิดจากความประมาทเลินเล่อ รวมทั้งประกาศหลักปฏิบัติในการใช้บริเวณนี้เพื่อให้พนักงานเข้าใจและให้ความร่วมมือป้องกันอัคคีภัย

3.7 วัตถุที่ผิวร้อนจัด เช่น ปล่องไฟ ท่อไอน้ำ ท่อน้ำร้อน ไม่ควรติดตั้งผ่านส่วนที่เป็นพื้นหรือเพดาน ควรจัดให้ผ่านผนังทนไฟ หรือมีการหุ้มห่อด้วยสารหรือวัตถุทนไฟ รวมทั้งจัดให้มีการถ่ายเทความร้อนในบริเวณนั้นด้วยสำหรับโลหะที่ถูกทำให้ร้อนจัด ควรบรรจุในภาชนะหรือผ่านไปตามอุปกรณ์ ที่จัดไว้โดยเฉพาะ

3.8 ไฟฟ้าสถิตย์ ประจุไฟฟ้าสถิตย์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดสีของสารที่ไม่เป็นตัวนำ ซึ่งเมื่อเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าก็จะทำให้เกิดประกายไฟ และถ้าประกายไฟสัมผัสกับเชื้อเพลิงก็อาจเกิดการลุกไหม้ การป้องกันไม่ให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์เป็นไปไม่ได้ วิธีแก้ไขที่นิยมใช้โดยทั่วไปก็คือ

3.8.1 การต่อสายดิน (Grounding)

3.8.2 การต่อกับวัตถุที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับประจุได้ (Bonding)

3.8.3 รักษาระดับความชื้นสัมพันธ์ที่ระดับเหมาะสม

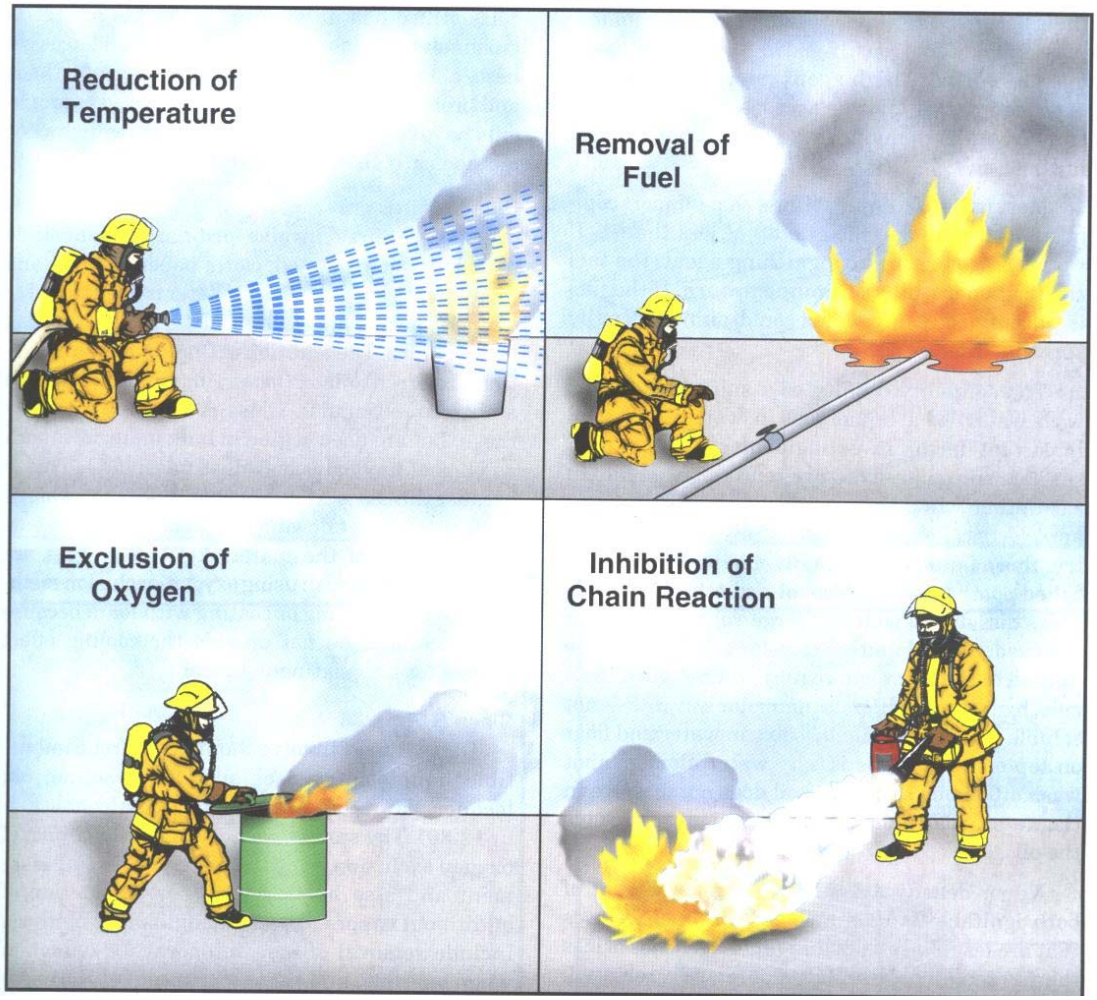
3.8.4 การทำให้บรรยากาศรอบๆ เป็นประจุไฟฟ้า ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวนำประจุไฟฟ้าออกจากวัตถุที่เก็บประจุไฟฟ้าสถิตไว้ในตัวมัน แต่วิธีนี้ควรใช้ภายใต้คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้เท่านั้น เพราะมิฉะนั้นกรรมวิธีในการทำให้เกิดประจุไฟฟ้า อาจเป็นตัวก่อให้เกิดการลุกไหม้เสียเอง

