



이동식 사다리 작업의 위험요인 분석 및 대체품(작업발판) 개발

OSHRI

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



연구보고서

이동식 사다리 작업의 위험요인 분석 및 대체품(작업발판) 개발

황종문·이기열·이경선·전두성

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- 연구기간 2022년 1월 ~ 2022년 11월
- 핵심단어 안전, 이동식 사다리 대체품, 작업발판, 전도, 추락사고
- 연구과제명 이동식 사다리 작업의 위험요인 분석 및 대체품(작업발판) 개발

1. 연구배경

이동식 사다리는 위험성이 높음에도 불구하고 작업 위치로의 승·하강을 위한 통로 및 고소 부위에서의 작업 시 발 디딤을 위한 작업발판 용도로 산업현장과 가정에서 광범위하게 사용되고 있다. 산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 이동식 사다리를 통로로만 사용이 가능하지만, 2019년 시행된 이동식 사다리 안전작업지침에 의거하여 일부 발판으로 사용이 허용되고 있다. 하지만 이동식 사다리는 주로 협소한 장소, 고소 부위 등 작업발판 설치가 곤란한 위험한 장소에서 작업발판을 대체하여 사용되고 구조적 불안전성 등으로 산업재해가 지속적으로 발생되고 있다. 따라서 이동식 사다리 작업의 실태조사를 통한 관련 작업의 위험요인과 문제점을 파악하여 현장 활용성과 안전성이 확보된 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 개발하여 근원적인 사고예방 대책으로 제시하고자 한다.

2. 주요 연구내용

1) 이동식 사다리 관련 선행연구 및 제도 분석

국내·외 이동식 사다리 사고예방과 관련한 선행연구 등을 파악하고 작업 안전 및 사고 예방을 위한 안전작업지침, 법령, 규정, 기준 및 인증제도 등을 비교 분석하였다.

2) 이동식 사다리 재해사례 분석

최근 10년간 발생한 건설업 이동식 사다리 추락사고 사망자를 키워드 네트워크 분석 기법을 활용하여 분석한 결과 사고 작업 높이, 사고 작업 종류, 사고 발생 장소, 사고 발생 형태, 사용한 사다리 종류의 위험요인 유형과 연관되어 있음을 알 수 있었다.

3) 이동식 사다리 사용 실태조사

이동식 사다리 관련 실태조사를 위하여 국내·외 제품군 및 대체품 현황을 파악하고 건설업, 제조업 및 서비스업에 종사하는 이해관계자를 대상으로 일반사항, 사다리 작업의 위험요인 및 현장 작업 실태, 대체품(작업발판) 개발방향 등에 대하여 설문조사를 실시하였으며, 이러한 결과를 반영하여 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발에 활용하였다.

4) 이동식 사다리 대체품 개발

사고원인분석, 현장실태조사 등을 통하여 이동식 사다리 작업 시 발생하는 안전사고를 근원적으로 예방할 수 있는 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 단일높이와 높이 조절이 가능한 신축형으로 각각 개발하였으며, 개발된 대체품

(작업발판)에 대해서 구조해석, 실물 성능시험 및 현장설치 등을 실시하여 안전성, 신뢰성 및 적용성을 검증하였다.

3. 연구 활용방안

- 이동식 사다리 관련 산업재해 예방을 위한 실효성 있는 방안 제시
- 국내 이동식 사다리 관련 법·제도 개선을 위한 기초 자료로 활용
- 이동식 사다리 대체품 개발 과정을 통해 고위험 작업의 환경개선을 위한 유사 연구에 적용
- 사고가 집중되는 중소규모 사업장 보급을 위한 재정지원사업 연계방안 검토
- 안전기술개발 시장의 활성화 등

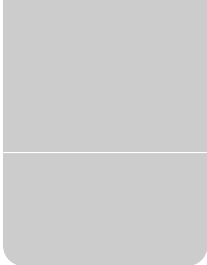
4. 연락처

- 연구책임자(자체) : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 연구위원 황종문
 - ☎ 052) 703. 0842
 - bm0722@kosha.or.kr
- 연구책임자(위탁) : 전남대학교 조경학과 교수 이기열
 - ☎ 062) 530. 2108
 - gylee@jnu.ac.kr

목 차

I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	3
2. 연구방법 및 범위	7
II. 이동식 사다리 현황 분석(자체)	11
1. 선행연구 분석	13
2. 이동식 사다리 관련 제도 분석	21
3. 이동식 사다리 재해사례 분석	37
4. 이동식 사다리 대체품 적용을 위한 인증기준 분석	54
5. 소결	77

Ⅲ. 현장 실태조사(위탁)	81
1. 설문조사 개요	83
2. 이동식 사다리 사용 및 작업실태 분석	89
3. 이동식 사다리 제품군 및 대체품 현황	103
4. 소결	124
Ⅳ. 이동식 사다리 대체품 개발(위탁)	125
1. 이동식 사다리 대체품 개발을 위한 현장 의견수렴	127
2. 대체품(작업발판) 개발 방향	134
3. 대체품(작업발판) 모델	168
4. 안전성 검토	184
5. 현장 적용성 검증	197



목 차

6. 사용자 매뉴얼	217
7. 소결	218
V. 결론	221
참고문헌	227
Abstract	233
부록 : 설문조사지	237

표 목차

〈표 II-1〉 국내·외 이동식 사다리 관련 제도	22
〈표 II-2〉 이동식 사다리 유형(KS G 3701)	23
〈표 II-3〉 이동식 사다리 유형(JIS S 1121)	26
〈표 II-4〉 이동식 사다리 유형 (ANSI ASC A14.2)	27
〈표 II-5〉 국가별 안전인증 적용 범위	29
〈표 II-6〉 국가별 사용기준 및 안전작업지침	32
〈표 II-7〉 국가별 제품표준인증과 안전인증 분류	34
〈표 II-8〉 이해관계자 의무사항 (BS EN 131)	35
〈표 II-9〉 텍스트 마이닝 분석을 통한 위험 요인(Keyword) 도출	42
〈표 II-10〉 위험 요인(Keyword)의 유형별 분류	43
〈표 II-11〉 DTM과 CoM의 변환	46
〈표 II-12〉 동시 출현 연관 위험 요인(Keyword)	47
〈표 II-13〉 이동식 사다리 관련 안전장치 및 안전인증 제품	75
〈표 II-14〉 이동식 사다리 관련 국내·외 인증제도 현황	76
〈표 III-1〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용	104
〈표 III-2〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용	108
〈표 III-3〉 국내 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용	112
〈표 III-4〉 국내 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용	114
〈표 III-5〉 국외 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용	116
〈표 III-6〉 국외 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용	119
〈표 III-7〉 국외 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용	121

표 목차

〈표 Ⅲ-8〉 국외 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용	123
〈표 Ⅳ-1〉 소재 관련 조사 현황	135
〈표 Ⅳ-2〉 이동식 사다리 대체품에 적용 가능한 재료의 성능 비교	137
〈표 Ⅳ-3〉 이동식 사다리 대체품에 적용 가능한 재료의 정성적 평가	138
〈표 Ⅳ-4〉 이동식 사다리 관련 국외기준의 전도 안정성 평가 규정	141
〈표 Ⅳ-5〉 이동식 사다리 대체품에 적용 가능한 단면 특성 비교	164
〈표 Ⅳ-6〉 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 설계하중	167
〈표 Ⅳ-7〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 고려사항	168
〈표 Ⅳ-8〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 개발 조건	169
〈표 Ⅳ-9〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 제작 사양	170
〈표 Ⅳ-10〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 휴대성 비교	175
〈표 Ⅳ-11〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 전도 안전성 비교	176
〈표 Ⅳ-12〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 작업성 비교	177
〈표 Ⅳ-13〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 측면 작업성 비교	178
〈표 Ⅳ-14〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 재료강도 기준	184
〈표 Ⅳ-15〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 안전성 검증을 위한 설계하중 및 하중조합	185
〈표 Ⅳ-16〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 시제품의 구조 안전성 검증을 위한 성능시험 항목 및 기준	198

그림목차

[그림 I -1] 이동식 사다리 안전작업지침	4
[그림 I -2] 연구추진체계	10
[그림 II -1] 사다리 작업의 안전모델 흐름도	14
[그림 II -2] 이동식 사다리 사용자 어플리케이션(NIOSH)	20
[그림 II -3] 이동식 사다리 구조 형태 (KS G 3701)	24
[그림 II -4] 이동식 사다리 구조 형태 (ANSI ASC A14.2)	28
[그림 II -5] SOM(Self Organizing Map)기반의 위험요인지도	39
[그림 II -6] 분석 절차	41
[그림 II -7] 워드클라우드(불용어 제거)	42
[그림 II -8] 산업재해조사표	44
[그림 II -9] 사고 발생 높이 중심의 키워드 네트워크	49
[그림 II -10] 사고 발생 작업 중심의 키워드 네트워크	50
[그림 II -11] 사고 발생 형태 중심의 키워드 네트워크	51
[그림 II -12] 사고 발생 장소 중심의 키워드 네트워크	52
[그림 II -13] 사고 사다리 종류 중심의 키워드 네트워크	53
[그림 II -14] HSE 기준 1	56
[그림 II -15] HSE 기준 2	56
[그림 II -16] HSE 기준 3	57
[그림 II -17] 사다리 위험성 평가 체크리스트(WORK SAFE)	57
[그림 II -18] 사다리 체크리스트(OSHA 3278-2014)	58

그림목차

[그림 II-19] 일자형 이동식 사다리 타입에 따른 허용 무게 기준 (OSHA FS-3660-2013)	59
[그림 II-20] A형 이동식 사다리 타입에 따른 허용 무게 기준 (OSHA FS-3662-2013)	60
[그림 II-21] 농업용 이동식 사다리의 OSHA 안전지침	61
[그림 II-22] 사다리 사용과 관련된 중요한 수치(OSHA 2018)	62
[그림 II-23] 사다리 시험에 대한 환경조건(EN131 Standards)	64
[그림 II-24] 일자형 이동식 사다리 근로자 체크리스트(ALI)	65
[그림 II-25] 이동식 사다리 형태에 따른 무게(ANSI)	66
[그림 II-26] 이동식 사다리 형태 및 안전장치(WSDLI)	68
[그림 II-27] 이동식 사다리 안전 어플(NIOSH)	69
[그림 II-28] 이동식 사다리 종류별 안전작업 지침(KOSHA)	74
[그림 III-1] 업종별 응답자 현황	84
[그림 III-2] 업종별 세부(중분류) 현황	85
[그림 III-3] 현장(작업장) 규모	86
[그림 III-4] 현장(작업장) 안전관리자 배치 현황	87
[그림 III-5] 응답자 근무 현황	88
[그림 III-6] 고소작업 시 이동식 사다리 사용금지에 대한 인식	89
[그림 III-7] 이동식 사다리 사용금지 예외 규정에 대한 인식	90
[그림 III-8] 3.5m 초과 작업 시 A형 사다리 사용 금지에 대한 인식	90
[그림 III-9] A형 사다리의 예외적 사용에 대한 인식	91

[그림 Ⅲ-10] A형 사다리의 예외적 사용 조건에 대한 인식 (높이 2m 미만 작업 시)	91
[그림 Ⅲ-11] A형 사다리의 예외적 사용 조건에 대한 인식 (높이 3.5m 미만 작업 시)	92
[그림 Ⅲ-12] 안전작업지침 준수에 따른 원활한 작업의 수행 가능성 인식 ..	92
[그림 Ⅲ-13] 이동식 사다리 사용금지 예외 규정의 현장 적용에 대한 인식 ..	93
[그림 Ⅲ-14] 높이 2m 미만 사다리 작업의 예외적인 허용 기준의 현장 적용에 대한 인식	93
[그림 Ⅲ-15] 높이 2m 미만 사다리 작업의 예외적인 허용 기준의 현장 적용에 대한 인식	94
[그림 Ⅲ-16] 이동식 사다리 상부 발판에서의 작업 실태	95
[그림 Ⅲ-17] 이동식 사다리 상부 발판에서의 작업 실태	95
[그림 Ⅲ-18] 이동식 사다리 상부 발판에서의 작업 수행 이유	96
[그림 Ⅲ-19] 이동식 사다리(말비계 포함)의 사용 목적	96
[그림 Ⅲ-20] 이동식 사다리(말비계 포함)의 1일 사용 횟수	97
[그림 Ⅲ-21] 이동식 사다리(말비계 포함)의 1일 사용 횟수	97
[그림 Ⅲ-22] 이동식 사다리(말비계 포함) 사용 시 불안정한 장소	98
[그림 Ⅲ-23] 이동식 사다리(말비계 포함)의 사용 높이 (바닥에서 작업이 수행되는 발판까지의 높이 기준)	98
[그림 Ⅲ-24] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 인원	99

그림목차

[그림 Ⅲ-25] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 안전대책(장비)	100
[그림 Ⅲ-26] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 작업도구(작업대상물)의 평균 중량	100
[그림 Ⅲ-27] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 직접 또는 간접적인 사고의 경험 여부	101
[그림 Ⅲ-28] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 사고의 원인(위험요인)	102
[그림 Ⅲ-29] 국내 시판중인 작업발판형 이동식 사다리 중량의 적정성 ..	102
[그림 Ⅳ-1] 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발에 따른 사용 여부 ..	127
[그림 Ⅳ-2] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 항목별 우수성	128
[그림 Ⅳ-3] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 항목별 비우수성	129
[그림 Ⅳ-4] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 높이	129
[그림 Ⅳ-5] 5단 기준 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 중량 ...	130
[그림 Ⅳ-6] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 우선 항목	131
[그림 Ⅳ-7] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 적용을 희망하는 구성품	132
[그림 Ⅳ-8] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 승·하강용 손잡이 설치 필요성	133
[그림 Ⅳ-9] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 길이조절 기능의 제외(단일높이 개발) 여부	133

[그림 IV-10] 5단 작업발판형 이동식 사다리 제원과 작용 하중	143
[그림 IV-11] 전도 안정을 위한 작업발판 높이별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	146
[그림 IV-12] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	147
[그림 IV-13] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	147
[그림 IV-14] 전도 안정을 위한 작업발판까지 높이에 따른 작업발판 크기별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	148
[그림 IV-15] 전도 안정을 위한 작업발판 높이별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)	151
[그림 IV-16] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)	152
[그림 IV-17] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)	153
[그림 IV-18] 전도 안정을 위한 작업발판까지 높이에 따른 작업발판 크기별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	154
[그림 IV-19] 전도 안정을 위한 작업발판 높이별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	156
[그림 IV-20] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	157

그림목차

[그림 IV-21] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	158
[그림 IV-22] 전도 안정을 위한 작업발판까지 높이에 따른 작업발판 크기별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)	158
[그림 IV-23] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)	161
[그림 IV-24] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)	161
[그림 IV-25] 단면특성 계산 결과	163
[그림 IV-26] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시안	171
[그림 IV-27] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 1차 실물모형	171
[그림 IV-28] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 단계별 개발 현황	173
[그림 IV-29] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 보관 크기 비교	174
[그림 IV-30] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안전성 비교	175
[그림 IV-31] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 작업성 비교	176
[그림 IV-32] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 측면 작업성 비교	177
[그림 IV-33] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 형상 및 주요 특징	179
[그림 IV-34] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 크기 비교	180
[그림 IV-35] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 보관 크기 비교	181
[그림 IV-36] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 작동 상태	182
[그림 IV-37] 대체품(작업발판) 모델 시제품과 기존 제품의 비교	183

[그림 IV-38] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조해석 모델링	186
[그림 IV-39] 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 구조해석 결과 ..	187
[그림 IV-40] 대체품(작업발판) 모델 경량화 검토 - 디딤대 2개 제거 ..	189
[그림 IV-41] 대체품(작업발판) 모델 경량화 검토 - 디딤대 3개 제거 ..	190
[그림 IV-42] 대체품(작업발판) 모델 경량화 검토 - 디딤대 4개 제거 ..	191
[그림 IV-43] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 -아웃트리거 제거 ..	193
[그림 IV-44] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 - 디딤대 2개 제거 ..	194
[그림 IV-45] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 - 디딤대 3개 제거 ..	195
[그림 IV-46] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 - 디딤대 4개 제거 ..	196
[그림 IV-47] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험	199
[그림 IV-48] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안정성 평가	200
[그림 IV-49] 단일높이형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과 ..	202
[그림 IV-49] 단일높이형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과 ..	203
[그림 IV-50] 단일높이형 대체품(작업발판)의 전도 안정성 평가	205
[그림 IV-51] 높이조절형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과 ..	207
[그림 IV-51] 높이조절형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과 ..	208
[그림 IV-52] 높이조절형 대체품(작업발판)의 전도 안정성 평가	210
[그림 IV-53] 사용자 평가 응답자 현황	212
[그림 IV-54] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 사용자 평가 결과	216
[그림 IV-55] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 우수 항목	216

I. 서론

.....

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

이동식 사다리는 작업이 이루어지는 장소로 오르내리는 발판 또는 높은 위치에서 이루어지는 작업의 보조기구로 가정과 산업현장에서 광범위하게 사용되고 있다. 특히 이동식 사다리는 산업안전보건법(산업안전보건기준에 관한 규칙 제24조)에서 이동통로로 규정되어 작업발판으로서의 사용이 규제됨에도 불구하고, 대부분의 산업현장에서는 작업의 편리성 및 이동식 사다리로 작업 발판을 대체하여 사용할 수 있다는 잘못된 인식으로 광범위하게 사용됨에 따라 관련 사고도 지속적으로 발생하고 있는 실정이다. 최근 10년간 이동식 사다리에 의해 사고사망자 267명, 사고재해자 36,571명이 발생하였다. 특히, 최근 5년간으로 범위를 국한하여도 사고사망자가 169명이 발생하였으며, 이를 업종별로 살펴보면 건설업에서 105명, 서비스업에서 46명, 제조업에서 18명이 발생하여 이동식 사다리의 사용에 따른 사고 위험이 높음을 알 수 있다. 그 중 가장 많은 재해가 발생한 건설업의 경우, 이동식 사다리로 인한 재해가 전체 사고사망자의 62.1% 비중을 차지하고 있으며, 사고의 원인을 분석해 보면 이동식 사다리를 작업발판의 설치가 곤란한 장소나 신속한 작업 등을 위해 무리하게 사용하면서도 이동식 사다리의 전도를 방지할 수 있는 조치의 미실시, 미끄럼 방지조치의 미실시 및 훼손된 사다리를 사용하는 등 적절한 안전조치가 이뤄지지 않은 상태에서 사고가 발생하는 것으로 나타났다.

이와 같이 사망재해를 포함한 산업재해가 많이 발생하는 이동식 사다리에 대해서 2018년 12월 고용노동부에서는 「산업재해 사망사고 절반줄이기」 대책의 일환으로 이동식 사다리를 작업발판 용도로 사용하는 것을 전면 금지하였다. 그러나 사업장의 혼란과 각 계의 개선대책 요청이 쇄도하여 2019년 3월

「이동식 사다리 안전작업지침 개선방안」의 시달하였다(그림 I-1 참조). 이는 산업안전보건법(산업안전보건기준에 관한 규칙 제24조)상에서 사다리는 이동통로로 규정되어 원칙적으로 사다리를 작업발판으로는 사용할 수 없음에도 불구하고, 묵시적으로 현장에서 작업발판으로 사용하면서 사고가 지속적으로 계속 발생하고 있는데 따른 조치이며, 기존 이동식 사다리를 작업발판으로 사용하는 것을 전면금지에서 불가피한 경우에 한해 사용 가능한 것으로 변경되었다.



[그림 I-1] 이동식 사다리 안전작업지침

여기서 불가피한 경우는 전구교체, 전기통신 작업, 평탄한 곳의 조경 등 손 또는 팔을 가볍게 사용하는 경작업과 고소작업대·비계 등의 설치가 어려운 협소한 장소에서 작업하는 경우로 제한된다. 이와 함께 최대길이 3.5m 이하 A형 사다리(조경용 포함)에서만 작업하도록 제한하면서, 이용 시 넘어짐 방지장치를 함께 설치하도록 권고하였으며, 이외에 보통사다리(일자형), 신축형사다리(연장형), 일자형으로 펼쳐지는 발붙임 겸용 사다리(A형)에서는 작업발판으로의 사용을 금지하였다. 또한 작업 용도로 사다리를 사용 시 필수적으로 안전조치를 취하도록 하면서 특히 작업높이별 안전조치 수준을 다음과 같이 단계

적으로 적용하였다. 기본적으로 모든 사다리는 평탄·견고하고 미끄럼이 없는 바닥에 설치하는 것으로 기본으로 하면서 작업높이 1.2m 미만은 안전모 착용, 1.2m 이상 2m 미만은 안전모 착용과 2인 1조 작업 및 최상부 발판에서 작업 금지, 2m 이상 3.5m 이하는 안전모 및 안전대 착용과 2인 1조 작업 및 최상부 발판 및 그 하단의 디딤대에서 작업을 금지하였다. 그리고 사다리 구조 등 그 외 안전보건 조치는 산업안전보건기준에 관한 규칙을 준수하도록 하였다.

이러한 제도적 개선방안 시행에도 불구하고 이동식 사다리는 고소 장소에서 작업발판을 대체하여 광범위하게 사용되고 있으며, 전도나 넘어짐 같은 구조적 불안전성 등으로 산업재해가 지속적으로 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이동식 사다리 작업의 실태조사를 통해 관련 작업의 위험요인과 문제점을 파악하여 현장 활용성과 안전성이 확보된 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 개발하고자 한다.

2) 연구목적

이동식 사다리는 산업안전보건법(산업안전보건기준에 관한 규칙 제24조)에 따라 작업이 필요한 장소 또는 위치로 승·하강을 위한 이동통로로 규정되어 작업발판으로서의 사용이 규제됨에도 불구하고, 대부분의 산업현장에서는 작업의 편리성과 이동식 사다리로 작업발판을 대체하여 사용할 수 있다는 잘못된 인식으로 광범위하게 사용됨에 따라 산업재해가 지속적으로 발생하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 연구배경에서 살펴본 이동식 사다리의 문제점을 인식하고 현행 이동식 사다리 안전작업지침에 대한 현장 적용성을 강화할 수 있도록 국내·외 이동식 사다리 작업 및 제도 관련 문헌고찰 및 현장 실태조사를 실시하고자 한다. 그리고 실태조사 결과를 기반으로 하여 기존 이동식 사다리의 대체품(작업발판)과 사용자 매뉴얼을 개발하여 제공하는 것을 목적으로 한다. 이상과 같은 연구목적을 달성하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 주제에 대한 세부 내용을 중심으로 연구를 수행한다.

- 국내·외 선행연구 및 문헌고찰
 - 이동식 사다리 관련 선행연구 분석
 - 이동식 사다리 관련 법규정 및 인증제도 분석
 - 이동식 사다리 작업 관련 재해사례 분석
- 이동식 사다리 작업 현장 실태조사
 - 이동식 사다리 사용 문제점 파악
 - 국내·외 사용실태 비교분석 및 사고예방활동 사례
 - 이동식 사다리 제품군 및 대체품 현황
- 이동식 사다리 대체품 개발
 - 실태조사 결과, 위험요인 분석 및 현행 법규정 등의 내용을 반영
 - 휴대성(경량화), 작업 편의성 및 구조 안전성의 동시 확보
 - 개발된 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 대한 사용성 테스트 실시
 - 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 현장 적용성, 성능시험을 통한 안전성 검증 및 사용자 매뉴얼 개발

2. 연구방법 및 범위

1) 연구방법

이동식 사다리 작업의 현장 실태조사를 통한 대체품(작업발판) 및 사용자 매뉴얼 개발을 위한 본 연구과제의 세부 연구내용별 연구방법은 다음과 같다.

- 국내·외 선행연구 및 문헌고찰
 - 조사기관 및 검색 데이터베이스 선정
 - 국내·외 문헌고찰을 위한 키워드 선정
 - : 국내 - 안전인증제도, 안전작업지침, 안전작업기준, 표준작업지침, 사다리 재해, 이동식 사다리 개발, 이동식 사다리, 추락재해 등
 - : 국외 - Safety certification system, safety work instructions, safety work standards, standard work instructions, ladder disaster, mobile ladder development, mobile ladder, crash disaster, etc.
 - 국내·외 문헌고찰 절차
 - : 기관 및 데이터베이스 검색 → 키워드 검색 → 제목 리뷰 → 초록 및 개요 리뷰 → 문서 전체 리뷰 → 조사항목 및 관련 내용 정리
 - 문헌조사 내용 정리
 - : 국내외 이동식 사다리 관련 인증제도 현황에 대한 인증 항목별 정리
 - : 국내외 이동식 사다리 관련 안전작업지침에 대한 구성 항목별 정리
 - : 이동식 사다리 매뉴얼에 대한 제품 정보를 정리
 - : 이동식 사다리 작업 관련 재해사례 분석 정리
- 이동식 사다리 작업 현장 실태조사
 - 이동식 사다리를 사용하는 업종별·작업내용별 문제점 파악

- 대상 : 업종별(건설, 제조, 서비스) 10개소, 총 30개소 이상
- 내용 : 이동식 사다리의 사용목적, 사용장소, 위험요인, 안전조치 방법, 제도적 개선 방안, 대체품(작업발판) 개발방향과 관련된 문항으로 구성
- 방법: 1차 온라인 설문 및 2차 면담 등의 방법으로 실시
- 실태조사 결과를 기반으로 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발방향 설정

• 이동식 사다리 대체품 개발

- 국내·외 문헌고찰, 실태조사를 통해 도출된 결과를 기반으로 이동식 사다리 대체품(작업발판)과 사용자 매뉴얼 개발
- 대체품(작업발판)에 적용할 수 있는 구조 및 사용 재료에 대한 조사를 실시하고, 기존 이동식 사다리의 개선을 포함한 대체품(작업발판)이 될 수 있도록 휴대성(경량화)·작업성·안전성에 중점을 두면서 현행 법 규정 및 인증기준에 부합되도록 개발
 - : 기존 이동식 사다리보다 경량화되고 안전성이 강화된 제품으로서, 기존 제품보다 향상되도록 최적화
 - : 산업안전보건기준에 관한 규칙 제56조(작업발판의구조)·제67조(말비계)·제68조(이동식비계), 고용노동부고시 제2021-22호(방호장치 안전인증 고시), 국가기술표준원 ‘공급자 적합성 확인대상 생활용품(휴대용 사다리)의 안전기준’ 등에서 규정하는 성능기준에 충족
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 시제품을 개발하고 안전성 검증을 위해 성능시험 및 현장 테스트를 수행함. 이와 함께 사다리 관련 Kosha guide 및 해외 규정, 실태조사와 성능시험 및 현장 테스트 등의 결과를 종합하여 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 대한 사용자 매뉴얼을 함께 개발

2) 연구범위

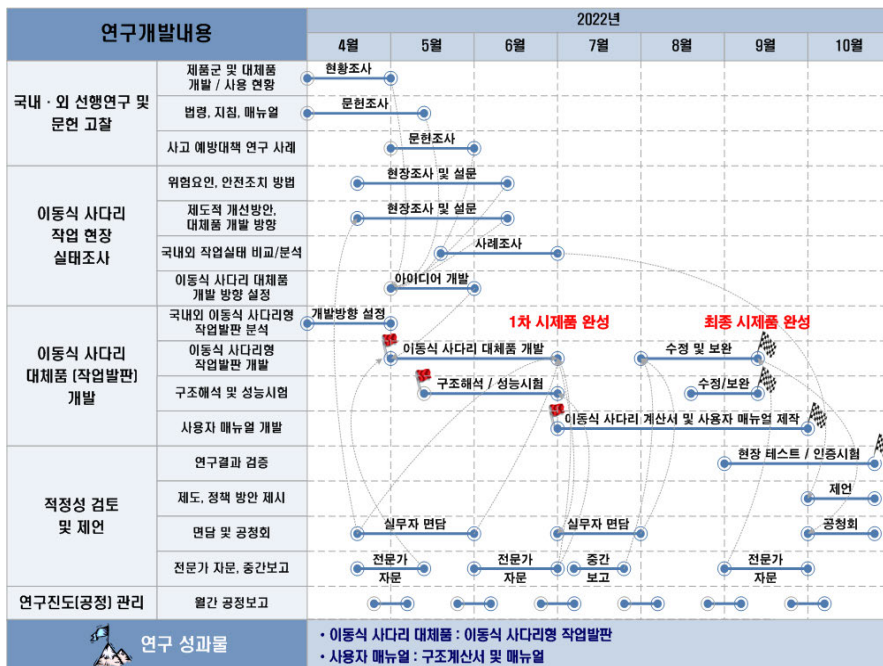
이동식 사다리 작업의 현장 실태조사를 통한 대체품(작업발판) 및 사용자 매뉴얼 개발을 위한 본 연구과제의 연구내용별 연구범위는 다음과 같다.

- 국내·외 선행연구 및 문헌고찰
 - 이동식 사다리 작업 관련 재해사례 분석에 대해서는 재해비중이 높은 건설업에 대한 심층분석(위험요인 연관구조) 실시
 - 국내·외 제품인증제도, 안전인증제도 및 사용인증제도 등을 조사
 - 제품인증제도, 안전인증제도, 사용인증제도에 대해서는 국내외 제도의 종류 및 안전인증에 대한 항목을 조사
 - 안전작업지침에 대해서는 목적, 적용범위, 사용 및 설치기준, 각종 준수사항 등에 대한 항목을 조사
 - 제품 매뉴얼에 대해서는 구조, 재료, 안전성 기준 및 안전장치 항목 등을 조사
- 이동식 사다리 작업 현장 실태조사
 - 작업종류별 사용 문제점에 대해서는 재해분석을 통한 위험요인과 문제점을 발굴
 - 개선방안 및 요청사항 조사에 대해서는 업종별 사용자를 대상으로 설문조사를 통하여 개선방안 및 요청사항을 조사
 - 작업실태 및 사고예방활동 사례에 대해서는 세부 작업별 실태분석과 선제적 사고예방 활동을 조사
- 이동식 사다리 대체품 개발
 - 국내·외 이동식 사다리 제품군 검증에 대해서는 관련 기준 및 규정에 따른 현장 적용성, 구조 안전성 및 대체품(작업발판) 개발을 위한 적용 항목을 조사

- 대체품(작업발판) 최적 설계에 대해서는 현장 실태조사 결과, 전문가 자문을 통한 설계(안) 도출
- 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발에 대해서는 휴대성(경량화), 안전성 및 작업성 확보를 우선적으로 고려하고, 개발 단계별 시험 및 검증을 통한 대체품(작업발판)의 최적화

3) 연구 추진체계

본 연구과제의 목표를 성공적으로 달성하기 위한 상기의 연구내용 및 방법에 따른 구체적인 연구추진체계 및 일정은 [그림 I -2]와 같다.



[그림 I -2] 연구추진체계

Ⅱ. 이동식 사다리 현황 분석

.....

Ⅱ. 이동식 사다리 현황 분석

1. 선행연구 분석

1) 건설현장 사다리에서 추락재해 예방을 위한 개선방안(송창섭외 3인)

건설현장에서 사다리의 사용 중 추락재해사례 분석을 토대로 사다리 사용의 문제점을 도출하고 건설현장에서 사다리 사용 시 개선방안을 제시하여 산업재해를 예방하고자 함.

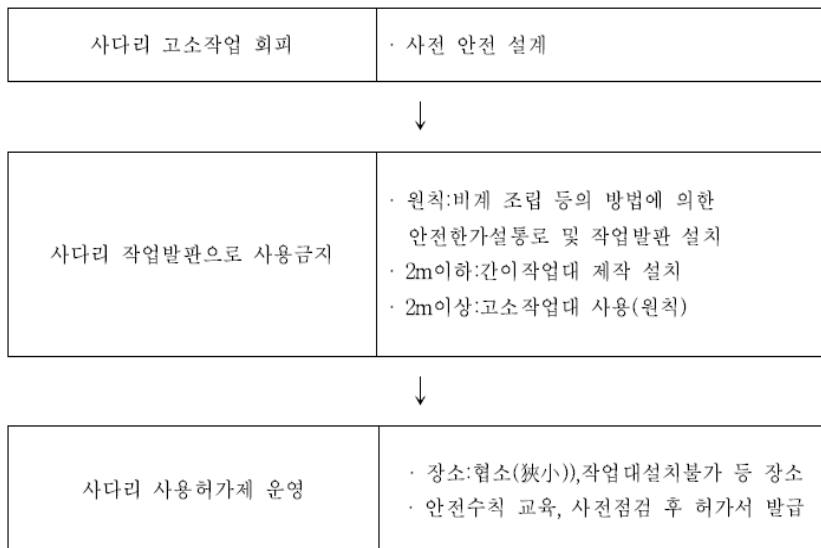
• 사다리 사용의 문제점

- ✓ 작업발판 대용 - 작업발판으로 주요 사용하고 있는 B.T 비계(Build-up Type Scaffold), 고소 작업대 설치 불가 협소(狹小)장소에서 작업 어려움으로 인하여 대체 사용
- ✓ 협소장소에서 고소구간 이동 - 설비 및 배관 설치구간사이 작업장소인 고소구간 이동의 어려움으로 이동통로로 사용
- ✓ 기자재 내부 통행 이동 - 소각로, 탱크(Tank), 펄퍼(Pulper) 등 기자재 내부 통행 이동으로 사용
- ✓ 물건 들고 사다리 승강 - 물건을 들고 사다리를 오르거나 내려오는 작업 실시

• 사다리 사용시 개선방안

- ✓ 사전 안전설계에 반영 - 기자재 내부 통행을 못하도록 외부에 walk station 설치 또는 내부 고정식 안전통행로를 사전 설치함

- ✓ 작업발판으로 사용금지 - 고소작업시 사다리를 작업발판으로 사용금지 하면 추락위험을 근원적으로 제거 할 수 있을 것이며, 현장 설명시 시방서내 협력업체 사다리 현장내 반입 및 사용금지를 명문화해 분쟁방지토록 함
- ✓ 작업대 사용 - 작업시에서는 비계조립 등의 방법에 의한 안전한 구조의 가설통로 및 작업발판을 설치하여 작업토록 하는 것을 원칙으로 하고 지면에서 2m이하에서는 간이 작업대 제작 설치 사용 및 2m 이상 고소작업시에서는 고소작업대(일명 렌탈) 사용토록 함
- ✓ 사용 허가제(Work Permit) 운영 - 협소(狹小)한 장소의 B.T 비계(Build-up Type Scaffold), 고소 작업대 등 설치 불가한 장소에 한해 사다리 사용 안전수칙 교육, 사다리 사전 점검 후 사다리 사용허가서를 발급하여 관리감독 영역권에 들어 올수 있도록 조치함



[그림 II-1] 사다리 작업의 안전모델 흐름도

2) 이동식 사다리를 중심으로 한 제조업에서의 추락재해 예방대책 연구 (김형석외 4인)

제조업에서의 추락은 사다리 사용, 지붕작업 등 고소작업으로 인한 추락위험이 상존함에도 이러한 위험요인이 간과된 상태로 수행되는 경우가 많음. 특히, 추락다발 기인물인 이동식 사다리의 미끄러짐 시험과 해외의 안전기준을 토대로 안전모델 제시하고 사다리 작업의 안전성 확보방안을 강구함

- ✓ 이동식 사다리 사용 관련 추락사고의 작업내용별로는 승하강, 기계설비의 설치·수리·점검작업, 하역·적재작업 순으로 발생하였음. 그리고 직접원인으로는 사다리 본체의 미끄러짐, 사다리 승하강시 미끄러짐, 사다리 작업시 미끄러짐 등 3대 유형에 집중
- ✓ 추락예방 미조치의 주된 이유는 작업을 빠르고 쉽게 하기 위함이며, 작업 특성상 조치가 어려운 문제점도 있음. 하지만 대체적으로 기본적인 안전조치를 취하지 않는 관행이 우선시 되고 있음
- ✓ KS규격에 따른 사다리 발판 마찰계수 시험을 측정한 결과 표준상태(건조) > 비표준상태(습분) > 비표준상태(토분)로 토분의 경우 건조 시와 비교할 때 최대 63.9%의 감소율이 나타났으며, 작업자의 신발과 발판 사이의 토분 제거가 미끄러짐 예방에 매우 중요함을 알 수 있음
- ✓ 이동식 사다리 위에서 작업이 불가피한 경우가 있음에도 산업안전보건법에서는 이를 반영치 못하고 있으나 영국의 HSE, 미국의 OSHA 등 선진외국에서는 이동식 사다리를 작업에 사용 시 세부적인 안전기준을 준수하도록 규정하고 있음

3) 산업현장 사다리 관련 사망재해 분석 및 추락재해 예방대책에 관한 연구(심현황외 1인)

작업발판 설치가 곤란한 고소 장소나 상대적으로 저렴한 가격으로 신속하게 작업을 진행하기 위해 이동식 사다리를 사용하면서도 안전조치가 제대로 수행되지 않아 사고가 빈번히 발생되고 있으므로 안전한 사용을 유도할 수 있는 대책 마련이 필요함

- 사다리 안전작업 기준을 제시
 - ✓ 사다리는 상하부로 이동하기 위하여 사용하고 위험성평가를 통하여 부득이한 경우 제한적으로 간단한 작업에 한하여 사용함
 - ✓ 사다리 발판의 수직간격은 25~35cm 사이, 사다리 폭은 30cm 이상인 사다리를 사용하여야 함
 - ✓ 사다리는 보행자 통행로, 차량 도로, 문이 열리는 곳 등 사다리와 충돌 가능성이 있는 장소에 설치하지 못하며 부득이한 경우에는 사다리 주위에 방호울 설치
 - ✓ 사다리 주위에 전선, 전기설비 등의 유무 및 상태를 점검하고 감전 위험이 있는 경우에는 비전도체 재질의 사다리를 사용
 - ✓ 사다리는 등지지 말고 마주 본 상태에서 사용하고 몸의 중심이 사다리 기둥을 벗어나지 말 것
 - ✓ 계단식 사다리 사용시 사다리 기둥이 불시에 벌어지지 않도록 잠금장치를 설치하여야 함
 - ✓ 사다리에서는 3점 접촉 상태를 유지하여야 함
 - ✓ 사다리에서의 작업시간은 30분 이하로 하고, 자재, 설비 등 10kg이상의 중량물을 취급하거나 운반해서는 안됨

- 사다리 사고예방 대책

- ✓ 사다리 관련 사망재해를 유형별로 분석한 결과, 사업장 규모 30인미만(244명, 69.9%), 연령 50~59세(138명, 39.5%), 기능원관련 기능종사자(228명, 65.3%), 사용근로자(137명, 39.3%), 기계기구·설비 설치작업(103명, 29.5%), 머리상해(286명, 81.9%), 추락높이 3~5m(109명, 31.2%)에서 사망재해가 가장 높게 발생함
- ✓ 사다리 추락재해예방은 일시적인 캠페인이나 기술지원만으로는 한계가 있기 때문에 해외에서는 사다리 사용에 관한 위험성평가, 안전장치, 작업방법 등을 구체적으로 규정하고 있음. 반면 국내 사다리 관련 안전기준은 위험성평가에 대한 접근이 미흡하고 불명확한 내용에 따른 법해석상의 오류가 있기 때문에 이에 대한 검토 및 보완 필요
- ✓ 소규모 건설현장은 안전조직의 부재, 열악한 교육환경으로 안전교육을 제대로 실시하지 못하는 실정이므로 소규모 건설현장에 대한 기술지원 중심의 사업을 안전교육 중심으로 전환하여 근로자의 안전의식을 제고시킬 수 있는 시스템적 접근이 필요함
- ✓ 사다리 사고예방 관련 연구가 지속적으로 수행되어야 하고 사다리 안전작업 모델에 대한 홍보와 교육이 중요하며, 작업장 실정에 적합하고 안전성이 확보된 사다리를 연구개발하여 소규모 사업장에 지원·보급하는 등의 실효성 있는 대책이 필요함

4) 소규모 건설현장의 추락재해예방을 위한 안전모델 연구 - 안전기준, 교육 및 사다리 개발 중심(정세균외 4인)

소규모 건설현장은 안전조직의 부재, 열악한 자금사정 등으로 추락재해예방을 위한 안전관리를 자체적으로 해결하기 어려운 사각지대에 놓여있다. 공사금액 50억원 미만 소규모 건설현장의 추락재해자는 79.6%를 점유하고 있으며 기인물에서는 가설구조물에서 34.4%, 사다리에서 18.4%를 차지하여 사다리가 추락재해의 주요 기인물로 분석됨.

- ✓ 영국, 호주 등에서는 위험성 평가를 기반으로 체계적인 추락재해 예방 시스템을 갖추고 있으며 OSHA CFR은 각 안전장치의 기준에 대하여 강도, 안전을 등을 세밀하게 규정하는 특징을 갖추고 있으나, 국내 추락 및 사다리 관련 안전기준은 해외 기준과 비교하여 위험성 평가 개념이 미흡하고 내용이 구체적이지 못함
- ✓ 선진외국의 사다리 관련 연구동향은 불안전한 사다리 오르는 방법, 자동 설치 사다리 개발, 펌프 잭(Pump Jack)개발, 이동식 타워 비계 등을 개발하고 있으며 사다리 안전장치 실태조사를 통한 불량사다리 교체 사업 등을 추진하여 이동식 사다리 예방에 적극적으로 대처하고 있음
- ✓ 캠(Cam), 아이들(Idle), 알루미늄 프로파일(Profile)을 적용하여 최대 20cm까지 높이 조절이 가능한 전도방지 아웃리저를 탑재하고 사다리 발판 폭을 확대하여 안전성이 강화된 계단식 안전사다리를 개발하여 제시함

5) 이동식 사다리 안전작업기준 및 안전모델 제시에 관한 연구 (김대영 외 2인)

이동식 사다리는 산업안전보건법상 이동통로로 규정되어 작업발판으로서의 사용이 규제됨에도 불구하고, 대부분의 산업현장에서는 편리성 및 휴대성이 우수한 이동식 사다리를 작업발판이라는 잘못된 인식으로 광범위하게 사용하고 있음. 이에 이동식 사다리 사고예방을 위한 이동식 사다리 안전작업기준과 안전사다리 개발 방향을 제시함

- ✓ 건설업 및 관리업에서의 이동식 사다리 관련 재해가 집중되므로 재해 예방 조치가 우선 필요하며 사다리 작업 시 안전모, 안전대 등 개인보호장비 착용 등에 대한 규제 필요
- ✓ 발붙임 사다리의 경우 전체 재해의 44%가 2.0~3.5m에서 발생하여 이 구간에서의 재해예방조치가 중요하며, 건설업 및 관리업의 경우에는 2m이하에서도 사망 재해가 27%이상 발생하고 있으므로 인식 개선 필요
- ✓ 대규모 현장의 경우 안전규정에 대한 준수 실태가 높았으나 중소규모 현장의 경우 준수 실태가 상당히 낮은 실정이므로 안전한 작업환경 조성을 위한 다양한 지원방안 마련 필요
 - Application 개발[그림 II-2], 기술자료 제작·배포, 노후 사다리 교체비용 지원 등
- ✓ 층고가 높고 협소한 장소, 일자형 및 조경용 사다리 사용작업 등을 고려하여 3.5m 초과 작업에 대한 조건부 안전작업기준 마련 필요
 - 3.5m 초과 높이에서는 사다리 사용을 금지하는 방안도 검토 필요
- ✓ 설계단계에서부터 위험성을 평가하여 고소작업 공종별 유해·위험요인을 발굴하고 고소작업 시 사용할 안전대 부착설비용 앵커 링을 설계도면에 반영하는 등의 사전 안전조치 필요

NIOSH Ladder Safety App Download for Free

To prevent extension and step ladder-related fall injuries and deaths, download and use NIOSH's award-winning Ladder Safety app.

Stats:

500,000+
people are treated each year for ladder-related falls¹

300+ people
die from ladder falls each year²

\$24 billion
is the annual cost to the U.S. for work loss, medical, legal, liability, and pain and suffering expenses from falls³

References:
¹OSHA 2015 Consumer Product Safety Commission (CPSC). Unpublished data from the National Injury Information Clearinghouse (NIIC) using the CPSC's Injury Data Model. CDC, National Center for Health Statistics (2017). Multiple Causes of Death: 1999-2015 in CDC WONDER Online Database. Accessed at <https://wonder.cdc.gov/multi.html>.
DHHS (NIOSH) Publications. 2017-129 - March 2017

Angle Measuring Tool

The **Measuring Tool** uses visual, sound, and vibration cues to alert an extension ladder at the proper angle

Ladder Safety Tools

- Decision** offers tips to plan your job while considering time, materials, and tools required
- Selection** provides a procedure to select the proper size and type of ladder for the task
- Inspection** includes a checklist for ladder mechanical inspection
- Set up** provides instruction for ladder setup and installation
- Proper Use** presents rules for safe ladder use
- Accessories** describes a number of available extension ladder safety accessories

To learn more about falls in the workplace visit:
www.cdc.gov/niosh/topics/falls/mobileapp.html

Get the app from:




Ladder Safety Tools

- Decision** offers tips to plan your job while considering time, materials, and tools required
- Selection** provides a procedure to select the proper size and type of ladder for the task
- Inspection** includes a checklist for ladder mechanical inspection
- Set up** provides instruction for ladder setup and installation
- Proper Use** presents rules for safe ladder use
- Accessories** describes a number of available extension ladder safety accessories

[그림 II-2] 이동식 사다리 사용자 어플리케이션(NIOSH)

2. 이동식 사다리 관련 제도 분석

1) 자료 수집

이동식 사다리의 재해 예방을 위한 제도는 크게 기술적 측면의 제도와 관리적 측면의 제도로 구분할 수 있다. 기술적 측면에서의 안전 제도는 결함, 파손, 안전 장치의 미비 등과 같이 제품 자체의 불안전성으로 인한 재해를 방지하기 위한 목적으로 실시되며, 제품 표준 인증이나 안전 인증 등이 이에 해당한다. 반면에 관리적 측면에서의 안전 제도는 제품의 올바르지 않은 설치·사용과 같이 제품 자체의 문제보다는 불안전한 사용으로 인한 재해를 예방하기 위한 목적으로 실시되며, 사용 기준이나 작업 안전 지침의 제정 및 시행 등이 이에 해당한다. 본 연구에서는 이동식 사다리의 재해 예방과 관련한 안전 제도를 제품 안전 측면(즉, 제품 인증 등)과 사용 기준 등의 사용 안전 측면(즉, 사용 기준 등)으로 나누어 비교 분석하고자 하며, 이를 위해 국내·외 관련 법규, 기준, 규정, 지침을 <표 II-1>과 같이 수집하였다.

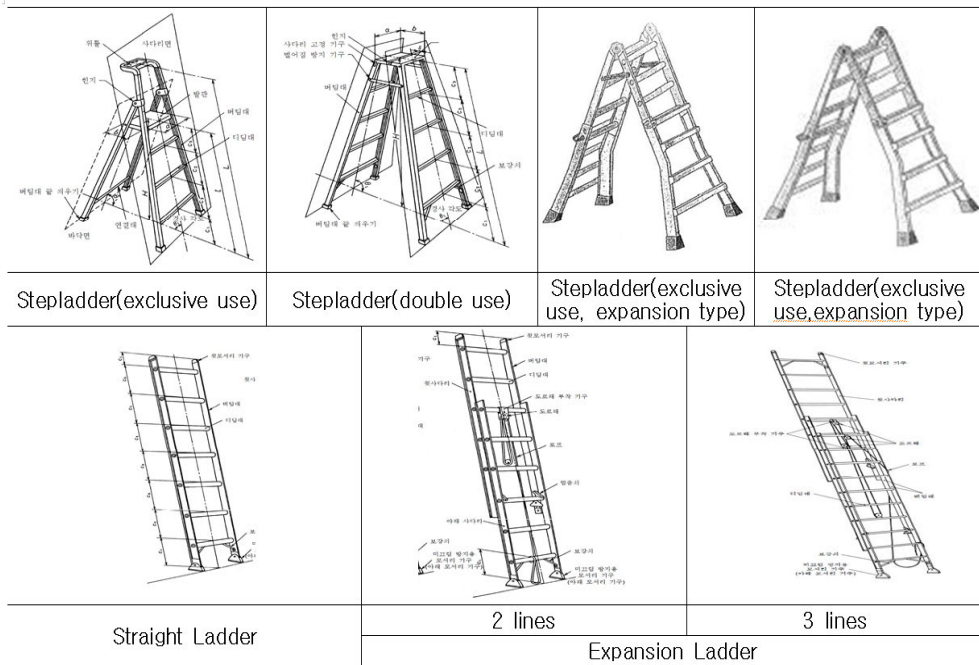
이동식 사다리의 종류(형식), 용도, 구조, 재료, 성능기준, 성능 시험 방법 등 제품 규격에 대한 규정을 통해 제품 자체의 안전과 품질을 확보하기 위한 제품 표준(product standard) 인증을 대부분의 국가에서 자율적으로 시행하고 있다. 우리나라의 경우, 이동식 사다리에 대한 제품 표준 인증 기준은 국가기술표준원에서 제정 시행하고 있는 “KS G 3701 알루미늄 합금제 사다리”가있다. <표 II-2>와 [그림 II-1]에 나타낸 바와 같이, KS G 3701에서는 이동식 사다리를 크게 4개의 버팀대(leg)를 가지고 자립이(self-support) 가능한 발붙임 사다리(step ladder)와 2개의 버팀대를 가져 자립이 불가능하고 벽 등에 기대어(leaning) 사용하는 일자형(straight type) 보통 사다리(ladder)로 구분하고 있다.

〈표 II-1〉 국내·외 이동식 사다리 관련 제도

국가	제도	비고
한국	•KS G 3701 Aluminum Alloy Ladder and Stepladder	Product and Usage Standard
	•Safety Criteria for Supplier Suitability Confirmation (Annex 13 – Portable Ladders)	Safety Certification for Household Use (Legal Regulation)
	•KOSHA Guide G-18-2019 (Technical Guidance for Fabrication and Usage of Portable Metal Ladders)	Usage Standard
	•Rules for Occupational Safety and Health Standards	Code of Regulation
일본	•JIS S 1121 Aluminum Ladder and Stepladder	Product and Usage Standard
	•CPSA 0015 SG Standard for Metal Stepladder for Household Use	Safety Certification for Household Use (Legal Regulation)
	•CPSA 0037 SG Standard for Metal Ladder for Household Use	
	•Certification Criteria for Temporary Equip-ment (Chapter 7 Steel Stepladders and and Chapter 10 Aluminum Alloy Stepladders)	Safety Certification for Industrial Use (Legal Regulation)
	•Usage Manual for Preventing Fall Accidents of Portable Ladders	Usage Guidance
미국	•Rules for Occupational Safety and Health	Code of Regulation
	•ANSI ASC A14.2 American National Standard for Ladders-Portable Metal	Product and Usage Standard
	•OSHA CFR 1926.1053 Ladders	Code of Regulation
영국	•OSHA 3625-04R-2018 Falling Off Ladders Can Kill: Use Them Safely	Usage Guidance
	•BS EN 131 – Ladders	Product and Usage Standard
	•The Work at Height Regulations	Code of Regulation
	•HSE Guidance (Safe Use of Ladders and Stepladders)	Usage Guidance

〈표 II-2〉 이동식 사다리 유형(KS G 3701)

형태		구조	비고
발붙임 사다리 (버팀대 4개)	전용	<ul style="list-style-type: none"> • 발붙임 사다리로만 사용 • 자립 • 최상부 넓은 디딤대가 있음 	최대길이: 2.0 m
	겸용	<ul style="list-style-type: none"> • 발붙임 사다리와 보통사다리로 사용 가능 • 자립 • 최상부 좁은 디딤대가 있음 	
	전용(신축형)	<ul style="list-style-type: none"> • 길이조절 가능 • 발붙임 사다리로만 사용 • 자립 • 최상부 디딤대 없음 	
	겸용(신축형)	<ul style="list-style-type: none"> • 길이조절 가능 • 발붙임 사다리와 보통사다리로 사용 가능 • 자립 • 최상부 디딤대 없음 	
보통 사다리 (버팀대 2개)	일자형	<ul style="list-style-type: none"> • 길이조절 불가능 • 비자립 	최대길이: 10 m
	일자형(신축형)	<ul style="list-style-type: none"> • 길이조절 가능 • 비자립 	



[그림 II-3] 이동식 사다리 구조 형태 (KS G 3701)

발붙임 사다리는 전용(exclusive use)과 겸용(dual use)으로 다시 세분되는데, 겸용은 보통 사다리로도 사용할 수 있다고 설명하고 있으나, 보통 사다리로 사용하는 것과 발붙임 사다리로 사용하는 것에 구체적으로 어떠한 차이가 있는지는 명시하지 않고 있다. 한편, [그림 II-3]에 나타난 바와 같이 버팀대의 길이 조정이 불가능한 전용 및 겸용 발붙임 사다리는 구조적인 형태에서 명확한 차이점을 보이나, 길이 조정이 가능한 전용 및 겸용 발붙임 사다리는 구조적인 형태에서 명확한 차이점을 구분하기 어려운 특징이 있다. 특히 주목할만한 점은 발붙임 사다리의 경우 세부 형식과 관계없이 4개의 버팀대로 세웠을 때 버팀대 지지점으로부터 최상단 발붙임대까지의 자립 높이를 2.0m 이하로 제한하고 있는 반면, 보통 사다리는 높이 대신 사다리 펼침 길이를 10.0m 이하로 제한하고 있다. 이러한 기준은 2018년 고용노동부의 이동식 사다리를 작업발판 용도로 사용하는 것을 전면 금지하는 조치의 시행과 더불어 2019년 ‘공급자 적합성 확인기준 휴대용 사다리 부속서13’의 개정으로 기

존 자립 높이 3.5m, 펼침 길이 12.0m가 조정된 것이다.

