

랙크식 자동창고의 화재위험성 및 개선방안에 대한 연구

A Study on the Fire Hazard and Improvement Schemes of a Rack-type Automatic Warehouse

이유식* · 안영철*** · 남유진** · 유동균*** · 곽지현****
You-Sik Lee*, Young-Chull Ahn***, Yu-Jin Nam**,
Dong-Kyun You*** and Ji-Hyun Kwark****

(Received 12 November 2016, Revision received 08 June 2017, Accepted 09 June 2017)

Abstract: Recently, there has been increased demand for automatic warehouses with racks which are installed inside the warehouses to allow vertical loading of products or goods for space efficiency. Therefore considerations about fire hazards are extremely necessary. In this study, the fire hazard of automatic warehouse with racks was analyzed in the view of fire prevention engineering. It appeared its fire hazard was extremely high because of the undefined fire zones, the windowless floor, the large volume, the difficulty of extinguishment and the smoke emission in the view of building itself, and because of the fire hazard of load itself, the high fire load, and the chimney effect in the view of fire.

Key Words : Rack-type Warehouse, Automatic Warehouse, Fire Protection Engineering, Fire Dangerousness

1. 서 론

1.1 연구배경 및 연구목적

최근 한정된 토지자원의 활용 및 생활의 편의를 위하여 초고층 빌딩이 많이 건축되면서 이에 따른 기술도 비약적으로 발전되고 있다. 초고층 빌딩의 경우 아직까지 화재나 테러 등 위험 상황에 대한 안전성이 다소 부족한 상황이지만 이러한 문제점에 대해 심각성을 인식하고 다양한 연구 및 기술개발이 이루어지고 있다. 반면 단순히 물건을 보관하기 위한 창고 건축물도 초고층 빌

딩의 수요가 늘어나는 것처럼 내부에 랙을 설치하여 수직적으로 물건을 적재하는 자동창고가 급속도로 늘어나고 있고 규모도 커지고 있으나, 초고층 빌딩과 같은 관심과 기술개발은 미흡한 실정이다. 자동창고는 Fig. 1과 같이 좁은 토지위에 랙을 수직으로 설치한 후 물건을 다단으로 적재함으로써 토지를 효율적으로 사용할 수 있게 하고, 내부에 자동 크레인을 설치하여 원하는 곳에 물건을 적재하고 원하는 시기에 그 물건을 다시 반출할 수 있다. 또한 자재관리 및 인력운용이 매우 효율적이므로 현재 대부분의 제조공장 등에서

*** 안영철(교신저자) : 부산대학교 건축공학과
E-mail : ycahn@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-2492

*이유식 : (주)유일방재엔지니어링

**남유진 : 부산대학교 건축공학과

***유동균 : 부산금정소방서

****곽지현 : 방재시험연구원

*** Young-Chull Ahn(corresponding author) : Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

E-mail : ycahn@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-2492

*You-Sik Lee : Yoo Il Bang Jae Engineering Co., Ltd.

**Yu-Jin Nam : Department of Architectural Engineering, Pusan National University.

***Dong-Kyun You : Busan Gemjeong Fire Station.

****Ji-Hyun Kwark : Fire Insurers Laboratories of Korea.

자동창고를 신축하거나 기존의 수동창고 대신 자동창고를 건축하고 있다. 그러나 이러한 자동창고는 수동창고에 비해 기계시설이나 전기시설이 많이 설치되어 발화의 위험성이 높고, 화재발생시 화재하중이 매우 높으며, 대부분의 경우 무창층의 특징이 있어 대피 및 소화활동의 어려움이 있다.



Fig. 1 Structural view of rack type warehouse which is under construction

자동창고의 화재 발생 시 초기 화재 진압에 실패하여 화재가 성장하면 내부 적재물에 의한 높은 화재화중으로 인해 재산 손실 및 영업의 연속성에 대한 피해, 인명피해와 함께 건축물 자체의 붕괴 위험성까지 있다. 하지만 현행 소방관련 법규상 소방시설의 적용은 대부분 면적과 층수로만 제한을 하고 있어 같은 면적의 수동창고에 비해 자동창고는 그 물품의 적재량이 수백에서 수천배 이상 많음에도 불구하고 몇몇 소방시설을 제외하고는 수동창고와 동일한 소방시설이 적용되고 있는 실정이다.

한국물류협회의 물류창고 안전관리 길라잡이¹⁾의 조사에 인용된 화재 통감에 따르면 물류창고 건축물의 화재 건수는 전체화재의 2.8% 정도를 차지하며, 주요 화재 발생 요인은 부주의, 전기적 요인, 미상 등의 순으로 나타난다. 비율로만 보면

그리 큰 비중은 아니지만 효율적인 물류활동을 위하여 점점 대형화되고 있는 창고시설을 생각하면 결코 무시할 수 없는 수치이다.

따라서 본 연구의 목적은 날로 늘어가는 자동창고와 관련된 선행연구 분석을 통하여 자동창고의 특징을 이해하고 방화공학적 분석을 통하여 화재위험성을 고찰하며, 이에 대한 개선방안을 제시함으로써 랙크식 자동창고의 화재위험성에 대한 안전성 확보에 기여하고자 한다.

1.2 선행연구 분석

본 연구에서 대규모의 물품을 저장하는 창고시설의 화재안전에 관한 선행연구는 대공간의 화재특성, 물류창고의 화재특성, 랙크식 창고의 화재특성으로 대별하여 분석해 보았다.