3.8.5 เครื่องทำความร้อน เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องทำความร้อนควรมีจุดติดไฟที่อุณหภูมิสูงบริเวณที่ติดตั้งเครื่องควรมีการระบายอากาศที่ดี เพราะเชื้อเพลิงถ้าเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์ซึ่งเป็นอันตรายต่อคน ควรอยู่ห่างจากสารไวไฟในกรณีที่มีเปลวไฟควรมีฝาปิดกั้นที่ทนไฟและไม่ติดไฟ มีปล่องสำหรับปล่องอากาศร้อนหรือก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่ควรตักออกจนกว่าไฟจะมอดหมดแล้ว เครื่องทำความร้อนที่หิ้วหรือย้ายเปลี่ยนที่ได้ ควรมีที่สำหรับหิ้วหรือสำหรับการขนย้ายที่เหมาะสม

3.8.6 การลุกไหม้ด้วยตนเอง เกิดจากปฏิกิริยาการสันดาปของออกซิเจนกับเชื้อเพลิงจนกระทั่งติดไฟ และเกิดการลุกไหม้ขึ้น ส่วนมากมักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีอากาศพอที่จะเกิดการสันดาปได้ แต่มีการระบายอากาศไม่เพียงพอ ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสูง ดังนั้นในที่ที่เก็บสารที่อาจ

เกิดการสันดาปได้ควรมีการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมและปราศจากเชื้อเพลิงที่อาจเร่งปฏิกิริยาการสันดาป การใช้ถังขยะชนิดที่มีฝาปิดมิดชิด สำหรับขยะที่เปื้อนน้ำมันหรือสีจะช่วยป้องกันการลุกไหม้ด้วยตนเอง

4. วิธีการดับเพลิงประเภทต่างๆ



ภาพภาคผนวก จ3 วิธีการดับเพลิง 4 วิธี

4.1 หลักการดับเพลิง สามารถทำได้ 4 วิธี คือ

4.1.1 การกำจัดเชื้อเพลิง ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงออกไปจากบริเวณเกิดอัคคีภัย และสำหรับกรณีขนถ่ายเอาเชื้อเพลิงออกไปไม่ได้ ควรใช้วิธีนำสารอื่นๆ มาเคลือบผิวของเชื้อเพลิงเอาไว้ เช่น การใช้ผงเคมี โฟม น้ำละลายด้วยผงซักฟอก ซึ่งเมื่อฉีดลงบนผิววัสดุแล้วปกคลุมอยู่นานตราบเท่าที่น้ำหรือสารเคมีอื่นๆ ที่ผสมในน้ำยังไม่สลายตัว

