오리피스를 적용한 스프링클러 배관의 감압비교 연구

Comparative Study on Pressure Reduction of Sprinkler Piping Systems with an Orifice

김재동* · 이석재** · 양준서***

Kim, Jaedong*, Lee, Seokjae**, and Yang, Joonseo***

Abstract

The recent increase in the number of high-rise buildings has led to increased pressure on sprinkler piping systems. This overpressure results in the supply of large quantities of water to a small number of open sprinkler heads due to the aging of buildings or malfunctioning of sprinkler heads. This induces significant water damage during incidents such as fires, resulting in long-term restoration needs of electrical and infrastructure facilities. Therefore, this study intends to mitigate this damage by introducing an orifice in sprinkler piping systems to reduce the water pressure at sprinkler head openings. Various types of data values were calculated by increasing the pressure and simultaneously varying the orifice specifications for each type of pipe. Currently, there are no test data of this kind, rendering the obtained data useful in the design and construction of orifices for pressure reduction in sprinkler piping systems.

Key words : Sprinkler Heads, Overpressure, Water Damage, Orifice, Reduce Water Pressure

요 지

최근 고층건축물의 증가로 스프링클러 시스템의 배관에 필요이상의 많은 압력이 가해져 시공되고 있다. 이런 과압은 건물의 노후화, 헤드의 오작동, 화재시 작은 수량의 헤드개방시 다량의 급수가 이루어져 수손피해가 발생하고 그에 따라 전기, 설비의 시설물 복구가 오래 걸리거나 복구비용이 증가하는 문제가 발생한다. 따라서 본 연구는 스프링클러 배관에 오리피스를 적용하여 헤드개방시 감압을 시킴으로서 수손피해를 줄이고자 하였다. 각 타입별 배관에 오리피스 규격을 변화해 가며 압력을 증가시켜 시험하여 여러 종류의 데이터 값을 산출하였다. 현재 이런 종류의 시험데이터가 없는 관계로 스프링클러 설계 및 시공에서 배관감압을 하고자 하는 경우 참조할 수 있는 자료가 될 것이다.

핵심용어 : 스프링클러 헤드, 과압, 수손피해, 오리피스, 감압

1. 서 론

요즘 건축물은 나날이 고층, 준초고층, 초고층화 되어가고 있으며 이는 역세권, 도심지 중심으로 고밀개발이 집중되기 때문이다. 소방시설의 수계시스템 관점에서 이런 고층화는 특히 지하층에서 최상층까지 소화수를 공급하는 시스템에서는 필연적으로 저층부에 고압의 소화수 압력이 발생할 수밖에 없다. 일반적으로 스프링클러 설계시 지하 최하층에

펌프와 소화수조를 두고 말단 최상층에서 적정압력과 유량이 공급될 수 있는 펌프를 선정하게 된다. 예를 들어 40층 아파트를 가정했을 때 저층부는 지하주차장에서 18층 정도가 될 것이고 고층부는 19층에서 40층 정도구간이 될 것이다. 이때 각 구간의 하층부, 즉 저층부의 경우는 지하주차장구간이 될 것이고 고층부구간은 19층에서 30층 정도의 구간이 될 것이다. 이런 하층부 구간에는 펌프가 최상층인 40층 기준으로 압력선정이 되다보니 필요이상의 과압이 배관에

*교신저자, 정회원, 경기대학교 도시방재학과 박사과정(Tel: +82-2-2281-3119, Fax: +82-2-2281-5119, E-mail: crossover555@daum.net)

Corresponding Author, Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban disaster Management Graduate School, Kyonggi University

**경기대학교 도시방재학과 박사과정

Ph.D. Candidate, Department of Urban disaster Management Graduate School, Kyonggi University

***경기대학교 도시방재학과 박사과정

Ph.D. Candidate, Department of Urban disaster Management Graduate School, Kyonggi University

형성될 수밖에 없는 구조이다.

