

공간용도별 위험등급기반의 스프링클러헤드 성능 설계기법의 국내적용 연구

A Study on Introduction to Performance based Design of Sprinkler Installation on Risk Level for Individual Occupancy in Korea

이영재 · 박형주*†

Young-Jae Lee · Hyung-Joo Park*†

한밭대학교, *가천대학교

(2012. 11. 16. 접수/2012. 2. 6. 수정/2012. 4. 13. 채택)

요 약

선진국에서는 다양한 건축용도의 위험등급을 분류하여 해당 위험등급의 수준에 적합한 방수패턴을 가진 스프링클러의 방수규격을 기준으로 용도별 위험등급 기반의 성능설계를 실시하고 있는 반면에, 국내에서는 건축공간용도의 거주밀도나 화재하중밀도가 표준화하고 있지 않아 위험등급조차 설정하지 않은 채 동일한 방수패턴을 가진 표준형 스프링클러 헤드를 일률적으로 적용하고 있는 실정이다. 이런 실정으로 인해 국내에서는 스프링클러의 방수패턴에 대한 요구사항이 다양하게 필요하지 않아 선진국과 같이 다양한 방수상수를 가지면서 방호면적을 달리하는 다양한 종류의 헤드 개발이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그러므로 국내의 주요 건축공간용도에 대한 화재하중밀도를 조사하여 표준 값을 제시하고 영국 LPC나 미국 NFPA에서 정하고 있는 위험등급별로 분류한 결과 크게 다르지 않음을 발견하였다. 따라서 공간용도별 위험등급 기반의 성능 설계를 우리나라에서 적용하기 위한 기초적인 토대를 마련하고 국내 스프링클러 헤드 개발환경을 개선하기 위한 오리피스와 방수상수를 다양화함으로써 특수한 고위험공간용도에서 효과적으로 적용 가능한 라지 드롭형, ELO형, 또는 ESRF형 등의 스프링클러 헤드 개발을 촉진하도록 유도하였다. 결론적으로 위험등급별로 다양하게 적용되는 스프링클러 헤드를 체계적으로 분류하여 국내 건축용도에 적용 가능한 최적의 방수패턴에 대한 기본사항을 정립하여 제시하였다.

ABSTRACT

While a performance based sprinkler design method has been widely used in UK and USA according to fire hazards of occupancies, Korean fire safety industry could not yet accept it due to non-standardization on risk level of various occupancy. Even only two or three spray pattern sprinkler was produced in Korea fire safety industry, therefore, various spray pattern sprinklers have not yet introduced to major occupancies. Spray pattern sprinklers with one of two K value have been used in all occupancies in Korea Market. UK and USA's Fire industry should produced the spray sprinklers with various K-factors and protection area due to performance based sprinkler design requirement. Therefore the fire load density for main occupancies has been investigated in order to compare with installation standard in advanced countries. Eventually a lot of variations in orifice and K factors of standard heads were set up including special heads needed for high hazard areas such as large drop type, enlarged orifice type and early suppression fast response.

Key words : Fire hazards based sprinkler installation design, Minimum water density, Expected operation area of simultaneous discharge, K-factor

† E-mail: firepark@kyungwon.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구배경

스프링클러는 고체 가연물의 화재를 소화하는데 효과가 큰 소화설비로서 휘발성이 큰 액체 가연물인 경우에는 소화를 하기보다는 화세를 억제하는데 어느 정도 효과를 가지고 있는 소화설비로, 노즐과 같은 분사 장치에서 분무(spray)의 형태로 물을 방출하여 소화하는 설비이다. 미국 방화협회(National Fire Protection Association, NFPA)의 기준에서 정의하고 있는 “분무의 형태로 물”이란 미리 정해진 모양, 입자크기, 속도 등을 가진 액적(droplet)을 특수 설계된 노즐이나 장치로부터 방출되는 형태의 물을 의미한다. 이러한 분무형태의 스프링클러는 노즐 헤드의 종류별로 분무특성이 상이하기 때문에 방호할 수 있는 화재의 위험등급이나 조건이 액적의 특성에 따라 달라지는 것으로 명기하고 있다.

1.2 스프링클러 헤드의 개발 및 국내 도입역사

스프링클러는 1864년 영국의 기술자 스투어트 해리슨이 최초로 개발하여 1874년 미국의 헨리 파멜리가 열감지장치를 노즐의 끝단부에 부착하여 현대의 스프링클러 모형과 동일한 제품을 생산함으로써 널리 사용하게 된 소화 장치이다.

스프링클러는 영국과 미국에서 빠르게 발전하였으며 최근에는 독일이나 일본에서도 크게 발전하여 기술기준의 국제화에 크게 기여를 하고 있다. 특히 국제적으로는 영국 손해예방위원회(Loss Prevention Council)의 LPC 규정과 미국방화협회의 NFC 규정 또는 미국 상호보험협회(Factory Mutual)의 FM 기준이 동일하거나 거의 유사한 형태이므로 글로벌 표준기준으로 적용되고 있는 실정이다.

우리나라에서는 대연각 호텔 화재사고 이후 초기 스프링클러의 설계기법이 정립되어 스프링클러가 널리 사용되어 왔으나 국내 생산이 본격적으로 이루어진 시기는 90년대 이후이다. 특히 자동식 스프링클러의 설치를 위해 선진국에서는 무려 125년간 많은 규정과 기준을 개정하여 건축물의 공간용도의 위험도 기반으로 스프링클러를 설계 및 적용하도록 정립하였으나 국내의 경우 아직 적용하지 못하고 있는 실정이다.