4.1.2 การกำจัดออกซิเจน โดยการปิดกั้นออกซิเจนไม่ให้ไปรวมตัวกับไอของเชื้อเพลิง เนื่องจากออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหนึ่งของไฟ วิธีการกำจัดออกซิเจนมีหลายวิธี เช่น ฉีดน้ำหรือสารปกคลุมอื่นๆ ไปคลุมผิวเชื้อเพลิงหรือฉีดแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ไปปกคลุมบริเวณเพลิงไหม้ทำให้จำนวนออกซิเจนในอากาศมีปริมาณต่ำลง จนไม่มีการสันดาปอีกต่อไป

โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงจะถูกล้อมด้วยออกซิเจนประมาณ 21% ซึ่งเกินพอสำหรับการเผาไหม้เพราะไฟต้องการเพียง 16% แต่ถ้าหากสามารถทำให้ออกซิเจนลดจำนวนลงไปได้ก็ไม่ได้หมายความว่าสามารถดับไฟได้เลยทีเดียวหากออกซิเจนน้อยลง ไฟก็อาจยังคงไหม้แบบคุได้ (ไม่มีเปลว) เช่นไฟไหม้ในตู้เก็บของในลักษณะคุ เมื่อเปิดฝาตู้ออกไฟก็จะลุกทันที ทั้งนี้เพราะออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปช่วยในการเผาไหม้อย่างเพียงพอ

4.1.3 การลดอุณหภูมิ (ลดความร้อน) เมื่อทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงต่ำลงไปกว่าจุดวาบไฟ แม้จะมีเชื้อเพลิงและออกซิเจนผสมกันอยู่ก็ไม่เกิดการสันดาป เพลิงก็จะสงบลง วิธีการลดอุณหภูมิหรือการลดความร้อน เป็นวิธีที่ใช้กันแพร่หลายซึ่งจะใช้น้ำทำการดับไฟ การดับโดยวิธีนี้จะทำให้เชื้อเพลิงเย็นตัวลง เพื่อลดอัตราการกลายเป็นไอเพื่อป้องกันการระเบิด เนื่องจาก OVER PRESSURE หรือทำให้ความร้อนต่ำลง

4.1.4 การขัดขวางปฏิกิริยาลูกโซ่ การเผาไหม้ที่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง รวดเร็วและแรงขึ้นเรื่อยๆ เกิดขึ้นเนื่องจากอนุมูลอิสระที่ถูกเหวี่ยงออกไปแล้วกลับเข้าไปที่ฐานของไฟอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมีการทดลองหาสารเคมีที่สามารถขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของไฟ ซึ่งพบว่าฮาลอน (HALON) เมื่อฉีดใส่ไฟมันจะเข้าไปแทนที่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว แต่ต้องระวังในการใช้เพราะอาจจะทำให้ขาดอากาศหายใจได้ เนื่องจากฮาลอน (HALON)หนักกว่าอากาศ จึงสามารถไล่อากาศออกไป สารดังกล่าวได้แก่ ไฮโดร์คาร์บอนประกอบกับฮาโลเจน (Halogenated – Hydrocarbon) ซึ่ง

สารฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน โบรมีน คลอรีน และฟลูออรีน (รียงตามลำดับความสามารถในการใช้งาน) สารดับเพลิงประเภทนี้มีชื่อเรียกว่า ฮาลอน (HALON) เช่น HALON 1211 HALON 1301 แต่ปัจจุบันได้ถูกเลิกผลิตแล้ว โดยมีสารชนิดอื่นมาทดแทน เช่น FM - 200

4.2 การดับไฟให้มีประสิทธิภาพ จึงควรทราบประเภทของไฟที่เกิดจากสารเชื้อเพลิงต่างๆ เพื่อที่จะสามารถใช้สารดับเพลิงได้อย่างถูกต้องและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าไปดับไฟ

4.2.1 การดับเพลิงประเภท A โดยการลดปฏิกิริยาของการลุกไหม้ และการทำให้เย็นตัวลงโดยการใช้น้ำจากเครื่องปั๊มน้ำที่ไหลตามท่อ ผ่านหัวฉีด เช่น พวกท่อแห้ง (Dry Riser) และท่อเปียก (Wet Riser) ระบบน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic Sprinkler System) แต่ถ้ามีปริมาณไฟเล็กน้อย (การลุกไหม้ประมาณ 2-3 นาทีแรก) ก็อาจใช้เครื่องดับเพลิงชนิดมือถือ

