적층형 물류창고의 피난유도시스템 개발에 관한 연구

The Development of Exit Sign Systems for Rack-Type Warehouses

김운형* · 함은구** · 서동훈***

Kim, Woon Hyung*, Ham, Eun-Gu**, and Seo, Dong-Hun***

Abstract

As a result of on-site inspections of rack-type warehouses in accordance with current national fire safety standards, evacuation guidance signs were discovered installed on ceilings or covered by columns. Subsequently, the evacuation directions could not be recognized. In this study, we developed a laser evacuation system and a banner evacuation system that demonstrate evacuation direction at eye level and verified their performance through recognition and evacuation performance experiments. From the verification tests, the laser evacuation system and the banner evacuation guiding lights demonstrated higher recognition rates than the existing evacuation guidance signs. Experiments based on fire simulations demonstrated relatively higher recognition rates and better evacuation performance than existing evacuation signs. Using a questionnaire survey to measure evacuation performance, the existing evacuation indicator was rated 3 (visible) while the developed evacuation marker was rated 1 (very good).

Key words : Evacuation; Movement Speed; Density; Video Analysis; Corridor

요 지

적층형 물류창고 조사결과 현행 국가화재안전기준에 따른 피난유도표지는 천장에 설치되거나 기둥에 가려져 피난 시 피난방향을 인식하지 못해 피난불능상태에 이르는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서는 피난자 눈높이에서 피난방향을 제시하는 레이저 피난유도설비와 배너피난유도등을 개발하여 그 성능을 인지 및 피난 성능 실험을 통하여 검증하였다. 검증 실험 결과 레이저 피난유도설비와 배너피난유도등은 기존 피난유도표지보다 인식률이 높은 것으로 나타났으며 화재 상황을 고려한 실험에서도 상대적으로 기존 피난유도표지보다 높은 인식율과 우수한 피난 성능 결과를 보여 주었다. 설문조사결과 피난유도표지 인지여부와 피난유도표지 방향성인지여부에서 기존피난유도표지는 3(보임)으로 응답되었고 개발피난유도표지는 1(아주 잘 보임)으로 피난성능향상 결과를 보였다.

핵심용어 : 피난, 이동속도, 밀도, 영상분석, 복도

1. 서 론

2011년과 2015년까지의 화재발생 현황 통계 자료를 보면 국가전체 화재에 대한 창고시설의 화재건수와 재산피해에 관한 비율을 볼 수 있다. 화재건수의 경우 전체 화재에서의 작은 부분을 차지하는 반면 재산피해는 화재건수 비율의 약 3배의 비율을 차지한다. 2015년에는 1,136건의 창고화재

가 발생하였으며, 또한 3배 비율인 73,955,000원의 재산 피해를 보여줌으로서, 꾸준한 화재건수와 이에 큰 재산 피해를 입는다는 것을 확인할 수 있다. 화재 발생 요인은 다양하지만 평상시 화재에서 빈번히 일어나는 전기 화재, 부주의 등으로 인한 화재가 창고 화재에서도 높은 비율을 차지하고 있다. 2015년 화재에서 보듯 부주의의 비율이 44%로 가장 높고 전기적 요인이 27%로 높다.

*정회원, 경민대학교 소방안전관리과 교수(E-mail: nfpa101@hanmail.net)

Member, Professor, Department of Fire Safety Management, Kyungmin University

**교신저자, 정회원, 한국열린사이버대학교 재난소방학과 교수(Tel: +82-2-2197-4185, Fax: +82-2-9197-4114, E-mail: hameg@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Disaster & Fire Safety, OPEN CYBER UNIVERSITY OF KOREA

***정회원, 경민대학교 산학협력단

Member, Researcher, Industry-Academic Cooperation Foundation, Kyungmin University

적층형 물류창고는 일반 건물에 비해 비교적 상주인원이 적다고 인식되어 건축물의 설계단계에서부터 물품의 저장 기능을 우선시하고 피난계획을 소홀히 하는 경향이 있다. 건물기능상 외벽은 창이 거의 없고 출입구도 매우 한정적이다. 또한 창고내부는 통행을 위한 통로가 배제되고 물품 이송크레인, 지게차 등의 이송공간만 존재하여 미로 구조를 형성하게 된다. 이러한 평면구성은 체류인원의 원활한 피난에 장애 요소가 된다.