1.2.1 대공간 화재특성에 관한 선행연구 분석

랙크식 자동창고는 일반창고와 같은 대공간의 특성을 가진다. 그러므로 대공간의 화재특성과 연기의 거동을 이해하게 되면 랙크식 자동창고에도 적용이 가능하다. 연기의 축적에 관한 연구로 Kim et al.²⁾은 “대공간에서의 연기축적에 관한 연구”에서 대공간에서의 화재발생에 의한 연기거동을 측정하고 이론적인 모델에 의한 계산결과와 비교하였다. 적은 규모의 공간에서는 이론 예측값과 실험치가 비교적 잘 일치하였지만, 공간이 큰 경우 화재초기에서 실험치와 예측치가 잘 일치하지 않았는데, 그 원인은 연기의 유동에 따른 효과를 고려하지 않은 이론적 모델의 특성이 거론될 수 있고, 시간에 따른 화재의 열방출을 변화를 고려하지 않은 계산으로부터 기인됨을 알게 되었다. 랙크식 자동창고는 일반 대공간 구조에 비해 화재 하중이 매우 높아 연기 발생량이 수십 배까지 발생할 수 있으므로 초기 화재 시에는 본 연구의 결과를 참고할 수 있을 것이다.

이러한 연기발생으로 인한 초기 화재 감지를 위한 연구로 Cho et al.³⁾은 “개방형 적외선분광분석기를 활용한 대공간 화재독성가스 검출기술 연구”에서 개방형 적외선분광분석을 통해 연소가스를 분석한 결과, CO, CO₂, HCl 가스의 검출 및 정

량 분석을 시도하였으며, 이를 통해 대규모 화재 실험 또는 실제 화재에서 발생하는 독성가스의 분석이 가능함을 입증하였다. 대공간에서 발생하는 실시간 분석은 시간-농도 그래프의 적분을 통해 발생한 가스의 적산량을 계산할 수 있으며, 유독한 가스의 대공간 적산량은 %농도를 넘기 때문에 피난시 치명적인 영향을 주며, 이러한 분석은 실화재 규모에서 최초로 시도되었다. 특히 이러한 분석법은 화재생성가스 및 대공간의 미지가스 분석에 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대되며 향후 대공간 특성을 가진 랙크식 자동창고에서도 적용될 수 있을 것으로 보인다.

대공간의 연기거동에 관한 최근 연구로 Kim and Kim⁴⁾은 “실규모의 실험용 대공간에서 연기유동에 대한 수치해석적 분석”에서 전산유체역학을 바탕으로 하는 수치해석 기법을 적용하여 스페인에서 수행된 실규모 실험과 수치해석의 결과를 비교하여 분석한 결과, 비교적 유사한 추이를 보이고 있음을 확인했다. 그러므로 추후에도 대공간 건축물의 연기유동 해석과 효과적인 연기제어 시스템 개발 시 이러한 수치 해석 방법이 사용될 수 있을 것이다. 또한 연기제어의 인자 중 일부인 배연구 위치와 배연량의 변화도 분석하여 추후 대공간에 축연된 연기의 배연에 관한 연구에 활용할 수 있을 것으로 보인다.

또한 한국건설기술연구원은 “대공간의 대용량 연기제어 설비기술 개발” 2차년도 보고서⁵⁾에서 신개념 평가기준으로 배연효과의 정량적 지표를 제시하였고 대공간 연기제어 시스템의 설계 시나리오를 정립하여 해당 핵심기술을 전문기업을 대상으로 기술이전을 하였다. 또한 현장 Case Study를 통하여 대공간 연기제어 설계개념과 상세 설계도서를 분석하여 연기제어 시나리오 적용 수치해석 수행 및 배연효과를 분석하였다. 그리고 기존의 방화셔터 위주의 설비에서 효율적이고 경제적인 대공간 연결공간의 신개념 방연설비를 제시하였다. 이러한 결과를 활용하면 대공간에서의 적절한 크기의 배연창의 설치를 통해 화재발생시 연기를 효율적으로 방출할 수 있는 근거가 될 것으로 생각된다.

한편 이러한 대공간에서도 성능위주설계의 도입이 필요한데 Park⁶⁾은 “대공간 구조물 화재 위험성 평가 적용 사례”를 통해 대공간 건축물에서 화재 시뮬레이션 및 피난 시뮬레이션을 통해 성능위주설계를 실시하였고, 이로 인해 전층 화재확산 및 피난 시뮬레이션 수행, 방화셔터 제외 여부에 따른 안전성 확인(최소한의 방화셔터 적용가능), 보이드(Void)를 통한 연기배출 성능확인(Smoke Spill System)등을 검증하였다. 이러한 결과를 통해 대공간에서 성능위주설계를 통한 실시설계의 검증을 진행할 수 있을 것이다.

이렇게 대공간의 특성에서는 연기의 거동 및 이에 따른 배연성능의 검증이 가장 중요한 요소인데 Kim과 Ahn⁷⁾은 “대공간의 기계배연 시스템에 대한 설계 및 수치해석적 분석”을 통해 실제 대공간 규모의 해석모델에 대해서 현재 제시되어 있는 설계기준을 근거로 대공간의 기계배연 시스템에 대해 설계를 수행하고, 3차원 수치해석 기법을 활용하여 설계안에 대한 수치적 분석과 설계안의 배연량을 변경해 가며 수치해석을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 연기층 두께, 발열량, 플럼의 질량유량, 공급공기의 속도, 배기구 1개당 최대유량 및 배기구간 최소거리 등의 주요 설계인자를 반영하여 설계를 수행한 결과 대공간의 건물높이가 25 m이고 정상성상의 발열량이 5,275 kW인 경우 전체 배연량은 527,459 CMH로 계산된다. 그리고 기계배연 시스템에서 배연량이 감소하면 연기층 높이가 낮아지고 연기층의 온도가 상승함을 확인할 수 있었다. 결과로 주어진 데이터를 통해 대공간에서의 배연성능의 검증을 위한 자료로 활용이 가능할 것이다.

