랙크식 창고의 집중 살수방식 소화시스템에 대한 연구

Concentrated Watering Sprinkler System for Rack-type Warehouses

명상엽* · 정기신**

Myoung, Sangyoub*, and Jeong, Keesin**

Abstract

In recent years, fires have frequently occurred in rack-type warehouses in which goods are vertically loaded. In the event of a fire, extinguishing operations using the present fire protection facilities are highly ineffective. The objective of this study was to satisfy the conditions required for fire extinguishing, rather than those for fire control. The conclusions obtained from the results of fire experiments were as follows: fire extinguishment should be performed by deluge-type sprinkler systems by zoning the regions into vertical sections; the K factor of the in-rack sprinkler heads should be 115 or more, and the spray angle should be limited to 130° or less; the sprinkler head should spray water within 4 min and 30 s from the time of fire ignition; the horizontal distance between the in-rack sprinkler heads should be smaller than 2.4 m; the vertical distance of in-rack sprinkler head should be smaller than 2.5 m of the rack height; and the in-rack sprinkler heads should be installed in the center of the flue space.

Key words : In-rack Sprinkler, Rack Type Warehouse, Water Concentration System, Deluge

요 지

최근 물품이 고적재되어 있는 랙크식 창고에서의 화재가 자주 발생하고 있으며, 화재 발생시 현재의 소방설비로는 화재를 초기에 진압하는 것이 불가능하다. 본 논문에서는 랙크식 창고에서의 화재를 초기에 소화할 수 있는 집중 살수 방식의 인랙 스프링클러 헤드 제작과 더불어 이에 대한 실증 실험을 통하여 새로운 시스템의 기본 성능을 제안한다. 실험결과 집중 살수 방식의 인랙 스프링클러가 가져야 할 시스템 및 성능은 구역별로 나누어 수직 방향으로 일제 살수 방식으로 이루어져야 하며, 헤드의 K값은 115 이상이고 분사각도는 살수 각도는 120°~135° 이내로 제한되어야 한다. 또한 헤드는 화재가 발생한 시점에서 4분 30초 이내에 물을 분사하여야 하며, 헤드간의 수평 거리는 2.4 m 이내이고 복도 방향에도 동일한 간격으로 서로 엇갈리게 설치하여야 하고, 수직 거리는 랙의 단수인 2.5 m 이내에 설치하여야 한다. 적재물 가운데 설치되는 인랙 스프링클러 헤드는 송기공간의 가운데 위치하도록 설치하여야 한다.

핵심용어 : 인랙 스프링클러, 랙 창고, 집중살수 방식, 소화시스템, 물류창고

1. 서 론

최근 점차 대형화, 고적재화 된 창고는 화재에 매우 취약한 부분이 있음을 최근 아모레퍼시픽, 제일모직창고 화재 사례를 통해서도 알 수 있다. 대형화된 랙크식 창고 화재의 진화가 어려운 것은 화원이 바닥면에 한정되지 않는 입체

화재로 진행되는 특성을 가지고 있기 때문이다. 이러한 이유는 랙크식 창고 선반의 수직 적재 및 단수에 기인한다. 저장되는 물품의 적재 방법이 수평배열에서 수직으로 여러 단의 배열이 이루어지는 차이에 의한 화재 심도가 커지기 때문이다.

지금까지 미국의 FM Global에서는 표준 적층형 랙크식

*정회원, 세명대학교 소방방재공학과 박사과정(E-mail: samsy@naver.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung University

**교신저자, 정회원, 세명대학교 소방방재공학과 교수(Tel: +82-43-649-1320, Fax: +82-43-649-1316, E-mail: sobang1961@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung University