창고의 상주인원은 창고의 자동화 수준이나 근무시간대와 연중 특정시기에 따라 매우 다양하게 분포한다. 최근 10년간 화재통계를 보면 매년 30여명의 인명피해가 발생하는 것으로 조사되어 인명안전 측면에서 상주인원수가 몇 명이든 안전하고 신속한 피난이 이루어질 수 있도록 피난의 기본원칙에 충실하여야 한다.

국내 적층형 창고에 적용된 피난유도표지는 국가화재안전기준 유도등 및 유도표지의 화재안전기준(NFSC 303)을 따른다.

현행 기준에 따르면 창고시설의 경우, 특정소방대상물의 용도별 구분에 따라 소형 피난구 유도등과 통로유도등이 설치되지만 나날이 대형화 복합화추세를 보이는 공간특성상 신속한 피난과 탈출에 부족한 면이 있다.

실제로 현장 실태조사결과, 통로유도등이 천장부근에 설치되고 랙(rack) 또는 기둥 등 구조물에 가려져 피난방향을 알 수 가 없다. 미로형 내부 통로는 별다른 피난유도설비가 없어 유사시 피난에 큰 장애가 우려된다. 아울러 출입구에 설치된 피난구유도등은 소형으로 설치되어 쉽게 인지되지 못했다.

이에 따라 본 연구에서는 현장조사 및 선행연구를 바탕으로 피난유도표지의 방향성 및 인지성능 제고를 위해 적층형 물류창고의 피난유도시스템 개발 및 성능실험을 수행하였다.

2. 선행연구 고찰

2.1 피난시설 문제점

국내 랙크식 창고는 특정소방대상물로서 (1)~(6)에 해당하는 설비를 적용받고 있다.

- (1) 자동화재탐지설비: 연면적 1,000 m² 이상
- (2) 비상경보설비: 연면적 400 m² 이상
- (3) 비상방송설비: 연면적 3,500 m² 이상
- (4) 시각경보기: 창고시설 중 물류 터미널
- (5) 피난 기구: 3-10층
- (6) 피난유도등: 대상

창고시설의 소방시설은 상기에 제시된 6가지 시설의 적용된다. 실제 조사를 통하여 확인 할 수 있었다. Kim et al.(2015)

의 연구에 따르면 현장방문을 통해 나타난 피난 상 문제점은 건물 설계 시 고려한 피난요소들이 내부 변경으로 인하여 초기 설계된 출구의 위치로부터 피난 시 보행거리가 변경될 수 있다. 예로서 한 층 내 보세 구역 또는 임대지역을 구분하기 위하여 팬스를 설치하고 출입문에 통제장치를 설치한 경우 피난 경로 자체가 달라지게 된다. 또한 팬스를 통과하기 위한 문이 있는 경우 피난구 유도등을 설치해야 하며, 통과하기 위한 방법에 있어 패스워드 등이 아니라 다른 기능이 고려될 필요가 있다. 가장 많은 경우는 통로 유도등이 적재물, 충돌방지 팬스 등에 가려 인식이 어려운 경우로 창고 내부 유도등을 높이 1.5 m 이상의 위치에 설치하도록 하고 있어 실제로 설치된 것을 보면 대부분 1.5 m 정도의 기준으로 설치되고 있다. 뿐만아니라 물품 유닛로드 자체가 약 2 m 정도이므로 적재된 물품에 의해 안보일 우려가 높으며, 고정된 기둥에 부착되지만 랙과 물품으로 인해 인식이 어렵다. 창고와 사무실 등이 연결되거나, 창고 내부창고가 있어 복잡한 구조가 형성된 경우 창고내부의 특정위치에 도달 하는데 많은 시간이 소요될 우려가 있다. 한편 공사 또는 물류작업을 위해 임시 고용되어 건물 내부구조에 익숙하지 못한 다수의 인원이 있는 경우 창고 입출고를 위한 고정배치 인원 만이 내부에 있는 것이 아니라 여러 가지 작업이나, 내부 시설 공사를 위한 대규모 인원이 유입되어 활동을 하게 되는 경우가 많다.