KS G 3701과 구조적인 형태나 규격이 유사한 제품 표준으로는 일본 공업 표준인 JIS S 1121이 있다. <표 II-3>에 나타난 바와 같이, JIS S 1121에서는 발붙임 사다리(stepladder)와 보통 사다리(ladder)로 구분하고 있으며, 발붙임 사다리와 보통 사다리의 구조적 형태는 KS G 3701과 유사하다. JIS S 1121과 KS G 3701의 가장 큰 차이점은, 높이와 길이의 제한 및 사용 목적에 대한 정의이다. 즉, 높이와 길이 제한의 경우, 발붙임 사다리는 우리나라와 마찬가지로 자립 높이를 제한하고 있으나 그 높이를 예전부터 2.0m이하로 규정하고 있었으며, 보통 사다리는 길이의 제한을 10m이하로 규정하여 사고 예방을 위해 자립 높이와 펼침 길이를 제한하고 있었다. 또한, 사용 목적에 있어서도, 발붙임 사다리는 전용과 보통 사다리로도 사용 가능한 겸용으로 세분되는데, 우리나라의 KS G 3701에서는 전용 사용과 겸용 사용이 무엇을 의미하는지가 명시되어 있지 않으나, JIS S 1121에서는 보통 사다리는 높은 위치로의 승하강 목적으로만 사용하는 것으로 명시하고 있다. 또한, 발붙임 사다리는 승하강 목적 뿐만 아니라 고소(high place)작업에도 사용하는 것으로 명시하여, 발붙임 사다리의 작업대(work platform)로서의 기능을 인정하고 있다.

즉, 겸용 발붙임 사다리는 자립 높이 제한을 만족하는 범위(2m이하)에서의 고소작업 외에도, 길이 제한을 만족하는 범위(10m 이하)에서 사다리를 일자(一字)로 펼쳐서 승하강 목적의 보통 사다리로도 사용할 수 있다는 것을 명시적으로 규정하고 있다. 한편, 미국의 이동식 사다리에 대한 제품 표준은 “ANSI ASC A14.2”에 규정하고 있고, 영국의 경우 유럽 표준(EN)인 “EN 131”을 준용하고 있다. 미국의 제품 분류는 구조적 형태에 따라 명칭 차이가 일부 있으나 유럽 표준과 대체적으로 유사하다. 미국의 이동식 사다리에 대한 분류는 <표 II-4>에 나타내었으며, 각 분류에 대한 구조적 형태는 [그림 II-4]와 같다.

〈표 II-3〉 이동식 사다리 유형(JIS S 1121)

형태		구조	비고
Stepladder	exclusive use	<ul style="list-style-type: none"> •use only as the stepladder •having a wide foothold on top 	Maximum Height: 2.0 m
	dual use	<ul style="list-style-type: none"> •can be used both as the stepladder and the ladder •having a narrow foothold on top 	
Ladders	straight type	<ul style="list-style-type: none"> •non-expandable •non-self supported (2 legs) 	Maximum length: 10 m
	straight expansion type	<ul style="list-style-type: none"> •expandable (height adjustable) •non-self supported (2 legs) 	

ANSI ASC A14.2에서 규정하고 있는 이동식 사다리의 발붙임 사다리와 보통 사다리의 구조적 형태는 우리나라와 유사하나, 발붙임 사다리와 보통 사다리 외에도 복합형 (combination ladder)이나 관절형(articulated ladder) 등 다양한 구조적 형태를 갖는 사다리 형식을 추가적으로 규정하고 있다. 또한 우리나라의 전용 발붙임 사다리(안전난간 및 발판 포함)에 해당하는 것을 작업대형 사다리(platform ladder)로 따로 분류하고 있으며, 전용 발붙임 사다리의 높이에 해당하는 길이도 최대 5.5m까지로 규정하고 있다는 점이 특징적이다. 미국이나 영국의 제품 표준에서 주목할만한 점은, 사다리의 용도를 허용 작업 하중(working load)에 따라 산업용, 상업용, 가정용으로 구분하고, 각 작업 하중에 따라 높이에 대한 제한 없이 사다리의 최대 길이를 서로 다르게 규정하고 있어서, 작업 여건에 맞는 다양한 사다리 제품을 선택할 수 있다는 점이다. 또한, 미국 제품 표준에서는 작업대형 사다리나 발붙임 사다리는 승하강 뿐만 아니라 고소 작업 목적으로도 사용을 허용하고 있으며, 다른 형식의 사다리도 승하강 목적 외에 작업시간이 짧고 가벼운 도구를 사용하는 경작업(short duration light work)일 경우에 대해서는 고소 작업에 대한 사용 안전 기준을 준수하여 작업대로 사용하는 것을 허용하고 있다.

〈표 II-4〉 이동식 사다리 유형 (ANSI ASC A14.2)

Portable Ladder Category		Special Duty	Extra Heavy Duty	Heavy Duty	Medium Duty	Light Duty
Main Place to Use		Industrial			Commercial	Household
Working Load (kg)		170	136	113	102	90
Type		Length Limitation (m)				
Platform Ladder		0.6~2.4	0.6~5.5	0.6~5.5	0.6~3.0	0.6~1.2
Stepladder		1.0~3.7	1.0~6.1	1.0~6.1	1.0~3.7	1.0~1.8
Ladder	Single Ladder	Less than 4.8	Less than 9.1	Less than 9.1	Less than 7.3	Less than 4.8
	Extension Ladder	Less than 9.7	Less than 18.2	Less than 18.2	Less than 14.6	Less than 9.7
Combination Ladder		Less than 3.0	Less than 3.0	Less than 3.0	Less than 3.0	Less than 1.8
Articulated Ladder		–	1.0~4.6	1.0~4.6	1.0~3.7	1.0~1.8

stepladder	Single Ladder	Extension Ladder
Platform Ladders	Combination ladder	Articulated ladder

[그림 II-4] 이동식 사다리 구조 형태 (ANSI ASC A14.2)

2) 제품 안전 제도 분석

시중에서 생산 판매되는 사다리 제품의 안전성 확보를 위한 제품 표준 인증제는 임의 제도이나 대부분의 국가에서 의무에 준하는 수준으로 시행되고 있다. 그러나, 사다리 제품은 자국에서만 생산 판매되는 것이 아니라 완제품을 수입하여 판매되는 경우도 있으며, 또는 자국에서 생산하더라도 부품을 수입하여 조립 판매하는 경우도 있다. 즉, 수입 판매 제품이나 조립 판매되는 제품의 경우, 자국의 제품 표준에 제시된 규격을 만족하지 못할 우려가 있기 때문에, 특히 재해 위험성이 높은 제품의 경우 제품 표준 인증제와는 별도로 판매되는 제품에 대한 안전 인증(safety certification) 제도를 시행하는 경우가 있다.

〈표 II-5〉에 나타낸 바와 같이, 제품 표준 인증제는 조사 대상 국가 모두에서 시행하고 있으며, 미국과 영국은 별도의 안전 인증제를 시행하지 않고 판매되는 모든 제품에 대해 제품 표준 인증제를 적용하고 있다. 반면에 우리나라와 일본의 경우, 제품 표준 인증제와는 별도로 이동식 사다리에 대한 안전 인증제를 시행하고 있다.

〈표 II-5〉 국가별 안전인증 적용 범위

국가	제품인증 (표시형식)	안전인증	
		가정용	산업용
한국	○ (KS)	○ (KC)	×
일본	○ (JIS)	○	○
미국	○ (ANSI)	N/A	
영국	○ (CE)	N/A	

우리나라에서 시행하고 있는 이동식 사다리에 대한 안전 인증제는 산업통상자원부 소관의 “전기용품 및 생활용품 안전관리법(전안법)”에 의거하여 의무적으로 실시하고 있으며, 안전 인증을 위한 규격(safety certification standard)은 국가기술표준원에서 제정한 “공급자확인 안전기준 부속서 13 (휴대용 사다리)”에 규정되어 있다. “공급자확인 안전기준 부속서 13 (휴대용 사다리)”에 규정된 안전 인증 규격은 대부분 KS G 3701을 준용하고 있으나, 한 가지 차이점은 KS G 3701에서는 인증 대상 사다리의 사용처를 명시적으로 규정하고 있지 않은 반면에, “공급자확인 안전기준 부속서 13”에서는 인증대상 사다리의 사용처를 가정(household)에서 사용하는 주택용으로만 명시적으로 규정하고 있고 산업용에 대해서는 규정하지 않고 있는데, 이는 전안법에서 휴대용(이동식) 사다리를 생활용품으로 분류하고 있기 때문이다. 한편, 우리나라와 유사하게 일본에서도 안전 인증제를 의무적으로 시행하고 있으며, 일본에서 시행되는 안전 인증제는 크게 사용처 및 사다리 형식에 따라 서로 다른 인증 규격을 적용하고 있다는 것이 우리나라와 큰 차이가 있다.

즉, 사용처가 가정용인 발붙임 사다리와 보통 사다리의 인증은 일본 경제산업성 소관의 “소비생활용품 안전인증 규격(CPSA)”에 따른 안전 인증을 받도록 하고 있는 반면에, 사용처가 건설현장이나 공사현장 등 산업용인 발붙임 사다리는 일본 후생노동성 소관의 “가설기자재 안전 인증 규격”에 따른 안전 인증을 받도록 하고 있다. 특히, 일본의 경우 어느 안전 인증 규격이든 발붙임 사다리의 높이 제한은 JIS S 1121과 마찬가지로 2m이하로 동일하게 규정하고 있다는 것은 주목할 만한 점이다. 한편, 우리나라도 일본의 노동안전위생법에 의거한 가설기자재 안전 인증과 유사하게, 산업안전보건법에 의거한 가설기자재 안전인증을 실시하고 있으나 안전인증 대상에 이동식 사다리는 포함되어 있지 않은 상황이다.

3) 사용 안전 제도 분석

이동식 사다리의 재해는 사다리 제품 자체의 불안전성에도 기인하지만, 올바르게 앉은 설치 및 사용이나 부주의한 사용 등 불안정한 사용에도 기인하며, 이러한 불안정한 사용에 따른 재해를 예방하기 위해 적절한 사용 안전 기준(usage standard)이나 작업 안전 지침(safe work guidance) 등을 규정 시행한다.

〈표 II-6〉에는 조사 대상 국가별 사용 안전 기준과 작업 안전 지침의 규정 현황을 나타내었다. 대부분의 국가가 사용 안전 기준과 작업 안전 지침을 규정하고 있으며, 우리나라는 2018년 이동식 사다리를 작업발판 용도로 사용하는 것을 전면 금지 조치 한것에 대한 개선 대책의 일환으로 2019년 “이동식 사다리 안전작업지침”이 마련되었으나 승하강 통로에 대한 사항은 없으며, 불가피하게 작업발판으로 사용하는 경작업에 대한 내용으로 제정·시행 되었다. 사용 안전 기준은 “KS G 3701, 공급자확인안전기준 부속서 13, KOSHA Guide G-130-2020”에 각각 규정하고 있으나, 규정된 사용 안전 기준은 단순히 취급 주의 사항 몇 가지를 나열하고 있는 수준에 그치고 있다. 일본도 우리나라와 유사하게 취급 주의 사항에 해당하는 몇 가지를 제품 표준 인증 규격과 안전 인증 규격에 사용 안전 기준으로 단순 나열하고 있는 수준이나, 이와는 별도로 이동식 사다리를 승하강에 사용하는 경우와 고소 작업에 이용하는 경우 등 사용 용도에 따른 구체적인 작업 안전 지침을 노동안전위생총합연구소 등에서 제정 보급하고 있다.

미국과 영국도 제품 표준 인증 규격인 “ANSI ASC A14.2”와 “BS EN 131”에 사용 안전 기준을 규정하고 있는데, 취급 주의 사항 몇 가지를 단순히 나열하고 있는 우리나라 일본과는 달리, 일반 주의 사항, 사다리 선택, 사용 규칙, 관리 및 점검 등으로 항목을 구분하고 각 항목별로 안전 기준을 매우 세세하게 규정하고 있다. 특히, 영국에서는 사업주, 작업자, 관리감독자 등 사다리 작업과 관련한 각 주체별로 수행해야 할 사항을 사용 안전 기준에서 규정하고 있다는 점은 주목할 만하다. 한편, 미국과 영국에서는 이동식 사다리의 작업 안전 지침도 각국의 산업안전보건청에 해당하는 OSHA(미국)와 HSE(영국)에서 규정하고 있는데, 작업 안전 지침에는 사다리 종류별 및 작업 단계별 안전 수칙과 점검·확인 사항 등을 자세히 제시하고 있다.

〈표 II-6〉 국가별 사용기준 및 안전작업지침

국가	사용안전기준	작업안전지침	
		승하강 통로로 사용	작업발판으로 사용
한국	○	×	○
일본	○	○	○
미국	○	○	○
영국	○	○	○

4) 산업안전보건법규정 분석

각 조사 대상국의 산업안전보건에 대한 법규정에서는 이동식 사다리와 관련한 조항이 제정되어 있다. 먼저 우리나라의 경우 산업안전보건기준에 관한 규칙 “제3장 통로”에 관한 조항 제24조(사다리식 통로 등의 구조)에 이동식 사다리에 대한 규정이 제시되어 있으나, 그 외에는 이동식 사다리가 표현된 조항이 없다. 또한 용어에 있어서도, 단순히 “사다리”로만 모호하게 표현하고 있고, 일본과 달리 보통 사다리와 발붙임 사다리로 용어를 구분 표현하지 않고 있다. 일본의 경우, 노동안전위생규칙 “제9장 추락 위험 방지”와 관련한 조항에서 발붙임 사다리(脚立)와 보통 사다리(はしご) 각각에 대한 명시적 규정이 있으며, 또한 “제10장 통로”와 관련한 조항에서는 보통 사다리 통로(はしご道)에 대한 명시적 규정이 제시되어 있다. 미국은 OSHA CFR 1923.1026에 발붙임 사다리(step ladder)와 보통 사다리(ladder)의 안전과 관련한 명시적 규정이 제시되어 있으며, 영국의 경우도 HSE Work at Height Regulations에 발붙임 사다리와 보통 사다리 각각의 안전과 관련한 규정이 명시되어 있다. 마지막으로, 조사 대상 국가 모두에서 이동식 사다리의 작업대로서의 기능을 제한하는 명시적인 법규정은 제시되어 있지 않다.

한편, 일본 “노동안전위생규칙”에서는 추락 위험 방지를 위해 작업발판의 설치나 추락방호망의 설치 그리고 안전대의 착용이 필요한 고소 작업 높이를 2m 이상으로 통일하여 규정하고 있다. 반면에 우리나라의 “산업안전보건기준에 관한 규칙”에서는 안전대를 착용하여야 하는 고소 작업 높이만 2m이상으로 규정하고 있고, 작업발판의 설치나 추락방호망의 설치가 필요한 고소 작업 높이는 명확한 높이의 제시 없이 단순히 추락 위험이 있는 장소로만 모호하게 표현하고 있다.

5) 문제점과 개선과제

제품 안전 제도 측면에서 일본의 경우, 제품 표준 인증 규격과 안전 인증(가정용 및 산업용) 규격에서 발붙임 사다리의 자립 높이를 2m이하로 규정하고 있으며, 이에 따라 자립 높이 2m이상의 발붙임 사다리가 시중에서 거의 유통되지 않고 있다. 또한, 미국이나 영국의 제품 표준의 경우, 발붙임 사다리의 자립 높이 제한을 두고 있지 않으나, 허용 하중 수준별로 사다리의 전체 길이를 다르게 제한하고 있고 무엇보다 사다리 형식이 매우 다양하여 사용 여건에 맞는 사다리를 선택할 수 있다. 특히, 사용 여건에 맞는 안전한 사다리의 선택을 유도하기 위해, 적절한 사다리의 선택 방법을 사용 안전 기준으로 규정하고 있다. 반면에 우리나라의 이동식 사다리에 대한 제품 표준 인증 규격과 이를 유사하게 차용하고 있는 안전 인증(단, 가정용에 국한) 규격에서는 발붙임 사다리의 자립 높이를 자립높이 2.0m이하, 펼침 길이 10.0m로 하향 개정하였으나 시중에 유통되고 있는 제품은 대부분 개정 전 자립높이 3.5m기준에 맞추어 생산된 사다리이며, 제품 표준 인증(KS)은 아직 개정되지 않아 안전 인증마크(KC) 부착 없이 제품 인증마크(KS)를 부착하여 생산과 판매가 가능하다. 그리고 인증 대상에 포함된 이동식 사다리 형식도 미국이나 영국의 인증 규격만큼 다양하지 않아 작업 여건에 맞는 다양한 사다리 제품을 선택할 수 없다는 점에도 한계가 있다. 이러한 사항들을 고려할 때 개정된 안전 인증 기준에 부합하는 제품 표준 인증 기준의 개정을 검토할 필요가 있으며, 제품 표준 인증의 기준을 하향하는 것이 어려울 경우에는 작업발판 대용의 작업대로 사용 시에 자립 높이가 높더라도 추락 재해에 대한 안전성을 확보할 수 있는 다양한 사다리 형식을 제품 표준 규격에 추가하는 것이 필요하다고 사료된다.

안전 인증 제도 측면에서는 표 II-7에 나타난 바와 같이 제품의 안전성을 확보하기 위해 제품 표준 인증 만을 실시하고 있는 미국이나 영국과는 달리, 우리나라와 일본은 자율 제도인 제품 표준 인증제와는 별도로 의무 제도인 안전 인증제를 가정용과 산업용을 구분하여 시행하고 있다. 그러나, 안전 인증제에 있어서 우리나라와 일본의 가장 큰 차이점은, 일본은 가정용과 산업용을 구분하여 안전인증제를 실시하고 있으나 우리나라에서는 가정용에 대해서만 안전인증제를 실시하고 있다. 앞서 설명한 바와 같이, 안전 인증제는 재해 위험성이 높은 제품을 대상으로 자국에서 생산 판매되는 제품을 포함하여 수입 판매되는 제품에 대해서도 안전 품질을 확보할 목적으로 시행한다.

우리나라에서는 산업통상자원부 소관의 “전기용품 및 생활용품 안전관리법”에 이동식 사다리가 생활용품 안전인증 대상이기 때문에 가정용으로만 안전인증이 실시되고 있고, 건설 현장 등 산업현장의 수요에도 불구하고 산업용에 대해서는 별도의 안전 인증제가 마련되어 있지 않아 가정용으로만 인증된 제품을 산업현장에서도 사용하고 있는 문제가 있다.

〈표 II-7〉 국가별 제품표준인증과 안전인증 분류

국가	제품표준인증	안전인증	
		가정용	산업용
한국	×	○	×
일본	×	○	○
미국	○	N/A	
영국	○	N/A	

더 큰 문제는 가정용 사다리에 대한 안전 인증 규격인 “공급자확인 안전기준 부속서 13”이 “KS G 3701”을 준용하고 있기 때문에, 영국이나 미국 등 외국에서 산업용으로 안전 인증을 받은 제품이거나 또는 국내에서 안전 성능을 개선한 제품을 개발하더라도 “KS G 3701”에 규정된 사다리 형식에 부합하지 않을 경우에는 가정용으로조

차 안전 인증을 받을 수 없으며, 이에 따라 보다 안전한 제품이더라도 국내에서는 이를 선택하여 사용하기 어렵다. 우리나라와 유사한 안전 인증 제도를 시행하고 있는 일본의 경우, 가정용 제품에 대한 안전 인증제와는 별도로 건설 현장 등 산업현장에서 사용하는 이동식 사다리는 노동안전위생법령에 따른 안전 인증을 받도록 하고 있다. 그러나, 우리나라의 산업안전보건법령에 따른 안전 인증 대상에는 이동식 사다리가 포함되어 있지 않으므로 가정용으로만 인증된 제품을 산업현장에서 사용하는 것을 제한하기 위해서는 산업안전보건법령에 따른 안전 인증 대상에 이동식 사다리를 포함하여 산업용 사다리 사용을 유도하는 방안에 대하여 검토할 필요가 있다.

사용 안전 제도 측면에서는 앞서 조사된 바와 같이, 우리나라의 경우 단순히 취급 주의 사항 몇 가지만을 사용 안전 기준으로 제시하고 있으며, 작업 안전 지침은 작업 발판으로 사용하는 경우에만 한정되고 있다. 조사 대상국의 경우 세부적인 사용 안전 기준 및 작업 안전 지침이 마련되어 있을 뿐만 아니라, 특히 영국에서는 표 II-8에 나타난 바와 같이 산업 현장에서 이동식 사다리를 사용하는 경우에 고용주, 근로자 등 이해관계자별 수행하여야 할 역할에 대해서도 구체적인 사항을 규정하고 있다.

〈표 II-8〉 이해관계자 의무사항 (BS EN 131)

구분	의무사항
고용주	<ul style="list-style-type: none"> • 고용주는 근로자 또는 자영업자에게 제공되는 작업장비 항목이 해당 법률 및 규정을 준수하는지 확인해야 한다. • 고용주는 작업에 가장 적합한 제품 또는 장비를 선택하기 위해 각 프로젝트에 대한 위험성평가를 수행해야 한다. • 장비는 안전한 환경에서 적절하게 사용하도록 교육하고 양호한 상태를 유지하도록 관리해야 한다.
근로자	<ul style="list-style-type: none"> • 동료 근로자의 안전을 위협하는 모든 활동 및 결함을 보고해야 한다. • 작업은 안전한 교육에 따라 수행되어야 한다. • 감독자가 제공한 장비를 사용하고 지침을 따라야 한다.
사업자	<ul style="list-style-type: none"> • 작업 장비의 법적 준수 및 안전한 사용을 보장해야 한다. • 작업 장비의 점검 및 유지에 앞장서야 한다. • 고용주는 안전한 사용을 위한 교육 및 훈련에 참여해야 한다.

이동식 사다리 사고 원인 분석 결과를 살펴 보면, 사다리 자체의 구조적 불안전성에 기인하는 경우도 있으나 대부분 잘못된 설치, 무리한 행동, 안전 조치 미이행 등 불안전한 사용으로 인한 재해가 더 많이 발생하고 있는 것으로 보고되고 있다. 그러나 이러한 현실에도 불구하고 우리나라의 경우 올바르게 안전한 사용 방법을 제시하는 구체적인 사용 안전 기준이나 작업 안전 지침이 제정되어 있지 못한 것은 불안전한 사용을 방지하기 위한 현장 안전관리 수행에 있어서 제약점이 될 수 있다. 따라서 이동식 사다리의 불안전한 사용으로 인한 추락 재해의 예방을 위한 현장 안전관리의 실효성을 확보하기 위해서는 이해관계자별 역할과 더불어 작업 단계별(사용전, 사용중, 사용후)로 상세한 사용 안전 기준 및 작업 안전 지침을 마련하는 방안을 강구할 필요가 있다고 사료된다.

우리나라의 산업안전보건법령에서 사다리라는 단어가 표현된 법규정은 “산업안전보건기준에 관한 규칙 제24조(사다리식 통로의 구조)” 밖에 없으며, 이 조항이 “통로”에 관한 규정의 하위 조항이기 때문에 이동식 사다리는 통로로만 사용하여야 하고 작업대(작업발판)로 사용하는 것은 금지되어 있는 것으로 알려져 있다. 그러나, 우리나라 산업안전보건법령을 포함하여 미국, 일본, 영국의 산업안전에 관한 법령에서 이동식 사다리를 작업대로 사용하는 것을 금지하는 명시적인 법규정은 없다. 이동식 사다리를 작업대로 사용하는 것을 금지하는 명시적인 법규정이 제시되어 있지 않은 이상, 작업대로 사용하는 것은 허용된다고 볼 수도 있으므로 해석의 혼란을 초래하여 실무에서도 이동식 사다리를 작업발판 대용의 작업대로 사용하고 있다. 문제는 실무에서 이동식 사다리를 고소 작업의 작업대로 사용할 경우에 추락 재해 방지를 위한 산업안전보건법규정(작업 높이가 2 m 이상일 경우 안전대의 사용 등 추락 재해 예방을 위한 안전 조치를 수행하도록 하는 규정)을 준수하지 않으면 산업안전보건법 위반이 발생하게 된다는 것이다. 그러나 앞서 조사한 바와 같이 우리나라의 이동식 사다리 제품 표준 인증 규격과 안전 인증 규격에는 작업대로 많이 사용되는 발붙임 사다리의 자립 높이를 개정 전 3.5m까지 허용된 제품을 대부분 사용하고 있으며, 이동식 사다리를 작업대로 사용하는 2m이상의 작업 장소 중에는 추락방호망이나 안전대 부착 설비의 설치가 곤란한 경우가 많아 현실적으로 산업안전보건법을 위반하지 않고 작업하기 어려운

문제가 있다. 따라서 이러한 산업안전보건법 위반 없이 발붙임 사다리를 작업대로써 안전하게 사용할 수 있도록 하기 위해서는 제품 표준 인증 규격과 안전 인증 규격에서 제시하고 있는 발붙임 사다리의 자립 높이 허용 기준을 산업안전보건법규정과 맞추는 방안에 대해 검토하거나, 또는 추락방호망이나 안전대 부착 설비의 설치가 곤란한 2m 이상의 작업 장소에서 발붙임 사다리를 작업대로 사용하고자 할 경우, 산업안전보건법 위반 없이 안전하게 사용할 수 있는 안전 조치 방법을 법규정에 새롭게 제시하거나 이동식 사다리 대체품 개발을 통해 해결 가능한 방안을 검토할 필요가 있다고 사료된다.

3. 이동식 사다리 재해사례 분석

1) 개요

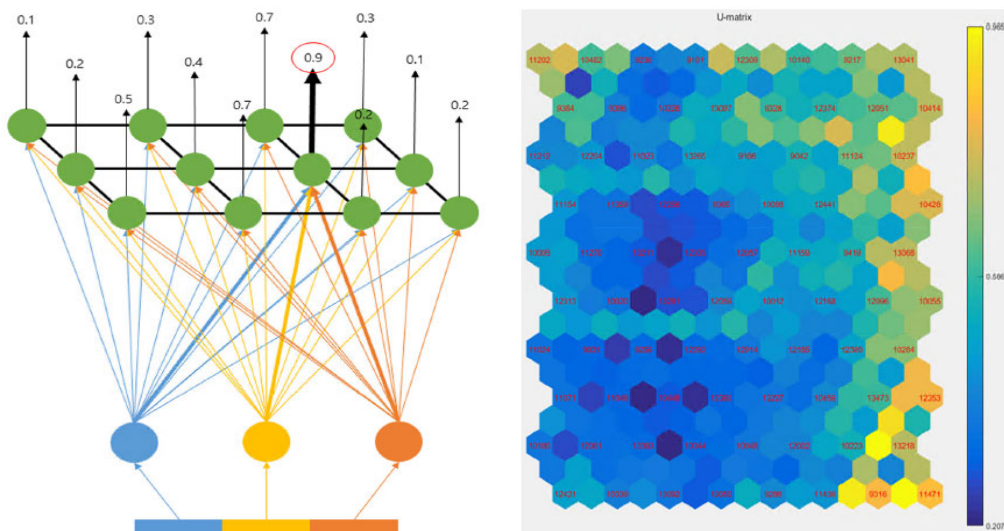
이동식 사다리 재해의 발생 원인은 작업자의 불안정한 행동이나 작업장소의 불안정한 상태와 관계된 직접 원인과 직접 원인의 배경이 되는 간접 원인으로 나누어 볼 수 있다. 따라서 재해 예방은 위험 요인을 파악하고, 이러한 위험 요인을 제거함으로써 달성할 수 있으며, 현행의 재해 사례 분석은 주로 사고의 직접 원인 도출을 중심으로 분석되고 있다. 하지만 재해 예방은 사고의 직접 요인의 제거만을 통해서 달성할 수 있는 것은 아니며, 실제로는 위험 요인의 직접 원인 보다는 간접 원인에 기인하는 경우가 많기 때문에 직접 원인을 중심으로 수행되는 안전관리의 실효성은 낮을 수도 있다. 일반적으로 재해는 위험 요인 간의 결합이나 연계에 의해서 발생하고 있으며, 이러한 재해 발생 메카니즘을 파악하여 결합이나 연계의 발생을 차단할 수 있다면 원천적으로 제거하기 곤란한 고소 장소에서의 사다리 작업자 추락 위험을 제거할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 위험 요인 간의 결합·연계 차단 방식의 재해 예방 대책을 수립하기 위해서는 위험 요인의 도출 뿐만 아니라 도출된 위험 요인간의 연계성이나 인과성에 대한 분석이 추가적으로 필요하다.

위험 요인들 간의 연계성은 크게 인과 구조와 연관 구조로 구분해 볼 수 있

다. 인과 구조는 재해의 원인과 결과를 명확하게 파악할 수 있는 장점이 있으며 ETA(Event Tree Analysis), FTA(Fault Tree Analysis), SDM(System Dynamics Modeling) 기법 등이 인과구조 모델링 기법으로 볼 수 있다. 인과 구조 방식은 위험요인에 해당하는 원인과 재해라는 결과 간의 관계가 명확하게 제시되기 때문에 위험 요인 간의 결합 · 연계 차단 방식의 재해 예방에 있어서 실효성이 매우 높은 대책을 수립할 수 있는 장점이 있다. 그러나 인과 구조 방식은 위험 요인과 재해 간의 인과성을 파악하기 어렵거나 불명확한 경우에는 잘못된 인과 관계를 도출할 우려가 있다. 또한, 재해조사 과정에서 원인이 누락되거나 원인 불명으로 파악될 경우 등 명확한 원인이 도출되지 못할 경우에는 이를 적용하기 어렵다. 반면 연관 구조는 위험 요인들의 상관 관계 등을 분석하여 위험 요인들과 재해 간의 관계를 간접적으로 모델링하는 방식으로 위험 요인과 재해 간의 인과성(직접성)은 파악하기 어려우나 재해조사 과정에서 누락된 원인이 있거나 명확한 인과성을 파악하기 어려운 경우에 이를 적용할 수 있어, 최근 관련 연구가 많이 수행되고 있다. 주로 재해조사보고서에 기반하여 주요 위험 요인들간의 연관 구조를 체계적으로 분석하고 있으며, 재해조사보고서에서 재해와 관련한 위험 요인 정보를 추출하고 추출된 위험 요인 정보 간의 연관 구조를 모델링 하는 기법들이 그것이다. 이에 따라 재해조사보고서의 텍스트 데이터로부터 재해와 관련된 주요 위험 요인들을 추출하고, 각 위험요인 간의 연관 구조를 정량적 계산에 기반하여 모델링하는 방법이 주로 활용되고 있다. 김범수(2018)는 “사고보고 문서를 이용한 텍스트 기반 사고발생 유형 및 관계 분석”에서 텍스트 마이닝을 이용하여 재해조사보고서에 주요한 위험 요인을 도출하고, 토픽 모델링에 많이 사용되는 LDA(Latent Dirichlet llocation)기법을 이용하여 도출된 위험 요인들간의 연관 관계를 구하는 방법을 제안하였고 서용운(2018)은 “재해분석을 위한 텍스트마이닝과 SOM기반 위험요인지도 개발”에서 텍스트 마이닝을 이용하여 재해조사보고서에서 주요한 위험 요인을 도출하고, 신경망에 기반한 데이터 시각화 기법인 SOM(Self Organizing Map)을 이용하여 도출된 위험 요인들

의 정량적 연관 관계를 시각적으로 모델링하는 위험 요인 지도를 작성하였다 [그림 II-5].

본 연구에서는 텍스트 마이닝 분석 기법을 통해 위험요인(Keyword)를 도출하고 위험요인들 간의 연관 구조를 시각적으로 모델링하는 방법으로써, 특정 주제의 지식구조 분석에 많이 활용되는 키워드 네트워크 분석(Keyword Network Analysis; KNA) 기법을 이용하여 건설현장의 이동식 사다리 작업자 추락 재해사례 분석을 실시하여 위험 요인간의 연관성을 분석해 보고자 한다.

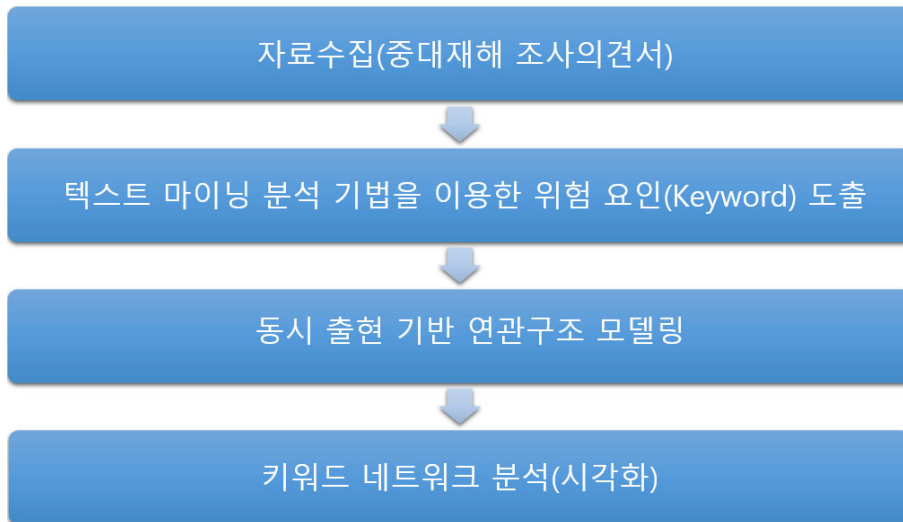


[그림 II-5] SOM(Self Organizing Map)기반의 위험요인지도

2) 분석 방법

위험 요인 연관 구조 모델링을 위해서는 우선 재해와 관련한 주요 위험 요인들을 재해조사보고서로부터 도출하여야 한다. 위험 요인의 도출 방법은 미리 정해놓은 분류 기준(예를 들어 기인물과 같은)에 따라 해당 위험 요인을 직접 도출하는 방법과 이러한 분류 기준 없이 통계학적 방법 등을 이용하여 위험 요인을 추정 도출하는 방법이 있다. 산업재해조사표를 이용한 위험 요인 도출에 많이 활용되는 직접 도출 방법은 분류 기준이 제시되어 있기 때문에 위험 요인의 도출이 용이한 장점이 있다. 그러나, 이 방법은 재해와의 연관성이 있으나 분류 기준에 제시되어 있지 않은 위험 요인 등은 도출하지 못하는 문제점이 있다(안길승 등, 2018). 한편 텍스트 데이터의 키워드 분석 등에 많이 활용되는 추정 도출 방법은 머신러닝이나 통계학적 분석 등을 통해 재해와 연관성이 높은 위험 요인을 확률적으로 추정하여 도출이 이루어진다. 이에 따라 재해와의 인과성이 불분명한 요인도 위험 요인으로 도출될 수 있는 단점은 있으나, 분류 기준에 제시된 위험 요인뿐 아니라 재해와 연관성이 있으나 분류 기준에 제시되어 있지 않은 위험 요인까지 도출 가능한 장점이 있어 재해조사보고서에 기반한 위험 요인 연관 구조 모델링에 최근 많이 적용되고 있다(강성식 등, 2021).

따라서 본 연구는 이동식 사다리 추락 재해 위험 요인의 연관 구조를 분석하는 것에 목적이 있기 때문에, 재해와 연관성이 있으나 기존의 분류 기준에 제시되어 있지 않은 위험 요인까지 도출할 필요가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 이동식 사다리 추락 재해 위험 요인을 분류 기준 없이 추정 도출하기 위해, 방대한 양의 텍스트 데이터에서 핵심 키워드를 추출하는데 효과적인 워드 클라우드 분석 기법을 이동식 사다리 추락 재해 위험 요인 도출에 적용하고 키워드 형태로 도출된 이동식 사다리의 추락 재해 위험 요인들 간의 연관 구조를 동시 출현 특성에 기반한 공기어 분석(co-word analysis; 또는 단어 동시 출현 분석 co-occurrence analysis)하여 모델링 하고자 하며, 또한 이러한 연관 관계를 시각적인 형태로 나타낼 수 있는 키워드 네트워크 기법을 위험 요인 연관 구조 모델링에 적용하였다(그림 II-6).



[그림 II-6] 분석 절차

3) 위험 요인(Keyword) 도출

이동식 사다리 추락재해 위험 요인 연관 구조 분석을 위해 수집한 문서 자료는 최근 10년간(2012년~2021년) 동안 건설 현장에서 발생한 이동식 사다리 추락 사망 사고 162건에 대한 재해조사의견서를 이용하였다. 재해조사의견서에는 재해 발생 개요, 재해 발생 과정, 재해 발생 원인, 재해 발생 대책 등의 내용이 문장 형태로 기술되어 있으며, 본 연구에서는 “재해발생개요”, “재해발생과정”에 서술된 문장을 분석 대상 텍스트 데이터로 수집하였다.

분석 대상 문서의 텍스트 데이터로부터 키워드 형태의 위험 요인을 도출하기 위해, 먼저 수집된 텍스트 데이터 전체에 대하여 분석 목적과 무관한 불용 단어(stopwords)를 제거 하였다. 불용어에는 의성어, 감탄사 등의 구어적 표현과 대명사, 수식어, 동사, 조사 등과 같이 문어적 표현을 위한 단어, 공사개요, 재해자 정보, 신체부위, 문장부호 등이 있다. 이러한 전처리 텍스트 마이닝 분석을 위해 범용 통계 분석 프로그램인 R 3.5.1 버전을 활용하여 <표 II-8>과 같이 위험 요인(Keyword)을 도출하였다.



[그림 II-7] 워드클라우드(불용어 제거)

〈표 II-9〉 텍스트 마이닝 분석을 통한 위험 요인(Keyword) 도출

Risk Keywords	Ranking (Exposure Frequency)	Risk Keywords	Ranking (Exposure Frequency)
stepladder	1 (541)	ceiling	17 (239)
more than 2m	2 (453)	welding	18 (211)
fix	3 (421)	cleaning	19 (197)
installation	4 (391)	roof	20 (176)
pipings	5 (374)	replacement	21 (161)
painting	6 (326)	slip	22 (152)
straight ladder	7 (312)	machine room	23 (143)
inside structure	8 (308)	less than 1~2m	24 (131)
underground	9 (301)	equipment	25 (128)
gardening	10 (298)	passage	26 (118)
temporary structure	11 (293)	roof top	27 (109)
check	12 (283)	other ladder	28 (101)
formwork	13 (276)	reversed	29 (93)
elevating	14 (281)	stair	30 (82)
balance	15 (273)	less than 1m	31 (71)
outside place	16 (255)	defect	32 (23)

텍스트 마이닝 분석을 통해 재해조사의견서에서 도출된 각 키워드들은 사고 발생 당시의 사다리 사용 높이, 수행한 작업의 종류, 사고 발생 장소, 사고 발생 형태, 사용한 사다리의 종류와 관련한 단어임을 알 수 있고 이러한 결과로부터 이동식 사다리 추락 사고는 사고 높이, 작업 종류, 사고 장소, 사고 형태, 사다리 종류와 연관성이 있음을 도출된 위험요인 키워드 유형으로 알 수 있다<표 II-10>.

〈표 II-10〉 위험 요인(Keyword)의 유형별 분류

	Work Heights	Work Types	Accident Patterns	Accident Places	Ladder Types
R i s k K e y w o r d s	1 more than 2m 2 less than 1~2m 3 less than 1m	1 fix 2 installation 3 piping 4 painting 5 gardening 6 formwork 7 check 8 elevating 9 welding 10 cleaning 11 replacement	1 balance 2 overturn 3 slip 4 ladder defect	1 inside structure 2 underground 3 outs de place 4 temporary structure 5 ceiling 6 roof 7 machine room 8 equipment 9 passage 10 roof top 11 stair	1 stepladder 2 stra ght ladder 3 other ladder

이동식 사다리는 종류별로 구조적 형태가 다르고 설치 높이 등과 같은 사용 방법이 다르기 때문에 위험성의 차이가 있으며, 사고 장소와 작업 종류에 따라서도 설치 및 사용 조건이 달라 사고 가능성의 차이가 있다. 따라서 이동식 사다리의 종류, 사고 장소, 작업 종류는 이동식 사다리 추락 재해의 주요 위험 요인 유형으로 볼 수 있다. 이러한 결과는 위험 요인의 도출에 있어서

산업재해조사표[그림 II-8]에 의한 분류 기준에 의한 기존 분석 방법보다는 8 본 연구에서와 같이 재해조사의견서의 텍스트 데이터를 사용한 통계적 추정을 통해 도출하는 방법이 사다리 종류, 사고 장소, 작업 종류 등의 다양한 위험 요인을 누락하지 않고 도출할 수 있는 효과적인 방법임을 알 수 있다.

■ 산업안전보건법 시행규칙 [별지 제30호서식]

산업재해조사표

※ 위쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바라며, []에는 해당하는 곳에 √ 표시를 합니다. (앞쪽)

I. 사업장 정보	①산재관리번호 (사업개시번호)	사업자등록번호	
	②사업장명	③근로자 수	
	④업종	소재지 (-)	
	⑤재해자가 사내 수급인 소속인 경우(건설업 제외)	원도급인 사업장명	파견사업주 사업장명
		사업장 산재관리번호 (사업개시번호)	사업장 산재관리번호 (사업개시번호)
건설업만 작성	발주자	[] 민간 [] 국가·지방자치단체 [] 공공기관	
	⑥원수급 사업장명	공사현장 명	
	⑦원수급 사업장 산재 관리번호(사업개시번호)		
	⑧공사종류	공정률	% 공사금액 백만원

※ 아래 항목은 재해자별로 각각 작성하며, 같은 재해로 재해자가 여러 명이 발생한 경우에는 별지에 추가로 적습니다.

II. 재해 정보	성명	주민등록번호 (외국인등록번호)	성별	[] 남 [] 여
	주소		휴대전화	- -
	국적	[] 내국인 [] 외국인 [국적:]	⑨채용자격:	⑩직업
	입사일	년 월 일	⑪같은 종류업무 근속 기간	년 월
	⑫고용형태	[] 상용 [] 임시 [] 일용 [] 무급가족종사자 [] 자영업자 [] 그 밖의 사항 []		
	⑬근무형태	[] 정상 [] 2교대 [] 3교대 [] 4교대 [] 시간제 [] 그 밖의 사항 []		
	⑭상해종류 (장병명)	⑮상해부위 (장병부위)	⑯유입예상 일수	유입 [] 일 사망 여부 [] 사망

III. 재해 발생 개요 및 원인	⑯ 발생일시	[]년 []월 []일 []요일 []시 []분
	⑰ 발생장소	
	⑱ 재해관련 작업유형	
	⑲ 재해발생 당시 상황	
IV. ⑳ 재발 방지 계획		

※ ㉑ 재발방지 계획 이행을 위한 안전보건교육 및 기술지도 등을 한국산업안전
보건공단에서 무료로 제공하고 있으니 즉시 기술지원 서비스를 받으려는 경
우 오른쪽에 √ 표시를 하시기 바랍니다. 즉시 기술지원 서비스 요청 []

※ 근로복지공단은 재해자의 개인정보를 활용하는 것에 동의하는 사람에 한
정하여 해당 재해자에게 산재보험금의 신청방법을 안내하고 있으며 관련
안내를 받으려는 재해자는 오른쪽에 √ 표시를 하시기 바랍니다. 산재보험금여 신청방법 안내를 위한
재해자의 개인정보 활용 동의 []

작성자 성명	작성일	년 월 일
작성자 전화번호	사업주	(서명 또는 인)
	근로자대표(재해자)	(서명 또는 인)

() 지방고용노동청장(지청장) 귀하

재해 분류자 기입란 (사업장에서는 적지 않습니다)	발생형태	□□□ 기인물 □□□□
	작업지역·공정	□□□ 작업내용 □□□

210mm×297mm[백상지(80g/㎡) 또는 중질지(80g/㎡)]

[그림 II-8] 산업재해조사표

4) 동시출현 기반 연관 구조 모델링

앞서 설명한 바와 같이, 재해조사보고서로부터 키워드 형태로 도출한 위험 요인들은 단순히 재해와 어떠한 연관성을 갖는 위험 요인을 나타낼 뿐, 도출된 위험 요인들 간에는 어떠한 연관성이 있는지는 나타내지 못한다. 본 연구에서는 단어 동시 출현에 기반한 연관 구조 모델링을 적용하였다. 동시 출현에 기반한 키워드를 네트워크 모델링하기 위해서는, 우선 <표 II-11>의 (a)와 같은 문서-단어행렬(Document-Term Matrix; DTM)을 구하여야 한다. DTM의 D_{ij} 는 i 번째 문서(D_i)에서 j 번째 키워드(w_j)가 포함된 경우에는 1, 그렇지 않은 경우에는 0의 값을 갖는 행렬이다. 동시 출현 키워드 네트워크 분석 기법에서는 임의의 한 키워드(w_k)가 또 다른 한 키워드(w_l)와 한 문서 내에서 동시에 출현한 빈도를 전체 DTM에 대해서 구하고 이를 그래프 형태로 모델링한다(이수상 등, 2013). 즉, 전체 DTM에서 어떤 키워드 s 와 또 다른 키워드들 간의 동시출현 특성을 나타내는 그래프는 $G_s = (V, E)$ 로 표현할 수 있으며, 여기서 v 는 그래프에서 Node(Vertex)로 표현되는 키워드의 집합을 나타내고, E 는 그래프에서 Link(Edge)로 표현되는 키워드와 키워드 간의 동시출현 강도를 나타내는 집합이다. 전체 키워드에 대한 $G = (V, E)$ 를 행렬로 나타내면 <표 II-11>의 (b)와 같으며, 이를 동시출현행렬(Co-occurrence Matrix; CoM)이라고 한다. CoM은 한 키워드 w_k 가 또 다른 키워드 w_l 과의 동시출현 강도(w_{kl})를 나타내는 행렬로, 그래프에서는 키워드 w_k 와 키워드 w_l 을 연결하는 Link의 굵기로 표현된다. CoM의 대각항은 자기 자신의 동시출현을 나타내기 때문에 일반적으로 “0”으로 처리되며, 비대각항은 키워드 간 동시 출현 순서를 고려하는 경우(즉, 방향성을 고려하는 경우)에는 비대칭행렬이 되나, 그렇지 않은 경우(무방향성인 경우)에는 대칭행렬이 된다(송경호, 2017). CoM의 동시출현 강도(w_{kl})는 DTM에서 키워드 간 동시 출현 빈도를 계산하여 구하며, 분석 목적에 따라 빈도 수에 가중치를 적용하기도 한다. 한편, 네트워크 그래프에서 Node의 크기는 해당 키워드(Node)가 다른 키워드에 비해 네트워크 전체에서 얼마나 큰 영향력(또는 중요성)을 갖는가를 나타

내며, 이 값을 구하는 방법은 가중치의 적용 방법에 따라 여러 가지가 있으나 기본적인 방법은 CoM에서 해당 키워드에 대한 열(또는 행)에 있는 요소들의 합산 값(즉, $\sum_l w_{kl}$)을 CoM 요소 전체의 합산 값(즉, $\sum_k \sum_l w_{kl}$)으로 나누어서 구하는 것이다. 본 연구에서는 재해조사의견서에 동시 출현된 위험 요인 (Keyword)에 대한 DTM과 CoM을 EXCEL로 변환하여 구하였으며 결과는 <표 II-12>와 같다. 이러한 결과에서 이동식 사다리 추락재해는 작업높이, 작업종류, 사고형태, 사고장소, 사다리 종류와 관련한 위험요인들이 동시 연관 지어 발생함을 알 수 있다.

〈표 II-11〉 DTM과 CoM의 변환

Document-Term Matrix (DTM)	Keyword 1	Keyword 2	...	Keyword N
Document 1	0	1	...	1
Document 2	1	0	...	0
...	D_{ij}	...
Document M	1	1	...	0

(a) Document-Term Matrix (DTM)

Co-occurrence Matrix (CoM)	Keyword 1	Keyword 2	...	Keyword N
Keyword 1	0	2	...	4
Keyword 2	2	0	...	1
...	w_{kl}	...
Keyword N	4	1	...	0

(b) Co-occurrence Matrix (CoM)

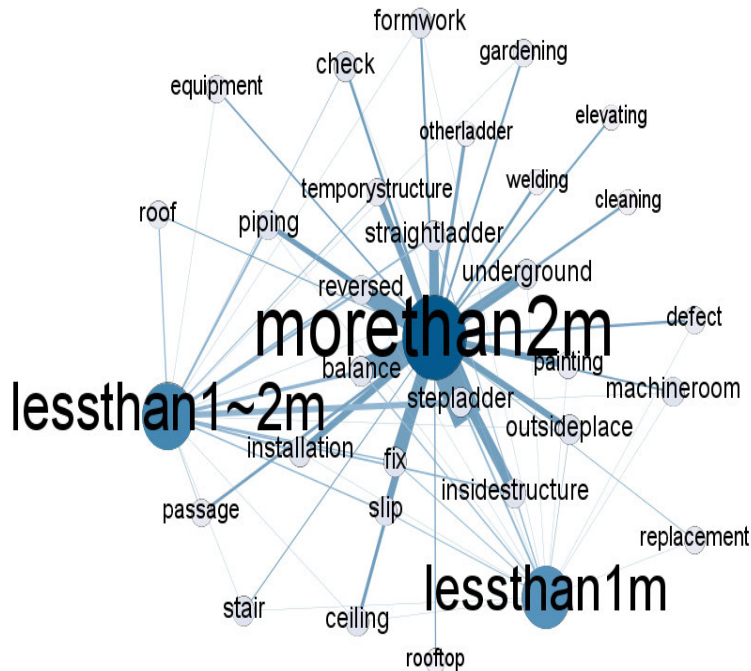
〈표 II-12〉 동시 출현 연관 위험 요인(Keyword)

Ranks	Factor Category					Death Rate (%)
	Work Heights	Work Types	Accident Patterns	Accident Places	Ladder Types	
1	More than 2m	fix	balance	inside structure	stepladder	16.3
2	More than 2m	installation	balance	underground	stepladder	12.6
3	More than 2m	pipng	reversed	inside structure	stepladder	11.6
4	More than 2m	welding	reversed	insid structure	stepladder	9.8
5	More than 2m	installation	slip	stair	stepladder	7.2
6	More than 2m	fix	reversed	outside place	stepladder	6.8
7	More than 2m	check	reversed	inside structure	stepladder	6.2
8	less than 2m	installation	slip	tempory structure	stepladder	5.6
9	More than 2m	painting	slip	underground	stepladder	5.1
10	More than 2m	replacement	reversed	ceiling	stepladder	4.5
11	less than 1~2m	fomework	slip	inside structure	stepladder	4.1
12	More than 2m	installation	balance	passage	stepladder	3.7
13	More than 2m	fix	reversed	roof	Straight Ladder	2.7
14	More than 2m	gardening	balance	outside place	Others Ladders	2.3
15	less than 1m	elevating	balance	roof top	Straight Ladder	1.5

5) 키워드 연관 구조 네트워크 분석(시각화)

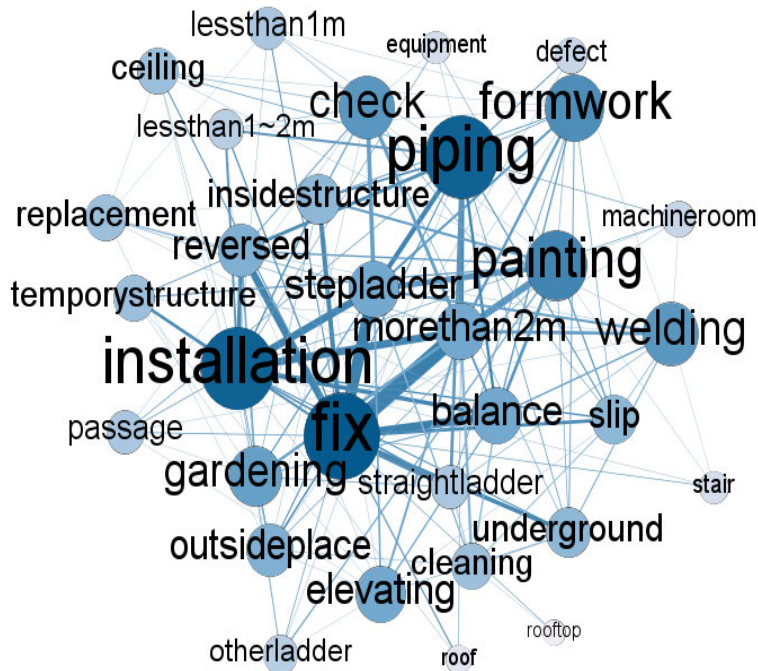
키워드 네트워크는 키워드의 개수가 많은 경우에 네트워크의 크기와 복잡도가 기하급수적으로 증가하기 때문에 의미 있는 정보를 파악하기가 매우 어려워진다. 이에 따라 키워드들의 유형을 사전에 분류하기 어려운 경우에는 클러스터링 등의 방법을 통해 전체 네트워크를 군집화하여 분석하거나 또는 유형별로 분류가 가능한 경우에는 유형별 부분 네트워크를 구성하여 분석하는 방법이 많이 이용된다. 본 연구에서는 앞서 도출된 위험 요인 키워드들이 <표 II-12>에 제시된 바와 같이 사고 발생 높이, 사고 발생 작업, 사고 발생 장소, 사고 발생 형태, 사용한 사다리 종류의 유형으로 분류할 수 있으므로 각 유형의 위험요인(Keyword)을 중심으로 연관된 위험요인들에 미치는 영향 정도를 공개 소프트웨어인 Gephi 0.9.2를 사용하여 시각화하고 분석하였다.

