Fire Sci. Eng., Vol. 29, No. 1, pp. 73-79, 2015 [Convergence Paper]

Loop형 스프링클러 설비의 수리계산 방법에 대한 제시

정기신
세명대학교 소방방재학과

A Presentation on the Manual Hydraulic Calculation Method of the Loop Type Fire Sprinkler System

Keesin Jeong
Dept. of Fire & Disaster Prevention of Semyung Univ.

(Received December 18, 2014; Revised January 9, 2015; Accepted January 9, 2015)

요 약

스프링클러 설비의 설계방법은 크게 3가지로 분류한다. 가지관을 서로 연결하여 사다리형태로 배관을 설치하는 Grid형과 가지관은 연결하지 않고 교차배관만을 연결하는 Loop형 그리고 가장 일반적으로 사용되는 Tree형이 있다. 이 중 Grid형은 아주 간단한 것을 제외하고는 컴퓨터프로그램으로 마찰손실을 계산하여야 하지만 Loop형의 경우는 프로그램의 도움 없이 설계자가 직접 계산하여 마찰손실에 따른 필요압력과 소요유량을 산출할 수 있다. Loop형 설비의 경우 소화수 공급이 2방향으로 분리되어 마찰손실이 작아지고 헤드간 방출압력의 차이가 Tree형보다 작게 되어 살수분포가 우수하게 되며 작은 마찰손실에 의한 소구경의 배관을 사용하여 자재비와 인건비가 절감되므로 Loop형에 의한 스프링클러의 설계가 Tree형 설비에 비해 성능과 경제성에서 우수한 설계 방법이다. 하지만 Loop형 설비의 설계는 설계방법이 잘 알려져 있지 않아 거의 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 Tree형 보다 우수한 Loop형 설비의 설계방법을 설명하여 많은 설계자가 성능과 경제면에서 우수한 Loop형 설계를 쉽게, 널리 사용하게 하고자 하였다.

ABSTRACT

There are three kinds of design method of the fire sprinkler systems. Grid type is connected all branch as a trapezoid. Loop type is connected cross-mains like circle. The last one is a tree type most commonly used. Grid type needs computer program to calculate the friction loss and flow rate apart from very simple form. In loop type, manual calculation is possible. Design engineer can draw up and calculate the demands without computer program. Because water supplies two direction in loop type, friction loss is smaller than tree type. Water distribution in operation area is uniform because of the small differences of sprinklers discharge pressure. Loop type is superior to tree type in respect of total pressure and flow rate. Using the small diameter pipe, the labor and construction cost will be decreased in the end. Loop type sprinkler design is rarely laid out because design engineers don't know the method. This paper is intended to inform that the loop type is better than the tree type in performance and economic point of view. And also this paper intend to use the loop type easily and widely.

Keywords : Sprinkler system, Loop type, Design, Manual calculation

1. 서 론

본 논문은 현장의 실무자들에게 Loop형 설계에 대한 설계방법을 컴퓨터 프로그램을 이용하지 않고 직접 수리계산을 할 수 있도록 하고자 작성하였다. 스프링클러 설비의 설계방법은 크게 3가지로 분류한다. 가지관을 서로 연결하여 사다리형태로 배관을 설치하는 Grid형과 가지관은 연결하지 않고 교차배관만을 연결하는 Loop형 그리고 가장 일반적으로 사용되는 Tree형이 있다. 이 중 Grid형은 아주 간단한 것을 제외하고는 컴퓨터프로그램으로 마찰손실은 계산하여야 하지만 Loop형의 경우는 프로그램의 도움 없이 설계자가 직접 계산하여 마찰손실에 따른 필요압력과 소요유량을 산출할 수 있다[1]. 현장에서 이루어지고 있는 스프링클러의 설계는 Grid형의 경우 소방기술심의위원회의 심의를 받던 것을 심의 없이 일반적으로 설계할 수 있도록 하였으나 아직 보편화 되지는 못하고 있으며 Loop형

E-Mail: sobang1961@gmail.com
TEL: +82-10-4386-9212, FAX: +82-43-645-1787

ISSN: 1738-7167
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2015.29.1.073

