



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

วิศวกรรมศาสตร์

สาขา

คณะ

เรื่อง การวิจัยและพัฒนาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง
ของหม้อแปลง

Research and Development of Nitrogen Power Source for Transformer
Water Spray System

นามผู้วิจัย นายอดุลรัตน์ เรืองศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ประกอบ สุวัฒนาวรรณ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงห์สีเงิน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง
ของหม้อแปลง

Research and Development of Nitrogen Power Source for Transformer
Water Spray System

โดย

นายอดุลรัตน์ เรืองศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อดุลรัตน์ เรื่องศรี 2557: การวิจัยและพัฒนาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับ
ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ประกอบ สุวัฒนวรรณ, Ph.D.
144 หน้า

การเกิดเพลิงไหม้ที่หม้อแปลงไฟฟ้าทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง เนื่องจากหม้อแปลง
ไฟฟ้าจะมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ภายในซึ่งใช้ในการระบายความร้อนของขดลวดไฟฟ้า ระบบ
ดับเพลิงแบบ water spray เป็นระบบดับเพลิงประเภทหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการควบคุมเพลิง
ไหม้ของหม้อแปลงไฟฟ้า จากการติดตั้งและใช้งานระบบดับเพลิงแบบ water spray ปัญหาที่พบคือ
มีความบกพร่องในการใช้งานเกิดขึ้นบ่อยครั้ง โดยสาเหตุหลักมาจากอัตราการบกพร่องที่สูงของ air
compressor เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของระบบ และต้องการการดูแลรักษา หล่อลื่นอย่าง
ต่อเนื่อง งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวคิดในการที่จะศึกษาและวิจัยที่จะประยุกต์นำเอาระบบต้นกำลังแบบ
ก๊าซไนโตรเจน มาใช้เป็นระบบต้นกำลังในระบบดับเพลิงแบบ water spray เพื่อลดปัญหาการเกิด
fault และเพิ่ม reliability ให้กับระบบ ได้มีการนำเสนอแนวทางการออกแบบระบบท่อน้ำและ
หัวฉีดโดยการใช้ spray pattern และ Hazen-Williams formula โดยมีผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบ
ของความดันขั้นต่ำและอัตราการไหลของน้ำดับเพลิง จากนั้นหลักการวิเคราะห์ ideal gas ได้ถูก
นำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความดันขั้นต่ำในการทำงานของระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจน
ตลอดจนการวิเคราะห์หาจำนวนของถังก๊าซไนโตรเจน ที่เหมาะสมในการทำงาน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Adulrat Ruangsri 2014: Research and Development of Nitrogen Power Source for Transformer Water Spray System. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Faculty of Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Prakob Surawattanawan, Ph.D. 144 pages.

The electrical transformer can be seriously damaged by fire because it contains oil within the transformer case to cool its electric coils. Water spray is one of effective ways for fire suppression in the transformer. One problem in the installation and utilization of the water spray system is the faults from air compressor which is the moving part component and required regularly maintenance. This research work aims to study how to apply the nitrogen power source in order to solve this problem. The design of water piping is performed by using the spray pattern and Hazen-Williams formula. The results of the design are minimum pressure requirement and water flow rate. Ideal gas law is applied to evaluate the minimum pressure obtained from the nitrogen power source and a number of nitrogen tank required.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___ / ___ / ___

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนาวรรณประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ที่ให้ความอนุเคราะห์อย่างยิ่งในการอบรมสั่งสอน ให้ปรึกษาแก้ไขปัญหา อีกทั้งยังให้
คำแนะนำแนวทางในการดำเนินงานจนวิทยานิพนธ์นี้แล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์ อีกทั้งขอขอบพระคุณ
อาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้ที่มีค่ายิ่ง อันจะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณบิดา และครอบครัว ที่ได้อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูและให้การสนับสนุน รวมถึง
มอบกำลังใจให้เสมอมา จนทำให้การเรียนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ การไฟฟ้านครหลวงที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับสถานที่และข้อมูลที่สำคัญ
ในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณศูนย์เทคโนโลยีความปลอดภัยสำหรับอาคารและโรงงาน
อุตสาหกรรมรวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ในการช่วยเหลือให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ สนับสนุน
ในการทำวิจัยครั้งนี้เสมอ รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้เอ่ยถึงในที่นี้ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัย
ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

อดุลรัตน์ เรืองศรี
มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	88
สรุปและข้อเสนอแนะ	116
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	119
ภาคผนวก	121
ภาคผนวก ก แบบแปลน	122
ภาคผนวก ข คู่มือระบบก๊าซไนโตรเจน	126
ภาคผนวก ค งบประมาณ	141
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	144

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดถังเก็บน้ำดับเพลิงและเวลาที่ระบบสามารถฉีดน้ำได้ (ในกรณีนี้ไม่รวมอัตราการไหลที่ต้องจ่ายให้ Fire Hose Cabinet)	26
2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดถังเก็บน้ำดับเพลิงและเวลาที่ระบบสามารถฉีดน้ำได้ (ในกรณีนี้ได้รวมอัตราการไหลที่ต้องจ่ายให้ Fire Hose Cabinet)	27
3 สัญลักษณ์และค่าที่อุปกรณ์วัดทั้ง 11 ตำแหน่งบันทึกค่า	76
4 ค่าอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensors)	77
5 สรุปรูปแบบต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	88
6 ช่วงเวลาที่อัตราการไหลและความดันของน้ำ เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 15	99
7 Nitrogen Discharge Time และ Water Discharge Time	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การใช้สามเหลี่ยมของไฟ(the use of the fire triangle)	3
2 แสดงการทำงานของระบบWater Spray	5
3 แสดงการฉีดน้ำฝอยดับเพลิง	9
4 แสดงแผนภูมิการทำงานของระบบ	11
5 แสดงหัวฉีดน้ำดับเพลิงแบบกระจายน้ำฝอย (Water Spray Nozzle)	12
6 ระบบท่อน้ำดับเพลิงต้องเป็นแบบ Hot dip galvanized	13
7 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนโดยใช้หัว Sprinkler	13
8 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector)	14
9 แสดงวาล์วควบคุม (Deluge Valve)	15
10 อุปกรณ์แจ้งเตือนแบบระฆังน้ำ	15
11 แสดงอุปกรณ์สั่งงานด้วยมือแบบกลไก	16
12 แสดงแบบสั่งงานด้วยมือโดยเป็นแบบไฟฟ้า	16
13 แสดงเครื่องสูบน้ำเติมในถังเก็บน้ำความดัน	17
14 เครื่องอัดลมเพื่อเพิ่มแรงดันในถังเก็บน้ำความดัน	17
15 ถังพักน้ำสำหรับเพิ่มเข้าถังเก็บน้ำความดัน	18
16 ถังเก็บน้ำความดัน (Pressure Water Tank)	18
17 ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลง	20
18 แบบแปลนของหม้อแปลง	20
19 ลักษณะการติดตั้งหม้อแปลง	21
20 ทิศทางและมุมของการฉีดน้ำเมื่อมองจาก Top View	22
21 ทิศทางและมุมของการฉีดน้ำเมื่อมองจาก Front View	22
23 ทิศทางและมุมของการฉีดน้ำเมื่อมองจาก Side View	23
24 แนวการจัดวางท่อน้ำและหัวฉีด	25
25 ภาพแสดงลักษณะของก๊าซไนโตรเจนและน้ำ	28
26 ภาพแสดงลักษณะการเปลี่ยนสถานะของก๊าซไนโตรเจนในภาพรวม	28
27 ภาพแสดงการขับเคลื่อนน้ำในถังของก๊าซไนโตรเจน	29
28 ก๊าซไนโตรเจนที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	30
29 ภาพแสดงการ discharge ของก๊าซไนโตรเจนจากถังก๊าซเข้าสู่ถังน้ำ	31
30 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของนิยามปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ ความดันมาตรฐาน	32
31 ภาพแสดงลักษณะการเปลี่ยนสถานะของก๊าซไนโตรเจนในภาพรวม	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
32 ถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder)	38
33 ถังนำไนโตรเจน (Pilot Cylinder)	39
34 วาล์วไฟฟ้าเปิดถัง (Cylinder Valve Solenoid)	39
35 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator)	40
36 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของไนโตรเจน	41
37 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน	41
38 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ	42
39 ข้อต่อของท่อรวม (Header pipe) ที่ต้องกลึง	42
40 ข้อต่อต้องรับเข้ากับข้อต่อชุดท่อโค้งทองแดง (Loop pipe)	43
41 นำท่อร่วมขึ้นหาระยะและระดับที่จะตั้งถังเก็บไนโตรเจน	43
42 ท่อท่อโค้งทองแดง (Loop pipe) เข้ากับท่อร่วม (Header Pipe)	44
43 จัดระยะห่างระหว่างถังเก็บไนโตรเจนให้เท่ากัน	44
44 ติดตั้งท่อที่ต่อเข้ากับถังนำด้านบนลงมายังถังเก็บไนโตรเจน	45
45 เชื่อมต่อแนวท่อด้านบนกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	45
46 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator)	46
47 ให้ท่อในแนวตั้งตั้งตรง	46
48 เสริมเหล็กรองรับท่อ (Support) ให้แนวท่อบริเวณมีความแข็งแรง	47
49 ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณทั้งหมด	47
50 การยึดถังเก็บไนโตรเจนกับแท่นรองรับถังเก็บไนโตรเจนให้แน่น	48
51 ท่อท่อทองแดงเชื่อมต่อถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder)	48
52 การถอดท่อและอุปกรณ์ต่างๆ	49
53 ใช้หน้าแปลนเหล็กปิดที่รูเดิม	50
54 จดบันทึกค่าความดันและเวลา	50
55 การตรวจหารอยรั่วตามข้อต่อต่างๆ	51
56 การตรวจหารอยรั่วตามวาล์ว	51
57 การตรวจหารอยรั่วตามฝาปิด	52
58 จดบันทึกค่าความดันและเวลา	52
59 ตำแหน่งรูที่จะเจาะใหม่เรียงตามลำดับ 1 ถึง 5	53
60 วอย่างรูเจาะขนาด ½ นิ้ว	54
61 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน	54
62 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ	55

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
63	การเชื่อมต่อท่อของไนโตรเจนเข้ากับถังน้ำ	56
64	ติดตั้งบอลวาล์ว (Ball valve)	56
65	ข้อต่อตรงเกลียว	57
66	การติดตั้งตัวอุปกรณ์ส่งสัญญาณเข้ากับข้อต่อตรงเกลียว	57
67	วาล์วควบคุมสั้งงาน (Deluge Valve)	58
68	หัวกระจายน้ำฝอยแบบเดิม	59
69	หัวกระจายน้ำฝอยแบบใหม่	59
70	กราฟแสดงการกระจายน้ำฝอยมุม 120 องศา	60
71	การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ	60
72	อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน	61
73	ทำการถอดหัวกระจายน้ำฝอยของเดิมออกทั้ง 44 หัว	61
74	การติดตั้งหัวกระจายน้ำฝอยใหม่	62
75	การติดตั้งหัวกระจายน้ำฝอยใหม่	62
76	ลายท่อบูบของระบบกระจายน้ำฝอยเดิม	63
77	ระยะและระดับของฐานรองรับท่อ (Support) แต่ละตัว	63
78	การยึดฐานรองรับท่อ (Support) เข้ากับผนัง	64
79	นำท่อที่ติดตั้งขึ้นวางเรียงยาวต่อกัน	64
80	ท่อเรียงยาวต่อกันแล้วทาสีกันสนิม	65
81	ท่อที่เชื่อมต่อกันด้านหม้อแปลงไฟฟ้า	65
82	ท่อที่เชื่อมต่อกันด้านถังน้ำดับเพลิง	66
83	ท่อที่เชื่อมต่อกับวาล์วควบคุมการสั้งงาน(Deluge Valve)	66
84	ท่อที่เชื่อมต่อกันเสร็จแล้ว	67
85	การกำหนดระยะเข้า-ออก ของอุปกรณ์สำหรับการติดตั้ง	68
86	การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ	68
87	ข้อต่อตรงเกลียว	69
88	การติดตั้งตัวอุปกรณ์ส่งสัญญาณเข้ากับข้อต่อตรงเกลียว	69
89	การติดตั้งตัวอุปกรณ์ส่งสัญญาณเข้ากับข้อต่อตรงเกลียว	70
90	วิธีการทำงานของ Data Logger	70
91	การเชื่อมต่อ Data Logger และส่วนขยายกับเครื่องคอมพิวเตอร์	71
92	แสดงหน้าจอของ Monitoring & Record Graph	72
93	แสดงหน้าจอกราฟจากค่าข้อมูลที่รับเข้ามา	72
94	แสดงคอมพิวเตอร์ PC	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
95	แสดง Data logger รุ่น AI 210	73
96	แสดงส่วนขยาย Expansion รุ่น EX 24	73
97	แสดงอุปกรณ์แปลงสัญญาณ RC 23	74
98	อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ	74
99	อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน	75
100	อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำและไนโตรเจน	76
101	Thermocouple Type-K	76
102	ไดอะแกรมแสดงตำแหน่งอุปกรณ์วัดค่า	78
103	แสดงอุปกรณ์ในตัว Datalogger	79
104	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวแปลงสัญญาณ (RC 23)	79
105	วาล์วควบคุมการสั่งงาน (Deluge Valve)	80
106	ต่อสายยางเติมน้ำเข้าถังน้ำดับเพลิง	80
107	ปั้มน้ำที่ใช้เติมน้ำเข้าถังน้ำดับเพลิง	81
108	การต่อท่อทองแดงเข้ากับหัวถังไนโตรเจนจำนวน 3 ถัง	81
109	ใช้ประแจหกเหลี่ยมขันเปิดวาล์วเช็คแรงดัน	82
110	มาตรวัดความดันเช็คแรงดันในถังจะต้องอยู่ในช่วงสีเขียว	82
111	ติตวาล์วไฟฟ้า (Solenoid Valve) เข้ากับถังสั่งฉีด (Pilot Cylinder)	83
112	ถังไนโตรเจนขนาดเล็กที่ใช้ตั้งค่าอุปกรณ์ลดแรงดัน	83
113	ต่อถังไนโตรเจนเข้ากับอุปกรณ์ลดแรงดัน	84
114	จุดขันปรับแรงดัน	84
115	ค่าแรงดันด้านออกทำการปรับตั้งค่าไปที่ 15 บาร์	85
116	ติดตั้งชุดอุปกรณ์ลดแรงดันเข้ากับระบบท่อ	85
117	หน้าจอของ Monitoring & Record Graph	86
118	ผู้ควบคุมการทำงานของระบบดับเพลิง	87
119	ความดันก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ Pressure Regulator (NP1) (การทดลองที่ 1)	89
120	ความดันก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ Pressure Regulator	90
121	ความดันก๊าซไนโตรเจนที่ทางออกของ Pressure Regulator	92
122	ความดันภายในถังน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งด้านบน	92
123	อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน	93
124	อัตราการไหลของน้ำดับเพลิง	94
125	ความดันภายในถังน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งด้านล่าง	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
126	ความดันน้ำที่ท่อเมนก่อนเข้าหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง	96
127	อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ Pressure Regulator (NT1)	97
128	อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ทางออกของ Pressure Regulator (NT2)	97
129	อุณหภูมิที่ผิวถัง Nitrogen Storage Tank (NT3)	98
130	อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ขยายตัวภายในถัง Fire Water Tank (WT4)	98
131	ปริมาณน้ำภายในถัง Fire Water Tank ที่จ่ายให้กับระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง	100
132	Nitrogen Discharge Time และ Water Discharge Time เมื่อแปรผันจำนวนถังก๊าซไนโตรเจน	101
133	การรั่วของไนโตรเจนที่บริเวณท่อร่วม	103
134	จุดเชื่อมต่อท่อทองแดงในสภาพปกติ	104
135	จุดเชื่อมต่อท่อทองแดงในสภาพเสียหาย	104
136	วาล์วของ Safety Vent ที่เกิดการเสียหาย	105
137	ก๊าซไนโตรเจนที่รั่วบริเวณ Safety Vent	105
138	ก๊าซไนโตรเจนที่รั่วบริเวณหน้าแปลน	106
139	ลิ้นวาล์วของ Regulator ที่เสียรูป	106
140	การกระจายตัวของน้ำที่หัว Nozzle ไม่สม่ำเสมอ	107
141	วาล์วสำหรับทดสอบการรั่วที่ถูกต้องติดตั้งที่ท่อร่วม	108
142	วาล์วและท่อที่ต่อกับถังไนโตรเจนสำหรับทดสอบการรั่ว	108
143	ถังไนโตรเจนสำหรับทดสอบการรั่วกับวาล์วทดสอบ	109
144	เปิดไนโตรเจนเข้าท่อร่วมให้ได้ความดัน 100 บาร์	109
145	เทน้ำยาล้างจานผสมน้ำตรวจตามจุดเชื่อมต่อ	110
146	สังเกตจุดที่รั่วจะมีฟองอากาศออกมา	110
147	ถังไนโตรเจนที่ใช้ทดสอบการรั่วของท่อทองแดง	111
148	จุดเชื่อมต่อท่อทองแดงกับสายยางทดสอบ	111
149	เทน้ำยาล้างจานที่จุดเชื่อมต่อท่อทองแดง	112
150	สังเกตฟองอากาศที่ออกมาและทำการแก้ไข	112
151	Safety Vent หรือ Gas Vent ที่เปลี่ยนใหม่	113
152	ปะเก็นเหล็ก	113
153	หน้าแปลนที่เพิ่มรูยึด	114
154	ตำแหน่งที่เปิดเอาลิ้นวาล์วมาตรวจสอบ	114
155	ไดอะแกรมระบบต้นกำลังแบบไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง	117

การวิจัยและพัฒนาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอย ดับเพลิงของหม้อแปลง

Research and Development of Nitrogen Power Source for Transformer Water Spray System

คำนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าถือเป็นอุปกรณ์หลักในการส่งกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ในโรงงาน หากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักได้ทันที อุบัติเหตุไฟไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าอาจมีไม่บ่อยครั้งนัก แต่ผลกระทบที่ตามมามักรุนแรง อุบัติภัยที่เกิดขึ้นจะทำลายทุกอย่างอย่างรวดเร็ว เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นจะทำให้อุปกรณ์และโครงสร้างอื่นๆ ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงได้รับความเสียหายและอาจทำให้ไม่สามารถใช้งานได้อีกในระยะยาว หม้อแปลงไฟฟ้าต้องการระบบดับเพลิง เนื่องจากตัวหม้อแปลงเองมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำมันอยู่ภายใน เพื่อใช้ในการระบายความร้อนของขดลวดไฟฟ้า น้ำมันระบายความร้อนจะถูกดึงความร้อนออกจากระบบโดยใช้พัดลมดึงลมผ่านส่วนระบายความร้อนของหม้อแปลง (radiator) น้ำมันที่ใช้ในหม้อแปลงเป็น mineral oil ที่มีจุด flash point ประมาณ 150 องศาเซลเซียส สภาวะของการเกิดฟ้าผ่า การชำรุดสึกหรอของซิลหรือขดลวด สามารถทำให้เกิดการรั่วของน้ำมัน จากหม้อแปลงไปสู่บริเวณที่มีความร้อนสูง ส่งผลให้เกิดการลุกไหม้ ระบบดับเพลิงสำหรับหม้อแปลงที่มีการใช้งานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ระบบดับเพลิงแบบกระจายน้ำฝอย (water spray system) และระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ (water mist system) ซึ่งระบบดับเพลิงแบบ water spray แสดงในภาพที่ 1 เป็นระบบดับเพลิงที่เหมาะสมสำหรับสภาพภายนอกอาคาร (outdoor condition) ที่จะสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากเหตุเพลิงไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าได้ แต่จะต้องมีการออกแบบ การติดตั้ง ควบคุมการทำงาน บำรุงรักษา และทดสอบอย่างเหมาะสมเท่านั้น ระบบดับเพลิงแบบ water spray นั้นใช้ air compressor เป็นระบบต้นกำลังในการสร้างแรงดันในระบบดับเพลิง จากการติดตั้งและใช้งานระบบดับเพลิงแบบ water spray ปัญหาที่พบคือมีความบกพร่องในการใช้งานเกิดขึ้นบ่อยครั้ง โดยสาเหตุหลักมาจากอัตราการบกพร่องที่สูงของ air compressor เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของระบบ และต้องการการดูแลรักษา หมอ้ออื่นอย่างต่อเนื่อง คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการที่จะศึกษาและวิจัยที่จะประยุกต์นำเอาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจน มาใช้เป็นระบบต้นกำลังในระบบดับเพลิงแบบ water spray ดังแสดงในภาพที่ 2 เพื่อลดปัญหาการเกิด fault และเพิ่ม reliability ให้กับระบบ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำระบบต้นกำเนิดแบบก๊าซไนโตรเจนมาแทนระบบต้นกำเนิดแบบอัด
2. เพื่อศึกษาและคำนวณปริมาณของก๊าซไนโตรเจนที่ใช้สำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงหม้อแปลง
3. เพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

สมมติฐาน

1. ใช้ก๊าซไนโตรเจนที่มีใช้ทั่วไปในงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นต้นกำเนิด แทนระบบต้นกำเนิดแบบอัดอากาศแบบเดิม ในระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงหม้อแปลง
2. ปริมาณของก๊าซไนโตรเจนและจำนวนถังที่ใช้ทดแทนระบบต้นกำเนิดแบบอัดจะพอเพียงสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงหม้อแปลง
3. ปรับปรุงการทำงานของระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงหม้อแปลงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีการเกิดเพลิงไหม้

การที่จะเกิดไฟขึ้นได้นั้น ต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

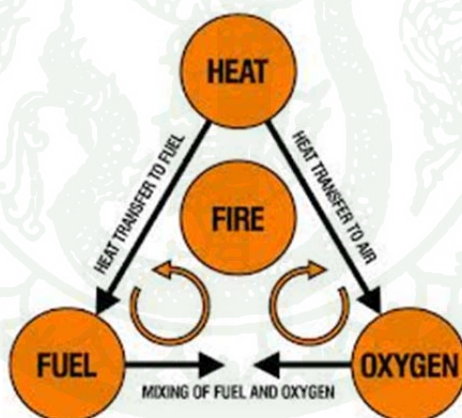
เชื้อเพลิง (fuel) ซึ่งจะอยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส

ออกซิเจน (oxygen) ซึ่งจะมีอยู่ในอากาศประมาณ 21% โดยปริมาณ

ความร้อน (heat) พอเพียงที่จะติดไฟได้

เมื่อมีองค์ประกอบทั้ง 3 ครบแล้วไฟจะเกิดลุกไหม้ขึ้นและเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่

การใช้สามเหลี่ยมของไฟ(the use of the fire triangle)



ภาพที่ 1 การใช้สามเหลี่ยมของไฟ(the use of the fire triangle)

สามเหลี่ยมของไฟแสดงให้เห็นว่าไฟจะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง คือเชื้อเพลิง(ในรูปแบบของไอระเหย) อากาศ(ออกซิเจน) และ ความร้อน (ถึงอุณหภูมิติดไฟ)และการที่จะดับไฟนั้น ก็ต้องเอาอย่างใดอย่างหนึ่งออกไปดังนั้นองค์ประกอบในการเผาไหม้มีอยู่ 4 องค์ประกอบคือ

เชื้อเพลิง (Fuel)คือ วัสดุใดๆก็ตามที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วในการเผาไหม้ เช่น ก๊าซ ไม้กระดาช น้ำมัน โลหะ พลาสติก เป็นต้นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซจะสามารถลุกไหม้ไฟได้แต่เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะของแข็งและของเหลวจะไม่สามารถลุกไหม้ไฟได้ถ้าโมเลกุลที่ผิวของเชื้อเพลิงไม่อยู่ในสภาพที่เป็นก๊าซการที่โมเลกุลของของแข็งหรือของเหลวนั้นจะสามารถแปรสภาพ

กลายเป็นก๊าซได้นั้นจะต้องอาศัยความร้อนที่แตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดความแตกต่างของลักษณะการติดไฟของเชื้อเพลิงดังกล่าวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 4 ประการดังนี้

1. ความสามารถในการติดไฟของสาร (Flamability Limits) เป็นปริมาณไอของสารที่เป็นเชื้อเพลิงในอากาศที่มีคุณสมบัติซึ่งพร้อมจะติดไฟได้ในการเผาไหม้นั้นปริมาณไอเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศนั้นจะต้องมีปริมาณพอเหมาะจึงจะติดไฟได้โดยปริมาณต่ำสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็น % ในอากาศ ซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ ค่าต่ำสุดของไอเชื้อเพลิง (Lower Flammable Limit) ” และปริมาณสูงสุดของไอเชื้อเพลิงที่เป็น % ในอากาศซึ่งสามารถจุดติดไฟได้เรียกว่า “ ค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิง (Upper Flammable Limit) ” ซึ่งสารเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงแตกต่างกันไป

2. จุดวาบไฟ (Flash Point) คืออุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำให้เชื้อเพลิงคายไอออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมถึงจุดที่มีค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิงเมื่อมีประกายไฟก็จะเกิดการติดไฟเป็นไฟวาบขึ้นและดับ

3. จุดติดไฟ (Fire Point) คืออุณหภูมิของสารที่เป็นเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนถึงจุดที่จะติดไฟได้แต่การติดไฟนั้นจะต้องต่อเนื่องกันไป โดยปกติความร้อนของ Fire Point จะสูงกว่า Flash Point ประมาณ 7 องศาเซลเซียส

4. ความหนาแน่นไอ (Vapor Density) คืออัตราส่วนของน้ำหนักของสารเคมีในสถานะก๊าซต่อน้ำหนักของอากาศเมื่อมีปริมาณเท่ากันความหนาแน่นไอใช้เป็นสิ่งบ่งบอกให้ทราบว่าก๊าซนั้นจะหนักหรือเบากว่าอากาศซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมอัคคีภัย

ออกซิเจน (Oxygen) อากาศที่อยู่รอบ ๆ ตัวเรานั้นมีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ประมาณ 21 % แต่การเผาไหม้แต่ละครั้งนั้นจะต้องการออกซิเจนประมาณ 16 % เท่านั้นดังนั้นจะเห็นว่าเชื้อเพลิงทุกชนิดที่อยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรานั้นจะถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจนซึ่งมีปริมาณเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ยิ่งถ้าปริมาณออกซิเจนยิ่งมากเชื้อเพลิงก็ยิ่งติดไฟได้ดีขึ้นและเชื้อเพลิงบางประเภทจะมีออกซิเจนในตัวเองอย่างเพียงพอที่จะทำให้ตัวเองไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนที่อยู่โดยรอบเลย

ความร้อน (Heat) ความร้อน คือพลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการคายไอออกมา

ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) หรือการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง คือกระบวนการเผาไหม้ที่เริ่มตั้งแต่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนติดไฟเมื่อเกิดไฟขึ้นหมายถึง การเกิดปฏิกิริยา กล่าวคืออะตอมจะถูกเหวี่ยงออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิงกลายเป็นอนุมูลอิสระ และอนุมูลอิสระเหล่านี้จะกลับไปอยู่ที่ฐานของไฟอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเปลวไฟ

สาเหตุของการลุกไหม้ของหม้อแปลงไฟฟ้า

การเกิดไฟลุกไหม้ที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีลำดับเหตุการณ์ขั้นตอนการเกิดไฟลุกไหม้ โดยเริ่มจากความเสื่อมสภาพ และการฉีกขาดของฉนวนที่ขดลวดแรงดันสูง ซึ่งฉนวนมีค่าความต้านทานสูงป้องกันการลัดวงจรเมื่อฉนวนเสื่อมสภาพ หรือผิดปกติทำให้เกิดกระแสลัดวงจรจากชั้นหนึ่งไปสู่อีกชั้นหนึ่งมีกระแสไหลผ่าน เป็นผลให้ฉนวนฉีกขาดการเกิดการลัดวงจรจะเกิดต่อเนื่องไปยังชั้นของขดลวดอื่นอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความต้านทานของขดลวดลดลง ถ้าระบบป้องกันกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าไม่สามารถตัดกระแสไฟฟ้าได้ทันทั่วทั้งที่ กระแสไฟฟ้าไหลเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดประกายไฟ ประกายไฟมีการความร้อนสูงทำให้น้ำมันหม้อแปลงเกิดฟองแก๊ส เกิดขึ้นภายในน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้ามีแรงดันสูงขึ้นเนื่องจากน้ำมันหม้อแปลงขยายตัวฟองแก๊ส และแรงดันที่น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าขยายตัวให้ถึงหม้อแปลงไฟฟ้าเสียรูป และเริ่มเสียหายบ่อยครั้งเกิดรอยร้าวที่มุมด้านล่างของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเกิดรอยร้าวทำให้น้ำมันรั่วที่มุมหม้อแปลงด้านล่างอาจจะไม่เกิดการลุกไหม้ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้น้ำมันหม้อแปลงขยายตัว และเกิดฟองแก๊สขึ้นเพิ่มความเครียดให้กับถังหม้อแปลงไฟฟ้ามีการเสียรูปมีรอยแตกเกิดขึ้นที่มุมด้านบน จะมีความรุนแรงแก๊สและน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าจะพ่นออก แก๊สและน้ำมันที่พ่นออกมามีความร้อนสูงสามารถจุดติดไฟได้ เมื่อแก๊สและน้ำมันหม้อแปลงได้รับออกซิเจนทำให้เกิดการลุกไหม้แบบพ่นเป็นสเปรย์



ภาพที่ 2 แสดงการทำงานของระบบ Water Spray

อันตรายของหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้าจำเป็นต้องติดตั้งระบบดับเพลิงที่เหมาะสม เนื่องจากภายในตัวของหม้อแปลงไฟฟ้ามีน้ำมันบรรจุอยู่ เพื่อทำหน้าที่ในการระบายความร้อนให้แก่ electric coil และ น้ำมันนี้จะถูกทำให้เย็นลงโดยอากาศ เมื่อน้ำมันไหลผ่านแผงระบายความร้อน ซึ่งน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง คือ น้ำมันหม้อแปลง พีทีที ไฮโวลต์ 99 (PTT Hivolt 99) ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ซึ่งมีค่า Fire Point เท่ากับ 145°C ตามการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D92 และมีค่า Flash Point เท่ากับ 140°C ตามการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2719

อันตรายจะเกิดขึ้นเมื่อหม้อแปลงเกิดการชำรุด ทำให้น้ำมันเหล่านี้รั่วไหลออกมา แล้วไปสัมผัสกับส่วนของหม้อแปลงที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งอาจจะทำให้น้ำมันลุกติดไฟ และทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าเสียหาย ผู้คนที่อยู่ใกล้เคียงได้รับอันตราย ไฟอาจจะลุกลามไปยังอาคารข้างเคียง

ของเหลวไวไฟและของเหลวติดไฟ (Flammable and combustible liquids)

เชื้อเพลิงของเหลวถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ของเหลวไวไฟ และของเหลวติดไฟ โดยเกณฑ์ในการแบ่งประเภทนี้อิงตามค่าจุดวาบไฟเป็นหลัก ถ้าเชื้อเพลิงชนิดใดมีค่าจุดวาบไฟน้อยกว่า 37.8°C (100°F) จะถูกจัดให้เป็นของเหลวไวไฟ แต่ถ้าเชื้อเพลิงใดมีค่าจุดวาบไฟเท่ากับ 37.8°C (100°F) หรือมากกว่า จะถูกจัดให้เป็นของเหลวติดไฟ โดยที่ของเหลวไวไฟจะมีโอกาสลุกติดไฟได้มากกว่าของเหลวติดไฟ

น้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในหม้อแปลงของการไฟฟ้านครหลวงมีค่าจุดวาบไฟเท่ากับ 140°C ดังนั้นจึงถูกจัดให้เป็นของเหลวติดไฟ

การคำนวณพื้นที่ผิวของหม้อแปลง

NFPA 15 ตามข้อ 7.4.4.3.1 กำหนดให้ใช้ความหนาแน่นของน้ำดับเพลิงเป็น 0.25 gpm/ft^2 หรือ 10.2 (l/min)/m^2 สำหรับแต่ละตารางพื้นที่ของปริซึมรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Prism) ของหม้อแปลงบนทุกพื้นผิวหน้าของหม้อแปลงปริซึมรูปสี่เหลี่ยมเป็นกล่องในจินตนาการสร้างขึ้นมาโดยผู้ออกแบบระบบ Water Spray ซึ่งไม่จำเป็นต้องคำนวณละเอียดถึงพื้นผิวขนาดเล็กต่างๆ ผู้ออกแบบใช้ปริซึมนี้คำนวณพื้นที่ผิวหน้าของส่วนประกอบหลักแต่ละส่วนของหม้อแปลงและเพื่อให้แน่ใจว่าความหนาแน่นของน้ำดับเพลิงต่ำสุดได้จ่ายให้กับทุกพื้นผิวหน้าแล้ว

แนวคิดพื้นฐานของปริซึมรูปสี่เหลี่ยมคือถังหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Tank) ประกอบด้วยด้านข้าง 4 ด้านและด้านบน 1 ด้าน ถ้าด้านล่างของหม้อแปลงถูกยกสูงขึ้นมาเหนือฐานรองต้องรวมพื้นที่ด้านล่างนี้เข้าไปในการคำนวณและต้องจัดให้มี Water Spray ด้วย

อาจมีคอยล์ร้อน(Radiators) หนึ่งหรือสองตัวยื่นออกมาจากตัวถังหม้อแปลงและแต่ละตัวจะมี ด้าน 4 ด้านด้านบน 1 ด้านและด้านล่าง 1 ด้านด้านต่างๆเหล่านี้อาจคำนวณเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ถ้าขนาดครีบบของคอยล์ร้อนน้อยกว่า 12 นิ้ว แต่ถ้าครีบบคอยล์ร้อนมีขนาดมากกว่า 12 นิ้ว ต้องติดตั้ง Nozzle ไว้ที่แต่ละครีบบพร้อมกับคำนวณพื้นที่ผิวของแต่ละครีบบด้วยด้านล่างของคอยล์ร้อนทุกตัวต้อง ยกให้สูงเหนือระดับพื้นหินกรวดและต้องจ่ายน้ำให้บริเวณนี้ด้วย

ส่วนอื่นๆที่ยื่นออกมาจากตัวหม้อแปลงต้องคำนวณพื้นที่ผิวรวมเข้าไปด้วยเช่นตู้ควบคุมและถังรองรับการขยายตัว(Expansion Tank) แม้ว่าตู้ควบคุมจะไม่มีอันตรายเนื่องจากน้ำมัน (Oil Hazard) แต่ด้านบนของมันอาจเป็นแหล่งกักเก็บน้ำมันได้และตัวมันอาจขวางกั้น Water Spray ไม่ให้ฉีดเข้าไปถึง ตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ด้านหลังและด้านล่างได้

คุณสมบัติของน้ำ

น้ำเป็นสารดับเพลิงที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากว่ามีราคาถูก มีอยู่ทั่วไปและสามารถใช้งานได้ทันที โดยน้ำมีคุณสมบัติที่ทำให้สารเป็นสารดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

1. ที่อุณหภูมิปกติ น้ำเป็นของเหลวที่ค่อนข้างจะเสถียรภาพ การจัดเก็บจึงทำได้ง่าย
2. ที่ความดันบรรยากาศ เมื่อน้ำปริมาณ 1 ปอนด์ เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอจะดูดซับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างปริมาณ 1,100 BTU โดยถ้าพิจารณาเฉพาะช่วงที่เปลี่ยนสถานะ จะดูดซับความร้อน 970 BTU หรือที่เรียกว่า ความร้อน ของการกลายเป็นไอ ซึ่งค่าความร้อนของการกลายเป็นไอของน้ำสูงกว่าสารดับเพลิงชนิดอื่นไม่น้อยกว่า 4 เท่า
3. เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้น 1,700 เท่า ที่ความดัน - บรรยากาศ ซึ่งปริมาตรที่เพิ่มขึ้นนี้จะผลักดันให้อากาศออกห่างจากไฟมากขึ้น ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นในการเผาไหม้ลดลง
4. ไม่มีพิษ ไม่ส่งผลอันตรายใด ๆ ทั้งสิ้นต่อผู้คน

อย่างไรก็ตามน้ำไม่ใช่สารดับเพลิงที่สมบูรณ์แบบ ยังมีข้อเสีย ได้แก่

1. น้ำจะแข็งที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีปัญหาในการใช้งานในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ
2. น้ำนำไฟฟ้า อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้คนได้
3. น้ำไม่เหมาะกับการดับเพลิงที่เกิดจากของเหลวไวไฟบางชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อของเหลวไวไฟนั้นไม่ละลายในน้ำและลอยอยู่บนน้ำ

4. น้ำไม่เหมาะกับการดับไฟที่เกิดจากโลหะหรือสารเคมีบางชนิด เนื่องจากอาจทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้