먼저 사고 발생 높이 카테고리를 중심으로 모델링한 네트워크 구조는 [그림 II-9]과 같다. “2m이상”, “1m이상 ~ 2m미만”, “1m미만” Node를 중심으로 Link의 크기에 따라 stepladder, fix, installation, inside structure, underground, balance, turn over, painting 키워드들과 연관되어 있음을 확인할 수 있다. 특히, “2m이상” node가 중앙에 위치하면서 전체 네트워크에서 미치는 영향력이 큰 것을 확인할 수 있으며, 이는 이 곳에 연결된 다른 Node들이 대부분 “2m이상” 위험 요인(Keyword)과 연관되어 있다는 것을 나타낸다. 이러한 결과는 다른 위험 요인들이 서로 결합하여 추락 사고가 발생하더라도 높이 2m 이상의 위치가 아닌 경우에는 사망 재해가 발생할 가능성이 매우 낮다는 것을 의미한다. 또한, “2m이상”과 연결된 Node들 중 유형별로 연결강도가 높은 Node들을 순서대로 골라보면 “stepladder”, “balance”, “fix”, “inside structure”로 나타나는데, 이는 구조물 내부에서 수리 작업 시에 발붙임 사다리를 이용할 경우 균형 상실로 인한 추락 사고 발생 시에 작업 높이가 2m 이상인 경우에는 다른 요인들의 결합보다 사망 재해로의 연관성이 매우 높다는 것을 의미한다. 실제 <표 II-12>에 나타난 재해조사의견서의 동시출현 위험요인(Keyword)에서도 2m이상인 경우의 사고 비중이 아주 높아 키워드 연관 구조 네트워크 모델링이 정확성과 유효성이 높음을 알 수 있다.



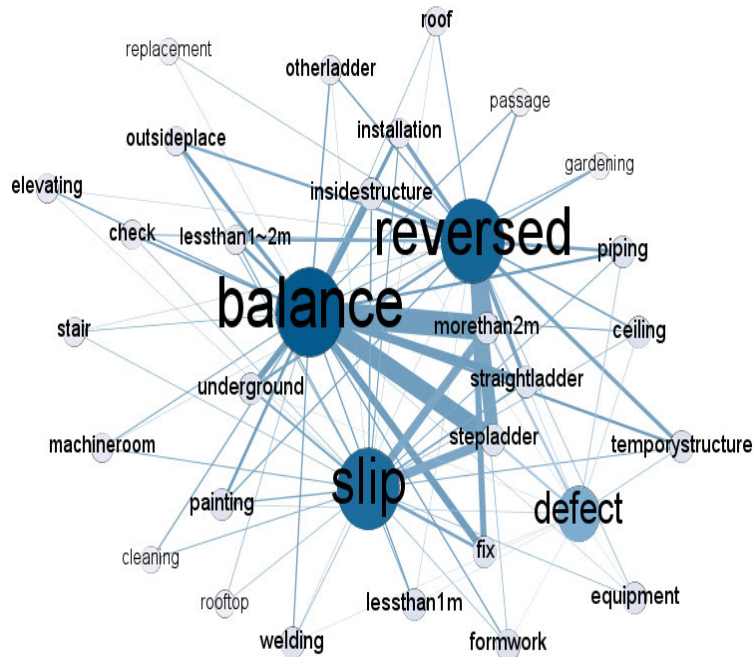
[그림 II-9] 사고 발생 높이 중심의 키워드 네트워크

다음으로 작업 종류 키워드를 중심으로 모델링한 네트워크 구조는 [그림 II-10]과 같으며, “고장·수리작업”, “설치작업”, “배관작업”, “도장작업”, “형틀작업”을 중심으로 ‘more than 2m’, ‘stepladder’, ‘inside structure’, ‘reversed’, ‘balance’ 키워드와 밀접한 연관이 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 Node와 Link의 전반적인 분포가 한쪽으로 편중되지 않고 고르게 분포되어 있는데, 이는 작업 종류에 따른 추락 재해 위험성의 차이가 크지 않다는 것을 의미한다. <표 II-12>에 나타난 위험 요인 유형별 분석 결과에서도 “고장·수리작업”, “설치작업”, “배관작업”을 제외하면 재해 발생 비중의 차이가 크지 않아 대부분의 작업 종류에서 사다리 사용은 사고 위험이 높음을 알 수 있으며, 가급적 이동식 사다리 보다는 대체하여 사용할 수 있는 작업발판이 필요한 작업들을 알 수 있다.



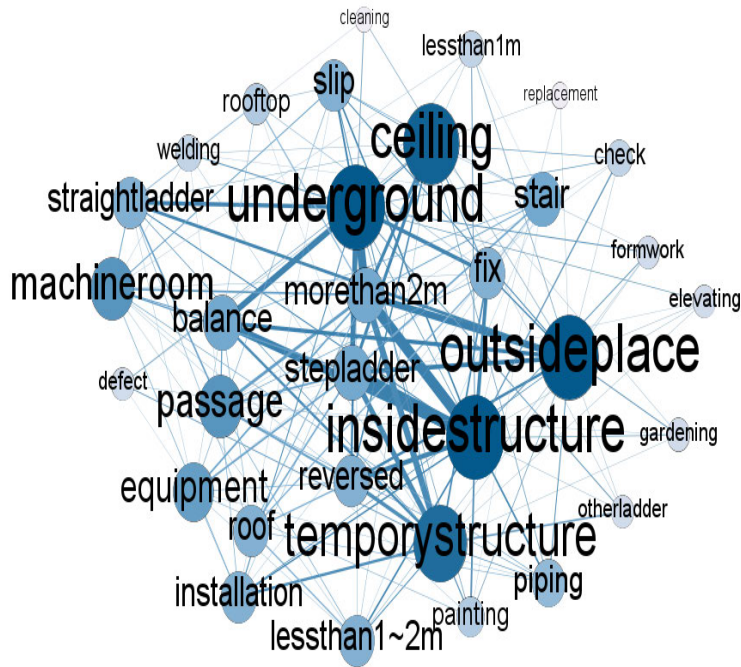
[그림 II-10] 사고 발생 작업 중심의 키워드 네트워크

다음으로 사고 발생 형태 카테고리를 중심으로 모델링한 네트워크 구조는 [그림 II-11]과 같다. 탑승자의 “균형 상실”, “사다리 전도”, “사다리의 미끄러짐”이 다른 Node들과 연결강도(즉, 연관성)가 높으며, 대부분의 추락재해가 탑승자의 균형상실, 사다리의 전도, 사다리의 미끄러짐 발생으로 나타남을 알 수 있다. 이러한 분석의 결과로 탑승자의 안전수칙 준수와 사다리 사용의 전도, 미끄러짐 방지조치가 사고예방을 위해 중요함을 알 수 있다.



[그림 II-11] 사고 발생 형태 중심의 키워드 네트워크

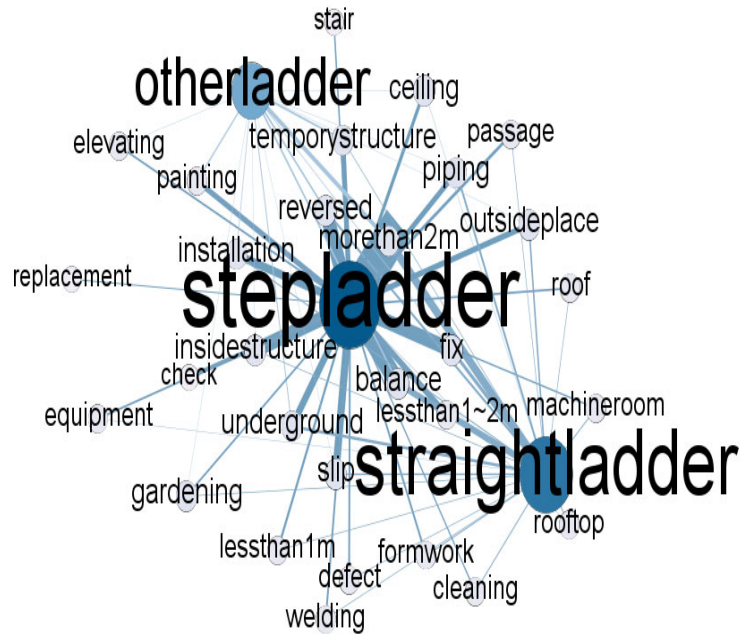
사고 발생 장소 카테고리 중심의 네트워크 구조는 [그림 II-12]와 같이 나타나고 있으며 주로 “옥외장소”, “지하공간”, “가설구조물”, “건물 내부”, “천정” “계단” 등의 고소 장소에서 이동식 사다리가 많이 사용되고 있으며, 주로 발생하는 장소에서는 주의가 필요함을 알 수 있다. 또한 전반적인 분포가 한쪽으로 편중되지 않고 고르게 분포되어 있는데 이는 사고 장소에 따른 탑승자의 사고 위험성이 상대적으로 차이가 크지 않다는 것을 의미한다.



[그림 II-12] 사고 발생 장소 중심의 키워드 네트워크

마지막으로 사용한 사다리 종류 중심의 네트워크 구조는 [그림 II-13]과 같이 나타나고 있으며 “발붙임 사다리(stepladder, A형 사다리)”의 사고 비중이 다른 종류의 사다리에 비해 상대적으로 매우 높게 나타나고 있다. 이는 발붙임 사다리의 작업 활용도가 높아 나타난 결과로도 볼 수 있으나 벽에 기대어 사용하는 보통사다리(straight ladder, 일자형 사다리)를 접어서 발붙임 사다리로 사용할 수 있는 겸용 제품과 발붙임 사다리 유사 제품(작업대형 사다리, 말비계형 사다리 등)이 발붙임 사다리에 포함되어 있음을 고려하여야 한다. 재해조사의견서에는 이러한 제품의 종류가 명확하지 않고 대부분이 작업 내용에 근거하여 분류되어 있으므로 향후 이러한 부분이 고려된다고 하면 겸용 사다리, 유사 사다리에 대한 사고 위험 요인도 분석하여 사고 연관성을 분석해 볼 수 있을 것이다. 지금까지의 분류 유형별 키워드 연관 구조 네트워크 분석은 재해조사의견서를 기반으로 도출한 <표 II-12>의 동시 출현 연관 위

험 요인(Keyword)에서도 이러한 경향성을 확인할 수 있어 유효성을 입증할 수 있으며, 위험요인간의 연관관계를 직관적으로 파악할 수 있으므로 현장 안전관리 대책 수립 시 효과적으로 사용가능할 것으로 사료된다.



[그림 II-13] 사고 사다리 종류 중심의 키워드 네트워크

6) 분석 결과

동시 출현 기반의 키워드 네트워크 분석 기법을 이용하여 이동식 사다리 작업의 사고 발생 위험 요인 연관 구조를 모델링하는 방법을 제시하고, 재해 사례 분석에 적용하였다.

1) 기존 산업재해조사표에 근거한 분류 기준에서 제시되지 않은 위험 요인은 도출하기 어려웠으나, 본 연구에서 제시한 워드클라우드 기법을 이용한 통계학적 도출 방법에서는 분류 기준에 제시되지 않은 위험 요인의 도출이 가능함을 알 수 있었다.

2) 도출된 위험 요인에 대한 분석 결과, 이동식 사다리의 추락 재해 위험 요인은 작업 높이, 작업 종류, 발생 장소, 발생 형태, 사다리 종류의 유형과 연관되어 있음을 알 수 있었다.

3) 이동식 사다리의 추락 재해 위험 요인에 대한 연관 구조 분석 결과, “건물 내부에서 고장·수리 작업 시에 발붙임 사다리에 탑승한 작업자의 균형 상실로 인한” 추락 사고이며 “작업 높이가 2m 이상”인 경우에는 다른 요인들의 결합보다 사망 재해의 발생 가능성이 매우 높다는 것을 알 수 있었다.

4) 도출된 위험 요인에 대한 동시출현 키워드 네트워크 모델 분석 결과는 실제 재해조사보고서를 근거로 도출된 위험 요인(Keyword)의 빈도와 비중이 유사하였으며, 이로부터 동시출현 키워드 네트워크를 이용한 연관 구조 모델링 기법이 위험 요인 연관 구조 모델링에 유효한 방법임을 알 수 있었다.

5) 본 연구에서 제시된 동시출현 키워드 네트워크 분석 기법은 고위험 작업에서 사고를 유발하는 여러 기인물의 사고 발생 위험 요인 연관성 분석에 활용될 수 있다. 그리고 현장에서는 안전관련 업무 수행 시 작업 종류, 발생 장소, 발생 형태 등 유형별 위험 요인의 연관성을 한눈에 파악할 수 있어 신속한 사고예방대책의 우선 순위를 결정하는 근거 자료로도 사용할 수 있을 것이다.

4. 이동식 사다리 대체품 적용을 위한 인증기준 분석

1) 국외

(1) OSHA: OSHA's Final Rule to Update, Align and Provide Greater Flexibility in its General Industry Walking-Working Surfaces and Fall Protection Standards

- 높은 높이에서 추락하는 것 같이 사다리에서 추락하는 것은 심각한 직업 관련 상해 및 사망의 주요 원인 중 하나임.

- OSHA에서 발표한 통계를 보면 평균 약 202,066건의 심각한 상해와 345건의 사망이 매년 발생한다고 추정하고 있음.
- 그러므로 위에 표준은 산업 종사자들을 더 잘 보호하기 위해서 창문 청소에서 굴뚝 청소까지 광범위한 작업형태에 적용될 수 있음.
- 이 규칙은 고용주가 계단 및 사다리를 제공해야 하는 시기를 명확히 제시함.
 - ✓ 높이가 19인치(48cm) 이상이고 경사도가 없는 경우, 호이스트를 사용할 수 있는 경우 고용주는 계단이나 사다리를 제공해야함.
 - ✓ 고용주는 근로자가 자유롭게通行할 수 있도록 유지해야함. 만약 근로자의 자유로운通行이 방해되는 경우 사다리를 제공해야 함.

(2) OSHA(3625-04R 2018): Falling Off Ladders Can Kill

- 자문회의를 통해서 사다리에 대한 안전 사용지침을 발표함.

(3) HSE(Health and Safety Executive): Safe use of ladders and stepladders

- 사다리는 건강 및 안전법에 의해 금지되지 않으며, 실제 안전하게 사용하면 위험이 적고 단기간의 작업을 위해 합리적이고 실용적인 옵션이 될 수 있음.
 - ✓ 1:4의 비율의 각도를 유지해야 함.



[그림 II-14] HSE 기준 1

- ✓ 손과 발의 3점이 사다리에 접촉되어야 하며, 1:4 비율의 각도를 유지해야 함.



[그림 II-15] HSE 기준 2

- ✓ 강한 휴식 지점을 확보하기 위한 스탠드 오프 장치의 사용. 유약이나 플라스틱 거치대가 약한 상부 표면에 사다리를 올려놓지 말기 등에 대한 지침을 마련함.



[그림 II-16] HSE 기준 3

(4) 위험성평가 체크리스트를 통한 관리(WORK SAFE)

- 사다리 위험성 평가를 통해서 위험성 등을 인지할 수 있는 체크리스트를 제공함.

Risk assessment checklist for ladder safety

Before choosing any piece of equipment for working at heights, you must assess the risks. If you are thinking of using a ladder, evaluate all hazards associated with the environment, the equipment, and the task. Then, you'll know if a ladder is the right tool for the job.

Work task and location: _____

Legend: ✔ Low risk — appropriate ! Moderate risk — proceed with caution ✗ High risk — do not use

Instructions: Consider each of the following questions before taking into account the associated risk level. If you identify one of the following items as high risk, do not use a ladder. If you identify a moderate risk, consider another type of equipment, such as a work platform, scaffold, or stairway for working at a height.

Question	Yes	No
1. Will more than one worker be climbing the ladder for access?	✔	✗
2. Will a worker or workers be carrying tools or materials up the ladder or to the work location?	✔	✗
3. Does the work task on the ladder require handling heavy loads or unstable objects?	✔	✗
4. Can the worker maintain three points of contact on the ladder at all times?	✔	✗
5. Does the work location require a fall protection system?	✔	✗

If a ladder is the right tool for the job, confirm the following before you use it:

Question	Yes	No
6. Have workers received the information, instruction, and training necessary to use the ladder safely?	✔	✗
7. Are the ladder manufacturer's labels legible?	✔	✗
8. Is the manufactured ladder Grade 1, IA, or IAA for use in construction?	✔	✗
9. Is the ladder designed to meet the acceptable CSA, ANSI, or WorkSafeBC Standard?	✔	✗
10. Has the ladder been inspected before use on each shift?	✔	✗
11. Has the ladder been set up and placed correctly?	✔	✗

Supervisor name: _____ Signature: _____
Employer: _____ Date: _____

Page 1 of 3 Risk assessment checklist for ladder safety **WORKSAFEBC**

Make sure you've met your legal requirements


1. Will more than one worker be climbing the ladder for access? OHSR 20.4(1) Suitable ladders, work platforms and scaffolds must be provided for and used by a worker for activities requiring positioning at elevations above a floor or grade. OHSR 20.5(2) A stairway must be provided to each floor level before construction of the next floor or deck surface is undertaken.	✔
2. Will a worker or workers be carrying tools or materials up the ladder or to the work location? OHSR 13.4(2) A worker must not carry up or down a ladder, heavy or bulky objects.	✔
3. Does the work task on the ladder require handling heavy loads or unstable objects? OHSR 13.4(1) If work cannot be done from a ladder without hazard to a worker, a work platform must be provided.	✔
4. Can the worker maintain three points of contact on the ladder at all times? OHSR 13.2(6) A ladder must meet and be used in accordance with the applicable CSA or ANSI Standard. Referenced in OHSR 410, OHSR 205-3 and OHSR 2(1).	✔
5. Does the work location require a fall protection system? OHSR 11.2(1) Fall protection must be from where a fall of 3 m(10 ft) or more may occur, or if the fall less than 3 m(10 ft) involves a risk of injury greater than the risk of injury from the impact on a flat surface.	✔
6. Have workers received the information, instruction, and training necessary to use ladders safely? VCA 1(5) Every employer must provide workers the information, instruction, training and supervision necessary to ensure the health and safety of those workers in carrying out their work.	✔
7. Are the ladder manufacturer's labels legible? OHSR 13.4 A manufactured ladder must be marked for the grade and the use for which the ladder is constructed.	✔
8. Is the ladder Grade 1, IA, or IAA for use in construction? OHSR G13.4 Only a "heavy duty" ladder that is Grade 1/Type 1 (or higher) will typically be needed for the types of work activities undertaken on construction sites.	✔
9. Is the ladder designed to meet the acceptable CSA or ANSI Standard? OHSR 13.2 A ladder must be designed to the applicable CSA or ANSI standard or another standard acceptable to the Board.	✔
10. Has the ladder been inspected before use on each shift? OHSR 13.3 A ladder must be inspected before use on each shift.	✔
11. Has the ladder been set up and placed correctly? OHSR 13.5(1) A ladder must be placed on a firm, level surface and sufficient length to enable the safe performance of the work activity. OHSR 13.5(2) A portable non-self-supporting ladder must be positioned so that the ladder is bearing against the vertical plane of support at an approximate angle of 75°(4:1) when measured from the horizontal plane of support. OHSR 13.5(3) An access ladder must project approximately 1 m (3 ft) above the upper landing, and be secured in place.	✔

Page 2 of 3 Risk assessment checklist for ladder safety **WORKSAFEBC**

[그림 II-17] 사다리 위험성 평가 체크리스트(WORK SAFE)

(5) OSHA(OSHA 3728 - 2014): Agriculture: Safe Use of Tripod Orchard Ladders Fact Sheet New(농촌에서의 삼각대 사다리 안전사용)

- 사용목적 외 사용금지
- 부드럽고 평평하지 않는 지면위에서 사용금지
- 사다리의 안정성 향상을 위한 잠금장치 사용
- 사다리의 정기적인 검사 실시
- 작업자의 정기적인 교육 실시
- 사다리 이용시에는 두 손을 사용
- 딱딱한 밑창 사용과 미끄럼 방지 신발 사용

	<p>OSHA 체크리스트</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 고정장치가 제 위치 여부 확인 2) 찌그러짐 구부러짐 등 손상 여부 확인 3) 녹, 기름 등의 제거 여부 확인
--	--

[그림 II-18] 사다리 체크리스트(OSHA 3278-2014)

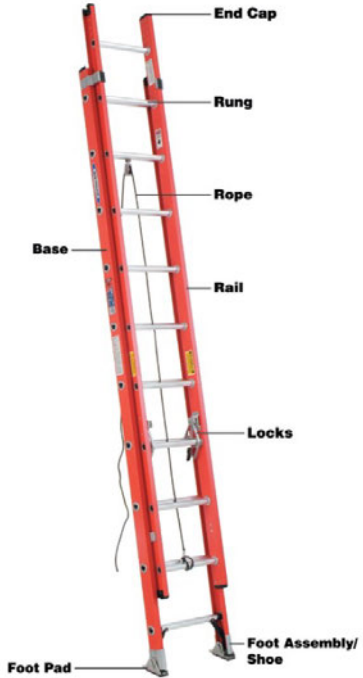
(6) OSHA(OSHA FS-3660 - 2013): Ladder Safety: Reducing Falls in Construction: Safe Use of Extension Ladders Fact Sheet New(건설현장에서의 사다리 안전사용)

- 상자 등 불안정한 바닥에 사다리 사용금지
- 사다리의 최대 하중 등급 초과 금지
- 두 개 이상의 사다리 연결 금지

- 전기 전선 등 근처에서 사용 금지
- 작업자 탑승 시 사다리 이동 금지
- 사다리 사용 시 3포인트 접촉 유지(양손과 발)
- 손에 도구를 가지고 사다리에 올라가고 내려오는 행위 금지
- 적재하중에 맞게 사다리 선택

Type	Duty Rating	Use	Load
IAA*	Special Duty	Rugged	375 lbs.
IA	Extra Duty	Industrial	300 lbs.
I	Heavy Duty	Industrial	250 lbs.
II	Medium Duty	Commercial	225 lbs.
III	Light Duty	Household	200 lbs.

Source for Types IA, I, II, III: Subpart X—Stairways and Ladders, Appendix A (American National Standards Institute (ANSI)) 14.1, 14.2, 14.5 (1982)) of OSHA's Construction standards. Source for Type IAA: ANSI 14.1, 14.2, 14.5 (2009), which are non-mandatory guidelines.



[그림 II-19] 일자형 이동식 사다리 타입에 따른 허용 무게 기준
(OSHA FS-3660-2013)


(7) OSHA(OSHA FS-3662 - 2013): Ladder Safety: Reducing Falls in Construction: Safe Use of Stepladders Fact Sheet New(A형 사다리 사용시 건설현장에서의 안전사용)

- 사용목적 외 사용 금지

- 스프레더 사용 철저(고정장치)
- 맨 위 단계 또는 캡단을 사용 금지
- 불안정한 바닥 위에서 사용 금지
- 손상된 사다리 사용 금지
- 수평으로 사다리 사용
- 전선 등 근처에서 사다리 사용 금지
- 적재하중에 맞게 사다리 선택

Type	Duty Rating	Use	Load
IAA*	Special Duty	Rugged	375 lbs.
IA	Extra Duty	Industrial	300 lbs.
I	Heavy Duty	Industrial	250 lbs.
II	Medium Duty	Commercial	225 lbs.
III	Light Duty	Household	200 lbs.

Source for Types IA, I, II, III: Subpart X—Stairways and Ladders, Appendix A (American National Standards Institute (ANSI)) 14.1, 14.2, 14.5 (1982)) of OSHA's Construction standards. Source for Type IAA: ANSI 14.1, 14.2, 14.5 (2009), which are non-mandatory guidelines.



[그림 II-20] A형 이동식 사다리 타입에 따른 허용 무게 기준
(OSHA FS-3662-2013)

(8) OSHA 농업용 이동식 사다리 안전지침 문서

- Agriculture: OSHA 3705-2014(근로자 보호)
- Agriculture: OSHA FS-3728-2014(안전사용 지침)



Protecting Workers from Tripod Orchard Ladder Injuries

Tripod orchard ladders can be dangerous. Many workers have been hurt from slips on rungs, falls, collapsing ladders, and being struck by tree branches.

Orchard employers and supervisors can prevent these injuries by taking the following safety precautions:

- Train workers to recognize hazards and set up a process for workers to report unsafe conditions to supervisors immediately.
- Limit or reschedule work requiring ladders during windy or other unsafe conditions.
- Provide ladders appropriate for workers and tree size.
- Train workers to keep ladders away from overhead power lines.
- Select and provide required personal protective equipment (such as eye protection) at no cost to workers.
- Ensure that workers wear shoes with stiff soles and a substantial heel to prevent slipping.



To Prevent Falls, Train Workers to:

- Pick tree produce from the top to the bottom.
- Face the ladder when climbing and picking.
- Use one hand to grip the ladder's side rail and use the other hand for picking, keeping both feet on the ladder's steps.
- Always center themselves and their produce bag between the side rails.
- Never overreach or stand on tree branches.
- Not climb higher than the third step from the top of the ladder.

Ladder Inspection

Employers or supervisors must inspect orchard ladders for defects prior to each use, and after the ladder tips over.

Use an orchard ladder safety checklist as outlined in the OSHA fact sheet, *Safe Use of Tripod Orchard Ladders*.

Remember

- Allow only one worker at a time on a ladder.
- Ladders with defects or damage should be taken out of service.
- The ladder is for orchard use only.

For more information:



OSHA Occupational Safety and Health Administration

U.S. Department of Labor

www.osha.gov (800) 321-OSHA (6742)

OSHA 3705-05 2014

Agricultural Safety Fact Sheet



Safe Use of Tripod Orchard Ladders

Every year many workers are injured from using tripod orchard ladders. These incidents are preventable. Workers, such as fruit pickers and landscapers, use this type of ladder regularly. Employers can prevent worker falls and injuries by following the safety measures described in this fact sheet.

A tripod orchard ladder is a portable, self-supporting ladder used in orchards and landscape maintenance, for tasks such as pruning and fruit harvesting. This type of ladder should not be used as an all-purpose ladder. They are designed with a flared base and a tripod pole that provides support on soft, uneven ground. In addition, these ladders have no spreader bar or locking mechanisms to hold its front in place or to stabilize the ladder. For a tripod orchard ladder to function properly and remain stable, the ladder side rails and tripod pole must slightly penetrate the ground.



Tripod Orchard Ladder Injuries and Hazards

Sprains and strains are the most common types of ladder injuries and are caused by overreaching, moving, tilting or carrying ladders. Fractures, concussions and dislocations are caused by falls as a result of an unstable ladder, overextension of the ladder's tripod pole, slipping or being struck by a falling ladder. In addition, poor weather conditions such as high winds or ladders too close to electrical lines have also caused fatalities. Back injuries can also occur from carrying the ladder incorrectly for long periods of time and over long distances.



Fall Prevention

When working on a ladder, falls are the most common hazard. More falls occur on the upper part of the ladder than in the middle or lower portions. Most falls are due to slippery steps, unstable ladders, and by not maintaining proper contact with the ladder. Employers can prevent most tripod ladder fall hazards by training workers and taking the following safety measures:



- Place the ladder firmly in the ground to keep it from collapsing, slipping, moving, or falling. Make sure that the ladder is not positioned over a soft spot or hole.
- Ladders placed on sloped ground must have the tripod pole positioned uphill.
- Routinely inspect ladders.
- Train workers to center themselves between the ladder's side rails and to use both hands to climb up and down the ladder.
- Select and provide required personal protective equipment (such as eye protection) for workers.
- Have workers wear non-slip shoes with stiff soles and a good sized heel.



U.S. Department of Labor www.osha.gov (800) 321-OSHA (6742)

[그림 II-21] 농업용 이동식 사다리의 OSHA 안전지침

(9) OSHA의 Six guidelines for ladder safety 2018

- Rule 1: use common sense
- Rule 2: take care of your equipment
- Rule 3: understand the limits of the equipment
- Rule 4: understand the limits of your employees
- Rule 5: know the number

Ladder Type	Non-Self-Supporting Portable Ladders	Self-Supporting Portable Ladders:	Extra Heavy Duty Type 1A Plastic or Metal Ladders	Fixed Ladders
Weight	4 times the maximum intended load	4 times the maximum intended load	3.3 times the maximum intended load	Every rung must be capable of supporting a concentrated load of 250 pounds at the center of the rung. Any two rungs must be capable of supporting 2 loads of 250 pounds simultaneously plus anticipated loads caused by ice buildup, winds, rigging, and impact loads resulting from the use of ladder safety devices.

Ladder Type	Step Stools	Base of Extension Trestle Ladders	Extension Section of Trestle Ladders
Minimum Spacing	8in (20cm)	8in (20cm)	6in (15cm)
Maximum Spacing	12in (31cm)	18in (31cm)	12in (31cm)

Ladder Type	Individual-Rung/Step Ladders	Fixed Ladders	Portable Ladders
Minimum Clear Distance	16in (41cm)	16in (41cm)	11.5in (29cm)

• 1926.1053(a)(13 - 15) - The minimum perpendicular clearance between the centerline of rungs and an obstruction:

Ladder Type	Fixed Ladder (obstruction behind ladder)	Elevator Pit Ladder	Fixed Ladder Rungs (obstruction on climbing side)
Minimum Perpendicular Clearance	7in (18cm)	4.5in (11cm)	30in (76cm)

[그림 II-22] 사다리 사용과 관련된 중요한 수치(OSHA 2018)

(10) EN131 Standards: A GUIDE TO UK LADDER STANDARDS

- 사다리 시험에 대한 환경 조건을 제시하고 있음(예: 150kg의 하중이 지속적으로 사다리에 가해지는 시험 실시).

There were 3 standards for ladders in the UK:	As of 1st January 2018 there is one standard with 2 classifications:
EN131 <i>is for trade and light industrial use.</i>	EN131 Professional
BS2037/BS1129 Class 1 <i>are for heavy duty and industrial use.</i>	
BS2037/BS1129 Class 3 <i>is for domestic use.</i>	EN131 Non-Professional



LEANING LADDER TESTS



The Base Slip Test



Lateral Deflection



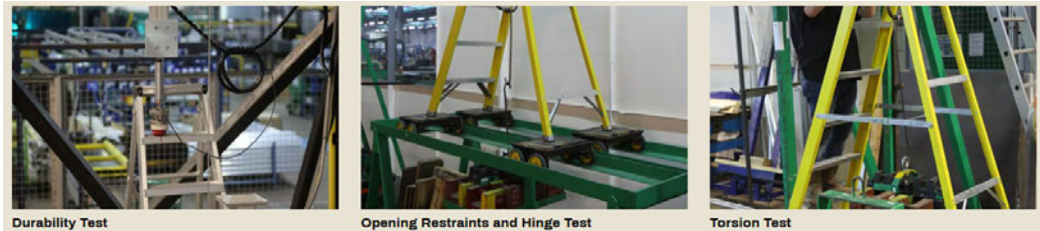
Bend Test



Strength Test



Torsion Test



[그림 II-23] 사다리 시험에 대한 환경조건(EN131 Standards)

(11) American Ladder Institute: 일자형 이동식 사다리 체크리스트

- 일자형 이동식 사다리를 사용하기 전에 근로자 스스로가 체크해야 할 항목을 마련함.



Take Your Safety Into Your Own Hands.

Do You Know What to Check For?



Reminders about your ladder

- ☐ Determine what type of ladder is appropriate for your current work environment
- ☐ Confirm that the ladder is the appropriate length for the task
- ☐ Check that your ladder has the proper Duty Rating
- ☐ Thoroughly inspect the ladder to ensure it is in good working condition
- ☐ Clean the climbing and gripping surfaces
- ☐ Read the safety information label(s) on the ladder



Reminders about your surroundings

- ☐ Confirm that the ground where the ladder is set-up is firm and level
- ☐ Confirm that any surrounding doors are blocked open, locked or properly guarded
- ☐ Ensure that the weather is sufficiently safe for using a ladder



Reminders for YOU

- ☐ Clean the soles of your shoes to maximize traction and avoid slipping
- ☐ Ensure that you are not tired, dizzy or prone to losing your balance before using the ladder
- ☐ Use towlines, a tool belt or an assistant to convey materials so that your hands are free when climbing
- ☐ Maintain three points of contact with the ladder while climbing

Visit www.laddersafetytraining.org to learn more and earn your ladder safety certificate.

[그림 II-24] 일자형 이동식 사다리 근로자 체크리스트(ALI)

(12) American Ladder Institute: 이동식 사다리 표준 작업 지침

- A14.1 - Portable Wood Ladders - 2018
- A14.2 - Portable Metal Ladders - 2017

- A14.3 - Fixed Ladders - 2008
- A14.4 - Job Made Ladders - 2018
- A14.5 - Reinforced Plastic Ladders - 2017
- A14.7 - Rolling Ladders - 2011
- A14.8 - Requirements for Ladder Accessories - 2013
- A14.9 - Disappearing Attic Stairways - 2019
- A14.11 - Stepstools - 2018 - NEW

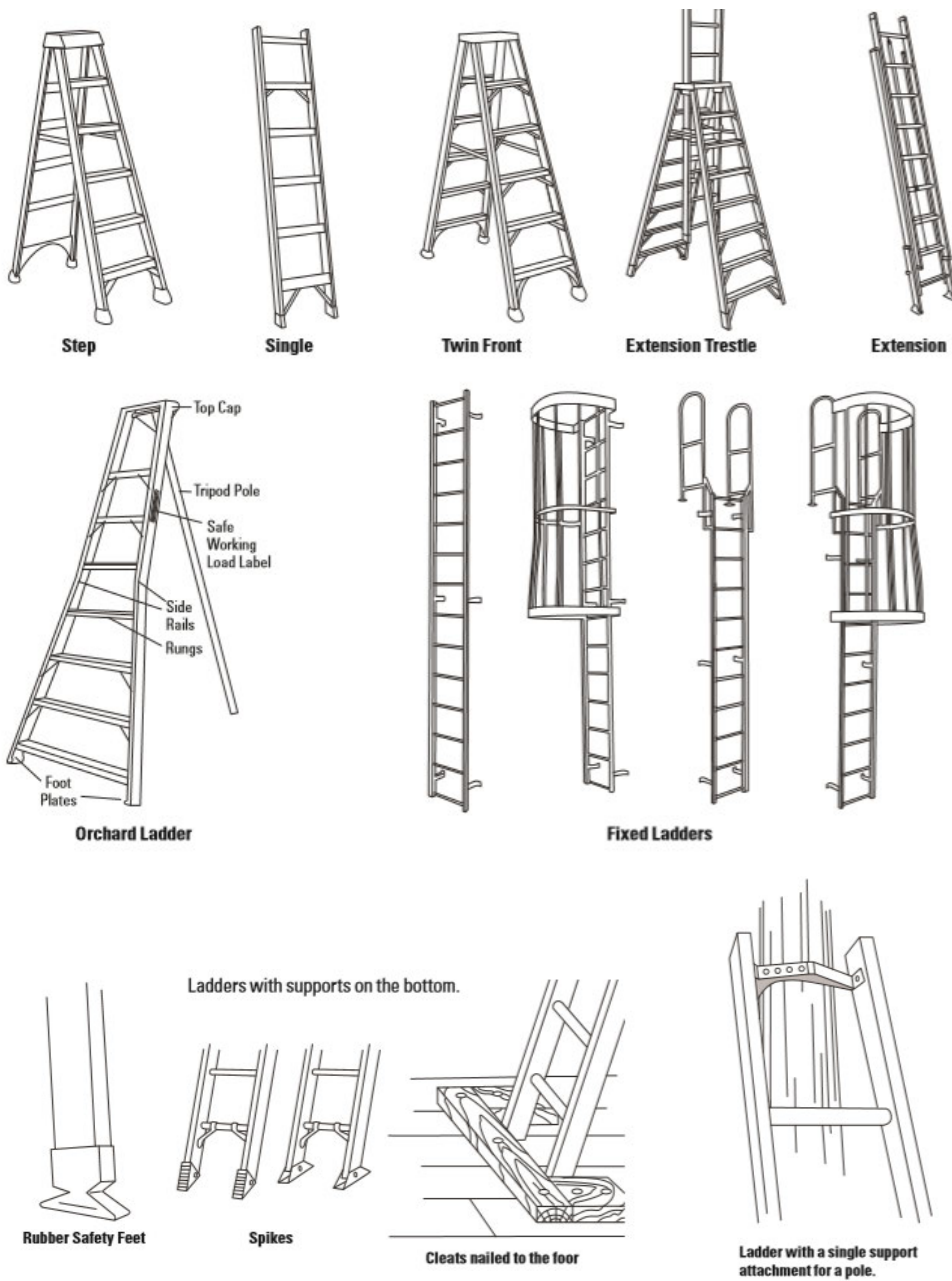
Table #3		
Ladder Type	Duty Rating	Description
Type IAA Ladder	375-Pounds	Extra-heavy-duty industrial ladder
Type IA Ladder	300-Pounds	Extra-heavy-duty industrial ladder
Type I Ladder	250-Pounds	Heavy-duty industrial ladder
Type II Ladder	225-Pounds	Medium-duty commercial ladder
Type III Ladder	200-Pounds	Light-duty household ladder

[그림 II-25] 이동식 사다리 형태에 따른 무게(ANSI)

(13) Washington state department of Labor & Industries: 이동식 사다리 안전지침

- 이동식 사다리 형태
- 작업 특성에 따른 사다리 선택
- 이동식 사다리 사용과 관련된 4가지 규칙

• 이동식 사다리 설치와 관련된 체크리스트

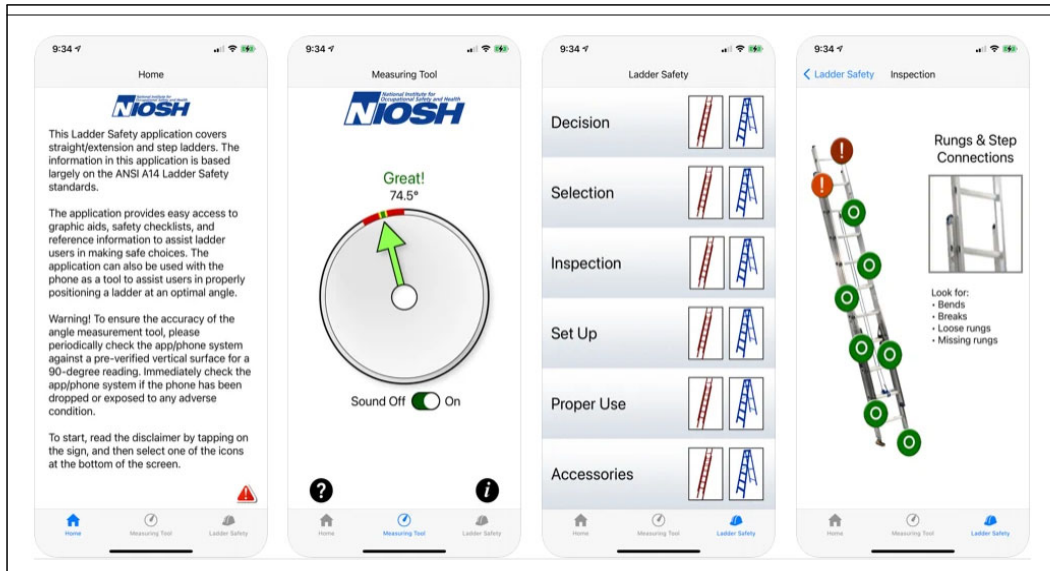




[그림 II-26] 이동식 사다리 형태 및 안전장치(WSDLI)

(14) NIOSH: 이동식 사다리 안전 어플(App)

- 사다리 각도 측정 도구
- 의사결정 도구(작업시간, 재질, 필요한 도구를 고려하여 작업계획을 세우는 정보 제공)
- 선택 도구(사용자 및 작업특성을 고려하여 적절한 사다리 크기 및 필요한 최소 듀티 등급을 선택하는 절차 제공)
- 검사 도구(사다리의 기계적 검사를 위한 항목을 포함)
- 적절한 사용 도구(사용 친화적인 사다리 사용 규칙 제공)
- 안전장치 도구(안전하게 사용할 수 있는 확장 안전장치 제공)



[그림 II-27] 이동식 사다리 안전 어플(NIOSH)

2) 국내

(1) 고용노동부 : 이동식 사다리 안전작업지침 개선방안

- 검토 배경

- ✓ 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 사다리는 사다리식 통로로만 규정하고 있음

제24조(사다리식 통로 등의 구조) ① 사업주는 사다리식 통로 등을 설치하는 경우 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.

1. 견고한 구조로 할 것
2. 심한 손상·부식 등이 없는 재료를 사용할 것
3. 발판의 간격은 일정하게 할 것
4. 발판과 벽과의 사이는 15센티미터 이상의 간격을 유지할 것
5. 폭은 30센티미터 이상으로 할 것
6. 사다리가 넘어지거나 미끄러지는 것을 방지하기 위한 조치를 할 것
7. 사다리의 상단은 걸쳐놓은 지점으로부터 60센티미터 이상 올라가도록 할 것
8. 사다리식 통로의 길이가 10미터 이상인 경우에는 5미터 이내마다 계단참을 설치할 것
9. 사다리식 통로의 기울기는 75도 이하로 할 것.
10. 접이식 사다리 기둥은 사용 시 접혀지거나 펼쳐지지 않도록 철물 등을 사용하여 견고하게 조치할 것

- ✓ 추락 위험이 있는 장소에서는 비계를 조립하는 등의 방법으로 작업 발판을 설치하도록 규정

제42조(추락의 방지) ① 사업주는 근로자가 추락하거나 넘어질 위험이 있는 장소[작업발판의 끝·개구부(開口部) 등을 제외한다] 또는 기계·설비·선박블록 등에서 작업을 할 때에 근로자가 위험해질 우려가 있는 경우 비계(飛階)를 조립하는 등의 방법으로 작업발판을 설치하여야 한다.

• 이동식 사다리 안전작업지침

✓ 공통사항

- 보통사다리(일자형 사다리), 신축형 사다리, 일자형으로 펼쳐지는 발붙임 겸용 사다리(A형)는 오르내리는 이동통로로만 사용
- 모든 사다리 작업시 안전모 착용
- 중대재해 발생, 고소·고발시에는 산업안전보건법에 따라 조치

✓ 발붙임 사다리(A형, 조경용)

- 평탄·견고하고 미끄럼이 없는 바닥에 설치
- 경작업*, 고소작업대·비계 등 설치가 어려운 협소한 장소에서 사용
- 손 또는 팔을 가볍게 사용하는 작업으로서 전구교체 작업, 전기·통신 작업, 평탄한 곳의 조경작업 등
- 사다리 작업높이가 120cm 이상~200cm 미만인 경우: 2인 1조 작업, 최상부 발판에서는 작업금지
- 사다리 작업높이가 200cm 이상~350cm 이하인 경우: 2인 1조 작업 및 안전대 착용
- 최상부 및 그 하단의 디딤대에서 작업 금지

✓ 사다리 최대길이가 350cm 초과한 경우: 작업발판으로 사용금지 (KC 미인증 또는 비대상 제품)

✓ 사다리 높이 분류: 사망재해 현황 분석결과 위험도로 분류

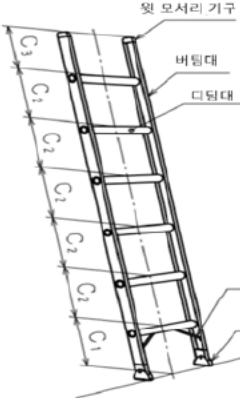
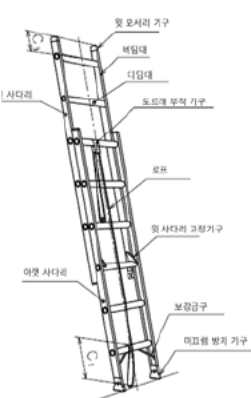
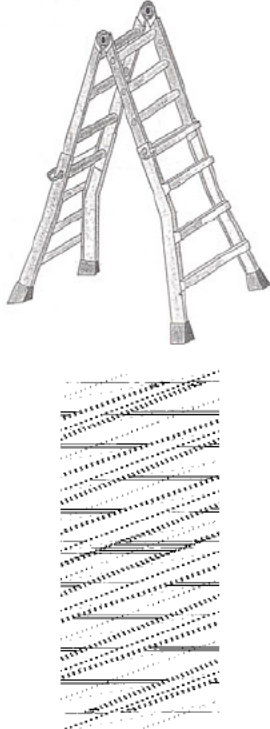
〈 최근 3년간 사다리 사망재해 추락 높이 현황 〉


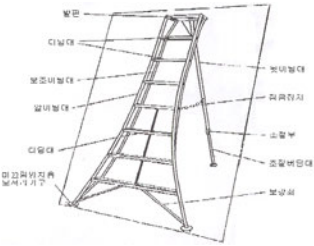
구분	계	80cm 미만	80cm ~ 120cm	120cm ~ 160cm	160cm ~ 200cm	200cm ~ 300cm	300cm ~ 400cm	400cm 이상
계	77	1	-	16	7	24	18	11
'16년	25	-	-	2	1	10	9	3
'17년	26	1	-	6	3	8	3	5
'18년	26	-	-	8	3	6	6	3

* 지방관서에서 확보한 조사대상 중대재해 중 추락높이가 명확히 표기된 자료 기준

※ '19.3.8 농가주택 신축현장(전남 화순)에서 A형 사다리 111cm 높이에서 추락사고 발생, 안전모 미착용 상태에서 뒤로 넘어지면서 머리부터 부딪혀 사망

〈붙임〉 이동식사다리 종류별 안전작업 지침

보통(일자형) 사다리	신축형 사다리	(일자형으로 펼쳐지는) 발붙임 겸용 사다리(A형)
		
안전 작업 지침	<ul style="list-style-type: none"> ○ 오르내리는 이동통로로만 사용(발판 및 디딤대에서 작업금지) ○ 반드시 안전모 착용 ※ 사다리 구조 등 그 외 안전보건 조치는 「산업안전보건 기준에 관한 규칙」 준수 	

발붙임 사다리 (A형, 조경용)	작업 높이	안전작업 지침
 	120cm 미만	○ 반드시 안전모 착용
	120cm 이상 ~ 200cm 미만	○ 반드시 안전모 착용 ○ 2인 1조 작업 ○ 최상부 발판에서 작업금지
	200cm 이상 ~ 350cm 이하	○ 반드시 안전모 착용 ○ 2인 1조 작업 및 안전대 착용 ○ 최상부 발판 + 그 하단 디딤대 작업금지
	350cm 초과	○ 작업발판으로 사용금지

[공통사항]

- 평탄·견고하고 미끄럼이 없는 바닥에 설치
- 경작업*, 고소작업대·비계 등 설치가 어려운 협소한 장소에서 사용
 - * 손 또는 팔을 가볍게 사용하는 작업으로서 전구교체 작업, 전기·통신 작업, 평탄한 곳의 조경작업 등
- ※ 사다리 구조 등 그 외 안전보건 조치는 「산업안전보건 기준에 관한 규칙」 준수

[그림 II-28] 이동식 사다리 종류별 안전작업 지침(KOSHA)

3) 이동식 사다리 인증 관련 국내·외 기준

- 이동식 사다리 관련 안전장치 및 관련 인증제도는 <표 II-13>과 <표 II-14>에 각각 정리하였음.

<표 II-13> 이동식 사다리 관련 안전장치 및 안전인증 제품

제품	그림	인증제도
<ul style="list-style-type: none"> • 안전작업발판 사다리 (GSP) <ul style="list-style-type: none"> - 미끄럼 방지장치 - 전도 방지장치 - 벌어짐 방지장치 - 수평조절장치 		<ul style="list-style-type: none"> • 산업안전보건공단 S마크
<ul style="list-style-type: none"> • 안전발판사다리 (YDP-20) <ul style="list-style-type: none"> - 미끄럼 방지장치 - 전도 방지장치 - 벌어짐 방지장치 - 수평조절장치 		<ul style="list-style-type: none"> • 유럽안전규격 (EN131-1~4:2007)
<ul style="list-style-type: none"> • 안테나사다리 <ul style="list-style-type: none"> - 미끄럼 방지장치 - 벌어짐 방지장치 		<ul style="list-style-type: none"> • 유럽통합규격 인증(CE)

〈표 II-14〉 이동식 사다리 관련 국내·외 인증제도 현황

국내 인증제도	국외 인증제도
<ul style="list-style-type: none"> • 산업안전보건연구원 <ul style="list-style-type: none"> - 알루미늄합금제사다리: KS G 3701 • 한국산업안전보건공단 KCs • 한국산업안전보건공단 S마크 	<ul style="list-style-type: none"> • 유럽 안전 규격인증 <ul style="list-style-type: none"> - EN 131-1~4: 2007 • 유럽 통합규격 인증 (CE) • 미국 안전표준 규격인증 (UL) • 캐나다 표준 협회 인증 (CSA) • 호주 표준 협회 인증 (SA)

5. 소결

선행연구 고찰에서는 이동식 사다리 관련 국내·외 선행연구 및 문헌, 법령·안전작업지침 및 인증제도에 대한 분석을 진행하였다. 제품 안전 제도 측면에서 일본의 경우, 제품 표준 인증 규격과 안전 인증(가정용 및 산업용) 규격에서 발붙임 사다리의 자립 높이를 2m 이하로 규정하고 있으며, 이에 따라 자립 높이 2m 이상의 발붙임 사다리가 시중에서 거의 유통되지 않고 있다. 또한, 미국이나 영국의 제품 표준의 경우, 발붙임 사다리의 자립 높이 제한을 두고 있지 않으나, 허용 하중 수준별로 사다리의 전체 길이를 다르게 제한하고 있고 무엇보다 사다리 형식이 매우 다양하여 사용 여건에 맞는 사다리를 선택할 수 있다. 특히, 사용 여건에 맞는 안전한 사다리의 선택을 유도하기 위해, 적절한 사다리의 선택 방법을 사용 안전 기준으로 규정하고 있다. 반면에 우리나라의 이동식 사다리에 대한 제품 표준 인증 규격과 이를 유사하게 차용하고 있는 안전 인증(단, 가정용에 국한) 규격에서는 발붙임 사다리의 자립 높이를 자립높이 2.0m 이하, 펼침 길이 10.0m로 하향 개정하였으나 시중에 유통되고 있는 제품은 대부분 개정 전 자립높이 3.5m 기준에 맞추어 생산된 사다리이며, 제품 표준 인증(KS)은 아직 개정되지 않아 안전 인증마크(KC) 부착 없이도 제품 인증마크(KS)를 부착하여 생산과 판매가 가능하다. 그리고 인증 대상에 포함된 이동식 사다리 형식도 미국이나 영국의 인증 규격만큼 다양하지 않아 작업 여건에 맞는 다양한 사다리 제품을 선택할 수 없다는 점에도 한계가 있다. 이러한 사항들을 고려할 때 개정된 안전 인증(KC) 기준에 부합하는 제품 표준 인증(KS) 기준의 개정을 검토할 필요가 있으며, 제품 표준 인증의 기준을 하향하는 것이 어려울 경우에는 작업발판 대용의 작업대로 사용 시에 자립 높이가 높더라도 추락 재해에 대한 안전성을 확보할 수 있는 다양한 사다리 형식을 제품 표준 규격에 추가하는 것이 필요하다고 사료된다.

안전 인증 제도 측면에서는 제품의 안전성을 확보하기 위해 제품 표준 인증만을 실시하고 있는 미국이나 영국과는 달리, 우리나라와 일본은 자율 제

도인 제품 표준 인증제와는 별도로 의무 제도인 안전 인증제를 가정용과 산업용을 구분하여 시행하고 있다. 그러나, 안전 인증제에 있어서 우리나라와 일본의 가장 큰 차이점은, 일본은 가정용과 산업용을 구분하여 안전인증제를 실시하고 있으나 우리나라에서는 가정용에 대해서만 안전인증제를 실시하고 있다. 앞서 설명한 바와 같이, 안전 인증제는 재해 위험성이 높은 제품을 대상으로 자국에서 생산 판매되는 제품을 포함하여 수입 판매되는 제품에 대해서도 안전 품질을 확보할 목적으로 시행한다.

우리나라에서는 산업통상자원부 소관의 “전기용품 및 생활용품 안전관리법”에 이동식 사다리가 생활용품 안전인증 대상이기 때문에 가정용으로만 안전인증이 실시되고 있고, 건설 현장 등 산업현장의 수요에도 불구하고 산업용에 대해서는 별도의 안전 인증제가 마련되어 있지 않아 가정용으로만 인증된 제품을 산업현장에서도 사용하고 있는 문제가 있다.

