사양위주 스프링클러설비 설계의 압력과 유량의 문제점에 대한 고찰

정기신[†] · 김위경^{*}

세명대학교 소방방재학과, *한국원자력안전기술원

A Study on the Problem of Pressure and Flow Rate by Prescriptive Code Based Design of Fire Sprinkler System

Keesin Jeong[†] · Wee-Kyong Kim^{*}

Dept. of Fire & Disaster Prevention of Semyung Univ.

*Korea Institute of Nuclear Safety

(Received February 18, 2013; Revised April 26, 2013; Accepted June 14, 2013)

요 약

스프링클러설비의 화재안전기준인 NFSC103은 설계면적 내의 모든 헤드로부터 방출압 1 bar 이상과 방출량 80 lpm 이상을 최소기준으로 규정하고 있다. NFSC103은 또한 설치장소의 용도에 따라 설계면적에서 작동하는 헤드의 수를 10개, 20개, 30개로 규정하고 각 헤드별 유량을 80 lpm으로 하여 총유량을 800 lpm, 1,600 lpm, 2,400 lpm으로 규정하고 있다. 이 규정대로 스프링클러 설비를 설계하면 약 50 %의 스프링클러헤드에서 유량과 압력이 최소기준보다 부족하게 된다. 이는 스프링클러의 목적인 초기화재 대응에 실패를 가져오는 심각한 결과를 초래할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 성능위주 설계인 수리계산방법에 의해 모든 스프링클러설계가 이루어지는 것이 바람직하다.

ABSTRACT

National Fire Safety Code 103 regulates that all operating sprinkler in design area must be discharged 1 bar or more pressure and release 80 lpm or more flow rate as minimum criteria. NFSC103 also provides that the number of operating sprinkler in design area is 10, 20, 30 according to the building classification and the total flow rate is 800, 1,600, 2,400 lpm depending on 80 lpm per sprinkler. If sprinkler system is designed as above provisions, the pressure and the flow rate accordingly become smaller than the minimum criteria about 50 % sprinklers. It results in serious consequence that the purpose of sprinkler system as initial fire reaction equipment is failure. In order to solve these problems, It is desirable that Performance-based fire protection design, hydraulic calculation, is carried out to all sprinkler system.

Keywords : NFSC103, PBD, Sprinkler system, Pressure, Flow rate

1. 서 론

현행 스프링클러 화재안전기준에서 지켜야 하는 가장 중요한 설계요구사항으로 설계면적(작동면적)의 모든 헤드로부터 소화수의 방출압력이 1 bar 이상, 소화수 방출량은 80 lpm 이상을 규정하고 있다. 이 기준은 화재를 제어하고 진압하는데 필요한 최소한의 요구사항이다. 이 기준이 지켜지지 않는다면 스프링클러의 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. NFSC103에서 규정하는 대로 헤드 1개당 80 lpm의 방출로 헤드가 10개, 20개, 30개 작동하여 펌프의 토출량을 800 lpm, 1,600 lpm, 2,400 lpm으로 결정하게 되면 헤드의 말단에서 방출압과 방출량이 규정하고 있는 1 bar,

80 lpm의 최소기준을 지키지 못하는 문제점을 나타낸다. 본 논문에서는 스프링클러 설계사에서 가장 많이 사용하는 PIPENET프로그램을 통하여 성능위주설계인 수리계산 방식과 사양위주설계인 스케줄배관 방식을 설계하여 이 문제점을 증명하고 이런 문제점을 해결하기 위한 성능위주 설계의 확대실시를 주장하고자 한다.

관련 연구현황으로 2012년 이영재 등은 화재하중을 기준으로 하는 위험등급의 설정과 다양한 헤드의 제작을 주장하였으며⁽¹⁾, 2011년 박지현 등은 건물용도에 적합한 헤드개발을 위하여 필요한 감도, 살수밀도 등 성능시험방안에 대하여 설명하였고⁽²⁾, 2011년 정수영 등은 NFPA13에서 규정하는 수리계산 방법에 대하여 설명하였고⁽³⁾, 2011

[†]Corresponding Author, E-Mail: sobang1961@gmail.com
TEL: +82-10-4386-9212, FAX: +82-43-649-1787

