

적층식 대형창고 스프링클러헤드 개발 및 성능실험

A Development and Performance Experiment on In-rack Sprinkler Head for Rack Type Warehouse

김운형¹ · 이 준² · 홍성호³ · 김종훈⁴ · 양소진^{5*}Woon-Hyung Kim¹, Jun Lee², Seong-Ho Hong³, Jong-Hoon Kim⁴, So-Jin Yang^{5*}¹Professor, Department of Firesafety., Kyungmin University, Uijeongbu-si, Republic of Korea²Section Manager, PARATECH, Bucheon-si, Republic of Korea³Senior researcher, FILK., Yeosu-si, Republic of Korea⁴Director, H2K, Incheon, Republic of Korea⁵Graduate student, Department of Safety Engineering, Seoultech graduate school, Seoul, Republic of Korea

*Corresponding author: So-Jin Yang, ysj21cc@naver.com

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to develop a sprinkler head that can be controlled and initial suppressed by installing it in a rack – type warehouse. **Method:** Considering the spray radius and spray pattern, various deflectors were designed, and the spray angle, discharge characteristics and protection performance test was conducted, and these results were compared and analyzed. **Results:** An optimal sprinkler head was developed to protect full load, front side of a commodity with minimum water volume 115L/min. **Conclusion:** The developed head of K-115 and 1Bar pressure was tested with one tier storage confirming that the fire control is carried out without burning all the loadings. In addition, the vertical distance from the top of the load to the deflector shall be separated by 450mm and installed to allow sufficient discharge to the outer part of the commodity.

Keywords: Rack-type Warehouse, Deflectors, Discharge Characteristics, K-115, Vertical Distance

요약

연구목적: 적층형 물류창고의 랙크 내에 설치하여 화세제어 및 초기 진압이 가능한 스프링클러 헤드를 개발하고 이에 따른 성능확인 실험을 목적으로 한다. **연구방법:** 살수반경과 살수패턴을 고려하여 여러 가지 디플렉터를 설계하고 살수각도 및 방사 시험 및 방호성능 실험을 수행하였으며 결과를 비교 분석하였다. **연구결과:** 적재물 전체 및 전면부 방호가 가능하고 최소방수량 115L/min을 가지는 최적의 헤드를 개발하였다. **결론:** 개발된 헤드는 방수량 K-115, 방수압 1Bar 조건에서 1단 소화실험 결과, 적용된 화재시나리오에서 적재물품을 전부 연소시키지 않고 화재를 제어함을 확인하였다. 아울러 적재물 상단에서 디플렉터까지의 수직거리는 450mm 이격하여 가연물 외곽부분으로도 충분히 방사되도록 설치해야 한다.

핵심용어: 물류창고, 디플렉터, 방사시험, K-115, 수직거리

Received | 26 February, 2019

Revised | 27 February, 2019

Accepted | 2 May, 2019

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

국내 물류창고는 바닥면적의 대형화, 높은 천장과 이에 따른 인한 화재하중으로 화재위험성이 나날이 증대되고 있으며 화재 폐기물로 인한 환경오염으로 사회에 미치는 파장이 크다고 볼 수 있다. 물류창고의 적재공간에서 발화 시 수직으로 화재가 매우 빠르게 확산하며 수용물품과 적재방식에 따라서 스프링클러헤드에서 분사된 소화수가 좁은 공간을 효과적으로 소화하는데 한계가 있다. 미국의 경우 다양한 적재물품의 위험 등급을 분류하여 각각에 적합한 방수패턴을 갖도록 성능 설계를 실시하고 있으나 국내에서는 균일한 방수패턴을 가진 표준형 스프링클러헤드를 일률적으로 사용하고 있어서 화재를 효과적으로 진압하기 어려운 실정이다.

현재 국내 스프링클러 설치 기준은 방수량이 80L/min인 표준형 헤드와 화재 조기진압형 헤드(ESFR)를 적용하고 있다. An et al.(2019)은 두 기준의 주요 내용을 비교 연구하였으며 그 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. A comparison of NFSC103 and NFSC103B