또한 가정용 사다리에 대한 안전 인증 규격인 “공급자확인 안전기준 부속서 13”이 “KS G 3701”을 준용하고 있기 때문에, 영국이나 미국 등 외국에서 산업용으로 안전 인증을 받은 제품이거나 또는 국내에서 안전 성능을 개선한 제품을 개발하더라도 “KS G 3701”에 규정된 사다리 형식에 부합하지 않을 경우에는 가정용으로조차 안전 인증을 받을 수 없으며, 이에 따라 보다 안전한 제품이더라도 국내에서는 이를 선택하여 사용하기 어렵다. 우리나라와 유사한 안전 인증 제도를 시행하고 있는 일본의 경우, 가정용 제품에 대한 안전 인증제와는 별도로 건설 현장 등 산업현장에서 사용하는 이동식 사다리는 노동안전위생법령에 따른 안전 인증을 받도록 하고 있다. 그러나, 우리나라의 산업안전보건법령에 따른 안전 인증 대상에는 이동식 사다리가 포함되어 있지 않으므로 가정용으로만 인증된 제품을 산업현장에서 사용하는 것을 제한하기 위해서는 산업안전보건법령에 따른 안전 인증 대상에 이동식 사다리를 포함하여 산업용 사다리 사용을 유도하는 방안에 대하여 검토할 필요가 있다.

사용 안전 제도 측면에서는 앞서 조사된 바와 같이, 우리나라의 경우 단순히 취급 주의 사항 몇 가지만을 사용 안전 기준으로 제시하고 있으며, 작업

안전 지침은 작업발판으로 사용하는 경우에만 한정되고 있다. 조사 대상국의 경우 세부적인 사용 안전 기준 및 작업 안전 지침이 마련되어 있을 뿐만 아니라, 특히 영국에서는 산업 현장에서 이동식 사다리를 사용하는 경우에 고용주, 근로자 등 이해관계자별 수행하여야 할 역할에 대해서도 구체적인 사항을 규정하고 있다.

이동식 사다리에 대한 재해 원인 분석 결과를 살펴 보면, 사다리 자체의 구조적 불안전성에 기인하는 경우도 있으나 대부분 잘못된 설치, 무리한 행동, 안전 조치 미이행 등 불안전한 사용으로 인한 재해가 더 많이 발생하고 있다. 그러나 이러한 현실에도 불구하고 우리나라의 경우 올바르게 안전한 사용 방법을 제시하는 구체적인 사용 안전 기준이나 작업 안전 지침이 제정되어 있지 못한 것은 불안전한 사용을 방지하기 위한 현장 안전관리 수행에 있어서 제약점이 될 수 있다. 따라서 이동식 사다리의 불안전한 사용으로 인한 추락 재해의 예방을 위한 현장 안전관리의 실효성을 확보하기 위해서는 이해관계자별 역할과 더불어 작업 단계별(사용전, 사용중, 사용후)로 상세한 사용 안전 기준 및 작업 안전 지침을 마련하는 방안을 강구할 필요가 있다고 사료된다.

이동식 사다리 재해사례 분석에서는 기존의 산업재해조사표 분류기준에 근거한 방법이 아닌 동시 출현 기반의 키워드 네트워크 분석 기법을 이용하여 이동식 사다리 작업의 사고 발생 위험 요인 연관 구조를 모델링하는 방법을 제시하고, 재해사례 분석에 적용하였다. 기존 분류기준에서 제시 되지 않은 위험 요인은 도출하기 어려웠으나, 워드클라우드 기법을 이용한 통계학적 도출 방법에서는 작업 종류, 발생 장소 등 분류 기준에 제시되지 않은 위험 요인의 도출이 가능함을 알 수 있었으며 도출된 위험 요인에 대한 분석 결과, 이동식 사다리 추락 재해 위험 요인은 사고 높이 · 작업 종류 · 발생 장소 · 발생 형태 · 사다리 종류와 연관되어 있음을 알 수 있었다. 이렇게 도출된 위험 요인에 대한 동시출현 키워드 네트워크 모델 분석 결과는 실제 재해조사보고서의 분석 내용과 유사하여, 동시출현 키워드 네트워크를 이용한 연관 구조 모델링 기법이 재해사례 분석에 유효한 방법임을 알 수 있었다. 이와 같은 선

행연구 분석 및 고찰을 통하여 본 연구에서는 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 대한 안전작업기준과 안전작업지침의 개선 방안을 도출하였으며, 작업의 방법과 사용기준 등을 제시하였다. 또한, 안전인증제도의 종류 및 인증 항목들에 대한 조사 및 분석을 통하여 구조형식과 사용재료의 선정 및 안전성 평가를 위한 항목 선정 등에 대해서 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 개발하는데 중요한 기초자료로 활용하였다.

Ⅲ. 현장 실태조사

.....

Ⅲ. 현장 실태조사

1. 설문조사 개요

이동식 사다리 작업의 위험요인 및 문제점 파악, 직업실태의 비교분석, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 방향 수립을 위한 현황을 파악하기 위하여 설문조사를 실시하였다.

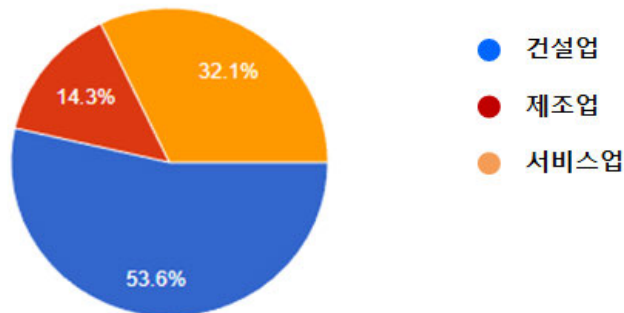
본 연구에서는 설문조사의 대상을 이동식 사다리 관련 재해가 많이 발생하는 산업분야인 건설업, 제조업 및 서비스업으로 선정하였다. 그리고, 설문조사 문항은 연구진의 개발 회의, 연구상대역과의 협의 및 전문가자문회의를 통하여 최종적으로 도출된 작업장 현황을 포함한 일반사항, 이동식 사다리 안전작업지침 개선방안에 대한 의견 수렴, 이동식 사다리 작업 실태 및 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 방향 등 4개 항목으로 구성하였다. 각 항목별 설문 문항은 일반사항에서 업종의 분류 및 작업장 규모 등 7문항, 이동식 사다리 안전작업지침 개선 방안에 대한 의견수렴에서 안전작업지침의 금지조항 등 4문항(세부 포함 10문항), 이동식 사다리 작업 실태에서 최상부 발판 작업 여부 등 10문항(세부 포함 14문항), 대체품(작업발판) 개발 방향에서 대체품(작업발판) 개발 시 사용 여부 등 8문항(세부 포함 9문항)을 개발하였다.

설문조사는 건설업, 제조업 및 서비스업에 종사하는 작업자 및 관리자들을 대상으로 Google Form을 이용한 온라인 설문조사 방법으로 실시하였다. 그리고, 온라인 설문조사에 대한 결과 분석을 통하여 현장 방문을 통한 실태조사 및 면담이 필요한 대상 업종과 현장을 선정하고, 연구진이 이동식 사다리 작업 현장을 직접 방문하여 담당자를 면담하면서 설문조사를 2차적으로 실시할 예정이다.

이동식 사다리 관련 재해가 많이 발생하는 건설업, 제조업 및 서비스업 현장 작업자 및 관리자들을 대상으로 한 1차 온라인 설문조사의 결과는 각 항목별로 다음과 같다.

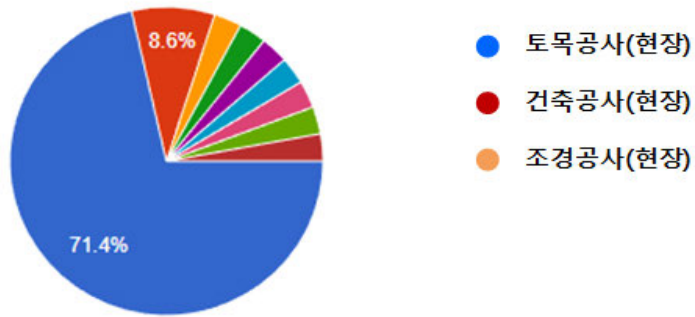
1) 현장(작업장) 현황

이동식 사다리 작업의 현장 실태조사를 위한 설문조사에 참여한 응답자 및 해당 현장에 대한 업종 현황은 건설업 53.6%, 서비스업 32.1% 및 제조업 14.3%로 조사되었다.

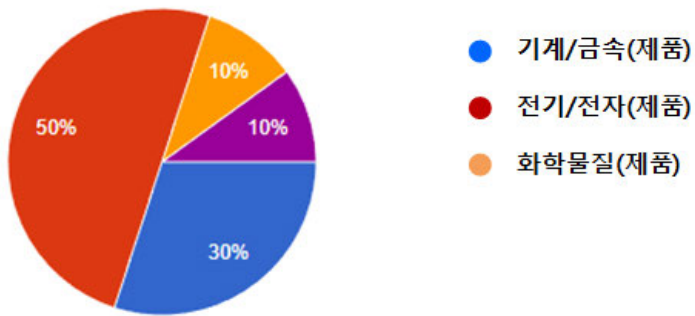


[그림 Ⅲ-1] 업종별 응답자 현황

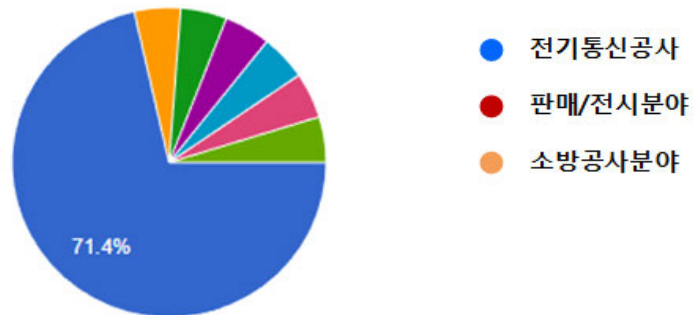
각 업종별 공정을 분류하면, 건설업의 경우 토목공사 현장 71.4%, 건축공사 현장 8.6% 순으로 조사되었고, 제조업의 경우 전기/전자분야 50%, 기계/금속 분야 30% 순으로 조사되었으며, 서비스업의 경우 전기통신공사 분야가 71.4%로 다수였으며 다음으로 판매전시 분야 및 소방공사 분야 순으로 조사되었다.



(a) 건설업 세부(중분류) 현황



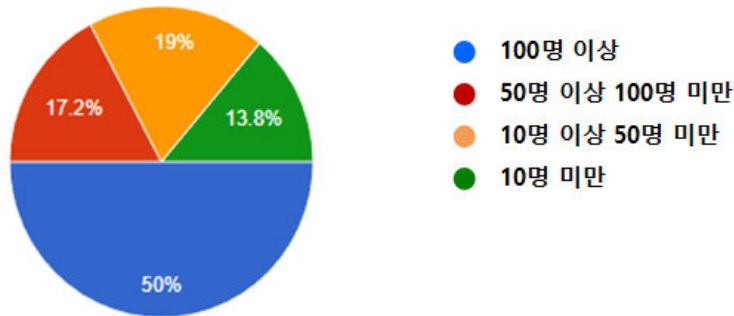
(b) 제조업 세부(중분류) 현황



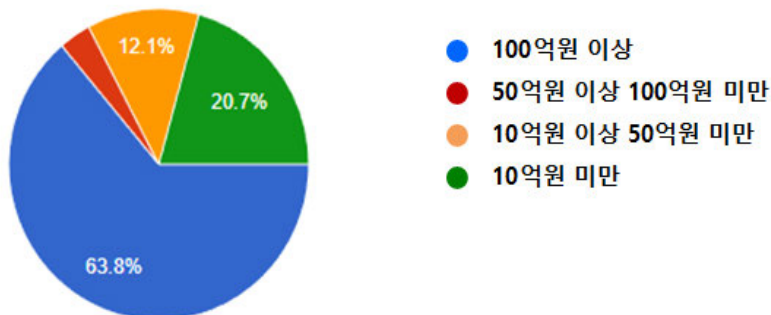
(c) 서비스업 세부(중분류) 현황

[그림 III-2] 업종별 세부(중분류) 현황

현장(작업장)의 규모와 관련하여 인원을 기준으로 100명 이상 50%, 50명 이상 100명 미만 17.2%, 10명 이상 50명 미만 19%, 10명 미만이 13.8%로 조사되었다. 그리고, 연간 공사비 또는 매출액 기준으로 100억원 이상 63.8%, 50억원 이상 100억원 미만 3.4%, 10억원 이상 50억 미만 12.1%, 10억원 미만이 20.7%로 조사되었다. 따라서, 이동식 사다리 관련 산업재해의 빈도가 높은 현장(작업장)인 50인 미만과 50억원 미만의 경우가 각각 33% 정도씩 차지하고 있으므로 소규모 현장(작업장)의 작업실태를 파악하는데 문제가 없을것으로 판단된다.



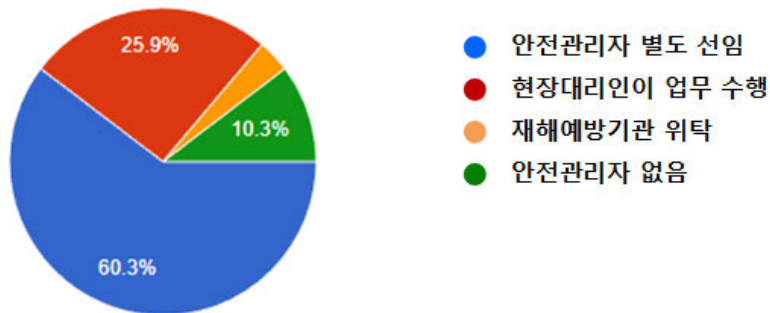
(a) 현장(작업장) 인원 규모



(b) 현장(작업장) 공사비(매출액) 규모

[그림 Ⅲ-3] 현장(작업장) 규모

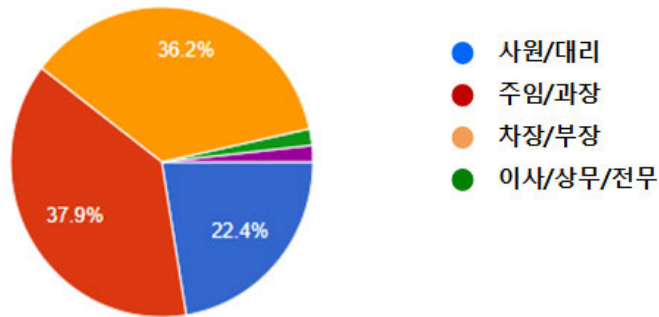
현장(작업장)의 안전관리자 배치와 관련하여 안전관리자를 별도로 선임하는 현장이 60.3%, 현장대리인(또는 소장, 팀장, 매니저 등)이 안전관리자 업무를 수행하거나 병행하는 현장이 25.9%, 재해예방기관에 위탁하는 현장이 3.5%, 안전관리자를 배치하지 않는 현장이 10.3%로 조사되었다.



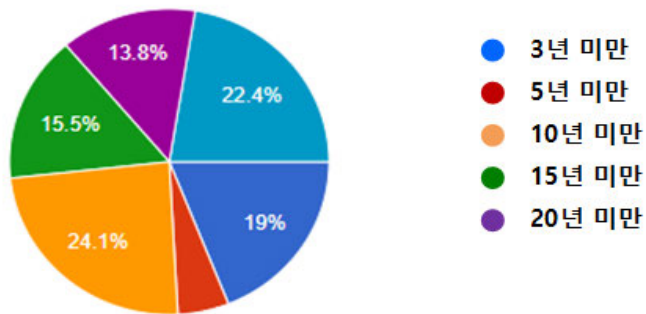
[그림 III-4] 현장(작업장) 안전관리자 배치 현황

2) 응답자 현황

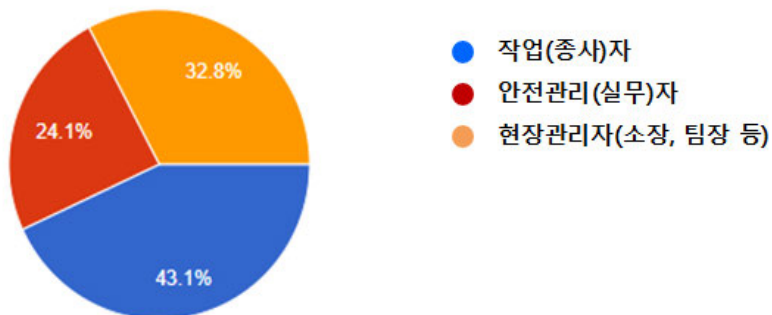
설문조사에 참여한 응답자의 직위는 주임/과장 37.9%, 차장/부장 36.2%, 사원/대리 22.4% 순으로 조사되었고, 근무 경력은 10년 미만 24.1%, 20년 이상 22.4%, 3년 미만 19%, 15년 미만 15.5% 순으로 조사되었으며, 현장에서 담당하는 업무에 대해서는 작업(종사)자 43.1%, 현장관리자 32.8%, 안전관리(실무)자 24.1%로 조사되었다.



(a) 직급별 분포



(b) 근무경력별 분포



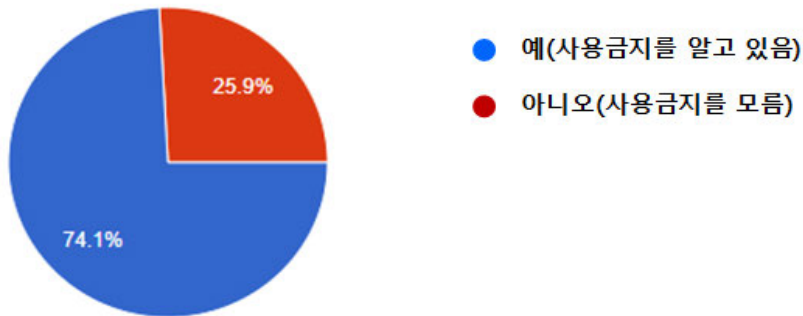
(c) 담당 업무별 분포

[그림 Ⅲ-5] 응답자 근무 현황

2. 이동식 사다리 사용 및 작업실태 분석

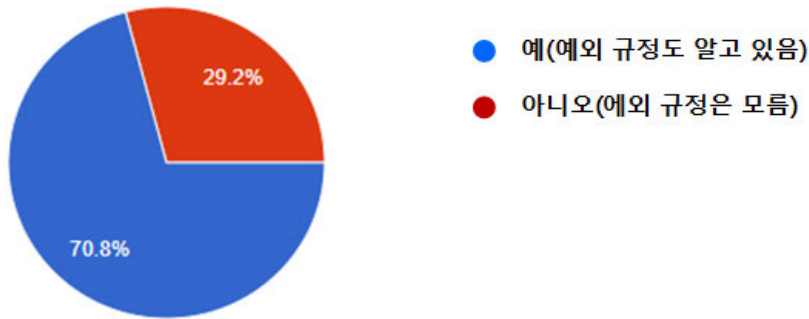
1) 이동식 사다리 안전작업지침의 현장 인식

2021년 3월부터 시행되어 현장에 적용되고 있는「이동식 사다리 안전작업지침 개선 방안」중 고소작업 시 보통(일자형) 및 신축형 사다리의 사용 금지에 대하여 현장(작업장) 종사자의 74.1%가 인지하고 있으며, 25.9%는 아직까지도 모르고 있는 것으로 조사되었다.



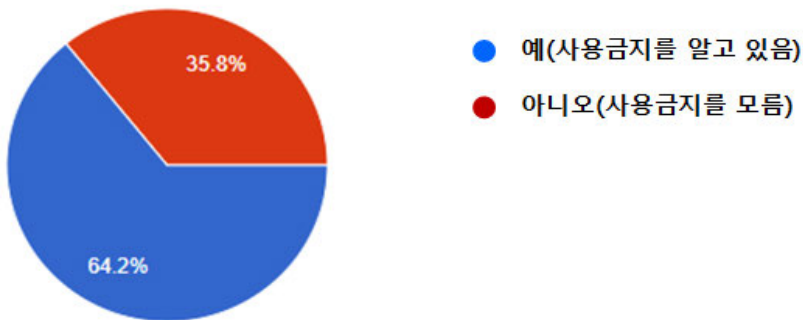
[그림 III-6] 고소작업 시 이동식 사다리 사용금지에 대한 인식

또한, 고소작업 시 이동식 사다리의 사용금지를 인지하고 있는 종사자 중 안전모 및 안전대를 착용할 경우에는 예외적 사용이 가능하다는 것에 대해서도 70.8%는 인지하고 있으나, 29.2%는 사용금지만 인지한 채 예외적 사용이 가능하다는 것을 아직까지 모르고 있는 것으로 조사되었다.



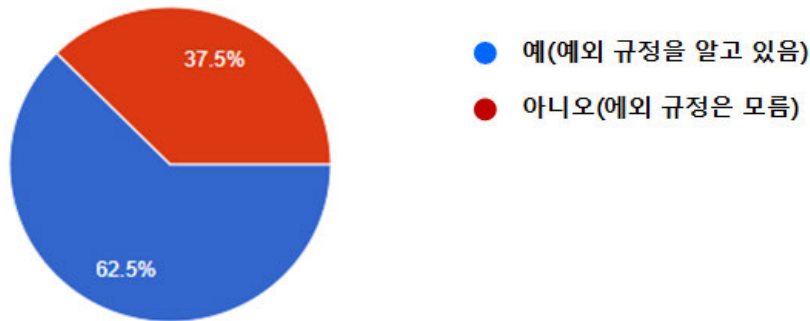
[그림 III-7] 이동식 사다리 사용금지 예외 규정에 대한 인식

높이가 3.5m 초과 작업 시 A형 사다리의 사용 금지에 대해서 현장(작업장) 종사자의 64.2%는 인지하고 있으나, 응답자의 1/3 이상인 35.8%는 아직까지 3.5m 초과 작업 시 A형 사다리 사용 금지를 모르고 있는 것으로 조사되었다.



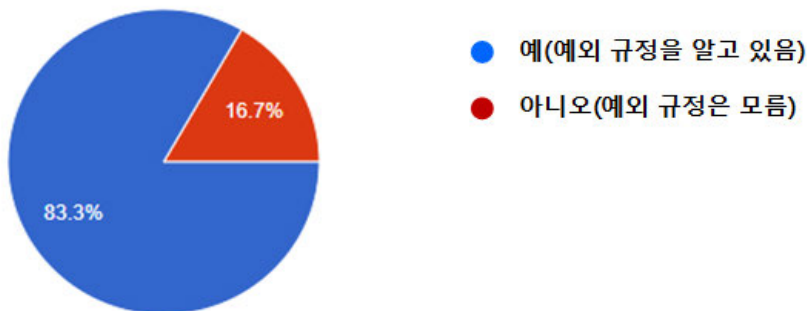
[그림 III-8] 3.5m 초과 작업 시 A형 사다리 사용 금지에 대한 인식

경작업과 비계 및 고소작업대 설치 불가 장소에서 예외적으로 A형 사다리의 사용이 허용되는 것에 대해서 현장(작업장) 종사자의 62.5%는 인지하고 있으나, 응답자의 1/3 이상인 37.5%는 아직까지 A형 사다리의 사용이 허용되는 것을 모르고 있는 것으로 조사되었다.



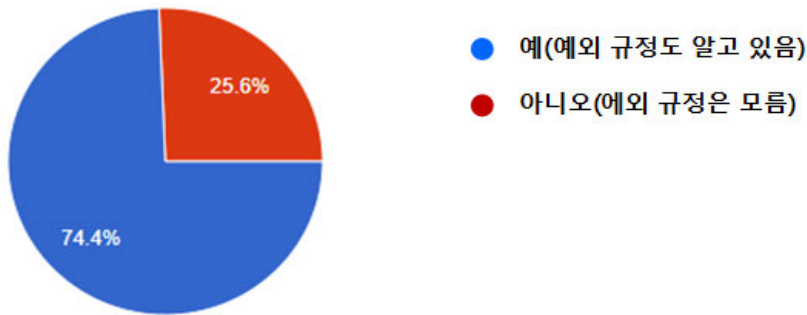
[그림 III-9] A형 사다리의 예외적 사용에 대한 인식

A형 사다리의 예외적 사용이 허용되는 것을 인지하고 있는 종사자들 중에서 높이 2m 미만 작업 시 안전모 착용 및 2인 1조로 작업을 하여야만 A형 사다리 사용이 허용되는 것에 대해서도 83.3%가 인지하고 있으며, 16.7%는 모르고 있는 것으로 조사되었다.



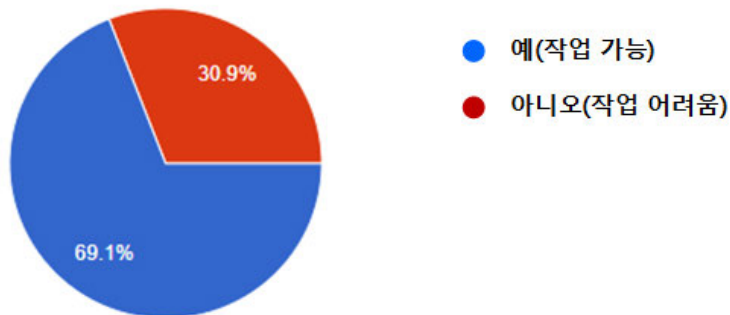
[그림 III-10] A형 사다리의 예외적 사용 조건에 대한 인식(높이 2m 미만 작업 시)

또한, 높이 3.5m 미만 작업 시에는 높이 2m 미만 작업 허용 조건인 안전모 착용 및 2인 1조 작업에 더해 추가적으로 안전대를 착용해야만 A형 사다리 사용이 허용되는 것에 대해서는 74.4%가 인지하고 있으며, 25.6%는 모르고 있는 것으로 조사되었다.



[그림 Ⅲ-11] A형 사다리의 예외적 사용 조건에 대한 인식(높이 3.5m 미만 작업 시)

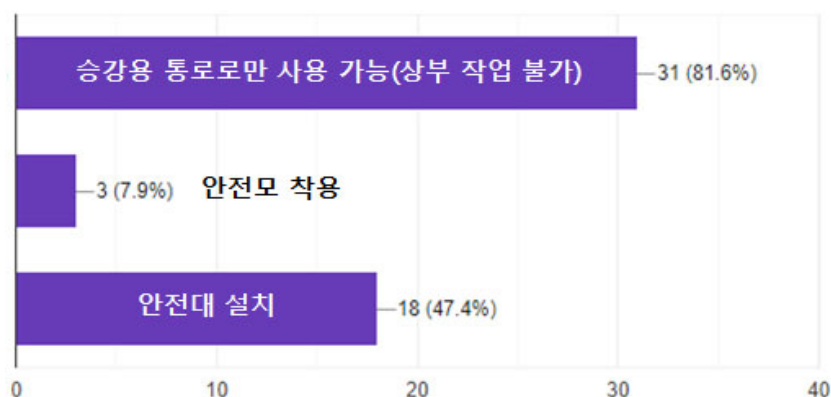
마지막으로 현행「이동식 사다리 안전작업지침」을 준수하면서 현장(작업장)에서 원활한 작업을 수행할 수 있는지에 대해서는 응답자의 69.1%가 작업이 가능, 반대로 약 1/3에 해당하는 30.9%는 원활한 작업이 어렵다고 인식하고 있는것으로 조사되었다.



[그림 Ⅲ-12] 안전작업지침 준수에 따른 원활한 작업의 수행 가능성 인식

현행 「이동식 사다리 안전작업지침」을 준수하였을 때 현장(작업장)에서 원활한 작업이 어렵다고 응답한 종사자 중에서, 보통 및 신축형 사다리 예외기준에 따른 준수사항 중 현장에 적용이 어려운 사항으로 인식하고 있는 항목은 중복 선택을 포함하였을 때 사다리에서 작업이 불가하고 승강용 통로로만 사용을 해야 하는 항목이 81.6%로서 대부분을 차지하고 있었으며, 다음으로 안

전대 설치가 47.4%로서 현장에서 적용이 어려운 사항으로 인식하고 있는 것으로 조사되었다. 이와는 다르게 안전모 착용에 대해서는 7.9%로서 상대적으로 현장에서 적용이 어렵지 않은것으로 조사되었다.



[그림 III-13] 이동식 사다리 사용금지 예외 규정의 현장 적용에 대한 인식

다음으로 높이 2m 미만 A형 사다리 작업의 예외적 허용기준에 따른 준수사항 중 현장에서 적용하기 어려운 사항으로 인식하고 있는 항목은 중복 선택을 포함하였을 때 2인 1조로 작업을 해야 하는 항목이 97%로서 대부분을 차지하고 있으며, 안전모 착용에 대해서는 18.2%로서 상대적으로 낮게 조사되었다.



[그림 III-14] 높이 2m 미만 사다리 작업의 예외적인 허용 기준의 현장 적용에 대한 인식

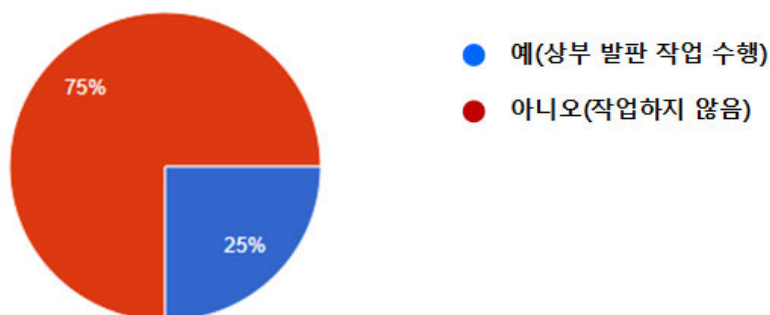
또한, 높이 3.5m 미만 A형 사다리 작업의 예외적 허용기준에 따른 준수사항 중 현장에서 적용하기 어려운 사항으로 인식하고 있는 항목은 중복 선택을 포함하였을 때 안전대 설치 65.7%, 2인 1조 작업이 57.1%로서 현장에서 적용이 어려운 사항으로 인식하고 있는 것으로 조사되었다. 이와는 다르게 안전모 착용에 대해서는 8.6%로서 상대적으로 현장 적용이 어렵지 않은 것으로 조사되었다.



[그림 III-15] 높이 2m 미만 사다리 작업의 예외적인 허용 기준의 현장 적용에 대한 인식

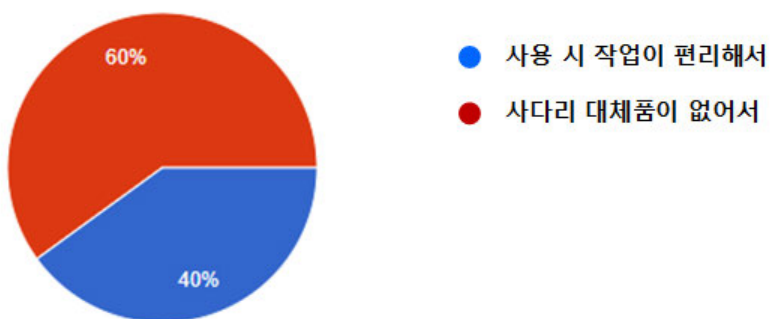
2) 이동식 사다리 현장 작업 실태

현장(작업장)에서「이동식 사다리 안전작업지침」에 따라 기본적으로 금지되어 있는 이동식 사다리의 최상부 발판에서 작업을 수행하는지에 대해서 종사자(또는 해당 현장)이 75%가 현행 안전작업지침을 준수하여 상부 발판에서 작업을 수행하지 않는 것으로 조사되었다. 그러나, 응답자(또는 해당 현장)의 25%는 현행 안전작업지침을 준수하지 않고 이동식 사다리 상부 발판에서 작업을 수행하는 것으로 조사되었다.



[그림 III-16] 이동식 사다리 상부 발판에서의 작업 실태

상부 발판에서 작업을 수행한다는 응답자들에 대해서 안전작업지침을 준수하지 않고 이동식 사다리 최상부 발판에서 작업을 수행하는 이유에 대해서는 이동식 사다리를 이용한 상부 발판에서의 작업이 편리하다는 응답은 40%로서 절반을 넘지 않는 것으로 조사되었다. 이와는 다르게 작업의 편의성과 상관없이 안전한 작업이 가능한 전용발판을 구비하고 있는 이동식 사다리 대체품이 없어서 사용한다는 응답이 절반 이상인 60%로 조사되었다.



[그림 III-17] 이동식 사다리 상부 발판에서의 작업 실태

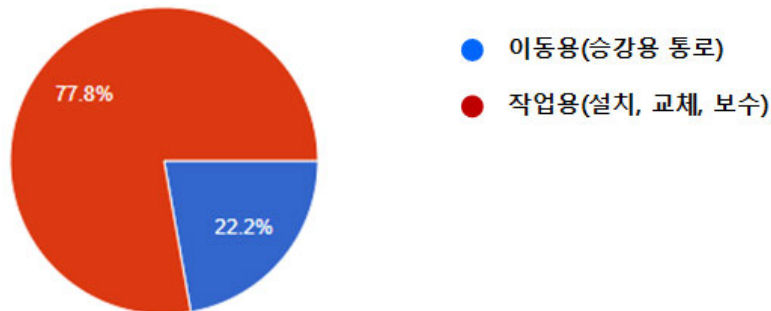
또한, 이동식 사다리를 이용한 작업의 편리성 때문에 최상부 발판에서 작업을 수행한다는 응답자들이 편리하다고 생각하는 이유에 대해서는 설치 및 해체의 간편성이 57.9%, 작업시간의 단축이 36.8%으로 조사되었다. 이와는 다

르게 2인 1조가 아닌 1인 단독 작업의 편리성 때문이라는 응답은 5.3%로서 상대적으로 낮게 조사되었다.



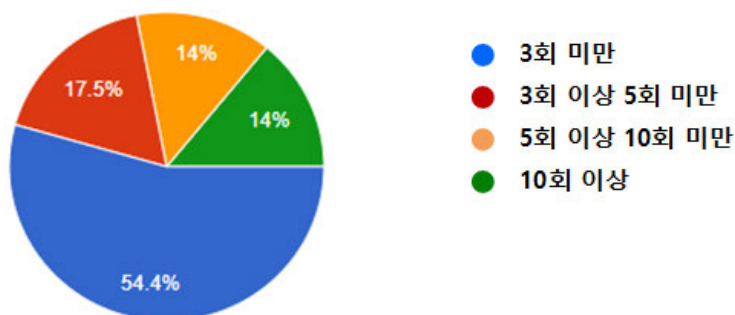
[그림 III-18] 이동식 사다리 상부 발판에서의 작업 수행 이유

현장(작업장)에서 말비계를 포함하여 이동식 사다리를 사용하는 목적에 대해서는 승강용 통로 등 이동용으로 사용이 22.2%인 반면, 부착물 설치나 전동 교체 및 유지보수 등 작업용으로 사용하는 경우가 77.8%로 조사되었다.



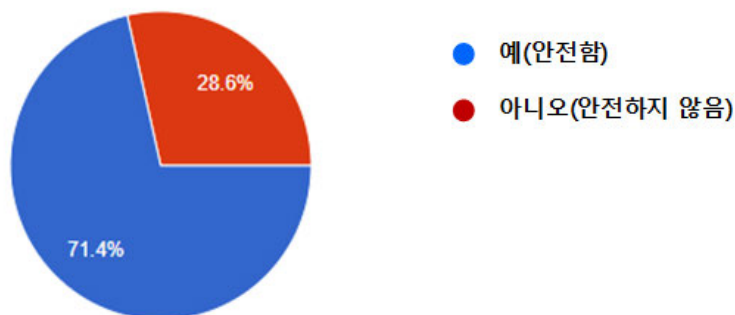
[그림 III-19] 이동식 사다리(말비계 포함)의 사용 목적

현장(작업장)에서 1일 작업을 기준으로 말비계를 포함하여 이동식 사다리를 사용하는 횟수에 대해서는 3회 미만 54.4%로서 절반 정도를 차지하고 있으며, 3회 이상 5회 미만 17.5%, 5회 이상 10회 미만과 10회 이상이 각각 14%로 조사되었다.



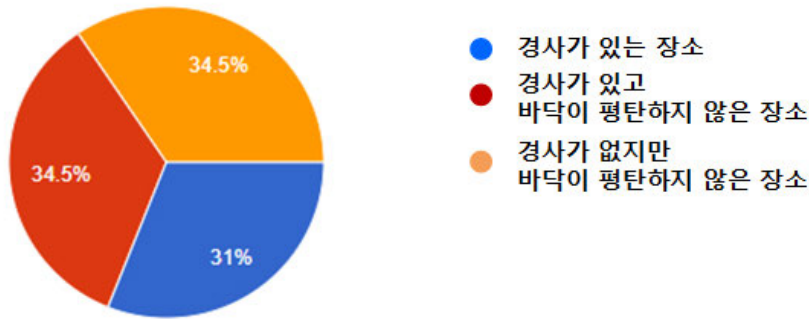
[그림 III-20] 이동식 사다리(말비계 포함)의 1일 사용 횟수

현장(작업장)에서 말비계를 포함한 이동식 사다리를 주로 사용하는 장소의 안전과 관련하여 응답자의 71.4%는 안전한 장소에서 이동식 사다리를 설치 또는 사용하고 있으며, 반대로 약 1/3인 28.6%는 안전하지 않은 장소에서 이동식 사다리를 설치하거나 사용하고 있는것으로 조사되었다.



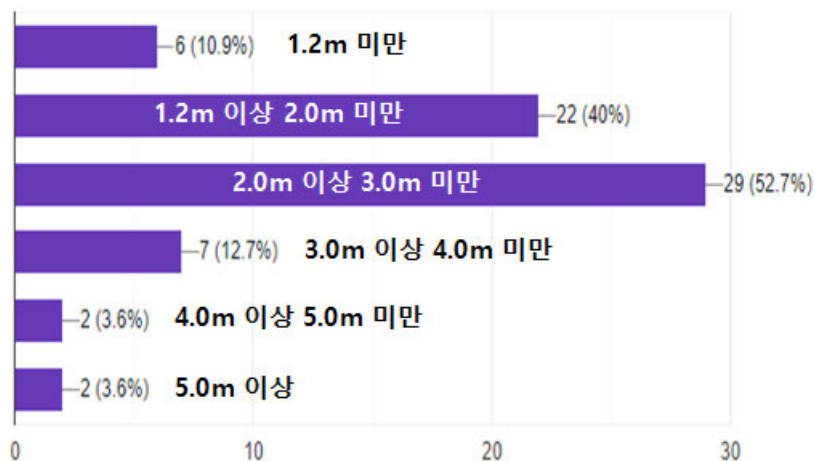
[그림 III-21] 이동식 사다리(말비계 포함)의 1일 사용 횟수

이동식 사다리를 설치 또는 사용하는 장소가 안전하지 않다고 응답한 종사자들이 주로 설치하거나 사용하는 장소는 경사가 있는 장소 31%, 경사가 있고 바닥이 평탄하지 않은 장소 34.5%, 경사가 없지만 바닥이 평탄하지 않은 장소 34.5%로 조사되었다. 즉, 경사가 있거나 바닥이 평탄하지 않은 장소 모두 이동식 사다리의 사용에 있어서 불안정한 것으로 나타났다.



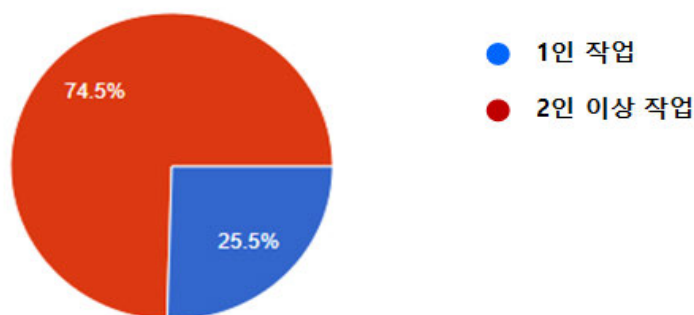
[그림 Ⅲ-22] 이동식 사다리(말비계 포함) 사용 시 불안전한 장소

현장(작업장)에서 말비계를 포함한 이동식 사다리를 주로 사용하는 작업 높이는 실제 작업을 수행하는 발판까지의 높이를 기준으로 중복 선택을 포함하였을 때 2.0m 이상 3.0m 미만이 52.7%로서 가장 많이 작업하는 높이로 조사되었으며, 다음으로 1.2m 이상 2.0m 미만이 40%로 조사되었다. 이와는 다르게 작업 높이가 상대적으로 낮은 1.2m 미만에서는 10.9%, 상대적으로 높은 3.0m 이상 4.0m 미만과 4.0m 이상은 각각 12.7%와 7.2%로 조사되었다. 즉, 발판까지의 높이를 기준으로 하는 작업 높이 3.0m 미만에서 이동식 사다리를 이용한 작업이 주로 수행되는 것을 확인할 수 있다.



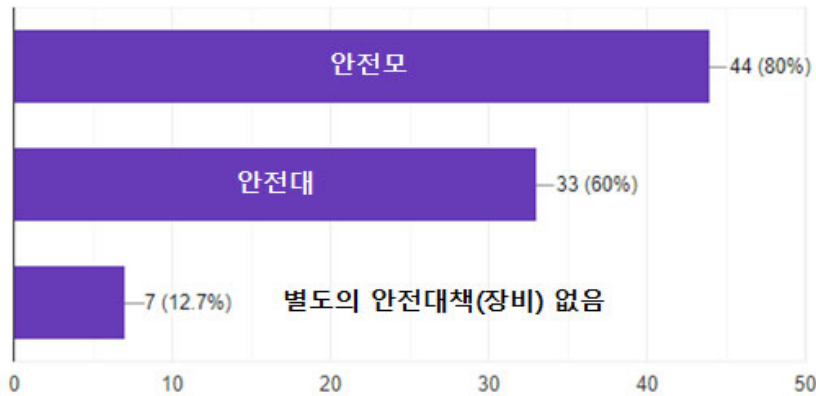
[그림 Ⅲ-23] 이동식 사다리(말비계 포함)의 사용 높이(바닥에서 작업이 수행되는 발판까지의 높이 기준)

현장(작업장)에서 말비계를 포함한 이동식 사다리를 사용하여 작업을 수행할 때 투입되는 인원에 대해서는 2인 이상으로 작업을 수행하는 경우가 74.5%로서 대부분 2인 1조 작업이 이뤄지고 있는 것으로 조사되었다. 그러나, 1인 단독으로 이동식 사다리를 사용하여 작업을 수행하는 경우도 25.5%로 조사되었다.



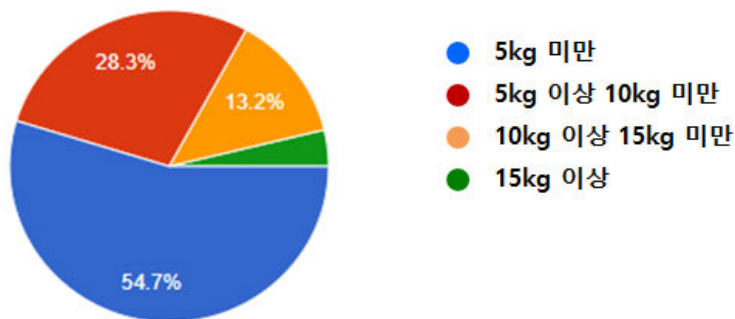
[그림 III-24] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 인원

현장(또는 작업장)에서 말비계를 포함한 이동식 사다리 작업 시 안전대책 또는 안전장비 착용에 대해서 중복 선택을 포함하였을 때 안전모 착용이 80%, 안전대 착용이 60%로서 절반 이상의 현장에서 안전장비를 착용하고 이동식 사다리 작업을 수행하는 것으로 조사되었다. 이와는 다르게, 안전모 또는 안전대의 착용이나 별도의 안전대책을 수립하지 않고 이동식 사다리 작업을 수행하는 경우도 12.7%로 조사되었다.



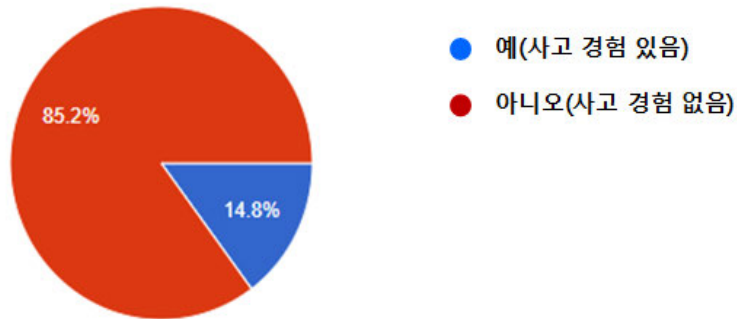
[그림 III-25] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 안전대책(장비)

현장(또는 작업장)에서 말비계를 포함한 이동식 사다리를 사용한 작업 시, 작업용 도구 또는 작업대상물의 평균 중량은 5kg 미만인 54.7%로서 절반 이상을 차지하는 것으로 조사되었으며, 다음순으로 5kg 이상 10kg 미만 28.3%, 10kg 이상 15kg 미만 13.2%, 15kg 이상 3.8%로 조사되었다. 즉, 이동식 사다리 작업 시 작업자의 몸무게를 제외한 10kg 이하의 작업 중량이 이동식 사다리에 작용한다는 것을 확인할 수 있다.



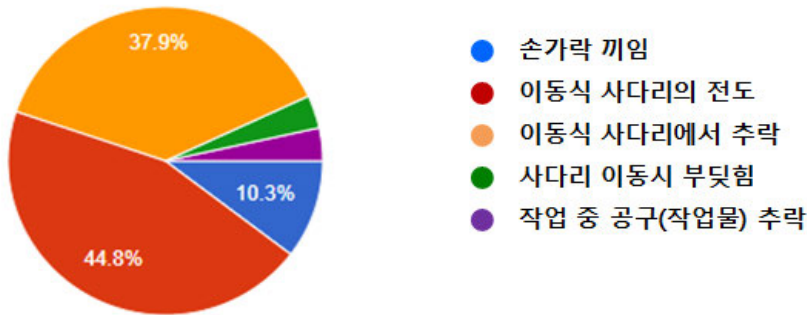
[그림 III-26] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 작업도구(작업대상물)의 평균 중량

현장(또는 작업장)에서 이동식 사다리를 이용한 작업의 수행에 따른 직접 또는 간접적인 사고의 경험과 관련하여 사고 경험이 없는 종사자가 85.2%로서 대부분 사고의 경험이 없는 것으로 조사되었다. 그러나, 응답자의 14.8%는 이동식 사다리를 이용한 작업을 수행하면서 직접 또는 간접적인 사고를 경험한 것으로 조사되었다.



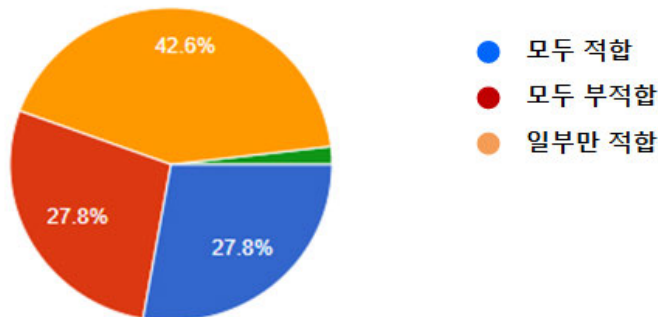
[그림 III-27] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 직접 또는 간접적인 사고의 경험 여부

이동식 사다리를 사용한 작업 수행 시 사고를 경험한 종사자들의 사고 원인 또는 위험 요인에 대해서는 이동식 사다리의 전도 44.8%, 이동식 사다리에서 추락 37.9%, 손가락 끼임 10.3%, 이동식 사다리 이동시 부딪힘 또는 작업 중 공구(작업물) 떨어트림이 7%로 조사되었다. 즉, 이동식 사다리를 사용한 작업 수행에 따른 사고의 주요 위험 요인은 이동식 사다리의 전도와 이동식 사다리에서 작업자의 추락이 대부분으로서, 이동식 사다리의 전도 및 작업자의 추락을 방지하기 위한 안전장치가 필요한 것으로 나타났다.



[그림 III-28] 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 사고의 원인(위험요인)

마지막으로 현재 국내에서 판매되고 있는 작업발판형 이동식 사다리(플랫폼 사다리, 말비계형 안전발판 사다리)의 중량이 이동이나 휴대 또는 작업에 적당한지에 대해서 일부만 적합이 42.6%, 모두 부적합이 27.8%로서 약 70%가 부적합한 것으로 조사되었으며, 이와는 반대로 27.8%만 적합한 것으로 조사되었다. 즉, 현재 시판중인 작업발판형 이동식 사다리에 대해서 응답자의 약 70% 정도가 이동 및 작업에 따른 편의성을 충분히 확보하지 못하고 있는 것으로 나타났다.



[그림 III-29] 국내 시판중인 작업발판형 이동식 사다리 중량의 적정성

3. 이동식 사다리 제품군 및 대체품 현황

1) 국내 제품군 현황





본 연구에서 개발을 목표로 하는 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 대한 유사 제품군 및 관련 대체품 현황을 파악하기 위하여 국내에서 시판중인 이동식 사다리 제품 중에서 작업발판을 구비하고 있는 5단(또는 비교가 필요 시 4단 또는 신축형 5단)을 대상으로 제품군 현황을 조사하였다. 이동식 사다리 제품군 및 대체품 현황은 크게 사다리를 구성하는 재질에 따라 알루미늄과 FRP로 구분하였으며, 각 재질별로 다시 작업발판의 크기와 전도방지장치(아웃트리거) 유·무 및 안전난간의 역할 등에 따라 가정용(경량)과 산업용(중량)으로 구분하였다.

(1) 알루미늄 재질

가) 가정용(경량) 이동식 사다리

국내에서 시판중인 알루미늄 재질의 이동식 사다리 중 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm²보다 작거나, 안전난간이 발판으로부터 900mm 이상 상부에 설치되지 않는 제품을 가정용 또는 경량으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-1>에 정리하였다. 이들 가정용(경량) 이동식 사다리 제품은 대체적으로 중량이 10kg 이하의 경량이며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 작은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 없으므로 작업자의 안전을 확보하는데 불리하다고 할 수 있으며, 중량이 가볍고 안전난간이 별도로 구비되지 않아서 전도의 위험성이 높다고 할 수 있다.


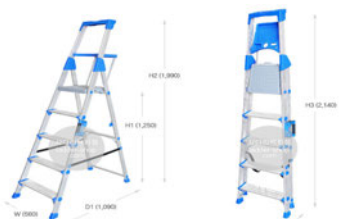


〈표 III-1〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용

제품사진 (모델명)	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (초경량 와이드스텝, KAS-4)	885	1,280	320×340	1,390×56	5.2 (4단)	100
 (경량 듀얼광폭발판, ACX-4C-2)	1,219	1,607	335×254	1,740×559 ×100	6.4 (4단)	113
 (트윈 광폭발판, FS13739)	1,130	1,600	370×205	1,700×95	5.9 (4단)	120
 (공구트레이 광폭발판, EUA-D4)	983	1,593	250×250	1,780×520 ×150	5.75 (4단)	150

〈표 III-1〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용

제품사진	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
<p>(유로형 광폭발판, G604-5)</p>	1,050	1,550	300×300	1,600×100	3.8	100
<p>(유로형 공구 광폭발판, EUA-D5)</p>	1,240	1,850	250×250	2,060×550 ×150	6.6	150
<p>(와이드 플랫폼, P150-AL)</p>	1,455	2,355	505×415	2,510×160	12	150
<p>(와이드 5단, MLB-5)</p>	1,140	1,670	265×130	1,800×150 ×130	5.4	150





〈표 III-1〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용

제품사진	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (안전발판 공구함 5단, CF-5)	1,140	1,600	280×320	1,911×515 ×118	6.6	120
 (멀티 공구트레이 5단, ECL-5)	1,250	1,990	300×300	2,140×110	8.6	150
 (광폭발판 5단, VS1024)	1,160	1,500	200×300	1,640×160	10	100
 (광폭발판 안전손잡이, CTB-5C)	1,120	1,900	320×260	1,770×150	4.9	100





나) 산업용 이동식 사다리

국내에서 시판중인 알루미늄 재질의 이동식 사다리 중 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm²보다 크거나, 안전난간이 작업발판으로부터 900mm 이상 상부에 별도로 설치되어 있고 동시에 작업발판과 안전난간 사이에 난간이 추가로 설치되어 있는 제품을 산업용으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-2>에 정리하였다. 이들 산업용 이동식 사다리 제품은 대체적으로 중량이 20kg 이상이며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 넓은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 구비되어 있으므로 작업자의 안전을 확보하는데 우수하다고 할 수 있으며, 중량이 무겁고 안전난간이 별도로 구비되어 있으므로 전도에 대한 안전성이 가정용에 비하여 높다고 할 수 있다. 그러나, 안전난간을 포함한 이동식 사다리의 총 높이가 2.1m 이상이고, 보관 시 크기도 길이를 기준으로 2.0m를 초과하므로 이동이나 보관 시 엘리베이터 등의 진입이 불가하고, 일반 화물용 차량의 내부 적재가 불가하며, 작업자 1인이 혼자서 운반과 설치를 하는데 어렵기 때문에 현장 작업자들에게 상당한 불편함을 줄 수 있을것으로 판단된다.