การใช้น้ำเป็นสารดับเพลิง

การใช้น้ำเป็นสารดับเพลิงของระบบป้องกันแบบWater Spray มีรายละเอียดดังนี้

1. การลดอุณหภูมิพื้นผิวหน้าลง(Surface Cooling) การฉีดน้ำเข้าไปสามารถทำให้ห้องเพลิงที่ติดไฟได้มีอุณหภูมิลดลงแต่ของเพลิงที่ติดไฟได้นั้นต้องมีจุดวาบไฟมากกว่า 52 °C (125°F) การลดอุณหภูมิพื้นผิวหน้าลงเป็นการกำจัดแหล่งจุดไฟ (Ignition Source) ออกไปหรือเป็นการลดอุณหภูมิลงจนทำให้การลุกลามของเปลวไฟไม่สามารถเกิดขึ้นได้
2. กระบวนการความร้อนเปลี่ยนหยดน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ(Steam smothering) คือกลไกหนึ่งของการทำให้เปลวไฟเย็นตัวลงโดยการฉีดไอน้ำเข้าไปในเพลิงที่ลุกไหม้ความร้อนจะทำให้น้ำกลายเป็นไอขบวนการระเหยกลายเป็นไอ(Vaporization) ไอน้ำ(Steam) จะดูดซับพลังงานจากเพลิงไหม้เอาไว้ 9.72 กิโลแคลอรีต่อโมลของความร้อนจากเพลิงไหม้สมมติว่าของเพลิงที่ติดไฟได้นั้นเดือดอุณหภูมิสูงกว่า 100°C (212°F) ซึ่งเป็นจุดเดือดของน้ำ
3. การเจือจาง(Dilution) ถ้าของเพลิงที่ติดไฟได้สามารถละลายรวมกับน้ำได้เมื่อเจือจางน้ำเข้าไปน้ำจะไปผสมรวมกับของเพลิงและทำให้ของเพลิงที่ติดไฟได้นั้นเจือจางลง
4. เปลี่ยนทิศทางไหม้(Redirection) น้ำเมื่ออยู่ภายใต้ความดันจะสามารถชะหรือกวาด(Sweep) น้ำมันที่เกาะอยู่ตามพื้นผิวหม้อแปลงให้หลุดออกไปยังพื้นบริเวณอื่นซึ่งมีอันตรายน้อยกว่าหม้อแปลงได้เช่นหลุมระบายน้ำ (Drainage Pit)
5. การเคลือบ(Coating) การใช้Water Spray จะเกิดแผ่นฟิล์มบางๆเคลือบไว้ที่ผิวหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งผิวแนวตั้งและแนวนอน
6. การระบายไอที่สูดด้านนอก(Vapor exhaust) ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบในร่ม(indoor) หรือในพื้นที่มีหลังคาปิดคลุมควรติดตั้งระบบระบายอากาศหรือจำเป็นต้องลดความเข้มข้นของไอลงให้เหลือต่ำกว่า 25% ของขีดจำกัดล่างของการติดไฟ(Lower Flammable Limit)ของไอกรณีเป็นหม้อแปลงแบบกลางแจ้งไอเหล่านี้จะถูกระบายออกไปด้วยแรงลม

กลไกการดับเพลิงของระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง



ภาพที่ 3 แสดงการฉีดน้ำฝอยดับเพลิง

น้ำฝอยที่กระจายออกจากระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงมีกลไกในการดับเพลิง ดังนี้

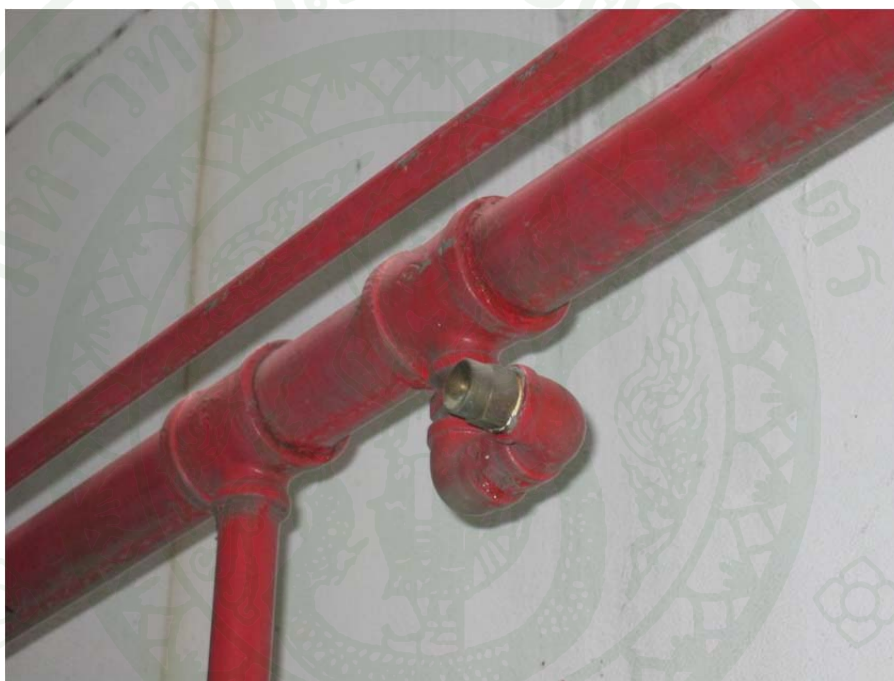
1. น้ำฝอยถูกฉีดออกมาจากหัวฉีด โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อให้ น้ำไปปกคลุมพื้นผิวทั้งหมดของตัวหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำมันและลดความร้อนย้อนกลับจากเปลวไฟมายังน้ำมันหม้อแปลง ทำให้ไอของน้ำมันที่พร้อมจะลุกติดไฟได้ลดลง จนในที่สุดสามารถลดอุณหภูมิของน้ำมันให้ต่ำกว่าจุดวาบไฟของน้ำมัน คือ 140°C ซึ่งน้ำมันจะไม่เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอที่พร้อมจะลุกติดไฟได้อีกต่อไป และน้ำฝอยที่ปกคลุมพื้นผิวที่เป็นโลหะของหม้อแปลงจะช่วยลดอุณหภูมิของพื้นผิวโลหะ ช่วยไม่ให้เกิดไฟลุกลามซ้ำขึ้นอีก
2. น้ำบางส่วนที่ปกคลุมเชื้อเพลิงอยู่และน้ำบางส่วนที่สัมผัสกับเปลวไฟจะระเหิดกลายเป็นน้ำและขยายตัว 1,700 เท่า โดยปริมาตร ทำให้ออกซิเจนในบริเวณนั้นเจือจางลง และไอน้ำที่เกิดขึ้นยังไปขัดขวางการแผ่รังสีความร้อนจากไฟด้วย
3. ถ้าน้ำมันที่ใช้สามารถละลายผสมกับน้ำได้แล้ว น้ำจะทำให้ น้ำมันเจือจางลงและไอที่พร้อมจะลุกติดไฟได้จะลดลง
4. น้ำฝอยที่ถูกฉีดออกมาจะมีแรงดันสูงทำให้สามารถผลักให้น้ำมันที่ลุกติดไฟอยู่ที่ผิวของหม้อแปลงไหลออกจากผิวหม้อแปลงไปยังบ่อระบายน้ำ (Drainage pit) ได้

ระบบการกระจายน้ำฝอยดับเพลิง (Water Spray Systems)

1. ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงคล้ายคลึงกับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบ Deluge แต่ใช้หัวฉีดต่างชนิดกัน ซึ่งจะทำให้รูปแบบในการกระจายตัวของน้ำแตกต่างกัน
2. หัวฉีดที่ใช้ในระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงนั้นจะเป็นหัวแบบเปิด ดังนั้นน้ำจะไหลออกมาจากทุกหัวฉีดถ้าวาล์วควบคุมเปิด ซึ่งจะใช้ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงในกรณีที่ต้องการน้ำปริมาณมากในการดับเพลิง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น
3. การสั่งการให้ระบบทำงาน สามารถสั่งการได้ทั้งแบบมือหรือแบบอัตโนมัติ โดยแบบอัตโนมัติจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อส่งสัญญาณให้ตู้ควบคุมสั่งการ

หัวฉีดน้ำฝอยดับเพลิง (Water Spray Nozzle)

หัวฉีดน้ำฝอยดับเพลิงในระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิงนั้นจะมีลักษณะรูฉีดน้ำภายในหัวฉีดที่แตกต่างจากหัวฉีดหมอกน้ำดับเพลิง กล่าวคือ รูฉีดน้ำภายในจะมีขนาดใหญ่กว่าและสามารถล้างหรือทำความสะอาดภายในรูฉีดน้ำได้ ดังนั้น ในกรณีที่ไม่สามารถทำความสะอาดได้จึงจะทำการถอดเปลี่ยนใหม่ หัวฉีดน้ำฝอยดับเพลิงจะมีการติดตั้งอยู่โดยรอบหม้อแปลงไฟฟ้าและโดยปกติจะมีจำนวนหัวฉีดมากกว่าระบบหมอกน้ำดับเพลิง



ภาพที่ 5 แสดงหัวฉีดน้ำดับเพลิงแบบกระจายน้ำฝอย (Water Spray Nozzle)

ระบบท่อน้ำดับเพลิง

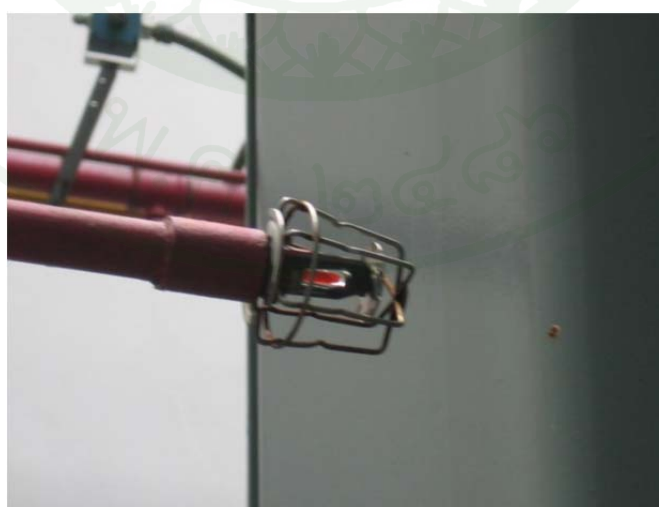
ระบบท่อน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งสำหรับระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิงนั้นจะต้องเป็นท่อเหล็กที่ไม่ก่อให้เกิดสนิมภายในเส้นท่อ ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้ท่อเหล็กดำชุบสังกะสี (Hot Dip Galvanized Steel Pipe) โดยท่อจะต้องมีความหนาขนาด Schedule 40 ตามมาตรฐาน ASTM ของสหรัฐอเมริกา อุปกรณ์ค้ำและยึดท่อต้องเป็นเหล็กชุบสังกะสีเช่นเดียวกันกับท่อด้วย โดยปกติขนาดท่อน้ำดับเพลิงในระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิงจะมีขนาดใหญ่กว่าท่อน้ำดับเพลิงของระบบหมอกน้ำดับเพลิงมาก ดังนั้นอุปกรณ์ค้ำและยึดท่อจึงมีขนาดใหญ่ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 6 ระบบท่อน้ำดับเพลิงต้องเป็นแบบ Hot dip galvanized

หัว Sprinkler

หัว Sprinkler ที่ติดตั้งในระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิงนี้ ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ เพื่อใช้ในการฉีดน้ำดับเพลิงแต่อย่างใด แต่หัว Sprinkler ที่ใช้ในระบบนี้เรียกว่า Pilot Sprinkler ซึ่งมีหน้าที่เป็นเสมือนอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ซึ่งโดยปกติมีอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง 57 องศาเซลเซียส ถึง 68 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อเกิดเพลิงไหม้ในพื้นที่และทำให้มีความร้อนสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่เลือกจะทำให้หัว Sprinkler แตกและน้ำที่อยู่ภายในเส้นท่อจะไหลออกทำให้ความดันในเส้นท่อนี้ลดลง ซึ่งจะทำให้วาล์วควบคุม (Deluge Valve) ทำงานและทำให้น้ำไหลผ่านไปยังหัวฉีดน้ำฝอยดับเพลิง



ภาพที่ 7 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนโดยใช้หัว Sprinkler

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector)

อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนที่ใช้ในระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิงนั้นทำหน้าที่ในการตรวจจับความร้อนของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่หม้อแปลงไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจะส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุม เพื่อสั่งงานให้วาล์วควบคุมเปิด ซึ่งจะทำให้ระบบทำงานและฉีดน้ำดับเพลิงภายในพื้นที่หม้อแปลงไฟฟ้า



ภาพที่ 8 อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector)

วาล์วควบคุมการสั่งงาน (Deluge Valve)

วาล์วควบคุมการสั่งงานของระบบหัวกระจายน้ำฝอยน้ำดับเพลิง จะมีขนาดใหญ่กว่าวาล์วควบคุมของระบบหมอน้ำดับเพลิง การติดตั้งวาล์วควบคุมโดยทั่วไปจะมีการติดตั้งมาตรวัดความดันที่บนตัววาล์ว เพื่อทำการตรวจวัดความดันในระบบ รวมทั้งจะมีวาล์วไฟฟ้า (Solenoid Valve) เพื่อทำการเปิดระบบให้วาล์วควบคุมหลักทำงาน เมื่อวาล์วควบคุมเปิดให้ระบบทำงานจะทำให้ น้ำดับเพลิงไหลผ่านไปตามเส้นท่อดับเพลิง ซึ่งจะทำให้ระบบส่งเสียงแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงรับทราบ



ภาพที่ 9 แสดงวาล์วควบคุม (Deluge Valve)



ภาพที่ 10 อุปกรณ์แจ้งเตือนแบบระฆังน้ำ

อุปกรณ์สั่งงาน (Actuation Device)

อุปกรณ์สั่งงานให้ระบบทำงานนั้นมี 2 แบบ คือ (1) แบบสั่งงานด้วยมือโดยเป็นแบบกลไก ซึ่งใช้วิธีการเปิดบอลวาล์วขนาดเล็ก เพื่อทำให้ความดันในเส้นท่อของลดลง ซึ่งเส้นท่อที่จะต่อเชื่อมกับ วาล์วควบคุมและเมื่อความดันในเส้นท่อนี้ลดลง จะมีผลทำให้วาล์วควบคุมเปิดทำงานในทันที (2) แบบสั่งงานด้วยมือโดยเป็นแบบไฟฟ้า เมื่อมีการกดปุ่มที่อุปกรณ์สั่งงานด้วยมือแบบนี้ จะมีการส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุม เพื่อแจ้งให้ตู้ควบคุมทำการส่งสัญญาณเปิดวาล์ว ควบคุมเพื่อให้น้ำดับเพลิงไหลผ่านในทันที การสั่งงานด้วยมือทั้งสองแบบข้างต้นนี้ วาล์วควบคุมจะทำการเปิดในทันทีโดยไม่มีการหน่วงเวลาในการเปิดวาล์ว



ภาพที่ 11 แสดงอุปกรณ์สั่งงานด้วยมือแบบกลไก



ภาพที่ 12 แสดงแบบสั่งงานด้วยมือโดยเป็นแบบไฟฟ้า

เครื่องสูบน้ำ (Water Filling Pump)

เครื่องสูบน้ำในระบบนี้มีหน้าที่ในการเติมน้ำดับเพลิงเข้าไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำความดัน โดยเมื่อระดับน้ำดับเพลิงภายในถังเก็บมีระดับต่ำกว่าที่กำหนดไว้จะทำให้เครื่องสูบน้ำทำงานในทันที เพื่อเติมน้ำเข้าในถังเก็บน้ำความดัน ซึ่งเครื่องสูบน้ำจะต้องมีการบำรุงรักษาและซ่อมแซมตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้เพื่อป้องกันการดำเนินงานผิดพลาดของเครื่องสูบน้ำ



ภาพที่ 13 แสดงเครื่องสูบน้ำเติมในถังเก็บน้ำความดัน

เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

เครื่องอัดอากาศมีหน้าที่ในการอัดอากาศภายในถังเก็บน้ำความดัน ในกรณีที่ความดัน ในกรณีที่ความดันอากาศภายในถังเก็บน้ำมีความดันลดลงกว่าที่กำหนด ซึ่งเครื่องอัดอากาศจะต้องมีการบำรุงรักษาและซ่อมแซมตามที่ผู้ผลิตกำหนด เพื่อป้องกันการดำเนินงานผิดพลาดของระบบ



ภาพที่ 14 เครื่องอัดลมเพื่อเพิ่มแรงดันในถังเก็บน้ำความดัน

ถังพักน้ำ

ถังพักน้ำมีการออกแบบไว้เพื่อใช้ในการเติมน้ำเข้าถังเก็บน้ำความดันโดยผ่านเครื่องสูบน้ำ ซึ่งภายในถังพักน้ำจะมีการใช้อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ (Water Level Device) เพื่อควบคุมการเติมน้ำเข้าถังเก็บภายในถังพักน้ำ ดังนั้นในกรณีที่อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำชำรุดเสียหายจะทำให้ระบบทำงานผิดพลาดได้ จึงจำเป็นต้องมีการดูแลและตรวจสอบอุปกรณ์นี้อย่างสม่ำเสมอ



ภาพที่ 15 ถังพักน้ำสำหรับเพิ่มเข้าถังเก็บน้ำความดัน

ถังเก็บน้ำความดัน

โดยปกติภายในถังเก็บน้ำความดันจะมีการบรรจุน้ำดับเพลิงไว้ในปริมาณที่กำหนดเพื่อใช้ในการดับเพลิงโดยมีการอัดอากาศเข้าไปในถัง เพื่อใช้เป็นตัวขับเคลื่อนให้น้ำดับเพลิงที่บรรจุเก็บไว้ในถังเก็บน้ำดับเพลิง สามารถส่งผ่านไปยังเส้นท่อที่เชื่อมต่อกับถังเก็บน้ำดับเพลิงได้ ในกรณีที่วาล์วควบคุมทำงาน ซึ่งจะทำให้ น้ำดับเพลิงได้ ในกรณีที่วาล์วควบคุมทำงาน ซึ่งจะทำให้ น้ำดับเพลิงไหลผ่านวาล์วควบคุมและไหลผ่านไปยังหัวฉีดน้ำฝอยดับเพลิงทุกหัวฉีด โดยถังเก็บน้ำความดันนี้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการสั่งงานในเครื่องสูบน้ำทำการเติมน้ำเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าที่กำหนดไว้ และอุปกรณ์เพื่อสั่งงานให้เครื่องอัดอากาศทำงานเมื่อความดันภายในถังต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ดังนั้นอุปกรณ์ควบคุมที่กล่าวมาทั้งสองชุดนี้จะต้องมีการตรวจสอบการทำงานอย่างสม่ำเสมอตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้



ภาพที่ 16 ถังเก็บน้ำความดัน (Pressure Water Tank)

การวิเคราะห์และออกแบบระบบ water spray

ระบบ water spray จะต้องมีการฉีดน้ำครอบคลุมพื้นผิวด้านนอกของหม้อแปลงทั้งหมด กรณีพื้นผิวด้านล่างของหม้อแปลง ที่ไม่สามารถติดตั้งหัวฉีด water spray ได้ สามารถใช้การยิงหรือฉีดน้ำเข้าไปในแนวระดับใต้พื้นของหม้อแปลงได้ปริมาณน้ำที่ใช้จะต้องไม่น้อยกว่า 0.25gpm/sq.ft ของพื้นที่ผิวด้านนอกของหม้อแปลง โดยพิจารณาพื้นที่ผิวเป็นรูปทรง rectangular prism envelope อีกทั้งถ้าหม้อแปลงนั้นๆ มีพื้นรองรับด้านล่างที่ไม่ดูดซับน้ำมัน เช่นเป็นพื้นคอนกรีต ไม่ได้เป็นกรวดหินที่ดูดซับน้ำมันได้ ก็จะต้องจัดให้มีการฉีดน้ำเพิ่มเติมอีก 0.15gpm/sq.ft ต่อพื้นที่ที่ไม่ดูดซับน้ำมันดังกล่าว

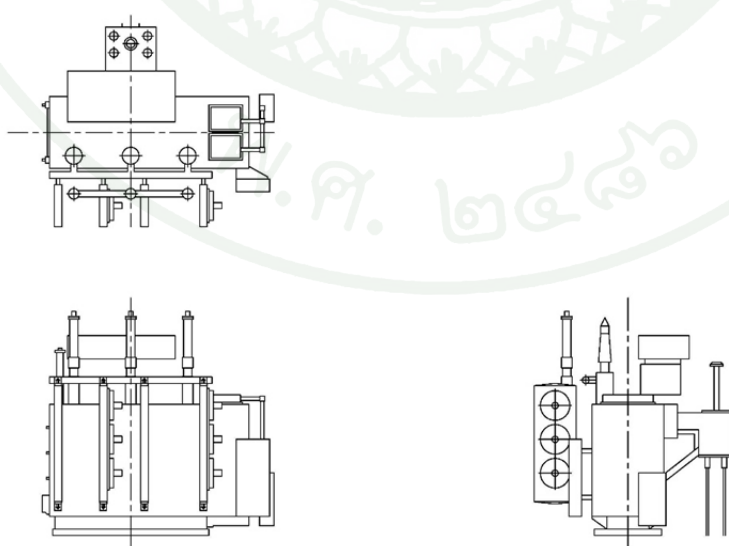
น้ำที่จัดเตรียมไว้สำหรับการดับเพลิง อาจอยู่ในรูปแบบของถังเก็บน้ำ หรือใช้ปั๊มในการสร้างความดันให้กับน้ำก็ได้ พื้นที่ผิวของหม้อแปลงที่มีระยะห่างมากกว่า 12 นิ้ว ตามแนวระดับ จะต้องมีการฉีดน้ำป้องกันการจัดเตรียมน้ำระบบการจ่ายน้ำจะต้องสามารถจ่ายน้ำดับเพลิงได้อย่างน้อยตามที่ต้องการ ออกแบบ รวมกับอีก 250gpmสำหรับสายฉีดน้ำดับเพลิง ระบบท่อจะต้องไม่เดินอยู่ด้านบนในแนวตั้งของหม้อแปลง เนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะทำให้ท่อเสียหายจากการลุกไหม้ และทำให้ระบบการส่งน้ำดับเพลิงล้มเหลวภายในระยะเวลาอันสั้น ยกเว้นในกรณีที่หัวฉีด water spray ไม่สามารถฉีดเข้าถึงพื้นผิวของหม้อแปลงได้ แต่ทั้งนี้สิ่งที่ต้องระวังและรักษาไว้ก็คือระยะห่างระหว่างแนวท่อที่ยื่นเข้าไปและระยะ clearance ทางไฟฟ้าขั้นต่ำ การจัดวางหัวฉีด จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ทำให้มีการฉีดน้ำเข้าไปที่ bushings หรือ lightning arresters

ระบบ water spray ถูกออกแบบมาสำหรับการดับไฟ และควบคุมการเผาไหม้ ดังนั้นหัวฉีดน้ำจะต้องมีขนาดและชนิดที่เหมาะสม ในการฉีดน้ำที่มีอัตราการไหล ความเร็ว ที่เพียงพอ และตำแหน่งการติดตั้งจะต้องครอบคลุมพื้นที่ผิวด้านนอกของหม้อแปลงทั้งหมดเนื่องจากหม้อแปลงมีทั้งส่วนที่มีฉนวนหุ้ม (insulated part) และส่วนที่ไม่มีฉนวนหุ้ม (uninsulated part) การจัดวางหัวฉีด water spray จะต้องสอดคล้องกับเกณฑ์ขั้นต่ำของระยะห่างระหว่างหัวฉีดและหม้อแปลง โดยอ้างอิงจาก NFPA15 การจัดวางหัวฉีดนอกจากคำนึงถึงระยะ clearance ทางไฟฟ้าขั้นต่ำ ซึ่งแปรผันตามค่า Nominal system voltage (kV) แล้ว ยังต้องมีการคำนึงถึงระยะสวิงเปิดของตู้ไฟฟ้าของหม้อแปลง ซึ่งไม่เกิดการชนกับแนวการติดตั้งของท่อน้ำอีกด้วย NFPA15 ระบุการใช้ปริมาณน้ำขั้นต่ำ 0.25 gpm/sq.ft สำหรับพื้นผิวเปิดโดยรอบของหม้อแปลง ชิ้นส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในหม้อแปลงประกอบไปด้วย ตัวถังของหม้อแปลง (transformer case) อุปกรณ์ระบายความร้อน (radiator) ถังน้ำมัน (oil tank) ตู้ควบคุม (control cabinet)



ภาพที่ 17 ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลง

หม้อแปลงชนิดน้ำมัน ติดตั้งภายนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 17 แสดงหม้อแปลง จากการคำนวณจากพื้นที่ผิวของหม้อแปลง ระบบดับเพลิงต้องการปริมาณน้ำขั้นต่ำโดยที่ยังไม่ได้คำนึงถึงแรงเสียดทาน friction loss และความสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss ทิศทางของการฉีดน้ำ และมุมการฉีดสำหรับแต่ละหัวฉีด



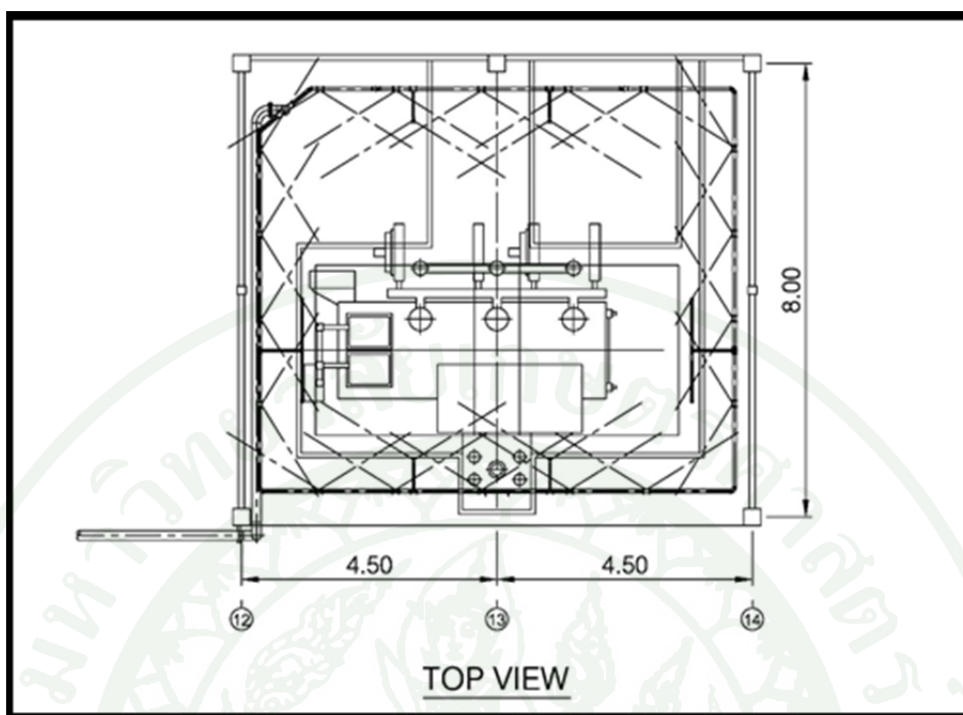
ภาพที่ 18 แบบแปลนของหม้อแปลง

จากงานวิจัยนี้ ได้ประยุกต์วิธีการเข้ากับหม้อแปลงขนาด 40 MVA ชนิดน้ำมัน ติดตั้งภายนอกอาคาร ดังแสดงในภาพที่ 18 แสดงแบบแปลนของหม้อแปลง จากการคำนวณจากพื้นที่ผิวของหม้อแปลง $2,223 \text{ ft}^2$ (206.8 m^2) และจากความต้องการใช้ปริมาณน้ำขั้นต่ำ 0.25 GPM/SQ.FT (10.20 mm/min (l/min/m^2) สำหรับพื้นผิวเปิดโดยรอบของหม้อแปลงพบว่าระบบดับเพลิงต้องการปริมาณน้ำขั้นต่ำ $2,109.4 \text{ LPM}$

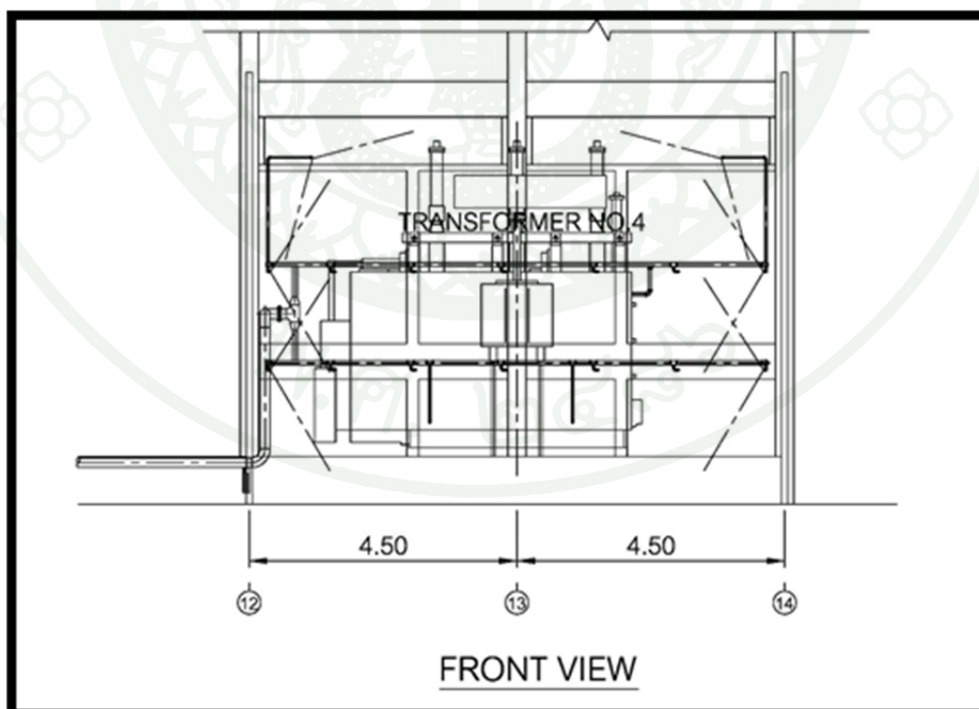


ภาพที่ 19 ลักษณะการติดตั้งหม้อแปลง

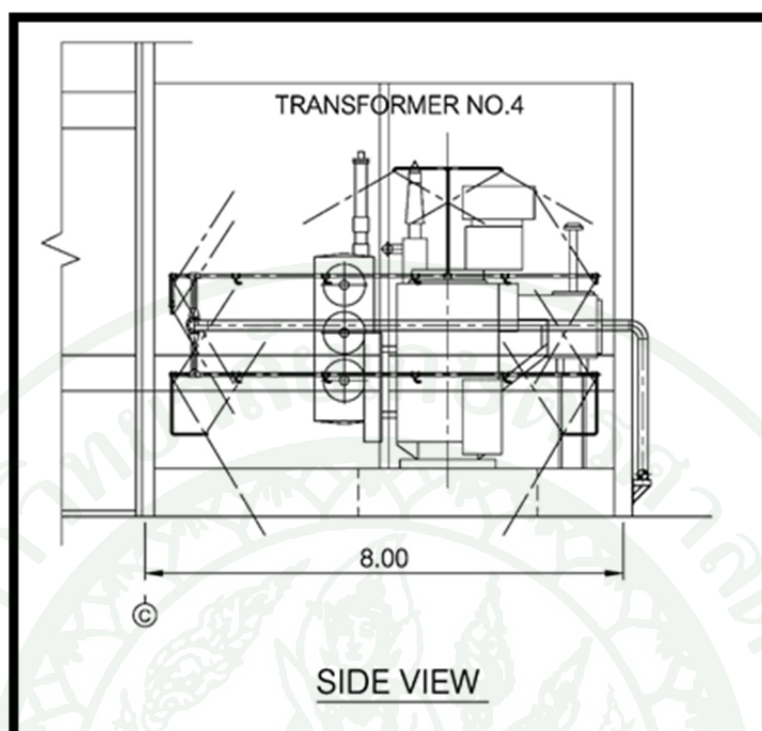
หัวฉีดถูกจัดวางเป็นรูปแบบวง (loop pattern) ให้ห่างจากผนังแนวดิ่งของหม้อแปลง 2ft การจัดวางแบบนี้ก็เพื่อให้รูปแบบการฉีดของน้ำ ครอบคลุมหม้อแปลงได้ดีที่สุด การจัดวางท่อและหัวฉีดแสดงในภาพที่ 3 จากนั้น พิจารณารูปแบบการ spray ของหัวฉีด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทิศทางของการฉีดน้ำ และมุมการฉีดสำหรับแต่ละหัวฉีด แสดงในภาพที่ 20 – 22



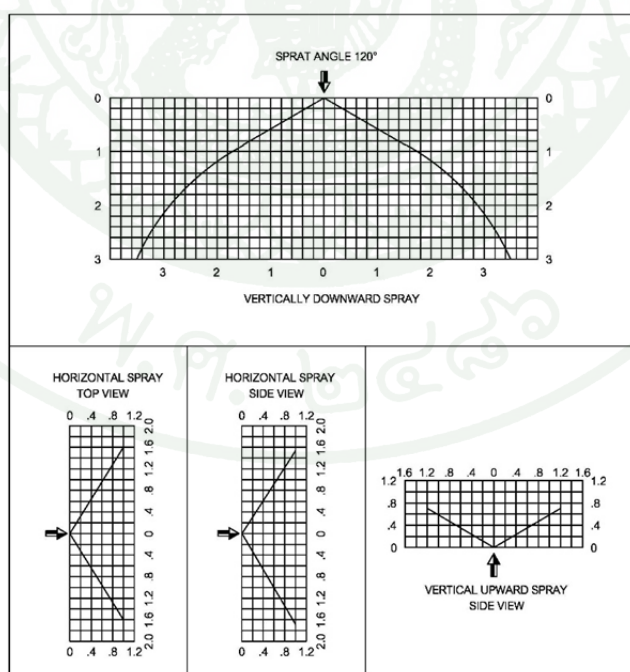
ภาพที่ 20 ทิศทางและมุมของการฉีดน้ำเมื่อมองจาก Top View



ภาพที่ 21 ทิศทางและมุมของการฉีดน้ำเมื่อมองจาก Front View



ภาพที่ 22 ทิศทางและมุมของการฉีดน้ำเมื่อมองจาก Side View



SPRAY PATTERN

ภาพที่ 23 ทิศทางของการฉีดน้ำ และมุมการฉีดสำหรับแต่ละหัวฉีด

การคำนวณค่าอัตราการไหล โดยการเลือกค่าความดันเริ่มต้นต่ำสุดของหัวฉีด และค่า nominal K-factor ดังสมการดังต่อไปนี้

$$Q = K \times \sqrt{P} \quad (1)$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลออกจากหัวฉีด หน่วยเป็น gpm

K = nominal K-factor หน่วยเป็น gpm/ $\sqrt{\text{PSI}}$

P = ความดันตกคร่อมที่หัวฉีด หน่วยเป็น psi

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อสามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams formula โดยอ้างอิงจาก NFPA13

$$P = \frac{(4.52)(Q^{1.85})}{(C^{1.85})(D^{4.87})} \times L \quad (2)$$

เมื่อ

P = ความดันสูญเสียในท่อ หน่วยเป็น psi

Q = อัตราการไหลภายในท่อ หน่วยเป็น gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ หน่วยเป็น นิ้ว

L = ความยาวของท่อ หน่วยเป็น เมตร

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss สามารถวิเคราะห์ได้จาก

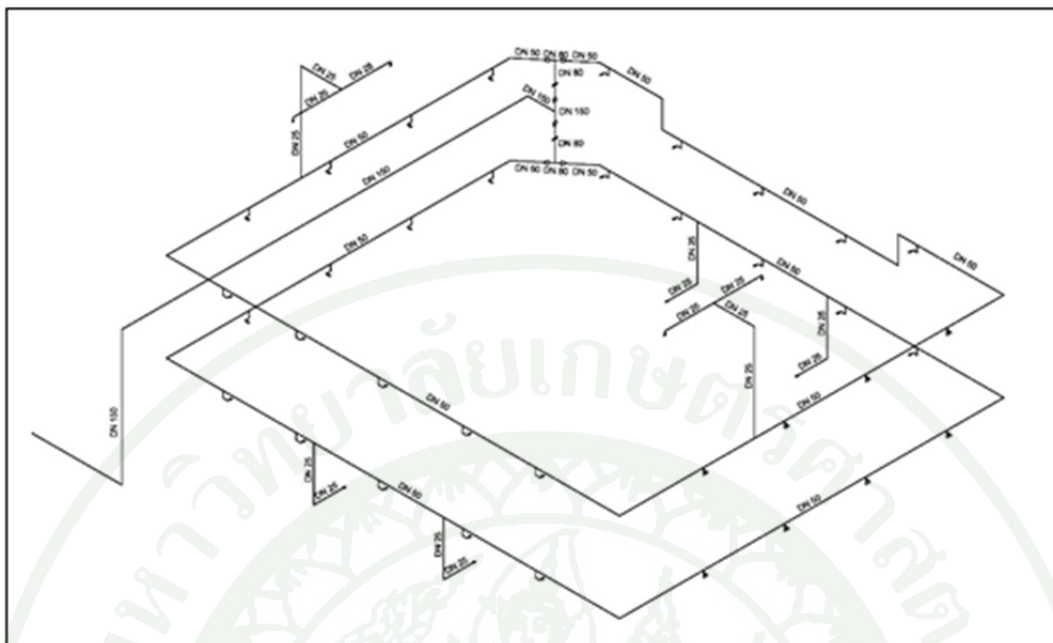
$$P = 0.433 \times h \quad (3)$$

เมื่อ

P = ความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง หน่วยเป็น psi

h = ความสูงหน่วยเป็น ft

รายละเอียดของการวิเคราะห์ hydraulic calculation ซึ่งโดยสรุปจะได้ว่าระบบต้องการอัตราการไหลของน้ำสำหรับ water spray เท่ากับ 2,109.4 LPM และต้องการความดันขั้นต่ำในการขับเคลื่อนระบบน้ำ เท่ากับ 2.186 bar



ภาพที่ 24 แนวการจัดวางท่อน้ำและหัวฉีด

การวิเคราะห์หาระยะเวลาในการฉีดของระบบดับเพลิงแบบ water spray

จากข้อมูลของพื้นที่ผิวของหม้อแปลง 2,223 ตารางฟุต และความต้องการใช้ปริมาณน้ำขั้นต่ำที่ 0.25 GPM / SQ.FT. จะได้ว่าระบบต้องการอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 555.75 GPM (2,109.4 LPM) หรือ 2.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อวิเคราะห์หาระยะเวลาในการฉีดของระบบดับเพลิงแบบ water spray โดยละเว้นปริมาณน้ำที่ต้องใช้ของ Fire Hose Cabinet (FHC) ออกไปก่อน และวิเคราะห์จากขนาดถังน้ำ 10-130 ลูกบาศก์เมตร พบว่าเวลาที่ระบบสามารถฉีดน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐานจะอยู่ในช่วง 4.76-61.90 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ถ้าระบบดับเพลิงต้องการการฉีดน้ำให้ได้ 1 ชั่วโมง จะต้องมียังเก็บน้ำขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 4 ถังจึงจะสามารถรักษาอัตราการไหลไว้ให้ต่อเนื่องได้

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดถังเก็บน้ำดับเพลิงและเวลาที่ระบบสามารถฉีดน้ำได้
(ในกรณีนี้ไม่รวมอัตราการไหลที่ต้องจ่ายให้ Fire Hose Cabinet)

ขนาดถังเก็บน้ำ (M^3)	เวลาที่ฉีดได้ (นาทีก)
10	4.76
20	9.52
30	14.29
40	19.05
50	23.81
60	28.57
70	33.33
80	38.10
90	42.86
100	47.62
110	52.38
120	57.14
130	61.90