내부 경로에 익숙하지 않은 인원이 많다는 것은 화재 시 피난에 절대적으로 불리하다고 할 수 있다. 특히 공사의 경우 용접 등으로 인해 화재발생의 우려가 높으며, 이에 의한 대규모 인명 피해도 발생한다 있다. 40명의 희생자가 발생했던 이천 코리아 냉동 화재 사고 등이 이러한 사례이다.

2.2 피난시설 선행연구

피난유도표지의 인식도에 따른 피난성능관련연구의 경우, 먼저 Kim and Sug (2006)의 연구에서는 기존의 고정식 일방향 피난유도등의 문제를 보완하고 화재감지기와 연동한 쌍방향 무선데이터 시스템을 제안하였다.

Moriyama et al. (2009)은 대규모 지하상가의 피난행동특성에 관한 실험연구에 따르면 피실험자는 피난시 유도등을 인식하지 못하는 경향을 보여 유도등의 크기와 설치높이를 변화할 필요성을 제기하였다. 또한 T자형 삼거리에 도달한 경우 통로가 넓은 쪽으로 이동하는 경향을 보였다.

Park et al. (2011)의 자체 발광식 피난유도선 설치에 따른 연구에 따르면, 7%의 낮은 연기투과율에서는 피난유도선의 식별거리가 기존 유도등에 비하여 약 3배정도 우수한 식별성능을 보임을 실험을 통하여 제시하였다.

Seo et al. (2016)은 대형 전시공간에서의 피난유도설비의 실효성 및 시야각 실험을 통하여 상부에 설치되는 피난유도설비는 피험자 중 3.4%만이 인지하고 있음을 확인하고 단순히 규모별로 제한하는 현행관련규정의 문제점을 확인하였

다. 아울러 연기에 따른 가시거리 및 공간 내 조도 등에 따른 인지능력 실험의 필요성을 지적하였다.

3. 실험 수행

3.1 실험개요

본 실험의 목적은 적층형 창고에 설치된 통로유도등, 피난구유도등 등 기존의 피난유도표지와 피난자의 인식률을 높인 피난유도표지의 비교실험을 통해 적층형 창고 피난성능향상을 검증하고자 한다.

Oh (2016)의 연구에 따르면 피난 실험시 화재시 발생하는 연기상황을 구현하는 것이 타당하나 가연물의 연소시 발생하는 연기위험성 및 저장물품피해를 고려하여 연기와 유사한 시야제한효과를 줄 수 있는 불투명안경을 사용하였으며 실제 연기에서 느낄 수 있는 심리적 요소 등을 고려하였다.

실험에는 2가지의 시야제한 상황을 반영하여 화재시 발생하는 연기 색에 따라 초기와 중·후기로 나누어 백색과 흑색안경을 적용하였다.

Fig. 1. Opaque Glasses

Table 1은 2가지 불투명안경의 제작방법과 평균 가시광선 투과율이다. Fig. 1은 제작된 불투명안경의 모습이며 Fig. 2는 실제 불투명 안경을 착용한 경우의 시야제한을 보여준다.

Table 1. Opaque glasses spec

Smoke concentration	component	Average visible light transmittance
White	PVC vinyl translucent 1 sheet	17.1 %
Black	PVC vinyl translucent 1 sheet + Tanning film 1 sheet	60.4 %

Fig. 2. Visibility Level with Opaque Glasses

실험은 경기도 ∞에 위치한 대형 물류창고에서 진행되었다. 창고의 규모는 폭 80 m, 천정고 12 m, 길이 80 m 바닥면적 6,400 m²이며 피난방향인식이 어려운 Fig. 3의 랙과 랙 사이의 공간을 기점으로 Fig. 4와 같이 피난유도표지 인지실험을 진행하였다.

실험순서는 현행 피난유도표지와 개발피난유도표지를 사용하여 비교 분석하였다. 먼저 실내 조명을 끄고 기존피난유도표지 (통로유도등, 피난구유도등)와 개발피난유도표지 인지성능을 측정한 다음 화재상황을 가정하여 2가지 종류의 불투명안경을 교체해가며 인지성능을 측정하였다. 피난실험 시나리오는 Table 2와 같다.