〈표 III-2〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용

제품사진	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (유로형 안전발판, KDH-5)	1,131	2,146	590×435	2,415×880 ×585	13.7	150
 (와이드 자동멈춤, P170-5AL)	1,452	2,550	610×460	2,550×175	19.9	170
 (안전작업대 말비계, KC-S-SF-05)	1,300 ~ 1,580	2,600	520×630	2,560×890 ×430	29.0	170
 (말비계 트러스텝, WTS-5)	1,370	2,570	400×420	2,000×	19.4	100

〈표 III-2〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용

제품사진	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (안전난간 말비계, KDK-S-05)	1,300 ~ 2,120		480×530	2,480×270		100
 (안전발판 사다리, YDP-20)	1,300 ~ 1,600		550×600	2,600×1,000×420	27	120
 (안전발판 공구트레이, KDK-05)	1,300 ~ 2,120		400×500	2,310×270		170
 (안전발판 사다리, SYSF-05)	1,300 ~ 1,580		520×630	2,560×890×430	29.6	

〈표 III-2〉 국내 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용



제품사진	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (안전사다리, YDNK-05)	1,300 ~ 1,860		400×600	2,460×820 ×240	24.2	
 (산업용 사다리, YDK-05)	1,300 ~ 1,860		400×600	2,360×820 ×240	20	
 (트러스텝 사다리, NS-5단)	1,375 ~ 2,485		310×420	1,940×		170

(2) FRP 재질

가) 가정용(경량) 이동식 사다리

국내에서 시판중인 FRP 재질의 이동식 사다리 중 알루미늄 재질과 동일하게 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm² 보다 작거나, 안전난간이 발판으로부터 900mm 이상 상부에 설치되지 않는 제품을 가정용 또는 경량으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-3>에 정리하였다. 이들 가정용(경량) FRP 이동식 사다리 제품은 알루미늄 사다리와 비교하여 제품이 소수에 불과하고, 대체적으로 중량이 15kg 이하의 경량이며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 작은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 없으므로 작업자의 안전을 확보하는데 불리하다고 할 수 있으며, 중량이 가볍고 안전난간이 별도로 구비되지 않아서 전도의 위험성이 높다고 할 수 있다.





〈표 III-3〉 국내 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용

제품사진 (모델명)	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 <p>(공구 안전발판 절연, FAA-41)</p>	1,140	1,680	330×270	1,750×570 ×110	6.6 (4단)	113
 <p>(말비계 비전도체, FRP BET-05)</p>	1,420	2,330	400×580	2,550×150	15.2	150

나) 산업용 이동식 사다리

국내에서 시판중인 FRP 복합소재 재질의 이동식 사다리 중 알루미늄 재질과 동일하게 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm² 보다 크거나, 안전난간이 작업발판으로부터 900mm 이상 상부에 별도로 설치되어 있고 동시에 작업발판과 안전난간 사이에 난간이 추가로 설치되어 있는 제품을 산업용으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-4>에 정리하였다. 이들 산업용 FRP 이동식 사다리 제품은 알루미늄 제품군과 비교하여 종류가 많지 않으며, 대체적으로 중량이 20kg 이상(특정 제품의 경우 40kg 이상)이며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 넓은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 구비되어 있으므로 작업자의 안전을 확보하는데 우수하다고 할 수 있으며, 중량이 무겁고 안전난간이 별도로 구비되어 있으므로 전도에 대한 안전성이 가정용에 비하여 높다고 할 수 있다. 그러나, 안전난간을 포함한 이동식 사다리의 총 높이가 2.4m 이상이고, 보관 시 크기나 길이를 기준으로 2.3m를 초과하므로 이동이나 보관 시 엘리베이터 등의 진입이 불가하고, 일반 화물용 차량의 내부 적재가 불가하며, 작업자 1인이 혼자서 운반과 설치를 하는데 어렵기 때문에 현장 작업자들에게 상당한 불편함을 줄 수 있을것으로 판단된다.

〈표 Ⅲ-4〉 국내 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용

제품사진	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (말비계 산업용, FRP SBET-105)	1,405	2,430	576×402	2,680×770 ×600	20.4	150
 (말비계 절연, FRP KDK-H5)	1,406	2,420	570×440	2,440×250 ×290	29.2	150
 (안전난간 보호대, FRPCE-3A)	900 ~ 1,500	2,500	460×560	2,350×1,150 ×450	45.0	150
 (안전난간 보호대, FRPCE-5A)	1,500 ~ 2,650	2,900	460×560	2,950×1,150 ×450	57.0	150





2) 국외 제품군 현황

(1) 알루미늄 재질





가) 가정용(경량) 이동식 사다리

국외에서 시판중인 알루미늄 재질의 이동식 사다리 중 국내 제품과 동일하게 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm² 보다 작거나, 안전난간이 발판으로부터 900mm 이상 상부에 설치되지 않는 제품을 가정용 또는 경량으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-5>에 정리하였다. 이들 가정용(경량) 이동식 사다리 제품은 국내 제품과 비교하여 대체적으로 경량인 7kg 이하의 중량이며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 작은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 없으므로 작업자의 안전을 확보하는데 불리하다고 할 수 있으며, 중량이 가볍고 안전난간이 별도로 구비되지 않아서 전도의 위험성이 높다고 할 수 있다.

〈표 III-5〉 국외 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용

제품사진 (모델명)	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (GAZELLE 5 STEP, G5705)		1,100	290×290	1,700	7.0	136
 (LYTE Step Ladder, NESP5)	1,025	1,665	×	1,840	7.0	150
 (ISSIMA Step Ladder, A07IS175)	890	1,510	276×260	1,610×140	5.96	150
 (WERNER Step Ladder, 7150518)	850	1,900	×	1,900×150	7.66	175





〈표 III-5〉 국외 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용

제품사진 (모델명)	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (HD Aluminium P150, FS13582)	1,450	2,355	500×310		13.9	150
 (PRO AL Platform, FS13934)	1,420		500×400		12.3	170
 (NENPL Step Ladder, NENPL5)	1,040	1,640	×	1,730×460 ×125	4.0	150
 (DRABEST Supa Step, DEPS5)	1,000	1,600	250×250	1,640	5.6	150

나) 산업용 사다리

국외에서 시판중인 알루미늄 재질의 이동식 사다리 중 국내 제품과 동일하게 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm² 보다 크거나, 안전난간이 작업발판으로부터 900mm 이상 상부에 별도로 설치되어 있고 동시에 작업발판과 안전난간 사이에 난간이 추가로 설치되어 있는 제품을 산업용으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-6>에 정리하였다. 이들 산업용 이동식 사다리 제품은 국내 제품과 비슷하게 대체적으로 중량이 20kg 이상이며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 넓은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 구비되어 있으므로 작업자의 안전을 확보하는데 우수하다고 할 수 있으며, 중량이 무겁고 안전난간이 별도로 구비되어 있으므로 전도에 대한 안전성이 가정용에 비하여 높다고 할 수 있다. 그러나, 안전난간을 포함한 이동식 사다리의 총 높이가 2.1m 이상이고, 보관 시 크기 도 길이를 기준으로 2.0m를 초과하므로 이동이나 보관 시 엘리베이터 등의 진입이 불가하고, 일반 화물용 차량의 내부 적재가 불가하며, 작업자 1인이 혼자서 운반과 설치를 하는데 어렵기 때문에 현장 작업자들에게 상당한 불편함을 줄 수 있을것으로 판단된다.

〈표 III-6〉 국외 알루미늄 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용





제품사진	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (CLOW Adjustable,)	1,080 ~ 1,600		600×525	2,460×760 ×490	33.7	150
 (GAZELLE 5 STEP, G5805)	1,400		580×400	2,400	18.0	136
 (NBSWP Widestep, NBSWP5)	1,040	2,040	400×600	2,260×670 ×310	10.0	150
 (LFI Pro Widestep, K3WD05)	1,250	2,190	380×630	2,520×180	16.0	150

(2) FRP 재질

가) 가정용(경량) 이동식 사다리

국외에서 시판중인 FRP 재질의 이동식 사다리 중 알루미늄 재질과 동일하게 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm² 보다 작거나, 안전난간이 발판으로부터 900mm 이상 상부에 설치되지 않는 제품을 가정용 또는 경량으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-7>에 정리하였다. 이들 가정용(경량) FRP 이동식 사다리 제품은 국내 FRP 재질 사다리와 비교하여 제품의 종류가 다양하고, 대체적으로 중량이 15~20kg 정도로서 국내 제품과 비교하여 중량이 크며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 작은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 없으므로 작업자의 안전을 확보하는데 불리하다고 할 수 있으며, 중량이 가볍고 안전난간이 별도로 구비되지 않아서 전도의 위험성이 높다고 할 수 있다.



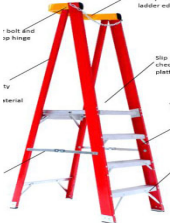

〈표 Ⅲ-7〉 국외 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 가정용

제품사진 (모델명)	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (HD FIBREGLASS P150, FS13578)	1,450	2,400	500×410		15.4	150
 (PRO FG Platform, FS13948)			500×400		16.5	170
 (FIBREGLASS PODIUM,)	1,524		406×495	×	18.6	136
 (FIBREGLASS Platform, FPS8-5G)	1,500		×	×	14.0	150

나) 산업용 이동식 사다리

국외에서 시판중인 FRP 복합소재 재질의 이동식 사다리 중 알루미늄 재질과 동일하게 작업발판의 크기가 치수를 기준으로 약 400mm × 400mm 또는 면적을 기준으로 약 200,000mm² 보다 크거나, 안전난간이 작업발판으로부터 900mm 이상 상부에 별도로 설치되어 있고 동시에 작업발판과 안전난간 사이에 난간이 추가로 설치되어 있는 제품을 산업용으로 구분하고, 이들 제품 현황을 조사하여 <표 III-8>에 정리하였다. 이들 산업용 FRP 이동식 사다리 제품은 알루미늄 제품군과 비교하여 종류가 많지 않으며, 대체적으로 중량이 20kg 이하이며, 작업발판이 면적(치수)가 상대적으로 넓은 특징을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 이동식 사다리 상부에 별도의 안전난간이 없으므로 작업자의 안전을 확보하는데 불리하다고 할 수 있으며, 중량이 가볍고 안전난간이 별도로 구비되어 있지 않으므로 전도에 대한 안전성이 가정용과 큰 차이가 없다고 할 수 있다. 또한, 안전난간을 포함한 이동식 사다리의 총 높이가 2.4m 이상이고, 보관 시 크기도 길이를 기준으로 2.3m를 초과하므로 이동이나 보관 시 엘리베이터 등의 진입이 불가하고, 일반 화물용 차량의 내부 적재가 불가하며, 작업자 1인이 혼자서 운반과 설치를 하는데 어렵기 때문에 현장 작업자들에게 상당한 불편함을 줄 수 있을것으로 판단된다.

〈표 III-8〉 국외 FRP 이동식 사다리 제품 현황 - 산업용

제품사진 (모델명)	제원				중량 (kg)	하중 (kg)
	작업발판 높이 (mm)	총높이 (mm)	작업발판 크기 (mm)	보관크기 (mm)		
 (Glassbire Widestep, NGFWP5)	1,040	2,040	400×600	2,260×670 ×310	14.0	150
 (Glass Fibre Platform, K8PF05)	1,200	1,830	×	1,970×155	11.5	150
 (Fiberglass A Tyoe, FG-CAP-05)	1,260		610×460	×	19.0	200
 (Station Fibreglass, BAILEY P170)	1,450	2,400	610×457	×	21.5	170

4. 소결

이동식 사다리 작업 관련 산업재해가 많이 발생하는 주요 산업분야인 건설업, 제조업 및 서비스업 종사자들을 대상으로 온라인 설문조사를 통한 현장 실태조사를 실시하고, 국내외에서 시판중인 작업발판형 이동식 사다리 제품군 및 대체품 현황을 조사하였다.

설문조사에서 이동식 사다리 안전작업지침에 대한 현장의 인식은 지침의 주요 내용에 대해 응답자의 2/3 이상이 정확하게 인지하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나, 현행 지침의 사용금지 예외 규정과 관련하여 통로로만 사용, 2인 1조 작업 및 안전대 설치 등은 현장에 적용하는데 어려움이 있는 것으로 조사되었다. 이동식 사다리를 이용한 현장의 작업실태와 관련하여 응답자의 3/4은 현행 지침을 준수하여 상부 발판에서 작업을 수행하지 않는 것으로 조사되었고, 상부 발판에서 작업을 수행하는 이유는 현장 작업 시 설치·해체의 간편성과 작업시간 단축 등 작업 편리성과 대체품이 없기 때문으로 조사되었다. 또한 이동식 사다리 작업은 대부분 안전한 장소에서 사용을 하는 것으로 조사되었으나 일부는 경사가 있거나 바닥이 평탄하지 않은 불안정한 장소에서 사용하는 것으로 조사되었다. 다음으로 현장에서 이동식 사다리를 주로 사용하는 높이는 2~3m, 작업대상물의 중량은 5kg 미만으로 나타났다. 이와 함께 국내에서 시판중인 작업발판형 이동식 사다리에 대해서는 약 70%가 현장 작업에 부적합하다고 응답하여 대체품 개발의 필요성을 확인하였다.

이동식 사다리 제품군 및 대체품 현황 조사를 통하여 알루미늄 합금과 섬유강화플라스틱 복합체인 FRP를 이동식 사다리의 주재료 사용하고 있음을 확인하였으며, 작업발판의 크기와 전도방지장치인 아웃트리거 유·무에 따라 가정용과 산업용으로 구분되고 있음을 확인하였다. 이와 같은 실태조사 결과를 근거로 하여 국내 현장 작업실태에 적합하고 안전성이 상대적으로 우수한 산업용 이동식 사다리를 기준으로 대체품이 개발되어야 함을 알 수 있다.

IV. 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발

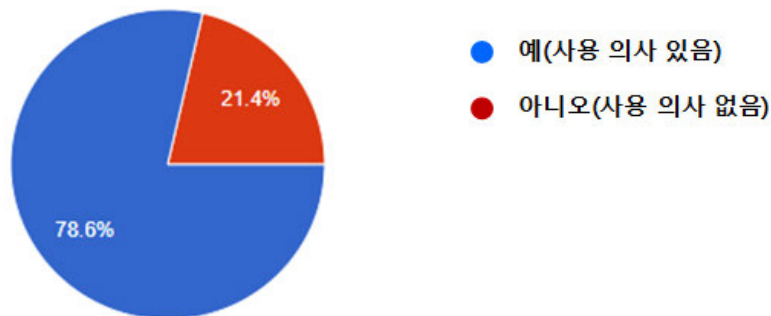


IV. 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발

1. 대체품(작업발판) 개발을 위한 현장 의견수렴

1) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 방향

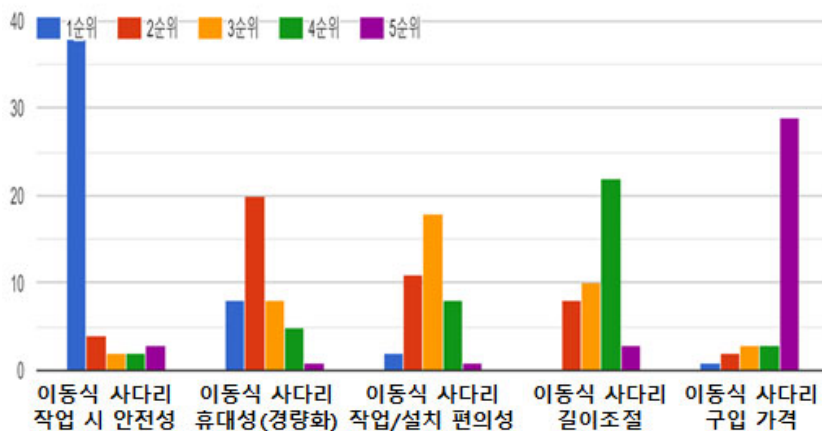
개발 방향의 수립에 앞서 본 연구과제 수행을 통하여 개발 예정인 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 사용 여부에 대해서는 사용할 의사가 있다 78.6%, 사용할 의사가 없다 21.4%로 조사되었다. 따라서, 응답자의 2/3 이상인 약 80%가 사용할 의사가 있으므로, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발은 적절한 것으로 나타났다.



[그림 IV-1] 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발에 따른 사용 여부

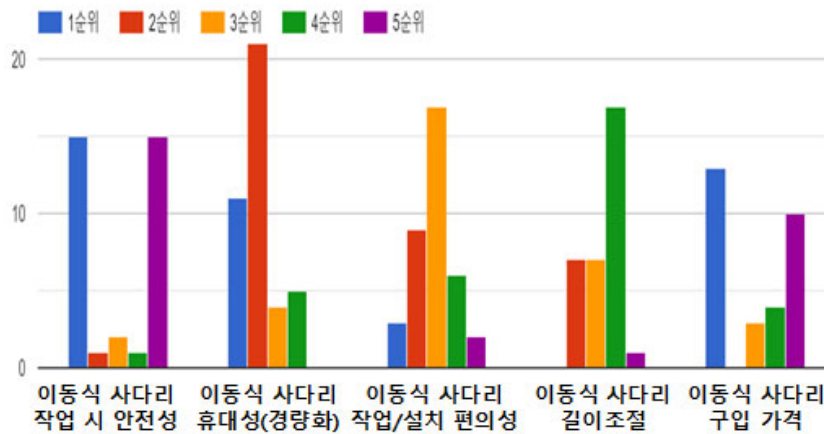
이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 방향을 수립하기 위하여 사용할 의사가 있는 응답자들을 대상으로 본 연구과제에서 개발 예정인 이동식 사다리 대체품(작업발판)이 기존 이동식 사다리와 비교하여 우수하다고 생각되는 항목에 대해서는 이동식 사다리 작업 시 안전성이 1순위, 이동식 사다리의 휴대성(경량화)이 2순위, 이동식 사다리 작업을 위한 설치 편의성(간편성)이 3순위, 이동식 사다리 작업의 효율을 위한 길이 조절이 4순위, 이동식 사다리 구

입가격이 5순위로 조사되었다. 즉, 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 이동식 사다리의 가격이나 길이조절 기능에 우선하여 이동식 사다리를 이용한 작업 시 전도 및 추락을 방지할 수 있는 안전성 확보, 휴대와 보관 및 이동의 편의를 위한 경량화, 설치 및 작업의 편의성 등을 우선적으로 고려해야 하는 것으로 나타났다.



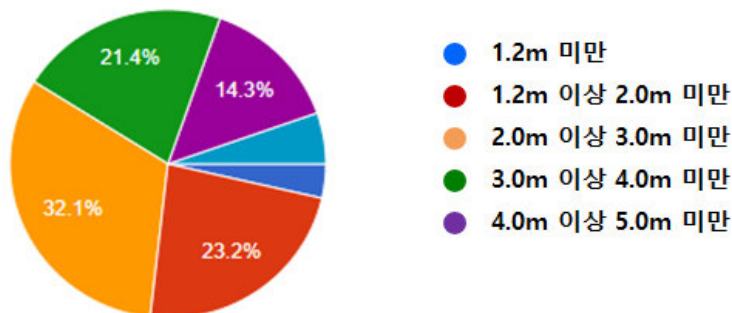
[그림 IV-2] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 항목별 우수성

반대로 이동식 사다리 대체품(작업발판)이 새롭게 개발된다고 하여도 사용할 의사가 없는 응답자들을 대상으로 개발 예정인 이동식 사다리 대체품(작업발판)이 기존 이동식 사다리보다 우수하지 않다고 생각되는 항목에 대해서는 1순위를 기준으로 작업 시 안전성 확보, 이동식 사다리의 구입 가격, 휴대와 이동 및 보관을 위한 경량화 순으로 조사되었다.



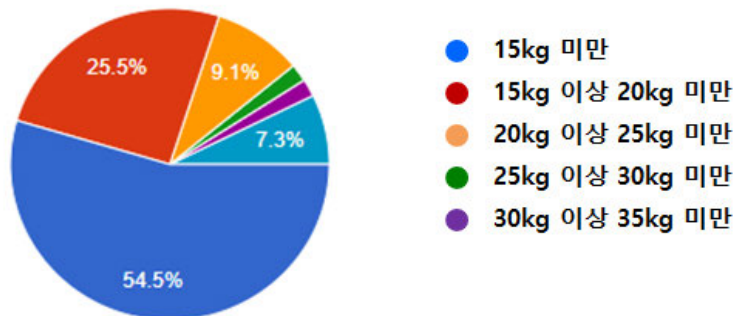
[그림 IV-3] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 항목별 비우수성

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 필요 높이에 대해서는 2.0m 이상 3.0m 미만인 32.1%로 가장 높았으며, 1.2m 이상 2.0m 미만인 23.2%, 3.0m 이상 4.0m 미만인 21.4%, 4.0m 이상 5.0m 미만인 14.3%, 1.2m 미만이 9%로 가장 작게 조사되었다. 따라서, 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 실제 작업이 수행되는 높이를 기준으로 하였을 때 3.0m 이하가 되는 작업발판의 높이를 기준으로 1.5m(약 5단)을 우선적으로 개발할 필요가 있는 것으로 나타났다.



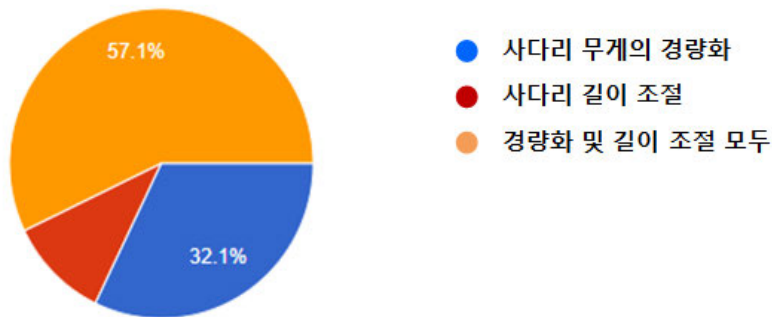
[그림 IV-4] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 높이

이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 5단 작업발판을 기준으로 작업자 1인이 운반 또는 이동을 할 수 있는 적정 중량에 대해서는 15kg 미만이 54.5%로 가장 높았으며, 15kg 이상 20kg 미만이 25.5%, 20kg 이상 25kg 미만이 9.1%, 25kg 이상 30kg 미만이 7.3%, 30kg 이상 35kg 미만이 7.3% 응답하였으나 가장 작게 조사되었다. 따라서, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 중량은 가벼울수록 운반 및 이동을 위한 휴대성이 확보되는 것으로 나타났으나, 안전성 확보를 위한 설계 및 인증기준에 따른 조건들을 고려하면 현실적으로 20kg 이하가 적정할 것으로 판단된다.



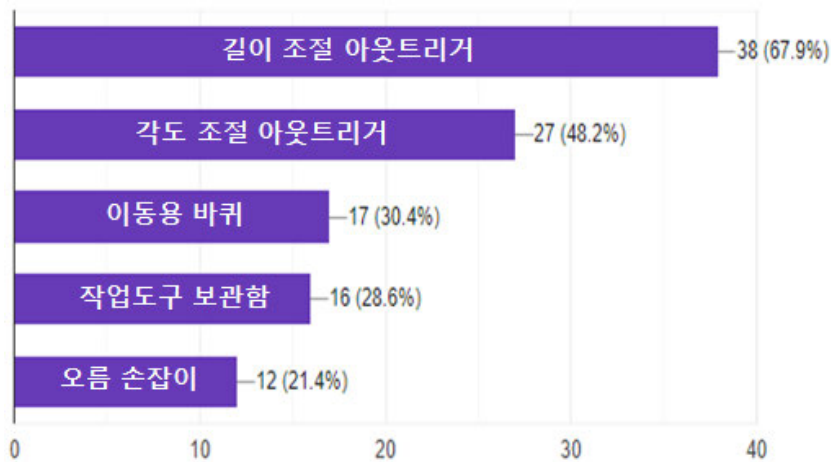
[그림 IV-5] 5단 기준 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 중량

휴대성과 작업 및 설치 편의성의 확보 측면에서 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 사다리의 경량화와 길이 조절 중 우선적으로 고려되어야 할 사항에 대해서는 사다리 무게의 경량화와 길이 조절을 모두 고려해야 한다는 응답이 57.1%로 가장 높았으며, 다음으로 사다리 중량의 경량화가 32.1%, 사다리 길이 조절이 10.8%로 가장 작게 조사되었다. 따라서, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 경량화를 우선적으로 고려할 필요가 있으며, 길이 조절에 대해서는 전문가 자문, 연구진 협의 및 추가적인 의견수렴을 통해 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다.



[그림 IV-6] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 우선 항목

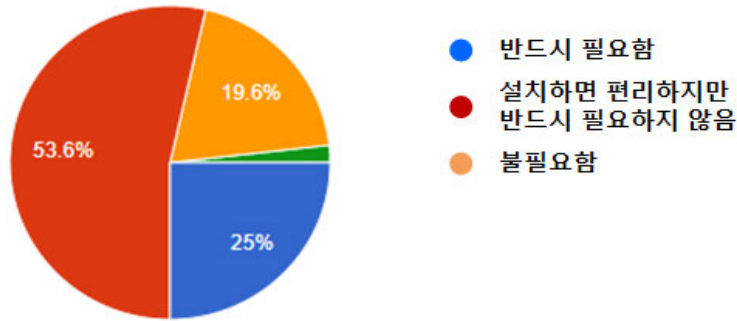
이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 적용을 희망하는 구성품에 대해서 길이 조절 아웃트리거가 67.9%로 가장 높았으며, 다음으로 각도 조절 아웃트리거 48.2%, 이동용 바퀴 30.4%, 작업도구 보관함 28.6%, 사다리 오를 때 사용할 손잡이는 21.4%로 가장 작게 조사되었다. 따라서, 이동식 사다리 작업 시 전도에 대한 안전을 확보할 수 있는 아웃트리거는 우선적으로 적용할 필요가 있다고 할 수 있다. 그러나, 업종 및 현장 특성에 따라 요구되는 항목인 이동용 바퀴와 작업도구 보관함(공구 트레이)에 대해서는 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 우선적으로 고려해야 하는 항목인 사다리 무게의 경량화에 직접적인 영향을 줄 수 있으므로 전문가 자문, 연구진 협의 및 추가적인 의견수렴을 통해 적용 여부(모두 적용, 일부 적용 또는 미적용)를 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다.



[그림 IV-7] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 적용을 희망하는 구성품

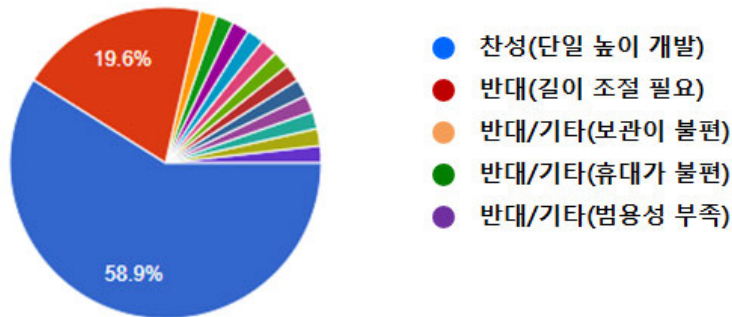
이와 함께 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 사다리를 오르고 내릴 때 사용할 손잡이 설치의 필요성에 대해서는 설치하면 편리하지만 반드시 필요하지 않다가 53.6%로 가장 높았으며, 다음으로 반드시 필요하다 25%, 반대로 불필요하다는 19.6%로 가장 작게 조사되었다.

따라서, 손잡이 설치의 필요성에 부정적인 의견이 약 70% 이상이지만 상부 작업을 위해 이동식 사다리의 승·하강 시에도 미끄러짐 등의 사고 위험성이 존재하므로, 손잡이 설치에 대해서는 전문가 자문, 연구진 협의 및 추가적인 의견수렴을 통해 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다.



[그림 IV-8] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 승·하강용 손잡이 설치 필요성

마지막으로 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 길이 조절 기능을 없애고 업종 및 현장별 특성에 적합한 단일 높이로 개발하는 것에 대해서는 찬성이 58.9%, 반대가 41.9%로 조사되었다. 따라서, 길이조절 기능에 대해서는 찬반이 비슷한 상황에서 앞선 개발 우선 항목에 대한 의견도 함께 고려할 필요가 있으므로, 길이 조절을 없앤 단일 높이 사다리 개발에 대해서는 전문가 자문, 연구진 협의 및 추가적인 의견수렴을 통해 결정할 필요가 있을 것으로 판단된다.



[그림 IV-9] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 길이조절 기능의 제외(단일높이 개발) 여부

2. 대체품(작업발판) 개발 방향

이동식 사다리 작업의 현장 실태조사 및 국내외 제품현황 조사를 통해 대체품(작업발판)의 개발 방향을 수립하였다. 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 방향은 연구 제안요청서(RFP)와 실태조사 결과에 따라 경량화를 위한 사용 재료의 조사 및 선정, 설치 편의성과 작업 효율성을 위한 높이(단수)의 결정 및 그에 따른 구조형식의 선정, 마지막으로 안전성 확보 및 인증기준에 부합할 수 있는 설계하중의 산정 순으로 개발 방향을 수립하였다.





1) 사용재료 검토

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 휴대와 이동 또는 보관의 편의를 제공할 수 있으며, 설치 및 해체과정의 효율성 및 편의성도 함께 줄 수 있는 중요한 요소가 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경량화라고 할 수 있다. 대체품(작업발판)의 경량화 방법에는 사다리를 구성하는 주재료를 비중(단위중량) 작은 재료로 변경하는 방법, 사다리 버팀대와 디딤대 및 작업발판 등 주요 부재의 제원(단면형상과 치수 및 두께 등)을 변경 또는 축소하는 방법 및 사다리를 구성하는 주요 부재의 구성 및 연결방식을 다르게 하여 구조형식을 변경하는 방법 등이 있다.

이들 방법 중 본 연구에서는 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경량화를 위해 기존 사다리 제품에 사용되고 있는 알루미늄 합금을 대체할 수 있는 재료를 우선적으로 검토하였다. 대상 재료들은 국내·외 이동식 사다리 현황 조사를 통해 사용되고 있거나 및 유사 제품(대체품)에 적용되고 있는 경량화 재료들인 알루미늄, 알루미늄 합금(두랄루민 포함), 티타늄 및 FRP 복합체를 선정하였다. 이들 재료들에 대한 검토 항목으로 경량화에 중요한 요소인 비중을 우선 대상으로 선정하였으며, 경량화와 함께 이동식 사다리에서 요구되는 안전성과 관련하여 재료의 인장강도도 중요한 검토 항목으로 선정하였다. 이와 함께 국내 생산 및 가공 현황과 구입 단가 등을 추가적으로 고려하였다. 이들

재료들에 대한 성능의 비교·분석과 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 적용 가능성을 확인하기 위하여 해당 재료들을 대상으로 한국산업표준인 KS 기준과 재조사 제공 자료들에 대한 문헌조사와 이들 재료를 이용하여 관련 제품을 생산 또는 가공하는 업체들을 직접 방문하여 담당자 면담을 통하여 조사를 수행하였다. 이와 함께 FRP 소재 분야를 연구하는 연구기관에 소속된 전문가에게 자문을 실시하였다.

〈표 IV-1〉 소재 관련 조사 현황

조사 대상	조사 방법	담당자 (전문가)	관련사진
(주)신성소재	공장 방문을 통한 담당자 면담 및 생산현황 조사	신윤종 이사 (생산 담당)	
(주)다인경금속	공장 방문을 통한 담당자 면담 및 생산현황 조사	임정규 부장 (생산 담당)	
(주)경신화이바	공장 방문을 통한 담당자 면담 및 생산현황 조사	김영길 대표 (대표이사)	
한국재료연구원	전문가 자문회의를 통한 연구자 면담 및 자문	이정완 연구원	

현행 이동식 사다리에 사용되고 있는 재료는 표준산업규격에 의거하여 강재는 SS235(KS D 3503), 알루미늄 합금제는 A6063-T5(KS D 6759)가 대부분이다. 이들 재료를 이용하여 생산되고 있는 작업발판(작업대)형 사다리의 경우 상부 플랫폼과 여러 안전기능을 탑재하고 있는 관계로 중량이 기존 이동식 사다리의 1.5~2.0배 정도로서 현장 작업자들이 사용을 기피하는 주요한 원인이라고 할 수 있다. 이를 대체하기 위한 경량화 대상 재료인 두랄루민의 경우, 강재 이상의 강도와 알루미늄 합금 수준의 경량성을 확보할 수 있으므로 박판 형태로 사용되는 자동차, 방산품 및 레저용품 등에 주로 적용되고 있는 실정이다. 그러나, 박판 형태로 사용되는 두랄루민을 이동식 사다리에 적용하기 위해서는 사다리 부재에 요구되는 두께를 확보하여야 하는데, 소요 두께가 기존 제품과 비교하여 두껍기 때문에 생산업체에서는 두께 증가에 따른 가공성이 취약해진다는 평가와 함께 이동식 사다리에 요구되는 소요 두께를 확보할 경우에는 자중의 증가에 따라 경량화가 어렵다고 할 수 있다.

다음으로, 섬유강화 플라스틱인 FRP 복합체는 강재나 두랄루민 이상의 강도와 경량성을 확보하고 있어 콘크리트 보강용 철근의 대체재, 자동차 및 항공기 소재에 주로 사용되고 있다. 그러나, FRP 복합체의 경우 길이방향으로 섬유를 적층하는 제조 특성에 따라 섬유 길이방향으로의 강도는 우수하나 직각방향의 강도가 낮은 이방성 재료의 성질을 갖고 있으며, FRP 생산업체에서 이동식 사다리 부재에 적합하도록 가공하는게 어렵다는 평가에 따라 적용이 어렵다고 할 수 있다.

이상과 같이 본 연구에서 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경량화를 위한 대상 재료들에 대한 검토 항목별 조사에 따른 성능 및 원가에 대한 비교·분석 결과를 <표 IV-2>에 정리하였고, 이로부터 연구진이 정성적으로 평가한 결과를 <표 IV-3>에 각각 정리하였다.

〈표 IV-2〉 이동식 사다리 대체품에 적용 가능한 재료의 성능 비교

재료		비중	인장 강도 (MPa)	가공두께 (mm)	도장 필요성	알루미늄 합금 대비 생산원가
알루미늄 합금 (열처리 기준)		2.70	290	1.5	불필요	1.0
두랄루민 (열처리 기준)		2.80	520	2.5~3.0	불필요	2.0~3.0배
티타늄		4.54	999	1.0 이하	불필요	
FRP 섬유	아라미드 (AFRP)	1.44	800	3.0 이상	필요	
	탄소 (CFRP)	1.70	2,200	3.0 이상	필요	3배
	유리 (GFRP)	2.50	1,200	3.0 이상	필요	10배

〈표 IV-2〉의 결과에 따르면, 경량화에 중요한 항목인 비중에서는 아라미드 및 탄소섬유 등 FRP 섬유들이 가장 우수하며, 다음으로 알루미늄 또는 합금은 보통이라고 할 수 있으며 티타늄이 가장 불리한 것으로 나타났다. 다음으로 사다리의 안전성 측면에서 중요한 항목인 재료의 강도에서도 탄소 및 유리 섬유 등 FRP 섬유들이 가장 우수하고, 다음으로 티타늄과 두랄루민이 우수하다고 할 수 있으며, 알루미늄 또는 합금은 상대적으로 강도가 낮아서 불리한 것으로 나타났다.

그러나, FRP 섬유는 가는 섬유를 일방향으로 적층하여 생산되는 특성에 의하여 섬유의 길이 방향에 대한 인장강도는 우수하지만, 직각 방향에 대한 인장강도는 취약하다는 단점이 있다. 또한 섬유의 적층에 사용되는 접착제인 에폭시가 대기중에서 경화되는 성질을 갖고 있으므로 야외에서 주로 사용하는 이동식 사다리에 적용하는 것은 적합하지 않다고 할 수 있다. 이와 함께 국내에서 FRP 섬유를 생산하는 업체의 대부분이 이동식 사다리 대체품(작업발판)

을 구성하는 부재에 적용이 가능한 두께인 약 1.2mm 정도의 패널을 제조하는데 적합한 설비를 보유하고 있지 않는 문제점도 존재한다. 또한, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구성 부재는 사각형 또는 원형과 같은 단순한 단면이 아닌 곡선 등 비정형 단면으로 구성되는데, FRP 섬유로 비정형 단면을 생산 또는 가공하기 위해서는 곡선부에서 두께를 증가시켜야 하므로 이에 따른 FRP 섬유 두께가 약 3~4mm까지 두꺼워지는 문제점도 있다.

FRP 섬유 외에 두랄루민과 티타늄이 알루미늄 또는 합금을 대체할 수 있는 재료가 될 수 있지만, 두랄루민은 제조 공정 상 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 구성하는 부재에 적용할 수 있는 적정 두께 확보의 어려움이 따르고, 티타늄은 강도는 높지만 비중이 기존 사다리에 사용되고 있는 알루미늄 또는 알루미늄 합금과 비교하였을 때 크게 증가하므로 경량화에는 적합하지 않다고 할 수 있다.

〈표 IV-3〉 이동식 사다리 대체품에 적용 가능한 재료의 정성적 평가

재료		대체품 적용 시 성능 비교					
		구조 안전성	전기 전도성	이동 및 휴대성	장기 내구성	생산 가공성	가격 및 경제성
알루미늄 합금 (열처리 기준)		보통	보통	보통	양호	양호	양호
두랄루민 (열처리 기준)		양호	보통	보통	우수	불량	불량
티타늄		우수	보통	불량	우수	보통	불량
FRP 섬유	아라미트 (AFRP)	보통	우수	우수	불량	불량	보통
	탄소 (CFRP)	보통	우수	우수	불량	불량	보통
	유리 (GFRP)	보통	우수	보통	불량	불량	보통

이상과 같이 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시 경량화를 포함한 소요 성능을 만족하기 위해 적용이 가능한 다양한 재료들의 성능을 종합적으로 비교하였을 때 비중과 인장강도는 상대적으로 부족하지만, 소요 두께의 확보 및 대량 공급 등의 생산조건과 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발에 따른 생산조건 등을 함께 고려하여 알루미늄 합금을 주재료로 선정하는 것이 적절하다고 판단된다. 단, 이동식 사다리를 주로 사용하는 업종인 건설업, 제조업 및 서비스업의 특성 상 현장 여건이 양호하지 않은 야외 작업이 많고, 이동이나 보관 및 설치 시 조심스럽게 다뤄지기 어려운 특성 때문에 부재의 손상이 많이 발생하는 현실적인 조건을 고려하여 표면 경도를 강화하기 위한 표면처리(아노다이징)를 추가적으로 실시하는 것으로 하였다.

2) 전도 안정성 검토

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발에 따른 경량화와 관련하여 이동식 사다리가 반드시 구비해야 하는 전도에 대한 안정성 검토를 함께 실시하였다. 이동식 사다리의 전도는 상부 작업발판에서 작업자에 의해 유발되는 수평력과 작업발판까지의 높이의 곱으로 정의되는 전도모멘트에 의해 발생하게 되며, 이를 저항하기 위한 모멘트는 작업자 및 사다리 중량과 바닥에 지지되는 발판까지의 곱으로 정의할 수 있다. 따라서 이동식 사다리가 전도에 대한 안정성을 확보하기 위해서는 적절한 중량을 확보하는것이 중요하다고 할 수 있다.

이상과 같은 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도에 대한 안정성을 정량적으로 검토하기 위해서는 관련 기준의 해당 규정을 적용하는 것이 타당하다고 할 수 있다. 그런데, 이동식 사다리와 관련한 국내 기준에서는 전도 안정성에 대한 실험 또는 검증 기준이 규정되어 있지 않다. 반대로 국외 기준에는 이동식 사다리의 전도 안정성에 대한 실험 및 검증 기준이 제시되어 있는데, 대표적으로 유럽연합의 사다리 기준인 EN 131-Part 7 Mobile Ladders with Platform과 미국의 사다리 기준인 ANSI-ASC A14.7 Mobile Ladder Stands and Mobile Ladder Stand Platforms가 있다. 이에 본 연구에서는

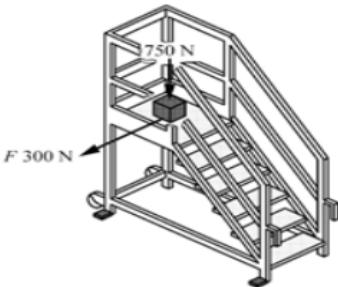
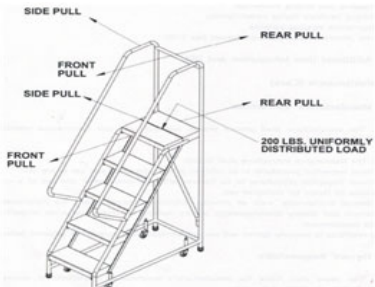
이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안정성 검증을 위하여 두가지 국외 기준의 해당 규정을 적용하였다.

가) 국외 기준의 전도 안정성 관련 규정

이동식 사다리에 대한 국외 기준인 EN 131-Part 7과 ANSI-ASC A14.7의 전도 안정성 평가 규정을 <표 IV-4>에 정리하였다. 기준에 따른 전도 안정성 평가 규정을 살펴보면, 적용 대상은 EN 131-Part 7에서 작업발판형 이동식 사다리(mobile ladder with platform)로, ANSI-ASC A14.7에서 이동식 자립 사다리(mobile ladder stands)와 작업발판형 이동식 자립 사다리(mobile ladder stand platforms)으로 각각 규정하고 있다. 작업발판의 크기에 대해서는 EN 131-Part 7에서 면적 0.5m^2 를 기준으로 구분하는데, 이 면적은 정사각형 작업발판을 기준으로 크기가 약 $0.7 \times 0.7\text{m}$ 라고 할 수 있다. 이와는 다르게 ANSI-ASC A14.7에서는 최상단 디딤대(top step)와 작업발판(platform)으로 각각 구분하고 있는데, 최상단 디딤대는 242mm 이상 813mm 이하, 면적 0.62m^2 이하로, 작업발판은 폭 458mm, 깊이 813mm 이상, 면적 0.62m^2 이상으로 규정하고 있다.

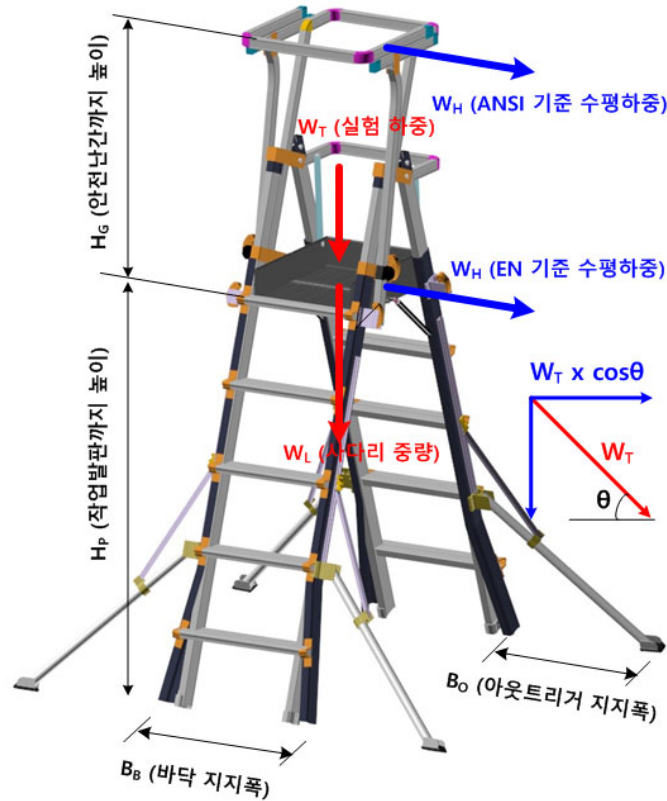
전도 안정성 평가를 위한 실험에 대해서는 작업발판(또는 최상단 디딤대)에서 작업도구를 포함하여 작업자가 유발하는 작업하중을 실험하중(test load)으로 간주하여 EN 131-Part 7에서는 750N, ANSI-ASC A14.7에서는 900N으로 서로 다르게 규정하고 있다. 실험하중의 작용 위치에 대해서 EN 131-Part 7에서는 작업발판 면적에 따라 0.5m^2 이하일 때는 작업발판의 중앙, 0.5m^2 을 초과하는 경우에는 작업발판에서 가장 위험한 위치에 작용하도록 규정하고 있다. 이와는 다르게 ANSI-ASC A14.7에서는 최상단 디딤대 또는 작업발판의 중앙에 작용하도록 규정하고 있다. 그리고, 전도를 유발시키는 수평력(전도하중) 및 작용방향에 대해서 EN 131-Part 7에서는 작업발판의 높이에 따라 2.5m 이하일 때는 300N, 2.5m를 초과할 때는 외부작업 또는 풍

〈표 IV-4〉 이동식 사다리 관련 국외기준의 전도 안정성 평가 규정

구분	European Standard EN 131 – Part 7 Mobile Ladders with Platform	American National Standard ANSI-ASC A14.7 Mobile Ladder Stand and Mobile Ladder Stand Platform
적용 대상	<ul style="list-style-type: none"> 작업발판형 이동식 사다리 (Mobile ladder with platform) 	<ul style="list-style-type: none"> 이동식 자립 사다리 (Mobile ladder stands) 작업발판형 이동식 자립 사다리 (Mobile ladder stand platforms)
디딤대 또는 작업발판 구분	<ul style="list-style-type: none"> platform 면적(A) $\leq 0.5m^2$ (정사각형 기준 $0.7m \times 0.7m$) platform 면적(A) $> 0.5m^2$ 	<ul style="list-style-type: none"> top step <ul style="list-style-type: none"> 242mm 이상 813mm 이하 면적 $0.62m^2$ 이하 platform <ul style="list-style-type: none"> 폭 458mm, 깊이 813mm 이하
난간 구분		<ul style="list-style-type: none"> mobile ladder stand <ul style="list-style-type: none"> handrail mobile ladder stand platform <ul style="list-style-type: none"> Guardrail and Midrail
실험하중 (작업하중)	<ul style="list-style-type: none"> 실험하중: 750N 하중 작용 위치 <ul style="list-style-type: none"> 작업발판 중앙(A $\leq 0.5m^2$) 가장 위험한 곳(A $> 0.5m^2$) 	<ul style="list-style-type: none"> 실험하중: 900N 하중 작용 위치 <ul style="list-style-type: none"> 작업발판(상단 디딤대) 중앙
수평력 (전도하중)	<ul style="list-style-type: none"> 수평력 <ul style="list-style-type: none"> 300N, 발판높이 $\leq 2.5m$ 450N, 발판높이 $> 2.5m$ (외부작업 및 풍하중 고려) 하중 작용 위치 <ul style="list-style-type: none"> 전도에 가장 위험한 방향으로 작업발판 면의 끝단에서 수평방향으로 작용 	<ul style="list-style-type: none"> 수평력 <ul style="list-style-type: none"> 100N, 측면 및 후면 110N, 정면 (외부작업 및 풍하중 고려) 하중 작용 위치 <ul style="list-style-type: none"> 난간의 최상단 또는 작업발판 면과 수평방향으로 작용
실험 방법		

하중의 영향을 고려하여 450N으로 하여 전도에 가장 위험한 방향으로 작업 발판과 평행하게 작용하도록 규정하고 있다. 이와는 다르게 ANSI-ASC A14.7에서는 전도가 발생할 수 있는 방향에 따라 측면 및 후면에서는 100N, 전면에서는 110N을 작업발판 면 또는 안전난간의 최상부에서 수평방향으로 작용하도록 규정하고 있다.

이상과 같이 정리한 EN 131-Part 7과 ANSI-ASC A14.7의 기준에 의한 전도 안정성 평가 규정에 따라 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안정성에 대한 정량적인 검토를 실시하였다. 본 연구에서는 [그림 IV-10]에 보인 것과 같은 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델을 기준으로 전도방지 장치인 아웃트리거의 유·무에 따른 전도 모멘트(Overturning Moment, M_o)와 저항 모멘트(Resistance Moment, M_r)를 계산할 수 있는 수식을 유도하고, 이 식을 이용하여 작업발판의 높이 및 크기에 따라 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있는 소요 중량을 검토하였다. 이와 함께 작업자가 작업발판에서 경사 작업을 하거나 난간에 지지함으로서 수평력을 유발시키는 조건을 추가로 고려하였다.



[그림 IV-10] 5단 작업발판형 이동식 사다리 제원과 작용 하중

나) EN 131 Part 7에 의한 소요 중량

- 아웃트리거가 없는 경우

아웃트리거가 없는 이동식 사다리에서 전도 모멘트는 [그림 IV-10]에 도해한 것과 같이 작업발판에서 이동식 사다리 부재 축의 직각 방향(수평방향)으로 작용하는 수평하중 W_H 와 작업발판에서 바닥 지지면까지의 높이 H_P 의 곱으로 정의할 수 있다. 또한, 수평하중 W_H 는 작업자가 작업발판(바닥 지지면)에서 직립(수직)으로 작업을 하지 않고 경사방향으로 작업을 하거나 난간에 기대었을 때 발생하는 것으로 간주할 수 있으므로, 이 크기는 실험하중 W_T 로 규정되는 작업자(작업도구 포함) 중량과 작업발판과의 경사각 θ 에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_H = W_T \times \cos \theta \quad (4.1)$$

이상과 같은 조건 및 작업자가 유발하는 수평하중 식 (4.1)을 이용하여 전도 모멘트(Overturning Moment) M_o 는 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$M_o = W_H \times H_P = (W_T \times \cos \theta) \times H_P \quad (4.2)$$

여기서, W_T 는 도구를 포함한 작업자에 의한 하중으로서, EN 131 - Part 7에서는 작업발판의 중앙에서 750N으로 작용하는 것으로 규정하고 있으며, W_H 는 사다리의 전도를 유발시키는 수평하중으로서, EN 131-Part 7에서는 작업발판의 면과 평행하게 300N으로 작용하는 것으로 규정하고 있다. 이와 함께, 작업자가 경사 또는 난간에 지지하여 작업함으로써 발생하는 식 (4.1)과 같은 수평력으로도 간주할 수 있다.

다음으로 이동식 사다리의 중량 W_L 및 실험하중(도구 포함 작업자 중량) W_T 에 의한 저항모멘트(Resistance Moment) M_r 은 실험하중이 수직으로 작용하는 위치에서 이동식 사다리가 전도되는 회전 중심인 바닥 지지점까지 수평거리와의 곱으로 정의할 수 있다. 여기서, 수평거리는 이동식 사다리의 중심에서 바닥 지지점까지 거리로서, 일반적인 사다리 조건에서는 바닥 지지폭 B_B 의 1/2로 정의할 수 있다.

따라서, 저항 모멘트를 유발시키는 수직하중은 실험하중(도구 포함 작업자 중량) W_T 와 이동식 사다리의 중량 W_L 이므로 이들 값과 바닥 지지점까지의 수평거리를 각각 곱하여 저항 모멘트 M_r 을 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$M_r = (W_T + W_L) \times \frac{B_B}{2} \quad (4.3)$$

이상과 같이 정의된 전도 모멘트 M_o 와 저항 모멘트 M_r 에 의한 이동식 사다리의 안정 조건은 저항 모멘트가 전도 모멘트보다 더 크게 발생하면 되므로, 이 관계를 정리하면 다음과 같다.

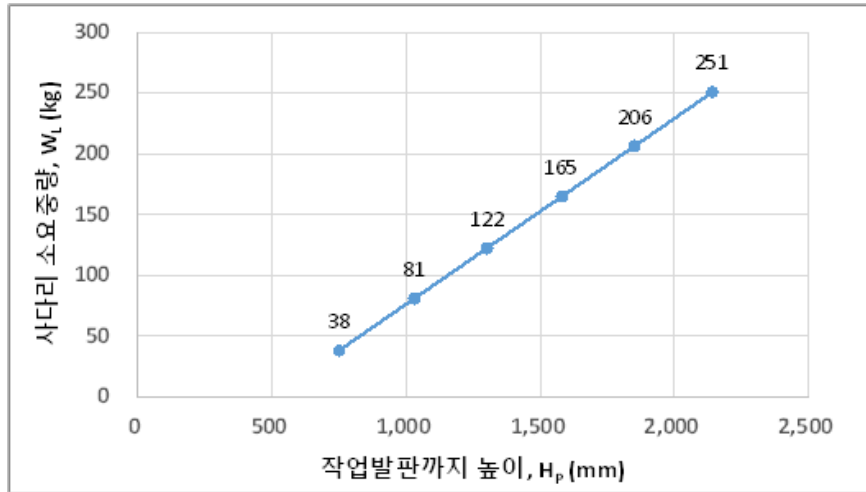
$$(W_T + W_L) \times \frac{B_B}{2} > W_H \times H_P \quad (4.4)$$

위 식 (4.4)를 이동식 사다리의 중량인 W_L 에 대해서 정리하면, 전도에 대한 안전성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 소요 중량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$W_L > \frac{2 \times W_H \times H_P}{B_B} - W_T \quad (4.5)$$

식 (4.5)로부터 아웃트리거가 설치되지 않은 조건에서 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 소요 중량을 확인하기 위하여, 작업발판의 높이를 변수로 하여 계산한 결과를 [그림 IV-11]에 정리하였다. 작업발판의 높이를 변수로 선정한 이유는 현장 적용성을 확보하기 위하여 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 고려할 수 있도록 하기 위함이다.