น้ำ เป็นสารดับเพลิงที่เหมาะสำหรับเพลิงประเภท A

4.2.2 การดับเพลิงประเภท B หากเป็น Pressure Fire ต้องใช้เครื่องดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ผงเคมีแห้ง หรือ น้ำยาเหลวระเหย โดยใช้วิธีกำจัดออกซิเจนให้มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการลุกไหม้ สำหรับกรณีเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว อยู่ในภาชนะเปิดหรือมีพื้นที่จำกัด ต้องใช้น้ำยาโฟม ฉีดคลุมพื้นผิว ในการกำจัดออกซิเจนและควบคุมไอของเชื้อเพลิง

โฟม (Foam) สามารถดับเพลิงประเภท B ได้ ในการณีที่เป็นของเหลวติดไฟในพื้นที่จำกัด เท่านั้น โดยเป็นการคลุมพื้นผิวของเชื้อเพลิง เพื่อไม่ให้เกิดการคลายไอ และเป็นการตัดออกซิเจนในอากาศด้วย

4.2.3 การดับเพลิงประเภท C ถ้าหากสามารถตัดกระแสไฟออกได้ก็จะสามารถดับด้วยวิธีการดับเพลิงประเภท A แต่ถ้าไม่สามารถตัดกระแสไฟฟ้าได้ ควรใช้เครื่องดับเพลิงที่ดับเพลิงประเภท C ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือฮาลอนซึ่งเป็นสารดับเพลิงที่เหมาะสมและไม่เป็นสื่อไฟฟ้าจะดับประเภท C ได้ผลดี

4.2.4 การดับเพลิงประเภท D ไม่สามารถกำจัดการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนโดยใช้เครื่องดับเพลิงชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะทำให้เกิดปฏิกิริยาลุกไหม้มากขึ้น การใช้ทรายแห้ง (SIO_2) เพื่อกลบผิวของไฟที่ลุกไหม้เพราะทรายที่หลอมเหลวละลายจะดูดกลืน

ความร้อน ให้การลุกไหม้ลดลงและยังปิดกั้นออกซิเจนในอากาศด้วย สำหับการใช้ผงเกลือแกงซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงประเภทโลหะ และสามารถกั้นออกซิเจนไม่ให้ทำปฏิกิริยากับโลหะเชื้อเพลิงได้อีกด้วย การใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ฮีเลี่ยม อาร์กอน ไนโตรเจน

ก๊าซเฉื่อย (Inert Gases) จะไปทำปฏิกิริยากับโลหะที่ลุกไหม้และควบคุมไม่ให้เกิดการลุกไหม้ต่อไป

5. เครื่องมือดับเพลิงประเภทต่างๆ

5.1 เครื่องดับเพลิงแบบมือถือ (Portable fire extinguisher)

ประเภทของเครื่องดับเพลิงแบบมือถือมีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับความเหมายสมของการใช้งานไม่ว่าจะเป็นประเภทของเชื้อเพลิงและสถานที่ที่จะฉีดดับเพลิงซึ่งเครื่องดับเพลิงที่ใช้กันอยู่มีดังต่อไปนี้

5.1.1. เครื่องดับเพลิงแบบมือถือชนิดบรรจุน้ำสะสมแรงดัน ใช้สำหรับดับเพลิงประเภท A เท่านั้น ขนาดที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ ขนาด 10 ลิตร ตัวถังทำด้วยแสตนเลส เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ภายในถังบรรจุก๊าซไนโตรเจน หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรืออากาศอัดเพื่อให้มีความดันสะสม 100 PSI

5.1.2. เครื่องดับเพลิงแบบมือถือชนิดบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เหมาะสำหรับดับเพลิงประเภท B และ C ภายใน บรรจุก๊าซให้มีความดัน 1,200 PSI ดังนั้นถังต้องเป็นถังไร้ตะเข็บเท่านั้นและทำการตรวจสอบสภาพทุกๆ 6 เดือน โดยวิธีชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกข้อมูลเก็บไว้ หากน้ำหนักสูญหายไปเกินกว่า 16 % ควรทำการเติมก๊าซใหม่