ถึง 30 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 4 ถึง

เมื่อวิเคราะห์หาระยะเวลาในการฉีดของระบบดับเพลิงแบบ water spray โดยได้คำนึงถึงปริมาณน้ำที่ต้องใช้ของ FHC ด้วย อีก 250 GPM และวิเคราะห์จากขนาดถังน้ำ 10-190 ลูกบาศก์เมตร พบว่าเวลาที่ระบบสามารถฉีดน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐานจะอยู่ในช่วง 3.28-62.30 นาที ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ถ้าระบบดับเพลิงต้องการการฉีดน้ำให้ได้ 1 ชั่วโมง โดยมีการสำรองน้ำสำหรับ FHC ด้วย จะต้องมียังเก็บน้ำขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 7 ถึงจึงจะสามารถรักษาระดับอัตราการไหลไว้ให้ต่อเนื่องได้

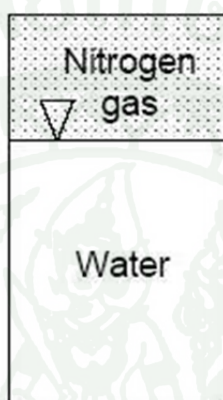
ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดถังเก็บน้ำดับเพลิงและเวลาที่ระบบสามารถฉีดน้ำได้
(ในกรณีนี้ได้รวมอัตราการไหลที่ต้องจ่ายให้ Fire Hose Cabinet)

ขนาดถังเก็บน้ำ (M ³)	เวลาที่ฉีดได้ (นาที)
10	3.28
20	6.56
30	9.84
40	13.11
50	16.39
60	19.67
70	22.95
80	26.23
90	29.51
100	32.79
110	36.07
120	39.34
130	42.62
140	45.90
150	49.18
160	52.46
170	55.74
180	59.02
190	62.30

ถัง 30 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 7 ถัง

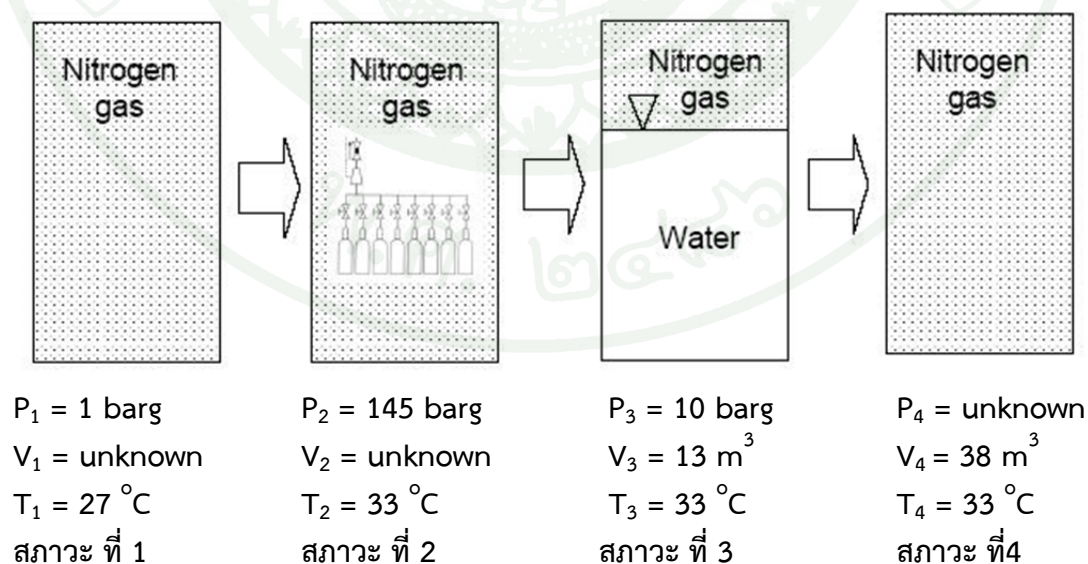
ปริมาตรของถังและความจุของน้ำ

จากข้อมูลการออกแบบระบบ Piping ของ Spray nozzle ทำให้สามารถวิเคราะห์หาอัตราการไหลที่ต้องการต่ำสุดของระบบได้ (minimum flow rate requirement) ได้จากมาตรฐาน NFPA 22 ที่กำหนดว่า ถังน้ำจะต้องมีน้ำบรรจุอยู่ 2 ใน 3 ส่วน ของถังน้ำ จึงทำให้สามารถคำนวณหาขนาดของถังน้ำที่ต้องการออกมาได้เป็น 38 m^3



ภาพที่ 25 ภาพแสดงลักษณะของก๊าซไนโตรเจนและน้ำ

ลักษณะการเปลี่ยนสถานะของก๊าซไนโตรเจนในภาพรวมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 26

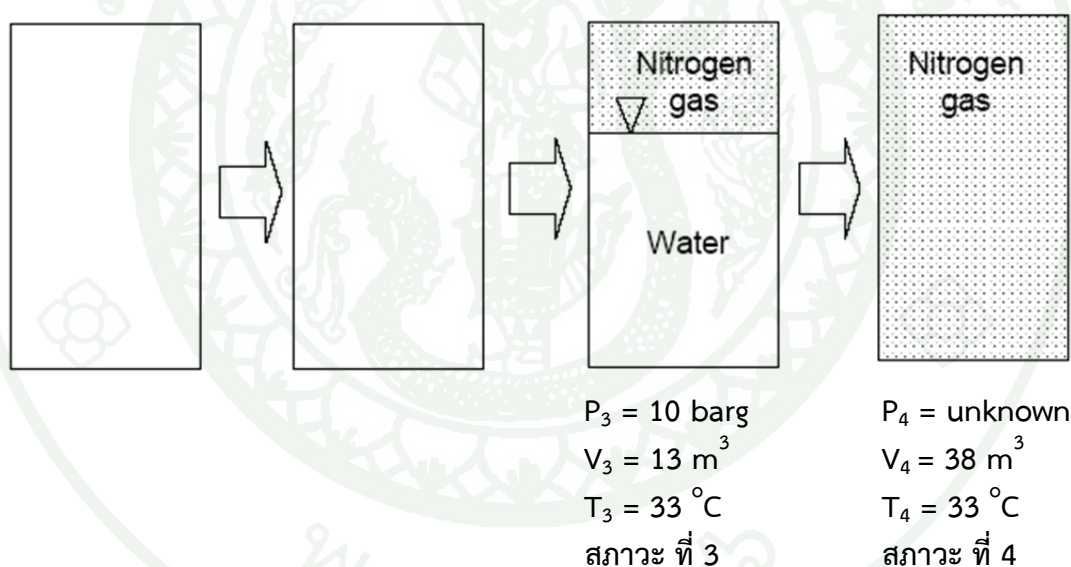


ภาพที่ 26 ภาพแสดงลักษณะการเปลี่ยนสถานะของก๊าซไนโตรเจนในภาพรวม

- สภาวะที่ 1 : ความดันตามมาตรฐาน 1 barg อุณหภูมิ 27 °C
 สภาวะที่ 2 : ความดันที่อัดไว้จนถึง 145 barg อุณหภูมิ 33 °C
 สภาวะที่ 3 : ความดันที่อัดเข้าสู่ถังน้ำ 10 barg อุณหภูมิ 33 °C
 สภาวะที่ 4 : ความดันที่เหลืออยู่ในถังน้ำ หลังจากน้ำถูกขับเคลื่อนออกหมดแล้ว ณ อุณหภูมิ 33 °C

ความดันภายในถัง

จากข้อมูลการออกแบบระบบ Piping ของ Spray nozzle ทำให้สามารถวิเคราะห์หาความดันที่ต้องการต่ำสุดของระบบได้ (minimum pressure requirement) และจากมาตรฐาน NFPA 22 ที่กำหนดว่า ค่าความดันใช้ในการขับเคลื่อนน้ำดับเพลิงเริ่มต้นจะต้องไม่น้อยกว่า 75 psig (5.2 barg) และระบบทำงานความดันจะลดลงเรื่อยๆ โดยที่ความดันสุดท้าย ขณะที่น้ำดับเพลิงได้ขับเคลื่อนออกไปหมดแล้ว จะต้องไม่น้อยกว่าความดันบรรยากาศหลักการ thermodynamics การเปลี่ยนแปลงสภาวะของไนโตรเจนถือได้ว่าเป็นแบบ isothermal process (อุณหภูมิคงที่) ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ภาพแสดงการขับเคลื่อนน้ำในถังของก๊าซไนโตรเจน

ด้วยเหตุผลข้างต้นประกอบกับ engineering safety factor จึงได้ตั้งค่าความดันไว้ที่ 10 barg จากสภาวะที่ 3 ความดัน 10 barg ปริมาตรของ ไนโตรเจนที่อัดเข้ามา 13 m³ ในถัง และสภาวะที่ 4 เมื่อมีการขับเคลื่อนน้ำออกจากถังไปจนหมดแล้ว ปริมาตรของไนโตรเจนก็จะขยายตัวจนเต็มถังโดยมีปริมาตรเท่ากับ 38 m³ และด้วยหลักการ thermodynamics การเปลี่ยนแปลงสภาวะของไนโตรเจนถือได้ว่าเป็นแบบ isothermal process (อุณหภูมิคงที่) ดังแสดงในภาพที่ 27

$$P_3 V_3 = P_4 V_4 \quad \text{at constant temperature} \quad (4)$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \text{ความดันสัมบูรณ์ ณ สภาวะที่ 3} = 11 \text{ bara} \\
 V_3 &= \text{ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ สภาวะที่ 3} = 13 \text{ m}^3 \\
 P_4 &= \text{ความดันสัมบูรณ์ ณ สภาวะที่ 4} = \text{ค่าที่ต้องการตรวจสอบ} \\
 V_4 &= \text{ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ สภาวะที่ 4} = 38 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } P_4 = \frac{P_3 V_3}{V_4} = \frac{11 \times 13}{38} = 3.76 \text{ bara} = 2.76 \text{ barg}$$

ซึ่งก็จะสอดคล้องกับ มาตรฐาน NFPA 22 ที่กำหนดว่าความดันสุดท้าย ขณะที่น้ำดับเพลิงได้ขับออกจากถังไปหมดแล้ว จะต้องไม่น้อยกว่าความดันบรรยากาศ

ความดันและความจุของถัง

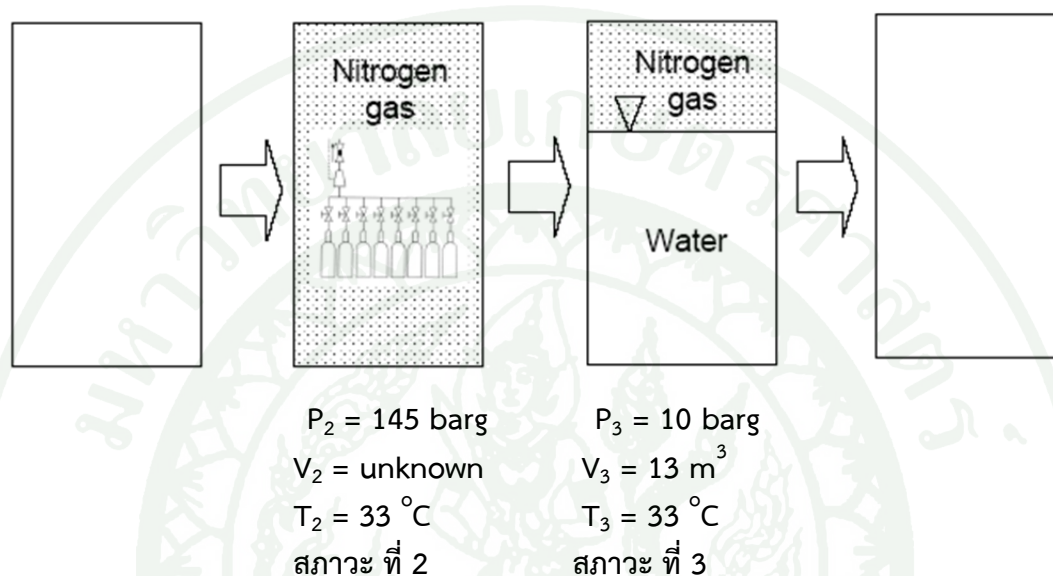
ก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมจัดอยู่ใน Industrial Grade ซึ่งมี minimum purity 99.9% ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด อยู่ในรูปของ compressed gas บรรจุอยู่ใน cylinder tank มีอยู่หลายขนาด ขนาดที่เหมาะสมกับโครงการวิจัยนี้ คือขนาดปริมาตรบรรจุ 0.096 m³ ที่ความดัน 145 barg อุณหภูมิมาตรฐาน 27 °C (เทียบเท่ากับ 7 m³ ที่ความดัน 1 barg อุณหภูมิมาตรฐาน 27 °C) ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 70 kg ต่อถัง (น้ำหนักถังเมื่อมีการเติมก๊าซจนเต็มแล้ว) โดยพิจารณาจากลักษณะการจัดวาง ถึง การดูแลรักษา รวมถึงการขนย้าย



ภาพที่ 28 ก๊าซไนโตรเจนที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จำนวนของถังไนโตรเจน

จากข้อมูลการออกแบบระบบถังน้ำความดัน ทราบว่าต้องการค่าความดันของก๊าซไนโตรเจนในถังน้ำ 10 barg ที่ปริมาตร 13 m³ โดยจ่ายก๊าซไนโตรเจนมาจากถังที่มีความดัน 145 barg



ภาพที่ 29 ภาพแสดงการ discharge ของก๊าซไนโตรเจนจากถังก๊าซเข้าสู่ถังน้ำ

ดังนั้นในขั้นตอนแรกจะเป็นการวิเคราะห์หาปริมาตรของก๊าซที่ต้องการโดยรวมก่อน จากสภาวะที่ 2 ความดัน 145 barg และสภาวะที่ 3 ความดัน 10 barg ปริมาตรเท่ากับ 13m³ ด้วยหลักการ thermodynamics การเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซไนโตรเจนถือได้ว่าเป็นแบบ isothermal (อุณหภูมิคงที่ = 33°C โดยเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล) ดังแสดงในภาพที่ 29

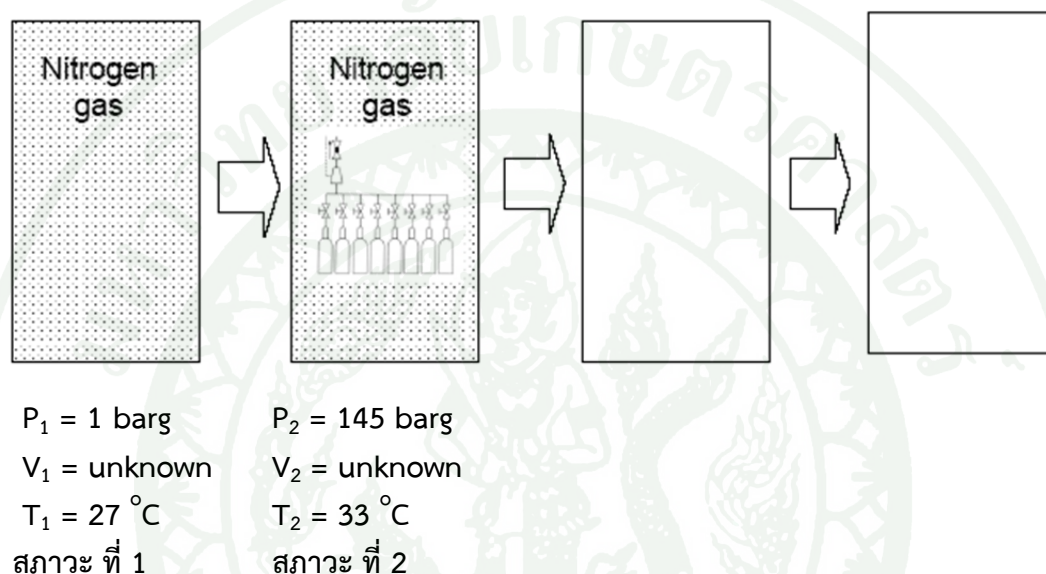
$$P_2 V_2 = P_3 V_3 \quad \text{at constant temperature} \quad (5)$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \text{ความดันสัมบูรณ์ ณ สภาวะที่ 2} = 146 \text{ bara} \\
 V_2 &= \text{ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ สภาวะที่ 2} \\
 &= \text{ค่าที่ต้องการตรวจสอบ} \\
 P_3 &= \text{ความดันสัมบูรณ์ ณ สภาวะที่ 3} = 11 \text{ bara} \\
 V_3 &= \text{ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ สภาวะที่ 3} = 13 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{11 \times 13}{146} = 0.979 \text{ m}^3$$

จากปริมาตรก๊าซ (Gas Content) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดตามมาตรฐาน นิยามที่ ความดัน 1.013 barg อุณหภูมิ 27 °C ดังนั้น จะต้องปรับสภาวะของก๊าซไปอยู่ที่ ความดัน 145 barg อุณหภูมิ 33 °C



ภาพที่ 30 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของนิยามปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ ความดันมาตรฐาน

จากสภาวะที่ 1 ความดัน 1.013 barg อุณหภูมิ 27 °C และสภาวะที่ 2 ความดัน 145 barg อุณหภูมิ 33 °C ปริมาตร 0.979 m³

ด้วยหลักการ thermodynamics การเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซไนโตรเจนสามารถอธิบายได้ด้วย Ideal gas law ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งความดันและอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 30

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (6)$$

โดยที่

- P_1 = ความดันสัมบูรณ์ ณ สภาวะที่ 1 = 2.013 bara
- V_1 = ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ สภาวะที่ 1
- = ค่าที่ต้องการตรวจสอบ
- T_1 = อุณหภูมิอ้างอิงที่ 27 °C = 300 °K
- P_2 = ความดันสัมบูรณ์ ณ สภาวะที่ 2 = 146 bara

$$V_2 = \text{ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจน ณ สภาวะที่ 2} = 0.979 \text{ m}^3$$

$$T_2 = \text{อุณหภูมิทำงาน} = 33^\circ\text{C} = 306^\circ\text{K}$$

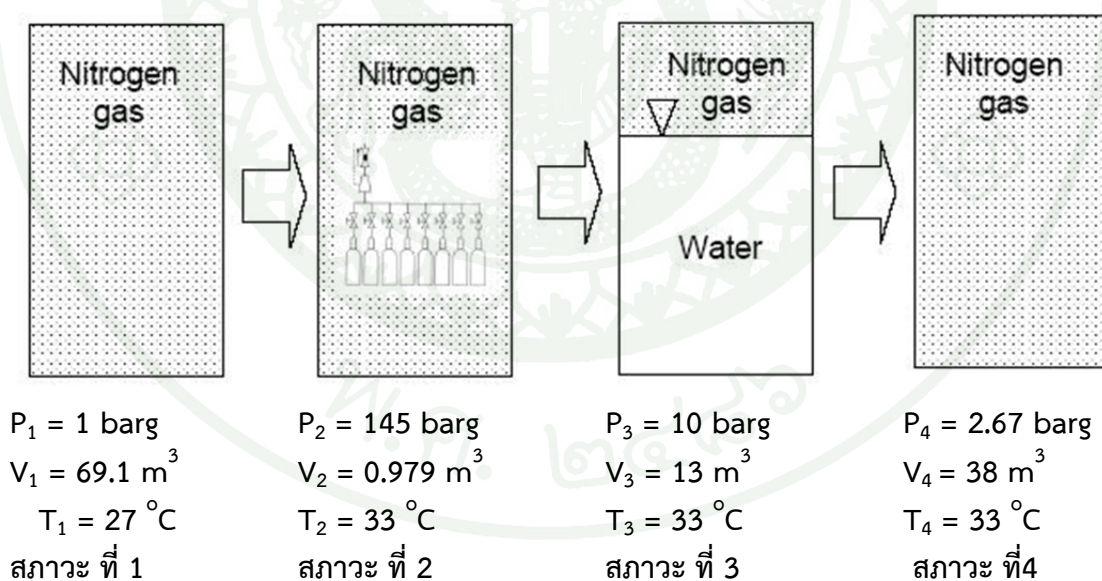
$$\text{ดังนั้น } V_1 = \left(\frac{P_2 V_2}{T_2} \right) \left(\frac{T_1}{P_1} \right) = \left(\frac{146 \times 0.979}{306} \right) \left(\frac{300}{2.013} \right)$$

$$= 69.61 \text{ m}^3$$

เนื่องจากก๊าซที่มีจำหน่ายในท้องตลาดตามมาตรฐาน มีปริมาตรบรรจุที่ 7 m^3 นิยามที่ ความดัน 1.013 barg อุณหภูมิ 27°C ดังนั้น จำนวนของถังก๊าซที่ต้องการใช้เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ตามต้องการคือ

$$\text{จำนวนถังก๊าซไนโตรเจน} = \frac{69.61}{7} = 9.94 \approx 10 \text{ ถัง}$$

ดังนั้นลักษณะการเปลี่ยนสภาวะของก๊าซไนโตรเจนในภาพรวมสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 ภาพแสดงลักษณะการเปลี่ยนสภาวะของก๊าซไนโตรเจนในภาพรวม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าม้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

ประมุข (2547) ได้ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำสเปรย์ที่เหมาะสมของระบบ

ป้องกันอัคคีภัยในบริเวณที่ตั้งถังเชื้อเพลิงโดยพบว่าการออกแบบระบบฉีดน้ำสเปรย์ตามมาตรฐาน NFPA และ IP ต้องใช้ปริมาณน้ำมากส่งผลให้อุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆที่ประกอบอยู่ในระบบมีราคาสูงตามไปด้วยดังนั้นเขาจึงใช้ทฤษฎีทางวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยและความรู้ทางด้านการถ่ายเทความร้อนมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำสเปรย์สรุปได้ว่าปริมาณน้ำสเปรย์ที่ต้องใช้มีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำสเปรย์จากมาตรฐาน NFPA 48% และจากมาตรฐาน IP 24% แนวทางวิเคราะห์ครั้งนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 50% โดยที่ระบบน้ำสเปรย์ยังคงทำงานได้ตามความต้องการทุกประการ

สันติ (2548) การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำสเปรย์ที่เหมาะสมของระบบป้องกันอัคคีภัยในบริเวณที่ตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดปริมาณน้ำสเปรย์ที่เหมาะสมสำหรับการดับเพลิงในบริเวณที่ตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าได้แก่พื้นที่ผิวของการลุกไหม้ของหม้อแปลงไฟฟ้าการปล่อยพลังงานความร้อนออกมาซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับค่าฟลักซ์ของการเผาไหม้สูงสุดพื้นที่ที่ทำให้ระเหยกลายเป็นไอความร้อนของการเผาไหม้ที่มีผลและคุณสมบัติของน้ำมันหม้อแปลงปริมาณน้ำสเปรย์ที่เหมาะสมสำหรับระบบป้องกันอัคคีภัยในบริเวณที่ตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อความหนาแน่นของน้ำดับเพลิงเป็น 10.2 (l/min)/m² ต้องมีระยะเวลาฉีดน้ำสเปรย์ไม่น้อยกว่า 4 นาที 12 วินาทีเป็นอย่างน้อยที่จะสามารถลดพลังงานความร้อนที่เกิดจากการลุกไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าได้

Kwok-Lung and Spearpoint (2005) Risk assessment of transformer fire protection in a typical New Zealand high-rise building.

การประเมินความเสี่ยงของการป้องกันไฟไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าในอาคารสูงทั่วไปนิวซีแลนด์ หากเกิดเพลิงไหม้จากหม้อแปลงน้ำมันจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง และการที่เกิเพลิงไหม้เป็นเวลา 4 ชั่วโมงจะทำให้โครงสร้างได้รับความเสียหายอย่างหนัก การติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเหตุจะช่วยในการป้องกันการเสียหายเพิ่มขึ้น และถ้าหากติดตั้งระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง จะทำให้ลดระยะเวลาความเสียหาย 30 นาที

HAN, CHOI, and KIM. (2005) Application of a Fixed Water Mist System in a Power Transformer Room.

การใช้ระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำในห้องหม้อแปลงไฟฟ้าจะได้ผลดี เนื่องจากหมอกน้ำจะช่วยลดอุณหภูมิ และป้องกันการกลับมาติดไฟอีกครั้งเนื่องจากหมอกน้ำที่กระจายอยู่จะทำให้ออกซิเจนลดลงระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำแรงดันสูงจะทำการดับเพลิงได้ดีกว่าระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำแรงดันต่ำเนื่องจากจะทำให้ออกซิเจนลดลงได้เร็วกว่าและระบายความร้อนได้เร็วกว่า



อุปกรณ์และวิธีการ

การทดสอบและการวิเคราะห์การทำงานของระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์จริงเพื่อทำการทดสอบและเก็บผลของการทดสอบ เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการทดสอบเพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆ ดังนั้นในการติดตั้งอุปกรณ์นั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

1. ถังก๊าซไนโตรเจน
2. ถังน้ำดับเพลิง
3. ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง
4. DataLogger

อุปกรณ์

ส่วนประกอบของระบบ

ถังก๊าซไนโตรเจน

ในส่วนงานติดตั้งนี้มีการใช้อุปกรณ์ใหม่ทั้งหมด โดยมีอุปกรณ์หลักๆ คือ

1. ถังก๊าซไนโตรเจน	10	ถัง
2. ชุดส่งงานถังก๊าซไนโตรเจน	1	ชุด
3. อุปกรณ์วัดความดัน	2	ชุด
4. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	3	ชุด
5. อุปกรณ์ควบคุมความดัน	1	ชุด
6. อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของก๊าซ	1	ชุด

ถังน้ำดับเพลิง

ในส่วนงานติดตั้งนี้ มีการใช้ถังน้ำดับเพลิงที่มีอยู่เดิม และต้องมีการทดสอบการรั่วของถังน้ำดับเพลิงก่อน โดยอุปกรณ์หลักๆ มีดังต่อไปนี้ คือ

1. ถังน้ำดับเพลิง ขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร	1	ถัง
2. อุปกรณ์วัดความดัน	2	ชุด
3. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	1	ชุด

ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง

ในส่วนงานติดตั้งนี้ มีการใช้ระบบท่อน้ำดับเพลิงที่มีอยู่เดิมในส่วนพื้นที่หม้อแปลงไฟฟ้า แต่ท่อกำจ่ายน้ำดับเพลิงนอกพื้นที่หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นท่อน้ำดับเพลิงใหม่ทั้งหมด โดยอุปกรณ์หลักๆ ของงานส่วนนี้ คือ

1. วาล์วควบคุมการสั่งงาน	1	ชุด
2. อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ	1	ชุด
3. อุปกรณ์วัดความดัน	1	ชุด
4. หัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง	44	หัว

Data Logger

ส่วนงานนี้เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดทั้งหมดที่ได้ทำการติดตั้งไว้ในส่วนงานที่ 1 ถึงส่วนงานที่ 3 โดยการแปลงค่าสัญญาณเข้ามาเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์หลักในงานส่วนนี้ คือ

1. คอมพิวเตอร์และจอภาพ	1	ชุด
2. โปรแกรมสำหรับ Data Logger	1	ชุด
3. อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ	2	ชุด

วิธีการ

ระบบก๊าซไนโตรเจน(Nitrogen System)

ถังก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen Storage Cylinder)

ก๊าซไนโตรเจนสามารถเก็บความดันไว้ในถังที่ความดันสูงๆได้ดี จึงถูกเลือกเป็นก๊าซต้นกำลังในการผลักดันน้ำสำหรับระบบกระจายน้ำฝอย จากการออกแบบและคำนวณสำหรับการทดสอบนี้จะมีสมมุติฐานในการใช้ถังเก็บไนโตรเจนทั้งหมดจำนวนไม่เกิน 10 ถัง ถังเก็บไนโตรเจนทั้ง 10 ถัง จะติดตั้งเป็นชุดเดียวกันพร้อมอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

ถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder) มีขนาดความจุ 83 ลิตรมีความดันในถังเท่ากับ 27.9 Mpa ที่อุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส ปริมาตรบรรจุไนโตรเจนเท่ากับ 20.3 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส น้ำหนัก 109 กิโลกรัม ทำหน้าที่เป็นก๊าซต้นกำลังในการผลักดันน้ำสำหรับระบบกระจายน้ำฝอย



ภาพที่ 32 ถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder)

ถังนำไนโตรเจน (Pilot Cylinder) มีขนาดความจุ 5ลิตรมีความดันในถังเท่ากับ 10.8 Mpa ที่อุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ปริมาตรบรรจุไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส น้ำหนัก 8 กิโลกรัม ทำหน้าที่ปล่อยก๊าซไนโตรเจนให้ไปดันสลิทวาล์วของถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder) เปิดขึ้น มีลักษณะดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ถังนำไนโตรเจน (Pilot Cylinder)

วาล์วไฟฟ้าเปิดถัง (Cylinder Valve Solenoid) ใช้ต่อกับถังนำไนโตรเจน (Pilot Cylinder)
ทำหน้าที่เปิดวาล์วของถังนำไนโตรเจน (Pilot Cylinder)



ภาพที่ 34 วาล์วไฟฟ้าเปิดถัง (Cylinder Valve Solenoid)

อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator)

เนื่องจากความดันที่จ่ายออกจากถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder) มีความดันสูง ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจึงมีการปรับค่าความให้ต่ำลงมาก่อน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator) ดังภาพที่ 35 ซึ่งสามารถรับความดันด้านเข้า (Inlet) ได้ถึง 0-300 บาร์ และสามารถปรับลดความดันด้านออกให้ต่ำลง ได้ถึง 0-15 บาร์ ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator)

อุปกรณ์เครื่องมือวัด (Measurement Equipment)

ในขณะที่ก๊าซไนโตรเจนมีการปล่อยออกมาจากถังเก็บแล้วผ่านอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator) ทำให้มีค่าความแตกต่างเรื่องค่าความดัน, อุณหภูมิ และอัตราการไหล ระหว่างด้านเข้าอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator) กับด้านออก จึงต้องมีอุปกรณ์เครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ในการวัดค่าติดตั้งและเชื่อมต่อกับตัวบันทึกข้อมูล (Data logger) มีดังนี้

อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของไนโตรเจน (Vortex Flow Measuring) ใช้วัดค่าอัตราการไหลที่ช่วง 0 ถึง 10 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (m^3/min) ของก๊าซไนโตรเจนหลังจากออกจากอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator) ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของไนโตรเจน

อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน (Pressure Transmitter) ของก๊าซไนโตรเจนก่อนเข้าอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator)



ภาพที่ 37 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน

อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) ใช้วัดค่าของอุณหภูมิที่ช่วง - 50 ถึง 100 องศาเซลเซียส ของก๊าซไนโตรเจนก่อนเข้าและออกจากอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator)



ภาพที่ 38 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ

การติดตั้ง (Installation)

เนื่องด้วยระบบไนโตรเจนเป็นระบบที่มีแรงดันสูงท่อเหล็กที่ใช้จึงต้องมีความหนาพิเศษที่สามารถทนแรงดันได้ควรเป็นท่อที่มี Schedule 80 ขึ้นไป อุปกรณ์บางชิ้นต้องสั่งถึงพิเศษ เนื่องจากตามท้องตลาดไม่มีจำหน่าย เช่น ข้อต่อของท่อรวม (Header pipe) ดังภาพที่ 39 ต้องกลึงเพื่อให้รับเข้ากับข้อต่อชุดท่อโค้งทองแดง (Loop pipe) ของระบบได้ ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 39 ข้อต่อของท่อรวม (Header pipe) ที่ต้องกลึง



ภาพที่ 40 ข้อต่อต้องรับเข้ากับข้อต่อชุดท่อโค้งทองแดง (Loop pipe)

เมื่อประกอบท่อร่วม (Header Pipe) แล้วจัดวางท่อขึ้นแท่นรองรับถึงเก็บไนโตรเจน ทหาระยะและระดับที่จะตั้งถังเก็บไนโตรเจนดังภาพที่ แล้วต่อท่อโค้งทองแดง (Loop pipe) เข้ากับท่อร่วม (Header Pipe) ดังภาพที่ 41 และ 42



ภาพที่ 41 นำท่อร่วมขึ้นทหาระยะและระดับที่จะตั้งถังเก็บไนโตรเจน



ภาพที่ 42 ต่อท่อโค้งทองแดง (Loop pipe) เข้ากับท่อร่วม (Header Pipe)

นำถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder) ขึ้นติดตั้งบนแท่นรองรับทั้งหมดจำนวน 10 ถัง จัดระยะห่างระหว่างถังเก็บไนโตรเจนให้เท่ากันดังภาพที่ 43 จากนั้นเริ่มติดตั้งท่อที่ต่อเข้ากับถังน้ำด้านบนลงมายังถังเก็บไนโตรเจน ดังภาพที่ 44



ภาพที่ 43 จัดระยะห่างระหว่างถังเก็บไนโตรเจนให้เท่ากัน



ภาพที่ 44 ติดตั้งท่อที่ต่อเข้ากับถังน้ำด้านบนลงมายังเก็บไนโตรเจน

ทำการยึดแนวท่อด้านบนด้วยเหล็กรองรับท่อ (Support) เพื่อประคองแนวท่อไว้ก่อน จากนั้นทำการเชื่อมต่อแนวท่อด้านบนกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณดังภาพที่ 45 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator) ดังภาพที่ 46 ต่อเข้าท่อร่วม (Header Pipe) ให้ท่อในแนวตั้งตั้งตรงได้ดังภาพที่ และจึงทำการเสริมเหล็กรองรับท่อ (Support) ให้แนวท่อมีความแข็งแรงมากขึ้นดังภาพที่ 48



ภาพที่ 45 เชื่อมต่อแนวท่อด้านบนกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ



ภาพที่ 46 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure Regulator)



ภาพที่ 47 ให้ท่อในแนวตั้งตั้งตรง



ภาพที่ 48 เสริมเหล็กรองรับท่อ (Support) ให้แนวท่อมีความแข็งแรง

เมื่อแนวท่อมีความแข็งแรงมั่นคง จึงติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณทั้งหมดต่อสายสัญญาณไปเข้ากับตัวบันทึกข้อมูล (Data logger) ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณทั้งหมด

ทำการยึดถังเก็บไนโตรเจนกับแท่นรองรับถังเก็บไนโตรเจนให้แน่นดังภาพที่ 50 ต่อท่อทองแดงเชื่อมต่อถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder) กับถังนำไนโตรเจน (Pilot Cylinder) และตรวจเช็คการรั่วของท่อดังภาพที่ 51



ภาพที่ 50 การยึดถังเก็บไนโตรเจนกับแท่นรองรับถังเก็บไนโตรเจนให้แน่น



ภาพที่ 51 ต่อท่อทองแดงเชื่อมต่อถังเก็บไนโตรเจน (Storage Cylinder)

ถังน้ำดับเพลิง (Fire Water Tank)

ถังน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งอยู่เดิมเป็นถังเก็บน้ำขนาด 30 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งระบบเดิมมีการใช้ระบบอัดอากาศทำการอัดอากาศเพื่อสร้างแรงดันภายในถังน้ำดับเพลิง ให้มีแรงดันเริ่มต้นเพียงพอกับการจ่ายให้กับหัวกระจายน้ำดับเพลิง

เนื่องจากถังน้ำดับเพลิงมีการใช้งานมานาน และมีสภาพค่อนข้างเก่า จึงต้องมีการทดสอบว่าถังเก็บน้ำอยู่ในสภาพที่ยังใช้งานได้หรือไม่ โดยการทดสอบด้วยวิธีอัดแรงดันน้ำ (Hydrostatic Test) ที่ความดัน 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อทดสอบหารอยรั่ว

วิธีการทดสอบ

ทำการถอดท่อและอุปกรณ์ต่างๆที่ยึดติดกับหน้าแปลนหลักของถังน้ำดับเพลิงออกแล้วปิดหน้าแปลนหลักดังกล่าวที่ แล้วติดตั้งบอลวาล์ว (Ball valve) และมาตรวัดความดัน (Pressure gauge) จากนั้นเติมน้ำให้เต็มถึงดังภาพที่ 52

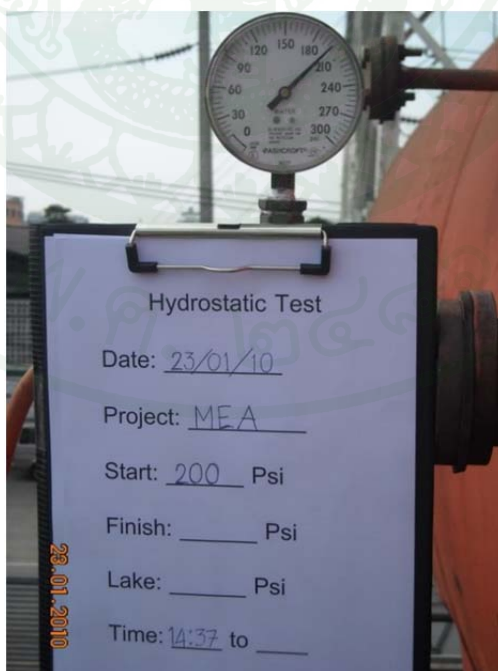


ภาพที่ 52 การถอดท่อและอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพที่ 53 ใช้หน้าแปลนเหล็กปิดที่รูเดิม

ใช้ปั้มน้ำที่สามารถอัดความดันได้มากกว่า 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว(Psi) ขึ้นไปต่อเข้ากับบอลวาล์ว (Ball valve) ไกล่มาตรวัดความดัน (Pressure gauge) ที่เตรียมไว้แล้วจากนั้นทำการอัดความดันเข้าไปให้ได้ความดันที่ 200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว(Psi) โดยดูจากมาตรวัดแรงดัน(Pressure gauge)แล้วปิดบอลวาล์ว (Ball valve) ทำการบันทึกค่าความดันและเวลาดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 จดบันทึกค่าความดันและเวลา

ขณะทำการทดสอบถ้ามีความดันลดลงโดยสังเกตจากมาตรวัดความดัน (Pressuregauge) ให้ทำการตรวจหารอยรั่วบริเวณถึงน้ำตามผิวถังและข้อต่อต่างๆว่ามีน้ำรั่วซึมหรือไม่ ดังภาพที่ ถ้ามีให้ทำการแก้ไขจุดที่รั่วซึมแล้วทำการทดสอบใหม่จนได้ระยะเวลา 2 ชม. โดยที่ความดันไม่ตกเลยจึงถือว่าผ่านการทดสอบ ดังภาพที่ 55



