

수리계산 적용을 위한 스프링클러설비의 화재안전기준 개선방안 연구

이근오[†] · 강주형*

서울산업대학교 안전공학과 · *(주)유탄엔지니어링건축사사무소
(2006. 10. 15. 접수 / 2007. 2. 14. 채택)

An Improvement Study on National Fire Safety Code of Sprinkler System for Hydraulic Calculation Application

Keun-Oh Lee[†] · Joo-Hyeong Kang*

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology
*U-TOP Engineering & Construction

(Received October 15, 2006 / Accepted February 14, 2007)

Abstract : There are two kinds of design process for sprinkler system. one is pipe schedule system and the other is hydraulically designed system. We have inefficient results when we design by hydraulically designed system because the design process for sprinkler system is restricted by domestic fire code. Therefore, it is essential to do an introduction of hydraulically designed system which is based on engineering for enhancing reliability and efficiency of sprinkler system. This study presents points at issue by comparing and studying design standards of sprinkler system from Korea, Japan and NFPA, and presents improvement plans of national fire safety code of sprinkler system by processing, comparing and analyzing designs according to piping schedule and hydraulically designed system about domestic objects. Installation standards of sprinkler system have to be applied not by object buildings but by hazard classification. It is hard to design an efficient sprinkler system for fire control when water supply requirement of sprinkler systems allocated according to a size of a building because the same purpose but other buildings may request more water requirement or less. We should sublate the pipe schedule system from national fire safety code and need to introduce the hydraulically designed system. The pipe schedule system presents easy access because it is based on the forecasted engineering calculations but it is applied to only small buildings like NFPA due to its low reliability.

Key Words : sprinkler system, national fire safety code, hydraulic calculation

1. 서 론

스프링클러설비는 자동식 소화설비로 타 소화설비 중 초기소화에 신뢰성이 뛰어나 인명보호 및 재산보호를 위해 건물에 설치하며 이는 화세제어 또는 화재진압의 목적을 가지고 있다. 하지만 이러한 목적 달성을 위해서는 방호구역의 특성에 적합한 스프링클러설치를 설치하여야만 가능하다.

수리계산방식을 적용한 스프링클러설비는 공학적, 경제적인 측면에서 볼 때 우수한 설계방식이며^{1,2)}, 미국의 경우 수리계산방식을 적용한 스프링클러설비는 초기 시설투자비용을 절감시켜 건축주에게 해

택을 준다. 그러나 국내의 경우 스프링클러설비의 화재안전기준에는 수리계산 적용에 관한 일부기준만 법제화되어 있을 뿐 구체적인 기준이 없고 화재안전기준을 만족하는 수리계산방식의 설계를 할 경우 소방펌프의 유량과 양정, 수원 등이 증가하여 오히려 사업주의 경제적 부담을 가중시킨다.

미국방화협회(NFPA)는 많은 경험적인 시행착오를 겪으면서 스프링클러 헤드 및 시스템 방식을 진보시켰으며 수리계산방식이 도입된 후 규약배관방식보다 경제적인 측면에서 비용절감의 효과와 기존 규약배관방식의 시스템에 대해 적정성여부를 판단하게 해주었다.

국내의 스프링클러 설계실정은 화재안전기준을 만족하는 수리계산방식의 설계를 하였을 경우 시설

[†] To whom correspondence should be addressed.
leeko@snut.ac.kr

의 과투자라는 비효율적인 결과가 나오기 때문에 실제 설계적용은 대부분 규약배관방식으로 더 많이 설계되어 지고 있으며 이러한 소방법령의 근본적인 문제점을 인식하고 신뢰성과 시설 투자의 효율성을 높이기 위해서는 공학적인 수리계산방식의 도입이 시급하다.

본 연구는 수리계산방식의 설계적용을 위하여 스프링클러설비 화재안전기준의 근본적인 문제점을 일본, 미국의 기준과 비교·검토하고 소방대상물의 용도별로 실제 설계 한 결과를 바탕으로 문제점을 도출하여 스프링클러설비 화재안전기준의 개선방안을 제시하고자 한다.

2. NFPA 13의 스프링클러설비 기본원칙 및 수리계산 절차³⁾

2.1. 스프링클러설비의 설치원칙

스프링클러설비는 주어진 어떤 시간, 건물 내에서 단일화재가 발생하는 것에 대해 방호하도록 설계되며, 둘 이상의 발화원에 대하여 설계하는 것은 최소의 효과를 제공하는 반면에 스프링클러설비의 비용을 대폭 증가시키는 요인이 된다.