1.2.2 물류창고의 화재특성에 관한 선행연구 분석

랙크식 창고의 화재 위험성은 물류창고로서 내부에 많은 화재하중을 가지는 것에 기인하는데 이러한 물류창고의 위험성이 부각된 것은 비교적 최근부터이다. Kim et al.⁸⁾은 “물류창고 화재분석을 통한 화재안전관리방안 연구”에서 2008년 12월 5일 경기도 이천시 소재의 물류창고 화재사고

에 대한 화재원인 및 화재확대요인을 검토하고, 재발방지를 위한 대책을 제시하였다. 화재원인 검토결과 용접작업 실화에 의한 화재로 벽체패널인 샌드위치패널과 문틀형강을 접합하던 중 용접작업시 발생하는 불티 또는 고열에 의해 벽체패널 내부의 스티로폼 및 우레탄폼이 착화된 것으로 추정하였다. 화재확대요인은 화재에 취약한 스티로폼 및 우레탄폼 재질의 샌드위치패널 사용과 소방설비의 인위적 기능해제로 판단했다. 이번 사고와 같은 재난을 예방하기 위해서는 급격한 연소확대 특성을 갖는 스티로폼 및 우레탄폼 재질의 샌드위치패널 사용금지, 소방설비의 기능해제에 대한 감시와 처벌강화, 안전관리체계 및 안전규칙 준수여부에 대한 관리 강화가 필요하다고 주장하였다. 직접적인 화재원인이 건축 내장재의 불연화가 이루어지지 않아 발생된 것임을 확인할 수 있으므로 건축물의 내장재의 불연화 부분의 좀 더 강한 규제가 필요할 것으로 보인다.

이렇게 화재 하중이 높은 특성에 대한 연구로 Kim et al.⁹⁾은 물류창고 중에서 화재 하중이 매우 높은 의류 물류 모델을 선정하여 실물화재실험을 실시하여 교량 하부 화재 발생원에 대한 내화방안 및 기준 수립에 기초자료로 제공하고자 하였다. 실물 화재실험은 10 MW 규모의 Large Scale Calorimeter에서 그라스울 샌드위치 패널을 사용하였고 단위 의류 창고 모델을 제작하여 열방출률, 연기발생률, 유독가스 발생량(CO, CO₂)을 측정하였다. 실험결과 열방출률은 최대 약 5,040 kW, 연기발생률은 최대 약 103 m³/s, CO 발생량은 최대 약 495 ppm, CO₂ 발생량은 최대 약 0.64 %로 나타남을 확인하였다. 또한 이러한 실물 화재 시험으로 Kweon et al.¹⁰⁾은 “창고 모델 실물화재 특성에 대한 실험적 연구”에서 창고 화재 사고의 위험성을 파악하기 위해서 중규모 실물 화재 실험 장비인 룸코너 시험기(Room Corner Tester)를 통해 구축된 단위 구성품의 화재 특성 DB를 바탕으로 화재에 취약할 것으로 판단되는 의류 창고를 실험 모델로 구성하여 실물 화재실험 장비인 Large Scale Calorimeter에서 실물 화재실험을 실시하였다. 창고 모델의(3 m×3 m×2.4 m) 벽체는 불연등급의

그라스울과 일반 스티로폼 샌드위치 패널로 구성하였다. 실험결과 최대 열방출율은 그라스울 샌드위치 패널 창고모델에서 5 MW, 스티로폼 샌드위치 패널 창고모델에서 11 MW를 나타내었다. 특정 케이스지만 구체적인 수치가 제시되었기 때문에 유사한 사례에 대해서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

이러한 물류창고의 화재시 실제적인 화재진압에 관한 연구로 Lim¹¹⁾은 “부주의가 부른 물류창고 화재의 진실”에서 2008년 12월 5일 발생한 이천 물류창고 화재사고에 대한 분석을 실시하며 효과적인 화재진압 방법으로 천공 개방의 효과를 시뮬레이션으로 검증 하였다. 실제 화재 진압과정에서 화재 발생 창고 천정에 9개소를 천공하여 연기의 배출을 유도하여 소화약제를 투입하였는데 이에 대한 효과를 천공 미개방, 화재 초기 천공, 화재 중기 천공, 화재 말기 천공으로 각각 나누어서 시뮬레이션 검증을 실시한 결과 물류창고 화재 진압을 위한 천공 개방은 화재 진압 및 위험요인 감소에 매우 효과적인 것으로 확인이 되었다. 그러므로 건축법 개정을 통하여 대규모 물류창고나 랙크식 창고에서는 화재발생시 진압을 위해 소방대에 의해 파괴가 쉬운 천공을 설치하는 것을 규정하는 것이 필요하다.

또한 물류창고에 대한 소방시설의 설치기준 개선을 위하여 한국화재소방학회는 물류창고의 화재 관련 특성 및 위험성 분석, 자동식 물류창고의 소방 기준 개선안 수립, 저온창고(냉장, 냉동창고)의 소방시설 설치 기준 개발 등의 보고서를 작성하여 해당 내용의 전반적인 조사 및 분석과 개정법규 안의 제시, 기술적 부분의 개선안을 제시하며 각종 문제점들을 확인하고 분석 하였다.¹²⁾ Ha et al.¹³⁾은 철골 구조나 샌드위치 패널의 사용을 지양하고, 부득이 사용할 경우에는 화재내력을 증가시키는 내화재료의 피복이나 마감, 내화성이 있는 패널의 사용 등 방재측면을 고려한 건축구조로 설치, 대형창고 및 랙크식창고의 특성에 맞는 감지 및 소방시설의 설치로 신속하게 작동하는 방재시설의 유지, 그리고 시큐리티시스템을 통합한 방재통합관리가 필요하다고 주장하였다. 이러

한 연구결과를 통하여 화재안전기준 등의 지속적인 개선에 필요한 근거가 제시될 것으로 보인다.

