랙크식 창고 적용 집중식 스프링클러 시스템 설계

Design of Concentrated Sprinkler for Rack Storage

김종훈* · 정우인** · 명상엽*** · 정기신**** · 김운형*****

Kim, Jong Hoon*, Joung, Woo In**, Myoung, Sang Youb***, Jeong, Keesin****, and Kim, Woon Hyung*****

Abstract

In this paper, it is explained that background and formation of concentrated sprinkler system developed based on 3 years research for rack storage fire. Flame spread at rack storage fire is very rapid vertically. In order to suppression rack storage fire, in-rack fire detector is active at the ultra early stage. Electric valve distributed around fire detection position then is open by control system. After valve open, water discharges from open type concentrated sprinkler head to flue space and commodities on rack shelf. It can conduct fire suppression and reduce the loss on rack storage fire.

Key words : Rack Storage, Sprinkler, Flue Space, Freeze, Management

요 지

본 연구에서는 랙크식 창고 화재에 대한 3년간의 조사와 실험결과를 토대로 제안된 적층형 스프링클러 시스템의 개요와 구성에 대하여 설명하였다. 랙크식 창고의 화재는 매우 신속하게 수직으로 상승하는 특징이 있다. 이에 대응하기 위해서는 극초기에 화재를 감지하고 위치를 알려줄 수 있는 인랙화재감지기를 기반으로 하여, 화재 감지 위치 부분의 송기공간을 중심으로 분포된 수직배관의 전자밸브를 관제시스템에서 판단하여 개방하고, 수직적 일제 개방과 송기공간에 대한 집중적 물 분사를 한다. 이를 통해 화재를 진압하고 피해를 감소시킬 수 있다.

핵심용어 : 랙크식 창고, 스프링클러, 송기공간, 동결, 유지관리

1. 서 론

물류와 유통은 현대 산업에 있어서 매우 중요한 분야이다. 최근 국내에서 발생한 아모레퍼시픽 화재(2014), 제일모직 창고 화재(2016) 등은 대규모의 재산 피해와 함께 큰 사회적 불안감을 남긴 바 있다. 창고의 랙크 부분에 화재가 발생하면

지금 국내 법에 의해 설치하도록 하고 있는 시스템으로는 진압이 어려울 가능성이 높다. 그 이유는 창고 보관물품의 화재위험성에 비하여 소화시설의 능력은 낮기 때문이다. 이는 현재의 국내기준과 미국 NFPA (2016), FM (2015)에서 제안하고 있는 기준의 비교를 통해 쉽게 알 수 있다. 국내 창고는 임대창고와 전용창고로 구분할 수 있는데, 임대창고

*교신저자, 정회원, (주) H2K솔루션 이사(Tel: +82-31-462-3119, Fax: +82-31-462-2119, E-mail: aina47@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Ph.D, Director, H2K Solution Inc.

**정회원, (주) H2K솔루션 부장

Member, Director, Department Manager, H2K Solution Inc.

***세명대학교 소방방재공학과 박사과정

Ph.D Candidate, Department of Fire Protection Engineering, Semyoung University

****세명대학교 소방공학과 교수

Professor, Department of Fire Protection Engineering, Semyoung University

*****경민대학교 소방안전관리과 교수

Professor, Department of Fire Safety Management, Kyungmin University

의 경우 임대를 목적으로 하므로 다양한 가연물이 보관되며, 전용창고의 경우는 특정 회사에서 사용하므로 지정된 종류의 가연물이 보관대상이 된다. 창고의 보관되는 물품에 대한 구분에 있어서 FM에서 제시된 기준에 의하면 위험도가 높은 물품(Commodity)의 형태로서 플라스틱을 주로 하는 CEP (Cartoned Expanded Plastic), CUP (Cartoned Unexpanded Plastic), UEP (Uncartoned Expanded Plastic), UUP (Uncartoned Unexpanded Plastic)이 있다. 파렛트 단위규모 실험에서 종이 박스에 스티로폼 충전재가 들어간 CEP가 가장 높은 위험성을 보여주었다(Cho and Yeo, 2016). CEP가연물은 전자제품 처럼 박스내에 제품과 충격완화를 위한 스티로폼을 넣은 형태를 대표하는 것으로, 국내 임대창고는 CEP가연물이 당연히 들어간다고 판단된다. 그러므로 임대창고의 경우는 소방시설기준이 CEP 이상의 위험을 방호할 수 있는 수준이 되어야 한다.

