ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง การเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการดับเพลิง

An Improvement of Residential Water Pump Performance for Supporting Fire Suppression

นามผู้วิจัย นายบรรลือ รดาการ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์เลิศชัย ระตะนะอาพร, วศ.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์เสรี เศวตเศรนี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา .....

(รองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำสำหรับบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการดับเพลิง

An Improvement of Residential Water Pump Performance for Supporting Fire Suppression

โดย

นายบรรลือ รดาการ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย)

พ.ศ. 2552

บรรลือ รดาการ 2552: การเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการดับเพลิง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย) สาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์เลิศชัย ระตะนะอาพร, วศ.ม. 74 หน้า

เพลิงไหม้เป็นภัยที่อันตรายซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่างๆมากมายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม รวมถึงเวลาในการซ่อมแซมและฟื้นฟูสิ่งที่เสียหายไปให้กลับสู่สภาพปกติ จากข้อมูลทางสถิติในบทความ NFPA ปี 2008 พบว่าการเสียชีวิตจากเหตุเพลิงไหม้ร้อยละแปดสิบเอ็ดเกิดตามหอพัก บ้านแฝด โรงแรม และที่พักอาศัยต่างๆ งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยให้มีความสามารถในการรองรับการดับเพลิงในระบบหัวกระจายน้ำเมื่อเกิดอัคคีภัย

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำตามบ้านพักอาศัยทั่วไปขนาด 300 วัตต์ ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที พบว่าความดันและอัตราไหลยังไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำของ NFPA 13R ซึ่งกำหนดความดันขั้นต่ำไว้ที่ 14.8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราไหลขั้นต่ำไว้ที่ 49 ลิตรต่อนาที ต่อหนึ่งหัวกระจายน้ำดับเพลิง ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ ในงานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีความสัมพันธ์ของเครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอลเข้าช่วยในการหาเส้นสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำเมื่อทำการปรับค่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่ความถี่ต่างๆ เมื่อทำการแปรความถี่เพื่อเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ ความดันและอัตราไหลก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นไปที่ 71 Hz ที่ความเร็วรอบ 2,111 รอบต่อนาที จะเห็นว่าสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้นและสามารถนำไปใช้กับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าการจะปรับปรุงเครื่องสูบน้ำตามบ้านพักอาศัยขนาด 300 วัตต์ ให้มีประสิทธิภาพในการดับเพลิงเมื่อเกิดอัคคีภัยให้ได้ความดันและอัตราไหลตามมาตรฐานสากลจะต้องเพิ่มความถี่ให้แก่มอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำให้อยู่ในช่วง 71 Hz ขึ้นไป

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Banleu Radagan 2009: An Improvement of Residential Water Pump Performance for Supporting Fire Suppression. Master of Engineering (Fire Protection Engineering), Major Field: Fire Protection Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Lertchai Ratanaaporn, M.Eng. 74 pages.

Fires are dangerous causing many damaging results. Those damages include the loss of life, property, and the environment. It also wastes a lot of time to fix and recover the damaged property. The NFPA journal of 2008 recorded that 81% of the fires result in lose of life from house fires including homes, houses, apartments, and hotels. The purpose of this research was to study and improve the residential water pumps to support fire suppression in home sprinkler systems.

In this research, tests were done to find the performance of residential water pumps at 300 watts and a frequency of 50 Hz at 1,450 rpm. The test results showed that the pressure and flow rate of the water did not meet NFPA 13R standards. The standards are set at 14.8 psi and a flow rate of 49 L/min as a minimum requirement per sprinkler. Therefore, the performance of the residential water pump needed to be increased. The research concerning the theory of the pump affinity laws showed that the flow rate and pressure vary with the impeller speed. From the test, when the frequency was increased to 71 Hz at the speed of 2,111 rpm, the residential water pump built a sufficient head and flow rate that met the standards for fire suppression use. With this performance, the residential water pump was above the standard requirements.

The results of the thesis shows that the 300 watts residential water pump can be used for fire suppression with a high efficiency. It also meets the water based sprinkler system standards for residential use when increase the frequency to 71 Hz.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์เลิศชัย ระตะนะอาพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์สุรชัย รดาการ ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัยและคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านคำปรึกษาและเนื้อหาวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ตลอดจนให้คำแนะนำและสนับสนุนเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบิดาที่แนะนำและช่วยสนับสนุนในการศึกษาในระดับปริญญาโท อีกทั้งยังให้ความรู้ทางด้านเนื้อหาวิชาการและสนับสนุนด้านการเงิน พร้อมจัดหาสถานที่ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ ขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมาจนทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

บรรลือ รดาการ

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	26
ผล	26
วิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	45
สรุป	45
ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	47
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2	49
ภาคผนวก ข ข้อมูลการแปลงหน่วยปริมาตรน้ำระหว่างหน่วยอังกฤษและหน่วยเมตริก	66
ภาคผนวก ค ข้อมูลแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC	68
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	วัสดุและขนาดของท่อสำหรับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 13R	20
2	วัสดุและขนาดของข้อต่อท่อสำหรับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 13R	20
3	ขนาดของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยทั่วไป	26
4	ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบ 1450 rpm	28
5	ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 65 Hz ความเร็วรอบ 1950 rpm	36
6	ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องสูบน้ำ มิตซูบิชิ รุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 82 Hz ความเร็วรอบ 2450 rpm	38
7	ชั้นคุณภาพความดันระบุของท่อ PVC ตามมาตรฐาน มอก.17-2532	46

ตารางผนวกที่

ก1	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 2.5 L/min	50
ก2	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 5.0 L/min	51
ก3	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 7.5 L/min	52
ก4	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 10 L/min	53
ก5	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 12.5 L/min	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก6	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 15 L/min	55
ก7	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 17.5 L/min	56
ก8	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 20 L/min	57
ก9	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 22.5 L/min	58
ก10	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 25 L/min	59
ก11	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 27.5 L/min	60
ก12	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 30 L/min	61
ก13	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 32.5 L/min	62
ก14	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 35 L/min	63
ก15	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 37.5 L/min	64
ก16	ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 40 L/min	65

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความดันที่เครื่องสูบน้ำนั้นสร้างได้	7
2	ทิศของความดันตั้งฉากและความดันจลน์	8
3	หลอดพิโทที่วางตัวอยู่ในแนวเดียวกับการไหลเพื่อใช้วัดความดันนิ่งและความดันหยุด	11
4	ทิศทางการไหลของของไหลขณะผ่านออกจากใบพัดของเครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอล	13
5	สมรรถนะเครื่องสูบน้ำดับเพลิงเมื่ออยู่ในสภาวะไรภาระที่ได้มาตรฐาน	17
6	การต่อเครื่องสูบน้ำแบบขนาน	18
7	การต่อเครื่องสูบน้ำแบบอนุกรม	18
8	รูปแบบระบบท่อที่ใช้ในการทดสอบ	24
9	แบบฟอร์มใส่ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ	25
10	เนมเพลท (Nameplate) ของเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2	27
11	สมรรถนะเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบ 1450 rpm	29
12	การกระจายน้ำที่ความดัน 20 psi และอัตราไหล 25.5 L/min	30
13	การกระจายน้ำที่ความดัน 18 psi และอัตราไหล 24.2 L/min	30
14	การกระจายน้ำที่ความดัน 15 psi และอัตราไหล 21.6 L/min	31
15	การกระจายน้ำที่ความดัน 15psi และอัตราไหล 20.0 L/min	31
16	การกระจายน้ำที่ความดัน 14 psi และอัตราไหล 20.0 L/min	32
17	การกระจายน้ำที่ความดัน 13 psi และอัตราไหล 19.4 L/min	32
18	การกระจายน้ำที่ความดัน 10 psi และอัตราไหล 17.7 L/min	33
19	การกระจายน้ำที่ความดัน 9 psi และอัตราไหล 16.5 L/min	33
20	การกระจายน้ำที่ความดัน 7 psi และอัตราไหล 14.8 L/min	34
21	การกระจายน้ำที่ความดัน 5 psi และอัตราไหล 12.5 L/min	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	สมรรถนะเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 65 Hz ความเร็วรอบ 1950 rpm	37
23	สมรรถนะเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 82 Hz ความเร็วรอบ 2450 rpm	39
24	สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ต่างๆ	40

ภาพผนวกที่

ข1	ตารางการแปลงหน่วยปริมาตรน้ำระหว่างหน่วยอังกฤษและหน่วยเมตริก	67
ค1	ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¾ นิ้ว	69
ค2	ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	70
ค3	ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ¼ นิ้ว	71
ค4	ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว	72
ค5	ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ½ นิ้ว	73

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

หน่วยอังกฤษ (U.S. unit)

ft (foot)	=	หน่วยของความยาว
ft^2 (square foot)	=	หน่วยของพื้นที่
ft^3 (cubic foot)	=	หน่วยของปริมาตร
ft/s (foot per second)	=	หน่วยของความเร็ว
ft/s^2 (foot per square second)	=	หน่วยของความเร่ง
ft^3/s (cubic foot per second)	=	หน่วยของอัตราไหล
gpm (gallon per minute)	=	หน่วยของอัตราไหล
HP (horsepower)	=	หน่วยของกำลัง
Hz (hertz)	=	หน่วยของความถี่
lb (pound)	=	หน่วยของน้ำหนัก
lb/ft^3 (pound per cubic foot)	=	หน่วยของความหนาแน่น
psi (pound per square inch)	=	หน่วยของความดัน
rpm (round per minute)	=	หน่วยของความเร็วรอบ

หน่วยเมตริก (Metric unit)

bar	=	หน่วยของความดัน
kg (kilogram)	=	หน่วยของน้ำหนัก
kg/m^3 (kilogram per cubic meter)	=	หน่วยของความหนาแน่น
L/min (liter per minute)	=	หน่วยของอัตราไหล
m (meter)	=	หน่วยของความยาว
m^2 (square meter)	=	หน่วยของพื้นที่
m^3 (cubic meter)	=	หน่วยของปริมาตร
m/s (meter per second)	=	หน่วยของความเร็ว
m/s^2 (meter per square second)	=	หน่วยของความเร่ง
m^3/s (round per minute)	=	หน่วยของความเร็วรอบ

การเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำบ้านพักอาศัยเพื่อรองรับการดับเพลิง

An Improvement of Residential Water Pump Performance for Supporting Fire Suppression

คำนำ

จากข้อมูลทางสถิติพบว่าการเสียชีวิตจากเหตุเพลิงไหม้ร้อยละแปดสิบเอ็ดเกิดตามหอพัก บ้านแฝด โรงแรม และที่พักอาศัยต่างๆ (Karter, 2008) เพลิงไหม้เป็นภัยที่อันตรายซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่างๆมากมายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม รวมถึงเวลาในการซ่อมแซมและฟื้นฟูสิ่งที่เสียหายไปให้กลับสู่สภาพปกติ เราสามารถคาดการณ์แหล่งที่มีความเสี่ยงสูงแล้วหาวิธีการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากอัคคีภัยได้

ประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญและตระหนักถึงความร้ายแรงของภัยนี้ จึงได้ออกพระราชบัญญัติป้องกันและระงับอัคคีภัย (พ.ศ. 2542) และข้อกำหนดต่างๆเพื่อป้องกันการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว เช่นการออกแบบอาคาร การจัดแผนอพยพ ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ กฎหมายส่วนใหญ่จะออกมาบังคับใช้กับอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หรืออาคารที่มีผู้คนเข้าไปใช้จำนวนมากๆ แต่ยังไม่บังคับบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก ให้ติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัย เป็นผลทำให้การเกิดอัคคีภัยจากที่พักอาศัยมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์เครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยในยามปกติให้เป็นเครื่องสูบน้ำเพื่อการดับเพลิงขนาดย่อมหากเกิดอัคคีภัยขึ้น โดยเน้นที่ต้นทุนดัดแปลง พร้อมติดตั้งในราคาต่ำสำหรับบ้านพักอาศัย แต่ได้ตามมาตรฐานสากล เพื่อตอบสนองความต้องการของคนทั่วไปที่ต้องการระบบความปลอดภัยจากเหตุเพลิงไหม้ในที่พักอาศัยตลอด 24 ชั่วโมง

ในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์นี้มีขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์คือศึกษาข้อมูลเครื่องสูบน้ำดับเพลิงและข้อกำหนดต่างๆตามมาตรฐานสากล รวมทั้งข้อมูลตัวอย่างเครื่องสูบน้ำธรรมดาตามบ้านพักอาศัยเพื่อหาจุดเหมาะสมในการเพิ่มสมรรถนะที่เครื่องสูบน้ำธรรมดาทำได้ขึ้นถึงระดับที่ใช้งานเพื่อการดับเพลิง

วัตถุประสงค์

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบน้ำดับเพลิงและทดสอบสมรรถนะ (Performance Test) ของเครื่องสูบน้ำตามบ้านพักอาศัย วิเคราะห์แล้วหาวิธีการประยุกต์ใช้เครื่องสูบน้ำธรรมดาตามบ้านพักอาศัยให้เป็นเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติให้ได้ตามข้อกำหนดมาตรฐานสากล สามารถในการรองรับการดับเพลิงในระบบหัวกระจายน้ำเมื่อเกิดอัคคีภัย และสอดคล้องกับสภาพที่เป็นอยู่ในประเทศไทย

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเครื่องสูบน้ำที่ใช้กันตามบ้านทั่วไป ที่ความถี่ปกติ 50 Hz และทำการเก็บข้อมูลความดันและอัตราไหลที่ช่วงต่างๆเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้และปรับปรุงเครื่องสูบน้ำให้มีความสามารถในการรองรับการดับเพลิงในระบบหัวกระจายน้ำเมื่อเกิดอัคคีภัย

การตรวจเอกสาร

เพลิงไหม้เป็นภัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่างๆมากมายต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม หนึ่งในความเสียหายนั้นที่มีค่าและไม่สามารถทวงกลับคืนมาได้คือชีวิตของผู้ประสบภัย จะเห็นว่าในต่างประเทศให้ความสำคัญต่อชีวิตเป็นอันดับต้นๆ จึงมีกฎระเบียบและมาตรฐานต่างๆออกมาเพื่อป้องกันการเกิดเหตุที่ไม่พึงประสงค์นี้

ปัจจุบันตึกอาคารใหญ่ๆเท่านั้นที่มีระบบป้องกันอัคคีภัยแบบเต็มรูปแบบ เนื่องจากมีกฎหมายและข้อบังคับสำหรับตึกอาคารขนาดใหญ่ให้มีความปลอดภัยต่อผู้ที่ใช้ตึกอาคารเหล่านั้น แต่จากข้อมูลทางสถิติพบว่าการเสียชีวิตจากเหตุเพลิงไหม้ร้อยละแปดสิบเอ็ดเกิดตามหอพัก บ้านแฝด โรงแรม และที่พักอาศัยต่างๆ (Karter, 2008) ยิ่งในบ้านเมืองเราจะเห็นว่าส่วนใหญ่เป็นบ้านติดกัน ไม่ว่าจะเป็นบ้านทาวน์เฮ้าส์ บ้านแฝด หรือเป็นอาคารพาณิชย์ ซึ่งหากเกิดเพลิงไหม้ในที่พักอาศัยเหล่านี้จะมีโอกาสที่เพลิงจะลามต่อไปยังอาคารข้างเคียงได้สูง ในมาตรฐานสากล National Fire Protection Association (NFPA) 13D และ 13R ได้พูดถึงมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงในบ้านพักอาศัยไม่เกิน 4 ชั้น และให้หลักการเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งในส่วนการตรวจเอกสารนี้จะแบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ได้แก่ หลักการพื้นฐานกลศาลตร์ เครื่องสูบน้ำและหลักการทำงานทั่วไป มาตรฐานการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติและตัวอินเวอร์เตอร์