1.3 설계기준 개정을 통한 공간용도별 맞춤형 헤드 성능기준의 정립 필요성

글로벌 표준으로 널리 사용되고 있는 위험등급 기반의 스프링클러 설계 기준(occupancy risk based sprinkler

installation)이란 일종의 성능기반의 화재안전 설계기법(performance based fire safety design)이다. 즉 공간용도의 화재위험조건을 분석하여 화재위험등급을 정한 후 등급별로 대응 가능한 성능을 보유한 스프링클러 헤드를 설치하는 설계기법으로 유럽이나 북미 심지어는 아시아 국가인 홍콩에서도 적용하고 있다.

우리나라는 국가화재안전기준(NFSC)의 스프링클러 설비의 화재안전기준 제10조 ③에서 스프링클러헤드의 설치반경을 설정하고 있는데, 간략히 설명하면 공동주택용도를 제외한 모든 내화구조 시설에 설치되는 표준형 스프링클러(방수상수인 K값 80)의 설치반경을 최대 2.3m로 규정하고 있으며, 비내화구조인 용도에는 최대 2.1m로 설치하여 방수밀도를 증가하도록 규정하고 있다.

반면에 비교적 화재하중이 큰 문화집회시설의 무대 부나 특수가연물을 보관하는 창고용도의 경우에는 설치반경을 1.7m로 강화시켜 방수밀도를 증가하도록 유도하고 있다. 즉, 거의 모든 용도의 시설에 방수상수(K) 값이 80인 표준형 스프링클러 헤드의 최대설치반경을 일률적으로 규정하여 적용하고 있는 실정이다. 이로 인해 다양한 방수상수를 가진 표준형 스프링클러 헤드가 개발되지 못할 뿐 아니라, 방수량을 획기적으로 늘린 헤드나 방수반경이 큰 스프링클러 헤드가 개발되어 사용되지 못하고 있는 것이 사실이다.

1.4 다양한 방수밀도와 방수상수를 가진 스프링클러 헤드의 개발 프로세스

위험등급 기반의 스프링클러 설계기법을 국내에 도입하기 위해서는 우선 스프링클러에 대한 다양화가 요구된다. 다시 말하면 분무 형태의 물이 갖는 방수밀도, 방수범위, 액적의 크기, 액적의 속도 등이 다양한 스프

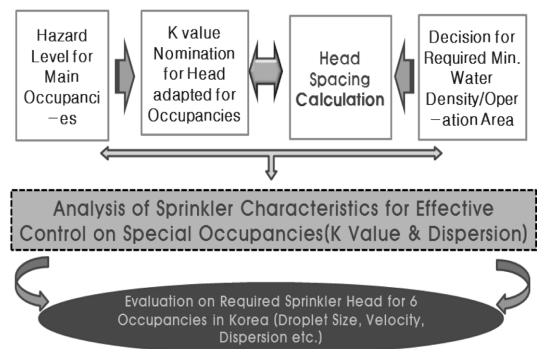


Figure 1. Development procedure for sprinkler industries introduced to occupancy risk based sprinkler installation design.

링클러의 헤드 개발이 선행되어야 한다. 이를 효과적으로 달성하기 위해서는 다음과 같은 절차를 수립하여 연구할 필요가 있다.

2. 위험등급기반 스프링클러 설계기준 연구

위험등급 기반의 스프링클러 설계기법은 인명피난안전 시스템의 일환으로 개발된 기술로 시스템의 신뢰성과 가용성 향상과 함께 최소비용으로 최대의 효과를 발휘하도록 개발된 설계기법이다. 즉 이런 스프링클러 설계목표를 달성하기 위해서는 건축물의 공간용도를 위험등급으로 분류하고, 분류된 용도에서 예상되는 표준화재규모에 대응 가능한 최소방수밀도를 정한다. 또한 해당 위험등급별로 화원의 세기로 인해 동시에 작동되는 표준형 스프링클러 헤드의 적정개수를 조사하여 화재확산을 방지하기위해 지속되어야 하는 방수 요구 시간동안의 방수 량을 확보하도록 표준형 스프링클러의 헤드 간 설치간격을 설정하는 기법으로 이를 만족하는 다양한 최적방수상수를 가진 헤드를 설치하도록 유도하는 설계기법이다.

2.1 공간용도별 위험등급의 국제 표준 분류기준

현재 미국이나 영국은 건축공간의 사용용도별 위험 수준을 크게 3개의 등급으로 분류하고 있다. 위험등급 기반의 설계기법을 적용하는 국가의 공간용도별 위험 등급의 분류기준은 공간 내 위험환경조건을 지배하는 요소, 즉 화재하중밀도(fire energy density), 가연물의 열방출속도 등의 화재실험(fire tests)결과 및 기존의 검증된 스프링클러 효과(historical effects) 등을 종합적으로 설정하여 다음과 같이 분류하고 있다.

2.1.1 저위험 등급(light hazard)

극히 적은 가연물과 내용물이 상존하는 공간으로 비산업 및 비상업시설이 속하며 공간크기가 작은 용도가 대부분으로 화재하중밀도는 400 MJ/m² 이하를 가진 공간을 말한다.