Fig. 3. Test Site

Fig. 4. Floor Plan of Test Site

Table 2. Experimental Scenario

Case	Experiment scenario
1	Exit Guide light
2	Guide light + Opaque glasses(W)
3	Exit Guide light + Opaque glasses(B)
4	Laser Exit direction sign
5	Refuge banner exit sign
6	Laser Exit direction sign + Refuge banner exit sign
7	Laser Exit direction sign + Refuge banner exit sign + Opaque glasses(W)
8	Laser Exit direction sign + Refuge banner exit sign + Opaque glasses(B)

피실험자 모두는 각각 8가지 실험 조건에 총 8회의 실험을 수행하였으며 실험직후 피난유도표지 인지성능에 대한 5점 척도 설문을 실시하였다.

실험진행 중 주요 피난경로에 CCTV 4대를 설치하여 피실험자의 이동을 확인, 관찰하였다.

3.2 참가자 기본 자료 측정

Table 3은 참가자의 나이, 성별, 키, 시력, 색각여부를 조사한 결과이다. 총 20명의 20대 남녀(남자 16명, 여자 4명)가 본 실험에 참가하였다. 피난유도표지의 인지를 목적으로 조도 및 설치위치와 피험자의 연령 및 성별에 따른 변수는 제외하였다.

아울러 피실험자의 신체적 능력 차이에 따른 실험데이터의 오류를 막기 위해 현장에서 직접 시력검사와 색각검사를 실시하였다. 모든 피실험자는 색각여부가 없었으며, 평균 시력이 0.3~1.5로 다양하게 분포하였다.

Table 3. Data of Participants

Item	Data
Age	21.5 years old
Gender	Male: 16 persons Female: 4 persons
Height	171.05 cm
Vision	1.0
Color blindness	none

3.3 개발 피난유도표지

적층형 창고에 적용된 피난유도설비는 랙크가 미로처럼

배치되어 화재시 피난경로를 찾기 쉽지 않은 실정을 고려하였다. 화재시 피난경로를 쉽게 인지할 수 있도록 피난자의 눈높이에서 피난방향을 제시하는 Fig. 5의 배너피난구유도 등, Fig. 6의 레이저 피난유도설비를 개발하여 적용하였다.

Fig. 5. Refuge Banner Exit Sign **Fig. 6.** Laser Exit Direction Sign

4. 실험 결과 분석

4.1 현행규정에 따른 피난유도설비

4.1.1 Case 1. 유도등

창고내 옥내조명을 끄고 유도등만 켜진 상태에서 랙크통로에서 출발한 피실험자는 랙크통로를 통과한 후 좌우를 살피며 피난유도표지를 찾아보았으나 Fig. 7과 같이 대부분의 경우 창고에 설치된 피난유도표지를 인지하지 못하고 피난구에서 멀어지는 방향인 직진으로 이동하는 경향을 보였다.

Fig. 7. CCTV Video Analysis - Case 1

4.1.2 Case 2. 유도등 + 백연안경

창고내 옥내조명을 끄고 유도등만 켜진 상태에서 화재초기를 가정한 불투명안경(백색)을 착용하고 랙크통로에서 출발한 피실험자는 시야에 제약을 주는 백연안경을 착용하여 보행속도가 Case 1보다 줄어드는 경향을 나타내며 유도등만 있을 때와 마찬가지로 랙크통로를 통과한 후 좌우를 살피며 피난유도표지를 찾아보았으나 Fig. 8과 같이 대부분의 경우 창고에 설치된 피난유도표지를 인지하지 못하고 피난구에서 멀어지는 방향인 직진으로 이동하는 경향을 보였다.

Fig. 8. CCTV Video Analysis - Case 2

4.1.3 Case 3. 유도등 + 흑연안경

창고내 옥내조명을 끄고 유도등만 켜진 상태에서 화재초기를 가정한 불투명안경(흑색)을 착용한 경우, 피실험자들은 랙크통로를 통과한 후, 창고에 설치된 피난유도표지를 파악하지 못하고 흑연안경까지 착용하여 더욱이 시야에 방해를 느끼며, Fig. 9와 같이 피난 유도방향을 찾지 못하고 랙크통로를 따라 직진 방향으로 피난하려는 경향을 보였다.

