



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลกระทบจากความขรุขระของผิวท่อต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอัคคีภัยของ
หม้อแปลงไฟฟ้า

The Influence of Pipe Roughness to the Performance of Water Spray Fire Control in
Electrical Transformer

نامผู้วิจัย นางสาวอัญรัตน์ ตอพล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ประกอบ สุวัฒน์วรรณ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ปณัฐ วิสุวรรณ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐ์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบจากความขรุขระของผิวท่อต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอัคคีภัย
ของหม้อแปลงไฟฟ้า

The Influence of Pipe Roughness to the Performance of Water Spray Fire Control
in Electrical Transformer

โดย

นางสาวอัญรัตน์ ตอพล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2552

อัญรัตน์ คอพล 2552: ผลกระทบจากความขรุขระของผิวท่อต่อประสิทธิภาพในการควบคุม
อค์ล็กัยของหม้อแปลงไฟฟ้า ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความ
ปลอดภัย) สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ประกอบ สุรวัฒนารวรรณ, Ph.D.
147 หน้า

การเกิดเพลิงไหม้ที่หม้อแปลงไฟฟ้าทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง เนื่องจากหม้อแปลง
ไฟฟ้าจะมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่ภายในซึ่งใช้ในการระบายความร้อนของขดลวดไฟฟ้า ระบบ
ดับเพลิงแบบ water spray เป็นระบบดับเพลิงประเภทหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการควบคุมเพลิงไหม้
ของหม้อแปลงไฟฟ้า พารามิเตอร์ที่สำคัญอันหนึ่งในการออกแบบระบบ water spray คือค่า
สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวท่อ ซึ่งการใช้ค่านี้ในการออกแบบส่งผลอย่างมากต่อการเลือกใช้
ขนาดความดันของระบบในการทำงาน ในการออกแบบโดยทั่วไป ผู้ออกแบบมักเลือกค่าสัมประสิทธิ์
ที่สูงซึ่งเป็นตัวแทนของผิวท่อที่ติดตั้งใหม่และเรียบ ทำให้ผลการวิเคราะห์ค่าความดันทำงานที่ได้มีค่า
ต่ำสุด ซึ่งเมื่ออายุการใช้งานของระบบยาวนานขึ้น ค่าความขรุขระหรือค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้
จะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความดันทำงานในระบบเพิ่มมากขึ้น จนอาจถึงจุดที่ระบบทำงานไม่ได้ ซึ่งจะ
ก่อปัญหาอย่างมากต่อประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันอค์ล็กัย งานวิจัยนี้ใช้การ
วิเคราะห์ระบบท่อดับเพลิงโดยวิธีการ hydraulic calculation ร่วมกับการวิเคราะห์ความดันสูญเสียโดย
ใช้ Hazen-Williams formula ผลการวิเคราะห์พบว่าอายุการใช้งานหรือสภาพค่าความขรุขระของผิวท่อ
ดับเพลิง ส่งผลอย่างมากต่อค่าความดันใช้งานของระบบ เมื่อท่อใช้งานผ่านไป 10 ปี ความดัน
ที่ต้องการเพิ่มขึ้นอีก 47% ของค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น เมื่อท่อใช้งานผ่านไป 20 ปีความดัน
ที่ต้องการเพิ่มขึ้นอีก 100% ของค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น นั่นหมายความว่าถ้าระบบไม่มีการเผื่อ
ค่า safety factor สำหรับการออกแบบไว้ หรือเผื่อไว้น้อยมาก เมื่อเวลาผ่านไประบบก็จะไม่สามารถใช้
งานได้เนื่องจากการสร้างความดันไม่เพียงพอ แนวทางแก้ไขสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดความดัน
ของปั้มให้รองรับความดันใช้งานที่เพิ่มขึ้นแต่วิธีการนี้เป็นการดำเนินการที่ใช้ต้นทุนสูง หรือโดยการ
เพิ่มขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นเป็นการลดความดันใช้งานของระบบลง ซึ่งวิธีการที่สองนี้เป็นการแก้ไขที่
ประหยัดกว่า จากงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดท่อ 25% ทำให้ระบบสามารถทำงานได้นานถึง 20 ปี
โดยเปรียบเทียบจากค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น และการเพิ่มขนาดท่อ 50% ทำให้ระบบสามารถ
ทำงานได้ถึง 50 ปี โดยเปรียบเทียบจากค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น

Unyarat Torpol 2009: The Influence of Pipe Roughness to the Performance of Water Spray Fire Control in Electrical Transformer. Master of Engineering (Safety Engineering), Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Prakorb Surawattanawan, Ph.D. 147 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 crucial parameter in the design of water spray is the pipe roughness coefficient. The coefficient selection influences to the result of system working pressure. In general water spray design, the high value of coefficient representing smooth pipe wall is selected. In consequence, the calculation result tends to have the lowest operating system pressure. However, when the time goes by, the pipe roughness has been changed and deteriorated. The system working pressure is increased until the system does not function properly. As a result of this, the efficiency and reliability of the system are degraded. This research work utilized hydraulic calculation along with Hazen-Williams formula for water piping analysis. The results show that working life or the value of roughness coefficient has a significant effect on the system working pressure. The demand system pressure increases 47% in comparison with the design value for 10-years of working life. In addition, the demand system pressure increases 100% in comparison with the design value for 20-years of working life. It implies that if the designer does not prepare safety factor for the design pressure, the system may be at fault in operation after a period of time. The solution of this problem can be performed by two ways. The first one is to increase the pressure or head of the fire pump. Nevertheless, this implementation is costly and not a best choice in term of investment. The second one is to increase the size of water pipeline. This results in the reduction of demand system pressure. The analyses show that the increase of 25% in piping size extends the working life to 20-year and the increase of 50% in piping size extends the working life to 50-year.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้นั้น ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ ที่ให้คำแนะนำ คุณเจนวิทยานิพนธ์นี้ สัมฤทธิ์ผล ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ปณัฐ วิสุววรรณ กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์แก่การจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ถ่ายทอดความวิชาความรู้ เพื่อนำมาใช้เป็นประโยชน์ในการทำงานและการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย ที่อำนวยความสะดวกระหว่างการศึกษาจนสามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สมาชิกในครอบครัวทุกคน ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

อัญรัตน์ ตอพล

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	45
ผลการศึกษา	45
วิจารณ์	91
สรุปและข้อเสนอแนะ	93
สรุป	93
ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	96
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก ข้อมูลคุณสมบัติของ Water Spray Nozzle	99
ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่า C-factor ของท่อ	112
ภาคผนวก ค ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	114
ภาคผนวก ง ตารางแสดงความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน	116
ภาคผนวก จ ตารางแสดงการแปลงหน่วยจากหน่วยนิ้ว เป็น ฟุต	126
ภาคผนวก ฉ ตารางการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation)	128
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	147

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงระยะห่าง clearance ทางไฟฟ้าชั้นต่ำระหว่างชิ้นส่วนที่ไม่มีการหุ้มฉนวนและ water spray nozzle	29
2	พื้นที่ของหม้อแปลงไฟฟ้า	47
3	ตัวอย่างตารางการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล	57
4	ราคาค่าติดตั้งท่อดับเพลิง Steel Pipe Schedule 40	95
5	ราคาค่าติดตั้งปั้มน้ำดับเพลิง	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระบบป้องกันด้วยการกระจายน้ำฝอยของถัง LP-GAS น้ำฝอยทำให้ถังที่เกิดเพลิงไหม้เย็นลง ป้องกันส่วนที่เป็นของเหลวเดือดและพุ่งออกมา, และป้องกันเปลือกของถังเกิดรอยแตกเนื่องจากสัมผัสความร้อนจากเปลวเพลิงที่มีอุณหภูมิสูง	11
2	ระบบกระจายน้ำฝอยสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดบรรจุน้ำมัน ชั้นหนาของหีบคและพื้นผิวสำหรับการระบายน้ำได้มีการจัดเตรียมไว้โดยรอบหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อป้องกันน้ำมันที่เผาไหม้อาจไหลลงดินในพื้นที่กระจายน้ำ	12
3	หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอยมีการหมุนเป็นเกลียวอยู่ภายในทางผ่านของน้ำ	18
4	หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอยใช้หลักการการกระจายน้ำของระบบกระจายน้ำดับเพลิงมาตรฐาน	18
5	หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอยชนิดเกลียว	19
6	Grinnell Model เครื่องกรองที่มีถาดกรองโลหะชนิดป้องกันการกัดกร่อน	20
7	Grinnell Mulsifyre nozzle ที่มีปุ่มระบายก๊าซ	21
8	ตัวอย่างภาพเพลิงไหม้หม้อแปลงไฟฟ้า	22
9	แสดงการทำงานของระบบ Water Spray	23
10	แสดงกระบวนการระงับอัคคีภัยของหม้อแปลงไฟฟ้า	25
11	ตัวอย่างแปลนภายนอกของหม้อแปลงไฟฟ้า	26
12	ภาพตัดของหม้อแปลงไฟฟ้า	27
13	แสดงระยะห่าง clearance ทางไฟฟ้าขั้นต่ำระหว่างชิ้นส่วนที่ไม่มีการหุ้มฉนวนและ water pray nozzle	28
14	ภาพการวางแนวท่อรอบแนวขอบหม้อแปลงไฟฟ้า	30
15	ภาพการวางแนวท่อดับเพลิงรอบหม้อแปลงไฟฟ้า	31
16	หลักการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง (ขั้นที่ 1)	36
17	หลักการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง (ขั้นที่ 2)	37
18	หัวกระจายน้ำข้อต่อแบบปรับหมุนได้	38
19	ภาพด้านข้างของระบบ Water Spray	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา	45
21	แสดงแบบแปลนของหม้อแปลงขนาด 35000 kVA ชนิดน้ำมัน	46
22	แสดงตำแหน่งการวาง Water Spray Nozzle	48
23	แสดงตำแหน่งการวาง Water Spray Nozzle (มุมมองด้านข้าง)	49
24	แสดงตำแหน่งการวาง Water Spray Nozzle (มุมมองด้านหน้า)	49
25	แสดงตำแหน่งการติดตั้งของ Water Spray Nozzle แบบ 2 Nozzle	50
26	แสดงตำแหน่งการติดตั้งของ Water Spray Nozzle แบบ 3 Nozzle	50
27	Water Spray Nozzle ชนิดความเร็วสูง	52
28	Nominal Discharge Curve	52
29	ระยะห่างที่สุด Water Spray สามารถกระจายน้ำถึงผิวหน้าอุปกรณ์ที่ต้องป้องกัน	53
30	แสดงการวัดระยะ Axial Distance จากหัวกระจายน้ำฝอยถึงผิวสัมผัสของอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน	54
31	รูปแบบการกระจายน้ำของ Water Spray ที่เลือกใช้ในการศึกษา	55
32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความขรุขระกับความดันที่ระบบต้องการ	88
33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความขรุขระกับความดันที่ระบบต้องการ เมื่อเพิ่มขนาดท่อ 25%	89
34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความขรุขระกับความดันที่ระบบต้องการเมื่อเพิ่มขนาดท่อ 50%	90

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BL	=	Branch Line
C	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวท่อดับเพลิง
D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ, นิ้ว
E	=	Elbow
h	=	ความสูง (Elevation), inches
L	=	ความยาวท่อ, ft
P	=	ความดันสูญเสียในท่อ, psi
Pe	=	ความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง, psi
Phigh	=	ความดันสูญเสียในท่อค่าที่สูงกว่า, psi
Plow	=	ความดันสูญเสียในท่อค่าที่ต่ำกว่า, psi
Q	=	อัตราการไหลภายในท่อ, gpm
Q Adjust	=	อัตราการไหลผ่านท่อที่ปรับแล้ว, gpm
Qlow	=	อัตราการไหลผ่านท่อค่าที่ต่ำกว่า, gpm
Q nozzle	=	อัตราการไหลผ่านที่หัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง
T	=	TEE Elbow

ผลกระทบจากความขรุขระของผิวท่อต่อประสิทธิภาพในการควบคุม อัคคีภัยของหม้อแปลงไฟฟ้า

The Influence of Pipe Roughness to the Performance of Water Spray Fire Control in Electrical Transformer

คำนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าถือเป็นอุปกรณ์หลักในการส่งกำลังไฟฟ้าให้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในโรงงาน แม้ว่ากฎหมายในประเทศไทยจะไม่ได้บังคับให้มีการติดตั้งระบบดับเพลิงกับหม้อแปลงไฟฟ้าทุกตัว แต่ผู้ประกอบการอาจต้องพิจารณาความจำเป็นในการติดตั้งตามความเสี่ยงและความสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น ๆ เพราะหากเกิดเพลิงไหม้ขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักได้ทันที อุบัติเหตุไฟไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าอาจมีไม่บ่อยครั้งนัก แต่ผลกระทบที่ตามมากรุนแรง อุบัติภัยที่เกิดขึ้นจะทำลายทุกอย่างอย่างรวดเร็ว เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นจะทำให้อุปกรณ์และโครงสร้างอื่นๆ ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงได้รับความเสียหายและอาจทำให้ไม่สามารถใช้งานได้อีกในระยะยาว

หม้อแปลงไฟฟ้าต้องการระบบดับเพลิง เนื่องจากตัวหม้อแปลงเองมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำมันอยู่ภายใน เพื่อใช้ในการระบายความร้อนของขดลวดไฟฟ้า น้ำมันระบายความร้อนจะถูกดึงความร้อนออกจากระบบโดยใช้พัดลมดึงลมผ่านส่วนระบายความร้อนของหม้อแปลง (radiator) น้ำมันที่ใช้ในหม้อแปลงเป็น mineral oil ที่มีจุด flash point ประมาณ 150 deg C สถานะของการเกิดไฟฟ้าลัด การชำรุดสึกหรอของฉนวนหรือขดลวด สามารถทำให้เกิดการรั่วของน้ำมัน จากหม้อแปลงไปสู่บริเวณที่มีความร้อนสูง ส่งผลให้เกิดการลุกไหม้

ระบบดับเพลิงแบบ water spray เป็นระบบดับเพลิงที่ NFPA แนะนำว่าเหมาะสมที่จะสามารถลดความเสียหายที่เกิดจากเหตุเพลิงไหม้หม้อแปลงไฟฟ้าได้ แต่จะต้องมีการออกแบบการติดตั้ง ควบคุมการทำงาน บำรุงรักษา และทดสอบอย่างเหมาะสมเท่านั้น ระบบท่อดับเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อเริ่มแรกมีการติดตั้งระบบดับเพลิง ระบบอาจสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพที่มี แต่หากเมื่อระยะเวลาในการใช้งานของระบบผ่านไป

ระยะเวลาหนึ่ง ประสิทธิภาพการทำงานของระบบดับเพลิงอาจลดลงเนื่องจากการสะสมของสิ่งแปลกปลอมในหัวท่อ และท่อติดตั้งในลักษณะแบบปลายเปิด ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงเป็นที่มาในการศึกษาและวิจัยเชิงประยุกต์ เพื่อดำเนินการศึกษาลักษณะผลกระทบจากความขรุขระของหัวท่อต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอัคคีภัยของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อเสนอแนะ แนวทางในการแก้ไข และป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์และนำไปใช้งานได้จริงต่อไป

วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ศึกษาผลกระทบจากความขรุขระของผิวท่อต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอัตโนมัติของหม้อแปลงไฟฟ้า
3. ศึกษาหาแนวทางการแก้ไขผลกระทบจากขนาดของท่อดับเพลิงต่อประสิทธิภาพการควบคุมอัตโนมัติของหม้อแปลงไฟฟ้า

การตรวจเอกสาร

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน โดยจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงจึงนับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในบรรดาอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหลาย การขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายของหม้อแปลง มักมีผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้า หรือกระบวนการผลิตอย่างมากและเป็นเวลานาน ดังนั้นหม้อแปลงนอกจากจะต้องถูกออกแบบผลิต ติดตั้งอย่างถูกต้องและมีคุณภาพแล้ว การใช้งานและการดูแลรักษาก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะหลีกเลี่ยงการขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายดังกล่าวได้

หม้อแปลงมีสองแบบคือ แบบแห้ง (Dry Type Transformer) เป็นแบบที่ใช้เรซินเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่ง ถูกน้ำถูกฝนไม่ได้แต่เก็บไว้ในห้องในอาคารได้ ส่วนอีกแบบหนึ่งคือแบบน้ำมัน (Oil Type Transformer) คือแบบที่ถูกแดด ถูกฝนได้ มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบแทนเรซิน

ชนิดของหม้อแปลง

หม้อแปลงถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้หลายวิธี เช่น แบ่งตามโครงสร้าง ได้แก่ ชนิดแกน (Core Type) และชนิดเปลือกกรอบ (Shell Type) หรือแบ่งตามตัวกลางที่ใช้เป็นฉนวนและตัวระบายความร้อน ได้แก่ ก๊าซ SF₆ และน้ำมันหม้อแปลง สุดท้ายแบ่งตามกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกไป ได้แก่ หม้อแปลงที่มีขนาดมากกว่า 2,500 kVA ขึ้นไป เรียกว่า หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) ซึ่งจะอยู่ตามสถานีย่อยไฟฟ้า ส่วนหม้อแปลงที่มีขนาดตั้งแต่ 2,500 kVA ลงมา จะเรียกว่า หม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer)

ส่วนประกอบของหม้อแปลง

หม้อแปลงไม่ว่าจะมีขนาดเท่าไร จะมีส่วนประกอบหลักต่างๆ ที่เหมือนกัน ส่วนหม้อแปลงขนาดใหญ่จะมีอุปกรณ์ช่วย (Accessories) มากขึ้นกว่าหม้อแปลงขนาดเล็ก ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้

1. Conservator คือที่เก็บน้ำมันหม้อแปลงสำรองสำหรับการขยายตัวและหดตัวของน้ำมันหม้อแปลง และจ่ายน้ำมันชดเชยเมื่อหม้อแปลงเกิดรั่วซึม เพื่อให้ น้ำมันหม้อแปลงอยู่เต็มภายในหม้อแปลงตลอดเวลา โดยทั่วไปจะมีปริมาตร 10% ของน้ำมันในหม้อแปลง ลักษณะ Conservator จะมีเป็นถังติดตั้งอยู่สูงกว่าถังหม้อแปลง ภายในบรรจุน้ำมันหม้อแปลงไว้ มี Oil Live Gauge อยู่ภายนอกสำหรับบอกระดับของน้ำมันใน Conservator มีท่อใหญ่ต่อระหว่างน้ำมันใน Conservator ผ่านบุชโฮลรีเลย์ (Buchholz Relay) ลงสู่ส่วนบนของหม้อแปลง ด้านที่เป็นอากาศของ Conservator จะมีท่อเล็กๆ ต่อลงมาด้านล่างและต่อเข้ากับ Air Dryer สำหรับดักความชื้นของอากาศก่อนที่จะเข้าสู่ Conservator

2. Air Dryer ภายในบรรจุสารดูดความชื้นไว้ เพื่อดูดความชื้นในอากาศ ก่อนที่จะเข้าสู่ Conservator สารดูดความชื้นที่ใช้กันมากคือ Silica Gel ซึ่งทำมาจาก Silica Acid ผสมกับ Cobalt Salt มีลักษณะเป็นเม็ดสีน้ำเงิน สามารถดูดความชื้นได้ประมาณ 40% ของน้ำหนักตัวมันเอง จากนั้น Silica Gel จะเปลี่ยนเป็นสีแดง เราสามารถเอา Silica Gel ไปอบไล่ความชื้นได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกลายเป็นสีน้ำเงิน แล้วกลับนำมาใช้ใหม่ ส่วนล่างของ Air Dryer เป็นถ้วยสำหรับใส่น้ำมันหม้อแปลงซึ่งมีน้ำมันบรรจุอยู่เล็กน้อย มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ Silica Gel สัมผัสกับอากาศภายนอกตลอดเวลา และป้องกันฝุ่นเข้าไปในหม้อแปลงอีกด้วย

3. บุชโฮลรีเลย์ (Buchholz Relay) ต่ออยู่ระหว่างหม้อแปลงกับ Conservator ของหม้อแปลง มีหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง กล่าวคือ เมื่อมีความผิดปกติ ความร้อนจะทำให้เกิดก๊าซขึ้น กรณีที่ความผิดปกติไม่รุนแรงก๊าซจะเกิดขึ้นช้าๆ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะมาแทนที่น้ำมันที่ส่วนบนของบุชโฮลรีเลย์ ทำให้ลูกกลอยลูกบนลดระดับลงจนถึงระดับหนึ่ง สัญญาณ Alarm ก็จะดังขึ้นเตือนให้ทราบ

4. Pressure-Relief Vent เป็นเครื่องมือสำหรับลดความดันภายในหม้อแปลง ติดตั้งบริเวณข้างตัวถัง ภายในมีแผ่น Diaphragm ปิดอยู่ ซึ่งถูกกดด้วยแรงสปริง ประมาณ 0.7 Bar เมื่อความดันภายในหม้อแปลงเกินกำหนด ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากการเกิด Short Circuit ภายในหม้อแปลง ความดันที่เกิดขึ้นจะดันแผ่น Diaphragm ให้ชนะแรงสปริง ทำให้น้ำมันไหลออกมาสู่ภายนอกได้ เป็นการลดความดันภายในหม้อแปลง Contact ที่อยู่ข้าง Pressure-Relief Vent ก็จะทำงานตัดไฟเข้าออกหม้อแปลง เมื่อความดันลดลง สปริงจะกดแผ่น Diaphragm ให้กลับสู่สภาพเดิม

5. Tap Changer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนจำนวนรอบของขดลวดหม้อแปลง เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าทางด้านโหลดตามต้องการ โดยทั่วไป Tap Changer ของหม้อแปลงจะอยู่ทางด้านขดลวดแรงสูงเพราะมีจำนวนรอบมากและมีกระแสไหลน้อย Tap Changer ชนิด Off Load จะต้องดับไฟฟ้าก่อนที่จะเปลี่ยน Tap Changer ได้ ปกติ Tap Changer จะมี 5 Tap แต่ละ Tap จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไป ประมาณ 2.5 % โดยหมุนปรับตามเข็มนาฬิกา ซึ่งแต่ละตำแหน่งที่หมุนเพิ่มขึ้น จะเป็นการลดจำนวนรอบของขดลวด

6. Dual Voltage Switch เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เลือกรับแรงดันในระบบจำหน่ายว่าจะรับ 12 kV หรือ 24 kV (ระบบจำหน่าย กฟน.) ได้ เมื่อเราปรับสวิตช์ดังกล่าวไปที่ตำแหน่ง 12 kV ขดลวดแรงสูง 2 ชุด จะต่อขนานกัน เพื่อใช้กับระบบจำหน่าย 12 kV ในทำนองเดียวกัน ถ้าปรับไปที่ตำแหน่ง 24 kV 6 ขดลวดแรงสูง 2 ชุด จะต่ออนุกรมกัน เพื่อใช้กับระบบจำหน่าย 24 kV และการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง Dual Voltage Switch จะต้องทำในขณะหม้อแปลงไม่มีไฟฟ้าเท่านั้น

7. น้ำมันหม้อแปลง เนื่องจากการสูญเสียทางไฟฟ้าจะทำให้เกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูง ขึ้นจนถึงจุดที่อาจชำรุดได้ ถ้าไม่มีการระบายความร้อนนั้นออกจากวัตถุอย่างมีประสิทธิภาพ ในหม้อแปลงชนิดจำกัดของอุณหภูมิ ขึ้นอยู่กับกระดาดหรือฉนวนอื่นๆ ซึ่งอาจร้อนเกินไปจนชำรุดใช้งานไม่ได้เลย น้ำมันในหม้อแปลงเป็นตัวกลางที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน จากแกนเหล็ก และขดลวด สู่ภายนอก

8. ขดลวด (Coil or Winding) หม้อแปลงมีขดลวด 2 ชุด คือขดลวดแรงสูง (Primary Winding) และขดลวดแรงต่ำ (Secondary Winding) ขดลวดแรงสูงจะรับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงจากสายป้อนและเหนี่ยวนำกับขดลวดแรงต่ำเกิดแรงดันไฟฟ้าออกมาจากหม้อแปลง วัสดุที่ใช้เป็นทองแดงรีดอ่อนหุ้มฉนวนกระดาดหรือเคลือบสารฉนวน ลวดที่ใช้มีทั้งขนาดหน้าตัดกลมสี่เหลี่ยมผืนผ้า รวมทั้งเป็นแผ่นบาง ๆ (Foil)

9. แกนเหล็ก (Core) โดยทั่วไปหม้อแปลง 1 เฟส และ 3 เฟส จะมีลักษณะโครงสร้างแกนเป็น 2 และ 3 แกน ตามลำดับ และแกนเหล็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

9.1 Wound Core ใช้เหล็ก Grain-Oriented Silicon Steel ซึ่งเหมาะสมที่สุดในการมาทำ Wound Core เพราะหลังจากขึ้นรูปพิเศษแล้วจะทำให้ได้ค่าสูญเสีย (Loss) และค่ากระแสขณะไม่มี

โหลคมีค่าน้อย เนื่องจากโครงสร้างของ Wound Core มีจุดต่อเพียงจุดเดียว โดยแผ่นเหล็กแต่ละแผ่นจะวางเรียงกันในลักษณะ Step-Lap (คือการวางตำแหน่งต่อกันของแผ่นเหล็กแต่ละแผ่นวางเหลื่อมกัน)

9.2 Stacking Core แกนเหล็กชนิดนี้จะมีพื้นที่หน้าตัด (Core Section) เป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือจัตุรัส หรือแบบข่อมุม (Stepped Core) นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของ kVA ของหม้อแปลง โดยแกนเหล็กแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และจัตุรัส จะเปลืองลวดพันคอยล์และมีค่า Loss มากกว่าแบบข่อมุม

10. บุษชิง (Bushing) ทำมาจาก Porcelain หรือ China Stone ทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นระหว่างขั้วไฟฟ้าแรงสูง-แรงต่ำกับตัวถัง ในหม้อแปลงแต่ละลูกจะมีบุษชิงอยู่ 2 ชุด คือ บุษชิงแรงสูงและบุษชิงแรงต่ำ

11. ปะเก็น ทำหน้าที่ รองรับบุษชิงกับตัวถังหรือฝาถังกับตัวถัง จุดประสงค์เพื่อกันความชื้นเข้าภายในหม้อแปลงและกันน้ำมันที่บรรจุภายในตัวถังหม้อแปลง รั่วออกมาภายนอก ปะเก็นที่ใช้มี 2 แบบ คือ ไม้ Cork ผสมยาง หรือยาง Nitrile คุณสมบัติของปะเก็นคือ จะต้องทนน้ำมัน ไม่บวม ทนความร้อน ไม่แข็ง

12. Oil Temperature เป็นเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง โดยวัดจากส่วนบนของตัวถังหม้อแปลง ภายในจะมี Mercury Contact ซึ่งจะไปควบคุมการเปิดปิดพัดลม

13. ถังหม้อแปลงและฝาถัง (Transformer Tank and Cover) ถังหม้อแปลงเป็นส่วนที่อยู่ภายนอกสุด ใช้บรรจุชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ขดลวด แกนเหล็ก น้ำมันหม้อแปลง ตลอดจนใช้ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น บุษชิง ล้อฟ้า ฯลฯ

ลักษณะการชำรุดของหม้อแปลง

1. จากแรงภายนอก ได้แก่

- 1.1 บุชชิ่งบิน แตก หรือหัก อันเนื่องมาจากการชนส่งหรือรถชนเสา
- 1.2 ถังหม้อแปลงหรือถังน้ำมันรั่ว เนื่องมาจากแรงกระแทกหรือเป็นสนิม
- 1.3 ปะเก็นรั่ว น้ำมันซึม เนื่องจากน็อตหลวมหรือดูดยางเสื่อมคุณภาพ

2. จากการใช้งาน ได้แก่

2.1 น้ำมันเสื่อมคุณภาพ มีความชื้น ทดสอบได้จากการวัดค่าฉนวนของน้ำมันสามารถทำให้เกิดการลัดวงจรระหว่างขดลวดหรือการอาร์กขึ้นที่ Tap Changer ได้

2.2 ฉนวนชั้นรองขดลวดเสื่อมสภาพ หรือไม่ได้ค่าตามพิกัด ทำให้เกิดการลัดวงจรของขดลวด จะมีรอยไหม้ของขดลวดปรากฏให้เห็น ส่วนใหญ่น้ำมันจะเสื่อมคุณภาพตามไปด้วย

2.3 จ่ายโหลดเกินพิกัดเป็นเวลานาน ทำให้เกิดความร้อนสูงในขดลวด จนเป็นเหตุให้ฉนวนของขดลวดไหม้ได้และเกิดการลัดวงจรในขดลวดอย่างรุนแรง น้ำมันจะมีเขม่าดำและเสื่อมคุณภาพไปด้วย

2.4 แรงดันไฟฟ้าเกินพิกัดของหม้อแปลง เช่น ไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะมีรอยไหม้เป็นจุดระหว่างชั้นของขดลวดชั้นแรก ๆ ปรากฏให้เห็นส่วนใหญ่

2.5 เกิดการลัดวงจรภายนอกหม้อแปลง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดมากกว่าปกติ ทำให้เกิดแรงระเบิดเป็นผลให้ขดลวดทะลักออกอย่างรุนแรง

2.6 ชำรุดในวงจรแม่เหล็ก เนื่องมาจากแกนเหล็กเสื่อมคุณภาพ เช่น ใช้งานมานาน หรือถูกความชื้นมากจนฉนวนเคลือบแผ่นเหล็กหลุดหายไป ทำให้ผิวเหล็กสัมผัสกัน จะปรากฏมี สนิมเกาะตามแผ่นเหล็ก

ระบบการป้องกันแบบกระจายน้ำฝอย (Water Spray Protection)

การใช้งานระบบการป้องกันแบบกระจายน้ำฝอย

โดยทั่วไประบบกระจายน้ำฝอยสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับดับเพลิง ควบคุมเพลิง ป้องกันการระเบิด และ/หรือป้องกันเพลิงไหม้

การดับเพลิง

การกระจายน้ำฝอยดับเพลิงโดยการลดความร้อน ปิดคลุมด้วยการพ่นไอน้ำ ทำละลายหรือ เจือจางของเหลวไวไฟบางชนิด หรือใช้ทุกปัจจัยร่วมกัน

การควบคุมเพลิง

เพื่อให้เกิดผลในการจำกัดเปลวเพลิง การควบคุมเพลิงจะใช้ในกรณีที่เพลิงไหม้ไม่สามารถ ดับได้โดยการใช้การกระจายน้ำฝอย หรือการดับเพลิงไม่สำเร็จ

การป้องกันการระเบิด

การระเบิดจะถูกป้องกันโดยการใช้การกระจายน้ำฝอยฉีดตรงลงบนโครงสร้างหรืออุปกรณ์ ของสิ่งที่จะระเบิด เพื่อกำจัดหรือลดการถ่ายเทความร้อนจากไฟไปยังตัวโครงสร้างหรืออุปกรณ์นั้น ระบบกระจายน้ำฝอยจะฉีดน้ำปกคลุมพื้นผิวของสิ่งที่จะระเบิดหรือลดแรงระเบิดลง

การป้องกันเพลิงไหม้

ในบางครั้งอาจใช้การกระจายน้ำฝอยในการทำละลาย เชื้อจาก แยกหรือลดความร้อนของ วัตถุไวไฟหรือเชื้อเพลิง ก่อนที่จะเกิดการจุดติดไฟจากแหล่งกำเนิดไฟได้

ประโยชน์ของระบบกระจายน้ำฝอย

การกระจายน้ำฝอยสามารถใช้ในการป้องกันวัตถุหรืออุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังนี้

1. ใช้ในการดับเพลิงจากเชื้อเพลิงทั่วไป เช่น กระจก ไม้และผ้า มากกว่าการควบคุมเพลิง
2. ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า Oil Switches และเครื่องจักรที่ทำงานด้วย ระบบไฟฟ้า
3. ควบคุมเพลิงที่เกิดจากก๊าซและของเหลวไวไฟ และดับเพลิงที่เกิดจากเชื้อเพลิงพวก ของเหลวโดยเฉพาะ
4. ป้องกันการระเบิดของถังบรรจุของเหลวและก๊าซไวไฟ รวมถึงอุปกรณ์และโครงสร้าง
5. ป้องกันรางสายไฟแบบเปิด สายไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าหรือท่อสายไฟ

ระบบกระจายน้ำฝอยแบบยึดอยู่กับที่ (Fixed Water Spray System) ถูกออกแบบเป็นพิเศษ สำหรับการควบคุมเพลิง การดับเพลิงหรือเป็นระบบการป้องกันแบบเปิดสำหรับป้องกันอัคคีภัย แบบพิเศษ ขอบเขตการใช้งานของระบบการกระจายน้ำฝอยควรได้รับรองตามลักษณะของอุปกรณ์ ที่จะถูกป้องกันทั้งทางด้านกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุที่เกี่ยวข้องและอันตรายต่อ สิ่งแวดล้อม

ระบบกระจายน้ำฝอยแบบยึดอยู่กับที่ (Fixed Water Spray System)

ระบบกระจายน้ำฝอย เป็นระบบท่อที่ถูกยึดอยู่กับที่แบบพิเศษ ต่อกับระบบน้ำดับเพลิงและอุปกรณ์หัวกระจายน้ำดับเพลิงสำหรับฉีดน้ำและกระจายน้ำลงบนพื้นผิวหรือพื้นที่ป้องกัน ระบบท่อถูกต่อไปยังระบบส่งน้ำผ่านวาล์วควบคุมน้ำเข้า (Deluge Valve) ที่สามารถถูกสั่งการให้ทำงานได้ทั้งระบบอัตโนมัติและระบบทำงานด้วยมือ เพื่อที่จะทำให้เกิดการไหลของน้ำ

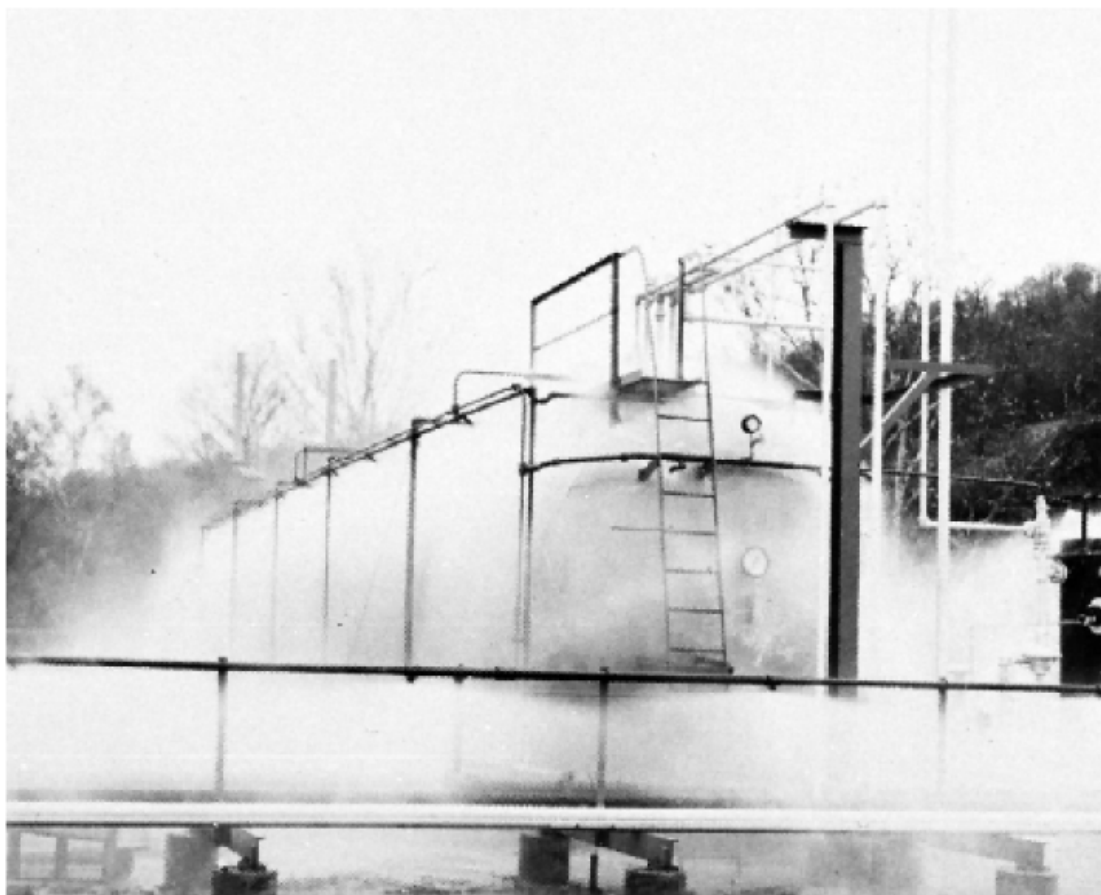
ระบบสั่งการวาล์วอัตโนมัติของระบบกระจายน้ำฝอยสามารถถูกสั่งการให้ทำงานได้ด้วยระบบไฟฟ้าโดยการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับอัตโนมัติ เช่น เครื่องตรวจจับความร้อน วงจรสัญญาณ และเครื่องตรวจจับก๊าซ หรือระบบกำลังเชิงกลโดยระบบไฮดรอลิก หรือระบบลม ขึ้นอยู่กับรูปแบบการทำงานของวาล์วแต่ละตัว โดยทั่วไปผู้ผลิตระบบสั่งการวาล์วอัตโนมัติมักผลิตแบบที่สามารถทำงานควบคู่กันได้ในระบบเปิด (Deluge System) โดยกำหนดให้มีการทำงานร่วมกันของระบบสั่งการวาล์วอัตโนมัติ ระบบปลดปล่อยแบบเชิงกล ระบบตรวจจับและระบบการตรวจสอบ

ประโยชน์ของระบบ

โดยปกติระบบกระจายน้ำฝอยแบบยึดอยู่กับที่ที่ใช้สำหรับป้องกันอุปกรณ์จากเพลิงไหม้ในพื้นที่เปิด ในของเหลวไวไฟและถังบรรจุก๊าซ ท่อและอุปกรณ์ ในอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า Oil Switches เครื่องจักรและรางสายไฟ โครงสร้าง และในระบบสายพานและพื้นที่เปิดในผนังทนไฟและพื้นที่ที่พวกมันพาดผ่าน ชนิดของระบบกำหนดขึ้นสำหรับอันตรายต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของอันตรายและวัตถุประสงค์การป้องกันที่ถูกจัดเตรียมไว้

การติดตั้งระบบกระจายน้ำฝอยได้ถูกทดสอบกับกลุ่มของถังก๊าซ LPG ซึ่งได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 ระบบกระจายน้ำฝอยแสดงการถูกออกแบบมาสำหรับทำให้พื้นผิวเปียกด้วยน้ำที่มีความหนาแน่นเป็นพิเศษ โดยมีการพิจารณาชนิดของหัวกระจายน้ำ ขนาดและพื้นที่ รวมถึงกระแสลมและสิ่งกระทบ โอกาสการตกกระทบของน้ำ การป้องกันการรวมตัวของตะกอนที่เปียกน้ำยากของเขม่าหรือคาร์บอนบนพื้นผิว การทับซ้อนกันของรูปแบบการกระจายน้ำลงบนพื้นผิว และความสามารถของระบบส่งน้ำด้วยแรงดันที่เหมาะสมไปยังหัวกระจายน้ำทุกหัว โดยทั่วไปการกระจายน้ำดับเพลิงไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อจะระงับ LPG ที่เล็ดลอดออกมา แต่อย่างไรก็ตาม

การใช้น้ำลดความเย็นของถังบรรจุอากาศและควบคุมอัตราการเผาไหม้และลดความรุนแรงของเพลิงไหม้จนกว่าระบบการส่งก๊าซจะถูกปิดลง

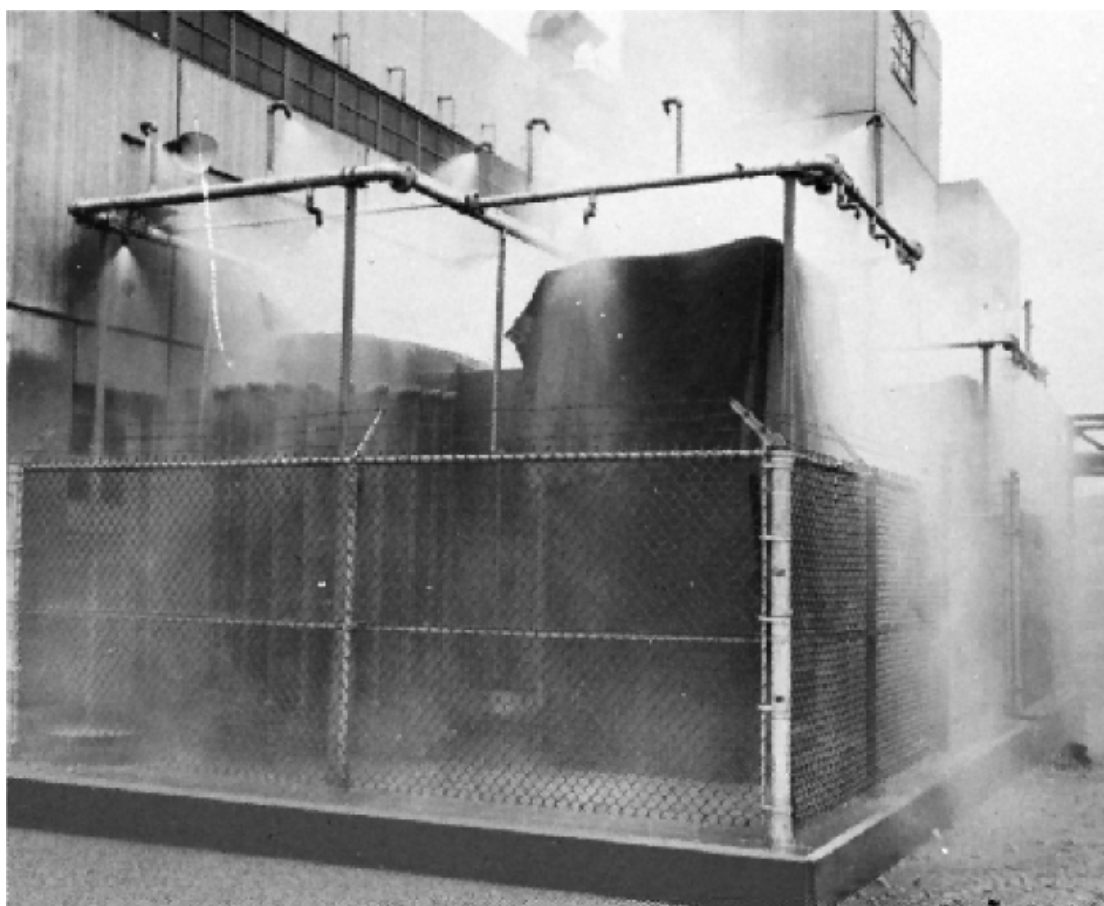


ภาพที่ 1 ระบบป้องกันด้วยการกระจายน้ำฝอยของถัง LP-GAS น้ำฝอยทำให้ถังที่เกิดเพลิงไหม้เย็นลง ป้องกันส่วนที่เป็นของเหลวเดือดและพุ่งออกมา, และป้องกันเปลือกของถังเกิดรอยแตกเนื่องจากสัมผัสความร้อนจากเปลวเพลิงที่มีอุณหภูมิสูง

ที่มา: Christopher (1997)

ระบบป้องกันอวกาศอีกแบบหนึ่งกระจายน้ำฝอยสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดบรรจุน้ำมันได้แสดงในภาพที่ 2 เนื่องจากอุณหภูมิจุดวาบไฟและจุดเดือดที่สูงของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าเพลิงไหม้จากหม้อแปลงไฟฟ้าจึงสามารถดับได้อย่างรวดเร็วโดยระบบดับเพลิงแบบกระจายน้ำฝอย อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวที่เป็นโลหะของเปลือกหม้อแปลงไฟฟ้าและโครงสร้างของมันจะต้องถูกป้องกันจากการแผ่รังสีความร้อนขณะที่เพลิงไหม้จากน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าถูกดับลง การติดตั้ง