2.1.2 중위험 등급(ordinary hazard)

중위험등급을 가진 시설은 가연물이 비교적 많이 존재하는 상업, 산업시설로서 주로 가연물의 취급 또는 가공, 저장하는 공간이 속하며 착화시 초기 단계에서 집약적으로 연소하는 불로 발전하지 않도록 조치가 요구되는 시설이다. 이런 공간의 화재하중밀도는 400 MJ/m²에서 800 MJ/m²를 가지며 사용용도범위를 4개 그룹으로 세분한다.

2.1.3 고위험 등급(high hazard)

고위험등급은 화재하중밀도가 800 MJ/m² 이상인 상업 또는 산업시설을 말하며, 다음의 2개의 그룹으로 세분된다.

- 가공처리 위험도: 가공 또는 처리되는 물건의 확산속도가 빠르고 집약적인 화염으로 발전할 용도임
- 고집적 창고 위험도: 보통 위험등급시설의 스프링클러에 의해 방호가 불가능한 물건이 집적되어 보관되는 창고임

이런 위험등급별로 해당되는 미국과 영국의 공간용도를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Occupancy Risk Level According to the Category of Hazard

Hazard Level		Type of Occupancy
Light Hazard (LH)		<ul style="list-style-type: none"> • rooms not more than 126 m² in area (mainly residential) • hospitals, hotels • museums • libraries • sanatoriums • offices
Ordinary Hazard (OH)	OH1	<ul style="list-style-type: none"> • restaurants, cafes • non-combustible products
	OH2	<ul style="list-style-type: none"> • retail shops • tobacco factory potteries
	OH3	<ul style="list-style-type: none"> • manufacturing processes of a greater hazard than OH2, but still not especially hazardous, e.g air craft boot and shoes & capet, clothing, corn and provender, paper goods, plastics(but not foamed), warehouses
	OH3 Sp.	<ul style="list-style-type: none"> • cotton mills, distilleries, match factories
High Hazard (HH)	HH-Process Type	<ul style="list-style-type: none"> • aircraft hangars • firework manufactures, manufactures of foamed plastics, manufactures of foamed rubber goods, paint and varnish
	HH-High Piled	<ul style="list-style-type: none"> • bulk, pallets, racking storage (h. exceeding 4 m) • various combustible goods stored (heights exceeding 3 m), cork, chipboard, alcohols and lacquer in cans, non foamed plastics, foamed plastics and foamed rubber products (heights exceeding 2.1 m), foamed plastics

2.2 최소방수밀도 및 적정동기작동면적의 설정

공간용도의 위험 등급이 설정되면 최소방수밀도와 적정동기작동면적을 결정하는 것은 많은 화재실험에 의해 결정되는데, 여기서 최소방수밀도는 단위시간(분) 당 방수되는 두께단위(mm/분)로 측정되는 방수량을 말한다. 이 값은 의미는 해당 위험등급에 상존하는 가연물의 화염특성에 대응하여 소화할 수 있는 최소 방수량을 방수두께로 표시하는 최소지표이다, 따라서 최소방수밀도 값은 위험등급별로 상이하게 설정하고 있다. 즉 저위험 등급을 가진 공간용도는 최소 2.25 mm/min, 중위험 등급을 가진 공간용도에는 최소 5 mm/min, 고위험 등급을 가진 공간용도에는 최소 7.5 mm/min에서 최소 30 mm/min까지 유지하여야만 효과적으로 화재의 제어가 가능한 것으로 조사되었다. 이것은 영국이나 미국에서는 많은 화재실험을 통하여 설정한 지표로서 주로 화염의 열방출속도를 제어하기 위해 적절하게 대응할 수 있는 최소한의 방수두께로서 설계방수밀도(design water density)의 값으로 사용된다.

또한 최소동기작동면적(minimum area of operation)이란 일정한 위험등급을 가진 공간 내에서 확산 가능한 최대화원면적에 대하여 스프링클러 헤드가 동시에 작동하여 최대 방수 가능한 면적을 말한다. 이 값은 공간구획 내에서 플래시오버가 발생하기 이전의 최대 화원면적으로 인해 작동하는 면적으로 선진국에서 실시한 많은 실험에 의해 입증된 값을 말한다. 따라서 필요방수면적으로 최대화원의 화세를 제어하기위해 필요하여 추정되는 최대동기방호면적(assumed maximum area of operation)으로 표시가능하다. 다시 말하면 하나의 화염에 의해 동시에 작동되어야 하는 스프링클러의

헤드 조합이 갖는 전체방호면적으로 동시에 작동되어야 하는 스프링클러 헤드가 방수되어 살포되는 면적을 합한 값을 말한다.

영국 LPC와 미국 NFC에서 설정하고 있는 동기방수면적과 방수량에 관한 기준을 정리하여 보면 Table 2 와 같이 정리할 수 있다.

2.3 위험등급별 표준형 헤드의 최대방호면적 및 최대 설치간격 연구

앞에서 설명한 최소방수밀도와 추정최대동기작동면적에 대한 위험등급별 요구기준이 설정되면 다음 단계는 설정된 기준을 만족할 수 있는 최적의 스프링클러 헤드를 선정하여 적절한 간격으로 배치하여야 최소의 비용으로 최대 효과가 달성가능하다. 일반적으로 오랫동안 사용되어 성능이 입증된 표준형 스프링클러 헤드를 기준으로 유효방수가 가능한 최대방호면적을 조사하여 설정한다. 영국 LPC 및 미국 NFC 기준에서는 표준형 스프링클러 헤드의 최대방호면적을 인접된 4개의 헤드를 잇는 사각형의 내부 면적을 기준으로 하는데 저위험 공간에서는 21 m², 중위험 공간은 12 m², 고위험 공간은 9 m²로 설정한다. 또한, 헤드에서 분무되는 분무 수의 유효방수거리를 고려하여 허용되는 설치간격을 저위험 공간에서는 4.6 m, 중위험 공간은 4.0 m, 고위험 공간은 3.7 m로 설정하여 설계하는 것이 일반적이다.