구분	NFSC103	NFSC103B
기준 명칭	스프링클러설비의 화재안전기준	화재 조기진압용 스프링클러설비의 화재안전기준
제정 근거	일본 1998년 이전 소방법규	NFPA13, FM DS 2-0
최대 층고	제한 없음	13.7m
지붕의 기울기	제한 없음	168/1000 이하
스프링클러설비형식	제한 없음	습식
스프링클러 설치	랙크와 천정	천정에만 설치
수원의 양	20분 이상	1시간 이상
기준개수	특수가연물 30개, 기타 20개	12개
스프링클러 K-Factor	K80	K200, K240, K320, K360
스프링클러헤드 방수량	80LPM	최소 360~600LPM
최소배관 구경	25mm	50mm
소화펌프 유량	특수가연물 3,050LPM, 기타 2,250LPM	최소 5,270LPM, 최대 8,150LPM
1개의 방호구역	3,000m ²	3,000m ²
소화수조의 용량	48톤	316~489톤
살수 시의 장애물		헤드의 유량이 커서 매우 민감

Myoung et al.(2018)에 의하면 최근 발생한 국내 대형물류창고 화재는 스프링클러시스템의 적절한 소화강도확보가 무엇보다도 중요함을 보여주고 있으며 최소방수량 115L/min이 요구됨을 지적하고 있다.

최소방수량을 증대한 화재 조기진압형 헤드는 높은 장소의 화재위험에 대하여 대량 살수에 의하여 소화하는 방식이며 헤드의 개방 시까지 천정상부로 화세가 확산하여야 하므로 최대 층고를 기준으로 헤드 설치 높이에 제한을 두고 있다. 가연물에 근접하여 신속한 화세제한과 소화를 목적으로 설치하는 스프링클러의 설치기준과 동작 시점은 창고용도에서 매우 중요하다. 한편 랙크에 적재된 가연물들은 살수 시에 잠재적인 장애물이 되며 헤드간격과 방수량 등이 부족하게 되면 화염이 충분히 침투하지 못하고 화재진압에 실패할 수 있다. 또한, 헤드 작동 이전까지 화재는 적재물의 표면을 타고 상승하여 급격하

게 확산하며 결국에는 스프링클러의 방사효과가 매우 낮아지는 상황도 전개된다.

본 연구에서는 적층형 물류창고의 초기 화세제어 및 신속한 화재진압을 목적으로 적재물 전체 및 전면부가 방호 가능하며 최소 방수량 115L/min을 갖는 최적의 스프링클러 헤드를 개발하였으며 살수특성 시험 및 소화성능 확인 실험을 수행하였다.

선행연구 분석

인렉 헤드 살수분포 연구

Kim et al.(2017)의 연구에서는 인렉 스프링클러에서 방사되는 물이 실제 가연물의 각 부분에 어떻게 도달되는지를 수행하였다. 한단의 높이는 2.5m 단위이며 4개의 적재물 사이 가운데 부분에 스프링클러 헤드를 설치하였다. 사용된 헤드는 국산 K-80 헤드와 미국 V사의 K-80헤드, 그리고 T사의 K-115헤드를 대상으로 살수 분포 실험을 수행하였다.

실험결과, 국내산 헤드는 넓은 범위의 가연물에 효과적일 수 있으나 살수밀도가 상대적으로 낮아서 급격히 상승하는 인렉 화재에 대응할 수 있을지는 알 수 없다. 미국산 헤드의 경우 국내산 헤드에 비하여 좁은 각도에 집중화된 살수 특성이 있으나 외곽 지역으로 물을 보내는 능력은 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서 실제 랙크식 창고에 평면적으로 2열 이상으로 배치된 가연물에 대해서는 페이스 스프링클러의 도입과 함께 지그재그 형태로의 배치가 되어야 최소한의 효과를 볼 수 있는 것으로 나타났다.

인렉 헤드 소화성능실험

Hong(2017)의 연구에서는 랙크내에 설치되는 인렉 헤드의 소화성능실험과 실험결과에 따른 인렉 스프링클러 헤드의 효용성을 분석하였다. 소화성능은 1단 가연물에서 K-80 표준형 및 속동형, K-115 표준형 및 속동형 헤드가 각각 1개 내지 3개가 작동하는 경우를 비교하였다. 실험결과, 표준형과 속동형의 작동시간에 대한 차이는 미비하였으며 랙크식 창고의 화세제어를 위하여 최소 K-115 헤드가 필요함을 확인하였다.

적층형 창고 헤드 설계

랙크의 각 단 또는 중간레벨에 설치하여 화세제어 및 진압을 할 수 있는 물류 창고전용의 헤드(인-렉 헤드)를 개발하기 위한 진행단계는 아래와 같다.