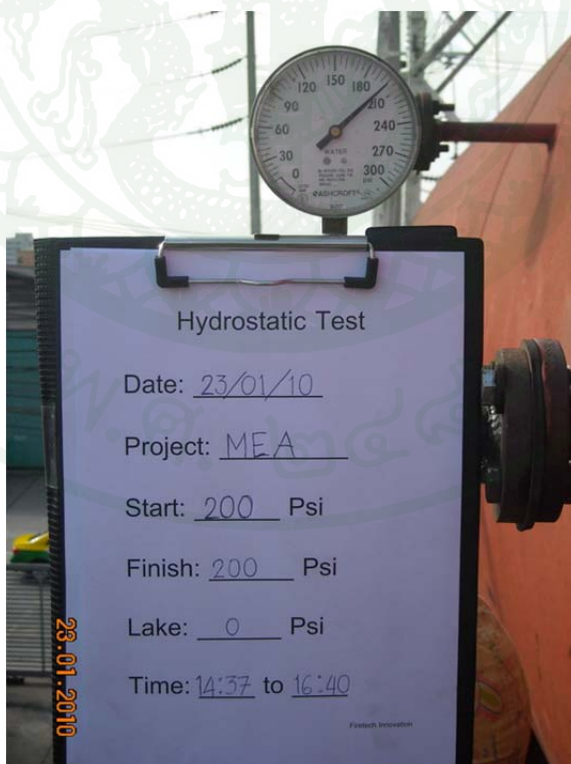
ภาพที่ 55 การตรวจหารอยรั่วตามข้อต่อต่างๆ



ภาพที่ 56 การตรวจหารอยรั่วตามวาล์ว



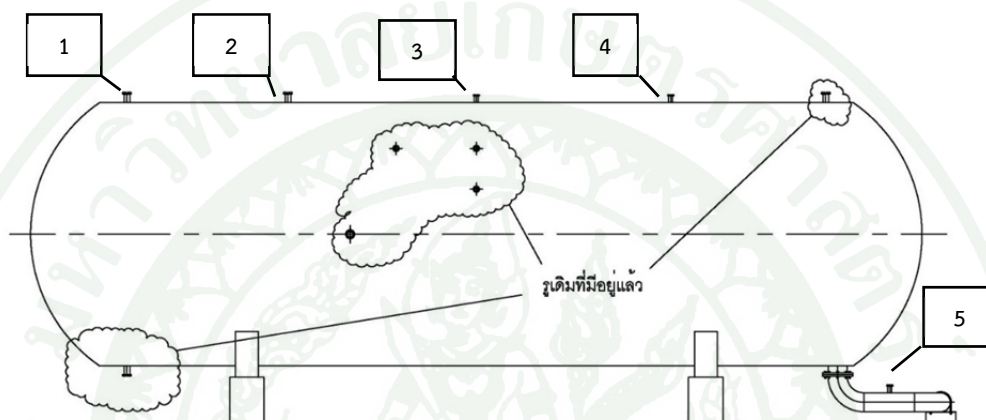
ภาพที่ 57 การตรวจหารอยรั่วตามฝาปิด



ภาพที่ 58 จดบันทึกค่าความดันและเวลา

จากการทดสอบสภาพถังน้ำดับเพลิงข้างต้น ผลการทดสอบสรุปว่าถังน้ำดับเพลิงอยู่ในสภาพที่ดีพร้อมใช้งานไม่มีการรั่วซึมใดๆ

เมื่อถังน้ำอยู่ในสภาพที่ดีใช้งานได้ แต่ลักษณะของรูเดิมต่างๆ ขนาดและตำแหน่งยังไม่อยู่ในจุดที่สามารถใช้งานได้ จึงปิดไว้ด้วยหน้าแปลนเหล็กและบอลวาล์ว จากนั้นต้องมีการเจาะรูเพิ่มเติมเป็นจำนวน 5 รู ซึ่งมีขนาดและตำแหน่งดังภาพที่ 59



ภาพที่ 59 ตำแหน่งรูที่จะเจาะใหม่เรียงตามลำดับ 1 ถึง 5

- รูที่ 1 สำหรับติดตั้งท่อทางเข้าก๊าซไนโตรเจน ขนาด 2 นิ้ว
- รูที่ 2 สำหรับติดตั้งท่อสายยางเติมน้ำเข้าถัง ขนาด 1 ½ นิ้ว
- รูที่ 3 สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน (Pressure Transmitter) ขนาด ½ นิ้ว
- รูที่ 4 สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) ขนาด ½ นิ้ว
- รูที่ 5 สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน (Pressure Transmitter) ขนาด ½ นิ้ว

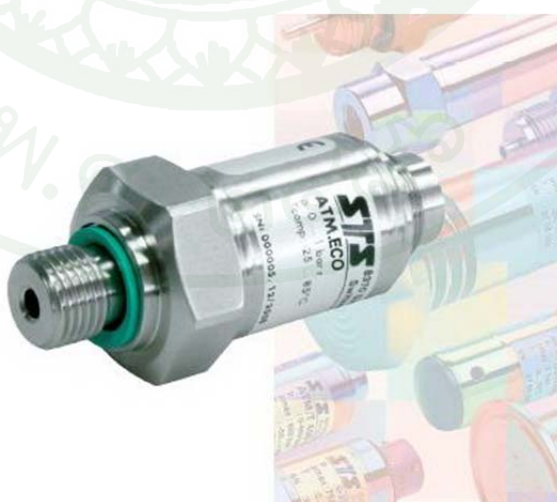


ภาพที่ 60 ตัวอย่างรูเจาะขนาด ½ นิ้ว

อุปกรณ์เครื่องมือวัด (Measurement Equipment)

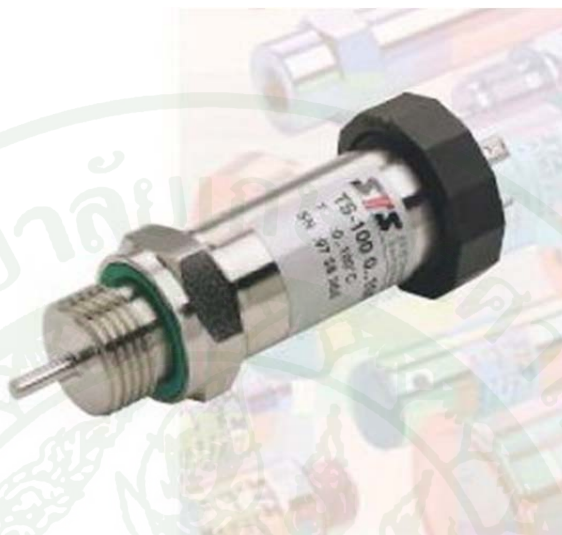
ในขณะที่ก๊าซไนโตรเจนต้นกำลังปล่อยเข้ามาในถังน้ำดับเพลิง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันและอุณหภูมิภายในถังน้ำดับเพลิง อุปกรณ์เครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ในวัดค่าจะติดตั้งเข้ากับตัวบันทึกข้อมูล (Data logger) มีดังนี้

อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน (Pressure Transmitter) ใช้วัดค่าความดันในช่วง 0 ถึง 15 บาร์(bar) ดังภาพที่ 61



ภาพที่ 61 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน

อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ (Temperature Transmitter) ใช้วัดค่าของอุณหภูมิในช่วง - 50 ถึง 100 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 62



ภาพที่ 62 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ

การติดตั้ง (Installation)

การติดตั้งในส่วนของถังน้ำดับเพลิง รูที่เจาะใหม่ต่างๆทั้ง 5 รู ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันนั้นจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับท่อเหล็กหรืออุปกรณ์ส่งสัญญาณวัดค่าโดยวิธีการเชื่อมไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดตามแบบแปลนในเอกสารภาคผนวก ข สำหรับขั้นตอนการติดตั้งมีดังต่อไปนี้

รูที่ 1 และ 2 เป็นรูที่ติดตั้งท่อทางเข้าก๊าซไนโตรเจนและติดตั้งท่อสายยางเติมน้ำเข้าถัง ซึ่งจะ เป็นลักษณะการเชื่อมไฟฟ้างดภาพที่ 63 จากนั้นทำการติดตั้ง บอลวาล์ว (Ball valve) ใช้สำหรับปิด-เปิดก๊าซไนโตรเจนและเติมน้ำเข้าถังดังภาพที่ 64



ภาพที่ 63 การเชื่อมต่อท่อของไนโตรเจนเข้ากับถังน้ำ



ภาพที่ 64 ติดตั้งบอลวาล์ว (Ball valve)

รูปที่ 3 ,4 และ 5 เป็นรูปที่ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ การต่อเข้ากับอุปกรณ์จะใช้ข้อต่อตรงเกลียว (Socket) ดังภาพที่ โดยการเชื่อมต่อตรงเกลียวเข้ากับถังก่อนแล้วจึงใส่อุปกรณ์ส่งสัญญาณพร้อมต่อสายสัญญาณดังภาพที่ 65



ภาพที่ 65 ข้อต่อตรงเกลียว



ภาพที่ 66 การติดตั้งตัวอุปกรณ์ส่งสัญญาณเข้ากับข้อต่อตรงเกลียว

ระบบกระจายน้ำฝอย (Water Spray System)

ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงมีส่วนประกอบหลักๆ คือ

1. วาล์วควบคุมการสั่งงาน
2. หัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง
3. ท่อน้ำดับเพลิง

วาล์วควบคุมการสั่งงาน (Deluge Valve)

จากระบบเดิมมีวาล์วควบคุมสั่งงาน (Deluge Valve) อยู่แล้ว



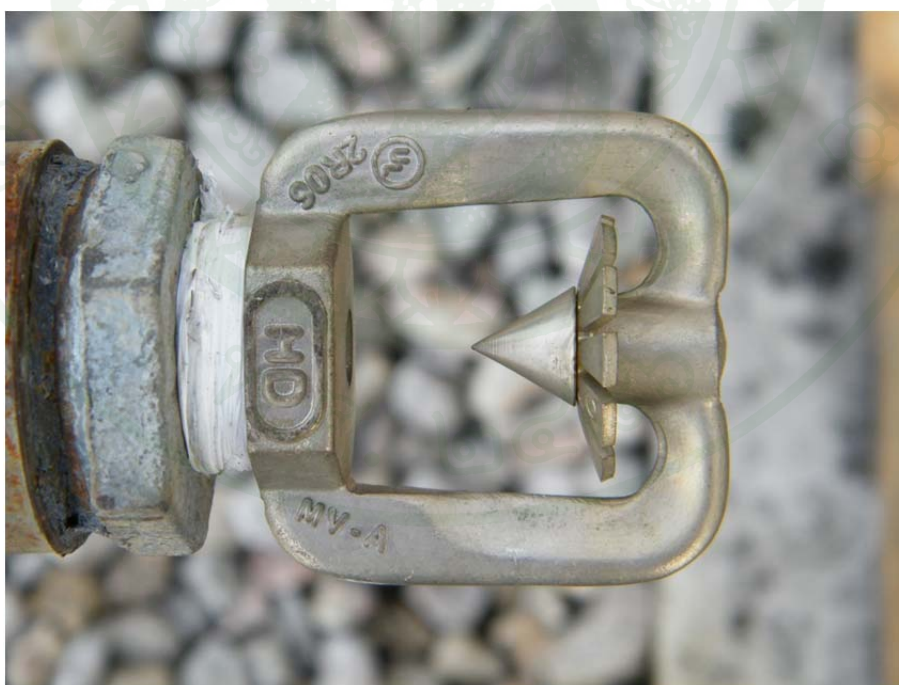
ภาพที่ 67 วาล์วควบคุมสั่งงาน (Deluge Valve)

หัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง (Water Spray Nozzle)

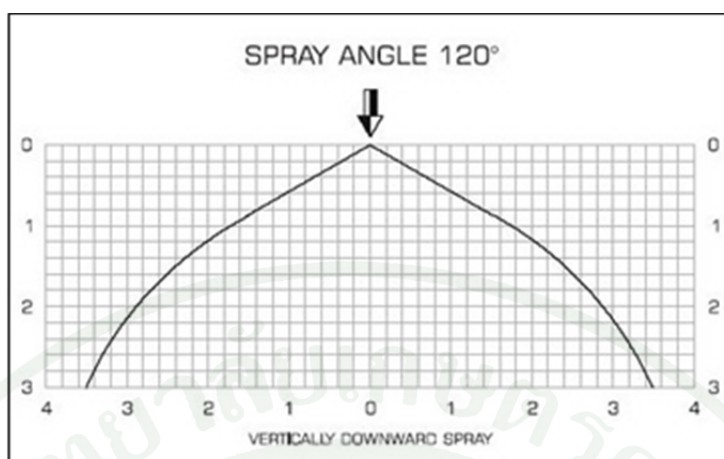
หัวกระจายน้ำฝอยของระบบเดิมนั้นที่มีอยู่จำนวน 44 หัว ดังภาพที่ 68 ไม่สามารถใช้กับระบบใหม่ได้เนื่องจากค่าตัวแปลต่างๆไม่เหมือนกัน จากการออกแบบและคำนวณของระบบใหม่ต้องใช้หัวกระจายน้ำฝอย ที่มีค่า $K = 35$, กระจายน้ำฝอยทำมุมได้ 120 องศา ดังภาพที่ 69



ภาพที่ 68 หัวกระจายน้ำฝอยแบบเดิม



ภาพที่ 69 หัวกระจายน้ำฝอยแบบใหม่



ภาพที่ 70 กราฟแสดงการกระจายน้ำฝอยมุม 120 องศา

อุปกรณ์เครื่องมือวัด (Measurement Equipment)

ในขณะที่มีน้ำไหลผ่านเส้นท่อผ่านไปจ่ายน้ำออกไปยังหัวกระจายน้ำฝอยแต่ละหัว จะมีอัตราการไหลและความดันที่มีการเปลี่ยนแปลง อุปกรณ์เครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ในการวัดค่าจะติดตั้งเข้ากับตัวบันทึกข้อมูล (Data logger) มีดังนี้

อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ (Electromagnetic Flow Measuring) ใช้วัดค่าอัตราการไหลในช่วง 0 ถึง 10 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (m^3/min) ดังภาพที่



ภาพที่ 71 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ

อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน (Pressure Transmitter) ใช้วัดค่าความดันในช่วง 0 ถึง 5 บาร์ (bar) ดังภาพที่ 72



ภาพที่ 72 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน

การติดตั้ง (Installation)

การติดตั้งหัวกระจายน้ำฝอย เนื่องจากหัวกระจายน้ำฝอยของระบบเดิมไม่สามารถใช้กับระบบใหม่ได้จึงต้องทำการถอดออกทั้งหมดซึ่งมีจำนวน 44 หัว เพื่อทำการเปลี่ยนมาใช้หัวกระจายน้ำฝอยแบบใหม่ทั้งหมด



ภาพที่ 73 ทำการถอดหัวกระจายน้ำฝอยของเดิมออกทั้ง 44 หัว

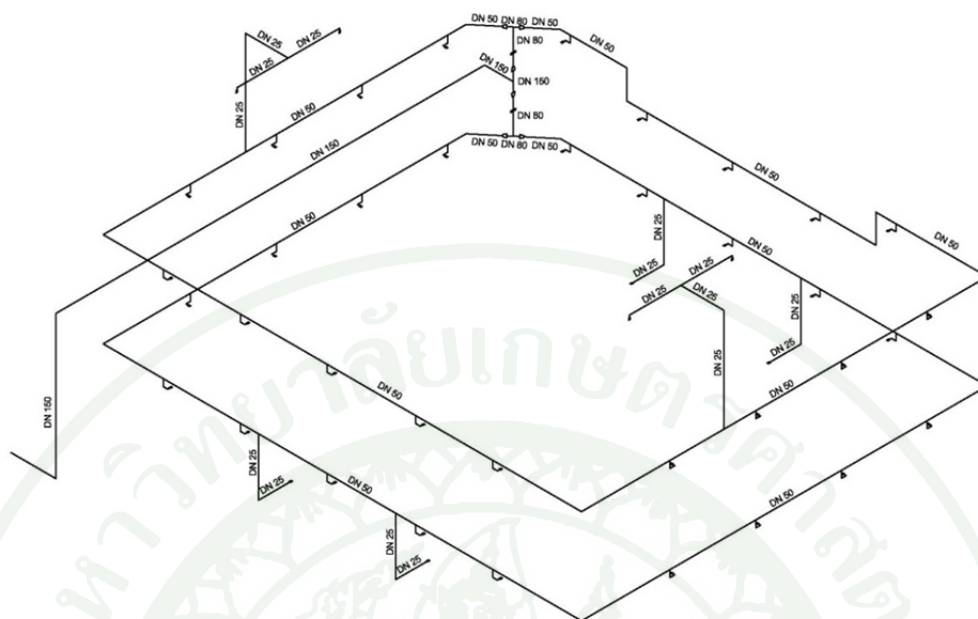


ภาพที่ 74 การติดตั้งหัวกระจายน้ำฝอยใหม่



ภาพที่ 75 การติดตั้งหัวกระจายน้ำฝอยใหม่

ส่วนของสายท่อระบบน้ำกระจายน้ำฝอยนั้นในส่วนของท่อลูบ (Loop pipe) นั้นดังภาพ 76 ยังคงไว้ตำแหน่งเดิมแต่จะเปลี่ยนแปลงเฉพาะสายท่อเมน จะการออกแบบใหม่และคำนวณทำให้ทราบผลว่าสามารถใช้สายท่อลูบนี้ในตำแหน่งเดิมได้ จะเป็นแนวท่อใหม่ตั้งแต่ช่วงท่อเมนขนาด 6 นิ้ว ดังภาพที่ 76



ภาพที่ 76 ลายท่อของระบบกระจายน้ำฝอยเดิม

การเริ่มติดตั้งท่อนั้นจะเริ่มจากการการติดตั้งฐานรองรับท่อ (Support) โดยการหาระยะและระดับของฐานรองรับท่อ (Support) แต่ละตัวต้องมีระดับเท่ากัน ดังภาพที่ 77 จากนั้นใช้ทุ๊กเหล็กยึดฐานรองรับท่อ (Support) เข้ากับผนังดังภาพที่ 78



ภาพที่ 77 ระยะและระดับของฐานรองรับท่อ (Support) แต่ละตัว



ภาพที่ 78 การยึดฐานรองรับท่อ (Support) เข้ากับผนัง

เมื่อติดตั้งฐานรองรับท่อ (Support) เสร็จแล้วก็นำท่อที่ติดตั้งขึ้นวางเรียงยาวต่อกันเพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อด้วยการเชื่อมไฟฟ้า ดังภาพที่ 79 และจากนั้นเริ่มประกอบท่อเชื่อมไฟฟ้า ดังภาพที่ 81



ภาพที่ 79 นำท่อที่ติดตั้งขึ้นวางเรียงยาวต่อกัน



ภาพที่ 80 ท่อเรียงยาวต่อกันแล้วทาสีกันสนิม



ภาพที่ 81 ท่อที่เชื่อมต่อกันด้านหม้อแปลงไฟฟ้า



ภาพที่ 82 ท่อที่เชื่อมต่อกันด้านถึงน้ำดับเพลิง



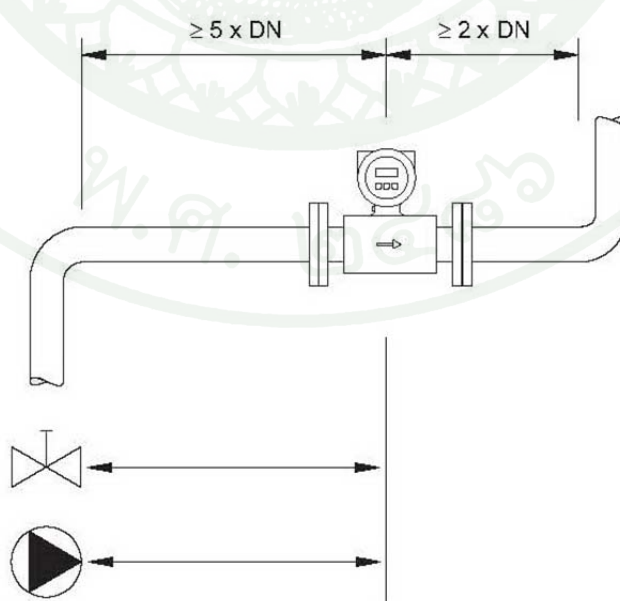
ภาพที่ 83 ท่อที่เชื่อมต่อกับวาล์วควบคุมการสั่งงาน(Deluge Valve)



ภาพที่ 84 ท่อที่เชื่อมต่อกันเสร็จแล้ว

ในส่วนการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ (Electromagnetic Flow Measuring) นั้นจะต้องเป็นไปตามคู่มือกำหนดเท่านั้น ในที่การติดตั้งจะอยู่ในลักษณะทิศทางแนวดิ่ง (Vertical orientation) ระยะก่อนเข้าและออกจากอุปกรณ์จะกำหนดไว้ตามภาพที่ 86

ระยะก่อนเข้าอุปกรณ์ต้องมีความยาวมากกว่า 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นท่อ
ระยะหลังออกจากอุปกรณ์ต้องมีความยาวมากกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ



ภาพที่ 85 การกำหนดระยะเข้า-ออก ของอุปกรณ์สำหรับการติดตั้ง

การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ(Electromagnetic Flow Measuring) จึงได้ตามภาพที่ 86



ภาพที่ 86 การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำ

สุดท้ายอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน (Pressure Transmitter) การติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ จะใช้ข้อต่อตรงเกลียว (Socket) ดังภาพที่ 87 โดยการเชื่อมต่อตรงเกลียวเข้ากับท่อก่อน แล้วจึงใส่อุปกรณ์ส่งสัญญาณพร้อมต่อสายสัญญาณดังภาพที่ 88



ภาพที่ 87 ข้อต่อตรงเกลียว



ภาพที่ 88 การติดตั้งตัวอุปกรณ์ส่งสัญญาณเข้ากับข้อต่อตรงเกลียว



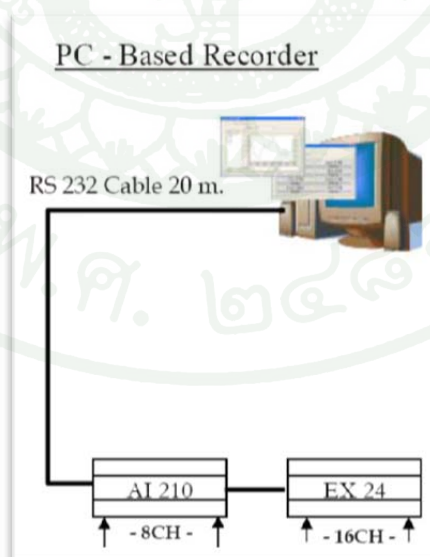
ภาพที่ 89 การติดตั้งตัวอุปกรณ์ส่งสัญญาณเข้ากับข้อต่อตรงเกลียว

DataLogger

DataLogger คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการและเก็บข้อมูล พื้นฐานของระบบประกอบไปด้วย Scanner หรือ Multiplexer Digital Voltmeter และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งจะรับ Input ที่เป็นระบบ Analog จาก Sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบ Digital และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำ เพื่อนำไปใช้งานต่อไป สามารถช่วยให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นเครื่องบันทึกค่าต่างๆ จากภายนอก โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดค่าทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน DataLogger(AI 210) และต่อส่วนขยายของ DataLogger (EX 24) เพื่อเพิ่มช่องรับสัญญาณ Input ให้มากขึ้นได้ด้วย ค่าที่ DataLogger สามารถตรวจวัดได้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล แรงเคลื่อนทางไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ฯลฯ อุปกรณ์ที่ใช้จะประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูล อุปกรณ์ตรวจวัดหรือ Sensors อุปกรณ์รับสัญญาณและส่งสัญญาณ Data Logger หรือ Module และ โปรแกรมที่ใช้บันทึกข้อมูลที่คอมพิวเตอร์



ภาพที่ 90 วิธีการทำงานของ Data Logger

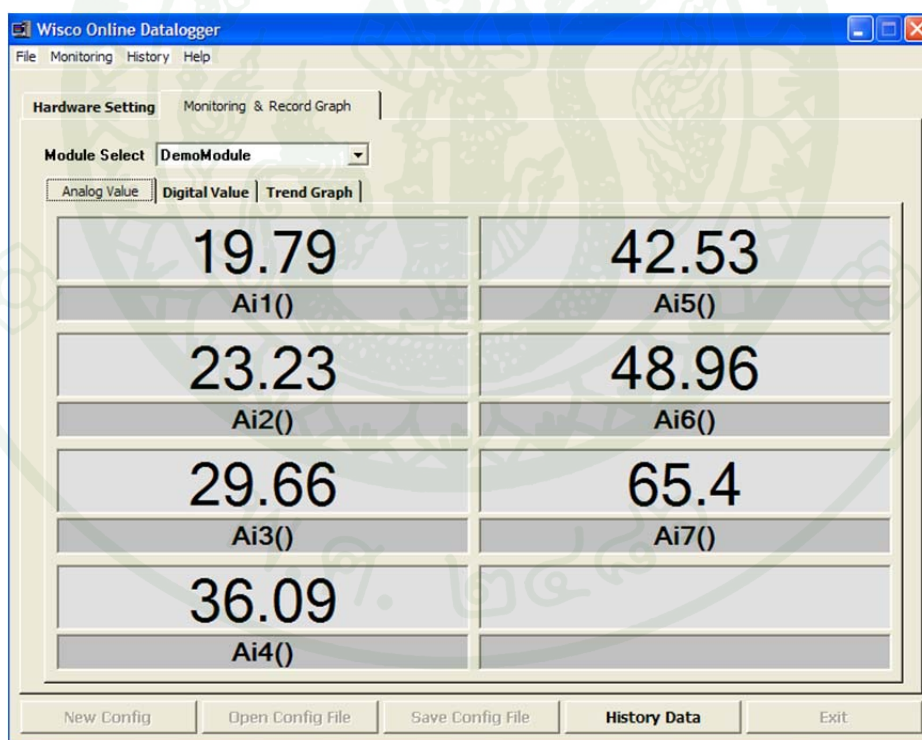


ภาพที่ 91 การเชื่อมต่อ Data Logger และส่วนขยายกับเครื่องคอมพิวเตอร์

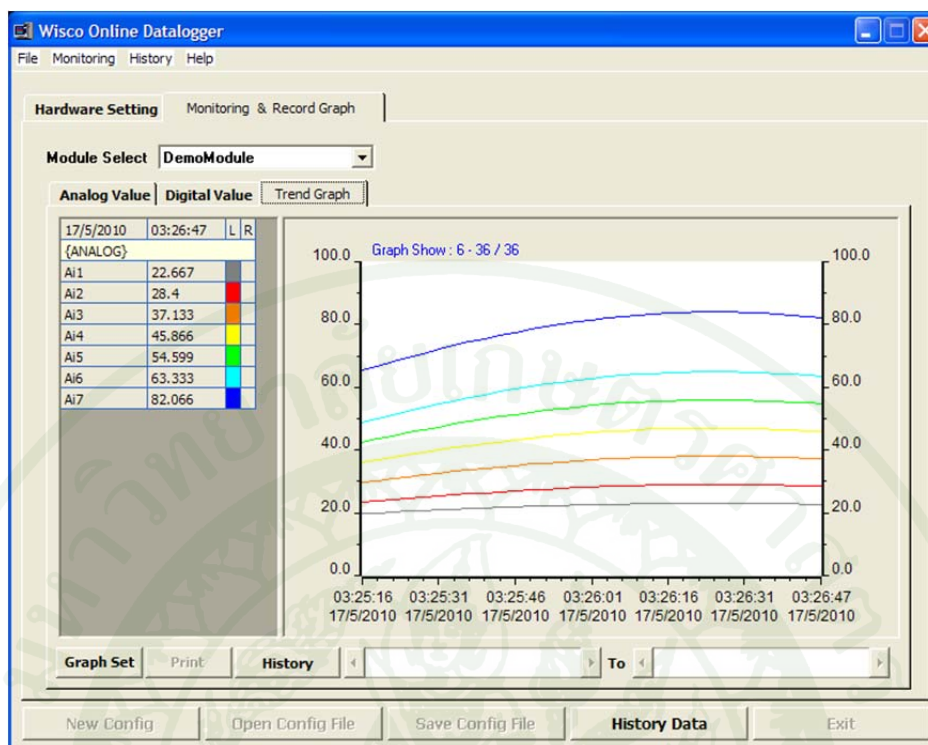
โปรแกรมที่นำมาใช้งาน

การตั้งค่าการใช้งานของโปรแกรมบันทึกค่าโดยโปรแกรมการบันทึกค่าของ Data logger รุ่น AI 210 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ โปรแกรม AI-Utility และโปรแกรม Online Data logger (OD04) โดยโปรแกรม AI-Utility จะมีหน้าที่หลักคือการทดสอบการทำงานของ Analog Module ว่าถูกต้องหรือไม่และสามารถกำหนดค่า Configuration ของ Analog Input ให้โมดูลได้อีก ด้วยซึ่งโปรแกรมเองจะติดต่อกับโมดูลได้เพียงครั้งละ 1 คอมพอร์ทและ 1 โมดูลเท่านั้น แลโปรแกรม Online Data logger (OD04) จะมีหน้าที่หลักคือการอ่านค่าวัดในขณะนั้น (กึ่ง Real Time) และ บันทึกค่าเหล่านั้นลงบนคอมพิวเตอร์ได้โดยจะติดต่อกับ Module หลายๆตัวพร้อมกันได้

เริ่มทำการบันทึกค่าโดยกดปุ่ม Start ซึ่งกล่อง Module จะมีเสียงเวลาทำการบันทึก ไปดูค่าที่ บันทึกไว้ใน Monitoring & Record Graph ตัวเลขที่ทำการบันทึกจะมีการเปลี่ยนแปลง และค่าที่ บันทึกไว้สามารถเข้าไปดูได้ที่ History Data โดยแปลงค่าที่บันทึกเป็น Excel File เพื่อนำไปทำการ Plot Graph ได้ต่อไป



ภาพที่ 92 แสดงหน้าจอของ Monitoring & Record Graph



ภาพที่ 93 แสดงหน้าจอกราฟจากค่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามา

อุปกรณ์ประกอบของ Data logger

1. คอมพิวเตอร์
2. อุปกรณ์รับข้อมูลและส่งข้อมูล หรือ Data logger (AI 210)
3. อุปกรณ์ขยายช่องสัญญาณหรือ Expansion(EX 24)
4. อุปกรณ์แปลงสัญญาณจาก Data logger เข้าคอมพิวเตอร์ (RC-23)
5. อุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ หรือ Sensors

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บบันทึกข้อมูลที่ถูกวัดและส่งมาจัดเก็บมีการใช้งานโปรแกรมที่สัมพันธ์กับ Data logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 94 แสดงคอมพิวเตอร์ PC

2. อุปกรณ์รับข้อมูลและส่งข้อมูล Data logger รุ่น AI 210 อุปกรณ์บันทึกค่ามี 8 ช่องสัญญาณ



ภาพที่ 95 แสดง Data logger รุ่น AI 210

3. อุปกรณ์ขยายช่องสัญญาณ Expansion EX 24 เป็นส่วนขยายของ Data logger มี 16 ช่องสัญญาณ ช่วยเพิ่มช่องสัญญาณเพิ่มเป็น 24 ช่องสัญญาณ



ภาพที่ 96 แสดงส่วนขยาย Expansion รุ่น EX 24

4. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (RC 23) ใช้ในการรับสัญญาณจาก Data logger และทำการแปลงสัญญาณที่ได้รับมาส่งไปบันทึกค่าลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยควบคุมในการส่งสัญญาณ ทำให้สัญญาณมีความเที่ยงตรง



ภาพที่ 97 แสดงอุปกรณ์แปลงสัญญาณ RC 23

5. อุปกรณ์ตรวจวัดหรือ Sensors ใช้ตรวจวัดค่าต่างๆ ประกอบด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ (Temperature transmitter) _ อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน (Pressure transmitter) อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของไนโตรเจนและน้ำ (Vortex & Electromagnetic Flow Measuring) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type-K)



ภาพที่ 98 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิ



ภาพที่ 99 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าความดัน



ภาพที่ 100 อุปกรณ์ส่งสัญญาณค่าอัตราการไหลของน้ำและไนโตรเจน



ภาพที่ 101 Thermocouple Type-K

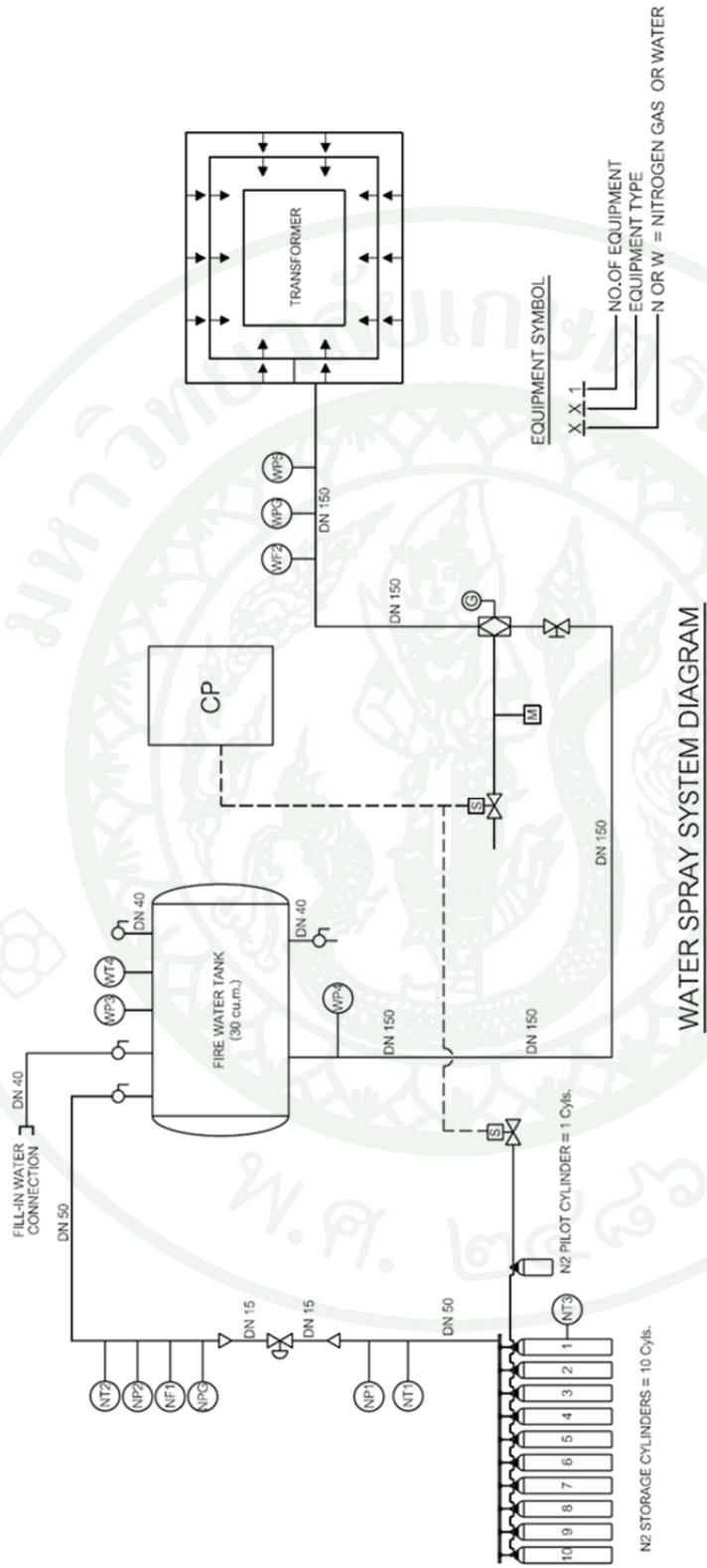
ตารางที่ 3 สัญลักษณ์และค่าที่อุปกรณ์วัดทั้ง 11 ตำแหน่งบันทึกค่า

ตำแหน่งที่	สัญลักษณ์	ค่าที่อุปกรณ์บันทึก
1	NT1	อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ Pressure Regulator
2	NP1	ความดันของก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ Pressure Regulator
3	NF1	อัตราการไหลของไนโตรเจน
4	NT2	อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ทางออกของ Pressure Regulator
5	NP2	ความดันของก๊าซไนโตรเจนที่ทางออกของ Pressure Regulator
6	NT3	อุณหภูมิที่ผิวถัง Nitrogen Storage Tank
7	WP3	ความดันภายในถังน้ำดับเพลิง Fire Water Tank (ตำแหน่งด้านบน)
8	WT4	อุณหภูมิภายในถังน้ำดับเพลิง Fire Water Tank
9	WP4	ความดันภายในถังน้ำดับเพลิง Fire Water Tank (ตำแหน่งด้านล่าง)
10	WF2	อัตราการไหลของน้ำ
11	WP5	ความดันน้ำที่ท่อเมนก่อนเข้าหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง

ตารางที่ 4 ค่าอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensors)

No.	Ch.	Name	Type Measurement	Temp. (C)	Pressure (Bar)	Flow rate (m^3/min)	Output (mA)	Input (V.DC)
1	AI1	NT 1	Temperature Transmitter	-50 , 100	-	-	4 -20	9-33
2	AI2	NP 1	Pressure Transmitter	-	0-200	-	4 -20	9-33
3	AI3	NF 1	Vortex Flow Measuring	-	0-10	1.08	4-20	-
4	AI4	NP 2	Pressure Transmitter	-	0-15	-	4 -20	9-33
5	AI5	NT 2	Temperature Transmitter	-50 , 100	-	-	4 -20	9-33
6	AI6	WP 3	Pressure Transmitter	-	0-15	-	4 -20	9-33
7	AI7	NT 3	Thermocouple Type-K	-40 , 350	-	-	4-20	-
8	AI17	WT 4	Temperature Transmitter	-50 , 100	-	-	4 -20	9-33
9	AI18	WP 4	Pressure Transmitter	-	0-15	-	4 -20	9-33
10	AI19	WF 2	Electromagnetic Flow Measuring	-	0-10	2.5	4-20	-
11	AI20	WP 5	Pressure Transmitter	-	0-5	-	4 -20	9-33

หมายเหตุ: รายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัดด้านบนอ้างอิงตามการติดตั้งและการใช้งานจริง