5.1.3. เครื่องดับเพลิงแบบมือถือชนิดบรรจุน้ำยาเหลวระเหยนิยมใช้ในบริเวณที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้า อีเลคทรอนิคส์ และในบริเวณที่ต้องการความสะอาด

5.1.4. เครื่องดับเพลิงแบบมือถือชนิดบรรจุผงเคมีแห้ง (Dry Chemical) สำหรับฉีดดับเพลิงประเภท A B และ C ภายในบรรจุผงเคมีแห้ง และก๊าซไนโตรเจน ควรมีการตรวจสอบสภาพ

ทุกๆ 6 เดือน เช่น การจับตัวของผงเคมี การรั่วไหลของแก๊สคันบีบ การอุดตันของปลายหัวฉีด การผุกร่อนของถัง

5.2 ขนาดและการติดตั้งเครื่องดับเพลิงชนิด A

การติดตั้งเครื่องดับเพลิงแบบมือถือ ให้ติดตั้งชนิดของเครื่อง (1 เอ–40 เอ) ตามพื้นที่กำหนดในตารางงผนวกที่ 2จ. แต่หากใช้ชนิดที่ต่ำกว่าความสามารถในการดับเพลิงตามพื้นที่ที่กำหนด ให้เพิ่มจำนวนเครื่องดับเพลิงชนิดนั้นให้ได้สัดส่วนกับพื้นที่ที่กำหนด

ในการคำนวณใช้เครื่องดับเพลิงตามสัดส่วนพื้นที่ของสถานที่กำหนด หากมีเศษของการคำนวณพื้นที่เหลือ ให้นับเป็นพื้นที่เต็มส่วน ที่ต้องเพิ่มจำนวนเครื่องดับเพลิงขึ้นอีก หนึ่งเครื่อง ในกรณีที่ สถานที่มีพื้นที่เกินกว่าที่กำหนดไว้ในตาราง จะต้องเพิ่มเครื่องดับเพลิง โดยคำนาณตามสัดส่วนของพื้นที่ตามที่กำหนดไว้ในตารางผนวกที่ 2จ.

ตารางผนวกที่ จ2 ตารางแสดงบริเวณพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยกับชนิดของเครื่องดับเพลิง (Fire Rating)

ชนิดของเครื่องดับเพลิง (Fire Rating)	บริเวณที่สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย (ตารางเมตร)		
	อย่างเบา	อย่างปานกลาง	อย่างร้ายแรง
1 เอ	200	ไม่อนุญาตให้ใช้	ไม่อนุญาตให้ใช้
2 เอ	560	200	ไม่อนุญาตให้ใช้
3 เอ	840	420	200
4 เอ	1,050	560	370
5 เอ	1,050	840	560
10 เอ	1,050	1,050	840
20 เอ	1,050	1,050	840
40 เอ	1,050	1,050	1,050

หมายเหตุ

1. สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดจากการอัคคีภัยอย่างเบา หมายความว่าสถานที่ที่อาจเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้โดยเพลิงนั้นเกิดจากวัตถุ หรือของเหลวที่มีอยู่หรือใช้ในบริเวณนั้น ซึ่งไหม้ไฟอย่างช้า หรือมีควันน้อย หรือไม่ระเบิด

2. สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดจากการอัคคีภัยอย่างปานกลาง หมายความว่าสถานที่ที่อาจเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้โดยเพลิงนั้นเกิดจากวัตถุ หรือของเหลวที่มีอยู่หรือใช้ในบริเวณนั้น ซึ่งไหม้ไฟอย่างปานกลาง หรือมีควันปานกลาง หรือไม่มากแต่ไม่เป็นพิษ หรือไม่ระเบิด

3. สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดจากการอัคคีภัยอย่างร้ายแรง หมายความว่าสถานที่ที่อาจเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้โดยเพลิงนั้นเกิดจากวัตถุ หรือของเหลวที่มีอยู่หรือใช้ในบริเวณนั้น ซึ่งไหม้ไฟอย่างรวดเร็ว หรือมีควันเป็นพิษ หรือระเบิดได้

5.3 ขนาดและการติดตั้งเครื่องดับเพลิงชนิด B

เครื่องดับเพลิงแบบมือถือชนิดที่ใช้ดับเพลิง ประเภท B ในสถานที่ตามสภาพเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยตามที่กำหนดในตารางผนวกที่ จ3