최종적으로 표준형 스프링클러의 최소동기작동개수

Table 2. Min. Density and Min. Operation Area of Water Discharge According to the Category of Hazard

Hazard Level	Design Water Density (mm/min)	*Min. Area (m ²)	Water Quantity/Minute (l)
Light Hazard (LH)	2.25(LPC) 2.7(NFC)	84	270 l
Ordinary Hazard (OH)	5.0	OH1	72
		OH2	144
		OH3	216
		OH3 Special	360
High Hazard (HH)	7.5~17.5 20.0~30.0	260~260 300~375	2300~4850 6400~9650

Table 3. Min. Water Discharge Area of a Standard Sprinkler Head and Installation Distance According to the Category of Hazard

Hazard Level	Max. Coverage Area	Stadard Space (m)	Remarks
Light Hazard (LH)	Max 21 m ²	Line S.(a) Cross S(b) 4.6	<p>Line S.(a) Cross S(b) (a)</p> <p>(b)</p> <p>■ : Head □ : 4 protection area ○ : Coverage of 1 head</p>
Ordinary	Max 12 m ²	OH1	
		OH2	
		OH3 Special	
High Hazard (HH)	Max 9 m ² (Rack 7.5 m ²)	Line S.(a) Cross S(b) 3.7	

를 위험등급별로 산정할 수 있는데, 예상동기작동면적을 표준형 스프링클러가 가지는 최대방호면적으로 나누어 산정가능하다. 그러므로 스프링클러 헤드의 최대방호면적을 증가할 경우 최소동기 작동개수를 줄일 수 있다는 결론에 도달 할 수 있다. 따라서 이런 규정을 국내에 적용하기 위해서는 다양한 종류의 스프링클러헤드가 개발되어야 하는 전제조건이 따른다. 스프링클러 기술이 발달된 미국과 유럽에서는 일찍부터 다양한 스프링클러가 개발되어 왔기 때문에 위험등급 기반의 스프링클러 설계가 발전되어 온 것이 사실이다.

영국 LPC 기준에서 정한 표준형 스프링클러 헤드의 위험등급별 최대방호면적 및 설치간격을 정리하면 다음 Table 3와 같다.

Table 3에서 언급한 헤드최대간격은 스프링클러 설치 시의 스프링클러헤드간의 간격으로서 최소설계방수밀도(mm/min)를 확보할 수 있는 방수상수를 가진 표준형 헤드를 선택한 후, 헤드 한 개당 갖는 최대방수범위를 고려하여 설치간격을 제한하는 기준이다. 즉 위험등급별로 설정된 최소동기작동면적을 동기작동헤드수로 나눈 값이 4개의 인접헤드조합으로 가능한 내접

방호면적인데 이 값을 유지하면서 설치 가능한 헤드간간격을 말한다.

표준형 스프링클러 헤드의 위험등급별로 오리피스와 방수상수를 다르게 하여 4개의 인접헤드조합으로 가능한 내접방호면적 및 헤드간 최대설치간격 기준을 헤드 오리피스와 연계하여 정리하면 Table 4와 같이 정리할 수 있다.

Table 4를 요약하여 설명하면 위험등급별로 요구되는 방수밀도를 맞추기 위해서는 대구경의 오리피스를 가지도록 하여 위험 등급이 높을수록 방수상수가 높은 헤드를 사용하여야 하고, 또한 4개의 인접헤드조합으로 가능한 내접방호면적을 등급별로 한정하여 헤드간 설치간격을 줄여 설계하는 기법을 적용하고 있다.

2.4 최소방수밀도 및 적정동기작동면적의 설정

앞에서 언급한 최소방수밀도에 최소동기작동면적을 곱하면 화원의 규모에 대응가능한 단위시간당 요구되는 스프링클러의 필요방수유량을 구할 수 있다. 여기서 공간구획내의 화재하중의 크기를 고려하여 방수시간을 결정하는데 영국의 LPC 기준에서는 최소방수시간을 위험등급별로 저위험 등급은 30분, 중위험 등급은 60분, 마지막으로 고위험 등급은 90분으로 정하고 있다.

