

배관망 해석 방법을 이용한 스프링클러 시스템의 수리계산 프로그램 개발

송철강, 정기신*, 최종운**, 강계명**, 이수경***

삼성 ENG, *명신 기공, **서울산업대학교 재료공학과, ***안전공학과

A Development of Program on the Hydraulic Calculation
in Sprinkler System Based on the Piping Network Analysis Method

Chul-Kang Song, Kee-Sin Jeong*, Gye-Myoung Kang, Jong-Woon Choi**,
and Su-Kyung Lee*****

Samsung Eng, *Myung Sin Eng, **Seoul National Univ Dept. of material Eng.

***Seoul National Univ Dept. of Safety Eng

1. 서론

소방설비 중 가장 대표적이며 초기 화재진압 시스템 중 가장 효과적인 것이 스프링클러 시스템이다. 국내의 스프링클러 시스템의 설계는 규약배관방식으로만 이루어져 있으며, 최근에 수리계산방식이 소방법에 포함되어 설계에 적용되고 있다. 그러나 선진국에서는 국내에서 사용하고 있지 않은 격자배관방식(Grid System)을 사용하고 있는데, 이는 컴퓨터를 이용한 프로그램에 의한 수리계산방법에 의하여 설계해야 한다. 효과적으로 스프링클러 시스템의 성능을 설계하기 위하여 수리계산해석 방법을 이용한 스프링클러 시스템의 국내 프로그램의 취약성을 극복하고, 국내 실정에 맞는 프로그램 개발을 필요로 하고 있다. 본 연구는 프로그램을 위한 알고리즘과 그를 이용하여 프로그램 개발을 목적으로 연구하게 되었다.

2. 격자배관방식(Grid System)

스프링클러 배관방식 설계는 규약배관방식(Tree System), 루프 방식(Loop System), 격자배관방식(Grid System)으로 설계가 가능하다. 현재 국내에서 설계하는 방식은 규약배관방식으로 설계를 하고 있으나, 선진국 등에서는 유량이나 마찰손실이 적게 계산되는 격자배관방식으로 소화설비 설계를 진행하고 있는 추세이다.

격자배관 방식은 평행 교차 배관이 다중 가지관에 연결된 스프링클러 설비이다. 작동 중인 스프링클러헤드가 그 가지관의 양끝으로 물을 공급받는 동안 다른 가지관은 교차

배관간의 물 이송을 보조한다. 이 시스템은 계산이 복잡하여 수계산으로 계산하기에는 복잡하므로 컴퓨터 프로그램을 이용하여 수리계산을 하고 있다. 격자배관 방식을 규약 배관방식과 비교하면 다음 항목과 같다.

- 1) 이론적으로 적정한 방호에 대한 수리계산을 수행할 수 있다.
- 2) 특수한 건물배치, 급수상태, 수압에 대응할 수 있는 설계가 가능하고 방법이 간단하다.
- 3) 수리계산에서 가지관의 헤드수 또는 가지관의 수가 다양하여 기존의 규약배관 방식을 변경하여 여러 가지 다양한 설계가 가능하다.
- 4) 공간의 제한 또는 상호 연결, 방호설계의 보증 등 특수한 문제점을 검토할 수 있다.
- 5) 계산에 필요한 시간을 절감하며 수계산에 의한 계산 실수를 방지할 수 있다.
- 6) 합리적이고 일정한 급수설비의 설계로 기존의 급수설비를 효율적으로 이용할 수 있다.
- 7) 보기 쉽고 이해가 편리하도록 계산 결과물을 출력하여 설계의 검토가 가능하다.
- 8) 계산의 신뢰성을 높여서 판단이 곤란한 경우에 판단 기준으로 이용할 수 있다.

3. 적용 이론

1) Hazen Williams Method

파이프를 통해 흐르는 물로 인한 마찰손실은 몇몇 공학적인 접근에 의해 평가되어질 수 있다. 여러 가지 마찰손실을 구하는 방법 중에서 본 프로그램에 적용되는 마찰손실을 구하기 위한 방법으로 Hazen Williams 공식을 사용하였으며 NFPA Code 13에서도 이 방법으로 수리계산을 하고 있다. 이 접근 방식은 Hazen과 Williams에 의해 실험적으로 발전되어온 형식에 기초하고 있다.

