

수계소화설비(스프링클러시스템)의 수리계산방식 소개

글 신동원 / 건축기술팀 차장 / 전화 02-3433-7718 / E-mail tunny21@ssyenc.com



1. 머리말

건축물의 용도가 주거 및 업무위주의 소규모에서 복잡·다양하고, 대규모 및 고층화되는 추세에 있다. 이런 건축물의 화재발생 시 인적, 물적 손실이 커지고 있는데 화재로 인한 피해를 사전에 방지하고, 피해를 최소화 하고자 많은 노력이 있어왔다.

화재진압 시스템 중에서 가장 대표적이고, 많이 사용되는 설비는 수계소화(스프링클러 시스템)이다. 지금까지의 국내의 스프링클러 시스템 설계방식은 대부분 규약배관 방식으로 설계되었으나, 2004년 소방 4분법이 개정되면서 수리계산 방식의 허용이 법제화 되어 수리계산 방식 설계의 근간이 되었다. 이미 외국에서는 프로그램을 이용한 수리계산 설계를 시행하고 있으며, 수리계산 방식은 기존 방식보다 정밀하고 경제적인 설계를 가능하게 한다.

2. 스프링클러시스템의 설계방식

2.1 규약배관(Pipe Schedule Method)

규약배관 방법은 국내 스프링클러 설계 시 대부분 쓰이는 방법으로 국가화재안전기준에서 정하는 스프링클러헤드 수별 급수관의 관경 기준표에 의해 설계가 진행된다. 이 방식은 스프링클러 헤드 중 가압송수장치에서 가장 먼거리에 있는 것을 기준으로 한다.

즉, 최상층말단에 있는 시험밸브에서 규정압이 나오는 것을 기준으로 한다(국내기준:방수량 80lpm, 방수압 0.1~1.2MPa). 구간을 나누어 최상단 말단 헤드에서부터 가압송수장치까지의 마찰손실을 계산한다. 마찰손실은 직관의 길이, 관이음 및 밸브 등의 마찰손실에 등가길이(m)를 환산하여 계산한다. 이렇게 계산된 배관 및 관부속품의 마찰손실은 아래의 식과 같이 나머지 요소와 합하여 전양정을 결정하고, 전동기용량을 계산한다.

전양정 계산식은 다음과 같다.

$$H(m) = h_1 + h_2 + \text{방수압}(10m)$$

여기서, H: 전양정(m), h_1 : 낙차(m)

h_2 : 직관 및 관부속품 마찰손실(m)

<표 1> 스프링클러헤드 수별 급수관의 구경

급수관구경 구분	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150
가	2	6	5	10	30	60	80	100	160	161이상
나	2	4	7	15	30	60	65	100	160	161이상
다	1	2	5	8	15	27	40	55	90	91이상

2.2 수리계산(Hydraulic Calculation Method)

수리학적 설계를 위한 초기의 몇가지 결정은 규약배관 설계방식과 같으나, 배관의 압력손실 및 유량을 결정하는 데 있어서 공학적인 접근을 함으로서 정확성과 신뢰도가 높다.

전용프로그램(PIPENET, The Sprinkler)을 사용하여 각 기준개수의 헤드 방출 유량과 지점별 압력을 정확히 계산하여 적정 배관경과 소화펌프용량을 산정함으로써 소화설비 성능을 개선하고 경제적 배관시스템을 구성하는 설계방식이다.

<표 2> 배관관경 선정 방식의 비교

구분	스케줄 방식 (Pie Scheduling Method)	수리계산 방식 (Hydraulic Calculation Method)
마찰손실 계산 공식	하젠 윌리엄스 공식	하젠 윌리엄스 공식
헤드방출유량 계산 공식	미적용	NFPA 13 적용(Q=K√P)
LOOP 해석이론	미적용	유체역학 기초이론 적용
배관 설계방식	헤드수에 따라 규정된 별표1에 의해 선정	각 배관의 관경, 유량, 압력을 수리계산에 의해 선정

3. 수리계산 설계방식

3.1 적용범위

수계 소화설비인 옥내소화전설비, 옥외소화전설비, 스프링클러설비, 물분무소화설비, 미분무소화설비, 포소화설비 등 적용이 가능하나 보편적인 스프링클러설비에 주로 적용한다.