หัวกระจายน้ำ ท่อกับระยะห่างของประจุไฟฟ้าของหม้อแปลงจะต้องได้รับการติดตั้งอย่างระมัดระวัง และควรหลีกเลี่ยงการฉีดกระจายน้ำฝอยลงไปที่ดินกำเนิดประจุไฟฟ้าหรือเปลือกฉนวนหุ้มโดยตรง กระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าควรถูกตัดโดยอัตโนมัติก่อนการฉีดกระจายน้ำฝอย



ภาพที่ 2 ระบบกระจายน้ำฝอยสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดบรรจุน้ำมัน ชั้นหนาของหินบดและพื้นผิวสำหรับการระบายน้ำได้มีการจัดเตรียมไว้โดยรอบหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อป้องกันน้ำมันที่เผาไหม้อาจไหลลงดินในพื้นที่กระจายน้ำ

ที่มา: Christopher (1997)

การออกแบบของระบบ

ตำแหน่งของการติดตั้งท่อและหัวกระจายน้ำฝอยที่เหมาะสมต้องมีการพิจารณาเกี่ยวกับพื้นที่ผิวของการกระจายน้ำและขอบเขตการกระจายน้ำเพื่อให้มีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหาขนาดได้จากข้อมูลด้านกายภาพและความต้องการของพื้นที่ป้องกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดหลักเกณฑ์ที่จะสามารถหาขนาดของหัวกระจายน้ำฝอยที่จะใช้ มุมของการกระจายน้ำรูปทรงกรวย และความดันของน้ำขึ้นมา

ปัจจัยแรกที่ต้องพิจารณาคือความหนาแน่นของน้ำ (Water Density) ที่ต้องการในการดับเพลิงหรือดูดซับความร้อนจากการลุกไหม้หรือการเผาไหม้ เมื่อมีการหาความหนาแน่นของน้ำแล้ว หัวกระจายน้ำดับเพลิงจะถูกเลือกจากความเร็วของน้ำที่เพียงพอที่จะทำให้ความหนาแน่นที่ฉีดออกไปเอาชนะกระแสลมและต้องกระจายน้ำไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันได้ หัวกระจายน้ำแต่ละหัวจะต้องมีมุมกระจายน้ำครอบคลุมพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำ

การหาความหนาแน่นของน้ำที่เหมาะสมที่ต้องการสำหรับการดับเพลิง ต้องได้รับการพิจารณาจากผู้พิจารณาด้านวิศวกรรม ในกรณีของของเหลวไวไฟหรือเชื้อเพลิงเหลวนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของความดันไอ จุดวาบไฟ ความหนืด ความสามารถในการละลายน้ำ และความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงนั้น ความหนาแน่นจะแปรผันอยู่ระหว่าง 0.2 gpm/sq.ft และ 0.5 gpm/sq.ft ของพื้นที่ป้องกัน

สำหรับการป้องกันในพื้นที่เปิดของถังบรรจุ ความหนาแน่นที่ 0.25 gpm/sq.ft จะเพียงพอสำหรับการลดความร้อนเพื่อจำกัดความร้อนของเพลิงไหม้ที่ผ่านไปยังผนังของถังบรรจุด้วยความร้อน 6,000 Btu/hr/sq.ft (18,930 watt/m²) ความหนาแน่นที่ต้องการของน้ำสำหรับการป้องกันเพลิงไหม้ในที่เปิดของโครงสร้างสนับสนุน และอุปกรณ์ต่างๆ เช่น รางสายไฟและล้อยางไฟ ท่อ หม้อแปลงไฟฟ้าและสายพานลำเลียง แปรผันอยู่ระหว่าง 0.10 gpm/sq.ft ถึง 0.3 gpm/sq.ft ของพื้นที่ป้องกัน NFPA 15 ต้องมีการพิจารณารายละเอียดเพิ่มเติมตามความหนาแน่นเฉลี่ยที่กำหนด

เมื่อมีการเลือกชนิดของหัวกระจายน้ำฝอย (Water Spray Nozzle) และกำหนดตำแหน่งติดตั้งและพื้นที่สำหรับการครอบครองแล้ว ต้องมีการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation) เพื่อการหาขนาดของท่อและปริมาณการส่งน้ำที่เหมาะสม

ต้องมีมาตรการด้านความปลอดภัยเกี่ยวกับไฟฟ้า เมื่อนำระบบการกระจายน้ำฝอยไปใช้ในการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการบรรจุน้ำมัน เช่น หม้อแปลงไฟฟ้าและ Switch Gear ขนาดใหญ่ ระบบหัวกระจายน้ำฝอยแบบยัดพิเศษอยู่กับที่ ได้มีการพัฒนาเพื่อให้มีการกระจายน้ำออกมาด้วยความหนาแน่นของน้ำที่เพียงพอและระยะห่างที่เหมาะสมตามแนวระยะท่อซึ่งเป็นพื้นที่ที่ปลอดภัยจากพลังงานไฟฟ้า

ขนาดของระบบหัวกระจายน้ำฝอย

มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของระบบหัวกระจายน้ำฝอย รวมถึงลักษณะของอันตรายและการเผาไหม้ จำนวนและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องป้องกัน ความเพียงพอของระบบป้องกันอื่นๆ และพื้นที่ที่อาจเกิดเพลิงไหม้แบบ Single Fire ขนาดของระบบที่ต้องการขนาดเล็กที่สุดอาจทำได้โดยใช้ประโยชน์จากผนังกันไฟ โดยการจำกัดการลามไฟของของเหลวไวไฟด้วยกำแพงกันน้ำขอบกัน หรือระบบระบายน้ำพิเศษ โดยการติดตั้งม่านน้ำหรือม่านความร้อนหรือโดยการใช้งานร่วมกันของระบบเหล่านี้

น้ำที่ต้องใช้ในระบบจะมีปริมาณมากเนื่องจากระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงนี้ ต้องทำเป็นแบบระบบเปิดกับหัวกระจายน้ำดับเพลิง และเนื่องจากต้องการความหนาแน่นของน้ำสูง อันตรายแต่ละอันตรายควรได้รับการป้องกันโดยระบบกระจายน้ำดับเพลิงของมันเองเพื่อจำกัดปริมาณการส่งน้ำที่เพิ่มขึ้น

NFPA 15 แนะนำว่า ขนาดของระบบกระจายน้ำดับเพลิงแบบเดี่ยว ถูกจำกัดด้วยปริมาณน้ำที่สามารถส่งให้ได้ ดังนั้นการออกแบบอัตราการกระจายน้ำจะถูกคำนวณที่ความดันต่ำที่สุดซึ่งทำให้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากประสบการณ์ได้แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งส่วนใหญ่ระบบดับเพลิงแบบเดี่ยวมักออกแบบอัตราการกระจายน้ำไม่เกิน 3,000 gpm/sq.ft (11,356 L/min) อันตรายที่แยกกันอยู่ควรจะมีระบบป้องกันที่แยกกัน

แหล่งจ่ายน้ำ

ระบบกระจายน้ำดับเพลิงมักมีแหล่งจ่ายน้ำ 1 แหล่งหรือมากกว่า ดังนี้

1. ต่อจากระบบน้ำประปาที่มีปริมาตรและความดันเพียงพอ
2. จากระบบปั้มน้ำดับเพลิงอัตโนมัติที่มีกำลังและปริมาณการส่งน้ำที่เพียงพอและเชื่อถือได้
3. จากถังยกสูงที่ใช้แรงโน้มถ่วงที่มีปริมาณและความสูงเพียงพอ

ปริมาตรของถังความดันโดยทั่วไปไม่เพียงพอที่จะส่งน้ำให้ระบบกระจายน้ำดับเพลิง อย่างไรก็ตาม อาจสามารถยอมรับได้หากเป็นการส่งน้ำให้กับระบบเล็กๆ ซึ่งต้องการน้ำและความดันไม่มากเกินไปกว่าความสามารถของถัง

อัตราความต้องการน้ำ

แหล่งจ่ายน้ำต้องเพียงพอที่จะจ่ายน้ำให้กับการทำงานของระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงตามปริมาณที่ต้องการเป็นเกลลอนต่อนาที (ลิตรต่อนาที) ที่ความดันที่มีประสิทธิภาพ ระบบกระจายน้ำดับเพลิงที่อยู่ระยะประชิดกับแหล่งกำเนิดอันตราย ต้องมีการเพิ่มปริมาณน้ำ แหล่งจ่ายน้ำควรจะสามารถจ่ายน้ำให้กับหัวกระจายน้ำฝอยทุกหัวได้ในเวลาเดียวกัน เมื่อมีการออกแบบระบบ ควรพิจารณาปริมาณความดันของน้ำและปริมาณการไหลของน้ำทั้งหมด ระยะเวลาในการกระจายน้ำที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอันตราย วัตถุประสงค์ของระบบที่ถูกออกแบบมา และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งสามารถประเมินได้จากการติดตั้งเท่านั้น

ปริมาณน้ำที่ต้องการถูกเจาะจงในรูปของความหนาแน่นของการกระจายผ่านน้ำวัดในหน่วยเกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต ((ลิตรต่อนาที) ต่อตารางเมตร) ของพื้นที่ป้องกัน อัตราการกระจายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ขึ้นกับระบบกระจายน้ำฝอยดับเพลิงที่ถูกติดตั้งเพื่อดับเพลิง ควบคุมเพลิง หรือเพื่อป้องกันลุกลามของเพลิง และขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

ขนาดท่อ

ระบบแต่ละระบบจะต้องมีการคำนวณขนาดของท่อของมัน ดังนั้นน้ำที่หัวกระจายน้ำฝอยจะมีความดันที่เหมาะสมเพื่อให้มีปริมาณน้ำและรูปแบบการกระจายน้ำที่ต้องการ

ขั้นตอนการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculations) สำหรับระบบกระจายน้ำดับเพลิงแบบท่อยึดอยู่กับที่ ได้ระบุไว้ในภาคผนวกของ NFPA 15

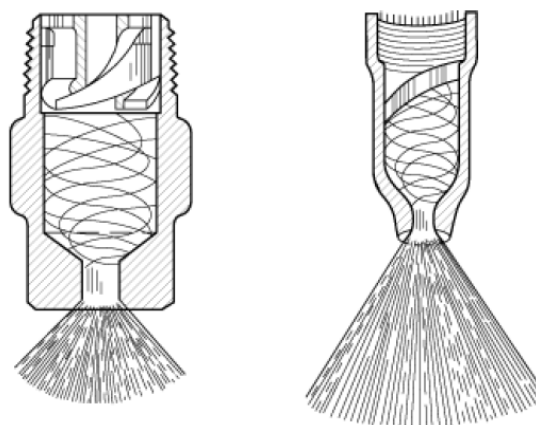
การเลือกและการใช้งานหัวกระจายน้ำดับเพลิง

การเลือกหัวกระจายน้ำดับเพลิงควรมีการพิจารณาปัจจัยดังนี้ คือ ลักษณะของอันตรายที่ต้องการป้องกัน วัตถุประสงค์ของระบบ และกระแสลม

โดยทั่วไปในการติดตั้งท่อจะเลือกใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบความเร็วสูง ซึ่งมีการกระจายน้ำออกมาเป็นรูปทรงกรวย ขณะที่หัวกระจายน้ำแบบความเร็วต่ำมักจะกระจายน้ำออกมาอย่างเบาบางในรูปทรงรีหรือกรวย

เมื่อมีการซ่อมหรือเปลี่ยนระบบของหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิง จะไม่สามารถนำหัวกระจายน้ำฝอยแบบหนึ่งมาแทนอีกแบบหนึ่งได้ โดยทั่วไปความเร็วและขนาดการกระจายของหยดน้ำมีผลต่อระยะฉีดหรือขอบเขตพื้นที่ครอบครองของรูปแบบการกระจายน้ำ

หัวกระจายน้ำบางชนิดทำให้เกิดละอองน้ำฝอยด้วยการให้กระแสน้ำเคลื่อนที่วนในเกลียวภายในหัวกระจายน้ำ กระแสน้ำที่หมุนวนอยู่นี้ได้รวมตัวกันอยู่ภายในจุดศูนย์กลางของกระแสน้ำ และสร้างเป็นละอองน้ำฝอยรูปทรงกรวยที่แข็งแรงออกจากหัวกระจายน้ำ หัวกระจายน้ำชนิดนี้รู้จักกันในชื่อว่า หัวกระจายน้ำชนิดอัดกระแทกภายใน (Internally Impinging Type) ภาพแสดงภาพตัดภายในของหัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอย ซึ่งมีการหมุนเป็นเกลียวอยู่ภายในของน้ำได้แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอยมีการหมุนเป็นเกลียวอยู่ภายในทางผ่านของน้ำ

ที่มา: Christopher (1997)

หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอยชนิดอื่น ใช้หลักการการหักเห่น้ำของหัวกระจายน้ำดับเพลิง น้ำที่ปล่อยออกมามีลักษณะเป็นละอองน้ำทรงกลมตกกระทบที่แผ่นกระจายน้ำซึ่งหักเหทิศทางของน้ำเป็นการกระจายน้ำรูปกรวย หัวกระจายน้ำชนิดดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอยใช้หลักการการกระจายน้ำของระบบกระจายน้ำดับเพลิง
มาตรฐาน

ที่มา: Christopher (1997)

หัวกระจายน้ำกระจายน้ำดับเพลิงซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างอีกชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นการปล่อยน้ำผ่านตามแกนเกลียวซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กเรียวลงตรงปลาย เกลียวนี้จะทำให้น้ำมีลักษณะเป็นชั้นบางลง และจะกระจายเป็นละอองน้ำฝอยเมื่อชั้นบางๆ ของน้ำนี้หลุดผ่านออกจากเกลียว (ดูในภาพที่ 5)

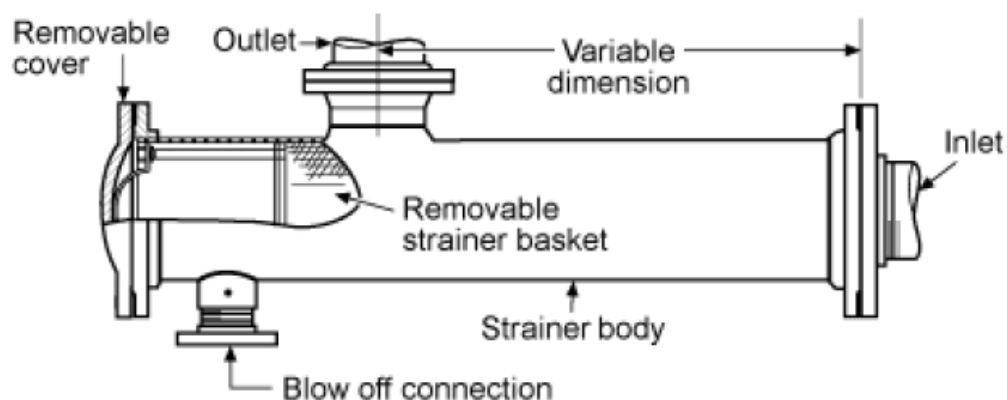


ภาพที่ 5 หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอยชนิดเกลียว

ที่มา: Christopher (1997)

เครื่องกรอง

เครื่องกรองเป็นข้อกำหนดพื้นฐานในท่อส่งของระบบกระจายละอองน้ำฝอยแบบท่อยัดอยู่ กับที่เพื่อป้องกันหัวกระจายน้ำจากสิ่งอุดตัน (ดูในภาพที่ 6) ถ้าเครื่องจะต้องเป็นตะแกรงที่มีขนาดเล็กเพียงพอที่ป้องกันน้ำขนาดเล็กที่สุดผ่านเข้าไปในหัวกระจายน้ำที่ถูกใช้งาน



ภาพที่ 6 Grinnell Model เครื่องกรองที่มีถาดกรองโลหะชนิดป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งอาจมีขนาด 3 นิ้ว 4 นิ้ว 6 นิ้ว 8 นิ้วและ 10 นิ้ว (หน่วย SI: 1 นิ้ว = 25.4 มม.)

ที่มา: Christopher (1997)

หัวกระจายน้ำละอองน้ำฝอย ที่มีทางผ่านขนาดเล็กควรมีตัวกรองภายในที่มีลักษณะ เหมือนกับแบบ Supply-line strainer เพื่อเป็นการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกไป

การระบายน้ำ

ระบบกระจายน้ำฝอยแบบยัดอยู่กับการปล่อยน้ำออกมาเป็นปริมาณมาก ระบบระบาย น้ำเฉพาะและระบบกำจัดของเสียมีความสำคัญในการควบคุมการกระจายตัวของสารไวไฟและ สารที่เป็นอันตรายออกไปสู่พื้นที่อื่นที่อยู่ใกล้เคียงกับเพลิงไหม้ พื้น ขอบกัน คู กำแพงกันน้ำ และ ป่อกักเก็บ ควรมีการจัดเตรียมไว้เพื่อปล่อยสารปนเปื้อนผสมของสารไวไฟหรือสารอันตรายและน้ำ ที่ไหลออกมา สิ่งเหล่านี้ควรต่อกับอุปกรณ์สำหรับแยกสารไวไฟหรือสารอันตรายออกจากน้ำ ของเหลวพวกนี้ควรมีการกักเก็บในพื้นที่ควบคุมจนกว่าจะมีการกำจัดอย่างปลอดภัย

การบำรุงรักษา

การตรวจสอบและการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับระบบกระจายน้ำฝอย บทที่ 7 ของ NFPA 25, Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems ได้ระบุข้อกำหนดให้มีการตรวจสอบ การทดสอบ และการบำรุงรักษาระบบกระจายน้ำฝอย เป็นระยะๆ รวมถึงแผนในการตรวจสอบ ตัวกรอง ท่อ วาล์ว ควบคุม ระบบวาล์วสั่งการ อุปกรณ์สั่งการด้วยความร้อน และหัวกระจายน้ำฝอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ในการกรอง การทดสอบการไหลมีการดำเนินการตามความถี่ที่กำหนดเพื่อรับรองว่าระบบการทำงานเป็นที่น่าพึงพอใจ หลังจากการทดสอบเสร็จสมบูรณ์ ต้องมีการทำความสะอาด ตัวกรองและตรวจสอบวาล์วทุกตัวเพื่อให้มั่นใจว่าระบบอยู่ในสภาพการทำงานปกติ

หัวกระจายน้ำที่มีปั๊มหรือปลั๊กสำหรับระบายก๊าซ มีไว้สำหรับการป้องกันท่อและหัวกระจายน้ำที่ติดตั้งภายในพื้นที่ที่มีไอระเหยของสารปนเปื้อนสี ไอระเหยของสารกัดกร่อน ฝุ่น หรือสิ่งแปลกปลอมอื่น นอกจากนี้ปั๊มหรือปลั๊กสำหรับระบายก๊าซ ยังช่วยในการระบายน้ำที่อยู่ในระบบท่อ และลดเวลาในการทำงานของระบบ Deluge valve และการฉีดน้ำฝอยจากหัวกระจายน้ำได้อีกด้วย (ดูภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 Grinnell Mulsifyre nozzle ที่มีปั๊มระบายก๊าซ

ที่มา: Christopher (1997)

การออกแบบระบบกระจายน้ำฝอย (Water Spray) สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

อันตรายที่เกิดกับหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าต้องการการป้องกันจาก Water Spray เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้านั้นประกอบด้วยน้ำมันที่อยู่ในตัวถังหม้อแปลง เพื่อใช้ในการระบายความร้อนของขดลวดไฟฟ้า (Electric Coils) ของหม้อแปลง น้ำมันจะถูกระบายความร้อนด้วยพัดลมเมื่อวิ่งผ่านชุดระบายความร้อน (Radiator) ของหม้อแปลง น้ำมันที่บรรจุในตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นชนิด Mineral Oil ซึ่งมีจุดวาบไฟที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ การเกิดฟ้าผ่า การแตกหักของวัสดุห่อหุ้มหรือการเกิดความร้อนสูงของแหล่งกำเนิดอื่นๆ อาจทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันจากหม้อแปลงไฟฟ้าออกไปสู่ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความร้อน เป็นผลให้เกิดการลุกติดไฟและลุกไหม้ ซึ่งสามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อหม้อแปลงไฟฟ้าและอาคารข้างเคียง ตลอดจนผู้คน เส้นทางสัญจรและอุปกรณ์อื่นๆ ได้



ภาพที่ 8 ตัวอย่างภาพเพลิงไหม้หม้อแปลงไฟฟ้า

ที่มา: Northern Technology and Testing (2008)



ภาพที่ 9 แสดงการทำงานของระบบ Water Spray

ที่มา: TAN LAP FIRE (2008)

แม้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีการปิดกั้นด้วยรั้วและผู้คนมักไม่ค่อยสัญจรผ่านไปในพื้นที่หม้อแปลงไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามเพลิงไหม้อาจเกิดขึ้นขณะที่มีผู้คนอยู่ในพื้นที่นั้น และความรุนแรงของเพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นอาจทำอันตรายต่อผู้คนหรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่ในรัศมีใกล้เคียงได้

การระงับและควบคุมอัคคีภัยสำหรับตัวหม้อแปลงไฟฟ้า

การระงับและควบคุมอัคคีภัยโดย Water Spray แสดงในภาพที่ 9 ซึ่งประกอบด้วย

1. การลดความร้อนของพื้นผิวสัมผัส (Surface Cooling) การลดความร้อนของของเหลวติดไฟสามารถทำได้โดยการใช้น้ำ ในกรณีที่ของเหลวติดไฟมีจุดวาบไฟน้อยกว่า 125 องศาฟาเรนไฮต์ การลดความร้อนที่ผิวสัมผัสเปรียบเสมือนการนำแหล่งกำเนิดความร้อนออกหรือลดอุณหภูมิลงจนทำให้ไม่สามารถติดไฟได้

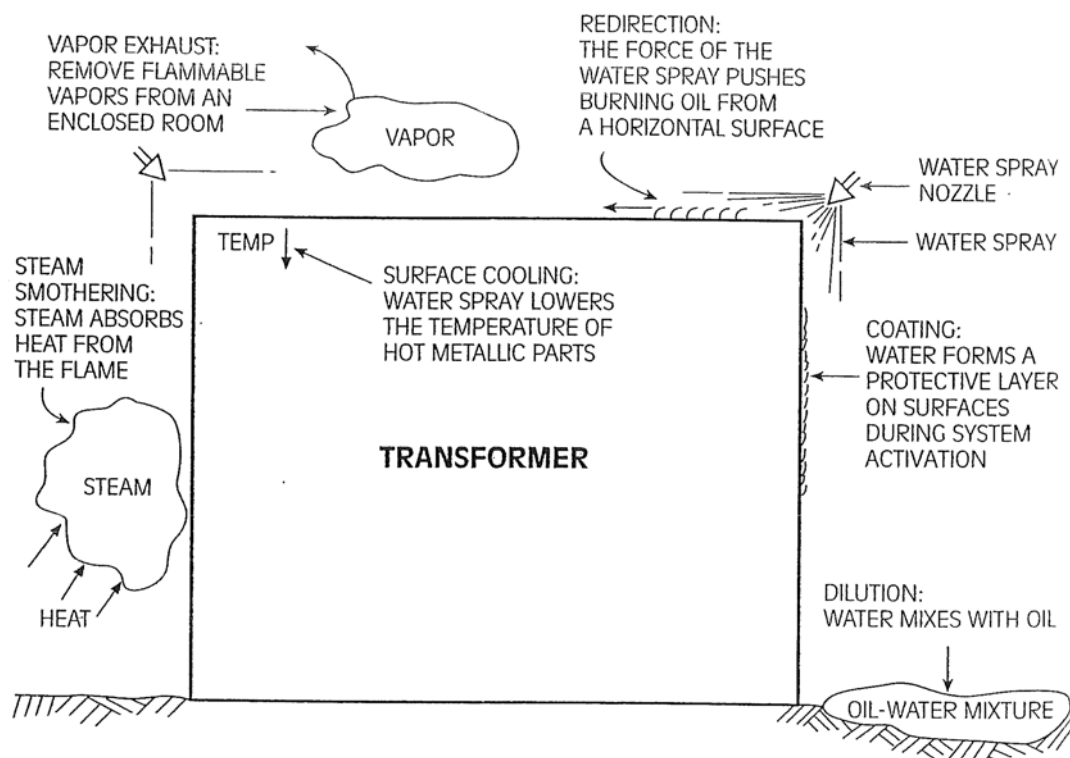
2. การกลายเป็นไอน้ำ (Steam Smothering) เป็นกระบวนการที่เปลวไฟและหยดน้ำสัมผัสกันจนถึงจุดที่น้ำกลายเป็นไอน้ำ ระหว่างที่มีการระเหยเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะสะสมความร้อนที่ 9.72 กิโลแคลอรีต่อโมล นั้นหมายความว่าของเหลวติดไฟจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 212 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งเป็นจุดเดือดของน้ำ

3. การเจือจาง (Dilution) กรณีที่ของเหลวติดไฟสามารถละลายน้ำได้ น้ำจะเข้าไปผสมและเจือจางของเหลวติดไฟ

4. การหันเหทิศทางของน้ำมันออกจากพื้นผิวสัมผัส (Redirection) น้ำที่มีความดันสามารถกำจัดการน้ำมันที่อยู่บนผิวสัมผัสของหม้อแปลงไฟฟ้าออกไปยังพื้นที่ที่อันตรายน้อยกว่าเช่น บ่อเก็บน้ำทิ้ง

5. การปกคลุมผิวสัมผัส (Coating) Water Spray จะสร้างชั้นปกคลุมบางๆ บนผิวสัมผัสทั้งแนวนอนและแนวดิ่งของหม้อแปลงไฟฟ้าระหว่างที่ระบบควบคุมอัตโนมัติทำงาน

6. การกำจัดไอระเหย (Vapor Exhaust) กรณีหม้อแปลงอยู่ภายในอาคารหรือมีสิ่งปิดกั้นจะต้องมีระบบระบายอากาศหรือลดความเข้มข้นของไอระเหยที่เกิดขึ้นให้อยู่ในระดับต่ำกว่า 25% ของขอบเขตล่างของการติดไฟของไอระเหยนั้น สำหรับกรณีหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่นอกอาคาร ไอระเหยจะถูกกำจัดออกไปโดยกระแสลม



ภาพที่ 10 แสดงกระบวนการระงับอัคคีภัยของหม้อแปลงไฟฟ้า

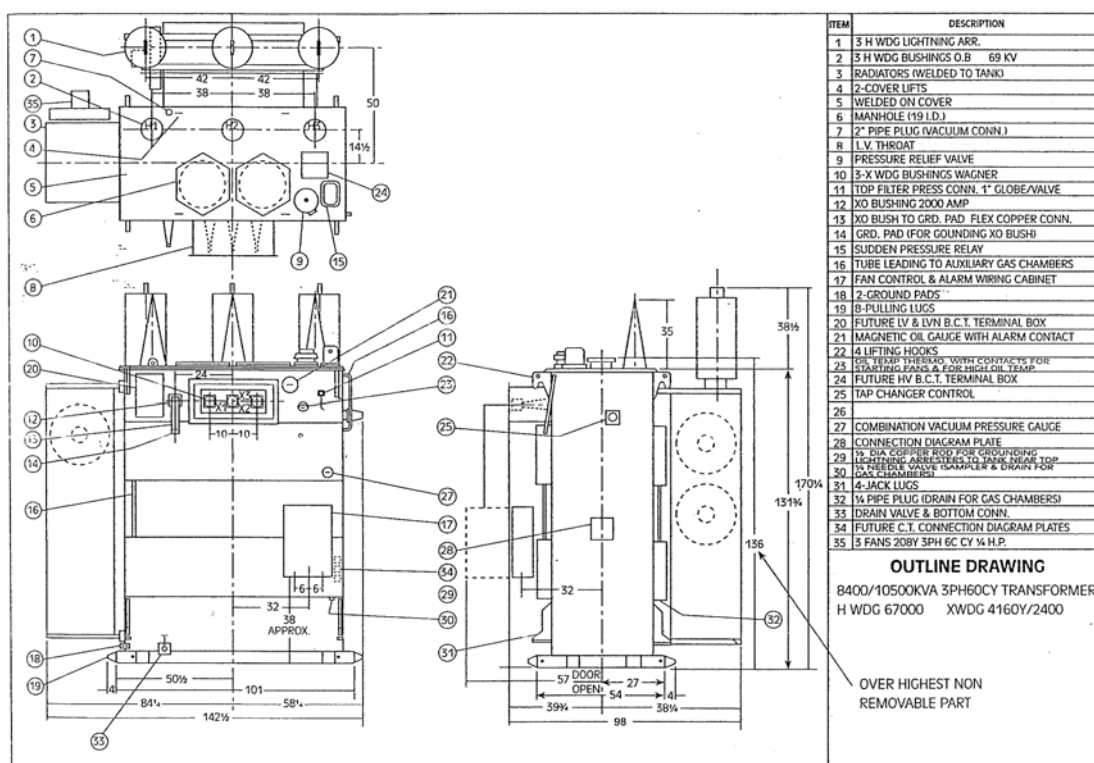
ที่มา: Robert (1997)

การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

การรวบรวมข้อมูลอ้างอิง

การทราบข้อมูลอ้างอิงของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้สามารถกำหนดแบบแปลนของระบบ Water Spray ซึ่งข้อมูลต่อไปนี้จะช่วยให้การออกแบบสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

1. แบบแปลนภายนอกของหม้อแปลงไฟฟ้าจากผู้ผลิต ตัวอย่างแบบแปลนของหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งแสดงให้เห็นแบบของหม้อแปลงไฟฟ้า และมีรายละเอียดของส่วนประกอบ ตลอดจนขนาดที่เป็นข้อมูลจากผู้ผลิต ซึ่งโดยทั่วไปแบบแปลนส่วนใหญ่ถูกปรับแต่งให้เป็นข้อมูลเกี่ยวกับระบบทางกำลังไฟฟ้า มักไม่มีแบบแปลนภายนอกของหม้อแปลงไฟฟ้า



ภาพที่ 11 ตัวอย่างแปลนภายนอกของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่มา: Robert (1997)

แบบแปลนภายนอกของหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงข้อมูลดังนี้

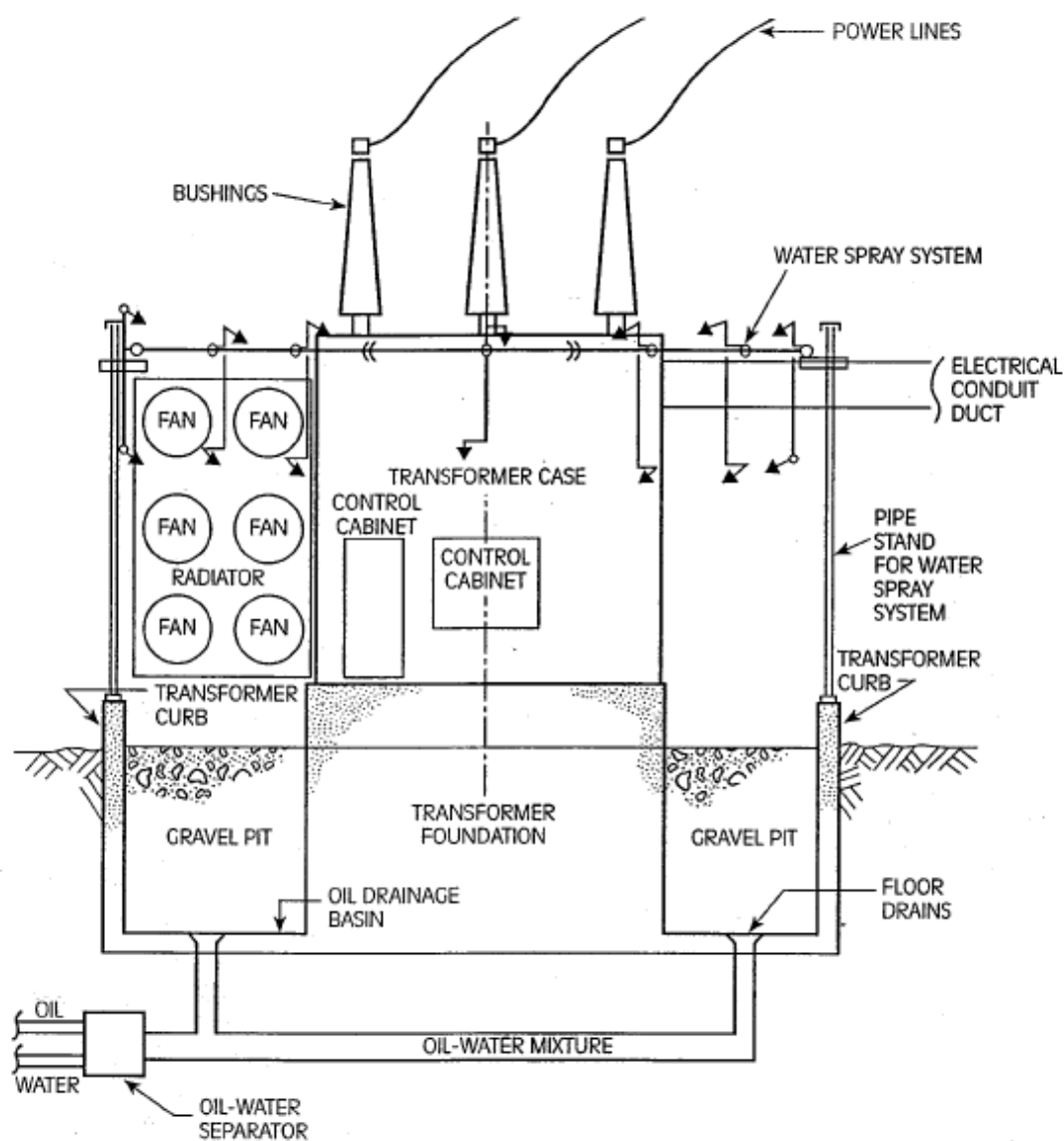
ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า ในหน่วยนี้ ตัวอย่าง ตัวอย่างเช่นหม้อแปลงไฟฟ้าในภาพที่ 11 มีฐานกว้าง 54 นิ้ว ยาว 101 นิ้ว สูง 131 ¾ นิ้ว

ตำแหน่งและขนาดของบุชชิ่ง ในหน่วย กิโลโวลต์ (Kv) สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า ในภาพที่ 11 ตำแหน่งของบุชชิ่งแสดงในหัวข้อที่ 2 ในรายละเอียดที่ตำแหน่งมุมบนขวาแสดงให้เห็นขนาดของบุชชิ่งคือ 69 กิโลโวลต์ (Kv)

ขนาดและตำแหน่งของชุดระบายความร้อน แสดงในหัวข้อที่ 3 ในภาพที่ 10 ชุดระบายความร้อนจะมีพัดลมซึ่งแสดงในหัวข้อที่ 35 ในภาพที่ 11 ซึ่งจะเป่าลมเย็นผ่านแผงระบายความร้อนในชุดระบายความร้อน และระบายความร้อนของน้ำมัน

ตำแหน่งของถังน้ำมัน (ถ้ามี)

2. แบบแปลนฐานรากของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นฐานที่หม้อแปลงไฟฟ้าตั้งอยู่ ป่อเก็บน้ำมันที่ระบายออกมา ตลอดจนขอบกั้นของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งแสดงในภาพที่ 12



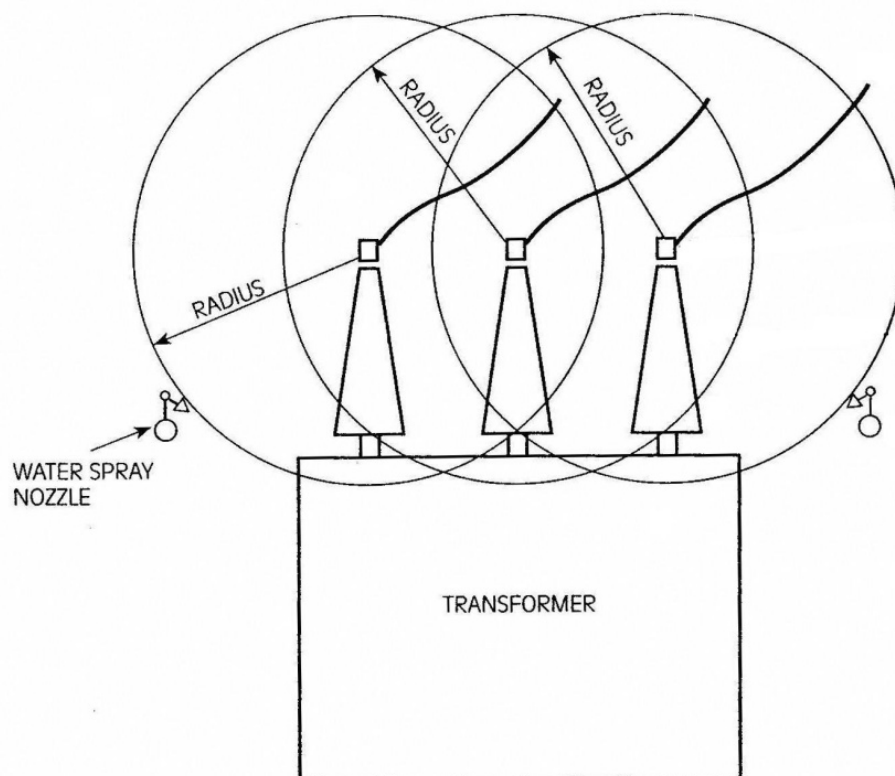
ภาพที่ 12 ภาพตัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่มา: Robert (1997)

3. แบบแปลนทางโยธา หรือแปลนที่แสดงให้เห็นถึงห้อง Deluge Valve ที่แยกห่างออกไป
แบบแปลนนี้จะเป็นประโยชน์มากในกรณีที่มีการเดินท่อน้ำใต้ดิน

4. แบบแปลนทางด้านสถาปัตยกรรม หรือแบบแปลนของระบบควบคุมอัคคีภัย
ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าหม้อแปลงไฟฟ้าตั้งอยู่ในตำแหน่งหรือทิศทางใดบนฐานหม้อแปลงไฟฟ้า

แบบแปลน ควรจะแสดง Electrical Clearance ตามตัวอย่างในภาพที่ 13 แสดงระยะห่าง clearance ทางไฟฟ้าขั้นต่ำระหว่างชิ้นส่วนที่ไม่มีการหุ้มฉนวนและ water spray nozzle ทั้งนี้การวาง water spray nozzle ต้องห่างจากชิ้นส่วนที่ไม่มีฉนวนหุ้มอย่างน้อยตามมาตรฐานที่กำหนดตามตารางที่ 1



ภาพที่ 13 แสดงระยะห่าง clearance ทางไฟฟ้าขั้นต่ำระหว่างชิ้นส่วนที่ไม่มีการหุ้มฉนวนและ water spray nozzle

ที่มา: Robert (1997)

ตารางที่ 1 แสดงระยะห่าง clearance ทางไฟฟ้าขั้นต่ำระหว่างชิ้นส่วนที่ไม่มีการหุ้มฉนวนและ water spray nozzle

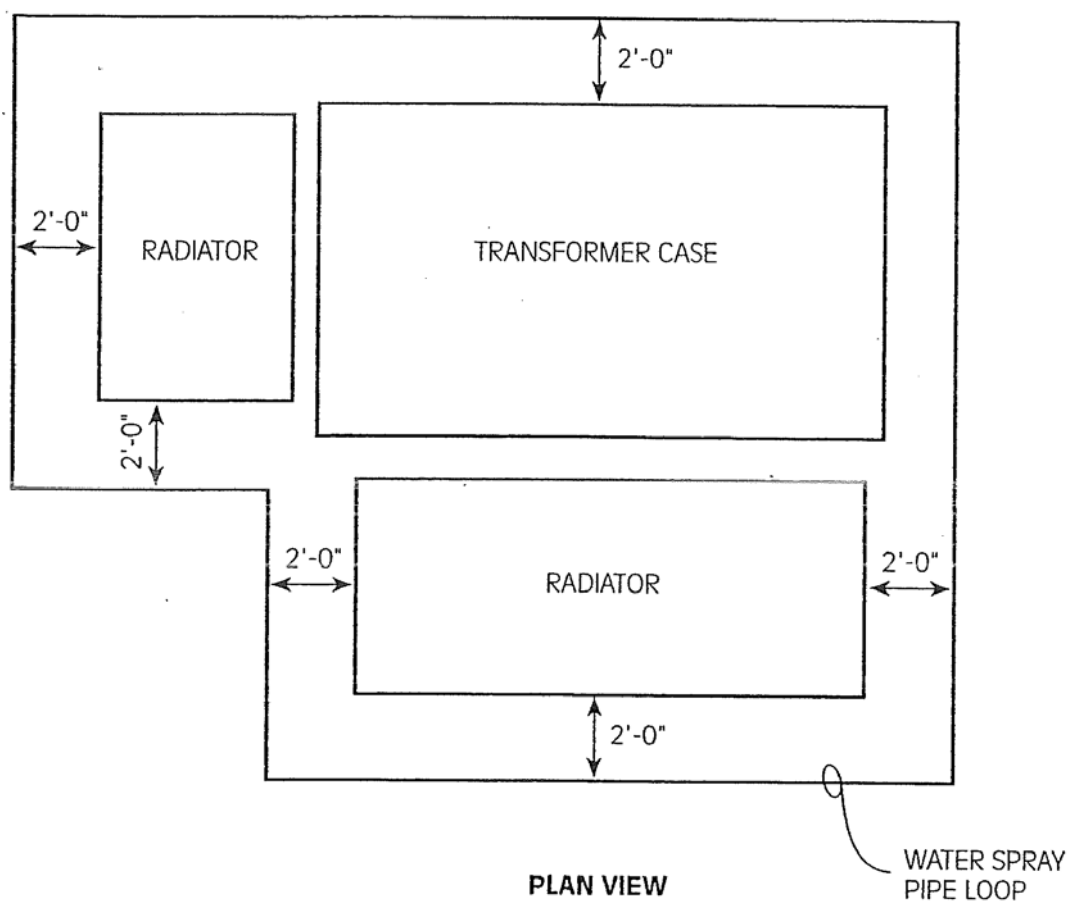
	Nominal System Voltage (kV)	Maximum System Voltage (kV)	Design BIL (kV)	Minimum Clearance (in.)	Minimum Clearance (mm)
To	13.8	14.5	110	7	178
	23	24.3	150	10	254
	34.5	36.5	200	13	330
	46	48.3	250	17	432
	69	72.5	350	25	635
	115	121	550	42	1067
	138	145	650	50	1270
	161	169	750	58	1473
	230	242	900	76	1930
			1050	84	2134
	345	362	1050	84	2134
			1300	104	2642
	500	550	1500	124	3150
			1800	144	3658
	765	800	2050	167	4242

ที่มา: NFPA15 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection (2007 Edition)

การวางท่อดับเพลิงรอบหม้อแปลงไฟฟ้า

1. หม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละชุดต้องมีท่อดับเพลิงอย่างน้อย 1 Loop รอบตัวหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทั่วไปท่อดับเพลิงของหม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงเมื่อต้องติดตั้งอยู่กับท่ออื่นและสามารถที่จะรองรับการทำงานของระบบควบคุมอัติโนมัติที่ออกแบบไว้ด้วย