의 경우는 아무 제약이 없었지만 이 역시 보편적으로 사용되지 못하고 있다. 동일한 설계면적에서 Grid형 설비의 경우 설계면적내의 헤드간 방출압력 차이가 가장 적어 살수분포가 일정하게 되며 소요압력과 유량이 셋 중 가장 작고 Tree형이 작동헤드간 방출압력차가 가장 커서 살수분포의 편차가 크게 되고 소요유량과 압력 역시 크게 된다. Loop형 설비의 경우 소화수 공급이 2방향으로 분리되어 마찰손실이 작아지고 헤드간 방출압력의 차이가 Tree형보다 작게 되어 살수분포가 우수하게 되며 작은 마찰손실에 의한 소구경의 배관을 사용하여 자재비와 인건비가 절감되므로 Loop형에 의한 스프링클러의 설계가 Tree형 설비에 비해 성능과 경제성에서 우수한 설계 방법이다[2]. 하지만 Loop형 설비의 설계는 설계방법이 알려져 있지 않아 거의 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 Tree형 보다 우수한 Loop형 설비의 설계방법을 설명하여 많은 설계자가 성능과 경제면에서 우수한 Loop형 설계를 쉽게, 널리 사용하게 하고자 하였다.

2. Loop형 설비 설계 방법

2.1 설계 조건

Figure 1의 점선에서 보이듯이 설계면적은 가지관을 따라 6개의 헤드와 5개의 가지관으로 이루어진 작동헤드 30개를 기준으로 하였다. 헤드의 간격은 가로 세로 3 m 씩으로 하여 하나의 헤드가 담당하는 면적은 9 m^2로 설계면적은 270 m^2이다. 헤드의 방출계수인 K값은 표준형헤드의 80 lpm/$\sqrt{bar}$ 으로 하였다. 배관은 KSD3507을 사용하였고, 배관 내부의 상대적 마찰계수인 C값은 120을 적용하였다. 가지관의 헤드배치는 배관스케줄방식에 따라 배관구경을 결정하였으며 수리계산 배관기준에 따라 가지배관은 유속 6 m/s 이하가 되도록 하였고 교차배관 및 기타배관은 10 m/s 이하가 되도록 배관을 설치하였다[3]. 등가길이는 NFPA13에서 제시하는 ASTM 배관의 값을 KS에 적합하게 식 (1)에 의해 변환한 Table 1을 사용하였다[4,5]. 소요압력은 O점에서 필요한 값을 산출하였다.

