

산업용 오버헤드 도어의 사고 예방 : 유지관리 및 병렬구조 안전장치를 중심으로

김복기¹ · 정재욱^{2†}

Safety of Industrial Overhead Doors : A Review of Maintenance and Parallel Safety Devices

Bok Ki Kim¹ · Jaewook Jeong^{2†}

[†]Corresponding Author

Jaewook Jeong

Tel : +82-2-970-6381

E-mail : jaewook.jeong@seoultech.ac.kr

Received : December 5, 2023

Revised : December 22, 2023

Accepted : January 3, 2024

Abstract : This study analyzes the impact of regular preventive maintenance (PM) on reducing the failure rate and occurrence of falling accidents of industrial overhead doors. A reliable safety device model with an additional safety device, which is installed to replace a defective one, is proposed. The research methodology involves collecting breakdown and falling accident records, comparing and analyzing data before and after regular PM implementation, and experimenting with two types of retrofittable safety devices. Key findings are as follows. 1. Regular PM implementation significantly reduces the failure rate of old overhead doors. 2. A parallel structured model with two alternative safety devices can minimize falling accident risks. The study's contributions include the following. 1. The positive impact of PM on extending overhead door lifespan is quantified. 2. A general safety device model that can be retrofitted and used as replacement with a fail-safe function is proposed.

Copyright©2024 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : industrial overhead doors, garage doors, fatalities, regular maintenance, safety devices, fail safe

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 몇 년간 중대 재해 처벌 등에 관한 법률의 시행 등 안전 관련 제도가 지속적으로 강화되고 있는 상황에서, 건설기계 및 설비에 있어 설계 및 유지관리 단계의 안전성 확보의 중요성이 높아지고 있다^{1,2)}.

오버헤드 도어는 문 위쪽에 회전축이 있어 회전하거나 밀어서 위로 빠르게 개폐하는 문으로, BC450년경 유럽에서 Chariot을 보관하는 Gate house door로 시작되어 국내에는 1980년대에 가정용 차고 문으로 도입 후 물류센터, 소방서, 각종 공장 등 산업용으로 사용되고 있다³⁾. 오버헤드 도어는 전동셔터의 한 종류로 구분되

며 건축물 전동셔터의 종류는 그 기능과 구성에 따라 여러 형태로 개발되어 사용되고 있다. 하지만 오버헤드 도어는 중량감이 있어 작동 시 하중의 70%를 담당하는 토션 스프링의 파단, 도어 섹션과 토션 스프링을 연결하는 와이어 로프의 끊김 등의 다양한 원인으로 낙하하여 중대한 인명사고로 이어질 수 있다.

국내 오버헤드 도어 낙하사고는 최근 3년간 유사 고장사례가 170건 이상 발생하였다. 대표적 사고의 예로 2019년 부산 지역 소방서에서 토션 스프링의 고장으로 오버헤드 도어가 낙하하여 인명사고가 발생하였다. 매년 한 곳 소방서에서 연평균 5건 이상의 고장이 발생하며 스프링 고장은 전체 고장의 30%로 큰 비중을 차지하고 있다^{4,5)}.

본 연구의 목표는 산업용 오버헤드 도어의 안전을 확

¹서울과학기술대학교 안전환경기술융합학과 석사과정 (Department of Safety, Environment, Technology and Convergence, Seoul National University of Science and Technology)

²서울과학기술대학교 안전공학과 조교수 (Department of Safety Engineering Seoul National University of science and Technology)

보호기 위한 정기 점검의 효과 분석과 Human error에 의한 Fail safe 대책 방안이자 기존 제품의 추가 보완이나 교체 없이 최소 경비로 시공이 가능한 병렬구조식 낙하 안전장치를 개발 및 성능을 확인하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 오버헤드 도어의 위험성

2.1.1 법적 관리기준이 없는 오버헤드 도어

산업안전보건법은 유해 위험 기계, 기구 및 설비의 안전성을 확보하기 위해 안전 인증과 안전 검사를 의무화하고 있다. 건설업 이외의 경우 최초 도입 후 3년 내 최초 안전 검사를 해야 하며, 이후 2년마다 안전 검사를 해야 한다. 건설업의 경우는 6개월마다 안전 검사를 해야 한다. 그러나 오버헤드 도어는 이러한 대상에서 제외되어 있어 제도적 관리 범주를 벗어나 중대 재해의 위험에 노출되어있다.