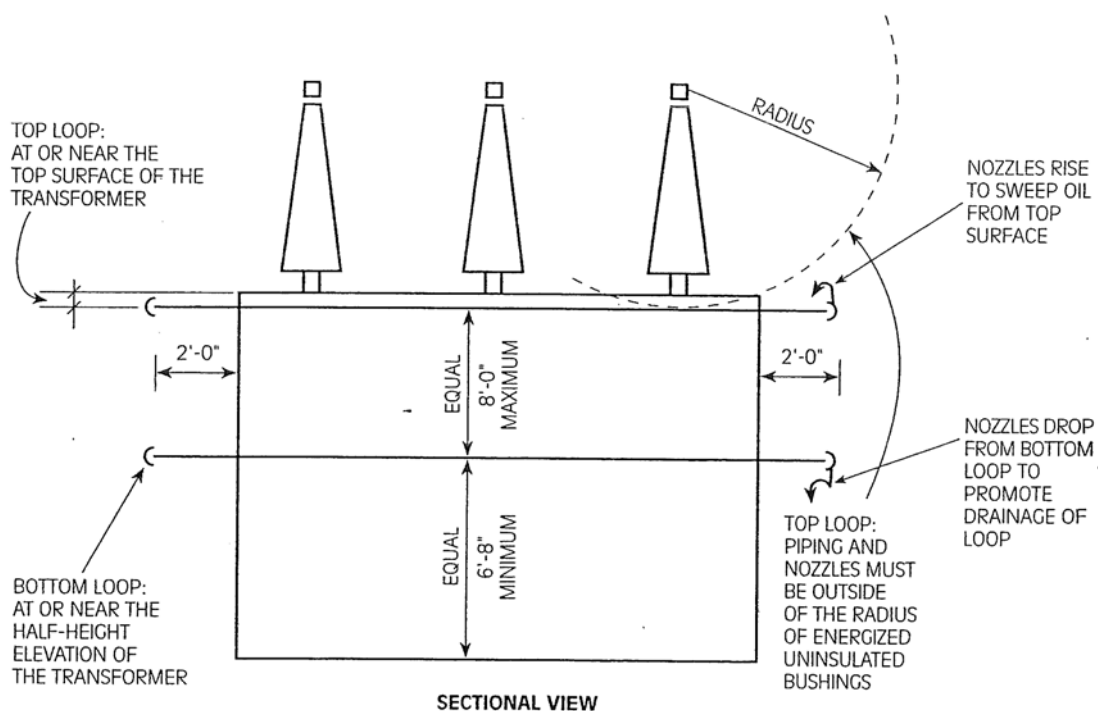
2. ตำแหน่งที่ดีสำหรับการวางแนวท่อดับเพลิงรอบหม้อแปลงอยู่ในระยะระหว่าง 2 ฟุต ถึง 2 ฟุต 6 นิ้ว จากผิวสัมผัสด้านข้างของหม้อแปลงไฟฟ้า ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 14 วิธีนี้จะทำให้มั่นใจได้ว่า Water Spray จะฉีดครอบคลุมพื้นที่ได้มากที่สุด ส่วนรูปแบบการวางตำแหน่งของหัวกระจายน้ำนั้น จำเป็นต้องเขียนแบบร่างลงในแบบแปลนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของพื้นที่ครอบครอง



ภาพที่ 14 ภาพการวางแนวท่อรอบแนวขอบหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่มา: Robert (1997)

3. หม้อแปลงไฟฟ้าที่สูงเกินกว่า 12 ฟุต สามารถวางแนวท่อรอบหม้อแปลงไฟฟ้าเพียง 1 Loop ก็ได้ (ดูในภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ภาพการวางแนวท่อดับเพลิงรอบหม้อแปลงไฟฟ้า

กรณีหม้อแปลงไฟฟ้าสูงไม่เกิน 16 ฟุต อาจวางแนวท่อดับเพลิงเพียง 1 Loop สำหรับกรณีหม้อแปลงไฟฟ้ามีความสูงมากกว่า 16 ฟุต แนะนำให้วางแนวท่อดับเพลิง 2 Loop (Robert, 1997)

4. สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความสูงระหว่าง 12 ถึง 16 ฟุต แนวท่อดับเพลิงเพียง 1 Loop สามารถป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าได้ หาก Water Spray ที่ออกแบบนั้นไม่ถูกกีดขวางด้วยตู้ควบคุมหรืออุปกรณ์อื่นๆ

5. หาก Water Spray ถูกกีดขวางไม่ให้มีการฉีดแบบ Direct Impingement (น้ำที่ฉีดออกไปสัมผัสกับพื้นผิวหม้อแปลงไฟฟ้าโดยตรง) จะต้องมีการติดตั้งแนวท่อน้ำดับเพลิงเพิ่มให้เป็น 2 Loop ตามข้อกำหนดของ NFPA 15 พื้นผิวสัมผัสทั้งหมดของหม้อแปลงต้องถูกฉีดด้วย Water Spray

6. โดยทั่วไปแนวท่อดับเพลิงของหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ด้านบนสุด ต้องไม่อยู่สูงเกินขอบแนวด้านบนของหม้อแปลงไฟฟ้า เพราะหากวางในตำแหน่งที่สูงกว่าแนวผิวด้านบนอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ Electric Clearance หัวกระจายน้ำที่อยู่ด้านบนสุดต้องสามารถที่จะชะล้างน้ำมันที่อยู่ด้านบนหม้อแปลงไฟฟ้าออกมานอกพื้นที่ Electric Clearance ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าอยู่

7. แนวท่อดับเพลิงที่ 2 ของหม้อแปลงไฟฟ้าต้องติดตั้งในตำแหน่งประมาณกึ่งกลางของความสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า

8. แนวท่อดับเพลิงที่ 1 ต้องติดตั้งในระดับที่ไม่ต่ำกว่า 6 ฟุต 8 นิ้ว เพื่อป้องกันบุคคลและหลีกเลี่ยงการเข้าไปควบคุมที่ตู้ควบคุม ประตูทางเข้า รวมถึงการควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้า

9. แนวท่อดับเพลิงรอบหม้อแปลงไฟฟ้าต้องอยู่ห่างไม่เกิน 10 ฟุต เพื่อไม่ให้มีจุดที่ไม่สัมผัสกับน้ำมันตัวหม้อแปลงไฟฟ้า

10. วิธีที่จะช่วยให้ น้ำฉีดลงบนหม้อแปลงไฟฟ้าโดยตรงคือการวางแนวท่อดับเพลิงรอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ความสูงทุก 8 ฟุต

11. หากตัวหม้อแปลงไฟฟ้าถูกยกขึ้นเหนือฐานติดตั้ง พื้นที่ด้านล่างหม้อแปลงจะต้องถูกฉีดให้เปียกด้วย Water Spray ด้วยเช่นกัน

การคำนวณพื้นที่ผิวของหม้อแปลงไฟฟ้า

NFPA 15 กำหนดอัตราความหนาแน่นของน้ำที่ 0.25 gpm/sq.ft. สำหรับแต่ละตารางฟุตของ Rectangular Prism ของหม้อแปลงไฟฟ้า บนพื้นผิวสัมผัสทั้งหมดของหม้อแปลงไฟฟ้า Rectangular Prism เป็นกล่องพื้นที่ในจินตนาการ ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยนักออกแบบระบบ Water Spray เพื่อไม่ต้องคำนวณพื้นที่ที่ไม่จำเป็นของพื้นที่เล็กๆที่ไม่มีความต่อเนื่องบนตัวหม้อแปลงไฟฟ้า และชุดระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กกว่า 12 นิ้ว นักออกแบบ ใช้ Prism ในการคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของแต่ละอุปกรณ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า และเพื่อตรวจสอบว่าพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดถูกฉีดปกคลุมด้วยน้ำที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่าที่ต้องการ

หากพิจารณาโดยหลัก Rectangular Prism แล้ว ตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วยด้านทั้ง 4 ด้านและด้านบน หากพื้นที่ด้านล่างของหม้อแปลงไฟฟ้าถูกยกให้สูงขึ้นเหนือฐานของหม้อแปลง พื้นที่ด้านล่างนี้ต้องถูกนำมาคิดคำนวณรวมกับพื้นที่ที่หม้อแปลงและ Water Spray ต้องฉีดปกคลุมพื้นที่นี้ด้วย

ชุดระบายความร้อนมักถูกนำมาคำนวณพื้นที่รวมกับพื้นที่ที่หม้อแปลงไฟฟ้าด้วย ซึ่งชุดระบายความร้อนประกอบด้วยพื้นที่ 4 ด้าน รวมถึงด้านบนและด้านล่างด้วย ซึ่งพื้นที่ทั้งหมดนี้ต้องนำมาคำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัส กรณีที่แผงระบายความร้อนแต่ละแผงอยู่ห่างกันมากกว่า 12 นิ้ว จะต้องมีหัวกระจายน้ำอยู่ระหว่างแผงระบายความร้อนด้วย

สำหรับพื้นที่ของอุปกรณ์อื่นๆก็ต้องนำมาคำนวณรวมด้วย ตลอดจนพื้นที่ตู้ควบคุมและพื้นที่ถังเก็บน้ำมัน

ข้อเสนอแนะสำหรับการวางระบบ Water Spray

1. สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ติดตั้งภายนอก NFPA 15 กำหนดให้หัวกระจายน้ำฝอยแต่ละหัวมีความดันน้อยที่สุดที่ 20 psi เพื่อสามารถด้านกระแสมที่มาสัมผัสได้ แต่ในกรณีที่หัวกระจายน้ำฝอยมี Orifice ขนาดน้อยกว่า 3/8 นิ้ว NFPA 15 กำหนดให้มีความดันน้อยที่สุดของแต่ละหัวที่ 30 psi มีจำนวนมากที่ระบบหัวกระจายน้ำฝอยดับเพลิงของหม้อแปลงไฟฟ้ามีการติดตั้งที่บริเวณใกล้กับแม่น้ำซึ่งทำให้ระบบหัวกระจายน้ำฝอยไม่สามารถฉีดกระจายน้ำไปยังเป้าหมายได้ หรือไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นอาจใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบความดันสูงเพื่อลดผลกระทบจากกระแสมลงได้

NFPA 15 เสนอแนะให้หัวกระจายน้ำฝอยที่อยู่ภายในอาคารมีแรงดันต่ำสุดที่ 20 psi และสำหรับหัวกระจายน้ำที่อยู่ภายนอกอาคารไม่ควรให้มีความดันเกิน 50 psi เนื่องจากความดันที่เกิน 50 psi จะทำให้ Water Spray กลายเป็นละอองน้ำที่เล็กลงและทำให้ถูกกระแสมพัดออกไปก่อนที่จะไปถึงเป้าหมายได้

2. ท่อทั้งหมดที่ติดตั้งภายนอกนั้น ผิวท่อภายในต้องเคลือบด้วย Galvanize และผิวท่อภายนอกต้องป้องกันการกัดกร่อนด้วย

3. ส่วนยึดโยงของท่อต้องเป็นแบบที่สามารถยึดหยุ่นได้ เพื่อป้องกันความเสียหายจากการอัดกระแทกของแรงดันน้ำและการเคลื่อนที่ขณะที่ระบบทำงาน

4. NFPA 13 เสนอแนะให้มีการลดการเคลื่อนไหวของท่อโดยการยึดเพื่อป้องกันการแกว่งหรือป้องกันผลกระทบจากแผ่นดินไหว เพื่อรักษาระหว่างการฉีดน้ำ

5. ขนาดของแนวท่อรอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่เล็กที่สุดที่เสนอแนะคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว แต่อาจมีการเพิ่มขนาดท่อเป็น 2 ½ นิ้ว หรือ 3 นิ้ว ตามผลของการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation)

6. หากหัวกระจายน้ำเป็นแบบเปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3/8 นิ้ว ต้องติดตั้งตัวกรองตามข้อกำหนดของ NFPA 15

7. ตามหลักการแล้ว หัวกระจายน้ำต้องไม่วางใกล้หม้อแปลงไฟฟ้าเกินกว่า 2 ฟุต เพื่อให้การกระจายน้ำแผ่กระจายปกคลุมทุกพื้นที่ผิวของหม้อแปลงไฟฟ้า และต้องไม่วางห่างเกิน 3 ฟุต เพื่อมั่นใจว่าความหนาแน่นของน้ำที่ฉีดออกไปยังคงรักษารูปทรงของน้ำที่ฉีดออกไปอยู่

8. หัวกระจายน้ำต้องไม่ยื่นออกไปเกินกว่า 2 ฟุต ในทุกทิศทางจากแนวท่อดับเพลิงรอบหม้อแปลงไฟฟ้า โดยไม่มีตัวยึด

9. หัวกระจายน้ำต้องมีเป้าหมายที่จะชะล้างน้ำจากผิวด้านบนของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยต้องฉีดโดนบุชชิ่งที่อยู่เหนือตัวถังหม้อแปลงขึ้นไปในกรณีที่บุชชิ่งไม่มีฉนวน การชะล้างมีเป้าหมายที่จะชะล้างเอาน้ำมันที่อยู่บนผิวด้านบนของหม้อแปลงไฟฟ้าออกไป

10. อุปกรณ์ค้ำยันท่อขึ้นต้องอยู่ห่างกันไม่เกิน 14 ฟุต

11. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับท่อขึ้นเท่ากับ 2 นิ้ว สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความสูงตั้งแต่ 8 ฟุต ท่อขึ้นขนาด 2 ½ นิ้ว สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่สูงตั้งแต่ 12 ฟุต ท่อขึ้นขนาด 3 นิ้ว สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่สูงตั้งแต่ 22 ฟุต และท่อขึ้นขนาด 4 นิ้วสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่สูงตั้งแต่ 30 ฟุตขึ้นไป

12. การเคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้า เจ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าควรกำหนดช่องและทิศทางสำหรับการเคลื่อนย้ายหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้า หน้าแปลนและรอยต่อต่างๆ ต้องติดตั้งในตำแหน่งหัวมุมของแนวท่อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายระบบ Water Spray

13. ข้อต่อเกลียวต่างๆ ต้องทนต่อการกัดกร่อน และไม่แนะนำให้ใช้กับระบบที่อยู่ภายนอกอาคาร

14. กรณีที่มีรอยต่อของปะเก็นยาง หัวกระจายน้ำต้องฉีคน้ำครอบคลุมถึงรอยต่อเหล่านี้ด้วย

15. ระยะห่างระหว่างหัวกระจายน้ำตลอดแนวท่อรอบหม้อแปลง ขึ้นอยู่กับ

15.1 มุมของหัวกระจายน้ำ

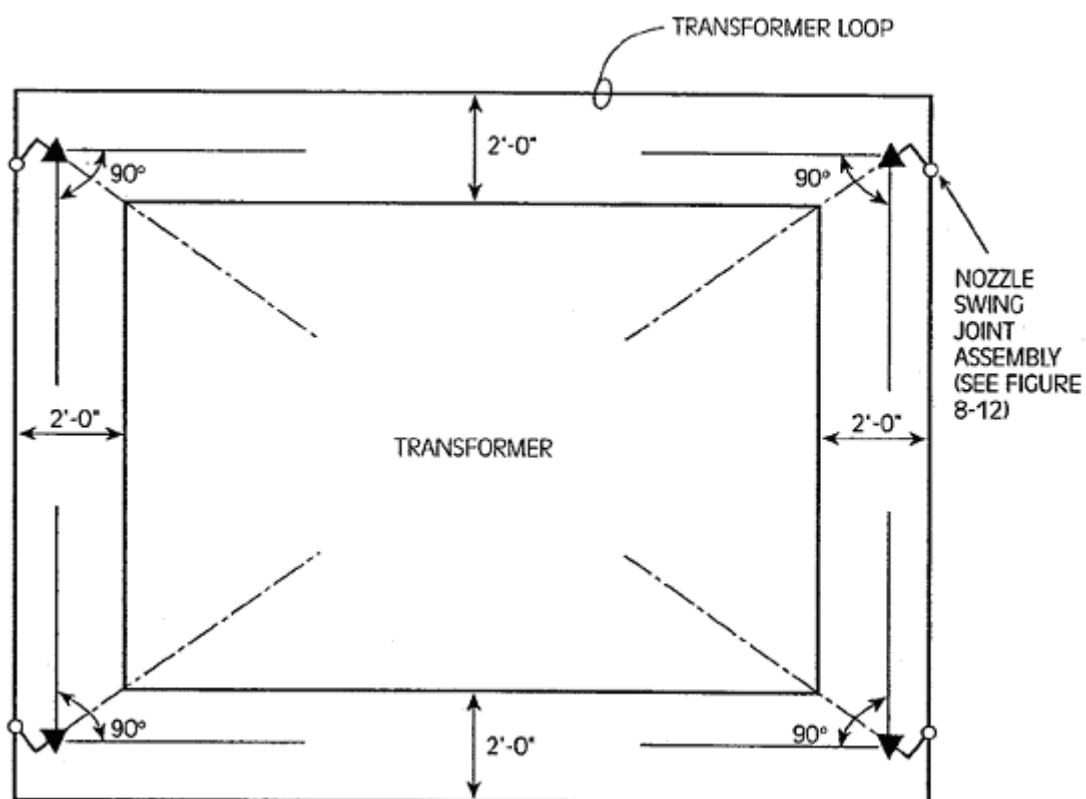
15.2 พื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำ

15.3 ความดันที่หัวกระจายน้ำแต่ละหัว

15.4 ระยะห่างของหัวกระจายน้ำจากพื้นผิวสัมผัสของหม้อแปลงไฟฟ้า

15.5 ปริมาณการไหลของน้ำจากหัวกระจายน้ำ

16. การออกแบบที่ดีคือการเริ่มวางหัวกระจายน้ำจากตรงหัวมุมของหม้อแปลงไฟฟ้าก่อน และวางมุมของหัวกระจายน้ำไปยังพื้นที่กึ่งกลางของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบหันหน้าชนกัน ดังแสดงในภาพที่ 16

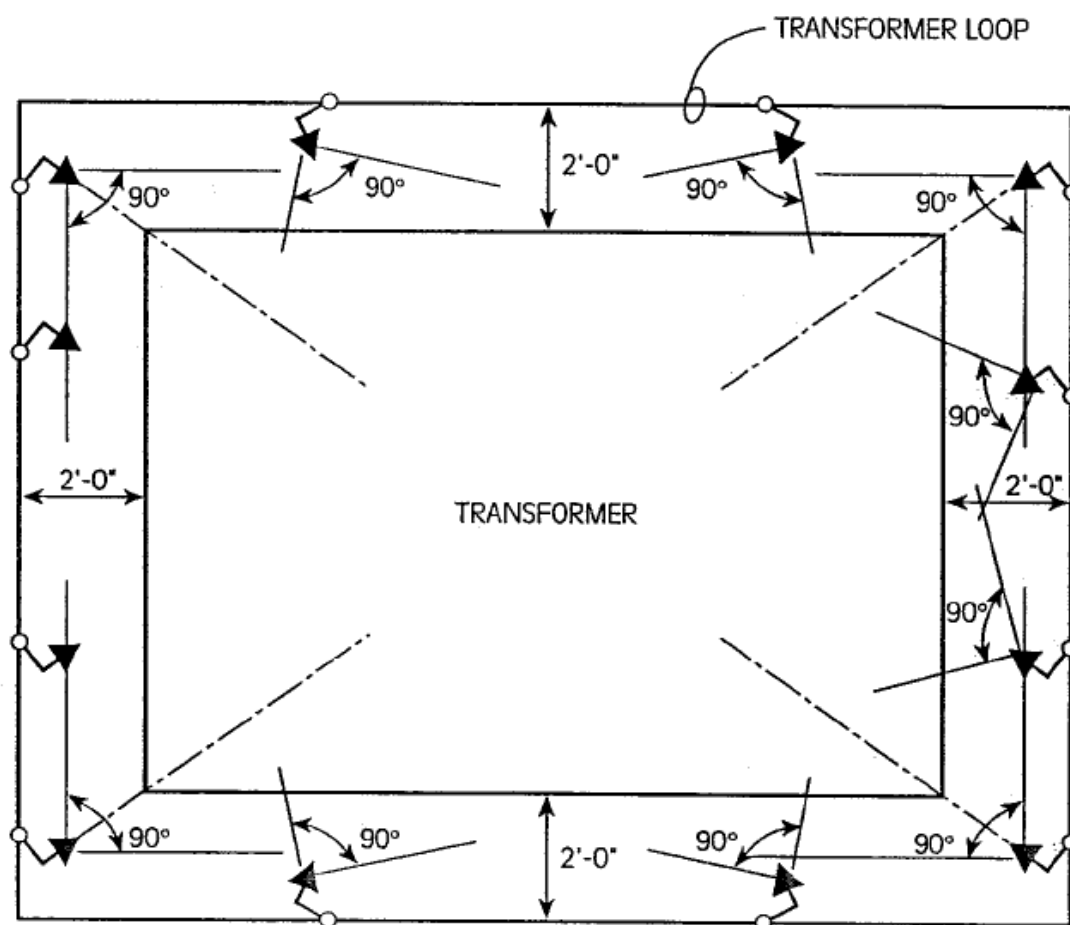


ภาพที่ 16 หลักการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง (ชั้นที่ 1)

ที่มา: Robert (1997)

ภาพจากด้านบนของหม้อแปลงไฟฟ้า แสดงให้เห็นตำแหน่งของหัวกระจายน้ำที่ดีต้องวางในตำแหน่งหัวมุมก่อน

17. การเพิ่มจำนวนหัวกระจายน้ำ ต้องเพิ่มโดยการให้แนวการกระจายน้ำซ้อนทับกัน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าพื้นที่ทั้งหมดได้รับการห่อหุ้มทั้งหมด และมีความหนาแน่นของน้ำที่เหมาะสมตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 หลักการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิง (ชั้นที่ 2)

ที่มา: Robert (1997)

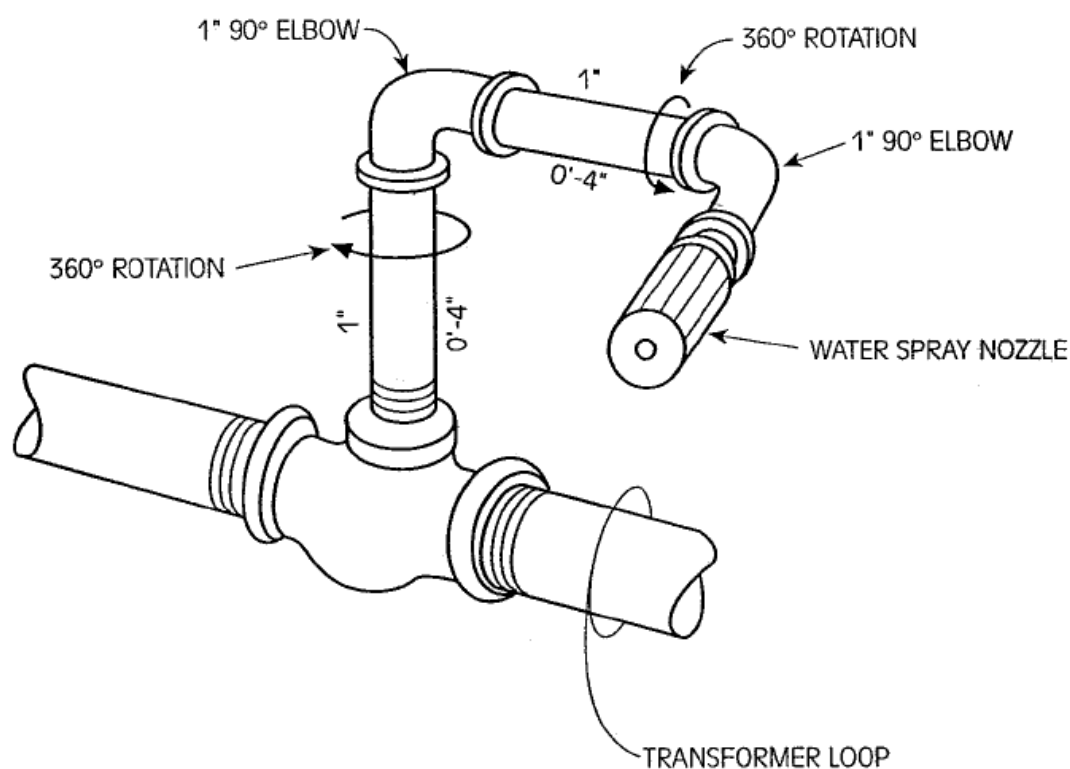
ภาพจากด้านบนของหม้อแปลงไฟฟ้า แสดงให้เห็นการเพิ่มหัวกระจายน้ำที่วางให้แนวการกระจายน้ำซ้อนทับกัน

18. ความหนาแน่นของน้ำต้องได้รับการตรวจสอบก่อนที่จะวางหัวกระจายน้ำ เนื่องจากการเลือกใช้หัวกระจายน้ำขนาดใหญ่ที่มีปริมาณการไหลของน้ำสูงเพื่อป้องกันพื้นที่ขนาดใหญ่อาจไม่เหมาะสม ถึงแม้ว่าหัวกระจายน้ำจะให้ความหนาแน่นของน้ำตามที่กำหนด แต่อาจไม่ฉีดน้ำแบบ Direct Injection บนพื้นที่ทั้งหมดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งหัวกระจายน้ำที่มี Orifice น้อยกว่า และวางใกล้กันมากกว่าอาจทำให้ฉีดแบบ Direct Injection ได้ดีกว่า

อุปกรณ์ต่างๆบนที่บดบังพื้นผิวหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งแนวตั้งและแนวราบอาจต้องการวางหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ขนาดเล็กกว่าและวางใกล้กันมากขึ้นเพื่อให้การกระจายน้ำซ้อนทับกันเพื่อให้มีการป้องกันอุปกรณ์หรือสิ่งบดบังพื้นที่ผิวหม้อแปลงไฟฟ้า

19. หัวกระจายน้ำดับเพลิง ต้องติดตั้งข้อต่อแบบปรับหมุนได้ (Swing Joints) ตามที่แสดงในภาพที่ 18

ข้อต่อแบบปรับหมุนได้ ประกอบด้วยท่อที่สามารถปรับได้ ซึ่งทำให้หัวกระจายน้ำฉีดน้ำไปได้ทุกทิศทาง และสามารถฉีดน้ำไปยังพื้นที่ที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ



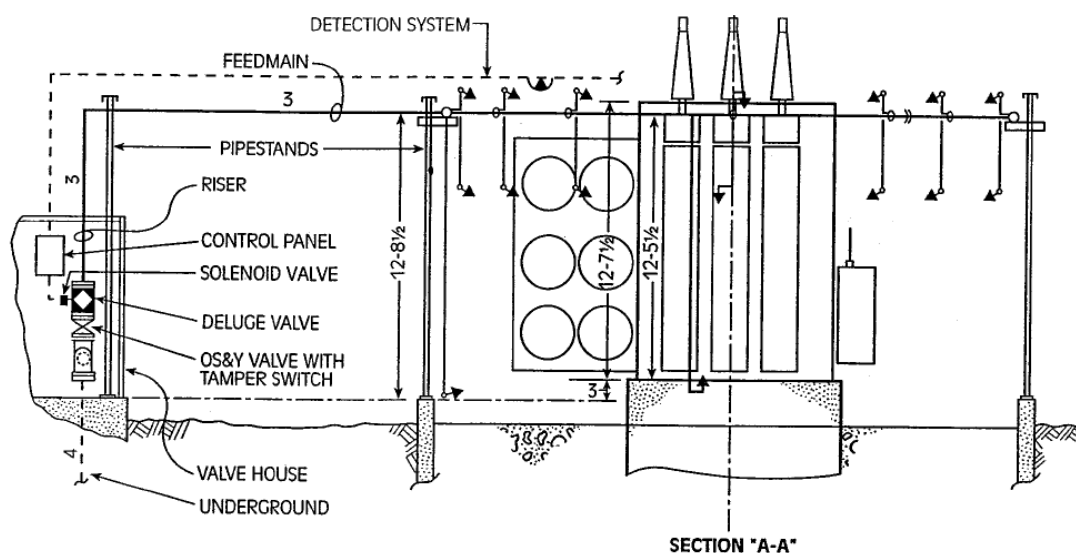
ภาพที่ 18 หัวกระจายน้ำข้อต่อแบบปรับหมุนได้

ที่มา: Robert (1997)

20. ท่อส่งน้ำหลัก แสดงในภาพที่ 18 แนวท่อดับเพลิงมากกว่า 1 Loop ถูกยกขึ้นสูง ซึ่งต้องยกสูงไม่ต่ำกว่า 8 ฟุตเหนือทางลาด

21. ชุดควบคุม แสดงในภาพที่ 19 ท่อแนวตั้งถูกยกขึ้นมาจากใต้ดินและประกอบกับ Deluge Valve แบบ Solenoid Valve และ Control Valve

ชุดควบคุมต้องอยู่ในพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากความเสียหาย เช่น Valve House ซึ่งจะป้องกันทั้งชุดวาล์วควบคุม



ภาพที่ 19 ภาพด้านข้างของระบบ Water Spray

ที่มา: Robert (1997)

22. Valve House แสดงในภาพที่ 19 ซึ่งต้องตั้งอยู่ในระยะที่ปลอดภัยจากหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อเกิดเพลิงไหม้

การคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation) สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

1. เริ่มจากการวางรูปแบบของหัวกระจายน้ำ โดยแสดงให้เห็นมุมการฉีดน้ำของหัวกระจายน้ำ

2. กำหนดหาอัตราปริมาณน้ำที่น้อยที่สุด (Minimum gpm) ของหัวกระจายน้ำแต่ละหัว ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำแต่ละหัว โดยใช้ค่าความหนาแน่น 0.25gpm/sq.ft. ต่อหัวกระจายน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ NFPA 15 ผู้ให้การรับรองบางคนอาจกำหนดค่าความหนาแน่นมากกว่านี้ ในพื้นที่ครอบครองของหัวกระจายน้ำที่มีรูปแบบเป็นแบบเดี่ยว อัตราปริมาณน้ำ (gpm) อาจหาได้จาก Total minimum gpm และหารด้วยจำนวนหัวกระจายน้ำในระบบ Water Spray System

$$Q_{\text{nozzle}} = \frac{(\text{Total transformer surface area}) \times (0.25 \text{ gpm/sq.ft})}{(\text{Number of nozzles})}$$

ในพื้นที่ครอบครองของหัวกระจายน้ำแต่ละหัวที่ไม่ได้เป็นรูปแบบเดี่ยว หัวกระจายน้ำแต่ละหัวต้องคำนวณจาก

$$Q_{\text{nozzle}} = (A_{\text{nozzle}}) \times (0.25 \text{ gpm/sq.ft.})$$

3. หาความดันเริ่มต้นที่น้อยที่สุด ที่หัวกระจายน้ำฝอย (Water Spray Nozzle) สำหรับหัวกระจายน้ำฝอยที่มี Orifice ขนาดเล็ก ติดตั้งในพื้นที่เปิดโล่ง แนะนำให้ใช้ความดันต่ำที่สุด 30 psi เพื่อลดผลกระทบจากแรงลมต่อ Water Spray และสำหรับหัวกระจายน้ำในพื้นที่ปิด แนะนำให้ใช้ความดันต่ำที่สุด 20 psi สำหรับความดันสูงสุดที่หัวกระจายน้ำฝอยแนะนำให้ใช้ความดันสูงสุด 50 psi เพื่อรักษาสภาพขนาดของหยดน้ำและรักษารูปทรงของ Water Spray เอาไว้

4. เมื่อได้ค่า Q_{nozzle} จากการคำนวณและเลือกค่าความเริ่มต้นที่ต่ำที่สุดที่หัวกระจายน้ำ (Minimum starting pressure) แล้ว ผู้ออกแบบระบบป้องกันเพลิงไหม้ต้องเลือกหัวกระจายน้ำที่ผลิตจากโรงงานและหาค่า K-factor ค่ามุมการฉีด (Spray Angle) และค่า Minimum flow ที่เท่ากับหรือมากกว่า Q_{nozzle}

5. ใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

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

เมื่อ

Q = gpm ที่ Nozzle

K = Nozzle K-factor

P = Minimum water pressure ที่หัว Nozzle

แทนค่า K-factor จากข้อ 4 และค่า Minimum pressure จากข้อ 3 แล้วจะสามารถหาค่า gpm ที่ Nozzle ส่วนใหญ่ในระบบได้ ซึ่งต้องเท่ากับหรือมากกว่า Q_{nozzle} ที่คำนวณได้จากด้านบน

6. ทำการตรวจสอบว่าหัว Spray Nozzle ทุกหัวมีความหนาแน่นของน้ำ 0.25 gpm/sq.ft เหนือพื้นที่ครอบคลุมของแต่ละหัวกระจายน้ำ

7. ค่า C-factor ของท่อ Galvanize ในระบบ Deluge system คือ C-120 ท่อ Stainless Steel หรือ ท่อ Aluminum มักใช้ในกรณีที่มีสภาวะบรรยากาศที่มีการกัดกร่อน เช่น ละอองเกลือ หรือ มีสารเคมีกัดกร่อน

8. ใช้สมการ Hazen-William เพื่อหาความดันสูญเสีย (Pressure loss) ในท่อ

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

เมื่อ

P = แรงดันสูญเสียในท่อ (psi)

Q = ปริมาณการไหลผ่านท่อ (gpm)

C = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Galvanize C=120)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (inches)

9. Orifice plates จะต้องไม่นำมาใช้ในการปรับความดันในระบบ Orifice plate คือแผ่นบางๆที่มีรูซึ่งติดตั้งอยู่ในระบบท่อ ออกแบบมาเพื่อจำกัดการไหลของน้ำในระบบ Water Spray เช่น จำกัดไม่ให้ความดันในหัวกระจายน้ำไม่เกิน 50 psi แต่ในคู่มือในการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหลในปัจจุบัน ในครั้งหนึ่ง Orifice plate ถูกนำมาใช้ในการปรับความดันน้ำในระบบ แต่เมื่อนำระบบ Program Computer มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำและปรับขนาดความดันในระบบเพื่อไม่ให้เกิน 50 psi ได้โดยไม่ต้องใช้ Orifice plate

10. Equivalent pressure loss ของข้อต่อต่างๆ หาได้โดยใช้ตาราง Equivalent loss

11. สูตรคำนวณหา Equivalent pressure loss:

$$P_e = (0.433) \times (h)$$

เมื่อ

P_e = ความดันที่สูญเสียเนื่องจากความสูง (psi)

h = ความสูง (Elevation) (ฟุต)

12. ร่างระบบที่คำนวณได้ โดยพิจารณา Water Supply Curve ด้วย

13. พิจารณาเพิ่ม Hose หรือ Hydrant ตามความจำเป็นของระบบ ข้อกำหนดนี้มาจากการประเมินโอกาสในการใช้งานของ Hydrant และ Hose ขณะที่ระบบถูกกระตุ้น ถ้าไม่มี Hydrant หรือ Hose ในพื้นที่ใกล้เคียงหม้อแปลงไฟฟ้า ก็ไม่จำเป็นที่ต้องมี Hose ก็ได้

ความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (Friction Loss)

นอกเหนือไปจากความดันสูญเสียที่เกิดจากน้ำหนักของน้ำแล้ว ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการสูญเสียความดันในการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล หรือ Hydraulic Calculation นั้น ก็คือความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานของผิวภายในท่อ ต่อการไหลของน้ำที่อยู่ภายในท่อ

สมการที่เป็นที่นิยมในการใช้หาค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน คือ สมการของ Hazen – Williams ซึ่งถูกแนะนำให้ใช้ในการคำนวณใน NFPA 13 และใช้เป็นสมการมาตรฐานในการหาค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน สมการ Hazen – Williams นี้ ได้มาจากการทดสอบการไหล ในปี ค.ศ. 1905 โดย Allen Hazen และ Gardner S. Williams โดยค่า C-factor (Hazen – Williams Roughness Coefficient) คือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวท่อ เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงความขรุขระสัมพัทธ์ของพื้นผิวด้านในของท่อน้ำ โดยที่ค่า C-factor ที่สูง จะเป็นตัวแทนของท่อที่มีความเรียบมาก และค่า C-factor ที่ต่ำ จะเป็นตัวแทนของท่อที่มีความขรุขระมาก

สมการ Hazen – Williams เป็นความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อกับคุณสมบัติทางกายภาพของท่อและความดันสูญเสียจากความเสียดทาน สมการนี้ใช้ในการออกแบบระบบ Water pipe system ไม่ว่าจะเป็น ระบบ Fire sprinkler system ระบบ Water supply network และระบบชลประทาน ค่า C-factor ในสมการ Hazen – Williams ไม่ใช่ Function ของ Reynolds number ข้อจำกัดของมันคือ ใช้ได้เฉพาะกับน้ำ ไม่อาจนำมาพิจารณากับอุณหภูมิหรือความหนืดของน้ำได้

ขอบเขตการวิจัย

1. หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดน้ำมัน ขนาด 35,000 kVA ติดตั้งภายนอกอาคาร พื้นที่ผิวหม้อแปลงโดยรวมเท่ากับ 1,103 ตารางฟุต
2. ระบบควบคุมอัคคีภัยเป็นแบบ Water Spray Fire Protection มาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการออกแบบ คือ National Fire Protection Association (NFPA 15)
3. Water Spray Nozzle ที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบ High Velocity กระจายน้ำออกมาเป็นรูปกรวยด้วยมุมการกระจายน้ำ 90 องศา และสามารถต้านทานแรงลมที่มีความเร็วสูงไม่เกิน 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. เครื่องพิมพ์
3. ตลับเมตร
4. เครื่องคิดเลข
5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Office Excel

วิธีการ

1. วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า
2. ศึกษาผลกระทบของสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (C-factor) ของท่อดับเพลิง ต่อระบบควบคุมอัตโนมัติ
3. ศึกษาผลกระทบของขนาดท่อดับเพลิงต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอัตโนมัติ
4. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทางในการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

ผลและวิจารณ์

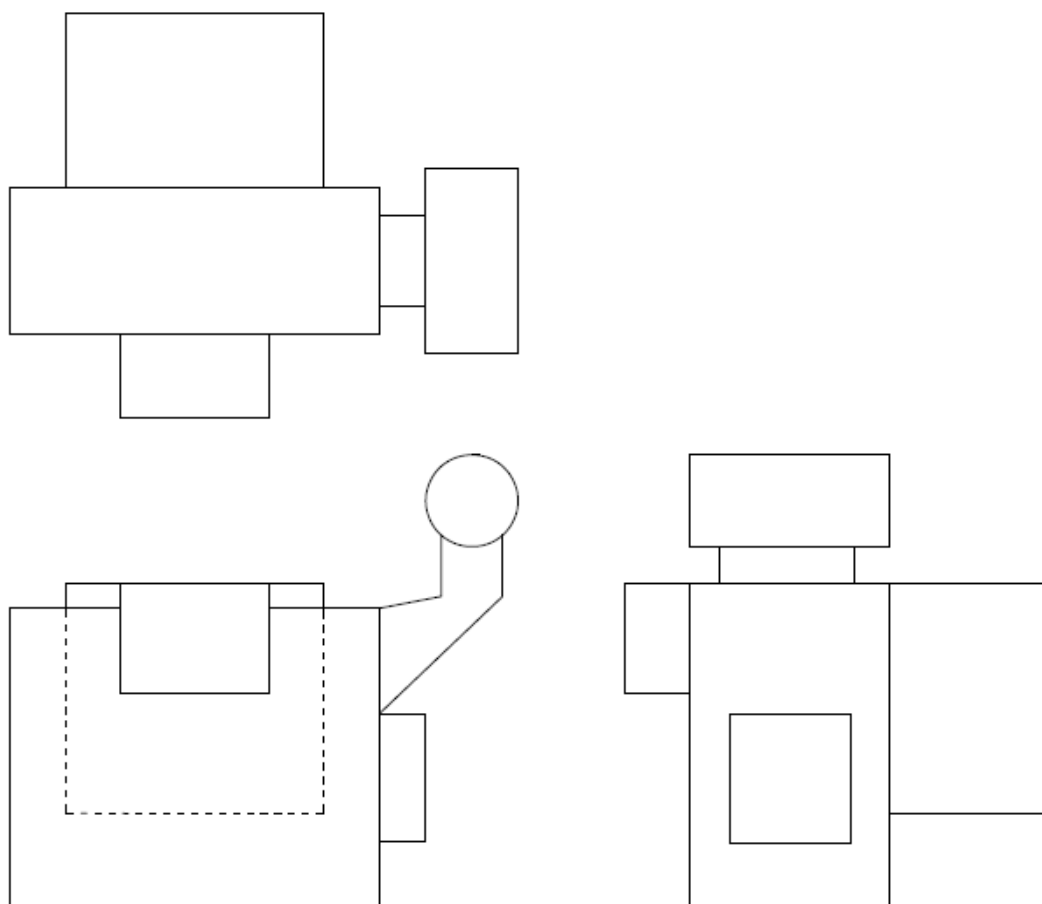
ผลการศึกษา

ข้อมูลทั่วไปของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา

หม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 35,000 kVA ประเภทบรรจุน้ำมัน ระบายความร้อนด้วยน้ำมันและ
พัดลมระบายความร้อน



ภาพที่ 20 ภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 21 แสดงแบบแปลนของหม้อแปลงขนาด 35000 kVA ชนิดน้ำมัน

คำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 2 พื้นที่ของหม้อแปลงไฟฟ้า

อุปกรณ์ของหม้อแปลง	กว้าง (m)	ยาว (m)	สูง (m)	พื้นที่รวม (m ²)
ตัวถังหม้อแปลง	1.6	4	3.23	48.94
ชุดระบายความร้อน	1.4	2.8	2.5	28.84
ตู้ควบคุมวงจร	1.4	1.4	1.4	10.64
กล่องครอบบูชชิงแรงต่ำ	0.5	1.28	1.4	6.26
ถังเก็บน้ำมัน $\phi = 1$ m	-	2	-	7.85
รวม				102.53