창고화재실험 결과와 기준들이 공개되어 우리나라에서도 13.7m 미만의 랙식 창고에는 조기 반응형 스프링클러를 설치하도록 되어 있으며, 여기에 유량이 큰 스프링클러 헤드를 설치하도록 규정하고 있는데 이는 미국의 실험결과를 반영한 것이다(FM Global, 2015). 저장 및 창고 건물이 진화함에 따라 천장 전용 스프링클러 보호의 한계가 나타나고 있고 이를 보완하기 위한 인렉 스프링클러에 대한 관심과 설치가 점점 부각되고 있다. 기존의 ESFR(화재조기진압용 스프링클러: Early Suppression Fast Response) 스프링클러가 효과적으로 화재를 진압하기 위해서는 창고 화재 발생 초기에 작동해야 하고 천장 높이가 13.7 m 이하에 설치되어야 한다. 랙과 랙 사이의 복도를 가로질러 화재가 확산되기 이전에 ESFR 스프링클러가 작동되어야 한다. 13.7 m 이하의 천장 아래의 ESFR 스프링클러에서 사용할 수 있는 설계 기준은 최소 1.9 m 또는 2.4 m 통로와 13.7 m가 넘는 보관 건물의 경우 인렉 스프링클러가 필요하다(NFPA 13, 2016).

기존 인렉 스프링클러 헤드에 대한 소화성능 및 화재 진압 성능에 대한 평가와 더불어 화재실험에서 밝혀진 내용을 바탕으로 화재 제어가 아닌 초기 소화를 목표로 하는 인렉 전용 스프링클러 헤드를 제작하였다. 여러 모양의 살수 패턴을 갖는 인렉 스프링클러 헤드를 설계 및 제작하고, 제작된 목업을 이용하여 실제 소화 성능에 대한 검증 실험을 진행하고자 한다. 이를 통해 인렉 스프링클러 헤드가 가져야 하는 시스템 방식과 최소한의 인렉 스프링클러 헤드에 대한 요구 사항을 제시한다. 이를 통하여 랙식 창고화재 시 초기단계에서 소화가 가능한 집중식 소화시스템을 제시하고자 한다.

2. 인렉 스프링클러 소화성능 실험

2.1 대표가연물의 선정

랙식 창고 또는 일반적인 물류창고에 적재되는 수송품의 플라스틱 물품분류는 미국 FMRC 기준을 따라서 Cartonated Unexpanded Plastic(CUP, 포장된 비발포 플라스틱), Cartonated Expanded Plastic(CEP, 포장된 발포 플라스틱), Uncartonated Unexpanded Plastic(UUP, 비포장된 비발포 플라스틱), Uncartonated Expanded Plastic(UEP, 비포장된 발포 플라스틱)으로 총 4가지 종류로 구분하였다(Kim et al., 2017).

가연물에 대한 박스단위 실험과 1단 및 3단 적재실험 결과, 가연물 종류중 CEP가 점화 후 순간적으로 화염이 급격하게 발생되면서 단시간에 매우 높은 열에너지를 발생하는 연소특성을 나타내었다. 상자 내부 플라스틱 가연물이 장시간 화염을 발생시키면서 연소하는 상황에서 열 방출율의 최대값은 CEP 물품으로 측정되었다. 소화강도를 설계하는 가장 기본적인 요소인 열방출율을 고려할 때 CEP를 대표가연물로 선정하였으며 실험규모 화재실험에서 랙에 적층되어 연소하는 가연물을 구성하여 실험

을 수행하였다.

대표적인 가연물을 위의 Fig. 1과 같은 모양의 표준가연물로 정하고, 이 표준 가연물을 이용하여 랙식 창고 및 인렉 스프링클러의 소화 성능에 대한 평가를 수행하였다.

Fig. 1. Representative Combustible Material

2.2 국내 및 해외기준 화재 시나리오

현행 국내 화재안전기준의 랙식 창고의 경우 6 m 마다 하나씩 스프링클러 헤드를 설치하여야 하나 팔레트 화재실험에서 나타난 비와 같이 화재 형상이 커서 1단 마다 설치하는 것을 기준으로 하였다(NFSC 103, 2015). 가연물 또한 표준 가연물 설정을 위한 실험을 통해 얻은 CEP 표준 가연물을 사용하였으며, 팔레트 재질은 플라스틱 재질을 이용하였다. 가연물의 간격은 KST(Korea Standard Transport) 1002에서 정하고 있는 기준을 중심으로 가장 최고 밀도로 적재된 기준을 중심으로 구성하였다(Kim and Lee, 2016).