이와 같이 위험등급 기반의 스프링클러 설계기법의 핵심기술은 위험등급별로 가지는 화원의 규모나 특성을 고려하여 최소방수밀도와 추정최대동기작동면적을 설정하여 단위시간당 방수유량을 확보하고, 구획내 화세의 가혹시간(구획내의 화재하중이 완전히 연소하는 시간을 말함)을 고려하여 최소방수시간을 설정하는 설계기법이다. 최소방수밀도와 추정최소동기작동면적에

Table 4. Status of K Value of a Standard Sprinkler Head and Max. Installation Distance According to the Category of Hazard

Hazard Level		Installation Feature of Standards Heads	Stadard Space
Light Hazard (LH)		- 10 mm Orifice (K = 50) - Sprayed Type deflector - Max. Coverage Area for 4 heads: 21 m ²	Max. 4.6 m
Ordinary	OH1	- 15 mm Orifice (K = 80) - Sprayed Type deflector - Max. Coverage Area for 4 heads: 12 m ²	Max. 4.0 m
	OH2		
	OH3		
	OH3 Special		
High Hazard (HH)		- 15 mm Orifice (K = 80) - Sprayed Type deflector - Max. Coverage Area for 4 heads: 9 m ² - 20 mm Orifice (K = 115) - Sprayed Type deflector - Max. Coverage Area for 4 heads: 7.5 m ²	Max. 3.7 m

Table 5. Min. Discharge Time Period with Min. Operation Area of Water Discharge to the Category of Hazard

Hazard Level	Design Water Density (mm/min)	*Min. Area (m ²)	Water Quantity/Minute (l)	Min. Flow (min)	
Light Hazard (LH)	2.25(LPC) 2.7(NFC)	84	270 l	30	
Ordinary Hazard (OH)	5.0	OH1	72	375 l	60
		OH2	144	725 l	
		OH3	216	1,100 l	
		OH3 Special	360	1,800 l	
High Hazard (HH)	7.5~17.5 20.0~30.0	260~260 300~375	2300~4850 6400~9650	90	

대한 영국 LPC 기준을 정리하면 Table 5와 같다.

3. 스프링클러 헤드 성능의 비교분석

3.1 해외 스프링클러 헤드의 규격 및 특성 연구

선진국의 스프링클러 헤드의 개발기술 수준을 살펴 보면 표준형 스프링클러 이외에 주거형 스프링클러, 라지 드롭(large drop) 스프링클러, 창고형 스프링클러 등 여러 종류의 스프링클러 헤드가 개발되어 사용하고 있는 반면에 국내의 스프링클러 헤드개발은 미국, 영국, 독일, 일본 등의 선진국의 제품과 비교하여 다양화되지 못하고 있는 실정이다. 특히 영국의 LPC나 미국의 UL, FM에서는 다양한 스프링클러의 개발에 맞추어 스프링클러의 규격에 따라 다르게 분무되는 다양한 액적의 실제침투밀도(actual delivered density)와 같은 분무 액적이 갖는 고유물리량을 조사하여 화재진압효과와의 상관관계를 규명하는 시험을 통해 최적방수성능을 고안하는 수준에 도달하고 있다.

스프링클러 헤드는 방수분포형태에 따라 분류하면 표준형, 광폭형, 주거형 및 창고형 등으로 분류할 수 있으며 다음과 같이 정리할 수 있다.

3.1.1 표준 방수분포형 스프링클러 헤드

가장 보편적으로 사용되는 스프링클러로서 주로 공칭 오리피스가 15 mm 이하의 스프링클러 헤드를 지칭한다. 일반적으로 공칭 오리피스가 10 mm인 스프링클러는 저위험도 공간, 공칭 오리피스가 15 mm인 스프링클러는 중위험도 공간에서 사용하는 것이 일반적이다. 고위험도 공간에서는 공칭 오리피스가 15 mm 또는 20 mm를 사용한다. 방수상수 K값은 28, 42, 56, 80을 가지는 것이 보통이다.

3.1.2 광폭 분포형 스프링클러 헤드

광폭 분포형 스프링클러는 표준형보다 방수반경이 큰 스프링클러로서 주로 공칭 오리피스가 15 mm로 표



(a) Glass bulb (b) Fusible link (c) Side wall glass bulb

Figure 2. Conventional sprinklers.



(a) Up right (b) Pendent (c) Side wall

Figure 3. Extended sprayed sprinklers.



(a) Glass bulb (b) Side wall (c) Fusible link

Figure 4. Residential sprinklers.

준 분포형 스프링클러보다 방호면적이 큰 것을 말한다. 방수상수 K값은 56, 80, 112, 140, 168, 252를 가지며 다양한 공간에서 사용가능하다.

3.1.3 주거형 스프링클러 헤드

주거형 스프링클러는 화재발생 시 거주자들이 안전하게 대피할 수 있도록 대피시간을 연장하는데 있다. 주거형 스프링클러의 방수반경은 표준형보다 큰 것이 사실이다. 방수상수 K값은 31, 42, 49, 56, 58, 69를 가지는 것이 일반적이다.

3.1.4 창고형 스프링클러 헤드

주로 팔레트식 또는 레크식으로 적재된 창고 용도에 사용하며 창고화재는 화원의 열방출속도와 화재하중밀도가 매우 크기 때문에 액적의 크기도 크고, 하강속도도 빨라 침투력이 강화되어야 소화가 가능하여 창고에서 사용하기 위해 개발된 스프링클러 헤드를 말한다. 방수상수 K값은 56, 80, 112, 140, 168, 252의 범위내에서 제작되며 주로 ELO 스프링클러, 라지 드롭 스프링클러, ESFR 속동형 조기진압 스프링클러 등이 사용된다.

• ELO(enlarged orifice) 스프링클러

스프링클러를 설치하여야 할 장소의 수압이 표준형 헤드가 요구하는 만큼 높지 않은 경우에 낮은 압력으로도 표준형 헤드성능을 대체하기 위해서 개발되었다. 따라서 표준형의 호환용으로 사용하므로 스프링클러가 적용되는 총 방호면적, 설치간격, 방수밀도 등이 표준



Figure 5. ELO (enlarged orifice) sprinklers.