이러한 배관내 과압은 다음과 같은 문제를 일으킬 수 있다. 첫째 건축물이 오래 될수록 배관내 수충격이 발생하는 경우 배관 파손에 따라 수손피해를 발생시킬 우려가 큰데 일반적으로 스프링클러 배관을 백강관을 많이 사용하기 때문에 동관이나 스텐관에 비해 부식정도가 더 크기 때문이다(Kim, 2010). 둘째 각 구간의 하층부 쪽에 화재가 발생하지 않은 상태에서 헤드의 파손으로 헤드가 개방되는 경우나 소규모 화재로 설계상의 헤드 개방되는 기준개수 만큼 개방되지 않고 2-3개 정도의 소량의 헤드가 개방되는 경우 과압에 따라 다량의 유량이 발생하고 그에 따른 수손피해가 커진다. 이러한 수손피해는 건축물의 전기, 기계장비 등의 손상을 가져올 수 있고 건축물의 피해복구나 비용이 증가하는 원인이 된다.

본 연구에서는 스프링클러 가지배관에 오리피스를 설치하여 압력을 증가시킴에 따라 오리피스 구경별 어느 정도의 감압능력이 있는지 확인하는 시험을 실시하였다. 배관의 타입은 5가지 경우로 실험을 하고 각 타입별 오리피스 구경을 10~18 mm 규격으로 시험하여 압력증가에 따른 감압과 유량의 감소를 확인하는 시험을 하였다.

이러한 오리피스를 적용한 압력, 유량의 감압시험을 통하여 소화배관의 과압에 따른 수손피해를 줄일 수 있는 방안을 제시하였다. 각 배관의 타입별 오리피스구경을 달리하고 압력을 달리한 데이터를 마련함으로써 만약 오리피스로 감압을 하고자하는 설계자가 있다면 해당 데이터를 비교분석하여 배관에 적용해야 할 적정오리피스 구경을 산정하고 그에 따라 적정유량과 압력을 확인할 수 있을 것이다. 현재 스프링클러 가지관에 어느 정도의 감압을 하고 어느 정도의 오리피스 구경을 적용해야 하는지에 대한 데이터가 없으므로 이 연구를 통하여 기본적인 데이터를 설계자가 확인할 수 있어 실무에 도움이 될 것으로 기대한다. 앞으로 소화배관 감압방식의 일환으로 오리피스를 적용하는 경우 본 연구가 후행 연구자에 많은 도움이 되길 기대한다.

2. 이론적 배경

2.1 배관마찰손실 계산

스프링클러 배관의 관마찰손실은 Hazen-Williams식에 기초하며(NFPA 13, 2007) 관련식은 Eq. (1)과 같다.

$$P_m = 6.05 \times \frac{Q_m^{1.85}}{C^{1.85} d_m^{4.87}} \times 10^5 \quad (1)$$

여기서, P_m = 마찰손실(bar/m)

Q_m = 유량(Lpm)

d_m = 관내경(mm)

C = 마찰손실계수

Table 1. Hazen-Williams C Values (NFPA 13, 2007)

Pipe or Tube	C Value
Unlined cast or ductile iron	100
Black steel (dry systems)	100
Black steel (wet systems)	120
Galvanized steel (dry systems)	100
Galvanized steel (wet systems)	120
Plastic all	150
Copper tube or stainless steel	150
Cement-lined cast-or ductile iron	140
Concrete	140

마찰손실계수는 NFPA13을 준용하며 스프링클러배관에 서 주로 사용하는 KS D 3507 배관은 아연도 강관으로서 C-factor 값은 120을 적용한다. Table 1은 배관의 마찰손실계수를 정리한 표이다.

상기 Eq. (1)에서 알 수 있듯이 배관내 마찰손실은 유량에 비례하고 관내경과 마찰계수에 반비례하게 된다. 관경을 확대하는 경우 마찰손실은 감소하고 유량은 증가하며 유속은 감소하게 된다.

가지배관에서 헤드를 연결하는 신축배관의 마찰손실은 소방청고시에 따른 스프링클러설비 신축배관의 성능인증 및 제품검사의 기술기준에서 규정하고 있으며 유속 3.1~5.5 m/s 사이의 유속을 갖는 유량시험을 하여 평균값으로 측정하고 등가길이를 산정한다. 등가길이 산정식은 Eq. (2)로서 산출할 수 있다(National Fire Agency, 2021a).

$$L = \frac{1}{6.174 \times 10^5} \times \frac{C^{1.85} D^{4.87}}{Q^{1.85}} \times 10 \Delta P \quad (2)$$

여기서, L : 등가길이(m)

ΔP : 압력손실값(MPa)

Q : 유량(L/min)

C : 120

D : 배관의 내경(mm)

신축배관의 마찰손실은 등가길이를 나타내며 한번 90°로 굽힌 상태에서의 마찰손실을 등가길이를 나타낸다. 이러한 값은 제품의 성능인증서 인증서에 표기하여 쉽게 확인 할 수 있다.