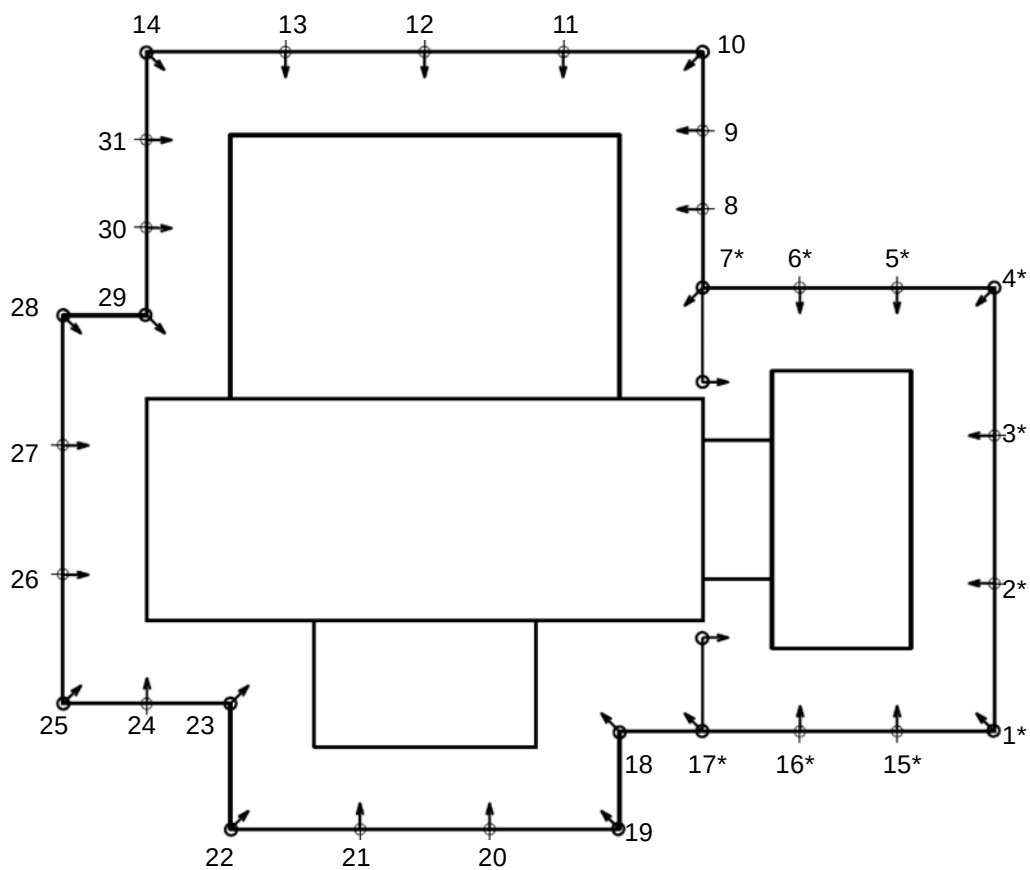
การคำนวณความหนาแน่นของน้ำ

ความหนาแน่นของน้ำที่ต้องการของหม้อแปลงและอุปกรณ์ทั้งหมด

$$102.53 \text{ m}^2 \times 10.76 = 1,103 \text{ ft}^2$$

$$1,103 \times 0.25 = 276 \text{ gpm}$$

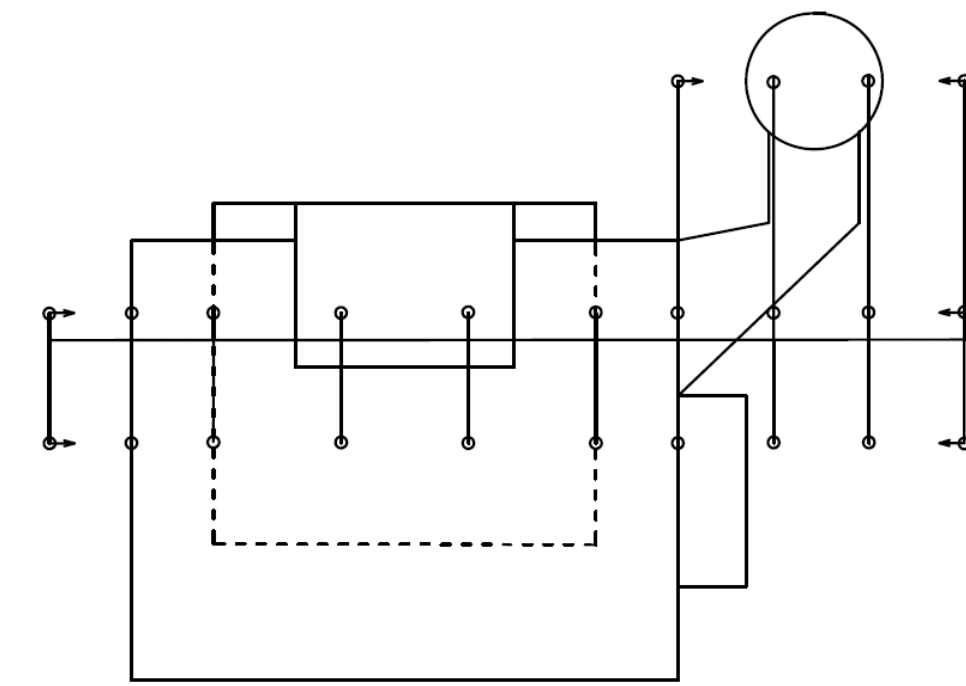
การวางระบบท่อและ Water Spray Nozzle ของหม้อแปลงไฟฟ้า



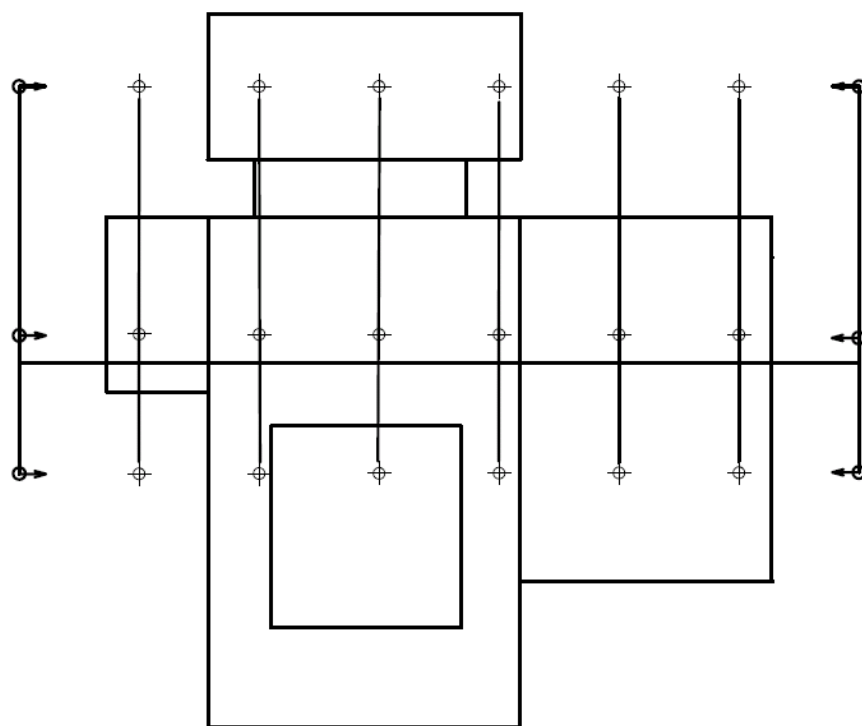
ภาพที่ 22 แสดงตำแหน่งการวาง Water Spray Nozzle

หมายเลข Water Spray Nozzle ที่มีเครื่องหมาย * คือ Water Spray แบบ 3 nozzle

หมายเลข Water Spray Nozzle ที่ไม่มีเครื่องหมาย * คือ Water Spray แบบ 2 nozzle



ภาพที่ 23 แสดงตำแหน่งการวาง Water Spray Nozzle (มุมมองด้านข้าง)



ภาพที่ 24 แสดงตำแหน่งการวาง Water Spray Nozzle (มุมมองด้านหน้า)

การคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล

1. กำหนด Water Spray Nozzle โดยการวางตำแหน่งที่บริเวณมุมก่อน จากนั้นจึงเพิ่มจำนวน Nozzle เพื่อให้มีพื้นที่ป้องกันครอบคลุมพื้นที่ผิวของหม้อแปลง จำนวน Water Spray Nozzle ที่กำหนดได้ คือ 72 Nozzle (ดูในภาพที่ 22)

2. คำนวณหาปริมาณการไหลน้อยที่สุด (Minimum gpm) ของหัวกระจายน้ำแต่ละหัว ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ป้องกันของหัวกระจายน้ำแต่ละหัว โดยใช้ค่าความหนาแน่น 0.25 gpm

ในพื้นที่ครอบครองของหัวกระจายน้ำที่มีรูปแบบเป็นแบบเดียว ปริมาณการไหลของน้ำ (gpm) อาจหาได้จาก Total minimum gpm และหารด้วยจำนวนหัวกระจายน้ำในระบบ Water Spray System

$$Q_{\text{nozzle}} = \frac{(1,103 \text{ sq.ft}) \times (0.25 \text{ gpm/sq.ft})}{(72 \text{ Nozzles})} = 3.8 \text{ gpm/nozzle}$$

3. เลือกความดันเริ่มต้นที่ 50 psi ซึ่งเป็นไปตามข้อเสนอแนะของ NFPA 15

4. เลือก Water Spray Nozzle จากผู้ผลิต ชนิด High Velocity สามารถทนแรงดันได้ตั้งแต่ 30 - 175 psi (ดูในภาคผนวก ก) กระจายน้ำด้วยปริมาณการไหลที่ 20 gpm (ดูภาพที่ 28, รุ่น HV-26) ออกมาเป็นรูปทรงกรวยด้วยมุมการกระจายน้ำ 90 องศา และสามารถต้านทานแรงลมที่มีความเร็วสูง 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และยังคงรักษารูปแบบการกระจายน้ำให้เป็นแบบทรงกรวยได้

หลักการเลือกหัวกระจายน้ำ โดยพิจารณาข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ชนิดของ Water Spray ซึ่งเลือก Water Spray ชนิดความเร็วสูง (High Velocity Spray Nozzle) (ดูในภาพที่ 27) โดยทั่วไปในการติดตั้งระบบดับเพลิงภายนอกอาคารมักจะเลือก Water Spray ชนิดความเร็วสูง (1997 National Fire Protection Association, 6-12 Water Spray Protection, Christopher L. Vollman) ซึ่งมีการกระจายน้ำออกมาเป็นรูปกรวย เนื่องจากรูปแบบ Water Spray ที่กระจายออกมาจะสามารถต้านแรงลมได้ ซึ่งมีผลต่อการควบคุมอัคคีภัย

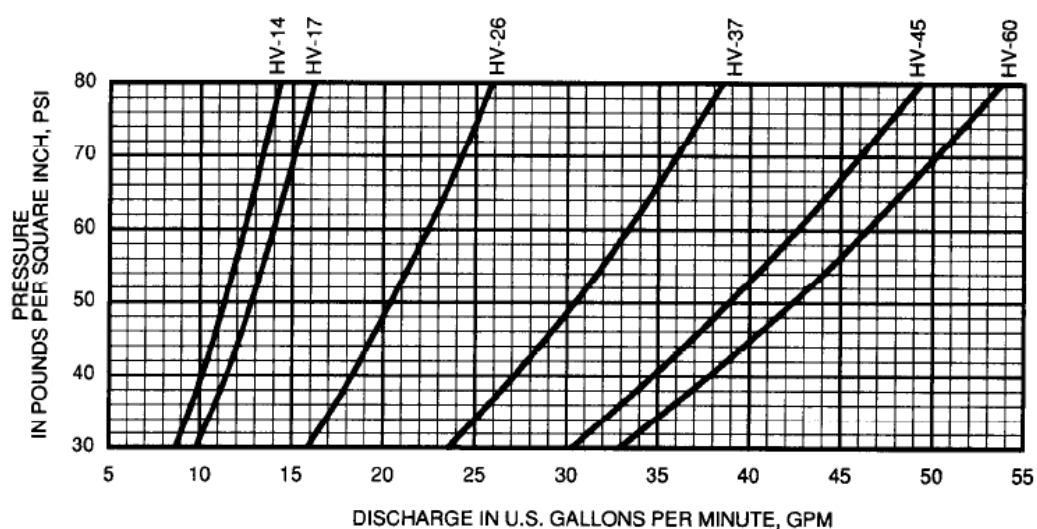


ภาพที่ 27 Water Spray Nozzle ชนิดความเร็วสูง

ที่มา: Tyco Fire and Building Products (2008)

2. อัตราแรงดันที่ Water Spray Nozzle รองรับได้ ซึ่งต้องเลือก Water Spray ที่รองรับแรงดันได้อย่างน้อย 50 psi ซึ่งเป็นความดันเริ่มต้น สำหรับระบบระบบอัติโนมัติที่ติดตั้งภายนอกอาคาร (NFPA 15) (ดูในภาพที่ 28)

3. ปริมาณการกระจายน้ำของ Water Spray Nozzle ต้องกระจายน้ำด้วยปริมาณการไหลไม่น้อยกว่า 3.5 gpm/nozzle ซึ่งเป็น Minimum Total gpm ที่ได้จากการคำนวณ

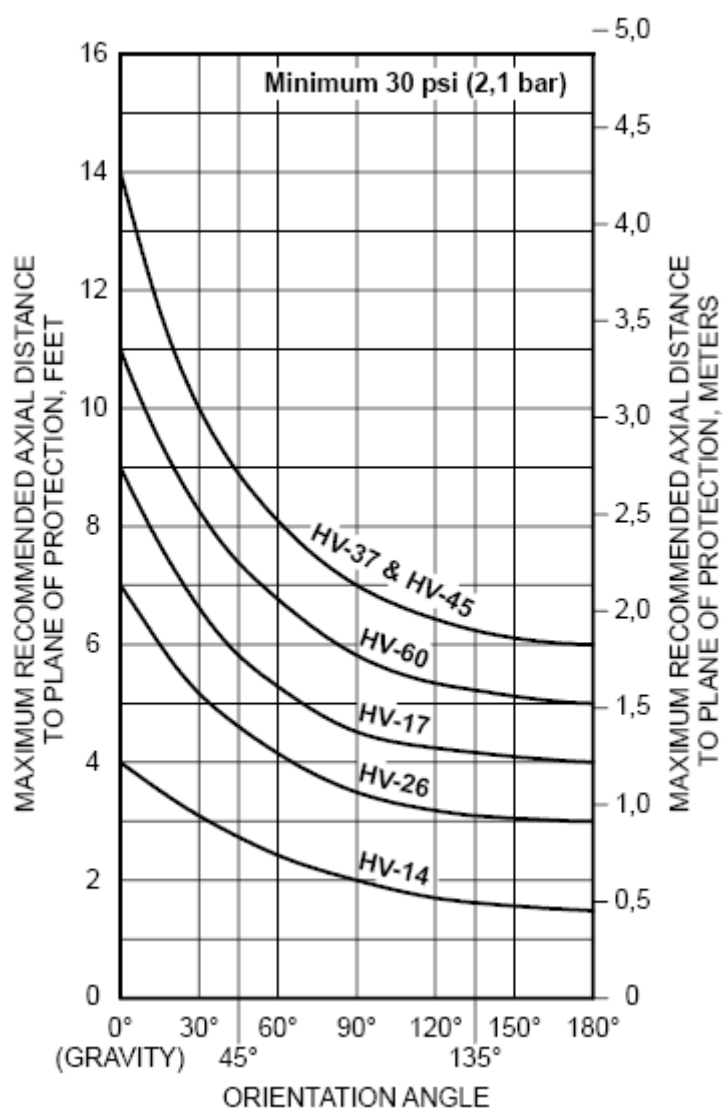


ภาพที่ 28 Nominal Discharge Curve (รุ่นที่เลือกใช้ในการศึกษานี้คือ HV-26)

ที่มา: TYCO INTERNATIONAL LTD. COMPANY

จากภาพที่ 28 หัวกระจายน้ำฝอยรุ่นที่เลือกใช้ในกรณีนี้คือ HV-26 ซึ่งสามารถรองรับความดันและปริมาณการไหลผ่านที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงต่ำที่สุดที่ 20 gpm 50 psi ซึ่งเพียงพอต่อการรองรับความดันน้อยที่สุดที่ระบบต้องการ

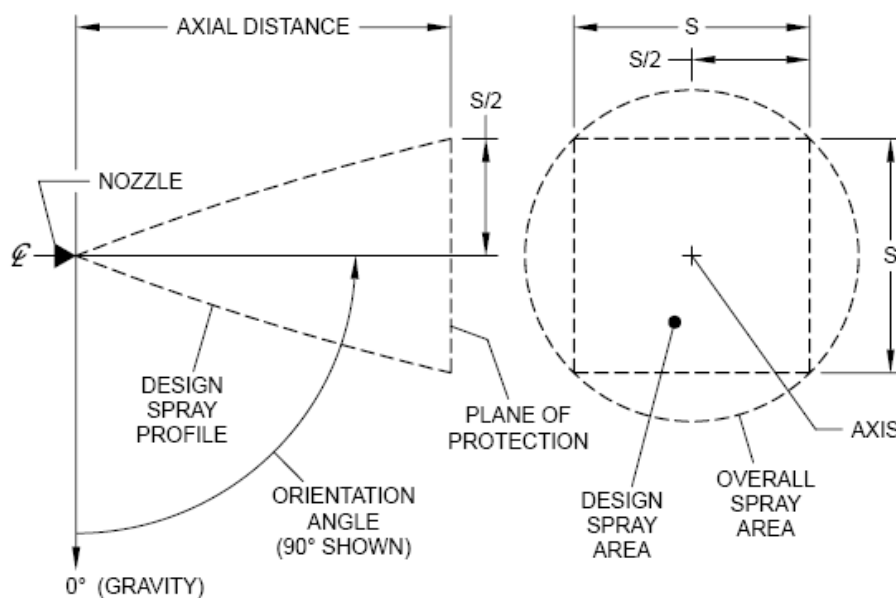
4. มุมการกระจายน้ำ ต้องกระจายน้ำครอบคลุมองพื้นที่ป้องกันและสามารถกระจายน้ำให้สัมผัสถึงผิวสัมผัสของอุปกรณ์ที่จะป้องกัน



ภาพที่ 29 ระยะห่างที่สุด Water Spray สามารถกระจายน้ำถึงผิวหน้าอุปกรณ์ที่ต้องป้องกัน

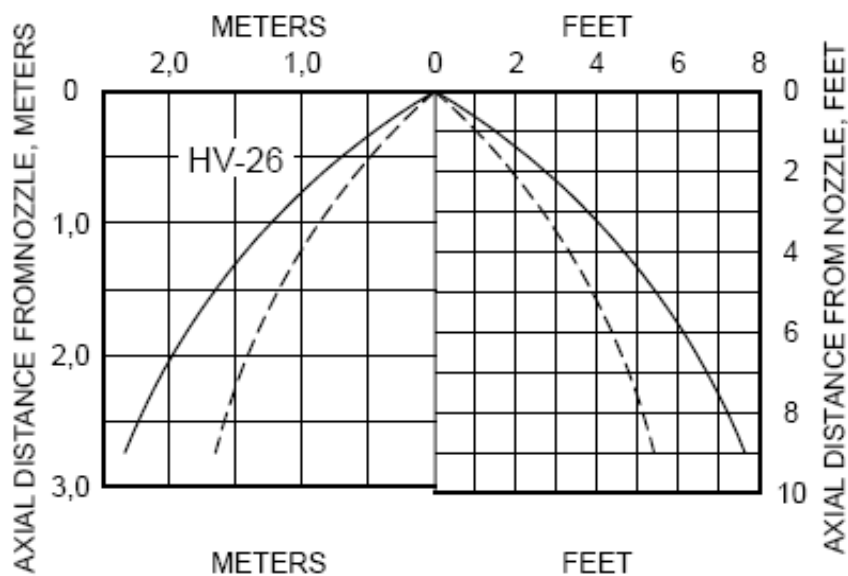
ที่มา: Tyco Fire and Building Products (2008)

จากภาพที่ 29 กำหนดค่าการกระจายน้ำ 90 องศา พบว่าสามารถติดตั้งหัวกระจายน้ำห่างจากผิวสัมผัสของอุปกรณ์ได้ถึง 3.5 ฟุต ในขณะที่งานวิจัยนี้ออกแบบให้หัวกระจายน้ำอยู่ห่างจากผิวสัมผัส 2 ฟุต



ภาพที่ 30 แสดงการวัดระยะ Axial Distance จากหัวกระจายน้ำฟอยถึงผิวสัมผัสของอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน

ที่มา: Tyco Fire and Building Products (2008)



ภาพที่ 31 รูปแบบการกระจายน้ำของ Water Spray ที่เลือกใช้ในการศึกษา

ที่มา: Tyco Fire and Building Products (2008)

กรณีศึกษาที่ 1 ศึกษาผลกระทบของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อดับเพลิง (Hazen – William Coefficient of Roughness, C-factor) ต่อระบบควบคุมอัคคีภัย

ตัวอย่างการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation)

อธิบายความหมายของหัวข้อในตารางการคำนวณ ดังนี้

คอลัมน์ที่ 1 ตำแหน่งของ Water Spray อ้างอิงตามภาพ 22, 25 และ 26

คอลัมน์ที่ 2 Pressure (psi) คือความดันที่ต้องการ ณ จุดนั้นๆ ของระบบ

คอลัมน์ที่ 3 Flow Rate (gpm) คือ อัตราการไหลที่ต้องการ ณ จุดนั้นๆ ของระบบ

คอลัมน์ที่ 4 Diameter คือขนาดของท่อที่ใช้งาน (Nominal Diameter)

คอลัมน์ที่ 5 ID คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

คอลัมน์ที่ 6 BL – Branch Line คือความยาวของท่อ

คอลัมน์ที่ 7 EL – Elbow คือความยาวเทียบเคียงของอุปกรณ์ข้องอ

คอลัมน์ที่ 8 T – TEE คือ ความยาวเทียบเคียงของอุปกรณ์ข้อต่อสามทาง

คอลัมน์ที่ 9 Total (ft) คือ ความยาวรวมของท่อและอุปกรณ์

คอลัมน์ที่ 10 Friction Rate (psi/ft) คือ ความดันสูญเสียในท่อเนื่องจากสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

คอลัมน์ที่ 11 Friction (psi) คือ ความดันสูญเสียทั้งหมดที่พิจารณาความยาวของท่อและอุปกรณ์แล้ว

คอลัมน์ที่ 12 Elevation (ft) คือ ความสูงจากแนวนราบ

คอลัมน์ที่ 13 Elevation (psi) คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง

คอลัมน์ที่ 14 Total Pressure (psi) คือ ความดันทั้งหมดที่ระบบต้องการ

ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	5.63	4.00	5.00	14.63	0.1301	1.90	5.30	2.29	54.19
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1301	0.95	-	-	50.95
adjust		20.63											
branch C+A	54.19	40.63	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	0.4829	2.73	0.66	0.29	57.21
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1301	1.54	- 2.50	- 1.08	50.46
adjust		21.30											
branch ABC >> point 1	57.21	61.93	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0387	0.39	-	-	57.60
point 1 >> point 2	57.60	61.93	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.0387	0.53	-	-	58.13
branch >> point 2		61.93											57.60
adjust		62.21											
point 2 >> point 3	58.13	124.14	2.00	2.067	3.28	-	10.00	13.28	0.1402	1.86	-	-	59.99
branch >> point 3		61.93											57.60
adjust		63.20											
point 3 >> point 4	59.99	187.34	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.3001	4.08	-	-	64.07
branch >> point 4		61.93											57.60
adjust		65.32											
point 4 >> point 5	64.07	252.66	2.50	2.469	3.28	6.00	12.00	21.28	0.2197	4.68	-	-	68.75
branch >> point 5		61.93											57.60
adjust		67.66											
point 5 >> point 6	68.75	320.32	2.50	2.469	1.64	-	12.00	13.64	0.3407	4.65	-	-	73.40
branch >> point 6		61.93											57.60
adjust		69.91											
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	9.61	4.00	5.00	18.61	0.1301	2.42	5.30	2.29	54.71
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1301	0.95	-	-	50.95
adjust		20.72											
branch C+A	54.71	40.72	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	0.4849	2.74	0.66	0.29	57.74
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1301	1.54	- 2.50	- 1.08	50.46
adjust		21.39											
branch ABC >> point 7	57.74	62.11	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0389	0.39	-	-	58.13
point 6 >> point 7	73.40	390.23	3.00	3.068	1.64	-	15.00	16.64	0.1705	2.84	-	-	76.24
branch >> point 7		62.11											58.13
adjust		71.13											
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.99	4.00	5.00	9.99	0.1301	1.30	0.66	0.29	51.59
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1301	1.54	- 2.50	- 1.08	50.46
adjust		20.22											
branch AB >> point 8	51.59	40.22	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0174	0.17	-	-	51.76
point 7 >> point 8	76.24	461.36	3.00	3.068	2.62	7.00	15.00	24.62	0.2323	5.72	-	-	81.96
branch >> point 8		40.22											51.76
adjust		50.61											
point 8 >> point 9	81.96	511.97	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.0750	1.72	-	-	83.68
branch >> point 9		40.22											51.76
adjust		51.14											
point 9 >> point 10	83.68	563.11	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.0894	2.05	-	-	85.73
branch >> point 10		40.22											51.76
adjust		51.76											
point 10 >> point 11	85.73	614.87	4.00	4.026	3.28	10.00	20.00	33.28	0.1052	3.50	-	-	89.23
branch >> point 11		40.22											51.76
adjust		52.81											
point 11 >> point 12	89.23	667.68	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.1226	2.85	-	-	92.08
branch >> point 12		40.22											51.76
adjust		53.64											
point 12 >> point 13	92.08	721.32	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.1414	3.29	-	-	95.37
branch >> point 13		40.22											51.76
adjust		54.59											
point 13 >> point 14	95.37	775.91	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.1618	3.77	-	-	99.14
branch >> point 14		40.22											51.76
adjust		55.66											
point 14 >> common point	99.14	831.57	4.00	4.026	-	-	20.00	20.00	0.1840	3.68	-	-	102.82
other side >> common point		831.57											102.82
common point >> pump	102.82	1,663.14	6.00	6.065	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0902	7.76	- 9.50	- 4.11	106.47

จากตารางที่ 3 สามารถแสดงรายละเอียดการคำนวณได้ดังนี้

1. ณ จุด 1- branch C (หัวฉีดที่ 1 ของ Point 1) เริ่มต้นการวิเคราะห์จาก

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล 20 gpm

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 5.63 ft

ข้องอ 90 องศา 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 4 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 14.63 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

P = ความดันสูญเสียในท่อ หน่วยเป็น psi

Q = อัตราการไหลภายในท่อ หน่วยเป็น gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ หน่วยเป็น นิ้ว

L = ความยาวของท่อ หน่วยเป็น ฟุต

$$\begin{aligned} P &= \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (14.63) \\ &= 0.1301 \times 14.63 \\ &= 1.90 \text{ psi} \end{aligned}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 5.30 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss สามารถวิเคราะห์ได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times 5.30 = 2.29 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 1.90 + 2.29 = 54.19 \text{ psi}$$

2. ณ จุด 1- branch A (หัวฉีดที่ 2 ของ Point 1) เริ่มต้นการวิเคราะห์จาก

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล 20 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 0.33 ft

ข้องอ 90 องศา 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 2 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 7.33 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (7.33)$$

$$= 0.1301 \times 7.33$$

$$= 0.95 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวตั้งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 0.95 + 0 = 50.95 \text{ psi}$$

เนื่องจากค่าความดันสูญเสียทั้งสองค่าเป็นความดันที่จุดเดียวกัน ดังนั้นในทางกายภาพ ความดันจะต้องเป็นค่าเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 20 \sqrt{\frac{54.19}{50.95}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 20.63$$

โดยที่

Q_{adjust} = อัตราการไหลที่มีการปรับค่าแล้ว หน่วยเป็น gpm
 Q_{low} = อัตราการไหลของท่อด้านที่มีค่าต่ำกว่า หน่วยเป็น gpm
 P_{high} = ความดันของท่อด้านที่มีค่าสูงกว่า หน่วยเป็น psi
 P_{low} = ความดันของท่อด้านที่มีค่าต่ำกว่า หน่วยเป็น psi

ในกรณีนี้ ระหว่างจุด 1- branch A (หัวฉีดที่ 2) นี้จะวิเคราะห์ได้ว่า Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 20.63 gpm ณ ภาวะความดันที่ 54.19 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 20 gpm ณ ภาวะความดันที่ 50.95 psi

3. ณ จุด C+A

ความดัน 54.39 psi (เลือกความดันที่มากกว่า)

อัตราการไหล เท่ากับ $20 + 20.63 = 40.63$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 0.66 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 5.66 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(40.63^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (5.66)$$

$$= 0.4829 \times 5.66$$

$$= 2.73 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0.66 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss หาได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times 0.66 = 0.29 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 54.19 + 2.73 + 0.29 = 57.21 \text{ psi}$$

4. ณ จุด 1- Branch B

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล เท่ากับ 20 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 2.83 ft

ข้องอ 90 องศา 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 4 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 11.83 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (11.83)$$

$$= 0.1301 \times 11.83$$

$$= 1.54 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0.25 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss หาได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times (-0.25) = -1.08 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 1.54 - 1.08 = 50.46 \text{ psi}$$

จุดต่อไปเป็นจุดรวมของ Branch ABC จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 20 \sqrt{\frac{57.21}{50.46}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 21.30$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 21.30 gpm ณ ภาวะความดันที่ 57.21 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 20 gpm ณ ภาวะความดันที่ 50.46 psi

5. ณ จุด Branch ABC ถึง Point 1

ความดัน 57.42 psi (เลือกความดันที่มากกว่า)

อัตราการไหล เท่ากับ $40.63 + 21.30 = 61.93 \text{ gpm}$

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.067 นิ้ว)

มีสามทาง 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 10 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวม 10 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{(4.52)(Q^{1.85})}{(C^{1.85})(D^{4.87})} \times (L) \\
 P &= \frac{(4.52)(61.93^{1.85})}{(120^{1.85})(2.067^{4.87})} \times (10) \\
 &= 0.0387 \times 10 \\
 &= 0.39 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = 57.21 + 0.39 = 57.60 psi

6. ณ จุด Point 1 ถึง Point 2

ความดัน 57.60 psi

อัตราการไหล เท่ากับ 61.93 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.067 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 3.61 ft

มีสามทาง 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 10 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 13.61 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{(4.52)(Q^{1.85})}{(C^{1.85})(D^{4.87})} \times (L) \\
 P &= \frac{(4.52)(61.93^{1.85})}{(120^{1.85})(2.067^{4.87})} \times (13.61) \\
 &= 0.0387 \times 13.61 \\
 &= 0.53 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $57.60 + 0.53 = 58.13$ psi

ณ Point 2 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 1 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 61.93 \sqrt{\frac{58.13}{57.60}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 62.21$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 62.21 gpm ณ ภาวะความดันที่ 58.13 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 61.93 gpm ณ ภาวะความดันที่ 57.60 psi

7. ณ จุด Point 2 ถึง Point 3

ความดัน 58.13 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $61.93 + 62.21 = 124.14$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.067 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 3.28 ft

มีสามทาง 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 10 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 13.28 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(124.14^{1.85})}{(120^{1.85})(2.067^{4.87})} \times (13.28)$$

$$= 0.1402 \times 13.28$$

$$= 1.86 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = 58.13 + 1.86 = 59.99 psi

ณ Point 3 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 2 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 61.93 \sqrt{\frac{59.99}{57.60}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 63.20$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 63.20 gpm ณ ภาวะความดันที่ 59.99 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 61.93 gpm ณ ภาวะความดันที่ 57.60 psi

8. ณ จุด Point 3 ถึง Point 4

ความดัน 59.99 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $124.14 + 63.20 = 187.34 \text{ gpm}$

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.067 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 3.61 ft

มีสามทาง 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 10 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 13.61 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams formula

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

$$P = \frac{(4.52)(187.34^{1.85})}{(120^{1.85})(2.067^{4.87})} \times (13.61)$$

$$= 0.30001 \times 13.61$$

$$= 4.08 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = 59.99 + 4.08 = 64.07 psi

ณ Point 4 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 3 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 61.93 \sqrt{\frac{64.07}{57.60}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 65.32$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 65.32 gpm ณ ภาวะความดันที่ 64.07 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 61.93 gpm ณ ภาวะความดันที่ 57.60 psi

9. ณ จุด Point 4 ถึง Point 5

ความดัน 64.07 psi

อัตราการไหลเท่ากับ $187.34 + 65.32 = 252.66$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2.5 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.469 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 3.28 ft

มีข้องอ 90 องศา 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 6 ft

มีสามทาง 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 12 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 21.28 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(252.66^{1.85})}{(120^{1.85})(2.469^{4.87})} \times (21.28)$$

$$= 0.2197 \times 21.28$$

$$= 4.68 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $64.07 + 4.68 = 68.75$ psi

ณ Point 5 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 4 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 61.93 \sqrt{\frac{68.75}{57.60}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 67.66$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 67.66 gpm ณ ภาวะความดันที่ 68.75 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 61.93 gpm ณ ภาวะความดันที่ 57.60 psi

10. ณ จุด Point 5 ถึง Point 6

ความดัน 68.75 psi

อัตราการไหลเท่ากับ $252.66 + 67.66 = 320.32$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2.5 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.469 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 1.64 ft

มีสามทาง 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 12 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 13.64 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(320.32^{1.85})}{(120^{1.85})(2.469^{4.87})} \times (13.64)$$

$$= 0.3407 \times 13.64$$

$$= 4.65 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวตั้งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $68.75 + 4.65 = 73.40$ psi

ณ Point 5 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 4 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 61.93 \sqrt{\frac{73.40}{57.60}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 69.91$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 69.91 gpm ณ ภาวะความดันที่ 73.40 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 61.93 gpm ณ ภาวะความดันที่ 57.60 psi

11. ณ จุด Branch C (หัวฉีดที่ 1 ของ Point 7) เริ่มต้นการวิเคราะห์จาก

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล 20 gpm

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 9.61 ft

ข้องอ 90 องศา 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 4 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 18.61 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (18.61)$$

$$= 0.1301 \times 18.61$$

$$= 2.42 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 5.63 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss สามารถวิเคราะห์ได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times 5.30 = 2.29 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 2.42 + 2.29 = 54.71 \text{ psi}$$

12. ณ จุด 1- branch A (หัวฉีดที่ 2 ของ Point 7) เริ่มต้นการวิเคราะห์จาก

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล 20 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 0.33 ft

ข้องอ 90 องศา 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 2 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 7.33 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (7.33)$$

$$= 0.1301 \times 7.33$$

$$= 0.95 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 0.95 + 0 = 50.95 \text{ psi}$$

เนื่องจากค่าความดันสูญเสียทั้งสองค่าเป็นความดันที่จุดเดียวกัน ดังนั้นในทางกายภาพ ความดันจะต้องเป็นค่าเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 20 \sqrt{\frac{54.71}{50.95}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 20.72$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 20.72 gpm ณ ภาวะความดันที่ 54.71 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 20 gpm ณ ภาวะความดันที่ 50.95 psi

13. ณ จุด C+A

ความดัน 54.71 psi (เลือกความดันที่มากกว่า)

อัตราการไหล เท่ากับ $20 + 20.72 = 40.72$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 0.66 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 5.66 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(40.72^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (5.66)$$

$$= 0.4849 \times 5.66$$

$$= 2.74 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0.66 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss หาได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times 0.66 = 0.29 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 54.71 + 2.74 + 0.29 = 57.74 \text{ psi}$$

14. ณ จุด 1- Branch B

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล เท่ากับ 20 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 2.83 ft

ข้องอ 90 องศา 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 4 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 11.83 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (11.83)$$

$$= 0.1301 \times 11.83$$

$$= 1.54 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0.25 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss หาได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times (-0.25) = -1.08 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 1.54 - 1.08 = 50.46 \text{ psi}$$

จุดต่อไปเป็นจุดรวมของ Branch ABC จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 20 \sqrt{\frac{57.74}{50.46}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 21.39$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 21.39 gpm ณ ภาวะความดันที่ 57.74 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 20 gpm ณ ภาวะความดันที่ 50.46 psi

15. ณ จุด Branch ABC ถึง Point 7

ความดัน 57.74 psi (เลือกความดันที่มากกว่า)

อัตราการไหล เท่ากับ $40.72 + 21.39 = 62.11 \text{ gpm}$

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.067 นิ้ว)

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 10 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวม 10 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(62.11^{1.85})}{(120^{1.85})(2.067^{4.87})} \times (10)$$

$$= 0.0389 \times 10$$

$$= 0.39 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $57.74 + 0.39 = 58.13$ psi

16. ณ จุด Point 6 ถึง Point 7

ความดัน 73.40 psi (ความดัน ณ Point 6)

อัตราการไหล เท่ากับ $320.32 + 69.91 = 390.23$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 3 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.068 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 1.64 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 15 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 16.64 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(390.23^{1.85})}{(120^{1.85})(3.068^{4.87})} \times (16.64)$$

$$= 0.1705 \times 16.64$$

$$= 2.84 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $73.40 + 2.84 = 76.24$ psi

ณ Point 7 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 6 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 62.11 \sqrt{\frac{76.24}{58.13}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 71.13$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 71.13 gpm ณ ภาวะความดันที่ 76.24 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 62.11 gpm ณ ภาวะความดันที่ 58.13 psi

17. ณ จุด 1- branch A (หัวฉีดที่ 1 ของ Point 8) เริ่มต้นการวิเคราะห์จาก

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล 20 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 0.99 ft

ข้องอ 90 องศา 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 4 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 9.99 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (9.99)$$

$$= 0.1301 \times 9.99$$

$$= 1.30 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0.66 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss หาได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times 0.66 = 0.29 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 1.30 + 0.29 = 51.59 \text{ psi}$$

18. ณ จุด 1- branch B (หัวฉีดที่ 2 ของ Point 8) เริ่มต้นการวิเคราะห์จาก

ความดัน 50 psi

อัตราการไหล 20 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 1 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.049 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวเส้นท่อ 2.83 ft

ข้องอ 90 องศา 2 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 4 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 5 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 11.83 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(20^{1.85})}{(120^{1.85})(1.049^{4.87})} \times (11.83)$$

$$= 0.1301 \times 11.83$$

$$= 1.54 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 2.50 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss หาได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times (-2.50) = -1.08 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 50 + 1.54 - 1.08 = 50.46$$

เนื่องจากค่าความดันสูญเสียทั้งสองค่าเป็นความดันที่จุดเดียวกัน ดังนั้นในทางกายภาพ ความดันจะต้องเป็นค่าเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 20 \sqrt{\frac{51.59}{50.46}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 20.22$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 20.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.59 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 20 gpm ณ ภาวะความดันที่ 50.46 psi

19. ณ จุด A+ B

ความดัน 51.59 psi (เลือกความดันที่มากกว่า)

อัตราการไหล เท่ากับ $20 + 20.22 = 40.22$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 2 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.067 นิ้ว)

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 10 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 10 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(40.22^{1.85})}{(120^{1.85})(2.067^{4.87})} \times (10)$$

$$= 0.0174 \times 10$$

$$= 0.17 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่สูงจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0 psi

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $51.59 + 0.17 = 51.76$ psi

20. ณ จุด Point 7 ถึง Point 8

ความดัน 76.24 psi (ความดัน ณ Point 7)

อัตราการไหล เท่ากับ $390.23 + 71.13 = 461.36$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 3 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.068 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 2.62 ft

มีข้องอ 90 องศา 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 7 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 15 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 24.62 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(461.36^{1.85})}{(120^{1.85})(3.068^{4.87})} \times (24.62)$$

$$= 0.2323 \times 24.62$$

$$= 5.72 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $76.24 + 5.72 = 81.96$ psi

ณ Point 8 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 7 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 40.22 \sqrt{\frac{81.96}{51.76}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 50.61$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 50.61 gpm ณ ภาวะความดันที่ 81.96 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 40.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.76 psi

21. ณ จุด Point 8 ถึง Point 9

ความดัน 81.96 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $461.36 + 50.61 = 511.97$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 4 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.026 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 2.95 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 20 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 22.95 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams formula

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

$$P = \frac{(4.52)(511.97^{1.85})}{(120^{1.85})(4.026^{4.87})} \times (22.95)$$

$$= 0.0750 \times 22.95$$

$$= 1.72 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวตั้งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $81.96 + 1.72 = 83.68$ psi

ณ Point 9 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 8 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 40.22 \sqrt{\frac{83.68}{51.76}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 51.14$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 51.14 gpm ณ ภาวะความดันที่ 83.68 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 40.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.76 psi

22. ณ จุด Point 9 ถึง Point 10

ความดัน 83.68 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $511.97 + 51.14 = 563.11$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 4 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.026 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 2.95 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 20 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 22.95 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(563.11^{1.85})}{(120^{1.85})(4.026^{4.87})} \times (22.95)$$

$$= 0.0894 \times 22.95$$

$$= 2.05 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $83.68 + 2.05 = 85.73$ psi

ณ Point 10 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 9 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 40.22 \sqrt{\frac{85.73}{51.76}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 51.76$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 51.76 gpm ณ ภาวะความดันที่ 85.73 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 40.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.76 psi

23. ณ จุด Point 10 ถึง Point 11

ความดัน 85.73 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $563.11 + 51.76 = 614.87$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 4 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.026 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 3.28 ft

มีข้องอ 90 องศา 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 10 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 20 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 33.28 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{(4.52)(Q^{1.85})}{(C^{1.85})(D^{4.87})} \times (L) \\
 P &= \frac{(4.52)(614.87^{1.85})}{(120^{1.85})(4.026^{4.87})} \times (33.28) \\
 &= 0.1052 \times 33.28 \\
 &= 3.50 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $85.73 + 3.50 = 89.23$ psi

ณ Point 11 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 10 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

$$\begin{aligned}
 \frac{Q_{\text{adjust}}}{Q_{\text{low}}} &= \sqrt{\frac{P_{\text{high}}}{P_{\text{low}}}} \\
 Q_{\text{adjust}} &= 40.22 \sqrt{\frac{89.23}{51.76}} \\
 Q_{\text{adjust}} &= 52.81
 \end{aligned}$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 52.81 gpm ณ ภาวะความดันที่ 89.23 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 40.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.76 psi

24. ณ จุด Point 11 ถึง Point 12

ความดัน 89.23 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $614.87 + 52.81 = 667.68$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 4 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.026 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 3.28 ft

มีเส้นทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 20 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 23.28 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(667.68^{1.85})}{(120^{1.85})(4.026^{4.87})} \times (23.28)$$

$$= 0.1226 \times 23.28$$

$$= 2.85 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวตั้งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $89.23 + 2.85 = 92.08 \text{ psi}$

ณ Point 12 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 11 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 40.22 \sqrt{\frac{92.08}{51.76}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 53.64$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 53.64 gpm ณ ภาวะความดันที่ 92.08 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 40.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.76 psi

25. ณ จุด Point 12 ถึง Point 13

ความดัน 92.08 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $667.68 + 53.64 = 721.32$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 4 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.026 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 3.28 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 20 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 23.28 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(721.32^{1.85})}{(120^{1.85})(4.026^{4.87})} \times (23.28)$$

$$= 0.1414 \times 23.28$$

$$= 3.29 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวตั้งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $92.08 + 3.29 = 95.37$ psi

ณ Point 13 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 12 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 40.22 \sqrt{\frac{95.37}{51.76}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 54.59$$

Qadjust มีค่าเท่ากับ 54.59 gpm ณ ภาวะความดันที่ 95.37 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 40.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.76 psi

26. ณ จุด Point 13 ถึง Point 14

ความดัน 95.37 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $721.32 + 54.59 = 775.91$ gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 4 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.026 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 3.28 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 20 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 23.28 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(775.91^{1.85})}{(120^{1.85})(4.026^{4.87})} \times (23.28)$$

$$= 0.1618 \times 23.28$$

$$= 3.77 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวตั้งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม $= 95.37 + 3.77 = 99.14$ psi

ณ Point 14 เป็นจุดที่อัตราการไหลจาก Branch และ Point 13 มารวมกัน จึงต้องมีการปรับค่าอัตราการไหลเพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลมีความถูกต้อง โดยใช้สมการ

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

$$Q_{\text{adjust}} = 40.22 \sqrt{\frac{99.14}{51.76}}$$

$$Q_{\text{adjust}} = 55.66$$

Q_{adjust} มีค่าเท่ากับ 55.66 gpm ณ ภาวะความดันที่ 99.14 psi จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 40.22 gpm ณ ภาวะความดันที่ 51.76 psi

28. ณ จุด Point 14 ถึง Common Point

ความดัน 99.14 psi

อัตราการไหล เท่ากับ $775.91 + 55.66 = 831.57 \text{ gpm}$

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 4 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 4.026 นิ้ว)

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 20 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 20 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(831.57^{1.85})}{(120^{1.85})(4.026^{4.87})} \times (20)$$

$$= 0.1840 \times 20$$

$$= 3.68 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวดิ่งเท่ากับ 0 ft

ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss เท่ากับ 0

ค่าความดันสูญเสียโดยรวม = $99.14 + 3.68 = 102.82 \text{ psi}$

29. ณ จุด Common Point ถึง Pump

ความดัน 102.82 psi

เนื่องจากออกแบบการวาง Water Spray Nozzle ใกล้เคียงกับสมมาตร ดังนั้นจากจุดที่ 15 - 31 จนถึง Common Point จึงมีอัตราการไหลใกล้เคียงกันกับจุด 1 - 14 จนถึง Common Point ดังนั้น อัตราการไหลรวมจาก Common Point ถึง Fire Pump เท่ากับ 1,663.14 gpm

C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (=120 กรณี new galvanized steel pipe)

ใช้ขนาดท่อ 6 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 6.065 นิ้ว)