형 헤드의 기준에 미달하지 않아야 하며 미국 FM으로부터 인증을 받은 ELO 스프링클러의 방수상수 K값은 161로 공칭오리피스는 16.3 mm이고 방수압력은 0.7 kg/cm²보다 낮지 않도록 요구된다.

• 라지드롭(large drop) 스프링클러

랙식 창고와 같은 시설에서 발생하는 강도 높은 화재에 대응하기 위해 개발된 창고용 스프링클러이다. 라지드롭 스프링클러는 방수압력이 2.0 kg/cm²의 압력 하에 분사되는 평균 방수밀도가 약 26 mm/분으로 표준형보다 매우 크므로 훨씬 많은 양의 물이 화염을 뚫고 침투할 수 있도록 개발되었다. 특히 표준형에 비해 스프링클러 스킵핑(sprinkler skipping)현상이 현저하게 감소하는 특징을 갖고 있다.

• ESFR(early suppression fast response)

1980년대로 들어가서 창고의 높이가 점점 높아지고 보관 물품 중에 플라스틱 제품이 차지하는 비중이 점점 커짐에 따라 화재의 강도도 따라서 증가하여 라지드롭 스프링클러의 성능도 그 한계에 도달하게 되었으며, 물류산업의 급격한 발전으로 인해 보관물품들의 가격도 종전에 비해 월등히 상승하여서 화재로부터 인명 보호 및 건물보존이라는 종전의 개념에서 건물 내의



(a) Large drop head (b)ESFR head

Figure 6. Large drop & ESFR sprinklers.

상품의 보전 개념이 추가되었다. 따라서 화재로부터의 열 피해뿐만 아니라 그에 부수되는 소방용수에 의한 물 피해의 규모도 화원부근에 국한시킴으로 전체 손실을 최대로 줄여야 할 필요성을 충족시키기 위해 개발된 것이 ESFR 속동형 조기진압 스프링클러이다.

종래의 스프링클러 개념은 화재의 진화보다는 화재 크기의 조절에 있는 바, 화염주위에 많은 수의 스프링클러를 개방하여 적정량의 물을 분사함으로써 화재의 강도가 일정 수준을 넘어서지 않도록 조절하는데 주목적이 있었으나 한계가 발생함에 따라 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 화재의 초기에 많은 양의 물을 분사, 조기진화를 이루기 위해 개발되었으며, 많은 시제품들이 시험을 거친 후 실물화재실험을 통해 미국 FM의 인증을 받아 개발되었다. 모두가 하향식이지만 방수상수 K값은 202, 242, 363 등으로 개발되었다.

3.2 스프링클러 헤드의 국내개발 현황

선진국에서는 공간용도의 위험등급에 대응 가능하도록 다양한 방수분포와 방수상수(K값)를 가진 표준형, 주거형, 광폭형, 창고형 등 다양한 종류의 스프링클러를 개발하여 적용하고 있는 반면에, 국내에서는 주로

Table 6. Comparison between US Sprinkler and Korea Sprinkler through K Value According to Same Orifice of Sprinkler Head

Dia/ Orifice	Overseas Products		Domestic	
	Type (Max. Spacin)	K	Type (Max. Coverage)	K
10A/10 or 15A/10.5	Residencial (4.6 m)	44, 61, 70, 74, 78, 82, 105	Residencial (5.2 m)	47.5~52.5
15A/11.2	Residencial (4 m)	40, 60, 80	Standard Head (4.6 m)	80
20A/13.5	Residencial (4 m)	115		115
15A/11.2	Extended (4 m)	80, 115	-	-
20A/17.8	ELO (4 m)	160, 200, 240	-	-
20A/17.8	Large Drop (3.7 m)	160	-	기준 162
20A/17.8	ESFR (3.7 m)	160, 200, 240, 360	-	기준 203
15A/10.5	Head for Institutional	80	-	-
15A/11.2	Window Sprinkler	80	-	-

표준형과 주거형 스프링클러 2종류가 개발되어 사용되고 있는 실정이다.

특히 위험등급 기반의 스프링클러 성능설계기법을 적용하고 있는 국가에서는 동일한 종류의 스프링클러 헤드라 할지라도 방수상수 K값을 다양화하여 위험등급에서 요구하고 있는 방수밀도를 만족하여 헤드 종류에 관계없이 다양하게 적용 가능한 반면에 국내에서는 사양(prescriptive)기반의 설계기법을 적용하기 때문에 설치간격을 5.2m 이내로 한정하여 일률적으로 적용하고 있으며, 방수밀도를 고려하지 않고 표준형 스프링클러나 주거형 스프링클러 헤드를 중점적으로 사용하고 있어 효과적인 진화가 이루어 질 수 있는 지 의문이 드는 것도 사실이다. 이런 적용기준의 차이로 인하여 개발된 스프링클러를 종류별로 분류하면 다음과 같이 비교할 수 있다.

다음 Table 6는 위험등급 기반의 설계기법을 적용하는 국가의 스프링클러 제품규격과 국내 개발 제품을 종류별로 비교하여 정리한 것으로 다양성과 효과성에서 국내 개발제품과는 큰 차이를 보이고 있다. 특히 국내의 스프링클러 헤드는 방수범위를 가지고 그 범위 내에서 설치간격을 정하고 있는 반면에 국제적으로 적용되는 위험등급기반의 스프링클러 설치간격은 다양한 스프링클러로 등급별 요구최소방수밀도를 맞추면서 헤드의 최대설치간격을 제한하고 있는 점에서 차이를 보이고 있다.