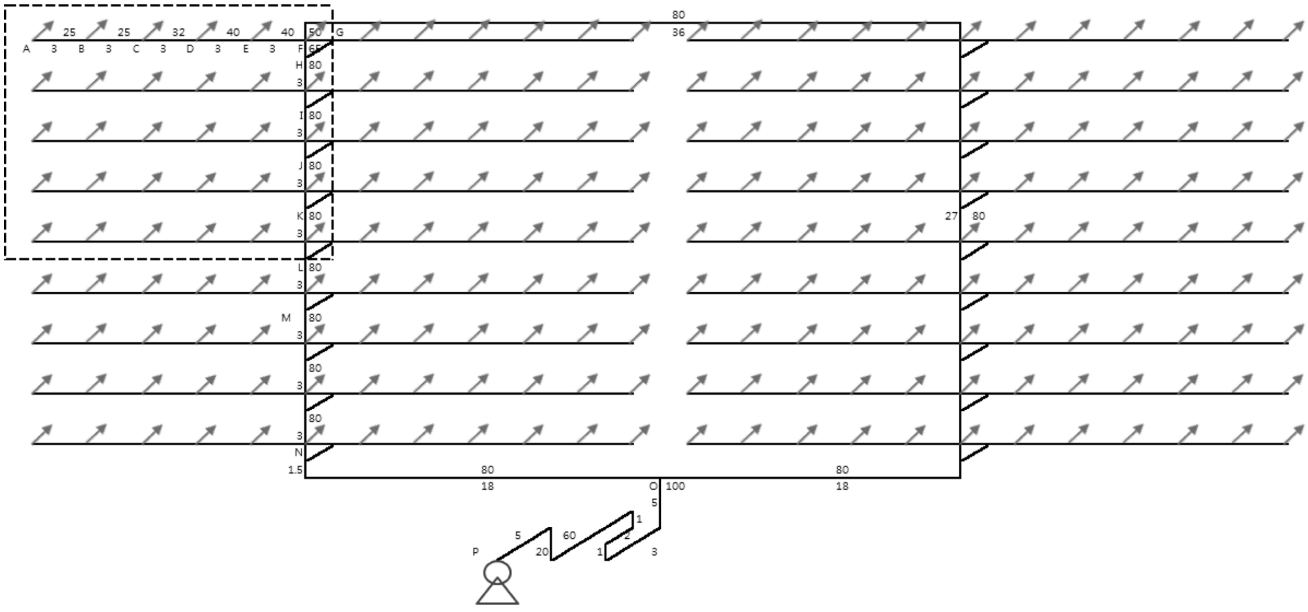

Figure 1. Design of loop type sprinkler system.

Table 1. Fittings and Valves Expressed in Equivalent meters of Pipe (Unit: Pipe [mm] Length [m])

Pipe size	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
Inside Dia.	27.5	36.2	42.1	53.2	69	81	105.3	130.1	155.5	204.6
45 Elbow	0.356	0.355	0.6985	0.651	1.46	1.1044	1.4062	1.6372	2.2311	2.7159
90 Standard Elbow	0.712	1.066	1.3969	1.629	2.92	2.5769	3.5154	3.9293	4.4622	5.4319
90long-turn Elbow	0.712	0.71	0.6985	0.977	1.947	1.8407	2.1092	2.6195	2.8685	3.923
TeeorCross (flow turned 90)	1.779	2.131	2.7938	3.257	5.84	5.522	7.0308	8.186	9.5618	10.562
Butterfly Valve	0	0	0	1.954	3.406	3.6813	4.2185	2.947	3.1873	3.6213
Gate Valve	0	0	0	0.326	0.487	0.3681	0.7031	0.6549	0.9562	1.2071
Swing Check	1.779	2.487	3.1431	3.583	6.813	5.8902	7.7339	8.8409	10.199	13.58

해당등가길이 = 기준등가길이

$$\times\left(\frac{\text{해당배관C값}}{\text{기준배관C값}}\right)^{1.85}\times\left(\frac{\text{해당배관C값}}{\text{기준배관C값}}\right)^{4.87} \quad (1)$$

2.2 설계 방법

2.2.1 설계면적 내의 말단 가지관부터 수리계산을 실시한다.

Table 2에 실제 계산한 값들을 나타내었다. Loop형으로 계산 시 어떤 가지관이 말단 가지관으로 될지 알 수 없으므로 모든 가지관을 말단 가지관으로 간주하여 계산한다. 예에서는 가지관의 형태가 모두 동일하므로 가지관마다 동일한 유량 578.86 L/min과 압력 2.35 bar가 필요한 것으로 나타났다.

2.2.2 Hardy-Cross 방식에 의해 배관별 흐르는 유량과 유량의 방향을 결정한다.

가지관별 수리계산한 유량을 간단하게 그리면 Figure 2

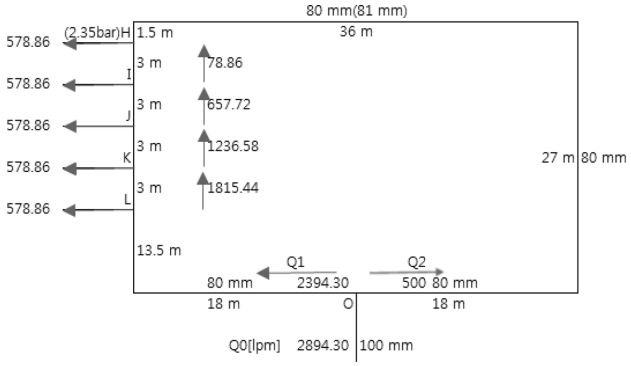

Figure 2. Primary flow assumption of each pipe.