국내의 경우 스프링클러 설비의 화재안전기준(NFSC, 2015)에서 일반 가연물의 랙크 높이 6 m마다, 특수가연물은 4m 높이마다 인렉스프링클러를 설치하도록 하고 있으며, 천장높이가 13.7 m 이하로서 ESFR 스프링클러를 설치한 경우 인렉스프링클러설치를 면제해주고 있다.

하지만 미국 FM Data Sheet 8-9 기준을 보면플라스틱류의 경우 대부분 12 m 이하에만 ESFR 스프링클러를 적용할 수 있으며, 계산해보면 CEP~UEP의 경우는 728.9~820.9 LPM의 방수량이 필요하게 된다. 이 또한 12 m 이상인 경우는 인렉스프링클러를 사용하게 된다(Table 1).

Table 1. Commodity Type and ESFR Sprinkler Head Specifications (wet system, pendent type)

Type	Max.Ceiling Height (m)	ESFR Head Spec.	
		K-Factor	Pressure (Bar)
CUP	13.5	360	3.5
CEP	12	360	4.1
UUP	12	360	4.5
UEP	12	360	5.2

또한 여러 차례의 실험을 통해 인렉스프링클러의 문제점을 알게 되었는데, 이는 표준형이나 속동형 모두 화염이 직하부에 있지 않은 경우 동작이 어렵고, 충분한 헤드의 동작시점이전에 화염이 해당 층의 상부로 확산될 우려가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 국내에서 수행된 CEP 가연물을 4단 10 m 높이로 적재한 실험형 화재실험에서 화염이 끝까지 확산되는데 걸린 시간이 불과 1분 20초 밖에 되지 않는다. 이러한 화재의 극초기에 발화지점의 송기공간 전체에 물을 방사하지 않으면 진압이 어렵다는 결과도 나온 바 있다(National Fire Agency, 2016).

그러므로 본 연구에서는 랙크식 창고의 랙크부분 화재에 대응하기 위하여 새로운 형태의 스프링클러 시스템을 제안하고자 하며, 이는 집중형 스프링클러라고 명명되었다.

Fig. 1. Fire Spread at 1 Min 20 Sec

2. 기존 시스템의 문제점

랙크식 창고화재는 매우 신속하게 발전하며 이러한 화재에 대응하기 위해서는 기존과는 다른 시스템이 필요하다. 기존 시스템의 문제점을 정리해보면 다음과 같다.

- (1) FM기준에 의하면 ESFR 스프링클러는 12 m 이하 천장에만 유효하다. 그 이상인 경우는 인렉스프링클러를 사용해야한다. 국내의 13.7 m 기준은 신속하게 개정될 필요가 있다.
- (2) 인렉스프링클러는 국내의 경우 K80을 사용하지만 화재실험의 결과 이는 화재진압에 효과가 없다. 인렉스프링클러는 최소 K115는 되어야 효과가 있지만, Fig. 2에서 보는 바와 같이 착화 후 2분정도에 방수를 시작하게 되는 시점에서 이미 화염은 상부로 올라가고 있으며, 이는 상부에 적재가연물이 있을 경우 확대됨을 의미한다(National Fire Agency, 2016).

Fig. 2. In-rack Sprinkler (K115) Test
(a) Early stage (b) 2 minutes

- (3) 국내에서의 인랙스프링클러는 K80헤드로 2열 랙크의 경우 가운데 배치한다. 랙크 내부에서의 스프링클러 살수는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 살수장애편이 생겨 화재진압에 매우 불리하다.

Fig. 3. Obstruction of In-rack Sprinkler Spray

- (4) 랙크 내부의 화재확산을 방지하기 위해서는 송기공간(Flue space)을 통한 화염과 플룸(Plume)에 대해 집중적인 살수가 필요하다. 일반적인 인랙 스프링클러 헤드는 360°에 거의 균일하게 방수하도록 제작되었다. 이러한 경우 가연물의 상부나 송기공간으로 동일한 액적크기의 물이 방수되므로 액적의 침투를 통한 화염과 플룸의 온도감소, 그리고 화재진압에 효과가 떨어진다(Fig. 4).

