

연구보고서

스마트팩토리 안전보건수준 파악 연구

변정환·문병두·전소영

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- 연구기간 2021년 2월 ~ 2021년 11월
- 핵심단어 정부지원, 스마트팩토리, 안전보건수준, 실태파악
- 연구과제명 스마트팩토리 안전보건수준 파악 연구

1. 연구배경

- 최근 국내 스마트팩토리는 정부의 적극적인 도입과 지원정책에 따라서 중견기업과 대기업을 중심으로 빠르게 구축·확산되고 있지만 생산 체계와 효율성 중심으로만 추진되고 있어 스마트팩토리의 유해·위험성에 대한 고려가 되지 않고 있음
- 따라서 기계·설비의 자동화 및 공장의 스마트화로 인해 발생할 수 있는 유해·위험요인에 대한 적절한 관리방안과 실효성 있는 안전보건 대책을 제시하기 위하여 우선적으로 국내 스마트팩토리 구축 사업장의 안전보건 수준을 파악이 필요함
- 이에 스마트팩토리 구축 사업장의 공정특성을 조사하여 유해·위험요인 및 안전보건 조치실태 파악을 통하여 향후 스마트팩토리 안전보건수준 향상을 위한 개선방안 도출 및 후행연구에 활용하고자 함

2. 주요 연구내용

○ 스마트팩토리 도입 및 산업재해 현황

- 2014년부터 2020년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장은 19,799개소로 2018년 이후부터는 가파른 성장세를 보이면서 매년 지속적으로 성장하고 있으며, 구축 수준별 도입현황은 기초단계가 72.0%, 중간단계가 20.5%, 중간2단계가 1.6%임
- 그리고 최근 3년간 정부지원 스마트팩토리 사업장의 산업재해 발생현황은 15인 미만 사업장에서는 전체산업 평균보다 사고사망만인율과 재해율이 각각 높음
- 업종별로는 목재및종이제품제조업, 출판·인쇄·제본또는인쇄물가공업, 의약품·화장품·연탄·석유제품제조업 및 전기기계기구·정밀기구·전자제품 제조업의 사고사망만인율이 평균보다 높고 재해율은 식품료품제조업을 제외하고는 평균보다 낮음

○ 스마트팩토리 사업장의 공정특성 확인 및 안전성 평가

- 정부지원 사업장의 스마트팩토리 구축 비율은 10% 미만으로, 구축 시스템 대부분이 전사적 자원관리(Enterprise Resource Planning) 시스템 또는 제조실행 시스템(Manufacturing Execution System)이고 일부 사업장·공정에 한하여 자동화 제어(Programmable Logic Controller) 시스템이 구축되어 있으므로 동일 업종·규모의 일반 사업장과 차별성은 거의 없음
- 스마트팩토리 공정은 산업용로봇 및 컨베이어 등의 자동화 설비가 프레스, 사출성형기 등의 생산설비와 조합으로 설치·운영되고 있어 대형화, 복잡화, 집적화 및 고도화로 인한 위험이 내재화·구조화되어 있음

- 정상운전에서보다 정비, 유지·보수 등의 비정형작업에서 위험성평가, 작업 시작 전 점검 및 잠금장치 및 표지판(Lock-Out, Tag-Out) 등의 안전 조치가 미흡하였으며, 기계류의 안전성 평가에서도 가드 요구사항, 정지성능, 제어시스템, 제어장치, 제어모드 및 방호장치 항목 순으로 취약하였음

○ 스마트팩토리 안전보건수준

- 스마트팩토리 주요 기계류(산업용로봇, 컨베이어 등)의 효율적인 위험성 감소를 위한 안전제어 시스템 미적용
- 스마트팩토리 주요 기계류의 근원적 안전성 확보를 위한 설계상의 대책 미흡
- 스마트팩토리 주요 기계류의 설치·사용현장에서 효율적인 위험성 감소를 위한 보호조치 및 방호조치 상태 미흡
- 사업장 규모별 평가에서도 100인 이상~300인 미만에서 50인 미만으로 갈수록 안전보건수준이 낮아지는 경향성을 보였음

○ 스마트팩토리 유해·위험요인 관련 안전보건조치 수준

- 스마트팩토리 사업장 대상 현장 확인조사를 통하여 도출된 스마트팩토리 유해·위험요인에 대응하는 안전보건 조치실태 확인
- 안전보건 조치실태 확인결과를 토대로 스마트팩토리 안전보건수준을 파악을 통하여 시사점 및 개선방안 제시

3. 연구 활용방안

- 산업용로봇의 생애주기별 안전성 확보를 위해 관련제도의 연속성을 유지하고자 현행 안전인증제도의 검토를 제안함
- 산업용로봇 생애주기별 안전성과 안전시스템에 대한 신뢰도를 향상하고자 후속연구로 산업용로봇 시스템의 안전성 향상 방안 연구과제를 제안함
- KOSHA GUIDE(스마트팩토리 안전시스템 평가에 관한 기술지침) 제정 및 첨단산업 대상 기획조사 점검 등 공단 사업추진에 활용
- 학술대회 발표 및 학술지 논문 게재를 통한 연구결과 환류

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 연구위원 변정환
 - ☎ 052) 7030. 843
 - bjh6918@kosha.or.kr

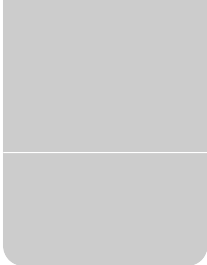
목 차

I. 서 론	1
1. 연구배경	3
2. 연구 목적	3
3. 연구 내용 및 방법	4
1) 연구내용	4
2) 연구방법	4
4. 선행연구	5
II. 스마트팩토리 관련 현황 및 재해	7
1. 스마트팩토리 일반현황	9
1) 스마트팩토리 정책	9
2) 스마트팩토리 구성	10
3) 스마트팩토리 정의	12
4) 스마트팩토리 솔루션	14
5) 스마트팩토리 특성	16
6) 스마트팩토리 차별성	18
7) 스마트팩토리 수준	20

목 차

2. 스마트팩토리 현재와 미래	22
1) 국내 스마트팩토리 도입 현황	22
2) 스마트팩토리 산업(시장) 전망	26
3. 스마트팩토리 관련 재해	37
1) 정부지원 스마트팩토리 현황	37
2) 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해	39
3) 자동화설비 보유 사업장 산업재해	45
4) 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장 산업재해	47
5) 정부지원 스마트팩토리 사업장의 산업재해 발생현황 비교	49
Ⅲ. 스마트팩토리 유해·위험요인 및 문제점	53
1. 스마트팩토리 사업장 평가	55
1) 개요	55
2) 대상	55
3) 선정	56
4) 내용	57
2. 스마트팩토리 유해·위험요인 및 문제점	59
1) 개요	59
2) 도출 절차 및 방법	60
3) 스마트팩토리 공정평가	61

3. 스마트팩토리 관련 개선필요 사항	74
4. 소결	81
IV. 스마트팩토리 안전보건수준	83
1. 산업재해 발생현황과의 비교	85
1) 주요 내용	85
2) 수준 평가	86
2. 공단 스마트팩토리 사업과의 비교	87
1) 주요 내용	87
2) 수준 평가	87
3. 안전보건수준 향상을 위한 개선방안 및 제언	89
1) 개선방안	89
2) 제언	96
4. 이해관계자 및 전문가 의견	98
V. 결론	99
참고문헌	107



목 차

Abstract	109
----------------	-----

부 록	111
-----------	-----

1. 스마트팩토리 기본 조사표	113
2. 스마트팩토리 안전보건수준 평가표	115
3. 스마트팩토리 안전시스템 평가에 관한 기술지침	121

표 목차

〈표 I-1〉 스마트팩토리 관련 선행연구	5
〈표 I-2〉 스마트팩토리 안전보건 관련 선행연구	6
〈표 II-1〉 스마트팩토리 정의	12
〈표 II-2〉 스마트팩토리 솔루션	14
〈표 II-3〉 스마트팩토리 특성	17
〈표 II-4〉 스마트팩토리 와 자동화공장의 비교	18
〈표 II-5〉 스마트팩토리 와 자동화공장의 생산시스템 비교	19
〈표 II-6〉 스마트팩토리 와 자동화공장의 환경 비교	19
〈표 II-7〉 스마트팩토리 구축 수준별 기능	20
〈표 II-8〉 스마트팩토리 수준별 정의	20
〈표 II-9〉 세계 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	26
〈표 II-10〉 세계 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망	27
〈표 II-11〉 세계 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망	28
〈표 II-12〉 국가별 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	29
〈표 II-13〉 대륙별 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	30
〈표 II-14〉 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	31
〈표 II-15〉 세계시장 대비 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	32
〈표 II-16〉 국내 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망	33
〈표 II-17〉 국내 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망	34
〈표 II-18〉 국내 스마트팩토리 솔루션별 시장 규모 및 전망	35
〈표 II-19〉 국내 스마트팩토리 장비·디바이스별 시장 규모 및 전망	36

표 목차

〈표 II-20〉 정부지원 스마트팩토리 사업장 업종 비율	38
〈표 III-1〉 스마트팩토리 관련 유해·위험요인	59
〈표 III-2〉 스마트팩토리 공정평가 실시 사업장 현황	61
〈표 III-3〉 공정평가 사업장의 스마트팩토리 구축 현황	62
〈표 III-4〉 스마트팩토리 공정 보유설비 현황	63
〈표 III-5〉 스마트팩토리 공정 작업자 현황	66
〈표 III-6〉 스마트팩토리 공정 비정형 작업 현황	67
〈표 III-7〉 스마트팩토리 공정 LOTO 실시 현황	68
〈표 III-8〉 스마트팩토리 공정 유해·위험인자 발생 현황	69
〈표 III-9〉 스마트팩토리 공정평가 결과표	70
〈표 III-10〉 스마트팩토리 공정평가 부적합 점수 집계표	73
〈표 III-11〉 스마트팩토리 공정 개선필요 사항	74
〈표 IV-1〉 이해관계자 및 전문가 의견 정리	98

그림목차

[그림 II-1] 스마트팩토리 정책 추진경과	9
[그림 II-2] 스마트팩토리 구성도	10
[그림 II-3] 스마트팩토리 구성요건	11
[그림 II-4] 스마트팩토리 특성	16
[그림 II-5] 스마트팩토리 수준별 성숙도 및 확산성 평가	21
[그림 II-6] 지역별 스마트팩토리 도입 현황	22
[그림 II-7] 연도별 스마트팩토리 도입 현황	23
[그림 II-8] 수분별 스마트팩토리 도입 현황	24
[그림 II-9] 솔루션별 스마트팩토리 도입 현황	25
[그림 II-10] 세계 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	26
[그림 II-11] 세계 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망	27
[그림 II-12] 세계 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망	28
[그림 II-13] 국가별 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망	29
[그림 II-14] 대륙별 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망	30
[그림 II-15] 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	31
[그림 II-16] 세계 시장 대비 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망	32
[그림 II-17] 국내 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망	33
[그림 II-18] 국내 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망	34
[그림 II-19] 국내 스마트팩토리 솔루션별 시장 규모 및 전망	35
[그림 II-20] 국내 스마트팩토리 장비·디바이스별 시장 규모 및 전망	36
[그림 II-21] 정부지원 스마트팩토리 사업장 규모별 현황	37

그림목차

[그림 II-22] 정부지원 스마트팩토리 사업장 업종별 현황	38
[그림 II-23] 정부지원 스마트팩토리 사업장 규모별 산업재해 발생현황	39
[그림 II-24] 정부지원 스마트팩토리 사업장 업종별 산업재해 발생현황	40
[그림 II-25] 2014년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황	41
[그림 II-26] 2015년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황	41
[그림 II-27] 2016년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황	42
[그림 II-28] 2017년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황	42
[그림 II-29] 2018년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황	43
[그림 II-30] 2019년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황	43
[그림 II-31] 업종별 근로자수 추이	44
[그림 II-32] 자동화설비 보유 사업장의 규모별 산업재해 발생현황	45
[그림 II-33] 자동화설비 보유 사업장의 업종별 산업재해 발생현황	46
[그림 II-34] 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장의 산업재해 발생현황	47
[그림 II-35] 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장의 규모별 산업재해 발생현황	48
[그림 II-36] 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장의 업종별 산업재해 발생현황	48
[그림 II-37] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 재해율 비교	49
[그림 II-38] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 사고사망만인율 비교	49
[그림 II-39] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 규모별 사고사망만인율 비교 ..	50
[그림 II-40] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 업종별 사고사망만인율 비교 ..	50

[그림 Ⅲ-1] 스마트팩토리 사업장 평가대상 구분	55
[그림 Ⅲ-2] 평가대상 선정 절차도	56
[그림 Ⅲ-3] 스마트팩토리 안전보건수준 평가표 구성	57
[그림 Ⅲ-4] 스마트팩토리 안전보건수준 평가표 개발 절차	58
[그림 Ⅲ-5] 스마트팩토리 유해·위험요인 도출 절차 및 방법	60
[그림 Ⅲ-6] 스마트팩토리 공정의 보유설비 배치 구조	65
[그림 Ⅲ-7] 스마트팩토리 평가항목별 적합율	71
[그림 Ⅳ-1] 스마트팩토리 관련 개선필요 주요 및 공통 사항	89
[그림 Ⅳ-2] 위험성 평가 및 감소를 위한 추진절차	92
[그림 Ⅳ-3] 제어시스템 안전관련 부품 설계절차	93
[그림 Ⅳ-4] 소프트웨어 안전 수명주기의 V-모델	94
[그림 Ⅳ-5] SRP/CS의 설계 부합화를 위한 확인 및 검증 절차	95

I. 서론

.....

I. 서론

1. 연구배경

- 최근 국내 스마트팩토리는 정부의 적극적인 도입 및 지원 정책에 따라서 중견기업과 대기업을 중심으로 빠르게 구축·확산되고 있지만 생산체계와 효율성 중심으로만 추진되고 있어 스마트팩토리에 따른 유해·위험성에 대한 고려가 되지 않고 있다.
- 따라서 기계·설비의 자동화 및 공장의 스마트화로 인해 발생할 수 있는 유해·위험요인에 대하여 적절한 관리 방안 및 실효성 있는 안전보건 대책을 제시하기 위해서는 우선적으로 국내 스마트팩토리 구축 사업장의 안전보건수준 파악이 필요하다.

2. 연구 목적

- 스마트팩토리 구축 사업장의 공정특성을 조사하여 유해·위험요인 및 안전 보건 조치실태 파악을 통하여 향후 스마트팩토리 안전보건수준 향상을 위한 개선방안 도출 및 후행연구에 활용하고자 한다.

3. 연구 내용 및 방법

1) 연구내용

- 국내·외 스마트팩토리 관련 선행연구
- 국내·외 스마트팩토리 기술수준·구축사례 및 재해발생 현황
- 스마트팩토리 구축 사업장의 설비, 규모, 작업 내용 및 절차
- 스마트팩토리 관련 유해·위험요인 및 문제점
- 스마트팩토리 유해·위험요인에 대응하는 안전보건조치 수준 파악

2) 연구방법

- 국내·외 스마트팩토리 관련 기술수준·구축사례 파악을 위한 문헌조사
- 국내 스마트팩토리 관련 산업재해통계 분석
- 정부지원 스마트팩토리 구축 사업장 대상 현장 확인조사
 - 업종별·규모별·수준별·지역별 등을 고려하여 선정
 - 스마트팩토리 공정 평가를 통한 유해·위험요인 파악 및 안전보건조치 수준 확인
- 이해관계자 의견 수렴 및 전문가 자문회의 실시

4. 선행연구

스마트팩토리 관련 국내·외 연구는 4차 산업혁명 발전, 스마트공장의 도입부터 보급·확산 그리고 성과분석 등 다양한 관점에서 다음 표 I-1과 같이 수행되었다.

〈표 I-1〉 스마트팩토리 관련 선행연구

과제명	내용
스마트팩토리 기술수용에 영향을 미치는 요인에 관한 연구	스마트팩토리 기술 도입에 영향을 미치는 요인과 영향정도에 대한 실증적 분석을 실시하고, 스마트팩토리 기술 수용도에 영향을 미치는 요인을 확인하고 요인별 매개영향을 확인하였음. 또한, 신기술 수용에 따른 인지된 위험의 영향 정도는 확인되지 않았지만 이에 대한 추가적 연구 필요성 제기하고 있음
4차 산업혁명 시대의 스마트팩토리 수준진단 방안에 대한 연구	국내 기업의 스마트팩토리 구축을 위해 스마트팩토리 달성 수준을 측정할 수 있는 새로운 단계별 수준 도달 표준지표를 개발하고자, 해외 스마트팩토리 추진에 대한 성과지표 개발사례 등에 대한 연구를 통하여 국내 기업의 특성을 반영한 스마트팩토리 수준측정 표준체계를 제안하고 파일럿 테스트를 수행하여 결과를 분석하였음
제조업 혁신 주도를 위한 스마트공장 정책 현황 분석 및 시사점	스마트공장 관련 정책의 추진 효과성을 둘러싸고 제기되고 있는 문제의식을 바탕으로 한국 제조업의 경쟁력 및 혁신에 대한 현재 상황을 확인하고 향후 제조업 혁신을 주도하기 위한 방편의 일환으로써 스마트공장 정책에 대한 주요 이슈를 점검
스마트공장 도입의 효과와 정책적 함의	스마트화 수준을 계량화하여 스마트화 정도에 따른 성과와 고용에 대한 영향을 실증적으로 분석하였으며, 실제로 스마트화 수준의 영향 요인을 분석하고 분석결과를 토대로 중소기업의 스마트화를 효과적으로 지원하는 방안을 제안
스마트공장 도입이 고용에 미치는 효과 연구	기술변화가 고용에 미치는 효과를 국외 주요기업 사례를 통하여 분석하고, 더 나아가 미래 고용변화 전망의 연구를 소개하고 필요 역량과 주요국 노동정책을 정리하고 우리나라의 직무교육 관련 개선방향에 대한 문제 제시
한국형 스마트 제조전략	한국 제조업의 재편을 위한 적극적 전략으로 스마트 제조에 대한 현황진단과 아울러 향후 효과적인 한국형 스마트 제조혁신의 추진을 모색하고자 스마트 제조의 인식차이 감소, 주체별 이해 제고, 스마트 제조 수요에 대한 공급부문의 역량 확보, 기술역량과 전문인력의 확보, 빅데이터, 표준 등 산업지능 인프라 구축, 그리고 연계와 협력기반의 강화 필요성 제기

다만, 스마트팩토리 관련 안전보건 국내·외 연구는 다음 표 I-2와 같이 안전 시스템 평가 또는 안전성 확보 관점에서 수행되었으며, 스마트팩토리의 전반적인 안전보건 실태, 문제점 및 이슈 등에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

〈표 I-2〉 스마트팩토리 안전보건 관련 선행연구

과제명	내용
스마트팩토리 안전시스템 수준별 평가모델 개발(서울과기대 박달재, 2019)	기존 선행연구의 체크리스트 수정, 스마트팩토리 구성 핵심 디바이스의 법규, 규격, 표준 및 안전인증의 분석과 함께 새롭게 정의된 모듈설비의 유지관리 규정과 교육을 평가 항목으로 도출하였고, 안전시스템 수준별로 평가 모델을 완성하여 스마트팩토리 사업장의 안전관리 수준을 진단 및 평가할 수 있는 차별화된 근거를 제시함
스마트공장 노동자 보호를 위한 안전보건기준 마련 연구(서울과기대 권영국, 2018)	스마트공장의 안전보건 분야에서의 유해·위험요인 여부를 확인하고, 기계-인간 인터페이스의 변화에 따른 노동자의 안전보건 확보방안 물색을 통하여 스마트공장 구축에 따른 산업안전보건법의 개정 방향과 미래 산업 현장에서의 안전보건정책 수립방향을 제시함
스마트팩토리 안전성확보 모델 개발(한국교통대 백종배, 2018)	스마트팩토리 공정과 자동화 기계·설비를 운용하면서 작업과정상 발생할 수 있는 위험성평가에 대한 문제점과 노동자가 직접 위험을 인식하기 어려운 점이 있음을 나타내고 있으며, 스마트팩토리의 자동화 기계설·비에 대한 안전장치 및 안전시스템의 신뢰성과 이에 대한 사업장의 안전관리 능력의 유지가 산업재해예방과 노동자 안전확보에 필수적임을 나타내고 있음
스마트팩토리 안전시스템 기반구축 연구(중앙대 최명길, 2017)	국내 사업장의 업종과 규모에 따른 안전시스템 도입 여부의 실태조사, 실태조사 결과 기반 사업장의 업종별규모별에 따른 스마트팩토리 안전제어 표준모델 개발 연구 및 스마트팩토리 안전시스템을 지속적으로 관리수행할 수 있도록 안전수명 주기에 따른 소프트웨어의 변경관리, 체크리스트 개발 등의 필요성을 제기
자동화설비 설치 등 안전사고 예방 대책 연구(산업안전보건연구원 여현옥, 2016)	산업용 로봇 시스템에 대한 위험성평가의 국외 관련 법규 및 방법에 관한 기준 고찰을 통하여 국내 산업용 로봇 안전관리 실태나 산업재해 발생 위험도를 고려하여 안전인증대상기계등과의 연계방안 및 ANSI/RIA R15.06-1999 Industrial Robots and Robot System-Safety Requirement에 근거한 위험성평가 방법을 제시

Ⅱ. 스마트팩토리 관련 현황 및 재해

.....

II. 스마트팩토리 관련 현황 및 재해

1. 스마트팩토리 일반현황

1) 스마트팩토리 정책

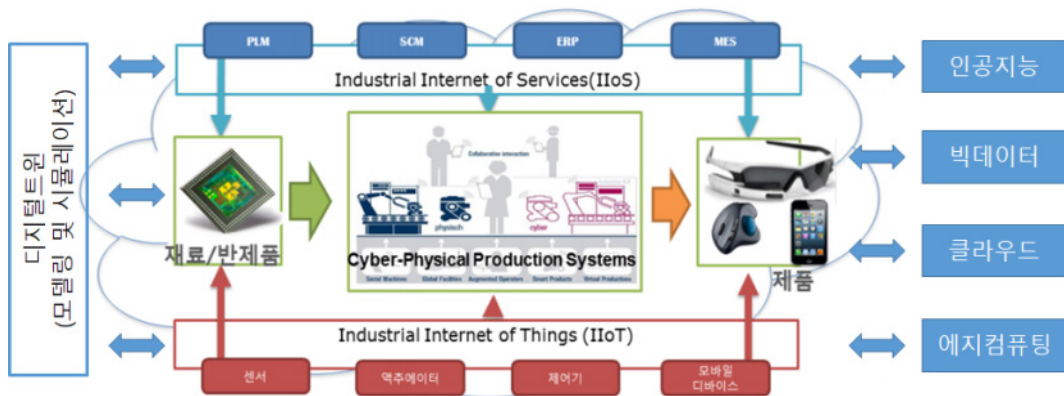
정부는 스마트팩토리 저변 확대를 바탕으로 양적보급에서 고도화 중심으로 개편하고자 지난해부터는 스마트제조 2.0 전략 및 스마트 제조혁신 실행 전략을 추진하고 있다. 세부 내용으로는 K-스마트등대공장 지원 등 제조혁신 선도사례 확산, 인공지능 제조플랫폼(KAMP)과 연계한 클라우드 기반 스마트팩토리 활성화 등이 있다. 다음 그림 II-1은 우리나라의 스마트팩토리 정책 관련 추진 경과를 나타내고 있다(정은미, 2019;스마트제조혁신추진단, 2021).



[그림 II-1] 스마트팩토리 정책 추진경과

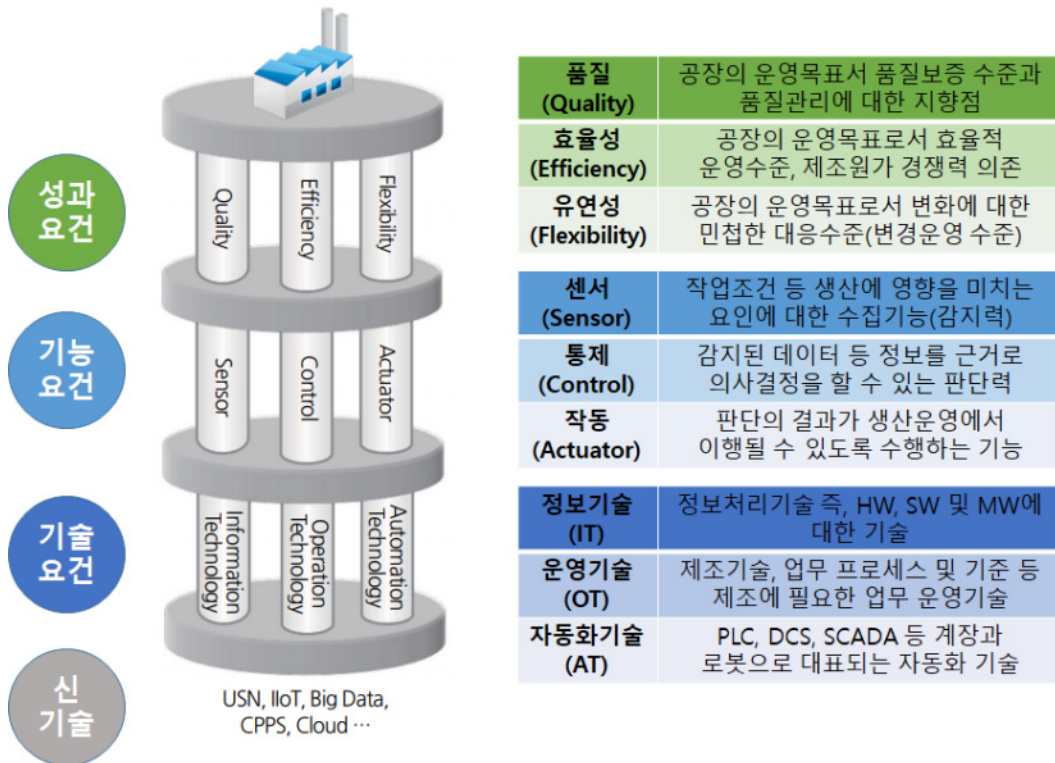
2) 스마트팩토리 구성

다음의 그림 II-2는 스마트팩토리 구성도를 나타내고 있다. 세부적으로는 센서(Sensor), 작동기(Actuator), 제어기(Controller) 및 모바일 장치(Mobile Device)로부터 데이터를 수집하는 IIoT(Industrial IoT) 인프라 계층은 상위 시스템과 서비스계층으로 데이터를 전달하고, 지능형제어계층인 CPPS(Cyber Physical Production Systems) 계층에서는 IIoT 계층과 IIoS(Industrial Internet of Service) 계층에서 수집된 데이터를 기반으로 모델링을 통한 시뮬레이션을 통해 최적의 공정을 실시간으로 설계하고 공정을 재구성하여 다양한 생산방식 및 시스템 오류에 대응하는 방식으로 운영된다(나형배, 2020).



[그림 II-2] 스마트팩토리 구성도

스마트팩토리 정의와 특성을 규정함에 있어서 우선적으로 스마트팩토리 구성요건에 대한 규정이 필요하다. 기존의 스마트팩토리의 기능요건(센서, 통제, 작동) 외에 성과요건과 기술요건을 추가하여 다음 그림 II-3과 같이 스마트팩토리를 3단계 계층으로 구분할 수 있다(나형배, 2020).



[그림 II-3] 스마트팩토리 구성요건

3) 스마트팩토리 정의

스마트팩토리 정의는 기관 또는 주체별로 다음 표 II-1과 같이 다양하게 규정되고 있으며, 현시점에서도 스마트팩토리 정의에 대한 명확한 이해가 부족하다(나형배, 2020;스마트제조혁신추진단, 2021).

〈표 II-1〉 스마트팩토리 정의

구분	내용
KS X 9001-2	전통 제조산업에 ICT를 결합하여 제품의 기획, 설계, 유통, 판매 등 전 과정을 ICT기술로 통합하여, 최소 비용과 시간으로 고객맞춤형 제품생산을 지향하는 공장으로, 생산성 향상, 에너지 절감, 인간중심의 작업환경이 구현되고, 개인맞춤형 제조, 융합 등 새로운 제조회환경에 능동적 대응이 가능한 공장
산업통상자원부	제품의 기획, 설계, 생산, 유통 및 판매 등 전 과정을 IT기술로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객맞춤형 제품을 생산하는 공장으로서 외부환경 변화에 즉시 반응하여 자율적으로 최적의 솔루션을 제안하는 사이버물리 시스템(CPS) 기반의 지능형 생산공장
미래창조과학부	외부 환경변화에 공장 내 기기들이 즉각 반응하여 자율적으로 최적 솔루션을 제안하는 사이버물리시스템 기반 지능형 생산공장
스마트제조 혁신추진단	제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 ICT(정보통신기술)로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 작업자 중심의 첨단 지능형 공장
한국전자 통신연구원	ICT로 만들어진 공장으로서 설비들은 모두 IoT로 연결되며, 와이파이와 같은 무선 네트워크를 기반으로 하고 PLC 컨트롤러 대신에 임베디드 PC를 사용
한국전자 기술연구원	제조 4요소(방법, 설비, 사람, 환경)를 지능화하는 것
LG CNS	산업/고객 특성에 맞는 최적화된 공장 운영 설계와 이에 따른 생산 운영 시스템 및 지능형 설비 공급을 통해 Global Top 수준의 제조 경쟁력을 갖춘 공장
시스코코리아	자산 활용, 공급망 및 물류 혁신을 위해 만물인터넷(IoE)을 통해 보다 지능적인 생산설비 설계, 생산환경 및 설비에 대한 제어력이 향상되는 공장

〈표 II-1〉 계속

구분	내용
딜로이트	빅데이터와 IoT 시스템을 활용한 감지, 제어, 수행의 3가지 기능이 일체화되어 유기적으로 연계되어 동작하는 공장
미국 스마트제조 선도 기업연합	신제품을 빠르게 생산할 수 있는 선도적인 지능형 시스템이 연계되어 있는 애플리케이션
독일 인공지능 연구소	공장 내·외 요소를 사물인터넷으로 통해 유기적으로 연결하고 로봇, 소프트웨어 등을 접목하여 투입·산출·공급의 최적화 달성 및 ICT 융합을 기반으로 전체 공정 및 공급망을 지능화·최적화한 미래형 공장
일본능률협회 컨설팅	엔지니어링 관점에서는 제품 개발부터 양산까지, SCM 관점에서는 시장 수요예측 및 고객의 주문에서부터 완제품 출하까지의 모든 제조관련 과정을 IT기술로 통합하여 최소의 비용과 시간으로, 고객맞춤형 제품생산을 하는 고도의 유연생산체계를 가진 공장
일본경제 산업성	개별요구에 부합하는 맞춤형 생산서비스를 제공하며 인간의 역할 인식 및 학습기능을 지원대체하고 공급망 전체의 효율성을 비약적으로 향상시키는 제반 기술
중국공업정보화부	설계, 생산, 관리, 서비스등 생산 전과정에 차세대 ICT 기술 및 선진 제조기술의 융합을 통해 스스로 감지하고 의사결정을 내리며 판단된 생산 환경 및 변화에 따라 작업을 수행하는 새로 생산방식

본 연구에서의 스마트팩토리 범주는 정부지원 스마트팩토리 사업장 중 제조·생산과정에서 자동화설비를 보유·사용하는 공장을 말한다. 여기서 자동화설비란 산업용로봇, 컨베이어, AGV 및 기타 자동화설비를 말한다.