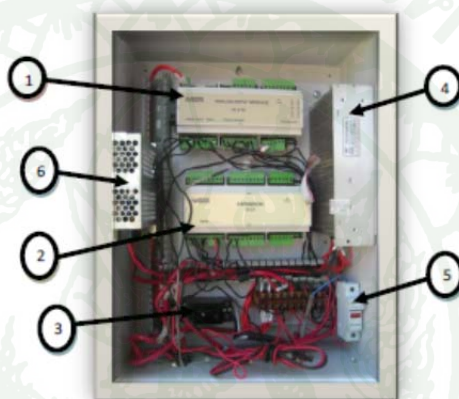


SYMBOL	DESCRIPTION	SYMBOL	DESCRIPTION	SYMBOL	DESCRIPTION
P	PRESSURE TRANSMITTER	S	SOLENOID VALVE 24 VDC.	CP	CONTROL PANEL
T	TEMPERATURE TRANSMITTER	B	BALL VALVE	PR	PRESSURE REGULATOR
F	FLOW METER	OS & Y	OS & Y GATE VALVE	M	MANUAL
D	DELUGE VALVE W/ALARM GONG	↑	WATER SPRAY NOZZLE	L	LEVEL INDICATOR

ภาพที่ 102 ไดอะแกรมแสดงตำแหน่งอุปกรณ์วัดค่า

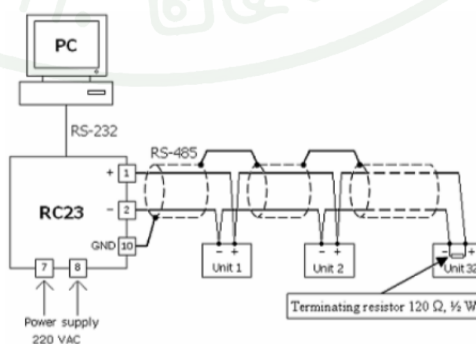
การติดตั้งอุปกรณ์ในตู้ Data logger

1. อุปกรณ์รับส่งข้อมูล Datalogger (AI 210)
2. อุปกรณ์ขยายช่องสัญญาณ ExpansionDatalogger(EX 24)
3. สวิตช์ปิด-เปิดไฟ อุปกรณ์สั่งการทำงานของ Datalogger
4. Power Supply ของอุปกรณ์รับส่งข้อมูลและอุปกรณ์ขยายช่องสัญญาณ
5. ฟิวส์ช่วยในการตัดกระแสไฟฟ้าเกิน ป้องกันอุปกรณ์เสียหาย
6. Power Supply ของวาล์วไฟฟ้าเปิดถึงนำไนโตรเจน (Pilot Cylinder)



ภาพที่ 103 แสดงอุปกรณ์ในตู้ Datalogger

การติดตั้งตัวแปลงสัญญาณ RC 23 ทำการต่อไฟฟ้า 220 โวลต์มาให้อุปกรณ์โดยเข้าที่ขั้ว Socket หมายเลข 7 และ 8 หลังจากนั้นทำการต่อสายจาก Datalogger ที่ส่งสัญญาณมาที่ตัวแปลงสัญญาณเข้าที่ขั้ว Socket หมายเลข 1 และ 2 ตาม Diagram ด้านล่าง และต่อสายของตัวแปลงสัญญาณเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 104 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวแปลงสัญญาณ (RC 23)

ขั้นตอนการทดลอง

เติมน้ำเข้าถังน้ำดับเพลิง

ก่อนการเติมน้ำต้องทำการปิดวาล์วควบคุมการสั่งงาน (Deluge Valve) โดยการปิดบอลวาล์ว (Ball Valve) ตรงวาล์วควบคุมการสั่งงาน ดังภาพที่ 105



ภาพที่ 105 วาล์วควบคุมการสั่งงาน (Deluge Valve)

ป้อนน้ำเติมน้ำเข้าถังน้ำดับเพลิงที่ช่องเติมน้ำเข้าของถังดับเพลิง ดังภาพที่ 106



ภาพที่ 106 ต่อสายยางเติมน้ำเข้าถังน้ำดับเพลิง

เติมน้ำจากถังพักน้ำเข้าถังน้ำดับเพลิงจนน้ำเต็มถัง ดังภาพที่ 107



ภาพที่ 107 ปั้มน้ำที่ใช้เติมน้ำเข้าถังน้ำดับเพลิง

เตรียมถังไนโตรเจน

ต่อท่อทองแดงเข้ากับหัวถังไนโตรเจนตามจำนวนที่ต้องการทดสอบดังภาพที่ 108



ภาพที่ 108 การต่อท่อทองแดงเข้ากับหัวถังไนโตรเจนจำนวน 3 ถัง

ใส่มาตรวัดแรงดัน และใช้ประแจ 6 เหลี่ยมขันเปิดวาล์วเช็คแรงดันในถัง แรงดันในถังจะต้องอยู่ในช่วงสีเขียวดังภาพที่ 109



ภาพที่ 109 ใช้ประแจหกเหลี่ยมขันเปิดวาล์วเช็คแรงดัน



ภาพที่ 110 มาตรวัดความดันเช็คแรงดันในถังจะต้องอยู่ในช่วงสีเขียว

ติดตั้งวาล์วไฟฟ้า (Solenoid Valve) เข้ากับถังสั่งฉีด (Pilot Cylinder) ดังภาพที่ 110



ภาพที่ 111 ติดวาล์วไฟฟ้า (Solenoid Valve) เข้ากับถังสั่งฉีด (Pilot Cylinder)

ตั้งค่าอุปกรณ์ลดแรงดัน (Regulator)

เตรียมถังไนโตรเจนขนาดเล็กดังภาพที่ 112 ที่ใช้ตั้งค่า ต่อเข้ากับอุปกรณ์ลดแรงดัน ดังภาพที่ 113



ภาพที่ 112 ถังไนโตรเจนขนาดเล็กที่ใช้ตั้งค่าอุปกรณ์ลดแรงดัน



ภาพที่ 113 ต่อถังไนโตรเจนเข้ากับอุปกรณ์ลดแรงดัน

จากนั้นค่อยๆเปิดวาล์วที่หัวถังไนโตรเจนเข้าอุปกรณ์ลดแรงดัน แล้วทำการขันปรับแรงดันที่อุปกรณ์ลดแรงดันดังภาพที่ 113 ให้แรงดันด้านออกได้ค่าที่ 15 บาร์ โดยดูจากเกจวัดแรงดันดังภาพที่ 114



ภาพที่ 114 จุดขันปรับแรงดัน



ภาพที่ 115 ค่าแรงดันด้านออกทำการปรับตั้งค่าไปที่ 15 บาร์

ตั้งค่าอุปกรณ์ลดแรงดันเสร็จแล้วให้ติดตั้งเข้ากับหน้าแปลนดังภาพที่ 116

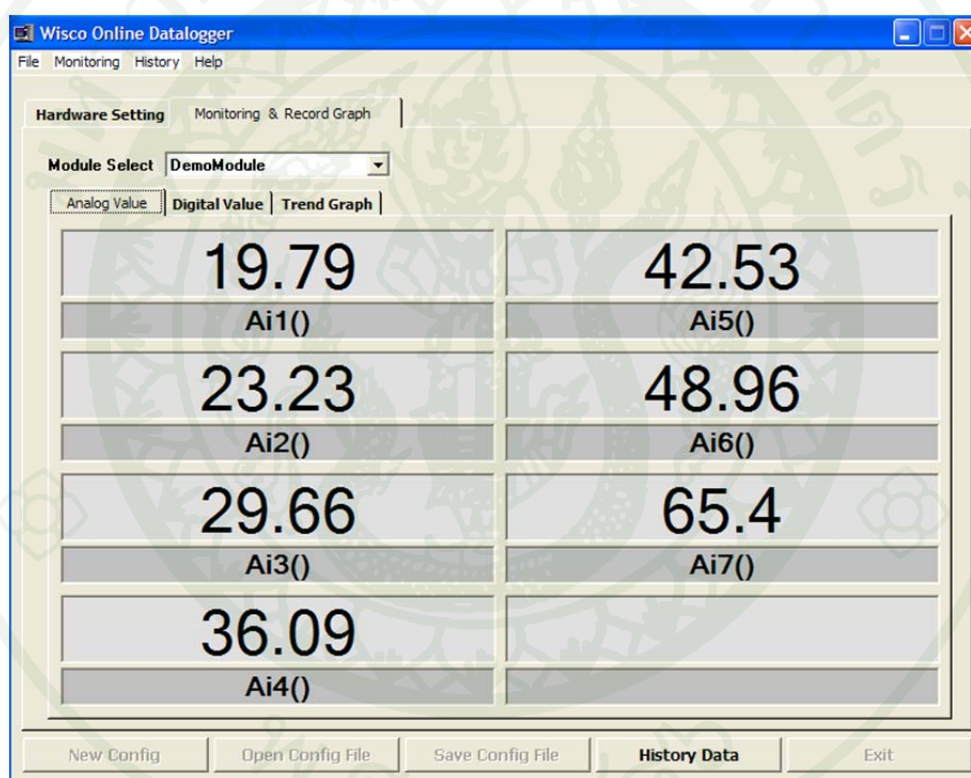


ภาพที่ 116 ติดตั้งชุดอุปกรณ์ลดแรงดันเข้ากับระบบท่อ

ตั้งค่าอุปกรณ์บันทึกค่า (Data Logger)

ตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์บันทึกค่า อุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ตรวจวัด และ เครื่องคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน

เริ่มทำการบันทึกค่าโดยกดปุ่ม Start ซึ่งกล่อง Module จะมีเสียงเวลาทำการบันทึก ไปดูค่าที่บันทึกไว้ใน Monitoring & Record Graph ตัวเลขที่ทำการบันทึกจะมีการเปลี่ยนแปลง และค่าที่บันทึกไว้สามารถเข้าไปดูได้ที่ History Data โดยแปลงค่าที่บันทึกเป็น Excel File เพื่อนำไปทำการ Plot Graph ได้ต่อไป



ภาพที่ 117 หน้าจอของ Monitoring & Record Graph

ผู้ควบคุมสั่งการทำงานของระบบดับเพลิงกระจายน้ำฝอย

เมื่อทำการตรวจสอบและตั้งค่าต่างๆทั้ง 4 หัวข้อข้างต้นแล้ว การสั่งงานให้ระบบทำงานจะสั่งงานโดยการเปิดสวิทช์ที่ผู้ควบคุมดังภาพที่ 118 เพื่อสั่งให้ Solenoid Valve ที่ถังไนโตรเจน Pilot เริ่มทำการฉีดก๊าซไนโตรเจนให้ไปเปิดวาล์วที่ถังไนโตรเจน Storage ต่อไป



ภาพที่ 118 ตู้ควบคุมการทำงานของระบบดับเพลิง

ผลและวิจารณ์

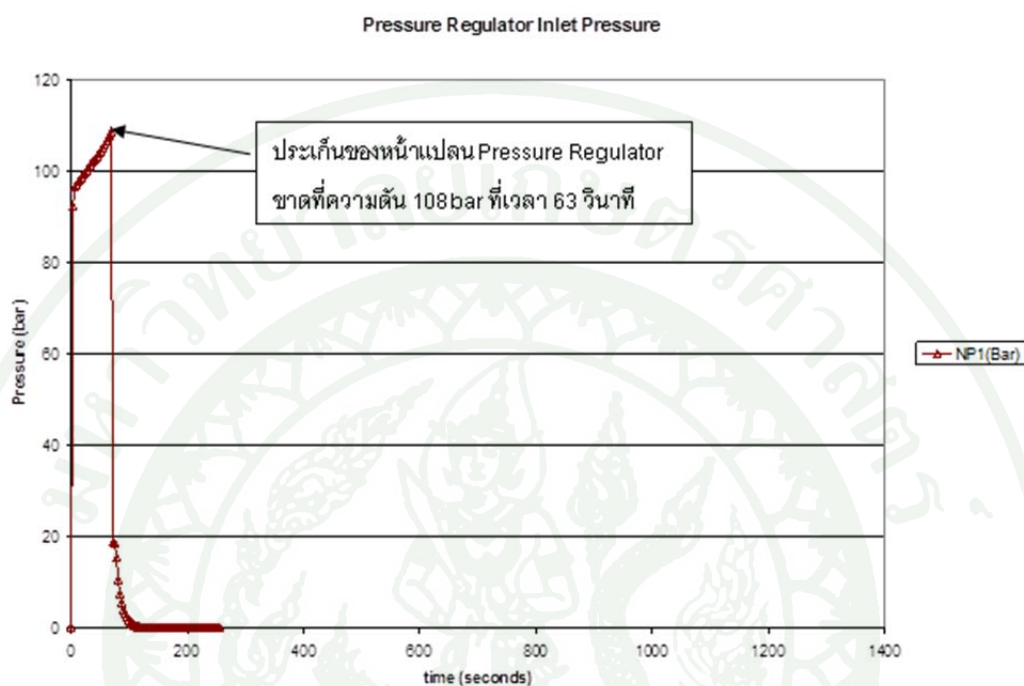
จากการทดลองจำนวน 10 ครั้ง โดยแปรผันจำนวนถังไนโตรเจนที่ต่อเข้ากับระบบ เป็น 3, 4, 5 และ 6 ถังตามลำดับ ความดันที่ทางออกของ Pressure Regulator ถูกปรับอยู่ในช่วง 15 ถึง 20 bar ปริมาณน้ำดับเพลิงเริ่มต้นภายในถังน้ำดับเพลิงเท่ากับ 30 m³ (เติมน้ำเต็มถัง) ในการทดลองมีการสลับใช้ Pressure Regulator Valve รุ่นเดียวกันจำนวน 2 ตัว (Pressure Regulator Number 1 และ 2) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของ Pressure Regulator Valve รุ่นที่ใช้ในงานวิจัย ตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดในงานวิจัยนี้ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 5 สรุปตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองที่	จำนวนถังก๊าซไนโตรเจนที่ใช้	Pressure Regulator Number	ปริมาณน้ำดับเพลิงเริ่มต้น (m ³)	หมายเหตุ
1	3	1	30	ประเกณของ pressure regulator แตกที่ความดันโดยประมาณ 108 bar
2	3	1	30	
3	5	1	30	เกิดการรั่วที่ข้อต่อระหว่าง Nitrogen Storage Tank กับท่อ Header
4	5	1	30	System Pressure Relief Valve เปิดที่ความดันประมาณ 101 bar
5	5	2	30	
6	5	2	30	
7	5	1	30	
8	4	1	30	
9	5	1	30	
10	6	1	30	

ในการทดลองที่ 1 ซึ่งใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 3 ถังต่อเข้ากับระบบ พบว่าเมื่อเริ่มการทดลองไปได้เป็นเวลาประมาณ 63 วินาที เกิดการฉีกขาดของประเกณที่หน้าแปลนของ Pressure Regulator เนื่องจากหน้าแปลนไม่สามารถทนความดันได้ ความดันก๊าซไนโตรเจนก่อนเข้า Pressure Regulator (NP1) ณ เวลาที่ประเกณฉีกขาด อ่านค่าได้ 108 bar ดังแสดงในภาพที่ 115 ได้ทำการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น โดยทำการเปลี่ยนประเกณและขนาดหน้าแปลน เป็นหน้าแปลน Class 900 ซึ่งสามารถทนความดันใช้งานสูงสุดได้ ประมาณ 1800 psi (ประมาณ 122 bar) และเปลี่ยนประเกณเป็นประเกณโลหะ หลังจากทำการแก้ไขหน้าแปลนและประเกณ แล้วต่อ Pressure Regulator Valve เข้ากับระบบ

ท่อ พบว่าประเก็นโลหะและหน้าแปลน Class 900 สามารถทนความดันและทำงานได้โดยไม่เกิดการรั่วของก๊าซไนโตรเจน



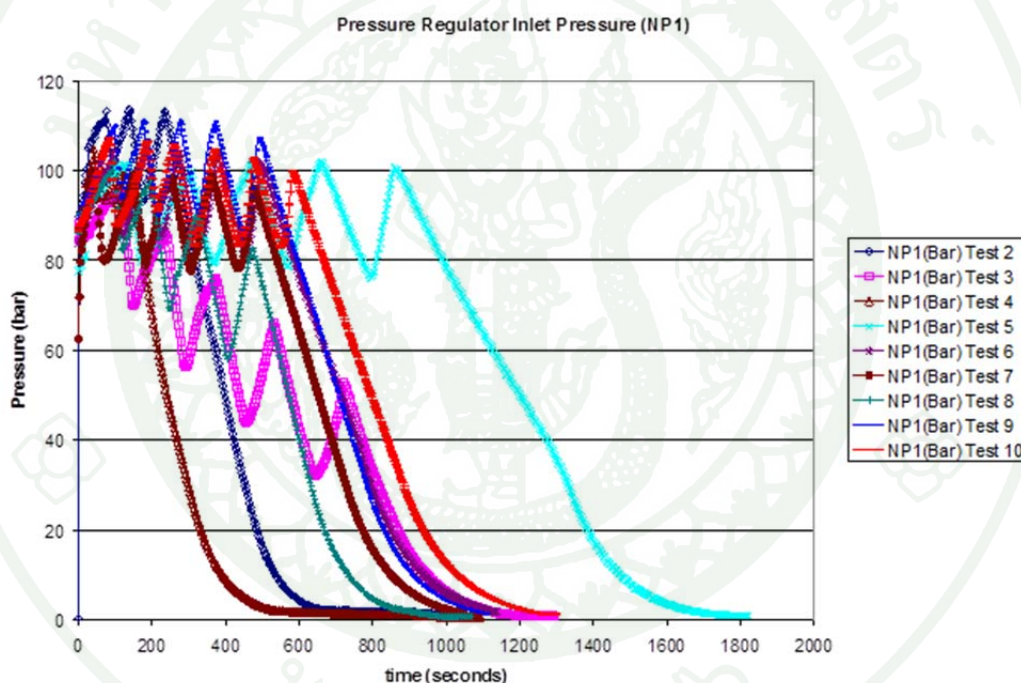
ภาพที่ 119 ความดันก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ Pressure Regulator (NP1) (การทดลองที่ 1)

ภาพที่ 120 แสดงความดันก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้า Pressure Regulator (NP1) ในการทดลองที่ 2 ซึ่งต่อก๊าซไนโตรเจนเข้ากับระบบจำนวน 3 ถัง เมื่อเริ่มการทำงานพบว่า ความดัน NP1 มีการแกว่งไปมารอบค่าเฉลี่ยประมาณ 100 bar สาเหตุเนื่องมาจาก Pressure Regulator พยายามปรับความดันด้านออก (NP2) ให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้ ความดันด้านทางเข้า NP1 จึงเกิดการแกว่งไปมา ความดัน NP1 มีค่าลดลงเป็นศูนย์ที่เวลาประมาณ 627 วินาที ตลอดการทดลองครั้งที่ 2 ไม่พบการรั่วไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ระบบท่อ

ในการทดลองที่ 3 ซึ่งต่อก๊าซไนโตรเจนเข้ากับระบบจำนวน 5 ถัง เมื่อเริ่มการทำงาน พบว่าเกิดการรั่วของก๊าซไนโตรเจนที่ข้อต่อวาล์วทางออกจากถังก๊าซไนโตรเจนกับท่อ Header ทำให้มีก๊าซไนโตรเจนจำนวนหนึ่งรั่วไหลออกจากระบบ เมื่ออ่านค่าความดัน NP1 พบว่าเกิดพฤติกรรมความดันแกว่งไปมาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของความดันที่แกว่งไปมามีค่าลดลงตามเวลาเนื่องจากการรั่วไหลของก๊าซไนโตรเจน ความดัน NP1 ของการทดลองที่ 3 มีค่าลดลงเป็นศูนย์ที่เวลาประมาณ 1170 วินาที ในการทดลองที่ 4 ซึ่งใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 ถังต่อเข้ากับระบบ เมื่อเริ่มการทดลองพบว่า Pressure Relief Valve ของระบบทำงาน ทำให้มีก๊าซไนโตรเจนจำนวนมากถูกระบายออกจากระบบท่อ ความดัน NP1 จึงลดค่าลงอย่างรวดเร็ว หลังจากทำการตรวจสอบ Pressure Relief Valve พบว่ามีการแตกของแผ่นกั้นความดัน ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจาก แผ่นกั้นแรงดันของ

Pressure Relief Valve ต้องทนความดันที่มีค่าสูงกว่า 100 bar จากการทดลองก่อนหน้านี้หลายครั้ง ทำให้เกิดการล้าและแตกในการทดลองครั้งนี้

หลังจากพบการรั่วของข้อต่อของระบบท่อก๊าซไนโตรเจน ผู้วิจัยได้หาแนวทางในการตรวจสอบการรั่วของระบบท่อใหม่ โดยก่อนการทดลองทุกครั้งเมื่อทำการติดตั้งถังก๊าซไนโตรเจนเข้ากับระบบท่อเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการอัดก๊าซไนโตรเจนที่ความดัน 150 bar เข้าไปในระบบท่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการติดตั้งและการขันเกลียวของข้อต่อต่างๆ ซึ่งหลังจากผู้วิจัยดำเนินการตรวจสอบการรั่ว ด้วยวิธีการดังกล่าวแล้ว ในการทดลองที่ 5 ถึง 10 ก็ไม่พบการรั่วของระบบท่อไนโตรเจนอีก ภาพที่ 3 แสดงให้เห็นความดัน NP1 ของการทดลองที่ 5 ถึง 10 ความดัน NP1 มีการแกว่งไปมาโดยมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 95 bar โดยไม่มีการรั่วของระบบท่อก๊าซไนโตรเจน



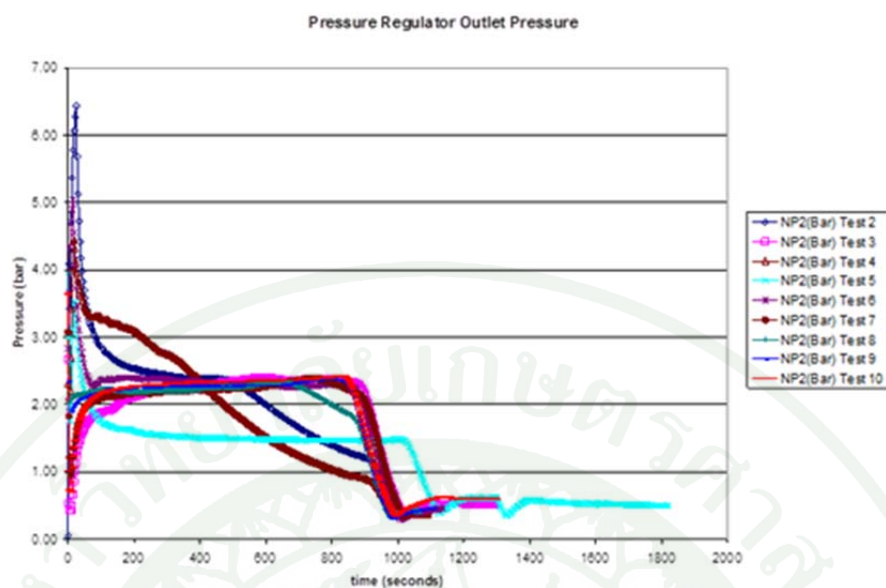
ภาพที่ 120 ความดันก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ Pressure Regulator

ความดันที่ทางออกของ Pressure Regulator (NP2) แสดงไว้ใน ภาพที่ 121 ความดัน NP2 เป็นความดันซึ่งผ่านการควบคุมของ Pressure Regulator แล้ว จากภาพที่ 121 แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ว่าความดันที่ทางเข้า Pressure Regulator (NP1 ดูภาพที่ 120 ประกอบ) จะแกว่งไปมาอย่างมาก แต่ Pressure Regulator สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยควบคุมที่ทางออกให้มีความดันค่อนข้างสม่ำเสมอ ในการทดลองที่ 2 ความดัน NP2 ค่อยๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนมีค่าเป็นศูนย์ที่เวลาประมาณ 1000 วินาที สาเหตุที่ความดัน NP2 ลดลงอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากการใช้ก๊าซไนโตรเจน 3 ถังต่อเข้ากับระบบมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนน้อยเกินไปจนทำให้ไม่สามารถรักษาความดันภายในถังน้ำดับเพลิงให้คงที่ได้

ในการทดลองที่ 3 ความดัน NP2 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนมีค่ามากกว่า 2.2 bar ที่เวลาประมาณ 255 วินาที จากนั้นความดัน NP2 มีค่าค่อนข้างคงที่ ความดัน NP2 มีค่าลดต่ำกว่า 2.2 bar ที่เวลาประมาณ 895 วินาที ในการทดลองที่ 3 ซึ่งใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 ถัง ถึงแม้ว่าจะมีการรั่วไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ข้อต่อวาล์วทางออกจากถังก๊าซไนโตรเจนกับท่อ header จำนวนหนึ่งแต่ Pressure Regulator ยังสามารถรักษาความดันให้คงที่เกิน 2.2 bar ได้เป็นเวลา 640 วินาที (วินาทีที่ 255 ถึงวินาทีที่ 895 ดูภาพที่ 121 ประกอบ) ในการทดลองที่ 4 ความดัน NP2 มีค่าลดลงต่ำกว่า 2.2 อย่างรวดเร็ว สาเหตุเนื่องมาจากการทำงานของ Pressure Relief Valve ของระบบท่อก๊าซไนโตรเจน ทำให้ก๊าซไนโตรเจนจำนวนมากถูกระบายออกจากระบบ

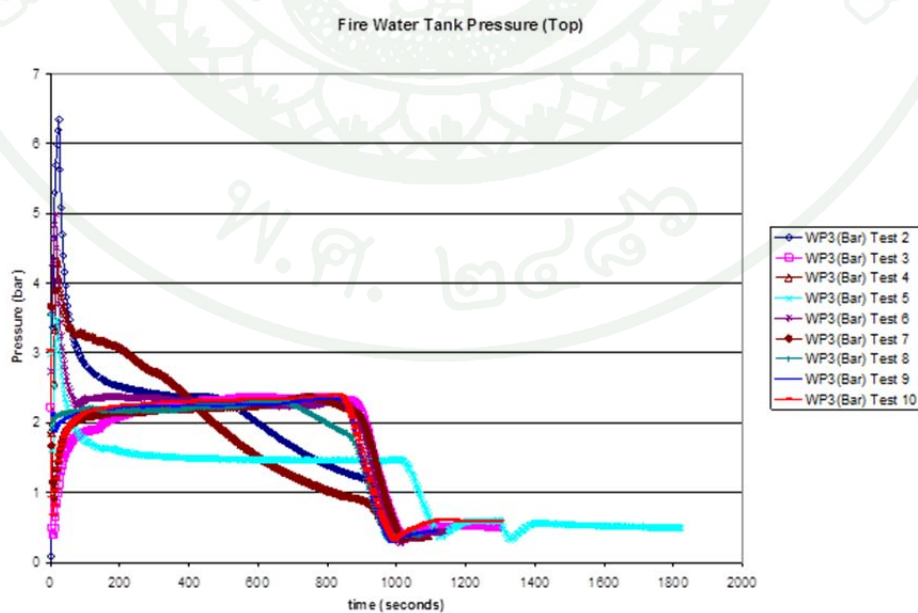
ในการทดลองที่ 5 ซึ่งใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 ถังต่อเข้ากับระบบและเปลี่ยนใช้ Pressure Regulator Valve จาก Number 1 เป็น Number 2 จากการทดลองพบว่าความดันที่ทางออกของ Pressure Regulator NP2 ที่สภาวะคงตัวมีค่าต่ำประมาณ 1.5 bar สาเหตุที่ความดัน NP2 ของการทดลองที่ 5 มีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น อาจเนื่องมาจากการทดลองนี้มีการเปลี่ยนใช้ Pressure Regulator Valve Number 2 ซึ่งเป็นตัวใหม่ นำมาติดตั้งใช้เป็นครั้งแรก ทำการตั้งค่าความดันทางออกของตัว Pressure Regulator Valve ยังไม่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดลองซ้ำโดยใช้ถังไนโตรเจน 5 ถังต่อเข้ากับระบบในการทดลองที่ 6 และใช้ Pressure Regulator Valve Number 2 อีกครั้งพบความดัน NP2 มีค่ากลับไปอยู่ในช่วงปกติใกล้เคียงกับความดันที่ปรับได้จาก Pressure Regulator Valve Number 1 จากผลกระทบของการเปลี่ยนใช้ Pressure Regulator Valve รุ่นเดียวกัน 2 ตัว ผู้วิจัยมีข้อแนะนำว่า ในการติดตั้ง Pressure Regulator Valve ในระบบจริง ควรมีการทดสอบฉีดไนโตรเจนจริง เพื่อตรวจสอบการทำงานของ Pressure Regulator Valve ว่า ได้ผลตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่า Pressure Regulator Valve สามารถปรับความดันได้จริงตามต้องการ

ภาพที่ 121 แสดงความดัน NP2 ของการทดลองที่ 7 ถึง 10 เนื่องจากในการทดลองที่ 7 ถึง 10 ไม่มีการรั่วของระบบท่อก๊าซไนโตรเจน ความดันหลังก๊าซไนโตรเจนหลังผ่าน Pressure Regulator Valve เข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่าประมาณ 2.2 bar ความดันมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังเก็บจนหมด



ภาพที่ 121 ความดันก๊าซไนโตรเจนที่ทางออกของ Pressure Regulator

ภาพที่ 122 แสดงความดันภายในถังน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งด้านบน (WP3) ซึ่งเป็นตัวแทนความดันของก๊าซไนโตรเจนภายในถังน้ำดับเพลิง เนื่องจากท่อของระบบไนโตรเจนเป็นท่อขนาด 2 นิ้วทำให้มีความดันสูญเสียในเส้นท่อน้อยมาก ความดันก๊าซไนโตรเจนภายในถังน้ำดับเพลิง (WP3) กับความดันภายในเส้นท่อ NP2 จึงมีค่าใกล้เคียงกันจากกราฟที่ 122 แสดงให้เห็นว่าการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนภายในถังน้ำดับเพลิงมีลักษณะใกล้เคียงกับการขยายตัวด้วยกระบวนการความดันคงที่

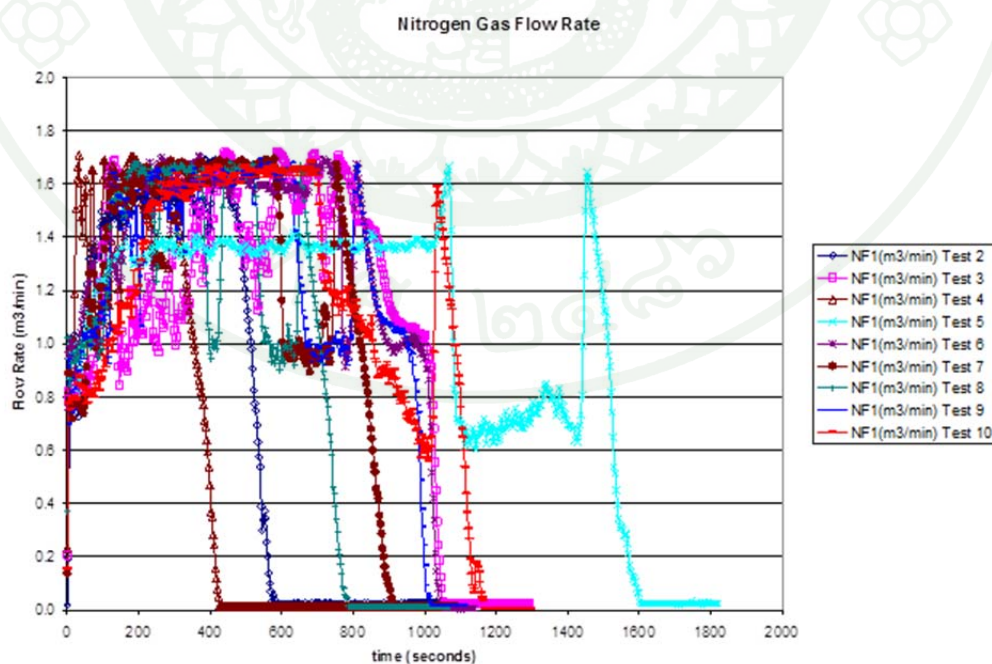


ภาพที่ 122 ความดันภายในถังน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งด้านบน

ภาพที่ 123 แสดงอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนของการทดลองที่ 2 ถึง 10 เวลาที่ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังหมดมีอัตราการไหลเป็นศูนย์จะถือเป็นเวลา Nitrogen Discharge Time ในการทดลองที่ 2 ใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 3 ถึง ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังหมดที่เวลา 579 วินาที ในการทดลองที่ 3 ใช้ก๊าซไนโตรเจน 5 ถึงต่อเข้ากับระบบ ในระหว่างทำการทดลองมีการรั่วไหลของก๊าซไนโตรเจนจำนวนหนึ่ง ก๊าซไนโตรเจน 5 ถึงในการทดลองที่ 3 ไหลออกจากถังหมดที่เวลา 1050 วินาที ในการทดลองที่ 4 ใช้ก๊าซไนโตรเจน 5 ถึง Pressure Relief ของระบบทำงานทำให้มีก๊าซไนโตรเจนระบายออกเป็นจำนวนมากทำให้ก๊าซไนโตรเจนไหลออกหมดดังอย่างรวดเร็วภายในเวลา 426 วินาที

ในการทดลองที่ 5 ใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 ถึงต่อเข้ากับระบบ เนื่องจาก Pressure Regulator Valve ทำงานผิดพลาดทำให้ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังในอัตราการไหลที่ต่ำ จึงทำให้เวลาที่ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจนหมดทุกถัง ใช้เวลามากกว่าที่ควรจะเป็น โดยมี Nitrogen Discharge เท่ากับ 1602 วินาที ในการทดลองที่ 6 7 และ 9 ใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 ถึงต่อเข้ากับระบบและไม่พบการรั่วของระบบต่อก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังเก็บหมดในเวลา 1041 906 และ 1011 วินาทีตามลำดับ

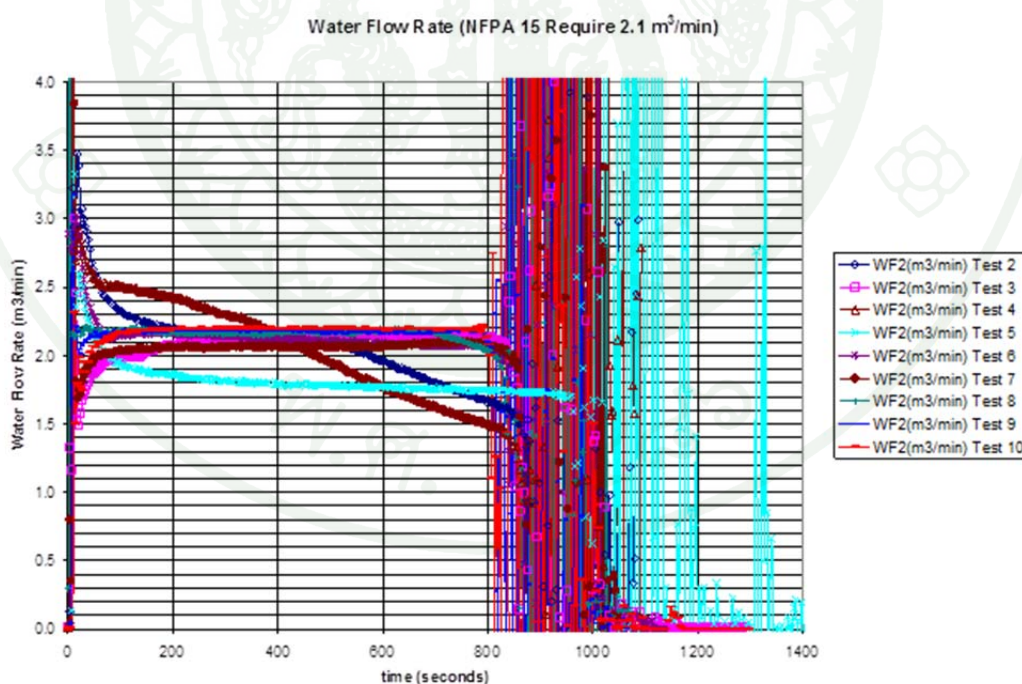
ในการทดลองที่ 8 ทำการต่อก๊าซไนโตรเจนจำนวน 4 ถึงเข้ากับระบบ ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังเก็บหมดภายในเวลา 783 วินาที และในการทดลองที่ 10 ใช้ก๊าซไนโตรเจน จำนวน 6 ถึงต่อเข้ากับระบบ ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังเก็บหมดภายในเวลา 1164 วินาที



ภาพที่ 123 อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน

ภาพที่ 124 แสดงอัตราการไหลของน้ำออกจากถัง Fire Water Tank อัตราการไหลของน้ำถูกวัดด้วยเครื่อง Flow Meter Endress+Hauser ซึ่งอาศัยหลักการ Vortex Flow ในการวัดอัตราการไหลของน้ำ เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้อง น้ำจะต้องไหลเต็มหน้าตัดตลอดเวลา จากการติดตั้งเครื่อง Flow Meter ซึ่งติดตั้งในทิศทางที่น้ำต้องไหลขึ้น ทำให้สามารถมั่นใจได้ว่า น้ำจะไหลเต็มหน้าตัดตลอดเวลา ดังนั้น ถ้าน้ำไหลออกจนหมดท่อ ภายในท่อจะเป็นการไหลของก๊าซไนโตรเจนซึ่งอัดค้างอยู่ภายในถังน้ำดับเพลิง ทำให้ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter มีการแกว่งไปมาอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการแกว่งไปมาในช่วงปลายของการทดลองของกราฟในภาพที่ 124 ดังนั้นจุดที่เริ่มมีการแกว่งไปมาของค่าที่อ่านจาก Flow Meter สามารถใช้เป็นดัชนีบอกว่าน้ำปริมาณ 30 m³ ได้ไหลออกจากถังน้ำดับเพลิงหมดแล้ว จากภาพที่ 124 น้ำดับเพลิงปริมาณ 30 m³ ไหลออกหมดจากถัง Fire Water Tank ที่เวลา 864 วินาที (การทดลองที่ 1), 870 วินาที (การทดลองที่ 2), 897 วินาที (การทดลองที่ 4), 987 วินาที (การทดลองที่ 5), 837 วินาที (การทดลองที่ 6), 864 วินาที (การทดลองที่ 7), 831 วินาที (การทดลองที่ 8), 843 วินาที (การทดลองที่ 9) และ 837 วินาที (การทดลองที่ 10) ตามลำดับ