2.1.2 국내 안전 기준과 유럽 산업표준 안전 기준

국내 안전 기준은 산업안전보건법 시행규칙 제126조⁶⁾와 산업안전보건기준에 관한 규칙 제11조, 제12조⁷⁾에서 확인할 수 있다. 또한, 하자 책임 기간은 건설산업기본법⁸⁾의 15. 전문공사, ⑦ 창조설치에 해당하고, 시공사의 하자 책임 기간은 1년으로 적용된다. 유럽은 산업표준(BS EN)으로 안전 기준을 정하고 있다. BS EN 13241은 Product standard와 Performance characteristics를 기준으로 제품표준과 성능의 특성을 기술하고 있다⁹⁾. BS EN 12604는 Mechanical aspects와 Requirement를 기준으로 기계적 측면과 필요조건을 기술하고 있다¹⁰⁾. BS EN 12453은 Safety in use of power operated doors와 Requirements and test methods를 기준으로 사용 시 안전, 요구사항 및 시험방법을 기술하고 있다¹¹⁾. 위와 같이 유럽의 산업표준은 오버헤드 도어의 안전설계 기준을 명확히 규정하고 하고 있다¹²⁾.

2.2 미인증 국내 제품과 유럽 인증품의 사양 비교

국내 미인증 제품과 유럽 인증품을 Table 1과 같이 구성 요소별로 비교해보면 국내의 안전설계 기준 없이 제작 및 설치되어 사용 중인 제품과 유럽의 안전설계 기준에 근거하여 제작 및 설치되어 사용 중인 제품 간의 차이가 분명히 존재하는 것을 확인할 수 있다¹³⁾.

Table 1과 같이 공인 인증서의 유무와 안전장치의 경우 국내 미인증 제품은 Catch safety device(단일 안전장치)로만 구성되고 유럽 제품의 경우 Catch safety device를 포함하여 다중 안전장치(병렬구조)로 구성되어 있음을 알 수 있다.

Table 1. Comparison of safety specifications between non-certified domestic products and European certified products

Category	Non-certified domestics	Certified Europeans
Public certification	NONE	Europe(CE), Germany(TUV)
Safety devices	NONE	BOTTOM CLOSING EDGE SAFETY DEVICE
	NONE	CABLE SLACK DEVICE
	NONE	SPRING SAFETY DEVICE
	CATCH SAFETY DEVICE	CATCH SAFETY DEVICE

3. 연구범위 및 방법

3.1 오버헤드 도어 정기 점검의 효과 분석

3.1.1 오버헤드 도어의 보수 빈도 조사

본 연구에서는 A 구역 오버헤드 도어 209대에 대한 보수 이력과 낙하사고 건수를 2004~2020년(정기 점검 미시행), 2022년(정기 점검 시행) 사내 시스템에 저장된 보수 이력 Low data로 Table 2와 같이 확인하였다.

Table 2. Overhead door maintenance history management system's LOW DATA for 2004~2022(Except 2021)

NO	Repair performances(EA)	Contents
A-01~209	489	External shocks, defective consumables, etc

3.1.2 오버헤드 도어의 보수 유형 분류

세부적인 데이터 분석을 위해 오버헤드 도어를 정기 점검하지 않은 시점과 시행한 시점을 구분하였고 정기 점검을 시행하지 않은 시점에서 시간이 지남에 따라 고장률이 상승하는 구간을 Fig. 1과 같이 Data leveling 하였다.

Low data	1 st Level		2 nd Level					
	No inspection	inspection	No inspection		inspection			
	2004~2020	2022	2004~2017	2018~2020	2022 Quarter			
2004~2022 (excluding 2021)					1	2	3	4

Fig. 1. Low data leveling process.

다음으로 오버헤드 도어의 보수율 조사항목을 Table 3과 같이 소모성 부품의 점검 미흡과 사용자의 사용 오류에 의한 원인으로 구분하였다.

Table 3. Repair performances rate frequency survey items

Lack of inspection (Insufficient replacement of consumable parts, etc)			User error (Malfunction, failure recognition, etc.)		
Torsion Spring loosened	Roller, Wheel, Belt corrosion	Wire tension errors	Wire twisting, damages	Drum, Motor, Switch, Stopper	Door deformation, leveling defects

3.1.3 정기 점검 적용 전과 후의 보수 빈도 비교

오버헤드 도어의 정기 점검 효과 분석을 위해 Fig. 1의 1, 2차로 분류된 기간별 정기 점검 미시행과 시행 보수 이력 빈도를 수치로 직접 비교하였다.

3.1.4 정기 점검의 시행 방법 및 Check list 구성

정기 점검은 전담 관리자 선정 후 전문업체의 연간 계약으로 1년간(2022년) 분기별 1회 비접촉식(육안, 청각 등) 및 접촉식(촉각, 운환, 작동 테스트, 소모품 교체 등) 점검을 장비(고소작업차)를 운용하면서 긴급 시 즉시 출동 가능한 상주 조건으로 수행하였다(Table 4).