มีความยาวตามแนวท่อเท่ากับ 20 ft

มีข้องอ 90 องศา 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 28 ft

มีสามทาง 1 ตัว มีความยาวเทียบเคียงเท่ากับ 38 ft

ดังนั้นความยาวโดยรวมเท่ากับ 86 ft

ค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของท่อ สามารถวิเคราะห์ได้จาก Hazen-Williams

formula

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

$$P = \frac{(4.52)(1,663.14^{1.85})}{(120^{1.85})(6.065^{4.87})} \times (86)$$

$$= 0.0902 \times 86$$

$$= 7.76 \text{ psi}$$

หัวฉีดอยู่ต่ำจากจุดแยกในแนวตั้งเท่ากับ 9.50 ft

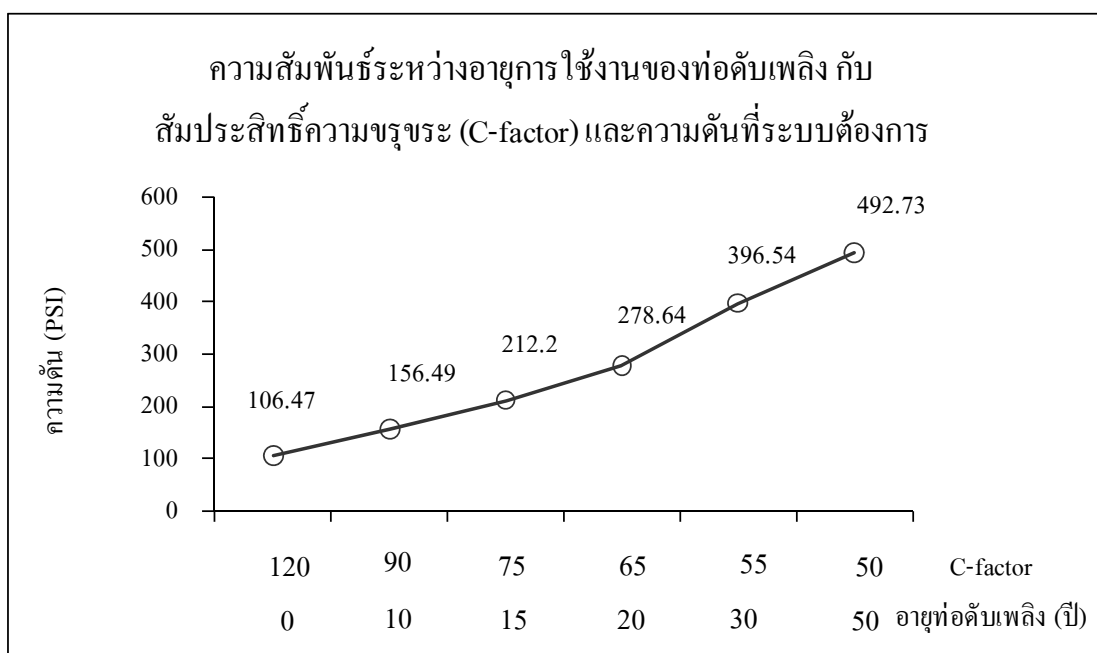
ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากความสูง elevation loss หาได้จาก

$$P_e = 0.433 \times h$$

$$P_e = 0.433 \times (-9.50) = -4.11 \text{ psi}$$

$$\text{ค่าความดันสูญเสียโดยรวม} = 102.82 + 7.76 - 4.11 = 106.47 \text{ psi}$$

จากการทดลองคำนวณโดยการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (C-factor) ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (C-factor) กับความดันในระบบดังนี้ ตามภาพที่ 32

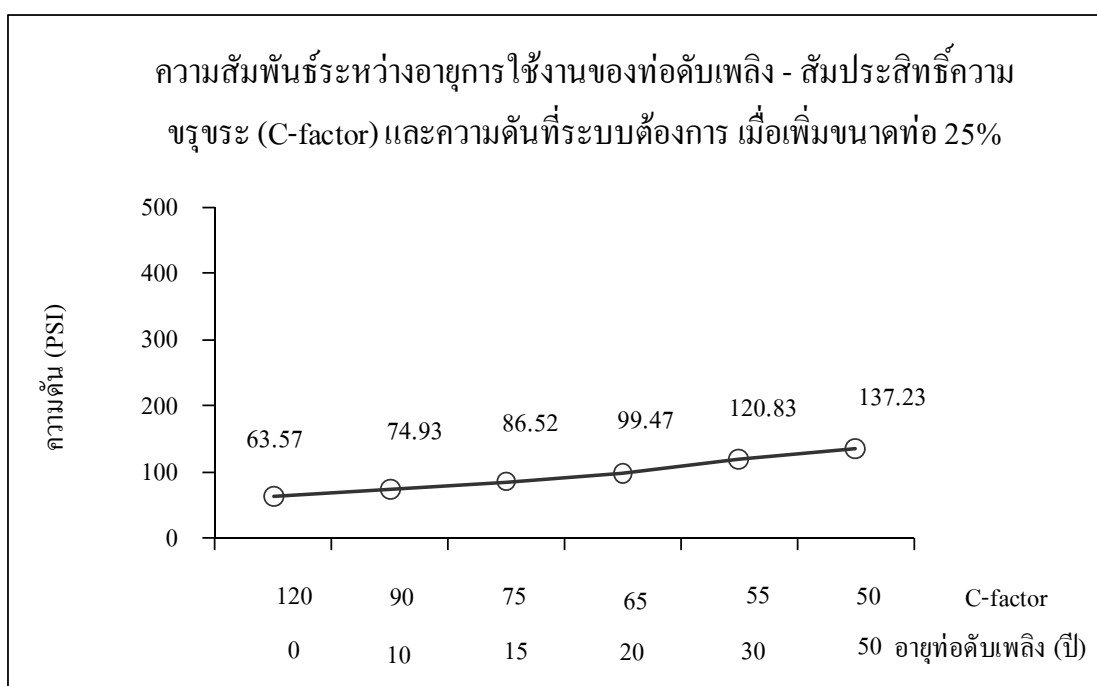


ภาพที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความขรุขระกับความดันที่ระบบต้องการ

จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 ปี ระบบต้องการความดันใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 106.47 psi เป็น 156.49 psi หรือเพิ่มขึ้น 47 % และเมื่อเวลาผ่านไป 15 ปี ระบบต้องการความดันใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 106.47 psi เป็น 212.20 psi หรือเพิ่มขึ้น 100% นั่นหมายความว่าหากเลือกปั๊มตามสภาพท่อใหม่ โดยไม่มีการเผื่อค่า Safety Factor หรือ เผื่อไว้น้อยมาก เมื่อเวลาผ่านไประบบก็จะไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากปั๊มไม่สามารถรักษาความดันไว้ได้ตามที่ระบบต้องการ

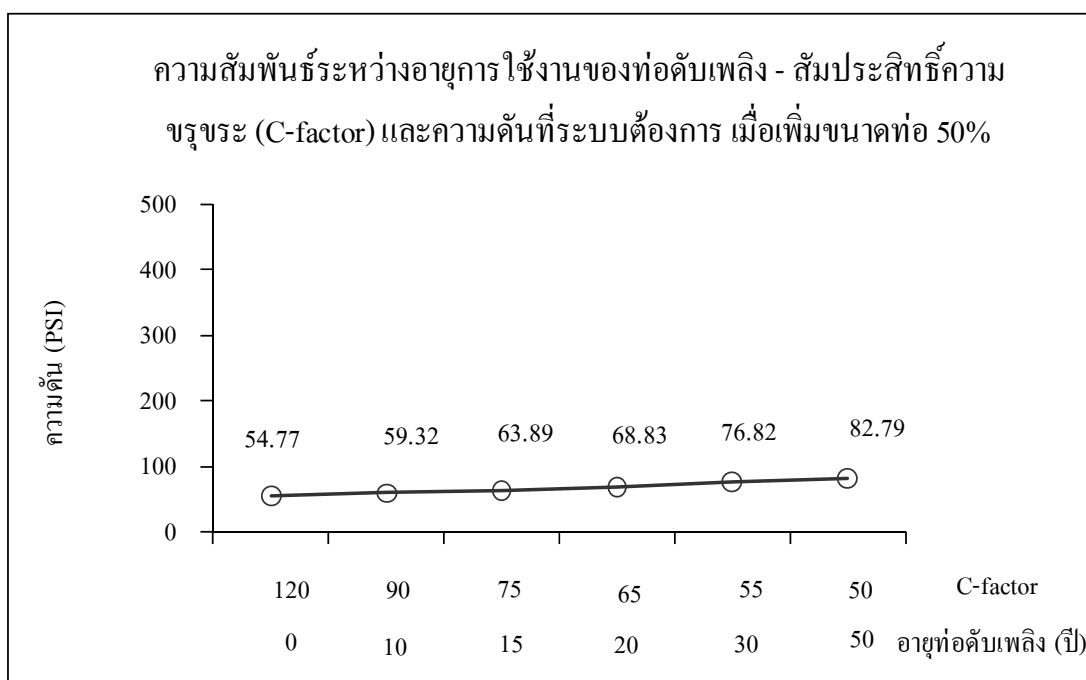
กรณีศึกษาที่ 2 ศึกษาผลกระทบของขนาดท่อดับเพลิงต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอัคคีภัย

เนื่องจากปั้มน้ำดับเพลิงมีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งในกรณีนี้ เราสามารถลดค่าใช้จ่ายได้โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของท่อดับเพลิงให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จึงทำการศึกษาโดยการทดลองขยายขนาดท่อดับเพลิงขนาดของท่อดับเพลิงซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความขรุขระกับความดันที่ระบบต้องการ เมื่อเพิ่มขนาดท่อ 25%

จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 ปี ระบบต้องการความดันใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 63.57 psi เป็น 74.93 psi หรือเพิ่มขึ้นเพียง 18% และเมื่อเวลาผ่านไป 20 ปี ระบบต้องการความดันใช้งานเพิ่มขึ้นเป็น 99.47 psi หรือเพิ่มขึ้น 56% นั่นหมายความว่า หากมีการเพิ่มขนาดท่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเฉลี่ย 25% แม้จะเลือกปั้มให้รองรับการใช้งานที่ 106.47 psi ตามสภาพท่อใหม่โดยไม่เผื่อค่า Safety Factor ไว้หรือเผื่อไว้ น้อยมาก ระบบจะสามารถทำงานได้ถึง 20 ปี



ภาพที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความขรุขระกับความดันที่ระบบต้องการ เมื่อเพิ่มขนาดท่อ 50%

และหากเพิ่มขนาดท่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเฉลี่ย 50% จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป 10 ปี ระบบต้องการความดันใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 54.77 psi เป็น 59.32 psi หรือเพิ่มขึ้นเพียง 8% และเมื่อเวลาผ่านไป 50 ปี ระบบต้องการความดันใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 54.77 เป็น 82.79 psi หรือเพิ่มขึ้นเพียง 51% นั่นหมายความว่า หากมีการเพิ่มขนาดท่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเฉลี่ย 50% แม้จะเลือกปั๊มให้รองรับการใช้งานที่ 106.47 psi ตามสภาพท่อใหม่โดยไม่เผื่อค่า Safety Factor ไว้หรือเผื่อไว้ น้อยมาก ระบบจะสามารถทำงานได้มากกว่า 50 ปี

วิจารณ์

ประสิทธิภาพในการควบคุมอัคคีภัยของระบบมีปัจจัยในการทำงาน 2 ปัจจัยนั่นก็คือ แรงดันของระบบ และอัตราการไหลของน้ำ ระบบควบคุมอัคคีภัยมีหลักในการทำงานโดยใช้แรงดันส่งน้ำให้มีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ น้ำจากต้นทางไหลไปจนถึงปลายทางแล้วฉีดน้ำออกจากหัวฉีดเพื่อควบคุมอัคคีภัย โดยน้ำที่ฉีดออกมาต้องมีอัตราการไหลของน้ำเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ และสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นหากระบบเกิดการสูญเสียความดันในท่อมาก จะทำให้น้ำไม่มีแรงดัน การไหลของน้ำก็จะลดลงทำให้น้ำไม่สามารถฉีดออกจากหัวฉีดได้ หรือฉีดออกไปด้วยอัตราการไหลที่น้อยมากจนไม่สามารถครอบคลุมถึงเป้าหมายได้

จากการผลศึกษาทำให้ได้ทราบปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมอัคคีภัยของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยสามารถวิเคราะห์รายละเอียดของแต่ละปัจจัยได้ดังต่อไปนี้

1. ผลกระทบของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อดับเพลิง (C – factor)

จากตารางที่ 2 – 7 การคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation) ของระบบควบคุมอัคคีภัยของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Water Spray Fixed System เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า C –factor ในสูตรการคำนวณหาความดันสูญเสียในท่อ (Friction Loss) โดยใช้สมการ Hazen - William ดังนี้

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

เมื่อ

P = แรงดันสูญเสียในท่อ (psi)

Q = ปริมาณการไหลผ่านท่อ (gpm)

C = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Galvanize C=120)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (inches)

พบว่าค่าความดันสูญเสียในท่อ (Friction Loss) จะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (C – factor) นั่นหมายความว่า เมื่อค่า C – factor ลดลง (เนื่องจากอายุการใช้งานของท่อเพิ่มมากขึ้น) จะทำให้มีความดันสูญเสียในท่อเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งทำให้ระบบมีความดันไม่เพียงพอที่จะส่งน้ำไปยังหัวกระจายน้ำฝอย (Water Spray Nozzle) เพื่อให้ฉีดน้ำออกจากหัวกระจายน้ำฝอยที่ความดันน้อยที่สุดที่กำหนดคือ 50 psi ซึ่งจะส่งผลให้ Water Spray ไม่สามารถกระจายน้ำออกไปครอบคลุมพื้นที่ป้องกันตามที่ได้ออกแบบไว้ เป็นผลให้ไม่สามารถควบคุมอัคคีภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผลกระทบจากขนาดท่อดับเพลิง

จากสมการ Hazen – William พบว่าค่า Friction Loss จะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (D) หมายความว่า หากท่อมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ความสูญเสียในท่อลดลง ซึ่งจะทำให้ลดความดันที่ระบบต้องการ เพื่อนำไปใช้ในการกระจายน้ำเพื่อควบคุมอัคคีภัย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การออกแบบระบบดับเพลิงด้วย water spray ของหม้อแปลงไฟฟ้า จุดสำคัญประการหนึ่งที่ผู้ออกแบบต้องตระหนักคือสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระของผิวท่อ ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อการเลือกขนาดความดันทำงาน และการออกแบบ โดยส่วนใหญ่มักเลือกออกแบบจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำให้ความดันทำงานต่ำสุด ซึ่งเมื่ออายุการใช้งานของระบบยาวนานขึ้น ค่าความขรุขระหรือค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความดันทำงานเพิ่มมากขึ้น จนถึงจุดที่ระบบทำงานไม่ได้ ซึ่งจะก่อปัญหาอย่างมากต่อประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันภัย

2. งานวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์ระบบท่อโดยวิธีการ hydraulic calculation ร่วมกับการวิเคราะห์ความดันสูญเสียโดยใช้ Hazen-Williams formula ผลการวิจัยพบว่าอายุการใช้งานหรือสภาพค่าความขรุขระของท่อส่งผลอย่างมากต่อ ค่าความดันในระบบ เมื่อท่อใช้งานผ่านไป 10 ปีความดันที่ต้องการเพิ่มขึ้น 47% ของค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น เมื่อท่อใช้งานผ่านไป 20 ปีความดันที่ต้องการเพิ่มขึ้นถึง 100% ของค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น ซึ่งหมายความว่าถ้าระบบไม่มีการเผื่อค่า safety factor สำหรับการออกแบบไว้ หรือเผื่อน้อยเกินไป เมื่อเวลาผ่านไประบบก็จะไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากการสร้างความดันไม่เพียงพอ

3. จากงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดท่อ 25% ทำให้ระบบสามารถทำงานได้นานถึง 20 ปี โดยเปรียบเทียบจากค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น และการเพิ่มขนาดท่อ 50% ทำให้ระบบสามารถทำงานได้ถึง 50 ปี โดยเปรียบเทียบจากค่าความดันที่ออกแบบไว้เริ่มต้น

ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อเป็นการลดความสูญเสียของอค์กัถยที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้า สถานประกอบการกิจการควรติดตั้งระบบควบคุมอค์กัถยของหม้อแปลงไฟฟ้า เพราะหากเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นและไม่สามารถควบคุมอค์กัถยได้อย่างทันท่วงที เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นอาจเพิ่มความรุนแรงมากขึ้นจนอาจลุกลามหรือส่งผลกระทบไปยังอาคารและอุปกรณ์อื่นที่อยู่บริเวณข้างเคียง ทำให้กระบวนการผลิต

ต้องหยุดชะงักลง และหากหม้อแปลงไฟฟ้าได้รับความเสียหายจากเพลิงไหม้ทั้งหมด จะต้องใช้ระยะเวลานานกว่าจะดำเนินการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่

2. ในกรณีที่จะมีการติดตั้งระบบควบคุมอัตราก้าวของหม้อแปลงไฟฟ้า ผู้ออกแบบต้องนำปัจจัยด้านอายุการใช้งานของท่อดับเพลิง มาร่วมพิจารณาในการออกแบบด้วย และควรมีการระบุในรายละเอียดของการออกแบบให้ชัดเจนว่าระบบควบคุมอัตราก้าวที่ออกแบบไว้นั้นจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมือนที่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่แรก จนถึงอายุการใช้งานกี่ปี เพื่อจะได้เป็นประโยชน์แก่เจ้าของกิจการหรือสถานประกอบการในการกำหนดระยะเวลาการซ่อมบำรุงหรือปรับเปลี่ยนระบบควบคุมอัตราก้าว

3. ในกรณีที่สถานประกอบการมีระบบควบคุมอัตราก้าวอื่นและมีระบบปั้มน้ำดับเพลิงอยู่แล้ว ผู้ออกแบบระบบควบคุมอัตราก้าวต้องคำนึงถึงความสามารถในการทำงานของปั้มน้ำดับเพลิงด้วยว่าสามารถรองรับปริมาณการไหลของน้ำและความดันที่ระบบควบคุมอัตราก้าวเดิมและส่วนที่ติดตั้งเพิ่มเติมต้องการ เพื่อให้ระบบควบคุมอัตราก้าวเดิมและส่วนติดตั้งเพิ่มทำหน้าที่ในการควบคุมอัตราก้าวอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ทั้งนี้หากปั้มน้ำดับเพลิงไม่สามารถที่จะรองรับปริมาณการไหลของน้ำและความดันที่ระบบทั้งหมดต้องการแล้ว ผู้ออกแบบต้องพิจารณาด้วยว่าจะออกแบบระบบควบคุมอัตราก้าวอย่างไรโดยให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมอัตราก้าวสูงสุดและสิ้นเปลืองงบประมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยในกรณีที่ศึกษาจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการออกแบบระบบควบคุมอัตราก้าวตามมาตรฐานขั้นต่ำที่กำหนดแล้ว พบว่าหากเลือกปั้มตามสภาพท่อใหม่แล้ว ปั้มจะไม่สามารถรักษาความดันใช้งานตามที่ระบบต้องการไว้ได้ ในกรณีนี้ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะให้ทำการพิจารณาเพิ่มขนาดท่อดับเพลิงให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบราคาของปั้มน้ำดับเพลิงและท่อดับเพลิงส่วนที่ต้องติดตั้งใหม่แล้ว พบว่าค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนท่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเฉลี่ย 50% น้อยกว่าการเปลี่ยนปั้มน้ำดับเพลิง โดยสามารถดูตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายได้ในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 4 ราคาท่อดับเพลิง Steel Pipe Schedule 40

รายการ	หน่วย	รวมความยาว	ราคา/หน่วย (ราคา/6 เมตร) (บาท)	รวม (บาท)
Pipe DIA 1 ½ นิ้ว	เมตร	30	779.50	3,898
Pipe DIA 3 นิ้ว	เมตร	7	1,759	2,052
Pipe DIA 4 นิ้ว	เมตร	3	2,563.20	1,282
Pipe DIA 5 นิ้ว	เมตร	3	3,487	1,744
Pipe DIA 6 นิ้ว	เมตร	10	4,138	6,897
Pipe DIA 9 นิ้ว	เมตร	9	7500	11,250
รวมข้องอ 90 องศา				19,340
รวมข้อต่อสามทาง				18,688
ค่าแรงติดตั้งระบบรวม				19,500
ราคารวม				84,651

ที่มา: สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า (2552)

ตารางที่ 5 ราคาปั้มน้ำดับเพลิง

ขนาดปั้มน้ำดับเพลิง	ราคา (บาท)
1,500 gpm at 100 psi	1,300,000

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ชัยวุฒิ สวัสดิ์. 2007. หม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า. แหล่งที่มา: <http://www.thailandindustry.com/home/Feature.html>, 7 กันยายน 2551
- สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า. 2009. ราคาวัสดุก่อสร้าง. แหล่งที่มา: http://www.indexpr.moc.go.th/PRICE_PRESENT/tablecsi_month_region.asp?DDMonth=02&DDYear=2552&DDProvince=10&B1=%B5%A1%C5%A7, 15 มีนาคม 2552
- Christopher, L.V. 1997. **NFPA Codes, Standards, and Recommended Practices**. National Fire Protection Association. 1997. 6 – 12 Water Spray Protection
- National Fire Protection Association. 2001. **Standard for Water Spray Fixed System for Fire Protection**. NFPA 15, USA.
- _____. 2002. **Standard for the Installation of Sprinkler Systems**. NFPA 13, USA.
- _____. 2003. **Standard for the Installation of Centrifugal Fire Pumps**. NFPA 20, USA.
- Northern Technology & Testing. 2008. **Transformer fire**. Available Source: <http://www.nttworldwide.com/images/transformerfire1a.jpg.html>, September 7, 2008
- Robert, M.G. 1997. **Design of water – based spray fire protection systems**. n.p.
- TAN LAP FIRE CO., LTD. 2008. **Water Spray Nozzle under action**. Available Source: <http://www.tanlap.com.vn/Index.asp?ID=TrangBang.html>, September 7, 2008.
- Tyco Fire and Building Products. 2008. **Type HV, Directional Spray Nozzle, Open, High Velocity**. Available Source: http://www.tyco-gem.com/TD_TFP/Star/TFP815_04_2006.pdf.html, September 7, 2008.

TYCO INTERNATIONAL LTD. COMPANY. 2009. **DIRECTIONAL SPRAY NOZZLE**

w/STRAINER, OPEN, TYPE HV (HIGH VELOCITY). Available Source:

http://www.wormald.com.au/__data/assets/pdf_file/0012/1641/HV_Spray_Nozzles.pdf,

September 7, 2008

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Denver, Colorado. 2005. **Transformer**

Fire Protection. Facilities Instructions, Standard, and Techniques Volume 3-32

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณสมบัติของ Water Spray Nozzle

tyco / Fire & Building Products

Technical Services: Tel: (800) 381-9312 / Fax: (800) 791-5500

Type HV Directional Spray Nozzles, Open, High Velocity

General Description

The Type HV Nozzles are open (non-automatic) directional spray nozzles with individual inlet strainers. They are designed for use in water spray fixed systems for fire protection applications where a high velocity water application may be required, such as for the protection of flammable liquids.

The Type HV Nozzles feature an integral strainer for use when the Authority Having Jurisdiction (other than NFPA applications) requires the use of individual strainers in addition to main pipeline strainers for nozzles having an orifice diameter of 3/8 inch (9.5 mm) or less.

Available in brass or stainless steel, the six patterns of the Type HV Nozzles provide a wide variety of orifice sizes and distribution characteristics. As water passes through the internal swirl plate, a swirling action is produced, prior to the water being discharged through the orifice tip of the body, resulting in a solid conical spray pattern of water droplets being discharged over a defined area.

High velocity type nozzles are principally used in water spray systems for the protection of fixed hazards such as

transformers, circuit breakers, diesel engines and diesel storage tanks, turbo alternators, lube oil systems, oil fire boilers, and similar hazards. They are capable of rapidly extinguishing oil fires by emulsification, cooling, and smothering. The surface cooling effects of high velocity type nozzles also minimizes the possibility of reignition after a fire extinguishment.

It is recommended that the end user be consulted with respect to the suitability of the materials of construction for any given corrosive environment. The effects of ambient temperature, concentration of chemicals, and gas/chemical velocity, should be considered, at a minimum, along with the corrosive nature to which the nozzles may be exposed.

The Type HV Nozzles are a redesignation for the Gem Type HV.

WARNINGS

The Type HV Nozzles described herein must be installed and maintained in compliance with this document, as well as with the applicable standards of the National Fire Protection Association, in addition to the standards of any other authorities having jurisdiction. Failure to do so may impair the performance of these devices.

The design of individual water spray fixed systems can vary considerably, depending on the characteristics and nature of the hazard, the basic purpose of the spraying system, the configuration of the hazard, and wind/draft conditions. Because of these variations as well as the wide range of available nozzle spray characteristics, the design of water spray fixed systems for fire protection must only be performed by experienced designers who thoroughly understand the limitations as well as capabilities of such systems.

The owner is responsible for maintaining their fire protection system and de-



vices in proper operating condition. The installing contractor or sprinkler manufacturer should be contacted with any questions.

IMPORTANT

Always refer to Technical Data Sheet TFP700 for the "INSTALLER WARNING" that provides cautions with respect to handling and installation of sprinkler systems and components. Improper handling and installation can permanently damage a sprinkler system or its components and cause the nozzle to fail to operate in a fire situation.

Technical Data

Approvals

The Type HV Nozzles are UL and ULC Listed, as well as FM Approved.

Maximum Working Pressure

175 psi (12.1 bar).

Also refer to Figure 2, Note 2.

Discharge Coefficient

Refer to Figure 1.

Water Distribution

Refer to Figure 2 and 3. Optimum flowing pressure is 30 to 80 psi (2.1 to 5.5 bar).

Thread Connection

Refer to Figure 1.

Physical Characteristics

(Brass Assemblies)

Body	Brass
Swirl Plate	Brass
Strainer	Brass
Strainer	Copper

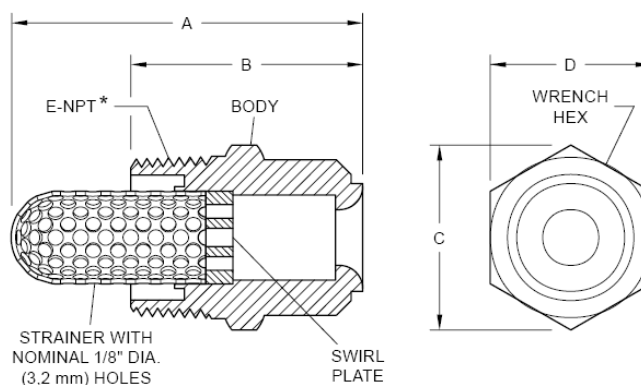
Physical Characteristics

(Stainless Steel Assemblies)

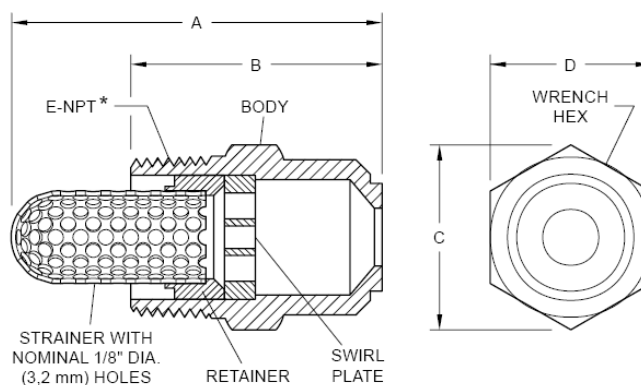
Body	Type 316
Swirl Plate	Type 316
Strainer	Type 316
Strainer	Type 316L

TYPE	K-FACTOR		Nominal Dimensions in Inches and (mm)				
	NFPA (GPM ÷ √psi)	ISO/SI (LPM ÷ √bar)	A	B	C	D	E-NPT*
HV-14	1.6	23,0	2.83 (71,9)	1.87 (47,1)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-17	1.8	25,9	2.83 (71,9)	1.87 (47,1)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-26	2.8	40,3	2.83 (71,9)	1.87 (47,1)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-37	4.6	66,2	3.00 (76,2)	2.03 (51,6)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-45	5.5	79,2	3.00 (76,2)	2.03 (51,6)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-60	6.4	92,2	4.56 (115,8)	3.41 (86,6)	1.90 (48,3)	1.65 (41,9)	1-1/4

* Pipe thread connections per ISO 7/1 can be provided on special request.

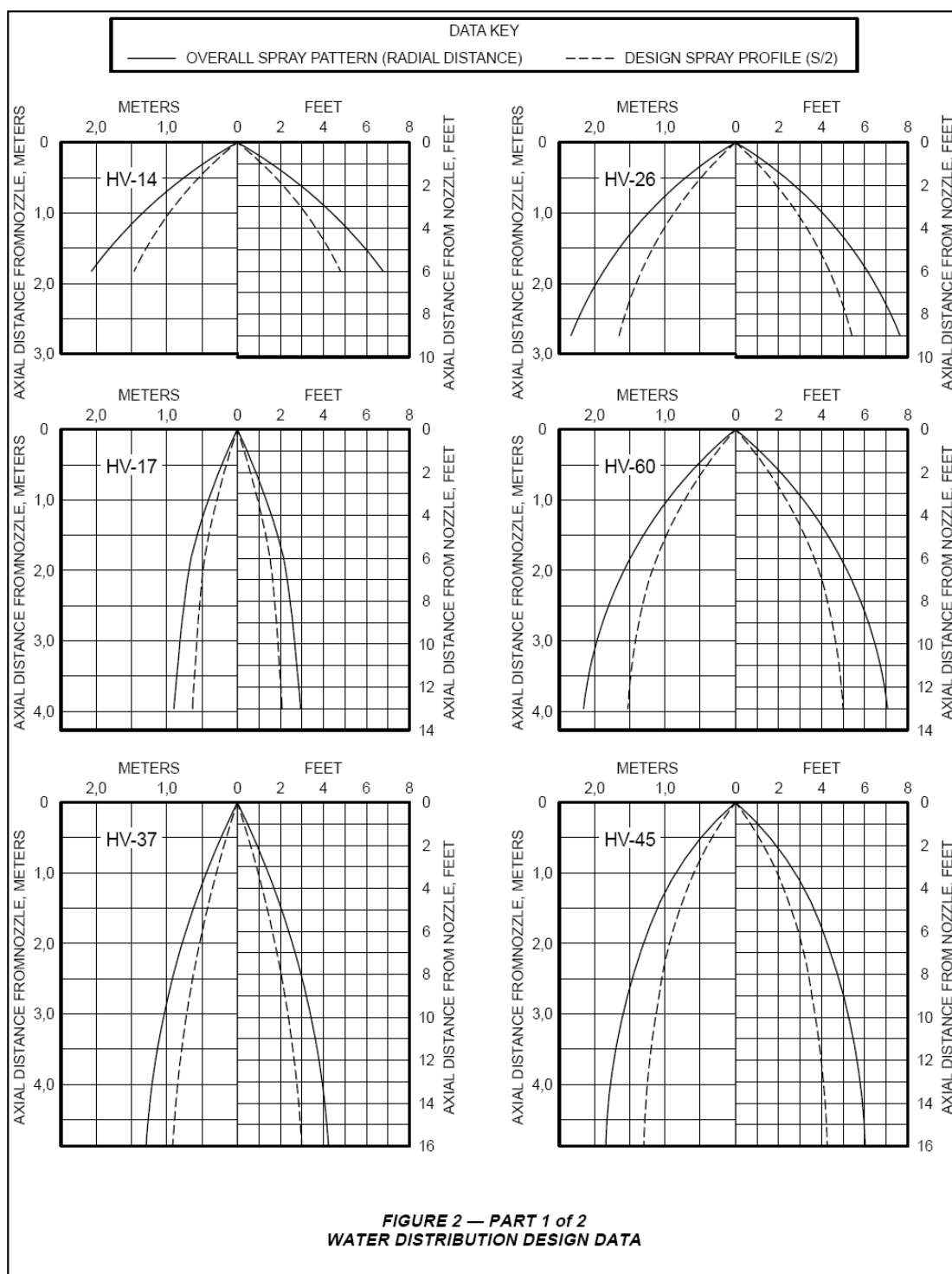


TYPE HV-14, HV-17, AND HV-26



TYPE HV-37, HV-45, AND HV-60

FIGURE 1
TYPE HV NOZZLES
NOMINAL DIMENSIONS



NOTES (Figures C-1 and C-2):

1. Design data applies to a maximum wind condition of 15 MPH (24 km/h).
2. Unless otherwise noted, design data applies to a residual (flowing) pressure range at the nozzle inlet of 30 to 80 psi (2,1 to 5,5 bar). For pressures up to 175 psi (12,1 bar) consult Tyco Fire & Building Products Technical Services.
3. The shapes of the Overall Spray Patterns and Design Spray Profiles remain essentially unchanged over the maximum recommended axial distances.

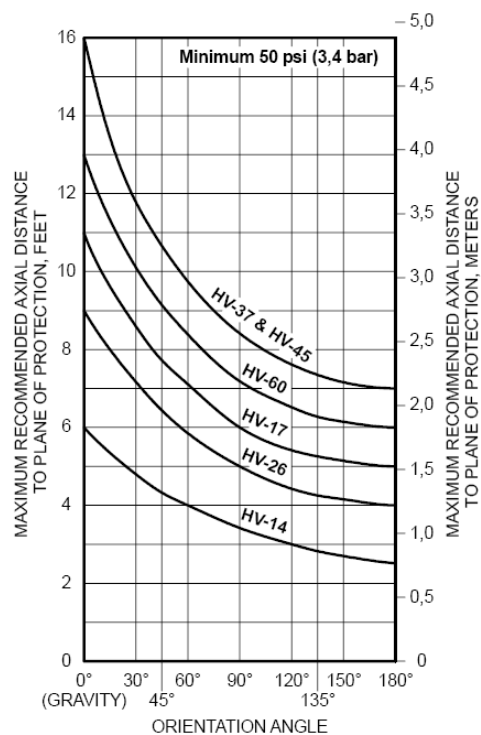
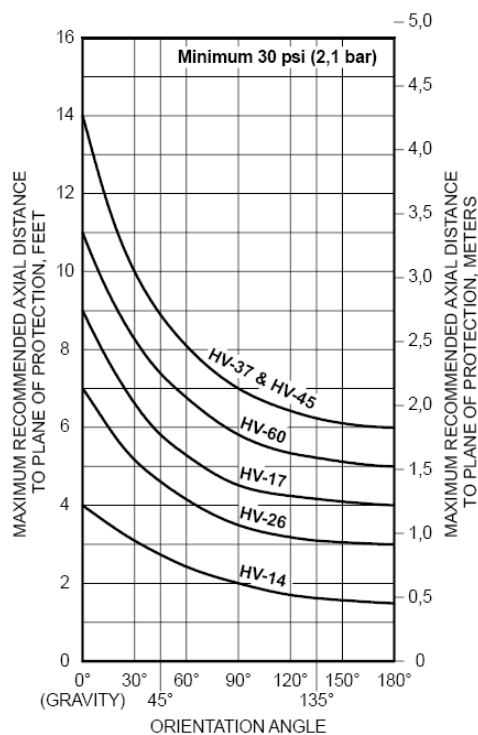
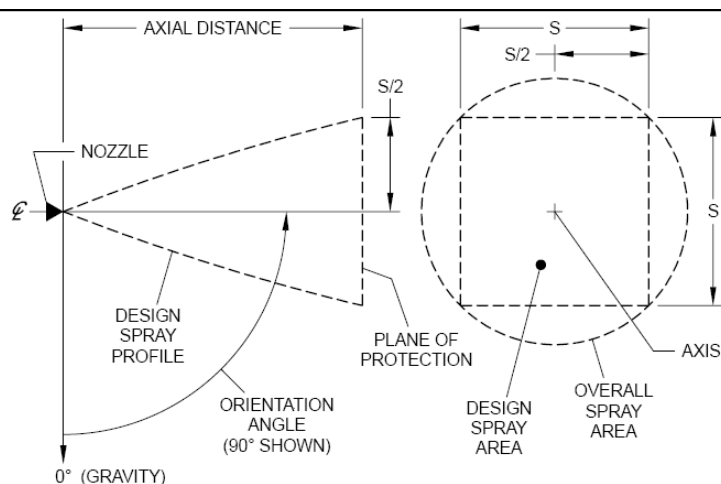


FIGURE 2 — PART 2 of 2
WATER DISTRIBUTION DESIGN DATA

NOTES:

1. Reference dta applies to still air.
2. The Overall Spray Patterns in the plan view are the same as those in Figure C-1.

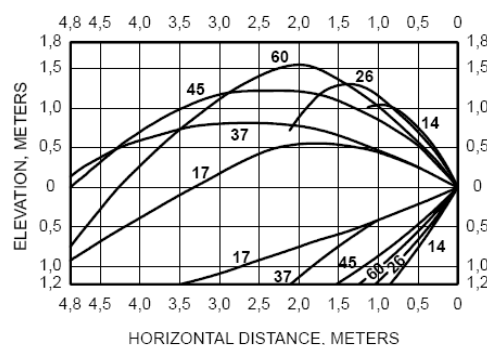
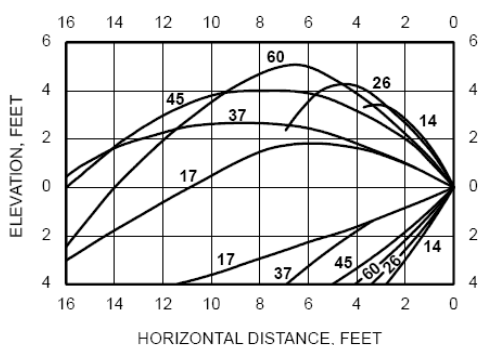


FIGURE 3
REFERENCE GUIDE SHOWING THE OVERALL VERTICAL SPRAY PATTERNS
WHEN PROJECTING WATER HORIZONTALLY BEYOND THE DESIGN PARAMETERS GIVEN IN FIGURE 2
— 30 to 80 PSI (2,1 to 5,5 bar) —

Design Criteria

Nozzle Placement. The nominal overall spray patterns, spacing, and maximum recommended axial distances for six patterns of the Type HV Nozzles are given in Figure 2 for residual (flowing) pressures of 30 to 80 psi (2,1 to 5,5 bar). A minimum residual pressure of 30 psi (2,1 bar) can typically be used for most applications; however, a minimum residual pressure of 50 psi (3,4 bar) is recommended for applications requiring higher velocity water delivery, such as those specifying rapid extinguishment of oil fires by emulsification.

With reference to Figure 2, use of the "Design Spray Profile" for the "Design Spray Area" will help assure that direct impingement on all surfaces will occur. The "Design Spray Area" shown at the top Figure 2 - Part 2 of 2 on Page 4 consists of the square of length "S" within the circular "Overall Spray Area".

The maximum recommended axial distances given in Figure 2 are based on maintaining the specified spray patterns under a maximum wind condition of 15 MPH (24 km/h).

Figure 3 provided a reference guide showing the overall still air spray patterns beyond the maximum 15 MPH (24 km/h) axial distances, when pro-

jecting horizontally. As shown in Figure 3, the spray patterns become non-concentric, beyond a certain point, due to the affects of gravity.

Main Pipeline Strainers. Even though individual strainers have been provided, main pipeline strainers are required for systems utilizing Type HV Nozzles, since their waterways are less than 3/8 inch (9,5 mm) diameter.

Installation

Type HV Nozzles must be installed in accordance with the following instructions:

NOTE

A leak tight 1 inch NPT nozzle joint should be obtained with a torque of 20 to 30 ft.lbs. (26,8 to 40,2 Nm). A leak tight 1-1/4 inch NPT nozzle joint should be obtained with a torque of 30 to 40 ft.lbs. (40,2 to 53,6 Nm). Higher levels of torque may distort the nozzle inlet and cause impairment of the nozzle.

Step 1. With pipe thread sealant applied to the pipe threads, hand tighten the nozzle into the nozzle fitting.

Step 2. Tighten the nozzle into the nozzle fitting using an adjustable crescent wrench. With reference to Figure 1 the adjustable crescent wrench is to be applied to the wrench hex.

Care and Maintenance

The Type HV Nozzles must be maintained and serviced in accordance with the following instructions:

NOTE

Before closing a fire protection system main control valve for maintenance work on the fire protection system that it controls, permission to shut down the affected fire protection system must be obtained from the proper authorities and all personnel who may be affected by this action must be notified.

Type HV Nozzles must never be painted, plated, coated or altered in any way after leaving the factory; otherwise, the spray performance may be impaired.

Care must be exercised to avoid damage to the nozzles - before, during, and after installation. Nozzles damaged by dropping, striking, wrench twist/slip-page, or the like, must be replaced.

Frequent visual inspections are recommended to be initially performed for nozzles installed in potentially corrosive atmospheres to verify the integrity of the materials of construction as they may be affected by the corrosive conditions present for a given installation. Thereafter, annual inspections per NFPA 25 are required.

Water spray fixed systems for fire protection service require regularly scheduled care and maintenance by trained personnel. In addition to inspecting nozzles for proper spray performance during water flow trip tests of the system, it is recommended that nozzles be periodically inspected for broken or missing parts or evidence of impaired protection. The inspections should be scheduled weekly or as frequently as may be necessary, and corrective action must be taken to ensure that the nozzles will perform as intended in the event of a fire.

The owner is responsible for the inspection, testing, and maintenance of their fire protection system and devices in compliance with this document, as well as with the applicable standards of the National Fire Protection Association (e.g., NFPA 25), in addition to the standards of any other authorities having jurisdiction. The installing contractor or sprinkler manufacturer should be contacted relative to any questions.

It is recommended that water spray fixed systems be inspected, tested, and maintained by a qualified Inspection Service in accordance with local requirements and/or national codes.

Limited Warranty

Products manufactured by Tyco Fire & Building Products (TFBP) are warranted solely to the original Buyer for ten (10) years against defects in material and workmanship when paid for and properly installed and maintained under normal use and service. This warranty will expire ten (10) years from date of shipment by TFBP. No warranty is given for products or components manufactured by companies not affiliated with ownership with TFBP or for products and components which have been subject to misuse, improper installation, corrosion, or which have not been installed, maintained, modified or repaired in accordance with applicable Standards of the National Fire Protection Association, and/or the standards of any other Authorities Having Jurisdiction. Materials found by TFBP to be defective shall be either repaired or replaced, at TFBP's sole option. TFBP neither assumes, nor authorizes any person to assume for it, any other obligation in connection with the sale of products or parts of products. TFBP shall not be responsible for sprinkler system design errors or inaccurate or incomplete information supplied by Buyer or Buyer's representatives.

In no event shall TFBP be liable, in contract, tort, strict liability or under any other legal theory, for incidental, indirect, special or consequential damages, including but not limited to labor charges, regardless of whether TFBP was informed about the possibility of such damages, and in no event shall TFBP's liability exceed an amount equal to the sales price.

The foregoing warranty is made in lieu of any and all other warranties, express or implied, including warranties of merchantability and fitness for a particular purpose.

This limited warranty sets forth the exclusive remedy for claims based on failure of or defect in products, materials or components, whether the claim is made in contract, tort, strict liability or any other legal theory.

This warranty will apply to the full extent permitted by law. The invalidity, in whole or part, of any portion of this warranty will not affect the remainder.

Ordering Procedure

When placing an order, indicate the full product name and P/N.

Contact your local distributor for availability.

HV Nozzles:

Specify: Type (number), (specify brass or stainless steel) Nozzle with (specify NPT or ISO 7/1) thread connection, P/N (specify).