와 같이 된다. 이를 Hardy-Cross 방식에 의해 각 배관별 유량과 흐름방향을 정하면 Table 3와 같이 된다. 여기서 보정량 ΔQ의 산출은 식 (2)을 따른다[6,7].

$$\Delta Q = -\frac{\sum \Delta P}{1.85\sum(\Delta P/Q)} \quad (2)$$

Table 2. Hydraulic Calculation of Loop System as Tree System

Section	Pipe Size [mm]	Inside Dia. [mm]	Pipe Length [m]	Fittings Valves [m]	Total Length [m]	C Factor	Flow at Sprinkler [lpm]	Flow in Pipe [lpm]	Friction Loss [bar]	Pressure [bar]	Velocity [m/s]
A							80.00			1.00	
A-B	25	27.5	3		3	120		80.00	0.08		2.24
B							83.29			1.08	
B-C	25	27.5	3		3	120		163.29	0.31		4.58
C							94.58			1.40	
C-D	32	36.2	3		3	120		257.87	0.19		4.17
D							100.86			1.59	
D-E	40	42.1	3		3	120		358.73	0.17		4.29
E							106.09			1.76	
E-F	40	42.1	3		3	120		464.82	0.27		5.56
F							114.04			2.03	
F-G	50	53.2	1.5	T 3.26	4.76	120		578.86	0.21		4.34
G-H	65	69	0.3	T 5.84	6.14	120		578.86	0.08		2.58
H							578.86			2.35	consider h
H-I	80	81	3		3	120		578.86	0.02		1.87
I							578.86			2.36	
I-J	80	81	3		3	120		1157.71	0.06		3.74
J							578.86			2.42	
J-K	80	81	3		3	120		1736.57	0.13		5.61
K							578.86			2.55	
K-L	80	81	3		3	120		2315.42	0.22		7.48
L							578.86			2.77	
L-M	80	81	3		3	120		2894.28	0.33		9.36
M-N	80	81	9		9	120		2894.28	1.00		9.36
N-O	80	81	19.5	L 2.58	22.08	120		2894.28	2.45		9.36

Table 3. Search for Equilibrium Flow of Each Pipe through Hardy-Cross Method

Time	Section	Flow [lpm]	Equivalent Length [m]	Friction Loss [bar]	Friction Loss/ Flow	Additional Flow [lpm]	Flow + Additional Flow [lpm]
1st	O-L	2394.30	39.6	3.091175	0.00129106	−687.88	1706.42
	L-K	1815.44	3	0.140341	7.7304E-05		1127.56
	K-J	1236.58	3	0.068973	5.5777E-05		548.70
	J-I	657.72	3	0.021451	3.2614E-05		−30.16
	I-H	78.86	3	0.000424	5.3752E-06		−609.02
	O-H	−500	95.76	−0.41231	0.00082463		−1187.88
				2.910051	0.00228675		
2nd	O-L	1706.42	39.6	1.651978	0.00096809	65.053313	1771.48
	L-K	1127.56	3	0.058147	5.1569E-05		1192.62
	K-J	548.70	3	0.015341	2.7958E-05		613.76
	J-I	−30.16	3	−7.2E-05	2.3749E-06		34.90
	I-H	−609.02	3	−0.01861	3.055E-05		−543.96
	O-H	−1187.88	95.76	−2.04391	0.00172064		−1122.82
				−0.33712	0.00280119		
3rd	O-L	1771.48	39.6	1.770371			
	L-K	1192.62	3	0.064505			
	K-J	613.76	3	0.018874			
	J-I	34.90	3	9.38E-05			
	I-H	−543.96	3	−0.0151			
	O-H	−1122.82	95.76	−1.84165			
				−0.0029			

시계방향으로 흐르는 유량은 "+"를 반시계방향으로 흐르는 유량은 "−"로 계산하였다. 계산 시 주의할 점은 유량이 "−"인 경우 마찰손실을 계산하는 Hazen-Williams식인 식 (3)에 의해 유량Q의 1.85승을 하는 경우 계산에러가 발생하므로 계산식에 입력 시는 "−" 부호 없이 계산한 후 마치막에 −1을 계산하여 마찰손실이 "−"가 나오도록 계산하여야 한다. 최초에 시계방향과 반시계방향으로 얼마의 유량을 배치할 지라도 2번의 반복으로 압력의 합은 오차범위인 ± 0.035 bar (± 0.5 psi) 이내로 들어오게 된다[8,9]. 2번의 Hardy-Cross 방법의 반복으로 Figure 3의 결과를 얻었다. 결과에 의해 최말단 가지관은 교차배관으로부터 시계방향과 반시계방향으로 동시에 소화수가 공급되는 위에서 두 번째 가지관이 된다.