2.2 스프링클러 헤드의 방출계수

스프링클러 헤드의 방출계수는 유량과 직접적인 관련이 있다(National Fire Agency, 2017). 국내의 스프링클러 헤드 규격은 소방청 고시인 스프링클러 헤드의 형식승인 및 제품 검사의 기술기준에서 규정하고 있으며 제조되어 현장에

시공되고 있다(National Fire Agency, 2017). 유량, 방출계수, 압력의 관계식은 Eq. (3)으로서 유량은 방출계수에 비례하고 압력의 제곱승에 비례한다.

$$Q = K\sqrt{10P} \quad (3)$$

여기서, Q : 방수량(L/min)

K : 방출계수

P : 압력(MPa)

방출계수는 스프링클러 헤드오리피스 규격에 따라 달라 지는데 국내 기준은 15A의 경우 방출계수값을 80으로 규정 하고 있다(National Fire Agency, 2017). 따라서 헤드 오리피스 지름은 11.2 mm로 모든 제조사가 균일한 값을 갖고 있다. 헤드의 방출압력은 0.1~1.2 (MPa)로 규정하고 있으며 헤드하나당 유량은 80 (L/min) 이상으로 규정하고 있다 (National Fire Agency, 2021b). 방출계수가 일정한 값을 가지므로 Eq. (3)에서 알 수 있듯이 유량은 압력의 제곱승에 비례하여 증가하게 된다.

2.3 오리피스의 마찰손실

배관내 오리피스를 설치하면 상류와 하류사이에 압력차가 발생하고 이를 측정함으로써 유량을 산출할 수 있다(Ksb iso 5167-1, 2019). 이러한 차압과 유량과의 관계식은 Eq. (4)에서 산출할 수 있다.

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p p_1} \quad (4)$$

q_m : 질량유량(kg/s), C : 유출계수, β : 지름비($\frac{d}{D}$), d :

오리피스 지름(m), p : 유체정압(pa), ρ : 밀도(pa), ε : 팽창계 수, D : 관내경(m).

3. 오리피스를 적용한 감압실험

3.1 실험제작 모형

실험모형 제작은 백관으로 제작하고 Case는 1~5가지 경우를 예상하여 제작하였다(Fig. 1). Case1~3은 오리피스 2차측에 신축배관을 설치하였고 Case4~5는 신축배관이 없는 타입이다.

백강관의 65A배관은 스프링클러배관에서 교차배관을 염두에 둔 환경이고 25A는 가지배관을 예상하였다. 가지배관 분기 전에 전자식 유량계와 압력계를 설치하여 오리피스 전단에서의 압력과 유량을 측정하였다. 가지배관 분기후 볼밸브와 백유니온을 설치하였고 백유니온에는 오리피스를 구경별로 바꾸어 가며 설치하여 실험하였다(Fig. 2). 오리피스후단

Fig. 1. Model Production Drawings

에는 압력계, 신축배관, 스프링클러 헤드를 설치하였다.

전자식 유량계와 전자식 압력계는 유수의 발생하는 유량과 압력을 측정하여 제어부에 보내주고 이를 제어부에 서 저장 및 기록한다(Fig. 3).

가지배관에는 볼밸브를 설치하여 유수를 차단할 수 있도록 하고 볼밸브 이후에 바로 백유니온을 설치하였다. 이 백유니온에 오리피스를 체결하여 압력을 변동해가면서 감압정도 및 유량변화를 측정하였다(Fig. 4).

오리피스는 10~18 mm까지 제작하였고 오리피스없는 상태에서 압력에 따른 유량과 백유니온에 오리피스를 규격별로 삽입하여 압력 변화에 따른 유량을 측정하였다(Fig. 5).

가지배관의 말단에는 신축배관과 스프링클러헤드를 설치하여 실제 현장에서 시공되는 타입들을 Case1~5까지 유형으로 제작하였다. 신축배관은 길이를 다양화해서 700, 1,000, 2,050 mm의 길이 제품으로 국내 M사의 것으로 하였다. 스프링클러 헤드는 국내 S사의 제품으로 K값은 80인 제품을

Fig. 2. Model Production Picture

적용하였고 오리피스 내경은 11.2 mm이다(Fig. 6).