시제품 제작

먼저 스프링클러헤드 설치간격을 설정하여 살수반경을 산정하고 이에 따라 살수 패턴을 고려하였다(Fig. 1). 헤드의 살수 패턴은 디플렉터에 따라서 결정되므로 최종제품 3D 모델링 이전에 시제품을 제작하여 최적의 크기와 형상조건에서 방사패턴을 가질 수 있도록 진행하였다. 적재물의 전면을 보호하기 위하여 넓은 살수반경이 필요하며 송기 공간의 방호를 위하여 좁고 집중적인 살수형태를 가질 수 있도록 다양한 형상을 고려하여 제작하였다. 이후 화세제어를 위한 최소 방수량 115L/min을 만족하기 위하여 3D 모델링을 통해 제품을 설계하였으며(Fig. 2), Mock-Up 제품을 제작하여 방수량을 검증하였다.

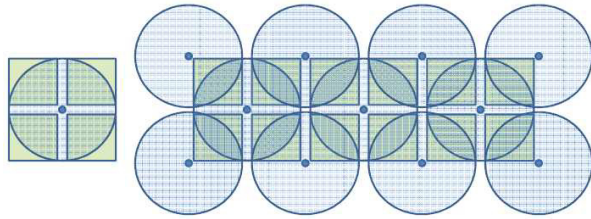


Fig. 1. Sprinkler head installation interval

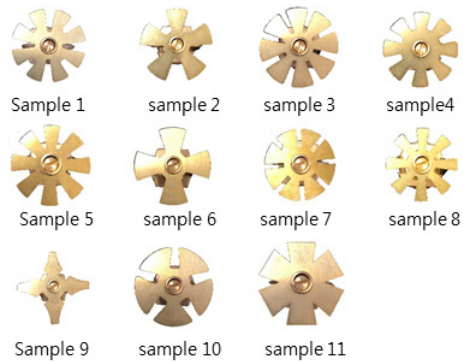


Fig. 2. Deflector prototype

살수성능실험

여러 가지 다양한 디플렉터 시제품에 대한 살수패턴 결과로 디플렉터에 넓은 면적이 많이 있으면 반경이 넓어지는 것을 확인하였다. 이어서 3D 모델링을 통하여 설계 후 시제품을 제작하여 적재물 전체 및 전면부에 살수가 가능한지를 확인하였다.

적재가연물의 실물화재실험과 소화성능 검증을 통하여 입증된 헤드의 최소 요구 방수량 115L/min을 적용하여 3D 모델링을 통해 제품을 설계하고 Fig. 3과 같은 금형으로 제작하였다.

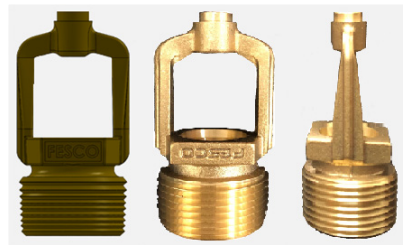


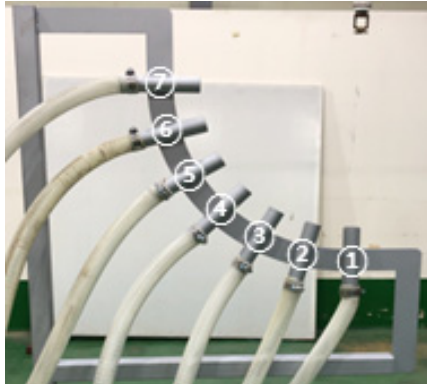
Fig. 3. Frame prototype

다음 단계로 디플렉터 시제품을 사용하여 적재물을 방호할 수 있는 다양한 각도를 검토하고 살수 각도 시험을 진행하였다. 본 실험에서는 스프링클러에서 방사되는 물이 각도별로 살수되는 양을 측정해보기 위하여 Fig. 4와 같은 기기를 설계하고 실험을 수행하였다. 먼저, 실험 장치는 각각 11.25° 간격으로 0° ~ 90° 사이를 측정해보았다. 물은 10분간 살수되었다.



Fig. 4. Test of spray angle of deflector

적재가연물의 전면부 방호를 강화하기 위하여 시제품을 다양하게 적용하여 살수 성능을 확인하였으며 적재물 전면 8개의 채수통 방수량을 확인한 결과는 Fig. 5와 같다. 여러 가지 다양한 디플렉터 시제품의 살수각도 실험 결과, 디플렉터 밴딩의 필요성과 넓은 면적이 많이 있으면 반경이 넓어지는 것을 확인하였다.