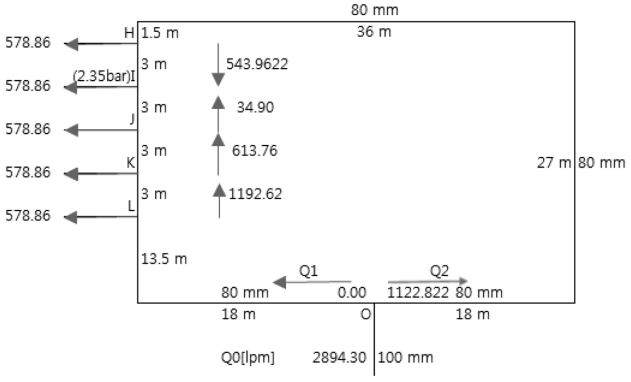

Figure 3. Result of equilibrium flow of each pipe through the Hardy-Cross method.

$$\text{Friction Loss [bar]} = 6.05 \times 10^5 \times \frac{Q^{1.85} \times L}{C^{1.85} \times D^{4.87}} \quad (3)$$

2.2.3 말단으로부터 마찰손실은 계산하며 유량보정을 한다.

처음 수리계산 시 모든 가지관을 말단으로 간주하고 계산하였다. 이제는 말단 가지관이 결정되었기 때문에 말단 가지관으로부터 마찰손실을 시계방향과 반시계방향으로 각각 계산하여 오며 압력을 결정하고 결정된 압력에 의해 유량보정을 실시한다. 유량보정은 식 (4)에 의한다.

$$Q_{\text{보정값}} = Q_{\text{보정전값}} \sqrt{\frac{P_{\text{높은압}}}{P_{\text{낮은압}}}} \quad (4)$$

최초 2894.3 L/min이던 유량은 유량보정에 의해 Table 4의 유량보정 합계값인 2908.69 L/min가 되었다. 마찰손실의 계산으로 결정된 압력은 시계방향으로 계산한 값이 4.2067 bar이고 반시계방향으로 계산한 값이 4.2038 bar로 큰 값을 선택하여 O점에서의 소요압력은 4.2067 bar이고

Table 4. Flow Adjusting through Pressure Change

Counter clockwise	Flow [lpm]	Equivalent Length [m]	Friction Loss [bar]	Pressure [bar]	Places	Adjusted Flow [lpm]	Additional Flow [lpm]
I-H	543.96223	3	0.0150963	2.365096	H	580.72	7.20
H-O	1122.8222	95.76	1.8416518	4.20675			
Clockwise					I	578.86	
I-J	34.90	3	9.381E-05	2.350094	J	578.87	5.35
J-K	613.76	3	0.018874	2.368968	K	581.19	7.67
K-L	1192.62	3	0.0645055	2.433473	L	589.05	15.53
L-O	1771.48	39.6	1.7703709	4.20384		Total Flo	Total Add. Flow
						2908.69	35.75

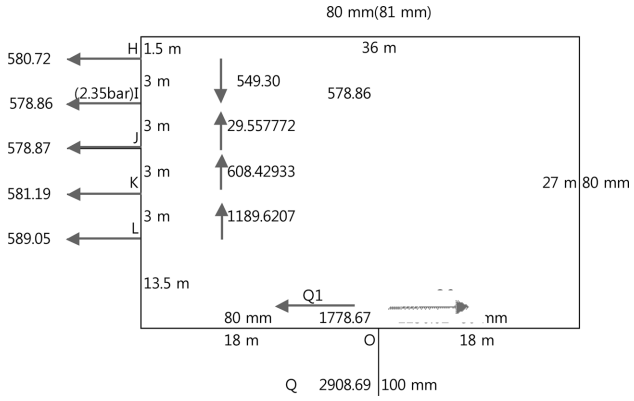

Figure 4. Final equilibrium flow of each pipe.