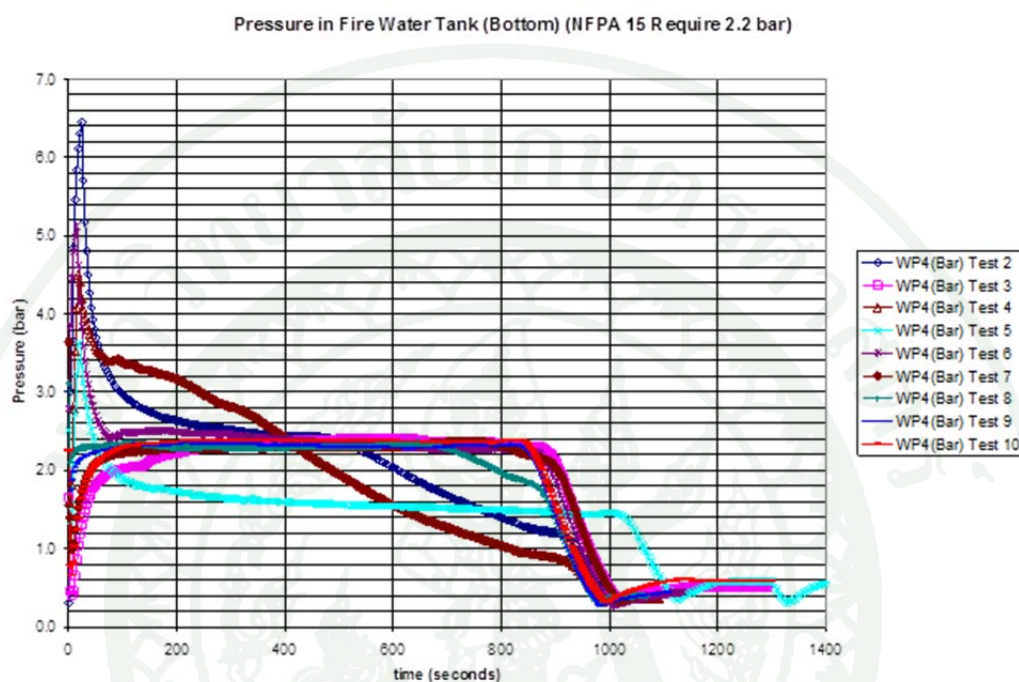
จากการคำนวณอัตราการไหลของน้ำตามมาตรฐาน NFPA 15 ระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง ต้องการอัตราการไหลของน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 2.1 m³/min อัตราการไหลของน้ำดับเพลิงของการทดลองที่ 2 ถึง 10 ในช่วงเวลาที่มีค่ามากกว่า 2.1 m³/min แสดงไว้ในตารางที่ 5



ภาพที่ 124 อัตราการไหลของน้ำดับเพลิง

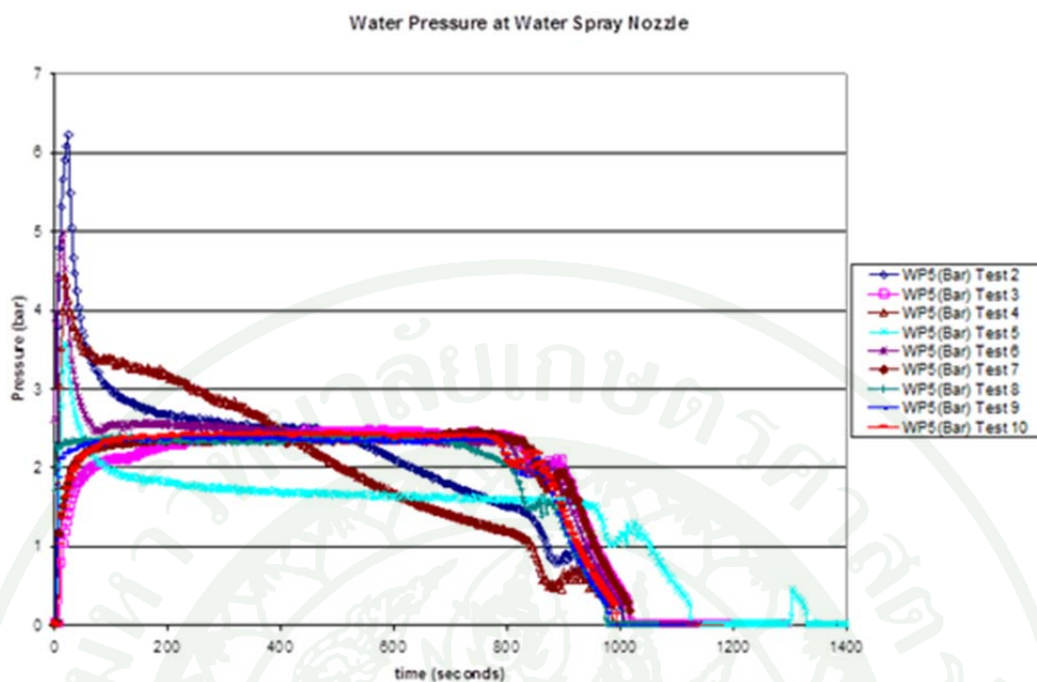
ภาพที่ 125 แสดงความดันภายในถังน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งด้านล่างถัง (WP4) ของการทดลองที่ 2 ถึงการทดลองที่ 10 ความดัน WP4 นี้ถือเป็นตัวแทนของความดันที่ทางออกจากถังน้ำดับเพลิงที่

ระบบกระจายน้ำฝอยต้องการ จากความต้องการของระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงคำนวณตามมาตรฐาน NFPA 15 ความดัน WP4 ต้องมีค่ามากกว่า 2.2 bar ผลสรุปของความดัน WP4 ในช่วงเวลาที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2.2 bar แสดงไว้ในตารางที่ 5



ภาพที่ 125 ความดันภายในถังน้ำดับเพลิงที่ตำแหน่งด้านล่าง

ภาพที่ 126 แสดงความดันน้ำที่ท่อเมนก่อนจ่ายให้กับหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง (WP5) จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ความดัน WP5 มีค่ามากกว่าความดัน WP4 เล็กน้อย สาเหตุเนื่องมาจากจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน WP5 ต่ำกว่า WP4 ทำให้ความดันสถิตที่ตำแหน่ง WP5 มากกว่า WP4

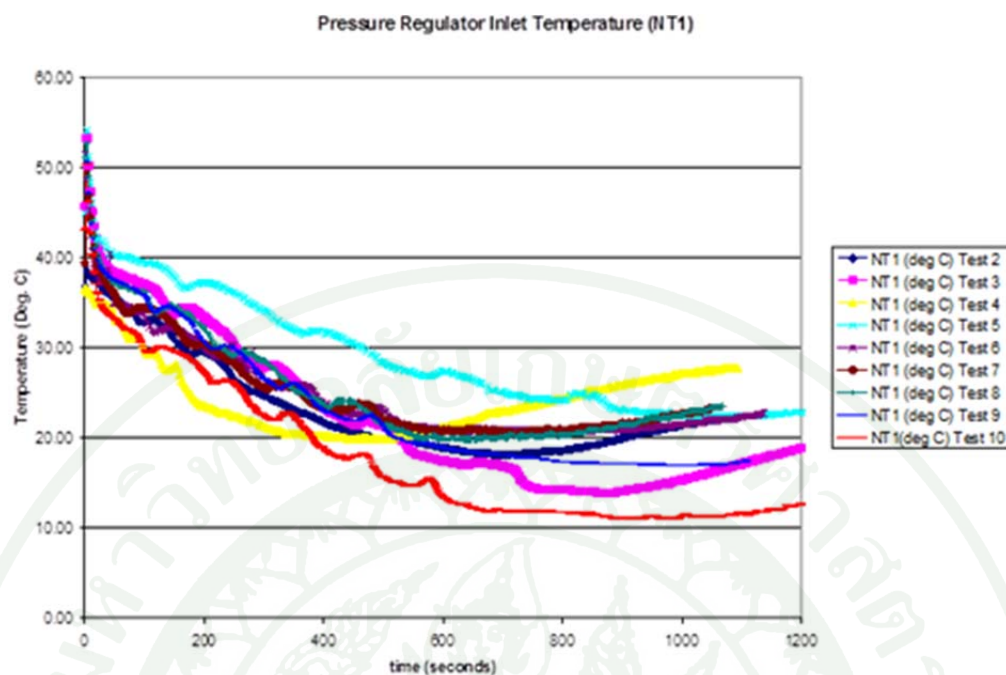


ภาพที่ 126 ความดันน้ำที่ท่อเมนก่อนเข้าหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง

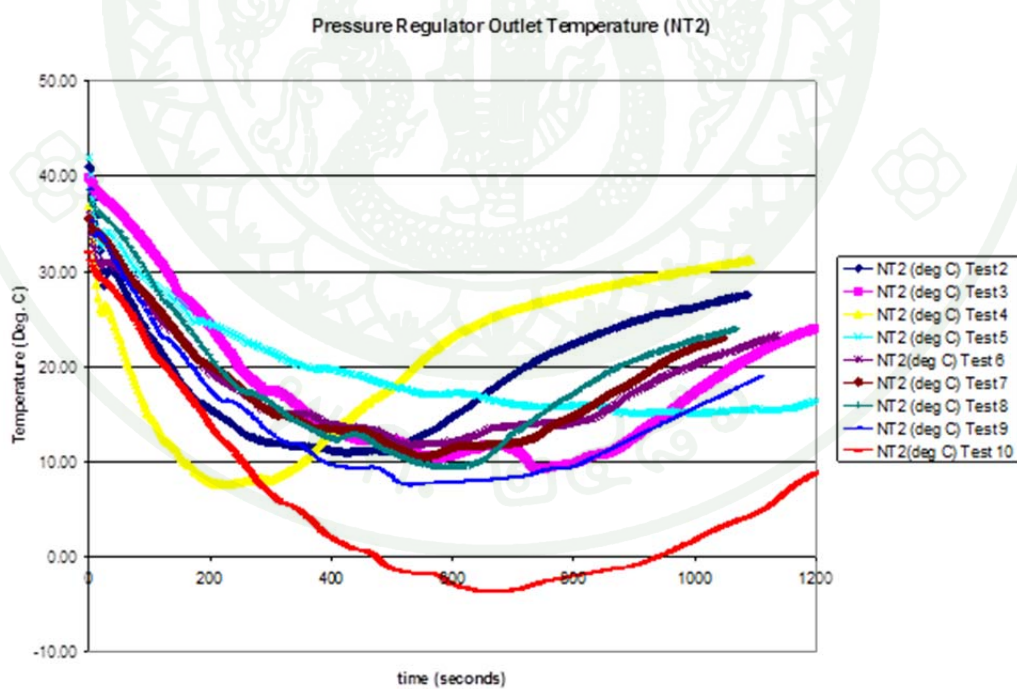
ภาพที่ 127 และภาพที่ 128 แสดงอุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าและทางออกจาก Pressure Regulator Valve ตามลำดับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ทันทีที่ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังเก็บผ่าน Pressure Regulator Valve อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการขยายตัว โดยอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทางเข้าของ Pressure Regulator มีค่าประมาณ 15°C และอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทางออกของ Pressure Regulator Valve มีค่าประมาณ -4°C ในการทดลองที่ 10

ภาพที่ 129 แสดงอุณหภูมิที่ผิวถังเก็บก๊าซไนโตรเจน เนื่องจากการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนภายในถังเก็บจากความดันประมาณ 300 bar เป็น 100 bar ที่ท่อ header ทำให้อุณหภูมิที่ผิวถังเก็บก๊าซไนโตรเจน ลดลงอย่างรวดเร็วโดยมีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 12°C ในการทดลองที่ 10

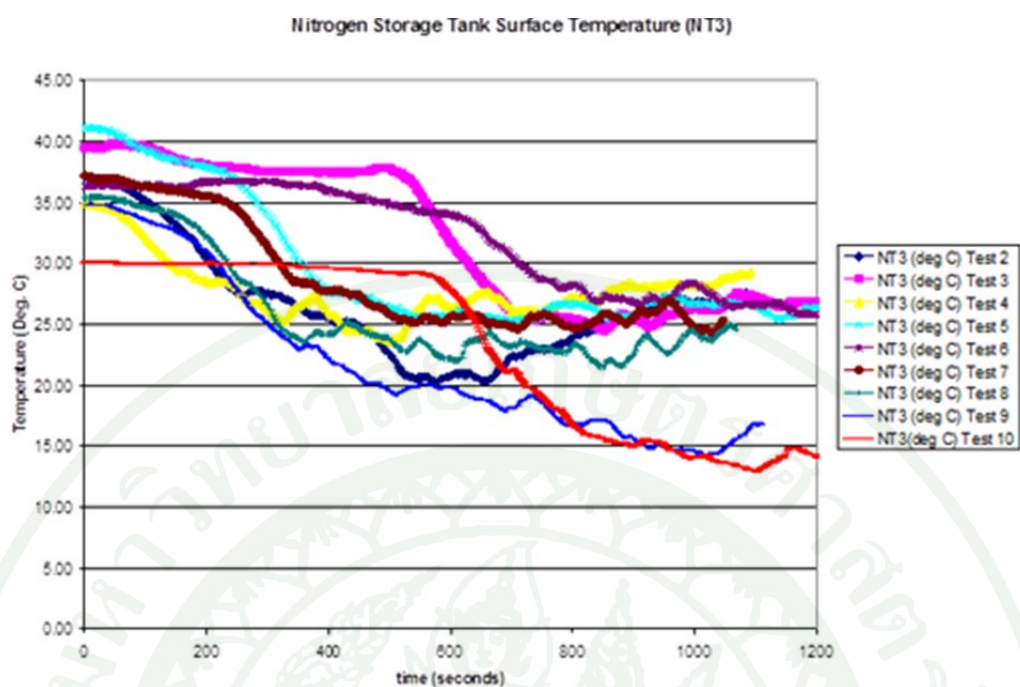
ภาพที่ 130 แสดงอุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนภายในถังน้ำดับเพลิงจากการวัดที่ตำแหน่ง WT4 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า กระบวนการขยายตัวเป็นไปโดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงที่ อยู่ในช่วง 35°C ถึง 45°C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซไนโตรเจนภายในถัง Fire Water Tank กับสิ่งแวดล้อมมีค่าน้อย จึงอาจประมาณได้ว่า กระบวนการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนภายในถังเป็นกระบวนการเอเดียแบติก (การถ่ายเทความร้อนเป็นศูนย์) อย่างไรก็ตามในช่วงท้ายของการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจน เมื่อน้ำไหลออกจากถัง Fire Water Tank หมด อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็ว สาเหตุเพราะความดันก๊าซลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 25°C



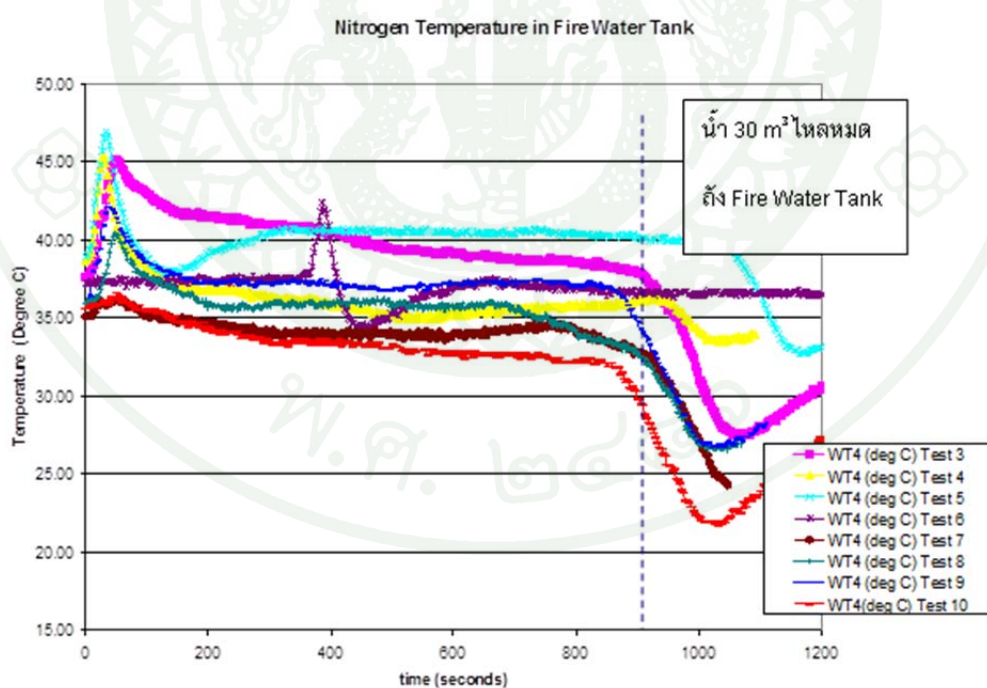
ภาพที่ 127 อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ทางเข้าของ PressureRegulator (NT1)



ภาพที่ 128 อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ทางออกของ PressureRegulator (NT2)



ภาพที่ 129 อุณหภูมิที่ผิวถัง Nitrogen Storage Tank (NT3)



ภาพที่ 130 อุณหภูมิของก๊าซไนโตรเจนที่ขยายตัวภายในถัง Fire Water Tank (WT4)

วิเคราะห์ผลการทดลอง

อัตราการไหลและความดันของน้ำที่ทางออกถึงน้ำดับเพลิง

จากมาตรฐาน NFPA 15 สำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลง พบความความต้องการของระบบต้นกำลังจะต้องสามารถส่งน้ำได้ไม่น้อยกว่า $2.1 \text{ m}^3/\text{min}$ ที่ความดันไม่น้อยกว่า 2.2 bar ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองของอัตราการไหลของน้ำและความดันน้ำที่ทางออกของถึงน้ำดับเพลิงในช่วงเวลาที่เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 15 สำหรับน้ำปริมาณ 30 m^3 ระบบต้นกำลังสามารถส่งน้ำดับเพลิงเป็นไปตามความต้องการของมาตรฐาน NFPA 15 ได้ในระยะเวลา 798 ถึง 825 วินาที (ประมาณ 13.5 – 13.75 นาที)

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นเวลาตอบสนอง (response time) ของระบบต้นกำลังแบบไนโตรเจน ซึ่งเป็นเวลาที่ระบบใช้นับตั้งแต่วาล์วหัวถังของถังเก็บก๊าซไนโตรเจนเปิดออก จนระบบสามารถส่งน้ำดับเพลิงได้ตามมาตรฐาน NFPA 15 จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ยกเว้นการทดลองที่ 7 ซึ่งมีเวลาตอบสนอง 126 วินาที ระบบต้นกำลังมีเวลาตอบสนองของระบบไม่เกิน 60 วินาที

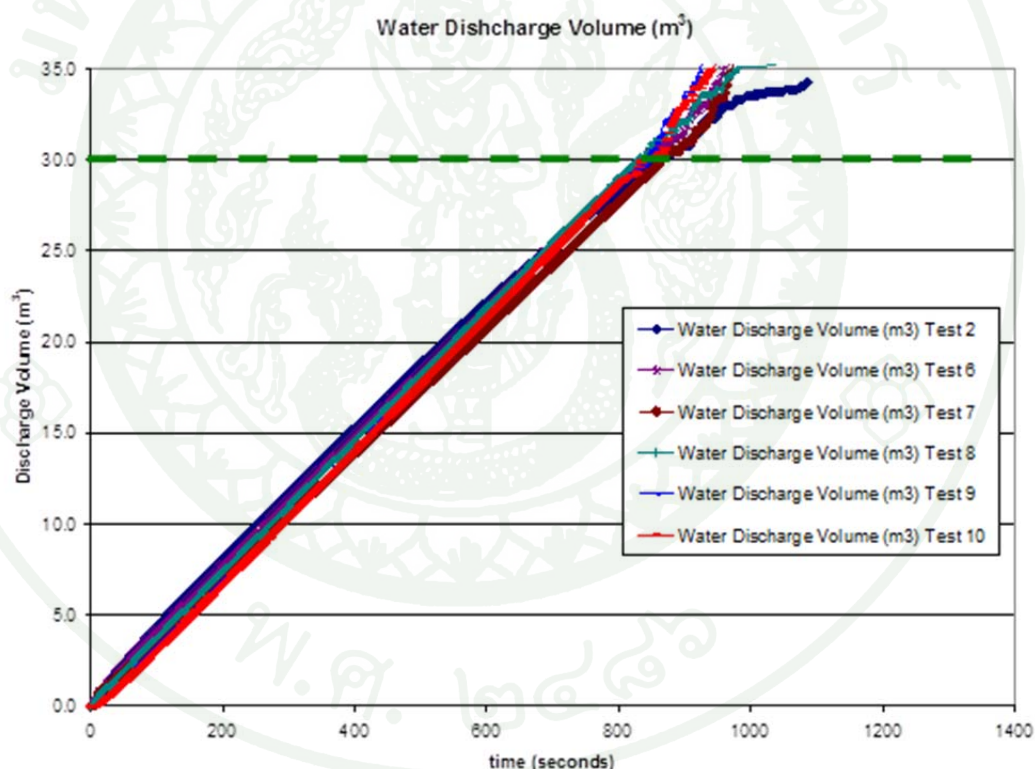
ตารางที่ 6 ช่วงเวลาที่อัตราการไหลและความดันของน้ำ เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 15

การทดลองที่	จำนวนถังไนโตรเจนที่ใช้	ช่วงเวลาที่อัตราการไหลของน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ $2.1 \text{ m}^3/\text{min}$	อัตราการไหลเฉลี่ยในช่วงเวลาที่อัตราการไหลของน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ $2.1 \text{ m}^3/\text{min}$ (วินาทีที่)	ช่วงเวลาที่ความดัน WP4 มากกว่าหรือเท่ากับ 2.2 bar (วินาทีที่)	อัตราการไหลเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ความดัน WP4 มากกว่าหรือเท่ากับ 2.2 bar	ช่วงเวลาที่ระบบผ่านตามมาตรฐาน NFPA 15 (วินาทีที่)
2	3	6-543	2.3	3-567	2.8	6-543
3	5	168-843	2.1	162-894	2.3	162-843
4	5	9-444	2.4	9-453	3.0	9-444
5	5	อัตราการไหลน้อยกว่า $2.1 \text{ m}^3/\text{min}$	1.8	ความดันน้อยกว่า 2.2 bar	1.6	ไม่ผ่านตามมาตรฐาน NFPA 15
6	5	0-810	2.2	0-876	2.5	0-810
7	5	126-825	2.1	66-876	2.3	126-825
8	4	3-792	2.2	6-744	2.3	6-744
9	5	24-804	2.2	21-855	2.3	24-804
10	6	48-801	2.2	60-864	2.4	60-801

จำนวนถังไนโตรเจนที่เหมาะสม

กำหนดให้เวลาที่ก๊าซไนโตรเจนไหลออกจากถังเก็บหมดหรือ Nitrogen Discharge Time เป็นเวลาที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนเป็นศูนย์ (ดูภาพที่ 123ประกอบ) ไนโตรเจน Discharge Time ของการทดลองที่ 2, 6, 7, 8, 9 และ 10 (เฉพาะการทดลองที่ไม่พบการรั่วของระบบท่อ และผ่านตามมาตรฐาน NFPA 15) แสดงไว้ในตารางที่ 7

ในส่วนของเวลาที่น้ำปริมาณ 30 m³ ไหลออกจากถังน้ำดับเพลิงจนหมดหรือ Water Discharge Time สามารถหาได้จากเวลาที่ปริมาณน้ำที่จ่ายออกจากถังน้ำ FireWaterTank เท่ากับ 30 m³ จากอัตราการไหลของน้ำในภาพที่ 125 เมื่อทำการอินทิเกรตหาพื้นที่ใต้กราฟจะได้ปริมาณน้ำดับเพลิงที่จ่ายออกจากถังน้ำ Fire Water Tank โดยผลการอินทิเกรตหาพื้นที่ใต้กราฟของภาพที่ 124 แสดงไว้ในภาพที่ 131

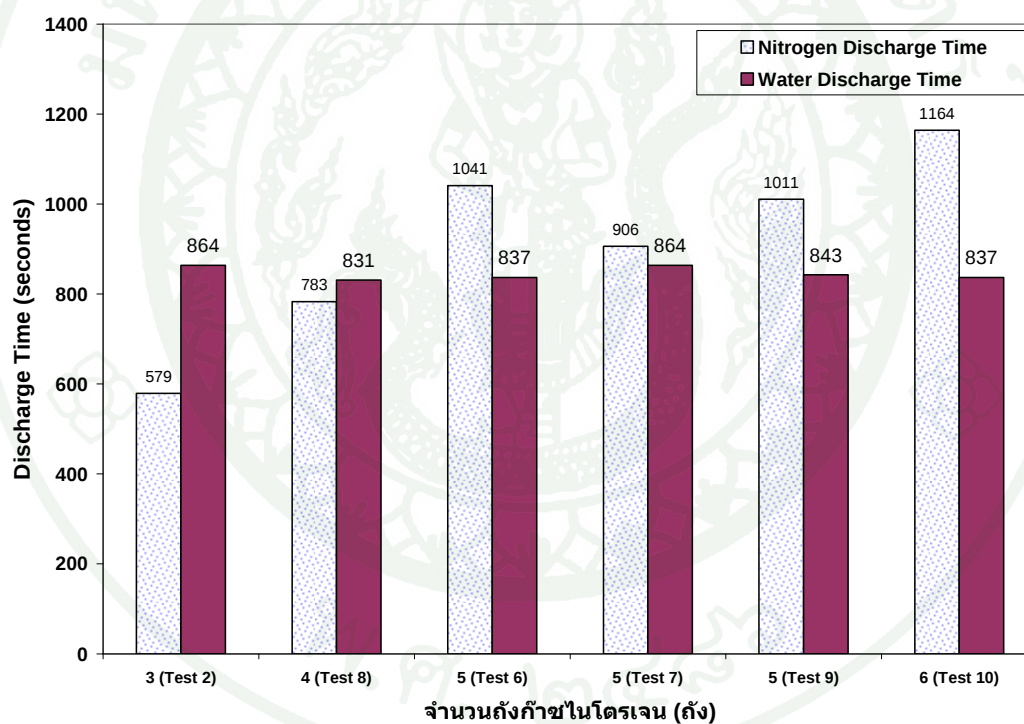


ภาพที่ 131 ปริมาณน้ำภายในถัง Fire Water Tank ที่จ่ายให้กับระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง

จากภาพที่ 131 เวลาที่น้ำดับเพลิงไหลออกจากถังน้ำ Fire Water Tank หมดสามารถหาค่าได้ โดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 Nitrogen Discharge Time และ Water Discharge Time

การทดลองที่	จำนวนถังไนโตรเจน	Nitrogen Discharge Time (seconds)	Water Discharge Time (second)
2	3	579	864
6	5	1041	837
7	5	906	864
8	4	783	831
9	5	1011	843
10	6	1164	837



ภาพที่ 132 Nitrogen Discharge Time และ Water Discharge Time เมื่อแปรผันจำนวนถังก๊าซไนโตรเจน

ภาพที่ 132 แสดงกราฟระหว่าง Nitrogen Discharge Time กับ Water Discharge Time เมื่อแปรผันจำนวนถังก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ เพื่อให้การใช้น้ำดับเพลิงที่เก็บอยู่ภายในถังน้ำปริมาณ 30 m³ เกิดประโยชน์สูงสุด ระบบต้นกำลังก๊าซไนโตรเจนต้องสามารถจ่ายก๊าซไนโตรเจนมีปริมาณเพียงพอ เพื่อรักษาความดันและอัตราการไหลของน้ำไม่ให้ต่ำกว่าความต้องการตามมาตรฐาน NFPA 15 ตลอด

ช่วงเวลาที่มือน้ำดับเพลิงอยู่ในระบบท่อน้ำ อาจกล่าวได้ว่า Nitrogen Discharge Time จะต้องมากกว่า Water Discharge Time

จากภาพที่ 132 แสดงให้เห็นว่า การใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 3 และ 4 ถึง Nitrogen Discharge Time จะน้อยกว่า Water Discharge Time อย่างไรก็ดีตาม ถ้าใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 และ 6 ถึงต่อกับระบบ Nitrogen Discharge Time จะมากกว่า Water Discharge Time ดังนั้น จำนวนถึงก๊าซไนโตรเจนที่น้อยที่สุดที่ทำให้ Nitrogen Discharge Time จะมากกว่า Water Discharge Time คือ 5 ถึง จึงเป็นจำนวนถึงก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับระบบต้นกำลังของระบบ กระจายน้ำฝอยดับเพลิงที่มีปริมาณน้ำ 30 m³

ปัญหาและการปรับปรุงแก้ไข

ปัญหาที่พบ

1. ท่อร่วมเกิดการรั่ว (Header Pipe) ทำให้ก๊าซไนโตรเจนรั่วออกมาทำให้ผิวท่อเกิดเป็นน้ำแข็งเกาะ สาเหตุมาจากการประกอบท่อวนกับท่อร่วมอาจมีการป็นเกลียวเกิดขึ้น



ภาพที่ 133 การรั่วของไนโตรเจนที่บริเวณท่อร่วม

2. ท่อทองแดงที่สั่งเปิดถึงเก็บไนโตรเจน (Storage) และถึงนำไนโตรเจน (Pilot) เกิดการรั่ว ความดันที่ไปเปิดวาล์วที่ถังเก็บไนโตรเจนไม่สามารถเปิดได้เต็มที่ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่ออกมาน้อย ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำลดลงสาเหตุมาจากความเสียหายของจุดเชื่อมต่อท่อทองแดงกับหัวถังไนโตรเจนเนื่องจากผ่านการใช้งานมาหลายครั้ง



ภาพที่ 134 จุดเชื่อมต่อท่อทองแดงในสภาพปกติ



ภาพที่ 135 จุดเชื่อมต่อท่อทองแดงในสภาพเสียหาย

3. Safety Vent หรือ Gas Vent เกิดการแตกขณะทดสอบทำให้ก๊าซไนโตรเจนรั่ว สาเหตุเนื่องจากความล้าของวาล์วเป็นผลมาจากผ่านการทดสอบหลายครั้ง



ภาพที่ 136 วาล์วของ Safety Vent ที่เกิดการเสียหาย



ภาพที่ 137 ก๊าซไนโตรเจนที่รั่วบริเวณ Safety Vent

4. หน้าแปลน Regulator เกิดการรั่วเนื่องจากประเก็นยางที่ใช้กับหน้าแปลนไม่สามารถทนแรงดันสูงนานๆได้



ภาพที่ 138 ก๊าซไนโตรเจนที่รั่วบริเวณหน้าแปลน

5. ลินวาล์ว Regulator เกิดการเสียหาย ทำให้ไม่สามารถทำการปรับความดันขาออกจาก Regulator ได้ สาเหตุมาจากล้นเกิดความล้า เนื่องจากการผ่านการทดสอบหลายครั้งทำให้เสียรูป



ภาพที่ 139 ลินวาล์วของ Regulator ที่เสียรูป

6. หัว Nozzle เกิดการอุดตัน สาเหตุมาจากสิ่งสกปรกที่ตกค้างในระบบท่อ และตะกอนในถังน้ำดับเพลิง (Water Tank) ทำให้รูปแบบการไหลของน้ำที่ออกมากระจายตัวไม่สม่ำเสมอตามความต้องการ



ภาพที่ 140 การกระจายตัวของน้ำที่หัว Nozzle ไม่สม่ำเสมอ

การปรับปรุงแก้ไข

1. ทำการทดสอบการรั่วของท่อร่วม (Header Pipe) โดยทำการติดตั้งวาล์วสำหรับทำการทดสอบการรั่วเพิ่มเข้าไปในท่อร่วม ต่อถังไนโตรเจนสำหรับการทดสอบและเปิดก๊าชจากถังทดสอบเข้าไปในระบบด้วยความดัน 100 บาร์สังเกตความดันที่ Pressure Gauge หลังจากนั้นปิดถังก๊าชไนโตรเจนและรอดูความดันที่ Pressure Gauge ประมาณ 15 นาที ว่าความดันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง สามารถรักษาความดันได้ตามเวลาทำการทดสอบ และตรวจสอบการรั่วโดยใช้น้ำยาล้างจานผสมน้ำเทตามจุดเชื่อมต่อ สังเกตฟองอากาศที่ผุดออกมา ทำการแก้ไขจุดเชื่อมต่อดังกล่าว



ภาพที่ 141 วาล์วสำหรับทดสอบการรั่วที่ถูกติดตั้งที่ท่อร่วม



ภาพที่ 142 วาล์วและท่อที่ต่อกับถังไนโตรเจนสำหรับทดสอบการรั่ว



ภาพที่ 143 ถังไนโตรเจนสำหรับทดสอบการรั่วกับวาล์วทดสอบ



ภาพที่ 144 เปิดไนโตรเจนเข้าที่พร้อมให้ได้ความดัน 100 บาร์



ภาพที่ 145 เหนี่ยาล้างจานผสมน้ำตรวจตามจุดเชื่อมต่อ



ภาพที่ 146 สังเกตจุดที่รั่วจะมีฟองอากาศออกมา

2. ทำการทดสอบการรั่วของท่อทองแดงจากถังนำไนโตรเจนและถังเก็บไนโตรเจนโดยทำการต่อสายยางกับท่อทองแดงแล้วเปิดไนโตรเจนสำหรับทดสอบการรั่ว 5 Psi สังเกต Pressure Gauge

ประมาณ 15 นาที ว่าความดันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง สามารถรักษาความดันได้ตามเวลาทำการทดสอบ และตรวจสอบการรั่วโดยใช้น้ำยาล้างจานผสมน้ำเทตามจุดเชื่อมต่อจากถัง Pilot ไปจนถึงถัง Storage ถึงสุดท้ายที่มีการใช้งาน สังเกตฟองอากาศที่ออกมา ทำการแก้ไขจุดเชื่อมต่อดังกล่าว



ภาพที่ 147 ถังไนโตรเจนที่ใช้ทดสอบการรั่วของท่อทองแดง



ภาพที่ 148 จุดเชื่อมต่อท่อทองแดงกับสายยางทดสอบ



ภาพที่ 149 เหนี่ยวาล้างงานที่จุดเชื่อมต่อท่อทองแดง



ภาพที่ 150 สังเกตฟองอากาศที่ออกมาและทำการแก้ไข

3. ทำการเปลี่ยน Safety Vent หรือ Gas Vent ทุกครั้งหลังจากที่มีการทดสอบฉีดระบบ Water Spray



ภาพที่ 151 Safety Vent หรือ Gas Vent ที่เปลี่ยนใหม่

4. ทำการเปลี่ยนประเก็นที่หน้าแปลน Regulator จากประเก็นยางเป็นประเก็นเหล็กเพราะสามารถทนแรงดันได้สูงกว่า ทนทานกว่า และเปลี่ยนหน้าแปลนด้านความดันขาเข้าตัว Regulator มาใช้หน้าแปลนเหล็กที่มีจำนวนรูยึดของหน้าแปลนเพิ่มขึ้นจาก 4 รู เป็น 8 รู เพื่อช่วยเพิ่มแรงกดหน้าแปลนป้องกันการรั่วไหลของก๊าซไนโตรเจนด้านขาเข้าซึ่งมีความดันสูง



ภาพที่ 152 ปะเก็นเหล็ก



ภาพที่ 153 หน้าแปลนที่เพิ่มรูยึด

5. ทำการตรวจเช็คความดันด้านขาเข้าและขาออกของ Regulator ด้วยการอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในระบบท่อผ่าน Regulator ความดันขาเข้าและขาออกต้องมีความต่างกันตามความดันที่มีการปรับตั้งไว้ ถ้าความดันทั้งสองด้านนี้มีค่าใกล้เคียงกันจนเกือบเท่ากันแสดงว่าลิ้นวาล์ว Regulator ไม่สามารถทำงานได้ ตรวจสอบด้วยการถอดลิ้นวาล์วออกมาดู ทดลองประกอบกลับเข้าที่เดิมและใช้นิ้วมือกดดู ถ้าไม่สามารถกดลงได้แสดงว่าลิ้นวาล์วเสีย ต้องทำการเปลี่ยน Regulator ตัวใหม่



ภาพที่ 154 ตำแหน่งที่เปิดเอาลิ้นวาล์วมาตรวจสอบ

6. ตรวจสอบหัว Nozzle ทุกหัวก่อนการเริ่มทดสอบใหม่ในแต่ละครั้งและถอดออกมาทำความสะอาดสำหรับหัวที่มีการอุดตัน



สรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบดับเพลิงสำหรับหม้อแปลงที่มีการใช้งานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ระบบดับเพลิงแบบกระจายน้ำฝอย (water spray system) และระบบดับเพลิงแบบหมอกน้ำ (water mist system) ซึ่งระบบดับเพลิงแบบ water spray เป็นระบบดับเพลิงที่เหมาะสมสำหรับสภาพภายนอกอาคาร (outdoor condition) ที่จะสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากเหตุเพลิงไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าได้ แต่จะต้องมีการออกแบบ การติดตั้ง ควบคุมการทำงาน บำรุงรักษา และทดสอบอย่างเหมาะสมเท่านั้น ระบบดับเพลิงแบบ water spray นั้นใช้ air compressor เป็นระบบต้นกำลังในการสร้างแรงดันในระบบดับเพลิง จากการติดตั้งและใช้งานระบบดับเพลิงแบบ water spray ปัญหาที่พบคือมีความบกพร่องในการใช้งานเกิดขึ้นบ่อยครั้ง โดยสาเหตุหลักมาจากอัตราการบกพร่องที่สูงของ air compressor เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของระบบ และต้องการการดูแลรักษา หล่อลื่นอย่างต่อเนื่อง