Brass Assemblies, NPT

HV-14	P/N 49-014-1-001
HV-17	P/N 49-016-1-001
HV-26	P/N 49-026-1-001
HV-37	P/N 49-037-1-001
HV-45	P/N 49-045-1-001
HV-60	P/N 49-060-1-001

Stainless Steel Assemblies, NPT

HV-14	P/N 49-014-0-001
HV-17	P/N 49-016-0-001
HV-26	P/N 49-026-0-001
HV-37	P/N 49-037-0-001
HV-45	P/N 49-045-0-001
HV-60	P/N 49-060-0-001

Brass Assemblies, ISO 7/1

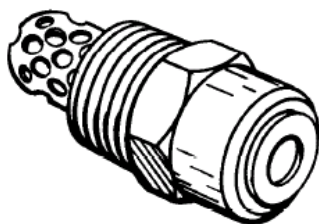
HV-14	P/N PBP55062
HV-17	P/N PBP55071
HV-26	P/N PBP55080
HV-37	P/N PBP55099
HV-45	P/N PBP55101
HV-60	P/N AEC00236

Stainless Steel Assemblies, ISO 7/1

HV-14	P/N AEC00012
HV-17	P/N AEC00021
HV-26	P/N AEC00030
HV-37	P/N AEC00049
HV-45	P/N AEC00058
HV-60	P/N AEC00263



DIRECTIONAL SPRAY NOZZLES w/STRAINER, OPEN TYPE HV (HIGH VELOCITY)



GENERAL DESCRIPTION

The Type HV High Velocity Nozzles are open (non-automatic) directional spray nozzles with individual inlet strainers (Ref. Figure A). They are designed for use in water spray fixed systems for fire protection applications where a high velocity water application may be required, such as for the protection of flammable liquids.

Available in either brass or stainless steel, the six patterns of the Type HV Nozzles provide a wide range of orifice sizes and distribution characteristics. As water passes through the internal swirl plate, a swirling action is produced, prior to the water being discharged through the orifice tip of the body, resulting in a solid conical spray pattern of water droplets being discharged over a defined area.

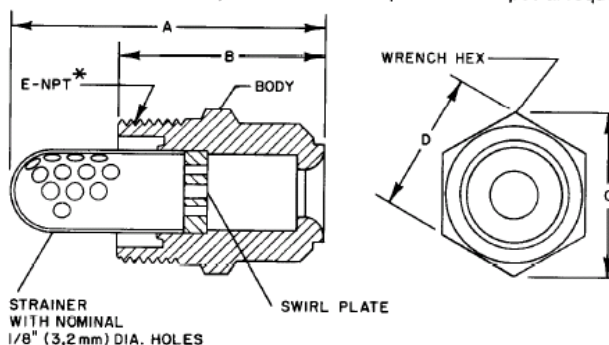
High velocity type nozzles are principally used in waterspray systems for the protection of fixed hazards such as transformers, circuit breakers, diesel engines and diesel storage tanks, turbo alternators, lube oil systems, oil fired boilers, and similar hazards. They are capable of rapidly extinguishing oil fires by emulsification, cooling, and smothering. The surface cooling effects of high velocity type nozzles also minimizes the possibility of reignition after a fire extinguishment.

APPROVALS AND STANDARDS

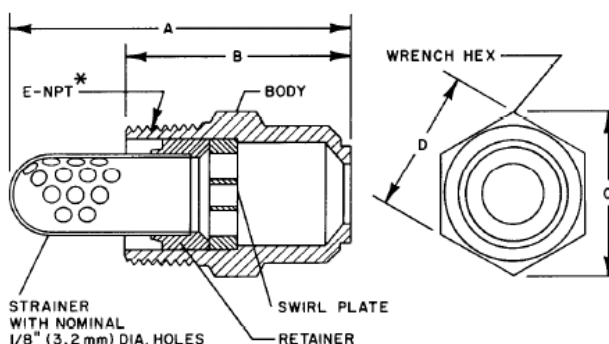
The brass and stainless steel Types HV-14 through HV-60 Nozzles are listed by Underwriters Laboratories,

DIMENSIONS IN INCHES AND (MM)					
TYPE	A	B	C	D	E-NPT*
HV-14	1.87 (47,1)	2.83 (71,9)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-17	1.87 (47,1)	2.83 (71,9)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-26	1.87 (47,1)	2.83 (71,9)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-37	2.03 (51,6)	3.00 (76,2)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-45	2.03 (51,6)	3.00 (76,2)	1.50 (38,1)	1.30 (33,0)	1
HV-60	3.41 (86,6)	4.56 (115,8)	1.90 (48,3)	1.65 (41,9)	1-1/4

* Pipe thread connections per ISO 7/1 can be provided on special request.

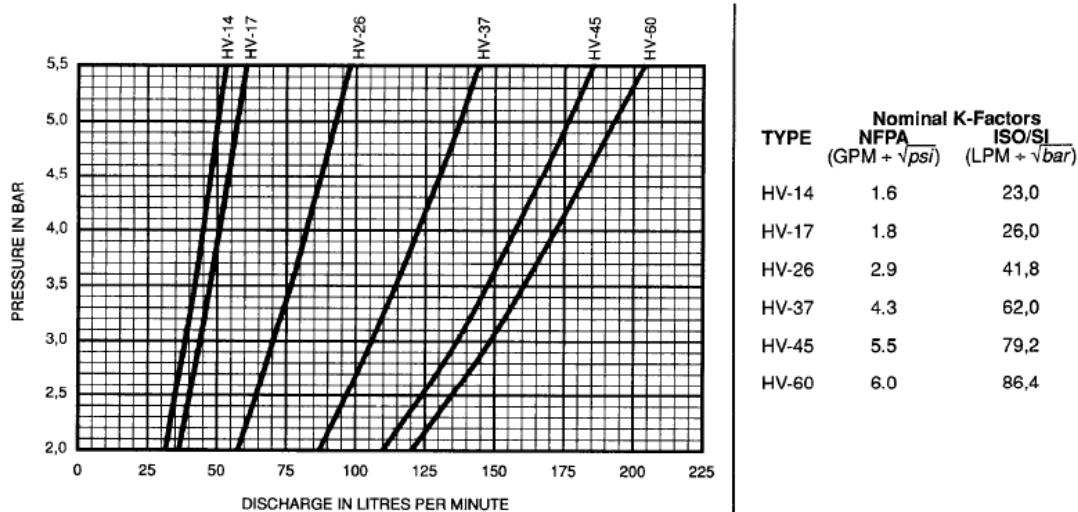


— TYPE HV-14, HV-17, AND HV-26 —



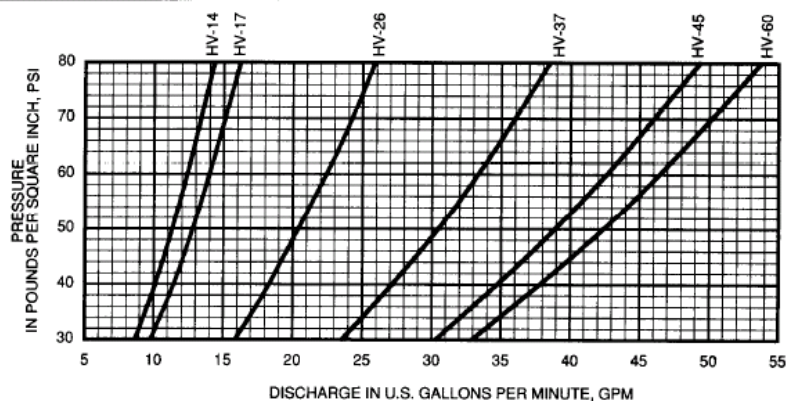
— TYPE HV-37, HV-45, AND HV-60 —

FIGURE A
TYPE HV HIGH VELOCITY NOZZLES



1 bar = 100 kPa

NOTE: $Q = K\sqrt{p}$; where "Q" = flow in liters per minute, "p" = pressure in bar, and "K" is the nominal discharge coefficient.



NOTE: $Q = K\sqrt{p}$; where "Q" = flow in U.S. gallons per minute, "p" = pressure in pounds per square inch, and "K" is the nominal discharge coefficient.

FIGURE B
NOMINAL DISCHARGE CURVES AND K-FACTORS
(Refer to the authority having jurisdiction for their minimum required residual pressure.)

Inc. and Underwriters' Laboratories of Canada. They are approved by the Factory Mutual Research Corporation and the Scientific Services Laboratory.

WARNINGS

The Type HV Nozzles described herein must be installed and maintained in compliance with this document, as well as with the applicable standards of the National Fire Protection Association, in addition to the standards of any other authorities having jurisdiction. Failure to do so may impair the integrity of these devices.

The design of individual water spray fixed systems can vary considerably, depending on the characteristics and nature of the hazard, the basic purpose of the spraying system, the configuration of the hazard, and

wind/draft conditions. Because of these variations as well as the wide range of available nozzle spray characteristics, the design of water spray fixed systems for fire protection must only be performed by experienced designers who thoroughly understand the limitations as well as capabilities of such systems.

The owner is responsible for main-

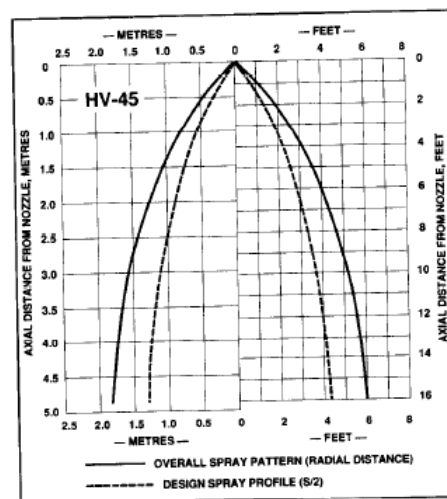
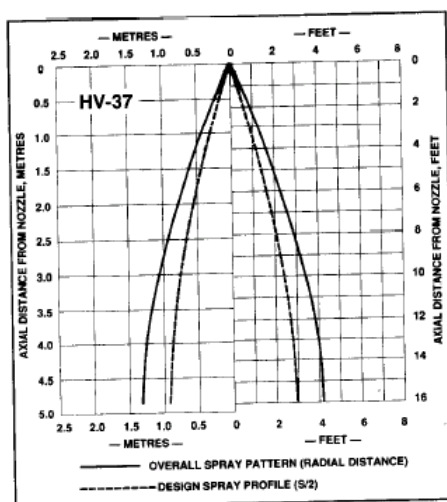
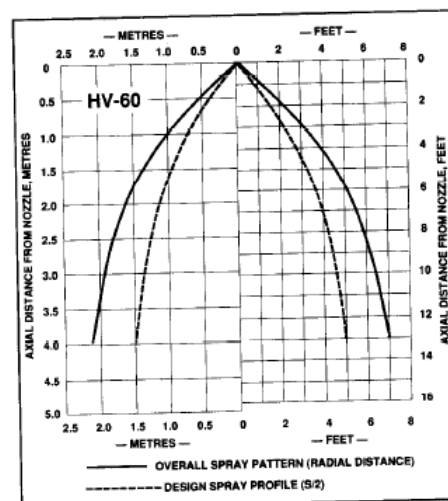
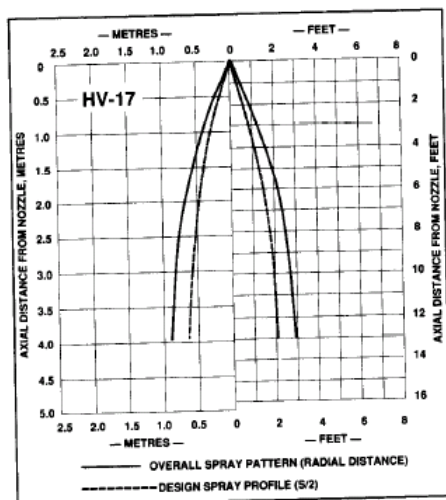
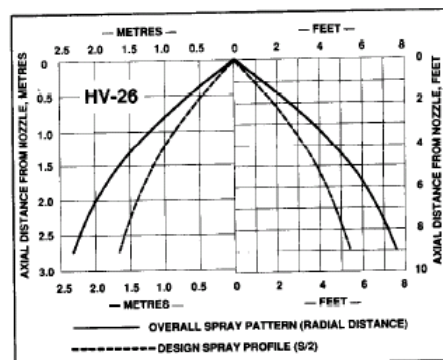
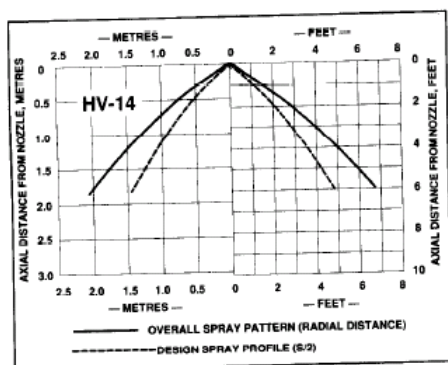


FIGURE C-1
— WATER DISTRIBUTION DESIGN DATA —
OVERALL SPRAY PATTERN AND DESIGN SPRAY PROFILE

NOTES (Figures C-1 and C-2):

1. Design data applies to a maximum wind condition of 15 MPH.
2. Unless otherwise noted, design data applies to a residual (flowing) pressure range at the nozzle inlet of 30 to 80 psi (2,1 to 5,5 bar). For pressures up to 175 psi (12,1 bar) consult the Technical Data Department.

Refer to the authority having jurisdiction for their minimum required residual pressure.
3. The shapes of the Overall Spray Patterns and Design Spray Profiles remain essentially unchanged over the Maximum Recommended Axial Distances.
4. See Technical Data Sheet TD680T for Drawing Templates of the Design Spray Profiles.

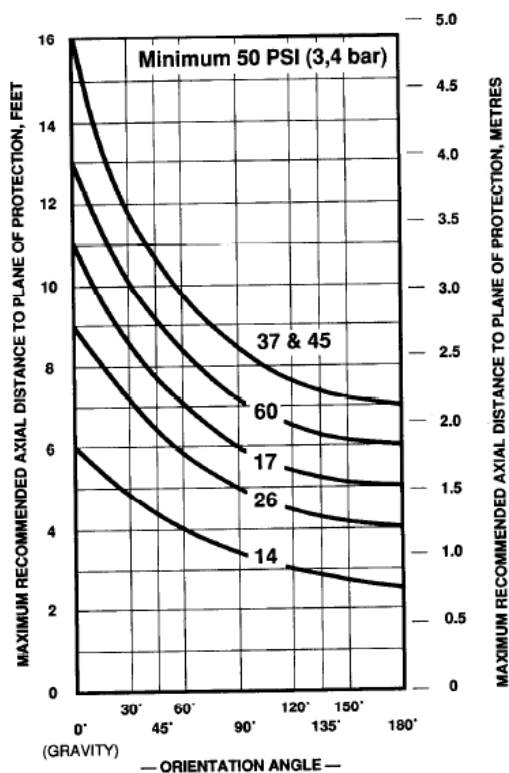
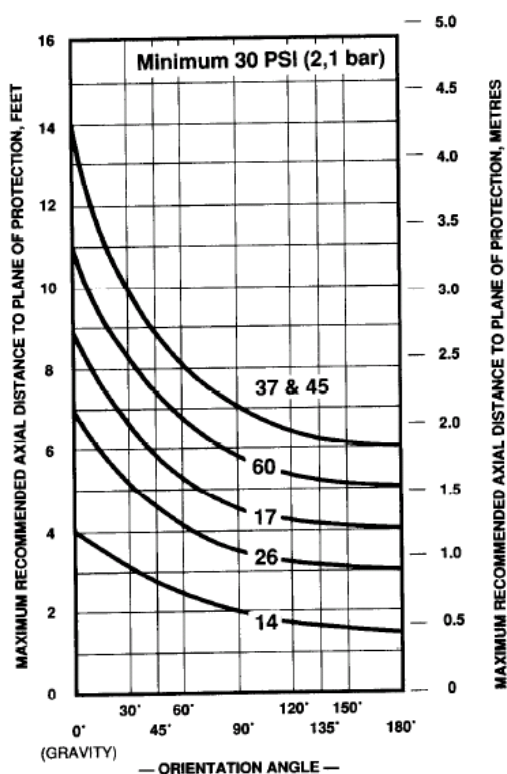
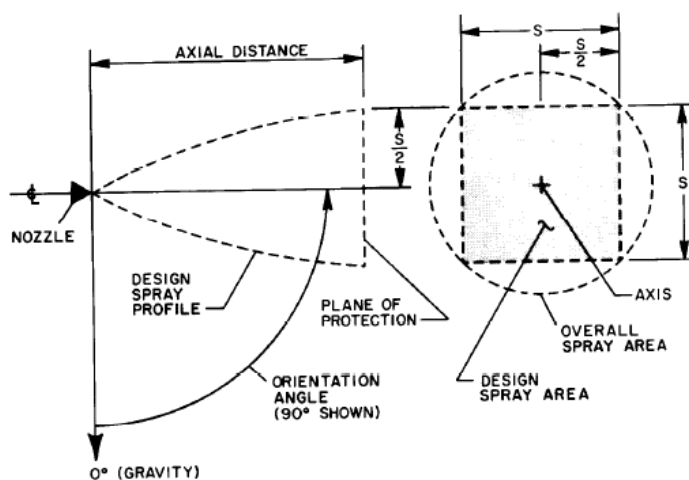


FIGURE C-2
— WATER DISTRIBUTION DESIGN DATA —
MAXIMUM RECOMMENDED AXIAL DISTANCE TO PLANE OF PROTECTION

NOTES:

1. Reference data applies to still air.
2. The Overall Spray Patterns in the plan view are the same as those shown in Figure C-1.

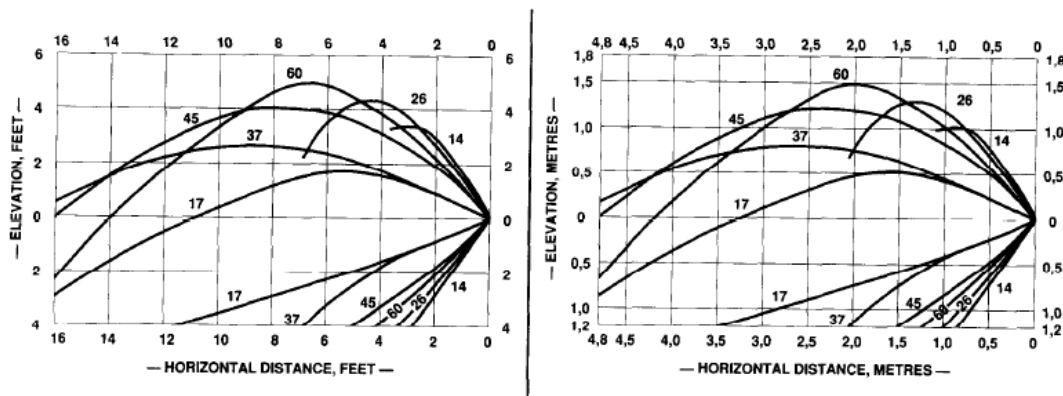


FIGURE D
REFERENCE GUIDE SHOWING THE OVERALL VERTICAL SPRAY PATTERNS
WHEN PROJECTING WATER HORIZONTALLY BEYOND THE DESIGN PARAMETERS GIVEN IN FIGURE C-2
— 30 to 80 PSI (2,1 to 5,5 bar) —

taining their fire protection system and devices in proper operating condition. The installing contractor or manufacturer should be contacted relative to any questions.

TECHNICAL DATA

The Type HV-14 through HV-60 Nozzles are rated for use at a maximum service pressure of 175 psi (12,1 bar). They are available in either brass or stainless steel, and the type designation (i.e., HV-14, HV-17, etc.) is stamped on the Body. The 1 inch NPT pipe thread connections for the HV-14 thru HV-45, as well as the 1-1/4 inch NPT connection for the HV-60, are threaded per ANSI Standard B1.20.1. Pipe thread connections per ISO 7/1 can be provided on special request.

NOTES

Refer to the Warning Section for an important notice concerning the design of individual water spray fixed systems.

Inquiries concerning nozzle installation and usage criteria, not covered by these instructions, should be mailed to the attention of the Technical Data Department. Include sketches and technical details, as appropriate.

Materials. The Body, Swirl Plate, and Retainer of the brass assemblies are brass per UNS C38510, and the

Strainer is copper per UNS C11000. The Body, Swirl Plate, and Retainer of the stainless steel assemblies are Type 316 stainless steel, and the Strainer is Type 316L stainless steel.

Discharge Capacity. The nominal discharge curves and K-factors for the six patterns of the Type HV Nozzles are given in Figure B.

Spray Patterns. The nominal overall spray patterns, spacing, and maximum recommended axial distances for the six patterns of the Type HV Nozzles are given in Figures C-1 and C-2 for residual (flowing) pressures of 30 psi (2,1 bar) to 80 psi (3,4 bar). A minimum residual pressure of 30 psi (2,1 bar) can typically be used for most applications; however, a minimum residual pressure of 50 psi (3,4 bar) is recommended for applications requiring high velocity water delivery, such as those specifying rapid extinguishment of oil fires by emulsification.

The maximum recommended axial distances given in Figure C-1 and C-2 are based on maintaining the specified spray patterns under a maximum wind condition of 15 MPH (24 km/h).

Figure D provides a reference guide showing the overall still air spray patterns beyond the maximum 15 MPH (24 km/h) axial distances, when the nozzles are projecting horizontally. As shown in Figure D, the spray patterns become non-concentric, beyond a certain point, due to the effects of gravity.

Main Pipeline Strainers. Even though individual strainers have been provided, main pipeline strainers are required for all systems utilizing Type HV Nozzles, since the waterways of the HV Nozzles are smaller than 3/8 inch (9,5mm) diameter. The individual strainers provided with the Type HV Nozzles are intended to meet the requirements of some authorities having jurisdiction which may specify the use of individual strainers in addition to main pipeline strainers.

INSTALLATION

The Type HV Nozzles must be installed by wrenching only on the hex portion of the Body.

CARE AND MAINTENANCE

Care must be exercised to avoid damage to the nozzles - both before and after installation. Nozzles damaged by dropping, striking, wrench twist/slip-page, or the like, must be replaced.

Water spray fixed systems for fire protection service require regularly scheduled care and maintenance by trained personnel. It is recommended that the HV Nozzles be periodically inspected for loading/obstructions, or other evidence of impaired protection. The inspections should be scheduled weekly or as frequently as may be nec-

essary and, corrective action taken to ensure that the nozzles will perform as intended in the event of a fire.

NOTE

Before closing a fire protection system main control valve for maintenance work on the fire protection system which it controls, permission to shut down the affected fire protection system must be obtained from the proper authorities and all personnel who may be affected by this action must be notified.

It is recommended that water spray fixed systems for fire protection be inspected by a qualified Inspection Service.

WARRANTY

Seller warrants for a period of one year from the date of shipment (warranty period) that the products furnished hereunder will be free from defects in material and workmanship.

For further details on Warranty, see Price List.

ORDERING PROCEDURE

Orders for Type HV Nozzles must include the description and Product Symbol Number (PSN), where applicable. Product Symbol Numbers are not specified when ordering special order Type HV Nozzles with thread connections per ISO 7/1.

Contact your local distributor for availability.

"Standard Order" HV Nozzles

w/ NPT Thread Connections:

Specify: Type (specify number), (specify brass or stainless steel) Nozzles, PSN (specify).

Brass Assemblies

HV-14	PSN 49-014-1-001
HV-17	PSN 49-017-1-001
HV-26	PSN 49-026-1-001
HV-37	PSN 49-037-1-001
HV-45	PSN 49-045-1-001
HV-60	PSN 49-060-1-001

Stainless Steel Assemblies

HV-14	PSN 49-014-0-001
HV-17	PSN 49-017-0-001
HV-26	PSN 49-026-0-001
HV-37	PSN 49-037-0-001
HV-45	PSN 49-045-0-001
HV-60	PSN 49-060-0-001

"Special Order" HV Nozzles

w/ Iso 7/1 Thread Connections :

Specify: Type (specify number), (specify brass or stainless steel) Nozzles with thread connection per ISO 7/1.

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงค่า C-factor ของท่อ

Table B-1 *c-Factors required for hydraulic calculations of sprinkler systems per NFPA 13.*

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

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

Table B-2 *Guide for estimating the Hazen-Williams coefficient of roughness, c, for situations involving moderately corrosive water.*

Kind of Pipe	Value of c
Cast Iron, Unlined:	
10 years old	90
15 years old	75
20 years old	65
30 years old	55
50 years old	50
Cast Iron, Unlined, New	120
Cast Iron, Cement Lined	140
Cast Iron, Bitumastic Enamel Lined	140
Average Steel, New	110
Asbestos—Cement	140
Reinforced Concrete	140
Plastic	150

Source: Reprinted with permission from the *Fire Protection Handbook*, 17th edition. Copyright © 1991, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269.

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ

Table C-1 Aboveground piping diameters (in inches).

Nominal Diameter												
	75"	1"	1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"	3.5"	4"	5"	6"	8"
Steel Pipe Diameter												
Schedule 10		1.097	1.442	1.682	2.157	2.635	3.26	3.76	4.26	5.295	6.357	8.249
Schedule 30												8.071
Schedule 40		1.049	1.38	1.61	2.067	2.469	3.068	3.548	4.026	5.047	6.065	7.981
Copper Pipe Diameter												
Type K	.745	.995	1.245	1.481	1.959	2.435	2.907	3.385	3.857	4.805	5.741	7.583
Type L	.785	1.025	1.265	1.505	1.985	2.465	2.945	3.425	3.905	4.875	5.845	7.725
Type M	.811	1.055	1.291	1.527	2.009	2.495	2.981	3.459	3.935	4.907	5.881	7.785
CPVC Plastic Pipe Diameter												
	.884	1.109	1.400	1.602	2.003	2.423	2.951					

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน

Friction Loss Table For 1" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 1.049

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV				
C-120	2	2	1	5		5				
C-100	1.43	1.43	0.71	3.57		3.57				

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
GPM	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC	GPM	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC	GPM	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
7	0.0261	0.0187	2.6	42	0.7194	0.5134	15.6	77	2.2079	1.5757	28.6
8	0.0335	0.0239	3.0	43	0.7514	0.5363	16.0	78	2.2612	1.6138	29.0
9	0.0416	0.0297	3.3	44	0.7841	0.5596	16.3	79	2.3151	1.6523	29.3
10	0.0506	0.0361	3.7	45	0.8173	0.5833	16.7	80	2.3696	1.6912	29.7
11	0.0603	0.0431	4.1	46	0.8513	0.6075	17.1	81	2.4247	1.7305	30.1
12	0.0709	0.0506	4.5	47	0.8858	0.6322	17.5	82	2.4804	1.7702	30.5
13	0.0822	0.0587	4.8	48	0.9210	0.6573	17.8	83	2.5366	1.8104	30.8
14	0.0943	0.0673	5.2	49	0.9568	0.6829	18.2	84	2.5935	1.8509	31.2
15	0.1071	0.0764	5.6	50	0.9932	0.7089	18.6	85	2.6509	1.8919	31.6
16	0.1207	0.0861	5.9	51	1.0303	0.7353	18.9	86	2.7088	1.9333	31.9
17	0.1350	0.0963	6.3	52	1.0680	0.7622	19.3	87	2.7674	1.9751	32.3
18	0.1500	0.1071	6.7	53	1.1063	0.7896	19.7	88	2.8265	2.0173	32.7
19	0.1658	0.1184	7.1	54	1.1452	0.8173	20.1	89	2.8862	2.0599	33.1
20	0.1823	0.1301	7.4	55	1.1848	0.8456	20.4				
21	0.1996	0.1424	7.8	56	1.2249	0.8742	20.8				
22	0.2175	0.1552	8.2	57	1.2657	0.9033	21.2				
23	0.2361	0.1685	8.5	58	1.3071	0.9329	21.5				
24	0.2555	0.1823	8.9	59	1.3491	0.9628	21.9				
25	0.2755	0.1966	9.3	60	1.3917	0.9932	22.3				
26	0.2963	0.2114	9.7	61	1.4349	1.0241	22.7				
27	0.3177	0.2267	10.0	62	1.4787	1.0554	23.0				
28	0.3398	0.2425	10.4	63	1.5231	1.0871	23.4				
29	0.3626	0.2588	10.8	64	1.5682	1.1192	23.8				
30	0.3860	0.2755	11.1	65	1.6138	1.1518	24.1				
31	0.4102	0.2927	11.5	66	1.6600	1.1848	24.5				
32	0.4350	0.3105	11.9	67	1.7069	1.2182	24.9				
33	0.4605	0.3286	12.3	68	1.7543	1.2520	25.3				
34	0.4866	0.3473	12.6	69	1.8023	1.2863	25.6				
35	0.5134	0.3664	13.0	70	1.8509	1.3210	26.0				
36	0.5409	0.3860	13.4	71	1.9002	1.3561	26.4				
37	0.5690	0.4061	13.7	72	1.9500	1.3917	26.7				
38	0.5978	0.4267	14.1	73	2.0004	1.4277	27.1				
39	0.6272	0.4477	14.5	74	2.0514	1.4640	27.5				
40	0.6573	0.4691	14.9	75	2.1029	1.5009	27.9				
41	0.6880	0.4911	15.2	76	2.1551	1.5381	28.2				

Friction Loss Table For 1½" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 1.38

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV					
C-120	2	3	1	6		7					
C-100	1.43	2.14	0.71	4.28		4.99					

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
7	0.0069	0.0049	1.5	42	0.1892	0.1350	9.0	77	0.5807	0.4144	16.5
8	0.0088	0.0063	1.7	43	0.1976	0.1410	9.2	78	0.5947	0.4244	16.7
9	0.0109	0.0078	1.9	44	0.2062	0.1472	9.4	79	0.6089	0.4346	17.0
10	0.0133	0.0095	2.1	45	0.2150	0.1534	9.7	80	0.6232	0.4448	17.2
11	0.0159	0.0113	2.4	46	0.2239	0.1598	9.9	81	0.6377	0.4551	17.4
12	0.0186	0.0133	2.6	47	0.2330	0.1663	10.1	82	0.6524	0.4656	17.6
13	0.0216	0.0154	2.8	48	0.2422	0.1729	10.3	83	0.6671	0.4761	17.8
14	0.0248	0.0177	3.0	49	0.2516	0.1796	10.5	84	0.6821	0.4868	18.0
15	0.0282	0.0201	3.2	50	0.2612	0.1864	10.7	85	0.6972	0.4976	18.2
16	0.0317	0.0226	3.4	51	0.2710	0.1934	10.9	86	0.7124	0.5085	18.5
17	0.0355	0.0253	3.6	52	0.2809	0.2005	11.2	87	0.7278	0.5195	18.7
18	0.0395	0.0282	3.9	53	0.2910	0.2077	11.4	88	0.7434	0.5306	18.9
19	0.0436	0.0311	4.1	54	0.3012	0.2150	11.6	89	0.7591	0.5418	19.1
20	0.0480	0.0342	4.3	55	0.3116	0.2224	11.8	90	0.7750	0.5531	19.3
21	0.0525	0.0375	4.5	56	0.3222	0.2299	12.0	91	0.7910	0.5645	19.5
22	0.0572	0.0408	4.7	57	0.3329	0.2376	12.2	92	0.8071	0.5760	19.7
23	0.0621	0.0443	4.9	58	0.3438	0.2453	12.4	93	0.8234	0.5877	20.0
24	0.0672	0.0480	5.2	59	0.3548	0.2532	12.7	94	0.8399	0.5994	20.2
25	0.0725	0.0517	5.4	60	0.3660	0.2612	12.9	95	0.8565	0.6113	20.4
26	0.0779	0.0556	5.6	61	0.3774	0.2693	13.1	96	0.8732	0.6232	20.6
27	0.0836	0.0596	5.8	62	0.3889	0.2776	13.3	97	0.8901	0.6353	20.8
28	0.0894	0.0638	6.0	63	0.4006	0.2859	13.5	98	0.9072	0.6475	21.0
29	0.0954	0.0681	6.2	64	0.4124	0.2944	13.7	99	0.9244	0.6597	21.2
30	0.1015	0.0725	6.4	65	0.4244	0.3029	14.0	100	0.9417	0.6721	21.5
31	0.1079	0.0770	6.7	66	0.4366	0.3116	14.2	105	1.0307	0.7356	22.5
32	0.1144	0.0817	6.9	67	0.4489	0.3204	14.4	107	1.0673	0.7617	23.0
33	0.1211	0.0864	7.1	68	0.4614	0.3293	14.6	109	1.1045	0.7883	23.4
34	0.1280	0.0913	7.3	69	0.4740	0.3383	14.8	111	1.1423	0.8152	23.8
35	0.1350	0.0964	7.5	70	0.4868	0.3474	15.0	113	1.1807	0.8426	24.3
36	0.1423	0.1015	7.7	71	0.4998	0.3567	15.2	115	1.2196	0.8704	24.7
37	0.1497	0.1068	7.9	72	0.5129	0.3660	15.5	120	1.3195	0.9417	25.8
38	0.1572	0.1122	8.2	73	0.5261	0.3755	15.7	130	1.5301	1.0920	27.9
39	0.1650	0.1177	8.4	74	0.5395	0.3851	15.9	140	1.7549	1.2525	30.0
40	0.1729	0.1234	8.6	75	0.5531	0.3947	16.1	150	1.9939	1.4230	32.2
41	0.1810	0.1291	8.8	76	0.5668	0.4045	16.3	160	2.2467	1.6035	34.3

Friction Loss Table For 1½" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 1.61

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV					
C-120	2	4	2	8		9					
C-100	1.43	2.85	1.43	5.70		6.42					

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
15	0.0133	0.0095	2.4	50	0.1233	0.0880	7.9	85	0.3291	0.2349	13.4
16	0.0150	0.0107	2.5	51	0.1279	0.0913	8.0	86	0.3363	0.2400	13.6
17	0.0168	0.0120	2.7	52	0.1326	0.0946	8.2	87	0.3436	0.2452	13.7
18	0.0186	0.0133	2.8	53	0.1373	0.0980	8.4	88	0.3509	0.2504	13.9
19	0.0206	0.0147	3.0	54	0.1422	0.1015	8.5	89	0.3583	0.2557	14.0
20	0.0226	0.0162	3.2	55	0.1471	0.1050	8.7	90	0.3658	0.2611	14.2
21	0.0248	0.0177	3.3	56	0.1521	0.1085	8.8	91	0.3734	0.2665	14.3
22	0.0270	0.0193	3.5	57	0.1571	0.1121	9.0	92	0.3810	0.2719	14.5
23	0.0293	0.0209	3.6	58	0.1623	0.1158	9.1	93	0.3887	0.2774	14.7
24	0.0317	0.0226	3.8	59	0.1675	0.1195	9.3	94	0.3964	0.2829	14.8
25	0.0342	0.0244	3.9	60	0.1728	0.1233	9.5	95	0.4043	0.2885	15.0
26	0.0368	0.0262	4.1	61	0.1781	0.1271	9.6	96	0.4122	0.2942	15.1
27	0.0394	0.0281	4.3	62	0.1836	0.1310	9.8	97	0.4202	0.2999	15.3
28	0.0422	0.0301	4.4	63	0.1891	0.1350	9.9	98	0.4282	0.3056	15.5
29	0.0450	0.0321	4.6	64	0.1947	0.1389	10.1	99	0.4363	0.3114	15.6
30	0.0479	0.0342	4.7	65	0.2003	0.1430	10.2	100	0.4445	0.3173	15.8
31	0.0509	0.0363	4.9	66	0.2061	0.1471	10.4	101	0.4528	0.3232	15.9
32	0.0540	0.0385	5.0	67	0.2119	0.1512	10.6	106	0.4951	0.3534	16.7
33	0.0572	0.0408	5.2	68	0.2178	0.1554	10.7	111	0.5392	0.3848	17.5
34	0.0604	0.0431	5.4	69	0.2238	0.1597	10.9	116	0.5850	0.4175	18.3
35	0.0637	0.0455	5.5	70	0.2298	0.1640	11.0	121	0.6325	0.4514	19.1
36	0.0672	0.0479	5.7	71	0.2359	0.1684	11.2	126	0.6817	0.4865	19.9
37	0.0706	0.0504	5.8	72	0.2421	0.1728	11.4	131	0.7326	0.5228	20.7
38	0.0742	0.0530	6.0	73	0.2483	0.1772	11.5	136	0.7851	0.5603	21.4
39	0.0779	0.0556	6.1	74	0.2547	0.1818	11.7	141	0.8394	0.5991	22.2
40	0.0816	0.0582	6.3	75	0.2611	0.1863	11.8	146	0.8953	0.6389	23.0
41	0.0854	0.0610	6.5	76	0.2675	0.1909	12.0	151	0.9528	0.6800	23.8
42	0.0893	0.0637	6.6	77	0.2741	0.1956	12.1	156	1.0120	0.7223	24.6
43	0.0933	0.0666	6.8	78	0.2807	0.2003	12.3	161	1.0728	0.7657	25.4
44	0.0973	0.0695	6.9	79	0.2874	0.2051	12.5	166	1.1353	0.8102	26.2
45	0.1015	0.0724	7.1	80	0.2942	0.2100	12.6	171	1.1993	0.8560	27.0
46	0.1057	0.0754	7.3	81	0.3010	0.2148	12.8	181	1.3323	0.9509	28.5
47	0.1100	0.0785	7.4	82	0.3079	0.2198	12.9	191	1.4717	1.0503	30.1
48	0.1143	0.0816	7.6	83	0.3149	0.2248	13.1	201	1.6174	1.1543	31.7
49	0.1188	0.0848	7.7	84	0.3220	0.2298	13.2	203	1.6473	1.1757	32.0

Friction Loss Table For 2" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 2.067

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV	BV				
C-120	3	5	2	10	1	11	6				
C-100	2.14	3.57	1.43	7.13	0.71	7.84	4.28				

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
30	0.0142	0.0101	2.9	100	0.1317	0.0940	9.6	170	0.3514	0.2508	16.3
32	0.0160	0.0114	3.1	102	0.1366	0.0975	9.8	172	0.3591	0.2563	16.5
34	0.0179	0.0128	3.3	104	0.1416	0.1010	9.9	174	0.3668	0.2618	16.6
36	0.0199	0.0142	3.4	106	0.1466	0.1047	10.1	176	0.3747	0.2674	16.8
38	0.0220	0.0157	3.6	108	0.1518	0.1083	10.3	178	0.3826	0.2730	17.0
40	0.0242	0.0172	3.8	110	0.1570	0.1121	10.5	180	0.3906	0.2787	17.2
42	0.0265	0.0189	4.0	112	0.1624	0.1159	10.7	182	0.3986	0.2845	17.4
44	0.0288	0.0206	4.2	114	0.1678	0.1197	10.9	184	0.4068	0.2903	17.6
46	0.0313	0.0223	4.4	116	0.1733	0.1236	11.1	186	0.4150	0.2962	17.8
48	0.0339	0.0242	4.6	118	0.1788	0.1276	11.3	188	0.4233	0.3021	18.0
50	0.0365	0.0261	4.8	120	0.1845	0.1317	11.5	190	0.4316	0.3081	18.2
52	0.0393	0.0280	5.0	122	0.1902	0.1357	11.7	195	0.4529	0.3232	18.7
54	0.0421	0.0301	5.2	124	0.1960	0.1399	11.9	200	0.4746	0.3387	19.1
56	0.0450	0.0321	5.4	126	0.2019	0.1441	12.1	205	0.4968	0.3546	19.6
58	0.0481	0.0343	5.5	128	0.2079	0.1483	12.2	210	0.5194	0.3707	20.1
60	0.0512	0.0365	5.7	130	0.2139	0.1527	12.4	215	0.5426	0.3872	20.6
62	0.0544	0.0388	5.9	132	0.2200	0.1570	12.6	220	0.5661	0.4040	21.0
64	0.0577	0.0412	6.1	134	0.2262	0.1615	12.8	225	0.5902	0.4212	21.5
66	0.0610	0.0436	6.3	136	0.2325	0.1660	13.0	230	0.6146	0.4387	22.0
68	0.0645	0.0460	6.5	138	0.2389	0.1705	13.2	235	0.6396	0.4565	22.5
70	0.0681	0.0486	6.7	140	0.2453	0.1751	13.4	240	0.6650	0.4746	23.0
72	0.0717	0.0512	6.9	142	0.2519	0.1798	13.6	245	0.6909	0.4931	23.4
74	0.0754	0.0538	7.1	144	0.2585	0.1845	13.8	250	0.7172	0.5118	23.9
76	0.0792	0.0566	7.3	146	0.2651	0.1892	14.0	255	0.7439	0.5309	24.4
78	0.0831	0.0593	7.5	148	0.2719	0.1941	14.2	260	0.7711	0.5504	24.9
80	0.0871	0.0622	7.7	150	0.2787	0.1989	14.3	265	0.7988	0.5701	25.4
82	0.0912	0.0651	7.8	152	0.2857	0.2039	14.5	270	0.8269	0.5902	25.8
84	0.0954	0.0681	8.0	154	0.2926	0.2089	14.7	275	0.8555	0.6105	26.3
86	0.0996	0.0711	8.2	156	0.2997	0.2139	14.9	280	0.8844	0.6312	26.8
88	0.1039	0.0742	8.4	158	0.3069	0.2190	15.1	285	0.9139	0.6522	27.3
90	0.1083	0.0773	8.6	160	0.3141	0.2242	15.3	295	0.9741	0.6952	28.2
92	0.1128	0.0805	8.8	162	0.3214	0.2294	15.5	305	1.0361	0.7394	29.2
94	0.1174	0.0838	9.0	164	0.3288	0.2346	15.7	315	1.0998	0.7849	30.1
96	0.1221	0.0871	9.2	166	0.3362	0.2400	15.9	325	1.1652	0.8316	31.1
98	0.1268	0.0905	9.4	168	0.3438	0.2453	16.1	335	1.2324	0.8796	32.0

Friction Loss Table For 2½" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 2.469"

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV	ALM VA	BV			
C-120	4	6	3	12	1	14	10	7			
C-100	2.85	4.28	2.14	8.56	0.71	9.98	7.13	4.99			

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
40	0.0102	0.0073	2.7	145	0.1102	0.0786	9.7	250	0.3018	0.2154	16.8
43	0.0116	0.0083	2.9	148	0.1144	0.0817	9.9	255	0.3131	0.2234	17.1
46	0.0132	0.0094	3.1	151	0.1188	0.0848	10.1	260	0.3245	0.2316	17.4
49	0.0148	0.0106	3.3	154	0.1232	0.0879	10.3	265	0.3362	0.2399	17.8
52	0.0165	0.0118	3.5	157	0.1276	0.0911	10.5	270	0.3480	0.2484	18.1
55	0.0183	0.0131	3.7	160	0.1322	0.0943	10.7	275	0.3600	0.2569	18.4
58	0.0202	0.0144	3.9	163	0.1368	0.0976	10.9	280	0.3722	0.2657	18.8
61	0.0222	0.0158	4.1	166	0.1415	0.1010	11.1	285	0.3846	0.2745	19.1
64	0.0243	0.0173	4.3	169	0.1463	0.1044	11.3	290	0.3972	0.2835	19.4
67	0.0264	0.0189	4.5	172	0.1511	0.1078	11.5	295	0.4100	0.2926	19.8
70	0.0286	0.0204	4.7	175	0.1560	0.1114	11.7	300	0.4229	0.3018	20.1
73	0.0310	0.0221	4.9	178	0.1610	0.1149	11.9	305	0.4360	0.3112	20.5
76	0.0333	0.0238	5.1	181	0.1661	0.1185	12.1	310	0.4493	0.3207	20.8
79	0.0358	0.0256	5.3	184	0.1712	0.1222	12.3	315	0.4628	0.3303	21.1
82	0.0384	0.0274	5.5	187	0.1764	0.1259	12.5	320	0.4765	0.3401	21.5
85	0.0410	0.0293	5.7	190	0.1817	0.1296	12.7	325	0.4904	0.3500	21.8
88	0.0437	0.0312	5.9	193	0.1870	0.1335	12.9	330	0.5044	0.3600	22.1
91	0.0465	0.0332	6.1	196	0.1924	0.1373	13.1	335	0.5187	0.3702	22.5
94	0.0494	0.0353	6.3	199	0.1979	0.1412	13.3	340	0.5331	0.3805	22.8
97	0.0524	0.0374	6.5	202	0.2035	0.1452	13.5	345	0.5477	0.3909	23.1
100	0.0554	0.0395	6.7	205	0.2091	0.1492	13.7	350	0.5625	0.4014	23.5
103	0.0585	0.0418	6.9	208	0.2148	0.1533	13.9	355	0.5774	0.4121	23.8
106	0.0617	0.0440	7.1	211	0.2205	0.1574	14.1	360	0.5925	0.4229	24.1
109	0.0650	0.0464	7.3	214	0.2264	0.1616	14.3	365	0.6079	0.4338	24.5
112	0.0683	0.0488	7.5	217	0.2323	0.1658	14.5	370	0.6234	0.4449	24.8
115	0.0718	0.0512	7.7	220	0.2383	0.1700	14.8	380	0.6549	0.4674	25.5
118	0.0753	0.0537	7.9	223	0.2443	0.1744	15.0	390	0.6871	0.4904	26.1
121	0.0788	0.0563	8.1	226	0.2504	0.1787	15.2	400	0.7201	0.5139	26.8
124	0.0825	0.0589	8.3	229	0.2566	0.1831	15.4	410	0.7537	0.5379	27.5
127	0.0862	0.0615	8.5	232	0.2629	0.1876	15.6	420	0.7881	0.5625	28.2
130	0.0900	0.0642	8.7	235	0.2692	0.1921	15.8	430	0.8231	0.5875	28.8
133	0.0939	0.0670	8.9	238	0.2756	0.1967	16.0	440	0.8589	0.6130	29.5
136	0.0979	0.0698	9.1	241	0.2820	0.2013	16.2	450	0.8954	0.6390	30.2
139	0.1019	0.0727	9.3	244	0.2886	0.2059	16.4	460	0.9325	0.6655	30.8
142	0.1060	0.0756	9.5	247	0.2952	0.2107	16.6	477	0.9973	0.7118	32.0