소요유량은 2908.69 L/min가 된다. 이를 방향별로 추가하면 Figure 4가 되어 최종 유량이 결정된다. 유량이 추가되었으므로 추가된 유량이 오차범위에 들어오는지 최종확인을 하면 Table 5와 같이 –0.0124가 되어 오차범위 ± 0.035 이내로 조건을 충족한다.

3. Loop 형 설계의 평가

3.1 Tree 형 배관과 소요량 비교

Table 6은 Tree형을 수리계산한 결과이다 O점에서의 소요량은 압력이 6.63 bar이고 유량이 2961.15 L/min이다. 하지만 Loop형의 경우 압력은 4.0267 bar이고 유량은 2908.69 L/min로 같은 수리계산으로 유량차이는 Tree형이 1.8% 밖에 크지 않지만 압력에 있어서는 36.6%가 크게 되어 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 압력의 차이는 압력배관대신 일반배관을 사용하고 작은 구경의 배관을 사용하게 됨으로 자재비과 인건비에서 큰 경비절감을 가져오게 되며 낮은 압력으로 설비를 유지함으로 안정적으로 설비를 유지할 수 가 있는 장점이 있다.

3.2 직접 계산한 Loop형 설계의 검증

Figure 5는 PIPENET[10] 설계프로그램으로 설계한 결과값으로 유량은 2909.54 L/min가 필요하고 압력은 4.1257 bar가 필요한 것으로 나타난다. 컴퓨터에 의해 산출된 이 값을 정확한 값으로 가정할 때 직접 손으로 계산한 유량인 2908.69 L/min는 컴퓨터와 일치되는 정확한 값이며 압력은 4.2067 bar로 2%가 크게 산출되어 무리 없이 사용할 수 있는 값이라 할 수 있다.

4. 결 론

Loop형 스프링클러 설계를 컴퓨터가 아닌 직접 설계자가 손으로 계산하는 방법을 제시하였다. 설계방법을 간단

Table 5. Final Verification Whether Acceptable Error Range or Not

Section	Flow [lpm]	Equivalent Length [m]	Friction Loss [bar]	Friction Loss/ Flow	Additional Flow	Flow + Additional Flow
O-L	1778.67	39.6	1.783694			
L-K	1189.62	3	0.064206			
K-J	608.43	3	0.018572			
J-I	29.56	3	6.9E-05			
I-H	–549.30	3	–0.01537			
O-H	–1130.02	95.76	–1.86355			
			–0.01238			

Table 6. Hydraulic Calculation as Tree Type Sprinkler System

Section	Pipe Size [mm]	Inside Dia. [mm]	Pipe Length [m]	Fittings Devices [m]	Equiv. Length [m]	Flow at Sprinkler [lpm]	Flow in Pipe [lpm]	Friction Loss [bar]	Pressure [bar]	Velocity [m/s]	Remark
A						80.00			1.00		
A-B	25	27.5	3		3		80.00	0.08		2.245	
B						83.29			1.08		
B-C	25	27.5	3		3		163.29	0.31		4.582	
C						94.58			1.40		
C-D	32	36.2	3		3		257.87	0.19		4.176	
D						100.86			1.59		
D-E	40	42.1	3		3		358.73	0.17		4.295	
E						106.09			1.76		
E-F	50	53.2	3		3		464.82	0.09		3.485	
F						108.70			1.85		
F-G	50	53.2	1.5	T 3.26	4.76		573.52	0.20		4.3	K Value of Branch
G-H	65	69	0.3	T 5.84	6.14		573.52	0.07		2.556	
H						573.52			2.16		390.6682
H-I	80	81	3		3		573.52	0.02		1.855	
I						575.73			2.17		
I-J	80	81	3		3		1149.24	0.06		3.717	
J						583.66			2.23		
J-K	80	81	3		3		1732.90	0.13		5.605	
K						600.26			2.36		
K-L	80	81	3		3		2333.15	0.22		7.546	
L						627.99			2.58		
L-M	80	81	3		3		2961.15	0.35		9.577	Pressure at O
M-N	80	81	9		9		2961.15	1.04		9.577	
N-O	80	81	19.5	L 3.52	23.02		2961.15	2.66		9.577	6.63