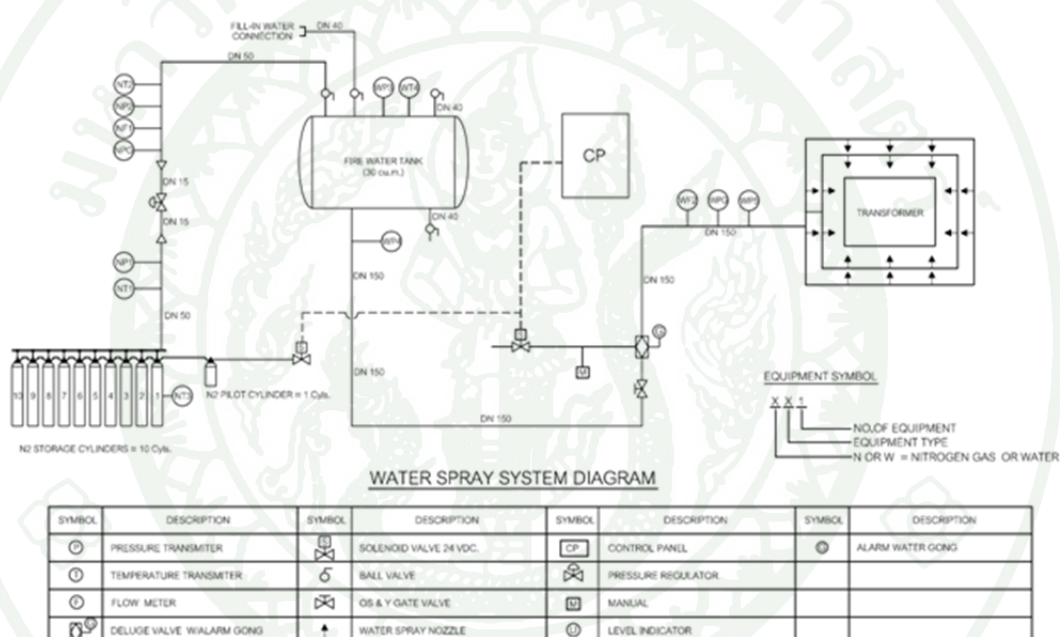
ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการที่จะศึกษาและวิจัยที่จะประยุกต์นำเอาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจน มาใช้เป็นระบบต้นกำลังในระบบดับเพลิงแบบ water spray เพื่อลดปัญหาการเกิด fault และเพิ่ม reliability ให้กับระบบโดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยอันประกอบไปด้วย

1. เพื่อออกแบบในรายละเอียดและจัดสร้างต้นแบบ (prototype) ของระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจน สำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง
2. เพื่อทดสอบการทำงานและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในเชิงการทดลอง ที่มีผลต่อการดับเพลิงสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า และนำผลที่ได้มาปรับปรุงและพัฒนาาระบบให้มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงของสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย โดยมีสถานที่ทดสอบงานวิจัยอยู่ที่สถานีไฟฟ้าสำรองของการไฟฟ้านครหลวง ในการทดสอบระบบต้นกำลังนี้ มีการก่อสร้างระบบต้นกำลังรวมทั้งอุปกรณ์ประกอบระบบกระจายน้ำฝอยจริง และมีการทดสอบเสมือนจริง ณ สถานที่ตั้งของหม้อแปลงจริง ของการไฟฟ้านครหลวง มีการเปิดระบบดับเพลิง และตรวจวัดค่าต่างๆ จากการทดสอบ เช่น ปริมาตรและความดันของก๊าซไนโตรเจน อัตราการไหล และความดันของน้ำดับเพลิง รูปแบบการฉีดของน้ำดับเพลิงเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ทำการวิเคราะห์ออกแบบไว้ ผลการวิจัยที่ได้จากการทดสอบระบบต้นกำลังด้วยก๊าซไนโตรเจนในครั้งนี้ จะช่วยพัฒนาระบบดับเพลิงแบบกระจายน้ำฝอยสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวงให้มีความน่าเชื่อถือ ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบให้มีความพร้อมในการดับเพลิง

ไดอะแกรมแสดงการทำงานระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลงโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน เป็นระบบต้นกำลังแสดงไว้ในภาพที่ 126 ขั้นตอนการทำงานระบบ Nitrogen Gas โดยสังเขปมีดังนี้คือ เมื่อ Solenoid valve ของ Nitrogen pilot tank ได้รับสัญญาณจากตู้ควบคุม Fire Control Panel

(FCP) ให้เริ่มการทำงาน Nitrogen pilot tank solenoid valve จะเปิดออก ทำให้ Nitrogen gas ภายใน pilot tank ไหลออกไปกระทั่ง Valve วาล์วหัวถังของ Nitrogen Storage Tank ให้เปิดออก Nitrogen gas ที่เก็บอยู่ภายใน storage tank มีความดันเท่ากับ 300 bar เมื่อ Nitrogen ไหลออกจาก storage tank ผ่าน valve เข้าสู่ท่อ Header จะมีความดันลดลงเหลือโดยประมาณเท่ากับ 110 bar จากนั้นก๊าซ Nitrogen จะถูกส่งผ่านท่อขนาด 2 นิ้ว และไหลเข้าสู่ Pressure Regulator Valve เพื่อควบคุมแรงดันให้มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมก่อนไหลผ่าน Flow meter และส่งเข้าไปในถัง Fire Water Tank ขนาด 30 m³ เพื่อขยายตัวขับเคลื่อนน้ำสำหรับระบบน้ำฝอยต่อไปจำนวน Nitrogen storage tank ที่ใช้จริงเป็นตัวแปรตัวหนึ่งที่สำคัญในการทดลองซึ่งสามารถหาจำนวนที่เหมาะสมได้จากการทดสอบจริง



ภาพที่ 155 ไดอะแกรมระบบต้นกำลังแบบไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิง

ภาพที่ 132 แสดงกราฟระหว่าง Nitrogen Discharge Time กับ Water Discharge Time เมื่อแปรผันจำนวนถังก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ เพื่อให้การใช้ระดับเพลิงที่เก็บอยู่ภายในถังน้ำปริมาณ 30 m³ เกิดประโยชน์สูงสุด ระบบต้นกำลังก๊าซไนโตรเจนต้องสามารถจ่ายก๊าซไนโตรเจนมีปริมาณเพียงพอ เพื่อรักษาความดันและอัตราการไหลของน้ำไม่ให้ต่ำกว่าความต้องการตามมาตรฐาน NFPA 15 ตลอดช่วงเวลาที่ม้น้ำดับเพลิงอยู่ในระบบท่อน้ำ ซึ่งกล่าวได้ว่า Nitrogen Discharge Time จะต้องมากกว่า Water Discharge Time การใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 3 และ 4 ถัง Nitrogen Discharge Time จะน้อยกว่า Water Discharge Time อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 และ 6 ถังต่อกับระบบ Nitrogen Discharge Time จะมากกว่า Water Discharge Time ดังนั้นจำนวนถังก๊าซไนโตรเจนที่น้อยที่สุดที่ทำให้ Nitrogen Discharge Time จะมากกว่า Water Discharge Time คือ 5 ถัง จึงเป็นจำนวนถังก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับระบบต้นกำลังของระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงที่มี

ปริมาณน้ำ 30 m³ โดยที่ระบบต้นกำลังสามารถส่งน้ำให้เป็นไปตามความต้องการของมาตรฐาน NFPA 15 ได้ ในระยะเวลา 825 วินาที (ประมาณ 13.75 นาที)

มาตรฐาน NFPA 15 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection กำหนดให้เวลาที่น้ำเริ่มไหลออกจากหัวกระจายน้ำดับเพลิงต้องเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems มาตรฐาน NFPA 13 กำหนดให้ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบ Dry Pipe ต้องสามารถส่งน้ำให้กับหัวกระจายน้ำดับเพลิงหัวแรกเริ่มจ่ายน้ำได้ ภายในเวลาไม่เกิน 60 วินาที จากการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มการทำงานของระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจน ระบบต้นใช้เวลาโดยประมาณ น้อยกว่า 10 วินาที เพื่อส่งน้ำให้กับหัวกระจายน้ำดับเพลิงดับเพลิงเริ่มจ่ายน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสามารถทำงานได้ เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NFPA 13 และ NFPA 15

เหตุผลในการเลือกถังเก็บน้ำดับเพลิงขนาด 30 m³ เนื่องจากเป็นขนาดมาตรฐานที่ทางการไฟฟ้านครหลวงใ้ใช้อยู่ในปัจจุบัน การพิจารณาปรับเปลี่ยนขนาดถังเก็บน้ำดับเพลิงสามารถกระทำได้ตามความเหมาะสมกับพื้นที่ตั้งถังเก็บน้ำดับเพลิงในอนาคต แนวทางการวิเคราะห์ที่ใช้แนวคิดจากระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนจำนวน 5 ถัง ต่อเข้ากับถังเก็บน้ำดับเพลิงขนาด 30 m³ ดังนั้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนขนาดถังเก็บน้ำดับเพลิงจะทำให้จำนวนถังก๊าซไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงด้วยจากตารางข้างต้น สรุปผลได้ว่าราคาประมาณการของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงโดยมีระบบต้นกำลังก๊าซไนโตรเจน มีราคาไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการเลือกใช้ขนาดถังน้ำดับเพลิงที่มีขนาดเท่ากัน คือ ขนาด 30 m³ จำนวน 5 ถัง ต่อร่วมกัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการดำเนินการ สรุปได้ว่าผลงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าระบบต้นกำลังแบบใช้ก๊าซไนโตรเจนสามารถนำมาใช้งานได้จริง สำหรับการดับเพลิงในหม้อแปลง โดยจากผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า แบบจำลองกระบวนการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนแบบความดันคงที่ สามารถจำลองพฤติกรรมการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนในการทดลองจริงได้ สำหรับปริมาณน้ำดับเพลิง 30 m³ ระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสามารถส่งน้ำให้เป็นไปตามความต้องการของมาตรฐาน NFPA 15 ได้ ในระยะเวลา 13.75 นาที โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน ที่ความดัน 300 bar จำนวน 5 ถัง

สรุปผลการทดลองระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำดับเพลิง

สำหรับปริมาณน้ำดับเพลิง 30 m³ ระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสามารถส่งน้ำให้เป็นไปตามความต้องการของมาตรฐาน NFPA 15 ได้ ในระยะเวลา 825 วินาที (ประมาณ 13.75 นาที)

เวลาตอบสนองของระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนอยู่ในช่วงเวลาไม่เกิน 60 วินาทีจำนวนถังก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับจ่ายให้กับถังน้ำดับเพลิงปริมาณน้ำ 30 m³ คือ 5 ถังแบบจำลองกระบวนการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนสามารถจำลองพฤติกรรมการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนในการทดลองจริงได้ โดยการขยายตัวของก๊าซไนโตรเจนภายในถังเป็นกระบวนการความดันคงที่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

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

ประมุขลิขิต. 2547. **การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำที่เหมาะสมของระบบป้องกันอัคคีภัยใน
บริเวณที่ตั้งถังเชื้อเพลิง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นายสันติศรีปัทธา. 2548. **การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำสเปรย์ที่เหมาะสมของระบบป้องกัน
อัคคีภัยในบริเวณที่ตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

IEEE. 1995. **IEEE Guide for substation fire protection.** Institute of electrical and
electronics engineers. New York, US

Gagnon RM. 1997. **Design of Water-based Fire Protection Systems.** Delmar
Publishers, USA.

Vector Ltd. 1997. **Fire protection guidelines for distribution substations.**

Myers SD, JJ Kelly, and RH Parrish. 1981. **A guide to transformer maintenance.**
Transformer maintenance institute, Ohio.

Lin WH. 1991. **Analysis of fire detection and suppression system for outdoor oil-
filled transformers in Fire Protection Engineering.** Worcester Polytechnic
Institute. Worcester MA, USA.

Kwok-Lung Ng A and Spearpoint M. 2005. **Risk assessment of transformer fire
protection in a typical New Zealand high-rise building.** Department of Civil
Engineering University of Canterbury. Christchurch, New Zealand

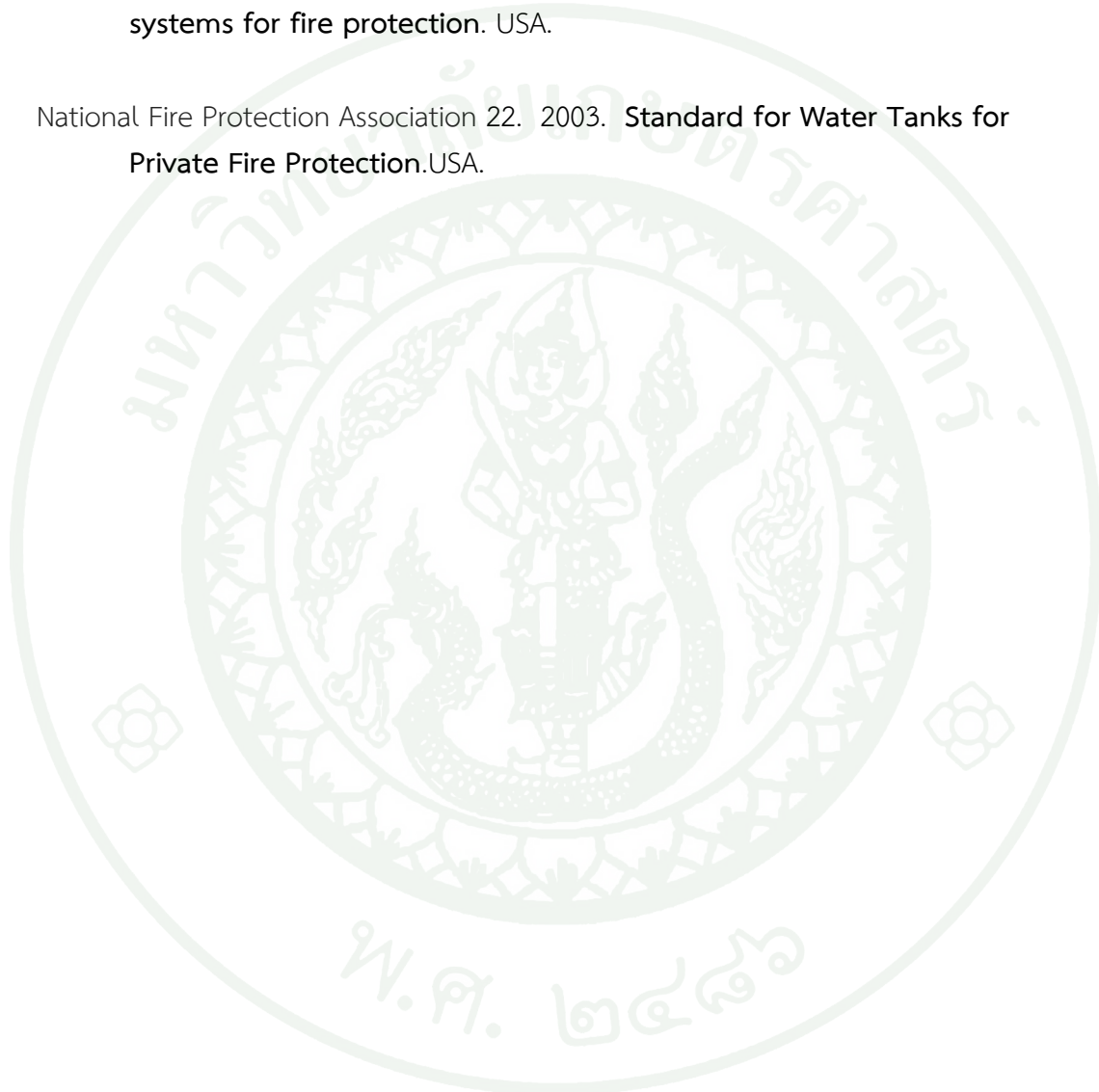
Yongshik HAN, Byungil CHOI, and Myungbae KIM. 2005. **Application of a Fixed
Water Mist System in a Power Transformer Room.** Korea Institute of
Machinery & Materials. Daejeon, Korea

Cote, AE. and Linville JL. 1997. **Fire protection handbook- 18th edition,** National Fire
Protection Association, USA.

National Fire Protection Association 13. 2007. **Standard for the installation of sprinkler systems.** USA.

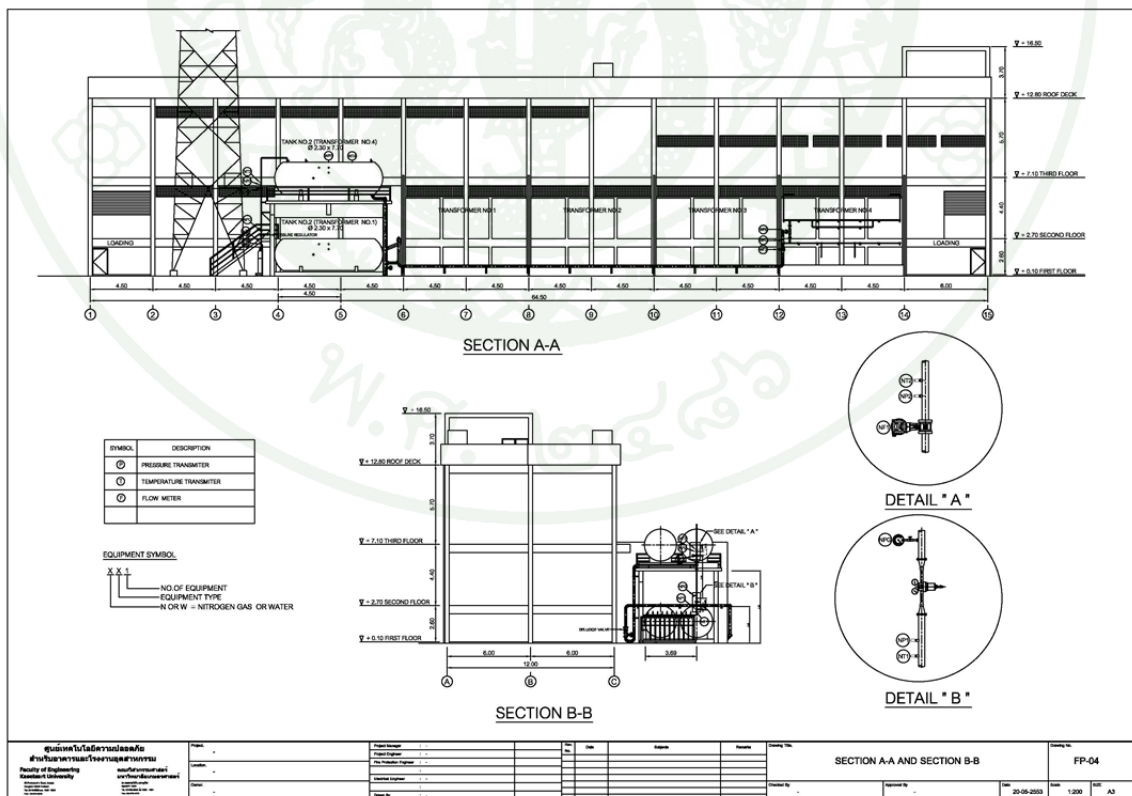
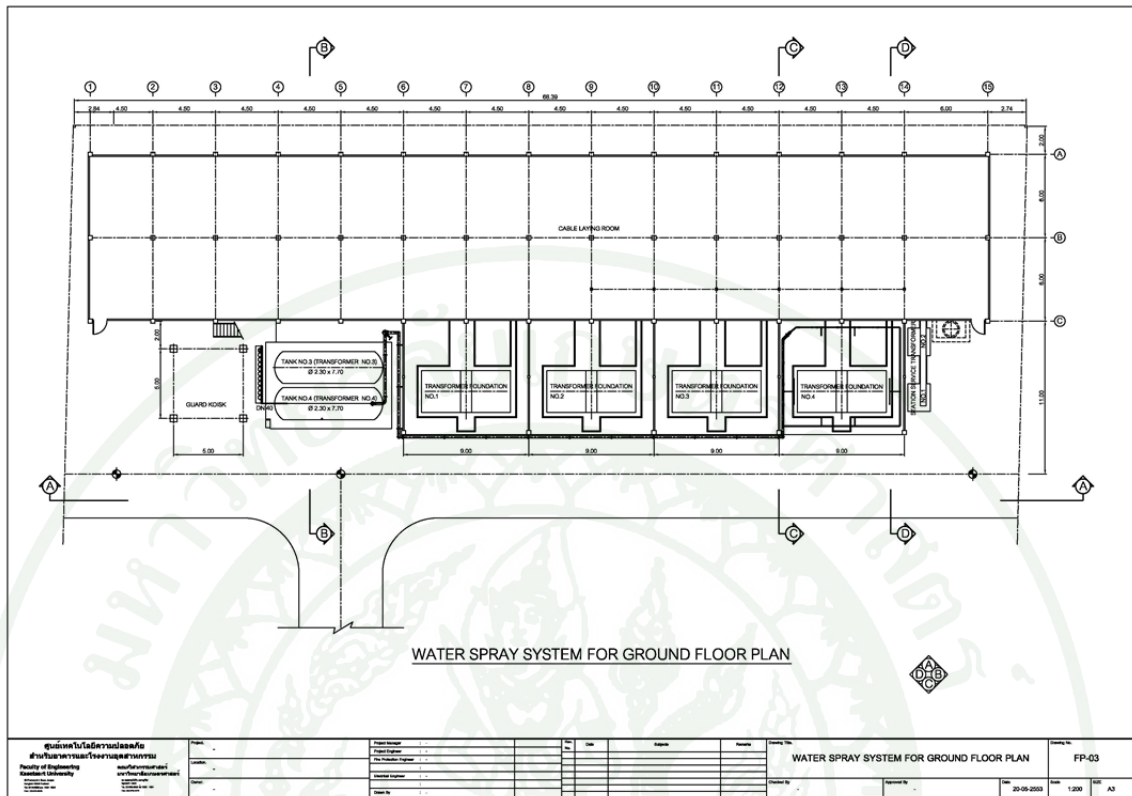
National Fire Protection Association 15. 2007. **Standard for water spray fixed systems for fire protection.** USA.

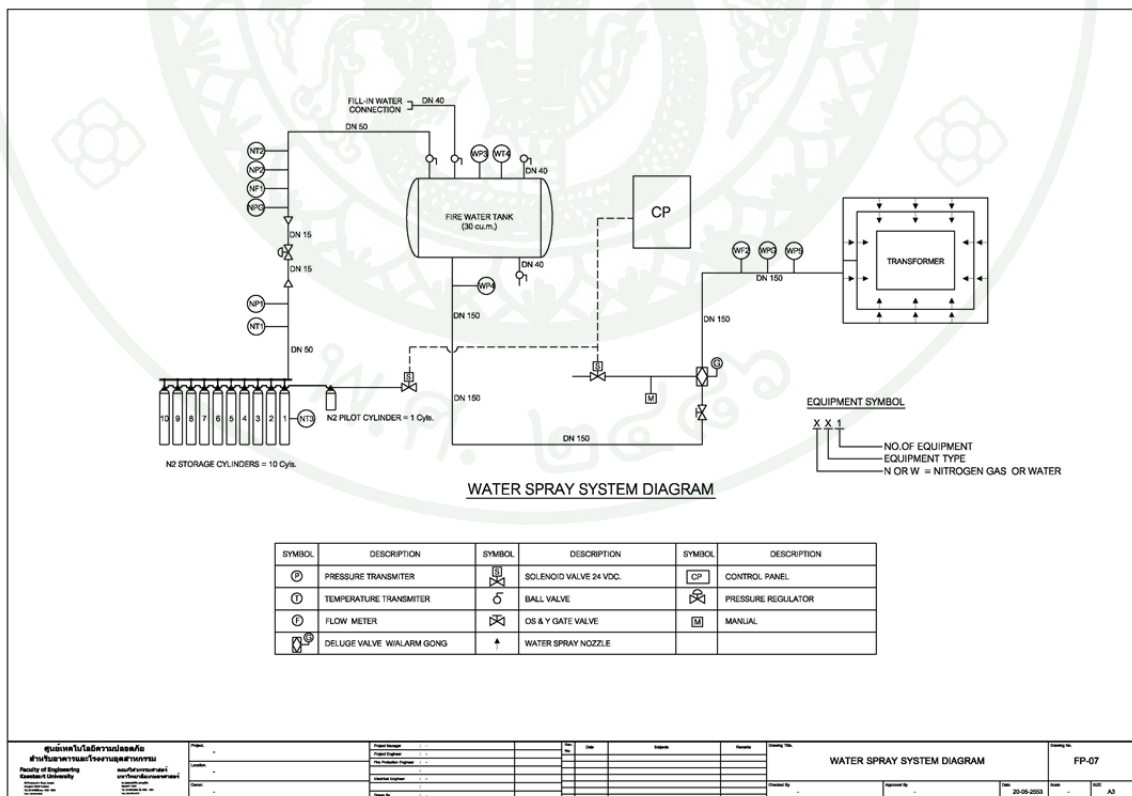
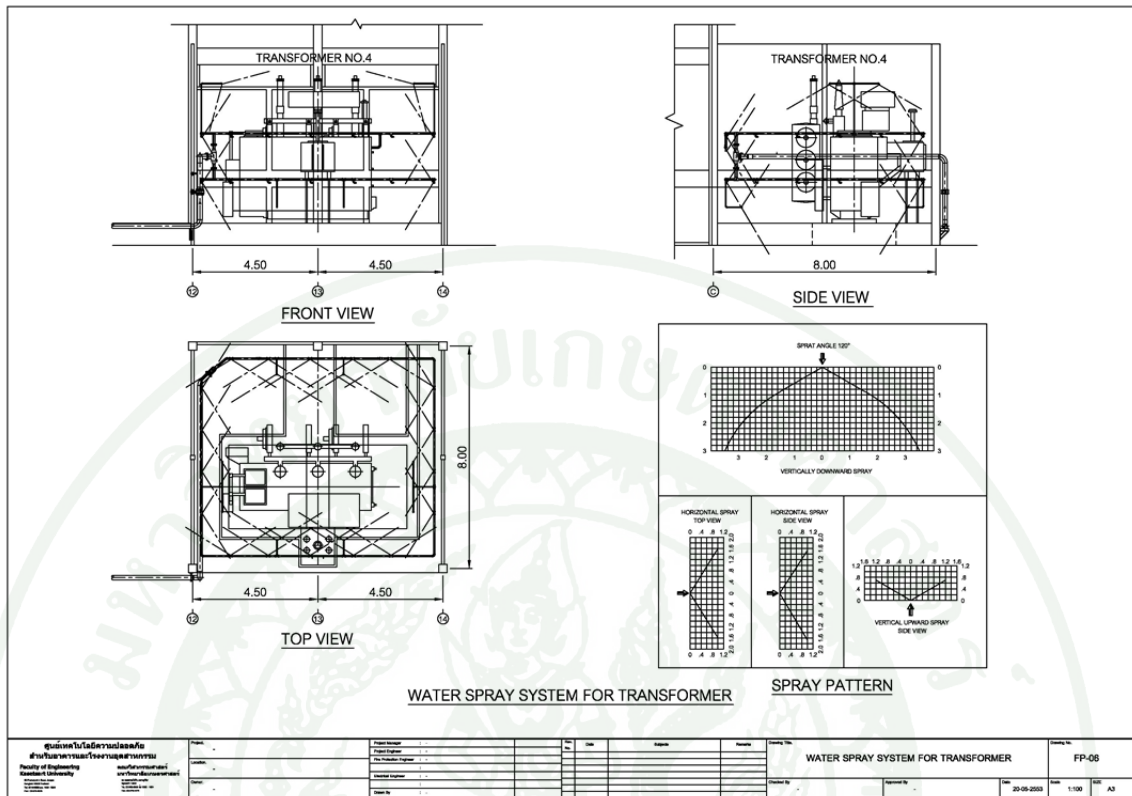
National Fire Protection Association 22. 2003. **Standard for Water Tanks for Private Fire Protection.**USA.





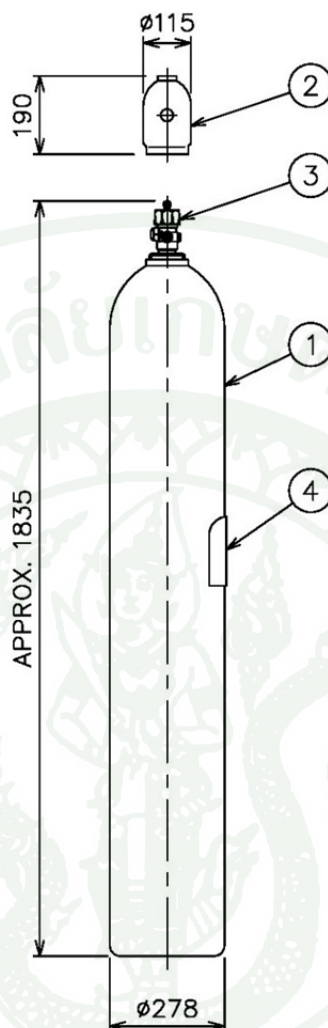








ภาคผนวก ข
คู่มือระบบก๊าซไนโตรเจน



SPECIFICATIONS

(a) CODE	: JAPANESE HIGH PRESSURE GAS REGULATION
(b) TEST PRESSURE	: 50.0MPa
(c) CYLINDER CAPACITY	: 83L
(d) MAXIMUM FILLING VOLUME OF N ₂	: 20.3m ³ (at 20℃)
(e) MAXIMUM FILLING PRESSURE	: 30.0MPa (at 35℃)
(f) TARE WEIGHT	: APPROX. 109kg
(g) COLOR	: MUNSELL ref. No. N-6

MAINTENANCE

ENSURE THAT THE CYLINDER DOES NOT HAVE DAMAGE OR CORROSION WHICH INTERRUPT THE PERFORMANCE OF DISCHARGING.

THE CAP ② MUST BE ALWAYS FITTED TO THE CYLINDER, WHETHER THE CYLINDER IS FULL OR EMPTY, WHEN IT IS NOT CONNECTED TO THE CYLINDER MANIFOLD AND SECURED TO A CYLINDER RACK.

ENSURE THAT THE NAMEPLATE IS NOT COVERED, REMOVED OR DEFACED.

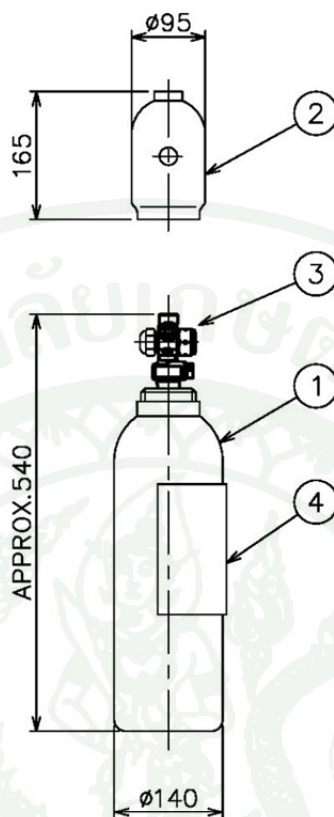
NN100 FIRE SUPPRESSION SYSTEM

N₂ STORAGE CYLINDER
(83L)

UNIT : mm	DESIGNED BY <i>K. Sakurai</i>	TRACED BY <i>N. Mizutani</i>
SCALE : 1 / 15	CHECKED BY <i>K. Yasuda</i>	APPROVED BY <i>J. Okada</i>
DATE : APR 20, 2004		

DWG.NO.	217CA40B	NO.
NOHMI BOSAI LTD.		
KOATSU CO., LTD.		

4	NAME PLATE	PVC	
3	CYLINDER VALVE	JIS_C3771	MODEL PC30B
2	CAP	JIS_STK400	
1	STORAGE CYLINDER	Cr-Mo STEEL	
PT.NO.	NAME	MATERIAL	REMARKS



SPECIFICATIONS

- (a) CODE : JAPANESE HIGH PRESSURE GAS REGULATION
 (b) TEST PRESSURE : 24.5MPa
 (c) CYLINDER CAPACITY : 5.0L
 (d) FILLING VOLUME OF N₂ : 0.5m³ (at 20℃)
 (e) FILLING PRESSURE : 10.8MPa (at 40℃)
 (f) TARE WEIGHT : APPROX. 8kg
 (g) COLOR : MUNSELL ref. No. N-6

MAINTENANCE

ENSURE THAT THE CYLINDER DOES NOT HAVE DAMAGE OR CORROSION WHICH INTERRUPT THE PERFORMANCE OF DISCHARGING.

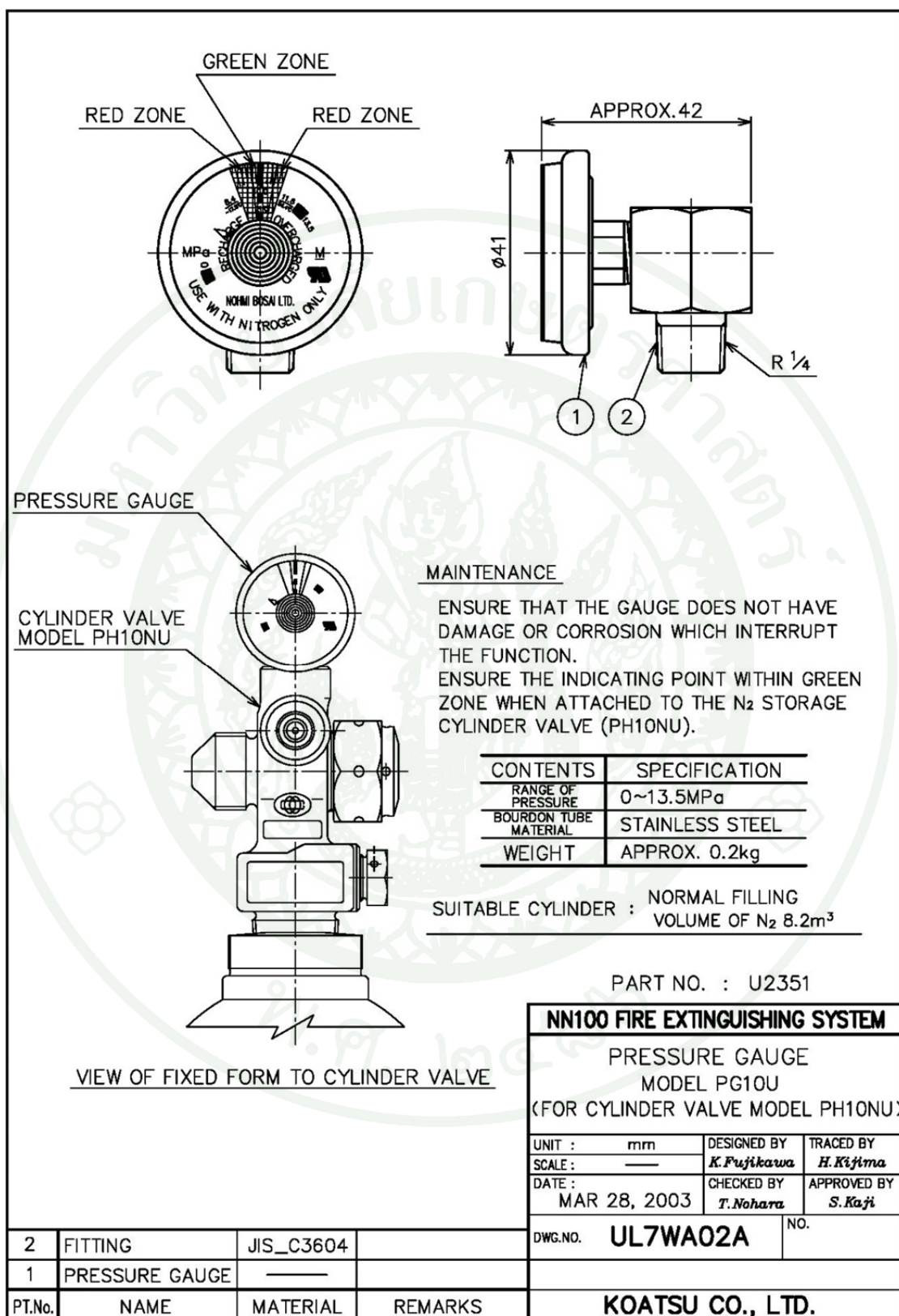
THE CAP ② MUST BE ALWAYS FITTED TO THE CYLINDER, WHETHER THE CYLINDER IS FULL OR EMPTY, WHEN IT IS NOT CONNECTED TO THE CYLINDER MANIFOLD AND SECURED TO A CYLINDER RACK.
 ENSURE THAT THE NAMEPLATE IS NOT COVERED, REMOVED OR DEFACED.