4) 스마트팩토리 솔루션

스마트팩토리 구성의 이해를 돕기 위한 솔루션 종류와 기능은 다음 표 II-2와 같다(스마트제조혁신추진단, 2021).

〈표 II-2〉 스마트팩토리 솔루션

용어	설명
PLC (자동화제어장비)	각종 센서로부터 신호를 받아 제어기에 신호를 보냄으로써 작업자가 설정한 값으로 로봇이 작동하도록 해주는 장치이며, 컴퓨터에 두뇌 역할이 CPU라고 하면 공장 자동화에서 전체 하드웨어의 총괄 역할을 함
POP (생산시점 관리시스템)	공장의 생산과정에서 기계, 설비 및 작업 등에서 시시각각 발생하는 생산정보를 실시간으로 직접 수집 및 처리하여 현장 관리자에게 제공하는 시스템
FEMS (스마트공장 에너지관리 시스템)	조선, 자동차, 섬유, 석유화학제품과 같은 제조업 등의 생산시설에서 사용하는 에너지를 최소화하기 위한 관리시스템으로 생산활동 및 시설 유지에 사용되는 에너지를 모니터링, 분석 및 원격으로 제어함으로써 에너지의 효율적 사용을 도모함
MES (제조실행 시스템)	제조 상황을 실시간으로 모니터링하고 제어할 수 있게 만들어 주기 때문에 스마트공장 구축에서 핵심적 역할을 맡고 있으며, 물류 및 작업내역 추적관리, 상태파악, 불량관리 등에 초점을 맞춘 현장용 시스템
PLM (제품수명 주기관리)	제품 설계를 위한 아이디어 수집과 같이 기획 단계부터 제품 생산을 시작하기 직전까지 관련 정보를 통합하여 관리해주는 시스템으로, 생산에 들어가기 전에 제품 개발과 설계단계 프로세스를 전담하여 관리
SCM (공급사슬관리)	물건과 정보가 생산자로부터 도매업자, 소매상인, 소비자에게 이동하는 전 과정을 실시간으로 한눈에 볼 수 있으며, 이를 통해 제조업체는 고객이 원하는 제품을 적기에 공급하고 재고를 줄일 수 있음
ERP (전사적 자원관리)	기업의 자금, 회계, 구매, 생산, 판매 등을 경영흐름을 한 눈에 파악할 수 있도록 관리해주는 시스템으로, 실시간으로 기업 전반의 경영상태를 확인하고 공유할 수 있어 신속하고 투명한 업무처리가 가능함
MRP (자재소요량 계획)	조립제품을 생산함에 있어서 부품 또는 자재가 투입되는 시점과 양을 관리하기 위한 계획 또는 시스템

〈표 II-2〉 계속

용어	설명
PDM (제품 데이터 관리)	제품 개발의 정의에서부터 설계, 개발, 제조, 출하 및 고객 서비스에 이르기까지 전반에 걸쳐 제품정보를 통합하여 관리하는 시스템으로 최근에는 PLM까지 개념이 확장되고 있음
ICT (정보통신기술)	정보를 주고 받는 것은 물론이며 개발, 저장, 처리 및 관리에 필요한 모든 기술로 스마트공장과 융합되면 자동화 및 정보화되어 전체가 실시간 연동되어 운영되며, 생산성 향상, 에너지 절감 및 인간중심의 작업환경을 구현하고 최적 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품 생산이 가능함
IoT (사물인터넷)	인터넷을 기반으로 시간, 장소 및 사물 제약없이 모든 사물이 연결되어 사람과 사물, 사물과 사물간의 정보를 소통할 수 있는 지능형 기술 및 서비스
IIoT (산업용 사물인터넷)	사물인터넷의 산업용 버전으로 IoT와 같이 사물에 센서를 부착하여 실시간으로 데이터를 인터넷으로 주고받는 기술이며, 산업용 목적에 중점을 두고 있어 IoT보다는 센서의 응답성이 뛰어남
CPS (가상물리 시스템)	실제 공장에서 사용하는 시스템과 사이버 공간의 시스템을 실시간으로 통합하는 기술로, 새로운 프로젝트 테스트를 위하여 현재 생산중인 공정을 멈추지 않고 사이버 공간에서 테스트를 하게 되며 미래의 스마트공장에서는 전면적인 CPS 도입이 필수적임
Digital Twin (디지털 트윈)	실시간 연동을 통해 수집된 데이터로 실제와의 차이를 보정한 디지털 복제 모델로 기계 및 장비의 성능, 효율, 수명 등의 정확한 상태 진단 및 예측 등을 지원
Cloud Computing (클라우드 컴퓨팅)	소프트웨어와 데이터를 인터넷과 연결된 중앙 컴퓨터에 저장하여 인터넷에 접속하기만 하면 언제 어디서든 필요한 데이터를 이용할 수 있고 사용한 만큼의 비용만 지불하는 시스템
Edge Computing (에지 컴퓨팅)	중앙 집중 서버가 모든 데이터를 처리하는 클라우드 컴퓨팅과 다르게 분산된 소형 서버를 통해 실시간으로 처리하는 기술

5) 스마트팩토리 특성

스마트팩토리는 공정의 최적화, 품질 및 재고 관리, 생산설비 관리 및 노동 생산성의 향상을 도모할 수 있으며, 스마트팩토리의 차별화된 특성은 다음 그림 II-4와 같이 5가지로 구분할 수 있다(나형배, 2020).



[그림 II-4] 스마트팩토리 특성

스마트팩토리의 5가지 주요 특성으로는 데이터 기반으로 작업을 수행하는 능동성, 변화 여건 및 상황을 스스로 판단하는 지능성, 데이터 수집의 신뢰성, 실시간 데이터 처리의 민첩성과 시스템 상호간의 연계성으로 다음 표 II-3과 같이 구분할 수 있다(나형배, 2020).

〈표 II-3〉 스마트팩토리 특성

구분	특성
능동성	제조업에서는 다품종 유연생산으로 요구사항이 변화되고 있으며, 시스템의 능동성으로 인해 다품종 유연생산을 위한 제조공정의 변경이 용이함 단방향에서 양방향으로 전환으로 공장의 능동적 이행 기능 확보
지능성	여건 변화에 따라 스스로 판단 및 의사 결정이 가능하고, 빅데이터 처리 기술과 인공지능 기술을 활용하여 데이터 오류 등을 판단하여 결과물 도출 시스템의 실시간 데이터 시각화로 인간 또는 시스템의 자율적 의사결정에 있어 통찰력 보유
신뢰성	설비의 상태 모니터링을 통하여 예측하고 취득 정보를 바탕으로 보수와 정비 계획을 수립하고 실시하는 예지보전 기능을 수행 문제 발생 이후의 단순 대응보다는 사전에 예측하고 행동하여 안전문제를 해결
민첩성	실시간 운영체계, 네트워크 및 시간 동기화기술을 바탕으로 생산 관련 경보, 조치, 소요시간 및 정보공유 등에 대한 실시간 데이터를 제공 일정 및 제품 등의 변경사항 최소화로 인한 능동적인 스케줄링으로 가동시간 증가 및 수율 향상
연계성	센서와 시스템의 데이터를 수집, 저장, 가공 및 활용하여 제조 공정의 연계 시스템의 지속적인 데이터 추출 및 업데이트로 상태 유지 및 반영

6) 스마트팩토리 차별성

또한, 스마트팩토리의 자동화공장과의 차별성, 생산시스템 및 환경을 다음 표 II-4, 5, 6과 같이 각각 구분 비교하였다(김주미, 2020;이진우, 2019; 나중배, 2020). 자동화공장은 제조과정에서의 근로자 개입을 최소화함으로써 기계·설비로 대체하는 무인화 공장을 지향하는 반면 스마트팩토리는 기획, 설계, 유통판매 등 제조 전반적인 과정을 정보통신기술(ICT)로 통합하여 고객맞춤형 제품을 생산할 수 있는 지능형 공장으로 인간과 기계가 공존하는 형태이다.

〈표 II-4〉 스마트팩토리와 자동화공장의 비교

개요	스마트팩토리	자동화공장
정의	제조 전 과정(기획, 설계, 유통, 판매 등)을 ICT로 통합하여 고객맞춤형 스마트 제품을 생산하는 지능형 공장으로 인간과 기계가 유기적으로 연결	제조과정에서 사람의 개입을 최소화하여 기계가 담당하도록 하는 것으로 궁극적으로는 무인화공장을 지향
목적	연구개발, 구매, 생산, 영업, 물류와 협력업체 및 고객 등 제조 관련 내·외부 가치사슬의 연계 및 통합	단순 반복 공정을 컴퓨터와 로봇과 같은 설비로 자동 가공 및 제어
장점	다품종 복합생산에 적합한 유연한 제조 시스템을 기반으로 제품을 적시에 생산 및 납품하여 시장과 고객의 변화에 능동적으로 대응함으로써 경영 최적화	대량 생산을 통한 제품의 균일화, 표준화로 생산원가 및 인건비를 절감하고 가동률의 최적화와 작업의 편의성 극대화로 생산의 최적화
약점	높은 관리수준과 많은 투자비용, 해킹이나 바이러스 방지 등 디지털 보안 필요	공정간의 상호 단절에 따른 빈번한 사람의 개입을 필요로 하여 데이터의 실시간 관리가 어려우며 전체 공정이 유기적이지 못함
기능	사물인터넷과 각 개체의 지능화 기술을 활용하여 데이터의 연결, 수집 및 분석을 자체적으로 수행	정보기술 및 로봇과 같은 설비를 활용하여 공장 전반의 무인화 및 생산공정의 자동화
범위	제품 개발부터 양산까지 시장수요 예측 및 모기업의 주문에서부터 완제품 출하까지의 모든 제조 관련 과정을 포함	제조 및 공장에 국한된 공정, 설비
특징	공장의 운영부터 관리까지 최신의 기술을 결합하여 경영 전반에서 효율과 생산성 증대	생산관리 최적화에 초점을 둔 단위 부분의 최적화

〈표 II-5〉 스마트팩토리과 자동화공장의 생산시스템 비교

시스템	스마트팩토리	자동화
자원	• (다양한 자원) 다품종 소량생산 시스템으로 다양한 자원이 공존	• (한정 소량 자원) 단품종 대량생산 시스템으로 자원의 중복 최소화
경로	• (역동적 라우팅) 자원과 경로설정은 자동적으로 온라인상에서 재구성	• (고정 라우팅) 생산 시스템 고정으로 수동 재구성 필요
네트워크	• (복합적 연결) 네트워크 인프라를 통해 작업자, 설비, 자재 및 정보시스템의 상호작용 가능	• (생산현장 제어 네트워크) 설비간 통신은 불가능하여, PLC를 활용한 컨트롤러와 제어설비 연결
연결	• (집적화) 네트워크 환경에서 물리적 장치와 IoT 등의 정보시스템의 집적화	• (계층분리) PLC는 상위 정보시스템과 분리
제어	• (조직화) 개체별 제어기능 보유 및 정보 시스템 대응을 위한 개체 조직화	• (독립제어) 미리 정해진 기능을 수행하도록 프로그램화 되어 있으며, 개별 장치의 문제는 전체 문제 야기
데이터	• (빅데이터) 빅데이터를 생성 및 전송하며, 클라우드 시스템에서는 처리	• (독립정보) 해당 정보만 기록하며, 다른 설비에서 활용 불가능

〈표 II-6〉 스마트팩토리과 자동화공장의 환경 비교

환경	스마트팩토리	자동화
센서 및 액추에이터	• 통신 연결	• 물리적 연결
통신 프로토콜	• LAN, 단일표준	• PLC, 다양한 표준
통신특성	• 개방형 • 네트워크 통합 • 고속화 • 유무선 통합 인프라 • 노드(Node) 및 공간 무제한	• 폐쇄적 • 네트워크 분리 • 속도 제한 • 유선 중심 • 노드(Node) 및 공간 제한
제어장치	• 공장정보 통합 중심 • IT 장치화 • 스마트설비	• 제어기능 중심 • 전용 시스템 • 중앙처리장치
정보화시스템	• 전사적 통합 • 모바일 • 클라우드 • 실시간 모니터링	• 아일랜드 형태 • 보고 형태
데이터 활용	• 무제한 수집 및 분석 • 빅데이터	• 제한적 수집 및 분석
프로세스 및 기술	• 사람, 프로세스 및 기술의 융합	• 개별적, 독립적
보안	• 설비, 시스템, 사이버 보안 등 전사적 보안	• 제한적 보안

7) 스마트팩토리 수준

스마트팩토리의 고도화를 결정하는 수준 측면에서는 다음 표 II-7과 같이 ICT 미적용, 정보화 수준에서의 기초, 자동화 수준에서의 중간 1 및 중간 2 그리고 지능화 수준에서의 고도화로 각각 구분된다. 또한, 스마트팩토리 기능 구분은 자동화, 공장운영, 기업자원 관리, 제품개발 및 공급사슬관리 등 5개 항목으로 각각 구분된다(스마트제조혁신추진단, 2021).

〈표 II-7〉 스마트팩토리 구축 수준별 기능

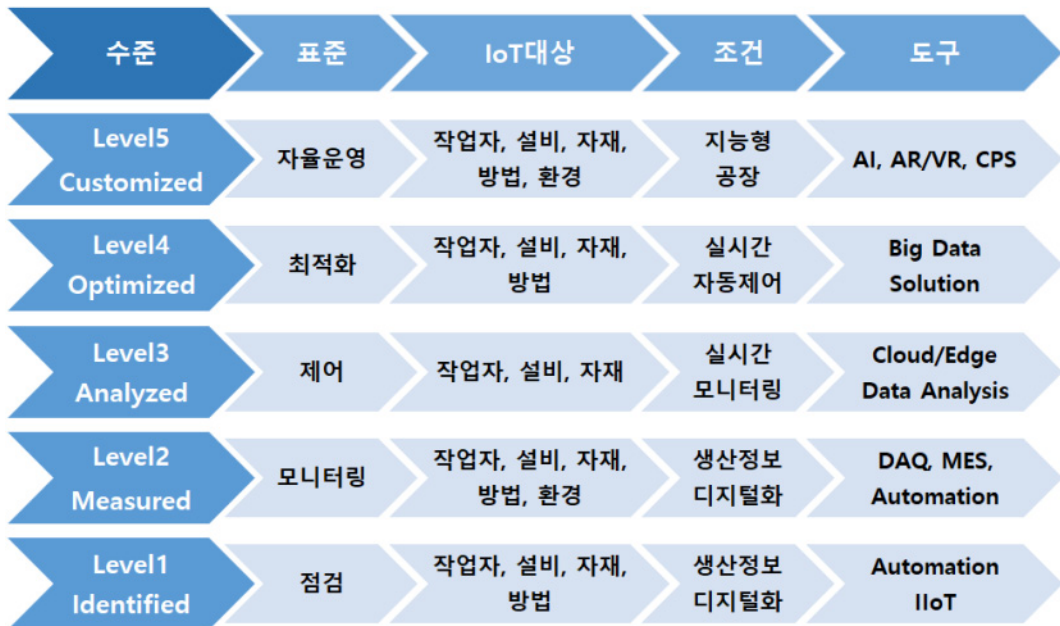
구분	자동화	공장운영	기업자원 관리	제품개발	공급사슬 관리
고도	IoT/loS 기반의 CPS화 IoT/loS화 IoT/loS(모듈)화 빅데이터 기반의 진단 및 운영				인터넷 상의 비즈니스 CPS 네트워크 협업
중간2	설비제어 자동화	실시간 공장제어	공장운영 통합	시뮬레이션 공정 자동화	다품종 개발 협업
중간1	데이터 자동집계	실시간 의사결정	기능 간 통합	기술정보 생성 자동화와 협업	다품종 생산 협업
기초	실적집계 자동화	공정물류 관리	관리 기능 중심 기능 개별 운용	서버를 통한 기술/납기 관리	단일 모기업 의존
ICT 미적용	수작업	수작업	수작업	수작업	전화/이메일 협업

스마트팩토리 수준별 정의는 다음 표 II-8과 같다(스마트제조혁신추진단, 2021).

〈표 II-8〉 스마트팩토리 수준별 정의

구분	정의
기초수준	• 기초적인 ICT를 활용하여 생산 일부 분야의 정보를 수집·활용하고 모기업 인프라 활용 등을 통하여 최소비용으로 자사의 정보시스템을 구축하는 수준
중간수준 1	• 설비 정보를 최대한 자동으로 수집하고 모기업과 고신뢰성의 정보를 공유함으로써 기업운영의 자동화를 지향하는 수준
중간수준 2	• 모기업과 공급사슬 및 엔지니어링 정보를 공유하며, 글로벌 계획 최적화와 제어 자동화를 기반으로 실시간 의사결정 및 제어형 공장을 달성하는 수준
고도화수준	• 사물과 서비스를 IoT/loS화하여 사물, 서비스, 비즈니스 모듈간의 실시간 소통 체계를 구축하고 사이버 공간에서 비즈니스를 실현하는 수준

수준을 규정하는 요소는 4M1E의 식별, 측정, 분석, 최적화 및 의사결정 등으로 구성되며, 요소를 토대로 수평적 및 수직적 통합성과 신경망의 구성 및 지능화 정도를 판단하여 스마트팩토리 수준을 결정한다. 다음 그림 II-5는 스마트팩토리 수준별 성숙도 및 확산성 평가에 사용될 수 있는 것으로, 지속적인 스마트화 추진 필요성에 대한 평가를 위해 사용될 수 있는 표준, 대상, 조건 및 도구를 나타내고 있다(나형배, 2020).



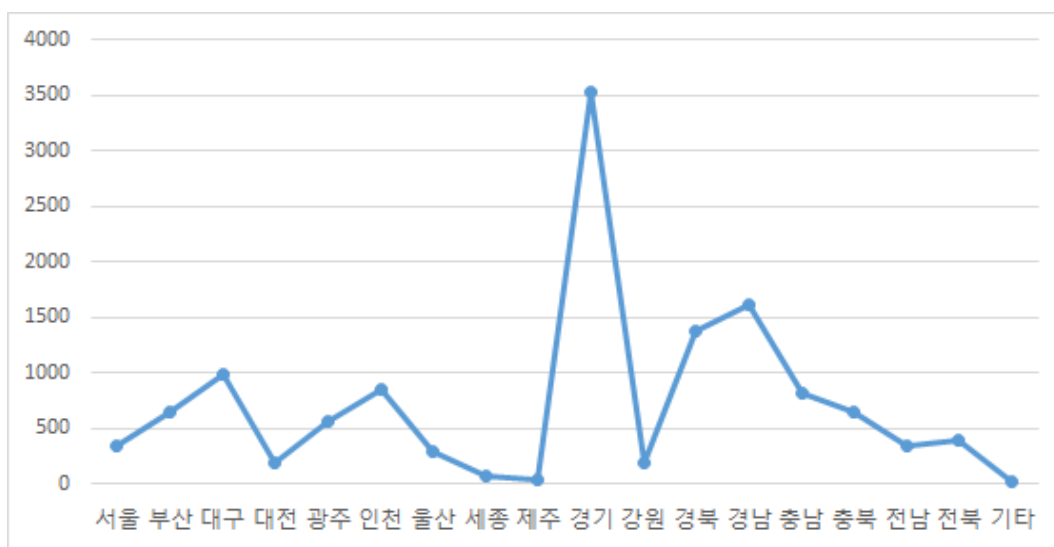
[그림 II-5] 스마트팩토리 수준별 성숙도 및 확산성 평가

2. 스마트팩토리 현재와 미래

1) 국내 스마트팩토리 도입 현황

(1) 지역별

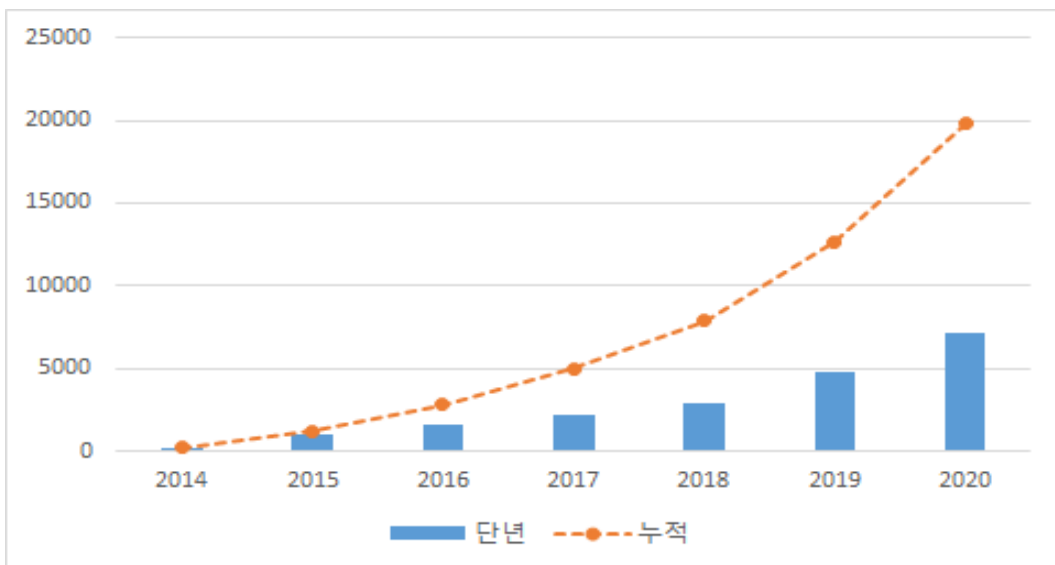
2014년부터 2019년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장(12,983개소) 지역별 분포를 다음 그림 II-6과 같이 분석하였다. 경기도의 지원 개소가 가장 많으며, 경상권에서는 전체 대비 35.8%의 비중을 차지하고 있다(김주미, 2020).



[그림 II-6] 지역별 스마트팩토리 도입 현황

(2) 년도별

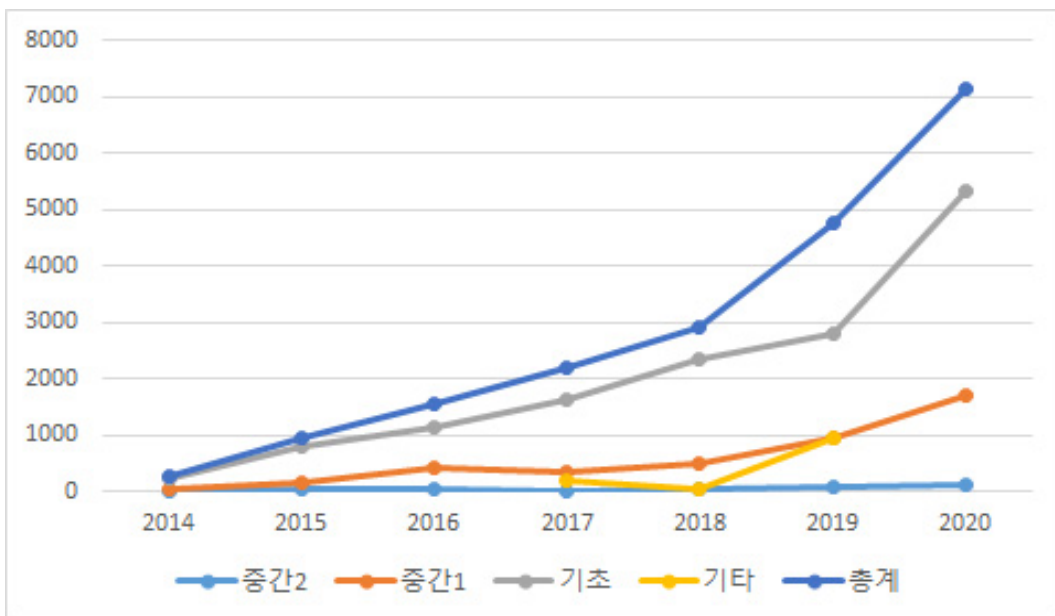
2014년부터 2020년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장은 19,799개소로 다음 그림 II-7과 같이 매년 지속적으로 성장하고 있으며, 2018년 이후부터는 가파른 성장세를 보이고 있다. 또한 정부는 그동안의 스마트팩토리 저변확대 성과를 바탕으로 「양적보급 중심에서 질적 고도화 중심」으로 전환을 위하여 2022년까지 3만개소 보급을 목표로 다양한 정책을 추진하고 있다(중소벤처기업부, 2021).



[그림 II-7] 년도별 스마트팩토리 도입 현황

(3) 수준별

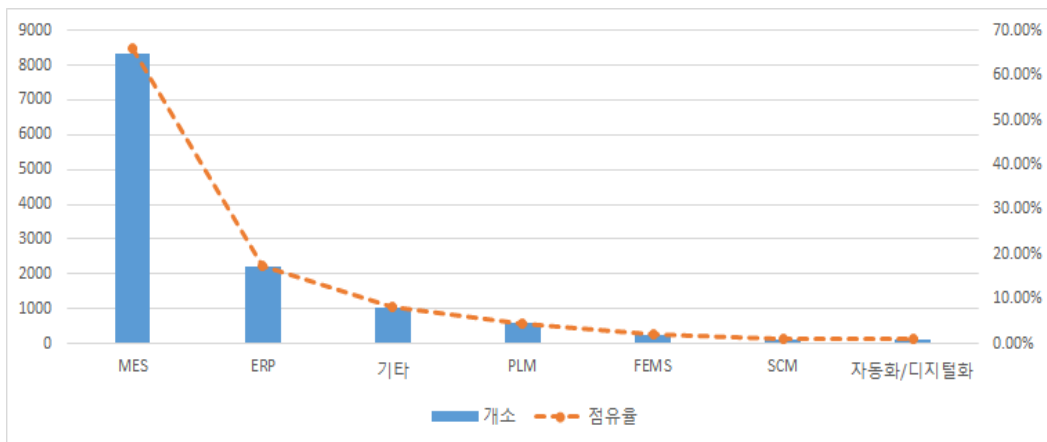
2014년부터 2020년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장의 수준별 도입 현황은 그림 II-8과 같다. 최근 6년간의 누적기준으로는 수준1과 수준2를 포함한 기초 단계가 72.0%, 중간1 단계가 20.5%, 중간 2단계가 1.6%로 '20년까지의 누적 고도화율은 22.1%이다(박한구, 2020).



[그림 II-8] 수준별 스마트팩토리 도입 현황

(4) 솔루션별

2014년부터 2019년까지의 스마트팩토리 사업장의 솔루션별 도입 현황은 다음 그림 II-9와 같으며, MES 도입 사업장이 66.0%, ERP 도입 사업장이 17.3%로 경영활동 과정을 통합·관리하는 정보 시스템이 대부분을 차지하고 있다. 스마트팩토리 관련 새로운 유해·위험요인 발생과 연계될 수 있는 자동화/디지털화는 0.9%로 점유율이 상당히 낮은 편이다(박한구, 2020).