NFPA 13은 스프링클러설비가 건물의 모든 지역에 설치하도록 요구하는데⁴⁾ 스프링클러설비가 화재를 제어하고 진화하는데 성공하는 것은 화재 초기 단계로서 비교적 소규모 화재일 때 우수한 성능을 보여주며 스프링클러헤드가 설치되지 않은 지역에서 화재가 발생할 경우 스프링클러설비가 성공적인 화재 제어를 할 수 있는 가능성이 비교적 낮기 때문이다.

2.2. 화재위험의 결정

화재위험의 존재에 대한 적절한 판단은 스프링클러설비의 전반적인 성능에 있어 매우 중요한 요소이며 해당용도 위험은 가연물 하중과 화재 심도를 특정건물의 운영과 관련하여 분류하는데 제공되며 이러한 가연물의 연소 특성 및 관련된 화재를 제어하는 스프링클러설비의 능력과의 관계를 나타낸다.

위험용도의 구분은 스프링클러헤드의 살수 기준, 이격거리, 급수설비 요구사항 등 모든 스프링클러설비의 설계와 설치 요소에 영향을 미치며 근본적으로 화재 위험이 낮으면 스프링클러설비에 대한 소요수량도 낮아진다. 또한, 각 스프링클러헤드는 넓은 바닥면적을 포용할 수 있으므로 건물 전체에 적은 수의 스프링클러헤드를 설치할 수 있게 된다.

스프링클러 설치 시 건물 전체가 반드시 단일용도 위험분류로 통일되어야 하는 것은 아니며 용도의 위험을 결정할 때에는 각 공간을 개별적으로 고려할 필요가 있다. 용도 분류는 건물의 수용품과 그 건물의 운영에 따라 건물 점유자에 미치는 상대적 화재 위험이고 그것을 제어할 수 있는 스프링클러설비의 능력기준을 판별하게 한다.

2.3. 수리계산 절차^{5,6)}

컴퓨터 수리계산용 프로그램으로 수리계산을 할 경우 사용에 편리할 수는 있어도 엔지니어는 수리학의 근본적인 원리를 이해할 수 없어 수리계산 된 결과를 해석할 수 없게 된다. 따라서 수리계산의 근본 원리를 이해하기 위해서는 Fig. 1과 같이 NFPA 13의 수리계산 수계산(手計算)과정으로 스프링클러설계를 할 수 있어야 한다.

3. 설계기준 및 방식의 비교

3.1. 스프링클러 설계기준 비교

3.1.1. 스프링클러 설치대상

국내와 일본의 경우는 서로 유사한 기준이 많으며 건물용도, 층수, 면적 등을 고려하여 결정하지만 NFPA 13의 경우는 대부분 건물전체에 스프링클러설비의 설치를 권장한다. 또한 일본과 NFPA 13의

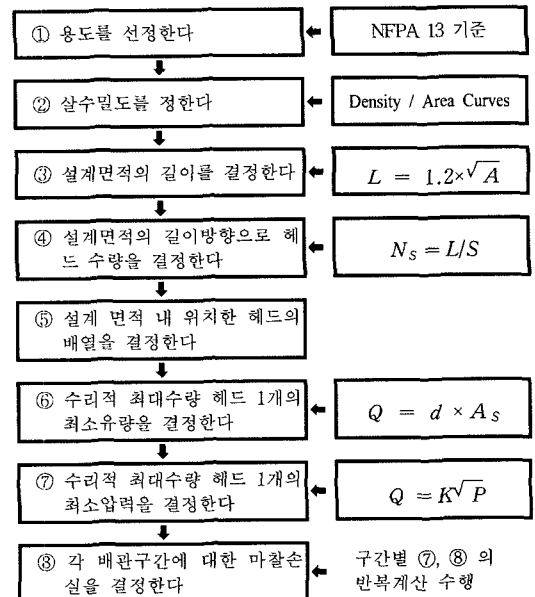


Fig. 1. A Flow Chart of Hydraulic Calculation Method.