3.2 오리피스 적용한 감압시험 방법

예를 들어 Case1을 시험한다고 하면 우선 백유니온에 오리피스를 체결하지 않은 상태에서 시험을 시작한다. 펌프를 기동하여 전자식 압력게이지 P1에서의 압력이 0.1 MPa가 될 때까지 가압하고 이때 P2에서의 압력과 전자식 유량계에

Fig. 3. Electronic Flowmeter & Pressure Gage

Fig. 4. Ball Valve & Union

서의 유량을 확인한다. 그 다음에 P1의 압력을 0.2 MPa로 상승시킨 후 P2에서의 압력과 헤드에서 방출되는 유량을 전자식 유량계로 확인한다. 이렇게 압력을 0.1~1 MPa까지

Fig. 5. Orifice

상승시켜가며 압력과 유량을 측정한다.

여기서 오리피스를 백유니온에 체결하지 않은 상태에서 유량, 압력의 측정은 기준값이 된다. 그리고 10 mm 오리피스를 백유니온에 체결후 마찬가지로 압력을 0.1~1 MPa까지 상승시켜가며 유량과 압력을 측정한다. 그러면 오리피스가 없는 상태에서의 압력, 유량과 오리피스 설치시의 압력유량을 비교해 볼 수 있다. 이런 방식으로 오리피스 규격을 10~18 mm까지 바꾸어 가며 유량, 압력을 측정한다.

Case1~5까지 상기와 동일한 방식으로 유량, 압력을 측정한다.

3.3 헤드의 과압, 과유량 선정 방법

국내는 스프링클러 화재안전기준(NFSC 103)에서 스프링클러 헤드의 선단압력을 0.1~1.2 (MPa)로 규정하고 있다. 이 압력을 이용하여 Eq. (3)에 $k = 80$ 을 적용하면 유량을 산출할 수 있는데 이때 유량이 80~277 (L/min)으로 산출된다. 따라서 국내는 헤드의 최대압력, 유량을 1.2 (MPa), 277 (L/min)으로 규정하고 있음을 알 수 있다. 또한 수리계산시 가지배관의 유속을 6 (m/s)초과하지 않도록 규정하고 있는데 하나의 헤드가 설치된 가지관이 25A이고 유속을 6 (m/s)로 가정한다면 연속방정식에서 유량은 206 (L/min)이고 이때 노즐선단의 압력은 0.66 (MPa)이 된다.

Fig. 6. Flexible Piping & Sprinkler Head

국외는 NFPA 13을 예로 들면 용도별 화재위험 등급에 따라 경급, 중급, 상급으로 나뉘고 해당 위험도에 따라 스프링클러 헤드당 방호면적과 스프링클러 헤드간 거리를 규정하고 있다. 해당내용을 이 Table 2로 정리하였다.

여기서 경급위험은 가연성이 적고 열방출률이 적은화재이고 중급위험은 가연물의 저장더미의 높이가 2.4 (m) 이하이고 열방출률이 보통인 화재, 상급위험은 가연성이 매우 큰 가연성 및 인화성 액체, 분진등 열방출률이 매우 높고 급격히 성장할 수 있는 화재를 일컫는다. 또한 국내는 위험용도별 헤드의 기준개수로 살수밀도와 방호면적을 산정하지만 NFPA13에서는 작동면적과 살수밀도로 산정을 한다(Fig. 7).

Fig. 7에서 경급의 경우 최대작동면적이 279 (m^2)이고 살수밀도는 2.84 ($L/min/m^2$)이다. 이를 곱하여 경급의 최대

Table 2. Protection Area and Maximum Spacing of Sprinkler Head

Case	Protection Area (m ²)	Maximum Spacing (m)
Light Hazard	20.9	4.6
Ordinary Hazard	12.1	4.6
Extra Hazard	8.4	3.7

Fig. 7. Density / Area Curves

방출수량이 792 (L/min)임을 알 수 있고 이는 국내의 아파트 헤드기준개수 10개와 대응되고 방출수량 800 (L/min)과 대응된다. Table 2에서 경급의 헤드 간격과 면적은 국내 헤드 반경 2.3 (m)에 대응된다고 할 수 있다.