Table 4. Detailed method of conducting regular inspection

Category	As was	As is
Inspector	General Managers	Professional engineers
Period	Irregularly	Once a quarter
Method	Non-contact	Contact
lubrication	None	Once a year
Emergency inspection	Negative	Positive

오버헤드 도어의 정기 점검 시 점검항목은 Table 5와 같이 점검 Check sheet로 진행하였다.

Table 5. Regular inspection check list

No	Check list	Durability	Inspection method
1	Door section	In case of damage	Damaged or distortion
2	Side hinges		Damaged or loosening of bolt
3	Torsion spring	2years	Tension, number of turns, cracks, etc
4	Motor	8years	oil leak, Damaged, chain tension, etc
5	Wire drum		Damaged or loosening of bolt
6	Coupling	In case of damage	Damaged or loosening of bolt
7	Top seal		Damaged or fixed state
8	Bottom seal		Damaged or fixed state
9	Middle hinges	Permanent	Damaged or loosening of bolt
10	Window		Damaged or corrosion, etc
11	Catch safety device	In case of damage	Damaged or loosening of bolt, wire fastening, etc
12	Switches		Operating status, etc
13	Stopper	2years	Damaged, spring damaged, etc
14	Wire		Damaged, Correct dimensions, etc
15	Chains		Damaged, cracks, etc
16	Shaft	In case of damage	Damaged, bending, weld breakages
17	Brackets		Damaged, bearing cracks
18	Side roller		Bearing cracks or loosening of bolt
19	Guided track	-	Bending, clearance, fixed state
20	Noise		Motor, guide track, roller, etc
21	Posts	-	Display or not
22	Control box	Permanent	Damaged, Locked status, etc
23	Lubrication	3Months	Guide track, hinges, chains, etc
24	Speeds	-	Visual and auditory inspection

※ For high-altitude areas, close-range inspection is performed using table lifts

정기 점검 조직은 전문업체 인력 2인, 발주처 관리 감독자 2인(공사관리, 운영관리), 총 4인으로 구성하여 시스템 대응 및 정기 점검을 함께 진행하였다.

3.1.5 정기 점검 효과의 검증을 위한 설문조사

정기 점검 후 사용에 따른 안전성 향상에 대한 체감도를 확인하기 위해 점검 전과 후의 체감도에 관하여 총 10문항으로 230명을 대상으로 설문을 수행하였다 (Table 6).

Table 6. Survey on user experience before and after regular inspection

	Survey items	
Work experience	Less than 3~5 years	%
	Less than 5~10 years	%
	Less than 10~15 years	%
	15 years or more	%
Damaged or dropped before regular inspection, directly or indirectly. Experience that has influenced your work	Yes	%
	No	%
frequency of experience	Once	%
	Twice	%
	Three times	%
	Four times or more	%
How many times have you felt in danger?	None	%
	1~5 times	%
	6~9 times	%
	10 times or more	%
Period Applied	Less than 3 months	%
	Less than 3~6 months	%
	Less than 6~12 months	%
	12 months or more	%
Damaged or dropped before regular inspection, directly or indirectly. Experience that has influenced your work	Yes	%
	No	%
If so, how many times have you had an experience that affected you?	Once	%
	Twice	%
	Three times	%
	four times or more	%
How many times have you felt in danger?	None	%
	1~5 times	%
	6~9 times	%
How effective is it in preventing breakdowns and falling accidents?	10 times or more	%
	Very effective	%
	Effective	%
What is an effective regular inspection method?	Ineffective	%
	More dangerous	%
	Two person inspection method by architecture major managers	%
	Regular inspection	%
Establishment of a management system	Lubrication	%
	Specification of inspection method	%

3.2 병렬구조식 안전장치 실험

3.2.1 낙하 안전장치에 대한 병렬 구조화의 필요성

산업용 오버헤드 도어의 병렬 구조화가 필요한 이유는 Human error로 인한 점검 누락 또는 사용자가 오작동을 일으킬 수 있는 잔존 위험요인이 있고 대부분 안전장치가 없거나 단일 안전장치만을 적용하여 오래된 제품은 Track과 안전장치 간의 유격 발생으로 그 기능이 제대로 발현되기 어렵다(Fig. 2). 또한 유지보수 업체의 과도한 포괄적 수리 제안(기존 제품 교체 및 보완 요구) 등 다양한 문제를 내포하고 있기 때문이다.