1. พื้นฐานกลศาสตร์ของไหล

สสารทั้งหลายถูกจัดเป็นประเภทใหญ่ๆสามประเภท คือ ของแข็ง ของเหลวและก๊าซ สสารสองประเภทหลังนั้นถือว่าปืนของไหล แต่ละชนิดของของไหลจะมีคุณสมบัติต่างกันไปไม่ว่าจะความหนืด ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะและอื่นๆ สำหรับคุณสมบัติอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์จะไม่นำมากล่าวถึง เช่น ความจุความร้อน ฯลฯ

ความหนืด (Viscosity, μ)

ความหนืด คือแรงต้านทานการไหลของของไหล ความหนืดไม่มีหน่วยที่ใช้วัด แต่จะใช้สัดส่วนค่าคงตัวในการแสดงถึงความหนืดของของไหลนั้น ของไหลที่มีความเข้มข้นมากค่าความหนืดก็จะมากขึ้นด้วย ยิ่งมีของไหลมีความหนืดมากก็จะยิ่งมีแรงต้านการไหลภายในมาก แรงต้านนี้

คือแรงเฉือน (Shear Force) ที่เกิดขึ้นในแนวขนานแต่ทิศตรงกันข้ามกับแนวการไหล ความหนืดของของไหลสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ

ความหนาแน่น (Density, ρ)

ความหนาแน่น คือมวลต่อหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นจะเป็นจำนวนผกผันกับปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, V) ดังนั้นจึงได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวหารทั้งสองว่า

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1}$$

โดย ρ = ความหนาแน่น (ft^3/lb)

m = มวล (lb)

V = ปริมาตร (ft^3)

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ของไหลจะมีความเร็วภายในท่อต่ำกว่าความเร็วเสียงมาก สามารถกำหนดให้ความหนาแน่นของของไหลเป็นค่าคงตัว

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, SG)

ความถ่วงจำเพาะ คือค่าที่เทียบความหนาแน่นของสารกับความหนาแน่นของสารมาตรฐาน จึงสามารถให้คำนิยามเป็นสมการได้ดังนี้

$$SG_i = \frac{\rho_i}{\rho_w} \tag{2}$$

เมื่อ i คือ ดรรชนีระบุสารใดๆ และ w คือ น้ำบริสุทธิ์ซึ่งเป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ ดังนั้นโดยคำนิยาม SG ของน้ำเท่ากับ 1 ส่วน SG ของสารอื่นๆก็สามารถหาได้จากการทดลอง

1.1 หลักการไฮโดรลิค (Hydraulic Principles)

1.1.1 คุณสมบัติของน้ำ (Properties of Water)

อย่างที่กล่าวไว้ข้างต้น สสารทั่วไปจะอยู่ในสถานะที่สามารถแบ่งออกได้เป็นสามประเภท คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ของแข็งจะต้านการเปลี่ยนรูปทรงแต่ของเหลวและก๊าซจะสามารถเปลี่ยนรูปทรงได้ตามภาชนะที่ถูกบรรจุ ซึ่งเรียกสองสถานะนี้ว่า ของไหล แต่มีเพียงของเหลวเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนรูปทรงได้โดยยังคงปริมาตรเท่าเดิม

ของเหลวถือว่าเป็นสถานะที่ไม่สามารถอัดตัวได้ ดังนั้นจึงมีความหนาแน่นคงที่ที่อุณหภูมิๆหนึ่ง สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อสะดวกในการศึกษาและคำนวณจะกำหนดให้น้ำมีความหนาแน่น 62.4 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (62.4 lb/ft^3) หรือ 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (1000 kg/m^3)

1.1.2 อัตราการไหล ความดัน และแรงดังส่ง (Flow, Pressure and Head)

สองตัวแปรสำคัญที่จะทำให้เข้าใจสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำดับเพลิง คือ ปริมาตรน้ำที่ต้องส่ง เรียกว่าอัตราการไหล และพลังงานที่ต้องใช้ในการขับส่งน้ำนั้นเรียกว่าความดัน

1.1.2.1 อัตราการไหล

อัตราการไหล (Q) คือ ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านจุดๆหนึ่ง ณ เวลาที่กำหนด ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลได้ในหน่วยแกลลอนต่อนาที (gpm) ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที (ft^3/s) ลิตรต่อนาที (L/min) หรือปริมาตรอื่นๆหารด้วยเวลา ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ Q ในการแทนอัตราไหลในสมการคำนวณ

$$A_1V_1 = A_2V_2 \tag{3}$$

โดย A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ft^2)

V = ความเร็วของของไหลภายในท่อ (ft/s)

1.1.2.2 ความดันและแรงดันส่ง

พลังงานที่ใช้ในการขับส่งน้ำจะอยู่ในรูปของความดันหรือแรงดันส่ง หน่วยความดันที่นิยมใช้ในระบบท่อน้ำส่ง คือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และบาร์ (bar) ส่วนหน่วยแรงดันส่ง (Head) ที่มักใช้ในระบบท่อน้ำส่งคือฟุต (ft) และเมตร (m)

เมื่อใช้ความถ่วงจำเพาะของน้ำจะสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความสูงได้ดังนี้

$$P = 0.433 \times h \tag{4}$$

โดย P = ความดัน (psi)

h = ความสูงของน้ำเหนือจุดที่คำนวณ (ft)

เมื่อของเหลวที่อัดตัวไม่ได้ เช่นน้ำ ถูกยกสูงขึ้นในระดับหนึ่ง แรงโน้มถ่วงจะส่งผลให้ของเหลวนั้นมีพลังงานศักย์มากน้อยขึ้นกับค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวนั้น พลังงานศักย์นี้เป็นพลังงานที่สามารถใช้งานได้ ยิ่งของเหลวถูกยกสูงขึ้นเท่าใดก็จะยิ่งมีพลังงานศักย์มากขึ้นเท่านั้น ความดันที่ได้จากการยกระดับน้ำคือความดันศักย์ หรือจะเรียกว่าแรงดันส่งยิ่งระดับน้ำอยู่สูงเท่าใดแรงดันส่งก็จะเพิ่มมากขึ้นที่จุดปล่อยข้างล่าง

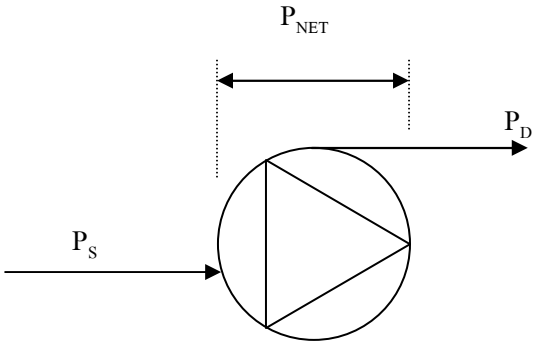
สำหรับความดันที่กล่าวถึงในเรื่องเครื่องสูบน้ำมีหลายประเภทได้แก่ ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) ซึ่งเป็นความดันส่งผลมาจากน้ำหนักของอากาศ โดยทั่วไปความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลจะอยู่ที่ 14.7 psi หรือ 1 bar ความดันเกจ (Gauge Pressure) คือความดันที่อ่านได้จากเกจความดัน ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) คือผลบวกของความดันบรรยากาศและความดันเกจที่วัดได้ ความดันส่ง (Discharge Pressure) คือความดันที่อ่านได้จากเกจทางท่อส่ง ความดันท่อทางดูด (Suction Pressure) คือความดันที่อ่านได้จากเกจท่อทางดูดก่อนเข้าเครื่องสูบน้ำ และความดันสุทธิ (Net Pressure) คือความดันที่เครื่องสูบน้ำนั้นสร้างได้ (ภาพที่ 1) หรือเรียกอีกอย่างว่าแรงดันส่งเครื่องสูบน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสร้าง ความดันส่ง และความดันท่อทางดูด สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{NET} = P_D - P_S \quad (5)$$

โดย P_{NET} = ความดันสุทธิที่เครื่องสูบน้ำสร้างได้ (psi)

P_D = ความดันส่ง (psi)

P_S = ความดันท่อทางดูด (psi)



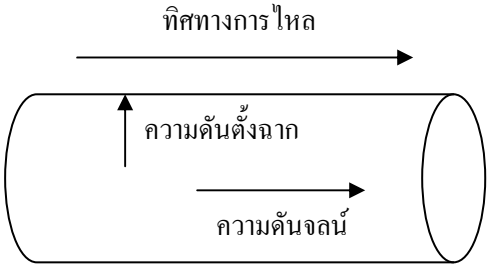
Water Pump

ภาพที่ 1 ความดันที่เครื่องสูบน้ำนั้นสร้างได้

1.1.3 พลังงานและการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน (Energy and Friction Loss)

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น น้ำหยุดนิ่ง(ไม่มีการไหล) ที่ถูกยกระดับให้สูงจะมีพลังงานศักย์ภายในตัว เมื่อน้ำเริ่มไหลพลังงานศักย์จะเปลี่ยนสภาพเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งจะทำหน้าที่คงการไหลให้ไหลไปอย่างต่อเนื่อง ความดันที่เกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์จะเรียกว่าความดันจลน์ (Velocity Pressure or Velocity Head) ความดันนี้จะมีทิศทางขนานกับผนังท่อ ดังภาพที่ 2

น้ำในท่อจะกระจายความดันให้กับผนังท่อ เมื่อน้ำไม่มีการไหลความดันในท่อจะมีความดันรวม (Total Pressure) และเมื่อน้ำมีการไหลความดันรวมบางส่วนจะเปลี่ยนสภาพเป็นความดันจลน์ ส่วนความดันที่เหลือจะมีทิศทางตั้งฉากกับผนังท่อดังภาพที่ 2 ความดันนี้เรียกว่าความดันตั้งฉาก (Normal Pressure)



ภาพที่ 2 ทิศของความดันตั้งฉากและความดันจลน์

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวม ความดันจลน์ และความดันตั้งฉากที่จุดต่างๆในระบบสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$P_T = P_V + P_N \tag{6}$$

โดย P_T = ความดันรวม

P_V = ความดันจลน์

P_N = ความดันตั้งฉาก

สมการความสัมพันธ์ (6) นี้จะใช้ได้จริงก็ต่อเมื่อใช้คำนวณที่จุดใดจุดหนึ่ง อย่างไรก็ตามที่แต่ละจุดจะมีความดันรวมไม่เท่ากันเนื่องจากผลของความเสียดทาน ความดันที่ปลายของท่อย่อมมีความดันต่ำกว่าความดันใกล้ท่อทางส่ง

พลังงานในท่อทั้งหมดมีความสำคัญ ความดันรวมที่จุดๆหนึ่งจะต้องเท่ากับความดันรวมที่ปลายท่อบวกกับพลังงานที่สูญเสียไประหว่างจุดสองจุดนั้น เบอร์นูลลีได้ให้สมการดังนี้

$$P_{VA} + P_{NA} + P_{EA} = P_{VB} + P_{NB} + P_{FL} \tag{7}$$

โดย P_{VA} = ความดันจลน์ที่จุด A

P_{NA} = ความดันตั้งฉากที่จุด A

P_{EA} = ความดันศักย์ที่จุด A

P_{VB} = ความดันจลน์ที่จุด B

P_{NB} = ความดันตั้งฉากที่จุด B

P_{FL} = ความดันสูญเสียระหว่างจุด A และ จุด B

เมื่อนำเครื่องสูบน้ำมาติดตั้งระหว่างจุดสองจุดนั้น สมการเบอร์นูลลีสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$P_{VA} + P_{NA} + P_{EA} + P_{NET} = P_{VB} + P_{NB} + P_{FL} \tag{8}$$

การคำนวณหาความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานสามารถทำได้โดยการใช้สูตรของดาร์ซี-ไวสบาร์ค (Darcy-Weisbach) ดังนี้

$$h_f = f\frac{Lv^2}{2Dg} \tag{9}$$

โดย h_f = ความดันเสียดทานที่สูญเสีย (ft)

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

L = ความยาวของท่อ (ft)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (ft)

v = ความเร็วการไหล (ft/s)

g = ความเร่งของแรงโน้มถ่วง (ft/s^2)

ถึงแม้สูตรของดาร์ซี-ไวสบาร์คจะมีวิธีการใช้งานได้อย่างตรงไปตรงมา แต่การหาสัมประสิทธิ์ค่าความเสียดทานจริงเป็นงานที่ค่อนข้างยากเนื่องจากมีหลายตัวแปรที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นความเรียบของผนังท่อภายในท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

การประยุกต์ใช้สูตรของดาร์ซี-ไวสบาร์คสามารถทำได้โดยใช้กราฟมูดี้ (Moody Diagram) เข้าช่วย ซึ่งกราฟนี้จะช่วยให้หาค่าความเสียดทานได้โดยไม่ต้องใช้สูตรของดาร์ซี-ไวสบาร์คโดยตรง อย่างไรก็ตาม การใช้กราฟมูดี้จะต้องทราบค่าอัตราส่วนระหว่างความเรียบภายในท่อกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ และค่าของเลขเรย์โนลด์

อีกวิธีในการคำนวณหาค่าความเสียดทานในระบบท่อส่งน้ำสามารถทำได้โดยการใช้สูตรของฮาเซ็น-วิลเลี่ยมส์ (Hazen-Williams) ดังนี้

$$F_L = \frac{4.52Q^{1.85}}{C^{1.85}d^{4.87}} \tag{10}$$

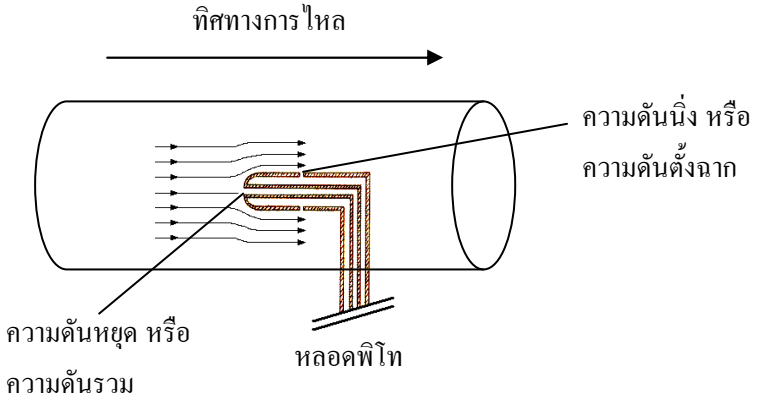
โดย F_L = ความดันเสียดทานที่สูญเสีย (psi)
Q = อัตราการไหล (gpm)
C = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (inch)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (C-Factor) แสดงถึงความเรียบของผิวผนังภายในท่อ ยิ่งค่า C สูงเท่าใดแสดงว่าผิวผนังภายในท่อนั้นยิ่งเรียบเท่านั้น ผิวที่เรียบจะมีค่าแรงเสียดทานน้อยลง ค่าของ C จะเปลี่ยนตามชนิดและอายุของท่อ ท่อทองแดงและท่อพลาสติคจะมีค่า C อยู่ที่ประมาณ 150 และจะไม่ลดลงตามอายุ ส่วนท่อเหล็กจะมีค่า C ประมาณ 140 แต่ค่าจะลดลงตามอายุ มาตรฐานการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Puchovsky, 1996) กำหนดค่า C ที่ 120 เป็นอย่างต่ำในท่อเปียกของระบบกระจายน้ำดับเพลิง และกำหนดค่า C ที่ 100 สำหรับระบบท่อแห้ง

1.1.4 การวัดการไหล

การวัดการไหลมีด้วยกันหลายวิธี เช่นการวัดโดยน้ำหนัก (Gravimetric) โดยปริมาตร (Volumetric) โดยใช้ไฟฟ้าหรือแม่เหล็กไฟฟ้า (Electronic or Electromagnetic) แต่การวัดที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อน้ำที่มีเครื่องสูบน้ำมักจะใช้หลอดพิโท (Pitot Tube)