[그림 II-9] 솔루션별 스마트팩토리 도입 현황

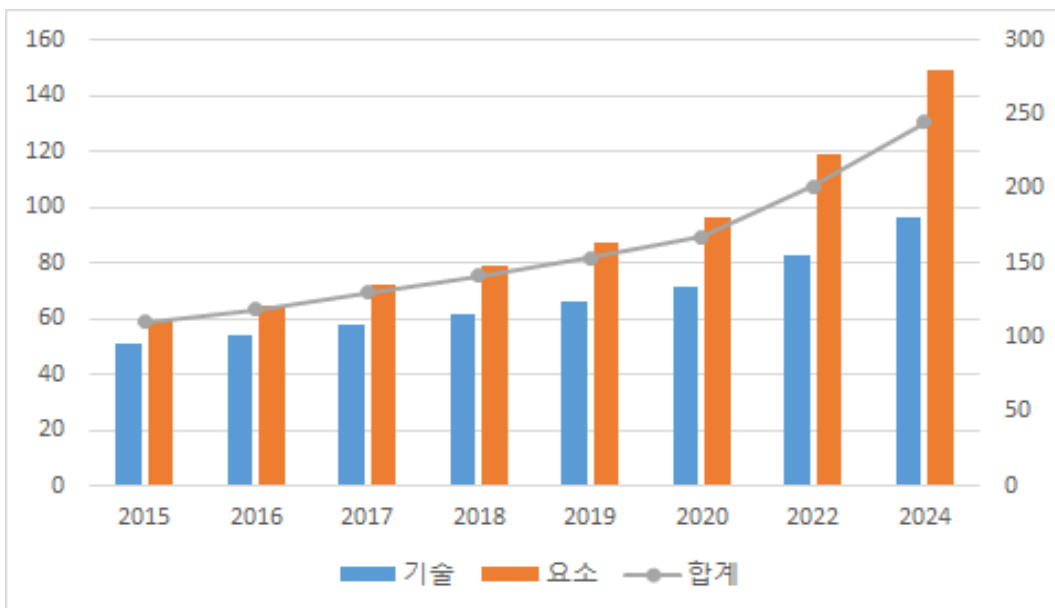
2) 스마트팩토리 산업(시장) 전망

(1) 세계시장(첨단정보통신융합산업기술원, 2020)

전 세계 스마트팩토리의 시장 규모는 다음 표 II-9 및 그림 II-10과 같이 2019년부터 2024년까지 연평균 성장률이 9.8%로 빠르게 성장할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-9〉 세계 스마트팩토리 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	110.35	118.54	130.09	141.08	153.67	167.74	201.52	244.82	9.8
기술	50.69	53.91	57.66	61.76	66.25	71.17	82.43	96.01	7.7
요소	59.66	64.62	72.43	79.31	87.42	96.57	119.09	148.81	11.2

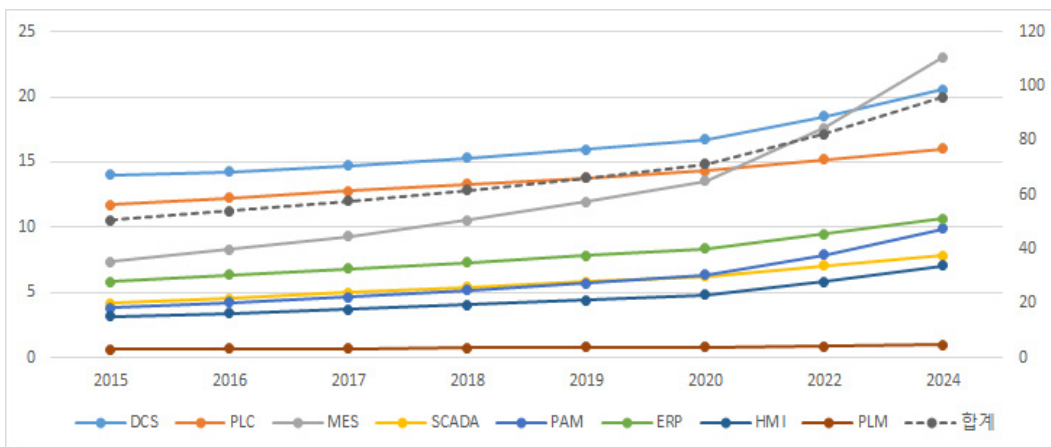


[그림 II-10] 세계 스마트팩토리 시장 규모 및 전망

전 세계 스마트팩토리의 기술별 시장 규모는 다음 표 II-10 및 그림 II-11과 같이 DCS와 PLC 분야가 2019년 기준 약 45%를 차지하고 있으며, 단일기술로는 MES 분야가 2019년부터 2024년까지 연평균 성장률이 14.05%로 급격히 성장할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-10〉 세계 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	50.69	53.91	57.66	61.76	66.25	71.17	82.43	96.01	7.70
DCS	13.99	14.25	14.75	15.33	15.99	16.74	18.49	20.56	5.16
PLC	11.73	12.24	12.77	13.30	13.81	14.30	15.21	16.03	3.02
MES	7.38	8.28	9.32	10.53	11.93	13.55	17.59	23.03	14.05
SCADA	4.16	4.55	4.98	5.39	5.81	6.23	7.03	7.80	6.07
PAM	3.81	4.20	4.65	5.15	5.72	6.36	7.91	9.91	11.63
ERP	5.84	6.33	6.80	7.30	7.82	8.37	9.49	10.66	6.38
HMI	3.14	3.39	3.68	4.02	4.39	4.81	5.81	7.07	9.99
PLM	0.63	0.67	0.71	0.74	0.78	0.82	0.89	0.96	4.19

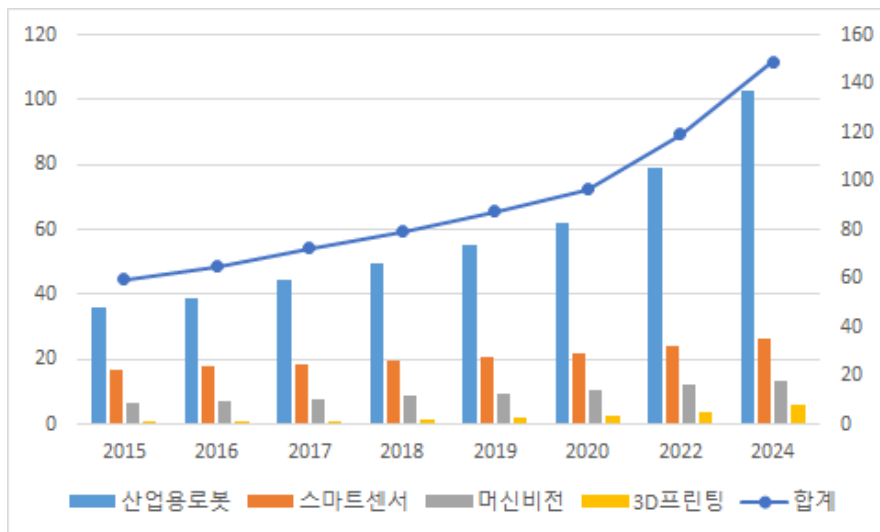


[그림 II-11] 세계 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망

전 세계 스마트팩토리의 요소별 시장 규모는 다음 표 II-11 및 그림 II-12과 같이 산업용 로봇 분야가 2019년부터 2024년까지 연평균 성장률이 13.24%로 주류를 차지할 것으로 예상하며, 센서와 머신비전 분야는 전체 요소 시장 규모의 성장 추세에 미치지 못할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-11〉 세계 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	59.66	64.62	72.43	79.31	87.42	96.57	119.09	148.81	11.22
산업용로봇	35.81	38.94	44.73	49.45	55.23	61.92	79.08	102.86	13.24
스마트센서	16.78	17.67	18.64	19.68	20.77	21.89	24.22	26.63	5.09
머신비전	6.45	7.18	7.96	8.77	9.59	10.42	12.05	13.53	7.12
3D프린팅	0.62	0.84	1.1	1.42	1.83	2.34	3.75	5.8	25.88

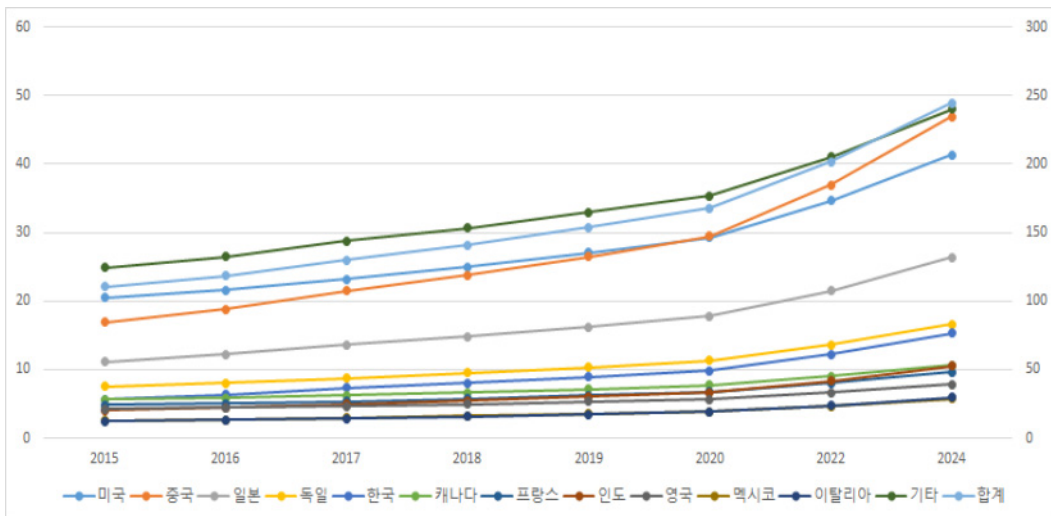


[그림 II-12] 세계 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망

전 세계 스마트팩토리의 시장은 다음 표 II-12 및 그림 II-13과 같이 2024년까지 2,448억 달러 규모로 성장할 것으로 예상하고 있으며, 미국과 중국이 각각 413억 달러, 470억 달러 규모를 차지할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-12〉 국가별 스마트팩토리 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	110.35	118.54	130.09	141.08	153.67	167.74	201.52	244.82	9.76
미국	20.49	21.57	23.15	24.98	27.04	29.32	34.67	41.3	8.33
중국	16.93	18.8	21.5	23.79	26.47	29.51	36.99	46.97	12.16
일본	11.11	12.19	13.66	14.85	16.22	17.77	21.49	26.34	10.18
독일	7.59	8.08	8.78	9.52	10.37	11.33	13.66	16.66	9.94
한국	5.65	6.32	7.33	8.06	8.9	9.86	12.19	15.28	11.41
캐나다	5.6	5.86	6.24	6.69	7.19	7.74	9.02	10.6	8.07
프랑스	4.81	5.01	5.34	5.74	6.21	6.74	8	9.62	9.14
인도	4.04	4.41	4.93	5.43	6.02	6.69	8.32	10.49	11.75
영국	4.3	4.47	4.63	4.94	5.3	5.69	6.64	7.83	8.13
멕시코	2.54	2.7	2.94	3.21	3.52	3.86	4.68	5.7	10.11
이탈리아	2.42	2.61	2.85	3.14	3.47	3.85	4.78	5.99	11.52
기타	24.88	26.51	28.74	30.72	32.96	35.39	41.08	48.04	7.83
합계	110.35	118.54	130.09	141.08	153.67	167.74	201.52	244.82	9.76

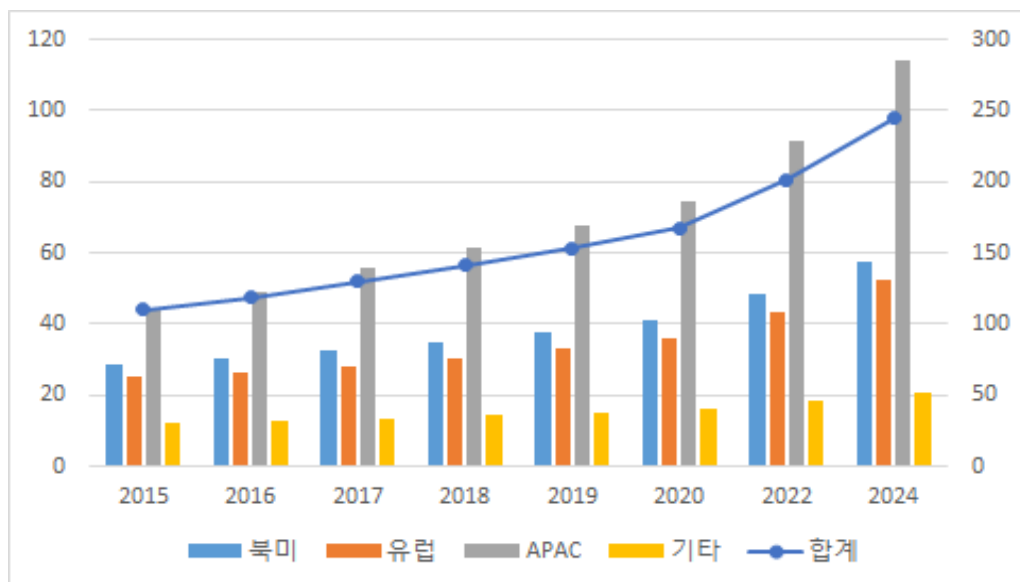


[그림 II-13] 국가별 스마트팩토리 시장 규모 및 전망

대륙별 스마트팩토리의 시장 규모는 다음 표 II-13 및 그림 II-14와 같이 2015년 이후 아시아·태평양 지역이 최대 시장을 유지하고 있으며, 2019년부터 2024년까지 연평균 성장률이 11.05%로 2024년에는 북미와 유럽 시장을 합친 규모를 추월할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-13〉 대륙별 스마트팩토리 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	110.35	118.54	130.09	141.08	153.67	167.74	201.52	244.82	9.76
북미	28.63	30.14	32.33	34.88	37.76	40.92	48.37	57.59	8.81
유럽	24.96	26.36	28.23	30.53	33.17	36.14	43.31	52.57	9.64
APAC	44.69	49.30	55.99	61.31	67.52	74.52	91.56	114.01	11.05
기타	12.07	12.74	13.54	14.35	15.23	16.17	18.27	20.65	6.07



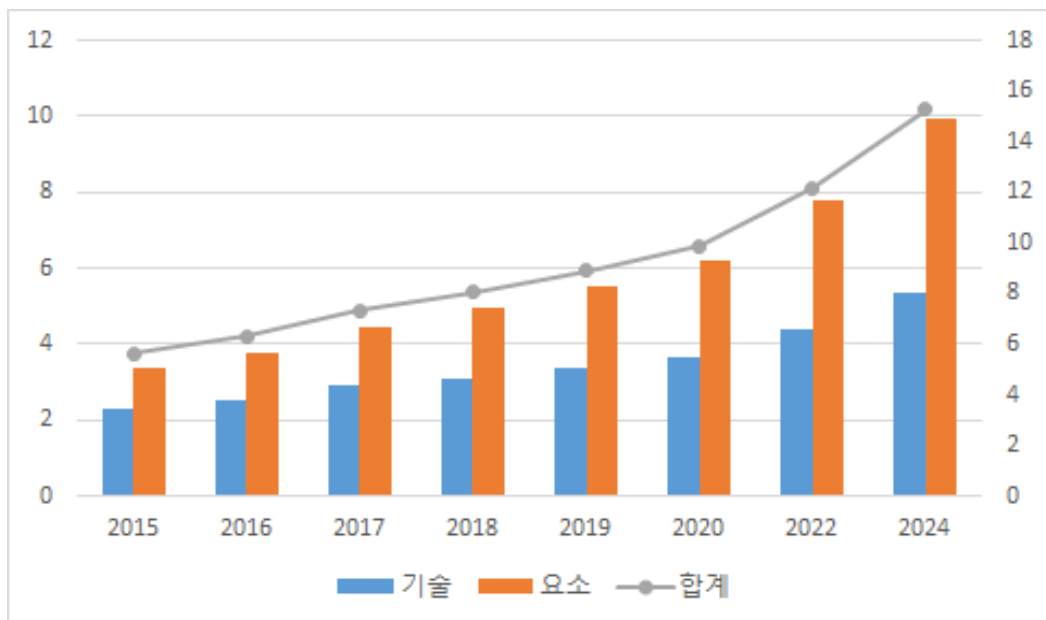
[그림 II-14] 대륙별 스마트팩토리 시장 규모 및 전망

(2) 국내시장(첨단정보통신융합산업기술원, 2020)

국내의 스마트팩토리 시장 규모는 다음 표 II-14 및 그림 II-15와 같이 2018년 기준으로 약 80.6억 달러이며, 2019년부터 2024년까지의 연평균 성장률이 11.4%로 2024년에는 1.9배 규모인 약 152.8억 달러로 세계시장과 비교하여 빠른 속도로 성장할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-14〉 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	5.65	6.33	7.34	8.06	8.91	9.86	12.19	15.28	11.4
기술	2.3	2.55	2.9	3.1	3.38	3.68	4.41	5.35	9.6
요소	3.35	3.78	4.44	4.96	5.53	6.18	7.78	9.93	12.4

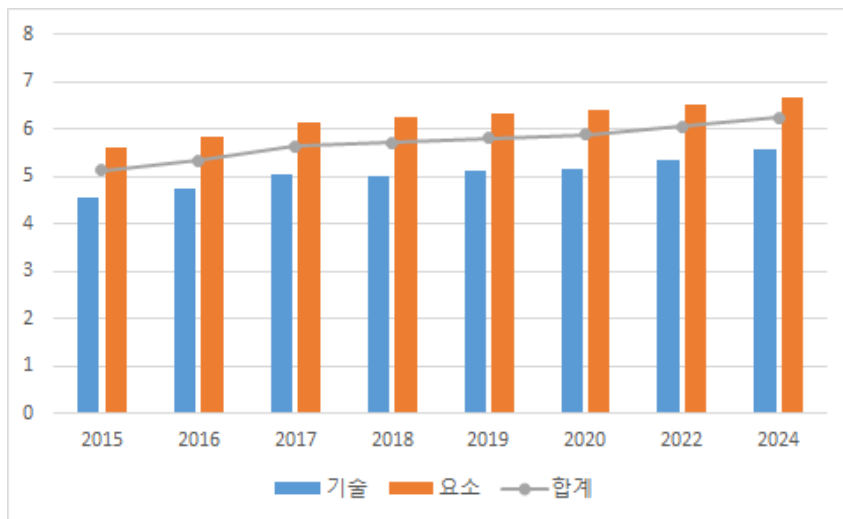


[그림 II-15] 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망

세계 스마트팩토리 시장에서 한국이 차지하는 비율은 다음 표 II-15 및 그림 II-16과 같이 2019년 기준 기술분야 5.10%, 요소분야 6.33%로 요소분야의 비율이 상대적으로 높은 편이며, 2019년부터 2024년까지 요소분야의 높은 연평균 성장률로 인해 국내 스마트팩토리 시장 규모가 빠른 속도로 성장할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-15〉 세계 시장 대비 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망[단위: %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024
합계	5.12	5.34	5.64	5.71	5.8	5.88	6.05	6.24
기술	4.54	4.73	5.03	5.02	5.1	5.17	5.35	5.57
요소	5.62	5.85	6.13	6.25	6.33	6.4	6.53	6.67

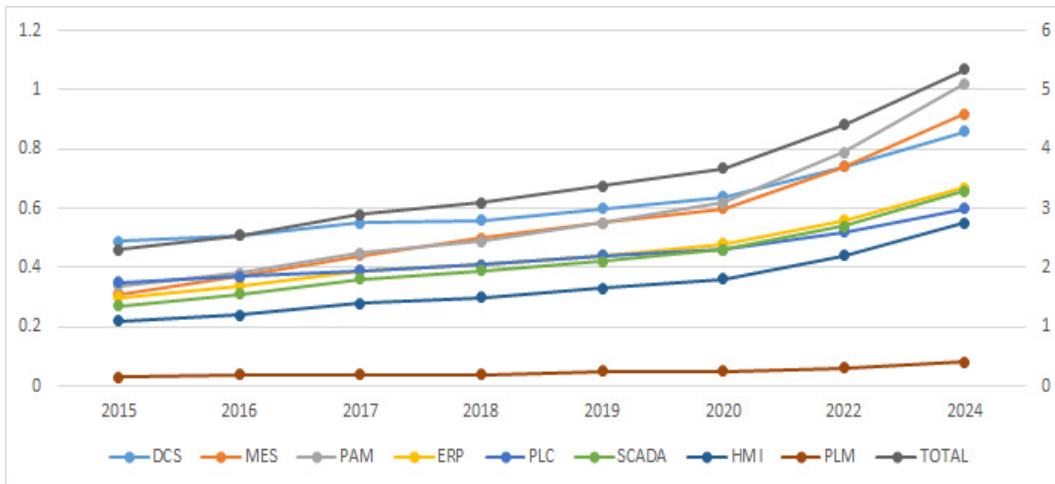


[그림 II-16] 세계 시장 대비 국내 스마트팩토리 시장 규모 및 전망

국내 스마트팩토리의 기술별 시장 규모는 다음 표 II-16 및 그림 II-17과 같이 DCS와 MES 분야가 2018년 기준 약34.2%를 차지하고 있다. 단일기술로는 PAM 분야가 2019년부터 2024년까지 연평균 성장률이 13.10%로 2024년에는 19.0%까지 급격히 성장할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-16〉 국내 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	2.3	2.55	2.9	3.1	3.38	3.68	4.41	5.35	9.6
DCS	0.49	0.51	0.55	0.56	0.6	0.64	0.74	0.86	7.3
MES	0.31	0.37	0.44	0.5	0.55	0.6	0.74	0.92	10.8
PAM	0.34	0.38	0.45	0.49	0.55	0.62	0.79	1.02	13.1
ERP	0.3	0.34	0.39	0.41	0.44	0.48	0.56	0.67	8.7
PLC	0.35	0.37	0.39	0.41	0.44	0.46	0.52	0.6	6.4
SACDA	0.27	0.31	0.36	0.39	0.42	0.46	0.54	0.66	9.4
HMI	0.22	0.24	0.28	0.3	0.33	0.36	0.44	0.55	10.9
PLM	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	11

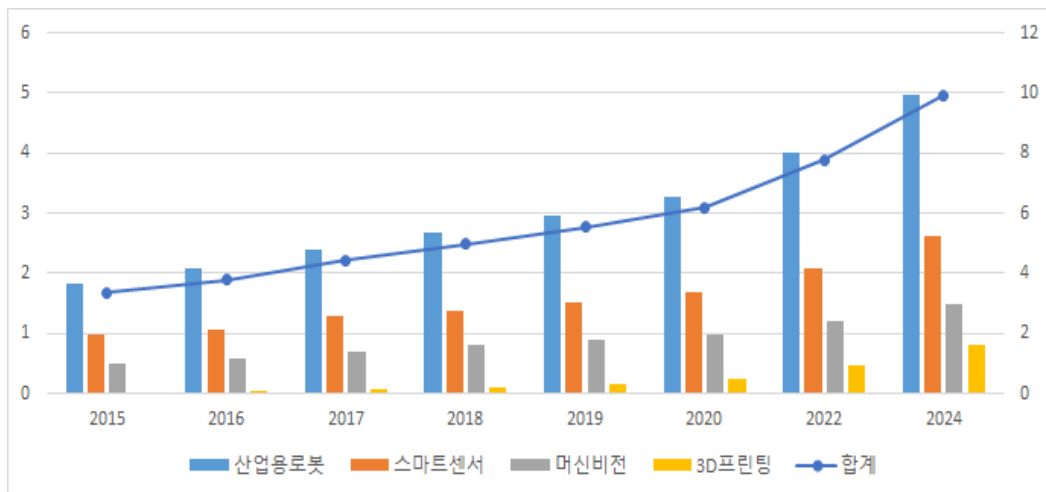


[그림 II-17] 국내 스마트팩토리 기술별 시장 규모 및 전망

국내 스마트팩토리의 요소별 시장은 다음 표 II-17 및 그림 II-18과 같이 산업용 로봇 분야 중심으로 성장하고 있으며, 2024년까지 약 12.4%의 성장 추세를 예상하고 있다.

〈표 II-17〉 국내 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
합계	3.35	3.78	4.44	4.96	5.53	6.18	7.78	9.93	12.4
산업용로봇	1.83	2.08	2.4	2.69	2.96	3.27	4.01	4.98	11
스마트센서	0.97	1.07	1.28	1.37	1.52	1.68	2.09	2.63	11.6
머신비전	0.51	0.59	0.69	0.81	0.89	0.98	1.2	1.5	11
3D프린팅	0.03	0.04	0.07	0.09	0.16	0.25	0.48	0.82	38.5

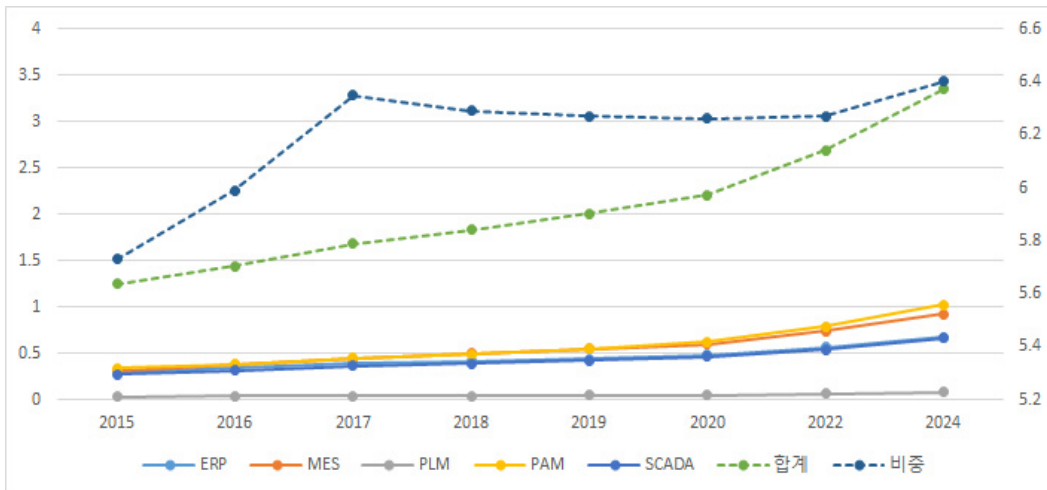


[그림 II-18] 국내 스마트팩토리 요소별 시장 규모 및 전망

국내 스마트팩토리의 솔루션별 시장 규모는 다음 표 II-18 및 그림 II-19와 같이 DCS와 PLC 분야가 2019년 기준 약 45%를 차지하고 있으며, 단일기술로는 MES 분야가 2019년부터 2024년까지 연평균 성장률이 14.05%로 급격히 성장할 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-18〉 국내 스마트팩토리 솔루션별 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
비중	5.73	5.99	6.35	6.29	6.27	6.26	6.27	6.4	-
합계	1.25	1.44	1.68	1.83	2.01	2.21	2.69	3.35	10.8
ERP	0.3	0.34	0.39	0.41	0.44	0.48	0.56	0.67	8.7
MES	0.31	0.37	0.44	0.5	0.55	0.6	0.74	0.92	10.8
PLM	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	11
PAM	0.34	0.38	0.45	0.49	0.55	0.62	0.79	1.02	13.1
SCADA	0.27	0.31	0.36	0.39	0.42	0.46	0.54	0.66	9.4

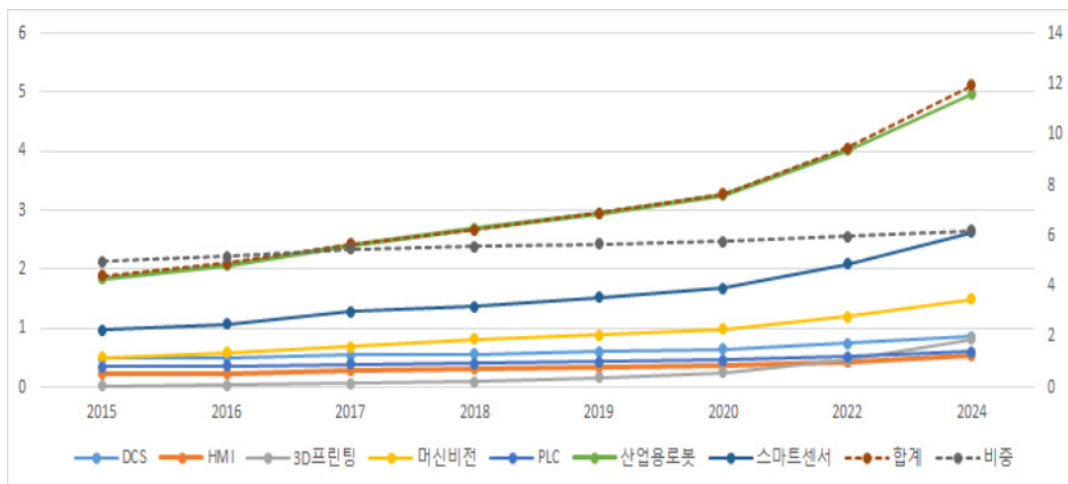


[그림 II-19] 국내 스마트팩토리 솔루션별 시장 규모 및 전망

국내 스마트팩토리의 장비·디바이스별 시장 규모는 다음 표 II-19 및 그림 II-20과 같이 솔루션 분야보다는 2024년까지 연평균 성장률 11.6%로 빠르게 성장할 것으로 예상하고 있다. 국내 시장에서는 산업용 로봇이 가장 큰 비중을 나타내고 있으며, 스마트센서, 머신비전, DCS 순으로 2024년까지 성장세가 지속될 것으로 예상하고 있다.

〈표 II-19〉 국내 스마트팩토리 장비·디바이스별 시장 규모 및 전망[단위: Billion USD, %]

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2024	CAGR ('19-'24)
비중	4.97	5.18	5.46	5.56	5.67	5.77	5.98	6.2	-
합계	4.4	4.9	5.66	6.23	6.9	7.64	9.48	11.94	11.6
DCS	0.49	0.51	0.55	0.56	0.6	0.64	0.74	0.86	7.3
HMI	0.22	0.24	0.28	0.3	0.33	0.36	0.44	0.55	10.9
3D프린팅	0.03	0.04	0.07	0.09	0.16	0.25	0.48	0.82	38.5
머신비전	0.51	0.59	0.69	0.81	0.89	0.98	1.2	1.5	11
PLC	0.35	0.37	0.39	0.41	0.44	0.46	0.52	0.6	6.4
산업용로봇	1.83	2.08	2.4	2.69	2.96	3.27	4.01	4.98	11
스마트센서	0.97	1.07	1.28	1.37	1.52	1.68	2.09	2.63	11.6

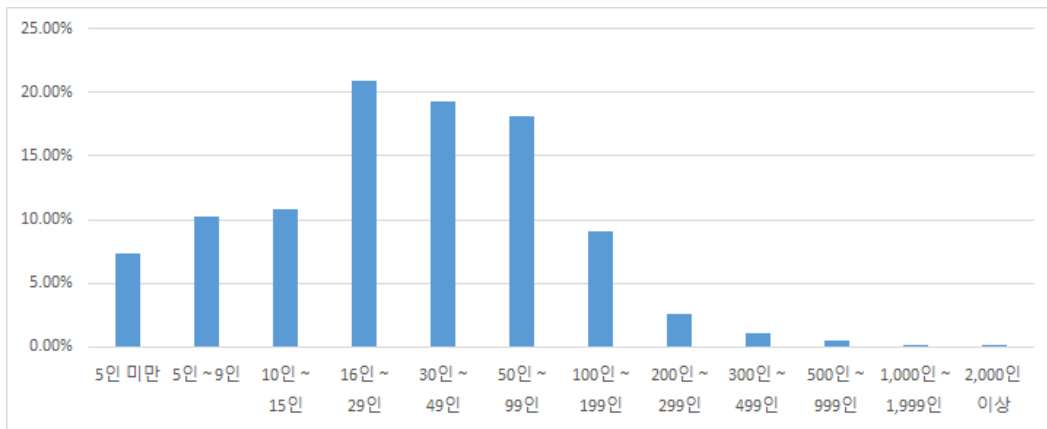


[그림 II-20] 국내 스마트팩토리 장비·디바이스별 시장 규모 및 전망

3. 스마트팩토리 관련 재해

1) 정부지원 스마트팩토리 현황

2014년부터 2019년까지의 정부지원 스마트팩토리 사업장(12,983개소)의 산업재해 발생현황 분석의 기초자료로 활용하고자 규모별·업종별 분포현황을 분석하였다. 다음의 그림 II-21은 정부지원 스마트팩토리 사업장의 규모별 현황을 나타내고 있다.