Table 1. Hazard Classifications Comparison

국내		일본		NFPA 13
30	특수가연물을 저장·취급하는 공장 또는 창고 (랙창고 포함)	30	랙창고 (등급II,III)	- 상급 1 - 상급 2
20	상기 이외의 공장 또는 창고(10층 이하)	20	랙창고 (등급IV)	- 중급 2
30	슈퍼마켓, 도매시장, 백화점, 소매시장 또는 복합건축물 (10층 이하)	15	백화점, 복합건축물 (10층 이하)	- 경급 - 중급 1
20	근린생활시설, 판매시설 또는 복합건축물 (10층 이하)	10	상기 이외의 것 (10층 이하)	
10	10층 이하, 헤드부착 8m 이상			
10	10층 이하, 헤드부착 8m 미만 아파트			
30	11층 이상(아파트제외), 지하가 또는 지하역사	15	11층 이상, 지하가	

규정에서는 건축물 자체의 구조가 내화구조, 방화구획 등 실별로 구획된 경우는 스프링클러설비를 제외할 수 있는 규정도 있다.

3.1.2. 화재위험용도 구분

국내 및 일본과 NFPA 13의 위험용도 구분의 큰 차이점은 국내 및 일본의 경우는 건물의 특성과 업종에 따라 헤드 기준수량으로 분류되며 각 구역별 가연물의 하중과는 관련이 없다. NFPA 13은 업종 또는 해당되는 부분의 위험용도 등급에 따라 부분별로 적용할 수 있고 경급, 중급, 상급 이외에 물품 적재에 따라 분류된다.

3.1.3. 스프링클러 살수밀도

국내와 일본의 경우 살수밀도의 기준은 없으나 헤드 1개당 방수량 80L/min을 기준으로 헤드 수평거

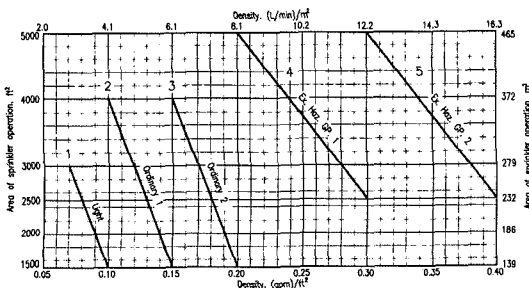


그림 2. Density/Area Curves.

Table 2. Design Density for each Occupancy

위험용도		헤드간격	방호면적 (m²)	살수밀도 (Lpm/m²)
국내 소방방법	무대부·특수가연물	2.4m 이하	5.76	13.89
	일반구조 건축물	2.9m 이하	8.41	9.51
	내화구조 건축물	3.2m 이하	10.24	7.58
	랙크식 창고	3.5m 이하	12.25	6.53
	아파트	4.5m 이하	20.25	3.95
일본 소방방법	무대부, 지하가주방	2.4m 이하	5.76	13.89
	일반구조 건축물	2.9m 이하	8.41	9.51
	내화구조 건축물	3.2m 이하	10.24	7.58
	랙크식 창고	3.5m 이하	12.25	6.53
NFPA 13	경급	4.6m	12.1~20.9	2.9~4.1
	중급 1	4.6m	12.1	4.1~6.1
	중급 2			6.1~8.1
	상급 1	3.7~4.6m	8.4~12.1	8.1~12.2
	상급 2			12.2~16.3

리를 고려한 방호면적을 구한 후 살수밀도를 구할 수 있으며 NFPA 13에서는 위험용도별 살수밀도/방호면적 곡선(그림 2)을 이용하여 살수밀도를 결정한다.

3.1.4. 스프링클러설비의 방수량 및 지속시간

국내, 일본의 스프링클러 방수기준은 스프링클러 헤드 기준개수에 헤드 1개당 유량인 80L/min을 곱한 수에 20분을 곱해 나온 수가 필요한 수원량이 된다. 하지만 NFPA 13의 기준은 위험용도별, 규약배관 및 수리계산방식의 적용에 따라 달라지고 최소한의 요구수량이므로 실제 수리계산 결과에 따라 수원량이 결정되며 소화수 공급시간은 30분~120분이다.