1.2.3 랙크식 창고의 화재특성에 관한 선행연구 분석

실질적으로 랙크식 창고는 일반 물류창고와는 달리 랙으로 구성되어 각 랙마다 물품이 저장되게 되는데 Kim et al.¹⁴⁾은 창고의 구조는 층고가 높고 가연물이 수직형태로 저장되므로 화재 시 수직 연소 확대가 무척 빠른 특성이 있으며, 랙과 랙 사이의 충분한 환기공간과 저장물과 랙 사이의 공간이 화재 시 유입공기의 공급을 원활하게 하여 연소 확대를 빠르게 하는 요인으로 작용하여 화재 시에는 거의 진압이 불가능하게 되므로 랙크식 창고에 표준형 헤드를 랙과 천장에 각각 설치하기도 하였으나, 빠르게 확대되는 수직화염을 진압하기에는 역부족이라고 주장했다. 그래서 화재 초기에 화재 확산을 효과적으로 방지할 수 있는 스프링클러헤드 개발을 위한 저장 창고의 특성분석 및 성능시험 방안을 수립하여 헤드 시험방법 및 성능 요건을 연구하여 저장 창고 화재 특성에 적합한 헤드에 대한 주요 사항 및 성능기준을 제시하고 헤드의 성능을 검증하였다.

또한 랙크식 창고의 특수성에 대한 분석으로 Lee¹⁵⁾는 수직적으로 물품을 적재하여 높은 화재하중을 가지는 자동창고의 화재안전을 위하여 적용되는 소방시설과 이에 대한 문제점을 살펴보고 개선방안을 제시하였다. 그 내용으로는 매우 높은 화재하중을 가지는 점과 층수와 연면적을 기준으로 소방시설이 적용됨에 따라 소규모 자동창고에는 스프링클러가 적용되지 못하는 점의 대안으로 성능위주설계를 실시할 것을 제안하였고, 방화구획의 미비로 인해 수막설비나 방화스크린 등의 설치를 제시하였다. 그리고 4 m, 6 m의 높이로 규정한 스프링클러 헤드의 설치 위치를 랙 단마다 설치할 것을 주장하였다.

그리고 랙크식 창고의 효율적인 화재진압을 위해 Kim et al.¹⁶⁾은 물류창고는 보관물품에 따라 화재 확산율 및 열방출율이 다르고 저장높이, 랙크 배치, 통로폭, 물품의 양 등에 따라서 화재위험성

이 결정되며, 고 천정화에 따른 화재하중의 증가로 인하여 자동식 스프링클러설비가 작동하여도 가연물에 직접적인 침투효과에 한계가 있고, 화재감지기의 작동시간이 지연됨으로 인해 초기소화에 실패할 확률이 높아지게 됨을 분석하였다. 그리고 이를 위하여 화재사례 및 국내외 관련 규정 비교 그리고 현장조사 등을 수행하여 랙크식 창고의 초기소화 및 제어성능을 확보하기 위한 수용물품의 위험도 분류 및 스프링클러 설치기준 개선방향과 화재피해를 최소화하기 위한 제도적 도입을 제안하였다.

이러한 기존 선행연구들에서 물류창고의 전반적인 안전관리에 관한 개념을 정립하거나 화재발생시 사용되는 스프링클러나 자동화재탐지설비의 개선방안에 대한 연구가 진행되었으나, 화재가 속도와 화재하중이 가장 높은 랙크식 자동창고에서의 화재예방, 화재발생시 소화활동, 평상시 유지관리 등 전반적인 의미의 소방활동 계획 수립에 필요한 방화공학적 특성의 연구 및 개선방안에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

2. 자동창고의 방화공학적 특성 분석

특정소방대상물의 방화공학적 특성을 통해 화재안전성을 검토하기 위해서는 일반적으로 세 가지 측면으로 분석하게 되는데, 건축구조적 특성, 화재 특성, 재실자의 특성이 그것이다. 하지만 대부분의 기능이 자동화가 가능한 자동창고라는 건축물의 특성상 재실자는 소수의 관리자만이 근무를 하게 되고, 이들은 내부구조에 익숙하고 비상사태 발생에 대한 행동지침을 알고 있다고 판단되므로 재실자의 특성에 대한 검토는 본 연구에서 제외하였다.

2.1 자동창고의 정의

자동창고(Automated Storage & Retrieval System)는 화물을 격납하는 랙을 입체적으로 고층화하여 공간 격납효율을 높인 것으로, 한국산업표준 KS B 6706:2011¹⁷⁾에 따르면 Fig. 2와 같은 고정식 다단 랙과 Fig. 3과 같은 스테커 크레인, 입·출고용

장치 및 이들을 제어하는 제어용 컴퓨터로 구성된다. 다시 말해 자동창고란 단순히 일부분이 기계화된 기계식 창고와는 달리 모든 작업이 자동화 되어 있는 창고이다. 본래 자동창고는 입하·입고·저장·출고 등 작업 일체가 무인으로 행해지는 창고로서 설비보수를 위한 부분에서만 종업원을 필요로 한다. 그러나 이러한 완전 자동화 창고는 설비비가 너무 높아 구현된 사례가 많지 않으며, 실제로는 창고작업의 대부분을 자동화한 경우 또는 컴퓨터와 고층 랙을 이용하여 트럭의 입출고를 무인화하고 있는 창고를 자동창고라고 하는 경우가 많다.