สิ่งที่ต้องการทราบเมื่อต้องการศึกษาเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการไหลคือค่าความดันและค่าความเร็วของการไหล การวัดความเร็วของการไหลสามารถทำได้โดยการประยุกต์หลักการของเบอร์นูลลีที่ว่า “ความเร็วยิ่งลดลง ความดันยิ่งสูงขึ้น” อุปกรณ์ที่ใช้หลักการนี้ในการวัดความเร็วของการไหลคือหลอดพิโท หลอดพิโทจะมีลักษณะเล็กเรียวยาวและวางตัวอยู่ในแนวเดียวกับการไหล ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 หลอดพิโทที่วางตัวอยู่ในแนวเดียวกับการไหลเพื่อใช้วัดความดันนิ่งและความดันหยุด

หลอดพิโทมีโครงสร้างเป็นท่อสองชั้นที่มีรูด้านข้างเพื่อใช้วัดความดันนิ่ง (Static Pressure, P_S) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าความดันตั้งฉาก (Normal Pressure) ส่วนรู้ด้านหน้าจะใช้วัดความดันเมื่อของไหลหยุดนิ่ง เรียกว่าความดันหยุด (Stagnation Pressure, P_O) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าความดันรวม (Total Pressure) ซึ่งความดันนิ่งและความดันหยุดนั้นมีความหมายแตกต่างกันซึ่งอาจพิจารณาได้จากสมการ ดังนี้

$$P_O = P_S + \frac{1}{2}\rho v^2 \tag{11}$$

โดย P_O = ความดันหยุด

P_S = ความดันนิ่ง

จะเห็นว่าสมการ (6) และ (11) คือสมการเดียวกัน สามารถใช้อุปกรณ์หลอดพิโทในการวัดค่า หลักการทำงานของหลอดพิโท คือเมื่อนำอุปกรณ์หลอดพิโทนี้ไปไว้ที่เส้นทางการไหล รูด้านหน้าของหลอดพิโทจะใช้วัดความดันรวมเนื่องจากของไหล ณ จุดตรงปลายท่อนั้นมีสภาพหยุดนิ่ง ซึ่งตามหลักทฤษฎีแล้วจะไม่มีการไหลเลย ความดันจลน์ทั้งหมดจึงเปลี่ยนสภาพเป็นความดันรวม ส่วนรูด้านข้างของหลอดพิโทจะทำหน้าที่วัดความดันตั้งฉาก หลอดพิโทเป็นหลอดกลวงสองชั้น ในลักษณะนี้จึงสามารถวัดความดันทั้งสองได้พร้อมกันทำให้สะดวกต่อการคำนวณใช้ประโยชน์ต่อไป จากสมการเบอร์นูลลีที่เขียนระหว่างจุดที่มีการไหลกับจุดหยุดที่มีความเร็วเป็นศูนย์ จะได้

$$P_s + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z_s \approx P_o + \frac{1}{2}\rho (0)^2 + \rho g z_0 \tag{12}$$

สมมติว่าท่อวางอยู่ในแนวระนาบ ดังนั้นพจน์ $\rho g(z_s - z_0)$ จึงหักล้างกันหมดไป สมการจะลดรูปเป็น

$$v \approx \left[2\frac{(P_o - P_s)}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{13}$$

ค่า $(P_o - P_s)$ นั้นสามารถอ่านได้จากมาตรวัดความดันที่ต่อเชื่อมของไหลด้านในท่อและของไหลที่อยู่ในช่องว่างระหว่างท่อในและท่อนอก สมการข้างต้นนี้เรียกว่าสูตรพิโท (Pitot Formula)

2. เครื่องสูบน้ำและหลักการทำงานทั่วไป

เครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรามาก โดยธรรมชาติของเหลวทุกชนิดจะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเพราะแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นถ้าต้องการบังคับการไหลของของเหลวให้ไหลไปตามทิศทางที่ต้องการ ไม่ว่าจุดปลายทางนั้นจะห่างไกลหรือสูงจากแหล่งน้ำมากเท่าใด จึงต้องหาวิธีเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวนั้น เครื่องสูบน้ำมีหน้าที่สูบของเหลวและเพิ่มความดันให้กับของเหลวในระบบนั้นเพื่อให้ได้ความดันเพียงพอในการขับส่งน้ำไปยังจุดที่ต้องการ เครื่องสูบน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ (Volk, 1996) ได้แก่

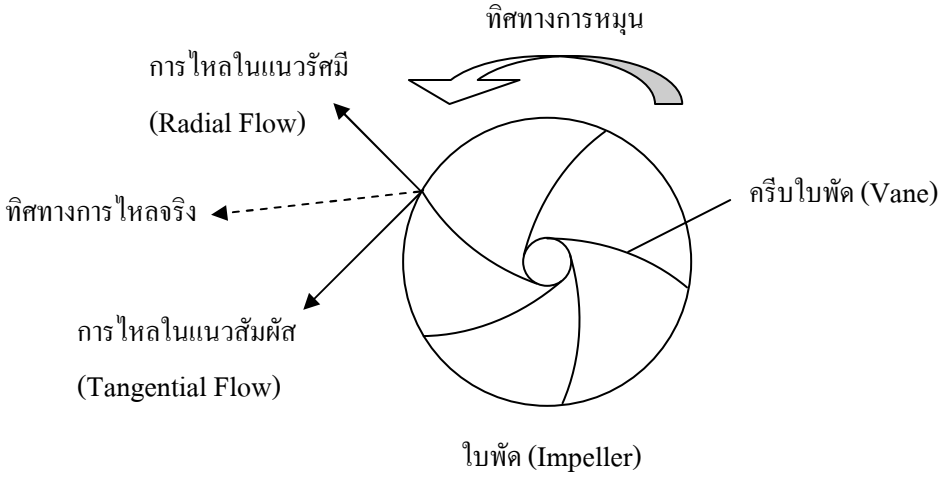
1. ชนิดแรงอัด (Positive Displacement Pump)

เครื่องสูบน้ำชนิดแรงอัดทำงานโดยใช้หลักการใส่พลังงานให้กับของไหลนั้นเป็นระยะๆ ซึ่งทำให้ของไหลนั้นมีความดันเพิ่มขึ้นและไหลไปตามท่อส่ง เช่นการเคลื่อนที่ของลูกสูบในทรงกระบอกเป็นการส่งแรงให้กับของไหลโดยตรง เช่น เครื่องสูบน้ำลูกสูบ (Reciprocating Pump) เครื่องสูบน้ำโรตารี่ (Rotary Pump) ฯลฯ

2. ชนิดไดนามิค (Dynamic Pump)

เครื่องสูบน้ำชนิดไดนามิคทำงานโดยใช้หลักการใส่พลังงานให้กับของไหลนั้นเรื่อยๆ อย่างไม่ขาดสายเพื่อเพิ่มความเร็วให้กับของไหลนั้น แล้วเมื่อความเร็วของของไหลนั้นลดลงที่ปากท่อทางส่งจะทำให้ของไหลนั้นมีความดันเพิ่มขึ้น

แบบของเครื่องสูบน้ำชนิดไดนามิคที่นิยมใช้เป็นอย่างแพร่หลายคือแบบเซนตริฟูกอล การทำงานเครื่องสูบน้ำแบบเซนตริฟูกอลนี้ใช้หลักการหมุนของใบพัดหรือที่เรียกอีกอย่างว่าอิมเพลเลอร์ (Impeller) เมื่อใบพัดหยุดหมุนหลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายเทโดยการผลักดันของครีบใบพัด (Vane) ต่อของเหลวที่อยู่รอบๆทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential Flow) เมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางและเป็นผลให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial Flow) ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลักดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เป็นผลรวมของแนวทั้งสอง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ทิศทางการไหลของของไหลขณะผ่านออกจากใบพัดของเครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอล

โดยหลักการกลศาสตร์ของไหล เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีจุดศูนย์กลาง ความดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น เมื่อความเร็วของใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในภาชนะปิดมากพอ ความดันที่จุดศูนย์กลางก็จะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ดังนั้น

เครื่องสูบน้ำแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่แท้จริงจึงมีช่องทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูด (Suction Opening) อยู่ที่ศูนย์กลางใบพัด

เมื่อของเหลวที่ถูกดูดเข้าทางศูนย์กลางถูกผลักออกไปด้วยแรงผลักของครีบใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางก็จะไหลออกมาตลอดแนวเส้นรอบวง ดังนั้นใบพัดจึงจำเป็นต้องอยู่ในเรือนของเครื่องสูบน้ำ (Casing) เพื่อทำหน้าที่รวบรวมและผันของเหลวเหล่านี้ไปสู่ทางจ่าย (Discharge Opening) เพื่อต่อเข้ากับท่อส่งหรือระบบใช้งานต่อไป ในการรวบรวมของเหลวที่ถูกผลักดันออกมานี้จำเป็นจะต้องเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นรอบวงของใบพัด ดังนั้นจะมีจุดหนึ่งซึ่งผนังภายในของเรือนเครื่องสูบน้ำเข้ามาชิดกับขอบของใบพัด จุดดังกล่าวนี้เรียกว่าลิ้นของเรือนเครื่องสูบน้ำ (Tongue of the Casing) จากลิ้นของเรือนเครื่องสูบน้ำไปตามทิศทางการหมุนของใบพัดจะมีของเหลวไหลออกมามากขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงของใบพัดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นช่องว่างซึ่งเป็นทางเดินของของเหลวระหว่างช่องผนังของเรือนเครื่องสูบน้ำกับใบพัดก็จะต้องเพิ่มขนาดขึ้นด้วย โดยหลักการแล้วอัตราการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดจะคงที่เมื่อให้ความเร็วของการไหลสม่ำเสมอซึ่งจะเป็นผลให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลงนั้นเอง อย่างไรก็ตามความเร็วของการไหลจะลดลงเนื่องจากพลังงานบางส่วนถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานศักย์ในรูปของความดันแทน

ทั้งนี้ทั้งนั้นเครื่องสูบน้ำประเภทเซนตริฟูกอลยังสามารถแบ่งแยกออกได้อีกหลายแบบ เช่น แบบหอยโข่ง แบบมีครีบผันน้ำ แบบเทอร์ไบน์ ฯลฯ ที่มีการแบ่งแยกแบบและชนิดของเครื่องสูบน้ำก็เพื่อให้มีความเหมาะกับการใช้งานของแต่ละประเภทด้วย เช่น เครื่องสูบน้ำดับเพลิง เครื่องสูบน้ำบาดาล เครื่องสูบน้ำการเกษตร ฯลฯ เครื่องสูบน้ำเหล่านี้จะประกอบกันเป็นชุดโดยมีอุปกรณ์สำหรับใช้งานที่ออกแบบไว้โดยเฉพาะและไม่เหมาะสมที่จะนำไปกับงานอย่างอื่น

สำหรับเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยทั่วไปจะเป็นแบบเทอร์ไบน์ (Turbine Type) ซึ่งจัดเป็นเครื่องสูบน้ำประเภทเซนตริฟูกอล ลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบนี้จะมีใบพัดเป็นแผ่นแบนกลมมีความหนา ครีบของใบพัดเกิดจากการเซาะร่องบน ขอบของแผ่นใบพัดทำให้เกิดเป็นแผ่นครีบแคบๆและสั้นในแนวรัศมี ขณะที่ของเหลวไหลเข้ามาจากท่อทางดูดสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัด มันจะถูกเหวี่ยงออกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง แต่เนื่องจากผนังของเรือนเครื่องสูบน้ำถูกปิดกั้นอยู่ ของเหลวดังกล่าวก็จะไหลย้อนกลับเข้าสู่ช่องว่างระหว่างใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปอีก ขบวนการดังกล่าวจะซ้ำกันอยู่เช่นนี้จนกว่าจะถึงช่องทางจ่าย พลังงานที่ของเหลวได้รับจะขึ้นอยู่กับ

จำนวนครั้งที่ของเหลวไหลเข้าสู่ช่องว่างระหว่างครีบของใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปซึ่งมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 50 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งมากพลังงานศักย์ของของเหลวก็จะมากตามขึ้นไปด้วย

โดยทั่วไปแล้ว เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติจะเป็นชนิดไดนามิคแบบเซนตริฟูกอล เนื่องจากเครื่องสูบน้ำชนิดนี้สามารถจ่ายน้ำให้ได้ตามอัตราไหลต่างๆ โดยมีความดันใกล้เคียงกัน ซึ่งต่างจากเครื่องสูบน้ำชนิดแรงอัดตรงที่เครื่องสูบน้ำแรงอัดจะให้อัตราการไหลค่อนข้างคงที่แต่ความดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ หากระบบนั้นเป็นระบบปิด ไม่มีน้ำไหล

การหาความสัมพันธ์การทำงานของเครื่องสูบน้ำ (Pump Affinity Laws) แบบเซนตริฟูกอล สามารถทำได้โดยการใช้หลักการพื้นฐานเขียนเป็นสูตรคำนวณเมื่อความเร็วรอบหรือขนาดใบพัดเปลี่ยนไป การคำนวณแบ่งออกเป็น 2 ชุด (Volk, 1996) คือ

1. เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดคงที่

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{14}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{15}$$

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \tag{16}$$

2. เมื่อความเร็วรอบคงที่

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \tag{17}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \tag{18}$$

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \tag{19}$$

โดยที่ Q = อัตราไหล (gpm)

H = แรงดันสุทธิ (psi)

BHP = แรงม้าเพลา (HP)

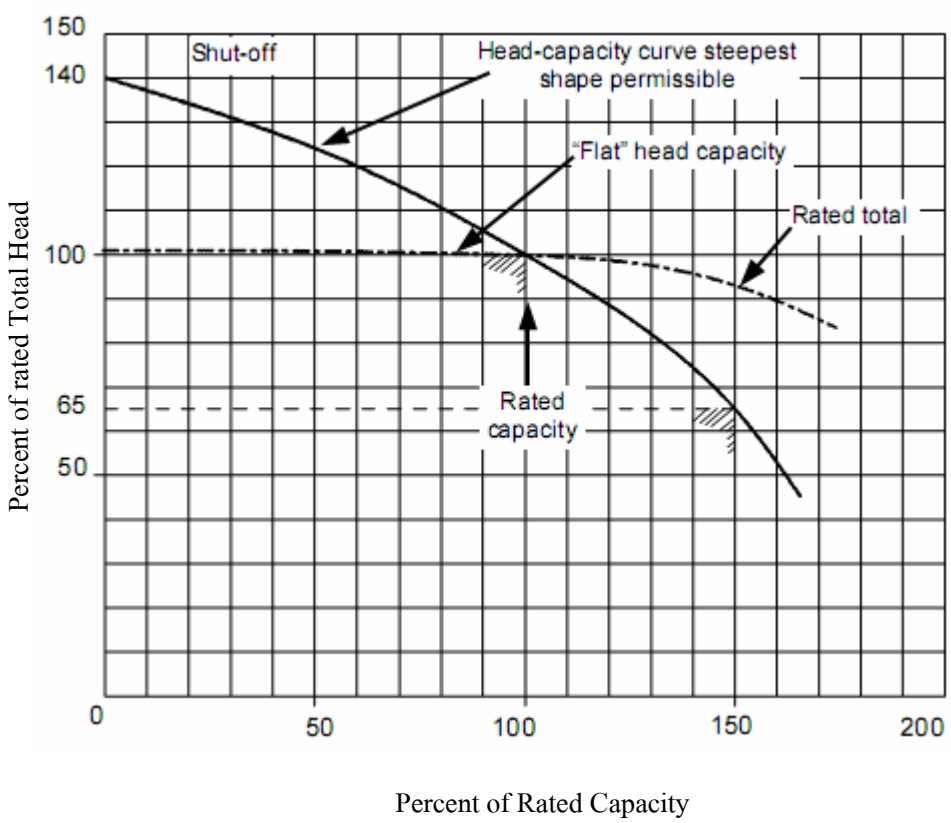
N = ความเร็วรอบ (rpm)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดรอบนอก (inch)