3.2 용어정의

전압계산방법 : 가장 일반적인 수리계산 방법으로서 전압이 소화수를 방수노즐을 통해 배관외부로 밀어낸다고 가정하여 계산하는 방법(동압은 고려하지 않는 방식)

동압계산방법 : 동압을 먼저 구하여 전압에서 이를 소거해서 정압을 구하고, 방수노즐로부터의 방수량을 계산할 때 산출된 정압을 이용하는 방식

전압(Pt) : 소화배관내의 한 지점에서 소화수가 작용하는 압력이며, 동압과 정압을 합하여 산출

동압(Pv) : 배관 내의 소화수를 운동상태로 유지하기 위해 필요한 압력이며, 물의 유동방향으로 작용함

정압(Pn) : 배관 벽에 수직으로 작용하는 압력이며, 유동방향이 배관 벽과 평행하므로 일반적으로 동압에 수직으로 작용함

상당길이(Equivalent Length) : 부속류 또는 밸브류 등에 마찰손실을 수리계산에 반영하기 위해 각 부속류 또는 밸브류를 등가의 마찰손실을 가진 배관길이를 표현한 것

계통도(P&ID) : 소방시스템의 배관 및 제어장치들의 구성을 표시한 도면

기준개수 : 화재안전기준에 따른 화재시 개방될 것으로 예상되는 소화설비의 방수노즐(헤드)의 최대수량

설계면적(Design Area) : 화재 시 예상되는 최대수량의 방수노즐(헤드)이 개방될 경우 소화수가 방수되는 바닥면적

필요유량(Required Flow Rate) : 소화설비 설계기준에 의해 결정하는 값으로서 이 유량 이상의 소화수가 공급되어야 소화설비의 성능목표를 달성할 수 있으며, 설계기준에 따라 “기준개수 x 노즐별 방수량” 또는 “설계면적 x 살수밀도”에 의해 구할 수 있음

수리학적으로 가장 먼 부분 : 급수원으로부터 소화수가 공급될 때, 전체 소화시스템 중에서 가장 큰 압력강하를 발생시키는 부분

수리학적으로 가장 가까운 부분 : 급수원으로부터 소화수가 공급될 때, 전체 소화시스템 중에서 가장 작은 압력강하를 발생시키는 부분

최소유량(Minimum Actual Flow Rate) : 수리학적으로 가장 먼 위치에 대한 수리계산을 통해 산출되는 가장 높은 압력을 필요로 할 경우 공급해야 할 유량

최대유량(Maximum Actual Flow Rate) : 수리학적으로 가장 가까운 위치에 대한 수리계산을 통해 산출되는 가장 낮은 압력을 필요로 할 경우 공급해야 할 유량

유량밸런스(Balance Between Flow Rates) : 소화설비의 성능목표 달성에 필요한 유량과 수리계산에 의해 계산된 실제 방출될 것으로 예상되는 유량의 비율 차이를 의미하며, 비율을 최대한 줄이는 것이 수리학적으로 좋음.

조도계수(C-factor) : 마찰손실 계산식 중 하나인 하젠-윌리엄식에 적용하는 배관 거칠기 계수

절대조도(Roughness, ε-factor) : 마찰손실 계산식 중 하나인 달시-바이스바흐식에 적용하는 배관 거칠기 계수

노즐(Nozzle) : 공급되는 압력에 따라 방출유량이 변동되는 소화설비의 방출구로서 스프링클러 헤드

소요동력(Maximum Pump Brake Power) : 소화설비에 필요한 압력과 유량을 가진 소화수를 공급하기 위해 필요한 소방펌프에 공급되어야 할 동력

3.3 수리계산 방법론

1) 개요

소화설비의 수리계산 과정을 통해 결정해야 하는 사항은 다음과 같다.