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.3.014>

년 노형기는 스프링클러가 ASET을 증가시키고 화재감지 및 경보시간의 단축이 RSET을 감소시켜 피난에 많은 영향을 미친다고 하고 있으며⁽⁴⁾, 2010년 김용달 등은 우리나라의 건축주들은 설치비용의 절감을 위하여 스프링클러를 설치하지 않으려 하고 있으나 설치하는 것이 장기적으로 경제적이라는 것을 설명하고 있다⁽⁵⁾. 2010년 지춘근은 NFSC103과 NFPA13에 대하여 설비의 종류, 방호구역의 크기, 헤드의 설치위치와 장애물, 밸브의 종류, 연결송수관, 시험밸브 등에 대하여 비교 설명하고 있으며⁽⁶⁾, 2010년 정기신은 설계면적의 형태에 따른 압력과 유량차이를 설명하였고⁽⁷⁾, 2008년 김기옥은 헤드개발을 위한 감도, 살수분포, 화재시험방법에 대하여 설명하였다⁽⁸⁾. 2003년 지문학 등은 모델링에 의한 작동시간을 실증시험치와 비교하여 오차와 알고리즘상의 문제점을 제시하였고⁽⁹⁾, 2002년 송철강 등은 규약배관의 단점을 보완하기 위한 압력손실과 유량을 측정하기 위한 격자배관용 수리계산 프로그램을 개발하였으며⁽¹⁰⁾, 2001년 이창섭은 격자배관의 압력과 유량에 대한 우수성을 설명하였다⁽¹¹⁾. 본 논문에서는 이 논문들을 비롯하여 수리계산 관련 서적들에서 언급하고 있는 스케줄방식의 설계가 유량과 압력의 부족하다는 것을 수리계산 설계프로그램을 통하여 구현하고 그 결과를 도출하여 얼마나 유량과 압력이 부족한지 확인하여 이에 대한 대안을 제시하고자 한다.

2. 가지배관방식 스프링클러의 사양위주설계의 문제점

2.1 작동헤드 10개

2.1.1 수리계산방식

Figure 1에서 나타나는 배관의 구경은 배관스케줄 방식에서 요구하는 헤드 수량별 배관의 구경을 사용하여 설계하였고 헤드간 거리는 3 m, 설계면적의 형태는 $1.2 \times \sqrt{\text{설계면적}}$ 으로 하여 설정하였으며 말단헤드에서의 압력

Figure 1. Pressure and flow by hydraulic calculation in 10 sprinklers.

Table 1. Pressure and Flow by Hydraulic Calculation in 10 Sprinklers

No. of Branch	No. of Sprinkler	Pressure	Flow Rate
1	1	1.00	80.0
	2	1.10	83.8
	3	1.47	96.9
	4	1.69	104.1
2	5	1.03	81.1
	6	1.13	85.0
	7	1.51	98.2
3	8	1.74	105.6
	9	2.09	115.8
	10	2.14	117.2
Total Flow Rate			968

을 1 bar, 방출량을 80 lpm으로 하여 PIPENET프로그램을 실행하였다. 설계면적 내 최말단 가지관의 가장 먼 헤드인 최말단 헤드로부터 압력[bar]과 유량[lpm]을 나타내면 Table 1과 같다.

Figure 1의 시작점에서 필요한 압력은 2.56 bar이고 유량은 968 lpm이다. 이는 말단헤드의 압력을 1 bar로 유량을 80 lpm으로 할 때 각 헤드에서 실제로 발생하는 상황을 공학적 검증을 통하여 나타내는 것이다.

2.1.2 스케줄배관방식

Figure 2에서 나타나는 것은 Figure 1과 동일한 배관구경과 설계면적형태의 조건으로 펌프토출량이 800 lpm일 때의 상황을 설명하는 것으로 실제 현장에서 대부분 이루어지고 있는 사양위주설계이다. 최말단 가지관의 가장 먼 헤드인 최말단 헤드로부터 압력[bar]과 유량[lpm]을 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2. Pressure and Flow by Pipe Schedule Method in 10 Sprinklers

No. of Branch	No. of Sprinkler	Pressure	Flow Rate
1	1	0.68	65.8
	2	0.76	69.1
	3	1.00	80.1
	4	1.16	86.3
2	5	0.70	66.9
	6	0.77	70.0
	7	1.03	81.2
3	8	1.19	87.4
	9	1.44	96.0
	10	1.48	97.2
Total Flow Rate			800

Figure 2. Pressure and flow by pipe schedule method in 10 sprinklers.