2.2 소방법규상의 자동창고의 의미

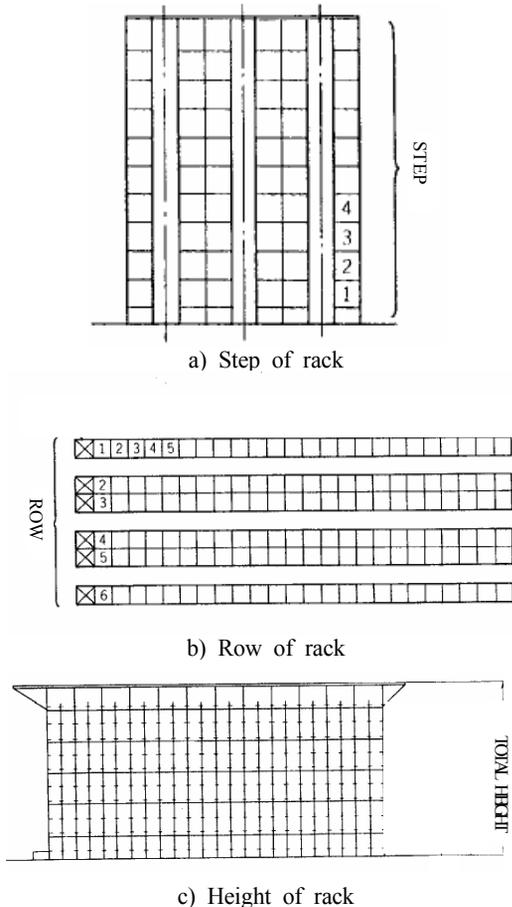


Fig. 2 Type of a rack system

스프링클러설비의 화재안전기준(NFSC 103) 해설서¹⁸⁾에 의하면 대부분의 자동창고는 랙크식 창고를 의미하며, 이러한 랙크식 창고는 “반자(반자가 없는 경우에는 지붕의 옥내에 면하는 부분)까지의 높이가 10 m를 넘는 것으로 선반 또는 이와 유사한 것을 설치하고 승강기 등에 의하여 수납물을 운반하는 장치를 갖춘 창고를 말한다”고 되어 있다. 즉 바닥으로부터 창고의 처마까지의 높이가 10 m 이상이며, 자동운반장치를 갖춘 자동창고만을 규정하였다. 그러나 2013년 1월 9일 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령의 개정으로 랙크식 창고의 의미가 “물건을 수납할 수 있는 선반이나 이와 비슷한 것을 갖춘 것을 말한다”로 변경됨으로 인해 현재 소방법규상 자동창고는 승강기 등을 갖추고 있지 않더라도 물건을 수납할 수 있는 선반 등을 갖춘 경우라면 랙크식 창고, 즉 자동창고로 분류된다.

소방법규상 랙크식 창고에서 스프링클러 설치 대상은 연면적 1,500 m² 이상에 해당이 되지만, 2014년 7월 7일 법규 개정으로 지붕 또는 외벽이 불연재료가 아니거나 내화구조가 아닌 랙크식 창고로서 연면적 750 m² 이상인 경우에도 스프링클러를 설치하도록 개정되었다. 이처럼 정부기관에서도 자동창고의 위험성을 인식하여 지속적으로 법규를 개정하여 소방시설의 설치에 관한 규제를 강화하고 있는 실정이다.

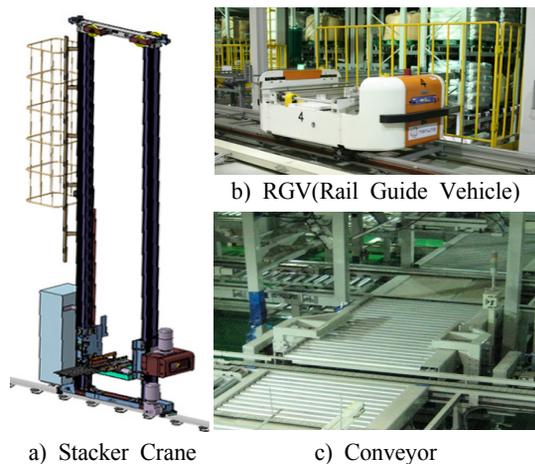


Fig. 3 Photos of a stacker crane, a RGV and a conveyor

2.3 자동창고의 건축구조적 특성

자동창고는 대공간적인 특성과 무창층의 특성을 가지며, 내부 재실자의 편의성보다는 물품의 보관이 주요 목적이므로 대부분 철근콘크리트의 구조보다는 철골조 구조로 설치가 되고, 외벽 및 천정은 판넬로 마감이 된다.

자동창고의 건축구조적 특징으로 첫 번째는 수동적 방화기능이 역할을 하지 못하는 점이다. 일반적으로 단층임에도 불구하고 내부에 랙과 크레인의 설치 및 이동, 내부 물품이동을 위한 레일 등이 설치됨에 따라 높은 층고와 넓은 내부 구조를 가지게 되는데, 이러한 구조는 방화구획의 설치가 불가능하게 되어 수동적 방화능력이 없는 구조가 된다. 방화능력은 화재를 감지하고 이를 초기에 진화하거나 소방대의 진입 및 소화활동을 원활히 할 수 있도록 돕는 능동적 방화와 화재가 원천적으로 발생되지 않도록 건축 마감재 또는 주요 구조부를 불연재료로 사용하거나 화재가 발생되어도 연기와 화염이 다른 지역이나 다른 용도상의 구획으로 확대되지 못하도록 하는 수동적 방화로 구분되는데 자동창고에서는 이러한 수동적 방화의 기능이 역할을 하지 못하게 된다.

건축법 제49조(건축물의 피난시설 및 용도제한 등) 제2항에 따라 대통령령이 정하는 용도 및 규모의 건축물에는 방화구획을 설치하도록 하고 있고, 동법 시행령 제46조(방화구획의 설치)에서는 주요 구조부가 내화구조 또는 불연재료로 된 건축물로서 연면적 1천 제곱미터를 넘는 것은 방화구획을 설치하도록 정하고 있으나, 제2항에서 방화구획을 적용하지 아니할 수 있는 예외규정을 정하고 있는데, 제2항 제2목에 따라 물품의 제조·가공·보관 및 운반 등에 필요한 고정식 대형기기 설비의 설치를 위하여 불가피한 부분에는 방화구획의 설치가 면제된다. 따라서 창고 건축물의 경우 대부분이 건축법시행령 제46조 제2항 제2목에 따라 방화구획의 설치가 면제됨에 따라 화재 발생 시 창고 내부의 급속한 확대를 막을 수 있는 수동적 방화가 불가능하게 된다.