4. 국내 공간용도별 표준위험등급 설정연구

현재 국제적으로 적용하고 있는 위험등급 기반의 설

계기법을 국내에 적용하기 위해서는 건축공간의 사용용도별 화재하중을 조사하여 위험수준을 표준화하여야만 한다.

4.1 국내 주요 공간용도별 화재하중밀도 조사연구

우리나라에서는 건축물의 용도별로 화재하중을 통계적으로 조사하여 표준 화재하중밀도를 설정하고 있지 않고 있어 미국이나 영국에서 조사한 용도별 화재하중밀도나 가연물의 열방출속도 등의 화재실험결과를 가지고 분류할 수밖에 없는 실정이다.

우리나라의 건축물의 주요공간용도의 평균 화재하중밀도를 산출하기 위해 용도별로 10~20개 정도의 건축물을 대상으로 조사하여 평균값을 구한 결과 Table 7에서 명기한 대로 조사되었다. 조사된 화재하중을 기반으로 위험등급을 설정한 결과 우리나라의 주요 공간용도의 위험등급이 Table 1에서 명기하고 있는 영국의 LPC 규정의 등급과 거의 모든 용도에서 아주 유사한 것으로 조사되었다. 다만 국내 아파트용도의 경우가 영국의 아파트와 비교하여 조금 낮은 것으로 조사되었는데, 그 이유를 고찰한 결과 국내 아파트는 고층이나 초고층 복합건축물에 주로 건립되고 있고, 저층의 영국이나 미국의 아파트보다 단위 세대당 면적이 비교적 크기때문에 화재하중 밀도가 적은 것으로 고찰되었다. 아파트 용도를 제외한 다른 용도의 경우에는 거의 차이가 없는 것으로 조사되어 국내의 주요 건축공간용도에 대한 위험등급을 설정하면 Table 7과 같이 나타낼 수 있다.

다만 Table 7에서 설정한 위험등급은 국내 특성을 고려하여 용도의 평균 높이에 따른 피난조건을 적용하여 피난조건이 떨어지는 용도인 경우 당초 설정한 등급보

Table 7. Status of Risk Levels of Occupancy in Korea According to the Category of Hazard

Group	Occupancy	Fire Energy Density (MJ/M ²)	Evac. Condition (Loc./Density)	Hazard Level
Apt.	Below 30 Stories	290~350	Low Story/Low Density	LH
Storage	Rack	900~1200	Low Story//Low Density	HH
	Merchant	800~1000	Low Story/High Density	HH
Basement	Shops	500~520	지하층/고밀도	OH2
Mult Offices	Small Office	450~500	Low Story/High Density	OH1
Highrise (Over 30 Stories)	Hotel	290~350	High Story/High Density	OH1
	Apt. Over 30 Stories	290~350	High Story/Low Density	OH1 from LH
	Small Offices	450~550	Low Story/High Density	OH1
	Offices	300~400	High Story/Low Density	OH1
	Multy Complex	Low Density	Low Density	OH2 from OH1

Table 8. Status of Specification of Sprinkler Heads Needed for Risk Levels of Occupancy in Korea (Water Density and K value)

Hazard Level & Occupancies		Water Pressure, Orifice & K	Water Density (mm/m ²)	Remarks
LH	apartment houses, offices, hotels	<ul style="list-style-type: none"> • Pressure 1 bar • 10 mm Orifice K = 50 	2.25 or 2.7	<ul style="list-style-type: none"> • Residential K = 50 • Extended for LH ELO 가능
OH1	Mult Offices	<ul style="list-style-type: none"> • Pressure 1 bar • 15 mm Orifice K = 80, 115, 200 	5.0	• K = 80 Standard
OH2	Basement Shops, Multy Compex			<ul style="list-style-type: none"> • K = 115 Standard • Extended for OH ELO 가능
OH3	Plastic Manufacturing excluding Foam			• K = 200 Standard
OH3 Special	alcohol, Match Manufacturing			
HH	Merchant, Rack	<ul style="list-style-type: none"> • Pressure 2 bar • 15 mm Orifice K = 115 • 20 mm Orifice K = 164 	7.5~17.5 20.0~30.0	• Large Drop or ELO
				• ESFR

다 한 단계 상향하였다.

4.2 국내 주요 공간용도별 적용 가능한 스프링클러 헤드의 분석연구

우리나라에서는 건축물의 용도별로 위험등급이 설정됨에 따라 적용가능한 스프링클러의 헤드를 조사하면 현재의 표준형 헤드의 방수상수를 다양화하여 위험도가 높은 중위험에 사용할 필요성이 크다. 고위험도인 래크식 창고나 특수가연물을 저장하는 창고 등은 표준형으로는 한계가 있으므로 라지드롭, ELO, ESFR 스프링클러 헤드를 국내기술로 개발하여 적용할 필요가 큰 것으로 조사되었다.

또한 저위험 공간인 공동주택, 업무시설, 호텔 등의 숙박시설은 표준형보다 방수량이 작아 방수밀도가 낮은 주거형 스프링클러 헤드를 사용하는 것도 바람직하다. 주거형인 경우에는 화재진압의 목적보다 인명안전 목적을 더 크게 요구하므로 액적의 크기가 비교적 작고 분포도가 균일하여 연기하강효과가 높아 연기의 확산속도를 저하시켜 가용피난시간을 늘릴 수 있다는 점에서 선진국에서 많이 적용하고 있는 실정이다. 이것을 정리하여 보면 다음 Table 8과 같다.