ใน NFPA 20 ได้กำหนดมาตรฐานสมรรถนะช่วงปฏิบัติงานของเครื่องสูบน้ำที่ใช้เพื่อการดับเพลิง (Operating Range of Fire Pump) คือเครื่องสูบน้ำนั้นจะต้องสร้างความดันสูงสุดได้ไม่เกิน 140 เปอร์เซนต์ของความดันปกติที่สภาวะเชิร์น และเครื่องสูบน้ำนั้นจะต้องสามารถจ่ายน้ำที่อัตราไหล 150 เปอร์เซนต์ของอัตราไหลปกติได้โดยมีความดันไม่ต่ำกว่า 65 เปอร์เซนต์ของความดันปกติ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 5

เครื่องสูบน้ำแบบเซนตริฟูกอลสร้างความดันสูงสุดเมื่อของไหลภายในระบบนั้นไม่มีการไหล ลักษณะนี้เรียกว่าเชิร์น (Churn) หรือสภาวะไร้ภาระ (No-Load Condition) คำว่าเชิร์นจะใช้เมื่อเครื่องสูบน้ำนั้นทำงานอยู่แต่ไม่มีการไหลของของไหลนั้นออกนอกระบบ

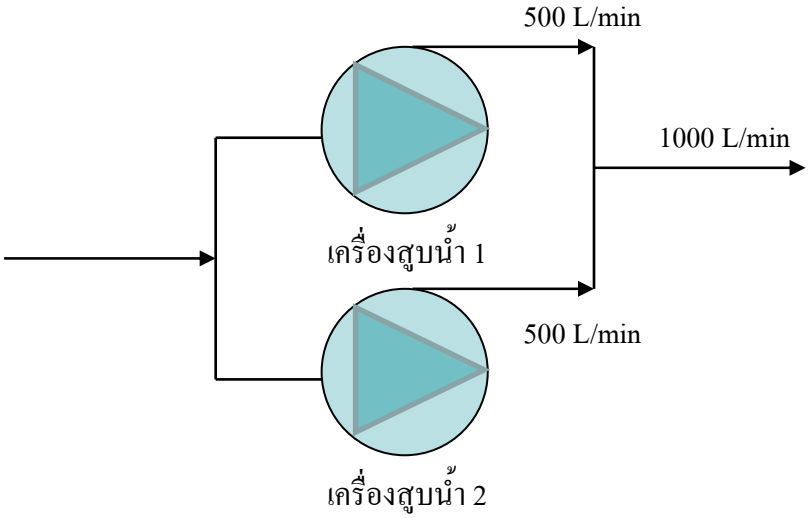
เครื่องสูบน้ำแต่ละตัวจะมีอัตราการจ่ายน้ำที่สภาวะปกติ (Rated Flow) ตามแบบและรุ่นของตัวเครื่องสูบน้ำนั้น โดยธรรมชาติเมื่อเครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำที่อัตราต่ำจะทำให้เครื่องสูบน้ำนั้นสร้างความดันได้สูงขึ้น ในทางกลับกันเมื่อเครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำที่อัตราสูงจะทำให้ตัวเครื่องสูบน้ำนั้นสร้างความดันได้ต่ำ



ภาพที่ 5 สมรรถนะเครื่องสูบน้ำดับเพลิงเมื่ออยู่ในสภาวะไรภาระที่ได้มาตรฐาน

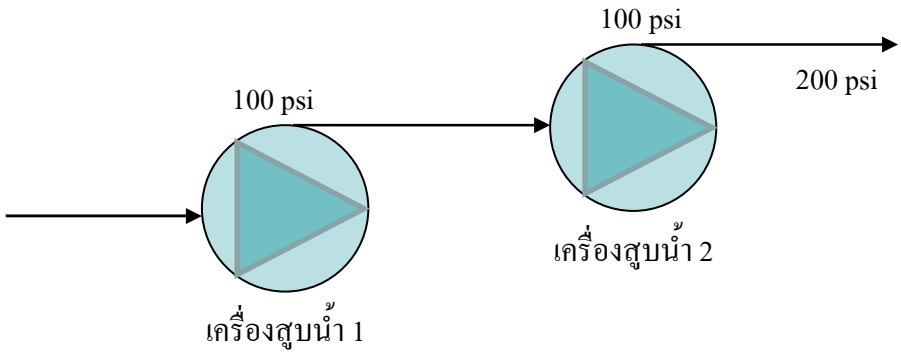
ที่มา: Puchovsky and Isman (1998)

การเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการต่อเครื่องสูบน้ำแบบขนาน การต่อเครื่องสูบน้ำแบบอนุกรม หรือการเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของใบพัด การต่อเครื่องสูบน้ำแบบขนานจะทำให้ท่อทางส่งมีอัตราไหลเพิ่มขึ้นแต่ความดันยังคงเท่าเดิม คือถ้าเครื่องสูบน้ำหนึ่งและเครื่องสูบน้ำสองสามารถจ่ายอัตราไหลที่ 500 L/min เมื่อนำเครื่องสูบน้ำนั้นมาต่อขนานกันจะทำให้ท่อทางส่งมีอัตราไหลเพิ่มขึ้นเท่ากับอัตราไหลเครื่องสูบน้ำหนึ่งบวกกับอัตราไหลเครื่องสูบน้ำสอง นั่นคือระบบนี้จะมีอัตราไหลที่ 1,000 L/min ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การต่อเครื่องสูบน้ำแบบขนาน

การต่อเครื่องสูบน้ำแบบอนุกรมจะทำให้ท่อทางส่งมีความดันเพิ่มขึ้นแต่อัตราไหลยังคงเท่าเดิม คือถ้าเครื่องสูบน้ำหนึ่งและเครื่องสูบน้ำสองสามารถสร้างความดันที่ 100 psi เมื่อนำเครื่องสูบน้ำนั้นมาต่ออนุกรมกันจะทำให้ท่อทางส่งมีความดันเพิ่มขึ้นเท่ากับความดันที่เครื่องสูบน้ำหนึ่งบวกกับความดันที่เครื่องสูบน้ำสองสร้างได้ นั่นคือระบบนี้จะมีความดันส่งที่ 200 psi ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การต่อเครื่องสูบน้ำแบบอนุกรม

ส่วนการเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของใบพัดจะทำให้ทั้งความดันและอัตราไหลเพิ่มขึ้นตามหลักทฤษฎีเครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอลที่ว่าอัตราไหลจะแปรตามความเร็วรอบและความดันจะแปรตามความเร็วรอบยกกำลังสอง

3. มาตรฐานการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ

โดยทั่วไปแต่ละประเทศจะมีระเบียบและมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยตามความเหมาะสมกับสภาพของประเทศนั้นๆ อย่างไรก็ตามมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับของสากลและใช้อ้างอิงอยู่เสมอคือมาตรฐานของ NFPA ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำมาตรฐาน NFPA เข้ามาใช้เพื่อศึกษาและทดสอบใช้เครื่องสูบน้ำธรรมดาตามบ้านพักอาศัยให้เป็นเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติและได้ตามข้อกำหนดมาตรฐานสากล

มาตรฐาน NFPA ได้กล่าวถึงข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไปสำหรับการป้องกันและปราบภัยจากอัคคีโดยเฉพาะ ซึ่งได้แบ่งแยกแต่ละหัวข้อออกเป็นเลขต่างๆ สำหรับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานในวิทยานิพนธ์นี้มี NFPA 13D และ NFPA 13R ซึ่งกล่าวถึงการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติในบ้านพักอาศัย และ NFPA 20 ซึ่งกล่าวถึงมาตรฐานของเครื่องสูบน้ำดับเพลิงและการติดตั้ง

3.1 มาตรฐานการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติในบ้านพักอาศัยและอาคารพาณิชย์สูงไม่เกินสี่ชั้น (NFPA 13D - 13R, Standard for the Installation of Sprinkler Systems in Residential Occupancies up to and including Four Stories in Height)

มาตรฐานนี้เป็นการกล่าวถึงแนวทางในการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำเพื่อการดับเพลิงสำหรับป้องกันชีวิตและทรัพย์สินจากอัคคีภัย มิใช่เป็นการบังคับในการติดตั้งแต่อย่างใด มาตรฐานนี้ได้ตั้งข้อสมมติฐานว่าทุกบ้านพักอาศัยได้ติดตั้งระบบแจ้งเหตุโดยควันตาม NPFA 72 เรียบร้อยแล้ว

3.1.1 ระบบท่อ

ท่อที่ใช้ในระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงควรเป็นท่อที่ใช้วัสดุดังตารางที่ 1 ท่อที่นำมาใช้นอกเหนือจากนี้ควรมีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าท่อในตารางดังกล่าวและสามารถทนความดันได้ไม่ต่ำกว่า 175 psi (12.1 bar) สำหรับข้อต่อควรเป็นวัสดุดังตารางที่ 2 ข้อต่อที่นำมาใช้นอกเหนือจากนี้ควรมีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าข้อต่อในตารางดังกล่าวและสามารถทนความดันได้ไม่ต่ำกว่า 175 psi (12.1 bar)

ตารางที่ 1 วัสดุของท่อสำหรับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 13R

Materials	Standard
Nonmetallic Piping	
Specification for Chlorinated Polyvinyl	
Chloride (CPVC) Pipe	ASTM F 442
Specification for Polybutylene (PB) Pipe	ASTM D 3309

ที่มา: Schultz (1996)

ตารางที่ 2 วัสดุของข้อต่อท่อสำหรับระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามมาตรฐาน NFPA 13R

Materials	Standard
Specification for Schedule 80 CPVC	
Threaded Fittings	ASTM F 437
Specification for Schedule 40 CPVC	
Socket-Type Fittings	ASTM F 438
Specification for Schedule 80 CPVC	
Socket-Type Fittings	ASTM F 439

ที่มา: Schultz (1996)

3.1.2 ระบบของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ระบบเปียก (Wet Pipe System) คือท่อที่มีน้ำและความดันอยู่ภายใน พร้อมที่จะใช้งานได้เมื่อเกิดไฟไหม้ ระบบนี้ควรใช้กับท่อที่ทุกส่วนของท่ออยู่ในพื้นที่ที่ไม่สามารถทำให้น้ำภายในท่อแข็งตัว ซึ่งเหมาะที่จะใช้กับประเทศบ้านเรา ส่วนพื้นที่ที่สามารถทำให้น้ำภายในท่อแข็งตัวได้ควรใช้ระบบป้องกันเข้าช่วย เช่น ระบบต้านการแข็ง (Antifreeze System) ระบบท่อแห้ง (Dry Pipe System) ซึ่งควรติดตั้งให้ได้ตามมาตรฐาน NFPA 13

3.1.3 การออกแบบระบบภายในอาคาร

3.1.3.1 การออกแบบปริมาณการจ่ายน้ำของหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ระบบจะต้องจ่ายน้ำให้ได้ไม่ต่ำกว่า 18 gpm (68 L/min) ในหนึ่งหัวกระจายน้ำที่ทำงานเดี่ยว และจะต้องไม่ต่ำ 13 gpm (49 L/min) ต่อหัวกระจายน้ำที่แตกในระบบที่ออกแบบไว้

3.1.3.2 จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง

จำนวนหัวกระจายน้ำในห้องๆหนึ่งสามารถมีได้สูงสุด 4 หัว ภายใต้ฝ้าผืนเรียบ สำหรับห้องที่มีตั้งแต่ 2 หัวกระจายน้ำขึ้นไปจะต้องมีการคำนวณเพื่อพิสูจน์การทำงานของหัวกระจายน้ำให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

3.1.3.3 ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่จะต้องมีพร้อมให้กับระบบคำนวณได้จากปริมาณน้ำที่ต้องจ่ายคูณกับจำนวนหัวกระจายและเวลาในการจ่ายน้ำ

3.1.3.4 พื้นที่ครอบคลุมของหัวกระจายน้ำ

3.1.3.4.1 หัวกระจายน้ำเพื่อการดับเพลิงในบ้านที่พักอาศัยจะต้องมีระยะห่างพอสมควรโดยที่การครอบคลุมต่อหนึ่งหัวกระจายน้ำจะต้องไม่เกิน 144 ตารางฟุต (13.4 ตารางเมตร)

3.1.3.4.2 ระยะห่างไกลสุดระหว่างหัวกระจายน้ำสองหัวจะต้องไม่เกิน 12 ฟุต (3.7 เมตร) และระยะห่างไกลสุดระหว่างหัวกระจายกับผนังกำแพงจะต้องไม่เกิน 6 ฟุต (1.8 เมตร)

3.1.3.4.3 ระยะห่างใกล้สุดระหว่างหัวกระจายน้ำสองหัวจะต้องไม่ต่ำกว่า 8 ฟุต (2.4 เมตร)

3.1.3.5 ความดันต่ำสุดในระบบจะต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ตามรายการข้อมูลและจะต้องจ่ายน้ำที่อัตราไหลไม่ต่ำว่าที่แจกแจงในข้อ 3.1.3.1

3.1.3.6 การประเมินการใช้ การออกแบบระบบ พื้นที่ครอบคลุม และการออกแบบความดันขั้นต่ำนอกเหนือจากที่แจกจางในข้อ 3.1.3.1, 3.1.3.2, 3.1.3.4 และ 3.1.3.5 จะต้องได้รับการอนุญาตก่อน สำหรับระบบพิเศษตามสภาพแวดล้อมของบ้านพักอาศัยในพื้นที่นั้นๆ

3.1.3.7 ตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงในบ้านที่พักอาศัย

3.1.3.7.1 ต้องติดตั้งหัวกระจายน้ำให้แผ่นกระจายน้ำ (Deflector) อยู่ในช่วง 4 ถึง 6 นิ้ว (102 มิลลิเมตร ถึง 152 มิลลิเมตร) จากฝ้าเพดาน

3.1.3.7.2 ต้องติดตั้งหัวกระจายน้ำในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาการตอบสนอง (Respond Time) และการกระจายน้ำ เช่นตำแหน่งบริเวณ ฝ้าเพดานที่มีความชัน เสาคาน หรือ อุปกรณ์แสงไฟต่างๆ

3.1.3.8 ขนาดของท่อจะต้องหาจากการคำนวณตามขั้นตอน NFPA 13

4. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปขับเคลื่อนเครื่องจักรอื่นๆต่อไป ความเร็วของมอเตอร์สามารถกำหนดได้โดยแรงบิดของโหลด จำนวนขั้วของมอเตอร์ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับมอเตอร์ และแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$N = \frac{120 \times f}{P} \tag{20}$$

โดยที่ N = ความเร็วรอบ (rpm)

f = ความถี่ (Hz)

P = ขั้ว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำมีดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
2. อุปกรณ์วัดความดันน้ำ (Pressure Gauge)
3. อุปกรณ์วัดอัตราไหลน้ำ (Flow Meter)
4. ถังเก็บน้ำขนาด 1 ลูกบาตรเมตร
5. เครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอลขนาด 18 gpm
6. วาล์วปรับอัตราไหล 1 ตัว
7. วาล์วประตูน้ำ 1 ตัว
8. หัวกระจายน้ำเพื่อการดับเพลิง 2 หัว
9. ท่อน้ำและข้อต่อท่อ

วิธีการ

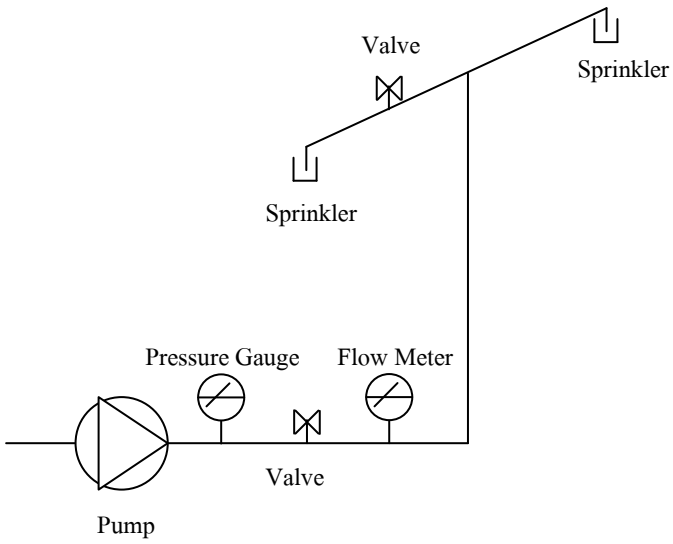
วิทยานิพนธ์นี้ได้เน้นการนำเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยมาทดสอบและวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ที่จะนำเครื่องสูบน้ำนี้ไปประยุกต์ใช้กับหัวกระจายน้ำเพื่อการดับเพลิง โดยใช้มาตรฐาน NFPA เป็นเกณฑ์อ้างอิง ในวิธีการดำเนินงานนี้จะแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนคือ

1. การศึกษาทฤษฎีวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้ได้มีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจากหนังสือและเอกสารต่างๆ และในส่วนที่สองจากการสำรวจจากร้านค้าเครื่องสูบน้ำที่มีจำหน่ายทั่วไปในตลาด ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ปรากฏในหัวข้อการตรวจเอกสาร

2. การทดสอบหาสมรรถนะเครื่องสูบน้ำตามบ้านพัก

การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำจะทำโดยการเปิดวาว์ลให้น้ำไหลออกจากหัวกระจายน้ำ เริ่มจากการปิดวาล์วให้อยู่ในสภาพไม่มีการไหลและค่อยๆเปิดวาล์วให้น้ำไหลผ่านตามที่กำหนดไว้ทุกๆช่วงห่างอัตราการไหลที่ 2.5 ลิตรต่อนาที คือ ที่อัตราไหล 0 ลิตรต่อนาที 2.5 ลิตรต่อนาที 5 ลิตรต่อนาที 7.5 ลิตรต่อนาที 10 ลิตรต่อนาที ไปเรื่อยๆจนเปิดวาล์วให้สุด เราจะทำการเก็บข้อมูลในทุกช่วงห่างอัตราไหลที่ทำการค้างไว้ โดยจะเก็บข้อมูลจุดละ 3 นาที บันทึกผลทุกๆ 20 วินาที รวมทั้งหมด 9 ข้อมูลที่อัตราไหลอัตราหนึ่งและหาค่าเฉลี่ยออกมา ซึ่งแบบระบบท่อที่ใช้ในการทดสอบจะต่อตามแบบภาพที่ 8



ภาพที่ 8 รูปแบบระบบท่อที่ใช้ในการทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบแล้วจะดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ คือ ความเร็วรอบของใบพัด ความดันท่อทางส่ง ความดันท่อทางดูด ความดันสุทธิ และอัตราการจ่ายน้ำ แล้วบันทึกลงในแบบฟอร์มดังภาพที่ 9

รายละเอียด					
เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)

ภาพที่ 9 แบบฟอร์มใส่ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ

3. การนำข้อมูลที่ได้มาวาดเป็นกราฟสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ

กราฟสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำจะวาดลงบนกราฟที่แสดงอัตราการไหลที่แกน x และความดันสุทธิที่แกน y

4. การศึกษาข้อมูลจากกราฟและวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ

การศึกษาข้อมูลจากกราฟและวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะนำเครื่องสูบน้ำนี้ไปใช้ในระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง โดยจะมีการใช้ทฤษฎีความสัมพันธ์ของเครื่องสูบน้ำประเภทเซนตริฟูกอลเข้าช่วย นั่นคืออัตราไหลจะแปรตามความเร็วรอบและความดันจะแปรตามความเร็วรอบยกกำลังสอง ส่วนความเร็วรอบนั้นจะแปรตามความถี่ไฟฟ้า ซึ่งจะใช้สูตรจากสมการความเร็วรอบมอเตอร์

5. วิเคราะห์ผลที่ได้และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน NFPA

6. บันทึกผลการทดสอบและสรุปผล

ผลและวิจารณ์

ผล

จากการศึกษาเครื่องสูบน้ำใช้ตามบ้านพักอาศัยทั่วไปพบว่ามีขนาดอยู่ในช่วงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยทั่วไป (ตัวเลขโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับรุ่นและยี่ห้อของผู้ผลิตเครื่องสูบน้ำ)

ประเภท	มอเตอร์ (วัตต์)	ระยะส่ง (เมตร)	อัตราไหล (L/min)
เครื่องสูบน้ำอัตโนมัติ	400	20	~45 (Max53)
	300	19	~37 (Max47)
	250	19	~35 (Max45)
	200	16	~32 (Max42)
	150	12	~26 (Max35)
	100	11	~21 (Max29)
	80	8	~21 (Max29)

สำหรับบ้านพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ (หรือตึกแถว) ที่มีความสูงไม่เกินสี่ชั้นส่วนใหญ่จะใช้เครื่องสูบน้ำที่มีระยะส่ง 19 เมตร (หรือ 26.8 psi) และอัตราไหลที่ 37 ลิตรต่อนาที ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงจัดหาเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดใกล้เคียงเพื่อนำมาทดสอบหาสมรรถนะ

เครื่องสูบน้ำที่นำมาทดสอบคือเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิ (Mitsubishi) รุ่น WP – 305M2 ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้กันทั่วไปซึ่งมีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ ระยะดูด (สูงสุด) 9 เมตร ระยะส่ง (สูงสุด) 19 เมตรและจ่ายปริมาณน้ำส่งที่ 37 ลิตรต่อนาที ดังภาพที่ 10

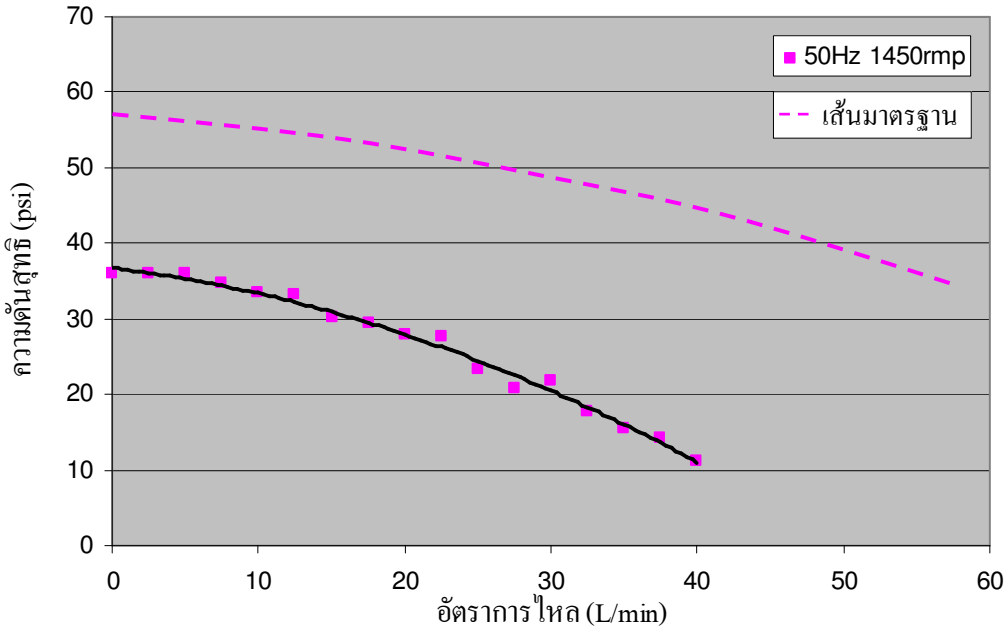
ภาพที่ 10 เนมเพลท (Nameplate) ของเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2

การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำจะทำโดยการเปิดวาว์ลให้น้ำไหลออกจากหัวกระจายน้ำ เริ่มจากการปิดวาล์วให้อยู่ในสภาพไม่มีการไหลและค่อยๆเปิดวาล์วให้น้ำไหลผ่านตามที่กำหนดไว้คือช่วงห่างอัตราการไหลที่ 2.5 ลิตรต่อนาที คือ ที่อัตราไหล 0 ลิตรต่อนาที 2.5 ลิตรต่อนาที 5 ลิตรต่อนาที 7.5 ลิตรต่อนาที 10 ลิตรต่อนาที ไปเรื่อยๆจนเปิดวาล์วสุด การเก็บข้อมูลกระทำทุกช่วงห่างอัตราไหลโดยเก็บข้อมูลจุดละ 3 นาที บันทึกผลทุกๆ 20 วินาที ที่อัตราไหลอัตราหนึ่ง เราได้ข้อมูลเฉลี่ยดังตารางที่ 4 (ตารางข้อมูลดิบจัดอยู่ในภาคผนวกท้ายเล่ม)

ตารางที่ 4 ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบ 1450 rpm

อัตราไหล (L/min)	ความดันท่อทางส่ง (psi)	ความดันสุทธิ (psi)
0.0	36.0	36.0
2.5	36.0	36.0
5.0	35.9	35.9
7.5	34.7	34.7
10.0	33.5	33.5
12.5	33.1	33.1
15.0	30.1	30.1
17.5	29.3	29.3
20.0	28.0	28.0
22.5	27.7	27.7
25.0	23.4	23.4
27.5	20.7	20.7
30.0	21.9	21.9
32.5	17.8	17.8
35.0	15.4	15.4
37.5	14.3	14.3
40.0	11.2	11.2

เมื่อได้ข้อมูลจากการทดสอบแล้วจึงนำมาวาดเป็นกราฟเพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในบ้านพักอาศัยทั่วไป ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟแสดงสมรรถนะเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบ 1450 rpm

จะเห็นว่าเส้นสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำสร้างความดันและจ่ายอัตราไหลได้ไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐาน (เส้นประ) ตามมาตรฐาน NFPA 13R เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ หัวกระจายน้ำดับเพลิงจะแตกและเครื่องสูบน้ำจะต้องจ่ายอัตราไหลให้ได้ 49 L/min และมีความดัน 14.8 psi เป็นอย่างต่ำ แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกราฟจะเห็นว่าเครื่องสูบน้ำตามบ้านทั่วไปมีสมรรถนะไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงต้องใช้ทฤษฎีความสัมพันธ์ของเครื่องสูบน้ำประเภทเซนตริฟูกอลเข้าช่วย คือ เมื่อปรับรอบการหมุนของใบพัดให้มากขึ้นจะส่งผลให้เครื่องสูบน้ำนั้นมีอัตราไหลและความดันเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

การทดสอบความสามารถในการจ่ายน้ำและความดันของเครื่องสูบน้ำตัวอย่างที่ทำการวิจัยที่ความถี่ 50 Hz ที่อัตราไหลต่างๆ เพื่อศึกษาการกระจายน้ำดังภาพที่ 12 ถึงภาพที่ 21

ภาพที่ 12 การกระจายน้ำที่ความดัน 20 psi และอัตราไหล 25.5 L/min

ภาพที่ 13 การกระจายน้ำที่ความดัน 18 psi และอัตราไหล 24.2 L/min

ภาพที่ 14 การกระจายน้ำที่ความดัน 16 psi และอัตราไหล 21.6 L/min

ภาพที่ 15 การกระจายน้ำที่ความดัน 15 psi และอัตราไหล 20.0 L/min

ภาพที่ 16 การกระจายน้ำที่ความดัน 14 psi และอัตราไหล 20.0 L/min

ภาพที่ 17 การกระจายน้ำที่ความดัน 13 psi และอัตราไหล 19.4 L/min

ภาพที่ 18 การกระจายน้ำที่ความดัน 10 psi และอัตราไหล 17.7 L/min

ภาพที่ 19 การกระจายน้ำที่ความดัน 9 psi และอัตราไหล 16.5 L/min

ภาพที่ 20 การกระจายน้ำที่ความดัน 7 psi และอัตราไหล 14.8 L/min

ภาพที่ 21 การกระจายน้ำที่ความดัน 5 psi และอัตราไหล 12.5 L/min

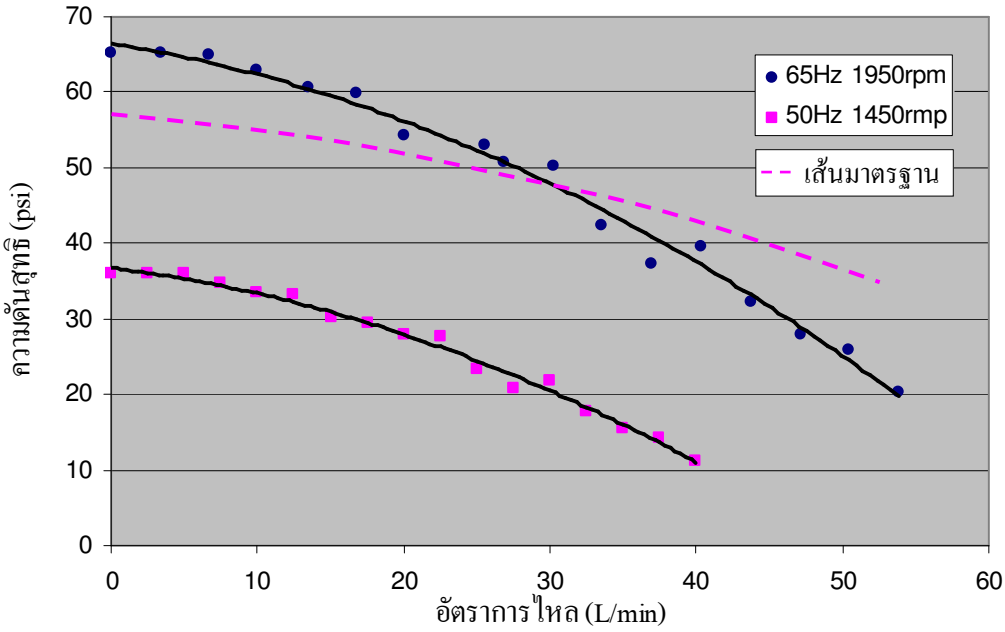
จากภาพการกระจายน้ำที่ความดันและอัตราไหลต่างๆ จะเห็นว่าภาพที่ 12 ถึงภาพที่ 15 ดูเหมือนจะใช้ในการดับเพลิงได้ซึ่งมีความดันเกิน 14.8 psi ตามเกณฑ์มาตรฐานแล้ว แต่อัตราไหลยังไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำที่ 49 L/min หากนำไปใช้เพื่อการดับเพลิงอาจมีปัญหาเช่นดับเพลิงไม่ได้หรือต้องใช้เวลามากขึ้นในการดับเพลิง

วิธีการเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการนำเครื่องสูบน้ำสองตัวมาต่อกันแบบขนาน การนำเครื่องสูบน้ำสองตัวมาต่อกันแบบอนุกรม หรือการเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของใบพัด ในความเป็นจริงแล้วบ้านทั่วไปจะมีเครื่องสูบน้ำเพียงเครื่องเดียว ดังนั้นวิธีเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำที่ง่ายที่สุดคือการเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของใบพัด ตามหลักทฤษฎีเครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอลที่ว่าอัตราไหลจะแปรตามความเร็วรอบและความดันจะแปรตามความเร็วรอบยกกำลังสอง การเพิ่มความเร็วรอบการหมุนของใบพัดสามารถทำได้โดยการติดตั้งตัวอินเวอร์เตอร์เข้ากับตัวแผงควบคุมมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำเพื่อเพิ่มความถี่ให้กับตัวมอเตอร์

การทดสอบด้วยวิธีการเปลี่ยนรอบความเร็วของใบพัดโดยการปรับความถี่ของมอเตอร์ จากเดิมอยู่ที่ 50 Hz และเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น 65 Hz และ 82 Hz ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเพิ่มรอบความเร็วของใบพัด 500 rpm จากเดิมอยู่ที่ 1450 rpm เป็น 1950 rpm และ 2450 rpm ตามลำดับ การเพิ่มความถี่ให้ได้ความเร็วรอบนี้เป็นการเพิ่มแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อหาเส้นสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำนั้น จากการเปลี่ยนความถี่ทำให้ได้ข้อมูลดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 และภาพที่ 22 และ ภาพที่ 23 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 65 Hz ความเร็วรอบ 1950 rpm