[그림 II-21] 정부지원 스마트팩토리 사업장 규모별 현황

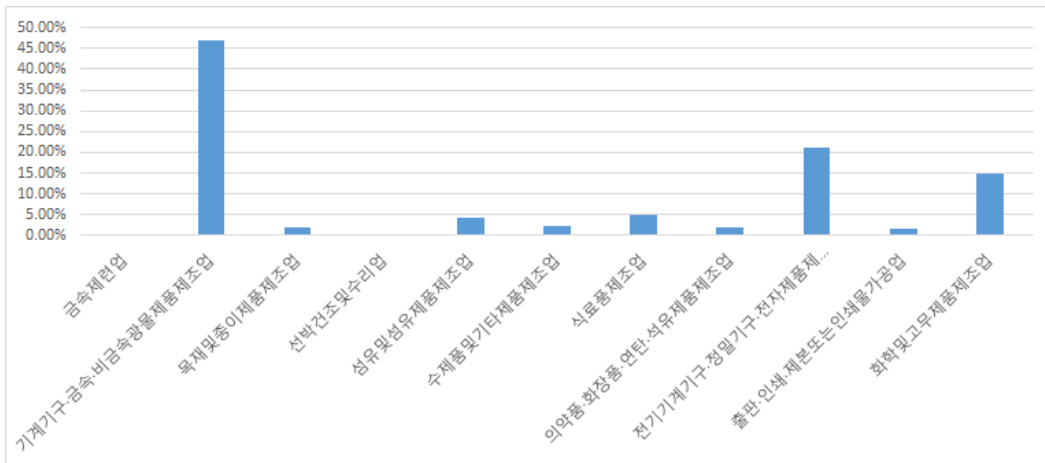
2020년 기준으로 50인 미만 사업장의 비율은 68.6%, 50인 이상 300인 미만 사업장의 비율이 29.8%로 중소기업 또는 중견 사업장이 다수를 차지하고 있다. 실제로 중소벤처기업부 보도자료(2019.05.23.)에 따르면 50인 미만의 사업장에서 생산, 품질, 원가 및 납기 분야의 공정개선 성과가 높은 것으로 나타났다.

정부지원 스마트팩토리 사업장의 대업종별 비율은 다음 표 II-20과 같다.

〈표 II-20〉 정부지원 스마트팩토리 사업장 업종 비율[단위: %]

대업종	광업	기타의 사업	농업	어업	운수·창고 및 통신업	전기·가스·증 기 및 수도사업	제조업
비율	0.03	5.82	0.08	0.01	0.08	0.08	93.90

정부지원 스마트팩토리 사업장의 경우 제조업 비율이 93.90%로 제조업을 중심으로 (중)업종별 분포현황을 다음 그림 II-22와 같이 상세 분석하였다. 기계기구·금속·비금속광물제품제조업, 전기기계기구·정밀기구·전자제품제조업 및 화학및고무제품제조업 등의 3개 업종 비율이 82.73%를 차지하고 있다.



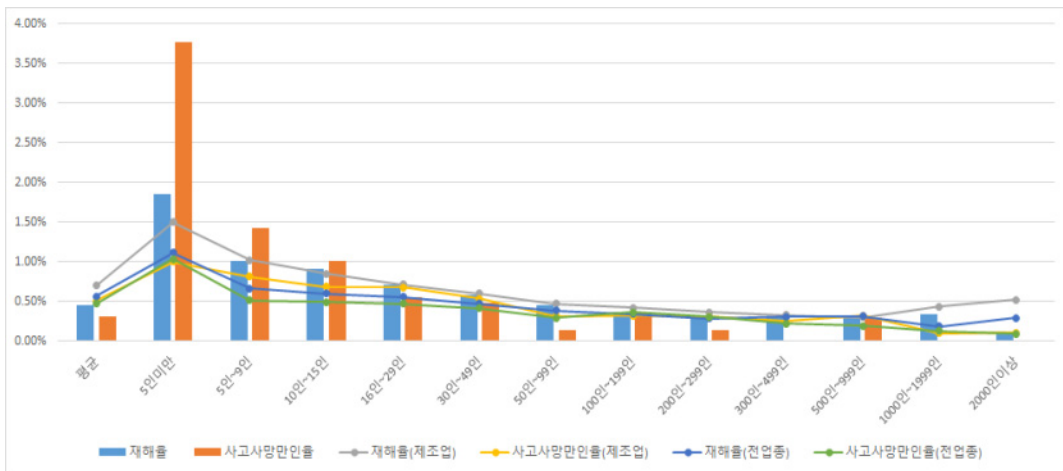
[그림 II-22] 정부지원 스마트팩토리 사업장 업종별 현황

2) 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해

정부지원 스마트팩토리 사업장의 안전보건수준 파악을 위한 기초자료로 활용하고자 산업재해 발생현황을 분석하였다.

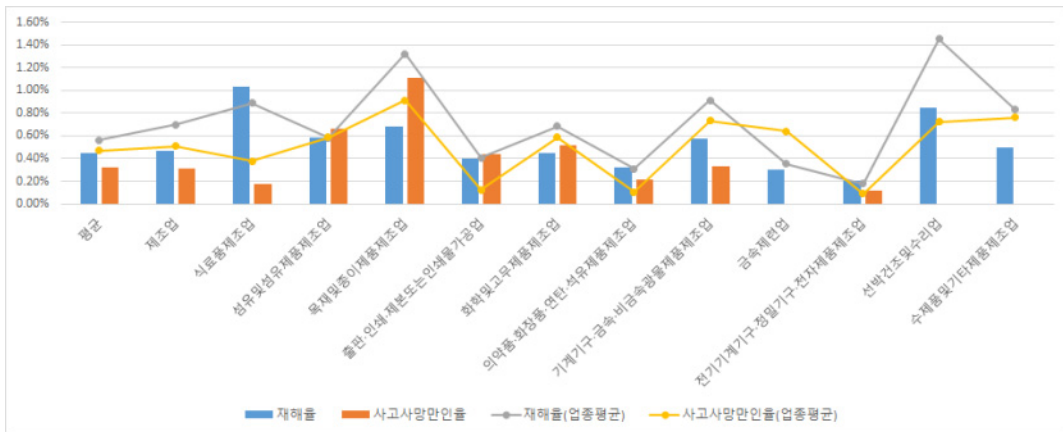
(1) 최근 3년간 규모별·업종별

정부지원 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 규모별 산업재해 발생현황을 규모별로 제조업과 전업종을 대상을 비교하여 다음 그림 II-23과 같이 분석하였다.

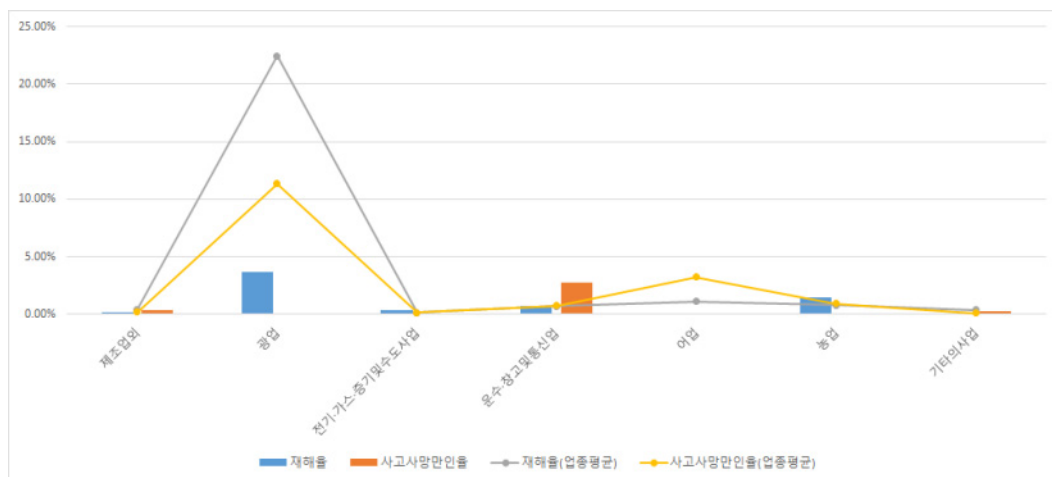


[그림 II-23] 정부지원 스마트팩토리 사업장 규모별 산업재해 발생현황

정부지원 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 업종별 산업재해 발생현황을 해당 업종별 평균 재해율과 사고사망만인율과 비교하여 다음 그림과 II-24와 같이 분석하였다.



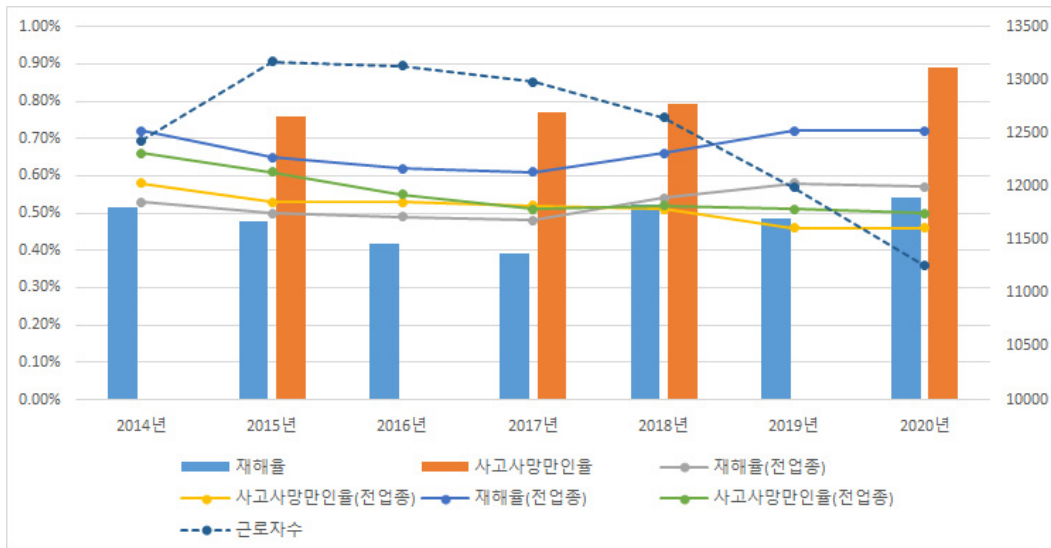
[그림 II-24] 정부지원 스마트팩토리 사업장 업종별 산업재해 발생현황



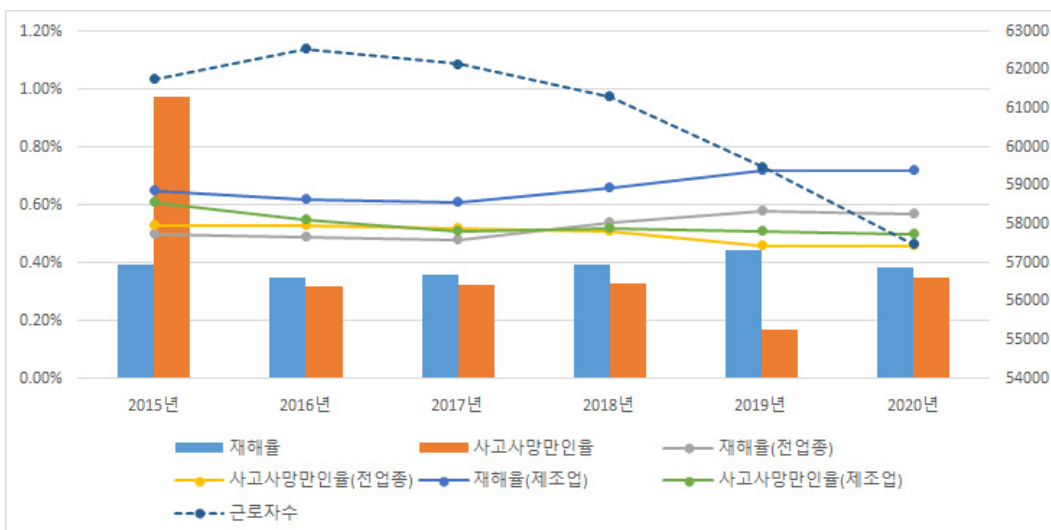
[그림 II-24-1] 정부지원 스마트팩토리 사업장 (대)업종별 산업재해 발생현황

(2) 지원 년도별

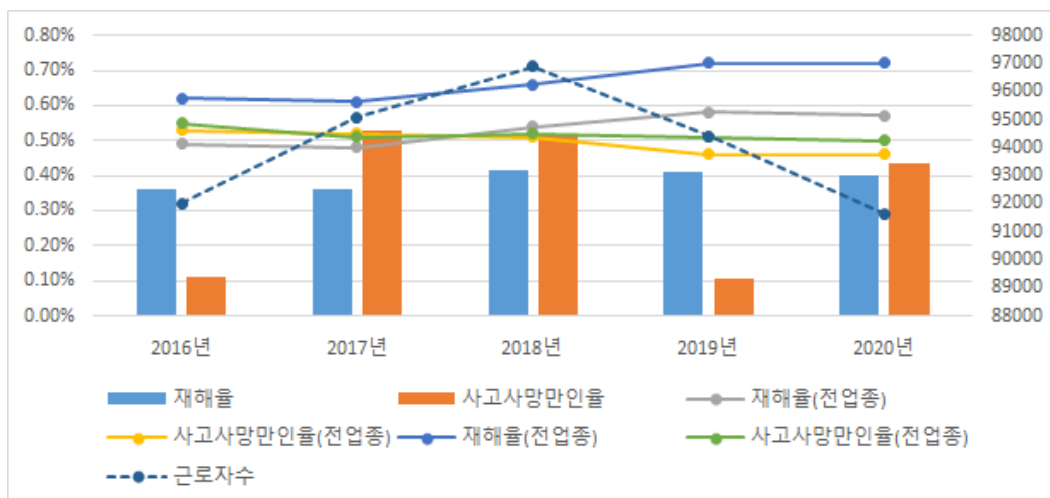
2014년부터 2019년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장의 년도별 산업재해 발생현황을 다음 그림 II-25~30과 같이 분석하였다.



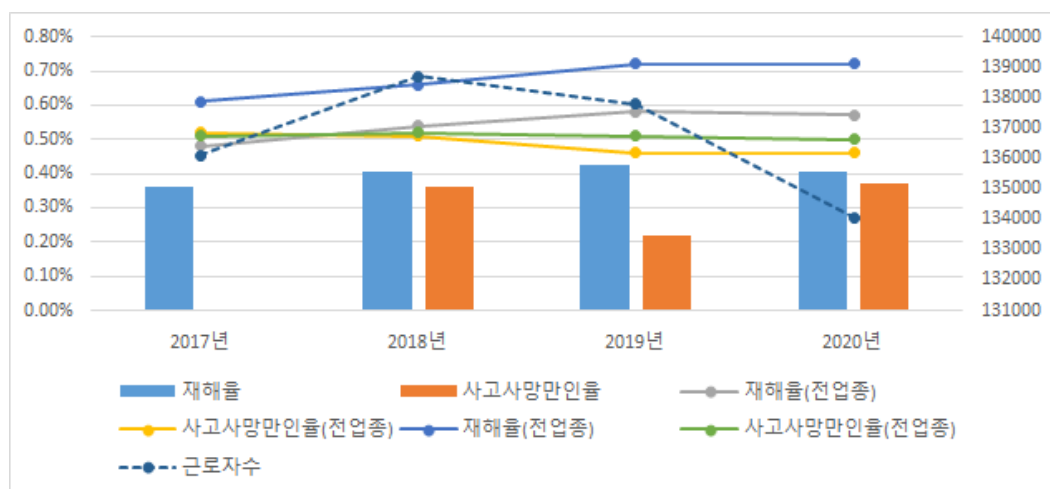
[그림 II-25] 2014년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황



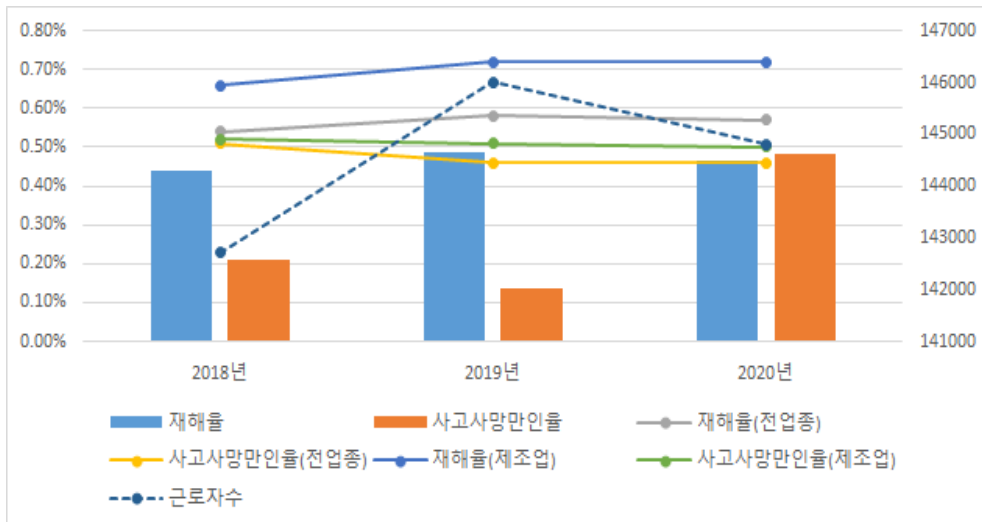
[그림 II-26] 2015년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황



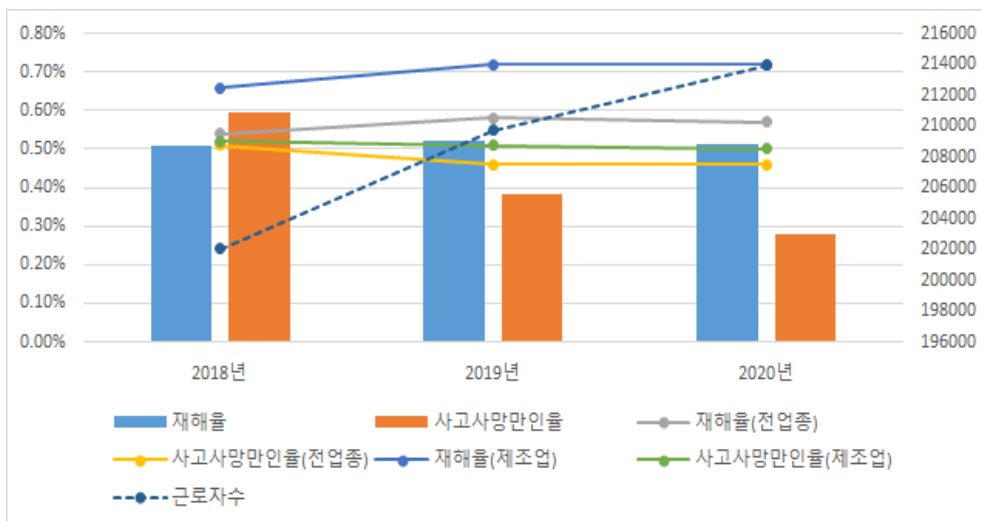
[그림 II-27] 2016년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황



[그림 II-28] 2017년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황

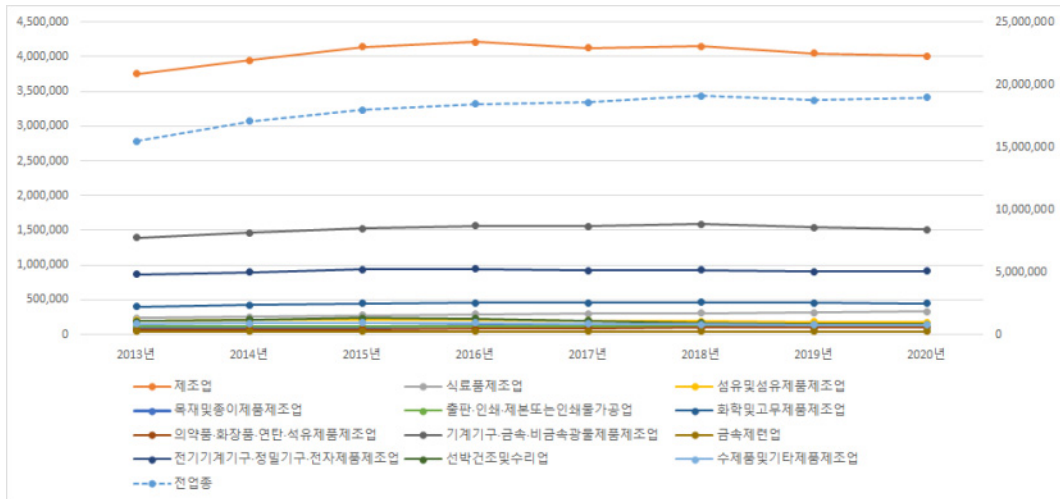


[그림 II-29] 2018년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황



[그림 II-30] 2019년 정부지원 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황

다음의 그림 II-31은 2013년부터 2020년까지의 업종별 근로자수 추이로 2014년부터 2019년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장의 년도별 산업재해 발생현황과 근로자수 변화의 상관관계를 확인하기 위한 참고자료이다.

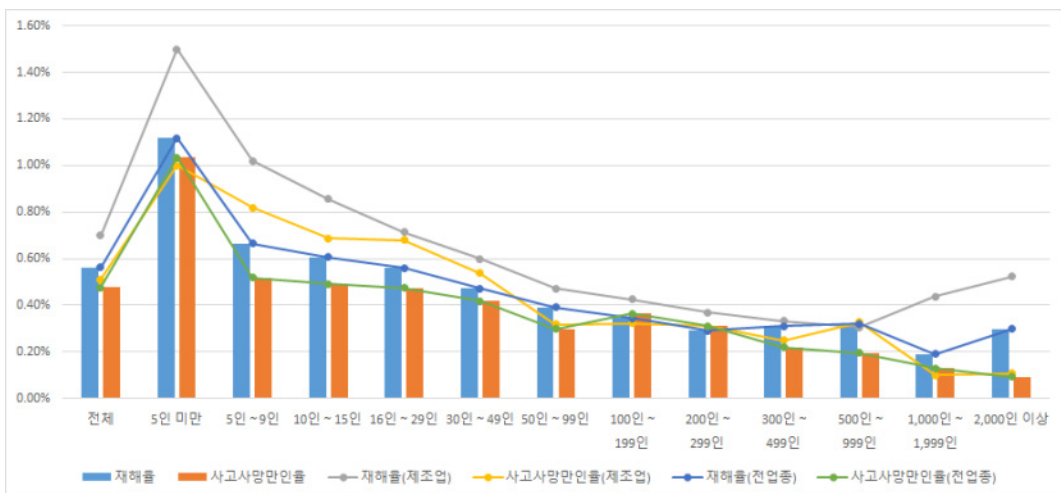


[그림 II-31] 업종별 근로자수 추이

3) 자동화설비 보유 사업장 산업재해

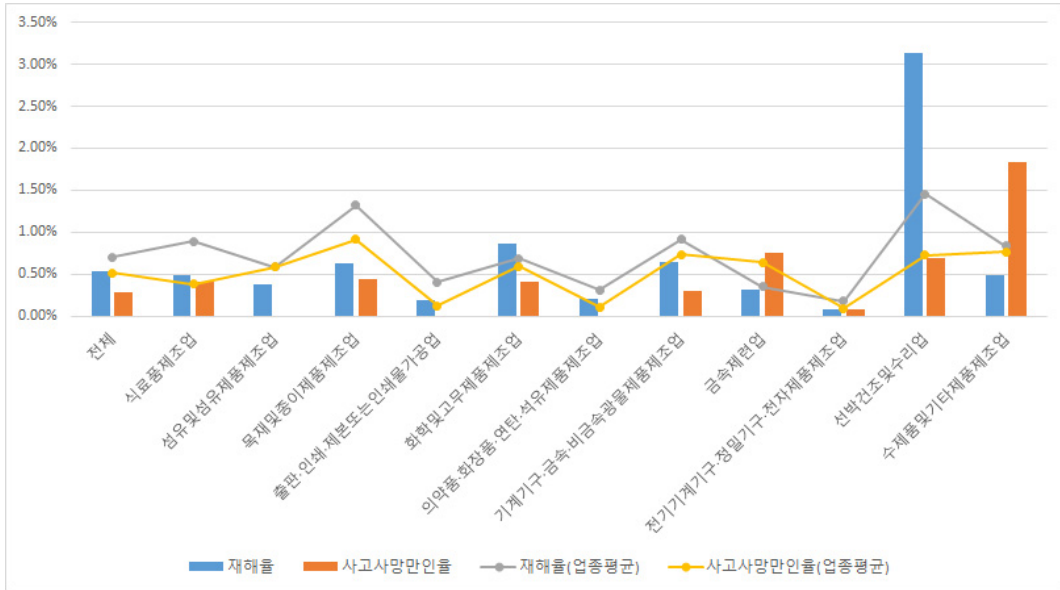
정부지원 스마트팩토리 사업장의 안전보건수준 파악을 위한 기초자료로 활용하고자 자동화설비 보유 사업장의 최근 3년간 산업재해 발생현황을 분석하였다. 여기서 자동화설비 보유 사업장은 산업용 로봇 및 컨베이어 안전검사 수검 사업장을 말한다.

다음의 그림 II-32는 자동화설비 보유사업장의 규모별 산업재해 발생현황을 나타내고 있다.

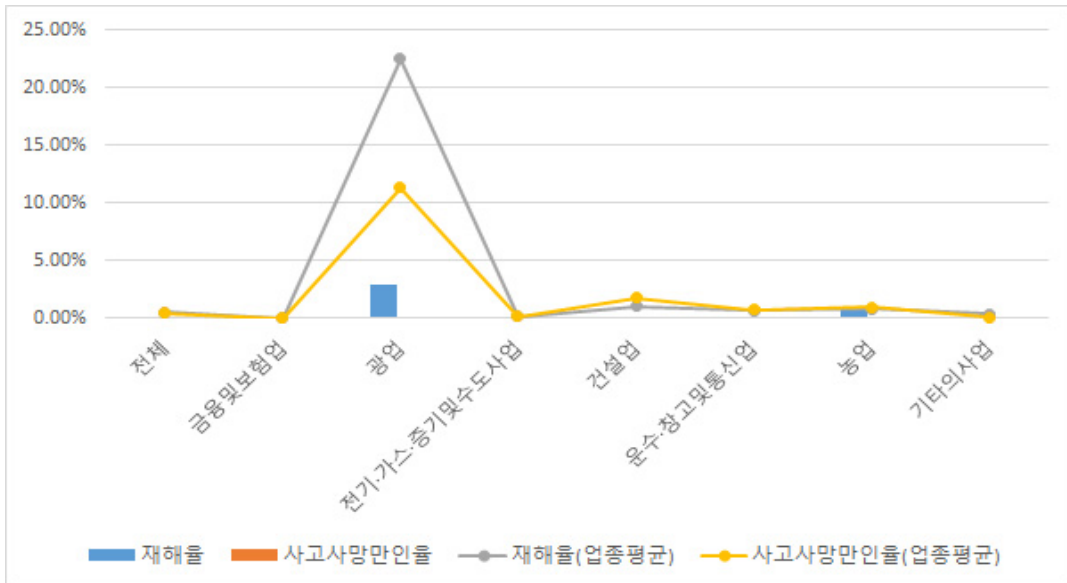


[그림 II-32] 자동화설비 보유사업장의 규모별 산업재해 발생현황

다음의 그림 II-33은 자동화설비 보유사업장의 업종별 산업재해 발생현황을 나타내고 있다.