Fig. 4. Rise of Flame and Plume

- (5) 기존 시스템의 단점 중 유지관리와 관련된 문제가 있다. 냉동, 냉장창고를 제외한 대부분 창고의 겨울철 온도는 외부와 동일하다. 이는 겨울철에 스프링클러 배관에 동파가 발생한다. 이를 방지하기 위해 보온재와 열선을 시공해야한다. 인랙 스프링클러의 경우는 매우 많은 양의 열선과 보온재가 필요하다. 그러므로 전기절약 및 동파방지를 위해 배관 내에 물을 제거해 놓은 경우도 있다. 이러한 경우 화재 시 스프링클러는 동작이 불가능하다.

3. 집중형 스프링클러 시스템의 구성

랙식 창고의 랙크부분 화재는 송기공간을 통해 수직으로 신속히 확산되므로 극초기에 화재를 감지하고 화재발생부분의 송기공간에 집중적인 살수를 할 수 있는 시스템이 필요하다. 이를 위해 구성된 집중형 스프링클러 시스템은 다음과 같이 구성된다.

3.1 전체 시스템 구성

시스템의 구성은 인랙 감지기, 집중형 스프링클러 헤드, 배관 시스템, 지능형 관제시스템을 특징으로 하며, 알람벨로부터 기압송수장치와 수원까지인 1차 측의 구성은 종래의 습식 스프링클러 시스템과 동일하다.

집중형 스프링클러 시스템은 먼저 랙크 내부에 분포되어 있는 인랙 화재감지기를 통해 화재의 발생을 감지한 후, 화재발생 여부와 발생 위치를 관제시스템에 전달한다. 관제시스템은 화재발생 위치를 인식하고 해당 위치를 중심으로 화재 진압에 유효한 위치일 것으로 판단되는 인근 집중형 스프링클러 헤드 입상관의 전자밸브를 개방한다. 이후 개방형인 집중형 스프링클러 헤드를 통해 화원 인근과 그 직상부의 수직공간으로 집중적인 살수가 진행된다.

물 살수 도중에도 다른 감지기가 동작하여 화재가 확산된 것으로 판단되면 추가적인 전자밸브를 개방하여 화재확산을 방지한다. 이후 화재가 종료되거나 소방대에 의해 2차적인 진압이 이루어진다. 전체 시스템의 동작순서는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5. Procedure of Concentrated Sprinkler System Operation

3.2 인랙 화재감지기 네트워크

창고에 대한 화재감지기의 기존 설치방식은 주로 천장에

부착하는 것이었다. 공기흡입형 감지기의 경우에는 랙크 내부로 공기배관망을 설치할 수 있다.

적층형 스프링클러 시스템을 구성하는 인랙화재감지기 네트워크는 화재를 신속하게 감지하기 위하여 랙크 내부로 감지기를 넣어서 분포시킨 것이다. 비화재보를 방지하기 위해 열, 연기, 가스의 복합 감지 및 인공지능 판단을 도입하고, 현장의 영상을 실시간으로 전송할 수 있는 기능도 함께 할 수 있다. 또한 각 감지기는 위치에 대한 주소를 가지고 있어 화재발생 사실과 함께 해당 위치를 관제시스템에 전달한다.

이러한 인랙 화재감지기를 랙크 내부에 분포시켜 네트워크를 구축, 화재발생위치를 신속하게 알아낼 수 있다.

인랙 화재감지기를 충분히 설치하지 못할 경우 화재발생 위치를 2차원적으로 판단해야 하는데, 화재 시 2대 혹은 3대의 감지기에 들어오는 열과 연기, 또는 가스의 신호변화를 통해 발생 위치를 추정할 수 있다. 이러한 위치의 추정은 관제시스템에서 인공지능을 통한 분석으로 판단하게 된다. 이러한 인랙화재감지기의 배치는 Fig. 6과 같으며, 인랙 화재감지기 네트워크 개념도는 Fig. 7과 같다.

Fig. 6. Position of In-rack Fire Detector

Fig. 7. Example of In-rack Fire Detector Network

3.3 집중형 스프링클러 헤드

일반적인 스프링클러 헤드는 상부에서 하부로 골고루 물을 살수해야 한다. 이는 공간의 하부에 가연물, 즉 물이 도달해야 할 대상물이 분포되어 있기 때문이다. 하지만 인랙 스프링클러헤드의 적용대상인 랙크 적재 물품은 파렛트 단위로 적재되며, 그 수납형태가 2차원적이 아닌 3차원적인 상황이다. 랙크식 창고에 설치되는 랙크 적재물품의 화재는 착화 후 송기공간을 통해 급격히 상승하게 된다. 이때 송기공간을 통해 상승하는 열기류와 화염의 온도를 낮추고 상승을 저지하기 위해서는 이 부분에 직경이 큰 물방울을 집중적으로 보내야 한다.