실증 화재실험을 위한 스프링클러 헤드의 헤드 배치 위치 및 팔레트 랙의 공통적인 입력 인자는 다음과 같다.

- 밀단에서의 헤드 압력: 1 bar (최소압력 기준)
- 가연물의 크기: 1,100 mm × 1,100 mm × 2,000 mm
- 팔레트 종류 및 높이: 플라스틱 규격 팔레트 (높이 200 mm)
- 팔레트 간격(최대밀집 기준): 200 mm
- 헤드의 높이(팔레트랙 1단 표준): 2,500 mm

이러한 공통된 배치 기준 및 가연물 기준은 전술한 국내 규정과 미국의 규정에 따른 것이며, 가연물은 KST 1002 규격에서 정하고 있는 최대한의 밀집한도와 더불어 표준 랙식 창고의 규정을 적용한 것이다(Lake, 2010).

Fig. 2는 화원의 위치와 스프링클러 헤드의 위치를 나타내고 있다. (a)는 전체 화재실험 모형을 나타내는 입체도이며 파란색으로 표시된 것이 철제 더미이다. (b)와 (c)는 가연물에서 헤드의 위치와 화원의 위치를 나타낸 것이고 스프링클러 헤드를 각각 2개와 3개를 설치하였을 때의 화원과 헤드의 위치를 나타내고 있다. 화원은 동일하게 송기공간에 점화시켰을 때 소화성능을 확인하는 실험을 나타낸 그림이다.

Fig. 2. Fire Source and S/P Head Location

2.3 실험 결과

실험은 헤드를 2개 배치하였을 때 소화성능이 정상적으로 나타나지 않을 경우를 상정한 것으로 인택 헤드에 의하여 적절하게 소화를 할 수 있는 최적 배치 또는 소화 가능한 헤드 개수를 확인하기 위한 것이 목적이다. 최종 5개의 화재 시나리오를 만들고 각각 K 80 헤드와 K 115 헤드를 사용하여 화재실험을 진행하였다.

실험 결과 대표적인 화재실험 그림은 Fig. 3과 같다. 실대

규모 화재실험은 소방청의 연구과제인 대형 랙식 창고의 과학적 화재 대응방안의 연구과제의 일부로 진행이 되었다.

Fig. 3. Time Views of Sprinkler Head Extinguishing Test (K-80, Head 3 ea, Scenario 3)

아래 실험결과 테이블에 나타난 CMSA(Control Mode Specific Application)는 화재를 진압하거나 소화하는 것이 아니라 화세를 제어할 수 있는 것으로 소방대가 도착하기 전까지 화재가 확대 되지 않도록 하는 것을 의미한다.

실험 결과 Table 1과 같이 K 115 헤드만이 화세제어만 가능한 것으로 나타났다. 현재까지 개발된 모든 인택 스프링클러 헤드는 K값이 115 이상에서 화세만 제어되고 완전한 소화는 불가능 한 것으로 나타난 것이다. 기존의 폐쇄형 방식의 인택 스프링클러 헤드를 가지고는 랙식 창고의 화재에서 완전한 소화가 불가능 하다는 것을 나타내고 있다.