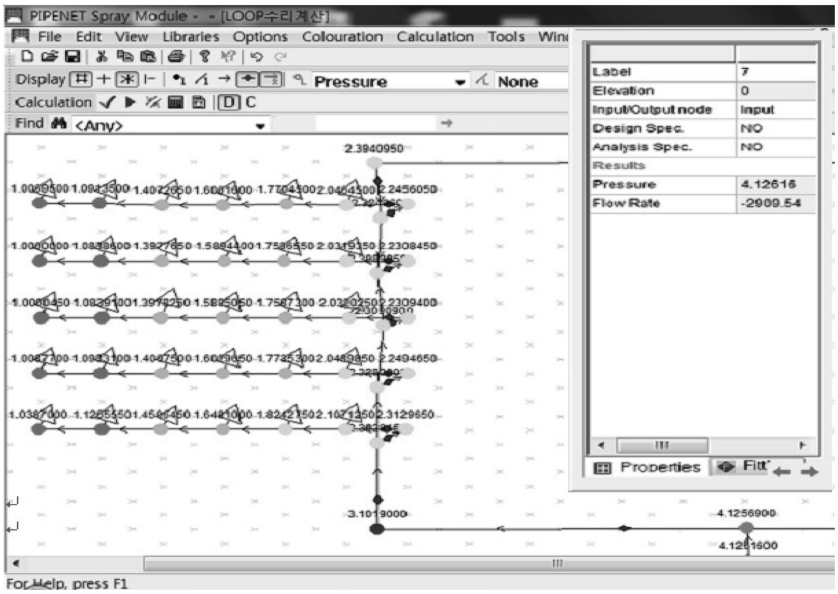

Figure 5. Hydraulic calculation of loop type system by PIPENET program.

히 요약하면 다음 3단계로 이루어진다.

1. 설계면적 내의 말단 가지관부터 수리계산을 실시한다.
2. Hardy-Cross 방식에 의해 배관별 흐르는 유량과 유량의 방향을 결정한다.
3. 말단으로부터 교차배관의 마찰손실은 계산하며 유량 보정을 한다.

직접 계산한 유량과 압력의 설계값은 컴퓨터로 계산한 값과 유량은 동일하였으며 압력은 컴퓨터보다 2% 크게 산출되어 수용할만한 값으로 나타났다. Loop형 설비는 Tree형 설비 보다 유량은 큰 차이가 없지만 압력면에서 36.6%가 적게 설계되어 압력배관대신 일반배관을 사용하고 작은 구경의 배관을 사용하게 함으로써 자재비과 인건비에서 큰 절감을 가져오게 되며 낮은 압력으로 설비를 유지함으로 안정적으로 설비를 유지할 수 가 있는 장점이 있다. 현재 거의 대부분의 스프링클러 설비가 Tree 형으로 설계되고 있는데 성능적인 면과 경제적인 면에서 Tree형 보다 우수한 Loop형으로 설계를 함으로 설계능력을 한 단계 upgrade하는 계기로 삼고자 설계자가 직접 설계할 수 있는 Loop형 설계방법을 제시하였다. 많은 사용이 있었으면 한다.

References

1. NFPA, “Automatic Sprinkler Systems Handbook”, 11th Edition, Quincy Massachusette, pp. 30-31 (2010).
2. R. M. Gagnon, “Design of Water-Based Fire Protection Systems”, Delmar Publishers, Albany NewYork, pp. 94-95 (1997).
3. NEMA, “NFSC 103 National Fire Safety Code of Fire Sprinkler Systems”, Article 8 (2014).
4. K. S. Jeong, “A Study on Comparison of Equivalent Length”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 5, pp. 1-7 (2012).
5. ASHRAS, “ASHRAE Handbook Fundamental”, p. 36.8 (2005).
6. S. U. Nam, “Design & Construction of Fire Protection Systems”, Sung-An-Dang, pp. 1.315-1.323 (2014).
7. R. P. Fleming, “Automatic Sprinkler System Calculation”, Fire Protection Handbook 19th Edition, pp. 4.72-4.87 (2002).
8. NFPA, “NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems” (2010).
9. A. M. G. Lopes, “Implementation of the Hardy-Cross Method for the Solution of Piping Networks”, Computer Application in Engineering Education 12 Wiley Online Library (www.interscience.wiley.com), pp. 117-125 (2004).
10. http://www.sunrise-sys.com/index.asp.