국내의 아파트는 스프링클러 헤드 기준개수를 10개로 산정하는데 이것을 국외 기준으로 환산해 보면 작동면적으로 헤드반경 2.6 (m)로 적용하여 헤드 10개 면적은 270 (m²)이고 방수량을 800 (L/min)으로 산정할 때 살수밀도는 2.96 (L/min/m²)로 계산할 수 있다. 그렇다면 스프링클러 노즐선단의 압력이 1.2 (MPa)일 때 유량이 277 (L/min)인데 똑같은 방식으로 살수밀도를 환산하면 작동면적 270 (m²)에 방수량 2,770 (L/min)이 되므로 살수밀도는 10.2 (L/min/m²)가 되므로 Fig. 7에서 상급위험 그룹1에 해당됨을 알 수 있다. 동일한 방식으로 노즐선단 압력이 0.66 (MPa)이고 스프링클러 헤드 방수량이 206 (L/min)일 때 살수밀도는 7.6 (L/min/m²)이 된다.

국내 스프링클러 화재안전기준의 헤드 압력제한은 NFPA13의 중급위험2, 상급위험1의 살수밀도 분포를 나타내므로 경급위험에 대응하여 설계된 유량에 비해 과유량이라 할 수 있다. 그래서 비화재보에 따른 헤드 오작동으로 하나의 헤드가 개방될 때 필요이상의 과유량이 발생하지 않도록 중급위험1의 최대살수밀도인 6.1 (L/min/m²) 이상의 유량은 과유량으로 제안하는 바이다. 살수밀도인 6.1 (L/min/m²)을 아파트 헤드기준개수 10개의 작동면적인 270 (m²)으로 곱하여 헤드 하나당 유량을 165 (lpm)으로 계산할 수 있다. 따라서 스프링클러 헤드의 과유량은 165 (L/min)으로 규정하고 이 때 노즐선단의 방수압력은 0.43 (MPa)이 된다.

Table 3. Flow Rate Test of Case1~5 (L/min)

Case1					
Orifice (mm)	Pressure (MPa)				
	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
Empty	80.8	115	147	177	212
11	54.6	77	93	106	129
12	60	85	106	124	150
13	60.4	92	114	136	165
14	62.2	100	122	148	177
15	65.2	102	126	153	184

Case2					
Orifice (mm)	Pressure (MPa)				
	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
Empty	78.8	115	150	176	208
11	45.1	75	92	111	133
12	48	80	102	124	149
13	50.3	89	111	134	160
14	55.9	96	119	144	172
15	58.8	101	126	154	183

Case3					
Orifice (mm)	Pressure (MPa)				
	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
Empty	63	103	129	155	179
11	45.8	71	91	104	124
12	47.6	76	96	114	136
13	50.1	80	101	119	142
14	53	85	105	126	151
15	54.8	87	107	130	156

Case4					
Orifice (mm)	Pressure (MPa)				
	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
Empty	82.7	125	160	198	237
11	46.5	72	93	112	134
12	56.7	87	109	131	157
13	58.6	93	118	141	170
14	63.3	101	127	155	186
15	67.7	107	134	165	198

Case5					
Orifice (mm)	Pressure (MPa)				
	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
Empty	77.2	132	171	204	243
11	52.6	74	97	115	139
12	56	83	107	127	154
13	58	92	119	142	171
14	60.7	103	134	159	191
15	62.4	109	140	167	200

3.4 스프링클러헤드 감압오리피스 선정

Case1~5을 오리피스의 감압 없는 상태에서 압력을 0.1~1 (MPa) 까지 변화하며 유량을 측정하고 그에 대비하여 오리피스를 10~18 (mm)까지 설치하여 각각의 유량을 측정함으로써 비교해 보았다. Table 3은 Case1의 유량시험으로 오리피스 미설치한 경우와 11~15 (mm)까지 감압오리피스를 설치하여 유량을 측정한 값이다. 압력은 P1위치에서의 압력을 기준한 유량 값이며 과유량을 165 (L/min)으로 기준한다면 표에서 보듯이 감압오리피스의 선정은 12 mm 또는 13 mm가 적합할 것이다. P1의 압력을 기준한 이유는 각 층의 우수검지 장치에서 통상 최소압력이 0.4 (MPa) 이상이므로 하나의 헤드가 개방될 경우 최소 헤드가 설치된 가지배관 전에서 0.3 (MPa) 이상의 압력이 생성될 것임을 감안한 것이다. 상기와 같은 방식으로 Table 3 실험데이터를 표로 작성하였다.