ตารางผนวกที่ จ3 ตารางแสดงสัดส่วนระยะการติดตั้งจากวัสดุที่ก่อให้เกิดเพลิงไหม้ เชื้อเพลิงประเภท บี

สถานที่ซึ่งมีสภาพเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย	ชนิดของเครื่องดับเพลิง	ระยะห่างจากวัสดุที่ก่อให้เกิดเพลิงประเภท บี
อย่างเบา	5 บี	9 เมตร
	10 บี	15 เมตร
อย่างปานกลาง	10 บี	9 เมตร
	20 บี	15 เมตร
อย่างร้ายแรง	20 บี	9 เมตร
	40 บี	15 เมตร

6. วิธีใช้เครื่องดับเพลิง

1. P (PULL)	ดึงสลักออกจากคันบีบ (Pull the Pin.)
2. A (AIM)	จับหัวฉีด เล็งไปที่ฐานของไฟ (Aim the extinguisher nozzle at the base of the flames.)
3. S (SQUEEZE)	บีบที่คันบีบ เข้าด้านเหนือลม (Squeeze trigger while holding the extinguisher upright)
4. S (SWEEP)	ส่ายหัวฉีดไปมา ให้ปกคลุมพื้นที่ที่เกิดเพลิงไหม้ (Sweep the extinguisher from side to side, covering the area of the fire with the extinguishing agent.)

7. ระบบน้ำดับเพลิง

7.1 ปั๊มน้ำดับเพลิง (Fire pump)

ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการต่างๆ มีความจำดปีนอย่างยิ่งที่จะต้องมีปั๊มน้ำดับเพลิงไว้สำหรับปั๊มน้ำจากน้ำสำรองที่มีอยู่ เพื่อควบคุมและดับเพลิงที่เกิดขึ้นมิให้ขยายลุกลาม ซึ่งอาจเป็นปั๊มน้ำดับเพลิงที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังจะทำให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อระบบไฟฟ้าถูกตัดลง ปั๊มน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน UL จะมีอยู่หลายขนาด เช่น 500, 700, และ 1,200 GPM ความดันใช้งาน 100-120 PSI (7-15 bar) การใช้งานควรกำหนดตารางเวลาการบำรุงรักษาและการกำหนดผู้ที่รับผิดชอบในการตรวจสอบอย่างเคร่งครัด เช่น ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง หากระบบดับเพลิงต่อวงจรโดยอัตโนมัติ จะต้องตรวจสอบว่าหากความดันในเส้นท่อลดลงตามที่กำหนด เช่น PSI แล้วปั๊มจะทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ

7.2 ปริมาณน้ำสำรอง (Water Supply)

ควรต้องเตรียมน้ำสำรองในการควบคุมและดับเพลิงที่เกิดขึ้นอย่างน้อยตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง “การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยของลูกจ้าง” กำหนดให้นายจ้างจัดเตรียมน้ำสำรองไว้ใช้ในการดับเพลิง ในกรณีที่ไม่มีท่อจ่ายน้ำดับเพลิงของทางราชการในบริเวณที่สถานประกอบการตั้งอยู่หรือมีแต่ปริมาณน้ำไม่เพียงพอ โดยนายจ้างต้องจัดเตรียมน้ำสำรองให้เป็นไปตามกฎหมายเป็นอย่างน้อย ตามตารางผนวกที่ จ4

ตารางผนวกที่ จ4 ตารางปริมาณน้ำสำรองต่อพื้นที่

พื้นที่	ปริมาณน้ำสำรอง
ไม่เกิน 250 ตารางเมตร	9,000 ลิตร
เกิน 250 ตารางเมตรแต่ไม่เกิน 500 ตารางเมตร	15,000 ลิตร
เกิน 500 ตารางเมตรแต่ไม่เกิน 1,000 ตารางเมตร	27,000 ลิตร
เกิน 1,000 ตารางเมตร	36,000 ลิตร

7.3 สายฉีดน้ำดับเพลิง (Fire Hose)

7.3.1 สายฉีดน้ำดับเพลิงภายในอาคาร สำหรับผู้ดูแลอาคารทั่วไป หรือผู้ที่มิได้ฝึกการใช้สายน้ำดับเพลิงสามารถใช้สายน้ำดับเพลิงชนิดนี้ได้ ซึ่งมีใช้กันอยู่ 2 แบบ