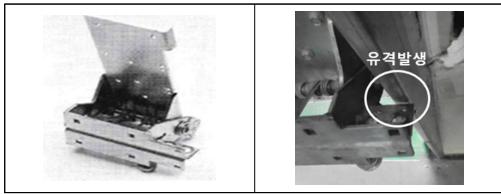


Fig. 2. Fall control failure of FF-440-3 due to clearance.

네덜란드 Flexi forc 사의 FF-440-3은 Fig. 2와 같이 일반적으로 적용되는 단일 안전장치이다. 외부 충격에 의한 파손이나 오래된 Track의 변형, Track과 안전장치 간 유격이 큰 상태로 시공하였을 경우, 제어 실패의 한계를 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 유럽 산업표준은 병렬구조식 다중 안전장치를 적용하도록 하고 있다.

3.2.2 병렬구조식 안전장치의 실험 방법

본 실험은 BS EN 12604 Annex B(informative) 대안 설계 기준(와이어 로프를 이중으로 설치한 경우와 같이, 지지장치 중 하나가 파손되어도 지지가능한 구조)에 근거하여 진행하였다.

3.2.2.1 Case 1: 자립형 병렬구조식 안전장치의 실험

실험 준비는 Fig. 3과 같이 지름 $\Phi 190$ mm, 두께 $7 \times 6T$, 길이 2 m 강관 기둥 부재와 지름 $\Phi 165$ mm, 두께 $2 \times 6T$, 길이 30 cm 캔틸레버 원형강관 부재를 ‘ㄱ’자 맞댐 용접으로 연결 후, 기둥 하부는 H-beam ($H-200 \times 200 \times 8 \times 12$)에 볼팅 고정하여 자립시켜 전도되지 않도록 하고 하부 H-beam은 ‘I’자 형태로 길이 4 m의 H-beam 양단에 약 1 m 길이의 동일사양 H-beam을 볼팅 고정하여 기둥의 기울어짐에 의해 전도되지 않도록 모양을 구성하였고 충격이 발생 시 전도되거나 틀어지지 않도록 지반에 고정하였다. 양중 장비의 제원은 6 W(버킷용량 0.59 m^3 , Wheel타입) 굴삭기 1대로 하였고 준비된 낙하물은 무게 0.507 ton, 길이 6 m

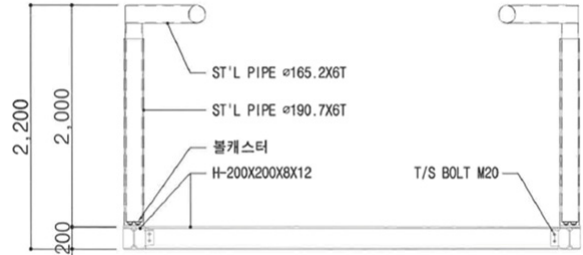


Fig. 3. Conceptual diagram of a self-supporting fall safety device.

H-beam으로 하였다. 안전장치의 작동은 수동식으로 사람의 손에 의해 작동하며 ‘ㄱ’자의 기둥을 90도로 회전시켜 캔틸레버 수평부재가 낙하물이 낙하 시에 충돌할 수 있도록 정위치 하였다.

본 연구의 실험 순서 및 방법은 자립형 낙하 안전장치 실험체를 지면 고정하고 양중 장비로 높이 4 m에서 무게 0.507 ton의 낙하 물체(H-beam)를 2 m 자유낙하시켜 자립형 낙하 안전장치 실험체 ‘ㄱ’자 수평부재 상단에 충돌시켜 캔틸레버 부재, 용접 및 볼팅 연결부, 기둥의 변형(휨, 크랙, 파손)을 육안 검사하였다.



Fig. 4. Impact test on self-supporting drop safety device.

3.2.2.2 Case 2 : Safe wire를 활용한 병렬구조식 안전장치의 실험

본 실험은 Fig. 5와 같이 $\Phi 6$ mm 와이어(140번)가 안전장치 속의 와이어 휠(132번)에 감긴 상태에서 일정 회전수를 초과할 때 원심력으로 내부 안전키(166번)가 와이어 휠의 홈(161번)에 끼워져 회전이 제어되어 멈추면 와이어와 연결된 도어 섹션의 낙하를 제어할 수 있도록 하였다.

실험 준비는 Safe wire type 안전장치 실험체를 제작하였다. 실험체의 Box 재질은 SS41 T4.5 mm이고 크기는

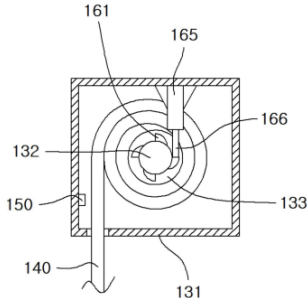


Fig. 5. Safe wire type safety device concept diagram¹⁴⁾.