두 번째 특징으로는 대공간의 구조와 형태를 가지게 되는데 일반적인 형태의 대공간 구조와는

달리 자동창고의 경우 랙에서의 수직적인 물품적재로 인해 천정 근처의 상부 랙에서 화재가 발생할 경우에는 천정의 주요 구조부가 직접적인 화염에 노출되고 천정부 온도 상승에 의해 구조적 역할을 못하게 되면 천정부의 붕괴로 이루어질 수 있다. 일반적인 형태의 대공간 구조는 내부 개방감을 위한 넓은 공간으로 바닥면을 직접 사용하고 있으나, 자동식창고는 바닥면에서 수십미터의 높이로 랙이 설치됨에 따라 화재 발생 시 화염이 직접적으로 상부 구조부에 영향을 미치게 된다.

세 번째 특징으로 창고 건축물의 경우 대규모 창고일수록 무창층의 특징을 가지게 된다. 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제2조(정의) 제1항에서 정하고 있는 무창층이란 지상층 중 다음 각 목의 요건을 모두 갖춘 개구부(건축물에서 채광·환기·통풍 또는 출입 등을 위하여 만든 창·출입구, 그 밖에 이와 비슷한 것을 말한다)의 면적의 합계가 해당 층의 바닥면적(「건축법 시행령」 제119조 제1항 제3호에 따라 산정된 면적을 말한다)의 30분의 1 이하가 되는 층을 말한다.

이러한 무창층의 특징을 가지게 되면 화재 발생시 채광이 충분히 확보되지 않아 피난 및 소화활동에 어려움이 있고 연기의 배출이 어렵기 때문에 소방관련 법규에서는 무창층일 경우 무창층이 아닌 특정소방대상물에 비해 좀 더 강화된 소방시설을 요구하고 있다.

네 번째로 자동창고의 건축구조물 자체는 대공간의 구조를 가지는 단순한 내부형태를 가지게 되나 내부에 여러 단의 수직 랙과 크레인이 설치됨으로 인해 자동창고 내부에서 소화활동이 어렵게 된다. 이는 초기 소화활동이 실패할 경우 소방대의 진입에 의해 화재 진압이 이루어져야 하는데, 내부구조에 익숙하지 않은 소방대의 활동이 어려워 화재 진압이 쉽지 않음을 의미한다. 또한 출입구가 출하실이나 유지관리를 위한 일부 출입문으로 한정되어 외부에서 내부로 출입 또한 쉽지 않은 경우가 많다.

마지막으로 연기의 배출이 어려운 구조로 되어 있다. 평소 환기를 위한 일부 창과 내부 공기가

자연적으로 배출되는 시설이 대부분 천정부에 설치되지만, 화재 시 발생하는 연기를 배출하기에는 환기량이 매우 부족하여 제대로 배출되지 못하고 천정에 축연되게 된다. 이로 인해 천정에 설치된 조명설비가 연기에 의해 가려지게 되어 내부의 조도가 확보되지 않아 매우 어두운 상황이 되므로 소화활동 등에 어려움을 초래하게 되며, 축적된 연기로 인해 화점을 파악하기가 어려워 화재진압도 매우 어려워진다.



Fig. 4 A photo of fire in automatic warehouse

2.4 자동창고의 화재 특성

자동창고에서의 화재는 매우 큰 화재화중에 의해 화재 발생 시 급격히 확대되는 특징을 가진다. 이는 수용물품의 양이 일반적인 수동창고에 비해 매우 많고 랙과 랙 사이에 연돌효과가 발생하여 급격한 연소의 확대가 이루어지며, 위에서 살펴본 건축구조적 특성에 따라 수동적 방화가 취약함에 따라 발생한다.

자동창고 화재의 특성으로 첫 번째는 적재물품 자체의 화재특성을 들 수 있다. 자동창고에 저장되는 물품은 일반적으로 산업공정에 따른 원자재, 부자재, 완성품 등으로 분류가 될 수 있고 이러한 저장 물품 등은 초기 착화는 어려우나 일단 착화가 되면 화재 강도가 매우 크고 많은 양의 유독성 가스를 배출하게 된다.

두 번째는 매우 큰 화재하중인데, 화재하중이란 주어진 지역 내에서의 예상 최대가연물질의 양으로서 일반적으로 건물 내에 있는 가연성 구조체와 가연성 물품의 양을 말하며 단위 바닥면적에 대한 등가 가연물의 값(kg/m²)을 말한다. 이러한 화재하중은 설계 시 건축물에 어느 정도의 내화도를 유지시킬 것인지 등을 결정하기 위한 기초 자료로 사용되며 화재의 크기를 판단하는 기준(소화수 주수시간을 결정)이 된다. 이와 같이 창고 중 수직적으로 물품을 적재할 수 있는 자동창고는 그 화재하중이 일반적인 건축물에 비해 수배에서 수십 배 이상 높아 매우 큰 화재로 확대될 수 있는 특성을 가진다.

세 번째로 랙 사이에 연돌효과가 발생되어 상부로의 연소가 급격히 확대된다. 연돌효과는 건축

물 샤프트(계단실, 엘리베이터 샤프트, 덤웨이터 샤프트, 기계실 샤프트 등) 내에서 상승기류가 형성되는 현상으로 건축물 내부의 공기가 외부의 공기보다 따뜻하고 밀도가 낮기 때문에 부력을 가지게 되어 발생하는 현상이다. 자동창고의 경우 수직랙 사이에서 이러한 연돌효과가 발생되어 상승기류가 형성되므로 화재 발생 시 상승기류에 의해 화원에 충분한 산소가 공급되고 상부로 화염과 연기가 전파되어 급격한 연소확대가 이루어지게 된다.