ก. แบบสายอ่อนพับแขวนอยู่ภายในตู้ (Hose rack) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1-1.5 นิ้ว ทำด้วยวัสดุ ผ้าใบหรือเส้นใยสังเคราะห์ผสมยางด้านใน มีความยาว 20 และ 30 เมตร การใช้งานมีข้อจำกัดที่จะต้องลากสายออกให้สุดก่อนน้ำถึงจะไหลออกมาได้ ฉะนั้นจึงไม่เหมาะกับบริเวณที่แคบ และมักมีรอยรั่วฉีกขาดตามรอยพับ การติดตั้งสายฉีดน้ำแบบนี้ควรจะติดตั้งเฉพาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว เท่านั้นและหัวจ่ายน้ำขนาด 2.5 นิ้ว ไว้สำหรับพนักงานดับเพลิง ใช้งานเท่านั้น

ข. แบบสายแข็งม้วนเป็นขด (Hose reel) เป็นสายที่มีอัตราการไหลของน้ำ 50 GPM ที่แรงดัน 5 บาร์ โดยมีข้อดีที่ผู้ใช้สามารถลากสายออกจากที่เก็บทำการดับเพลิงตามความยาวที่ต้องการใช้ โดยมิต้องลากสายจนสุดความยาวเหมาะสำหรับในอาคาร โรงงานแคบๆ และอาคารสำนักงาน การใช้งานบำรุงรักษาง่าย แต่มีราคาแพง

7.3.2 สายฉีดน้ำดับเพลิงภายนอกอาคาร ที่มีมาต่อกับ ท่อจ่ายน้ำ (Hydrant) แบบสวมเร็ว ใช้ในการต่อสู้กับไฟที่ลุกลามขั้นรุนแรง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขนาด 2.5 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว มีความยาว 20 หรือ 30 เมตร

7.3.3 หัวฉีดดับเพลิง โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ

ก. ชนิดฉีดน้ำเป็นลำตรง (Strength line) เป็นหัวฉีดที่ปรับไม่ได้ น้ำที่ออกมาจะเป็นลำ ซึ่งมีใช้กันอยู่ทั่วไปโดยตำรวจดับเพลิงและบรรเทาสาธารณภัย เหมาะสำหรับฉีดน้ำดับเพลิงในระยะไกลๆ เพื่อทำให้ระยะทางเป็นตัวทำให้ม่านน้ำกระจายอาจใช้แรงดันของน้ำเป็นตัวทำลายโครงสร้างอาคาร และหล่อเย็นโดยที่ทีมดับเพลิงไม่ต้องเข้าใกล้เพลิงมาก แต่ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่แคบๆ เช่น ในอาคารโรงงานแคบๆ และจะทำให้เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว เช่น น้ำมัน สารละลายต่างๆ กระจายเป็นวงกว้างทำให้เกิดเพลิงลุกลาม