- ① 배관구경 ② 소방펌프의 용량(정격토출량, 양정, 소요동력)
- ③ 소화수조의 용량

2) 계산식

수리계산에는 다음과 같은 계산식을 이용한다.

- ① 마찰손실 계산식
- 하젠-윌리엄스 식

$$P_m = 6.053 \times 10^5 \times \frac{Q_m^{1.85}}{P^{1.85} \times d_m^{4.87}} \times L$$

- P_m : 단위길이당 마찰손실 Q_m : 유량(L/min)
- C : 조도계수 d_m : 배관의 실제내경(mm)

- 달시-바이스바흐 식

$$H = f \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g}$$

- H : 손실수두(m) f : 마찰손실계수
- d : 배관의 실제내경(mm) L : 배관의 등가길이(m)
- V : 배관내의 유속(m/s) g : 중력가속도(m/s²)

㉠ 노즐의 방수량 계산식

$$Q_m = K_m \cdot \sqrt{P_m}$$

- Q_m : 접속점에서의 방수량 K_m : 접속점에서의 방출계수
- P_m : 접속점에서의 압력
- ※ 스프링클러설비는 전압계산 적용

3) 유속제한(스프링클러설비)

프로젝트별 특별하게 요구되는 사항이 없을 경우 아래와 같이 유속기준을 적용할 수 있다.

- ㉠ 가지배관 : 6m/s 미만 ㉡ 그 밖의 배관 : 10m/s 미만

4) 설계면적

설계면적의 형태는 수리학적으로 가장 먼 부분에 위치한 스프링클러 헤드로부터 다음과 같은 기준에 따라 결정한다.

㉠ 화재안전기준에 따른 폐쇄형헤드를 적용

- 설계면적 내의 스프링클러 헤드수량(N)은 스프링클러설비의 화재안전기준 제4조 제1항 제1호 기준에 따른 기준개수로 한다.
- 설계면적의 형태는 다음 절차에 따라 직사각형 형태로 결정하되, 마지막 가지배관 상에 남는 헤드는 교차배관에 가까운 것으로 한다.

1개 가지배관 상의 헤드 수량 ≥ 1.2√N

㉡ 설계면적을 기준으로 한 폐쇄형 헤드를 적용

- 위험물안전관리에 관한 세부기준 등에 따라 설계면적을 기준으로 하는 스프링클러 설비의 수리계산은 다음과 같은 절차에 따라 설계면적 내의 헤드를 결정한다.
- 설계면적의 형태

- ㉠ 수원으로부터 수리학적으로 가장 먼 부분의 헤드로부터 설계면적을 결정한다.
- ㉡ 설계면적 내의 헤드수량은 다음 계산식에 따라 결정한다.

$$N_s = \frac{\text{설계면적(Design Area)}}{\text{헤드당방호면적(Areaper Sprinkler)}}$$

- ㉢ 1개 가지배관 위에서 설계면적 내에 포함 되는 헤드 수량은 다음 계산식에 따라 계산한다. 단, 가지배관 상 실제 설치되는 헤드수량이 계산된 수량보다 적은 경우에는 실제 설치 헤드수량으로 한다.

$$1\text{개 가지배관 상의 헤드 수량} = \frac{1.2 \sqrt{\text{설계면적(Design Area)}}}{\text{헤드간 거리(S, Spacing)}}$$

- ㉣ 기준개수(N_s)까지의 헤드가 설계면적 내에 포함되도록 가지 배관의 수량을 더한다.

5) 조도계수

하젠-윌리엄스 식에서의 배관의 조도계수는 다음 <표 3>에 따라 결정한다.

<표 3> 하젠-윌리엄스 조도계수

배관 또는 튜브	조도계수(C-factor)
비라이닝 주철 또는 덕타일 주철	100
흑관(건식 및 준비작동식)	100
흑관(습식 및 일제살수식)	120
아연도금강관(건식 및 준비작동식)	100
아연도금강관(습식 및 일제살수식)	120
합성수지관	150
시멘트 라이닝 주철관 또는 덕타일 주철관	140
동관, 황동관 및 스테인레스강관	150
콘크리트	140

6) 등가길이 계산

- ㉠ 제조업체에서 제시한 공인시험기관으로부터의 시험성적서 결과값에 근거한 경우를 제외하고 소화배관 내의 부속류 및 장치의 등가길이는 다음 <표 4>와 같이 해당배관에 적합하게 환산한 등가길이에 의해 결정한다.