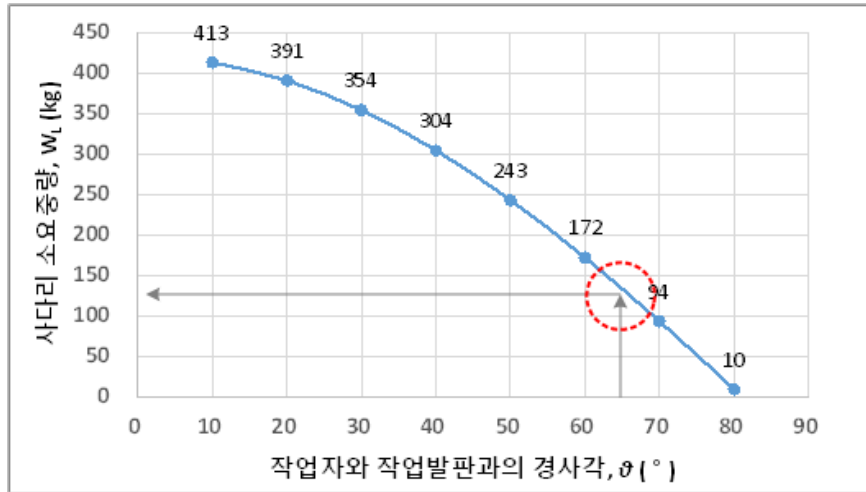
이 그림을 살펴보면, 아웃트리거가 설치되지 않은 이동식 사다리의 경우 작업발판 높이에 따라 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있는 소요 중량은 단일 높이형으로 개발되는 5단(작업발판까지 높이 $H_P = 1,300\text{mm}$)에서 약 122kg, 높이조절형으로 개발되는 8단(작업발판까지 높이 $H_P = 2,230\text{mm}$)에서 약 251kg으로 산정되었다. 이 결과는 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 요구되는 휴대성 및 이동 편의성 확보 측면에서 적합하지 않는다고 할 수 있으며, 전도방지장치인 아웃트리거의 설치가 필요함을 의미한다고 할 수 있다.



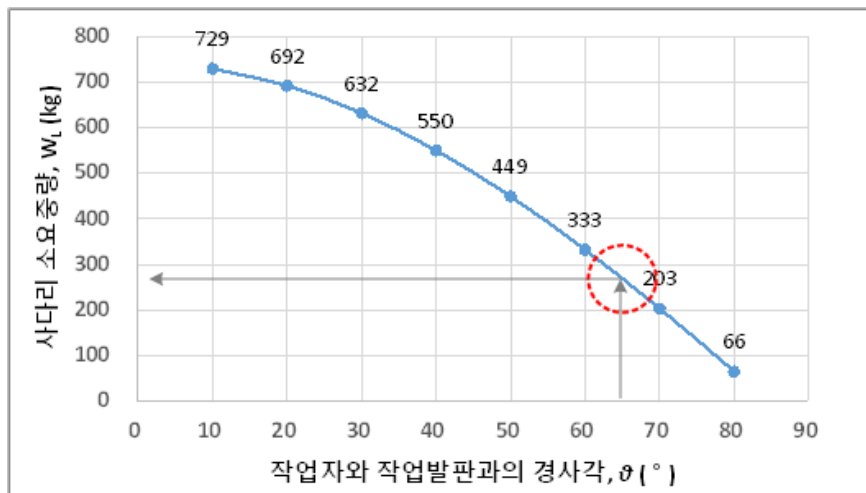
[그림 IV-11] 전도 안정을 위한 작업발판 높이별 사다리 소요 중량
(아웃트리거가 미설치된 경우)

아웃트리거를 설치하지 않은 이동식 사다리에서 식 (4.1)로 정의되는 작업자가 유발하는 수평분력에 의한 전도를 방지하기 위해 필요한 이동식 사다리의 중량도 식 (4.6)을 이용하여 개략적으로 확인할 수 있다. 단일높이형 및 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 제원을 그대로 적용하고, 실험하중에 해당하는 성인 남성 기준 작업자 중량을 75kg(750N)으로 간주하여 작업자가 수평분력 W_H 을 유발하는 경사각을 10 ~ 80°까지 적용하였다. 이 값을 5단 단일높이형과 8단까지 조절되는 높이조절형으로 구분하여 식 (4.6)에 적용하고 계산한 결과를 [그림 IV-12]와 [그림 IV-13]에 각각 정리하였다.

작업발판 높이가 5단(1,300mm)로 고정된 단일높이형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 413kg, 경사각이 큰 70°일 때 약 94kg으로 산정되었다. 그리고, EN131-Part7에서 규정하는 수평하중 300N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 66°이며, 이 각도에 의한 사다리 소요 중량은 약 110kg이다. 따라서, 아웃트리거를 설치하지 않은 단일높이형 이동식 사다리의 전도를



[그림 IV-12] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)

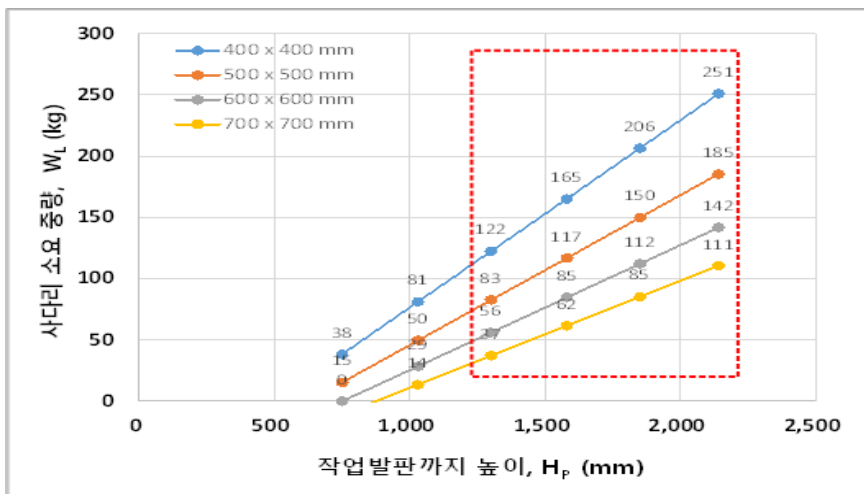


[그림 IV-13] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)

방지하기 위한 소요 중량은 최소 110kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.

작업발판 높이가 8단(최대 2,200mm)까지 확장되는 높이조절형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 729kg, 경사각이 큰 70° 일 때 약 203kg으로 산정되었다. 그리고, EN131-Part7에서 규정하는 수평하중 300N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 66° 이며, 이 각도에 의한 사다리 소요 중량은 약 220kg이다. 따라서, 아웃트리거를 설치하지 않은 높이조절형 이동식 사다리의 전도를 방지하기 위한 소요 중량은 최소 220kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.

이와 함께 정사각형으로 가정한 작업발판의 크기 변화에 대한 영향을 확인하기 위하여 작업발판 높이에 따른 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 소요 중량을 계산하여 [그림 IV-14]에 정리하였다. 이 그림에 따르면 작업발판의 크기에 비례하여 바닥 지지폭 B_B 도 증가하며, 이에 따라 저항 모멘트 M_r 도 증가하므로 소요 중량은 감소하는 것으로 나타났다.



[그림 IV-14] 전도 안정을 위한 작업발판까지 높이에 따른 작업발판 크기별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)

이상과 같은 결과를 종합하면 아웃트리거를 설치하지 않은 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경우, 휴대성 등의 확보를 위하여 경량화를 할수록 소요 중량보다 가벼워져서 전도의 위험성이 더욱 높아질 수 있으므로 경량화를 하는 것은 어렵다고 할 수 있다.

- 아웃트리거가 설치된 경우

아웃트리거가 설치된 이동식 사다리의 전도 모멘트 M_O 는 아웃트리거가 없는 경우와 마찬가지로 작업발판에서 이동식 사다리 부재 축의 직각 방향(수평 방향)으로 수평하중 W_H 와 작업발판에서 바닥지지면까지의 높이 H_P 의 곱으로 정의된다. 또한, 수평하중 W_H 는 작업자가 작업발판(바닥지지면)에서 직립(수직)으로 작업을 하지 않고 경사방향으로 작업을 하거나 난간에 기대었을 때 발생하는 것으로 간주할 수 있으므로, 이 크기는 실험하중 W_T 로 지정되는 작업자(작업도구 포함) 중량과 작업발판과의 경사각 θ 에 의해 정의되는 식 (4.1)과 같다. 따라서, 아웃트리거가 설치된 경우의 전도 모멘트(Overturning Moment) M_O 또한 식 (4.2)와 동일하다.

다음으로 이동식 사다리의 중량 W_L 및 실험하중(도구 포함 작업자 중량) W_T 에 의한 저항 모멘트(Resistance Moment) M_r 은 실험하중이 수직으로 작용하는 위치에서 이동식 사다리가 전도되는 회전 중심인 아웃트리거가 설치된 바닥 지지점까지 수평거리와의 곱으로 정의할 수 있다. 여기서, 수평거리는 이동식 사다리의 중심에서 아웃트리거가 설치된 바닥 지지점까지 거리로서, 일반적인 사다리 조건에서는 바닥 지지폭 B_B 의 1/2과 아웃트리거 지지폭 B_O 의 합으로 정의할 수 있다.

따라서, 저항 모멘트를 유발시키는 수직하중은 실험하중(도구 포함 작업자 중량) W_T 와 이동식 사다리의 중량 W_L 이므로 이들 값과 아웃트리거가 설치된 바닥 지지점까지의 수평거리를 각각 곱하여 저항 모멘트를 다음 식과 같이 정의할 수 있게 된다.

$$M_r = (W_T + W_L) \times \left(\frac{B_B}{2} + B_O \right) \quad (4.6)$$

이상과 같이 아웃트리거가 설치된 조건에서 전도 모멘트 M_O 와 저항 모멘트 M_r 에 의한 이동식 사다리의 안정 조건은 다음과 같이 저항 모멘트가 전도 모멘트보다 더 크게 발생하면 된다.

$$(W_T + W_L) \times \left(\frac{B_B}{2} + B_O \right) > W_H \times H_P \quad (4.7)$$

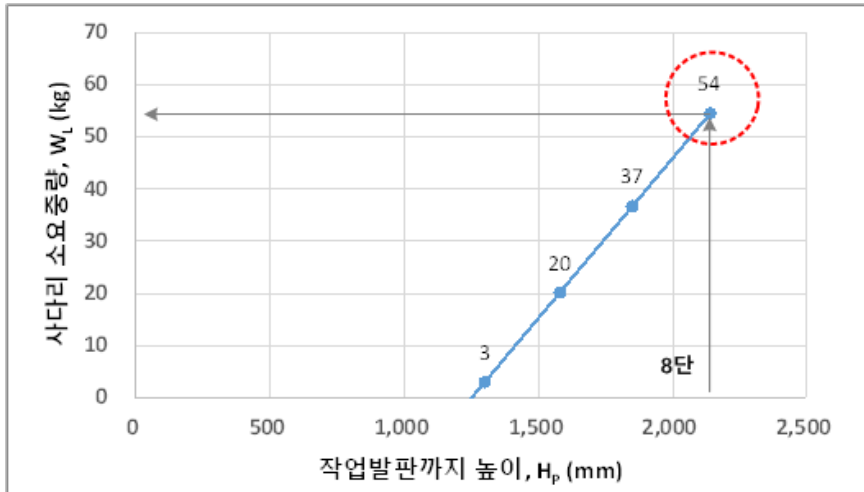
위 식 (4.7)을 이동식 사다리의 중량인 W_L 에 대해서 정리하면, 전도에 대한 안전성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 중량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$W_L > \frac{2 \times W_H \times H_P}{B_B + 2B_O} - W_T \quad (4.8)$$

식 (4.8)로부터 아웃트리거가 설치된 조건에서 전도에 대한 안전성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 소요 중량을 확인하기 위하여, 작업발판의 높이를 변수로 하여 계산한 결과를 [그림 IV-15]에 정리하였다. 작업발판의 높이를 변수로 선정한 이유는 현장 적용성을 확보하기 위하여 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 고려할 수 있도록 하기 위함이다.

이 그림을 살펴보면, 단일높이형으로 개발되는 5단(작업발판까지 높이 $H_P = 1,300\text{mm}$) 이동식 사다리에서는 아웃트리거를 설치함으로써 중량에 상관없이 전도에 대한 안전성을 확보하는 것으로 나타났다. 이와는 다르게 높이조절형으로 개발되는 8단(작업발판까지 높이 $H_P = 2,230\text{mm}$)에서는 이동식 사다리의 소요 중량이 약 54kg 으로 산정되었다. 이 결과는 아웃트리거가 설치된 이동식 사다리 대체품(작업발판)에서는 작업발판의 높이가 낮을 경우에는

중량에 상관없이 전도에 대한 안정성을 확보하고 있으므로 적극적인 경량화가 가능하며, 높이가 증가할수록 요구되는 휴대성 및 이동 편의성 확보를 위한 경량화 대책의 수립이 필요하다는 것을 의미한다.



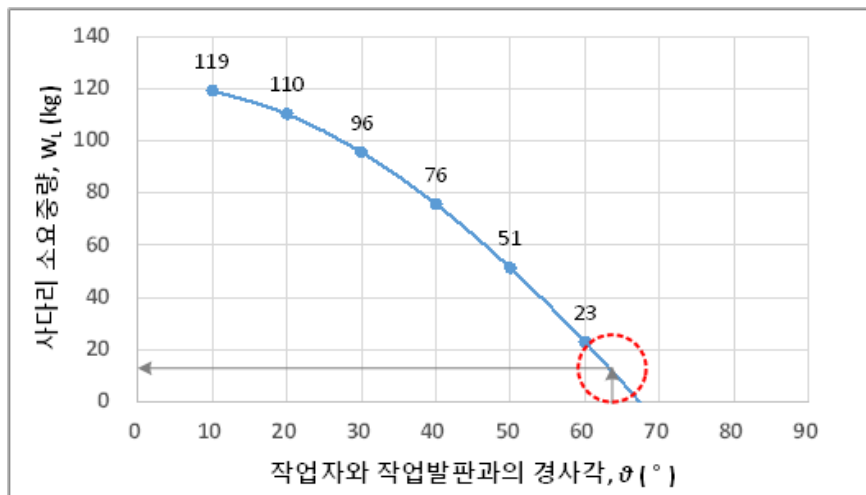
[그림 IV-15] 전도 안정을 위한 작업발판 높이별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)

아웃트리거가 설치된 이동식 사다리에서 식 (4.1)로 정의되는 작업자가 유발하는 수평분력에 의한 전도를 방지하기 위해 필요한 이동식 사다리의 중량도 식 (4.8)을 이용하여 개략적으로 확인할 수 있다. 단일높이형 및 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 제원을 그대로 적용하고, 실험하중에 해당하는 성인 남성 기준 작업자 중량을 75kg(750N)으로 간주하여 작업자가 수평분력 W_H 을 유발하는 경사각을 $10^\circ \sim 80^\circ$ 까지 적용하였다. 이 값을 5단 단일높이형과 8단까지 조절되는 높이조절형으로 구분하여 식 (4.8)에 적용하고 계산한 결과를 [그림 IV-16]과 [그림 IV-17]에 각각 정리하였다.

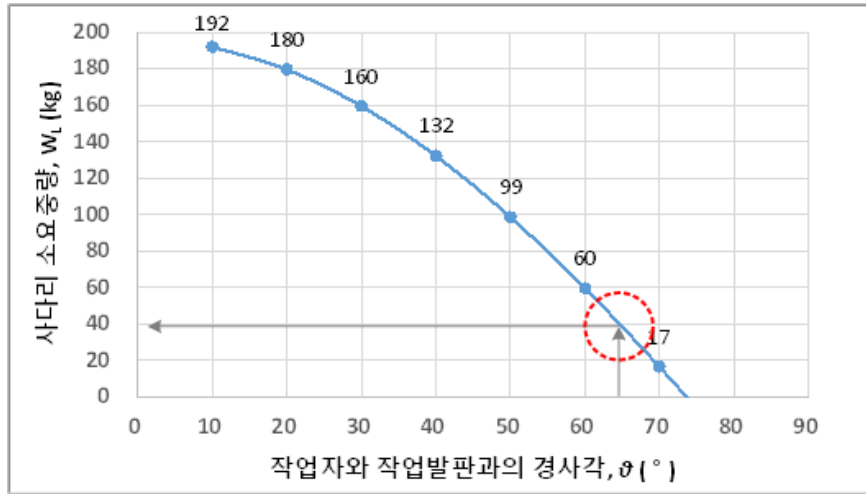
작업발판 높이가 5단(1,300mm)로 고정된 단일높이형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 110kg으로 산정되고, 경사각이 큰 70° 일 때는 중량에

상관없이 전도에 대한 안정성을 확보하는 것으로 나타났다. 그리고, EN131-Part7에서 규정하는 수평하중 300N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 66° 이며, 이 각도에 의한 사다리 소요 중량은 약 18kg이다. 따라서, 아웃트리거가 설치된 단일높이형 이동식 사다리의 전도를 방지하기 위한 소요 중량은 최소 18kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.

작업발판 높이가 8단(최대 2,200mm)까지 확장되는 높이조절형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 192kg, 경사각이 큰 70° 일 때 약 17kg으로 산정되었다. 그리고, EN131-Part7에서 규정하는 수평하중 300N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 66° 이며, 이 각도에 의한 사다리 소요 중량은 약 40kg이다. 따라서, 아웃트리거가 설치된 높이조절형 이동식 사다리의 전도를 방지하기 위한 소요 중량은 최소 40kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.



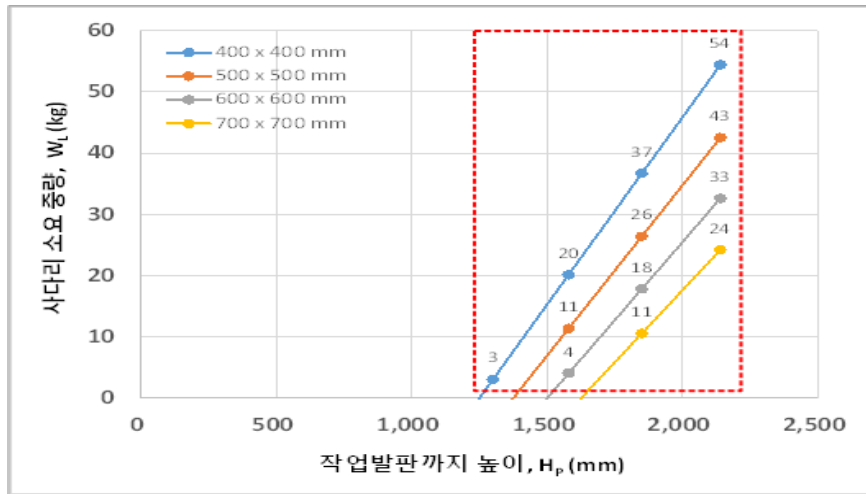
[그림 IV-16] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)



[그림 IV-17] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)

이와 함께 정사각형으로 가정한 작업발판의 크기 변화에 대한 영향을 확인하기 위하여 작업발판 높이에 따른 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 소요 중량을 계산하여 [그림 IV-18]에 정리하였다. 이 그림에 따르면 작업발판의 크기에 비례하여 바닥 지지폭 B_B 도 증가하며, 이에 따라 저항 모멘트 M_r 도 증가하므로 소요 중량은 감소하는 것으로 나타났다.

이상과 같은 결과를 종합하면 아웃트리거가 설치된 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경우, 휴대성 등의 확보를 위한 경량화가 가능하지만, 높이조절형에 있어서는 작업발판의 높이 증가에 따른 대책이 필요하고 할 수 있다.



[그림 IV-18] 전도 안정을 위한 작업발판까지 높이에 따른 작업발판 크기별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)

다) ANSI ASC A14.7에 의한 소요 중량

- 아웃트리거가 없는 경우

아웃트리거가 설치되지 않은 이동식 사다리의 전도 모멘트 M_o 는 안전난간의 최상단에서 이동식 사다리 부재 축의 직각 방향(수평방향)으로 작용하는 수평하중 W_H 와 안전난간의 최상단에서 바닥지지면까지의 높이 ($H_P + H_G$)의 곱으로 정의된다. 또한, 수평하중 W_H 는 작업자가 작업발판(바닥지지면)에서 직립(수직)으로 작업을 하지 않고 경사방향으로 작업을 하거나 난간에 기대었을 때 발생하는 것으로 간주할 수 있으므로, 이 크기는 실험하중 W_T 로 지정되는 작업자(작업도구 포함) 중량과 작업발판과의 경사각 θ 에 의해 정의되는 식 (4.1)과 같다. 따라서, 아웃트리거가 설치된 경우의 전도 모멘트 (Overturning Moment) M_o 또한 식 (4.2)와 동일하다.

이상과 같은 관계 및 식으로부터 전도 모멘트(Overturning Moment) M_o 는 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$M_o = W_H \times (H_P + H_G) = (W_T \times \cos\theta) \times (H_P + H_G) \quad (4.9)$$

여기서, W_T 는 도구를 포함한 작업자에 의한 하중으로서, ANSI-ASC A14.7에서는 작업발판의 중앙에서 900N으로 작용하는 것으로 규정하고 있으며, W_H 는 작업자가 경사 또는 난간에 지지하여 작업함으로써 발생하는 수평하중으로서, ANSI-ASC A14.7에서는 안전난간과 평행한 방향으로 측면 및 후면에는 100N, 전면에는 110N이 작용하는 것으로 규정하고 있다.

다음으로 이동식 사다리의 중량 W_L 및 실험하중(도구 포함 작업자 중량) W_T 에 의한 저항 모멘트(Resistance Moment) M_r 은 앞 절의 EN 131-Part 7에서 정의한 식 (4.3)과 동일한 조건이다.

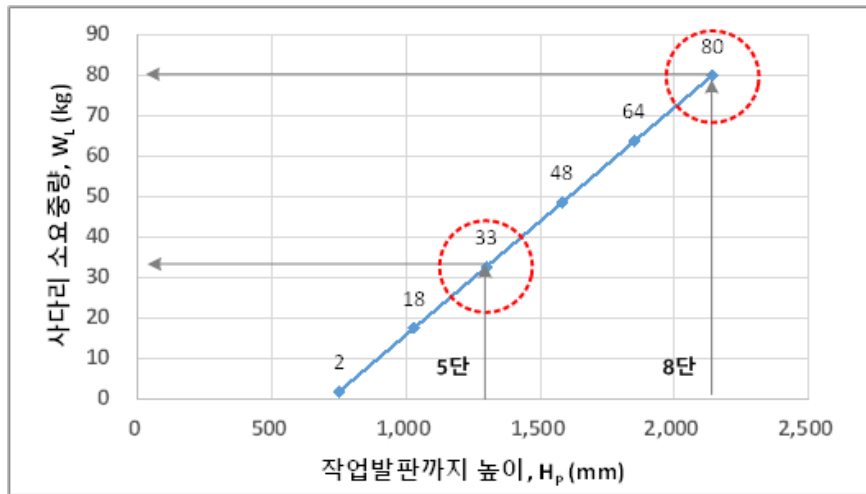
따라서, 이상과 같이 정의된 전도 모멘트 M_o 와 저항 모멘트 M_r 에 의한 이동식 사다리의 안정 조건은 다음과 같이 저항 모멘트가 전도 모멘트보다 더 크게 발생하면 된다.

$$(W_T + W_L) \times \frac{B_B}{2} > W_H \times (H_P + H_G) \quad (4.10)$$

위 식 (4.10)을 이동식 사다리의 중량인 W_L 에 대해서 정리하면, 전도에 대한 안전성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 중량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$W_L > \frac{2 \times W_H \times (H_P + H_G)}{B_B} - W_T \quad (4.11)$$

식 (4.11)로부터 아웃트리거가 설치되지 않은 조건에서 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 소요 중량을 확인하기 위하여, 작업발판의 높이를 변수로 하여 계산한 결과를 [그림 IV-19]에 정리하였다. 작업발판의 높이를 변수로 선정한 이유는 현장 적용성을 확보하기 위하여 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 고려할 수 있도록 하기 위함이다.



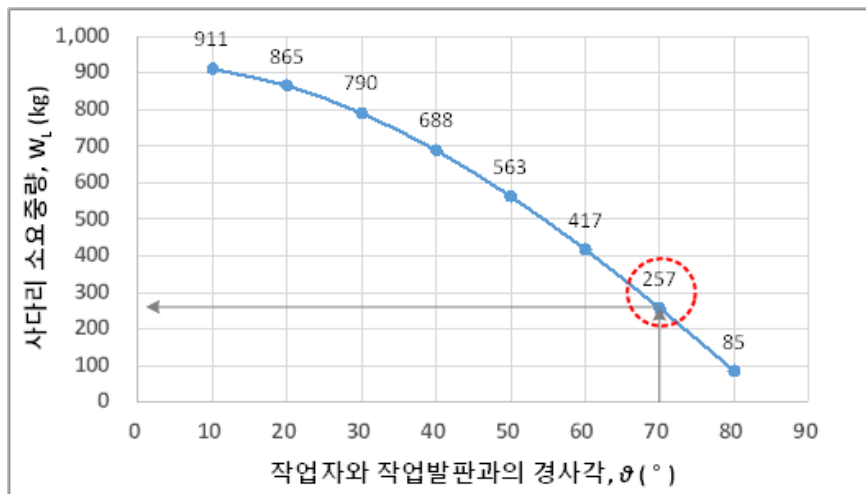
[그림 IV-19] 전도 안정을 위한 작업발판 높이별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)

이 그림을 살펴보면, 아웃트리거가 설치되지 않은 이동식 사다리의 경우 작업발판 높이에 따라 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있는 소요 중량은 단일 높이형으로 개발되는 5단(작업발판까지 높이 $H_P = 1,300\text{mm}$)에서 약 33kg, 높이조절형으로 개발되는 8단(작업발판까지 높이 $H_P = 2,230\text{mm}$)에서 약 80kg으로 산정되었다. 이 결과는 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 요구되는 휴대성 및 이동 편의성 확보 측면에서 적합하지 않다고 할 수 있으며, 전도방지장치인 아웃트리거의 설치가 필요함을 의미한다고 할 수 있다.

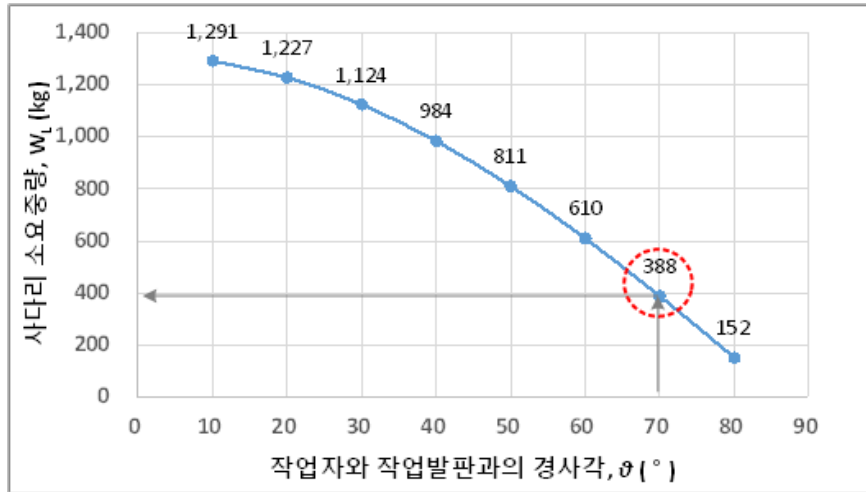
아웃트리거를 설치하지 않은 이동식 사다리에서 식 (4.1)로 정의되는 작업자가 유발하는 수평분력에 의한 전도를 방지하기 위해 필요한 이동식 사다리의 중량도 식 (4.10)을 이용하여 개략적으로 확인할 수 있다. 단일높이형 및 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 제원을 그대로 적용하고, 실험 하중에 해당하는 성인 남성 기준 작업자 중량을 90kg(900N)으로 간주하여 작업자가 수평분력 W_H 을 유발하는 경사각을 $10 \sim 80^\circ$ 까지 적용하였다. 이 값을 5단 단일높이형과 8단까지 조절되는 높이조절형으로 구분하여 식 (4.10)에 적용하고 계산한 결과를 [그림 IV-20]과 [그림 IV-21]에 각각 정리하였다.

작업발판 높이가 5단(1,300mm)로 고정된 단일높이형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 911kg, 경사각이 큰 70° 일 때 약 257kg으로 산정되었다. 그리고, ANSI-ASC A14.7에서 규정하는 최대 수평하중 110N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 82° 이며, 이 각도에 의한 사다리 소요 중량은 약 80kg이다. 따라서, 아웃트리거를 설치하지 않은 단일높이형 이동식 사다리의 전도를 방지하기 위한 소요 중량은 최소 80kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.

작업발판 높이가 8단(최대 2,200mm)까지 확장되는 높이조절형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 1,291kg, 경사각이 큰 70° 일 때 약 388kg으로 산정되었다. 그리고, ANSI-ASC A14.7에서 규정하는 최대 수평하중 110N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 82° 이며,, 이 각도에 의한 사다리 소요 중량은 약 152kg이다. 따라서, 아웃트리거를 설치하지 않은 높이조절형 이동식 사다리의 전도를 방지하기 위한 소요 중량은 최소 152kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.

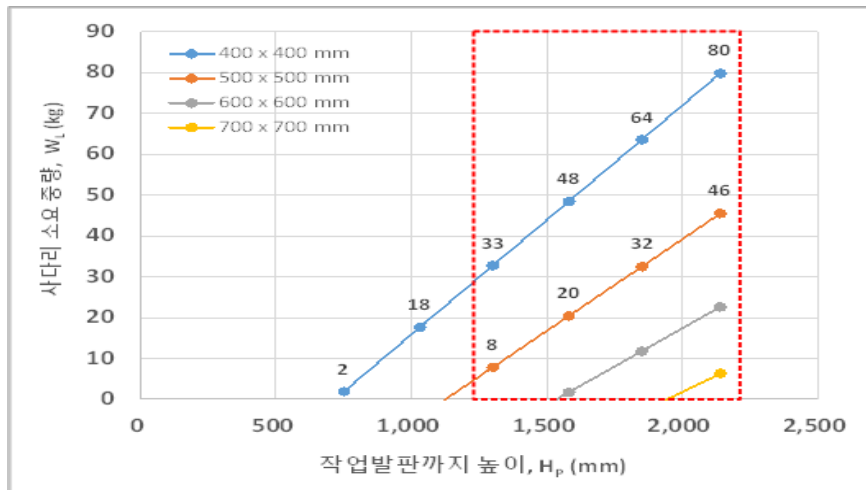


[그림 IV-20] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)



[그림 IV-21] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)

이와 함께 정사각형으로 가정한 작업발판의 크기 변화에 대한 영향을 확인하기 위하여 작업발판 높이에 따른 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 소요 중량을 계산하여 [그림 IV-22]에 정리하였다. 이 그림에 따르면 작업발판의 크기에 비례하여 바닥 지지폭 B_B 도 증가하며, 이에 따라 저항 모멘트 M_r 도 증가하므로 소요 중량은 감소하는 것으로 나타났다.



[그림 IV-22] 전도 안정을 위한 작업발판까지 높이에 따른 작업발판 크기별 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 미설치된 경우)

이상과 같은 결과를 종합하면 아웃트리거를 설치하지 않은 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경우, 휴대성 등의 확보를 위하여 경량화를 할수록 소요 중량보다 가벼워져서 전도의 위험성이 더욱 높아질 수 있으므로 경량화를 하는 것은 어렵다고 할 수 있다.

- 아웃트리거가 설치된 경우

아웃트리거가 설치된 이동식 사다리의 전도 모멘트 M_O 는 아웃트리거가 없는 경우와 마찬가지로 작업발판에서 이동식 사다리 부재 축의 직각 방향(수평방향)으로 수평하중 W_H 와 작업발판에서 바닥지지면까지의 높이 H_P 의 곱으로 정의된다. 또한, 수평하중 W_H 는 작업자가 작업발판(바닥지지면)에서 직립(수직)으로 작업을 하지 않고 경사방향으로 작업을 하거나 난간에 기대었을 때 발생하는 것으로 간주할 수 있으므로, 이 크기는 실험하중 W_T 로 지정되는 작업자(작업도구 포함) 중량과 작업발판과의 경사각 θ 에 의해 정의되는 식 (4.1)과 같다. 따라서, 아웃트리거가 설치된 경우의 전도 모멘트(Over turning Moment) M_O 또한 식 (4.9)와 동일하다.

다음으로 이동식 사다리의 중량 W_L 및 실험하중(도구 포함 작업자 중량) W_T 에 의한 저항 모멘트(Resistance Moment) M_r 은 앞 절의 EN 131-Part 7에서 정의한 아웃트리거가 설치된 조건에서의 식 (4.6)과 동일하다.

이상과 같이 정의된 전도 모멘트 M_O 와 저항 모멘트 M_r 에 의한 이동식 사다리의 안정 조건은 다음과 같이 저항모멘트가 전도모멘트보다 더 크게 발생하면 된다.

$$(W_T + W_L) \times \left(\frac{B_B}{2} + B_O \right) > W_H \times (H_P + H_G) \quad (4.12)$$

위 식 (4.12)를 이동식 사다리의 중량인 W_L 에 대해서 정리하면, 전도에 대한 안전성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 중량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$W_L > \frac{2 \times W_H \times (H_P + H_G)}{B_B + 2B_O} - W_T \quad (4.13)$$

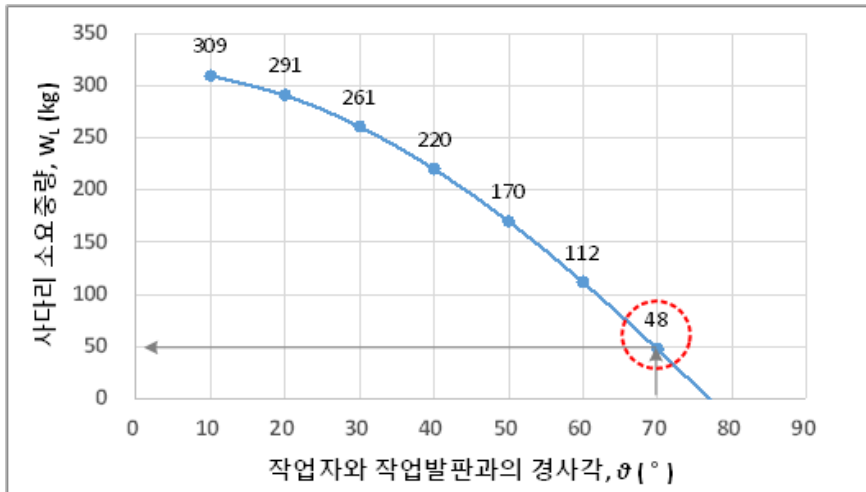
식 (4.13)으로부터 아웃트리거가 설치된 조건에서 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있는 이동식 사다리의 소요 중량을 계산하면, 작업발판의 높이에 상관없이 전도에 대한 안정성을 확보하는 것으로 계산된다.

아웃트리거가 설치된 이동식 사다리에서 식 (4.1)로 정의되는 작업자가 유발하는 수평분력에 의한 전도를 방지하기 위해 필요한 이동식 사다리의 중량도 식 (4.13)을 이용하여 개략적으로 확인할 수 있다. 단일높이형 및 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 제원을 그대로 적용하고, 실험하중에 해당하는 성인 남성 기준 작업자 중량을 90kg(900N)으로 간주하여 작업자가 수평분력 W_H 을 유발하는 경사각을 $10^\circ \sim 80^\circ$ 까지 적용하였다. 이 값을 5단 단일높이형과 8단까지 조절되는 높이조절형으로 구분하여 식 (4.13)에 적용하고 계산한 결과를 [그림 IV-23]과 [그림 IV-24]에 각각 정리하였다.

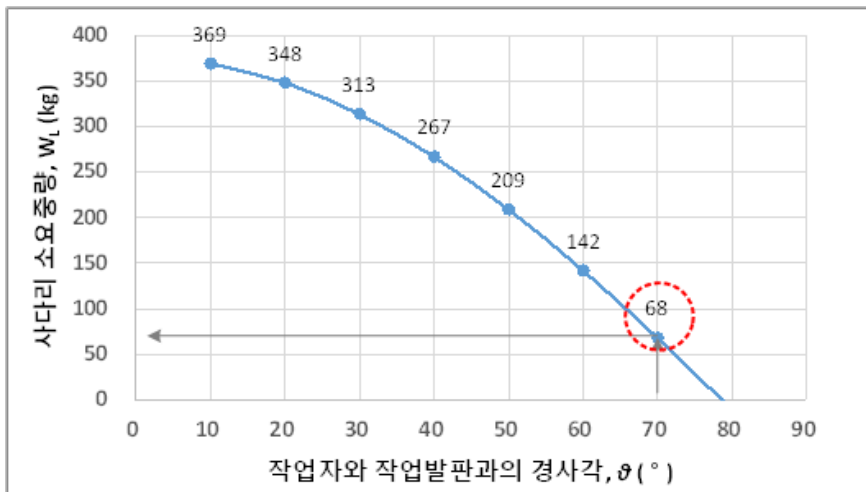
작업발판 높이가 5단(1,300mm)로 고정된 단일높이형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 309kg으로 산정되고, 경사각이 큰 70° 일 때는 약 48kg으로 산정되었다. 그리고, ANSI-ASC A14.7에서 규정하는 최대 수평하중 110N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 82° 가 되는데, 이 각도에서는 전도에 대한 안정성을 확보하는 것으로 나타났다. 따라서, 아웃트리거가 설치된 단일높이형 이동식 사다리의 전도를 방지하기 위한 소요 중량은 최소 18kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.

작업발판 높이가 8단(최대 2,200mm)까지 확장되는 높이조절형의 경우, 경사각에 따라 계산되는 이동식 사다리의 소요 중량 W_L 은 수평분력을 유발하는 경사각이 작은 10° 일 때 약 369kg, 경사각이 큰 70° 일 때 약 68kg으로 산정되었다. 그리고, ANSI-ASC A14.7에서 규정하는 최대 수평하중 110N을 기준으로 경사각 θ 를 산정하면 약 82° 가 되는데, 이 각도에서는 전도에 대한

안정성을 확보하는 것으로 나타났다. 따라서, 아웃트리거가 설치된 높이조절형 이동식 사다리의 전도를 방지하기 위한 소요 중량은 최소 40kg 이상이 되어야 한다고 할 수 있다.



[그림 IV-23] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 단일높이형(5단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)



[그림 IV-24] 전도 안정을 위한 경사각에 따른 높이조절형(8단 기준) 사다리 소요 중량 (아웃트리거가 설치된 경우)

이와 함께 정사각형으로 가정한 작업발판의 크기 변화에 대한 영향을 확인하기 위하여 작업발판 높이에 따른 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 소요 중량을 계산하면 작업발판의 크기에 상관없이 전도에 대한 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

이상과 같은 결과를 종합하면 아웃트리거가 설치된 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경우, 휴대성 등의 확보를 위한 경량화가 가능하지만, 높이조절 형에 있어서는 작업발판의 높이 증가에 따른 대책이 필요하고 할 수 있다.

3) 단면 검토

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발에 따른 주요 구성 부재인 버팀대와 디딤대의 경량화 및 안전성을 확보할 수 있는 최적 단면을 선정하기 위하여 이동식 사다리 부재에 적용할 수 있는 단면들에 대한 검토를 실시하였다. 대상 단면은 현재 국내·외에서 시판중인 이동식 사다리에 적용되고 있는 주요 단면 및 연구진에서 적용이 가능하다고 판단되는 제안 단면들을 대상으로 검토하였다. 검토 단면은 □형, ○형, ▢형, I형 및 사각형을 변화시킨 단면으로서, 이동식 사다리의 구조 안전성 평가 항목인 강도와 변형을 검토하는데 반드시 필요한 단면 특성값을 [그림 IV-25]에 보인 것과 같은 프로그램으로 계산하여 이 결과들을 <표 IV-5>에 비교하였다. 단, 검토 단면의 크기 에 따른 차이를 배제하기 위하여 모든 단면의 폭 40mm, 높이 또는 지름 40 mm, 두께 1.3mm로 동일하게 적용하였다.

IV. 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발

Section Data

Tapered DB/User Value Composite SRC Combined Steel Girder PSC

Section ID 1 H-Section

Name User DB KS21

Sect. Name

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name KS21

Sect. Name

H 40 mm

B1 40 mm

tw 1.3 mm

tf1 1.3 mm

B2 40 mm

tf2 1.3 mm

r1 0 mm

r2 0 mm

Offset : Center-Center

☒ Consider Shear Deformation.

☐ Consider Warping Effect(7th DOF)

Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply

(a) I형 단면

Section Data

Tapered DB/User Value Composite SRC Combined Steel Girder PSC

Section ID 1 Box

Name User DB KS21

Sect. Name

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name KS21

Sect. Name

H 40 mm

B 40 mm

tw 1.3 mm

tf1 1.3 mm

C 38.7 mm

tf2 1.3 mm

Offset : Center-Center

☒ Consider Shear Deformation.

☐ Consider Warping Effect(7th DOF)

Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply

(b) □형 단면

Section Data

Tapered DB/User Value Composite SRC Combined Steel Girder PSC

Section ID 1 Pipe

Name User DB KS21

Sect. Name

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name KS21

Sect. Name

D 40 mm

tw 1.3 mm

Offset : Center-Center

☒ Consider Shear Deformation.

Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply

(c) ○형 단면

Section Data

Tapered DB/User Value Composite SRC Combined Steel Girder PSC

Section ID 1 Channel

Name User DB KS21

Sect. Name

☒ Built-Up Section

Get Data from Single Angle

DB Name KS21

Sect. Name

H 40 mm

B1 40 mm

tw 1.3 mm

tf1 1.3 mm

B2 40 mm

tf2 1.3 mm

r1 0 mm

r2 0 mm

Offset : Center-Center

☒ Consider Shear Deformation.

☐ Consider Warping Effect(7th DOF)

Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply

(d) □형 단면

[그림 IV-25] 단면특성 계산 결과

〈표 IV-5〉 이동식 사다리 대체품에 적용 가능한 단면 특성 비교

형식 \ 특성	단면 제원	단면적		단면2차모멘트	
		A	□형 대비	I	□형 대비
□	40×40×1.3	201.24	/	75,348.8	/
○	40×1.3	158.06	0.785	59,245.6	0.786
ㄱ	40×40×1.3/1.3	152.62	0.758	85,975.9	1.141
I	40×40×1.3/1.3	152.62	0.758	86,927.7	1.154

이동식 사다리 대체품(작업발판)에 적용 가능한 단면들에 대한 특성을 비교한 결과, 중량 및 축강성에 영향을 주는 단면적에서는 가장 일반적으로 사용하는 사각형 단면을 기준으로 원형 단면에서는 약 21.5% 감소하고, ㄱ형 및 I형 단면에서는 약 24.4% 감소하는 것으로 나타났다. 다음으로 변형에 영향을 주는 단면2차모멘트에서는 사각형 단면을 기준으로 원형 단면은 21.4% 감소하는 반면, ㄱ형 단면은 14.1%, I형 단면은 15.4% 증가하는 것으로 나타났다.

이 결과들에 의하면, 현재 시판중인 작업발판형 이동식 사다리에 적용되고 있는 사각형 단면과 비교하여 원형단면은 중량은 감소시킬 수 있으나 축강성 및 휨강성도 동일하게 작아져서 응력과 변형이 크게 발생할 것으로 예측되어 구조적 안전성 측면에서 불리하다고 할 수 있다. 그러나, ㄱ형 또는 I형 단면의 경우에는 단면적이 작아져서 중량은 감소시킬 수 있으나 축강성이 동시에 감소되어 축응력이 크게 유발되므로 안전성에 불리하다고 할 수 있다. 단, 휨강성은 사각형에 비해 증가하므로 휨변형이 감소하므로 사용성 측면에서는 상대적으로 유리하다고 할 수 있다. 따라서, 검토 대상 단면들이 각각의 장점 및 단점을 동시에 갖고 있으므로, 이동식 사다리 대체품(작업발판)에는 축강성 및 휨강성을 모두 확보할 수 있는 사각형을 기본 단면으로 적용하였다.

4) 높이(단수) 검토

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발에 따른 작업발판의 높이 또는 디딤대의 단수는 설문조사를 통해 실시한 이동식 사다리 사용 및 작업실태 분석과 대체품 개발 방향을 기준으로 선정하였다. 작업실태와 개발방향 설문에 따르면 실제 현장(작업장)에서 이동식 사다리를 사용하여 작업을 수행하는 높이는 1.2m 이상 3.0m 미만이 가장 많은 것으로 조사되었으며, 개발 방향에서도 50% 이상이 1.2m 이상 3.0m 미만의 높이가 필요한 것으로 응답하였다. 그리고, 높이조절(신축)에 대해서는 설문조사에서 필요성에 대한 의견이 명확하게 구분되지 않는 관계로 연구 진행과정에서 전문가 자문회의와 연구진의 추가적인 검토를 통하여 결정할 필요가 있다.

이상과 같은 결과를 종합하여 본 연구에서는 현장에서도 가장 사용 빈도가 높고, 개발을 희망하는 높이에 포함될 수 있는 5단을 기준으로 단일높이형을 우선 개발하는 것으로 하였으며, 5단 작업발판까지의 높이는 약 1.3m, 작업발판에 포함되는 난간까지의 전체 높이는 약 2.2m로 선정하였다. 또한, 전문가 자문회의에서 업종 및 작업 특성에 따라 단일높이형으로 적용이 어려운 현장들이 많이 있으므로 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 적용성을 확대하기 위하여 높이조절(신축)형도 함께 개발하는 것으로 하였다. 높이조절형은 설문조사 및 전문가 자문회의 의견을 수렴하여 가장 사용 빈도가 높다고 할 수 있는 5~8단을 기준으로 하였으며, 작업발판까지 높이는 1.3~2.2m, 작업발판에 포함되는 난간까지의 전체 높이는 최대 3.1m로 결정하였다.

5) 사다리(부재) 형식 검토

본 연구에서 개발하는 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 경량화를 우선적으로 고려하되, 인증기준에서 요구하는 성능을 만족하고 구조적 안전성을 동시에 확보할 수 있도록 형식을 선정하는 것이 중요하다. 이를 위하여 이동식 사다리에 주로 채택되고 있으며 전도 방지 등 구조적 안전 및 전도에 대한 안

정성 확보가 용이한 A형 사다리 형식을 기본으로 선정하였다. 그리고, 본 연구에서 개발하는 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 요구되는 조건에 따라 작업발판과 상부 난간을 함께 구비해야 하는 대체품(작업발판)의 특성에 따라 A형 사다리를 기준으로 한쪽 부분만 오름면으로 사용하고 반대쪽 부분은 버팀면의 역할만 수행할 수 있도록 하였다. 이와 같은 구조 형식의 변경을 통하여 버팀면을 구성하는 부재의 일부를 제거하는 형식을 채택함으로써 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 경량화가 가능해지도록 하였다.

단, 버팀면을 구성하는 기존 부재 중 일부를 제거하기 위해서는 작업자 중량 및 설제하중에 대한 구조적 안전성을 확보하는지에 대한 검토가 선행되어야 하므로, 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델 시안을 기준으로 다양한 부재 제거 조건들을 가정하여 구조해석을 실시하고 그 결과에 따라 최적 형식을 선정하는 것으로 하였다.

6) 설제하중 산정

(1) 설제하중 정의

이동식 사다리 대체품(작업발판)에 적용할 수 있는 설제기준 및 설제하중이 별도로 규정되어 있지 않고, 안전인증을 위한 방호장치 안전인증 고시 또는 공급자적합성 확인 대상 생활용품의 안전기준에서 성능시험 시 작용하는 하중만 정의되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 대체품(작업발판)에 적용이 가능하다고 판단되는 국가건설기준인 KDS 21 60 00(비계 및 안전시설물 설계기준)에서 규정하는 다음의 하중들을 설제하중으로 적용하였다.

- ① 작업하중: 작업자 중량 및 작업도구 또는 KDS 21 60 00에서 규정하는 하중
- ② 작업발판 자중: KDS 21 60 00에서 규정하는 하중
- ③ 이동식 사다리 대체품(작업발판) 자중: 구조해석 시 프로그램 내에서 자

동으로 적용

- ④ 풍하중: KDS 21 60 00에서 규정하는 하중(단, 실내 작업에서 주로 사용하는 경우에는 미고려)

(2) 설계하중 정리

본 연구에서 개발하는 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조 안전성 검토를 위한 설계하중의 크기는 <표 IV-6>에 정리한 것과 같이 KDS 21 60 00에서 규정하는 하중을 기준으로 하였으며, 연구진이 설정한 작업자 하중도 추가적으로 고려할 수 있도록 적용하였다.

<표 IV-6> 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 설계하중

하중 구분	설계하중 (KDS 21 60 00)
사다리 자중	<ul style="list-style-type: none"> • 실중량을 고려
안전 난간	<ul style="list-style-type: none"> • 실중량을 고려
작업 발판	<ul style="list-style-type: none"> • KDS 21 60 00 1.5.2 (2) 작업발판의 중량은 실제 중량을 반영하여야 하며, 0.2 kN/m^2 이상이어야 한다.
작업 하중	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자 중량 및 작업자가 함께 이용하는 작업도구 • KDS 21 60 00 1.5.2 (3) 작업하중에는 근로자와 근로자가 사용하는 자재, 공구 등을 포함하며, 다음과 같이 구분하여 작용한다. <ol style="list-style-type: none"> ① 통로의 역할을 하는 비계와 가벼운 공구만을 필요로 하는 경작업에 대해서는 바닥면적에 대해 1.25 kN/m^2 이상이어야 한다. ② 공사용 자재의 적재를 필요로 하는 중작업에 대해서는 바닥면적에 대해 2.5 kN/m^2 이상이어야 한다.

3. 대체품(작업발판) 모델

1) 대체품(작업발판) 모델의 고려사항

이상과 같이 본 연구에서 개발을 목표로 하는 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 방향을 수립하고 설계하중을 산정한 후, 다음 단계로 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델을 제시하기 위하여 다음 <표 IV-7>과 같은 사항들을 고려하였다.

<표 IV-7> 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 고려사항

항목	내 용
일반	<ul style="list-style-type: none"> • 국내·외에서 시판중인 기존 이동식 사다리, 말비계 등의 장·단점 비교 및 분석결과를 반영 • 작업발판의 형성과 안전난간의 설치를 고려 • 이동, 휴대 및 보관을 위한 크기를 고려
사용 조건	<ul style="list-style-type: none"> • 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 주로 사용하는 업종인 건설업, 제조업 및 서비스업 현장에서 공통으로 적용이 가능 • 바닥 장애물이나 경사 작업구간 등 안전성 확보가 어려운 현장 여건에도 적용이 가능
안전성 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 안전성, 이동 및 보관 편의성(휴대성) 및 작업의 편의성을 확보 • 사다리 상부에 작업발판 및 난간 형성 후 작업자의 안전성 확보 • 작업발판 끝단에 발끝막이판 형성 • 사다리 버팀대 하부(바닥) 지지 면적의 확장 및 전도를 방지할 수 있는 아웃트리거 확보
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 대한 기준정립 및 표준화 • 이동식 사다리 안전작업지침과의 부합성에 대한 고려

2) 대체품(작업발판) 모델의 개발 조건

이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델을 제시하기 위한 고려사항과 함께 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 적용되는 관련 법규의 부합, 개발 규격 및 적용 대상과 함께 관련 설계기준 등에 대한 개발 조건들을 다음 <표 IV-8>에 정리하였다.

<표 IV-8> 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 개발 조건

항목	내 용
법규	<ul style="list-style-type: none"> • 산업안전보건기준에 관한 규칙, 고용노동부 고시, 국가기술표준원 안전기준, 방호장치 안전인증 등 현행 국내 법규 및 인증기준에 부합할 것
규격	<ul style="list-style-type: none"> • 자립하여 지지가 가능한 발붙임 또는 계단식 소형 사다리 형태의 작업발판형 이동식 사다리 • 경량화를 위해 이동식 사다리의 발판을 오름면에만 배치하고, 반대편 버팀면에는 발판을 제거
적용대상	<ul style="list-style-type: none"> • 휴대 및 이동이 가능한 총중량 20kg 이하, 작업발판의 높이 1.4~1.5m (전체높이 2.5m), 안전난간대 높이 0.9m, 전도방지용 아웃트리거
설계조건	<ul style="list-style-type: none"> • 설계는 국가건설기준, 방호장치 안전인증, 공급자 적합성 기준 등의 규정을 준수할 것 <ul style="list-style-type: none"> - 가시설물 설계 일반사항 (KDS 21 10 00) - 비계 및 안전시설물 설계기준 (KDS 21 60 00) - 추락, 낙하 및 붕괴 등의 위험 방호에 필요한 가설기자재 - 공급자 적합성 기준
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 말비계 형식의 작업발판형 이동식 사다리(플랫폼형 사다리)

3) 대체품(작업발판) 모델의 제작 사양

이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델을 제작하기 위하여 구조 형식, 구성 부재의 조립 및 연결 상세, 사용 재료 및 안전성 검증 등에 대한 사양을 선정하여 다음 <표 IV-9>에 정리하였다.