	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	Total
Sample 1	140	70	20	10	20	40	200	500
Sample 2	200	100	160	30	10	20	70	590
Sample 3	250	270	190	190	50	20	30	1,000
Sample 4	40	30	10	210	50	30	80	450
Sample 5	340	60	320	300	0	30	20	1,070
Sample 6	110	20	30	0	0	0	80	240
Sample 7	100	30	0	0	20	30	30	210
Sample 8	450	720	50	0	0	10	20	1,250
Sample 9	110	20	0	0	10	20	0	160
Sample 10	230	190	30	10	0	10	40	510
Sample 11	190	10	10	10	20	70	40	350
Sample 12	600	450	240	400	120	100	50	1,960

Fig. 5. Deflector Quantity Results

3D 모델링을 통한 시제품을 살수각도 시험에서 확인한 결과, 반경이 넓은 장점이 있으나 넓게 퍼지는 현상 및 위쪽으로 물 줄기가 뻗는 현상으로 인해 스프링클러헤드 아래쪽과 약 45° 각도 쪽에 물의 양이 적음을 확인하였다. 이는 적재물 쪽으로 소화용수가 많이 전달되지 못함을 나타낸다. 적재물 쪽으로 소화용수가 많이 방사되지 못하면 화재 소화에 장애가 되므로 본 연구의 목표인 진압패턴에는 적합하지 않다.

아울러 살수 각도 확인 시험에서와 같이 반경이 넓어지면 적재물에 집중 살수가 어려워지는 것을 나타내고 위쪽으로 물줄기가 방사되는 것은 화재가 발생한 부분으로의 소화용수가 그만큼 부족함을 의미한다. 또한, 디플렉터에 밴딩이 없으면 반경이 넓어져서 넓은 면적은 방호하지만 집중살수가 어려워지는 현상도 확인하였다.

한편, 적재물과 디플렉터 간의 수직 거리에 따른 살수패턴과 전면부 방호 및 적재물 전체 방호성능을 위한 실험을 수행하였다(Fig. 6), 실험결과, 적재물에서 스프링클러까지 거리가 450mm인 경우, 12번 시료가 적재물 바로 앞쪽으로 소화용수가 가장 많이 유입되었다(Fig. 7). 적재물에서 스프링클러까지 거리가 150mm인 경우 역시 12번 시료가 적재물 바로 앞쪽으로 소화용수가 가장 많이 유입되었다(Fig. 8).

실험결과, 살수반경이 넓으면 물입자가 작아져서 채수량이 감소하며 물입자가 상승화염에 침투하지 못하고 증발할 가능성이 커진다. 한편 상층부의 방호를 강조하면 하부방향의 수량이 상대적으로 감소하고 적재물이 없는 한 곳으로만 집중적으로 물이 분사되는 것을 확인할 수 있었다. 살수 성능실험결과를 토대로 12번 시료의 헤드를 선정하여 소화성능을 수행하였다(Fig. 9). 본 연구에서 개발한 헤드의 방사각도는 140°이며, 별도로 가연물과의 이격거리를 100mm에서 450mm까지 변화시키면서 실험한 결과, 450mm 이상의 이격거리를 확보할 때 개발된 헤드의 적정 방사패턴 구현이 가능함을 확인하였다.

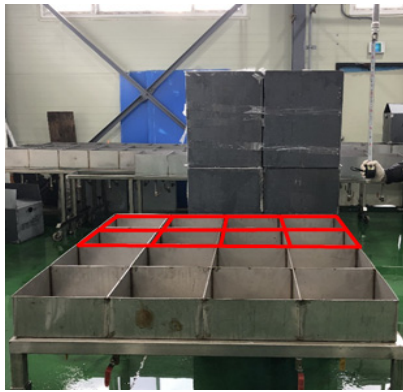
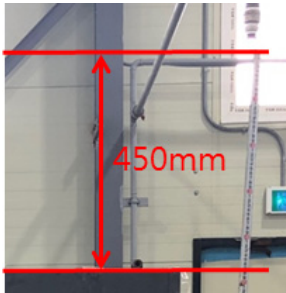
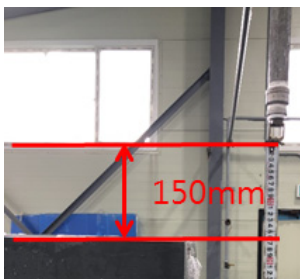