400 mm × 320 mm로 구성하였다. 와이어는 지름 $\phi 6$ mm에 길이 15 m 사양을 사용하였다. 낙하 물체는 먼저 전동서터 슬롯을 1차로 진행하였고 2차로 오버헤드 도어의 Door section을 진행하였다. 오버헤드 도어의 중량 산정은 일반적인 오버헤드 도어용 판넬의 단위중량 값에 오픈 사이즈 3.5 m × 5 m의 일반사양으로 산정하였다. 산정값은 약 $300 \text{ kg} \{13.5 \text{ kg/m}^2 \times 3.5 \text{ m} + 0.7 \text{ m(W)} \times 5.0 \text{ m} + 0.2 \text{ m(H)} + (C값)\} \approx 300 \text{ kg}$ ¹⁵⁾을 고려하였다. 오버헤드 도어 모터의 힘으로 최상단에서 하강하는 과정 중 와이어의 파손, 모터 가동의 중지, 스프링 파단 등의 원인으로 Door section이 지상높이 2 m에서 낙하함과 동시에 버팀 힌지의 작동 불량을 가정하였다.

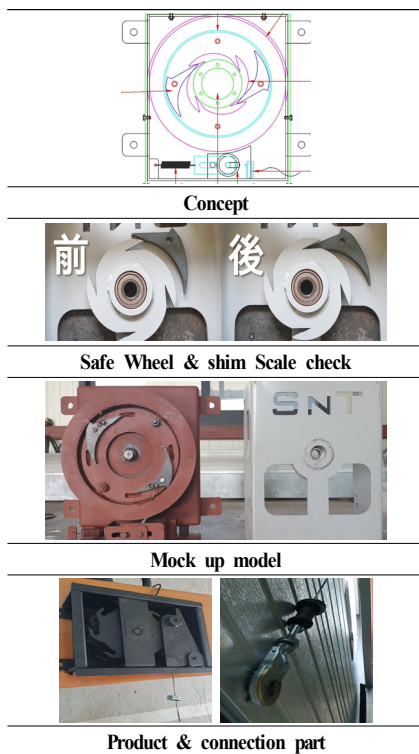


Fig. 6. Safe wire type safety device test specimen and connection part.

본 연구의 실험 순서 및 방법은 먼저 Safe wire Type의 실험체를 벽체에 단단히 고정하였다. 벽체 고정 방식은 기존 벽체의 수평보에 일반 구조용 각형 강관 (100 × 50 × 1.7T)인 고정용 Bracket을 Tig용접으로 연결하였다. Door section 낙하의 시작 높이는 지면에서 2 m로 설정하였다. 오버헤드 도어와 Safe wire의 연결은 Door section 하단 중앙부로 하였다. 오버헤드 도어와 Safe wire의 연결방식은 보강관을 Door section 표면에 덧대고 맞볼트로 관통하여 고정하였다. 1차 실험은 중량이 가벼운 전동서터를 대상으로 수행하였고, 2차 실험은 중량이 약 300 kg인 오버헤드 도어의 Door section(판넬)으로 수행하였다. 다음으로 고중량 오버헤드 도어를 고려하여 양측에 실험체 2개를 동시에 설치하여 3차 낙하 실험을 수행하였다. Safe wire type의 실험체를 높이 2 m 높이에서 낙하시켜 제동되는 구간의 높이를 측정하고 제동된 상태에서 실험체와 Door section의 변형, 연결부 파손 여부, 와이어 훼손 여부 등을 확인하였다.

1차 실험(전동서터 대상)과 2차 실험(오버헤드 도어 대상)을 각 1개소씩 10회 수행하였고 3차 낙하 실험은 고중량의 오버헤드 도어를 고려하여 실험체를 양끝단에 2개 설치 및 연결 후 1개소 10회 낙하시켜 제동 성능과 높이, 파손 및 변형을 확인하였다.

4. 연구결과 및 고찰

4.1 정기 점검의 효과 분석 결과

4.1.1 정기 점검 전 보수 및 낙하사고 빈도 조사 결과

Table 7과 같이 A 구역에 설치되어 운영 중인 209대의 오버헤드 도어가 최초 설치부터 기능 고장이 발생했을 시에만 보수하여 약 13년 동안 사용한 결과 연평균 14.8건(7.7%)의 고장으로 인한 보수가 필요하였고 낙하 실적은 없었다.