Table 3. General Condition of Fire Fighting Property

구분	Case "1"	Case "2"	Case "3"
건물용도	주차용 건축물	기계공장	일반 업무시설
층수	지하 1층 / 4층	지하 1층 / 3층	지하 1층 / 11층
NFPA 13의 용도분류	중급위험 1	중급위험 2	경급위험
소방법상 기준개수	10개	20개	30개
구조	내화구조	내화구조	내화구조
층별 바닥면적	500m²	1,000m²	600m²
층별 높이	3.5m	5m	3m
펌프위치	지하 1층	지하 1층	지하 1층

3.2. 스프링클러 설계방식의 비교

3.2.1. 일반조건

위험용도구분은 국내 소방법과 NFPA 기준으로 구분하여 적용을 했으며 스프링클러설비의 헤드 기준개수에 따라 국내의 규약배관방식, NFPA 13의 규약배관방식 및 수리계산방식으로 구분하여 직접 설계한 후 결과를 비교하였다. 건물 전체에 스프링클러설비가 설치되는 것으로 가정하고 소화펌프 선정은 하지 않았다.

3.2.2. 국내 규약배관방식의 설계

국내 소방법상 배관 마찰손실수두 및 부속류 등 가배관길이의 데이터 기준이 없으므로 일본 소방청에서 고시한 기준을 적용하여 계산하며 헤드의 수평거리는 건축물이 내화구조이므로 2.3m 이하로 적용한다.

헤드간의 배치는 정방형 배치 기준으로 설치하며 헤드간의 간격은 $S = 2R \cos 45^\circ$ 로 (R (헤드의 수평거리) = 2.3m 이므로 $S = 3.25m$ 이하, 헤드 말단의 최소 방사량은 80Lpm, 최소 방사압은 $1kg/cm^2$ 이상으로 한다(표준형헤드 $K = 80$).

3.2.3. NFPA 13 규약배관방식의 설계

NFPA 13의 규정은 전 층에 스프링클러설비를 설치할 것을 권장하며 규약배관 방식은 경급, 중급용도에만 적용하고 수계산은 하지 않는다.

중급용도의 경우 바닥면적 $465m^2$ 초과 시 잔류압력은 $3.5kg/cm^2$ 이상을 요구하며, 고도를 고려하여 급수설비의 높이를 초과하는 높이 당 $0.1kg/cm^2$ 를 추가하며 중급용도로서 최소 유량은 화재위험용도를 판단하여 3,217~5,678L/min의 범위내에서 결정하며 헤드는 표준형헤드($K = 80$)로 적용하고 공급수원 지속시간은 60~90분이다.

3.2.4. NFPA 13 수리계산방식의 설계

NFPA 13의 수리계산방식은 살수밀도/방호면적 방식으로 적용하여 소요수량을 결정하며 부속류 등가배관길이, 배관 마찰손실수두는 NFPA 13의 기준 및 하젠 윌리엄식을 이용하여 계산한다.

스프링클러설비는 전 층에 설치하며 헤드는 표준형헤드($K = 80$)로 적용하고 공급수원 지속시간은 60~90분이다.

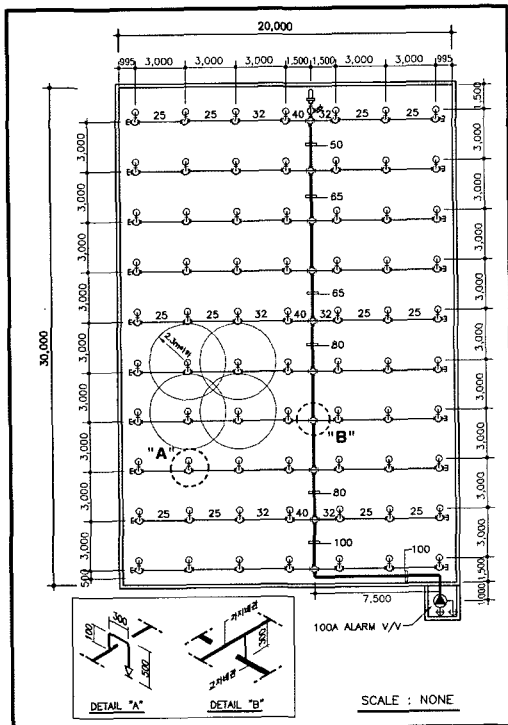


Fig. 3. Plan View of Pipe Schedule Sprinkler System(Case "3", Korea).