Figure 3. Pressure and Flow by Hydraulic Calculation in 20 Sprinklers

Figure 2에서 Figure 1과 동일한 지점에서 압력은 1.78 bar이고 유량은 800 lpm으로 말단가지관의 말단헤드 2개와 그다음 가지관의 말단헤드 2개 총 4개의 헤드에서 압력과 유량이 최소기준에 도달하지 못하고 있다. 이 상황에서 양정을 높여 압력을 크게 하면 압력은 요구량에 도달할 지라도 유량은 800 lpm으로 고정되어 있으므로 4개의 헤드에서 유량이 부족한 것은 변하지 않게 될 것이다.

2.2 작동헤드 20개

2.2.1 수리계산방식

Figure 3에서 나타나는 배관의 구경, 설계면적의 형태, 말단헤드에서의 압력과 유량은 Figure 1과 동일한 방법으로 설계하였다. 최말단 가지관의 가장 먼 헤드인 최말단 헤드로부터 압력[bar]과 유량[lpm]을 나타내면 Table 3과 같다.

Figure 3의 시작점에서 필요한 압력은 3.38 bar이고 유량은 2,099 lpm이다.

2.2.2 스케줄배관방식

Figure 4에서 나타나는 것은 Figure 3과 동일한 배관구경과 설계면적형태의 조건으로 펌프토출량이 1,600 lpm일 때의 상황을 설명하는 것이다. 최말단 가지관의 가장 먼 헤드인 최말단 헤드로부터 압력[bar]과 유량[lpm]은 Table

Table 3. Pressure and Flow by Hydraulic Calculation in 20 Sprinklers

No. of Branch	No. of Sprinkler	Pressure	Flow Rate
1	1	1.00	80.0
	2	1.10	83.8
	3	1.47	96.9
	4	1.69	104.1
	5	1.89	110.1
	6	2.22	119.2
2	7	1.02	81.0
	8	1.12	84.8
	9	1.50	98.0
	10	1.73	105.4
	11	1.93	111.4
	12	2.27	120.6
3	13	1.11	84.5
	14	1.22	88.5
	15	1.63	102.1
	16	1.88	109.7
	17	2.10	116.0
	18	2.46	125.5
4	19	2.98	138.3
	20	3.02	139.0
Total Flow Rate			2,099

Figure 4. Pressure and flow by pipe schedule method in 20 sprinklers.

4와 같다.

Figure 4에서 Figure 3과 동일한 지점에서 압력은 2.01 bar이고 유량은 1,600 lpm으로 말단가지관의 말단헤드 4개와 두 번째 가지관의 말단헤드 3개, 그리고 3번째 가지관의 말단헤드 3개 총 10개의 헤드에서 압력과 유량이 최소기준에 도달하지 못하고 있다. 이 상황에서 양정을 높여 압력을 크게 하면 압력은 요구량에 도달할지라도 유량은 1,600 lpm으로 고정되어 있으므로 10개의 헤드에서 유량이 부족한 것은 변하지 않게 될 것이다.

Table 4. Pressure and Flow by Pipe Schedule Method in 20 Sprinklers

No. of Branch	No. of Sprinkler	Pressure	Flow Rate
1	1	0.57	60.4
	2	0.63	63.4
	3	0.85	73.7
	4	0.98	79.4
	5	1.10	84.0
	6	1.30	91.2
2	7	0.58	61.2
	8	0.64	64.2
	9	0.87	74.6
	10	1.00	80.3
	11	1.13	85.1
	12	1.33	92.3
3	13	0.64	63.9
	14	0.70	67.0
	15	0.94	77.8
	16	1.09	83.7
	17	1.22	88.7
	18	1.44	96.2
4	19	1.76	106.2
	20	1.78	106.8
Total Flow Rate			1,600

Figure 5. Pressure and flow by hydraulic calculation in 30 sprinklers.