Friction Loss Table For 3" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 3.068"

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV	BV				
C-120	5	7	3	15	1	16	10				
C-100	3.57	4.99	2.14	10.70	0.71	11.41	7.13	0.00			

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
50	0.0053	0.0038	2.2	223	0.0848	0.0605	9.7	396	0.2454	0.1751	17.2
55	0.0064	0.0045	2.4	228	0.0884	0.0631	9.9	406	0.2570	0.1834	17.6
60	0.0075	0.0053	2.6	233	0.0920	0.0657	10.1	416	0.2688	0.1919	18.1
65	0.0087	0.0062	2.8	238	0.0957	0.0683	10.3	426	0.2809	0.2005	18.5
70	0.0099	0.0071	3.0	243	0.0994	0.0710	10.6	436	0.2932	0.2093	18.9
75	0.0113	0.0081	3.3	248	0.1032	0.0737	10.8	446	0.3058	0.2182	19.4
80	0.0127	0.0091	3.5	253	0.1071	0.0765	11.0	456	0.3186	0.2274	19.8
85	0.0142	0.0102	3.7	258	0.1111	0.0793	11.2	466	0.3316	0.2367	20.2
90	0.0158	0.0113	3.9	263	0.1151	0.0821	11.4	476	0.3449	0.2462	20.7
95	0.0175	0.0125	4.1	268	0.1192	0.0851	11.6	486	0.3585	0.2558	21.1
100	0.0192	0.0137	4.3	273	0.1233	0.0880	11.9	496	0.3722	0.2656	21.5
105	0.0211	0.0150	4.6	278	0.1275	0.0910	12.1	506	0.3862	0.2756	22.0
110	0.0229	0.0164	4.8	283	0.1318	0.0941	12.3	516	0.4005	0.2858	22.4
115	0.0249	0.0178	5.0	288	0.1362	0.0972	12.5	526	0.4149	0.2961	22.8
120	0.0270	0.0192	5.2	293	0.1406	0.1003	12.7	536	0.4296	0.3066	23.3
125	0.0291	0.0207	5.4	298	0.1450	0.1035	12.9	546	0.4446	0.3173	23.7
130	0.0313	0.0223	5.6	303	0.1496	0.1067	13.2	556	0.4598	0.3281	24.1
135	0.0335	0.0239	5.9	308	0.1542	0.1100	13.4	566	0.4752	0.3391	24.6
140	0.0359	0.0256	6.1	313	0.1588	0.1134	13.6	576	0.4908	0.3503	25.0
145	0.0383	0.0273	6.3	318	0.1635	0.1167	13.8	586	0.5067	0.3616	25.4
150	0.0407	0.0291	6.5	323	0.1683	0.1201	14.0	596	0.5228	0.3731	25.9
155	0.0433	0.0309	6.7	328	0.1732	0.1236	14.2	606	0.5392	0.3848	26.3
160	0.0459	0.0328	6.9	333	0.1781	0.1271	14.5	616	0.5557	0.3966	26.7
165	0.0486	0.0347	7.2	338	0.1831	0.1307	14.7	626	0.5726	0.4086	27.2
170	0.0513	0.0366	7.4	343	0.1881	0.1343	14.9	636	0.5896	0.4208	27.6
175	0.0542	0.0387	7.6	348	0.1932	0.1379	15.1	646	0.6069	0.4331	28.1
180	0.0571	0.0407	7.8	353	0.1984	0.1416	15.3	656	0.6243	0.4456	28.5
185	0.0600	0.0428	8.0	358	0.2036	0.1453	15.5	666	0.6421	0.4582	28.9
190	0.0631	0.0450	8.3	363	0.2089	0.1491	15.8	676	0.6600	0.4711	29.4
195	0.0662	0.0472	8.5	368	0.2143	0.1529	16.0	686	0.6782	0.4840	29.8
200	0.0694	0.0495	8.7	373	0.2197	0.1568	16.2	696	0.6966	0.4972	30.2
205	0.0726	0.0518	8.9	378	0.2252	0.1607	16.4	706	0.7152	0.5105	30.7
210	0.0759	0.0542	9.1	383	0.2307	0.1647	16.6	716	0.7341	0.5239	31.1
215	0.0793	0.0566	9.3	388	0.2363	0.1687	16.8	726	0.7532	0.5375	31.5
220	0.0827	0.0590	9.6	393	0.2420	0.1727	17.1	736	0.7725	0.5513	32.0

Friction Loss Table For 4" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 4.026"

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV	ALM VA	DRY VA			
C-120	6	10	4	20	2	22	20	20			
C-100	4.28	7.13	2.85	14.26	1.43	15.69	14.26	14.26			

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
100	0.0051	0.0037	2.5	450	0.0828	0.0591	11.3	800	0.2399	0.1713	20.2
110	0.0061	0.0044	2.8	460	0.0862	0.0615	11.6	815	0.2483	0.1772	20.6
120	0.0072	0.0051	3.0	470	0.0897	0.0640	11.9	830	0.2569	0.1833	20.9
130	0.0083	0.0059	3.3	480	0.0933	0.0666	12.1	845	0.2655	0.1895	21.3
140	0.0095	0.0068	3.5	490	0.0969	0.0691	12.4	860	0.2743	0.1958	21.7
150	0.0108	0.0077	3.8	500	0.1006	0.0718	12.6	875	0.2832	0.2021	22.1
160	0.0122	0.0087	4.0	510	0.1043	0.0745	12.9	890	0.2923	0.2086	22.4
170	0.0137	0.0098	4.3	520	0.1081	0.0772	13.1	905	0.3014	0.2151	22.8
180	0.0152	0.0108	4.5	530	0.1120	0.0800	13.4	920	0.3107	0.2218	23.2
190	0.0168	0.0120	4.8	540	0.1160	0.0828	13.6	935	0.3202	0.2285	23.6
200	0.0185	0.0132	5.0	550	0.1200	0.0856	13.9	950	0.3298	0.2353	24.0
210	0.0202	0.0144	5.3	560	0.1240	0.0885	14.1	965	0.3395	0.2423	24.3
220	0.0220	0.0157	5.5	570	0.1282	0.0915	14.4	980	0.3493	0.2493	24.7
230	0.0239	0.0171	5.8	580	0.1324	0.0945	14.6	995	0.3592	0.2564	25.1
240	0.0259	0.0185	6.1	590	0.1366	0.0975	14.9	1010	0.3693	0.2636	25.5
250	0.0279	0.0199	6.3	600	0.1409	0.1006	15.1	1025	0.3795	0.2709	25.8
260	0.0300	0.0214	6.6	610	0.1453	0.1037	15.4	1040	0.3899	0.2782	26.2
270	0.0322	0.0230	6.8	620	0.1497	0.1069	15.6	1055	0.4003	0.2857	26.6
280	0.0344	0.0246	7.1	630	0.1542	0.1101	15.9	1070	0.4109	0.2933	27.0
290	0.0367	0.0262	7.3	640	0.1588	0.1133	16.1	1085	0.4216	0.3009	27.4
300	0.0391	0.0279	7.6	650	0.1634	0.1166	16.4	1100	0.4325	0.3087	27.7
310	0.0415	0.0296	7.8	660	0.1681	0.1200	16.6	1115	0.4435	0.3165	28.1
320	0.0440	0.0314	8.1	670	0.1728	0.1234	16.9	1130	0.4546	0.3244	28.5
330	0.0466	0.0333	8.3	680	0.1776	0.1268	17.1	1145	0.4658	0.3324	28.9
340	0.0493	0.0352	8.6	690	0.1825	0.1303	17.4	1160	0.4771	0.3405	29.3
350	0.0520	0.0371	8.8	700	0.1874	0.1338	17.7	1175	0.4886	0.3487	29.6
360	0.0548	0.0391	9.1	710	0.1924	0.1373	17.9	1190	0.5002	0.3570	30.0
370	0.0576	0.0411	9.3	720	0.1975	0.1409	18.2	1205	0.5120	0.3654	30.4
380	0.0605	0.0432	9.6	730	0.2026	0.1446	18.4	1220	0.5238	0.3738	30.8
390	0.0635	0.0453	9.8	740	0.2077	0.1483	18.7	1235	0.5358	0.3824	31.1
400	0.0666	0.0475	10.1	750	0.2129	0.1520	18.9	1250	0.5479	0.3910	31.5
410	0.0697	0.0497	10.3	760	0.2182	0.1557	19.2	1265	0.5601	0.3997	31.9
420	0.0728	0.0520	10.6	770	0.2236	0.1596	19.4	1280	0.5725	0.4086	32.3
430	0.0761	0.0543	10.8	780	0.2290	0.1634	19.7	1295	0.5849	0.4175	32.7
440	0.0794	0.0567	11.1	790	0.2344	0.1673	19.9	1310	0.5975	0.4265	33.0

Friction Loss Table For 6" Sch. 40 Steel Pipe I.D. = 6.065

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90 ELL	45 ELL	TEE	GV	CV	ALM VA	DRY VA	BV		
C-120	9	14	7	30	3	32	18	19	10		
C-100	6.42	9.98	4.99	21.39	2.14	22.82	12.83	13.55	7.13		

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
400	0.0090	0.0065	4.4	1100	0.0588	0.0420	12.2	1800	0.1462	0.1044	20.0
420	0.0099	0.0071	4.7	1120	0.0608	0.0434	12.4	1830	0.1508	0.1076	20.3
440	0.0108	0.0077	4.9	1140	0.0628	0.0448	12.7	1860	0.1554	0.1109	20.7
460	0.0117	0.0084	5.1	1160	0.0649	0.0463	12.9	1890	0.1600	0.1142	21.0
480	0.0127	0.0090	5.3	1180	0.0669	0.0478	13.1	1920	0.1648	0.1176	21.3
500	0.0137	0.0098	5.6	1200	0.0691	0.0493	13.3	1950	0.1696	0.1210	21.7
520	0.0147	0.0105	5.8	1220	0.0712	0.0508	13.6	1980	0.1744	0.1245	22.0
540	0.0158	0.0113	6.0	1240	0.0734	0.0524	13.8	2010	0.1793	0.1280	22.3
560	0.0169	0.0120	6.2	1260	0.0756	0.0539	14.0	2040	0.1843	0.1315	22.7
580	0.0180	0.0128	6.4	1280	0.0778	0.0555	14.2	2070	0.1894	0.1351	23.0
600	0.0192	0.0137	6.7	1300	0.0801	0.0572	14.4	2100	0.1945	0.1388	23.3
620	0.0204	0.0145	6.9	1320	0.0824	0.0588	14.7	2130	0.1996	0.1425	23.7
640	0.0216	0.0154	7.1	1340	0.0847	0.0605	14.9	2160	0.2049	0.1462	24.0
660	0.0229	0.0163	7.3	1360	0.0871	0.0621	15.1	2190	0.2102	0.1500	24.3
680	0.0241	0.0172	7.6	1380	0.0894	0.0638	15.3	2220	0.2155	0.1538	24.7
700	0.0255	0.0182	7.8	1400	0.0919	0.0656	15.6	2250	0.2209	0.1577	25.0
720	0.0268	0.0192	8.0	1420	0.0943	0.0673	15.8	2280	0.2264	0.1616	25.3
740	0.0282	0.0202	8.2	1440	0.0968	0.0691	16.0	2310	0.2320	0.1656	25.7
760	0.0297	0.0212	8.4	1460	0.0993	0.0708	16.2	2340	0.2376	0.1696	26.0
780	0.0311	0.0222	8.7	1480	0.1018	0.0727	16.4	2370	0.2432	0.1736	26.3
800	0.0326	0.0233	8.9	1500	0.1044	0.0745	16.7	2400	0.2490	0.1777	26.7
820	0.0341	0.0244	9.1	1520	0.1069	0.0763	16.9	2430	0.2548	0.1818	27.0
840	0.0357	0.0255	9.3	1540	0.1096	0.0782	17.1	2460	0.2606	0.1860	27.3
860	0.0373	0.0266	9.6	1560	0.1122	0.0801	17.3	2490	0.2665	0.1902	27.7
880	0.0389	0.0278	9.8	1580	0.1149	0.0820	17.6	2520	0.2725	0.1945	28.0
900	0.0406	0.0289	10.0	1600	0.1176	0.0839	17.8	2550	0.2785	0.1988	28.3
920	0.0422	0.0301	10.2	1620	0.1203	0.0859	18.0	2580	0.2846	0.2031	28.7
940	0.0440	0.0314	10.4	1640	0.1231	0.0878	18.2	2610	0.2908	0.2075	29.0
960	0.0457	0.0326	10.7	1660	0.1259	0.0898	18.4	2640	0.2970	0.2120	29.3
980	0.0475	0.0339	10.9	1680	0.1287	0.0919	18.7	2670	0.3032	0.2164	29.7
1000	0.0493	0.0352	11.1	1700	0.1315	0.0939	18.9	2700	0.3096	0.2209	30.0
1020	0.0511	0.0365	11.3	1720	0.1344	0.0959	19.1	2730	0.3160	0.2255	30.3
1040	0.0530	0.0378	11.6	1740	0.1373	0.0980	19.3	2760	0.3224	0.2301	30.7
1060	0.0549	0.0392	11.8	1760	0.1403	0.1001	19.6	2790	0.3289	0.2348	31.0
1080	0.0568	0.0406	12.0	1780	0.1432	0.1022	19.8	2880	0.3488	0.2490	32.0

Friction Loss Table For 8" Sch. 30 Steel Pipe I.D. = 8.071

Equiv. Feet of Pipe

	LONG EL	90. ELL	45. ELL	TEE	GV	CV	ALM. VA	DRY. VA	BV		
C-120	13	18	9	35	4	45	35	27	12		
C-100	9.27	12.83	6.42	24.96	2.85	32.09	24.96	19.25	8.56		

Q	P	P	V	Q	P	P	V	Q	P	P	V
	PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC		PSI/FT	PSI/FT	FT/SEC
GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120		GPM	C-100	C-120	
500	0.0034	0.0024	3.1	1890	0.0398	0.0284	11.9	3280	0.1103	0.0788	20.6
540	0.0039	0.0028	3.4	1930	0.0414	0.0295	12.1	3330	0.1135	0.0810	20.9
580	0.0045	0.0032	3.6	1970	0.0430	0.0307	12.4	3380	0.1167	0.0833	21.2
620	0.0051	0.0036	3.9	2010	0.0446	0.0318	12.6	3430	0.1199	0.0855	21.5
660	0.0057	0.0041	4.1	2050	0.0463	0.0330	12.9	3480	0.1231	0.0879	21.8
700	0.0063	0.0045	4.4	2090	0.0479	0.0342	13.1	3530	0.1264	0.0902	22.1
740	0.0070	0.0050	4.6	2130	0.0496	0.0354	13.4	3580	0.1297	0.0926	22.5
780	0.0077	0.0055	4.9	2170	0.0514	0.0367	13.6	3630	0.1331	0.0950	22.8
820	0.0085	0.0061	5.1	2210	0.0532	0.0379	13.9	3680	0.1365	0.0974	23.1
860	0.0093	0.0066	5.4	2250	0.0549	0.0392	14.1	3730	0.1400	0.0999	23.4
900	0.0101	0.0072	5.6	2290	0.0568	0.0405	14.4	3780	0.1435	0.1024	23.7
940	0.0109	0.0078	5.9	2330	0.0586	0.0418	14.6	3830	0.1470	0.1049	24.0
980	0.0118	0.0084	6.1	2370	0.0605	0.0432	14.9	3880	0.1506	0.1075	24.3
1020	0.0127	0.0091	6.4	2410	0.0624	0.0445	15.1	3930	0.1542	0.1100	24.7
1060	0.0137	0.0097	6.7	2450	0.0643	0.0459	15.4	3980	0.1578	0.1126	25.0
1100	0.0146	0.0104	6.9	2490	0.0663	0.0473	15.6	4030	0.1615	0.1153	25.3
1140	0.0156	0.0111	7.2	2530	0.0683	0.0487	15.9	4080	0.1652	0.1179	25.6
1180	0.0166	0.0119	7.4	2570	0.0703	0.0502	16.1	4130	0.1690	0.1206	25.9
1220	0.0177	0.0126	7.7	2610	0.0723	0.0516	16.4	4180	0.1728	0.1233	26.2
1260	0.0188	0.0134	7.9	2650	0.0744	0.0531	16.6	4230	0.1767	0.1261	26.5
1300	0.0199	0.0142	8.2	2690	0.0765	0.0546	16.9	4280	0.1805	0.1289	26.9
1340	0.0211	0.0150	8.4	2730	0.0786	0.0561	17.1	4330	0.1845	0.1316	27.2
1380	0.0222	0.0159	8.7	2770	0.0807	0.0576	17.4	4380	0.1884	0.1345	27.5
1420	0.0234	0.0167	8.9	2810	0.0829	0.0592	17.6	4430	0.1924	0.1373	27.8
1460	0.0247	0.0176	9.2	2850	0.0851	0.0607	17.9	4480	0.1965	0.1402	28.1
1500	0.0260	0.0185	9.4	2890	0.0873	0.0623	18.1	4530	0.2005	0.1431	28.4
1540	0.0272	0.0194	9.7	2930	0.0896	0.0639	18.4	4580	0.2046	0.1461	28.7
1580	0.0286	0.0204	9.9	2970	0.0918	0.0655	18.6	4630	0.2088	0.1490	29.1
1620	0.0299	0.0214	10.2	3010	0.0941	0.0672	18.9	4680	0.2130	0.1520	29.4
1660	0.0313	0.0223	10.4	3050	0.0965	0.0688	19.1	4730	0.2172	0.1550	29.7
1700	0.0327	0.0233	10.7	3090	0.0988	0.0705	19.4	4780	0.2215	0.1581	30.0
1740	0.0342	0.0244	10.9	3130	0.1012	0.0722	19.6	4830	0.2258	0.1611	30.3
1780	0.0356	0.0254	11.2	3170	0.1036	0.0739	19.9	4880	0.2301	0.1642	30.6
1820	0.0371	0.0265	11.4	3210	0.1060	0.0757	20.1	4930	0.2345	0.1674	30.9
1860	0.0386	0.0276	11.7	3250	0.1085	0.0774	20.4	5100	0.2497	0.1782	32.0

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงการแปลงหน่วยจากหน่วยนิ้ว เป็น ฟุต

Inches converted to decimals of a foot.

Inches			Decimal of a Foot	Inches			Decimal of a Foot
0	$\frac{1}{8}$		.010416	6	$\frac{1}{8}$		.510416
	$\frac{1}{4}$		.020833		$\frac{1}{4}$		.520833
	$\frac{3}{8}$		.031250		$\frac{3}{8}$		.531250
	$\frac{1}{2}$		.041666		$\frac{1}{2}$		.541666
	$\frac{5}{8}$		.052083		$\frac{5}{8}$		.552083
	$\frac{3}{4}$		.062500		$\frac{3}{4}$		.562500
	$\frac{7}{8}$		.072916		$\frac{7}{8}$		.572916
1 .083333	$\frac{1}{8}$		.093750	7 .583333	$\frac{1}{8}$		.593750
	$\frac{1}{4}$		.104166		$\frac{1}{4}$		.604166
	$\frac{3}{8}$		.114583		$\frac{3}{8}$		.614583
	$\frac{1}{2}$		.125000		$\frac{1}{2}$		.625000
	$\frac{5}{8}$		.135416		$\frac{5}{8}$		.635416
	$\frac{3}{4}$		.145833		$\frac{3}{4}$		.645833
	$\frac{7}{8}$		.156250		$\frac{7}{8}$		.656250
2 .166666	$\frac{1}{8}$		.177083	8 .666666	$\frac{1}{8}$		.677083
	$\frac{1}{4}$		.187500		$\frac{1}{4}$		.687500
	$\frac{3}{8}$		.197916		$\frac{3}{8}$		.697916
	$\frac{1}{2}$		.208333		$\frac{1}{2}$		.708333
	$\frac{5}{8}$		.218750		$\frac{5}{8}$		.718750
	$\frac{3}{4}$		.229166		$\frac{3}{4}$		.729166
	$\frac{7}{8}$		.239583		$\frac{7}{8}$		.739583
3 .250	$\frac{1}{8}$		.260416	9 .750	$\frac{1}{8}$		.760416
	$\frac{1}{4}$		.270833		$\frac{1}{4}$		.770833
	$\frac{3}{8}$		.281250		$\frac{3}{8}$		.781250
	$\frac{1}{2}$		.291666		$\frac{1}{2}$		.791666
	$\frac{5}{8}$		.302083		$\frac{5}{8}$		.802083
	$\frac{3}{4}$		.312500		$\frac{3}{4}$		.812500
	$\frac{7}{8}$		.322916		$\frac{7}{8}$		.822916
4 .333333	$\frac{1}{8}$		.343750	10 .833333	$\frac{1}{8}$		.843750
	$\frac{1}{4}$		.354166		$\frac{1}{4}$		.854166
	$\frac{3}{8}$		.364583		$\frac{3}{8}$		.864583
	$\frac{1}{2}$		.375000		$\frac{1}{2}$		.875000
	$\frac{5}{8}$		.385416		$\frac{5}{8}$		.885416
	$\frac{3}{4}$		.395833		$\frac{3}{4}$		.895833
	$\frac{7}{8}$		.406250		$\frac{7}{8}$		.906250
5 .416666	$\frac{1}{8}$		.427083	11 .916666	$\frac{1}{8}$		.927083
	$\frac{1}{4}$		.437500		$\frac{1}{4}$		.937500
	$\frac{3}{8}$		.447916		$\frac{3}{8}$		.947916
	$\frac{1}{2}$		.458333		$\frac{1}{2}$		.958333
	$\frac{5}{8}$		.468750		$\frac{5}{8}$		.968750
	$\frac{3}{4}$		.479166		$\frac{3}{4}$		.979166
	$\frac{7}{8}$		.489583		$\frac{7}{8}$		.989583

ภาคผนวก จ

ตารางการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Hydraulic Calculation)

C= 120

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	5.63	4.00	5.00	14.63	0.1301	1.90	5.30	2.29	54.19
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1301	0.95	-	-	50.95
adjust		20.63											
branch C+A	54.19	40.63	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	0.4829	2.73	0.66	0.29	57.21
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1301	1.54	- 2.50	- 1.08	50.46
adjust		21.30											
branch ABC >> point 1	57.21	61.93	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0387	0.39	-	-	57.60
point 1 >> point 2	57.60	61.93	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.0387	0.53	-	-	58.13
branch >> point 2		61.93											57.60
adjust		62.21											
point 2 >> point 3	58.13	124.14	2.00	2.067	3.28	-	10.00	13.28	0.1402	1.86	-	-	59.99
branch >> point 3		61.93											57.60
adjust		63.20											
point 3 >> point 4	59.99	187.34	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.3001	4.08	-	-	64.07
branch >> point 4		61.93											57.60
adjust		65.32											
point 4 >> point 5	64.07	252.66	2.50	2.469	3.28	6.00	12.00	21.28	0.2197	4.68	-	-	68.75
branch >> point 5		61.93											57.60
adjust		67.66											
point 5 >> point 6	68.75	320.32	2.50	2.469	1.64	-	12.00	13.64	0.3407	4.65	-	-	73.40
branch >> point 6		61.93											57.60
adjust		69.91											
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	9.61	4.00	5.00	18.61	0.1301	2.42	5.30	2.29	54.71
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1301	0.95	-	-	50.95
adjust		20.72											
branch C+A	54.71	40.72	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	0.4849	2.74	0.66	0.29	57.74
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1301	1.54	- 2.50	- 1.08	50.46
adjust		21.39											
branch ABC >> point 7	57.74	62.11	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0389	0.39	-	-	58.13
point 6 >> point 7	73.40	390.23	3.00	3.068	1.64	-	15.00	16.64	0.1705	2.84	-	-	76.24
branch >> point 7		62.11											58.13
adjust		71.13											
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.99	4.00	5.00	9.99	0.1301	1.30	0.66	0.29	51.59
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1301	1.54	- 2.50	- 1.08	50.46
adjust		20.22											
branch AB >> point 8	51.59	40.22	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0174	0.17	-	-	51.76
point 7 >> point 8	76.24	461.36	3.00	3.068	2.62	7.00	15.00	24.62	0.2323	5.72	-	-	81.96
branch >> point 8		40.22											51.76
adjust		50.61											
point 8 >> point 9	81.96	511.97	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.0750	1.72	-	-	83.68
branch >> point 9		40.22											51.76
adjust		51.14											
point 9 >> point 10	83.68	563.11	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.0894	2.05	-	-	85.73
branch >> point 10		40.22											51.76
adjust		51.76											
point 10 >> point 11	85.73	614.87	4.00	4.026	3.28	10.00	20.00	33.28	0.1052	3.50	-	-	89.23
branch >> point 11		40.22											51.76
adjust		52.81											
point 11 >> point 12	89.23	667.68	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.1226	2.85	-	-	92.08
branch >> point 12		40.22											51.76
adjust		53.64											
point 12 >> point 13	92.08	721.32	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.1414	3.29	-	-	95.37
branch >> point 13		40.22											51.76
adjust		54.59											
point 13 >> point 14	95.37	775.91	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.1618	3.77	-	-	99.14
branch >> point 14		40.22											51.76
adjust		55.66											
point 14 >> common point	99.14	831.57	4.00	4.026	-	-	20.00	20.00	0.1840	3.68	-	-	102.82
other side >> common point		831.57											102.82
common point >> pump	102.82	1,663.14	6.00	6.065	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0902	7.76	- 9.50	- 4.11	106.47

C= 90

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	5.63	4.00	5.00	14.63	0.2216	3.24	5.30	2.29	55.53
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.2216	1.62	-	-	51.62
adjust		20.74											
branch C+A	55.53	40.74	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	0.8263	4.68	0.66	0.29	60.50
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.2216	2.62	- 2.50 -	1.08	51.54
adjust		21.67											
branch ABC >> point 1	60.50	62.41	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0669	0.67	-	-	61.17
point 1 >> point 2	61.17	62.41	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.0669	0.91	-	-	62.08
branch >> point 2		62.41											61.17
adjust		62.87											
point 2 >> point 3	62.08	125.28	2.00	2.067	3.28	-	10.00	13.28	0.2428	3.22	-	-	65.30
branch >> point 3		62.41											61.17
adjust		64.48											
point 3 >> point 4	65.30	189.76	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.5233	7.12	-	-	72.42
branch >> point 4		62.41											61.17
adjust		67.91											
point 4 >> point 5	72.42	257.67	2.50	2.469	3.28	6.00	12.00	21.28	0.3879	8.25	-	-	80.67
branch >> point 5		62.41											61.17
adjust		71.67											
point 5 >> point 6	80.67	329.34	2.50	2.469	1.64	-	12.00	13.64	0.6107	8.33	-	-	89.00
branch >> point 6		62.41											61.17
adjust		75.28											
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	9.61	4.00	5.00	18.61	0.2216	4.12	5.30	2.29	56.41
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.2216	1.62	-	-	51.62
adjust		20.91											
branch C+A	56.41	40.91	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	0.8327	4.71	0.66	0.29	61.41
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.2216	2.62	- 2.50 -	1.08	51.54
adjust		21.83											
branch ABC >> point 7	61.41	62.74	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0675	0.68	-	-	62.09
point 6 >> point 7	89.00	404.62	3.00	3.068	1.64	-	15.00	16.64	0.3103	5.16	-	-	94.16
branch >> point 7		62.74											62.09
adjust		77.26											
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.99	4.00	5.00	9.99	0.2216	2.21	0.66	0.29	52.50
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.2216	2.62	- 2.50 -	1.08	51.54
adjust		20.19											
branch AB >> point 8	52.50	40.19	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0296	0.30	-	-	52.80
point 7 >> point 8	94.16	481.88	3.00	3.068	2.62	7.00	15.00	24.62	0.4288	10.56	-	-	104.72
branch >> point 8		40.19											52.80
adjust		56.60											
point 8 >> point 9	104.72	538.48	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.1402	3.22	-	-	107.94
branch >> point 9		40.19											52.80
adjust		57.46											
point 9 >> point 10	107.94	595.94	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.1691	3.88	-	-	111.82
branch >> point 10		40.19											52.80
adjust		58.49											
point 10 >> point 11	111.82	654.43	4.00	4.026	3.28	10.00	20.00	33.28	0.2011	6.69	-	-	118.51
branch >> point 11		40.19											52.80
adjust		60.21											
point 11 >> point 12	118.51	714.64	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.2367	5.51	-	-	124.02
branch >> point 12		40.19											52.80
adjust		61.60											
point 12 >> point 13	124.02	776.24	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.2758	6.42	-	-	130.44
branch >> point 13		40.19											52.80
adjust		63.17											
point 13 >> point 14	130.44	839.41	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.3187	7.42	-	-	137.86
branch >> point 14		40.19											52.80
adjust		64.94											
point 14 >> common point	137.86	904.35	4.00	4.026	-	-	20.00	20.00	0.3658	7.32	-	-	145.18
other side >> common point		904.35											145.18
common point >> pump	145.18	1,808.70	6.00	6.065	20.00	28.00	38.00	86.00	0.1793	15.42	- 9.50 -	4.11	156.49

C= 75

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	5.63	4.00	5.00	14.63	0.3105	4.54	5.30	2.29	56.83
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.3105	2.28	-	-	52.28
adjust		20.85											
branch C+A	56.83	40.85	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	1.1636	6.59	0.66	0.29	63.71
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.3105	3.67	- 2.50 -	1.08	52.59
adjust		22.01											
branch ABC >> point 1	63.71	62.86	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0950	0.95	-	-	64.66
point 1 >> point 2	64.66	62.86	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.0950	1.29	-	-	65.95
branch >> point 2		62.86											64.66
adjust		63.48											
point 2 >> point 3	65.95	126.34	2.00	2.067	3.28	-	10.00	13.28	0.3455	4.59	-	-	70.54
branch >> point 3		62.86											64.66
adjust		65.66											
point 3 >> point 4	70.54	192.00	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.7493	10.20	-	-	80.74
branch >> point 4		62.86											64.66
adjust		70.24											
point 4 >> point 5	80.74	262.24	2.50	2.469	3.28	6.00	12.00	21.28	0.5614	11.95	-	-	92.69
branch >> point 5		62.86											64.66
adjust		75.26											
point 5 >> point 6	92.69	337.50	2.50	2.469	1.64	-	12.00	13.64	0.8954	12.21	-	-	104.90
branch >> point 6		62.86											64.66
adjust		80.07											
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	9.61	4.00	5.00	18.61	0.3105	5.78	5.30	2.29	58.07
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.3105	2.28	-	-	52.28
adjust		21.08											
branch C+A	58.07	41.08	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	1.1757	6.65	0.66	0.29	65.01
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.3105	3.67	- 2.50 -	1.08	52.59
adjust		22.24											
branch ABC >> point 7	65.01	63.32	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0963	0.96	-	-	65.97
point 6 >> point 7	104.90	417.57	3.00	3.068	1.64	-	15.00	16.64	0.4609	7.67	-	-	112.57
branch >> point 7		63.32											65.97
adjust		82.71											
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.99	4.00	5.00	9.99	0.3105	3.10	0.66	0.29	53.39
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.3105	3.67	- 2.50 -	1.08	52.59
adjust		20.15											
branch AB >> point 8	53.39	40.15	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0414	0.41	-	-	53.80
point 7 >> point 8	112.57	500.28	3.00	3.068	2.62	7.00	15.00	24.62	0.6439	15.85	-	-	128.42
branch >> point 8		40.15											53.80
adjust		62.03											
point 8 >> point 9	128.42	562.31	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.2128	4.88	-	-	133.30
branch >> point 9		40.15											53.80
adjust		63.20											
point 9 >> point 10	133.30	625.51	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.2592	5.95	-	-	139.25
branch >> point 10		40.15											53.80
adjust		64.59											
point 10 >> point 11	139.25	690.10	4.00	4.026	3.28	10.00	20.00	33.28	0.3108	10.34	-	-	149.59
branch >> point 11		40.15											53.80
adjust		66.95											
point 11 >> point 12	149.59	757.05	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.3689	8.59	-	-	158.18
branch >> point 12		40.15											53.80
adjust		68.84											
point 12 >> point 13	158.18	825.89	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.4334	10.09	-	-	168.27
branch >> point 13		40.15											53.80
adjust		71.01											
point 13 >> point 14	168.27	896.90	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.5048	11.75	-	-	180.02
branch >> point 14		40.15											53.80
adjust		73.44											
point 14 >> common point	180.02	970.34	4.00	4.026	-	-	20.00	20.00	0.5839	11.68	-	-	191.70
other side >> common point		970.34											191.70
common point >> pump	191.70	1,940.68	6.00	6.065	20.00	28.00	38.00	86.00	0.2862	24.61	- 9.50 -	4.11	212.20

C= 65

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	5.63	4.00	5.00	14.63	0.4046	5.92	5.30	2.29	58.21
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.4046	2.97	-	-	52.97
adjust		20.97											
branch C+A	58.21	40.97	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	1.5245	8.63	0.66	0.29	67.13
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.4046	4.79	- 2.50 -	1.08	53.71
adjust		22.36											
branch ABC >> point 1	67.13	63.33	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.1255	1.26	-	-	68.39
point 1 >> point 2	68.39	63.33	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.1255	1.71	-	-	70.10
branch >> point 2		63.33											68.39
adjust		64.12											
point 2 >> point 3	70.10	127.45	2.00	2.067	3.28	-	10.00	13.28	0.4575	6.08	-	-	76.18
branch >> point 3		63.33											68.39
adjust		66.84											
point 3 >> point 4	76.18	194.29	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.9981	13.58	-	-	89.76
branch >> point 4		63.33											68.39
adjust		72.55											
point 4 >> point 5	89.76	266.84	2.50	2.469	3.28	6.00	12.00	21.28	0.7555	16.08	-	-	105.84
branch >> point 5		63.33											68.39
adjust		78.78											
point 5 >> point 6	105.84	345.62	2.50	2.469	1.64	-	12.00	13.64	1.2192	16.63	-	-	122.47
branch >> point 6		63.33											68.39
adjust		84.75											
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	9.61	4.00	5.00	18.61	0.4046	7.53	5.30	2.29	59.82
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.4046	2.97	-	-	52.97
adjust		21.25											
branch C+A	59.82	41.25	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	1.5439	8.74	0.66	0.29	68.85
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.4046	4.79	- 2.50 -	1.08	53.71
adjust		22.64											
branch ABC >> point 7	68.85	63.89	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.1275	1.28	-	-	70.13
point 6 >> point 7	122.47	430.37	3.00	3.068	1.64	-	15.00	16.64	0.6351	10.57	-	-	133.04
branch >> point 7		63.89											70.13
adjust		88.00											
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.99	4.00	5.00	9.99	0.4046	4.04	0.66	0.29	54.33
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.4046	4.79	- 2.50 -	1.08	53.71
adjust		20.12											
branch AB >> point 8	54.33	40.12	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0539	0.54	-	-	54.87
point 7 >> point 8	133.04	518.37	3.00	3.068	2.62	7.00	15.00	24.62	0.8961	22.06	-	-	155.10
branch >> point 8		40.12											54.87
adjust		67.45											
point 8 >> point 9	155.10	585.82	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.2991	6.86	-	-	161.96
branch >> point 9		40.12											54.87
adjust		68.93											
point 9 >> point 10	161.96	654.75	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.3675	8.43	-	-	170.39
branch >> point 10		40.12											54.87
adjust		70.70											
point 10 >> point 11	170.39	725.45	4.00	4.026	3.28	10.00	20.00	33.28	0.4443	14.79	-	-	185.18
branch >> point 11		40.12											54.87
adjust		73.70											
point 11 >> point 12	185.18	799.15	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.5313	12.37	-	-	197.55
branch >> point 12		40.12											54.87
adjust		76.13											
point 12 >> point 13	197.55	875.28	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.6288	14.64	-	-	212.19
branch >> point 13		40.12											54.87
adjust		78.90											
point 13 >> point 14	212.19	954.18	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.7376	17.17	-	-	229.36
branch >> point 14		40.12											54.87
adjust		82.03											
point 14 >> common point	229.36	1,036.21	4.00	4.026	-	-	20.00	20.00	0.8592	17.18	-	-	246.54
other side >> common point		1,036.21											246.54
common point >> pump	246.54	2,072.42	6.00	6.065	20.00	28.00	38.00	86.00	0.4211	36.21	- 9.50 -	4.11	278.64

C= 55

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	5.63	4.00	5.00	14.63	0.5511	8.06	5.30	2.29	60.35
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.5511	4.04	-	-	54.04
adjust		21.14											
branch C+A	60.35	41.14	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	2.0926	11.84	0.66	0.29	72.48
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.5511	6.52	- 2.50	- 1.08	55.44
adjust		22.87											
branch ABC >> point 1	72.48	64.01	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.1743	1.74	-	-	74.22
point 1 >> point 2	74.22	64.01	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.1743	2.37	-	-	76.59
branch >> point 2		64.01											74.22
adjust		65.02											
point 2 >> point 3	76.59	129.03	2.00	2.067	3.28	-	10.00	13.28	0.6376	8.47	-	-	85.06
branch >> point 3		64.01											74.22
adjust		68.53											
point 3 >> point 4	85.06	197.56	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	1.4022	19.08	-	-	104.14
branch >> point 4		64.01											74.22
adjust		75.82											
point 4 >> point 5	104.14	273.38	2.50	2.469	3.28	6.00	12.00	21.28	1.0762	22.90	-	-	127.04
branch >> point 5		64.01											74.22
adjust		83.74											
point 5 >> point 6	127.04	357.12	2.50	2.469	1.64	-	12.00	13.64	1.7644	24.07	-	-	151.11
branch >> point 6		64.01											74.22
adjust		91.33											
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	9.61	4.00	5.00	18.61	0.5511	10.26	5.30	2.29	62.55
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.5511	4.04	-	-	54.04
adjust		21.52											
branch C+A	62.55	41.52	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	2.1285	12.05	0.66	0.29	74.89
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.5511	6.52	- 2.50	- 1.08	55.44
adjust		23.25											
branch ABC >> point 7	74.89	64.77	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.1782	1.78	-	-	76.67
point 6 >> point 7	151.11	448.45	3.00	3.068	1.64	-	15.00	16.64	0.9336	15.54	-	-	166.65
branch >> point 7		64.77											76.67
adjust		95.49											
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.99	4.00	5.00	9.99	0.5511	5.51	0.66	0.29	55.80
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.5511	6.52	- 2.50	- 1.08	55.44
adjust		20.06											
branch AB >> point 8	55.80	40.06	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0732	0.73	-	-	56.53
point 7 >> point 8	166.65	543.94	3.00	3.068	2.62	7.00	15.00	24.62	1.3343	32.85	-	-	199.50
branch >> point 8		40.06											56.53
adjust		75.26											
point 8 >> point 9	199.50	619.20	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.4515	10.36	-	-	209.86
branch >> point 9		40.06											56.53
adjust		77.19											
point 9 >> point 10	209.86	696.39	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.5611	12.88	-	-	222.74
branch >> point 10		40.06											56.53
adjust		79.52											
point 10 >> point 11	222.74	775.91	4.00	4.026	3.28	10.00	20.00	33.28	0.6853	22.81	-	-	245.55
branch >> point 11		40.06											56.53
adjust		83.49											
point 11 >> point 12	245.55	859.40	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.8279	19.27	-	-	264.82
branch >> point 12		40.06											56.53
adjust		86.71											
point 12 >> point 13	264.82	946.11	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	0.9891	23.03	-	-	287.85
branch >> point 13		40.06											56.53
adjust		90.40											
point 13 >> point 14	287.85	1,036.51	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	1.1710	27.26	-	-	315.11
branch >> point 14		40.06											56.53
adjust		94.58											
point 14 >> common point	315.11	1,131.09	4.00	4.026	-	-	20.00	20.00	1.3763	27.53	-	-	342.64
other side >> common point		1,131.09											342.64
common point >> pump	342.64	2,262.18	6.00	6.065	20.00	28.00	38.00	86.00	0.6745	58.01	- 9.50	- 4.11	396.54

C= 50

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	5.63	4.00	5.00	14.63	0.6573	9.62	5.30	2.29	61.91
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.6573	4.82	-	-	54.82
adjust		21.25											
branch C+A	61.91	41.25	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	2.5084	14.20	0.66	0.29	76.40
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.6573	7.78	- 2.50	- 1.08	56.70
adjust		23.22											
branch ABC >> point 1	76.40	64.47	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.2107	2.11	-	-	78.51
point 1 >> point 2	78.51	64.47	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	0.2107	2.87	-	-	81.38
branch >> point 2		64.47											78.51
adjust		65.64											
point 2 >> point 3	81.38	130.11	2.00	2.067	3.28	-	10.00	13.28	0.7723	10.26	-	-	91.64
branch >> point 3		64.47											78.51
adjust		69.65											
point 3 >> point 4	91.64	199.76	2.00	2.067	3.61	-	10.00	13.61	1.7072	23.23	-	-	114.87
branch >> point 4		64.47											78.51
adjust		77.98											
point 4 >> point 5	114.87	277.74	2.50	2.469	3.28	6.00	12.00	21.28	1.3219	28.13	-	-	143.00
branch >> point 5		64.47											78.51
adjust		87.01											
point 5 >> point 6	143.00	364.75	2.50	2.469	1.64	-	12.00	13.64	2.1886	29.85	-	-	172.85
branch >> point 6		64.47											78.51
adjust		95.66											
branch C	50.00	20.00	1.00	1.049	9.61	4.00	5.00	18.61	0.6573	12.23	5.30	2.29	64.52
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.33	2.00	5.00	7.33	0.6573	4.82	-	-	54.82
adjust		21.70											
branch C+A	64.52	41.70	1.00	1.049	0.66	-	5.00	5.66	2.5593	14.49	0.66	0.29	79.30
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.6573	7.78	- 2.50	- 1.08	56.70
adjust		23.65											
branch ABC >> point 7	79.30	65.35	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.2160	2.16	-	-	81.46
point 6 >> point 7	172.85	460.41	3.00	3.068	1.64	-	15.00	16.64	1.1692	19.46	-	-	192.31
branch >> point 7		65.35											81.46
adjust		100.41											
branch A	50.00	20.00	1.00	1.049	0.99	4.00	5.00	9.99	0.6573	6.57	0.66	0.29	56.86
branch B	50.00	20.00	1.00	1.049	2.83	4.00	5.00	11.83	0.6573	7.78	- 2.50	- 1.08	56.70
adjust		20.03											
branch AB >> point 8	56.86	40.03	2.00	2.067	-	-	10.00	10.00	0.0872	0.87	-	-	57.73
point 7 >> point 8	192.31	560.82	3.00	3.068	2.62	7.00	15.00	24.62	1.6842	41.47	-	-	233.78
branch >> point 8		40.03											57.73
adjust		80.55											
point 8 >> point 9	233.78	641.37	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.5747	13.19	-	-	246.97
branch >> point 9		40.03											57.73
adjust		82.80											
point 9 >> point 10	246.97	724.17	4.00	4.026	2.95	-	20.00	22.95	0.7195	16.51	-	-	263.48
branch >> point 10		40.03											57.73
adjust		85.52											
point 10 >> point 11	263.48	809.69	4.00	4.026	3.28	10.00	20.00	33.28	0.8845	29.44	-	-	292.92
branch >> point 11		40.03											57.73
adjust		90.17											
point 11 >> point 12	292.92	899.86	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	1.0753	25.03	-	-	317.95
branch >> point 12		40.03											57.73
adjust		93.94											
point 12 >> point 13	317.95	993.80	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	1.2921	30.08	-	-	348.03
branch >> point 13		40.03											57.73
adjust		98.29											
point 13 >> point 14	348.03	1,092.09	4.00	4.026	3.28	-	20.00	23.28	1.5385	35.82	-	-	383.85
branch >> point 14		40.03											57.73
adjust		103.22											
point 14 >> common point	383.85	1,195.31	4.00	4.026	-	-	20.00	20.00	1.8182	36.36	-	-	420.21
other side >> common point		1,195.31											420.21
common point >> pump	420.21	2,390.62	6.00	6.065	20.00	28.00	38.00	86.00	0.8911	76.63	- 9.50	- 4.11	492.73