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

P = 배관의 feet당 마찰손실(psi/feet) Q = 유량 (gpm)

C = Hazen Williams 조도 값 D = 배관 내경 (inch)

전체 마찰손실은 $P = P_f \times L$ 로 표시되어질 수 있다. 파이프 섹션을 통한 전체 마찰손실은 파이프 길이 L에 의해 구해진다. 복잡한 파이프 배치의 분석에서 마찰손실 계수로서 명확한 상수 K안에 주어진 파이프의 부분에 대해 Hazen Williams 방정식 안에 모든 벡터의 값을 모으기에 편리하다.

노즐상수 K와 함께 혼동되는 것을 피하기 위해서 이 상수는 FLC(Friction Loss Coefficient)로 구분되어진다. 마찰손실 계수 K는 다시 말해서 식 (1)으로 나타난다.

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

따라서 P의 값은 $P_f = FLC \times Q^{1.85}$ 가 된다. 본질적으로, 스프링클러 시스템을 수리

Table 1. C Values for Pipes

배관	C Factor
라이닝 없는 주철관 또는 연성철관	100
흑강관(준비작동식을 포함하는 건식설비)	100
흑강관(일제살수식을 포함하는 습식설비)	120
아연도금관(모두)	120
플라스틱(등록된)-모두	150
시멘트 라이닝된 주철관 또는 연성철관	140
동관 또는 스테인레스 강관	150

적으로 계산할 때 소화수 공급으로부터 허용 가능한 유량과 압력이 스프링클러 시스템의 요구유량과 요구 압력을 맞추던가 또는 초과 할 때까지 마찰손실이 변화되는 배관 크기에 의해서 수정되어지는 그런 방법에서 스프링클러의 배관 크기를 조절하고 있다.

2) Hydraulic Junction Point

NFPA 13에서는 수리적 교차점에서 압력이 0.5psi 내에서 균형이 되도록 요구하고 있다. 즉, 설계자(또는 컴퓨터 프로그램)는 경로의 선택에 관계없이 설계면적으로부터 공급원까지 되돌아가서 압력이 0.5psi 이내에서 거의 같아질 때까지 각 배관의 부분(Node)에서 얼마나 유량이 생기는지 성공적으로 추측하기 위하여 계속하여야 한다.

3) 배관망 해석방법

정상상태 유체의 흐름에 대한 해석은 각 배관에서의 유량이 주어질 때 유량보정을 통하여 배관망 해석(Pipe Network Analysis)을 수행한다. 스프링클러 소화설비에 대하여 필요한 방호대상물의 방출수량, 압력 등의 조건이 정하여지면 해당 대상물로의 배관 루트계획을 실시한다.

일반적으로 소화설비 배관의 주관은 관로 파단대책, 설치상의 문제로 환상배관의 루프 등으로 구성한다. 방호대상 구역에 충분한 물을 공급하기 위하여 수리계산의 해석이 필요하게 된다. 복잡한 배관망의 해석은 방재회사 및 엔지니어링사 등에서는 컴퓨터에 의한 해석을 하고 있는 것이 일반적이다. 간단한 배관망은 수계산으로 배관구경을 검토하는 것이 가능하다. 일반적으로 배관망의 해석방법은 다음의 3가지가 널리 사용되고 있다.

Linear Theory 방법은 일부가 비선형인 배관에 있어서의 미지의 유량에 대하여 일단의 배관망 공식을 해석하기 위한 기법이다. 이 식은 각 Junction(Node)에서의 압력 및 출력유량에 대하여 연속방정식을 기술함으로써 각 Loop 주위의 압력손실의 대수합은 0이라는 것을 규정함으로써 만들 수 있다. 일단의 비선형 방정식의 해석은 연속적인 과정이며 이를 수행하는 많은 기술이 있다. 선형 이론에서 각 Loop 주위의 손실수두의 합에 대한 비선형 방정식은 선형화 된다. 그러면 완전한 일단의 선형방정식(연속 방정식은 이미 선형)은 해석된다.