2.3 작동헤드 30개

2.3.1 수리계산방식

Figure 5에서 나타나는 배관의 구경, 설계면적의 형태, 말단헤드에서의 압력과 유량은 Figure 1과 동일한 방법으로 설계하였다. 최말단 가지관의 가장 먼 헤드인 최말단 헤드로부터 압력[bar]과 유량[lpm]을 나타내면 Table 5와 같다.

Figure 5의 시작점에서 필요한 압력은 3.71 bar이고 유량은 3,254 lpm이다.

Table 5. Pressure and Flow by Hydraulic Calculation in 30 Sprinklers

No. of Branch	No. of Sprinkler	Pressure	Flow Rate
1	1	1.00	80.0
	2	1.10	83.8
	3	1.47	96.9
	4	1.69	104.1
	5	1.89	110.1
	6	2.22	119.2
	7	2.36	123.1
2	8	1.03	81.2
	9	1.13	85.1
	10	1.51	98.5
	11	1.74	105.5
	12	1.95	111.8
	13	2.28	121.0
	14	2.43	124.9
2	15	1.07	82.2
	16	1.17	86.7
	17	1.56	100.0
	18	1.81	107.8
	19	2.00	113.8
	20	2.37	123.2
	21	2.52	127.2
4	22	1.15	86.1
	23	1.26	90.0
	24	1.68	104.0
	25	1.94	111.7
	26	2.18	118.1
	27	2.54	127.7
	28	2.76	131.9
5	29	3.45	148.8
	30	3.47	149.1
Total Flow Rate			3,254

Figure 6. Pressure and flow by pipe schedule method in 30 sprinklers.

Table 6. Pressure and Flow by Pipe Schedule Method in 30 Sprinklers

No. of Branch	No. of Sprinkler	Pressure	Flow Rate
1	1	0.53	58.3
	2	0.59	61.2
	3	0.79	71.2
	4	0.92	76.7
	5	1.03	81.3
	6	1.21	88.2
	7	1.30	91.2
2	8	0.55	59.2
	9	0.60	62.2
	10	0.82	72.3
	11	0.95	77.9
	12	1.06	82.5
	13	1.25	89.6
	14	1.33	92.6
2	15	0.57	60.4
	16	0.63	63.4
	17	0.85	73.7
	18	0.98	79.4
	19	1.10	83.9
	20	1.30	91.2
	21	1.39	94.3
4	22	0.62	62.8
	23	0.68	65.9
	24	0.92	76.5
	25	1.06	82.5
	26	1.19	87.3
	27	1.40	94.6
	28	1.49	97.9
5	29	1.92	110.8
	30	1.93	111.0
Total Flow Rate			2,400

2.3.2 스케줄배관방식

Figure 6에서 나타나는 것은 Figure 5와 동일한 배관구경과 설계면적형태의 조건으로 펌프토출량이 2,400 lpm일 때의 상황을 설명하는 것이다. 최말단 가지관의 가장 먼 헤드인 최말단 헤드로부터 압력[bar]과 유량[lpm]은 Table 6과 같다.

Figure 6에서 Figure 5와 동일한 지점에서 압력은 2.98 bar이고 유량은 2,400 lpm으로 말단가지관의 말단헤드 4개와 두 번째 가지관의 말단헤드 4개 3번째 가지관의 말단헤드 4개 4번째 가지관의 말단헤드 3개 총 15개의 헤드에서 압력과 유량이 최소기준에 도달하지 못하고 있다. 이 상

Table 7. Number of Heads below Criteria in Three kinds of Systems

Total Flow [lpm]	Head in Design Area	Head below Standard (Pressure, Flow)	Percent below Standard [%]
800	10	4	40
1,600	20	10	50
2,400	30	15	50

황에서 양정을 높여 압력을 크게 하면 압력은 요구량에 도달할지라도 유량은 2,400 lpm으로 고정되어 있으므로 15개의 헤드에서 유량이 부족한 것은 변하지 않게 될 것이다.