Fig. 6. Check the water of the eight water tanks on the front of commodity



Sample 1				Sample 5				Sample 9			
130	80	60	120	210	400	2260	510	50	50	110	970
100	60	230	380	580	620	100	160	90	220	170	880
Sample 2				Sample 6				Sample 10			
140	120	230	520	70	70	60	290	160	140	210	820
30	40	160	1250	100	120	1600	2140	80	80	340	980
Sample 3				Sample 7				Sample 11			
140	280	1060	490	110	70	100	160	100	70	80	110
180	250	220	150	80	40	160	120	80	70	80	140
Sample 4				Sample 8				Sample 12			
210	1420	400	110	350	400	1980	900	410	520	2000	1370
580	620	100	160	10	460	420	480	160	360	300	900

Fig. 7. Inflow of discharge water from the samples (distance : 450mm)



Sample 1				Sample 5				Sample 9			
200	120	80	150	80	300	860	750	100	80	100	880
100	150	360	650	120	860	430	320	120	160	1500	1750
Sample 2				Sample 6				Sample 10			
190	120	220	720	120	120	130	110	140	50	100	950
50	20	40	1420	130	230	3040	2120	50	30	400	1500
Sample 3				Sample 7				Sample 11			
190	220	560	1420	150	120	100	210	160	80	70	120
210	300	320	210	120	50	230	440	130	50	80	160
Sample 4				Sample 8				Sample 12			
200	560	520	130	260	300	320	1500	260	490	820	2450
300	830	360	140	50	200	440	800	60	180	520	980

Fig. 8. Inflow of discharge water from the samples (distance : 150mm)



Fig. 9. A developed head for test

소화성능시험

실험개요

본 연구에서 개발된 헤드를 사용하여 적재물의 방호성능을 확인하기 위한 실험실 화재 시험을 진행하였다(Fig. 10).



Fig. 10. CEP commodity for test

Fig. 11은 랙크 구조물 화재시험 개략도를 나타낸 것으로 CEP가연물이 대칭 구조를 이루기 때문에 전면 2개는 CEP가연물로 채우고 후면 2개는 철제 더미를 이용하여 실험을 수행하였다. 화원은 랙크 구조물 Flue 부분에 N-heptane 화원을 이용하여 실험을 진행하였다. 먼저 Flue 공간에 점화원을 두고 화재를 발생시킨 다음 폐쇄형 헤드의 감지시간을 기준으로 발화 후 4분 30초 시점에 Fig. 12와 같이 배치한 헤드를 개방하였다.

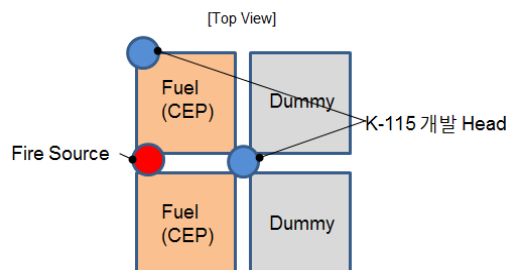


Fig. 11. Head and ignition source layout



Fig. 12. Test Head Location

실험결과 및 분석

1단 랙크 구조물의 Flue 부분에 점화한 이후에 개방형 헤드의 작동에 따라 화재진압성능을 확인하였다. 점화 후 1분 경과 시점에서 송기 공간 중앙으로 화염이 상승한 이후 2분 경과된 시점에서는 화염성장속도가 증가함을 알 수 있다.

점화 후 3분경과 시점에서는 Flue 부분 상단까지 화염이 도달된 것을 볼 수 있으며, 4분경과 시에는 화염이 1단 상단을 지나 급격하게 확산되었다. 4분 30초에 개방된 헤드에서의 집중 살수에 따라 화재는 약 5분경과 시점에서 적재물품이 모두 연소하기 전에 진압할 수 있었다. 물류창고의 화염확산속도는 발화위치와 적재물품의 종류 적재방식 등에 따라 다르게 되지만 화재진압여부는 헤드의 개방시점에서의 화재강도에 따라 결정되므로 조기감지방식을 채택하는 경우, 개발된 헤드의 화재진압성능은 더욱 높아질 것으로 판단된다(Fig. 13).