기존의 일반형과 인랙 스프링클러헤드는 모두 평면적으로 볼 때 360°를 골고루 물을 분사하는 특징이 있지만, 송기공간으로의 물을 집중시키기 위해서는 물의 분사 형태가 달라져야 할 필요가 있다. 파렛트 단위 적재물품의 상부보다는 송기공간으로 액적크기가 큰 물방울을 집중해서 보내야 할 필요가 있다.

또한 적재물품에 대한 살수의 사각지대를 없애야 하는데, 이를 위해 Fig. 8에서 보는 바와 같이 헤드를 배치할 경우 서로의 사각지대를 없애 각각의 송기공간에 물을 집중시키는 효과를 가져올 수 있다. 이를 위한 헤드가 개발 중에 있으며, 오리피스 크기, 방수압력과 K값, 반사판의 크기와 형태에 관한 연구를 수행 중에 있다.

Fig. 8. Spray Pattern of Concentrated Sprinkler Head

3.4 배관과 밸브 구성

랙크에서의 화재는 송기공간을 통해 신속히 화재가 확대된다. 실험을 보면 4단으로 적재된 10 m의 적재물품 최상층까지 화재가 확대되는 데 걸린 시간은 불과 1분 20초이다. 그러므로 일반적인 인랙 스프링클러헤드가 감열되어 물을 살수하기 시작하는 시간 동안 화재는 최상부까지 확산된다고 보아야 한다. 참고로 실험을 해보면 표준형과 속도형의 개방시간은 큰 차이가 나지 않는다.

화재의 발생사실을 인랙 화재감지기가 감지했을 경우 즉시 살수해야 하며, 화재가 발생한 송기공간의 하부에서 최상부까지를 동시에 살수해야만 화재확산을 방지하고 진

압을 수행할 수 있다.

그러므로 해당 위치의 수직으로 모든 헤드와 동시에 물이 나올 수 있도록, 집중형 스프링클러헤드는 개방형으로 해야 한다. 이는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 각 위치의 하부에 설치된 전자밸브가 개방되면 하부의 물이 상부의 배관으로 유입되고 이후 개방헤드를 통해 거의 동시에 물이 살수되기 시작한다. 이러한 헤드와 전자밸브의 위치는 3차원적으로 나타내면 Fig. 10과 같다.

이러한 배관의 구성에서 상부 개방헤드가 있는 배관부분이 아닌 전자밸브와 물이 있는 배관부분은 창고 바닥의 피트 공간을 만들고 여기에 설치한다. 이는 2가지 장점이 있는데, 첫째는 배관이 피트공간에 있어 겨울철에 보온을 통한 물의 동파를 막는데 유리하고, 둘째는 하부에 있으므로 전자밸브와 물이 있는 배관부분의 점검과 관리가 용이하다는 점이다.

Fig. 9. Installation of Pipe, Concentrated Sprinkler Head and Electric Valve

Fig. 10. 3D View of Concentrated Sprinkler System

3.5 지능형 관제시스템과 시스템 점검

집중형 스프링클러 시스템은 화재발생에 대한 인력화재 감지기의 신속한 감지와 위치 정보를 기반으로 동작한다. 화재발생 위치는 각 감지기의 열과 연기 데이터 상수를 기반으로 추정할 수 있다. 위치가 추정된 경우 Fig. 11과

같이 해당 송기공간 주변의 헤드를 모두 개방하여 일제히 살수함을 통해 수직으로의 화재확산을 저지하고 화재를 진압한다. Fig. 11의 Case 3은 랙크 간 복도가 있는 경우인데 화재발생지역 건너편으로의 화재전파를 막기 위하여 건너편 헤드를 개방하여 물로써 열을 차폐하는 효과를 발휘하도록 하는 것이다. 화재가 확산되어 추가적으로 감지기가 동작하는 경우 이에 따른 추가적 배관 개방을 수행한다.