[그림 II-33] 자동화설비 보유사업장의 업종별 산업재해 발생현황

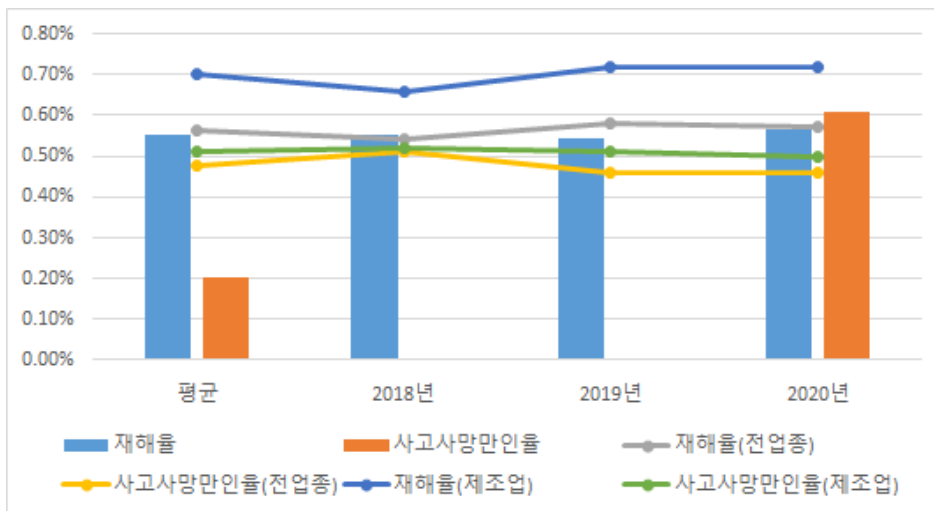


[그림 II-33-1] 자동화설비 보유사업장의 업종별 산업재해 발생현황

4) 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장 산업재해

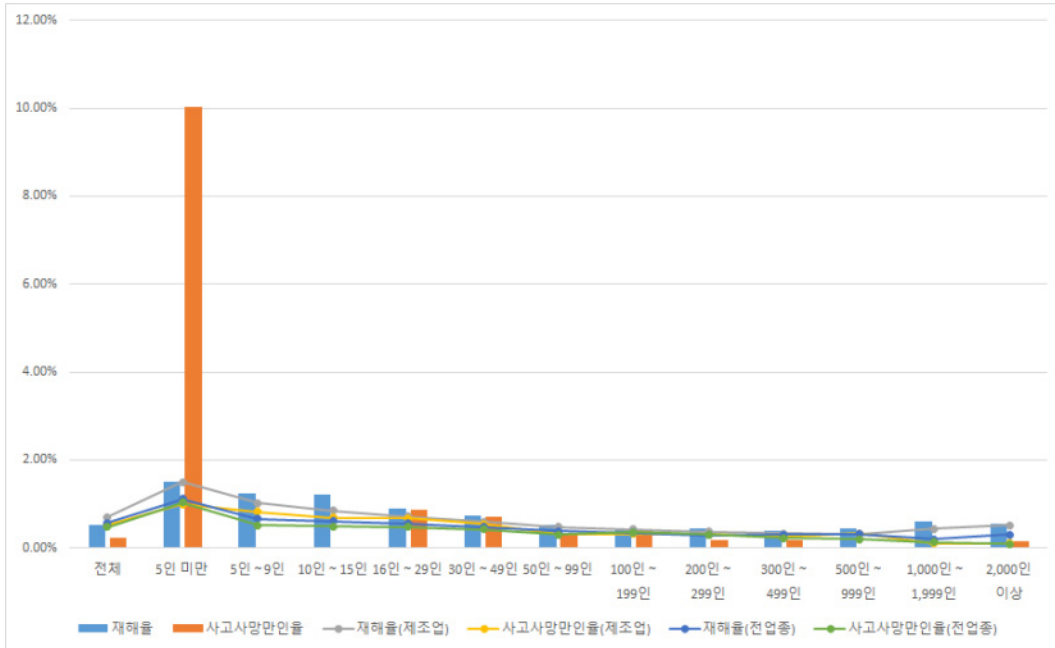
스마트팩토리 사업장 중 자동화설비를 보유한 사업장의 안전보건수준 파악을 위한 기초자료로 활용하고자 산업재해 발생현황을 분석하였다.

다음의 그림 II-34는 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 산업재해 발생현황을 나타내고 있다.

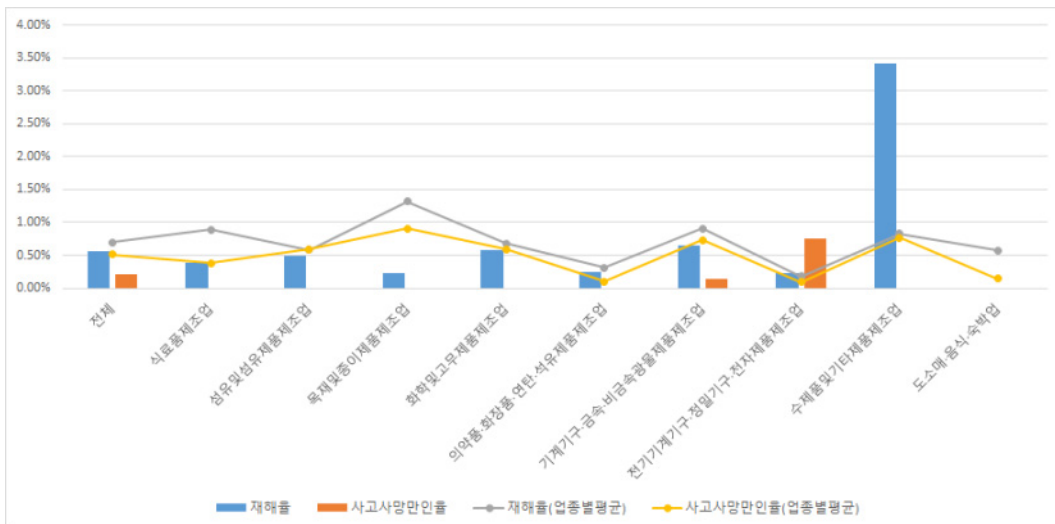


[그림 II-34] 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장 산업재해 발생현황

다음의 그림 II-35, 36은 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장의 규모별, 업종별 산업재해 발생현황을 각각 나타내고 있다.



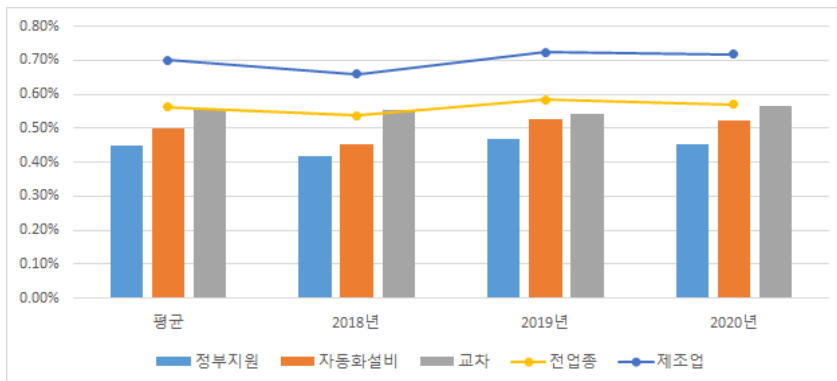
[그림 II-35] 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장 규모별 산업재해 발생현황



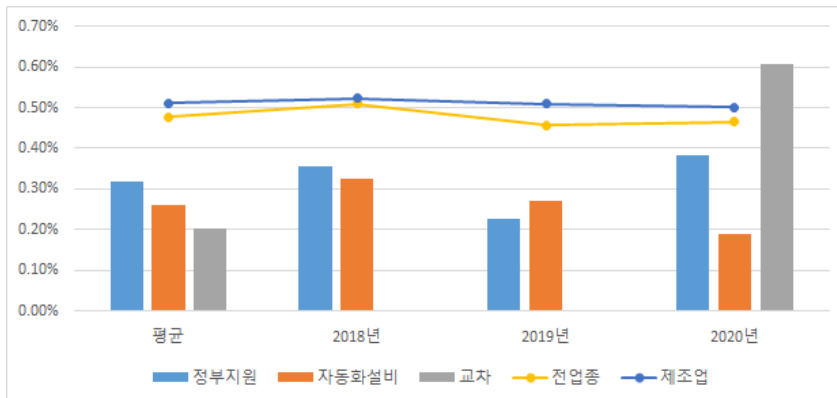
[그림 II-36] 자동화설비 보유 스마트팩토리 사업장 업종별 산업재해 발생현황

5) 정부지원 스마트팩토리 사업장의 산업재해 발생현황 비교

정부지원 스마트팩토리 사업장의 산업재해 발생현황을 파악하기 위하여 최근 3년간 자동화설비 보유 사업장, 정부지원과 자동화설비 보유 교차 사업장 및 업종을 다음 그림 II-37, 38과 같이 비교 분석하였다.

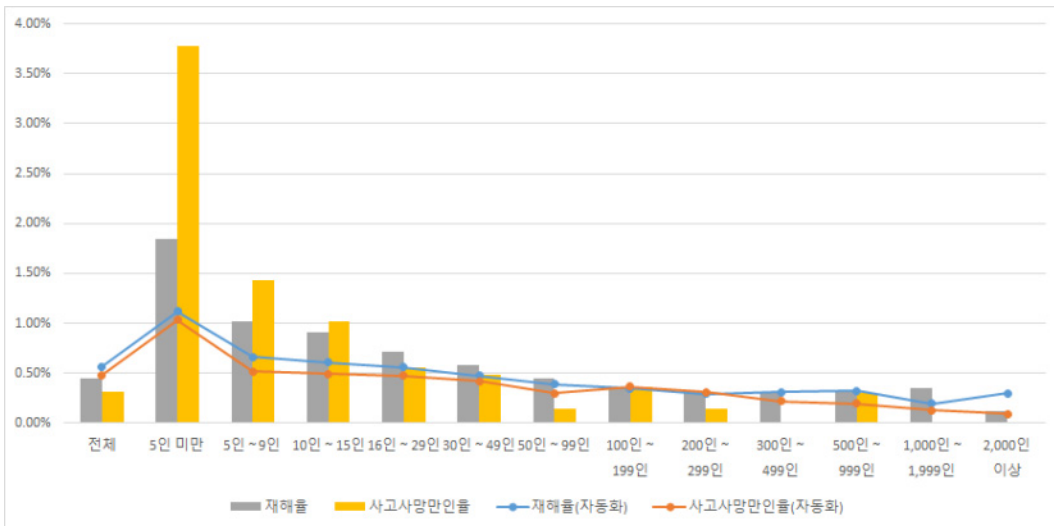


[그림 II-37] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 재해율 비교

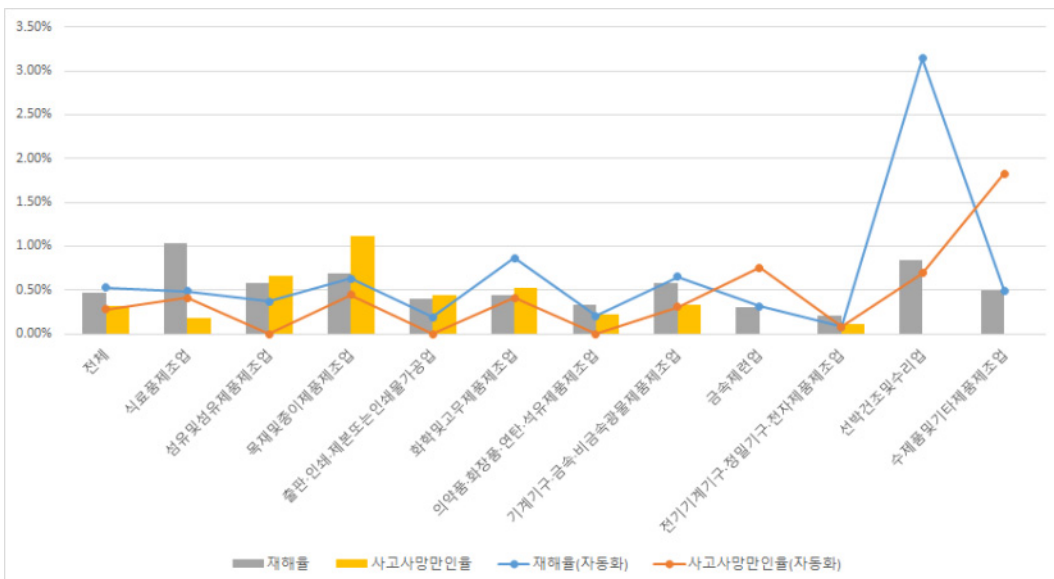


[그림 II-38] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 사고사망만인율 비교

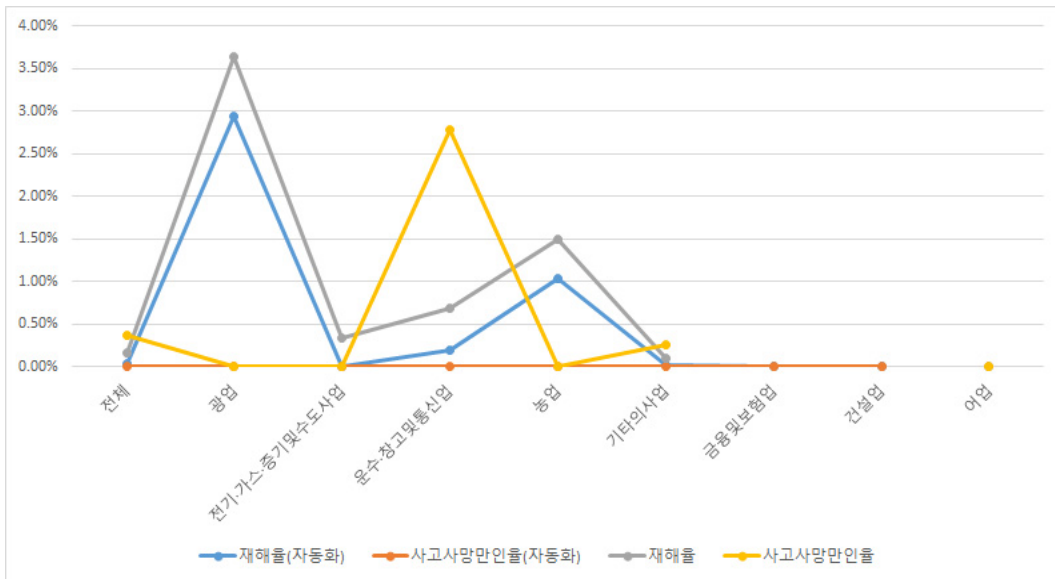
정부지원 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 재해율과 사고사망만인율을 자동화설비 보유 사업장과 규모별·업종별로 다음 그림 II-39, 40과 같이 비교 분석하였다.



[그림 II-39] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 규모별 사고사망만인율 비교



[그림 II-40] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 업종별 사고사망만인율 비교



[그림 II-40-1] 정부지원 스마트팩토리 사업장의 업종별 사고사망만인율 비교

Ⅲ. 스마트팩토리 유해·위험요인 및 문제점

.....

Ⅲ. 스마트팩토리 유해·위험요인 및 문제점

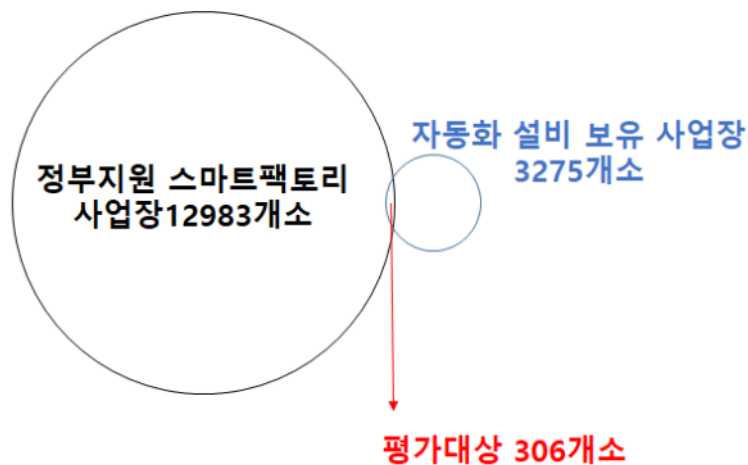
1. 스마트팩토리 사업장 평가

1) 개요

스마트팩토리 안전보건수준을 파악하고자 스마트팩토리 사업장의 유해·위험요인 파악 및 문제점 발굴을 위하여 해당 공정에 대한 평가를 실시하였다.

2) 대상

2014년부터 2019년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장 중 안전검사 대상 자동화 설비(산업용 로봇, 컨베이어) 보유 사업장을 다음 그림 Ⅲ-1과 같이 평가 대상으로 구분하였다.



[그림 Ⅲ-1] 스마트팩토리 사업장 평가대상 구분

3) 선정

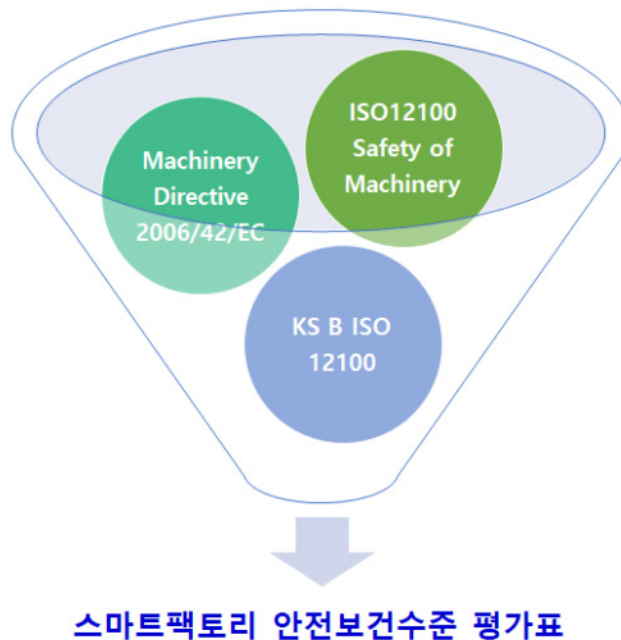
평가 대상 306개소 중 다음 그림 Ⅲ-2와 같이 지역별·업종별·규모별·수준별 및 산업재해 발생현황을 고려하여 30개소 이상을 선정하여 스마트팩토리 공정 현장 평가를 통한 유해·위험요인 파악 및 안전보건조치 수준을 확인하고자 하였다.



[그림 Ⅲ-2] 평가대상 선정 절차도

4) 내용

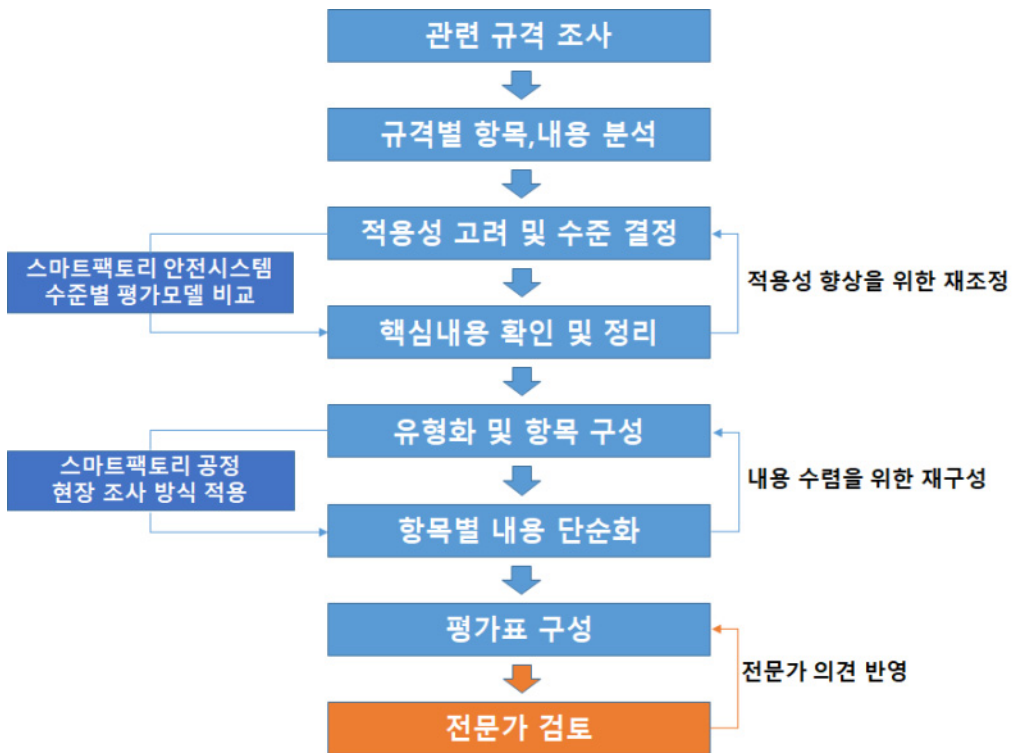
스마트팩토리 공정 현장 평가를 위한 안전보건수준 평가표를 부록 2와 같이 제정하였다. 스마트팩토리 안전보건수준 평가표는 다음 그림 III-3과 같이 기계류 설계제작 필수안전보건요건(유럽기계류지침 Annex I), 기계안전-설계 일반원칙-위험성평가와 위험성감소(KS B ISO 12100) 및 ISO 12100 Safety of Machinery를 기반으로 하고, 다음 그림 III-4와 같은 절차를 통하여 구성하였다.



[그림 III-3] 스마트팩토리 안전보건수준 평가표 구성

스마트팩토리 공정 현장 평가를 위한 안전보건수준 평가표 개발 절차는 관련 규격을 조사하여 규격별 항목 및 내용 분석을 실시하였다. 분석결과를 토대로 현장 적용성을 고려하여 수준을 결정하고 핵심내용 위주로 정리하였다. 여기서 정리결과를 유형화하여 항목을 구성하였으며 항목별 내용을 단순화

하였다. 마지막으로 전문가 의견을 반영하여 평가표를 구성하였다. 추가적으로 적용성을 고려하기 위하여 스마트팩토리 안전시스템 수준별 평가모델과의 비교를 통하여 핵심내용을 확인하고 정리하였다. 또한 유형화된 항목별로 스마트팩토리 공정 현장 조사 방식의 적용성을 고려하여 항목별 내용을 단순화하였다.



[그림 III-4] 스마트팩토리 안전보건수준 평가표 개발 절차

2. 스마트팩토리 유해·위험요인 및 문제점

1) 개요

스마트팩토리 유해·위험요인 파악을 위한 현장 평가에 앞서 문헌조사를 통하여 스마트팩토리에서의 산업안전과 관련된 위험을 기술적, 관리적 및 인적 위험요인으로 다음 표 Ⅲ-1과 같이 구분하였다(이진우, 2019). 기술적, 관리적 및 인적 위험요인 중심으로 현장 평가를 실시하고 스마트팩토리 유해·위험요인을 도출하였다.

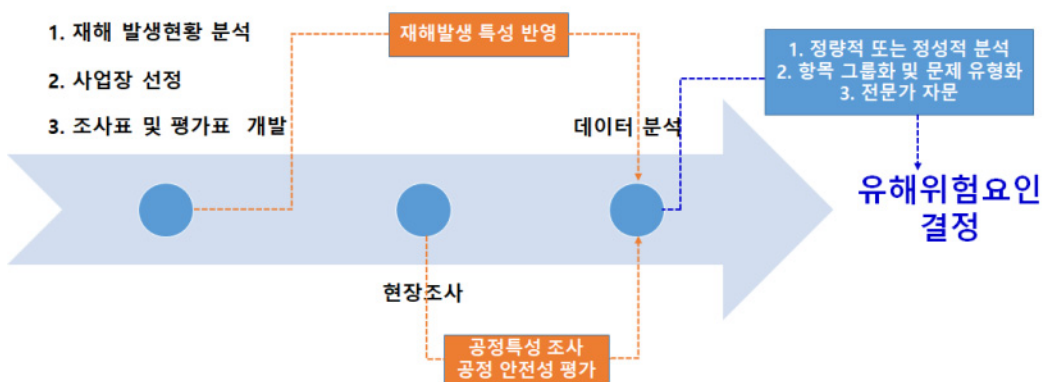
〈표 Ⅲ-1〉 스마트팩토리 관련 유해·위험요인

구분	내용
기술적 위험	- 스마트팩토리 설비의 안전관련 국제 규격 및 표준 미 준수 등으로 운영과정에서 발생할 수 있는 위험 - PLC 해킹, 네트워크 및 시스템 침해사고, 서비스 거부 공격 사고 등 - 스마트팩토리 위험성 평가 미흡으로 신규 유해·위험요인 누락 - 하드웨어 결함에 따른 내구성 결여, 하드웨어 불량, 가스/화학물질에 의한 오작동 및 부식 - 소프트웨어 자체 결함, 해킹에 따른 프로그램 변형, 프로그램 관리감독 미흡에 따른 설비 오작동, 정보왜곡 또는 신호외란에 의한 데이터 손실 및 변형
관리적 위험	- 안전인증 관리체계 부족에 따른 내·외부에서 발생할 수 있는 위험 - 피해 최소화 및 비상대응을 위한 스마트팩토리 관련 안전보건 정책과 조직 부재 - 스마트팩토리 기술은 공급업체가 소유하며 제조업체의 운영지침이 필수적이거나, 정상적이고 안정적인 운전을 위한 자체 운영지침 부재 - 스마트팩토리 공정 이상 발생 시 외부 전문가 조치 전까지 운전지침 미준수로 사고발생 위험 높음 - 최초 시운전시 사고발생 위험 높음 - 안전점검, 안전검사, 주기적 검사 및 관리책임 미흡에 따른 사고발생 위험 - 스마트팩토리 변경관리 절차 또는 지침 부재로 비정형 작업 시 사고발생 위험 - 외부자 보안 위협(해킹, 네트워크 침해사고, 서비스 거부 공격 등) - 스마트팩토리 안전보건 관련 교육 및 훈련 미흡
인적 위험	- 스마트팩토리 내부 관리자, 운영자, 작업자 및 외부자가 유발할 수 있는 위험 - 내·외부 인력에 의한 기술 유출 등의 사고

2) 도출 절차 및 방법

스마트팩토리 안전보건수준 파악을 위한 현장 평가를 통한 스마트팩토리 공정의 유해·위험요인 도출 절차 및 방법은 다음 그림 III-5와 같다.

재해 발생현황 분석결과를 토대로 사업장을 선정하고 개발된 부록1. 조사표 및 부록2. 평가표를 활용한 스마트팩토리 공정특성 조사를 통한 해당 공정 안전성 평가를 실시하였다. 그리고 평가결과 데이터의 정량적 또는 정성적 분석을 통하여 항목별로 내용을 그룹화하여 문제점을 유형화하였다. 최종적으로 전문가 자문을 통하여 유해·위험요인을 결정하고자 하였다.



[그림 III-5] 스마트팩토리 유해위험요인 도출 절차 및 방법

3) 스마트팩토리 공정평가

스마트팩토리 공정의 유해·위험요인 도출 및 문제점 파악을 위한 스마트팩토리 공정 평가를 실시하고 결과를 정리하였다.

(1) 개요

정부지원 스마트팩토리 사업장 중 제조·생산과정에서 자동화설비를 보유·사용하는 공장을 대상으로 스마트팩토리 공정 평가를 다음 표 III-2와 같이 실시하였다. 여기서 자동화설비란 산업용로봇, 컨베이어, AGV 및 기타 제조 공정에서 사용되어지는 자동화 시스템의 생산설비를 말한다.

〈표 III-2〉 스마트팩토리 공정평가 실시 사업장 현황

사업장	소재지	근로자수	(소)업종	생산품	평균재해율 (최근 3년간)
A	경북 경주시	202명	기타섬유제품제조업	자동차 내장재	0.28%
B	경남 김해시	79명	자동차부분품제조업	자동차 브레이크	1.25%
C	경남 양산시	179명	고무제품제조업	고무	0.83%
D	경남 양산시	23명	무기화학제품제조업	탄산칼슘	0.00%
E	경남 김해시	139명	각종기계또는동부속품 제조업	가전제품 판금제품	0.51%
F	경남 김해시	74명	자동차부분품제조업	자동차부품	1.36%
G	경남 김해시	18명	특수산업용기계제조업	자동차부품	4.29%
H	경북 경주시	28명	건설기계또는 광산기계및설비제품제조업	중장비부품	4.55%
I	경북 경산시	69명	금형제조업	금형(자동차)	0.00%
J	경북 경산시	236명	고무제품제조업	자동차부품	0.94%
K	부산광역시	103명	음료제조업	주류	0.76%

(2) 내용

스마트팩토리 공정 평가 실시 사업장의 스마트팩토리 구축 현황은 다음 표 Ⅲ-3과 같다. 다만 스마트팩토리 시스템 구축비율은 해당 공정에서 약 10% 미만으로 동일업종 일반 사업장과는 특이할 만한 차별성은 확인되지 않았다.

〈표 Ⅲ-3〉 공정평가 사업장의 스마트팩토리 구축 현황

사업장	구축년도	구축수준	구축시스템	구축비율	구축공정
A	2018년	기초	MES	5%	생산관리
B	2017년	기초	MES	5%	생산관리
C	2018년	기초	MES	5%	생산관리
D	2019년	기초	MES	5%	생산관리
E	2019년	고도화	PLC, MES	10%	판금
F	2019년	고도화	PLC, MES	10%	용접
G	2018년	기초	MES	5%	생산관리
H	2019년	고도화	PLC, MES	10%	사상
I	2019년	고도화	PLC, MES	10%	성형
J	2018년	기초	MES	5%	생산관리
K	2019년	고도화	PLC, MES	5%	출고

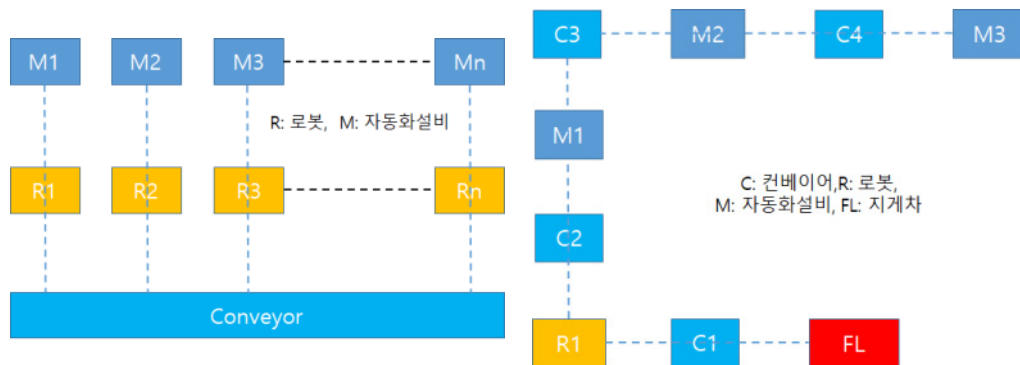
스마트팩토리 공정 평가 대상 사업장의 해당 공정 보유설비 현황은 다음 표 III-4와 같다. 해당 업종에 따라서 보유설비의 종류, 보유대수, 배치 및 작업내용 등이 다양했다.