อัตราไหล (L/min)	ความดันท่อทางส่ง (psi)	ความดันสุทธิ (psi)
0.0	65.1	65.1
3.4	65.1	65.1
6.7	64.9	64.9
10.0	62.8	62.8
13.5	60.6	60.6
16.8	59.9	59.9
20.0	54.4	54.4
25.5	53.0	53.0
26.9	50.6	50.6
30.3	50.1	50.1
33.6	42.3	42.3
37.0	37.4	37.4
40.3	39.6	39.6
43.7	32.2	32.2
47.1	27.9	27.9
50.4	25.9	25.9
53.8	20.3	20.3

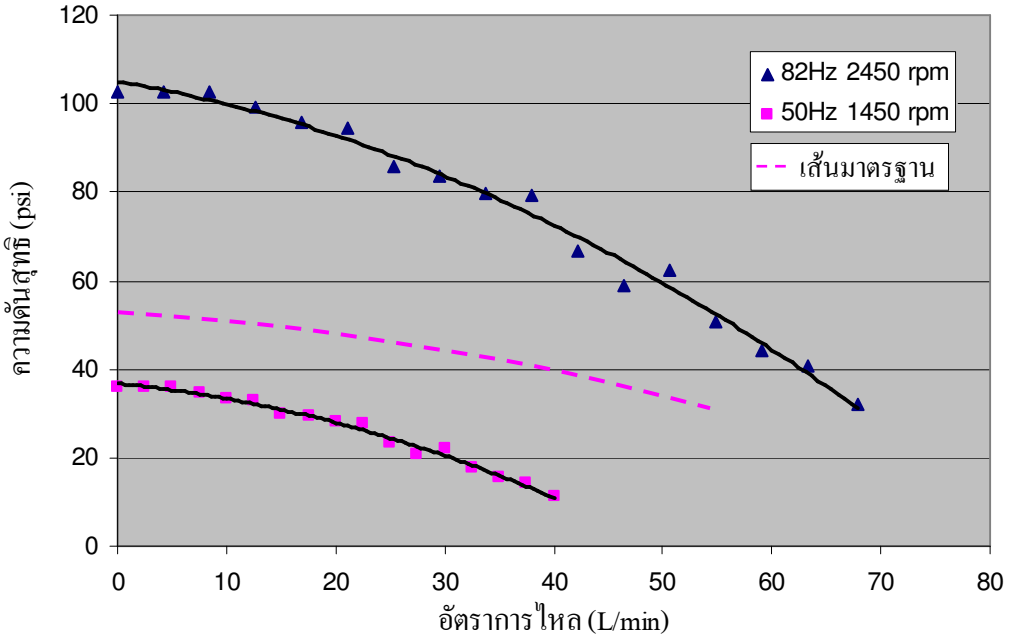


ภาพที่ 22 สมรรถนะเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 65 Hz ความเร็วรอบ 1950 rpm

เมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นไปที่ 65 Hz จะเห็นว่าความดันและอัตราไหลก็เพิ่มขึ้นไปด้วยเช่นกัน จากภาพที่ 22 จะเห็นว่าที่ความถี่ 65 Hz เครื่องสูบน้ำสามารถสร้างความดันได้แต่ยังจ่ายอัตราไหลไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความถี่ขึ้นไปอีกช่วงหนึ่ง

ตารางที่ 6 ข้อมูลเฉลี่ยจากการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 82 Hz ความเร็วรอบ 2450 rpm

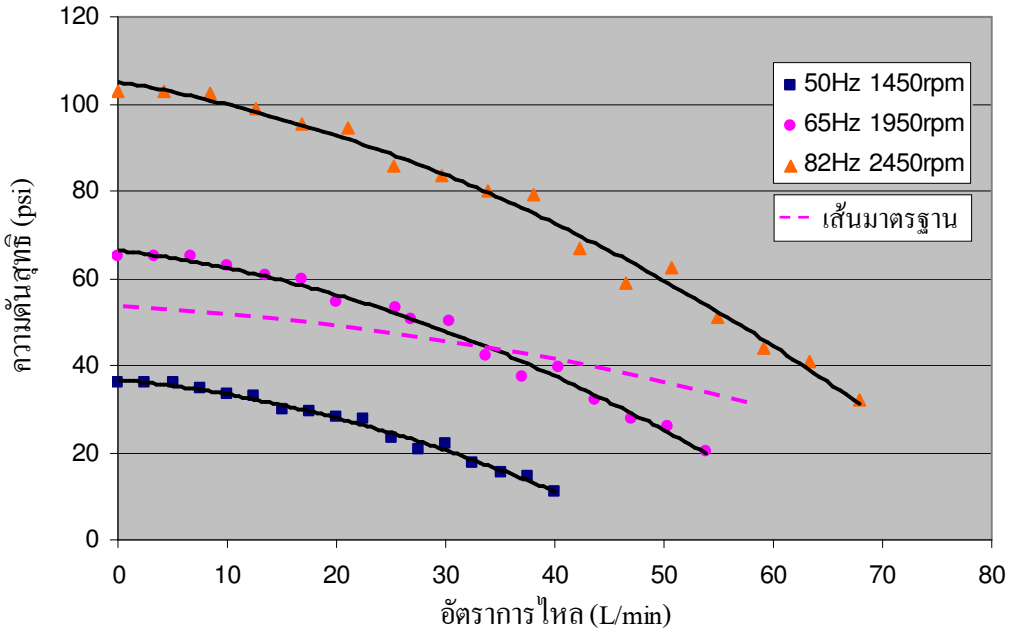
อัตราไหล (L/min)	ความดันท่อทางส่ง (psi)	ความดันสุทธิ (psi)
0.0	102.8	102.8
4.2	102.8	102.8
8.5	102.5	102.5
12.7	99.1	99.1
16.9	95.6	95.6
21.1	94.5	94.5
25.3	85.9	85.9
29.6	83.6	83.6
33.8	79.9	79.9
38.0	79.1	79.1
42.2	66.8	66.8
46.5	59.1	59.1
50.7	62.5	62.5
54.9	50.8	50.8
59.1	44.0	44.0
63.3	40.8	40.8
67.9	32.0	32.0



ภาพที่ 23 สมรรถนะเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ 82 Hz ความเร็วรอบ 2450 rpm

เมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นไปที่ 82 Hz จะเห็นว่าความดันและอัตราไหลก็เพิ่มขึ้นไปด้วยเช่นกัน จากภาพที่ 23 จะเห็นว่าที่ความถี่ 82 Hz เครื่องสูบน้ำสามารถสร้างความดันและจ่ายอัตราไหลได้เกินเกณฑ์มาตรฐาน และยังสามารถรองรับการกระจายน้ำเพิ่มได้อีกหัวหากเพลิงนั้นเป็นเพลิงใหญ่

เมื่อนำข้อมูลมาวาดเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบเส้นสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อปรับรอบของใบพัด ความโค้งของเส้นกราฟยังคงมีลักษณะเดิม แต่เครื่องสูบน้ำจะมีสมรรถนะที่ต่างจากเดิมตามหลักทฤษฎีความสัมพันธ์ของเครื่องสูบน้ำเซนตริฟูกอล ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 ที่ความถี่ต่างๆ

เนื่องจากเส้นสมรรถนะเครื่องสูบน้ำมีลักษณะความโค้งคงเดิม (Family of Curve) เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ การหาค่าอัตราไหลที่จุดต่างๆ สามารถทำได้โดยการคำนวณเทียบค่าระหว่างข้อมูลใกล้เคียงกันสองข้อมูล เพื่อหาความถี่ที่จะทำให้เครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำตามอัตราไหลที่ต้องการได้

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการหาความถี่ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องสูบน้ำให้จ่ายที่อัตราไหล 49 L/min จะสามารถคำนวณได้โดยการใช้สูตรสมการที่ (14)

เดิมที มอเตอร์มีความเร็วรอบอยู่ที่ (N_1) 1450 rpm และมีอัตราไหลอยู่ที่ (Q_1) 40 L/min ถ้าต้องการเพิ่มอัตราไหลเป็น (Q_2) 49 L/min จะสามารถคำนวณหาความเร็วรอบที่ต้องเพิ่ม (N_2) ได้ดังนี้

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$N_2 = \frac{(1450) \times (49)}{(40)}$$

$$N_2 = 1777 \text{ rpm}$$

จากการคำนวณ จะต้องเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบที่ 1777 rpm เพื่อเพิ่มอัตราไหลเป็น 49 L/min

เมื่อทราบค่าความเร็วรอบที่ต้องเพิ่ม ก็จะสามารถคำนวณหาค่าความถี่ที่ต้องเพิ่มได้เช่นกัน โดยทั่วไปมอเตอร์ที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำตามบ้านพักอาศัยจะมี (P) 4 ขั้ว ดังนั้นถ้าต้องการจะปรับความถี่ให้มอเตอร์หมุนตามที่ต้องการ สามารถแทนค่าในสูตรสมการที่ (20) จะได้

$$f = \frac{N \times P}{120}$$

ถ้าต้องการปรับรอบไปที่ (N) 1777 rpm จะสามารถคำนวณค่าความถี่ได้ดังนี้

$$f = \frac{(1777) \times 4}{120}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

จากการคำนวณ การเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น 60 Hz จะได้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 1777 rpm ซึ่งจะทำให้เครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำที่อัตราไหล 49 L/min ได้ แต่เมื่อคำนวณค่าความดันที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงจากท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ¾ นิ้ว จะได้ความดันไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด

การคำนวณความดันสูญเสียในระบบท่อจะคำนวณโดยการวัดความยาวท่อจากจุดที่ห่างไกลจากเครื่องสูบน้ำที่สุดเพื่อหาความยาวท่อ บวกกับข้อต่อต่างๆแล้วเปิดตารางหาความดันสูญเสีย (ตารางผนวก ค) เพื่อคำนวณหาความดันสูญเสีย โดยทั่วไปท่อน้ำตามบ้านจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้วหรือ ¾ นิ้ว และความยาวท่อประมาณ 100 ฟุต เมื่อเปิดตารางผนวก ค1 ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง ¾ นิ้วจะมีความดันสูญเสีย 0.0893 psi/ft ที่อัตราไหล 49 L/min (13 gpm) นั่นคือทุกๆหนึ่ง

ฟุตจะมีความดันสูญเสีย 0.0893 psi ดังนั้นถ้าระบบมีความยาว 100 ฟุต ความดันภายในระบบก็จะสูญเสีย 8.93 psi

เมื่อทราบว่าค่าความถี่ที่ 60 Hz จะให้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 1777 rpm ซึ่งจะให้อัตราไหลตามกำหนดขั้นต่ำที่ 49 L/min แต่เมื่อคำนวณค่าความดันจากสูตรสมการที่ (15)

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$\frac{11.2}{H_2} = \left(\frac{1450}{1777}\right)^2$$

$$H_2 = 16.82 \text{ psi}$$

จะเห็นว่าเครื่องสูบน้ำสร้างแรงดันได้ 16.82 psi เมื่อหักกับความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานภายในระบบที่ 8.93 psi โดยประมาณ จะทำให้ความดันที่หัวกระจายน้ำไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด คือที่ 14.8 psi

ดังนั้นถ้าต้องการให้อัตราไหลและความดันผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือมีอัตราไหลไม่ต่ำกว่า 49 L/min และความดันไม่ต่ำกว่า 14.8 psi (เครื่องสูบน้ำจะต้องสร้างความดันได้ 23.73 psi คือความดันที่สูญเสียภายในระบบ 8.93 psi บวกกับความดันมาตรฐานขั้นต่ำ 14.8 psi) เครื่องสูบน้ำจะต้องมีความเร็วรอบมอเตอร์ดังนี้

$$\frac{11.2}{23.73} = \left(\frac{1450}{N_2}\right)^2$$

$$N_2 = 2111 \text{ rpm}$$

ถ้าต้องการปรับรอบไปที่ 2111 rpm จะสามารถคำนวณค่าความถี่ได้ดังนี้

$$f = \frac{(2111) \times 4}{120}$$

$$f = 71\,\text{Hz}$$

จากการคำนวณ การเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น 71 Hz จะได้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 2111 rpm ซึ่งจะทำให้เครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำที่อัตราไหลเกิน 49 L/min และได้ความดันที่หัวกระจายน้ำคือที่ 14.8 psi ตามกำหนดต่อหนึ่งหัวกระจายน้ำดับเพลิง

ถ้าจะให้การดับเพลิงดับได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเกิดอัคคีภัย ควรให้ความดันและอัตราไหลสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อรองรับการดับเพลิงเมื่อหัวกระจายน้ำแตกมากกว่าหนึ่งหัว ถ้าต้องการให้ระบบนี้รองรับการแตก 2 หัว จะต้องให้เครื่องสูบจ่ายอัตราไหลที่ 98 L/min ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ คำนวณได้ดังนี้

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$N_2 = \frac{(1450) \times (98)}{(40)}$$

$$N_2 = 3553\,\text{rpm}$$

จากการคำนวณ จะต้องเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบที่ 3553 rpm เพื่อเพิ่มอัตราไหลเป็น 98 L/min ซึ่งถ้าต้องการปรับรอบไปที่ 3553 rpm จะสามารถคำนวณค่าความถี่ได้ดังนี้

$$f = \frac{(3553) \times 4}{120}$$

$$f = 119\,\text{Hz}$$

จากการคำนวณ การเพิ่มความถี่ขึ้นเป็น 119 Hz จะได้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 3553 rpm ทำให้เครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำที่อัตราไหล 98 L/min และได้ความดันที่หัวกระจายน้ำเกิน 14.8 psi ซึ่งจะสามารถรองรับการแตกของหัวกระจายน้ำได้ถึง 2 หัว และใช้งานเพื่อการดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิจารณ์

ในงานวิจัยนี้ได้นำเครื่องสูบน้ำขนาด 300 วัตต์ใช้ในการทดสอบหาสมรรถนะเพื่อหาความถี่ที่เหมาะสมที่จะสามารถเพิ่มสมรรถนะเครื่องสูบน้ำนั้นให้ได้ความดันและอัตราไหลตามเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้หากเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดสูงหรือต่ำกว่า 300 วัตต์ก็ควรที่จะทำการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำนั้นก่อนจึงจะคำนวณหาความเร็วรอบที่ต้องเพิ่มเพื่อให้ได้ความดันและอัตราไหลที่ต้องการ แล้วจึงคำนวณหาความถี่จากความเร็วรอบที่ต้องเพิ่มนั้น

การเพิ่มความถี่ก็ควรศึกษาและคำนึงถึงเครื่องมอเตอร์ด้วย ว่าสามารถใช้งานได้ที่ช่วงระดับความถี่เท่าไร ถ้าหากปรับเพิ่มความถี่ไปที่ค่าที่ต้องการแต่ตัวมอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ เครื่องสูบน้ำก็จะไม่สามารถสร้างความดันและจ่ายอัตราไหลตามที่คำนวณไว้ได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการศึกษาทดสอบเครื่องสูบน้ำในวิทยานิพนธ์นี้ทำให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยทั่วไปขนาด 300 วัตต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน NFPA จะเห็นว่าเครื่องสูบน้ำโดยลำพังไม่สามารถทำความดันและจ่ายอัตราไหลที่กำหนดไว้ได้ ดังนั้นจึงจะต้องหาวิธีในการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำให้ได้ตามเกณฑ์ จากการทดสอบคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำประเภทเซนตริฟูกอลทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของเครื่องสูบน้ำ เราสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำได้ โดยการเพิ่มรอบการหมุนของใบพัด และเมื่อทำการจำลองรอบที่เพิ่มขึ้นโดยใช้สมการจากทฤษฎีความสัมพันธ์ของเครื่องสูบน้ำประเภทเซนตริฟูกอลจากเดิมความเร็วในการหมุนอยู่ที่ 1450 rpm ปรับเพิ่มเป็น 1950 rpm และ 2450 rpm ที่ความถี่ 50 Hz 65 Hz และ 82 Hz ตามลำดับ แล้วนำข้อมูลไปวาดกราฟ เมื่อนำกราฟมาวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะนำเครื่องสูบน้ำนี้ไปใช้ในระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามบ้านพักอาศัย ทำให้เห็นแนวโน้มของเส้นสมรรถนะเครื่องสูบน้ำบนกราฟที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน NFPA 13R จะเห็นว่ารอบการหมุนของใบพัดที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการดับเพลิงจะอยู่ที่ 2111 rpm ในช่วงความถี่ 71 Hz คือมีความดันพอดีที่ 14.8 psi และอัตราการไหลเกิน 49 L/min ตามกำหนดต่อหนึ่งหัวกระจายน้ำดับเพลิง แต่ถ้าจะให้การดับเพลิงดับได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเกิดอัคคีภัย ควรให้ความดันและอัตราไหลสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อรองรับการดับเพลิงเมื่อหัวกระจายน้ำแตกมากกว่าหนึ่งหัว ทำได้โดยการเพิ่มความถี่ให้แก่มอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำให้อยู่ในช่วง 119 Hz ขึ้นไป ซึ่งรองรับการดับเพลิงเมื่อหัวกระจายน้ำแตกได้ถึง 2 หัว