Fig. 9. CCTV Video Analysis - Case 3

4.2 개발피난유도표지

4.2.1 Case 4. 레이저 피난유도표지

창고내 옥내조명을 끄고 랙크통로 공간에 개발된 레이저 피난유도표지 설치한 경우, 랙크통로를 통과한 피실험자는 좌우를 살피면서 피난유도표지를 찾으려는 경향을 보였으며, Fig. 10과 같이 바닥에 표시된 레이저 피난유도표시에 따라 피난하는 피실험자와 레이저 유도표지를 발견하지 못하고, 여전히 랙크통로를 따라 직진 방향으로 피난하는 두가지 경향을 보였다.

Fig. 10. CCTV Video Analysis - Case 4

4.2.2 Case 5. 배너 피난구유도표지

옥내조명을 끄고 랙크통로 공간에 배너 피난유도표지 설치한 후에 실험을 진행하였다. 배너 피난구유도표지는 피실험자들의 눈에 띄기 쉽게 설치되어 있어 Fig. 11과 같이 기존의 유도등 보다 방향을 인지하는 것에 있어 보다 쉽고 빠르게 피난을 하는 모습을 보였다.

Fig. 11. CCTV Video Analysis - Case 5

4.2.3 Case 6. 레이저피난유도표지 + 배너 피난유도 표지

창고내 옥내조명을 끄고 랙크통로 공간에 레이저 피난유도표지와 배너 피난구유도표지를 설치한 후에 실험을 진행 하였으며 Fig. 12와 같이 모든 피실험자가 피난유도표지를 따라 피난하였다.

Fig. 12. CCTV Video Analysis - Case 6

4.2.4 Case 7. 레이저피난유도설비+배너피난구유도등 + 백연안경

창고내 옥내조명을 끄고 랙크통로 공간에 레이저 피난 유도표지와 배너 피난구유도표지를 설치하고 화재초기 (불투명안경 백색)를 가정한 실험에서는 Fig. 13과 같이 피실험자가 멈칫하는 모습을 보이긴 했으나 이내 방향을 설정하고 피난하였다.

Fig. 13. CCTV Video Analysis - Case 7

4.2.5 Case 8. 레이저피난유도설비+배너피난구유도등 + 흑연안경

내부조명 없이 통로 공간에 레이저 피난유도표지와 배너 피난구 유도표지를 설치하고 화재 중·후기(불투명 안경 흑)을 가정한 경우이다. Fig. 14와 같이 전체적으로 걸음이 느려지고 유도등을 한참 쳐다보며 시야가 제한적으로 줄어든 상황을 적응하지 못하는 모습을 보였으나 배너 피난구유도표지와 레이저피난유도표지를 인지하여 피실험자 전원이 피난을 완료하였다.

Fig. 14. CCTV Video Analysis - Case 8

4.3 실험 설문조사 분석

피난실험시나리오별로 1문항(피난유도표지의 인지여부)와 2문항(피난유도표지의 방향성인지여부)를 ① 아주 잘 보임(Very good), ② 잘 보임(Good), ③ 보임(Normal), ④ 잘 안 보임(Bad) ⑤ 안 보임(Very bad)의 5점 척도로 설문조사를 수행하였다.

Table 4는 설문문항1인 피난유도설비 인지도를 조사한 결과이며 Table 5는 설문문항2인 피난유도설비의 방향성 인지여부를 조사한 결과이다. 분석 결과, 피난실험시나리오 1의 설문문항 1, 2에서 분석결과 평균 3(보임)으로 나타났으며, 피난실험시나리오 2의 설문문항 1은 3(보임) 그리고 설문문항 2는 4(잘 안 보임)로 분석되었다.

피난실험시나리오 3의 설문문항 1은 3(보임) 그리고 설문문항 2는 4(잘 안 보임)로 분석되었으며, 피난실험시나리오 4의 설문문항 1, 2에서 분석결과 평균 2(잘 보임)으로 나타났다.

피난실험시나리오 5와 6의 설문문항 1, 2에서 분석결과 평균 1(아주 잘 보임)로 나타났으며, 피난실험시나리오 7과 8의 설문문항 1은 3(보임) 그리고 설문문항 2는 4(잘 안 보임)로 분석되었다.