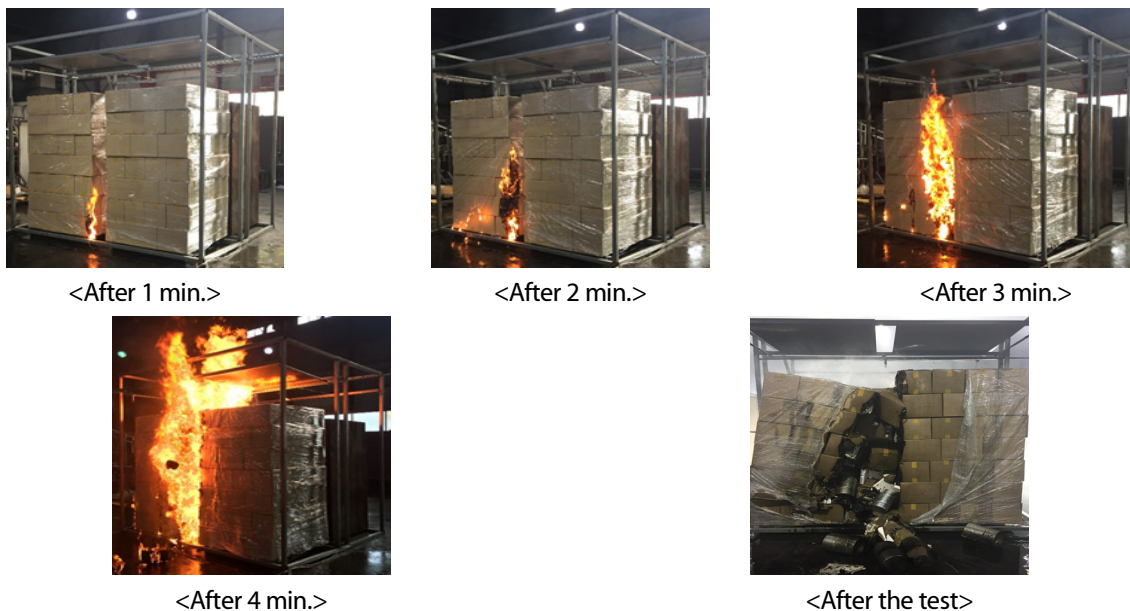


Fig. 13. Fire suppression test

결론

본 연구는 국내 적층형 대형창고의 화재진압을 위한 스프링클러 헤드를 개발하고 살수특성 및 소화성능 확인 실험을 수행하였으며 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 송기 공간의 화염상승 억제 및 랙크 적재물의 전면부를 보호하기 위하여 좁고 집중적인 살수형태를 가질 수 있도록 12가지의 디플렉터를 제작하고 각각에 대하여 방사패턴 및 살수각도를 비교 확인하였다.
- 2) 살수성능실험 결과, 살수반경이 넓으면 물입자가 작아져서 채수량이 감소하며 가연물 상층부 방호를 강조하면 하부방향의 수량이 상대적으로 감소하고 적재물이 없는 한 곳으로만 집중적으로 물이 분사되는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 소화성능실험은 최적의 방사특성을 가지는 12번 시료의 헤드를 선정하여 최소방수량 K-115 압력 1Bar의 조건에서 1단 소화실험을 진행한 결과, 중앙 및 좌우 총 3개의 헤드 방사 직후 적재물품을 전부 연소시키지 않고 화재를 제어함을 확인하였다.
- 4) 개발된 헤드의 방사패턴은 적재물 상단에서 디플렉터까지의 수직거리가 확보되어야 구현되므로 450mm 이격하여 가연물 외곽부분으로도 충분히 방사되도록 설치해야 한다.

향후 국내 적층형 대형창고의 화재진압을 위한 인-랙 스프링클러설비 설치기준의 제도적 도입과 시행이 진행될 필요가 있다.

Acknowledgement

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

References

- [1] An, B.-K., Kim, W.-H., Seo, D.-H., Ham, E.-G. (2019). "A Experiment of sprinkler system to protect Ceiling joints of sandwich panel warehouses." Journal of The Korean Society of Disaster Information, Vol. 15, No. 1.
- [2] Hong, S.-H. (2017). A Study on the Scientific Countermeasures by Analysis of Fire Propagation for Storage and Factory that is built of Sandwich Panel. National Fire Agency.
- [3] Kim, J.-H., Joung, W.-I., Myoung, S.-Y., Jeong, K.-S., Kim, W.-H. (2017). "Spray Characteristics of In-Rack Sprinkler Head." Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 3, pp. 54-62.
- [4] Myoung, S.-Y., Joung, K.-S. (2018). "Concentrated Watering Sprinkler System for Rack-type Warehouses." KOSHAM, Vol. 18, No. 5, pp. 105-111.