2.4 사양위주설계의 문제점 및 대책

Table 7에서 나타나듯이 펌프토출량이 800 lpm인 경우에는 압력을 아무리 높인다 하더라도 10개 중 40 %인 4개의 헤드에서 유량이 부족하게 되며, 1,600 lpm인 경우는 20개 중 50 %인 10개에서 2,400 lpm인 경우는 30개 중 50 %인 15개의 헤드에서 유량과 압력이 부족한 상태가 된다. 이는 화재 제어 및 진압을 위한 최소요구량을 충족하지 못하는 것으로 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 사양위주의 스프링클러 설계는 필요 최소한으로 제한하고 성능위주설계인 수리계산에 의한 설계가 필요하며 향후 이에 대한 충분한 데이터베이스의 구축이 요구된다.

3. 결 론

사양위주 스프링클러 설계인 배관스케줄방식 설계의 문제점의 도출을 위하여 수리계산설계 프로그램을 통하여 설계상황을 구현한 결과는 다음과 같다.

- 1) 아파트 등에 설치하는 자동헤드 10개 기준으로 토출량 800 lpm의 설계는 헤드10개 작동 시 4개의 헤드(40 %)에서 압력과 유량이 부족하며
- 2) 특수가연물은 저장 취급하지 않는 공장 창고 등에 설치하는 헤드 20개 기준으로 1,600 lpm의 설계는 헤드20개 작동 시 10개의 헤드(50 %)에서 압력과 유량이 부족하다.
- 3) 또한 11층 이상의 특정소방대상물 등에 설치하는 헤드 30개 기준으로 2,400 lpm의 설계는 헤드30개 작동 시 15개의 헤드(50 %)에서 압력과 유량이 부족하게 된다.
- 4) 이는 가장 신뢰성이 높은 초기 화재진압설비인 스프링클러에 있어 설계면적내의 모든 헤드가 작동 시 작동헤드의 절반이 유량과 압력이 기준보다 부족한 상태로 작동되어 스프링클러설비의 목적인 화재 제어 및 진압에 실패를 가져올 수 있다는 중요한 문제가 대두된다. 이와 같은 사양위주 스프링클러 설계의 문제점을 해결하기 위해서는 공학적 계산을 근거로 하는 성능위주설계인 수리계산 방식에 의하여 스프링클러설비의 설계가 이루어져야 할 것이다.

References

1. Y. J. Lee and H. J. Park, "A Study on Introduction to Performance based Design of Sprinkler Installation on Risk Level for Individual Occupancy in Korea", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 26, No. 2, pp. 1-10 (2012).
2. J. H. Kwark, D. J. Kim and J. H. Ku, "A Study on the Test Methods of Sprinklers for Various Places", *Proceedings of 2011 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 35-39 (2011).
3. S. Y. Jung and T. H. Kim, "A Study on the Sprinkler System for Performance Based Design", *Proceedings of 2011 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 450-453 (2011).
4. H. K. Roh, "Performance-based Fire Protection Design of Domestic Super High-rise Buildings - Evaluation by ASET and RSET -", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 2, pp. 9-13 (2011).
5. Y. D. Kim, Y. H. Choi and M. O. Yoon, "A Study on the Economic Utility Analysis of Sprinkler System Installation", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 24, No. 1, pp. 31-39 (2010).
6. C. G. Jee, "Technical Standard Comparison of NFSC103 and NFPA13", *Fire Protection Technology*, No. 49, pp. 21-31 (2010).
7. K. S. Jeong, "A Study on Design Area of Fire Sprinkler System", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 24, No. 3, pp. 93-98 (2010).
8. S. C. Kim, "A Study on Fire Characteristics of Solid Combustible Materials Based on Real Scale Fire Test", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 25, No. 5, pp. 62-68 (2011).
9. M. H. Jee, C. K. Sung and S. Y. Hong, "Sprinkler Head Actuation Time Evaluation by Use of Performance-based Fire Modeling", *Proceedings of 2003 Summer Annual Conference, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korean*, pp. 246 (2003).
10. C. K. Song, M. H. Lee and K. M. Kang, "A Development of Program on the Hydraulic Calculation in Sprinkler System Based on the Piping Network Analysis Method", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 16, No. 1, pp. 24-29 (2002).
11. C. S. Lee, "Grid-type Sprinkler System", *Bulletin of the Korean Institute for Industrial Safety*, Vol. 1, No. 1, pp. 28-33 (2001).