<표 IV-9> 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 제작 사양

사양	내 용
구조형식	<ul style="list-style-type: none"> 말비계 형식의 작업발판을 갖는 이동식 사다리
조립 및 연결부 상세	<ul style="list-style-type: none"> 버팀대와 디딤대의 연결부 : 고정단(Fixed) 연결 버팀대와 작업발판의 연결부 : 힌지(Hinge) 연결 버팀대와 안전난간의 연결부 : 힌지(Hinge) 연결 버팀대와 아웃트리거의 연결부 : 힌지(Hinge) 연결 버팀대와 확장지지대의 연결부 : 힌지(Hinge) 연결 미끄럼 방지용 모서리부는 원칙적으로 마찰형 롤러방식으로 간주하며, 개발 단계에서 힌지부로 변경이 가능
사용재료	<ul style="list-style-type: none"> 국내에서 생산 및 사용되는 것을 적용하고, 재료에 대한 강도 및 성능은 한국산업표준 또는 공인시험기관에서 시험한 결과를 적용하며, KDS 21 60 00 및 KS F 8012에 적합할 것
안전성 검증 (구조해석)	<ul style="list-style-type: none"> 현장조건에 부합하는 부재의 연결조건과 받침조건을 고려한 3차원 구조 해석을 수행하여 안전성을 검증

4) 대체품(작업발판) 모델의 개발 시안

이상과 같은 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 고려사항, 개발 조건 및 제작 사양을 모두 적용한 개발 시안은 [그림 IV-26]과 같고, 개발 시안에 의해 현재 연구진이 개발한 1차 실물모형은 [그림 IV-27]과 같다.



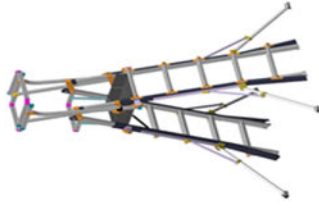





[그림 IV-26] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 시안



[그림 IV-27] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 1차 실물모형

5) 대체품(작업발판) 개발 단계

이상과 같은 개발 시안 및 1차 실물모형을 기반으로 연구진 개발회의, 전문가 자문회의 및 아이디어 수렴회의 등을 통하여 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 실물모형을 지속적으로 개선하였다. 개발 단계별 실물모형의 주요사항 및 형상을 [그림 IV-28]에 정리하였다.

	1단계 (제안 모델)	2단계 (1차 실물모형, 2022.06)	3단계 (2차 실물 모형, 2022.07)	4단계 (3차 실물 모형, 2022.08)	최종 개선품 (2022.10)
모델 (제품) 사진					
주요 사항	<ul style="list-style-type: none"> 중량: 25kg 이하 단수: 5단 (길이조절 가능) 오름면: 양방향 모두 가능 작업발판: 400 x 400mm 안전난간: 930mm, 2단 바닥 지지: 등동형 아웃트리거 주요 제원 <ul style="list-style-type: none"> - 작업높이: 2.3 ~ 3.4m - 보관높이: 2.1m - 바닥지지면적: 1,450 x 1,450mm - 최고 2,100 x 2,100mm 	<ul style="list-style-type: none"> 중량: 21kg 단수: 5단 (길이조절 없음) 오름면: 양방향 모두 가능 작업발판: 430 x 520mm 안전난간: 920mm, 회전형 2단 바닥 지지: 등동형 아웃트리거 주요 제원 <ul style="list-style-type: none"> - 작업높이: 2.3m - 보관높이: 1.96m - 보관폭: 310mm - 바닥지지면적: 1,450 x 1,450mm - 주부재 표면 처리(아노다이징) 	<ul style="list-style-type: none"> 중량: 18kg (단일높이형) - 버팀대 내부 중공 형성 단수: 5단 (길이조절 없음) 오름면: 한방향(버팀면 발판 제거) 작업발판: 430 x 460mm(폐쇄형) 안전난간: 920mm, 회전형 2단 바닥 지지: 아웃트리거 적용 가능 디자인을 고려한 도색(색채 도입) 주요 제원 <ul style="list-style-type: none"> - 작업발판높이: 1.3m - 보관높이: 1.90m(보관폭: 0.31m) - 바닥지지면적: 650 x 1,450mm - 주부재 표면 처리(아노다이징) 	<ul style="list-style-type: none"> 중량: 23kg (길이조절형) - 버팀대 내부 중공 위치 변경 단수: 5단 ~ 8단 (길이조절 시) 오름면: 한방향 (버팀면 형식 변경) 작업발판: 430 x 460mm(유공형) 안전난간: 920mm, 회전형 2단 바닥 지지: 아웃트리거 적용 가능 디자인을 고려한 도색 (색상 변경) 주요 제원 <ul style="list-style-type: none"> - 작업발판높이: 1.3 ~ 2.2m - 보관높이: 1.90m (보관폭: 0.33m) - 바닥지지면적: 650 x 1,450mm - 주부재 표면 처리 (아노다이징) 	

[그림 IV-28] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 단계별 개발 현황

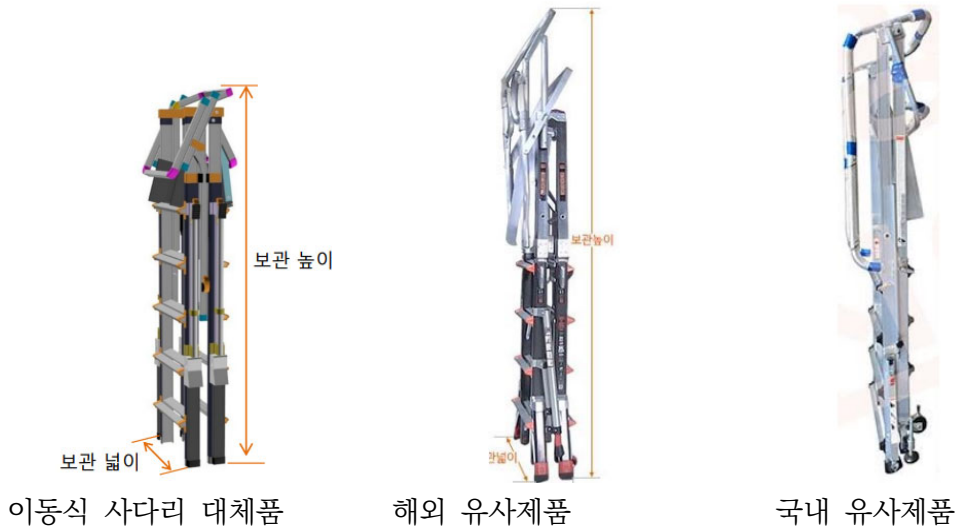
6) 대체품(작업발판) 모델의 주요 기능

(1) 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조적 안전성 확보

- ✓ 작업발판 상부 작업인원 1명(성인남자 평균 몸무게 75kg 기준)의 2배를 소요 안전율로 반영하여 약 1,500N(150kg)까지의 하중을 지지할 수 있도록 하며, 이를 위해 다중의 하중 지지장치를 통하여 상호 보완
- ✓ 국가건설기준에서 규정하는 작업발판의 작업하중 중 경작업(1.25 kN/m^2)에 대해서도 소요의 안전율을 확보

(2) 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 휴대성 확보(경량화)

- ✓ 국내·외에서 시판중인 유사제품과 비교하여 중량, 보관 높이 및 면적 등을 30% 이상 경량화



[그림 IV-29] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 보관 크기 비교

〈표 IV-10〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 휴대성 비교

제품 구분 항목	국내 제품	해외 제품	이동식 사다리 대체품 (작업발판)	개선 정도	
				국내제품 대비	해외제품 대비
중량	30kg	33kg	20kg 이하	17%	24%
보관 높이	2,540mm	2,600mm	2,100mm	17%	19%
보관 면적	1,080mm ²	750mm ²	600mm ²	44%	20%

(3) 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안전성 강화

- ✓ 바닥 지지만 가능한 좌우 펼침식 아웃트리거를 채택하고 있는 국내·외 제품과 비교하여, 하향 회전식 자유낙하 펼침구조로 개선하여 작업이 이뤄지는 바닥 지형에 따라 바닥, 벽 또는 고정장애물 등에 능동적 맞춤 지지가 가능하여 이동식 사다리의 전도 위험성을 감소



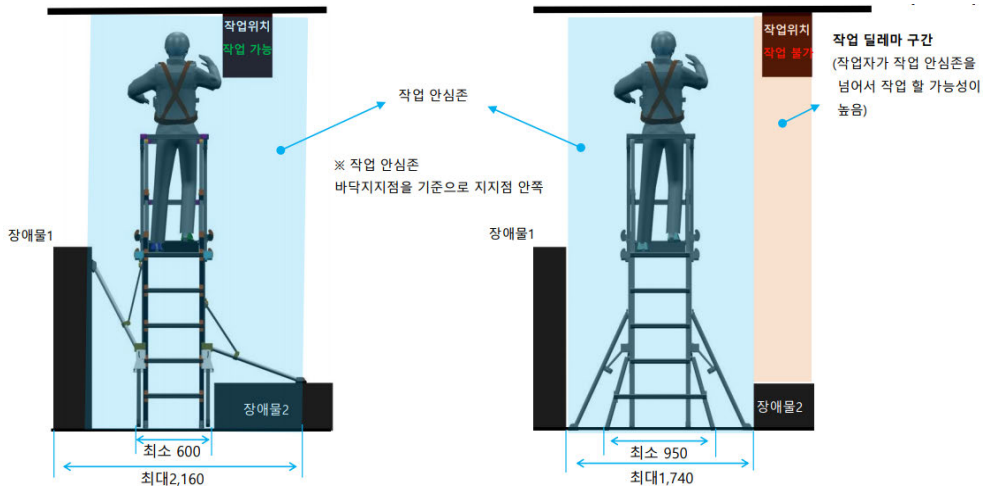
[그림 IV-30] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안전성 비교

〈표 IV-11〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 전도 안전성 비교

제품구분 \ 항목	아웃트리거	지지점	전도 안전성
국내 제품	좌우 펼침방식	바닥	장애물 지형에서 안정적인 바닥지지점 확보가 어려움
해외 제품			
이동식 사다리 (대체품)	회전식 자유낙하방식	바닥, 벽, 고정장애물	바닥지형의 높고 낮음에 상관없이 능동적인 지지가 가능

(4) 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 협소공간 작업성 강화

- ✓ 기존 이동식 사다리로는 설치가 곤란한 협소공간에서도 회전식 아웃트리거와 스토퍼에 의해 회전반경 내 벽 또는 장애물에 직접 지지를 할 수 있으므로, 협소한 공간을 포함한 작업 가능 구역의 확대



이동식 사다리 대체품(작업발판)

국내·외 유사제품

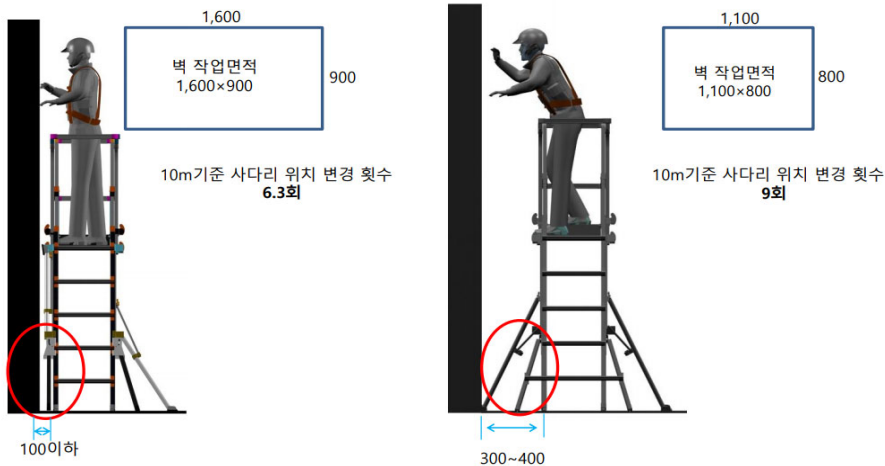
〔그림 IV-31〕 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 작업성 비교

〈표 IV-12〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 작업성 비교

제품 구분 항목	국내·외 제품	이동식 사다리 대체품	차이점 비교
벽면 지지	불가	가능	이동식 사다리 대체품은 회전식 아웃트리거를 적용하여 회전반경 내 벽, 장애물에 걸려 회전을 멈추고 스톱퍼에 의해 역회전이 제어됨
평탄한 바닥 지지	가능	가능	
바닥 돌출 장애물 지지	불가	가능	

(5) 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 측면 작업성 강화

- ✓ 국내·외에서 시판중인 유사제품과 비교하여 측면 작업을 위한 이동식 사다리 설치 시 측면과의 간격은 60% 이상 좁힐 수 있고, 측면 작업면 적은 60% 이상 확대되며, 작업을 위한 위치 변경 횟수도 30% 감소



이동식 사다리 대체품(작업발판)

국내·외 유사제품

[그림 IV-32] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 측면 작업성 비교

〈표 IV-13〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 측면 작업성 비교

제품 구분 항목	국내·외 제품	이동식 사다리 대체품	개선 정도
측면과의 간격	300mm 이상	100mm 이하	67%
측면 작업면적	8,800cm ²	14,400cm ²	64%
사다리 위치변경 횟수	9회	6.3회	30%

6) 대체품(작업발판) 모델 시제품 개요

(1) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델 시제품의 주요 특징

본 연구에서 개발한 이동식 사다리 대체품(작업발판) 시제품은 다음과 같은 특징을 갖고 있으며, [그림 IV-33]에 시제품 형상을 도해하였다.

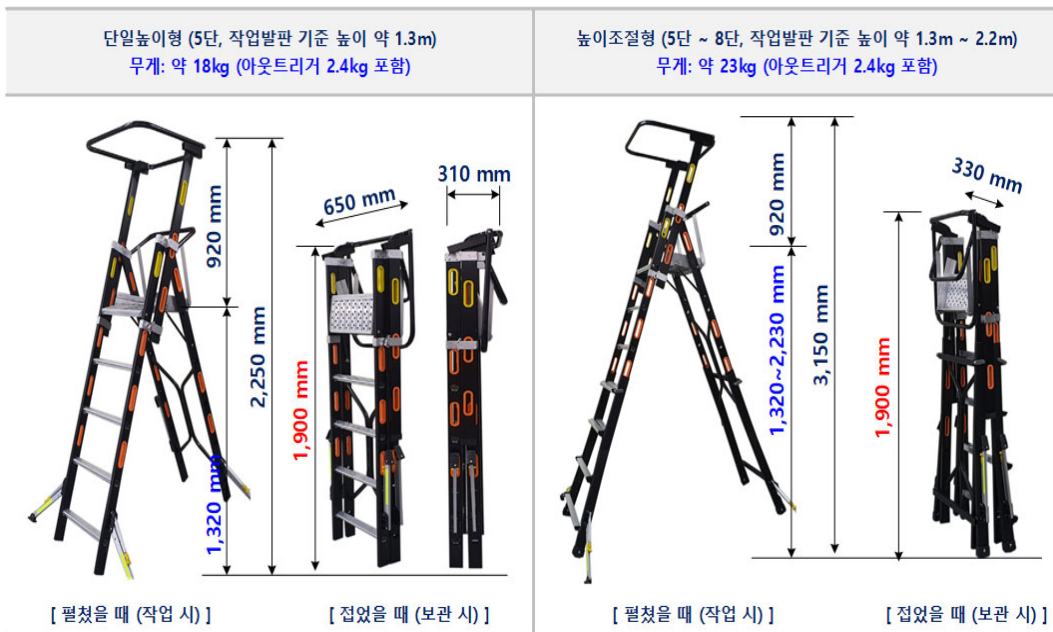
- ✓ 접이식 작업발판: 작업 시에는 힌지방식으로 펼쳐지고, 보관시에는 접혀져서 보관 폭을 최소화
- ✓ 회전형 안전난간: 작업시에는 안전난간대 역할, 보관시에는 회전방식으로 접어져서 보관 높이를 최소화
- ✓ 능동형 아웃트리거: 회전과 각도 조절이 가능하며, 굴곡, 단차가 있는 바닥이나 협소한 작업환경에서도 안전한 작업이 가능
- ✓ 승하강용 손잡이 홀: 대체품(작업발판) 버팀대의 경량화 및 승하강시 손잡이를 대체
- ✓ 오름면과 버팀면의 구분: 대체품의 경량화를 위하여 버팀면의 디딤대를 제거하고, 작업 시 버팀면 이용을 방지하고 버팀대 안정성을 확보하기 위한 구조로 변경



[그림 IV-33] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 형상 및 주요 특징

(2) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델 시제품의 제원

- ✓ 5단 단일높이형과 5~8단 높이조절형으로 개발된 이동식 사다리 대체품(작업발판) 시제품의 제원은 [그림 IV-34]와 같다.
 - 단일높이형의 경우, 바닥으로부터 작업발판까지 높이는 1,320mm 이고, 안전난간을 포함한 작업 시 총높이는 2,250mm이다. 그리고, 보관시 높이는 1,900mm, 보관 너비와 폭은 각각 650mm와 310mm이다.
 - 5~8단 높이조절형의 경우, 바닥으로부터 작업발판까지 높이는 1,320~2,230mm 이고, 안전난간을 포함한 작업 시 총높이는 최대 3,150mm이다. 그리고, 보관시 높이는 단일높이형과 동일하게 1,900mm, 보관 너비와 폭은 각각 650mm와 330mm이다.



[그림 IV-34] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 크기 비교

(3) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델 시제품의 작업 및 보관높이 비교

- ✓ 현재 시판중인 5단 작업발판형 이동식 사다리와 동일한 작업발판 높이를 갖는 6단 LS 사다리와 이동식 사다리 대체품(작업발판) 시제품과의 작업 및 보관높이를 비교하여 [그림 IV-35]에 도해하였다.



[그림 IV-35] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 보관 크기 비교

(4) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델 시제품의 작동 상태

- ✓ 시제품의 설치 단계별 작동 상태는 이상 없음



[그림 IV-36] 대체품(작업발판) 모델 시제품의 작동 상태

(5) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델 시제품과 기존 제품과의 비교

- ✓ 현재 단계를 기준으로, 시제품의 중량은 국내 제품 대비 35%, 해외 제품 대비 56%, 신축형 LS 사다리 대비 11% 정도 개선
- ✓ 현재 단계를 기준으로, 시제품의 보관 크기는 국내 제품 대비 23~28%, 해외 제품 대비 14~56% 정도 개선되었으나, 작업발판 및 상부 난간이 없는 신축형 LS 사다리에 비해서는 개선 효과가 없음
- ✓ 현재 단계를 기준으로, 시제품의 작업발판의 크기는 국내·외 제품이 비교하여 28~50% 정도 면적이 감소

	시제품		기존 제품			시제품의 개선 정도		
	단일높이형 (5단)	높이조절형 (5~8단)	알루미늄 합금 소재		FRP 복합 소재	알루미늄 합금 소재	FRP 복합 소재	
			국내제품	해외제품		국내제품	해외제품	
제품 사진								
	16kg (아웃트리거 제외)	23kg (아웃트리거 포함)	29kg (아웃트리거 포함)	43kg (아웃트리거 제외)	42kg (아웃트리거 포함)	45% (13kg)	24% (5kg)	45% (19kg)
무게	1,380mm	1,380~2,230mm	1,300~1,508mm	1,380mm	1,405mm			
작업발판 높이	430 x 460mm	430 x 460mm	520 x 630mm	590 x 800mm	576 x 402mm	-40% (0.13m ²)	-58% (0.27m ²)	-72% (0.51m ²)
작업발판 크기	920mm	920mm	950mm	900mm	1,000mm			
안전난간 높이	1,900mm	1,900mm	2,560mm	2,291mm	2,430mm			
보관 높이	640mm	640mm	890mm	1,405mm	715mm	26% (0.66m)	17% (0.39m)	35% (1.02m)
보관 너비	310mm	330mm	430mm	804mm	310mm			
보관 폭	170kg 이상	170kg 이상	170kg	170kg	150kg	33% (0.1m)	0% (동일)	30% (0.12m)
최대 하중								

[그림 IV-37] 대체품(작업발판) 모델 시제품과 기존 제품의 비교

4. 안전성 검토

1) 재료강도 및 설계하중과 하중조합

이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 안전성 검토를 위한 구조해석에 적용될 구조부재별 재료의 극한강도, 항복강도(설계강도)는 다음 <표 IV-14>와 같다.

<표 IV-14> 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 재료강도 기준

부재		재질	강도 (MPa)
통로용 작업대 / 통로용 작업발판	바닥재	<ul style="list-style-type: none"> 강재 <ul style="list-style-type: none"> - KS D 3501의 SPHC - KS D 3601의 XS42 알루미늄 <ul style="list-style-type: none"> - KS D 6759의 A 6063S 	<ul style="list-style-type: none"> SPHC <ul style="list-style-type: none"> - 인장강도: 270 이상 A 6063S <ul style="list-style-type: none"> - 항복강도: 177 이상 - 인장강도: 206 이상
	수평재 및 보재	<ul style="list-style-type: none"> 강재: KS D 3501의 SPHC 알루미늄: KS D 6759의 A 6063S 	<ul style="list-style-type: none"> SS400(현재 SS275) <ul style="list-style-type: none"> - 항복강도: 245 이상 인장강도: 400 이상
조립식 안전난간	걸침 고리	<ul style="list-style-type: none"> 강재 <ul style="list-style-type: none"> - 단판형: KS D 3503의 SS400 - 상자형: KS D 3501의 SPHC 알루미늄 <ul style="list-style-type: none"> - KS D 6701의 A 5052P - KS D 6759의 A 6063S 	<ul style="list-style-type: none"> STK400 <ul style="list-style-type: none"> - 항복강도: 245 이상 인장강도: 400 이상
	기둥재 및 수평 난간대	<ul style="list-style-type: none"> 강관: KS D 3566의 STK400 각형강관: KS D 3568의 SPSR400 형강: KS D 3503의 SS330 	<ul style="list-style-type: none"> 항복강도: 275 이상 인장강도: 410 이상
	설치용 철물	<ul style="list-style-type: none"> KS D 3501의 SPHC KS D 3503의 SS330 	<ul style="list-style-type: none"> SS300(현재 SS235) <ul style="list-style-type: none"> - 항복강도: 205 이상 인장강도: 330 이상

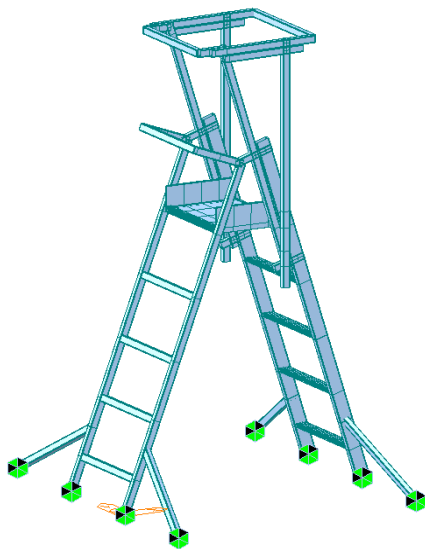
또한, 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 안전성 검증을 위하여 관련 기준(KDS 21 60 00)에서 규정하는 <표 IV-15>와 같은 설계하중 및 제규정들을 적용한 구조해석을 해석(설계) 변수별로 수행하였다.

〈표 IV-15〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 안전성 검증을 위한 설계하중 및 하중조합

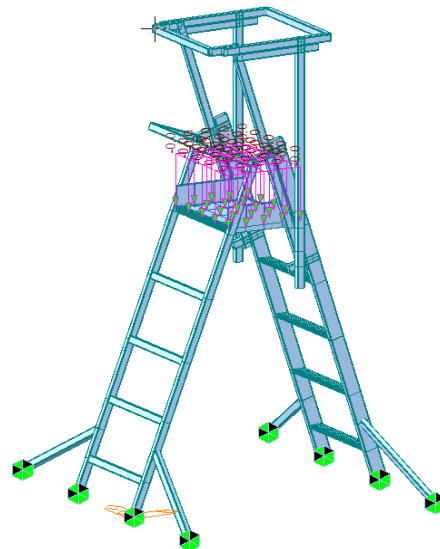
구분	설계하중 및 하중조합												
연직하중	<ul style="list-style-type: none">고정하중(D): 작업발판 중량, 실제 중량을 고려하여 0.2 kN/m² 이상작업하중(L): 작업자와 작업자가 사용하는 자재, 공구를 포함<ul style="list-style-type: none">통로의 역할 또는 경작업: 바닥면적에 대해 1.25 kN/m² 이상중작업(공사용 자재의 적재): 바닥면적에 대해 2.5 kN/m² 이상무거운 작업(돌붙임 공사 등): 바닥면적에 대해 3.5 kN/m² 이상												
수평하중	<ul style="list-style-type: none">풍하중(W)과 연직하중의 5%에 해당하는 수평하중 가운데 큰 값설치 면에 대하여 X 방향 및 Y 방향에 대하여 각각 적용시공오차 등에 의한 최소 수평하중(M)												
하중조합	<ul style="list-style-type: none">작업 중 작용할 것으로 예상되는 하중들을 각 하중들의 발생 특성에 따라 합리적으로 조합하여 검토하중 종류에 따라 적용되는 하중조합 및 증가계수 <table><tr><th></th><th>하중조합</th><th>허용응력 증가계수</th></tr><tr><td>1</td><td>D + L + M</td><td>1.00</td></tr><tr><td>2</td><td>D + L + (M + W)</td><td>1.25</td></tr><tr><td>3</td><td>D + L + M + S(특수하중)</td><td>1.50</td></tr></table> <p>단, 산업안전보건법상에서 규정하고 있는 안전인증 기준값 또는 공인시험기관의 시험값에 안전율을 적용하여 산정한 허용압축하중으로 검토할 경우에는 증가계수를 적용하지 않음.</p>		하중조합	허용응력 증가계수	1	D + L + M	1.00	2	D + L + (M + W)	1.25	3	D + L + M + S(특수하중)	1.50
	하중조합	허용응력 증가계수											
1	D + L + M	1.00											
2	D + L + (M + W)	1.25											
3	D + L + M + S(특수하중)	1.50											

2) 대체품(작업발판) 모델의 구조 검토

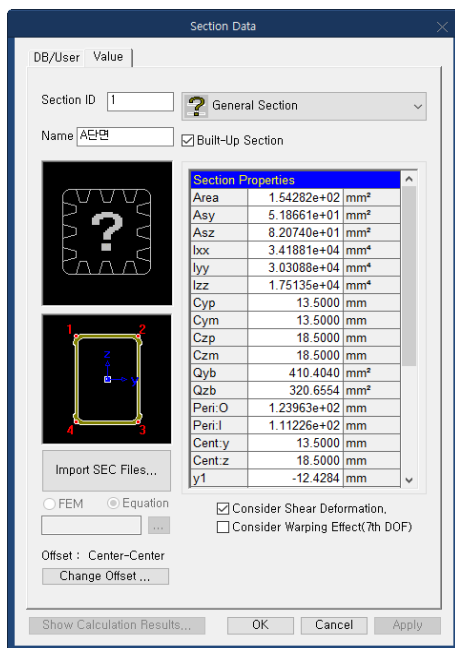
본 연구에서 개발중인 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델 시안의 구조적 안전성을 검토하기 위하여 앞 절에서 정의한 설계하중 및 하중조합과 부재별 재료강도를 이용한 3차원 구조해석을 실시하였다. 구조해석에 사용된 프로그램은 토목/건축 분야에서 가장 많이 사용하고 있는 범용 구조해석 S/W인 MIDAS CIVIL 2022를 이용하여 부재별 발생 응력, 최대 변형 및 지지점 반력 등을 산정하였다.



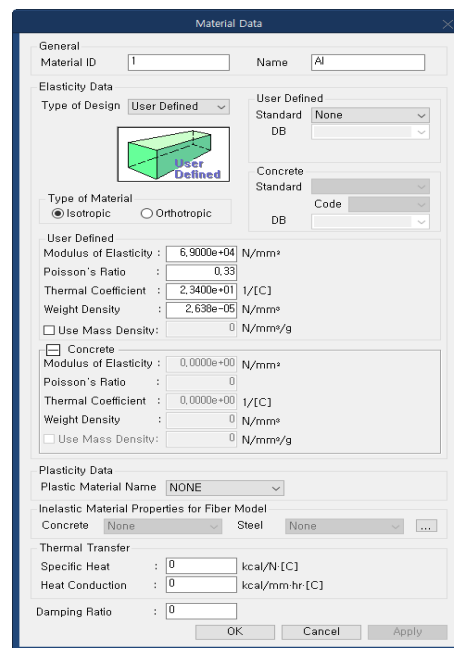
(a) 구조해석 모델링 및 지점조건



(b) 하중재하

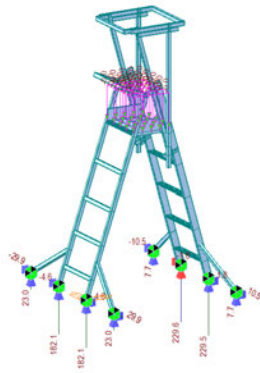


(c) 부재 단면



(d) 사용재료

[그림 IV-38] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조해석 모델링



(a) 지지점 반력



(b) 부재 응력(축응력)



(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)



(c) 부재 응력(조합응력)

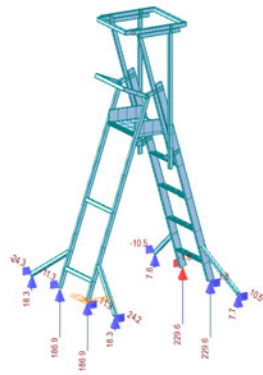


(d) 변형

[그림 IV-39] 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 구조해석 결과

(1) 경량화에 조건에 따른 구조 검토

대체품(작업발판)의 경량화를 위하여 작업자가 승강용 통로로 사용하지 않는 버팀판의 디딤대를 제거하는데 따른 구조안전성 검토를 실시하였다. 버팀판의 디딤대 제거 시 버팀대의 좌굴 안전성과 대체품(작업발판)의 구조 안전성을 함께 검토할 수 있도록 2개, 3개 및 4개 모두를 제거하는 경우로 구분하여 구조해석을 각각 수행하였다.



(a) 지지점 반력



(b) 부재 응력(축응력)



(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)

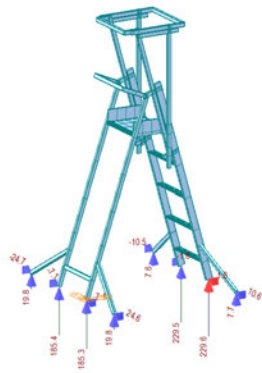


(c) 부재 응력(조합응력)

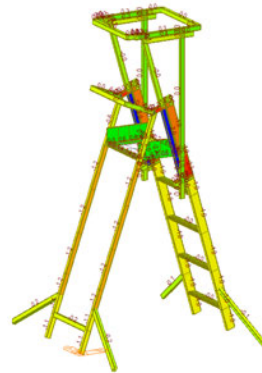


(d) 변형

[그림 IV-40] 대체품(작업발판) 모델 경량화 검토 - 디딤대 2개 제거



(a) 지지점 반력



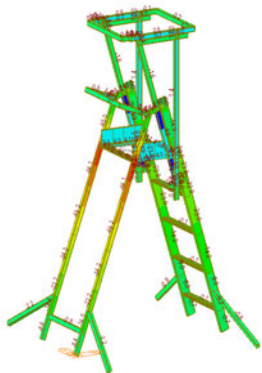
(b) 부재 응력(축응력)



(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)

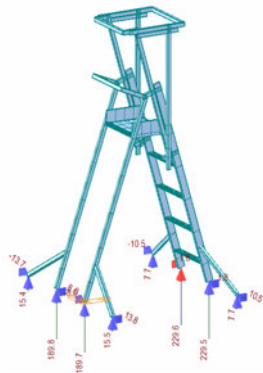


(c) 부재 응력(조합응력)



(d) 변형

[그림 IV-41] 대체품(작업발판) 모델 경량화 검토 - 디딤대 3개 제거



(a) 지지점 반력



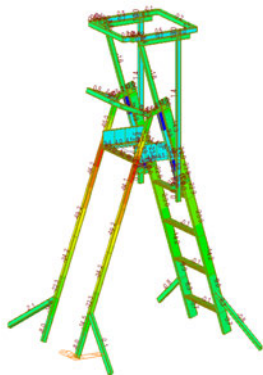
(b) 부재 응력(축응력)



(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)



(c) 부재 응력(조합응력)

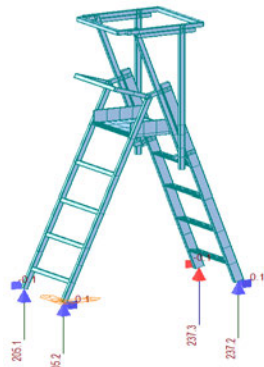


(d) 변형

[그림 IV-42] 대체품(작업발판) 모델 경량화 검토 - 디딤대 4개 제거

(2) 아웃트리거 제거에 따른 구조 검토

대체품(작업발판)의 경량화를 위하여 작업자가 승강용 통로로 사용하지 않는 버팀판의 디딤대를 제거하는데 따른 구조안전성 검토를 실시하였다. 버팀판의 디딤대 제거 시 버팀대의 좌굴 안전성과 대체품(작업발판)의 구조 안전성을 함께 검토할 수 있도록 2개, 3개 및 4개 모두를 제거하는 경우로 구분하여 구조해석을 각각 수행하였다.



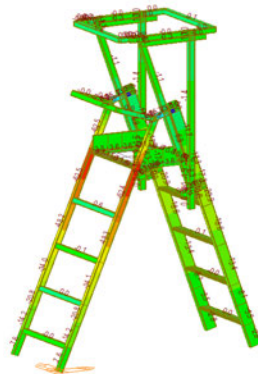
(a) 지지점 반력



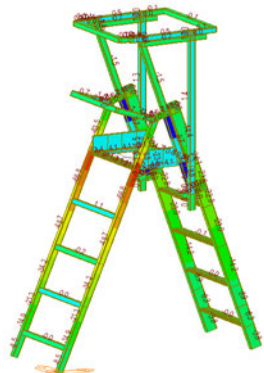
(b) 부재 응력(축응력)



(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)

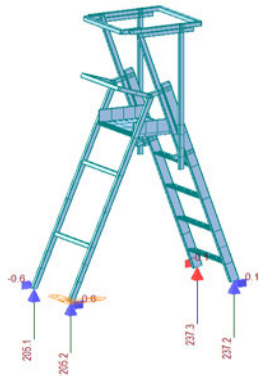


(c) 부재 응력(조합응력)

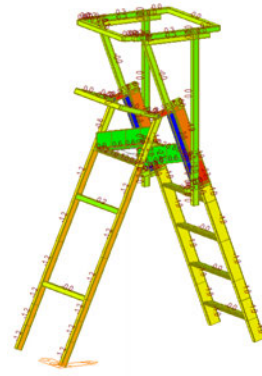


(d) 변형

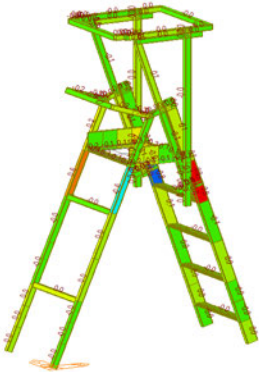
[그림 IV-43] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 -아웃트리거 제거



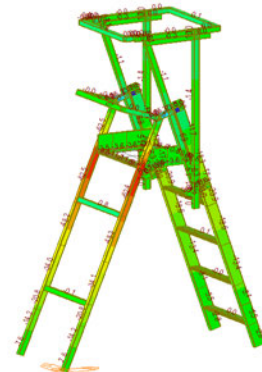
(a) 지지점 반력



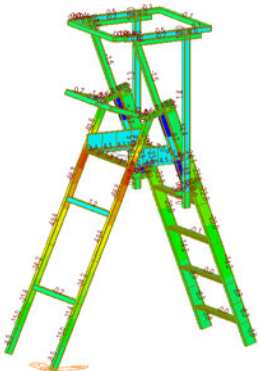
(b) 부재 응력(축응력)



(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)

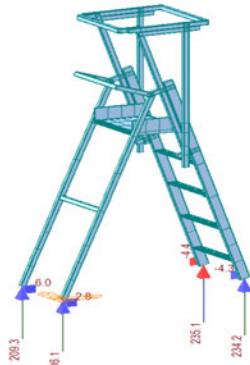


(c) 부재 응력(조합응력)

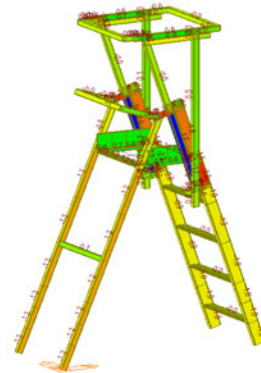


(d) 변형

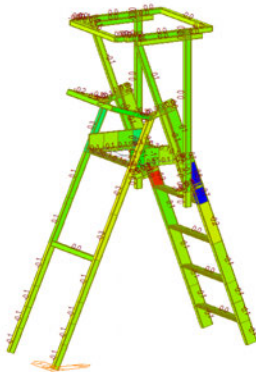
[그림 IV-44] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 - 디딤대 2개 제거



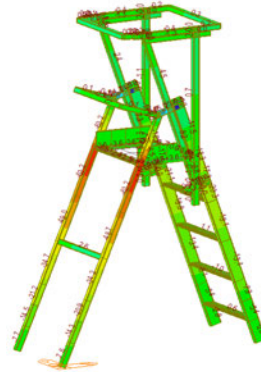
(a) 지지점 반력



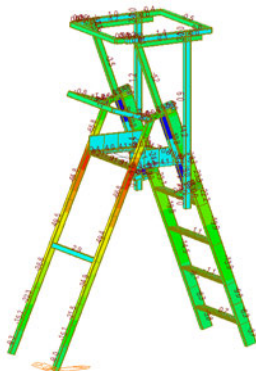
(b) 부재 응력(축응력)



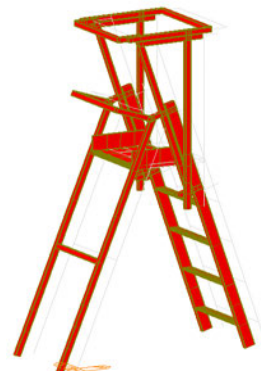
(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)

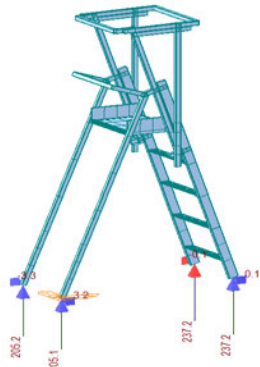


(c) 부재 응력(조합응력)

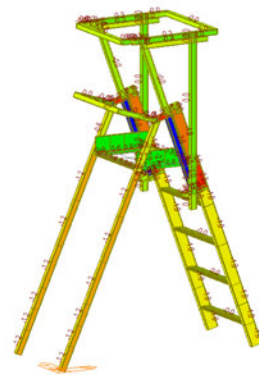


(d) 변형

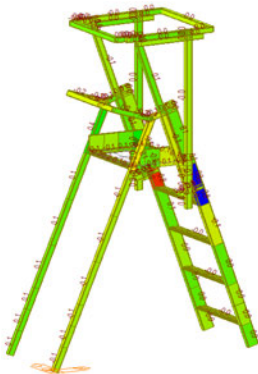
[그림 IV-45] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 - 디딤대 3개 제거



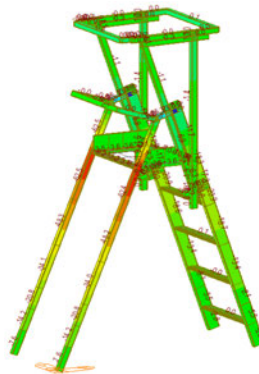
(a) 지지점 반력



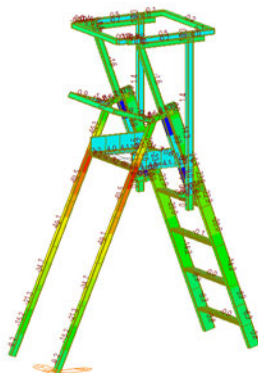
(b) 부재 응력(축응력)



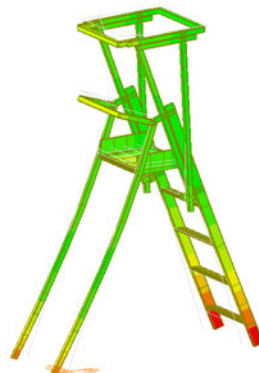
(c) 부재 응력(전단응력)



(d) 부재 응력(휨응력)



(c) 부재 응력(조합응력)



(d) 변형

[그림 IV-46] 대체품(작업발판)의 아웃트리거 검토 - 디딤대 4개 제거

5. 현장 적용성 검증


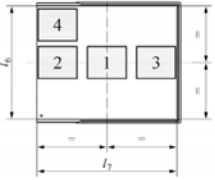
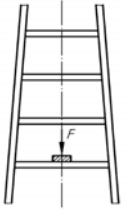
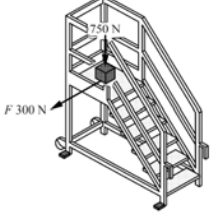
1) 구조 안전성 검증(성능시험)

(1) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 성능시험 개요

본 연구를 통해 개발된 단일높이형(5단) 및 높이조절형(5~8단) 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 시제품에 대한 구조 안전성 검증 및 전도 안정성 평가를 위한 성능시험을 실시하였다. 구조 안전성에 대한 성능시험 및 대체품(작업발판)의 전도 안정성 평가는 <표 IV-16>에 정리한 것과 같이 본 연구의 개발 대상인 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 적용할 수 있는 기준인 EN 131- Part 7(Mobile ladders with platform)에서 규정하고 있는 성능 항목들을 대상으로 하였다. 또한, 안전성 검증을 위한 성능시험은 신뢰성 확보를 위하여 구조 안전성에 대한 성능시험은 [그림 IV-47], 전도 안정성 평가는 [그림 IV-48]에 보인 것과 같이 안전보건공단 산업안전보건인증원에서 실시하였다.

성능시험에 따른 계측은 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 디딤대, 안전난간 및 작업발판에 재하되는 작용하중에 대해서는 50kN 용량의 로드셀(Loadcell), 작업발판 및 안전난간에서 발생하는 변형 및 수직변위에 대해서는 전기식 변위계(LVDT)를 이용하였다. 작용하는 하중 단계별로 발생하는 각 계측 센서의 신호를 데이터 수집장치(Data Acquisition System, DAQ System)을 이용하여 자동으로 수집 및 저장하였다.

〈표 IV-16〉 이동식 사다리 대체품(작업발판) 시제품의 구조 안전성 검증을 위한
성능시험 항목 및 기준

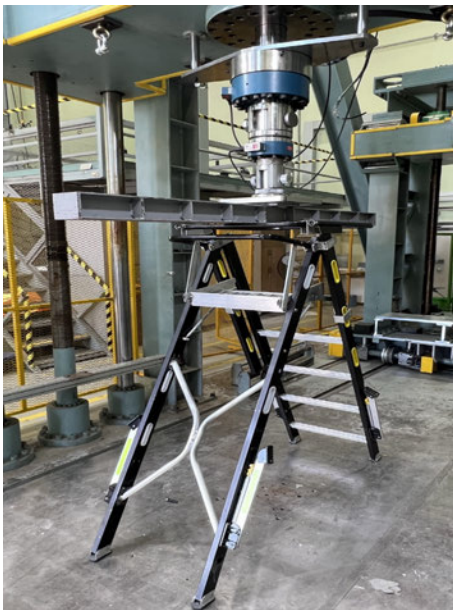
시험항목		시험기준 (하중)	판정기준	시험방법(EN 131-7)
완성품 (Product)	강도	<ul style="list-style-type: none"> 수직방향 - 3,500N 	<ul style="list-style-type: none"> 하중 제거 후 해체, 균열, 파손 없을 것 	
작업발판 (Platform)	수직 처짐	<ul style="list-style-type: none"> 수직방향 - 2,600N 	<ul style="list-style-type: none"> 하중 제거 후 최대 영구변형 $\frac{b_1}{200}$ mm 이하 하중 제거 후 영구 손상 없을 것 	
	휨강도			
디딤대 (Step)	수직 처짐	<ul style="list-style-type: none"> 수직방향 - 2,600N 	<ul style="list-style-type: none"> 하중 제거 후 최대 영구변형 $\frac{b_1}{200}$ mm 이하 	
	휨강도			
안전난간 (Guardrail)	변형량	<ul style="list-style-type: none"> 수평방향 - 300N 	<ul style="list-style-type: none"> 최대변형 35mm 이하 	-
	휨강도	<ul style="list-style-type: none"> 수직방향 - 1,250N 	<ul style="list-style-type: none"> 하중 제거 후 해체, 균열, 파손 없을 것 	-
전도 안정성 (Stability)		<ul style="list-style-type: none"> 수직방향 - 750N 수평방향 - 300N 	<ul style="list-style-type: none"> 전도되지 않을 것 	



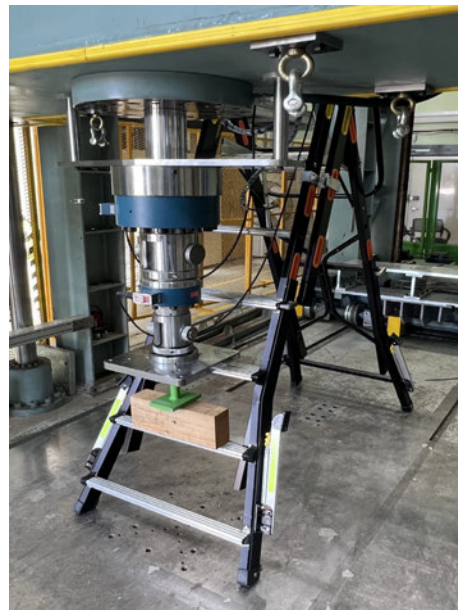
(a) 작업발판 성능시험



(b) 디딤대 성능시험



(c) 안전난간 성능시험



(d) 완성품 성능시험

[그림 IV-47] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험



(a) 단일높이형



(b) 높이조절형

[그림 IV-48] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안정성 평가

(2) 이동식 사다리 대체품(작업발판) 성능시험 결과

가) 단일높이형

단일높이형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조 안전성에 대한 성능시험 결과, EN 131-Part 7에서 규정하고 있는 다음과 같은 항목별 판정 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

첫째, 완성품 강도는 [그림 IV-49] (a)에 보인 것과 같이 디딤대 전체 길이에 수직 분포하중 3,500N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 완성품인 대체품(작업발판)의 해체, 균열 및 파손이 발생하거나 발견되지 않았다.

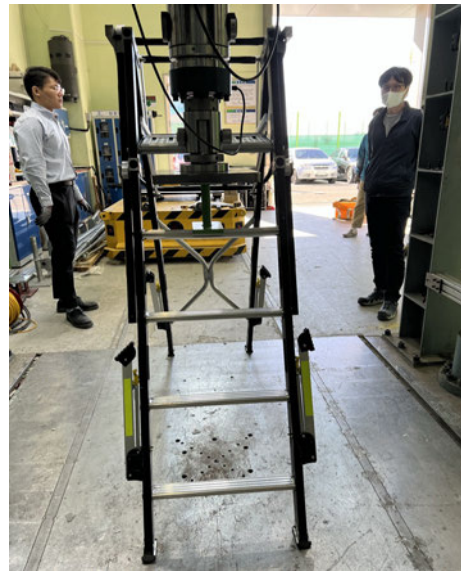
둘째, 작업발판의 강도 및 수직처짐은 [그림 IV-49] (b)에 보인 것과 같이 작업발판의 중앙에 수직하중 2,600N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 작업발판의 최대 영구변형이 1mm 미만으로 발생하였고, 판정기준인 $b/200$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 하중 제거 후 영구 손상이 발생하거나 발견되지 않았다.

셋째, 디딤대의 강도 및 수직처짐은 [그림 IV-49] (c)에 보인 것과 같이 디딤대 중앙에 수직하중 2,600N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 디딤대의 최대 영구변형이 1mm 미만으로 발생하였고 판정기준인 $b/200$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 하중 제거 후 해체, 균열 및 파손이 발생하거나 발견되지 않았다.

마지막으로 안전난간의 휨강도 및 변형량은 [그림 IV-49] (d)에 보인 것과 같이 안전난간의 중앙에 수직하중 1,250N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 안전난간의 해체, 균열 및 파손이 발생하거나 발견되지 않았다. 또한, 수평하중 300N을 1분간 재하한 후 작용하중을 제거한 뒤 안전난간의 최대 변형이 1mm 미만으로 발생하였고, 판정기준인 35mm 이하를 만족하는 것으로 나타났다.



시험 전



시험 후

(a) 완성품 강도



시험 전



시험 후

(b) 작업발판 강도 및 수직처짐

[그림 IV-49] 단일높이형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과



시험 전



시험 후

(c) 디딤대 강도 및 수직처짐



시험 전



시험 후

(d) 안전난간 강도 및 변형량

[그림 IV-49] 단일높이형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과

다음으로 단일높이형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안정성에 대한 시험 결과, EN 131-Part 7에서 규정하고 있는 전도 안정성 평가 기준인 작업발판에 수직하중 750N을 재하한 상태에서 작업발판의 면과 평행한 방향으로 수평하중 300N을 동시에 재하하였을 때 [그림 IV-50]에 보인 것과 같이 전도가 발생하지 않았다. 특히, 단일높이형 대체품(작업발판)에 대한 전도 안정성 평가는 아웃트리거를 설치하지 않은 상태에서 실시한 것으로서, 이 결과는 본 연구에서 개발한 단일높이형(작업발판) 대체품이 자체 중량과 바닥에 지지되는 버팀대의 펼침길이 만으로도 전도에 대한 안정성을 확보할 수 있음을 의미하는 것이라고 할 수 있다.



전도 안정성 평가 전



전도 안정성 평가 후

[그림 IV-50] 단일높이형 대체품(작업발판)의 전도 안정성 평가

나) 높이조절형

높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 구조 안전성에 대한 성능시험 결과, 단일높이형과 마찬가지로 EN 131-Part 7에서 규정하고 있는 다음과 같은 항목별 판정 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

첫째, 완성품 강도는 [그림 IV-51] (a)에 보인 것과 같이 디딤대 전체 길이에 수직 분포하중 3,500N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 완성품인 대체품(작업발판)의 해체, 균열 및 파손이 발생하거나 발견되지 않았다.

둘째, 작업발판의 강도 및 수직처짐은 [그림 IV-51] (b)에 보인 것과 같이 작업발판의 중앙에 수직하중 2,600N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 작업발판의 최대 영구변형이 1mm 미만으로 발생하였고, 판정기준인 $b/200$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 하중 제거 후 영구 손상이 발생하거나 발견되지 않았다.

셋째, 디딤대의 강도 및 수직처짐은 [그림 IV-51] (c)에 보인 것과 같이 디딤대 중앙에 수직하중 2,600N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 디딤대의 최대 영구변형이 1mm 미만으로 발생하였고 판정기준인 $b/200$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 하중 제거 후 해체, 균열 및 파손이 발생하거나 발견되지 않았다.