C= 120 ขยายท่อ 25%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0342	0.50	5.30	2.29	52.79
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0342	0.25	-	-	50.25
adjust		20.50											
branch C+A	52.79	40.50	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.1263	0.71	0.66	0.29	53.79
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0342	0.40	- 2.50	- 1.08	49.32
adjust		20.89											
branch ABC >> point 1	53.79	61.39	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0056	0.06	-	-	53.85
point 1 >> point 2	53.85	61.39	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0056	0.08	-	-	53.93
branch >> point 2		61.39											53.85
adjust		61.44											
point 2 >> point 3	53.93	122.83	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0201	0.27	-	-	54.20
branch >> point 3		61.39											53.85
adjust		61.59											
point 3 >> point 4	54.20	184.42	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0426	0.58	-	-	54.78
branch >> point 4		61.39											53.85
adjust		61.92											
point 4 >> point 5	54.78	246.34	3.00	3.068	3.28	6.00	12.00	21.28	0.0728	1.55	-	-	56.33
branch >> point 5		61.39											53.85
adjust		62.79											
point 5 >> point 6	56.33	309.13	3.00	3.068	1.64	-	12.00	13.64	0.1108	1.51	-	-	57.84
branch >> point 6		61.39											53.85
adjust		63.62											
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0342	0.64	5.30	2.29	52.93
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0342	0.25	-	-	50.25
adjust		20.53											
branch C+A	52.93	40.53	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.1264	0.72	0.66	0.29	53.94
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0342	0.40	- 2.50	- 1.08	49.32
adjust		20.92											
branch ABC >> point 7	53.94	61.45	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0056	0.06	-	-	54.00
point 6 >> point 7	57.84	372.75	4.00	4.026	1.64	-	15.00	16.64	0.0417	0.69	-	-	58.53
branch >> point 7		61.45											54.00
adjust		63.98											
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0342	0.34	0.66	0.29	50.63
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0342	0.40	- 2.50	- 1.08	49.32
adjust		20.26											
branch AB >> point 8	50.63	40.26	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0026	0.03	-	-	50.66
point 7 >> point 8	58.53	436.73	4.00	4.026	2.62	7.00	15.00	24.62	0.0559	1.38	-	-	59.91
branch >> point 8		40.26											50.66
adjust		43.78											
point 8 >> point 9	59.91	480.51	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0232	0.53	-	-	60.44
branch >> point 9		40.26											50.66
adjust		43.97											
point 9 >> point 10	60.44	524.48	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0273	0.63	-	-	61.07
branch >> point 10		40.26											50.66
adjust		44.20											
point 10 >> point 11	61.07	568.68	5.00	5.000	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0317	1.05	-	-	62.12
branch >> point 11		40.26											50.66
adjust		44.58											
point 11 >> point 12	62.12	613.26	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.0365	0.85	-	-	62.97
branch >> point 12		40.26											50.66
adjust		44.89											
point 12 >> point 13	62.97	658.15	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.0415	0.97	-	-	63.94
branch >> point 13		40.26											50.66
adjust		45.23											
point 13 >> point 14	63.94	703.38	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.0470	1.09	-	-	65.03
branch >> point 14		40.26											50.66
adjust		45.61											
point 14 >> common point	65.03	748.99	5.00	5.000	-	-	20.00	20.00	0.0528	1.06	-	-	66.09
other side >> common point		748.99											66.09
common point >> pump	66.09	1,497.98	8.00	8.071	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0185	1.59	- 9.50	- 4.11	63.57

C= 90 ขยายท่อ 25%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0583	0.85	5.30	2.29	53.14
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0583	0.43	-	-	50.43
adjust		20.53											
branch C+A	53.14	40.53	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.2153	1.22	0.66	0.29	54.65
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0583	0.69	- 2.50	- 1.08	49.61
adjust		20.99											
branch ABC >> point 1	54.65	61.52	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0095	0.10	-	-	54.75
point 1 >> point 2	54.75	61.52	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0095	0.13	-	-	54.88
branch >> point 2		61.52											54.75
adjust		61.59											
point 2 >> point 3	54.88	123.11	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0343	0.46	-	-	55.34
branch >> point 3		61.52											54.75
adjust		61.85											
point 3 >> point 4	55.34	184.96	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0729	0.99	-	-	56.33
branch >> point 4		61.52											54.75
adjust		62.40											
point 4 >> point 5	56.33	247.36	3.00	3.068	3.28	6.00	12.00	21.28	0.1249	2.66	-	-	58.99
branch >> point 5		61.52											54.75
adjust		63.86											
point 5 >> point 6	58.99	311.22	3.00	3.068	1.64	-	12.00	13.64	0.1910	2.61	-	-	61.60
branch >> point 6		61.52											54.75
adjust		65.26											
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0583	1.08	5.30	2.29	53.37
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0583	0.43	-	-	50.43
adjust		20.57											
branch C+A	53.37	40.57	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.2157	1.22	0.66	0.29	54.88
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0583	0.69	- 2.50	- 1.08	49.61
adjust		21.04											
branch ABC >> point 7	54.88	61.61	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0095	0.10	-	-	54.98
point 6 >> point 7	61.60	376.48	4.00	4.026	1.64	-	15.00	16.64	0.0723	1.20	-	-	62.80
branch >> point 7		61.61											54.98
adjust		65.85											
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0583	0.58	0.66	0.29	50.87
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0583	0.69	- 2.50	- 1.08	49.61
adjust		20.25											
branch AB >> point 8	50.87	40.25	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0043	0.04	-	-	50.91
point 7 >> point 8	62.80	442.33	4.00	4.026	2.62	7.00	15.00	24.62	0.0974	2.40	-	-	65.20
branch >> point 8		40.25											50.91
adjust		45.55											
point 8 >> point 9	65.20	487.88	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0407	0.93	-	-	66.13
branch >> point 9		40.25											50.91
adjust		45.87											
point 9 >> point 10	66.13	533.75	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0480	1.10	-	-	67.23
branch >> point 10		40.25											50.91
adjust		46.25											
point 10 >> point 11	67.23	580.00	5.00	5.000	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0560	1.86	-	-	69.09
branch >> point 11		40.25											50.91
adjust		46.89											
point 11 >> point 12	69.09	626.89	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.0647	1.51	-	-	70.60
branch >> point 12		40.25											50.91
adjust		47.40											
point 12 >> point 13	70.60	674.29	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.0740	1.72	-	-	72.32
branch >> point 13		40.25											50.91
adjust		47.97											
point 13 >> point 14	72.32	722.26	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.0840	1.96	-	-	74.28
branch >> point 14		40.25											50.91
adjust		48.62											
point 14 >> common point	74.28	770.88	5.00	5.000	-	-	20.00	20.00	0.0948	1.90	-	-	76.18
other side >> common point		770.88											76.18
common point >> pump	76.18	1,541.76	8.00	8.071	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0332	2.86	- 9.50	- 4.11	74.93

C= 75 ขยายท่อ 25%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0817	1.20	5.30	2.29	53.49
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0817	0.60	-	-	50.60
adjust		20.56											
branch C+A	53.49	40.56	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.3020	1.71	0.66	0.29	55.49
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0817	0.97	- 2.50	- 1.08	49.89
adjust		21.09											
branch ABC >> point 1	55.49	61.65	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0134	0.13	-	-	55.62
point 1 >> point 2	55.62	61.65	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0134	0.18	-	-	55.80
branch >> point 2		61.65											55.62
adjust		61.75											
point 2 >> point 3	55.80	123.40	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0483	0.64	-	-	56.44
branch >> point 3		61.65											55.62
adjust		62.10											
point 3 >> point 4	56.44	185.50	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.1027	1.40	-	-	57.84
branch >> point 4		61.65											55.62
adjust		62.87											
point 4 >> point 5	57.84	248.37	3.00	3.068	3.28	6.00	12.00	21.28	0.1763	3.75	-	-	61.59
branch >> point 5		61.65											55.62
adjust		64.87											
point 5 >> point 6	61.59	313.24	3.00	3.068	1.64	-	12.00	13.64	0.2708	3.69	-	-	65.28
branch >> point 6		61.65											55.62
adjust		66.79											
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0817	1.52	5.30	2.29	53.81
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0817	0.60	-	-	50.60
adjust		20.62											
branch C+A	53.81	40.62	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.3029	1.71	0.66	0.29	55.81
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0817	0.97	- 2.50	- 1.08	49.89
adjust		21.15											
branch ABC >> point 7	55.81	61.77	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0134	0.13	-	-	55.94
point 6 >> point 7	65.28	380.03	4.00	4.026	1.64	-	15.00	16.64	0.1031	1.72	-	-	67.00
branch >> point 7		61.77											55.94
adjust		67.60											
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0817	0.82	0.66	0.29	51.11
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0817	0.97	- 2.50	- 1.08	49.89
adjust		20.24											
branch AB >> point 8	51.11	40.24	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0061	0.06	-	-	51.17
point 7 >> point 8	67.00	447.63	4.00	4.026	2.62	7.00	15.00	24.62	0.1396	3.44	-	-	70.44
branch >> point 8		40.24											51.17
adjust		47.21											
point 8 >> point 9	70.44	494.84	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0585	1.34	-	-	71.78
branch >> point 9		40.24											51.17
adjust		47.66											
point 9 >> point 10	71.78	542.50	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0693	1.59	-	-	73.37
branch >> point 10		40.24											51.17
adjust		48.18											
point 10 >> point 11	73.37	590.68	5.00	5.000	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0812	2.70	-	-	76.07
branch >> point 11		40.24											51.17
adjust		49.06											
point 11 >> point 12	76.07	639.74	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.0941	2.19	-	-	78.26
branch >> point 12		40.24											51.17
adjust		49.76											
point 12 >> point 13	78.26	689.50	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.1080	2.51	-	-	80.77
branch >> point 13		40.24											51.17
adjust		50.56											
point 13 >> point 14	80.77	740.06	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.1232	2.87	-	-	83.64
branch >> point 14		40.24											51.17
adjust		51.45											
point 14 >> common point	83.64	791.51	5.00	5.000	-	-	20.00	20.00	0.1395	2.79	-	-	86.43
other side >> common point		791.51											86.43
common point >> pump	86.43	1,583.02	8.00	8.071	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0488	4.20	- 9.50	- 4.11	86.52

C= 65 ขยายท่อ 25%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	5.63	4.00	5.00	14.63	0.1064	1.56	5.30	2.29	53.85
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1064	0.78	-	-	50.78
adjust		20.60											
branch C+A	53.85	40.60	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.3943	2.23	0.66	0.29	56.37
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1064	1.26	- 2.50	- 1.08	50.18
adjust		21.20											
branch ABC >> point 1	56.37	61.80	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0175	0.18	-	-	56.55
point 1 >> point 2	56.55	61.80	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0175	0.24	-	-	56.79
branch >> point 2		61.80											56.55
adjust		61.93											
point 2 >> point 3	56.79	123.73	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0633	0.84	-	-	57.63
branch >> point 3		61.80											56.55
adjust		62.39											
point 3 >> point 4	57.63	186.12	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.1347	1.83	-	-	59.46
branch >> point 4		61.80											56.55
adjust		63.37											
point 4 >> point 5	59.46	249.49	3.00	3.068	3.28	6.00	12.00	21.28	0.2316	4.93	-	-	64.39
branch >> point 5		61.80											56.55
adjust		65.94											
point 5 >> point 6	64.39	315.43	3.00	3.068	1.64	-	12.00	13.64	0.3575	4.88	-	-	69.27
branch >> point 6		61.80											56.55
adjust		68.40											
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	9.61	4.00	5.00	18.61	0.1064	1.98	5.30	2.29	54.27
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1064	0.78	-	-	50.78
adjust		20.68											
branch C+A	54.27	40.68	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.3957	2.24	0.66	0.29	56.80
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1064	1.26	- 2.50	- 1.08	50.18
adjust		21.28											
branch ABC >> point 7	56.80	61.96	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0176	0.18	-	-	56.98
point 6 >> point 7	69.27	383.83	4.00	4.026	1.64	-	15.00	16.64	0.1368	2.28	-	-	71.55
branch >> point 7		61.96											56.98
adjust		69.43											
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.99	4.00	5.00	9.99	0.1064	1.06	0.66	0.29	51.35
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1064	1.26	- 2.50	- 1.08	50.18
adjust		20.23											
branch AB >> point 8	51.35	40.23	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0079	0.08	-	-	51.43
point 7 >> point 8	71.55	453.26	4.00	4.026	2.62	7.00	15.00	24.62	0.1861	4.58	-	-	76.13
branch >> point 8		40.23											51.43
adjust		48.95											
point 8 >> point 9	76.13	502.21	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0783	1.80	-	-	77.93
branch >> point 9		40.23											51.43
adjust		49.52											
point 9 >> point 10	77.93	551.73	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.0932	2.14	-	-	80.07
branch >> point 10		40.23											51.43
adjust		50.20											
point 10 >> point 11	80.07	601.93	5.00	5.000	3.28	10.00	20.00	33.28	0.1095	3.64	-	-	83.71
branch >> point 11		40.23											51.43
adjust		51.33											
point 11 >> point 12	83.71	653.26	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.1274	2.97	-	-	86.68
branch >> point 12		40.23											51.43
adjust		52.23											
point 12 >> point 13	86.68	705.49	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.1469	3.42	-	-	90.10
branch >> point 13		40.23											51.43
adjust		53.25											
point 13 >> point 14	90.10	758.74	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.1680	3.91	-	-	94.01
branch >> point 14		40.23											51.43
adjust		54.39											
point 14 >> common point	94.01	813.13	5.00	5.000	-	-	20.00	20.00	0.1910	3.82	-	-	97.83
other side >> common point		813.13											97.83
common point >> pump	97.83	1,626.26	8.00	8.071	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0669	5.75	- 9.50	- 4.11	99.47

C= 55 ขยายท่อ 25%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	5.63	4.00	5.00	14.63	0.1449	2.12	5.30	2.29	54.41
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1449	1.06	-	-	51.06
adjust		20.65											
branch C+A	54.41	40.65	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.5383	3.05	0.66	0.29	57.75
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1449	1.71	- 2.50	- 1.08	50.63
adjust		21.36											
branch ABC >> point 1	57.75	62.01	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0240	0.24	-	-	57.99
point 1 >> point 2	57.99	62.01	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0240	0.33	-	-	58.32
branch >> point 2		62.01											57.99
adjust		62.19											
point 2 >> point 3	58.32	124.20	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0868	1.15	-	-	59.47
branch >> point 3		62.01											57.99
adjust		62.80											
point 3 >> point 4	59.47	187.00	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.1851	2.52	-	-	61.99
branch >> point 4		62.01											57.99
adjust		64.11											
point 4 >> point 5	61.99	251.11	3.00	3.068	3.28	6.00	12.00	21.28	0.3193	6.79	-	-	68.78
branch >> point 5		62.01											57.99
adjust		67.53											
point 5 >> point 6	68.78	318.64	3.00	3.068	1.64	-	12.00	13.64	0.4961	6.77	-	-	75.55
branch >> point 6		62.01											57.99
adjust		70.78											
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	9.61	4.00	5.00	18.61	0.1449	2.70	5.30	2.29	54.99
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1449	1.06	-	-	51.06
adjust		20.76											
branch C+A	54.99	40.76	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.5410	3.06	0.66	0.29	58.34
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1449	1.71	- 2.50	- 1.08	50.63
adjust		21.47											
branch ABC >> point 7	58.34	62.23	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0242	0.24	-	-	58.58
point 6 >> point 7	75.55	389.42	4.00	4.026	1.64	-	15.00	16.64	0.1914	3.18	-	-	78.73
branch >> point 7		62.23											58.58
adjust		72.14											
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.99	4.00	5.00	9.99	0.1449	1.45	0.66	0.29	51.74
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1449	1.71	- 2.50	- 1.08	50.63
adjust		20.22											
branch AB >> point 8	51.74	40.22	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0108	0.11	-	-	51.85
point 7 >> point 8	78.73	461.56	4.00	4.026	2.62	7.00	15.00	24.62	0.2622	6.46	-	-	85.19
branch >> point 8		40.22											51.85
adjust		51.55											
point 8 >> point 9	85.19	513.11	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.1110	2.55	-	-	87.74
branch >> point 9		40.22											51.85
adjust		52.32											
point 9 >> point 10	87.74	565.43	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.1329	3.05	-	-	90.79
branch >> point 10		40.22											51.85
adjust		53.22											
point 10 >> point 11	90.79	618.65	5.00	5.000	3.28	10.00	20.00	33.28	0.1569	5.22	-	-	96.01
branch >> point 11		40.22											51.85
adjust		54.73											
point 11 >> point 12	96.01	673.38	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.1836	4.27	-	-	100.28
branch >> point 12		40.22											51.85
adjust		55.93											
point 12 >> point 13	100.28	729.31	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.2128	4.95	-	-	105.23
branch >> point 13		40.22											51.85
adjust		57.30											
point 13 >> point 14	105.23	786.61	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.2447	5.70	-	-	110.93
branch >> point 14		40.22											51.85
adjust		58.83											
point 14 >> common point	110.93	845.44	5.00	5.000	-	-	20.00	20.00	0.2796	5.59	-	-	116.52
other side >> common point		845.44											116.52
common point >> pump	116.52	1,690.88	8.00	8.071	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0979	8.42	- 9.50	- 4.11	120.83

C= 50 ขยายท่อ 25%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	5.63	4.00	5.00	14.63	0.1729	2.53	5.30	2.29	54.82
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1729	1.27	-	-	51.27
adjust		20.68											
branch C+A	54.82	40.68	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.6430	3.64	0.66	0.29	58.75
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1729	2.05	- 2.50 -	1.08	50.97
adjust		21.47											
branch ABC >> point 1	58.75	62.15	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0288	0.29	-	-	59.04
point 1 >> point 2	59.04	62.15	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0288	0.39	-	-	59.43
branch >> point 2		62.15											59.04
adjust		62.35											
point 2 >> point 3	59.43	124.50	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.1040	1.38	-	-	60.81
branch >> point 3		62.15											59.04
adjust		63.07											
point 3 >> point 4	60.81	187.57	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.2220	3.02	-	-	63.83
branch >> point 4		62.15											59.04
adjust		64.62											
point 4 >> point 5	63.83	252.19	3.00	3.068	3.28	6.00	12.00	21.28	0.3839	8.17	-	-	72.00
branch >> point 5		62.15											59.04
adjust		68.63											
point 5 >> point 6	72.00	320.82	3.00	3.068	1.64	-	12.00	13.64	0.5993	8.17	-	-	80.17
branch >> point 6		62.15											59.04
adjust		72.42											
branch C	50.00	20.00	1.25	1.380	9.61	4.00	5.00	18.61	0.1729	3.22	5.30	2.29	55.51
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.33	2.00	5.00	7.33	0.1729	1.27	-	-	51.27
adjust		20.81											
branch C+A	55.51	40.81	1.25	1.380	0.66	-	5.00	5.66	0.6468	3.66	0.66	0.29	59.46
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1729	2.05	- 2.50 -	1.08	50.97
adjust		21.60											
branch ABC >> point 7	59.46	62.41	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0290	0.29	-	-	59.75
point 6 >> point 7	80.17	393.24	4.00	4.026	1.64	-	15.00	16.64	0.2325	3.87	-	-	84.04
branch >> point 7		62.41											59.75
adjust		74.02											
branch A	50.00	20.00	1.25	1.380	0.99	4.00	5.00	9.99	0.1729	1.73	0.66	0.29	52.02
branch B	50.00	20.00	1.25	1.380	2.83	4.00	5.00	11.83	0.1729	2.05	- 2.50 -	1.08	50.97
adjust		20.20											
branch AB >> point 8	52.02	40.20	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0128	0.13	-	-	52.15
point 7 >> point 8	84.04	467.26	4.00	4.026	2.62	7.00	15.00	24.62	0.3199	7.88	-	-	91.92
branch >> point 8		40.20											52.15
adjust		53.37											
point 8 >> point 9	91.92	520.63	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.1360	3.12	-	-	95.04
branch >> point 9		40.20											52.15
adjust		54.27											
point 9 >> point 10	95.04	574.90	5.00	5.000	2.95	-	20.00	22.95	0.1634	3.75	-	-	98.79
branch >> point 10		40.20											52.15
adjust		55.33											
point 10 >> point 11	98.79	630.23	5.00	5.000	3.28	10.00	20.00	33.28	0.1937	6.45	-	-	105.24
branch >> point 11		40.20											52.15
adjust		57.11											
point 11 >> point 12	105.24	687.34	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.2274	5.29	-	-	110.53
branch >> point 12		40.20											52.15
adjust		58.52											
point 12 >> point 13	110.53	745.86	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.2645	6.16	-	-	116.69
branch >> point 13		40.20											52.15
adjust		60.13											
point 13 >> point 14	116.69	805.99	5.00	5.000	3.28	-	20.00	23.28	0.3053	7.11	-	-	123.80
branch >> point 14		40.20											52.15
adjust		61.94											
point 14 >> common point	123.80	867.93	5.00	5.000	-	-	20.00	20.00	0.3502	7.00	-	-	130.80
other side >> common point		867.93											130.80
common point >> pump	130.80	1,735.86	8.00	8.071	20.00	28.00	38.00	86.00	0.1226	10.54	- 9.50 -	4.11	137.23

C= 120 ขยายท่อ 50%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0162	0.24	5.30	2.29	52.53
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0162	0.12	-	-	50.12
adjust		20.48											
branch C+A	52.53	40.48	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.0595	0.34	0.66	0.29	53.16
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0162	0.19	- 2.50	- 1.08	49.11
adjust		20.81											
branch ABC >> point 1	53.16	61.29	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0056	0.06	-	-	53.22
point 1 >> point 2	53.22	61.29	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0056	0.08	-	-	53.30
branch >> point 2		61.29											53.22
adjust		61.34											
point 2 >> point 3	53.30	122.63	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0200	0.27	-	-	53.57
branch >> point 3		61.29											53.22
adjust		61.49											
point 3 >> point 4	53.57	184.12	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0425	0.58	-	-	54.15
branch >> point 4		61.29											53.22
adjust		61.82											
point 4 >> point 5	54.15	245.94	4.00	4.026	3.28	6.00	12.00	21.28	0.0193	0.41	-	-	54.56
branch >> point 5		61.29											53.22
adjust		62.06											
point 5 >> point 6	54.56	308.00	4.00	4.026	1.64	-	12.00	13.64	0.0293	0.40	-	-	54.96
branch >> point 6		61.29											53.22
adjust		62.28											
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0162	0.30	5.30	2.29	52.59
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0162	0.12	-	-	50.12
adjust		20.49											
branch C+A	52.59	40.49	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.0596	0.34	0.66	0.29	53.22
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0162	0.19	- 2.50	- 1.08	49.11
adjust		20.82											
branch ABC >> point 7	53.22	61.31	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0056	0.06	-	-	53.28
point 6 >> point 7	54.96	370.28	5.00	5.000	1.64	-	15.00	16.64	0.0143	0.24	-	-	55.20
branch >> point 7		61.31											53.28
adjust		62.40											
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0162	0.16	0.66	0.29	50.45
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0162	0.19	- 2.50	- 1.08	49.11
adjust		20.27											
branch AB >> point 8	50.45	40.27	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0026	0.03	-	-	50.48
point 7 >> point 8	55.20	432.68	5.00	5.000	2.62	7.00	15.00	24.62	0.0191	0.47	-	-	55.67
branch >> point 8		40.27											50.48
adjust		42.29											
point 8 >> point 9	55.67	474.97	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0089	0.20	-	-	55.87
branch >> point 9		40.27											50.48
adjust		42.37											
point 9 >> point 10	55.87	517.34	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0104	0.24	-	-	56.11
branch >> point 10		40.27											50.48
adjust		42.46											
point 10 >> point 11	56.11	559.80	6.00	6.065	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0120	0.40	-	-	56.51
branch >> point 11		40.27											50.48
adjust		42.61											
point 11 >> point 12	56.51	602.41	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0138	0.32	-	-	56.83
branch >> point 12		40.27											50.48
adjust		42.73											
point 12 >> point 13	56.83	645.14	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0156	0.36	-	-	57.19
branch >> point 13		40.27											50.48
adjust		42.86											
point 13 >> point 14	57.19	688.00	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0176	0.41	-	-	57.60
branch >> point 14		40.27											50.48
adjust		43.02											
point 14 >> common point	57.60	731.02	6.00	6.065	-	-	20.00	20.00	0.0197	0.39	-	-	57.99
other side >> common point		731.02											57.99
common point >> pump	57.99	1,462.04	9.00	9.000	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0104	0.89	- 9.50	- 4.11	54.77

C= 90 ขยายท่อ 50%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0275	0.40	5.30	2.29	52.69
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0275	0.20	-	-	50.20
adjust		20.49											
branch C+A	52.69	40.49	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.1014	0.57	0.66	0.29	53.55
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0275	0.33	- 2.50	- 1.08	49.25
adjust		20.85											
branch ABC >> point 1	53.55	61.34	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0095	0.10	-	-	53.65
point 1 >> point 2	53.65	61.34	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0095	0.13	-	-	53.78
branch >> point 2		61.34											53.65
adjust		61.41											
point 2 >> point 3	53.78	122.75	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0342	0.45	-	-	54.23
branch >> point 3		61.34											53.65
adjust		61.67											
point 3 >> point 4	54.23	184.42	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0725	0.99	-	-	55.22
branch >> point 4		61.34											53.65
adjust		62.23											
point 4 >> point 5	55.22	246.65	4.00	4.026	3.28	6.00	12.00	21.28	0.0331	0.70	-	-	55.92
branch >> point 5		61.34											53.65
adjust		62.62											
point 5 >> point 6	55.92	309.27	4.00	4.026	1.64	-	12.00	13.64	0.0503	0.69	-	-	56.61
branch >> point 6		61.34											53.65
adjust		63.01											
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0275	0.51	5.30	2.29	52.80
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0275	0.20	-	-	50.20
adjust		20.51											
branch C+A	52.80	40.51	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.1015	0.57	0.66	0.29	53.66
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0275	0.33	- 2.50	- 1.08	49.25
adjust		20.88											
branch ABC >> point 7	53.66	61.39	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0095	0.10	-	-	53.76
point 6 >> point 7	56.61	372.28	5.00	5.000	1.64	-	15.00	16.64	0.0247	0.41	-	-	57.02
branch >> point 7		61.39											53.76
adjust		63.22											
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0275	0.27	0.66	0.29	50.56
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0275	0.33	- 2.50	- 1.08	49.25
adjust		20.26											
branch AB >> point 8	50.56	40.26	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0043	0.04	-	-	50.60
point 7 >> point 8	57.02	435.50	5.00	5.000	2.62	7.00	15.00	24.62	0.0330	0.81	-	-	57.83
branch >> point 8		40.26											50.60
adjust		43.04											
point 8 >> point 9	57.83	478.54	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0153	0.35	-	-	58.18
branch >> point 9		40.26											50.60
adjust		43.17											
point 9 >> point 10	58.18	521.71	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0180	0.41	-	-	58.59
branch >> point 10		40.26											50.60
adjust		43.32											
point 10 >> point 11	58.59	565.03	6.00	6.065	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0208	0.69	-	-	59.28
branch >> point 11		40.26											50.60
adjust		43.58											
point 11 >> point 12	59.28	608.61	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0239	0.56	-	-	59.84
branch >> point 12		40.26											50.60
adjust		43.78											
point 12 >> point 13	59.84	652.39	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0272	0.63	-	-	60.47
branch >> point 13		40.26											50.60
adjust		44.01											
point 13 >> point 14	60.47	696.40	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0307	0.71	-	-	61.18
branch >> point 14		40.26											50.60
adjust		44.27											
point 14 >> common point	61.18	740.67	6.00	6.065	-	-	20.00	20.00	0.0344	0.69	-	-	61.87
other side >> common point		740.67											61.87
common point >> pump	61.87	1,481.34	9.00	9.000	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0181	1.56	- 9.50	- 4.11	59.32

C= 75 ขยายท่อ 50%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0385	0.56	5.30	2.29	52.85
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0385	0.28	-	-	50.28
adjust		20.50											
branch C+A	52.85	40.50	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.1422	0.80	0.66	0.29	53.94
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0385	0.46	- 2.50	- 1.08	49.38
adjust		20.90											
branch ABC >> point 1	53.94	61.40	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0133	0.13	-	-	54.07
point 1 >> point 2	54.07	61.40	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0133	0.18	-	-	54.25
branch >> point 2		61.40											54.07
adjust		61.50											
point 2 >> point 3	54.25	122.90	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0480	0.64	-	-	54.89
branch >> point 3		61.40											54.07
adjust		61.86											
point 3 >> point 4	54.89	184.76	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.1020	1.39	-	-	56.28
branch >> point 4		61.40											54.07
adjust		62.64											
point 4 >> point 5	56.28	247.40	4.00	4.026	3.28	6.00	12.00	21.28	0.0466	0.99	-	-	57.27
branch >> point 5		61.40											54.07
adjust		63.19											
point 5 >> point 6	57.27	310.59	4.00	4.026	1.64	-	12.00	13.64	0.0710	0.97	-	-	58.24
branch >> point 6		61.40											54.07
adjust		63.72											
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0385	0.72	5.30	2.29	53.01
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0385	0.28	-	-	50.28
adjust		20.54											
branch C+A	53.01	40.54	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.1424	0.81	0.66	0.29	54.11
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0385	0.46	- 2.50	- 1.08	49.38
adjust		20.94											
branch ABC >> point 7	54.11	61.48	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0133	0.13	-	-	54.24
point 6 >> point 7	58.24	374.31	5.00	5.000	1.64	-	15.00	16.64	0.0349	0.58	-	-	58.82
branch >> point 7		61.48											54.24
adjust		64.02											
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0385	0.38	0.66	0.29	50.67
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0385	0.46	- 2.50	- 1.08	49.38
adjust		20.26											
branch AB >> point 8	50.67	40.26	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0061	0.06	-	-	50.73
point 7 >> point 8	58.82	438.33	5.00	5.000	2.62	7.00	15.00	24.62	0.0467	1.15	-	-	59.97
branch >> point 8		40.26											50.73
adjust		43.77											
point 8 >> point 9	59.97	482.10	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0218	0.50	-	-	60.47
branch >> point 9		40.26											50.73
adjust		43.96											
point 9 >> point 10	60.47	526.06	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0256	0.59	-	-	61.06
branch >> point 10		40.26											50.73
adjust		44.17											
point 10 >> point 11	61.06	570.23	6.00	6.065	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0297	0.99	-	-	62.05
branch >> point 11		40.26											50.73
adjust		44.53											
point 11 >> point 12	62.05	614.76	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0341	0.79	-	-	62.84
branch >> point 12		40.26											50.73
adjust		44.81											
point 12 >> point 13	62.84	659.57	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0389	0.91	-	-	63.75
branch >> point 13		40.26											50.73
adjust		45.13											
point 13 >> point 14	63.75	704.70	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0439	1.02	-	-	64.77
branch >> point 14		40.26											50.73
adjust		45.49											
point 14 >> common point	64.77	750.19	6.00	6.065	-	-	20.00	20.00	0.0493	0.99	-	-	65.76
other side >> common point		750.19											65.76
common point >> pump	65.76	1,500.38	9.00	9.000	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0260	2.24	- 9.50	- 4.11	63.89

C= 65 ขยายท่อ 50%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0502	0.73	5.30	2.29	53.02
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0502	0.37	-	-	50.37
adjust		20.52											
branch C+A	53.02	40.52	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.1854	1.05	0.66	0.29	54.36
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0502	0.59	- 2.50	- 1.08	49.51
adjust		20.96											
branch ABC >> point 1	54.36	61.48	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0174	0.17	-	-	54.53
point 1 >> point 2	54.53	61.48	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0174	0.24	-	-	54.77
branch >> point 2		61.48											54.53
adjust		61.62											
point 2 >> point 3	54.77	123.10	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0627	0.83	-	-	55.60
branch >> point 3		61.48											54.53
adjust		62.08											
point 3 >> point 4	55.60	185.18	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.1334	1.82	-	-	57.42
branch >> point 4		61.48											54.53
adjust		63.09											
point 4 >> point 5	57.42	248.27	4.00	4.026	3.28	6.00	12.00	21.28	0.0611	1.30	-	-	58.72
branch >> point 5		61.48											54.53
adjust		63.80											
point 5 >> point 6	58.72	312.07	4.00	4.026	1.64	-	12.00	13.64	0.0933	1.27	-	-	59.99
branch >> point 6		61.48											54.53
adjust		64.48											
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0502	0.93	5.30	2.29	53.22
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0502	0.37	-	-	50.37
adjust		20.56											
branch C+A	53.22	40.56	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.1858	1.05	0.66	0.29	54.56
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0502	0.59	- 2.50	- 1.08	49.51
adjust		21.00											
branch ABC >> point 7	54.56	61.56	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0174	0.17	-	-	54.73
point 6 >> point 7	59.99	376.55	5.00	5.000	1.64	-	15.00	16.64	0.0460	0.77	-	-	60.76
branch >> point 7		61.56											54.73
adjust		64.86											
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0502	0.50	0.66	0.29	50.79
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0502	0.59	- 2.50	- 1.08	49.51
adjust		20.26											
branch AB >> point 8	50.79	40.26	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0079	0.08	-	-	50.87
point 7 >> point 8	60.76	441.41	5.00	5.000	2.62	7.00	15.00	24.62	0.0617	1.52	-	-	62.28
branch >> point 8		40.26											50.87
adjust		44.55											
point 8 >> point 9	62.28	485.96	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0288	0.66	-	-	62.94
branch >> point 9		40.26											50.87
adjust		44.78											
point 9 >> point 10	62.94	530.74	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0339	0.78	-	-	63.72
branch >> point 10		40.26											50.87
adjust		45.06											
point 10 >> point 11	63.72	575.80	6.00	6.065	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0394	1.31	-	-	65.03
branch >> point 11		40.26											50.87
adjust		45.52											
point 11 >> point 12	65.03	621.32	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0453	1.05	-	-	66.08
branch >> point 12		40.26											50.87
adjust		45.89											
point 12 >> point 13	66.08	667.21	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0517	1.20	-	-	67.28
branch >> point 13		40.26											50.87
adjust		46.30											
point 13 >> point 14	67.28	713.51	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0586	1.36	-	-	68.64
branch >> point 14		40.26											50.87
adjust		46.77											
point 14 >> common point	68.64	760.28	6.00	6.065	-	-	20.00	20.00	0.0659	1.32	-	-	69.96
other side >> common point		760.28											69.96
common point >> pump	69.96	1,520.56	9.00	9.000	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0347	2.98	- 9.50	- 4.11	68.83

C= 55 ขยายท่อ 50%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0684	1.00	5.30	2.29	53.29
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0684	0.50	-	-	50.50
adjust		20.55											
branch C+A	53.29	40.55	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.2529	1.43	0.66	0.29	55.01
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0684	0.81	- 2.50	- 1.08	49.73
adjust		21.03											
branch ABC >> point 1	55.01	61.58	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0237	0.24	-	-	55.25
point 1 >> point 2	55.25	61.58	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0237	0.32	-	-	55.57
branch >> point 2		61.58											55.25
adjust		61.76											
point 2 >> point 3	55.57	123.34	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.0857	1.14	-	-	56.71
branch >> point 3		61.58											55.25
adjust		62.39											
point 3 >> point 4	56.71	185.73	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.1828	2.49	-	-	59.20
branch >> point 4		61.58											55.25
adjust		63.74											
point 4 >> point 5	59.20	249.47	4.00	4.026	3.28	6.00	12.00	21.28	0.0840	1.79	-	-	60.99
branch >> point 5		61.58											55.25
adjust		64.70											
point 5 >> point 6	60.99	314.17	4.00	4.026	1.64	-	12.00	13.64	0.1287	1.76	-	-	62.75
branch >> point 6		61.58											55.25
adjust		65.63											
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0684	1.27	5.30	2.29	53.56
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0684	0.50	-	-	50.50
adjust		20.60											
branch C+A	53.56	40.60	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.2535	1.43	0.66	0.29	55.28
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0684	0.81	- 2.50	- 1.08	49.73
adjust		21.09											
branch ABC >> point 7	55.28	61.69	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0238	0.24	-	-	55.52
point 6 >> point 7	62.75	379.80	5.00	5.000	1.64	-	15.00	16.64	0.0636	1.06	-	-	63.81
branch >> point 7		61.69											55.52
adjust		66.14											
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0684	0.68	0.66	0.29	50.97
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0684	0.81	- 2.50	- 1.08	49.73
adjust		20.25											
branch AB >> point 8	50.97	40.25	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0108	0.11	-	-	51.08
point 7 >> point 8	63.81	445.94	5.00	5.000	2.62	7.00	15.00	24.62	0.0856	2.11	-	-	65.92
branch >> point 8		40.25											51.08
adjust		45.72											
point 8 >> point 9	65.92	491.66	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0401	0.92	-	-	66.84
branch >> point 9		40.25											51.08
adjust		46.04											
point 9 >> point 10	66.84	537.70	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0473	1.09	-	-	67.93
branch >> point 10		40.25											51.08
adjust		46.42											
point 10 >> point 11	67.93	584.12	6.00	6.065	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0551	1.83	-	-	69.76
branch >> point 11		40.25											51.08
adjust		47.04											
point 11 >> point 12	69.76	631.16	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0636	1.48	-	-	71.24
branch >> point 12		40.25											51.08
adjust		47.53											
point 12 >> point 13	71.24	678.69	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0727	1.69	-	-	72.93
branch >> point 13		40.25											51.08
adjust		48.09											
point 13 >> point 14	72.93	726.78	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0825	1.92	-	-	74.85
branch >> point 14		40.25											51.08
adjust		48.72											
point 14 >> common point	74.85	775.50	6.00	6.065	-	-	20.00	20.00	0.0931	1.86	-	-	76.71
other side >> common point		775.50											76.71
common point >> pump	76.71	1,551.00	9.00	9.000	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0491	4.22	- 9.50	- 4.11	76.82

C= 50 ขยายท่อ 50%

	Pressure (psi)	Flowrate (gpm)	Diameter (inch)	ID (inch)	BL (ft)	E (ft)	T (ft)	Total (ft)	Friction rate (psi/ft)	Friction (psi)	Elevation (ft)	Elevation (psi)	Total pressure (psi)
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	5.63	4.00	5.00	14.63	0.0816	1.19	5.30	2.29	53.48
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0816	0.60	-	-	50.60
adjust		20.56											
branch C+A	53.48	40.56	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.3018	1.71	0.66	0.29	55.48
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0816	0.97	- 2.50	- 1.08	49.89
adjust		21.09											
branch ABC >> point 1	55.48	61.65	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0283	0.28	-	-	55.76
point 1 >> point 2	55.76	61.65	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.0283	0.39	-	-	56.15
branch >> point 2		61.65											55.76
adjust		61.87											
point 2 >> point 3	56.15	123.52	3.00	3.068	3.28	-	10.00	13.28	0.1025	1.36	-	-	57.51
branch >> point 3		61.65											55.76
adjust		62.61											
point 3 >> point 4	57.51	186.13	3.00	3.068	3.61	-	10.00	13.61	0.2189	2.98	-	-	60.49
branch >> point 4		61.65											55.76
adjust		64.21											
point 4 >> point 5	60.49	250.34	4.00	4.026	3.28	6.00	12.00	21.28	0.1008	2.15	-	-	62.64
branch >> point 5		61.65											55.76
adjust		65.34											
point 5 >> point 6	62.64	315.68	4.00	4.026	1.64	-	12.00	13.64	0.1549	2.11	-	-	64.75
branch >> point 6		61.65											55.76
adjust		66.43											
branch C	50.00	20.00	1.50	1.610	9.61	4.00	5.00	18.61	0.0816	1.52	5.30	2.29	53.81
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.33	2.00	5.00	7.33	0.0816	0.60	-	-	50.60
adjust		20.62											
branch C+A	53.81	40.62	1.50	1.610	0.66	-	5.00	5.66	0.3027	1.71	0.66	0.29	55.81
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0816	0.97	- 2.50	- 1.08	49.89
adjust		21.15											
branch ABC >> point 7	55.81	61.77	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0284	0.28	-	-	56.09
point 6 >> point 7	64.75	382.11	5.00	5.000	1.64	-	15.00	16.64	0.0768	1.28	-	-	66.03
branch >> point 7		61.77											56.09
adjust		67.02											
branch A	50.00	20.00	1.50	1.610	0.99	4.00	5.00	9.99	0.0816	0.82	0.66	0.29	51.11
branch B	50.00	20.00	1.50	1.610	2.83	4.00	5.00	11.83	0.0816	0.97	- 2.50	- 1.08	49.89
adjust		20.24											
branch AB >> point 8	51.11	40.24	3.00	3.068	-	-	10.00	10.00	0.0129	0.13	-	-	51.24
point 7 >> point 8	66.03	449.13	5.00	5.000	2.62	7.00	15.00	24.62	0.1035	2.55	-	-	68.58
branch >> point 8		40.24											51.24
adjust		46.55											
point 8 >> point 9	68.58	495.68	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0485	1.11	-	-	69.69
branch >> point 9		40.24											51.24
adjust		46.93											
point 9 >> point 10	69.69	542.61	6.00	6.065	2.95	-	20.00	22.95	0.0573	1.32	-	-	71.01
branch >> point 10		40.24											51.24
adjust		47.37											
point 10 >> point 11	71.01	589.98	6.00	6.065	3.28	10.00	20.00	33.28	0.0669	2.23	-	-	73.24
branch >> point 11		40.24											51.24
adjust		48.11											
point 11 >> point 12	73.24	638.09	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0774	1.80	-	-	75.04
branch >> point 12		40.24											51.24
adjust		48.70											
point 12 >> point 13	75.04	686.79	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.0887	2.06	-	-	77.10
branch >> point 13		40.24											51.24
adjust		49.36											
point 13 >> point 14	77.10	736.15	6.00	6.065	3.28	-	20.00	23.28	0.1008	2.35	-	-	79.45
branch >> point 14		40.24											51.24
adjust		50.11											
point 14 >> common point	79.45	786.26	6.00	6.065	-	-	20.00	20.00	0.1139	2.28	-	-	81.73
other side >> common point		786.26											81.73
common point >> pump	81.73	1,572.52	9.00	9.000	20.00	28.00	38.00	86.00	0.0601	5.17	- 9.50	- 4.11	82.79

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอัญรัตน์ ตอพล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	19 พฤษภาคม พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดอุบลราชธานี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ดีทีเอสเอ็ม จำกัด หน่วยธุรกิจผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