상기표에서 Case3을 제외하고 13 (mm)의 감압오리피스 적용이 적합한 것으로 나왔다. Case3의 경우는 신축배관의 길이가 2,050 (mm)로 마찰손실이 커서 오리피스 적합도가 14, 15 (mm)로 나타났다. 이것은 하나의 사실을 시사 하는데 신축배관이 적용된 경우 신축배관의 마찰손실이 클수록 유량이 적게 나온다는 것이다. 본 실험에서 신축배관을 곧게 편 상태에서 직선형 레듀샤를 적용하여 마찰손실이 최소화 된 상태에서 시험이 된 것이다. 따라서 신축배관의 1~4회 굽힘과 엘보형 레듀샤를 사용한다면 유량 값이 변할 것이고 그러면 적용되는 오리피스의 규격도 변한다는 것을 의미한다. 또한 0.1 (MPa)의 압력에서 오리피스 적용시 유량이 80 (L/min) 이하로 범규기준을 못 맞추는걸 알 수 있는데 이는 서론에서 언급한 것과 같이 고층부 존과 저층부 존의 하층부 즉 고층부 19~40층 구간중 하층부인 19~30층 구간에 선 말단 스프링클러헤드에서 0.3 (MPa) 이상의 압력이 생성되므로 각 존의 하층부 구간에 오리피스 적용해야함을 알 수 있다.

4. 결 론

스프링클러 가지배관에 감압오리피스를 적용하여유량감쇠에 관한 시험을 실시하였고 몇 가지의 결론을 도출하였다.

- 1) 신축배관을 적용하지 않은 Case4, 5의 경우 65A교차배관에서 25A가지배관 분기부에 13 (mm)오리피스를 설치하고 교차배관 압력을 0.3~1 (MPa)의 압력을 가하면 80~165 (L/min)의 적정유량을 유지하였다. 참고로 수리계산 프로그램(파이프넷) 이용자는 모듈옵션에서 오리피스 설정을 Heriot-Watt로 설정하고 백판내경은 KS D 3507을 적용하여 C-factor 120을 적용하면 실험치와 유사한 값을 얻을 수 있다. 즉 실물실험을 하지

않고도 유량, 압력, 적정 오리피스 구경을 선정할 수 있다. 그 적정성 여부를 본 논문의 Table 3을 통해 비교해 볼 수 있다.

- 2) 신축배관을 적용한 Case1, 2의 경우 13 (mm) 오리피스가 적정하며 Case3은 14, 15 (mm)가 적정하다. 이는 신축배관에서의 마찰손실이 다르기 때문이다. 본 실험에서 신축배관은 곧게 편상태에서 굽힘없이 직선형 레듀샤를 사용하여 마찰손실이 적어 13 (mm)를 적용하게 되었고 Case3은 신축관의 길이가 2,050 (mm)로 길어서 마찰손실이 컸고 오리피스를 16 (mm)로 적용하여 조금만 감압을 하게 되었다. 따라서 실험체와 동일하게 시공하는 경우는 본 논문의 데이터대로 오리피스를 적용할 수 있지만 신축배관을 1~4회 굽힘과 엘보형 레듀샤를 적용하는 경우는 마찰손실이 달라지므로 해당 데이터를 그대로 적용할 수 없다.

본 실험 논문이 해당분야 소방관계인에게 업무상 조금이나마 도움이 되길 바란다.

References

- Kim, W.C. (2010). *A study on the problems and improvement plan of sprinkler facilities due to corrosion of piping*. Research Information Sharing Service, p. 49.
- Ksb iso 5167-1. (2019). *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full - Part1: General principles*. p. 7.
- National Fire Agency. (2017). *Technical standards for type approval and product inspection of sprinkler head*, p. 5.
- National Fire Agency. (2021a). *Technical standard for performance certification and product inspection of sprinkler expansion pipes*, pp. 5-6.
- National Fire Agency. (2021b). *National Fire Safety Code (NFSC 103) Article 5, No. 9*.
- NFPA 13. (2007). *Standard for the installation of sprinkler systems*. Chapter23 Plans and Calculations, pp. 236-239.

Received	September 6, 2021
Revised	September 8, 2021
Accepted	September 23, 2021