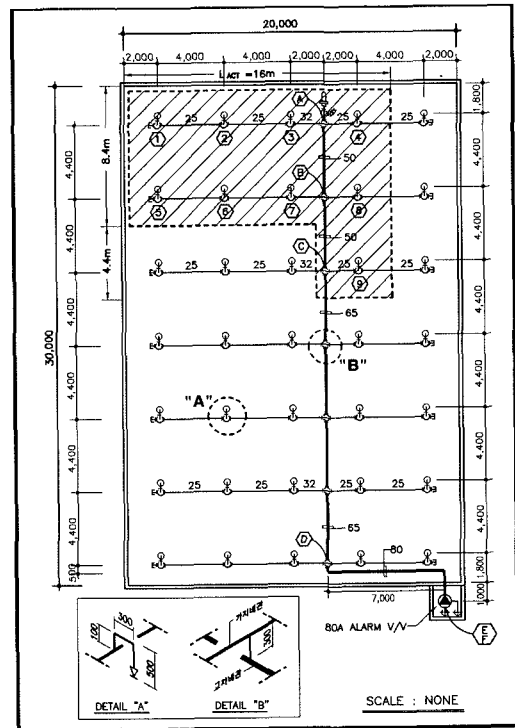


Fig. 4. Plan View of Pipe Schedule Sprinkler System(Case "3", NFPA 13).

3.2.5. 설계결과 비교 분석

1) 화재위험용도 구분과 헤드 기준개수의 분류로 건축물을 설계할 경우 주차용 건물은 헤드기준개수가 국내법상 10개이지만 NFPA 13의 규정은 중급위험 1에 해당되며 이와 같은 용도구분의 모순 때문에 상이한 결과가 나올 수밖에 없다.

2) 건축물의 높이에 따라 위험용도구분을 하는 국내의 기준으로 11층 이상의 사무실은 NFPA 13의 기준에서는 경급이므로 수리계산방식으로 설계할 경우 헤드 수량, 배관구경, 수원 용량 등이 낮게 나와 경제적인 절감의 효과를 얻을 수 있다.

3) 국내의 기준은 살수밀도와 방호면적 기준이 없으나 헤드 수평거리 2.3m 이하 기준으로 헤드를 배치한 후 기준개수 10개, 20개, 30개의 경우에 따라 헤드 1개당 방호면적을 구하면 9.6m², 9.77m², 9m²로 위험용도에 따라 헤드 1개당 방호면적은 거의 비슷하게 나타나며 살수밀도의 경우도 각 기준개수별로 유사한 살수밀도 값이 나온다.

4) 스프링클러 헤드 설치수량은 국내기준보다 NFPA 13의 기준으로 설계한 경우가 더 적게 설치되는데 이는 수평거리 개념이 아닌 헤드간의 간격으로 설치하기 때문이며 위험용도별로 주어진 기준을 만족할 경우에는 탄력적으로 헤드 배치를 할 수 있다.

5) 필요한 수원량은 국내기준보다 NFPA 13의 기준에서 더 많은 수원량을 요구하는데 이는 국내의 수원 지속시간인 20분 기준은 화세를 진압하기에는 부족하다는 결론이 나오며 NFPA 13의 긴 수원 지속시간은 다양한 급수원의 사용으로 공사비용을 절감시킬 수 있다.

6) 스프링클러 헤드수별 배관 구경선정방법에서 국내 규약배관방식으로 설계할 경우 일괄적으로 헤드수별 관경이 정해지나 NFPA 13의 기준에서 관경선정방법은 경급과 중급위험용도가 별도로 구분되며 수리계산방식의 관경결정은 과도한 마찰손실이 생기지 않는 범위 내에서 관경을 결정할 수 있으며 국내의 스프링클러 헤드수별 관경은 NFPA 13의 경급기준과 유사하다.

4. 결론

같은 용도의 건축물을 규약배관방식 및 수리계산방식으로 설계한 결과 국내의 규약배관방식은 많은 요구수량이 필요하지만 수리계산방식은 적은 요구수량의 결과가 나타났으며 그 반대의 결과도 나타났다. 이는 소방법령의 화재위험용도 구분이 NFPA 13의 경우와 상이하기 때문에 나타나는 결과로 화재안전기준의 근본적인 변경이 필요하며 공학적 근거에 의해 효율적인 스프링클러설계를 하기위해서 화재안전기준은 다음과 같은 개선이 필요하다.

1) 스프링클러 설치기준은 건물별 대상기준에서 화재구역별 위험용도 구분으로 적용되어야 한다. 건물규모에 따라 스프링클러의 요구수량을 결정하는 것은 같은 용도의 다른 건물에서는 더 많은 수원량을 요구하거나 아니면 더 적은 경우가 발생하게 되며 화재진압을 위한 적절한 스프링클러 설계를 할 수 없게 된다.