ข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินงานโครงการนี้ได้จำลองการเพิ่มรอบของใบพัดเพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำ แต่ในความเป็นจริงนั้นใบพัดของเครื่องสูบน้ำจะหมุนตามมอเตอร์ที่ติดมา ซึ่งเป็นรอบที่คงที่ แต่เราสามารถปรับเปลี่ยนเพิ่มจำนวนรอบของมอเตอร์ได้โดยการติดตั้งตัวอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์โดยการเปลี่ยนค่าความถี่ให้หมุนตามจำนวนรอบที่ต้องการในช่วงเวลาที่ต้องการได้

ลักษณะตัวอินเวอร์เตอร์คือเป็นอุปกรณ์ปรับความถี่ โดยทั่วไปมอเตอร์ที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำตามบ้านพักอาศัยจะมี 4 ขั้ว ดังนั้นถ้าต้องการจะปรับความถี่ให้ใบพัดหมุนตามที่ต้องการสามารถแทนค่าในสูตรสมการที่ (20) เพื่อการคำนวณได้

การนำวิธีการของโครางงานนี้ไปใช้จะต้องคำนึงถึงขนาดของเครื่องสูบน้ำของแต่ละตัวและหาสมรรถนะเฉพาะของตัวเครื่องสูบน้ำนั้นๆเพื่อนำไปคำนวณหาความดันและอัตราไหลที่ต้องเพิ่มแล้วจึงคำนวณหารอบที่ต้องปรับ โดยการเพิ่มความถี่ของมอเตอร์นั้นๆ

ความดันในท่อระบบหัวกระจายน้ำอัตโนมัติจะมีความดันที่ค่อนข้างสูง หากนำงานวิจัยนี้ไปใช้จริงควรคำนึงถึงชนิดท่อที่ใช้ในระบบเก่าด้วย ถ้าเดิมทีใช้ท่อ PVC (Polyvinyl Chloride) ก็ควรดูว่าท่อ PVC นั้นสามารถทนความดันที่ออกแบบได้หรือไม่ ตามมาตรฐาน มอก.17-2532 ได้แบ่งท่อ PVC ออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพตามความดันระบุ คือ PVC5 PVC8.5 และ PVC13.5 ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ชั้นคุณภาพความดันระบุของท่อ PVC ตามมาตรฐาน มอก.17-2532

ท่อ	PVC 5	PVC 8.5	PVC 13.5
ความดันใช้งานสูงสุด	0.5MPa (73.5psi)	0.85MPa (125psi)	1.35MPa (147psi)
อุณหภูมิใช้งาน	ไม่เกิน 80^{o} C	ไม่เกิน 80^{o} C	ไม่เกิน 80^{o} C

ทั้งนี้ ถ้าจะให้ได้ตามมาตรฐาน NFPA 13R ท่อที่ใช้ในระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงควรเป็นท่อที่ใช้วัสดุดังตารางที่ 1 ท่อที่นำมาใช้นอกเหนือจากนี้ควรมีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าท่อในตารางดังกล่าว สำหรับข้อต่อควรเป็นวัสดุดังตารางที่ 2 ข้อต่อที่นำมาใช้นอกเหนือจากนี้ควรมีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าข้อต่อในตารางดังกล่าวเช่นกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Karter Jr., M.J. 2008. Fire Loss in the U.S. 2007 and USFA's Firefighter Fatalities in the United States in 2007. **NFPA journal 2008**. The United States of America.

Volk, M.W. 1996. Marcel Dekker, Inc. **Pump Characteristics and Applications**. The United States of America.

Schultz, G.R. 1996. Gage Babcock & Associates. National Fire Protection Association. **Automatic Sprinkler Systems Seminar Workbook**. The United States of America.

Gagnon, R.M. 1997. Delmer publishers. **Design of Water-Based Fire Protection Systems**. The United States of America.

Puchovsky, M.T. and K.E. Isman. 1998. National Fire Protection Association. **Fire Pump Handbook**. The United States of America.

Tuzson, J. 2000. John Wiley & Sons. **Centrifugal Pump Design**. The United States of America.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2

ตารางข้อมูลการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ทำโดยการเปิดวาว์ลให้น้ำไหลออกจากหัวกระจายน้ำ เริ่มจากการปิดวาล์วให้อยู่ในสภาพไม่มีการไหลและค่อยๆเปิดวาล์วให้น้ำไหลผ่านตามที่กำหนดไว้คือช่วงห่างอัตราการไหลที่ 2.5 ลิตรต่อนาที คือ ที่อัตราไหล 0 ลิตรต่อนาที 2.5 ลิตรต่อนาที 5 ลิตรต่อนาที 7.5 ลิตรต่อนาที 10 ลิตรต่อนาที ไปเรื่อยๆจนเปิดวาล์วสุด การเก็บข้อมูลกระทำทุกช่วงห่างอัตราไหลโดยเก็บข้อมูลจุดละ 3 นาที บันทึกผลทุกๆ 20 วินาที ที่อัตราไหลอัตราหนึ่ง

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 2.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	36.0	0	36.0	2.5
40	1450	36.0	0	36.0	2.6
60	1450	36.0	0	36.0	2.5
80	1450	36.0	0	36.0	2.5
100	1450	36.0	0	36.0	2.7
120	1450	36.0	0	36.0	2.5
140	1450	36.0	0	36.0	2.4
160	1450	36.0	0	36.0	2.5
180	1450	36.0	0	36.0	2.6
200	1450	36.0	0	36.0	2.5
เฉลี่ย	1450	36.0	0	36.0	2.53

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 5.0 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	36.0	0	36.0	5.0
40	1450	35.8	0	35.8	5.0
60	1450	36.0	0	36.0	5.1
80	1450	35.9	0	35.9	5.0
100	1450	35.9	0	35.9	4.9
120	1450	35.9	0	35.9	5.0
140	1450	36.0	0	36.0	5.0
160	1450	36.0	0	36.0	5.1
180	1450	35.9	0	35.9	5.1
200	1450	35.9	0	35.9	5.0
เฉลี่ย	1450	35.93	0	35.93	5.02

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 7.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	34.8	0	34.8	7.6
40	1450	34.6	0	34.6	7.5
60	1450	34.6	0	34.6	7.5
80	1450	34.7	0	34.7	7.6
100	1450	34.6	0	34.6	7.5
120	1450	34.7	0	34.7	7.5
140	1450	34.7	0	34.7	7.6
160	1450	34.7	0	34.7	7.6
180	1450	34.7	0	34.7	7.5
200	1450	34.7	0	34.7	7.5
เฉลี่ย	1450	34.68	0	34.68	7.54

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 10 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	33.5	0	33.5	9.8
40	1450	33.3	0	33.3	10.1
60	1450	33.3	0	33.3	10.1
80	1450	33.5	0	33.5	9.9
100	1450	33.5	0	33.5	10.1
120	1450	33.5	0	33.5	10.1
140	1450	33.5	0	33.5	10.2
160	1450	33.5	0	33.5	10.1
180	1450	33.4	0	33.4	10.1
200	1450	33.5	0	33.5	10.0
เฉลี่ย	1450	33.45	0	33.45	10.05

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 12.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	33.1	0	33.1	12.5
40	1450	33.3	0	33.3	12.6
60	1450	33.1	0	33.1	12.5
80	1450	33.0	0	33.0	12.2
100	1450	33.1	0	33.1	12.3
120	1450	33.1	0	33.1	12.3
140	1450	33.1	0	33.1	12.5
160	1450	33.0	0	33.0	12.5
180	1450	33.1	0	33.1	12.6
200	1450	33.1	0	33.1	12.6
เฉลี่ย	1450	33.10	0	33.10	12.46

ตารางผนวกที่ ก6 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 15 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	30.2	0	30.2	15.0
40	1450	30.2	0	30.2	15.1
60	1450	30.0	0	30.0	15.0
80	1450	30.1	0	30.1	15.1
100	1450	30.2	0	30.2	15.0
120	1450	30.0	0	30.0	15.1
140	1450	30.0	0	30.0	15.0
160	1450	29.9	0	29.9	15.0
180	1450	30.0	0	30.0	15.0
200	1450	30.0	0	30.0	15.0
เฉลี่ย	1450	30.06	0	30.06	15.03

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 17.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	29.4	0	29.4	17.4
40	1450	29.3	0	29.3	17.4
60	1450	29.4	0	29.4	17.5
80	1450	29.4	0	29.4	17.4
100	1450	29.2	0	29.2	17.5
120	1450	29.1	0	29.1	17.6
140	1450	29.2	0	29.2	17.6
160	1450	29.3	0	29.3	17.5
180	1450	29.1	0	29.1	17.6
200	1450	29.1	0	29.1	17.6
เฉลี่ย	1450	29.25	0	29.25	17.51

ตารางผนวกที่ ก8 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 20 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	27.9	0	27.9	20.1
40	1450	27.7	0	27.7	20.5
60	1450	27.7	0	27.7	19.8
80	1450	28.1	0	28.1	20.1
100	1450	28.2	0	28.2	20.2
120	1450	28.2	0	28.2	19.9
140	1450	28.2	0	28.2	19.8
160	1450	28.0	0	28.0	20.1
180	1450	28.1	0	28.1	20.1
200	1450	27.9	0	27.9	20.0
เฉลี่ย	1450	28.00	0	28.00	20.06

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 22.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	27.8	0	27.8	22.3
40	1450	27.6	0	27.6	22.2
60	1450	27.6	0	27.6	22.6
80	1450	27.6	0	27.6	22.6
100	1450	27.6	0	27.6	22.5
120	1450	27.8	0	27.8	22.6
140	1450	27.8	0	27.8	22.5
160	1450	27.6	0	27.6	22.5
180	1450	27.8	0	27.8	22.4
200	1450	27.8	0	27.8	22.4
เฉลี่ย	1450	27.70	0	27.70	22.46

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 25 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	23.3	0	23.3	24.9
40	1450	23.4	0	23.4	24.9
60	1450	23.4	0	23.4	25.1
80	1450	23.4	0	23.4	25.1
100	1450	23.4	0	23.4	24.9
120	1450	23.4	0	23.4	25.0
140	1450	23.2	0	23.2	25.0
160	1450	23.4	0	23.4	24.9
180	1450	23.4	0	23.4	24.9
200	1450	23.4	0	23.4	24.9
เฉลี่ย	1450	23.37	0	23.37	24.96

ตารางผนวกที่ ก11 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 27.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	21.0	0	21.0	27.2
40	1450	20.8	0	20.8	27.5
60	1450	20.6	0	20.6	27.4
80	1450	20.6	0	20.6	27.4
100	1450	20.6	0	20.6	27.4
120	1450	20.8	0	20.8	27.5
140	1450	20.6	0	20.6	27.4
160	1450	20.6	0	20.6	27.5
180	1450	20.6	0	20.6	27.5
200	1450	20.6	0	20.6	27.5
เฉลี่ย	1450	20.68	0	20.68	27.43

ตารางผนวกที่ ก12 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 30 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	21.8	0	21.8	29.9
40	1450	21.8	0	21.8	29.8
60	1450	22.0	0	22.0	29.9
80	1450	21.9	0	21.9	29.9
100	1450	21.9	0	21.9	30.0
120	1450	21.8	0	21.8	30.1
140	1450	21.8	0	21.8	29.9
160	1450	21.8	0	21.8	29.9
180	1450	21.8	0	21.8	29.9
200	1450	21.8	0	21.8	30.1
เฉลี่ย	1450	21.84	0	21.84	29.94

ตารางผนวกที่ ก13 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 32.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	18.1	0	18.1	32.4
40	1450	18.0	0	18.0	32.4
60	1450	17.9	0	17.9	32.4
80	1450	17.7	0	17.7	32.5
100	1450	17.7	0	17.7	32.4
120	1450	17.7	0	17.7	32.5
140	1450	17.8	0	17.8	32.5
160	1450	17.8	0	17.8	32.5
180	1450	17.9	0	17.9	32.3
200	1450	17.8	0	17.8	32.5
เฉลี่ย	1450	17.84	0	17.84	32.44

ตารางผนวกที่ ก14 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 35 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	14.9	0	14.9	35.4
40	1450	14.9	0	14.9	35.5
60	1450	15.5	0	15.5	35.5
80	1450	15.6	0	15.6	35.5
100	1450	15.6	0	15.6	35.5
120	1450	15.5	0	15.5	35.6
140	1450	15.6	0	15.6	35.5
160	1450	15.6	0	15.6	35.5
180	1450	15.6	0	15.6	35.5
200	1450	15.6	0	15.6	35.5
เฉลี่ย	1450	15.44	0	15.44	35.50

ตารางผนวกที่ ก15 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 37.5 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	14.6	0	14.6	37.6
40	1450	14.4	0	14.4	37.4
60	1450	14.4	0	14.4	37.4
80	1450	14.2	0	14.2	37.4
100	1450	14.3	0	14.3	37.5
120	1450	14.2	0	14.2	37.5
140	1450	14.2	0	14.2	37.5
160	1450	14.2	0	14.2	37.4
180	1450	14.4	0	14.4	37.5
200	1450	14.2	0	14.2	37.5
เฉลี่ย	1450	14.31	0	14.31	37.47

ตารางผนวกที่ ก16 ผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำมิตซูบิชิรุ่น WP – 305M2 เมื่อปรับอัตราไหลที่ 40 L/min

เวลา (วินาที)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันท่อทางส่ง (P_d)	ความดันท่อทางดูด (P_s)	ความดันสุทธิ (P_{net})	อัตราไหล (L/min)
0	1450	36.0	0	36.0	0.0
20	1450	11.0	0	11.0	39.8
40	1450	10.9	0	10.9	40.2
60	1450	11.1	0	11.1	40.0
80	1450	11.0	0	11.0	40.3
100	1450	11.2	0	11.2	40.5
120	1450	11.2	0	11.2	40.2
140	1450	11.3	0	11.3	40.2
160	1450	11.3	0	11.3	40.0
180	1450	11.2	0	11.2	39.8
200	1450	11.3	0	11.3	39.8
เฉลี่ย	1450	11.15	0	11.15	40.08

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการแปลงหน่วยปริมาตรน้ำระหว่างหน่วยอังกฤษและหน่วยเมตริก

Conversion factors for water.