5. 결 론

위험등급 기반의 스프링클러 성능설계는 위험등급별로 규정하는 공간용도별로 시간당 최소방수두께(mm/m²)를 만족하면서, 현재 개발되어 사용하고 있는 표준형 스프링클러 헤드설치기준, 즉 미국 NFPA 또는 영

국 LPCB에서 규정하는 표준형 스프링클러 헤드설치 기준 범위내에서 헤드 끝단의 방수압력 기준으로 오리피스와 방수상수 K값을 결정하여 설계하는 방법이다.

이 설계기법은 스프링클러 헤드의 성능에 따라 유연하게 설계할 수 있는 일종의 성능위주의 설계기법으로 표준형 헤드인 경우 Table 2에서 명기한 바와 같이 표준형 스프링클러 헤드의 최대 설치간격을 위험도별로 4.4 m, 4.0 m, 3.7 m로 차등적으로 규정하고 최대방호면적 또한 21 m², 12 m², 9 m²로 설정하여 이 두 가지 기준을 동시에 만족하는 범위 내에서 위험등급별로 요구하는 최소방수밀도 즉, 2.25 mm/분, 5.0 mm/분, 7.5 mm/분을 균일하게 유지하면서 최적의 방수패턴을 가진 스프링클러를 적용할 수 있도록 설계하는 성능설계기법이다.

또한 이 설계기법은 고위험도에서 요구하는 최소방수밀도를 표준형 스프링클러 헤드가 만족하기 어렵기 때문에 별도의 창고형 스프링클러인 라지드롭형, ELO형, ESFR형 등의 고위험도용 헤드를 개발하여 사용하고 있는 반면에, 국내에서는 이를 따로 규정하고 있지 않거나, 실사 규정되어 있다 하더라도 설정된 기준을 만족하는 스프링클러가 아직 개발되어 있지 않아 위험도기반의 설계를 도입하여 적용하기 어려운 실정이다. 따라서 하루 빨리 위험도별로 적용하여야 할 스프링클러 헤드를 Table 7과 같이 정리하였는 바, 최소한 위험도별로 사용가능한 스프링클러 헤드를 개발하여야 한다.

궁극적으로 각각의 위험등급에 상존하는 화재하중밀도, 열방출속도 등에 효과적으로 대응하기 위해서는 그 위험도에 효과적으로 대응가능한 분무수 액적크기, 하강속도, 분산도 등을 조사하여 다양한 방수패턴을 가

진 스프링클러를 국내기술로 개발하여야 한다. 다시 말하면 공간용도별로 가지는 위험등급 환경에 적합한 최적의 방수패턴을 가진 스프링클러를 개발하여야만 최소의 비용으로 최대의 효과를 달성할 수 있다. 더욱이 다양한 스프링클러 헤드를 개발하는데 선행되어야 할 기술은 분무수의 액적크기, 분사도 등을 정밀하게 측정할 수 있는 계측기술이다.

특히 스프링클러와 같은 비교적 오리피스가 큰 노즐에서 방사되는 액적의 크기, 하강속도 및 분사도에 대한 정밀 데이터를 수집하기 위해서는 정밀한 대형계측 장비에 의해서만 측정 가능한 것이 사실이다. 현재 선진국에서 주로 사용하고 있는 측정기법인 레이저를 사용하는 위상도플러분석기 등을 하루빨리 도입하여 다양한 스프링클러의 개발에 적극 활용하여야만 국제적으로 표준화되는 위험등급별 스프링클러 설계기법의 적용에 적극적으로 대비할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 소방방재청에서 지원하는 차세대핵심 소방안전기술 개발사업 중 용도별 맞춤형 스프링클러헤드 및 내진형 소화설비개발과제와 관련된 연구에 의해 수행하였으며, 가천대학교 지원금으로 작성되었기에 감사드립니다.

참고문헌

1. National Fire Safety Code (NFSC) Fire Safety Code of Sprinkler Systems (Head), NEMA Code No. 2010-38(2010.12.27).
2. Approval of Type & Test Methods for Sprinkler Head NEMA Code No. 2010-26(2010.7. 26).
3. S.W. Hong and Y.J. Lee, "A Study on the Application of Simple Sprinkler Facility at Single Housing", J. of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol.22, No.4, pp.33-41(2008).
4. K.S. Jung, "A Study on Design Area of Fire Sprinkler System", J. of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol.22, No.3, pp.93-98(2010).
5. S.C. Kim, S.W. Lee, and W.J. Park, "A Sensitivity Study of the Number of Parcels to the Numerical Simulation of Sprinkler Sprays", J. of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol.23, No.1, pp.48-54(2009).
6. Standard for the Installation of Sprinkler Systems, NFPA 13, 2010 Edition, National Fire Protection Association.
7. LPC Rules for Automatic sprinkler installations variations to BS EN 12845(2009).
8. Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection, NFPA 15, 2012 Edition, National Fire Protection Association.
9. Drop Size Measurements in a Fire Sprinkler Using an Agricultural Testing Methods, Joe C Oliphant, Center for Irrigation Technology California State Univ., Fresno(1998. 10).
10. Fire Engineering Design Guide, A H Buchanan, Center for Advanced Engineering University of Canterbury(2001. 4).