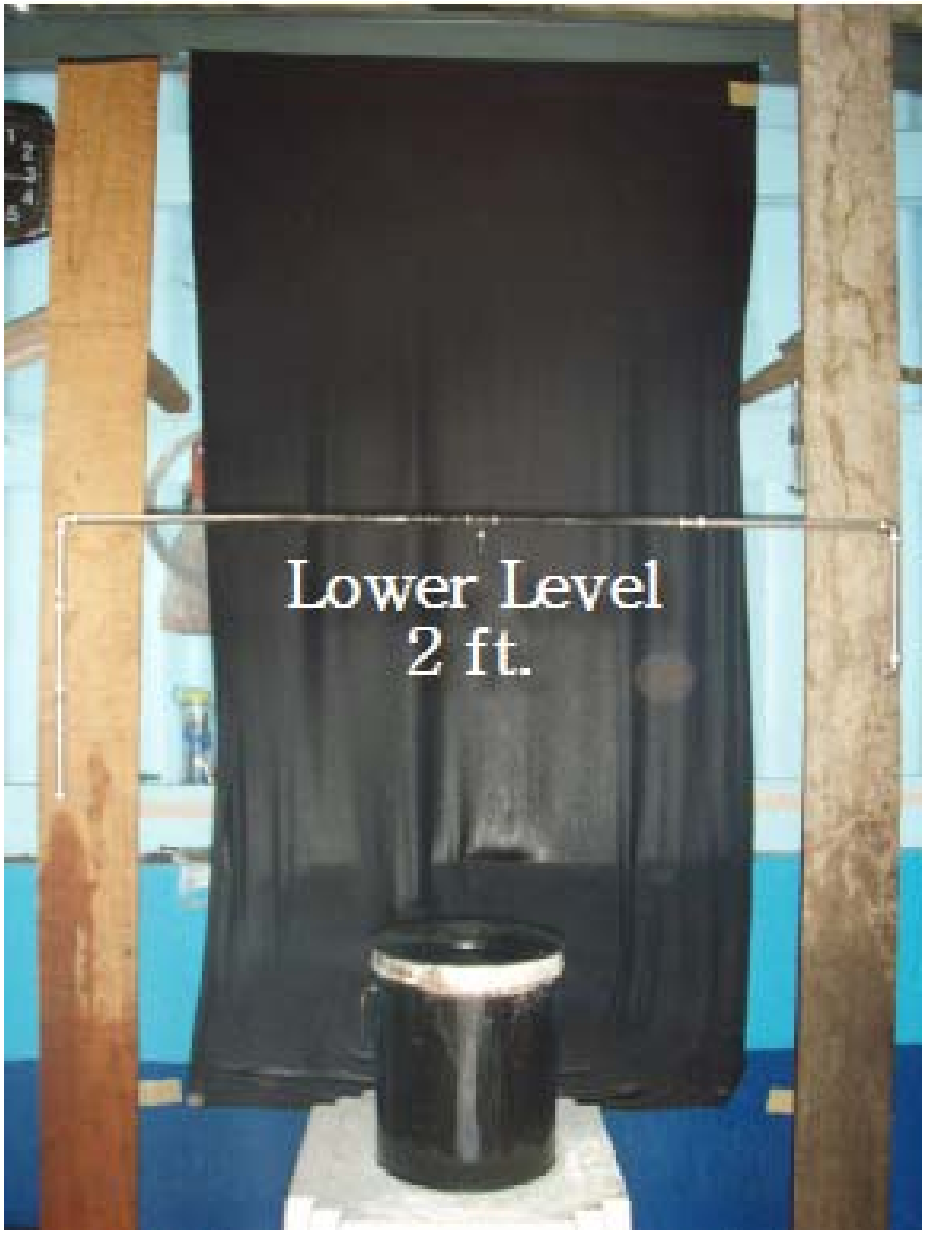
ข. ชนิดฉีดน้ำชนิดปรับเป็นฝอยได้ (Adjustable Gallonage Fog Nozzle) เป็นหัวฉีดน้ำที่สามารถปรับน้ำให้เป็นลำหรือเป็นฝอย โดยมีรัศมีตั้งแต่ 0-120 องศา เพื่อใช้ในการหล่อเย็นหรือนำทีมดับเพลิงเข้าไปโดยอาศัยฉากน้ำ เป็นตัวไล่ไอของสารให้เจือจาง และกันรังสีความร้อน เปลวไฟ เพื่อเข้าปิดวาวล์ดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งหัวฉีดน้ำนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างมาก

ภาคผนวก ฉ

การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

1. ตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีดหมอกน้ำ ในการทดลอง

1.1 หัวฉีดหมอกน้ำ ระดับต่ำสุด (สูงจากพื้นผิวของเชื้อเพลิง 2 ฟุต)



ภาพผนวกที่ ฉ1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด ระดับล่าง

1.2 หัวฉีดหมอกน้ำ ระดับกลาง สูงจากพื้นผิวของเชื้อเพลิง 3 ฟุต)

ภาพผนวกที่ ฉ2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด ระดับกลาง

1.3 หัวฉีดหมอกน้ำ ระดับบนสุด สูงจากพื้นผิวของเชื้อเพลิง 4 ฟุต)

ภาพผนวกที่ ฉ3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวฉีด ระดับบน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายฉานฉลาด บุนนาค
วัน เดือน ปี ที่เกิด	6 มกราคม 2515
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลชลบุรี จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	หัวหน้าแผนกบริการสนามบินดอนเมือง
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด(มหาชน) 171/2 หมู่ 10 ถ.วิภาวดีรังสิต แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด(มหาชน)