<표 4> 압력배관용 탄소강관 등가길이

(단위 : m)

부속류 및 밸브류	호칭 배관경 및 내경(mm)									
	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
	27.2	35.5	41.2	52.7	65.9	78.1	102.3	126.6	151.0	199.9
45°엘보	0.3373	0.323	0.6287	0.6221	1.1671	0.9247	1.2215	1.4336	1.9338	2.4253
90° 표준 엘보 (Standard-turn)	0.6746	0.969	1.2574	1.5554	2.3341	2.1577	3.0538	3.4406	3.8676	4.8506
90° 엘보 (Long-turn)	0.6746	0.646	0.6287	0.9332	1.5561	1.5415	1.8323	2.2937	2.4863	3.5032
분류 티, 크로스	1.6865	1.9379	2.5147	3.1107	4.6682	4.6237	6.1076	7.1679	8.2876	9.4318
버터플라이밸브	-	-	-	1.8664	2.7231	3.0824	3.6646	2.5804	2.7625	3.2338
게이트밸브	-	-	-	0.3111	0.389	0.3082	0.6108	0.5734	0.8288	1.0779
스윙체크밸브	1.6865	2.2609	2.8291	3.4218	5.4462	4.9313	6.7184	7.7413	8.8401	12.127

<표 5> 일반배관용 탄소강관 등가길이

(단위 : m)

부속류 및 밸브류	호칭 배관경 및 내경(mm)									
	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
	27.2	35.5	41.2	52.7	65.9	78.1	102.3	126.6	151.0	199.9
45°엘보	0.3558	0.3552	0.6985	0.6514	1.4599	1.1044	1.4062	1.6372	2.2311	2.7159
90° 표준 엘보 (Standard-turn)	0.7116	1.0656	1.3969	1.6286	2.9197	2.5769	3.5154	3.9293	4.4622	5.4319
90° 엘보 (Long-turn)	0.7116	0.7104	0.6985	0.9771	1.9465	1.8407	2.1092	2.6192	2.8685	3.923
분류 티, 크로스	1.779	2.1313	2.7938	3.2571	5.8395	5.522	7.0308	8.186	9.5618	10.562
버터플라이밸브	-	-	-	1.9543	3.4064	3.6813	4.2185	2.947	3.1873	3.6213
게이트밸브	-	-	-	0.3257	0.4866	0.3681	0.7031	0.6549	0.9562	1.2071
스윙체크밸브	1.779	2.4865	3.1431	3.5828	6.8127	5.8902	7.7339	8.8409	10.199	13.58

㉔ 등가길이의 보정

- 상기 표에서 제시된 배관과 다른 내경을 가진 배관의 등가길이는 다음 계산식에 따라 산출된 계수를 등가길이 값에 곱하여 산출한다.

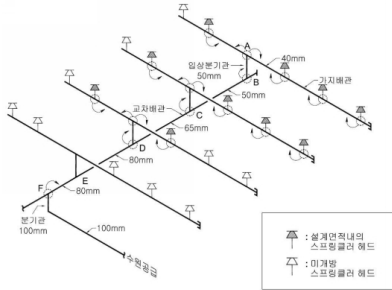
$$\left(\frac{\text{실제내경}}{\text{Sch.40 SPSS 내경}} \right)^{4.87} = \text{계수}$$

- 상기 표는 조도계수가 120인 경우에만 적용할 수 있으며, 조도계수가 다른 배관재의 경우에는 계수를 곱해서 등가길이를 산출한다.