Table 1. Fire test Scenario and Result

Scenario No	S/P Head Quantity	S/P Head Location	S/P Head Specification	S/P Working Time (Min:Sec)	CMSA	Extinguishin
1	1	Center	K-80, Standard, 68℃	5:10	X	<u>X</u>
2	2	Center, Edge	K-115, QR Type, 68℃	Center 4:08 Edge 7:26	○	<u>X</u>
3	3	Center, 3 Edges	K-80, QR Type, 68℃	Center 3:40 Edge 4:46	X	<u>X</u>
4	2	Center, Edge	K-115 Standard, 68℃	Center 4:04 Edge 5:20	○	<u>X</u>
5	3	Center, 2 Edges	K-115, Standard, 68℃	Center 4:04 L Edge 5:20 R Edge 6:08	○	<u>X</u>

3. 인랙 전용 스프링클러 헤드 개발

3.1 인랙 전용 헤드의 살수 패턴

가연물이 밀집되어 적재되어 있는 랙크식 창고에서는 적재 가연물이 살수 장해를 일으키고 있으며, 화염의 내부로 물을 집중적으로 살포하기 어려운 구조이다. 송기 공간을 통한 수직 방향으로의 급격한 화재 확산과 더불어 박스 단위로 포장되어 있는 적재물 내부로 화재가 확산되면, 적재물 자체의 살수 장애와 더불어 송기공간으로의 열기류 형성 등의 원인으로 소화가 거의 불가능한 것으로 실험결과 나타났다. 새로운 인랙 스프링클러의 헤드는 물건이 적재되는 송기 공간 방향으로의 다량의 물이 살수되는 구조이어야 하고, 폐쇄형 구조로 순차적으로 개발되는 헤드로는 소화가 불가능한 것이 밝혀진 만큼, 일정한 구역에서 동시에 소화용수가 분사되는 집중 살수식 방법과 분사 패턴을 Fig. 4와 같은 방법을 제시하였다.

Fig. 4. Spray Characteristic of In-rack S/P

3.2 인랙 전용 스프링클러 헤드 개발

다양한 모양의 분무 분사패턴을 갖는 디플렉터 제작하고, 이중 살수 반경 및 유량실험을 통해 인랙 스프링클러 헤드에 적합하다고 판단되는 스프링클러 헤드 종류 6 개를 선정하였다. 화재실험결과 송기공간에 물이 충분히 분사되어야 화재가 진압될 수 있다는 결론에 따라 분사 패턴에 방향성을 갖는 헤드를 제작한 것이다. 화재시 적재 가연물 위에 방출되는 물은 적재 가연물을 타고 벽을 따라 흐르게 되고 이렇게 흐르는 물로는 가연물 내부에 충분히 흘러 들어가지 않아 화재가 제어는 되지만 소화가 이루어지지 않는다. 이에 따라 송기 공간 및 화재가 발생한 외주면을 따라 물이 충분히 흘러들어 갈 수 있는 분사 패턴을 갖는 헤드를 제작한 것이다.

개발된 목업 헤드의 실제 인랙에서의 적응성 및 소화성능을 확인하기 위하여 실증 화재실험을 진행하였다. 이는 기존의 폐쇄형 헤드가 아닌 개방형 헤드를 적용하여 화재 감지기 작동시간과 연동하여 산출한 근거를 토대로 하여 동시에 밸브를 개방하는 방법으로 진행하였다. 다음 Fig. 5와 같이 제작된 샘플 헤드 6 종류에 대한 실험을 진행하여 이에 대한 신뢰성을 검증 하였다.

Fig. 5. Mock-up of In-rack Head

3.3 검증 화재실험 시나리오

화재실험 시나리오는 먼저 수행한 화재실험 시나리오를 바탕으로 동일한 화원과 동일한 위치로 수행 하였으며, 이는 소화가 되지 않은 최악의 조건을 반영한 것이다. 스프링클러 헤드의 방사패턴 등에 따라 K 115 인랙 스프링클러 헤드를 제작하였고, 이에 대한 화재진압성능을 실제 화재실험을 통하여 확인하였다. 실제 모양의 랙크 구조물을 구축한 다음 개발한 인랙 스프링클러 헤드 6종을 설치하고 화재진압성능을 확인하였다. 1단 랙크 구조물을 설치한 다음 중앙에 K-115의 개발 인랙 스프링클러 헤드를 설치하고, 가연물 사이 송기공간에서 점화시켰을 때 중앙 및 모서리에 설치된 SP헤드의 방수에 따른 소화성능을 분석하였다. 이는 앞장에서 서술한 기존 스프링클러 헤드를 이용한 화재 실험과 동일한 방식이다. 화재실험 모형의 위치에 2개와 3개로 설치하고 실험한 것은 2개인 경우와 3개인 경우 얼마만큼 화재를 제어 또는 진압하는지를 확인하기 위해서이다.