Table 7. Repair and fall accident results for 209 overhead doors that were used without regular inspection for approximately 13 years (2004–2017) in area A

Total	Repair performances without inspection(2004-2017)					
	Lack of inspection			User error		
	Torsion Spring loosened	Roller, Wheel, Belt corrosion	Wire tension errors	Wire twisting, damages	Drum, Motor, Switch, Stopper	Door deformation, leveling defects
192	74	28	24	35	22	9
Rates	· 192EA/13years=14.8EA/year ∴ 14.8(7.7%) repairs required per year					
Accident	· None					

Table 8. Repair and fall accident results for 209 overhead doors that were used without regular inspection for 3 years (2018–2020) in area A

Repair performances without inspection(2018~2020)						
Total	Lack of inspection			User error		
	Torsion Spring loosened	Roller, Wheel, Belt corrosion	Wire tension errors	Wire twisting, damages	Drum, Motor, Switch, Stopper	Door deformation, leveling defects
87	10	19	1	32	17	8
Rates	· 87EA/3years=29EA/year ∴ 29(13.97%) repairs required per year					
Accident	· Total of 4 accidents(2018: 1EA, 2019: 1EA, 2020: 2EA)					

그러나 이후 Table 8과 같이 2017년도 이후인 2018년~2020년도까지 3년간 정기 점검 없이 사후보수만 했을 경우 보수율이 29건(13.9%)으로 약 1.8배 이상 증가함을 알 수 있었고 낙하사고는 年 1회 이상 발생하였다.

4.1.2 정기 점검 이후 보수 및 낙하사고 빈도 조사 결과

Table 9와 같이 1년간 분기별로 정기 점검을 수행한 후 수동적인 보수 및 유지관리 형태가 어느 정도의 잠재 위험 요소를 감추고 있는지 알 수 있었다.

Table 9와 같이 정기 점검 1분기('22년 3월) 시행 시 보수율이 연간 312%로 Table 8의 연간 보수율 13.9%보다 약 22.4배 증가함을 보였다. 이는 전문인력의 관점에서 각 부품 및 동작 메커니즘을 요소별로, 그리고

Table 9. Maintenance and falling accident performance during quarterly regular inspections in Area A for one year (2022)

Repair performances during regular inspection(2022)							
Q	Total	Lack of inspection			User error		
		Torsion Spring loosened	Roller, Wheel, Belt corrosion	Wire tension errors	Wire twisting, damages	Drum, Motor, Switch, Stopper	Door deformation, leveling defects
1	163	23	9	10	24	77	20
2	33	5	3	0	22	1	2
3	10	0	2	2	6	0	0
4	2	0	0	0	1	0	1
Accident	· None						
Repair required per year rate formula	1Q	· 163EA/0.25years=652EA/year ∴ 652(312%) repairs required per year					
	2Q	· 33EA/0.25years=132EA/year ∴ 132(63.2%) repairs required per year					
	3Q	· 10EA/0.25years=40EA/year ∴ 40(19.1%) repairs required per year					
	4Q	· 2EA/0.25years=8EA/year ∴ 8(3.82%) repairs required per year					

선제적으로 점검하였을 경우 부속별로 보수해야 할 것들이 많고 그만큼 미리 제거해야 할 잠재 위험 요소들이 감추어져 있음을 알 수 있다. 또한 정기 점검을 지속 시행하면 고장률은 감소하며 최종 4분기 보수율이 3.8%로, 사후 연평균 보수율 13.9%比 1/3로 감소함을 확인할 수 있었다.

4.1.3 정기 점검 전과 후의 보수 및 낙하사고 빈도 조사 결과에 대한 비교 및 고찰

오버헤드 도어의 관리방식을 기존처럼 비전문가의 육안 점검으로 한해서 수행했던 것과 달리 전문 A/S팀이 상주하여 접촉, 비접촉 점검방식으로 선제 대응하여 1년간 진행한 결과 1) 전문성이 향상되었고 2) 보수 Process 단계가 2/3 축소되어 편의성 향상과 수리 기간이 대폭 감소하였다. 또한 3) 고장이 발생하지 않도록 선제적 관리를 통해 보수율이 최종적으로 기존 대비 1/3로 감소하였다. 무엇보다 낙하사고도 확실히 줄어들음을 확인할 수 있었다.

4.1.4 정기 점검 효과 검증을 위한 설문 결과 및 고찰

본 설문조사 대상자 230명 중 총 40명(17.3%)이 응답하였고 그중 관리자가 20명, 사용자가 20명이었다. 본 설문조사의 집단에 따라 변수의 차이가 있는가를 알아보기 위하여 교차분석(카이제곱) 통계분석 방식을 사용하였다. 정확한 검증을 위하여 Fisher 검증을 수행하였다. 검정통계량을 살펴보면, 대부분 항목이 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

설문 결과 오버헤드 도어를 정기적으로 점검하여 선제적으로 관리할 시 Table 10과 같이 92.5%(V+E+E)가 고장 및 낙하사고 예방에 도움이 된다는 응답을 확인하였다.