Fig. 11. Electric Valve Open Based on Fire Position

Fig. 12에서 보는 바와 같이 집중식 스프링클러의 배관에 있어서 점검 및 오동작 방지 밸브가 특징적이라 할 수 있다. 다른 점검밸브와 함께 수동적으로 또는 전자적으로 시스템의 점검을 할 수 있으며, 단독적으로는 오동작을 방지하는 효과가 있다.

3.5.1 오동작 방지 기능

감지기의 동작없이 알람밸브가 동작하는 경우 물의 흐름이 생긴 것이고 이는 배관의 파손 또는 전자밸브의 이상이 발생했다고 판단할 수 있다. 감지기 동작신호 없이 알람밸브가 동작하는 경우 펌프 기동 정지와 함께 시험점검 및 오동작 방지밸브를 개방하여 물을 배수를 시행한다. 이상이 생긴 밸브나 또는 파손된 부분으로 배출되는 물의 량보다 많은 양의 물을 배수하여 상부 배관을 통한 물의 살수를 최소화함을 통해 수손 피해를 방지한다.

Fig. 12. Schematic Diagram of Concentrated Sprinkler System

3.5.2 시스템 점검 기능

시스템의 점검을 수행하는 절차는 다음과 같다(Fig. 13). 첫 번째로 점검밸브(Inspection test valve)(1)를 닫고 점검밸브(2)를 개방하여 배관내의 물을 제거한다. 이러한 상태에서 각 전자밸브의 동작시험을 할 수 있다. 정상동작 여부는 동작 감시기능으로 원격적으로 알아내거나 혹은 육안을 통해서도 점검할 수 있다.

두 번째로는 점검밸브(2)만 개방할 경우 알람밸브의 유수 감지 이후 펌프 기동 등의 동작이 정상적으로 진행되는지를 점검할 수 있다.

이러한 방법으로 시스템의 점검을 원격으로 수행이 가능하다.

Fig. 13. Inspection Test and Fail Safe Valve

4. 결 론

본 연구에서는 랙식 창고 화재에 대한 3년간의 조사와 실험결과를 토대로 제안된 적층형 스프링클러 시스템의 개요와 구성에 대하여 설명하였다. 창고의 랙 부분 화재는 매우 신속하게 수직으로 상승하는 특징이 있다. 그러므로 이에 대응하기 위해서는 극초기에 화재를 감지하고 위치를 알려줄 수 있는 인력화재감지기를 기반으로 하여, 화재 위치 부분을 알아내고, 송기공간을 중심으로 분포된 수직배관의 전자밸브를 관제시스템에서 판단하여 개방한다. 이를 통해 수직적 일제 개방과 송기공간에 대한 집중적 물 분사를 수행해야 화재를 진압하고 피해를 감소시킬 수 있다.

1분 이내의 극초기 대응을 통한 확실한 화재진압으로 손실을 저감할 수 있다. 극초기에 진압하지 못할 경우 화재확

산은 소방대가 진압이 어려울정도로 창고 전체로 확대되게 된다는 것은 당연하다.

추가적으로 겨울철 동파 방지를 위해 보온과 점검이 유리하도록 창고 바닥부분에 피트를 만들고 물이 있는 배관과 전자밸브부분을 배치하여, 자연적 동파방지는 물론 동파를 우려한 인위적인 배관내의 물 제거도 방지할 수 있다.

차후 집중형 스프링클러 시스템의 소화수원의 양, 가압송수장치의 용량, 배관경 등이 결정 등에 대한 사항도 진행할 예정이다. 또한 추가적인 화재진압실험을 추가적으로 수행하며, 배치간격과 수량 감소에 대한 연구도 함께 추진할 계획이다.

감사의 글

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

References

- Cho, G.H, Yeo, I.H. (2016) A Study on the Fire Characteristics of Palletized Unit-Load Commodities on Racks. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp. 23-30.
- FM (2015) *Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities*. FM Global Loss Prevention Data Sheets 8-9, pp. 27-45.
- National Fire Agency (2016) *Scientific Countermeasures of Large Storage and Factory used Sandwich Panel by Fire Spread Analysis*. 2016 Annual Report.
- NFPA (2016) *NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler System*. pp. 82, 141-143.
- NFSC (2015) *NFSC 103: Fire Safety Code for Automatic Sprinkler System*.

Received	March 16, 2018
Revised	March 20, 2018
Accepted	March 26, 2018