헤드 개방시간을 화재 감지기에 의해 충분히 작동할 수 있다고 판단한 시간을 다양하게 하여 제대로 화재진압이 되는지를 확인하였다. 특히, 화재 개방시간에 대한 것은 감지기에 의해 작동한 한다는 것을 가정하였고, 랙크식 창고의 감지기 반응에 관련된 선행 연구에 따른 것이다. Fig. 6은 시나리오에 의한 실험 내용 중 일부를 나타낸 것이며, 온도 그래프는 대표적으로 화재시나리오 3, 5, 7번을 나타낸 것이다. 온도그래프에서 파란색과 보라색으로 나타난 것이 헤드로부터 가장 먼 거리에 있는 온도센서 이다. 이 온도 그래프들을 분석한 결과 헤드로부터 가장 멀리 떨어져 있는 온도가 하강할 때 소화용수가 골고루 분사되어 화재를 진압하고 있는 것으로 분석되었다. 제작된 목업 스프링클러 헤드 샘플 중 물을 송기공간으로 충분히 보내어

화염의 온도를 일정하게 하강시키는 것은 Fig 6의 (f) 모양의 그래프이며, 이때의 화재 시나리오는 5번 시나리오인 것으로 나타났다.

4. 실험 결과 및 집중살수식 시스템 제안

랙크식 창고에 적용하기 위한 헤드를 개발하고 그 헤드를 이용하여 어떤 헤드와 살수 방식이 인렉 스프링클러로 가장 적합한 소화 성능을 지니고 있는지 실증 화재시험을 통해 총 7가지 시나리오를 가지고 소화 실험을 진행하였다. 노즐을 2개를 동시에 방수하였을 때와 3개를 동시에 방수하였을 경우를 가정하여 시험을 수행하였고, 그 실증화재 실험결과를 요약하면 Table 2와 같다.

실험에 사용된 모든 헤드는 K-115 성능을 갖는 헤드를 사용하였으며, 노즐 말단에서의 방수 압력은 1 bar 되도록 설정한 다음 일정 연소 시간을 거쳐 노즐을 한꺼번에 개방하는 방법으로 수행하였다. 그 결과 노즐 2개만 개방하여서는 소화가 전혀 이루어지지 않음을 알 수 있었으며, 최소한 노즐 3개를 동시에 작동해야 한다.

화재가 발생한 후 3분 30초 이내에 화염의 주변에 있는 스프링클러 헤드 3개가 최소한 작동한 한다면 소화가 가능한 것으로 나타났다. 위의 3장의 온도 그래프를 통해 살펴본 실험 결과 scenario 5번이 온도변화 그래프 비교에서 가장 소화 성능이 우수한 것으로 분석되었으며, 시료 4번과 같은 헤드를 일제 살수 방식으로 사용할 경우 가장 효과적으로 인렉 시스템에서 초기에 소화를 달성 할 수 있을 것으로 기대된다.

(a) Ignition

(b) 2 minute

(c) 4 min 30 sec
(Water Discharge start)

(d) 6 min 30 sec
(Extinguishin)

(e) Thermal Graph - Senario 3

(f) Thermal Graph - Senario 5

(g) Thermal Graph - Senario 7

Fig. 6. Extinguishing Fire Test for Mock-up Head by the Scenario

Table 2. Fire test Scenario and Result for Mock-up S/P Head

Scenario No	S/P Head Quantity	S/P Head Location	Mock-up Head Number	Spraying Start time	Extinguishing Time	Extinguishing
1	2	Center, Edge	#1	4:00	No	<u>X</u>
2	2	Center, Edge	#2	4:00	No	<u>X</u>
3	3	Center, 3 Edges	#1	3:00	5:30	O
4	3	Center, 3 Edges	#3	3:30	5:30	O
5	3	Center, 3 Edges	#4	4:30	5:30	O
6	3	Center, 3 Edges	#5	4:30	6:30	O
7	3	Center, 3 Edges	#6	4:30	6:30	O