이러한 문제점들은 Fig. 4와 같이 최근 발생한 대전 아모레퍼시픽 물류창고 화재(2014), 한국타이어 창고화재(2014), 군포물류창고 화재(2014) 등에서 여실히 나타나고 있다.

3. 개선방안 제시

3.1 성능위주설계방식의 적용

화재안전, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 제2조의 2(성능위주설계를 하여야 하는 특정소방대상물의 범위)에 따르면, 성능위주설계를 해야 하는 특정소방대상물이 규정되어 있는데, 그 대상을 용도별로 구분하기는 하나 단순히 면적과 층수 및 높이로만 정하고 있다. 따라서 자동화창고와 같이 내부의 랙이 수직적으로 높은 경우에는 연면적은 상대적으로 작게 되므로 성능위주 소방설계의 대상이 되는 경우는 거의 없게 되어 자동창고의 특성이 반영되지 못하는 설계가 된다.

미국의 경우 International Building Code(2012)¹⁹⁾에 따라 스프링클러 설치 시 미국방화협회의 NFPA 13(2010)²⁰⁾에 의해 설치하도록 하고 있는데, NFPA 13의 ‘5.1 용도분류’에서는 화재하중 및 위험도에 따라 5가지의 그룹을 나누고 해당 그룹에 맞게 최소한의 살수밀도를 정하고 있어 간접적인 형태의 성능위주 설계방식을 적용하고 있다. 또한 NFPA 13의 제12장~제21장에는 랙크식 창고나 타이어창고 등 화재하중이 매우 높은 시설에 대한 스프링클러설비의 규정을 하고 있는데, 물품의 적재방식, 적재된 물품의 높이, 층수에 따라 다양한 살수밀도를 제시하고 있다. 그러므로 설계자는 이러한 살수밀도에 맞게 해당 대상물의 최적화된 설계가 가능하다

우리나라에서 화재안전기준에 의해 설계되는 스프링클러의 경우는 건축물의 용도나 규모, 화재 위험성에 따라 스프링클러헤드의 반경이나 수원의 용량 등에 일부 차등을 두고는 있지만, 이는 급격히 변화하는 산업환경에서 다양한 대상물에 적용하는 것에는 무리가 있으므로 이러한 성능위주설계를 도입함으로써 상당부분 화재방호능력을 향상시키는 데 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 방화구획 면제에 따른 대응시설 적용

“건축법 제49조(건축물의 피난시설 및 용도제한 등) 제2항”에 따라 대통령령이 정하는 용도 및 규모의 건축물에는 방화구획을 설치하도록 하고 있고, “동법 시행령 제46조(방화구획의 설치)”에서는 주요구조부가 내화구조 또는 불연재료로 된 건축물로서 연면적 1천 제곱미터를 넘는 것은 방화구획을 설치하도록 정하고 있다. 그러나 방화구획이 설치되지 못하는 장소에서는 방화구획에 대한 예외규정을 정하고 있는데, 제46조 제2항 제2목에 따라 물품의 제조·가공·보관 및 운반 등에 필요한 고정식 대형기기 설비의 설치를 위하여 불가피한 부분에는 방화구획의 설치가 면제된다. 이 조항에 따라서 자동창고 내부에는 크레인 운행되므로 방화구획이 면제가 되는데, 이는 수동적 방화능력 중 가장 큰 부분을 차지하는 연소의 확대 방지능력이 없음을 의미한다.

하지만 이러한 방화구획이 자동창고라는 본연의 기능유지를 위하여 면제가 불가피하다고 본다면 이에 대한 대응시설을 추가로 설치하는 것을 고려해야 한다. 자동창고와 같은 대공간 구조물에 랙과 랙 사이에 크레인이 운행되는 공간인 경우라면 수막설비나 방화셔터의 성능이 있는 차단막 등을 설치하여 자동화재탐지설비의 작동 시 랙크식창고 내부를 설정된 구역에 맞게 방화구획을 형성 하게 되면 연소의 확대 및 연기의 이동을 억제시키는 효과가 발생하여 수동적 방화기능(Passive fire protection)을 상당 부분 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 화재발생 부분을 구획함으로써 화재가 발생되지 않은 부분의 스프링클러 헤드 열기에 의해 개방되는 것이 방지되어 소화수원이 좀 더 효과적으로 사용될 수 있다.

3.3 화재발생시 연기배출을 위한 배연설비의 적용

자동창고의 경우 환기를 위한 자연식 환기 모니터링 되어 있지만 소방시설인 제연설비는 설치가 되어 있지 않아 화재발생시 발생한 연기가 천정부에 축연되게 된다. 이로 인해 조명기구가 연기에 가려져서 바닥면의 조도가 매우 낮아짐에 따라 소방대의 진입이 어렵게 되고, 천정부의 축연이 계속되게 되면 화재가 발생되지 않은 다른 부분의 적재물품 및 크레인등도 연기에 의해 손상될 수 있다.

그러므로 자동창고의 경우 사람이 거주하지 않는 공간이어서 소방시설인 제연설비를 설치하는 것은 비경제적일 수 있으므로 화재발생시 상부의 창이 자동으로 열리게 되는 배연창 등을 설치하여 연기를 외부로 배출시키는 방안의 법제화가 필요하다. 이때 연기가 외부로 배출되면서 연돌효과 발생이 가속화 될 수 있지만 연기로 인해 발생하는 피해가 더 크므로 배연설비의 설치는 필수적이라고 본다. 또한 화재발생 시 소방대가 소화수 또는 소화약제를 투입하기 위하여 천정을 일부 파쇄해야 하는데 배연창이 설치됨으로 인해 천정부에 구조적인 훼손 없이 소화활동이 가능하게 된다. 이러한 배연창은 평상시에는 닫혀 있다

가 자동화재탐지설비의 동작에 의해 열리는 구조로 설치되어야 하며, 천정부에 설치되는 위치적 특성상 자동으로도 닫힐 수 있는 장치가 함께 설치되어야 한다. 이는 소방관련 법규사항이 아닌 건축법 관련사항이므로 건축관련법규와 소방관련 법규가 공통된 목적 아래 필요시 지속적인 개정이 필요한 사항이며, 배연창의 크기 및 위치 등에 대한 부분은 추후 지속적인 연구가 필요한 상황이다.