Hardy Cross Method은 1936년 Hardy-Cross가 제창한 방법으로 그후 Fair, G. M., Howland & Farr, C., Hurst, K.에 의해 개량되었다.⁶⁾ 이 방법은 관망구성 각 관로의 내경 연장 내면조도를 기지로서 관망에의 유입·유출수량을 주어서 각 관로의 분포유량 및 손실수두를 구하는 경우의 것이다. 또한 유입점간의 낙차를 주어서 유량을 산출하는 방법도 연구되고 있다. 각 배관의 유량을 먼저 가정하고 계산을 반복해서 해를 구하는 근사계산하는 법이며 보정유량을 정확히 구할 수 있는 특징이 있다.

이 방법은 초기에 가정을 먼저 설정한다. 각 분기점 또는 합류점에 유입하는 유량은 그 점에 정지하지 않고 전부 유출하고, 각 Loop에 대해서 시계방향 또는 반시계방향으로 흐르는 관로의 손실수두 합은 0이다. 구성 요소는 관의 내경, 관의 길이, 관내의 조도, 관망에 유입하는 유량, 관망으로부터 유출하는 유량이다.

Newton-Raphson 기법은 Hardy Cross 방법에서와 같은 기본개념을 갖는다. 각 배관에서의 유량은 연속 방정식을 만족하도록 가정하고, 이 유량은 각 loop 주위에서 압력손실의 합이 0에 가깝도록 보정된다. Hardy Cross 방법에서 각 배관에서의 유량은 각 q 를 계산한 후 보정된다. Newton-Raphson 방법에서는 q 를 포함하는 방정식을 각 loop에 대하여 구한다. 그리고 나서, 이러한 일단의 비선형 방정식을 각 loop 내에서의 q 의 최종값에 대하여 구한다. 해석이 완료되면, 각 배관의 최초의 유량만이 그 최종값에 대하여 조정된다. 이 방법은 일단의 비선형 방정식을 구하기 위한 방법으로부터 얻을 수 있다. Newton-Raphson 방법은 흔히 이용되는 강력한 수치해석의 기술이다. 실제적용에서 해답이 각 변수에 관하여 이동하고, 미지수에 대한 새로운 시도값을 계산하는 것에 근거하는 방법에 의하여 성공적인 근사치를 해답에 접근시킬 수 있다.

위의 3가지 방법 중에서 Hardy Cross 방법이 널리 이용되고 있으며 본 연구에서도 이 방식을 이용한 배관망 해석 프로그램 개발에 적용되었다.

Hardy Cross 해석절차는 스프링클러 시스템 배관에 다음과 같이 적용된다.