4.1 물류창고 적용을 위한 스마트 시스템 제안

랙크에 적재된 CEP 가연물이 신속하게 전개되는 화재를 진압하기 위해서는 초기 감지 및 집중살수(Early-Detection, Concentrated Water Spray)이 가장 효과적인 방식으로 판단된다.

최종 화재 실제 실험결과를 바탕으로 랙크식 창고의 초기 화재 진압을 위한 집중형 스마트 소방시스템에 대한 제안한다. 기본적으로 랙크의 중간에서 화재를 초기에 감지할 수 있는 감지 시스템과 더불어 화재 초기에 화재 구역에 집중적으로 물을 살수 할 수 있는 집중형 살수 시스템이 도입되어야 한다. 집중 살수 되어 개방되는 헤드 개수 및 살수 구역에 대하여는 전술한 화재 실험을 바탕으로 하여 최대한의 소화 효과를 발휘할 수 있는 개방 헤드 개수를 구할 수 있을 것이다.

4.2 스마트 랙크식 창고 소화시스템의 구성과 특성

랙크식 창고의 화재에 효과적으로 대응하기 위한 소화시스템은 크게 감지, 소화, 차단 기능을 포함하고 있으며, 이는 총 3가지의 단위 시스템으로 구성되어 있다. 이러한 시스템의 목적은 신속한 감지와 집중 살수에 의한 진압이 중심이다. 스마트 소화 시스템의 구성에 있어서, IoT (Internet of Things)와 ICT (Information & Communication Technology)기반의 기술이 응용되고 있으며, 인공지능(Artificial Intelligence)적 기술요소도 함께 구현되어 있다. 전체 시스템은 3개의 단위 시스템으로 이루어져있으며 이는 다음과 같다.

- ① 스마트 적층창고 소방 제어반 (Smart rack storage fire protection control system)
- ② 인랙 화재감지기 네트워크 시스템 (In-rack fire detector network system)
- ③ 집중식 소화 시스템 (Concentrated water spray system)

랙크의 각 단 사이에 개방형 헤드를 배치하고, 일정 랙크의 중간 부분에 스마트형 화재 감지기를 설치하여 중앙 컨트롤 패널에서 미리 정한 알고리즘에 의하여 화재 지역을 중심으

로 특정 개수의 헤드에 물을 방출하여 화재를 초기에 완전히 진압할 수 있는 시스템이다.

집중 살수식 시스템은 전동 밸브 등을 통해 개방된 헤드에 물을 공급하는 구조로 이루어져 있다. 화재 확산의 방지를 위해 수평 및 수직 차단막이 사용될 수 있으며 이는 대형 랙크식 창고에서 효과적으로 화재 구역을 분리한다. 본 연구에 의한 집중 살수방식을 이용하여 랙크식 창고에 적용할 경우 급격한 수직 확산에 의한 화재에 대응이 가능하여 대형 랙크식 창고에 화재 진압에 실질적인 효과가 있을 것으로 기대된다.

Fig. 7. Conceptual Diagram of Concentrated Watering System

위의 Fig. 7은 배관과 달리 수직 배관을 설치하고 개방형 살수헤드를 설치하여 수직부분의 집중적인 일제 살수를 수행하도록 한다. 하지만 개방형 헤드는 1차 층의 물이 2차 층까지 전달되는 데 시간이 소요되므로, 이를 최소화하기 위해 수직배관 상부에 연결된 수평배관에 물을 준비시켜 놓고 수직배관과 수평배관의 연결부에 전자 밸브를 장착하여 열림과 닫힘을 통합 스마트 소방 제어반에서 수행하도록 한다.