4. 결 론

본 연구에서는 수직적으로 물품을 적재하여 높은 화재하중을 가지는 자동창고의 위험성과 화재 특성에 대해 선행연구를 통하여 연구동향을 분석하고 방화공학적 분석을 통한 화재위험성을 고찰하고 개선방안을 제시하고자 하였다.

먼저 랙크식 창고의 건축구조적 특성으로는 방화구획 미설치로 인해 대공간적 구조를 갖게 되면서 수동적 방화능력이 없는 구조가 되어 화재 발생 시 급격한 화재확산이 가능하고, 특히 상부 랙에서 화재발생 시 천정부 구조체에 직접적인 화염의 영향을 미칠 수 있어 구조물이 붕괴될 위험성이 있으며, 또한 무창층의 특징을 가지게 되어 채광과 환기에 불리하고 화재 시 발생한 연기의 배출이 어려운 구조로 되어 있다. 또한 랙크식 창고의 화재 특성으로는 발화 가능성은 낮으나 일단 화재가 발생되고 나면 화재 강도가 매우 크고 유독성가스를 배출하게 되며 수직적으로 화재가 확산되어 매우 큰 화재하중을 가지게 된다. 또한 랙과 랙 사이에 연돌효과가 발생되어 상부로의 연소가 급격히 확대되는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서 이러한 문제점들에 대한 개선방안으로 화재하중의 산정을 의무화 하여 화재위험성에 따른 성능위주설계의 적용, 방화구획을 대체할 대응시설의 적용, 효과적인 연기배출을 위한 배연설비의 적용 등을 제시하였으며, 그동안 초고층빌딩이나 인명피난 중심으로 연구되면서 주목받지 못했던 랙크식 창고의 화재위험성을 방화공학적으로 분석하여 위험성을 알리고자 하였다. 랙

크식 창고는 실증 실험이나 시뮬레이션을 이용한 화재모델링을 진행하기에는 대규모 건축물의 특성상 여러 가지 한계가 있으므로 추후 다양한 형태의 실험과 시뮬레이션 등을 통한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

References

1. Korea Integrated Logistics Association, 2013, "A guide for warehouse safety management", Seoul.
2. J. G. Kim, M. O. Yun, Y. S. Han, M. B. Kim, C. Y. Kim, H. S. Yu and S. U. Kim, 1998, "A study on smoke filling in a large space", Fire Science and Engineering, Vol. 33, pp. 53-60
3. N. W. Cho, J. C. Lee and I. G. Lee, 2012, "A study on detection technology of fire-toxic gas in large space using open path FT-IR", Architectural Institute of Korea, Vol. 32(2), pp. 499-500.
4. J. Y. Kim and J. S. Kim, 2014, "Numerical analysis on smoke control system in real-scale experimental large space", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 14(5), pp. 237-243.
5. J. Y. Kim, C. S. Ahn, J. S. Kim and S. H. Ju, 2014, "Development of high-volume smoke control system for large space building (2nd year report)", Goyang-si: Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.
6. J. Park, 2015, "Fire risk assessment application for PBD on the large complex mall", Journal of The Korean Association For Spatial Structures, Vol. 15(2), pp. 30-37.
7. J. Y. Kim and C. S. Ahn, 2015, "Design and numerical analysis on mechanical exhaust system in large space", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 15(5), pp. 103-108.
8. H. K. Kim, S. H. Park and T. H. Jung, 2009, "A study on the alternatives for fire safety management by warehouse fire analysis", Proceedings

- of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science and Engineering, pp. 598-605.
9. J. H. Kim, Y. S. Lim, Y. H. Yoo and J. W. Sim, 2009, "The real scale fire test for fire characteristic evaluation of storage facility", Proceedings of 2009 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science and Engineering, pp. 498-503.
 10. O. S. Kweon, Y. H. Yoo and H. Y. Kim, 2010, "An experimental study on the warehouse mock-up fire test", Fire Science and Engineering, Vol. 24(4), PP. 47-54.
 11. K. B. Lim, 2013, "The truth of the warehouse fire called negligence", Poster session presented at 2013 Conference @ Korean Institute of Fire Investigation, Seoul, Korea.
 12. Korean Institute of Fire Science & Engineering, 2014, "A study of active fire system requirements for warehouse".
 13. K. C. Ha, M. H. Seok and H. S. Choo, 2015, "Lessons learned from large warehouse fires", Korean Institute of Fire Investigation, Vol. 2015(11), pp. 143-155.
 14. D. J. Kim, S. S. Oh, J. K. Lee and S. W. Kim, 2012, "Developing sprinklers on the space characteristic fit of storage", Fire Science and Engineering, Vol. 2012, pp. 429-432.
 15. Y. S. Lee, 2013, "A study on the application of fire prevention facilities to increase fire responsiveness of rack-type automatic warehouse", Master Thesis, Pusan National University.
 16. W. H. Kim and Y. H. Lee, 2014, "An improvement of fire safety code for rack-type warehouse in Korea", Fire Science and Engineering, Vol. 28(6). pp. 69-75.
 17. Korean Standards Association, Industrial Standards of Korea. 2011, KS B 6706:2011 Automatic Warehouse Term.
 18. Ministry of Public Safety and Security, 2013, "A guidebook for national fire safety code of sprinkler fire fighting facility"(NFSC 103).
 19. International Code Council, 2012, International Building Code (IBC).
 20. National Fire Protection Association, 2010, "Standard for the installation of sprinkler systems" (NFPA 13).