〈표 III-4〉 스마트팩토리 공정 보유설비 현황

구 분	산업용로봇				컨베이어				자동화설비				
	대수	작업	작동	자동화	대수	작업	작동	자동화	설비명	대수	작업	작동	자동화
A	1	주입	조합	완전	3	이송	조합	부분	-	-	-	-	-
B	9	성형	조합	완전	2	이송	조합	부분	프레스	49	성형	조합	부분
C	-	-	-	-	3	이송	조합	부분	롤러기	3	가공	조합	부분
D	1	포장	조합	완전	2	이송	조합	완전	건조 설비	1	건조	조합	완전
E	16	판금	조합	완전	2	이송	조합	부분	프레스	38	판금	조합	부분
F	14	용접	조합	완전	1	이송	조합	부분	프레스	13	성형	조합	부분
G	11	단조	조합	완전	20	이송	조합	부분	프레스	9	절단	조합	부분
H	17	적재 사상	조합	완전	6	이송	조합	부분	프레스	8	절단 편칭	조합	부분
I	1	투입 취출	조합	완전	1	이송	조합	부분	프레스	8	성형	조합	부분
J	15	투입 취출	조합	완전	2	이송	조합	부분	사출 성형기	64	성형	조합	부분
K	3	포장	조합	완전	11	이송	조합	완전	-	-	-	-	-

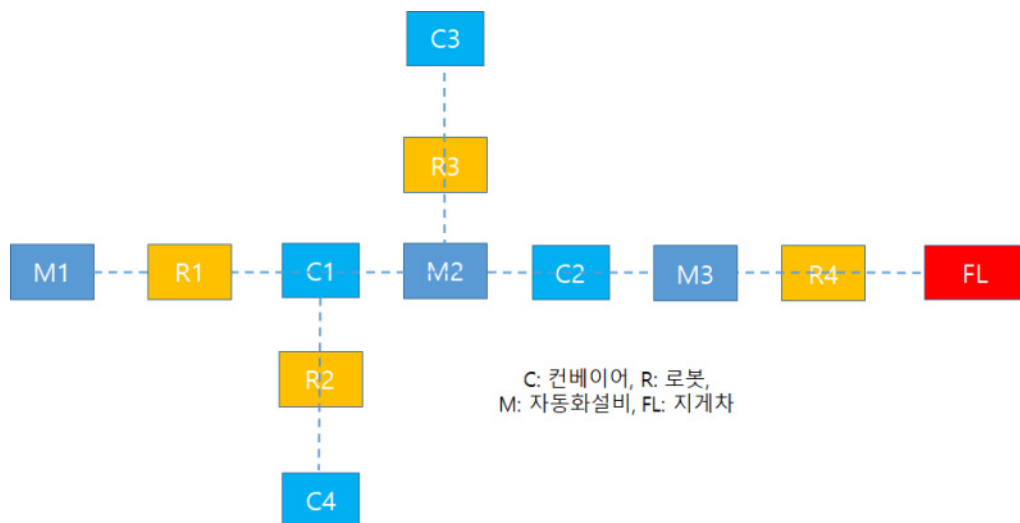
스마트팩토리 공정 평가 대상 공정의 보유설비 배치 구조는 다음 그림 III-6과 같다. 스마트팩토리 주요 설비인 산업용 로봇과 컨베이어는 생산 자동화설비와 조합되어 구성·운영되고 있었다. 공정 중에는 작업자 배치가 되지 않았지만, 공정 시작과 종료 부분에는 다음 표 III-5와 같이 작업자가 배치되어 해당작업을 수행하고 있었다.

제조 스마트화로 인해 산업용로봇, 컨베이어 등이 프레스, 사출성형기 등의 생산설비와 조합되어 설치·운영되고 있어 해당 공정의 위험은 대형화, 복잡화, 집적화 및 고도화로 인해 구조화되어 있다. 프레스 및 사출성형기 등의 위험작업을 대체하고 생산성 향상을 목적으로 산업용로봇, 컨베이어 등을 사용하고 있지만 이를 단순히 위험성의 양적증가 문제로 인식하고 유해·위험성만을 제거하는 방식은 한계가 있다. 따라서, 대형화, 복잡화, 집적화 및 고도화된 스마트팩토리 위험성에 대한 관리방안, 평가기법 및 안전보건대책의 새로운 정립이 필요하다.



〈병렬 구조〉

〈직렬 구조〉



〈조합형〉

[그림 III-6] 스마트팩토리 공정의 보유설비 배치 구조

스마트팩토리 공정 평가 대상 사업장의 작업자 현황은 다음 표 Ⅲ-5와 같다. 해당 공정에서의 작업자는 주로 공정 시작 또는 종료 지점에서 투입/취출 작업을 하였으며, 단독이 아닌 공동 작업방식의 경우에는 일부 조립/검사/분류 작업을 하고 있었다.

〈표 Ⅲ-5〉 스마트팩토리 공정 작업자 현황

구분	근로자수	도급	고용	근무	작업위치	작업방식	작업내용
A	15명	하청	정규직	교대	고정	단독	투입/취출
B	43명	혼재	혼재	교대	고정	단독	투입/취출
C	15명	원청	정규직	교대	고정	단독	투입/취출
D	3명	원청	정규직	교대	고정	단독	투입/취출
E	75명	혼재	정규직	정상	고정	공동	조립/검사
F	21명	혼재	정규직	교대	고정	공동	투입/취출
G	5명	원청	정규직	교대	고정	공동	투입/취출
H	13명	혼재	정규직	교대	고정	단독	투입/취출
I	25명	혼재	정규직	정상	고정	단독	투입/취출
J	87명	혼재	정규직	교대	고정	단독	투입/취출
K	5명	혼재	정규직	교대	고정	단독	분류

스마트팩토리 공정 평가 대상 사업장의 해당 공정의 비정형 작업 현황은 다음 표 III-6과 같다. 산업용 로봇 티칭, 금형교체, 장애해결 및 유지·보수 등의 비정형 작업에 대한 위험성 평가 및 작업시작 전 점검은 이루어지지 않고 있었다.

〈표 III-6〉 스마트팩토리 공정 비정형 작업 현황

구분	내용	발생빈도	작업주체	위험성 평가	작업전 점검
A	티칭, 유지보수	3회/일	공무	미실시	미실시
B	티칭, 유지보수, 장애해결 및 금형교체	5회/일	공무	미실시	미실시
C	유지보수 및 장애해결	5회/일	생산/공무	미실시	미실시
D	티칭, 유지보수 및 장애해결	3회/일	공무	미실시	미실시
E	티칭, 유지보수, 장애해결 및 금형교체	10회/일	생산/공무	미실시	미실시
F	티칭, 유지보수, 장애해결 및 금형교체	7회/일	생산	미실시	미실시
G	티칭, 유지보수, 장애해결 및 금형교체	10회/일	생산	미실시	미실시
H	티칭, 유지보수, 장애해결 및 금형교체	0.1회/일	공무	미실시	미실시
I	티칭, 유지보수, 장애해결 및 금형교체	5회/일	공무	미실시	미실시
J	티칭, 유지보수, 장애해결 및 금형교체	10회/일	공무	미실시	미실시
K	티칭, 유지보수 및 장애해결	15회/일	생산/공무	미실시	미실시

스마트팩토리 공정 평가 실시 사업장의 해당 공정 LOTO 실시 현황은 다음 표 Ⅲ-7과 같다. 11개 사업장 중 5개 사업장이 비정형 작업에 대해서 LOTO를 실시하고 있었지만, 절차서 작성·게시 및 교육을 실시하는 사업장 수는 상대적으로 더 낮았다.

〈표 Ⅲ-7〉 스마트팩토리 공정 LOTO 실시 현황

구분	LOTO	절차서 작성	절차서 게시	교육	Device	미실시 사유
A	미실시	미작성	미게시	미실시	미비치	• 생산 우선 • 사고사려가 없어 필요성을 느끼지 못함
B	미실시	미작성	미게시	미실시	미비치	• 생산 우선
C	실시	작성	미게시	실시	비치	-
D	미실시	미작성	미게시	미실시	미비치	• 필요성을 느끼지 못함 • 인식도가 낮음
E	미실시	미작성	미게시	미실시	미비치	• 생산과정에서 안전조치에 대한 고려가 충분하지 못함(시간, 비용 등)
F	미실시	미작성	미게시	미실시	미비치	• 생산 우선
G	미실시	미작성	미게시	미실시	미비치	• 생산 우선
H	실시	작성	미게시	실시	비치	• 연속공정으로 차단불가
I	실시	미작성	미게시	실시	비치	• 필요성을 느끼지 못함 • 인식도가 낮음
J	실시	미작성	미게시	미실시	비치	• 연속공정으로 차단불가 • 품질관리 차원에서 에러발생
K	실시	미작성	미게시	미실시	비치	• 에러 발생시 즉시 조치가능으로 전원 차단 불필요

스마트팩토리 공정 평가 대상 사업장의 해당 공정의 유해·위험 인자 발생 현황은 다음 표 III-8과 같다. 대부분의 해당 사업장에서 소음, 유기화합물, 분진 및 반복작업 등의 유해·위험 인자가 공통적으로 발생되고 있었다.

〈표 III-8〉 스마트팩토리 공정 유해·위험 인자 발생 현황

구분	물리적 인자	화학적 인자	생물학적 인자	인간공학적 인자
A	-	유기화합물	-	반복작업
B	소음	유기화합물	-	반복작업
C	소음	유기화합물, 분진	-	반복작업
D	소음	분진	-	반복작업
E	소음	분진	-	반복작업
F	소음, 유해광선	가스상태물질류, 분진	-	반복작업
G	소음, 고열	산류, 분진	-	반복작업
H	소음, 고열	가스상태물질류, 분진	-	-
I	고열	금속류	-	반복작업
J	고열	유기화합물, 산류, 분진	-	반복작업
K	소음	유기화합물	-	-

(3) 결과

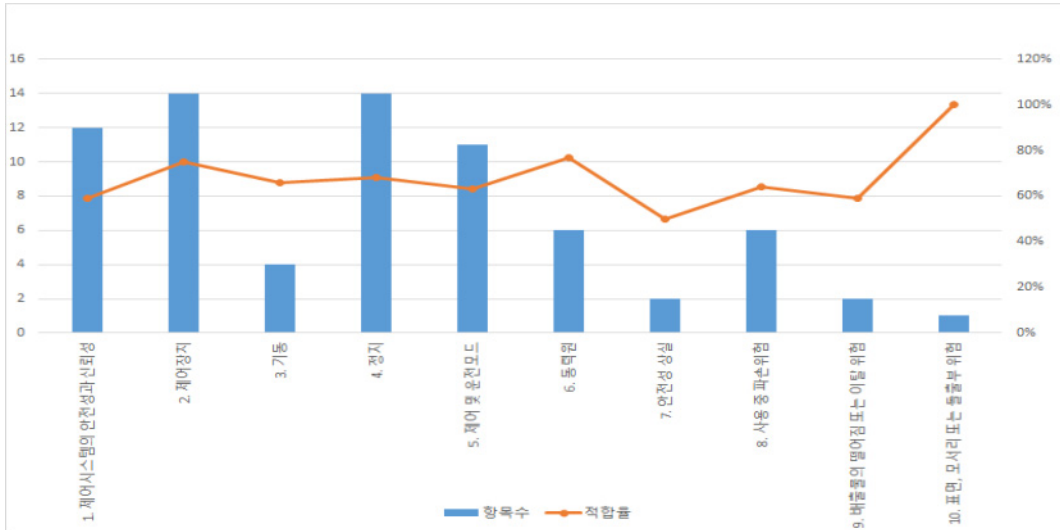
스마트팩토리 공정 평가 대상 사업장의 결과표는 다음 표 III-9와 같다. 또한 스마트팩토리 공정 평가 항목별 전체 항목수 대비 적합율은 다음 그림 III-6과 같다.

다만, 항목별 세부 항목수에 따라서 적합의 편차가 큰 관계로 적합율 분석을 통한 특이성 또는 변별력은 확인이 불가능했다. 이에 항목별 세부 항목수 전체와 사업장별 평균 부적합 항목수의 상관관계를 고려한 점수 합계를 산출하여 다시 다음 표 III-10과 같이 항목별로 순차 정리하였다.

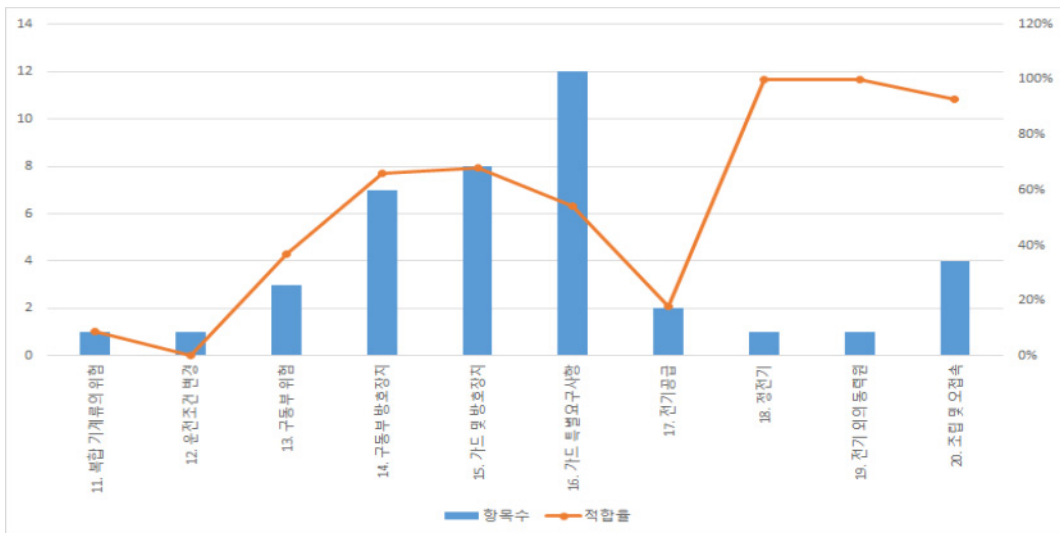
정리결과 가드 특별요구사항, 정지, 제어시스템의 안전성과 신뢰성, 제어장치, 제어 및 모드, 가드 및 방호장치 항목 순으로 취약한 것으로 확인되었다.

〈표 III-9〉 스마트팩토리 공정평가 결과표

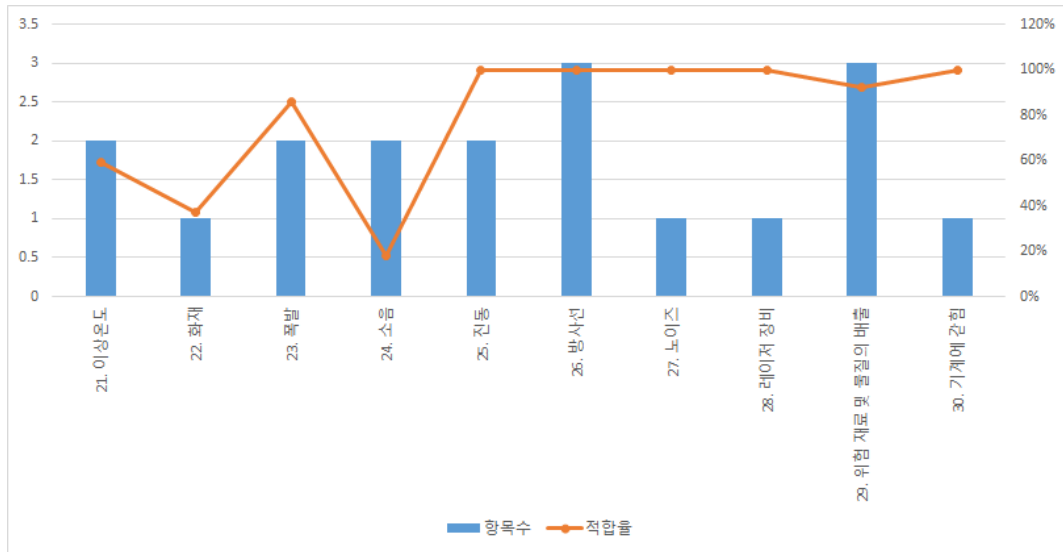
항목	전체 항목수	적합 항목수	적합율	항목	전체 항목수	적합 항목수	적합율
1. 제어시스템의 안전성과 신뢰성	12	7.1	59%	22. 화재	1	0.37	37%
2. 제어장치	14	10.46	75%	23. 폭발	2	1.73	86%
3. 기동	4	2.64	66%	24. 소음	2	0.36	18%
4. 정지	14	9.55	68%	25. 진동	2	2	100%
5. 제어 및 모드	11	6.92	63%	26. 방사선	3	3	100%
6. 동력원	6	4.64	77%	27. 노이즈	1	1	100%
7. 안정성 상실	2	1	50%	28. 레이저 장비	1	1	100%
8. 사용중 파손위험	6	3.83	64%	29. 위험 재료 및 물질의 배출	3	2.46	82%
9. 배출물의 떨어짐 또는 이탈 위험	2	1.18	59%	30. 기계에 간힘	1	1	100%
10. 표면, 모서리 또는 돌출부 위험	1	1	100%	31. 미끄러짐 또는 떨어짐	2	1.73	86%
11. 복합 기계류의 위험	1	0.09	9%	32. 낙뢰	1	1	100%
12. 운전조건 변경	1	0	0%	33. 정비	4	1.09	27%
13. 구동부 위험	3	1.1	37%	34. 조작위치	1	0.91	91%
14. 구동부 방호장치	7	4.65	66%	35. 동력원 차단	6	3	50%
15. 가드 및 방호장치	8	5.46	68%	36. 작업자 개입	3	1.18	39%
16. 가드 특별요구사항	12	6.54	54%	37. 기계류의 정보 및 경고	1	0.09	9%
17. 전기공급	2	0.37	18%	38. 정보 및 제공장치	3	1.65	55%
18. 정전기	1	1	100%	39. 경보장치	3	1.82	61%
19. 전기 이외의 동력원	1	1	100%	40. 잔류위험	1	0	0%
20. 오조립 및 오접속	4	3.73	93%	41. 표시	4	3	75%
21. 이상온도	2	1.19	59%	42. 사용설명서	3	1.18	39%



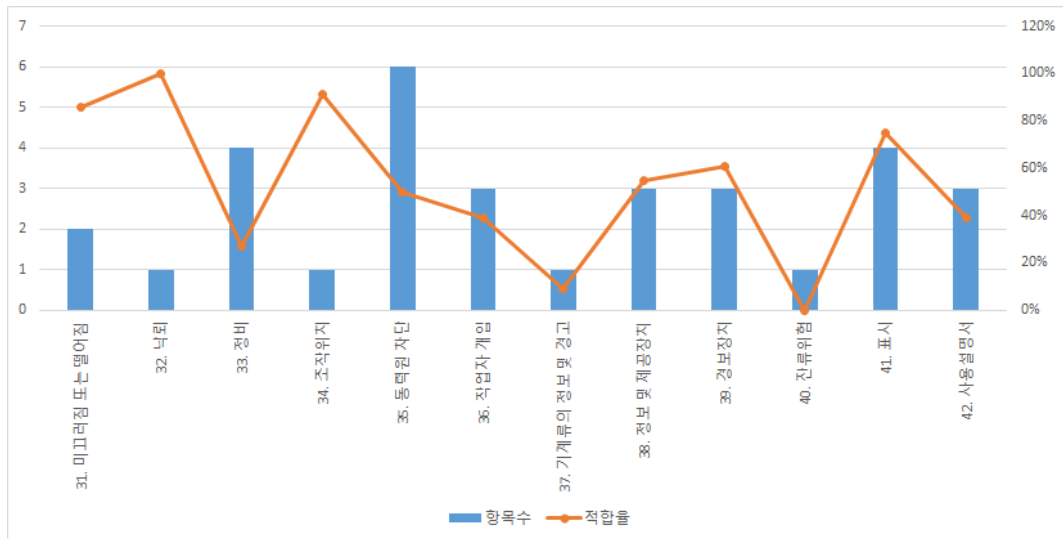
[그림 III-7] 스마트팩토리 평가항목별 적합율



[그림 III-7] 계속



[그림 III-7] 계속



[그림 III-7] 계속

〈표 Ⅲ-10〉 스마트팩토리 공정평가 부적합 점수 집계표

항목	전체 항목수	부적합 항목수	점수	항목	전체 항목수	부적합 항목수	점수
16. 가드 특별요구사항	12	5.46	65.52	9. 배출물의 떨어짐 또는 이탈 위험	2	0.82	1.64
4. 정지	14	4.45	62.3	21. 이상온도	2	0.81	1.62
1. 제어시스템의 안전성과 신뢰성	12	4.9	58.8	29. 위험 재료 및 물질의 배출	3	0.54	1.62
2. 제어장치	14	3.54	49.56	20. 오조립 및 오접속	4	0.27	1.08
5. 제어 및 모드	11	4.08	44.88	12. 운전조건 변경	1	1	1
15. 가드 및 방호장치	8	2.54	20.32	40. 잔류위험	1	1	1
35. 동력원 차단	6	3	18	11. 복합 기계류의 위험	1	0.91	0.91
14. 구동부 방호장치	7	2.35	16.45	37. 기계류의 정보 및 경고	1	0.91	0.91
8. 사용 중 파손위험	6	2.17	13.02	22. 화재	1	0.63	0.63
33. 정비	4	2.91	11.64	23. 폭발	2	0.27	0.54
6. 동력원	6	1.36	8.16	31. 미끄러짐 또는 떨어짐	2	0.27	0.54
13. 구동부 위험	3	1.9	5.7	34. 조작위치	1	0.09	0.09
36. 작업자 개입	3	1.82	5.46	10. 표면, 모서리 또는 돌출부 위험	1	0	0
42. 사용설명서	3	1.82	5.46	18. 정전기	1	0	0
3. 기동	4	1.36	5.44	19. 전기 이외의 동력원	1	0	0
38. 정보 및 제공장치	3	1.35	4.05	25. 진동	2	0	0
41. 표시	4	1	4	26. 방사선	3	0	0
39. 경보장치	3	1.18	3.54	27. 노이즈	1	0	0
24. 소음	2	1.64	3.28	28. 레이저 장비	1	0	0
17. 전기공급	2	1.63	3.26	30. 기계에 간힘	1	0	0
7. 안전성 상실	2	1	2	32. 낙뢰	1	0	0

3. 스마트팩토리 관련 개선필요 사항

스마트팩토리 사업장의 공정 평가 결과를 토대로 스마트팩토리 관련 개선 필요 사항을 다음 표 III-11과 같이 정리하였다.

스마트팩토리 안전보건수준 평가표에서 부적합율이 높은 항목 위주로 개선 필요 사항을 작성하였다. 또한 항목별 개선내용은 기계류 설계·제작 필수안전 보건요건(유럽기계류지침 Annex I), 기계안전-설계일반원칙-위험성평가와 위험성감소(KS B ISO 12100) 및 ISO 12100 Safety of Machinery을 참조하여 도출하였다.

〈표 III-11〉 스마트팩토리 공정 개선필요 사항

항목	개선필요 사항
1. 제어시스템의 안전성과 신뢰성	• 제어시스템 설계 시 기계가 불시기동, 속도제어 불가, 정지성능 저하, 기계의 고정부 또는 가동부의 분리, 안전장치 무효화 등의 위험한 상황을 유발하지 않도록 안전성과 신뢰성을 충분히 고려한다. • 제어시스템 구성의 부적절한 설계 또는 성능저하, 제어시스템 부품의 결함 또는 고장, 제어시스템 전원공급의 변동 또는 고장, 제어시스템 부품의 부적절한 선정 또는 설치 등이 없어야 한다. • 제어시스템은 운전자가 안전하고 용이하게 조작할 수 있도록 시동 및 정지상태의 체계적인 분석, 특정 운전모드의 검토, 전자제어 시스템 및 시각 표시장치의 결함의 명확한 표시 및 복합 기계류의 특별 요구사항 반영 등을 고려한다.
2. 제어장치	• 제어장치는 위험영역이 아닌 장소에 쉽게 조작 및 접근할 수 있는 위치에 설치한다. • 위험영역에서의 가동부는 해당 부분의 제어장치를 의도적으로 작동시키는 경우에만 제어되어야 한다. (예를 들어 지정장소에서 인간공학적 원리를 적용한 인에이블장치(Enabling Control Device)를 사용하는 경우에는 해당 가동부의 작동이 가능하다.) • 제어장치는 예상 가능한 외부 요인에 대한 기계적전기적 영향을 견딜 수 있어야 하고, 특히 비상정지장치는 정지성능에 대한 신뢰성을 갖추어야 한다. • 1개 이상의 조작반이 사용되는 경우 1개의 특정 조작반이 해당시간 중에 작동을 제어할 수 있어야 하고, 어느 조작반이 작동을 제어하고 있는지가 표시되어야 한다.

〈표 Ⅲ-11〉 계속

항목	개선필요 사항
3. 기동	• 자동운전 설비가 정지이후에 재기동하는 경우에는 안전조건의 재설정이후에만 재기동이 가능하도록 제어 프로그램이 구성되어야 한다. • 순차 기동에 있어서는 각 단계별로 연동되어야 하고, 특별한 순서에서 기동과 정지가 이루어지도록 안전상 요구된다면 정확한 순서로 작동됨을 확인할 수 있는 장치를 설치해야 한다.
4. 정지	• 각 조작반에는 기계의 안전한 상태를 유지하기 위해 동작기능의 일부 또는 전부를 정지시킬 수 있는 장치가 있어야 하며 정지기능은 기동기능보다 우선되어야 한다. • 위험성평가 결과에 따라서 정지방식을 선정하고 필요시 정지는 방호장치와 연동되어야 한다. * 정지방식 분류 - 0정지방식 : 엑츠펬이터가 전원차단과 동시에 정지 - 1정지방식 : 엑츠펬이터 정지이후 전원이 차단 - 2정지방식 : 기계 정지시까지 엑츠펬이터 전원이 인가된 상태로 제어 • 기계의 효율적인 재기동을 위하여 엑츠펬이터에 전원을 차단시키지 않는 경우에는 제어시스템의 고장이 의도하지 않는 기동을 유발할 수 있기 때문에 기계의 정지상태를 감시할 수 있어야 하고, 이때 감시 시스템은 적절한 신뢰성을 가져야 한다. • 비상정지장치 작동 시 정지상태가 유지되어야 하며, 적절한 절차 및 조작에 의해서만 정지상태가 해제되어야 한다. 또한, 비상정지장치의 정지기능 해제 시에는 정상작동 조건이 충족되지 않으면 기계가 재기동되어서는 안되며, 재기동 조작(Reset 명령 등)에 의해서만 재기동 되어야 한다. • 작업자가 위험영역을 벗어날 수 없는 경우 기계의 기동을 방지할 수 있고 기계 조작자에게 보이지 않는 위험영역 또는 작업자가 간할 위험이 있는 영역에는 비상정지장치를 설치한다. • 기계 조립시에도 비상정지장치는 위험을 유발할 수 있는 기계의 모든 기동을 정지시킬 수 있어야 하며, 위험발생 부분의 일부만 정지시키는 경우에는 기계 또는 연동부분과의 구분이 명확해야하고 기술문서에 기재한다.

〈표 III-11〉 계속

항목	개선필요 사항
5. 제어 및 운전모드	• 운전모드 선택기는 모드위치가 제어 또는 운전방식과 일치해야 하고, 모드별로 잠금장치(물리적 또는 암호 등)를 설치해야 한다. 또한 작업자의 접근등급에 따라서 기계의 기능을 제한할 수 있다. • 방호장치 및 가드의 기능이 무효화되는 경우에는 다음의 조건을 동시에 만족해야 한다. - 해당 운전모드를 제외하고는 모든 다른 제어 및 운전모드는 무효화 - 인에이블 장치 등을 통해 조작자가가 위험기능에 대한 완벽한 통제권을 가지고 있어야 함 - 구동부의 저속운전 등의 방법을 사용하고, 모든 위험 구동부에 대한 방호조치를 유효한 상태로 유지 - 해당 운전모드를 제외하고 관련 기동을 유발할 수 있는 기계의 모든 센서는 비활성화 유지 • 상기의 4가지 조건을 동시에 만족할 수 없는 경우 제어 또는 운전모드 선택기는 안전영역에서만 개입이 가능하도록 방호조치 등을 활성화시켜야 한다.
6. 동력원	• 동력원 공급실패로 인한 위험상황이 발생하지 않도록 제조자가 위험성평가를 실시해야 한다. • 동력원 공급실패가 발생하는 경우 기동 제어장치를 사용하여 기계 재기동전까지는 기동이 방지되어야 한다. • 기계의 구동부로 지지하고 있던 가공물이 낙하 또는 배출되지 않도록 해야 하며, 스프링 또는 압축공기 등으로 방지할 수 있다. • 동력원 공급실패가 발생하는 경우에는 방호장치는 항상 유효화 상태를 유지하거나 정지명령이 이루어져야 한다.
7. 안정성 상실	• 기계 등의 운송, 조립, 해체 및 조작 등의 생애주기별로 유해위험이 발생하지 않도록 안정성이 유지되어야 하며, 기계자체의 특수성으로 인해 충분한 안정성을 확보할 수 없는 경우에는 별도의 방호조치를 채택하고 이를 설명서에 명기한다.
8. 사용 중 파손위험	• 사용설명서에는 점검사항, 점검주기, 이상발생 시 대책 및 전문가 조치사항 등을 포함한 유지보수 계획이 포함되어야 한다. • 방호가드를 사용하여 피가공물 관련 파편 비산 등 위험상황이 발생하지 않도록 한다. • 외부에 노출된 고압유체 파이프는 파손 또는 접속부 탈락 등의 위험이 발생하지 않도록 곡률반경을 고정하여 고정한다. • 공작기계의 경우 피가공물과 절삭공구의 상태를 감시하는 제어시스템의 신뢰성에 따라서 방호가드를 설치한다.