또한 효과적인 오버헤드 도어 정기 점검방식에 대한 의견으로는 Table 11과 같이 정기 점검과 더불어 부품별 사용 연한 관리와 원활한 작동을 위한 윤활 작업 등 세부적인 관리(60.8%)가 필요하고 비접촉식 육안 점검뿐만 아니라 접촉식 세부 관리방식(21.6%)도 중요함을 확인하였다.

Table 10. Survey results on whether it helped prevent breakdowns and falling accidents after regular inspection

Response type	EA	%
Very effective	24	60
Effective	13	32.5
Ineffective	2	5
More dangerous	1	2.5

V·E+E=92.5

Table 11. Survey results to select an effective regular inspection method during regular inspection

Response type	Responses (EA)	%
Two person inspection method by architecture major managers	7	13.7
Regular inspection, Lubrication	31	60.8
Specification of inspection method	11	21.6
Establishment of a management system	1	2
No responses	1	2

4.2 병렬구조식 안전장치의 실험 결과

4.2.1 Case1: 자립형 병렬구조식 안전장치의 실험 결과 및 고찰

실험 결과, Fig. 7과 같이 높이 4 m에서 2 m까지 507 kg의 실험체가 낙하하여 자립형 낙하 안전장치와 충돌하였을 때 자립형 낙하 안전장치 강관 부재가 10 cm의 변형이 발생하여 높이 1.9 m 이하까지는 안전함을 입증할 수 있었다. 결과적으로 기존 낙하 안전장치가 기능을 상실하더라도 자립형 낙하 안전장치를 사용하면 낙하사고로 인한 중대 재해를 예방할 수 있음을 확인하였다. 실제 현장 적용 후 추가 고찰을 진행한 결과, 낙하로 인한 양단부의 충격 시 도어 섹션 중앙부 및 연결 힌지의 파손이 우려되었고 수동타입으로 사용자의 사용 편의 관련 VOC가 많았다.



Fig. 7. Test results of self-supporting fall safety device: steel pipe deformation (sag) of 10cm occurred.

4.2.2 Case2: Safe wire를 활용한 병렬구조식 안전장치의 실험 결과 및 고찰

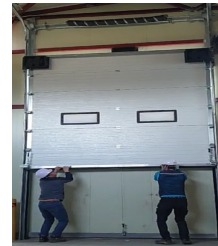
Fig. 8과 같이 높이 2 m 지점에서 전동셔터가 낙하 시 높이 1.7 m 지점(30cm 이내)에서 멈춤을 확인하였고 Fig. 9와 같이 높이 2 m 지점에서 오버헤드 도어가 낙하 시 높이 1.6 m 지점(60cm 이내)에서 멈춤을 확인하였다. 각 10회 실시 결과 오차범위는 30 cm 간격으로 발생하였고 최대 60 cm 낙하 거리 내에서의 제동을 확인하였다.

Fig. 10과 같이 Safe wire를 활용한 병렬구조식 낙하 안전장치를 상단부 양측에 2개소 설치한 경우와 상단부 중앙에 1개소 설치하는 경우를 비교했을 때, 오히려 상단부 양측에 2개소를 설치하였을 때 도어의 좌우



After application
(Height of Stopped H=1.7 m)

Fig. 8. Result of the first test of safety devices using safe wire for electric shutter.



After application
(Height of Stopped H=1.4 m)

Fig. 9. Second test result of safety device using safe wire for overhead door (connected at 1 central location).



Braking fails(NG) due to balance issues

Fig. 10. Safety device installation location and location test results using safe wire for overhead door (Pass at 1 location in the center, NG at 2 locations at both ends).

밸런스 불균형 문제로 낙하 제어가 제대로 되지 않는 현상을 확인할 수 있었다. 따라서, Safe wire를 활용한 병렬구조식 낙하 안전장치는 상단부 중앙에 1개소만 설치하는 것이 바람직함을 확인하였다.

5. 결론

본 연구는 국내 산업용 오버헤드 도어의 사후 보수율을 분석하여, 선제적 정기 점검이 잠재위험요인을 감소시키고 사고를 예방하는 데 효과가 있는지를 확인하고, 또한 점검자의 인적 오류와 기존 오버헤드 도어의 시공 조건 및 노후 상태에 구애받지 않으면서, Fail

safe 역할을 수행할 수 있는 병렬구조식 안전장치를 개발하여 사고 예방 방안을 모색하고자 하였다. 이를 위해 정기 점검 전후의 보수 및 사고율을 시계열적으로 분석하고 설문을 통해 검증하였다. 또한 기존 국내외 오버헤드 도어의 시공 조건에 구애받지 않고 독립적으로 설치가 가능한 병렬구조식 안전장치를 Case 1,2로 개발하여 성능을 확인하였다.