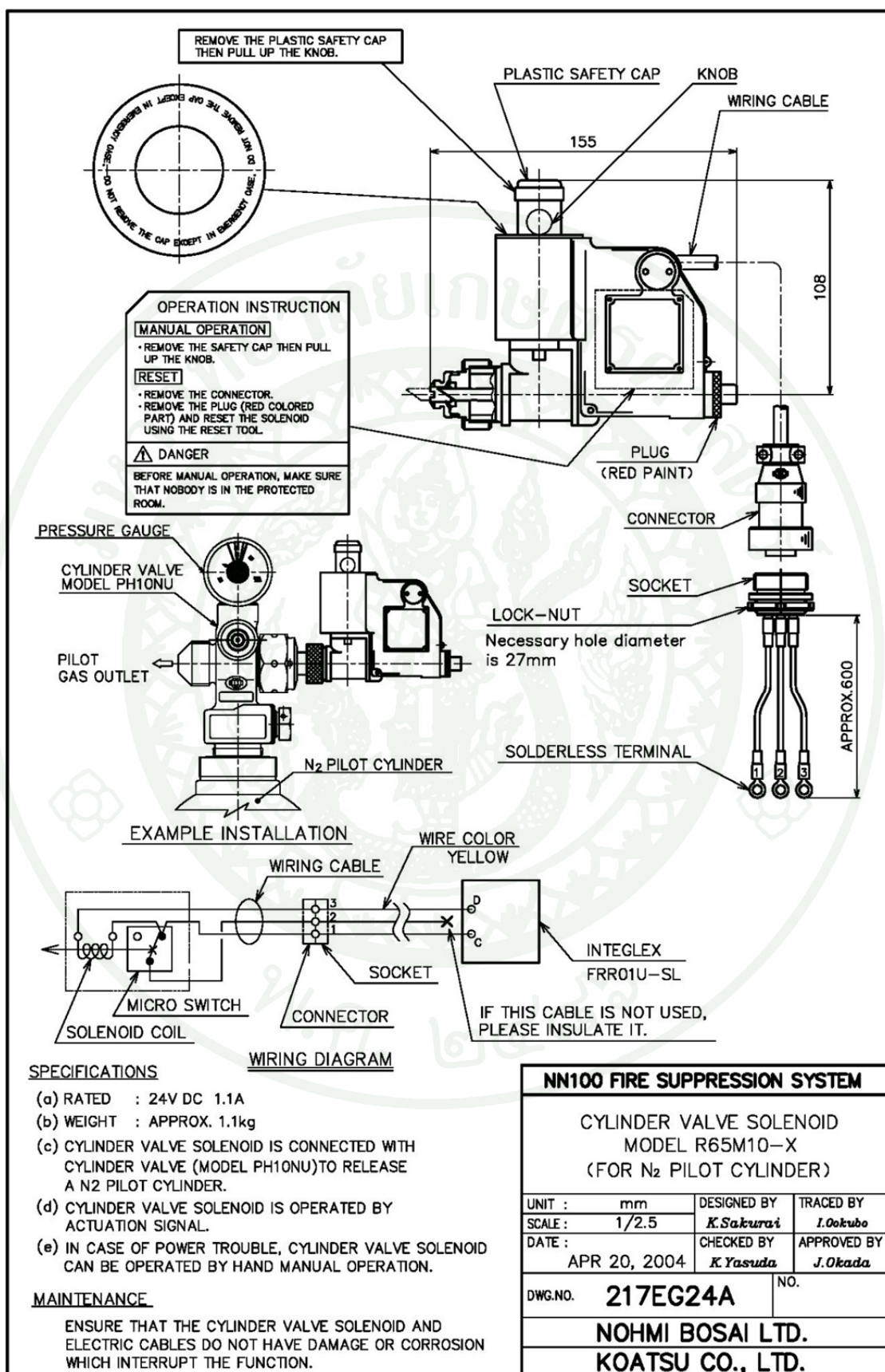
4	NAME PLATE	PVC	
3	CYLINDER VALVE	JIS_C3771	MODEL PH10NU
2	CAP	JIS_STK290	
1	PILOT CYLINDER	Mn STEEL	
PT.NO.	NAME	MATERIAL	REMARKS

NN100 FIRE SUPPRESSION SYSTEM

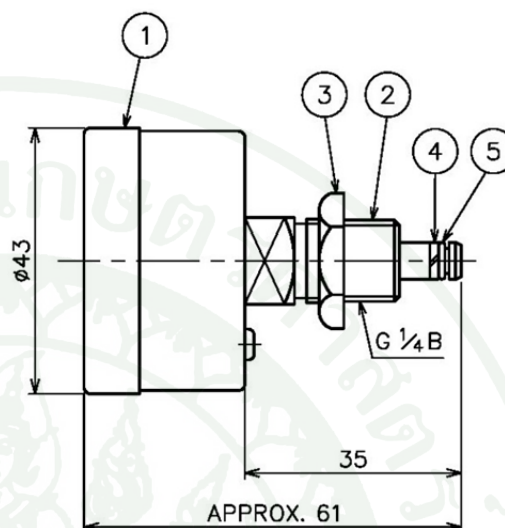
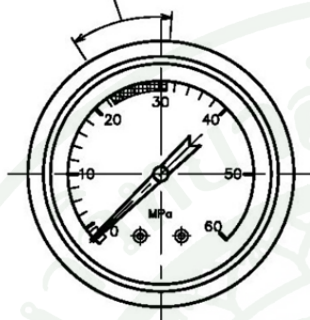
N₂ PILOT CYLINDER
 WITH PH10NU (5L)

UNIT :	mm	DESIGNED BY	TRACED BY
SCALE :	1 / 8	<i>K.Sakurai</i>	<i>I.Ookubo</i>
DATE :	MAR. 15, 2004	CHECKED BY	APPROVED BY
		<i>K.Yasuda</i>	<i>J.Okada</i>
DWG.NO.	217CA35B		NO.
NOHMI BOSAI LTD.			
KOATSU CO., LTD.			



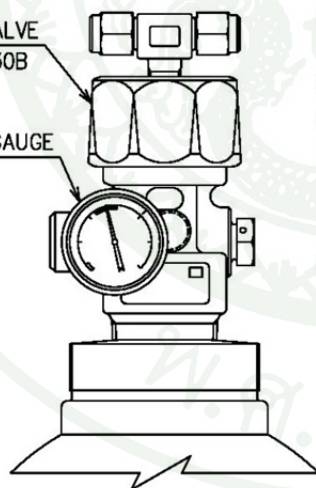


GREEN ZONE
(22.8~30.8MPa)



CYLINDER VALVE
MODEL PC30B

PRESSURE GAUGE



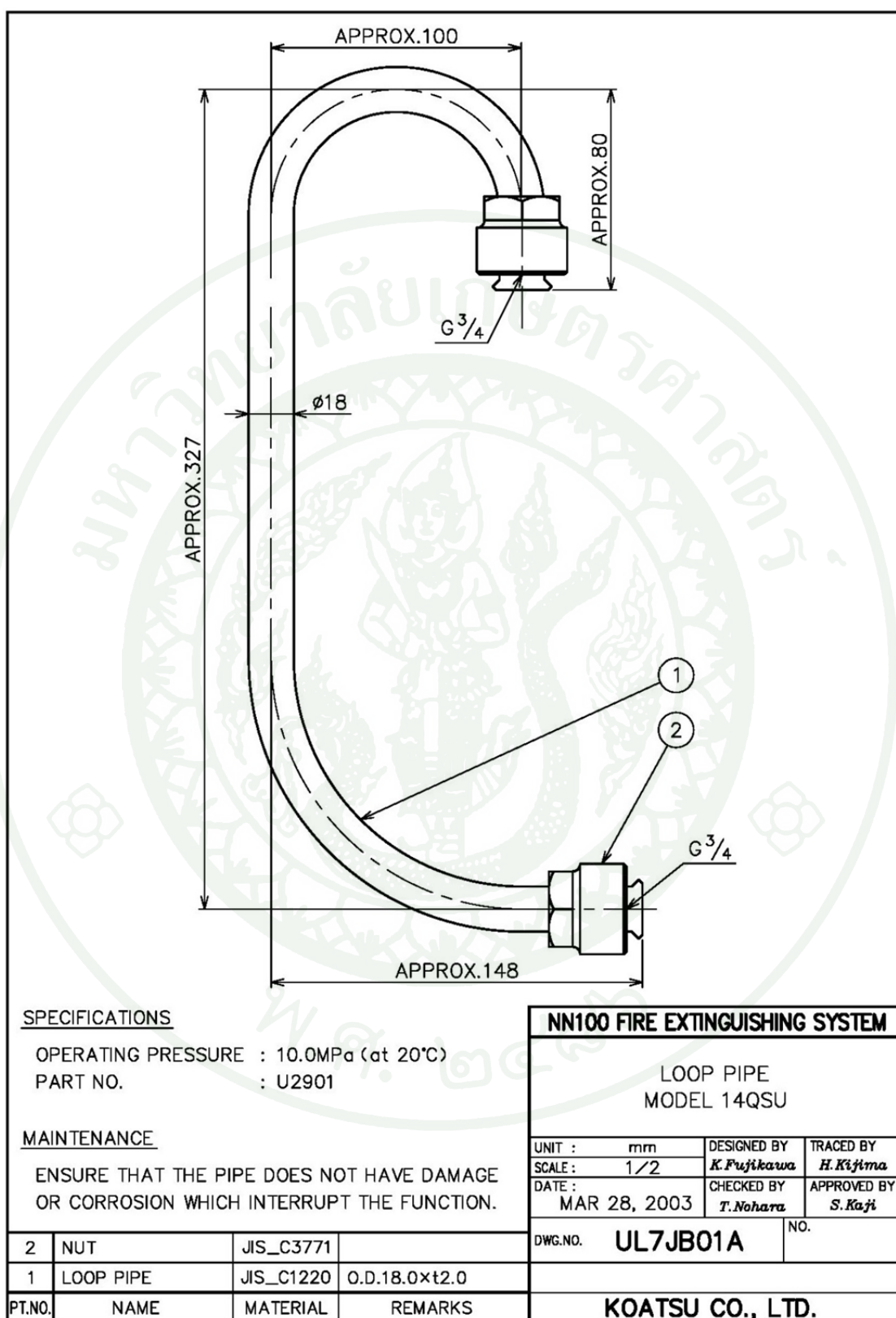
SPECIFICATION

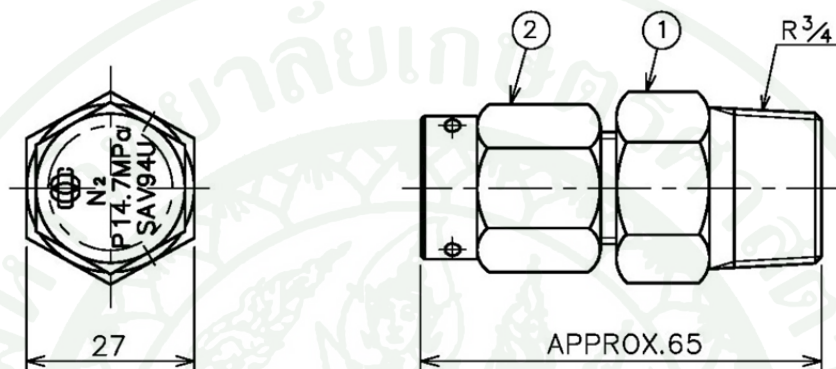
- (a) FULL RANGE : 60MPa
- (b) MATERIAL
ELEMENT : JIS_SUS316
- (c) WEIGHT : APPROX. 0.2kg
- (d) THIS PRESSURE GAUGE IS INSTALLED TO THE CYLINDER VALVE (MODEL PC30B) FOR CHECKING THE QUANTITY OF THE AGENT IN THE N₂ STORAGE CYLINDER. IT HAS THE GREEN ZONE TO SHOW NORMAL CONDITION OF THE PRESSURE.
- (e) THE PRESSURE GAUGE WILL BE INSTALLED ON SITE. (IT IS NOT INSTALLED AT SHIPMENT.)

NN100 FIRE SUPPRESSION SYSTEM

PRESSURE GAUGE
MODEL GK25-S-38-B
(FOR PC30[])

5	O—RING	NBR		UNIT : mm	DESIGNED BY	TRACED BY
4	BACK—UP RING	PTFE		SCALE : 1 / 1	K Sakurai	I.Ookubo
3	LOCKNUT	JIS_C3604	HEX. 19	DATE : MAR 17, 2004	CHECKED BY K.Yasuda	APPROVED BY J.Okada
2	SCREW	JIS_C3604		DWG.NO. 217WA03B		NO.
1	CASE	JIS_SPCC		NOHMI BOSAI LTD.		
PT.NO.	NAME	MATERIAL	REMARKS	KOATSU CO., LTD.		





SPECIFICATIONS

SAFETY DISC
 OPERATING PRESSURE
 PART NO. : 11.9~16.2MPa
 : U3201

MAINTENANCE

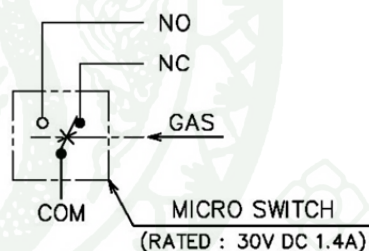
ENSURE THAT THE SAFETY VENT DOES NOT HAVE
 DAMAGE OR CORROSION WHICH INTERRUPT THE
 FUNCTION.

2	NUT	JIS_C3771	
1	BODY	JIS_C3771	
PT.NO.	NAME	MATERIAL	REMARKS

NN100 FIRE EXTINGUISHING SYSTEM

SAFETY VENT
 MODEL SAV94U

UNIT :	mm	DESIGNED BY	TRACED BY
SCALE :	1/1	K.Fujikawa	H.Kijima
DATE :	MAR 28, 2003	CHECKED BY	APPROVED BY
		T.Nohara	S.Kaji
DWG.NO.	UL7VC04A		NO.
KOATSU CO., LTD.			



WIRING DIAGRAM

- (a) THE PRESSURE SWITCH IS OPERATES BY THE PRESSURE OF THE DISCHARGED GAS FOR LIGHTING THE DISCHARGE INDICATOR AND DISCHARGE ALARM.
- (b) THE PRESSURE SWITCH IS RESET BY PUSHING THE KNOB.
- (c) WEIGHT : APPROX. 1kg

				PRESSURE SWITCH MODEL PR79-1MT		
5	COPPER PIPE	JIS_C1220	OD6.0×t1.0	UNIT : mm	DESIGNED BY <i>T. Morita</i>	TRACED BY <i>M. Nakagawara</i>
4	FLARE NUT	JIS_C3604		SCALE : 1 / 2		
3	KNOB	JIS_C3604	PLATING WITH CHROMIUM	DATE : MAY. 31, 2002	CHECKED BY <i>T. Nohara</i>	APPROVED BY <i>I. Kamada</i>
2	CYLINDER	JIS_C3604		DWG.NO. 210EG16B		NO.
1	BOX	ABS RESIN	COLOR : MUNSELL ref. No. 7.5BG 6/1.5	NOHMI BOSAI LTD.		
PT.NO.	NAME	MATERIAL	REMARKS	KOATSU CO., LTD.		

Pressure regulator U13

spectro **tec**



Line pressure regulator
U13-W6/E-200-15
for non flammable gases



Manifold pressure regulator
U13-W6/G-200-20
for oxygen

Product features

- Diaphragm pressure regulator
- For non-corrosive industrial gases
- Single-stage with high control accuracy
- Central filter in the pressure regulator
- Safety pressure gauge acc. to DIN EN 562
- Pressure regulator with integrated relief valve
- Pressure regulator for oxygen with filter in inlet fitting
- Accessories like wall brackets and in-/outlet fittings are also available

Attention:

For the U 13 special fittings with orifice holes have to be used to ensure a correct function of the regulator.

Technical Data

Type	single-stage
Flow rate Q	max. 500 m ³ /h
Inlet pressure P ₁	max. 40 / 200 / 300 bar
Outlet pressure P ₂	see table below
at P ₁ = 40 bar:	max. 5...30 bar
at P ₁ = 300 bar:	max. 14...35 ¹⁾ bar
¹⁾ 35 bar not for oxygen available!	
Materials	
Body regulator:	brass
Bonnet:	Alu (plastic coated)
Diaphragm regulator:	NBR
Valve seat regulator:	PA
In- and outlets	
Inlet:	G ½"- female M24 x 1,5 (oxygen)
Outlet:	G ½"- female
Pressure gauge ports:	G 1/4"- female
Outlet relief valve:	G 3/8"- male
Temperature range	-30°C to +60°C
Leak rate	<10 ⁻³ mbar l/s He
Weight	approx. 4,2 kg

Performance factors and outlet pressures to find the flow rates of the pressure regulators U13

Series		U13W6				U13W5	U13W4
Type		E	G	J	L	D	D
Performance factor	L ₅ (5% pressure drop)	4,5	5,5	4,5	5	4,5	3,5
	L ₁₀ (10% pressure drop)	6	7	6	6,5	6	4,5
	L _{max}	7,5	8,5	7,5	8	7,5	5,5
max. Outlet pressure P ₂ [bar]	at 40 bar inlet pressure	16	25	6	16	30	-
	at 200 bar inlet pressure	16	20	-	-	30	35
	at 300 bar inlet pressure	16	20	-	-	30	35
Outlet pressure variations [%] relating to inlet pressure variation		1	1,85	2,7		1,25	1,5

Data sheet DES U13 Edition 0209
Subject to alteration without prior notice
© Messer Cutting & Welding GmbH

Messer Cutting & Welding GmbH
Lärchenstr. 139a, D-65933 Frankfurt
Tel. +49 (0)69 38016-0, Fax +49 (0)69 38016-200
spectron@messer-cw.de www.spectron.de

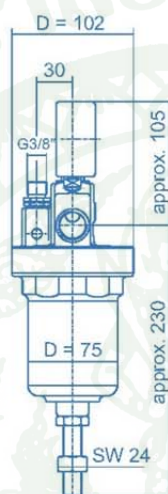
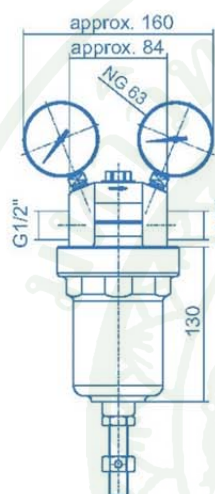
spectro **tec**

Pressure regulator U13

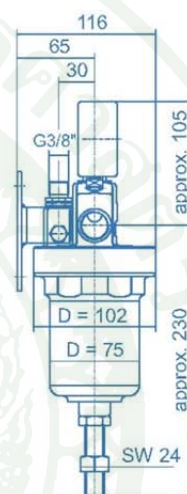


Dimensions and connections of the pressure regulator U13

Dimensions (front- and side view)



Dimensions with wall bracket 512.07600
(as accessories available)



Ordering information: Pressure regulator U13

In- and outlet-fittings:
see data sheet "Fittings"

U13 W6 E - NFG - 40

Type

See table "Performance factors..."
on page 1

Inlet pressure P_1

40 - max. 40 bar
200 - max. 200 bar
300 - max. 300 bar

Type of gas

NFG - non flammable gases
FG - flammable gases
O₂ - oxygen

Performance diagram

spectro tec

If gas type, inlet pressure, outlet pressure and flow rate are known for a particular application, then the required performance factor "Y" can be found in the performance diagram. The performance factor is the characteristic of all MEISSER CMM pressure regulators and allows a safe and easy selection of the suitable pressure regulator.

The performance diagram contains the following variables:

- Outlet pressure P [bar], inlet minus

If the type of pressure regulator for an application is unknown, the required performance factor for the regulator can be found from the gas type, the inlet pressure, the

At the flow rate is only given at operating conditions, it must be converted to the flow rate at standard conditions first.

The conversion of a flow rate (at the required performance factor for several possible operating parameters) and to select the pressure regulator according to the greatest value of "C".

Operating parameters:
Inlet pressure varying between 30 and 20 bar, outlet pressure adjustable between 8 and 10 bar is required.
Inlet gas: 120 m³/h, gas type: oxygen.

The pressure regulator design must be done for the worst case, i.e. for the minimum available pressure difference; in this case this would be done for the minimum inlet pressure (20 bar) and the maximum outlet pressure (10 bar), thus pressure difference = $20 - 10 = 10$ bar.

The performance factor is the logarithm of the cross-sectional

1. Inlet–main inlet pressure = 10 bar
2. Inlet–top horizontal line (A)
3. Outlet pressure = 10 bar, follow the diagonal line (B)
4. Intersection (1)
5. Flow rate = 120 m³/h, parallel to the grid lines diagonally to the top left hand side (D)
6. Gas type: inlet oxygen horizontally to the right (E)
7. From intersection (1) horizontally

3. From intersection (2) vertically to the top (F) on line (C)
2. Intersection (3)
1. From intersection (3) parallel to the grid lines diagonally to the top right-hand side (G)
1. Performance factor $L = 6.5$

Example 11 (To find the flow rate; type of regulator and performance factor $L = 6.5$ are known)

Operating parameters: see example 1

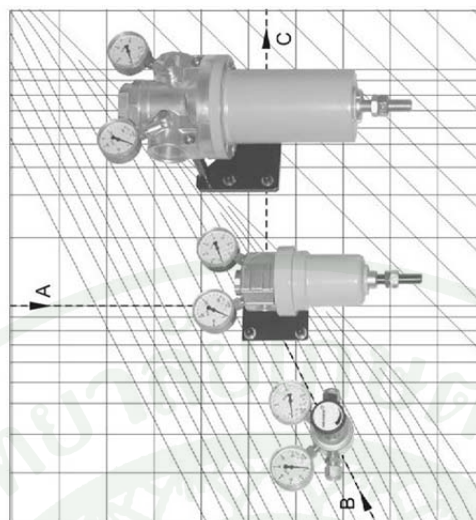
1. Inlet minus outlet pressure = 10 bar, follow the vertical line (A)
 2. Outlet pressure = 10 bar, follow the diagonal line (B)
 3. Intersection (1)
 4. From intersection (1) horizontally to the right (C)
 5. Performance factor $L = 6.5$; parallel to the grid lines diagonally to the left hand side (5)
 6. Intersection (3)
 7. From intersection (3) vertically down (D)
 8. Gas type line oxygen horizontal to the right (E)
 9. Intersection (2)
 10. From intersection (2) parallel to the grid lines diagonally to the bottom right hand side (B)
- Flow rate = 120 m³/h

only, not for the in- and outlet piping! The dimensions of the pipework has to be checked for sufficient flow capacity separately (see data sheet "Dimensions of pipes and fittings for gases").

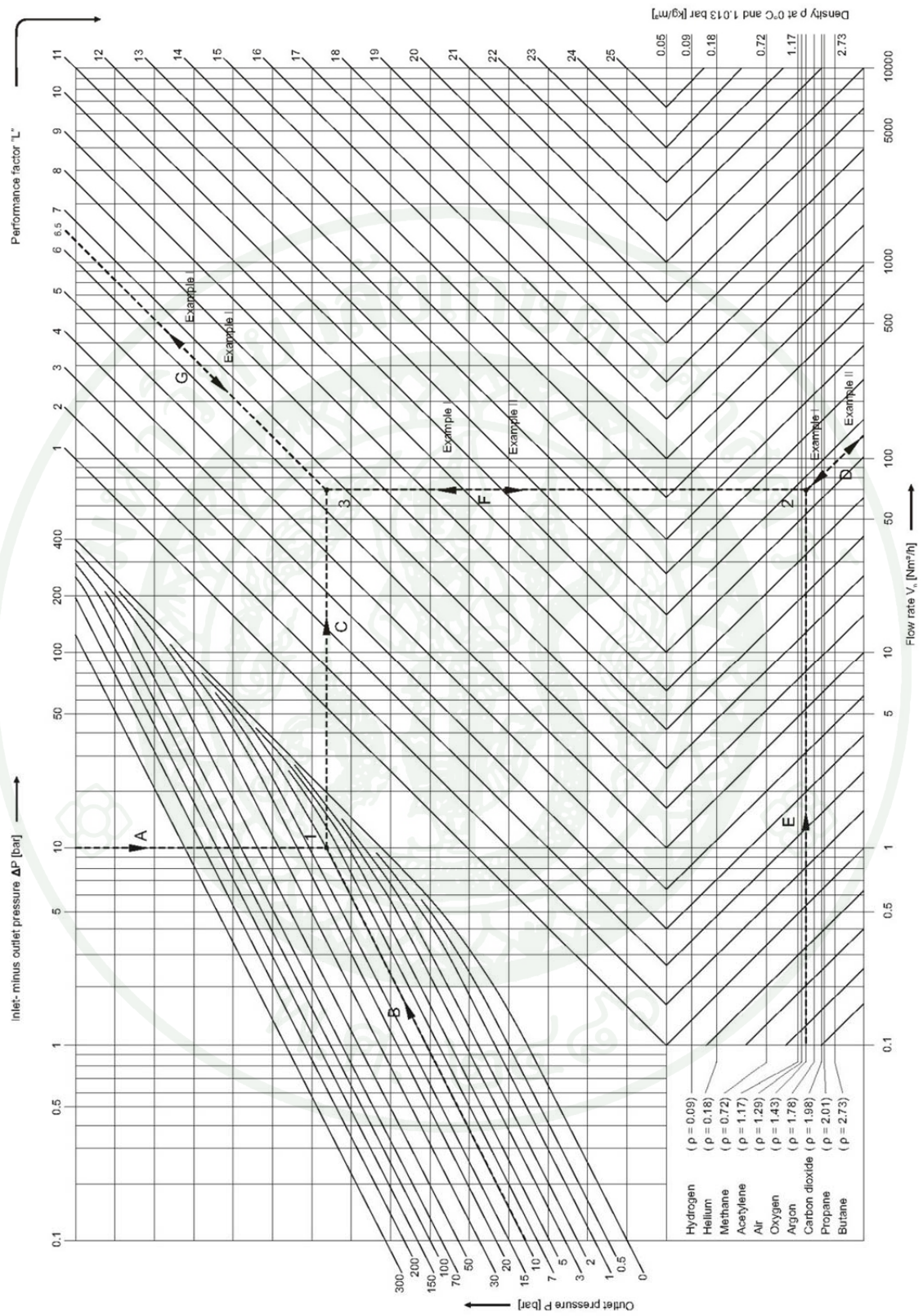
Flow rates greater than 10,000

- Finding the flow rate. Reduce known performance factor by 5, then multiply the flow rate from the diagram by 10.
 - Finding the performance factor. Divide known flow rate by 10, then add 5 to the performance factor found from the diagram.
- All pressure values are values above atmospheric pressure (bar).

Performance diagram



How to find the right pressure regulator



Instructions for use
U 11 / U 13
Pressure Regulator

spectrotec



Content

	page
1. Application	1
1.1 Designated use	1
1.2 Non-designated use	2
1.3 Technical data	2
2. Safety instructions	2
3. Labelling	2
4. Relief valve	3
5. Installation	3
6. Start-up	3
7. Operation and maintenance	3
8. Shut-down	4
9. Repair	4

1. Application

1.1 Designated use

The U 11 and U 13 pressure regulators serve to reduce an inlet pressure to an as constant as possible outlet pressure. The pressure regulators are used for all pressure regulation tasks which lie within the ranges given. In case of strongly varying inlet pressure and low back pressure, the installation of a second pressure regulator downstream can be purposeful.

1.2 Non-designated use

Do not use pressure regulators for gases in the liquid phase.
Do not use for unsuitable types of gas or corrosive gases.
Do not use at temperatures below -30°C or above +60°C.



- 6.4 Open the inlet pressure isolation valve so little (with a small volume, only by a fraction of one turn), that the inlet pressure on the pressure regulator rises slowly to the full value and the back pressure to about half of the maximum value. After completing the filling operation, open the inlet pressure isolation valve fully.
- 6.5 Turn the positioning spindle in until the desired back pressure is reached. Open the back pressure isolation valve so slowly that the downstream space (volume) is filled without vibration.

7. Operation and maintenance

- 7.1 Always protect pressure regulator against damage (visual inspection at regular intervals).
- 7.2 The setting of the relief valve may not be changed.
- 7.3 Pay attention to perfect condition of seals, sealing areas and the gauges.
- 7.4 Always take pressure regulators out of operation and close isolation valves immediately in case of malfunctions, for example, rise of the backpressure in case of consumption = 0, in case of leakage to atmosphere, a defective manometer or in case of actuation of the relief valve.



8. Shut-down

- 8.1 For short-time interruption of work, it is sufficient to close the isolation valve behind the pressure regulator.
- 8.2 In case of longer interruption (e.g. over night), the pressure regulator must be relieved.
1. Close inlet pressure isolation valve
 2. Relieve pressure regulator (by discharging the gas through the load)
 3. Turn positioning spindle outwards to the stop.

9. Repair

- 9.1 Repairs may only be carried out in authorized repair workshops by expert persons.
- 9.2 Only original spare parts must be used. The materials have been adapted to the gas type in each instance. So always specify the gas type.
- 9.3 In case of independent repairs, the use of non-original spare parts or changes on the side of the user or a third party without the approval of the manufacturer, any form of liability for resulting damages will expire as well as the manufacturers warranty.
- 9.4 After being repaired, the pressure regulator must be checked with respect to proper function, leak-tightness and cleanliness of the gas-wetted surfaces. When the system is used again, a sufficient purging operation must be carried out first.

The pressure regulator has to be used according to these instructions for use and especially the safety instructions.

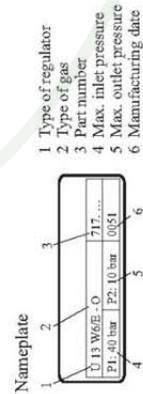
1.3 Technical data

Inlet pressure:	U 11: max. 40 bar U 13: max. 300 bar
Materials:	- Body: Brass - Spring house: Aluminium/ epoxy coated - Diaphragm: EPDM/NBR
Connections:	- Seat seal: Polyamide Inlet and outlet threads: G 3/8" internal threads Relief valve: G 3/8" internal threads

2. Safety instructions

- 2.1 All items of informations marked with  are valid as special safety instructions.
- 2.2 These pressure regulators adhere to state-of-the-art technology and to the demands of the existing standards and regulations.
- 2.3 Changes or modifications are not allowed to be made to the pressure regulator without the prior consent of the manufacturer.
- 2.4 The equipment must be operated by suitable trained personnel only.
- 2.5 The result of improper handling and improper use as intended can involve risks for the user and other persons as well as damage to the device.
- 2.6 Regulations to be adhered to:
- BGV A1 (VBG 1), "General Specifications"
 - BGV D1 (VBG 15), "Welding, Cutting and Related Procedures"
 - BGV B7 (VBG 62), "Oxygen"
 - Technical Rules for Liquid Gas
 - TRAC 207
- Special attention has to be paid to the country specific laws, regulations and procedures concerning the use of this type of equipment.**
- 2.7 Use only for gas types the pressure regulator is labelled for (see item 3).
- 2.8 Do not use at temperatures below -30°C or above +60°C.
- 2.9 The valve has always to be opened slowly!
- 2.10 It must be guaranteed that no dirt particles such as rust and chips can enter the pressure regulator. In this case, a filter should be installed upstream of the pressure regulator (see publication 770.50267).
- 2.11 All parts coming into contact with oxygen must be kept in oil-free and grease-free condition.
- Fire or explosion hazard!**
- 2.12 Smoking or open fire (e.g. candles) in the vicinity of the gas supply system is strictly prohibited.
- Fire and explosion hazard!**
- 2.13 Adapters must not be used between the gas cylinder valve and the pressure regulator.
- 2.14 Protect gas cylinder against falling.

3. Labelling



-2-

4. Relief valve

- 4.1 The relief valve built into the pressure regulator can release quantities of gas which flow through the pressure regulator because of a leaky throttle valve when there is no gas consumption to the atmosphere. It does not serve as a safety valve for the downstream valves and fittings. To protect downstream valves, fittings, pressure vessels and pipes against overpressure in case of a failure of the pressure regulator, a safety fixture complying with the regulations must be installed. In case of combustible gases, connect a discharge line to the relief valve and ensure discharge without danger.

- 4.2 The main pressure regulator U 13 for acetylene is equipped with a safety valve (SV 73).

5. Installation

- 5.1 Check whether the pressure regulator is identified for the type of gas present. If the type of gas does not agree, identify with the enclosed gas identification plate in accordance with the instructions. The pressure regulator must be identified to correspond to the type of gas.
- 5.2 The pressure regulators are delivered for vertical installation (positioning spindle pointing downwards) and for gas flow from left to right (when looking at the manometers or nameplate).
- 5.3 An isolation valve should be installed in the feedline to the pressure regulator in such a way that the manometers of the pressure regulator can be observed when opening the isolation valve. An isolation valve is necessary in the line between the pressure regulator and the consumption point if there is no possibility to isolate the line or if the consumption point is located further away than 50 x ND (nominal diameter) of the following piping. The isolation valve is to be installed at a distance of 20 x ND (nominal diameter).
- 5.4 During the installation of piping and connection fittings, attention must be paid without fail to ensure that the pipe axes align with the connection axes of the pressure regulator and that the flat surfaces are parallel to each other. It must never be attempted to straighten incorrectly laid pipe through excessive tightening of the nuts.
- 5.5 The safety regulations and guidelines, which are different depending upon the type of gas, are to be observed during all pipe-laying work and with the selection of the materials and sealants. The gas volume downstream of the pressure regulator, which should be kept under constant pressure by the pressure regulator, is especially important. It should not be too small.
- 5.6 The correct dimensioning of the related piping and the arrangement of other fittings are decisive for the perfect functioning of the pressure regulator. Only threaded fittings with orifice holes may be used in the discharge line with U 11/U 13.
- 5.7 Before start-up check all connections for leaks.

6. Start-up

- 6.1 The information in these Instructions for Use is to be read before beginning work and to be observed during the work.
- 6.2 Check whether connections are clean and without damage.
- 6.3 The pressure regulator may not be installed in case of damage.
- 6.3 With the inlet pressure and back pressure isolation valves closed, first turn the position spindle outward until the stop and then turn in again about halfway of the possible spindle travel.

-3-



การวิจัยและพัฒนาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลง							
Item	Descriptions	Qty.	Material		Labour		Total Cost (Baht)
			Unit Price	Unit Cost	Unit Price	Unit Cost	
			(Baht)	(Baht)	(Baht)	(Baht)	
1.0	WATER SPRAY SYSTEM						
1	Water spray nozzle, brass, k-factor 3.57, 1/2 inch, UL listed	44	3,500	154,000	500	22,000	176,000
2	Deluge alarm valve, external reset, vertical type, UL listed, cast iron, class 175, flange end w/ pressure switch, alarm water gong, pressure gauges, with electric trim						
	- size 6 inch	1	156,000	156,000	5,000	5,000	161,000
3	OS&Y gate valve, cast iron, class 175, flange end, UL listed						
	- size 6 inch	2	28,000	56,000	2,000	4,000	60,000
4	Fire department connection, brass body with check valve						
	- size 6 inch	1	21,000	21,000	5,000	5,000	26,000
5	Pilot sprinkler head, k-factor 5.6, upright type, UL listed	15	200	3,000	200	3,000	6,000
6	Black steel pipe, sch #40, seamless, ASTM A53-grade B						
	- size 1/2 inch	19	284	5,396	100	1,900	7,296
	- size 1 inch	20	350	7,000	200	4,000	11,000
	- size 2 1/2 inch	50	750	37,500	500	25,000	62,500
	- size 3 inch	40	1,050	42,000	600	24,000	66,000
	- size 4 inch	50	1,500	75,000	800	40,000	115,000
	- size 6 inch	50	1,600	80,000	1,200	60,000	140,000
7	Pipe fitting	1	100,000	100,000	65,000	65,000	165,000
8	Accessory and pipe support	1	130,000	130,000	85,000	85,000	215,000
	Subtotal for Water Spray System						1,210,796
2.0	FIRE DETECTION SYSTEM						
1	Fire control panel, cross zone, conventional	1	60,000	60,000	2,500	2,500	62,500
2	Heat detector, fixed temp. 90 °C, weather proof, UL listed	15	3,500	52,500	500	7,500	60,000
3	Alarm bell, size 6 inch, rated power 24 VDC., UL listed	1	2,000	2,000	500	500	2,500
4	Manual releasing station, double action type, UL listed	1	2,500	2,500	500	500	3,000
6	Strobe light & horn, weatherproof type, 24 VDC., UL listed	1	4,000	4,000	500	500	4,500
7	FRC cable, 2 hour rating, size 2x1.5 mm2.	1	40,000	40,000	15,000	15,000	55,000
8	FRC cable, 2 hour rating, size 2x2.5 mm2.	1	100,000	100,000	45,000	45,000	145,000
9	IMC conduit, size 15 mm2. / 20 mm2.	1	85,000	85,000	35,000	35,000	120,000
10	Accessories	1	40,000	40,000	20,000	20,000	60,000
	Subtotal for Fire Detection System						512,500
3.0	Nitrogen System						
1	N2 cylinder, capacity 20.3 m3.@ 300 barg.	5	56,000	280,000	4,000	20,000	300,000
2	N2 pilot cylinder, capacity 0.5 m3.@ 100 barg.	1	48,000	48,000	3,000	3,000	51,000
3	N2 pressure gauges	6	2,850	17,100	1,000	6,000	23,100
4	N2 loop pipe	5	1,500	7,500	1,000	5,000	12,500
5	Nitrogen manifold, size 2 inch	1	40,000	40,000	12,500	12,500	52,500
6	Pressure relief valve, size 1/2 inch	1	3,000	3,000	1,000	1,000	4,000
7	ASTM A53 grade B, seamless, schedule 80	1	125,000	125,000	55,000	55,000	180,000

การวิจัยและพัฒนาาระบบต้นกำลังแบบก๊าซไนโตรเจนสำหรับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลง							
Item	Descriptions	Qty.	Material		Labour		Total Cost (Baht)
			Unit Price	Unit Cost	Unit Price	Unit Cost	
			(Baht)	(Baht)	(Baht)	(Baht)	
11	Solenoid valve	1	50,000	25,000	1,000	1,000	26,000
12	Pressure switch	1	40,000	10,500	1,000	1,000	11,500
13	Connecting devices for pilot cylinder	1	40,000	9,500	1,000	1,000	10,500
14	Accessories	1	3,500	15,000	8,500	8,500	23,500
	Subtotal for Nitrogen System						694,600
4.0	Water Storage Tank						
1	Water storage tank, complete with followings;	1	1,300,000	1,300,000	100,000	100,000	1,400,000
	-capacity 30 m ³ ., horizontal type, material SS400						
	-pressure relief valve, size 1/2 inch, setting 10 barg.						
	-water level switch, 1 SPDT, 1 amp. @ 24 Vdc.						
	-water level indicator						
	-pressure gauge, dial size 3.5 inch						
	-drain valve and water inlet valve						
	-inlet and outlet nozzle						
2	Concrete foundation and accessories	1	150,000	150,000	50,000	50,000	200,000
3	Tank transportation [from fabrication shop to MEA station]	1	100,000	100,000	20,000	20,000	120,000
4	Water electric pump, capacity 15 gpm @ 5 barg., pressure gauges,	1	85,000	85,000	8,000	8,000	93,000
	strainer, suction & discharge valve, pressure relief valve,						
5	Piping work [electric pump to fire water tank] within 20 m.	1	37,000	37,000	17,000	17,000	54,000
6	Piping work [water main pipe to reserve tank] within 15 m.	1	8,000	8,000	3,000	3,000	11,000
7	Pipe fitting and support	1	15,000	15,000	7,000	7,000	22,000
8	Water pump controller	1	13,000	13,000	5,000	5,000	18,000
9	Electrical work, cable and conduit	1	17,000	17,000	7,000	7,000	24,000
10	Stainless steel water reserve tank, size 2 m ³ , with level switch,	1	13,000	13,000	1,000	1,000	14,000
	inlet valve and drain valve, float valve, and tank stand						
	Subtotal for Water Storage Tank						1,956,000
5.0	Third Party Verification Work						
1	Fire water tank, welding inspection and test, with certificate	1			20,000	20,000	20,000
2	Rated flow and pressure measurement & report	1			20,000	20,000	20,000
3	Leakage test of water spray pipe and water tank and N2 pipe	1			20,000	20,000	20,000
	Subtotal for Third Party Verification Work	5		0	1,000	5,000	60,000
	งบประมาณดำเนินการ				Total [1-5]		4,433,896

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นายอดุลรัตน์ เรืองศรี
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 27 มกราคม 2515
สถานที่เกิด	จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จ.กรุงเทพมหานคร
ประวัติการทำงาน	
2537-2544	ช่างเทคนิคไฟฟ้า 3 - 4 แผนกออกแบบสถานีย่อย ฝ่ายออกแบบด้านไฟฟ้าและงานวิศวกรรมโยธา การไฟฟ้านครหลวง
2544-2553	ช่างเทคนิคสายอากาศ 5 กลุ่มงานหม้อแปลงและ คาปาซิเตอร์ แผนกบำรุงรักษาระบบจำหน่าย การไฟฟ้านครหลวง (เขตบางเขน)
2553-ปัจจุบัน	ช่างเทคนิคสายอากาศ 6 แผนกตรวจสอบสายภายใน การไฟฟ้านครหลวง (เขตบางเขน)
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้านครหลวง
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-