〈표 Ⅲ-11〉 계속

항목	개선필요 사항
9. 배출물의 떨어짐 또는 이탈 위험	• 피가공물의 에너지 추정치가 기술문서에 제시되어야 하고, 기계 플랫폼에서의 낙하, 이탈 등을 방지하기 위한 방호가드 등을 설치한다.
11. 복합 기계류의 위험	• 기계가 복합적으로 구성되어 하나의 시스템을 구성하는 기계류에서는 각 단위 작동과정에서의 위험이 발생하지 않도록 각 단위 기계별로 기동 및 정지 조작스위치를 설치하고, 비상정지장치 및 인터록 회로 구성시에는 신뢰성을 고려한다.
12. 운전조건 변경	• 운전조건이 변경되더라도 기계가 안전하게 동작될 수 있도록 조작자가 필요한 운전조건을 명확하게 확인 및 선택할 수 있어야 하며, 필요시 방호장치가 추가적으로 활성화되어야 한다.
13. 구동부 위험	• 구동부 에너지 제한, 이격, 안전거리(EN ISO 13857) 및 구조개선 등을 통하여 끼임위험을 예방할 수 없는 경우 가드 또는 방호장치를 설치한다. • 구동부 걸림을 예방할 수 있도록 설계해야 하지만 걸림을 완벽하게 예방할 수 없는 경우에도 가드를 제거하지 않고 걸림을 해결할 수 있는 수단을 제공하여야 한다. • 수단·방법 및 예방점검·보수계획 등의 절차서가 사용설명서 또는 경고표지에 명시되어야 한다.
14. 구동부 방호장치	• 동력전달부로부터 작업자를 보호할 수 있도록 고정식, 가동식 또는 가동식 연동가드를 설치한다. • 위험성평가, 접근빈도 및 인간공학적 측면을 고려하여 고정식가드, 가드식 연동가드, 방호장치 또는 조합 방식 중 선택한다. • 기계가 정지위치를 이탈하여 위험이 발생하는 경우에는 브레이크 시스템, 시건장치 및 정지조건 모니터링 시스템을 설치한다.
15. 가드 및 방호장치	• 가드는 구조계산을 통해 형식과 구조가 적정함이 기술문서에 제시되어야 하고, 가드와 구동부와 안전거리가 고려되어야 한다. • 가드와 방호장치는 크거나 무겁거나 끼임 등의 위험을 발생시키지 않아야 하고, 쉽게 무효화 되어서는 안된다. • 가드와 방호장치는 정상운전 또는 유지·보수 시 위험영역에 대한 접근 필요성을 고려해야 하는데, 안전영역에 설정, 조정 및 유지·보수 지점을 배치하여 정상운전에는 가드의 제거 필요성을 회피한다.

〈표 III-11〉 계속

항목	개선필요 사항
16. 가드 특별요구사항	• 권한을 가진 작업자로 하여금 전용도구를 사용하여 고정식가드를 개방 또는 제거할 수 있어야 한다. • 고정식 가드의 고정상태를 확인하기 위하여 가드 제거 시에도 고정 시스템이 가드나 기계에 부착되어야 한다. • 정상운전 시 위험영역으로의 접근이 요구되는 경우에는 연동장치, 트립장치, 가동형가드, 자동 폐쇄형가드 및 양수조작식 안전장치 등을 사용한다. • 작업자와 기계가 공존하는 위험영역에서는 작업내용에 따라서 수동 또는 자동으로 가드의 위치가 조정될 수 있도록 한다. • 방호장치는 구동부 동작중에는 작업자의 접촉을 방지할 수 있어야 하고, 작업자 접근 시 기동중지, 임의조정 금지 및 부품 파손 시에는 기동금지 또는 동작정지가 이루어져야 한다.
17. 전기공급	• 전기장치의 이상 또는 고장으로 인한 감전 또는 화재, 제어회로의 이상 또는 고장으로 인한 기계 오작동, 외부전원의 교란 또는 내부 전원회로의 이상 등으로 인한 기계 오작동, 안전장치 작동 불능, 소음·진동 및 전자계, 정전기, 전자파 등 전기장치 내·외부 간섭 등의 전기위험을 방지하기 위하여 KS C IEC 60204-1(기계류의 전기안전)을 준수한다.
20. 잘못된 조립 및 오접속	• 장착되는 부품의 형태와 기계류 수용 부위의 형태를 비대칭 상태로 맞추는 방법으로 통하여 잘못된 조립 및 오접속을 방지할 수 있다. 설계대책이 미흡한 경우 기계 부품이나 하우징에 관련 지시내용을 표시한다.
21. 이상온도	• 기계 표면재료와 접촉시간별 화상 역치를 고려하여 안전조치를 하고, 이상온도 재료의 배출위험이 있는 경우 방지조치를 한다.
22. 화재	• 기계 자체 또는 가스, 먼지, 증기 등이 과열되거나 화재가 발생하지 않도록 점화원 제거, 환기 및 배출, 화염방지, 경보 및 소화설비 등을 고려한다.
23. 폭발	• 기계는 작동시 마찰, 충격, 과열 등으로 인한 폭발이 발생하지 않도록 설계되어야 하며, 폭발위험장소에서 사용하는 기계류의 전기장치는 산업표준화법에 의해 선정되고 설치되어야 한다.
24. 소음	• 소음방출 한도를 정하고 있지는 않지만 그 위험성을 최소한의 수준으로 감소시켜야 하며, 감소방법은 설계 및 제작, 통합적 보호조치 및 정보제공 순으로 우선순위가 주어진다.
24. 소음	• 소음방출 위험성을 감소시키기 위한 조치의 적절성을 평가함에 있어서 유사 기계와의 위험성 수준을 비교 및 참조하여 소음방출수준을 평가한다.

〈표 Ⅲ-11〉 계속

항목	개선필요 사항
29. 위험 재료 및 물질의 배출	• 위험 재료 및 물질의 사용을 회피하거나 위험성이 낮은 물질을 선정·사용한다. • 배출을 회피 또는 방지하도록 설계하거나 위험성을 충분히 감소시킬 수 없는 경우에는 봉쇄, 방출 및 침전 등을 위한 장비를 설치한다.
31. 미끄러짐 또는 떨어짐	• 미끄러지거나 떨어짐 위험이 없도록 기계의 구조가 고려되어야 하며, 위험장소에는 안전난간을 설치한다.
33. 정비	• 정비 시 작업자의 편리성과 안전성을 확보하기 위하여 기계내부의 접근성, 인간공학적 관점에서의 취급 용이성, 작업장소의 안전성, 특수공구와 장비 사용 및 감독의 용이성 등을 고려한다. • 정비 시 안전성을 확보하기 위하여 기계의 모든 동력원 차단 후에는 동력차단장치에 잠금장치를 설치하고, 잔류에너지 등 잠재 위험요인을 감시할 수 있는 장치를 설치한다.
34. 조작위치	• 생산, 조정 및 정비 등의 작업은 지상 또는 작업가능 높이에서 실시한다. • 전기장치를 바닥면 또는 협소한 공간 등에서 작업하는 경우 해당작업 부분을 분리하여 구성하는 방안을 고려한다.
35. 동력원 차단	• 유지보수 작업자가 기계의 모든 에너지원으로부터 신뢰성 있는 방법으로 차단할 수 있는 수단이 제공되어야 한다. • 유지보수 작업자가 동력원 차단장치의 유지상태를 쉽게 확인할 수 없는 경우에는 잠금장치를 설치한다.
36. 작업자 개입	• 작업자의 개입을 회피할 수 없는 경우 작업자 개입은 쉽고 안전하게 이루어져야 한다. • 위험물질 보관 장소 및 용기 등에는 작업자가 내부로 진입하지 않고 내부 작업을 할 수 있는 방안을 마련해야 하며, 필요한 경우 환기, 위험물질 및 산소 농도 모니터링, 감시자 배치 및 구출설비 등의 보호조치가 마련되어야 한다.
37. 기계류의 정보 및 경고	• 작업자에게 필수정보와 사용설명서 제공은 필수적이고 통합적인 부분으로 쉽게 이해 가능한 직관적 기호나 픽토그램을 사용한다.
38. 정보 및 제공장치	• 운전자에게 기계제어에 필요한 정보는 모호하지 않고 쉽게 이해 가능한 형태로 제공되어야 한다. • 정보 및 제공 장치, 지시계 및 디스플레이 설계내용은 EN894시리즈 및 EN 61310 시리즈를 참조한다.
39. 경보장치	• 경보장치는 작동여부를 확인할 수 있는 기구를 가져야 하고, 색상과 안전신호에 관해서는 산업안전보건법 또는 IEC61310-1 및 ISO 3864-1,2,3을 참조한다.

〈표 III-11〉 계속

항목	개선필요 사항
40. 잔류위험	• 근본적인 안전설계, 방호조치 및 보완조치 등의 통합적 보호조치를 했음에도 불구하고 남아있는 잔류위험에 대한 경고는 제조자의 사용설명서에 관련 내용을 표기해야 한다.
41. 표시	• 기계류에는 형식, 구조 및 안전관련 필수정보를 알 수 있도록 표기해야 한다.
42. 사용설명서	• 기계류는 한글로 구성된 사용설명서를 해당 장소에 갖추고 있어야 한다. • 기계의 의도적인 사용을 포함하여 예측 가능한 오사용에 대한 고려가 되어야 한다. • 기계의 생애주기 단계별 안전보건조치 사항을 포함해야 한다.

4. 소결

본 장에서는 스마트팩토리 안전보건수준을 파악하기 위해 스마트팩토리 공정 평가를 통하여 해당 사업장의 유해·위험요인을 파악 및 문제점을 발굴하였다.

공정 평가는 산업용로봇, 컨베이어 등 스마트팩토리 핵심설비를 보유한 정부지원 스마트팩토리 사업장을 대상으로 실시하였다. 그러나 스마트팩토리 시스템 구축 비율이 해당 공정의 약 10% 미만으로 동일 업종의 일반 사업장과 특이할 만한 차별성은 확인되지 않았다.

스마트팩토리 주요설비인 산업용로봇, 컨베이어 등의 특성상 정형작업보다는 비정형작업에서 재해 발생위험이 높음을 감안하여 스마트팩토리 관련 비정형작업 현황을 파악하고 LOTO 실시 현황을 확인하였다(고용노동부, 2021). 결과로는 비정형작업에 대한 위험성평가와 작업시작 전 점검은 이루어지지 않고 있었으며, LOTO 관련 절차서 작성게시 및 교육을 실시하는 사업장 수도 상대적으로 더 낮았다.

스마트팩토리 사업장의 공정 평가 결과를 토대로 평가표의 항목별로 부적합율이 높은 항목 위주로 개선필요 사항을 정리하였다. 개선이 시급한 항목으로는 가드 특별요구사항, 정지, 제어시스템의 안전성과 신뢰성, 제어장치, 제어 및 모드, 가드 및 방호장치 순이다.

IV. 스마트팩토리 안전보건수준



Ⅳ. 스마트팩토리 안전보건수준

스마트팩토리 안전보건수준을 파악하기 위하여 II장에서는 산업재해 발생 현황을 분석을, III장에서는 정부지원 스마트팩토리 사업장의 해당 공정 평가를 실시하였다. 그리고 평가 및 분석 결과를 바탕으로 공단에서 수행한 스마트팩토리 관련 사업 추진내용과의 비교·분석을 통하여 스마트팩토리 안전보건 수준을 파악·결정 하였다.

다만, 안전보건수준 파악을 위해서는 비교대상 또는 최소기준이 있어야 하지만, 아직까지는 스마트팩토리 구축 및 솔루션 수준이 기초 내지 중간 수준에 머물러 있어서 상대 비교가 불가능하여 안전보건 관련 실태 중심으로 분석하여 스마트팩토리 안전보건수준을 파악하였다.

1. 산업재해 발생현황과의 비교

1) 주요 내용

첫째, 정부지원 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 규모별 산업재해 발생 현황을 분석하고 제조업과 전업종을 대상으로 비교하였다.

둘째, 정부지원 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 규모별 산업재해 발생 현황을 분석하여 자동화설비 보유 정부지원 스마트팩토리 사업장과 자동화설비 보유 일반 사업장을 대상으로 비교하였다.

셋째, 자동화설비 보유 정부지원 사업장의 산업재해 발생수준을 공단 시범 사업 추진결과와 비교하였다.

2) 수준 평가

먼저 정부지원 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 규모별 산업재해 발생현황 분석결과에 따르면, 15인 미만 사업장의 경우 동종 규모의 제조업 사업장 평균보다 사고사망만인율은 높은 것으로 재해율은 높거나 비슷하였다. 그 외 규모의 사업장은 재해율은 비슷하였고 사고사망만인율은 낮았다.

또한 정부지원 스마트팩토리 사업장, 자동화설비 보유 일반 사업장 및 자동화설비 보유 정부지원 스마트팩토리 정부지원 사업장의 최근 3년간 산업재해 발생현황 비교·분석결과에 따르면, 사고사망만인율은 정부지원 스마트팩토리 사업장, 자동화설비 보유 일반 사업장과 자동화설비 보유 정부지원 스마트팩토리 사업장 순으로 높았다. 그러나 재해율은 자동화설비 보유 정부지원 스마트팩토리 사업장부터 역순으로 높았다.

2019년 스마트팩토리 안전성확인 시범사업에서는 50인 미만 사업장의 평균 안전등급이 상대적으로 낮았으며, 2020년 스마트팩토리 안전시스템 수준평가 사업 추진결과에서도 사업장 규모가 작을수록 안전수준이 상대적으로 낮았다.

특히 산업재해 발생현황 측면에서의 스마트팩토리 안전보건수준은 15인 미만 소규모 사업장의 경우 제조업 평균보다 낮았으며, 공단 사업을 통해서도 소규모 사업장의 안전수준이 낮음을 확인할 수 있었다.

여기서, 15인 미만 정부지원 스마트팩토리 사업장의 재해발생 수준이 높은 이유는 정부지원 스마트팩토리 사업장의 업종별·규모별 비율·현황에 기인한다고 볼 수 있다. 실제로 2020년 기준 정부지원 스마트팩토리 사업장 중 50인 미만이 68.6%, 제조업이 93.90%를 차지하고 있으며 기계기구·금속·비금속광물제품제조업, 전기기계기구·정밀기구·전자제품제조업 및 화학및고무제품제조업 등의 3개 업종이 82.73%를 차지하고 있다.

결국은 현재 정부지원 스마트팩토리 사업장 공정 특성이 자동화설비를 보유한 동일 업종과 차별성이 거의 없고, 스마트팩토리 구축수준이 양적보급 중심의 72%가 기초단계 수준으로 스마트팩토리의 안전보건수준의 특이점을 찾기에는 스마트팩토리 구축 기반이 충분하지 않아 상대 비교가 어렵다.

2. 공단 스마트팩토리 사업과의 비교

1) 주요 내용

공단에서는 2019년 스마트팩토리 주요 설비인 산업용로봇을 대상으로 안전 수준을 평가하였으며, 2020년에는 스마트팩토리 구성 핵심 설비인 산업용로봇, 컨베이어를 대상으로 스마트팩토리 안전시스템 수준 평가를 실시하였다.

2019년에는 산업용로봇에 대한 안전성평가를 실시하고 보유 사업장 규모 및 안전시스템 수준별 적합도, 안전시스템 수준 및 평가대상별 적합도를 각각 분석하였다. 여기서 안전시스템 수준은 기초수준, 스마트수준, 생산제어수준 및 기업관리수준으로, 평가대상은 방호대책, 인에이블, 비상정지, 안전스위치, 안전센서, 안전제어시스템 및 안전 PLC로 각각 구분하여 실시하였다.

2020년에는 산업용로봇 및 컨베이어에 대한 안전성평가를 실시하고 유지 보수 및 교육, 법규 및 인증, 방호장치 및 조치와 공정설비 안전설계 및 구성 항목별 적합도를 각각 분석하였다.

2) 수준 평가

2019년 안전성평가 결과분석에 따르면 산업용로봇의 적합도가 40% 이상으로 평균 안전등급은 보통 수준이며, 안전시스템 수준이 기초수준에서 안전 PLC로 높아질수록 적합도가 낮아지는 경향성을 보였다.

2020년 안전성평가 결과분석에 따르면 법규 및 인증 항목은 적합도가 높았으나, 상대적으로 공정설비 안전설계 및 구성, 방호장치 및 조치와 유지 보수 및 교육 순으로 낮아지는 경향성을 보였다.

본 연구의 공정평가에서는 항목별 세부항목수가 4개 이상이면서 적합도가 75%이하인 항목이 제어시스템의 안전성과 신뢰성, 제어장치, 기동, 정지, 제어 및 운전모드, 사용 중 파손위험, 구동부 방호장치, 가드 및 방호장치, 가드

특별요구사항, 정비 등으로 적절한 위험성 감소 달성을 위한 설계상의 대책과 안전장치 관련 대책이 미흡하였다.

그래서 2019년·2020년 수준평가와 본 연구의 공정평가 결과분석을 통하여 다음과 같은 공통사항을 도출하였다.

첫째, 평가 항목, 기준 및 방법 등이 상이하여 일괄 비교는 어렵지만 전반적으로 현재의 스마트팩토리 구축의 양적 성장에 비해 안전보건에 대한 고려수준이 높지 않다.

둘째, 일부 평가항목은 현재 정부지원 스마트팩토리 사업장과의 적합도가 낮아서 현시점에서의 일괄 적용은 무리가 있었다.

셋째, 위험요인의 위험성 감소를 위한 방호장치 또는 방호조치에 대한 개선이 필요하다.

넷째, 위험성평가 결과에 따른 보호조치의 신뢰성 향상을 위한 제어시스템의 안전 관련 부분에 대한 고려가 필요하다. 특히, 제어시스템의 안전관련 부분은 대부분의 사업장에서 설계·적용을 하지 않고 있었다.

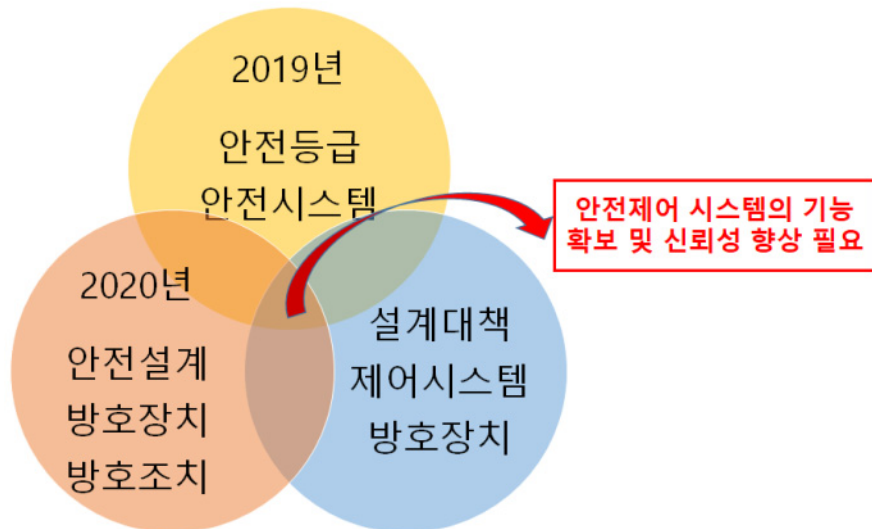
다섯째, 대부분의 사업장에서 위험요인의 위험성 감소를 위하여 안전장치 또는 잠재 위험성에 대한 사용정보 제공만을 고려하고 있고 설계상의 대책은 고려하지 않고 있다.

3. 안전보건수준 향상을 위한 개선방안 및 제언

스마트팩토리 안전보건수준을 향상하고자 스마트팩토리 핵심 설비인 산업용 로봇, 컨베이어 등 기계류 안전제어 시스템의 기능 확보 및 신뢰성 향상을 위한 개선방안을 제시하고, 스마트팩토리 관련 신규 유해·위험요인에 대한 선제적 대응을 위하여 공단 사업의 추진방향에 대하여 제언하였다.

1) 개선방안

공단에서는 2019년 스마트팩토리 주요 설비인 산업용로봇을 대상으로 안전 수준을, 2020년에는 스마트팩토리 구성 핵심 설비인 산업용로봇, 컨베이어를 대상으로 스마트팩토리 안전시스템 수준을 각각 평가 하였다. 그리고 본 연구에서도 자동화설비 보유 정부지원 스마트팩토리 지원사업장에 대한 공정 평가를 실시하였다. 3회에 걸친 평가 결과를 바탕으로 다음 그림 IV-1과 같이 공통적으로 개선이 필요한 중요사항을 발굴하고 개선방안을 제시하였다.



[그림 IV-1] 스마트팩토리 관련 개선필요 주요 및 공통 사항

(1) 위험성 감소를 위한 추진절차(안전보건공단, 2017)

스마트팩토리 주요설비인 산업용로봇 및 컨베이어 등에 대한 위험성 감소는 위험성 평가 결과를 토대로 설계에 의한 위험요인 사전제거, 보호조치 및 잔존 위험성에 대한 사용정보 제공 등의 3단계 수단으로 달성할 수 있다.

단계별 수단의 세부내용은 첫째, 설계상의 대책으로는 안전설계, 안전한 물질 재료 대체, 인간공학적 원칙의 적용 등이 있다. 둘째, 안전장치 및 상호보완적 보호조치로는 각각 설계자와 사용자 대책으로 구성되며 안전장치 및 추가적인 보호조치 등이 있다. 셋째, 잔존 위험성에 대한 사용정보 제공은 2단계 수단을 적용했음에도 불구하고 잔존하는 위험에 대한 경고를 포함한 사용자에게 정보를 제공하는 것이다.

다음 그림 IV-1은 위험성 평가 및 감소를 위한 추진절차를 도식화 한 것으로, 개별 위험요인에 대하여 독립적으로 추진절차가 각각 적용되어야 한다.

만약 위험성 감소를 위한 추진절차 과정에서 안전제어 시스템을 활용한 보호 조치가 추가적으로 적용되는 경우에는 제어시스템의 안전관련 부품류(SRP/CS: Safety-Related Part of a Control System)에 대한 반복적인 설계 과정이 필요하고 절차도는 다음 그림 IV-2와 같이 나타낼 수 있다. 그리고 실제 위험성 감소의 정도는 제어시스템 안전관련 부품류 안전기능의 성능수준에 따라서 상이하다. 즉, 해당 안전기능의 성능수준이 높아야만 위험성 감소 효과가 커지게 된다.

(2) 안전제어 시스템 설계방법(DUGV, 2019)

스마트팩토리 관련 기계류의 위험성은 다음 그림 IV-2에서와 같이 보호 조치와 안전제어 시스템 적용 여부에 따라서 허용 가능한 위험성과 실제 잔류 위험성의 차이가 발생한다. 따라서 위험성 상호 간의 차이를 최소화할 통한 안전보건수준 향상을 도모하기 위한 안전제어 시스템의 효율적 설계방법은 다음과 같다.

먼저 위험성 감소과정을 통하여 스마트팩토리 관련 기계류 및 제어시스템의 안전기능을 결정하게 되는데, 여기서의 안전기능은 단일 또는 조합 방식으로 SRP/CS에 의해 구현되거나 1개 이상의 SRP/CS를 조합하여 적용할 수 있다.

스마트팩토리 관련 기계류 등에 설치되는 제어시스템의 안전관련 부품류 기능은 안전회로의 입력신호에 응답하여 출력신호를 발생시키는 것으로, 안전 제어 시스템 설계 완성을 위해서는 안전기능의 성능수준(PL)에 대한 결정이 필요하다.

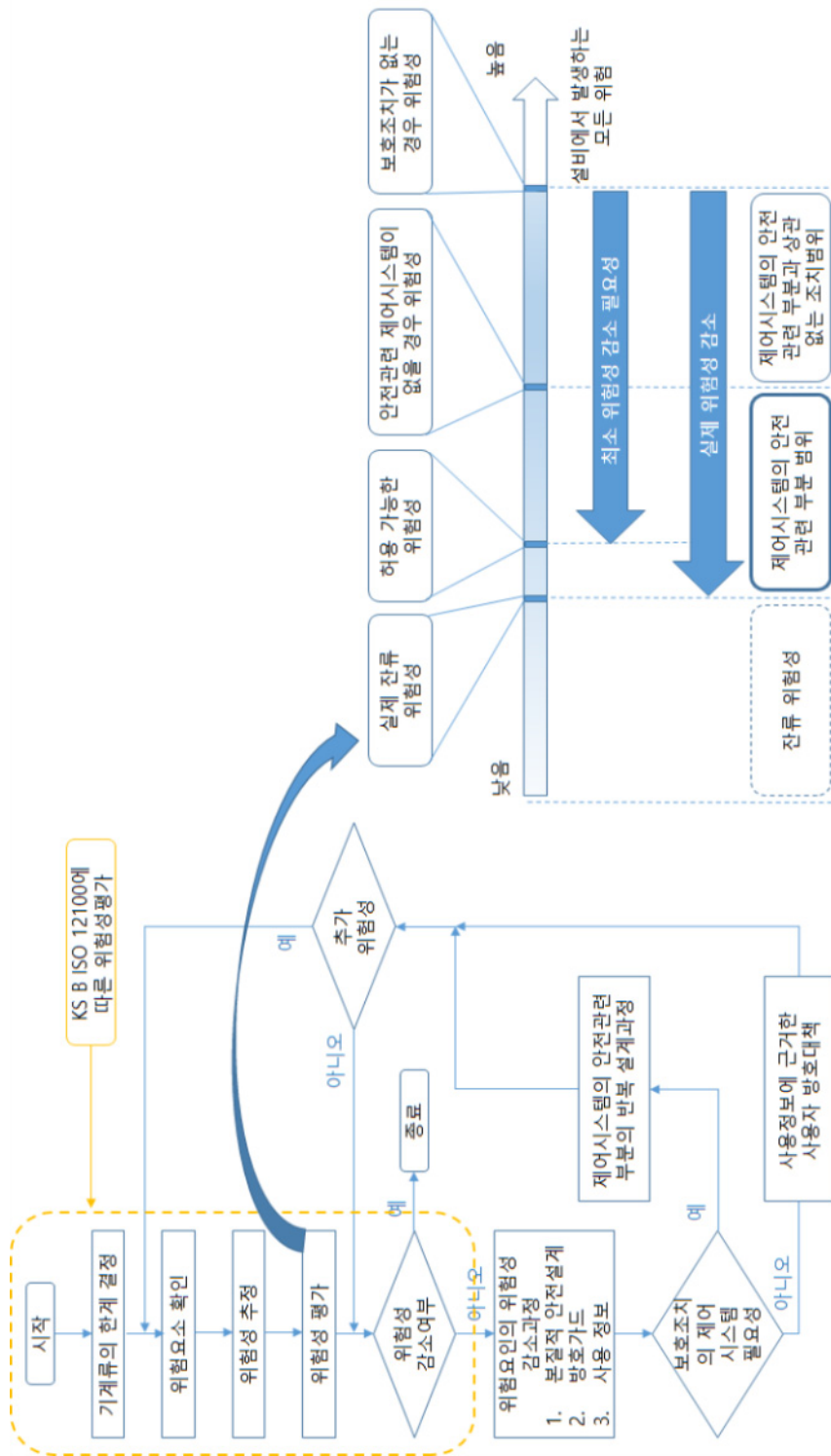
따라서 안전기능의 성능수준을 결정하기 위해서는 다음 그림 IV-3과 같이 제어시스템의 안전관련 부품류의 안전기능을 확인하고 안전기능별로 필요한 특성을 구체화하여 반복적으로 해당 절차를 수행한다.

그리고 제어시스템의 안전기능 파악 및 식별 후에는 안전 관련 부품류의 파악 및 식별을 통하여 성능수준(PL)을 결정하고 평가한다.

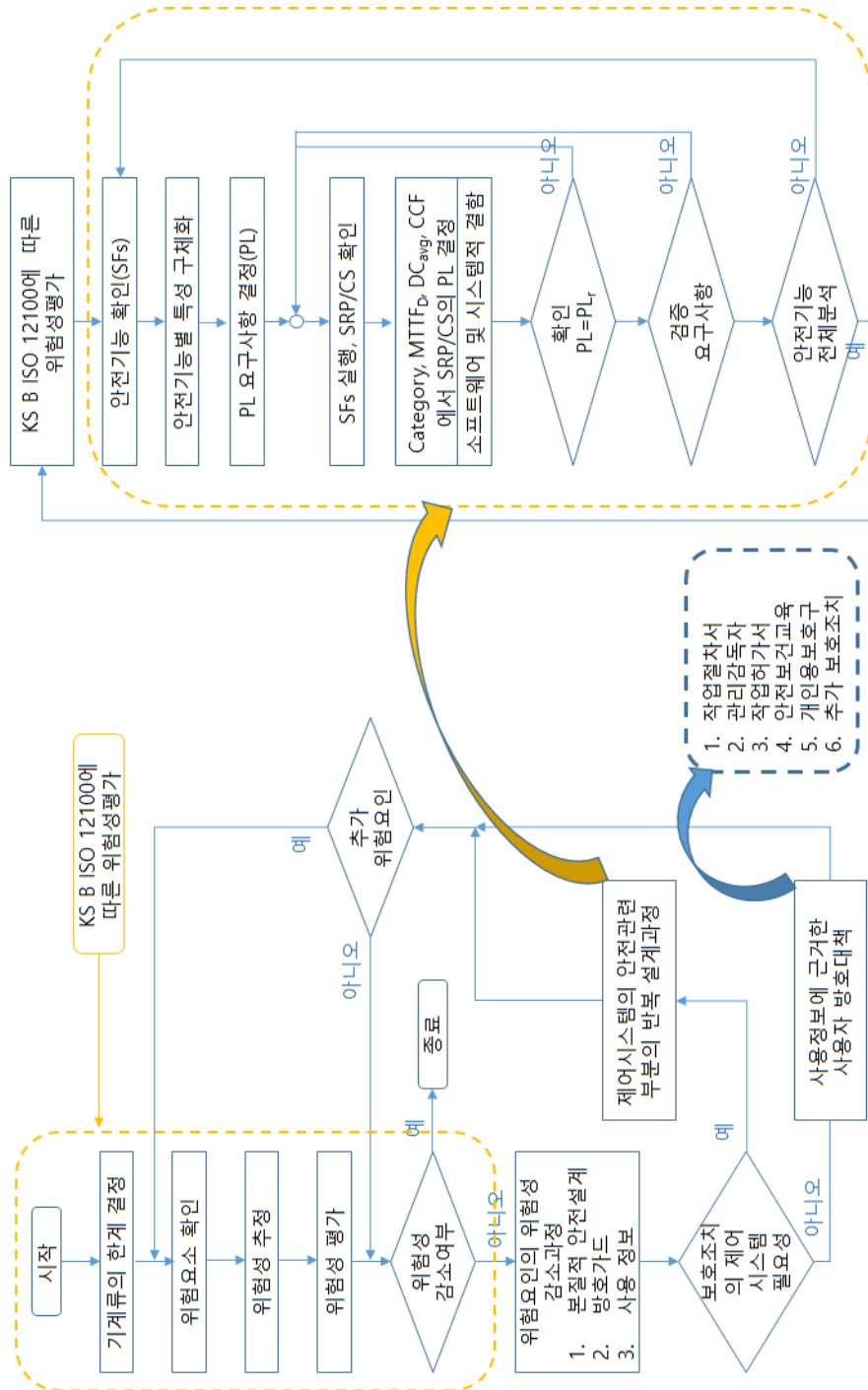
여기서 제어시스템의 안전관련 부품류의 성능수준(PL: Performance Level)은 단일구성요소의 평균위험고장시간(MTTF_d), 진단범위(DC), 공통원인고장(CCF) 및 소프트웨어 안전 요구사항 등에 의하여 결정된다.