연구 결과, 정기 점검을 시행하지 않은 오버헤드 도어의 고장률은 연평균 13.9%였으나, 정기 점검을 시행한 후에는 3.8%, 1/3 수준으로 현저히 감소했고, 사고율은 정기 점검 전 연간 1건 이상 발생하였으나, 시행 후 0건으로 나타났다. 관리자와 사용자의 사용 체감도를 설문 조사한 결과, 정기 점검 및 윤활 작업이 필요(60.8%)하고 접촉식 점검(21.6%) 등 세부적인 관리를 병행해야 효과적(92.5%)이라는 것을 알 수 있었다. 이는 선제적 정기 점검이 사고 저감에 상당한 효과가 있음을 알 수 있는 중요한 지표이다. 또한 병렬구조식 안전장치를 Case 1, 2로 개발 및 성능을 확인하였다.

하지만 본 연구 결과를 일반화하기 위해서는 몇 가지 한계점이 존재한다. 이번 연구에서는 대형 사업장(연면적 10만평 이상) 2개소에 대하여 점검 데이터 수집 및 설문조사를 실시하였다. 따라서 중소기업 사업장에는 일반화될 수 없다. 또한 Case 1 안전장치의 경우 실제 오버헤드 도어를 낙하시키지 못했다는 한계점도 있다.

따라서 향후 연구에서는 정기 점검 효과 분석 대상을 중소기업 사업장으로 확대하고, 병렬구조식 안전장치를 현장에 적용하여 차량, 장비 통행의 문제 및 설치로 인한 추가 위험성, 변화 추이를 확인하는 등 연구 결과의 신뢰도를 높이는 것이 필요할 것이다.

Acknowledgement: This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) and Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) through the International Cooperative R&D program (P0024779).

References

1) J. Lee and J. Jeong, “A Comparative Analysis of Overseas Cases to Enhance Effectiveness of CEO’s Safety and Health Duties - Focusing on Serious Accidents Punishment

Act and Singapore’s New Policy-”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 38, No. 1, pp. 55-61, 2023.

2) S. Kim, J. Jeong and J. Jeong, “Improvements of Design For Safety in Korea based on the Comparative Analysis with Other Countries”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 34, No. 6, pp. 38-49, 2019.

3) D. Winterton, “History of the Garage Door”, p. 1, 2012.

4) Y. Jung, “Checklist Development for Overhead Door Fall Prevention in Maintenance Phase”, Department of Architectural Engineering Graduate School, Chungbuk National University, Cheong-ju Korea, pp. 1-2, 2022.

5) S. T. Her, “Study of Overhead Door Application on Garage Door of Fire Stations”, Department of Arichtectural Engineering The Graduate School Pusan National University, Pusan, p. 6, 2018.

6) 'Rules on Occupational Safety and Health Standards, Articles 126 Ministry of Employment and Labor Ordinance No. 393, September 28, 2023.

7) Rules on Occupational Safety and Health Standards, Articles 11 and 12, Ministry of Employment and Labor Ordinance No. 337, October 19, 2023.

8) Construction Industry Basic Act Enforcement Decree, Presidential Decree No. 33456. Ministry of Justice, 2023.

9) BS EN 13241. Industrial, Commercial, Garage Doors and Gates - Product Standard, Performance Characteristics, 2017.

10) BS EN 12604. Industrial, Commercial and Garage Doors and Gates -Mechanical Aspects, 2017.

11) BS EN 12453. Industrial, Commercial and Garage Doors and Gates - Safety in Use of Power Operated Doors, 2017.

12) Y. Jung, “Checklist Development for Overhead Door Fall Prevention in Maintenance Phase”, Department of Architectural Engineering Graduate School, Chungbuk National University, Cheong-ju Korea, pp. 15-16, 2022.

13) <http://www.jsdns.co.kr/>

14) Geumseong SNT Co., Ltd., Samsung Display, “Shutter Fall Prevention Structure for Industrial Facilities”, Patent Application 10-2021-0008456, Korean Intellectual Property Office, 2021.

15) S. T. Her, “Study of Overhead Door Application on Garage Door of Fire Stations.”, Department of Arichtectural Engineering The Graduate School Pusan National University, Pusan, pp. 18-21, 2018.