5. 결 론

물류의 증가와 창고의 고밀집화의 추세에 밀려 최근에는 창고의 대형화 복합화 추세에서 다시 인랙 스프링클러 헤드에 대한 관심이 증대되고 있다. 본 연구는 화재의 제어가 아니라 실제로 화재의 완전한 소화를 위한 인랙 스프링클러 헤드 개발 및 시스템에 대한 연구이다. 초기에 화재를 소화할 수 있는 집중 살수 방식의 시스템을 적용하는 방안을 제시하고 실제 적용하여 화재 소화 시험을 수행하였으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 완전한 초기 소화 목표를 달성하기 위해서는 화재 발생 지역을 구체화하고 물을 그 화재구역에 집중적으로 살포할 수 있는 집중 살수방식이 도입되어야 한다.
- (2) 1단 적재가연물 실험 결과, 화재 감지기 등에 의하여 화재가 조기 감지되어 미리 정한 구역에 일제히 헤드가 개방되는 구조를 가져야 하며, 최초 화재 발화시 3분 30초 이내에 물이 방수되어야 화재 진압이 가능한 것으로 나타났다.
- (3) 랙크식 창고의 수직적재 가연물 송기공간으로 인해 화재 확산속도가 빠르고 발열량이 높아 화재의 열기류를 뚫고 소화수가 화점에 도달 할 수 있는 K-115 이상이 되는 인랙 스프링클러 헤드를 적용하여야 한다.
- (4) 적재물 사이의 송기 공간으로 많은 물을 동시에 흘려보낼 수 있어야 하므로 인랙 스프링클러 헤드는 방향성을 가질 필요성이 있으며, 살수 각도는 $120^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 이내의 범위를 갖는 노즐이어야 한다.
- (5) 인랙 헤드간의 수평 방향 최대 이격 거리는 실험결과 2.4 m 이내로 설치하며, 복도 방향에도 동일한 간격으로 서로 엇갈리게 설치하여야 한다.
- (6) 인랙 헤드의 설치 최대 높이는 실험 결과에 따라 매 2.5 m마다 설치되어야 완전 소화가 가능하고, 헤드는 적재물 가운데 설치되는 인랙 스프링클러 헤드는 송기 공간의 가운데 위치하도록 설치하여야 한다. 적재물 화재 실험결과 발화 후 3분 30초가 되면 화재가 송기 공간에서 완전히 성장하게 된다. 3분 30초 이내에 헤드가 자동으로 개방이 된다면 더 빠른 소화 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

추후 이러한 실험을 바탕으로 실대 규모의 3단 이상의 적재 실험을 수행하여 최적의 방수시간을 확인하고 가연물의 종류별로 다양한 데이터를 확보하는 것이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방청 현장중심형 소방활동지원 기술개발사업(MPSS-소방안전-2015-67)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- FM Global. (2015). *Storage of class 1, 2, 3, 4 and plastic commodities*. FM Global Property Loss Prevention Data Sheets, pp. 27-45.
- Kim, J.H., Joung, W.I., Lee, Y.J., Myoung, S.Y., Jeong, K.S., and Kim, W.H. (2017). Water Flow and Spray Experiments of In-Rack Sprinkler at Rack Storage. *Proceedings of 2017 Annual Spring Conference*, Korean Institutes of Fire Science & Engineering, pp. 193-194.
- Kim, W.H., and Lee, Y.J. (2016). A field survey of rack-type warehouse for commodity classification system in Korea. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 2, pp. 98-105.
- Lake, J.D. (2010). *Automatic sprinkler systems handbook* (11th ed., pp. 659-686). National Fire Protection Association.
- NFSC 103. (2015). *Fire safety code for automatic sprinkler system*. National Fire Safety Code, pp. 154-187.
- NFPA 13. (2016). *Standard for the installation of sprinkler system*. Nation Fire Protection Association, pp. 82, 141-143.

Received	March 12, 2018
Revised	March 19, 2018
Accepted	April 24, 2018