C	100	130	140	150
계수	0.713	1.16	1.33	1.51

7) 마찰손실계산식에 등가길이 반영방법

- ㉑ 헤드방수에 영향을 주는 배관의 높이 변화
- ㉒ 배수관 연결관로 및 시험밸브의 관로
- ㉓ 밸브류, 부속류, 장치류 손실
- ㉔ 레듀싱 엘보가 적용되는 경우는 작은 쪽 구경의 등가길이에 포함
- ㉕ 헤드가 회항식 배관이나 플렉시블 호스 등에 연장된 경우의 회항식배관, 플렉시블 호스
- ㉖ 분류티는 등가길이 포함하되, 직류티는 제외
- ㉗ 소화배관 부속류 반영구간 선정(예시)



- 가지배관 상의 분류티(Tee)
 - 티(Tee)가 설치된 배관구간의 등가길이 포함
- 교차배관에서 가지배관으로의 입상분기관
 - ① 티(Tee)A : 가지배관 구간 ② 티(Tee)B, C, D : 입상분기관 구간
 - ③ 티(Tee)E : 직류티로 포함하지 않음
- 분기관에서의 분류티(Tee)F
 - 티(Tee)가 설치된 배관 구간인 80mm구간

8) 소방펌프 및 소화수조의 용량 계산

- ㉑ 소방펌프의 선정
 - 정격토출량 : 가로축이 유량, 세로축이 양정인 좌표에서 수리 계산에 의해 산출된 모든 지점들이 소방펌프의 성능곡선보다 해당지점 양정 기준으로 5% 이상 아래에 위치하도록 선정한다. 수리계산에 의해 산출된 유량은 소방펌프 정격 토출량의 140%를 초과할 수 없다.

- 정격양정 : 수리계산에 의해 산출된 소요유량에서 법적으로 규정된 압력으로 방수될 수 있도록 선정한다.
- 소요동력 : 선정된 소방펌프의 성능곡선 상에서 정격토출량의 150%까지의 범위 내에서 가장 큰 값을 소요 동력으로 결정한다.

㉒ 소방수조의 용량

- 수리계산에 의해 산출된 최대유량 또는 소방펌프의 정격토출량의 150%에 해당하는 유량을 규정 시간동안 공급할 수 있는 용량으로 산정한다.

9) 수리계산 보고서

수리계산 보고서에는 다음과 같은 사항이 포함되어야 한다.

- 설계기준(국가기준, 국제규격, 재보험사 기준 등)
- 적용계산식, 배관입력 데이터 - 사용한 프로그램 관련사항
- 설계데이터
 - ① 헤드 또는 방수구의 요구 방수량
 - ② 헤드 또는 방수구의 방수압력 범위
 - ③ 개방되는 헤드 또는 방수구의 수량
- 관련도면
 - ① 계통도 및 평면도 ② 수리계산 Node 지점이 표시된 도면
 - ③ 소방펌프 및 소화수조 선정 결과

10) 수리계산 절차

수리계산의 정확도와 신뢰도를 높이기 위해서는 다음과 같은 단계별 절차를 통해 수행하는 것이 강제적인 규정은 아니지만 효율적이다.

- 1단계 : 설계기준 결정
- 2단계 : 설계기준에 따른 설계입력데이터 결정
- 3단계 : 필요유량 결정
- 4단계 : 개방될 노즐의 배치 결정
- 5단계 : 수리계산 수행
- 6단계 : 소방펌프 및 소화수조 결정
- 7단계 : 보고서 작성
- 8단계 : 수리계산 검증
- 9단계 : 설계도서 발행

4. 맺음말

향후 소방설계는 성능위주의 설계가 보편화됨에 따라 스프링클러 설계방식도 수리계산 방식이 보편적으로 사용되어질 것이다. 초기의 수리계산은 원가절감을 위한 목적으로 일부 건축물용도에 국한적으로 적용되었으나, 향후에는 일정규모 이상의 건축물에는 의무적인 적용으로 확대되어 경제적이고 성능개선을 통한 소방시설의 신뢰성 및 품질향상에 기여하는 방향으로 전환되어야 할 것이다.

※ 참고문헌

1. 「스프링클러 가지배관 시스템에서 규약배관방식과 수리계산방식 설계의 적정성 비교연구」 박현준 2004
2. 「수계 소화설비 수리계산절차서」 소방기술사회