마지막으로 안전난간의 휨강도 및 변형량은 [그림 IV-51] (d)에 보인 것과 같이 안전난간의 중앙에 수직하중 1,250N을 1분간 재하한 후, 작용하중을 제거한 뒤 안전난간의 해체, 균열 및 파손이 발생하거나 발견되지 않았다. 또한, 수평하중 300N을 1분간 재하한 후 작용하중을 제거한 뒤 안전난간의 최대 변형이 1mm 미만으로 발생하였고, 판정기준인 35mm 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

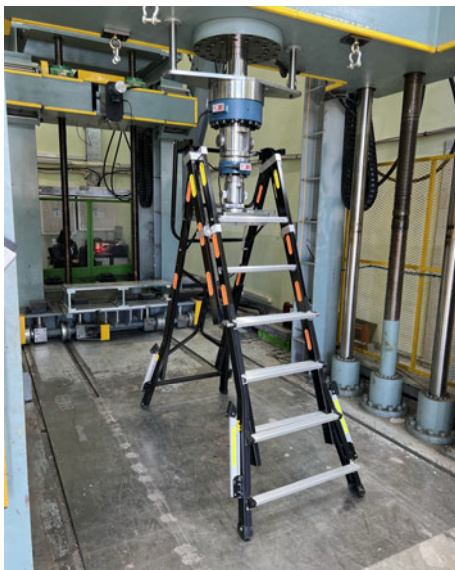


시험 전



시험 후

(a) 완성품 강도



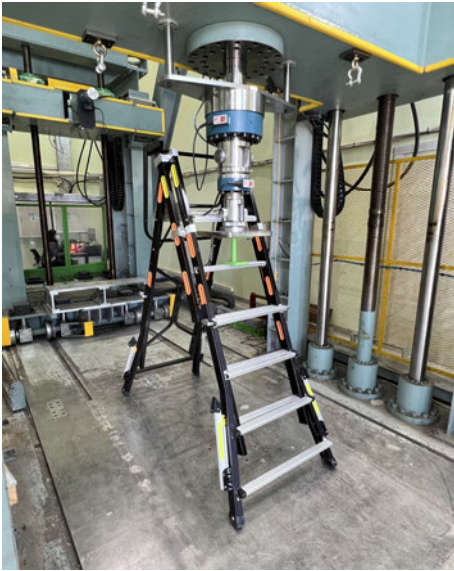
시험 전



시험 후

(b) 작업발판 강도 및 수직처짐

[그림 IV-51] 높이조절형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과

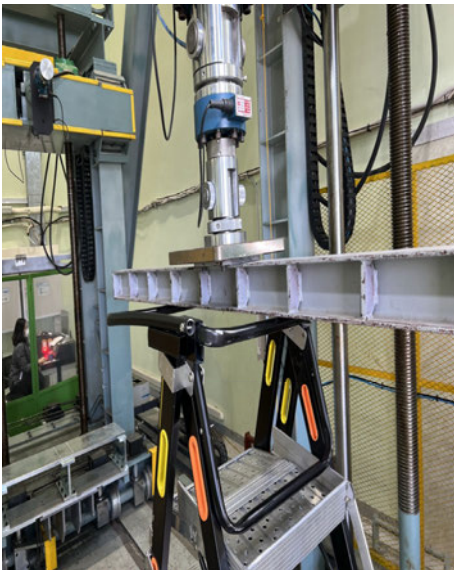


시험 전



시험 후

(c) 디딤대 강도 및 수직처짐



시험 전



시험 후

(d) 안전난간 강도 및 변형량

[그림 IV-51] 높이조절형 대체품(작업발판)의 구조 안전성 시험 결과

다음으로 높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 전도 안정성에 대한 시험 결과, EN 131-Part 7에서 규정하고 있는 전도 안정성 평가 기준인 작업발판에 수직하중 750N을 재하한 상태에서 작업발판의 면과 평행한 방향으로 수평하중 300N을 동시에 재하하였을 때 [그림 IV-52]에 보인 것과 같이 전도가 발생하지 않았다. 단, 높이조절형 대체품(작업발판)의 경우에는 아웃트리거를 바닥에 지지한 상태에서 최대 높이인 8단을 기준으로 전도 안정성 평가를 실시한 결과이며, 아웃트리거를 설치하지 않은 상태에서는 6단까지만 전도 안정성이 확보되는 것으로 확인되었다. 따라서, 높이조절형 대체품(작업발판)의 경우에는 6단까지는 아웃트리거 없이 사용이 가능하지만, 7단 이상으로 사용할 경우에는 반드시 아웃트리거를 바닥에 지지한 상태로 사용해야 할 것이다.



전도 안정성 평가 전



전도 안정성 평가 후

[그림 IV-52] 높이조절형 대체품(작업발판)의 전도 안정성 평가

2) 현장 적용성 검증(사용자 평가)

본 연구에서 개발한 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 현장 적용성을 파악하기 위하여 현장 설치와 그에 따른 사용자 평가를 실시하였다.

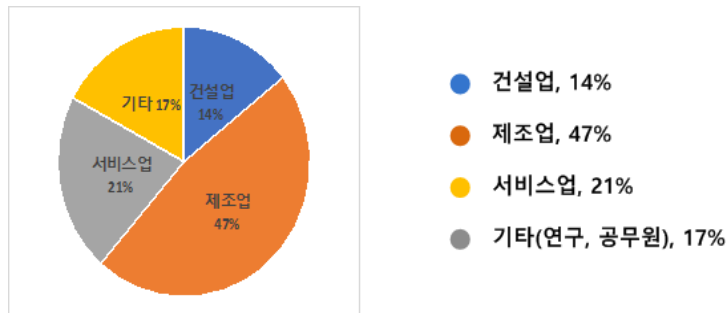
현장 적용성 검증 대상 업종은 현장 실태조사와 동일하게 이동식 사다리 관련 산업재해가 많이 발생하는 산업분야인 건설업, 제조업 및 서비스업으로 선정하였으며, 각 분야별 현장에서 작업자 또는 관리자들이 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 설치 및 해체작업을 실시하고, 그에 따른 사용자 평가 설문조사를 진행하였다. 설문조사 문항은 전문가 자문회의 중 현장 적용성 관련 자문사항들과 연구진의 회의 및 연구상대역과의 협의를 통하여 사용자(응답자) 일반사항, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 우수성 및 추가 개선의견 등 3개 항목으로 구성하였다. 각 항목별 설문 문항은 응답자(사용자) 일반사항에서 업종의 분류, 근무경력 및 담당 업무 등 3문항, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 우수성에서는 다양한 바닥 지지조건에서도 설치할 수 있는 확장성, 작업자 1인이 운반/설치할 수 있는 휴대성, 1톤 트럭(밴) 적재 및 엘리베이터 탑승이 가능한 운반성, 상부 작업 시 전도에 대한 안정성과 추락에 대한 안전성, 작업 위치로의 승·하강 편리성 등 6문항과 대체품(작업발판)의 구성품 및 특징 중 우수하다고 생각하는 항목 1문항을 개발하였다.

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 현장 적용성 검증을 위해 이동식 사다리 관련 재해가 많이 발생하는 건설업, 제조업 및 서비스업 현장에서 작업자 및 관리자들을 대상으로 한 사용자 평가 결과는 각 항목별로 다음과 같다.

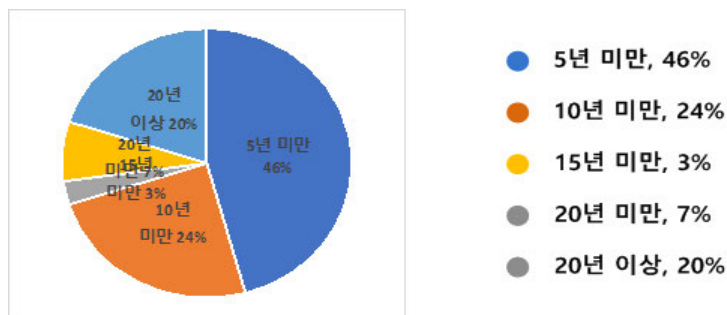
(1) 응답자 현황

사용자 평가에 참여한 응답자의 근무 업종은 건설업 14%, 제조업 47%, 서비스업 21% 및 기타(관공서, 대학생 등) 17%로 조사되었다. 근무 경력은 5년 미만 46%, 10년 미만 24%, 20년 이상 20% 순으로 조사되었으며, 현장에서

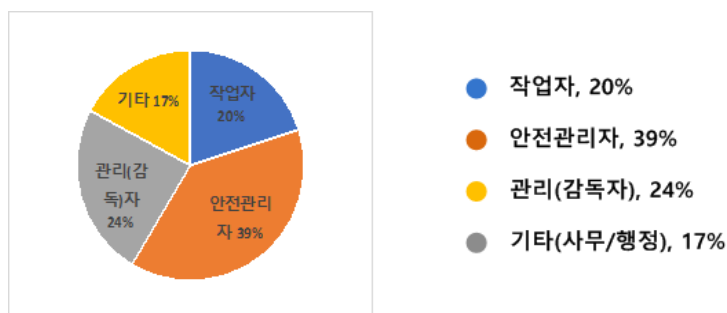
담당하는 업무에 대해서는 작업(종사)자 20%, 안전관리자 39%, 관리(감독)자 24%로 조사되었다.



(a) 업종별 분포



(b) 근무경력별 분포

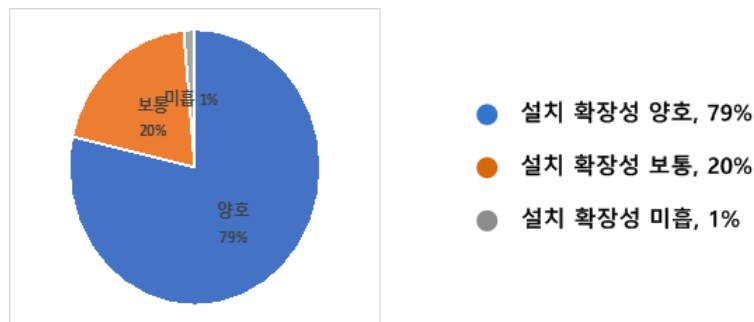


(c) 담당 업무별 분포

[그림 IV-53] 사용자 평가 응답자 현황

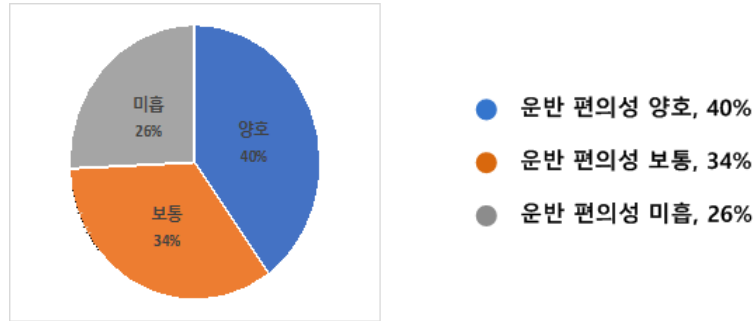
(2) 사용자 평가 결과

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 현장 적용성과 관련하여 능동형 아웃트리거를 채택함으로써 평탄한 바닥 외 굴곡이나 단차가 있는 다양한 바닥 지지 조건에서도 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 설치할 수 있는 확장성에 대해서 [그림 IV-54] (a)에 보인 바와 같이 응답자의 79%가 양호하다고 평가하였으며, 20%는 보통으로 평가하였다.



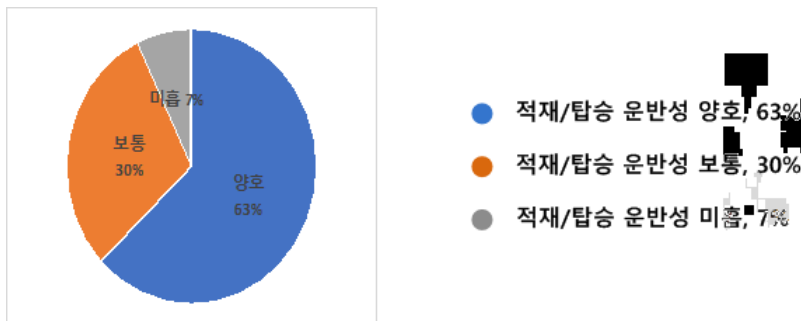
(a) 설치 확장성 평가

아웃트리거를 포함한 무게가 단일높이형 18kg, 높이조절형 23kg으로 기존 제품과 비교하여 경량화된 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 작업자 1인이 운반 및 설치할 수 있는 휴대성에 대해서는 [그림 IV-54] (b)에 보인 바와 같이 응답자의 40%가 양호하다고 평가하였으나, 응답자의 34%는 보통으로 평가하였고, 특히 운반 휴대성(편의성)이 미흡하다고 평가한 응답자도 26%로서, 현장에서 1인이 운반 및 설치를 원활하게 할 수 있도록 추가적인 경량화가 필요한 것으로 나타났다. 이와 같은 평가에 따라 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개선을 위한 추가 의견에서도 경량화 및 이동용 바퀴(caster) 설치에 대한 응답이 많았다.



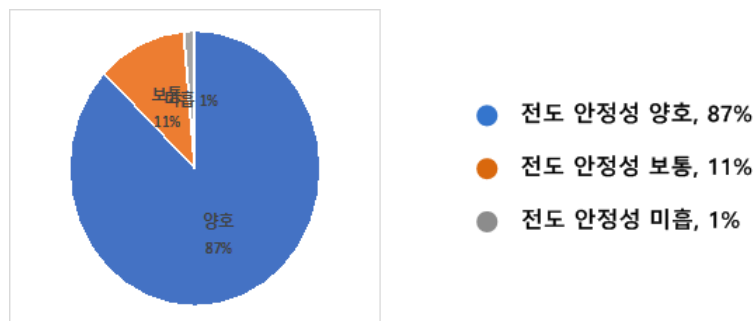
(b) 운반 편의성 평가

회전형 안전난간과 접이식 작업발판을 구성하여 보관 높이를 기존 제품과 비교하여 60cm 이상 단축된 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 대표적인 작업용 차량인 1톤 트럭(또는 5인승 밴)에 적재하거나 승객용 엘리베이터에 탑승이 가능한 운반성에 대해서는 [그림 IV-54] (c)에 보인 바와 같이 응답자의 63%가 양호하다고 평가하였고, 30%는 보통으로 평가하였고, 7%는 운반성이 미흡하다고 평가하였다. 이와 관련한 추가 의견에서도 다단 접힘 등 높이 축소와 관련된 응답이 있었다.



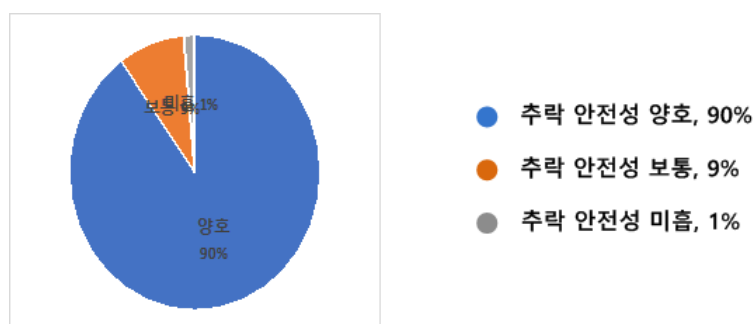
(c) 적재 및 탑승 운반성 평가

능동형 아웃트리거와 전도 안정성을 위한 소요 중량이 확보된 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 이용한 상부 작업 시 전도에 대한 안정성에 대해서는 [그림 IV-54] (d)에 보인 바와 같이 응답자의 87%가 양호하다고 평가하였으며, 11%가 보통으로 평가하였다.



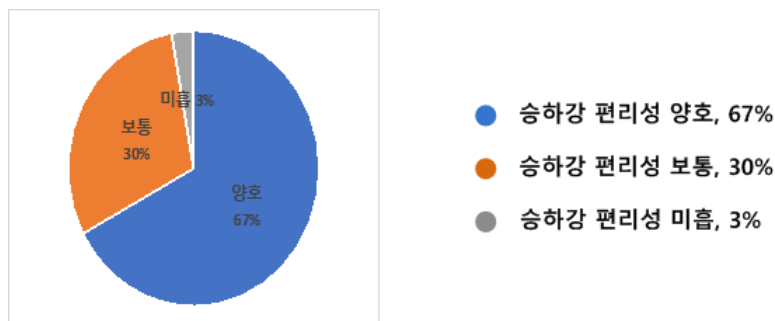
(d) 전도 안정성 평가

2단 안전난간이 구비된 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 이용한 상부 작업 시 추락에 대한 안전성에 대해서는 [그림 IV-54] (e)에 보인 바와 같이 응답자의 90%가 양호하다고 평가하였으며, 9%가 보통으로 평가하였다.



(e) 추락 안전성 평가

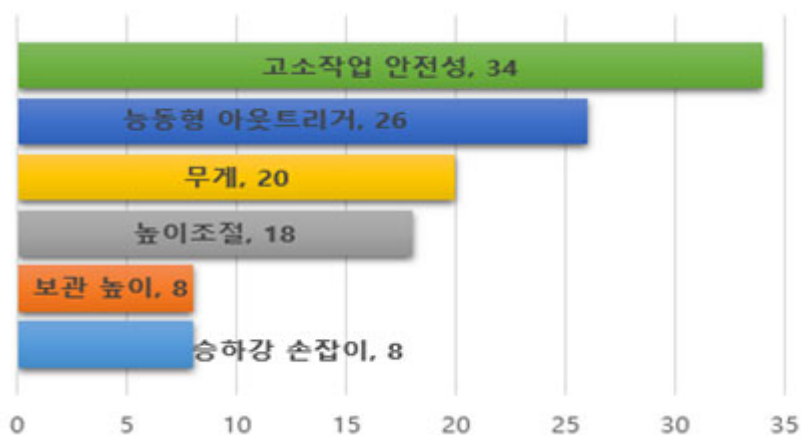
오름면과 버팀면이 구분되어 작업자들이 오름면으로만 승·하강이 가능한 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 작업 위치로의 승하강 편리성에 대해서는 [그림 IV-54] (f)에 보인 바와 같이 응답자의 67%가 양호하다고 평가하였고, 30%가 보통으로 평가하였다.



(f) 승하강 편리성 평가

[그림 IV-54] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 사용자 평가 결과

항목별 평가와 함께 이동식 사다리 대체품(작업발판)에서 채택한 구성품 또는 기존 제품과 차별되는 특징에 대한 우수성 항목은 고소작업에 대한 안전성이 가장 우수한 것으로 평가되었으며, 능동형 아웃트리거, 무게 및 높이 조절 순으로 이동식 사다리 대체품(작업발판)이 우수한 것으로 평가되었다.



[그림 IV-55] 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 우수 항목

6. 사용자 매뉴얼

이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발이 완료된 후 작성할 예정

7. 소결

이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발 방향을 수립하기 위하여 현장 의견을 수렴하였다. 대체품 개발 시 우선적으로 고려할 항목은 안전성과 휴대성 및 작업/설치의 편의성으로 조사되었으며, 현장에서 필요한 사다리 작업높이는 1.2~3.0m에 중량은 20kg 미만을 요구하는 것으로 조사되었다. 대체품(작업발판) 개발 시 무게의 경량화 및 길이조절 기능이 모두 구비되기를 희망하였으며, 아웃트리거와 이동용 바퀴 및 작업도구 보관함 등의 구성품이 함께 추가되기를 희망하였다.

이와 함께 대체품 개발 방향 수립을 위하여 경량화를 위한 재료, 전도안정성 및 단면 특성에 대한 검토를 실시하였다. 재료의 경우, 현재 시판중인 이동식 사다리 제품에 주로 적용되고 있는 알루미늄 합금을 기준으로 비중과 강도 및 가공 등의 조건에 부합하는 두랄루민, 티타늄, 섬유강화플라스틱(FRP) 소재 등을 대상으로 선정하여 경량화, 구조 안전성, 내구성 및 가공성 등에 대한 심도 있는 비교·분석을 실시하였다. 그 결과, 각각의 대상 재료가 갖는 특성에 따라 경량화 및 안전성에서 서로 차이가 있었으며, 본 연구에서는 이동식 사다리 대체품(작업발판)이 갖춰야 하는 조건들을 종합적으로 고려하여 1차적으로 기존 제품에 사용되고 있는 알루미늄 합금을 주재료로 선정하였으며, 현장 사용에 따른 내구성 확보를 위하여 표면 처리를 하는 것으로 결정하였다. 이와 함께 전도 안정성을 확보할 수 있는 적정 중량을 검토한 결과, 아웃트리거를 설치하지 않는 경우에는 경량화가 어려우며, 아웃트리거를 설치하는 경우에도 사다리 중량이 약 30kg 이상 확보가 되어야 하므로 경량화보다는 적정 중량을 확보할 수 있는 재료의 선정이 필요한 것으로 나타났다.

그리고, 이동식 사다리 부재에 적용할 단면을 검토하고, 실태조사 결과에 따른 개발 높이를 작업발판까지의 높이를 기준으로 1.4~1.5m로 선정하였으며, 경량화를 위해 오름면은 한쪽으로만 채택하는 구조 형식을 선정한 후 설계하중을 정의하였다. 이와 같은 검토 결과를 기반으로 하여 개발 조건 및 제

작 사양을 선정한 후, 대체품(작업발판) 모델의 개발 시안을 확정하고 1차 시제품을 제작하였다. 개발 모델에 따른 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 설계하중에 대한 소요 안전율을 확보할 수 있으며, 기존 제품과 비교하여 중량, 보관높이 및 면적 등에서 경량화가 되어 휴대성도 확보하였다. 이와 함께 좌우 펼침식 능동형 아웃트리거를 채택하여 전도에 대한 충분한 안정성을 확보하고 있으며, 현장에서 필요로 하는 협소한 공간 및 측면에서의 작업성도 강화하였다. 현재 개발 진행중인 이동식 사다리 대체품(작업발판) 모델의 1차 시제품의 크기는 작업 단계에서 기존 제품과 차이가 없이 동일한 작업이 가능함을 확인하였으며, 보관 시에는 기존 제품과 비교하여 보관 높이, 폭 및 너비 등이 개선되어 휴대, 이동(차량 적재) 및 보관에 대한 성능이 개선되었음을 함께 확인하였다. 이와 함께, 작업자의 승·하강 및 작업발판 탑승시에도 이상이 없음을 확인하였다.

현재 개발된 1차 시제품에 대해서 향후 진행될 전문가 자문회의와 중간평가를 통하여 개선 의견들을 충분히 수렴하고, 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 수정 및 보완을 실시할 예정이다. 이후, 3차원 유한요소해석 프로그램을 이용한 구조 안전성 검토, 현장 적용성 검증 및 인증기준에 따른 성능시험 등을 실시하여 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발을 완료하고, 최종 완성품에 대한 사용자 매뉴얼을 함께 개발할 예정이다.

V. 결론

.....

V. 결론

본 연구는 이동식 사다리 작업의 현장 실태조사를 통해 관련 작업의 위험요인과 문제점을 파악하고, 이들 결과를 활용하여 현장 활용성과 안전성이 확보된 이동식사다리 대체품(작업발판)을 개발하는 것을 목적으로 수행되었다. 본 연구에서는 국내·외 자료 및 문헌조사를 통하여 이동식 사다리 관련 법령, 기준, 지침 및 인증제도 등을 종합적으로 분석하고, 국내·외의 이동식 사다리 제품군 및 대체품의 개발 및 사용현황을 파악하였으며, 이동식 사다리 관련 재해현황 분석과 사고 예방대책 연구 사례 등을 함께 조사하였다. 또한, 이동식 사다리의 사용목적, 사용장소, 위험요인, 안전조치 방법, 제도적 개선 방안 또는 대체품 개발 방향 등 이동식 사다리 작업에 대한 현장 실태조사를 실시하였다. 그리고, 선행연구 및 문헌고찰과 현장 실태조사 결과를 반영하고, 관련 건설기준에서 규정하고 있는 설계하중과 성능기준을 정의하고 제작사양을 도출하여 본 연구의 최종 목표라고 할 수 있는 휴대성, 작업성, 안전성 등이 확보되고 현행 법규정에도 부합하는 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 개발하였다. 개발된 이동식 사다리 대체품(작업발판)에 대해서 유한요소해석 프로그램을 이용한 3차원 구조해석과 인증기준에 따른 성능시험을 실시하고 최종적으로 현장설치를 통하여 안전성 및 적용성을 검증하였다. 본 연구의 결과를 항목별로 요약하면 다음과 같다.

○ 문헌고찰을 통해 이동식 사다리 작업 관련 산업재해 현황을 분석한 결과, 이동식 사다리가 사고사망 기인물 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 이중 약 61%가 건설업 및 설비업 등에서 발생하였다. 그리고, 사고발생 유형은 이동식 사다리의 전도와 사다리에서의 추락이 대부분을 차지하였다.

○ 이동식 사다리 작업의 안전 및 사고 예방을 위한 안전작업지침 개선방안을 포함한 법령, 규정, 기준 및 가이드라인과 사고예방대책 관련 선행연구 등을 분석하고, 이동식 사다리 제품 및 대체품 현황을 조사하였다.

○ 이동식 사다리 작업과 관련한 현장 실태조사를 위하여 건설업, 제조업 및 서비스업에 종사하는 작업자 및 관리자들을 대상으로 일반사항, 안전작업지침 개선방안, 이동식 사다리의 현장 작업 실태 및 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 방향 등 4가지 항목에 대한 설문조사를 실시하였고, 이와 함께 현장 또는 작업장 방문을 통한 관계자 면담 및 현장조사를 실시하였으며, 이 결과를 활용하여 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 및 사용자 매뉴얼 개발에 활용하였다.

○ 현장실태조사와 현장 실무자 면담을 통하여 사다리 작업 시 발생하는 안전사고를 근원적으로 예방할 수 있는 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 단일 높이와 높이 조절이 가능한 신축형으로 각각 개발하였으며, 개발된 대체품(작업발판)에 대해서 구조해석, 실물 인증시험 및 현장설치 등을 통하여 안전성, 신뢰성 및 적용성을 검증하였다.

이상의 연구결과로부터 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

○ 이동식 사다리 작업과 관련된 법령과 기준 및 안전작업지침 등이 현장의 작업 실태 및 산업재해 예방을 위한 연구결과를 적극적으로 반영하지 못하고 있으므로, 이에 대한 개선 또는 보완이 필요하다.

○ 이동식 사다리를 사용하는 작업자의 전도 및 추락사고를 근원적으로 예방하고 현장 작업실태에 적합한 휴대성과 작업성을 확보할 수 있도록 경량이며 상부 작업발판에서 작업자의 추락과 전도를 방지할 수 있는 안전성이 확보된 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개발이 필요하다.

본 연구에 수행된 연구내용 및 결과는 다음과 같이 활용할 수 있을것으로 기대된다.

○ 본 연구과제를 통하여 도출된 연구결과들은 향후 산업안전보건법 및 산업안전보건기준 등에 반영하여 법령, 규칙 및 기준을 개정 또는 제정할 때 중요한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

○ 국내 현장의 작업 특성 및 환경을 반영하여 개발한 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 향후 소규모 사업장 지원사업 등에 도입할 수 있을 것으로 기대된다.

○ 본 연구에서 개발한 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 이동식 사다리와 관련된 안전인증제도 마련을 위한 정책의 중요한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국가기술표준원고시 제2019-0391호. 공급자 적합성 확인기준 휴대용 사다리
부속서 13, 국가기술표준원
- 고용노동부 (2017). 산업재해현황분석
- 고용노동부 (2018). 산업재해발생현황
- 고용노동 (2019) 이동식사다리 안전작업지침 개선방안
- 강성식, 서용운(2018). 재해분석을 위한 텍스트마이닝과 SOM기반 위험요인
지도 개발
- 강성식, 장성록, 이종빈, 서용운(2021). 자연어 처리 기법을 활용한 산업재해
위험요인 구조화
- 김대영, 임형철, 정지현(2019). 이동식 사다리 안전작업기준 및 안전모델 제시에
관한 연구. 산업안전보건연구원
- 김범수, 장성록, 서용운(2018). 사고보고문서를 이용한 텍스트 기반 사고발생
유형 및 관계 분석
- 김형석, 이석원, 정원제, 류보혁 (2009). 이동식 사다리를 중심으로 한 제조업
에서의 추락재해 예방대책 연구. 한국안전학회지, 24(6), 136-143.
- 박용규 (2014). 건설기계로 인한 재해특성 분석을 통한 예방 방안. 대한안전
경영과학회지, 16(3), 71-79.
- 박종근 (2012). 플랜트 건설공사의 안전관리 정보시스템 개발. 대한안전경영
과학회지. 14(4), 23-29.

- 송광호, 김유성(2017). 단어 동시출현관계로 구축한 계층적 그래프 모델을 활용한 자동 키워드 추출 방법
- 송창섭, 권영희, 김동령, 강경식 (2013). 건설현장 사다리에서 추락재해 예방을 위한 개선방안. 대한안전경영과학회 춘계학술대회, 225-234.
- 심현황, 강경식(2017). 산업현장 사다리 관련 사망재해 분석 및 추락재해 예방대책에 관한 연구. 대한안전경영과학회
- 신명우, 서용운(2019). 유해화학물질의 시각적 안전관리를 위한 MSDS 지도 개발
- 안길승, 서민지, 허선(2017). 효과적인 산업재해 분석을 위한 텍스트마이닝 기반의 사고 분류 모형과 온톨로지 개발
- 황종문, 신성우(2020). 이동식 사다리 추락 재해 예방을 위한 안전 제도의 문제점과 개선 과제
- 황종문, 신성우(2021). 동시 출현 기반 키워드 네트워크 기법을 이용한 이동식 사다리 추락 재해 위험 요인 연관 구조 모델링
- 안전보건공단 (2014). 말비계 안전기준 개정에 관한 연구. 안전보건공단 산업안전보건연구원
- 이상욱, 권순준, 이영섭 (2015). 이동통신 기지국 공사의 위험요인 분석에 관한 연구. 대한안전학회지. 30(5), 44-51.
- 이수상(2014). 언어 네트워크 분석 방법을 활용한 학술논문의 내용분석
- 정세균, 이석원, 류보혁, 정원제, 박재석(2008). 소규모 건설현장의 추락재해 예방을 위한 안전모델 연구. 산업안전보건연구원
- 최돈홍, 최진우, 신운철 (2012). 건설업 지붕작업의 재해분석 및 실태조사. 한국안전학회지. 27(5), 111-116.

한국산업안전보건공단 (2008). 추락재해 현황 및 사다리 안전대책, 안전보건 정보 2008년 5월.

한국산업안전보건공단 (2008). 사다리 안전작업 지침, KOSHA CODE C-35 -2008,

한국산업안전보건공단 (2008). 소규모 건설현장의 추락재해예방을 위한 안전 모델 연구

영국 안전보건청(HSE)의 사다리 사용기준 : <http://www.hse.gov.uk>

ANSI (2007). ASC A14.1-2007, Portable Wood Ladder Safety Requirements

ANSI (2007). ASC A14.2-2007, Portable Metal Ladder Safety Requirements

American ladder institute (2008). Fixed Ladders (A14.3).

ANSI (2007). ASC A14.5-2007, Portable Reinforced Plastic Ladder Safety Requirements

ANSI (2011). ASC A14.7- 2011, Safety Requirements for Mobile Ladder Stands and Mobile Ladder Stand Platforms Centers for Disease Control and Prevention / NIOSH Ladder Safety App

American ladder institute (2011). Rolling Ladders (A14.7).

American ladder institute (2013). Requirements for Ladder Accessories (A14.8).

American ladder institute (2017). Reinforced Plastic Ladders (A14.5).

- American ladder institute (2018). Job Made Ladders. (A14.4).
- American ladder institute (2018). Disappearing Attic Stairways (A14.9).
- Health and Safety ExecutIVe (2014). Safe use of ladders and stepladders, A brief guide. 1-7.
- Huang X and Hinze J (2003). Analysis of construction worker fall accidents. Journal of Construction Engineering and Management. 129(3), 262-271.
- JIS, JIS S 1121(Aluminum Ladder and Stepladder)
- OSHA (2003). Stairways and Ladders A Guide to OSHA Rules. 3124-12R 2003.
- OSHA (2013). Ladder Safety: Reducing Falls in Construction: Safe Use of Extension Ladders Fact Sheet New. OSHA FS-3660 - 2013
- OSHA(2014). Safe Use of Tripod Orchard Ladders.
- OSHA (2014). OSHA offers safety tips for using tripod orchard ladders.
- OSHA (2016). OSHA's Final Rule to Update, Align, and Provide Greater Flexibility in its General Industry Walking Working Surfaces and Fall Protection Standards.
- OSHA (2018). Falling off ladders can kill: use them safely. OSHA 3625-04R.
- OSHA (2018). Six guidelines for ladder safety.
- OSHA. 29 CFR 1910.23, Ladders

- OSHA. 29 CFR 1910.28, Duty to have fall protection and falling object protection
- OSHA. 29 CFR 1910.29 Fall protection systems and falling object protection-criteria and practices.
- Partridge RA., Virk AS., Antosia RE (1998). Causes and patterns of injury from ladder falls. Academic emergency medicine. 5(1), 31-34.
- Piner E., Beschorner K (2017). Effects of ladder climbing patterns on fall severity. Proceeding of the Human Factors and Ergonomics Society. 940-944.
- UK (2017). EN131 Standards : A GUIDE TO UK LADDER STANDARDS
- Work safe (2017). Safe working with ladders and stepladders.
- Washington State Department of Labor & Industries (2016). Ladder safety guide, A reference guide to safe ladder use and best practices for preventing accidents.

Abstract

A Study on the Development of a Portable Ladder Alternative (Working Platform) through Field Investigation of Ladder Work.

Objectives :

Portable ladders are widely used for industrial and home as a path for moving to a working position and a work platform in high places because they can transport people despite their high risk. In the rules on occupational safety and health standards, a Portable ladders can be used only as a passage, but the mobile ladder safety work guidelines allow some use as a work platform. Portable ladders are mainly used to replace working scaffolds in dangerous places where it is difficult to install working scaffolds, such as narrow or high places, and industrial accidents continue to occur due to risk factors such as structural instability. In the past 3 years, 143 people died in accidents related to Portable ladders, and 106 people died in construction and facility management, 17 people in the manufacturing industry, and 20 others. Therefore, it can be said that the risk of an accident is high in the work using the Portable ladders. According to the analysis of the cause of the accident, it can be seen that the accident occurs due to the use of a damaged ladder or fall prevention or slip prevention equipment while forcibly using a Portable ladders for a place where it is difficult

to install a work platform or for quick work. Therefore, it is necessary to identify the risk factors and problems of the related work through the actual condition survey of the mobile ladder work, and to develop a Portable ladders replacement product (working platform) with usability and safety secured.

Method :

The research method for the development of a alternative portable ladder(working platform) and user manuals through field investigation of ladder work is as follows. First, domestic and foreign prior research and literature review on laws, safety work guidelines, safety work standards, and safety certification systems related to portable ladder work are conducted. Next, a survey on the development and use of portable ladder product groups and alternatives, as well as field surveys on the purpose of use of portable ladders, locations of use, risk factors, safety measures and directions for the development of alternative products for workers in the construction, manufacturing and service industries are conducted. Lastly, we develop a portable ladder replacement that can secure portability, workability and safety at the same time reflecting the research results such as the actual situation investigation results and risk factor analysis, and perform performance tests such as structural analysis, product certification, and field application to verify safety.

Results :

As a result of analyzing the previous research related to portable ladder work and investigating the current status of industrial accidents,

it was found that the portable ladder was the highest cause of accidental death among the equipment, and about 61% of them occurred in the construction and equipment industries. In addition, the most common types of accidents were the fall of the portable ladder and the fall from the ladder. For field surveys related to portable ladder work, general rules, safety work guidelines improvement plans, field work conditions for portable ladders, and the development direction of portable ladder alternative(working platform) for workers and managers in construction, manufacturing, and service industries, etc. This result was utilized to develop a portable ladder alternative (working platform) and user manual. Through field survey, a portable ladder replacement product(working platform) that can fundamentally prevent safety accidents that occurs during ladder work was developed as a single height and adjustable height extension type, respectively. And, structural analysis, prototype certification test, and field installation were performed on the developed alternative portable ladder(working platform) to verify safety, reliability and applicability.

Conclusion :

Through this study, we developed an alternative that can fundamentally prevent falls and fall accidents for workers who use portable ladders for work in high places, and secure portability and convenience of work suitable for field work conditions at the same time. The portable ladder alternative(working platform) developed through this study can reduce industrial accidents that occur during portable ladder work in many sites, and the effect of reducing industrial accident compensation costs can be expected.

Key words :

Fall accident, Overturning, Portable ladder(alternative), Safety, Working platform

부록

부록 1: 이동식 사다리 작업의 현장 실태조사를 위한 설문지

이동식 사다리 작업 실태조사 및 대체품(작업발판) 개발을 위한 설문지

안녕하십니까?

본 설문지는 2022년 산업안전보건연구원 위탁연구용역인 “이동식 사다리 작업 실태조사를 통한 대체품(작업발판) 개발” 연구과제의 일부로서, 2019년 3월에 시행된 이동식 사다리 안전작업지침 개선 방안에 대한 현장 실무자들의 의견 수렴과 작업실태 파악을 통한 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 개발하기 위한 목적으로 실시되는 것입니다.

설문내용 및 응답자에 대한 모든 항목은 통계법 제33조에 의거하여 철저히 보장되며, 수집된 설문지의 내용은 통계분석 및 연구개발을 위한 목적으로만 이용될 것을 약속드립니다. 아울러 귀하께서 답해주신 내용은 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발을 위한 소중한 자료로 활용되도록 최선을 다하겠습니다. 감사합니다.

위탁연구용역 책임자: 전남대학교 교수 이기열 [REDACTED]

본 연구에 대한 참여는 자유이며, 연구에 참여하지 않아도 이에 대한 불이익은 전혀 없습니다. 귀하께서 참여하신 설문조사 결과의 활용에 동의하십니까?

☐ 동의합니다.

I 현장(작업장) 및 설문 응답자 현황

현장(작업장) 현황	
업종 (대분류)	<input type="checkbox"/> 건설업 <input type="checkbox"/> 제조업 <input type="checkbox"/> 서비스업
업종 (중분류)	- 건설업: <input type="checkbox"/> 토목공사 <input type="checkbox"/> 건축공사 <input type="checkbox"/> 조경공사 <input type="checkbox"/> 기타(직접기재: _____) - 제조업: <input type="checkbox"/> 기계/금속 <input type="checkbox"/> 전기/전자 <input type="checkbox"/> 화학물질/제품 <input type="checkbox"/> 식음료 <input type="checkbox"/> 기타(직접기재: _____) - 서비스업: <input type="checkbox"/> 전기통신공사업 <input type="checkbox"/> 소방공사업 <input type="checkbox"/> 판매/전시 <input type="checkbox"/> 기타(직접기재: _____)
작업장(현장) 규모	- 작업인원: <input type="checkbox"/> 100명 이상 <input type="checkbox"/> 50명 ~ 100명 <input type="checkbox"/> 10명 ~ 50명 <input type="checkbox"/> 10명 미만 - 연매출액(현장 공사비): <input type="checkbox"/> 100억원 이상 <input type="checkbox"/> 50억원 ~ 100억원 <input type="checkbox"/> 10억원 ~ 50억원 <input type="checkbox"/> 10억원 미만
안전관리자 현황	<input type="checkbox"/> 안전관리자 선임 <input type="checkbox"/> 현장대리인(소장)이 수행 <input type="checkbox"/> 재해예방기관 위탁 <input type="checkbox"/> 없음
응답자 현황	
직위	<input type="checkbox"/> 사원/대리 <input type="checkbox"/> 주임/과장 <input type="checkbox"/> 차장/부장 <input type="checkbox"/> 임원 <input type="checkbox"/> 대표
근무 경력	<input type="checkbox"/> 3년 미만 <input type="checkbox"/> 5년 미만 <input type="checkbox"/> 10년 미만 <input type="checkbox"/> 15년 미만 <input type="checkbox"/> 20년 미만 <input type="checkbox"/> 20년 이상
업무 구분	<input type="checkbox"/> 작업(종사)자 <input type="checkbox"/> 안전관리(실무)자 <input type="checkbox"/> 현장관리자(소장, 팀장, 매니저 등)

II

이동식 사다리 안전작업지침 개선 방안에 대한 의견 수렴



[이동식 사다리 안전작업지침 개선 방안(2019년 3월 18일) 요약]

기본방향	종류	사용금지 여부	예외기준		준수사항
사다리 사용금지	보통(일자형) 및 신축형 사다리	사용금지	이동시업무	사용가능	안전모 및 안전대
			업무 시 멈춤	사용금지	
	A형 사다리	높이 3.5m 초과 사용금지			
		일부허용	경작업/비계 및 고소작업대 설치 불가 장소	높이 2m 미만	2인 1조 및 안전모
높이 3.5m 미만	2인 1조, 안전모 및 안전대				

Q1. 안전작업지침 상 고소작업 시 보통(일자형) 및 신축형 사다리의 사용이 금지되어있는 것을 아는가?

- ① 예 (Q1-1로 이동)
- ② 아니요 (Q2로 이동)

Q1-1. 안전모 및 안전대를 착용하며 이동 시 업무에 사용한다면 예외적으로 사용이 가능하다는 것을 아는가?

- ① 예
- ② 아니요

Q2. 높이 3.5m 초과 작업 시 A형 사다리 사용이 금지되어있는 것을 아는가?

- ① 예
- ② 아니요

Q3. 경작업/비계 및 고소작업대 설치 불가 장소에서 예외적으로 A형 사다리 사용이 허용되는 것을 아는가?

- ① 예 (Q3-1로 이동)
- ② 아니요 (Q4로 이동)

Q3-1. 경작업/비계 및 고소작업대 설치 불가 장소에서 높이 2m 미만 작업 시 안전모 착용 및 2인 1조로 작업한다면 A형 사다리 사용이 허용되는 것을 아는가?

- ① 예
- ② 아니요

Q3-2. 경작업/비계 및 고소작업대 설치 불가 장소에서 높이 3.5m 미만 작업 시 안전모, 안전대 착용 및 2인 1조로 작업한다면 A형 사다리 사용이 허용되는 것을 아는가?

- ① 예
- ② 아니요

Q4. 상기 안전작업지침을 준수하여 현장에서 작업이 가능하다고 생각하는가?

- ① 예 (설문 Ⅲ으로 이동)
- ② 아니요 (Q 4-1로 이동)

Q4-1. 보통 및 신축형 사다리 예외기준에 따른 준수사항 중 현장에 적용하기 어려운 사항은? (중복선택 가능)

- ① 승강용 통로로만 사용(작업 불가)
- ② 안전모 착용
- ③ 안전대 설치

Q4-2. 높이 2m 미만 A형 사다리 예외기준에 따른 준수사항 중 현장에 적용하기 어려운 사항은? (중복선택 가능)

- ① 2인 1조 작업
- ② 안전모 착용

Q4-3. 높이 3.5m 미만 A형 사다리 예외기준에 따른 준수사항 중 현장에 적용하기 어려운 사항은? (중복선택 가능)

- ① 2인 1조 작업
- ② 안전모 착용
- ③ 안전대 설치

Ⅲ

이동식 사다리 작업 실태

Q1. 이동식 사다리의 최상부 발판에서 작업을 수행하는가?

- ① 예 (Q1-1.로)

② 아니요 (Q2.로)

Q1-1. 이동식 사다리의 최상부 발판에서 작업하는 이유는?

- ① 이동식 사다리를 사용하면 작업이 편해서 (Q1-2.로)
- ② 이동식 사다리의 대체품이 없어서 (Q2.로)

기타 의견: _____

Q1-2. 이동식 사다리의 최상부 발판 작업이 편하다고 생각하는 이유는?

- ① 설치/해체가 간편해서
- ② 작업시간을 단축할 수 있어서
- ③ 1인 작업 시 편해서

Q2. 이동식 사다리(말비계 포함)의 사용 목적은?

- ① 이동용(승강용 통로)
- ② 작업용(부착물 설치, 전등 교체, 유지보수, 진열 등)

Q3. 1일 작업을 기준으로 이동식 사다리(말비계 포함)의 사용 횟수는?

- ① 3회 미만
- ② 3회 이상 ~ 5회 미만
- ③ 5회 이상 ~ 10회 미만
- ④ 10회 이상

Q4. 작업 현장에서 이동식 사다리(말비계 포함)를 주로 사용하는 장소는 안전한가?

- ① 예 (Q5.로)
- ② 아니요 (Q4-1.로)

Q4-1. 이동식 사다리(말비계 포함)를 주로 사용하는 장소는?

- ① 경사가 있는 장소
- ② 경사가 있고 바닥이 평탄하지 않은 장소
- ③ 경사가 없지만 바닥이 평탄하지 않은 장소

Q5. 이동식 사다리(말비계 포함)를 주로 사용하는 작업 높이는? (중복 선택 가능)

- ① 1.2m 미만
- ② 1.2m 이상 ~ 2.0m 미만
- ③ 2.0m 이상 ~ 3.0m 미만
- ④ 3.0m 이상 ~ 4.0m 미만
- ⑤ 4.0m 이상 ~ 5.0m 미만
- ⑥ 5.0m 이상

Q6. 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 인원은?

- ① 1인
- ② 2인 이상

Q7. 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용한 작업 시 안전 대책(장비)는? (중복 선택 가능)

- ① 안전모
- ② 안전대
- ③ 별도의 안전대책(장비) 없음

Q8. 이동식 사다리(말비계 포함)를 사용 시 작업도구(작업대상물)의 평균 중량은?

- ① 5kg 미만
- ② 5kg 이상 ~ 10kg 미만
- ③ 10kg 이상 ~ 15kg 미만
- ④ 15kg 이상

Q9. 이동식 사다리 작업 시 사고 경험이 있는가? (직접경험/간접경험 모두 포함)







- ① 예 (Q9-1.로)
- ② 아니요

Q9-1. 이동식 사다리(말비계 포함) 작업 시 사고원인(위험요인)은?

- ① 손가락 끼임
 - ② 이동식 사다리의 전도
 - ③ 이동식 사다리에서 추락
 - ④ 이동식 사다리 이동 시 부딪힘
 - ⑤ 이동식 사다리에서 작업 중 도구(작업물) 떨어트림
- 기타 요인: _____

Q10. 그림과 같은 시판중인 플랫폼 사다리(말비계 안전발판 사다리)의 중량이 이동(휴대) 및 작업에 적절하다고 생각하는가?

- ① 모두 적합
- ② 일부만 적합 (적합한 단수 또는 중량: _____)
- ③ 모두 부적합

사다리 높이	발판높이 (H1)	1.30 ~ 1.58m (5단)	1.58 ~ 2.15m (6단)	1.85 ~ 2.69m (7단)	2.14 ~ 3.26m (8단)	2.42 ~ 3.80m (9단)	2.71 ~ 4.27m (10단)
	보관높이 (H2)	2.54m	2.84m	3.14m	3.44m	3.74m	4.04m
사다리 사진							
사다리 무게		29kg	32kg	35kg	39kg	42kg	45kg

IV

이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 방향

■ 이동식 사다리 대체품(작업발판)



[이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시안]

Q1. 상기 그림(개발 시안)과 같은 이동식 사다리의 대체품이 있다면 사용할 것인가?

- ① 예 (Q2-1.로)
② 아니요 (Q2-2.로)

Q2-1. 대체품이 기존 이동식 사다리보다 우수하다고 생각되는 항목의 순위는?

- () 이동식 사다리 작업 시 안전성
() 이동식 사다리의 휴대성(경량화)
() 이동식 사다리 작업을 위한 설치 편의성(간편성)
() 이동식 사다리 작업의 효율을 위한 길이 조절
() 이동식 사다리 구입 가격

기타 의견: _____

Q2-2. 대체품이 기존 이동식 사다리보다 우수하지 않다고 생각되는 항목의 순위는?

- () 이동식 사다리 작업 시 안전성
() 이동식 사다리의 휴대성(경량화)
() 이동식 사다리 작업을 위한 설치 편의성(간편성)
() 이동식 사다리 작업의 효율을 위한 길이 조절
() 이동식 사다리 구입 가격

기타 의견: _____

Q3. 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 어느 정도 높이까지 개발이 필요하다고 생각하는가?

- ① 1.2m 미만
- ② 1.2m 이상 ~ 2.0m 미만
- ③ 2.0m 이상 ~ 3.0m 미만
- ④ 3.0m 이상 ~ 4.0m 미만
- ⑤ 4.0m 이상 ~ 5.0m 미만
- ⑥ 5.0m 이상

Q4. 작업자 1인 운반(이동)을 기준으로, 이동식 사다리 대체품(5단 작업발판)은 어느 정도의 중량이 적정하다고 생각하는가?

- ① 15kg 미만
- ② 15kg 이상 ~ 20kg 미만
- ③ 20kg 이상 ~ 25kg 미만
- ④ 25kg 이상 ~ 30kg 미만
- ⑤ 30kg 이상 ~ 35kg 미만
- ⑥ 35kg 이상

Q5. 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시, 사다리의 경량화와 길이 조절 중 어느 것이 우선되어야 한다고 생각하는가?

- ① 사다리 무게의 경량화
- ② 사다리 길이 조절
- ③ 경량화 및 길이 조절 모두

Q6. 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시 적용되었으면 하는 구성품은? (3가지 선택)

- ① 길이조절 아웃트리거
- ② 각도조절 아웃트리거
- ③ 이동용 바퀴
- ④ 작업도구(공구) 보관함
- ⑤ 사다리를 오를 때 사용할 손잡이

기타 의견: _____

Q7. 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시, 사다리를 오를 때 사용할 손잡이의 설치가 필요하다고 생각하는가?

- ① 반드시 필요함
- ② 설치하면 편리하지만 반드시 필요하지 않음
- ③ 불필요함

기타 의견: _____

Q8. 이동식 사다리 대체품(작업발판) 개발 시, 길이조절(신축) 기능을 없애고 단일 높이(예: 1.2m, 2m, 3.5m 등)의 제품으로 개발하는 것에 대한 의견은?

- ① 찬성
- ② 반대(이유: _____)

◎ 설문에 응답해 주셔서 감사합니다 ◎

부록 2: 이동식 사다리 대체품(작업발판) 사용자 평가 설문지

이동식 사다리 대체품(작업발판) 사용자 평가

최근 5년간 사다리 사고사망자 178명 중 대부분인 93%(165명)가 이동식 사다리에서 발생하였습니다. 특히, 고소 부위 등 위험한 장소에서 작업발판을 대체하여 사용하는데 따른 사고의 위험이 매우 높습니다. 이와 같이 협소하거나 고소 부위 등 위험한 장소에서 이동식 사다리 사용에 따른 산업재해 예방을 위하여 산업안전보건연구원에서는 현장 활용성과 안전성이 확보된 이동식 사다리 대체품(작업발판)을 개발하기 위한 연구를 수행하고 있으며, 본 평가지는 개발 시제품에 대한 사용자 평가 및 의견수렴을 위한 것입니다.

응답자 현황

근무 업종	<input type="checkbox"/> 건설업 <input type="checkbox"/> 제조업 <input type="checkbox"/> 서비스업 <input type="checkbox"/> 기타 ()
근무 경력	<input type="checkbox"/> 5년 미만 <input type="checkbox"/> 10년 미만 <input type="checkbox"/> 15년 미만 <input type="checkbox"/> 20년 미만 <input type="checkbox"/> 20년 이상
업무 구분	<input type="checkbox"/> 작업자 <input type="checkbox"/> 안전관리자 <input type="checkbox"/> 관리(감독)자 <input type="checkbox"/> 기타 ()

이동식 사다리 대체품(작업발판) 사용자 평가



높이조절형 이동식 사다리 대체품(작업발판)

- ※ 주요 제원
- 무게: 19kg (아웃트리거 제외시)
 - 보관 높이: 1.9m (폭 0.3m)
 - -1톤 트럭(5인승 밴) 적재 및 승객용 엘리베이터 탑승 가능
 - 작업발판 높이: 1.2~2.2m (5~8단)
 - 능동형 아웃트리거* 채택
 - 승·하강용 홀(hole) 형성

- ※ 능동형 아웃트리거의 특징
- 협소, 단차, 굴곡, 장애물이 있는 불규칙한 지형에도 설치 가능



기존 높이조절형 LS사다리

- ※ 주요 제원
- 무게: 17.9kg (아웃트리거 제외시)
 - 보관 높이: 1.7m (폭 0.2m)

※ 평가지 왼쪽에 있는 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 제원 및 특징을 자세히 읽으신 후, 아래의 질문에 응답해 주십시오.

- 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 다양한 바닥 지지조건에서도 설치할 수 있는 **확장성**이 개선되었다고 생각하십니까?
☐ 양호 ☐ 보통 ☐ 미흡
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 현장에서 **작업자 1인이 운반 및 설치할 수 있는 휴대성**이 개선되었다고 생각하십니까?
☐ 양호 ☐ 보통 ☐ 미흡
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 **1톤 트럭(5인승 밴) 및 승객용 엘리베이터 탑승이 가능한 운반성**이 개선되었다고 생각하십니까?
☐ 양호 ☐ 보통 ☐ 미흡
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 기존 사다리와 비교하여 **상부 작업 시 전도에 대한 안정성**이 개선되었다고 생각하십니까?
☐ 양호 ☐ 보통 ☐ 미흡
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 기존 사다리와 비교하여 **상부 작업 시 추락에 대한 안전성**이 개선되었다고 생각하십니까?
☐ 양호 ☐ 보통 ☐ 미흡
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)은 기존 사다리와 비교하여 **작업 위치로의 승·하강 편리성**이 개선되었다고 생각하십니까?
☐ 양호 ☐ 보통 ☐ 미흡
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 주요 특징중에서 **우수하다고 생각되는 항목**을 모두 선택해 주세요. (복수 응답 가능)
☐ 무게(19kg) ☐ 보관 높이(1.9m) ☐ 높이 조절(1.2~2.2m)
☐ 능동형 아웃트리거 ☐ 승하강 손잡이 ☐ 고소(상부) 작업 안전성
- 이동식 사다리 대체품(작업발판)의 개선을 위한 추가 의견
()

설문에 참여해 주셔서 감사합니다. - 산업안전보건연구원 -

연구진

연구기관: 산업안전보건연구원(자체)

전남대학교 산학협력단(위탁)

연구책임자(자체): 황종문 (연구위원, 산업안전연구실)

연구책임자(위탁): 이기열 (교수, 전남대학교)

참여연구원: 이경선 (교수, 강원대학교)

참여연구원: 전두성 (대표, (주)은진산업)

연구보조원: 박세영 (석사과정, 전남대학교)

연구보조원: 박용민 (학사과정, 강원대학교)

연구보조원: 최시영 (학사과정, 강원대학교)

연구보조원: 추지원 (학사과정, 강원대학교)

연구기간

2022. 1. 7. ~ 2022. 11. 30.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

**이동식 사다리 작업의 위험요인 분석 및 대체품(작업발판)
개발에 관한 연구
(2022-산업안전보건연구원-876)**

발 행 일 : 2022년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구실 연구위원 황종문(자체)

연구책임자 : 전남대학교 이기열 교수(위탁)

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-703-0842

팩 스 : 052-703-0334

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92782-71-3

공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체