2) 밸브 및 부속품의 등가배관길이에 대한 데이터의 확보가 필요하다. 국내 실정에 맞는 데이터가 없기 때문에 일본과 미국의 기준을 사용할 수밖에 없으며 국내에서 생산되는 부속과 배관의 규격이 상이하여 소방 설계업체별로 스프링클러 계산 시 다른 결과가 나와 설비의 신뢰도를 떨어뜨리게 된다.

3) 스프링클러헤드의 기준개수는 작동면적 개념으로 변경되어야 한다. 10개, 20개, 30개의 헤드 기준개수는 화재 발생 시 화세제어가 가능한 범위를 나타내며, 같은 용도의 화재대상구역이지만 건물의 규

Table 4. Design Method Comparison of Sprinkler System

구분	Case "1" (주차용 건축물)			Case "2" (기계공장)			Case "3" (일반 업무시설)		
	국내 규약 배관 방식	NFPA 13 규약 배관 방식	수리 계산 방식	국내 규약 배관 방식	NFPA 13 규약 배관 방식	수리 계산 방식	국내 규약 배관 방식	NFPA 13 규약 배관 방식	수리 계산 방식
	용도구분	10개	중급위험 1	20개	중급위험 2	30개	경급위험		
헤드 1개당 방호면적 (m ²)	9.6	10.88	10.88	9.77	11.84	11.84	9	17.6	17.6
작동 면적 (m ²)	96	-	139	195.4	-	139	270	-	139
살수 밀도 (Lpm/m ²)	8.34	7.35	6.1	8.19	6.76	8.1	8.89	4.54	4.1
설치헤드 수량(개)	56	48	48	104	88	88	70	35	35
주배관 구경 (mm)	80	100	80	125	100	100	100	80	80
필요 유량 (Lpm)	800	3,217	984.88	1,600	3,217	1,409.61	2,400	1,893	766.99
필요 수원량 (m ³)	16	193.02	59.09	32	193.02	84.58	48	56.79	23
전양정 (m)	43.03	52.5	48.5	54.71	55	63.42	97.65	71	64.42

모에 따라 기준개수가 다르게 적용되며 이때 동일한 위험용도일지라도 방호하는 면적이 틀려져 화재제어 부분을 정확히 판단하기가 어렵다.

4) 스프링클러헤드의 수평거리는 살수밀도의 기준으로 변경되어야 한다. 국내 기준의 헤드 방사량은 80Lpm으로 정해져 있어 헤드 수평거리에 따른 살수밀도로 나타낼 수 있지만 NFPA 13에서는 헤드배치 간격의 변동 없이 방사압력을 조정하여 살수밀도를 다양하게 적용할 수 있기 때문이다.

5) 화재안전기준의 규약배관 설계방식을 지양(止揚)하고 수리계산방식의 설계도입이 필요하다. 규약 배관방식은 이미 예측된 공학적 계산결과를 근거로 하기 때문에 보수적 설계로 사용상에 편리함을 주지만 예측결과에 대한 신뢰도가 낮아 NFPA의 경우도 낮은 용도의 소규모 건물에만 적용을 하며 수리계산방식은 설비의 신뢰도를 증가시키고 투자비용은 절감할 수 있는 공학적 설계방법이기 때문이다.

참고문헌

- 1) 정기신, “스프링클러시스템의 가지방식과 격자 방식에 관한 비교연구”, 서울산업대 산업대학원 석사학위논문, 1999.
- 2) 송철강, “배관망 해석방법을 이용한 스프링클러 시스템의 수리계산 프로그램개발”, 서울산업대 산업대학원 석사학위논문, 2001.
- 3) Milosh Puchovsky, “A brief Introduction to Sprinkler Systems for Life Safety Code Users”, Life Safety Code Handbook, Eighth Edition, NFPA, pp. 967 ~ 980, 2000.
- 4) NFPA 13, “Standard for the Installation of Sprinkler Systems”, National Fire Protection Association, 2002.
- 5) Robert M. Gagnon, “Design of Water-Based Fire Protection systems”, Delmar Publishers, Albany, NY, pp. 70 ~ 162, 1997.
- 6) 남상욱, “소방시설의 설계 및 시공”, 성안당, pp. 148 ~ 273, 2004.