1 U.S. gallon = 8.3356 pounds
1 U.S. gallon = 0.1337 cubic feet
1 U.S. gallon = 231 cubic inches
1 U.S. gallon = 0.83356 Imperial gallons
1 U.S. gallon = 3.7854 liters
1 Imperial gallon = 10.00 pounds
1 Imperial gallon = 0.16037 cubic feet
1 Imperial gallon = 277.12 cubic inches
1 Imperial gallon = 1.1997 U.S. gallons
1 Imperial gallon = 4.5413 liters
1 liter = 2.202 pounds
1 liter = 0.0353 cubic feet
1 liter = 61.023 cubic inches
1 liter = 0.2642 U.S. gallons
1 liter = 0.2202 Imperial gallons
1 cubic foot of water = 62.355 pounds
1 cubic foot of water = 1728.00 cubic inches
1 cubic foot of water = 7.4805 U.S. gallons
1 cubic foot of water = 6.2355 Imperial gallons
1 cubic foot of water = 28.317 liters
1 pound of water = .01604 cubic feet
1 pound of water = 27.712 cubic inches
1 pound of water = 0.11997 U.S. gallons
1 pound of water = 0.100 Imperial gallons
1 pound of water = 0.45413 liters
1 cubic inch of water = 0.0361 pounds
1 gallon of water = 8.33 pounds
1 inch of water = 0.0361 pounds per square inch
1 foot of water = 0.4334 pounds per square inch
1 pound per square inch = 2.310 feet of water
1 pound per square inch = 2.04 inches of mercury
1 atmosphere = 14.696 pounds per square inch

ภาพผนวกที่ ข1 ตารางการแปลงหน่วยปริมาตรน้ำระหว่างหน่วยอังกฤษและหน่วยเมตริก

ที่มา: Gagnon (1997)

ภาคผนวก ค

ข้อมูลแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC

Friction Loss Table For 3/4" CPVC Plastic I.D. = .884

Equiv. Feet of Pipe

	TEE RUN	90 ELL	45 ELL	TEE	CPLG						
C–150	1.00	7.00	1.00	3.00	1.00						

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–150			GPM	C–150			GPM	C–150		
7	0.0284		3.7	42	0.7819		22.0				
8	0.0364		4.2	43	0.8167		22.5				
9	0.0452		4.7	44	0.8522		23.0				
10	0.0550		5.2	45	0.8884		23.5				
11	0.0656		5.8	46	0.9252		24.1				
12	0.0770		6.3	47	0.9628		24.6				
13	0.0893		6.8	48	1.0010		25.1				
14	0.1024		7.3	49	1.0399		25.6				
15	0.1164		7.8	50	1.0795		26.2				
16	0.1312		8.4	51	1.1198		26.7				
17	0.1467		8.9	52	1.1608		27.2				
18	0.1631		9.4	53	1.2024		27.7				
19	0.1802		9.9	54	1.2447		28.2				
20	0.1982		10.5	55	1.2877		28.8				
21	0.2169		11.0	56	1.3314		29.3				
22	0.2364		11.5	57	1.3757		29.8				
23	0.2567		12.0	58	1.4207		30.3				
24	0.2777		12.6	59	1.4663		30.9				
25	0.2995		13.1	60	1.5126		31.4				
26	0.3220		13.6	61	1.5596		31.9				
27	0.3453		14.1	62	1.6072		32.4				
28	0.3693		14.6	63	1.6555		33.0				
29	0.3941		15.2	64	1.7044		33.5				
30	0.4196		15.7								
31	0.4458		16.2								
32	0.4728		16.7								
33	0.5005		17.3								
34	0.5289		17.8								
35	0.5580		18.3								
36	0.5879		18.8								
37	0.6185		19.4								
38	0.6498		19.9								
39	0.6817		20.4								
40	0.7144		20.9								
41	0.7478		21.4								

ภาพผนวกที่ ค1 ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ¾ นิ้ว

ที่มา: Gagnon (1997)

Friction Loss Table For 1" CPVC Plastic I.D. = 1.109

Equiv. Feet of Pipe

	TEE RUN	90 ELL	45 ELL	TEE	CPLG						
C–150	1.00	7.00	1.00	5.00	1.00						

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–150			GPM	C–150			GPM	C–150		
7	0.0094		2.3	42	0.2592		14.0	77	0.7954		25.6
8	0.0121		2.7	43	0.2707		14.3	78	0.8146		25.9
9	0.0150		3.0	44	0.2824		14.6	79	0.8340		26.3
10	0.0182		3.3	45	0.2944		15.0	80	0.8536		26.6
11	0.0217		3.7	46	0.3067		15.3	81	0.8735		26.9
12	0.0255		4.0	47	0.3191		15.6	82	0.8935		27.3
13	0.0296		4.3	48	0.3318		16.0	83	0.9138		27.6
14	0.0340		4.7	49	0.3447		16.3	84	0.9343		27.9
15	0.0386		5.0	50	0.3578		16.6	85	0.9549		28.2
16	0.0435		5.3	51	0.3712		16.9	86	0.9758		28.6
17	0.0486		5.6	52	0.3847		17.3	87	0.9969		28.9
18	0.0541		6.0	53	0.3985		17.6	88	1.0182		29.2
19	0.0597		6.3	54	0.4126		17.9	89	1.0397		29.6
20	0.0657		6.6	55	0.4268		18.3	90	1.0615		29.9
21	0.0719		7.0	56	0.4413		18.6	91	1.0834		30.2
22	0.0783		7.3	57	0.4560		18.9	92	1.1055		30.6
23	0.0851		7.6	58	0.4709		19.3	93	1.1278		30.9
24	0.0920		8.0	59	0.4860		19.6	94	1.1504		31.2
25	0.0993		8.3	60	0.5013		19.9	95	1.1731		31.6
26	0.1067		8.6	61	0.5169		20.3	96	1.1961		31.9
27	0.1144		9.0	62	0.5327		20.6	97	1.2192		32.2
28	0.1224		9.3	63	0.5487		20.9	98	1.2426		32.6
29	0.1306		9.6	64	0.5649		21.3	99	1.2661		32.9
30	0.1391		10.0	65	0.5814		21.6	100	1.2899		33.2
31	0.1478		10.3	66	0.5980		21.9	101	1.3139		33.6
32	0.1567		10.6	67	0.6149		22.3	102	1.3380		33.9
33	0.1659		11.0	68	0.6320		22.6	103	1.3624		34.2
34	0.1753		11.3	69	0.6493		22.9	104	1.3870		34.6
35	0.1850		11.6	70	0.6668		23.3				
36	0.1949		12.0	71	0.6845		23.6				
37	0.2050		12.3	72	0.7025		23.9				
38	0.2154		12.6	73	0.7206		24.3				
39	0.2260		13.0	74	0.7390		24.6				
40	0.2368		13.3	75	0.7576		24.9				
41	0.2479		13.6	76	0.7764		25.3				

ภาพผนวกที่ ค2 ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

ที่มา: Gagnon (1997)

Friction Loss Table For 1¼" PCVC Plastic I.D. = 1.400

Equiv. Feet of Pipe

	TEE RUN	90 ELL	45 ELL	TEE	CPLG						
C–150	1.00	8.00	2.00	6.00	1.00						

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–150			GPM	C–150			GPM	C–150		
7	0.0030		1.5	43	0.0870		9.0	113	0.5199		23.6
8	0.0039		1.7	45	0.0947		9.4	115	0.5371		24.0
9	0.0048		1.9	47	0.1026		9.8	117	0.5545		24.4
10	0.0059		2.1	49	0.1108		10.2	119	0.5721		24.8
11	0.0070		2.3	51	0.1193		10.6	121	0.5900		25.2
12	0.0082		2.5	53	0.1281		11.1	123	0.6082		25.7
13	0.0095		2.7	55	0.1372		11.5	125	0.6266		26.1
14	0.0109		2.9	57	0.1466		11.9	127	0.6453		26.5
15	0.0124		3.1	59	0.1562		12.3	129	0.6642		26.9
16	0.0140		3.3	61	0.1662		12.7	131	0.6834		27.3
17	0.0156		3.5	63	0.1764		13.1	133	0.7028		27.7
18	0.0174		3.8	65	0.1869		13.6	135	0.7225		28.2
19	0.0192		4.0	67	0.1977		14.0	137	0.7424		28.6
20	0.0211		4.2	69	0.2087		14.4	139	0.7626		29.0
21	0.0231		4.4	71	0.2201		14.8	141	0.7830		29.4
22	0.0252		4.6	73	0.2317		15.2	143	0.8037		29.8
23	0.0273		4.8	75	0.2436		15.6	145	0.8246		30.2
24	0.0296		5.0	77	0.2557		16.1	147	0.8458		30.7
25	0.0319		5.2	79	0.2681		16.5	149	0.8672		31.1
26	0.0343		5.4	81	0.2808		16.9	151	0.8889		31.5
27	0.0368		5.6	83	0.2938		17.3	153	0.9108		31.9
28	0.0394		5.8	85	0.3070		17.7	155	0.9329		32.3
29	0.0420		6.0	87	0.3205		18.1	157	0.9553		32.7
30	0.0447		6.3	89	0.3343		18.6	159	0.9779		33.2
31	0.0475		6.5	91	0.3483		19.0	161	1.0008		33.6
32	0.0504		6.7	93	0.3626		19.4	163	1.0239		34.0
33	0.0533		6.9	95	0.3772		19.8	165	1.0473		34.4
34	0.0564		7.1	97	0.3920		20.2	167	1.0709		34.8
35	0.0595		7.3	99	0.4071		20.6	169	1.0948		35.2
36	0.0626		7.5	101	0.4224		21.1	171	1.1188		35.7
37	0.0659		7.7	103	0.4380		21.5	173	1.1432		36.1
38	0.0692		7.9	105	0.4539		21.9	175	1.1677		36.5
39	0.0726		8.1	107	0.4700		22.3	177	1.1926		36.9
40	0.0761		8.3	109	0.4864		22.7	179	1.2176		37.3
41	0.0797		8.6	111	0.5030		23.1	181	1.2429		37.7

ภาพผนวกที่ ค3 ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ¼ นิ้ว

ที่มา: Gagnon (1997)

Friction Loss Table For 2" CPVC Plastic I.D. = 2.003

Equiv. Feet of Pipe

	TEE RUN	90 ELL	45 ELL	TEE	CPLG						
C–150	1.00	11.00	2.00	10.00	1.00						

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–150			GPM	C–150			GPM	C–150		
15	0.0022		1.5	52	0.0216		5.3	157	0.1670		16.0
16	0.0024		1.6	55	0.0240		5.6	162	0.1769		16.5
17	0.0027		1.7	58	0.0265		5.9	167	0.1872		17.0
18	0.0030		1.8	61	0.0290		6.2	172	0.1977		17.5
19	0.0034		1.9	64	0.0317		6.5	177	0.2084		18.0
20	0.0037		2.0	67	0.0345		6.8	182	0.2194		18.5
21	0.0040		2.1	70	0.0375		7.1	187	0.2307		19.1
22	0.0044		2.2	73	0.0405		7.4	192	0.2423		19.6
23	0.0048		2.3	76	0.0436		7.7	197	0.2541		20.1
24	0.0052		2.4	79	0.0469		8.0	202	0.2661		20.6
25	0.0056		2.5	82	0.0502		8.4	207	0.2784		21.1
26	0.0060		2.6	85	0.0537		8.7	212	0.2910		21.6
27	0.0064		2.8	88	0.0572		9.0	217	0.3038		22.1
28	0.0069		2.9	91	0.0609		9.3	222	0.3169		22.6
29	0.0073		3.0	94	0.0646		9.6	227	0.3302		23.1
30	0.0078		3.1	97	0.0685		9.9	232	0.3438		23.6
31	0.0083		3.2	100	0.0725		10.2	237	0.3577		24.1
32	0.0088		3.3	103	0.0765		10.5	242	0.3717		24.7
33	0.0093		3.4	106	0.0807		10.8	247	0.3861		25.2
34	0.0098		3.5	109	0.0850		11.1	252	0.4007		25.7
35	0.0104		3.6	112	0.0894		11.4	257	0.4155		26.2
36	0.0109		3.7	115	0.0939		11.7	262	0.4306		26.7
37	0.0115		3.8	118	0.0984		12.0	267	0.4459		27.2
38	0.0121		3.9	121	0.1031		12.3	272	0.4615		27.7
39	0.0127		4.0	124	0.1079		12.6	277	0.4773		28.2
40	0.0133		4.1	127	0.1128		12.9	282	0.4933		28.7
41	0.0139		4.2	130	0.1178		13.2	287	0.5096		29.2
42	0.0146		4.3	133	0.1228		13.5	292	0.5262		29.7
43	0.0152		4.4	136	0.1280		13.9	297	0.5430		30.3
44	0.0159		4.5	139	0.1333		14.2	302	0.5600		30.8
45	0.0165		4.6	142	0.1386		14.5	307	0.5773		31.3
46	0.0172		4.7	145	0.1441		14.8	312	0.5948		31.8
47	0.0179		4.8	148	0.1497		15.1	317	0.6126		32.3
48	0.0186		4.9	151	0.1553		15.4	322	0.6305		32.8
49	0.0194		5.0	154	0.1611		15.7	327	0.6488		33.3

ภาพผนวกที่ ค4 ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว

ที่มา: Gagnon (1997)

Friction Loss Table For 2½" CPVC Plastic I.D. = 2.423

Equiv. Feet of Pipe

	TEE RUN	90 ELL	45 ELL	TEE	CPLG						
C–150	2.00	12.00	3.00	12.00	2.00						

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–150			GPM	C–150			GPM	C–150		
15	0.0009		1.0	122	0.0414		8.5	297	0.2149		20.7
18	0.0012		1.3	127	0.0446		8.8	302	0.2216		21.0
21	0.0016		1.5	132	0.0479		9.2	307	0.2284		21.4
24	0.0020		1.7	137	0.0513		9.5	312	0.2354		21.7
27	0.0025		1.9	142	0.0549		9.9	317	0.2424		22.1
30	0.0031		2.1	147	0.0585		10.2	322	0.2495		22.4
33	0.0037		2.3	152	0.0622		10.6	327	0.2567		22.8
36	0.0043		2.5	157	0.0661		10.9	332	0.2640		23.1
39	0.0050		2.7	162	0.0700		11.3	337	0.2714		23.5
42	0.0058		2.9	167	0.0741		11.6	342	0.2789		23.8
45	0.0065		3.1	172	0.0782		12.0	347	0.2865		24.2
48	0.0074		3.3	177	0.0825		12.3	352	0.2942		24.5
51	0.0083		3.6	182	0.0868		12.7	357	0.3020		24.9
54	0.0092		3.8	187	0.0913		13.0	362	0.3099		25.2
57	0.0101		4.0	192	0.0959		13.4	367	0.3178		25.6
60	0.0111		4.2	197	0.1005		13.7	372	0.3259		25.9
63	0.0122		4.4	202	0.1053		14.1	377	0.3340		26.2
66	0.0133		4.6	207	0.1102		14.4	382	0.3423		26.6
69	0.0144		4.8	212	0.1152		14.8	387	0.3506		26.9
72	0.0156		5.0	217	0.1202		15.1	392	0.3590		27.3
75	0.0168		5.2	222	0.1254		15.5	397	0.3676		27.6
78	0.0181		5.4	227	0.1307		15.8	402	0.3762		28.0
81	0.0194		5.6	232	0.1361		16.2	407	0.3849		28.3
84	0.0208		5.8	237	0.1415		16.5	412	0.3937		28.7
87	0.0222		6.1	242	0.1471		16.8	417	0.4026		29.0
90	0.0236		6.3	247	0.1528		17.2	422	0.4115		29.4
93	0.0251		6.5	252	0.1585		17.5	427	0.4206		29.7
96	0.0266		6.7	257	0.1644		17.9	432	0.4297		30.1
99	0.0282		6.9	262	0.1704		18.2	437	0.4390		30.4
102	0.0297		7.1	267	0.1764		18.6	442	0.4483		30.8
105	0.0314		7.3	272	0.1826		18.9	447	0.4578		31.1
108	0.0331		7.5	277	0.1889		19.3	452	0.4673		31.5
111	0.0348		7.7	282	0.1952		19.6	457	0.4769		31.8
114	0.0365		7.9	287	0.2017		20.0	462	0.4866		32.2
117	0.0383		8.1	292	0.2082		20.3	467	0.4964		32.5

ภาพผนวกที่ ค5 ตารางแรงดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทายในท่อ CPVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ½ นิ้ว

ที่มา: Gagnon (1997)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายบรรลือ รดาการ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	23 ธันวาคม 2527
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร
ประวัติการศึกษา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-