Table 4. Evacuation Guidance Sign Perception

Case No.	Average value
1	3 (Normal)
2	3 (Normal)
3	3 (Normal)
4	2 (Good)
5	1 (Very good)
6	1 (Very good)
7	3 (Normal)
8	3 (Normal)

Table 5. Evacuation Direction Perception

Case No.	Average value
1	3 (Normal)
2	4 (Bad)
3	4 (Bad)
4	2 (Good)
5	1 (Very good)
6	1 (Very good)
7	4 (Bad)
8	4 (Bad)

5. 결 론

본 연구에서는 화재 등 비상시 물류창고에서의 신속한 피난과 탈출을 위한 피난유도시스템을 개발하였으며 성능 비교를 위한 피난 실험을 수행한 주요 결과는 아래와 같다.

- (1) CCTV 영상분석결과 현행 국가화재안전기준에 따른 피난유도표지는 천장에 설치되거나 기둥에 가려져 피난시 피난방향을 인식하지 못해 피실험자는 피난불능상태에 가까운 결과를 보였다. 레이저 피난유도표지와 배너 피난유도표지는 대부분의 피실험자가 피난유도표지를 인지하여 피난하는 모습을 보였다.
- (2) 피난유도표지의 인지여부 설문조사결과 레이저 피난유도표지와 배너 피난유도표지는 평상시 1(아주 잘 보임)으로 응답되었고 화재시를 가정한 불투명안경을 착용시 3(보임)으로 분석되었다. 기존 피난유도표지는 평상시 3(보임)으로 응답되었고 화재시 3(보임)으로 분석되었다.
- (3) 피난유도표지의 방향성 인지여부 설문조사결과 레이저 피난유도표지와 배너 피난유도표지는 평상시 1(아주 잘 보임)으로 응답되었고 화재시 4(잘 안보임)으로 분석되었다. 기존 피난유도표지는 평상시 3(보임)으로 응답되었고 화재시 4(잘 안보임)으로 분석되었다.
- (4) 본 연구를 통해서 개발된 레이저 피난유도표지와 배너 피난유도표지는 화재 위치에 따른 최적에 피난방향을 제시하는 스마트 시스템으로 향후 화재 감지기 신호와 연동하여 최적에 피난동선을 제시하는 기반을 마련하였다.

본 연구로 물류창고화재 시 기존 피난유도표지의 피난한계를 극복하고 연기 등의 장애요소에서도 높은 시인성으로 피난유도성능 향상에 기여하였으며 향후 피난유도표지의 설치높이, 화재위치 등을 고려한 추가 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

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

References

- Kim, W.H., Lee, G.H., Lim, C.J., Um, H.C., Lee, T.M., Lee, S.H., et al. (2015). A field survey of domestic rack-type warehouse. *Proceedings of 2015 KIFSE Annual Fall Conference*, Korean Institute of Fire

- Science and Engineering, pp. 145-146.
- Kim, Y.S., and Sug, D.S. (2006). A study on the development of intelligent guiding exit sign system. *Fire Science and Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 131-134.
- Moriyama, S., Hasemi, Y., Ogawa, J., Sano, T., Jin, T., and Hebiish, T. (2009). On-site experiment on the group evacuation behavior in large-scale underground shopping mall: Preference of pathway in passage crossing and cognition of exits. *J. Environ. Eng., AIJ*, Vol. 74, No. 637, pp. 233-240.
- Oh, R.S. (2016). *A evaluation on perceptive effects of hue of exit sign classified by smoke density and maximum visible distance*. Master's thesis, Pukyong National University, pp. 54-60.
- Park, Y.H., Kim, B.G., and Lim, C.H. (2011). The evaluation of the egress performance in the buildings installed with luminous egress guide-lines. *Fire Science and Engineering*, Vol. 25, No. 6, pp. 120-126.
- Seo, D.G., Hwang, E.K., Kim, J.H., and Kim, W.H. (2016). An experimental study on the cognition of evacuation sign in large exhibition space. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 6, pp. 29-34.

Received	March 12, 2018
Revised	March 13, 2018
Accepted	May 3, 2018