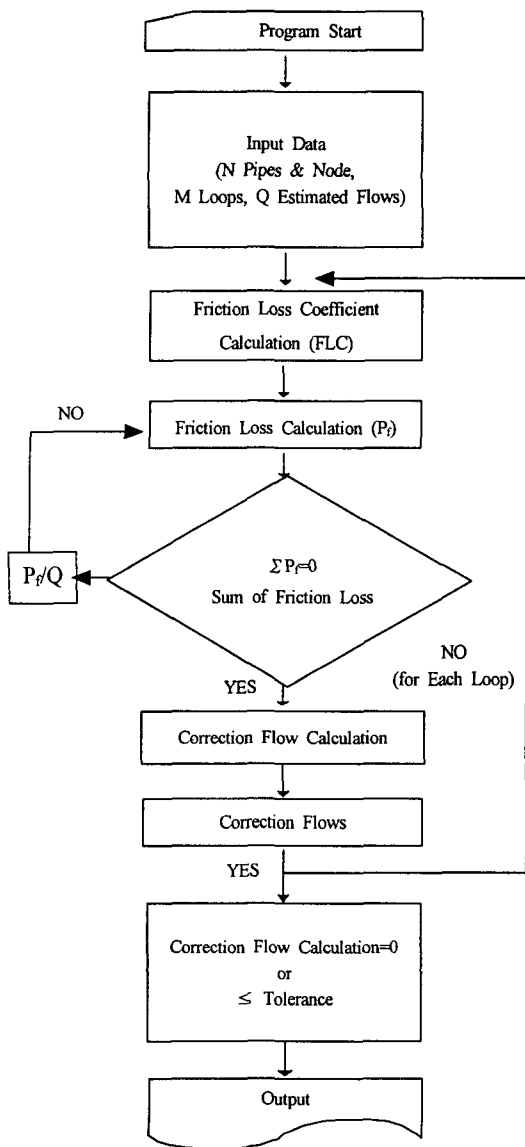


Fig. 1. Flow Diagram

- 1) 모든 Loop 회로 및 Loop의 각 라인에 관계되는 배관의 길이, 구경 및 Hazen-Williams 상수 등의 중요한 변수를 직렬 및 병렬 배관에 대한 상당 배관길이를 구함으로써 가능한 각 배관의 수를 줄인다.
- 2) 각 변수를 적당한 단위로 평가한다. Fitting류를 통한 부차손실(Minor Loss)을 상당 배관길이를 환산한다. 각 배관 단면에 대한 흐름을 제외한 모든 변수의 값을 계산한다.
- 3) 연속 방정식을 만족하는 유량의 합리적인 배분을 가정한다. 각 Loop 별로 진행한다.
- 4) Hazen-Williams 공식으로 FLC를 이용하여 각 배관에서의 마찰(P_f)로 인한 압력손실을 계산한다.
- 5) 참조 표시한 각 Loop 주위에 마찰손실을 합산(예를 들어, 시계방향은 +)한다. 손실의 합($\sum P_f$)이 0이 되면 흐름을 보정한다.
- 6) 만약 손실의 합이 각 Loop에 대하여 0 이 되지 않으면 각 배관별로 마찰손실을 배관에 대하여 가정된 유량으로 나눈다.
- 7) 각 Loop에 대하여 유량 보정을 다음과 같이 계산한다. $dQ = -dP_f / [1.85 \sum (P_f / Q)]$
- 8) 요구되는 만큼 유량보정 값을 Loop의 각 배관에 더한다. 그러므로, 초기에 가정된 유량을 더하거나 뺀다. 단일 배관이 두 Loop에 있는 경우에, dQ 의 두 값 사이의 두수 차이가 가정된 유량에 보정이 적용된다.
- 9) 가정된 유량의 새로운 값으로 4~7번 단계를 dQ 의 값이 충분히 적은 값이 될 때까지 반복한다.
- 10) 최종 확인단계로, 처음에서 마지막 교차점까지 아무 경로로 압력손실을 계산한다. 두 번째 계산이 다른 경로를 따라 예상된 정확도의 범위 내에서 같은 값을 나타내야 한다.

4. 맺음말

본 연구는 스프링클러 시스템중 격자배관방식에 대한 수리계산을 컴퓨터 프로그램으로 손쉽게 계산함으로써 배관에서의 정확한 압력손실과 유량을 측정하는데 그 목적이 있다. 본 프로그램 개발은 배관망 해석 방법등 여러 가지 자료로 근거하며, 격자배관방식이 국내에서 현행 시행되고 있는 규약배관방식의 단점을 보완하여 스프링클러 시스템을 성능기준화재안전설계로 이끌어 내기 위함이다. 소화설비의 전산화로 인한 작업의 편리성과 정확한 계산을 측정함으로써 전진적인 화재안전설계를 이룩하게 될 것이다. 이러한 프로그램의 개발은 미국 등에서 먼저 이루어져 오고 있으며 국내에서의 소방에 대한 발전이 한 단계 발전되는 계기를 마련하게 될 것이다.

참고문헌

1. Gagnon, Robert M., "Design of Water-Based Fire Protection Systems", Delmar Publishers,

- Albany, NY., (1997)
2. SFPE., "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", First Edition, SFPE, (1998)
 3. NFPA., "NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems", National Fire Protection Association, Quincy, MA, (1999)
 4. Robert. E. Solomon., "Automatic Sprinkler Systems Handbook", Sixth Edition, NFPA, (1994)
 5. Watters, Gary Z., "Modern Analysis and Control of Unsteady Flow in Pipelines", Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI. P. 115-133
 6. 강용태., "上下水道工學", 勞雲出版社, (1996)
 7. 탐구문화사 편집부., "상수도 이론설계 및 시공", 탐구문화사, (1995)
 8. Camp and Hazen., "Hydraulic Analysis by Electric Analysis by Electric Analyzer", J. NEWWA, (1934)