다음으로 소프트웨어 안전 요구사항은 다음 그림 IV-4와 같이 소프트웨어의 전체 수명주기 활동에서 주기별로 발생하는 결함을 회피할 수 있도록 고려되어야 하며, 읽기 및 이해하기가 쉬워야 하고 테스트 및 유지보수가 가능해야 한다.

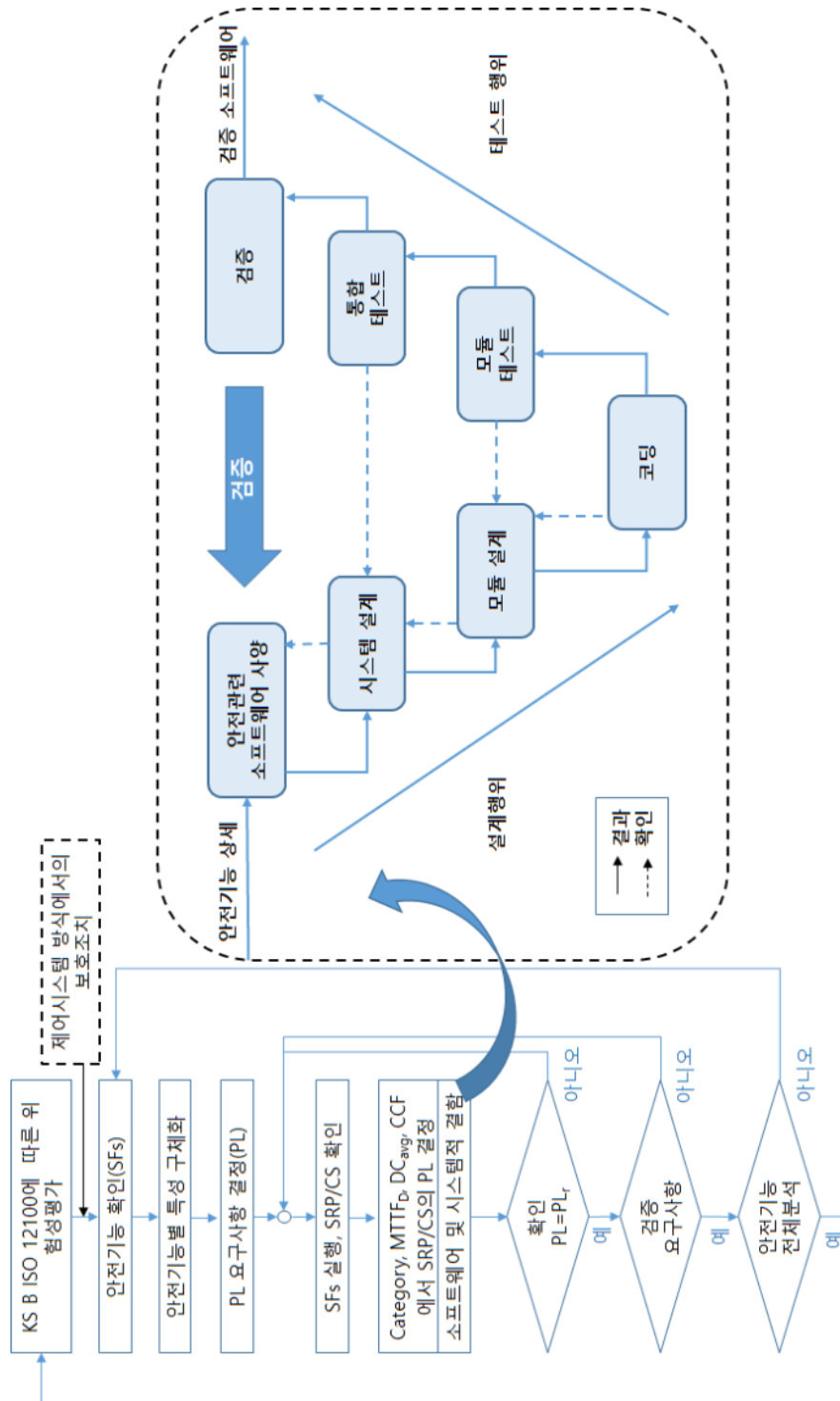
또한 소프트웨어 안전 수명주기에는 다음 그림 IV-5와 같이 검증 및 확인 활동을 포함한 안전기능 상세화 및 설계의 문서화, 모듈화 및 프로그래밍, 기능 테스트 그리고 주기적 수정 활동이 적용되어야 한다.



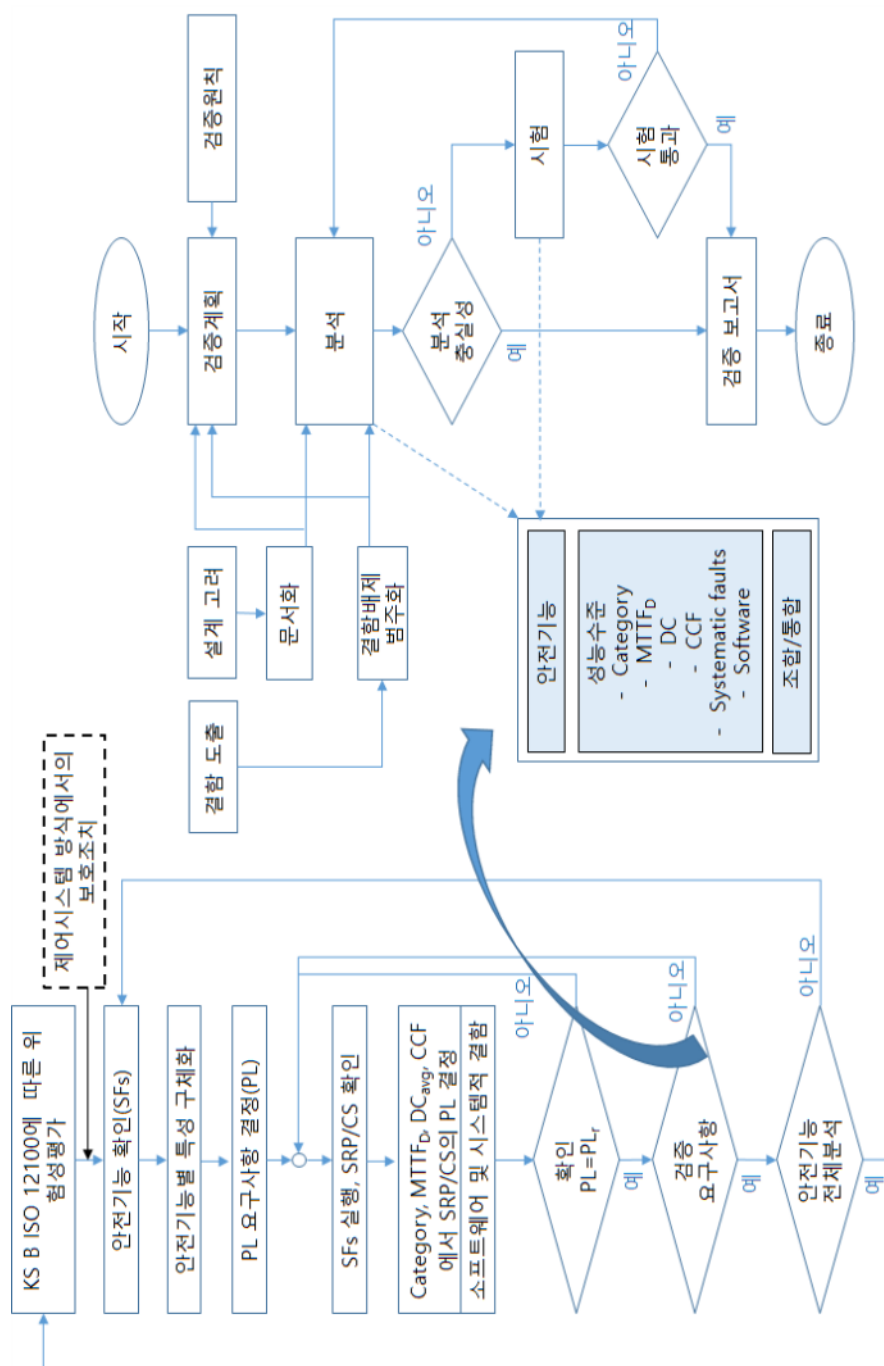
[그림 IV-2] 위험성 평가 및 감소를 위한 추진절차



[그림 IV-3] 제어시스템 안전관련 부품 설계절차



[그림 IV-4] 소프트웨어 안전 수명주기의 V-모델



[그림 IV-5] SRP/CS의 설계 부합도를 위한 확인 및 검증 절차

2) 제언

(1) 산업용로봇의 안전인증 대상으로 추가

자동화설비를 보유한 정부지원 스마트팩토리 사업장에 대한 공정평가 결과에 따르면 산업용로봇은 자율안전확인신고 후 설치·사용단계에서 방호가드와 안전장치 설치상태가 미흡하였다. 이는 산업용로봇 제조자가 사용자에게 판매하게 되면 SI업체(시스템 통합 업체)에서 방호가드와 안전장치를 설치하여야 하지만 실제 설치·사용단계에서는 미설치되거나 설치상태가 불량한 경우가 다수 발생하기 때문이다. 즉 산업용로봇의 제조·설치 이원화로 방호가드 및 안전장치의 설치 적정성과 안전성에 대한 확인 및 관리 방안이 부재한 상태이다.

이에 산업용로봇의 생애주기별 안전성 확보를 위해 관련 제도의 연속성을 유지하고자 자율안전확인 대상인 산업용로봇을 안전인증 대상으로 추가하여, 안전인증 시에 방호가드 및 안전장치 등의 설치 안전성이 확인할 수 있도록 하고 지속적 안전성 유지·관리에 대해서는 안전검사 시 확인하도록 하여야 한다.

(2) 산업용로봇 방호장치 안전인증기준 제정

자동화설비를 보유한 정부지원 스마트팩토리 사업장에 대한 공정평가 결과에 따르면 부딪힘·끼임 등 위험방지에 필요한 산업용로봇 방호장치 중 안전매트와 광전자식 방호장치를 제외하고는 안전성능 및 신뢰성을 평가할 수 있는 안전인증기준이 부재한 관계로 스마트팩토리 공정에서 설치·사용되는 산업용로봇의 위험성이 높은 것으로 공정평가에서 확인할 수 있었다.

이에 인터록스위치, 가동허가장치, 레이저스캐너, 인터록스위치, 비상정지스위치 및 조립형 가설기자재 등을 산업용로봇 방호장치의 적용범위에 추가하고 안전성 및 신뢰성을 평가할 수 있는 안전인증기준을 제정함으로써 스마트팩토리 공정에서 설치·사용되는 산업용로봇의 위험성을 효과적으로 저감시킬 필요가 있다.

(3) 안전보건기술지침 제정

공단 본부 스마트팩토리 기술지원 관련 업무 담당자 대상 의견 수렴 및 자문 과정에서 공단직원이 스마트팩토리 기술지원 또는 컨설팅 시 활용할 수 있는 안전보건기술지침의 제정 필요성이 도출되었다.

따라서, 제조업의 스마트화 추세와 관련하여 새롭게 발생할 수 있는 유해·위험요인에 대한 선제적 대응을 위하여 스마트팩토리 공정 평가에서 도출된 유해위험요인 예측·평가 및 문제점을 해결하고자 선행연구 분석결과 및 스마트팩토리 공정 평가 결과를 토대로 기계류 안전 관련 국내·외 규격을 활용하여 안전수준평가 및 컨설팅 시 활용할 수 있는 **스마트팩토리 안전시스템 평가에 관한 기술지침**을 부록3과 같이 제정하였다.

동 기술지침은 스마트팩토리 사업장의 안전보건 관리수준을 진단하기 위하여 안전제어 시스템을 평가하는 도구와 그 사용 등에 관한 사항으로 구성되었다.

(4) 산업용 로봇 시스템의 안전성 향상 방안 연구 제안

산업용 로봇 안전성에 관한 국내 법령이 ISO, IEC 등 국제기준의 수준에 미치지 못하고 있어, 관련 제조·설치 업체에서도 안전시스템의 신뢰도 향상 노력에 소극적이다.

이에 산업용 로봇 및 안전제어 시스템에 대한 국내 법령과 국제기준과의 부합화를 통해 생애주기별 산업용 로봇 안전성과 안전시스템에 대한 신뢰도 향상 방안 마련할 필요가 있다.

4. 이해관계자 및 전문가 의견

스마트팩토리 안전보건수준 파악에 있어 현장 공정평가 이해관계자 의견 수렴 및 수시 전문가 자문을 통해 다음 표 IV-1과 같이 이해관계자 및 전문가 의견을 정리하였으며, 본 연구 내용 및 결과에도 반영여부를 검토하였다.

〈표 IV-1〉 이해관계자 및 전문가 의견 정리

구분	주요 의견	의견 정리
이해 관계자	• 설계·제조단계에서부터 스마트팩토리 설비의 근원적 안전성 확보 필요	• 설계·제조단계에서부터 안전성 향상을 위한 필요성 및 방안 제시
	• 사용단계에서 효과적인 보호조치에 대한 고려 필요	• 사용단계에서의 보호조치 강화를 위해 방호장치 안전인증 대상 추가 제안
	• 스마트팩토리 공정에서의 비정형 작업 시 생산작업에 준하는 안전보건조치 실행 애로	• (예정) 관련 작업자가 위험상황을 포함한 모든 작업상황을 통제할 수 있도록 권한 부여 등에 대한 제도 개선 필요성 제기
	• 스마트팩토리는 생산성 향상 측면에서만 고려되고 있으며, 안전성 향상에 대한 고려는 미흡함	• 공정평가 결과 및 안전보건수준 파악에 반영
전문가	• 공단 사업 수행시 활용할 수 있는 스마트팩토리 안전성 평가 관련 지침 제정 필요	• 스마트팩토리 안전시스템 평가에 관한 기술지침 제정
	• 공정평가의 항목별 적용성 검토 및 조정 필요	• 평가항목 별 적용성 문제로 관련 지식, 기술 및 정보 보유자가 평가 실시
	• 안전보건수준 결정을 위한 비교대상 또는 최소기준 정립 필요	• 산업재해 발생수준, 공단 관련사업 추진결과 및 현장 공정평가 결과를 토대로 결정하였으며, 추가 전문가 자문 필요
	• 산업용 로봇의 안전성 향상을 위한 후행연구 필요	• 산업용 로봇 시스템의 안전성 향상 방안 연구 제안

V. 결론

.....

V. 결론

최근 국내 스마트팩토리는 정부의 적극적인 도입 및 지원 정책에 따라서 중견기업과 대기업을 중심으로 빠르게 구축·확산되고 있지만 생산체제와 효율성 중심으로만 추진되고 있어, 스마트팩토리 관련 유해위험성에 대한 고려가 되지 않고 있다.

이에 본 연구에서는 스마트팩토리 구축 사업장의 공정평가를 통한 유해위험요인 및 안전보건 조치실태를 확인하여 스마트팩토리 안전보건수준을 파악하고자 하였다.

1) 주요 내용

스마트팩토리 안전보건수준을 파악하기 위하여 분석, 평가 및 파악한 주요 내용은 다음과 같다.

- (1) 스마트팩토리 일반현황 조사, 국내·외 스마트팩토리 도입 현황 조사, 2014년부터 2019년까지의 정부지원 스마트팩토리 지원 사업장의 산업재해 발생현황을 비교·분석하였다.
- (2) 스마트팩토리 사업장의 유해·위험요인 파악 및 문제점 발굴을 위하여 산업용로봇과 컨베이어 등 자동화설비를 보유한 정부지원 스마트팩토리 사업장 대상 조사표 및 평가표를 활용하여 공정 특성 및 안전성을 평가하였다.
- (3) 스마트팩토리 사업장의 산업재해 발생현황 분석결과 및 스마트팩토리 공정평가 결과를 바탕으로 공단에서 수행한 스마트팩토리 사업과 비교하여 스마트팩토리 안전보건수준을 파악하였다.

2) 주요결과

본 연구에서 확인한 스마트팩토리 일반 및 도입현황, 정부지원 스마트팩토리 사업장의 산업재해 발생현황은 다음과 같다.

- (1) 2014년부터 2020년까지 정부지원 스마트팩토리 사업장 현황은 19,799 개소로 매년 지속적으로 성장하고 있으며, 2018년 이후부터는 가파른 성장세를 보이고 있으며, 수준별 도입현황은 기초단계가 72.0%, 중간단계가 20.5%, 중간2단계가 1.6%이다. 또한 국내외 스마트팩토리 산업시장이 2019년부터 2024년까지의 연평균 성장률이 각각 11.4%, 9.8%로 각각 전망되고 있다.
- (2) 정부지원 스마트팩토리 사업장의 최근 3년간 규모별업종별 산업재해 발생 현황 비교결과 15인미만 사업장에서는 재해율과 사고사망만인율이 높았다. 또한 자동화설비 보유 정부지원 사업장과 일반 사업장 비교시에는 스마트팩토리 정부지원 사업장이 사고사망만인율이 더 높았다. 반대로 재해율은 스마트팩토리 정부지원 사업장이 일반 사업장보다는 낮았다.

본 연구에서 실시한 스마트팩토리 사업장의 공정특성 확인 및 안전성 평가 결과는 다음과 같다.

- (1) 스마트팩토리 구축 비율은 10%미만이며 구축 시스템은 대부분MES 및 ERP이고 일부 사업장의 경우에 한하여 PLC도 있었다. 다만, 스마트팩토리 시스템은 생산관리 위주로 운영되고 있으며, PLC 시스템도 일부 생산설비에 제한적으로 적용되고 있어 일반 동일 업종과의 차별성은 확인할 수 없었다.

- (2) 자동화설비를 보유한 정부지원 스마트팩토리 사업장의 경우 산업용로봇, 컨베이어 등이 프레스, 사출성형기 등의 생산설비와 조합되어 설치·운영되고 있어 해당 공정의 위험은 대형화, 복잡화, 집적화 및 고도화로 인해 구조화되어 있다.
- (3) 정상운전 조건에서보다는 정비, 유지·보수 등의 비정형 작업에 대한 위험성평가, 작업 시작전 점검 및 LOTO 등의 안전조치가 미흡하였다. 그리고 공정평가 결과는 가드 특별요구사항, 정지, 제어시스템의 안전성과 신뢰성, 제어장치, 제어 및 모드, 가드 및 방호장치 항목 순으로 취약한 것으로 확인되었다.

본 연구를 통하여 **스마트팩토리의 안전보건수준**을 파악한 내용은 다음과 같다.

- (1) 스마트팩토리 공정평가 대상 사업장 및 공정 특성이 자동화설비를 보유한 동일 업종의 일반 사업장과는 차별성이 없었으며, 산업재해 발생현황과의 상대 비교에서도 특이성이 도출되지 않았다. 즉, 업종별·규모별 단순 비교를 통한 산업재해 발생현황 분석은 비교 조건 및 기준이 다양하여 스마트팩토리 안전보건수준 확인에 있어 실효성이 없었다.
- (2) 스마트팩토리 공정평가와 공단 스마트팩토리 사업과의 비교결과다음과 같이 공통사항을 도출함으로써 현재 수준 및 개선필요 사항을 파악하였다. 첫째, 위험성 감소 목표의 효율적 달성을 위한 안전제어 시스템에 대한 적용·고려가 되지 않고 있었다. 둘째, 설치·사용현장에서 위험성 감소를 위한 보호조치 또는 방호장치에 대한 개선이 필요하였다. 셋째, 근원적 안전성 확보를 위한 설계상의 대책을 고려하지 않고 있었다.

3) 기대효과 및 활용방안

- (1) 스마트팩토리 안전보건수준 결과를 토대로 수준 향상을 위해 개선방안으로 제시한 **안전제어 시스템을 활용한 위험성 감소 절차와 안전제어 시스템 설계방법**은 공단의 스마트팩토리 기술지원 및 컨설팅 사업을 통하여 효율적으로 활용될 수 있다.
- (2) 스마트팩토리 공정의 핵심설비인 **산업용로봇의 안전인증 대상 추가 및 방호장치 안전인증기준 제정**을 제언함으로써 생애주기별 안전성 확보를 통하여 안전인증제도의 연속성 확보 및 작동성 강화를 달성할 수 있다.
- (3) 스마트팩토리 관련 공단사업을 지원하기 위해 제정 완료한 **스마트팩토리 안전시스템 평가에 관한 기술지침**은 공단 직원이 스마트팩토리 사업장 안전보건관리 수준을 진단하고 안전제어 시스템을 평가하는 도구로 활용될 수 있다.
- (4) 산업용 로봇 설계·설치·사용·유지보수 생애주기별 안전성과 안전시스템에 대한 신뢰도 향상방안 도출하고자 후행연구로 제안한 **산업용 로봇 시스템의 안전성 향상 방안 연구**에 활용예정이며, 연구결과 환류를 위한 **학술대회 발표 및 학회지 논문 투고 예정**이다.

현대사회는 대형화, 복합화, 집적화, 고도화 및 노후화 등으로 인한 객관적 위험의 증가로 인해 이미 위험사회로 진입하였으며, 이제는 더 이상 위험을 배척하는 것이 아니라 위험을 감수해야만 하는 사회가 되었다.

즉, 현대사회는 위험을 안전하게 취하도록 권장하는 사회이기 때문에 우리 사회에서 발생하는 위험을 구조적 특성으로 인한 특수한 문제로 인식하고 제거대상으로 생각하기 보다는 일상적 문제로 인식하여 관리대상으로 간주되어야 한다.

따라서 스마트팩토리 공정 특성상 대형화, 복잡화, 집적화 및 고도화 등으로 인해 상당한 객관적 위험이 구조적으로 내포되어 있을 수밖에 없고 기존의 위험 제거 또는 감소방식으로는 안전보건수준 향상을 도모하기가 어렵다고 판단된다. 그래서 본 연구결과를 포함한 다각도의 안전보건수준 향상 방안 모색을 통하여 구조화된 유해·위험요인 발현을 시스템적으로 통제한다면 안전한 대상으로 관리·사용 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 고용노동부. 2020년 산업재해 현황. 고용노동부. 2021.
- 김승택. 스마트팩토리의 성공적 도입을 위한 고려사항. 딜로트. 2016.
- 김주미. 제조업 혁신을 위한 스마트공장 참조모델 개선에 관한 연구. 중소기업연구원. 2020.
- 나형배, 안예환, 황인극. 스마트공장개론. 청람. 2020.
- 박두용. 문재인정부 산업안전 정책평가 및 개선방향. 국회 정책토론회. 2021.
- 박한구. 제조 혁신 전략과 데이터 수집 및 활용 인프라 KAMP 구축 방안, AI EXPO KOREA 2020. 스마트제조혁신추진단.
- 신동평, 양윤나. 제조업 혁신 주도를 위한 스마트공장 정책 현황 분석 및 시사점. 한국과학기술기획평가원. 2018.
- 스마트제조혁신추진단 스마트공장 사업관리시스템/디지털라이브러리. 2021.
- 이상범. 스마트 제조산업 생태계 조사 및 정책지원 방안 연구. KETI. 2019.
- 안전보건공단. 기계안전을 위한 제어시스템의 안전관련부품류 설계 기술지침. 안전보건공단. 2017.
- 이진우, 오승현, 권대욱 등. 스마트공장 안전성 확보기술. 동화기술. 2019.
- 유럽기계류지침 Annex I (Machinery Directive, 2006/42/EC)
- 정은미, 김경유, 이은창 등. 한국형 스마트 제조전략. 산업연구원. 2019.

정종필. 스마트팩토리 핵심기술 및 제조혁신 고도화 전략. 융합연구리뷰. 융합연구정책센터. 2020.

중소벤처기업부. 중기부, 스마트공장 보급 2만개 달성. 보도자료. 2021.

첨단정보통신융합산업기술원. 제조 엔지니어링 설계기술 및 산업동향 보고서. 첨단정보통신융합산업기술원. 2020.

DGUV. Functional safety of machine controls. IFA Report2/2017e.

DUGV. 2019.

ISO 12100:2010, Safety of machinery-General principles for design-Risk assessment and risk reduction.

KS B ISO 12100, 기계안전-설계 일반원칙_위험성평가와 위험성감소

Markets&Markets. Smart Factory Market-Global Forecast & Analysis to 2024. Markets & Markets. 2019.

Markets&Markets. South Korea Smart Factory Market. Markets & Markets. 2019.

Abstract

The study on the safety and health level of smart factory

Objectives : Recently, domestic smart factories are being built and spread rapidly among medium-sized companies and large enterprises according to the government's active introduction and support policies, but they are being promoted only with production systems and efficiency, so harmful risks related to smart factories are not taken into account. Therefore, in this study, the level of safety and health in smart factories was determined by checking the status of hazardous risk factors and safety and health measures through process evaluation of smart factory establishment sites.

Method : A survey on the general status of smart factories, a survey on the introduction of smart factories in Korea and abroad, and a comparison and analysis of industrial accidents at government-supported smart factory-supported workplaces from 2014 to 2019 were compared and analyzed. Process characteristics and safety were evaluated using a questionnaire and evaluation table for government-supported smart factory workplaces equipped with automation equipment such as industrial robots and conveyors in order to identify harmful and risk factors and identify problems in smart factory workplaces.

Results : As a result of a comparison of industrial accidents by size and industry over the past three years at government-supported smart factory workplaces, the accident rate and fatality rate were high in workplaces with less than 15 employees. In addition, when comparing government-supported workplaces with automation facilities and unilateral workplaces, smart factory government-supported workplaces had a higher accident death rate. Conversely, the accident rate of smart factory government-supported workplaces was lower than that of general workplaces. In the results of process characteristics confirmation and safety evaluation of the smart factory workplace, safety measures such as risk evaluation, pre-start inspection and LOTO for atypical work such as maintenance and maintenance were insufficient compared to normal operation conditions. And the process evaluation result confirmed that it was weak in the order of special requirements for guard, stop, safety and reliability of control system, control device, control and mode, and guard and protection device items.

Conclusion : The contents of understanding the safety and health level of smart factories through this study are as follows. First, the application and consideration of the safety control system for the efficient achievement of the risk reduction goal was not taken into account. Second, it was necessary to improve protection measures or protective devices to reduce risks at installation and use sites. Third, design measures for securing fundamental safety were not considered.

Key words : Smart factory, Safety and health, Control system

부록

.....

부록 1. 스마트팩토리 기본 조사표

1. 면담자

항 목	내 용
업무	☐ 안전, ☐ 생산, ☐ 지원, ☐ 기타
직책	☐ 담당자, ☐ 부서장, ☐ 임원급, ☐ 기타
경력	☐ 1년 미만, ☐ 3년 미만, ☐ 5년 미만, ☐ 10년 미만, ☐ 10년 이상

2. 사업장

항 목	내 용	항 목	내 용
사업장명		근로자수	
업종		생산품	
구축년도		구축 수준	
구축 시스템		구축 비율	

3. 전체 공정



4. 스마트팩토리 공정

1) 설비

구분	산업용로봇	컨베이어	AGV	자동화설비	기타
대수					
작업내용					
작동방식					
무인화					

2) 근로자

항 목	내 용	항 목	내 용
근로자수	명	도급	원청/하청/혼재
고용	정규직/비정규직/혼재	근무형태	정상/교대/기타
작업위치	고정/이동/혼합	작업방식	단독/공동/기타
작업내용(정형)		작업내용(비정형)	

3) 비정형 작업

항 목	내 용	항 목	내 용
발생빈도	회/일	발생비율	%
작업주체	작업자/관리자/공무	위험성평가	실시/미실시
작업시작 전 점검	실시/미실시	LOTO	실시/미실시

3-1) LOTO

항 목	내 용	항 목	내 용
절차서 작성	예 ☐ , 아니오 ☐	절차서 게시	예 ☐ , 아니오 ☐
정기교육 실시	예 ☐ , 아니오 ☐	Device 비치	예 ☐ , 아니오 ☐

3-2) 점검, 위험성평가 및 LOTO 미실시 사유

4) 작업환경

물리적 인자		화학적 인자		생물학적 인자		인간공학적 인자	
소음	☐	유기화합물	☐	바이러스	☐	불편한 자세	☐
고열	☐	금속류	☐	세균	☐	무리한 힘	☐
진동	☐	산 및 알칼리류	☐	곰팡이	☐	반복 작업	☐
방사선	☐	가스상태 물질류	☐	기타	☐	장시간 정적작업	☐
고기압	☐	허가대상물질	☐	-		휴식주기	☐
저기압	☐	분진	☐	-		업무량/업무시간	☐
유해광선	☐	기타	☐	-		정보/데이터	☐
기타	☐	-		-		-	

부록 2. 스마트팩토리 안전보건수준 평가표

항목	세부항목	평가내용	결과
1. 제어시스템의 안전성과 신뢰성	1.1 일반사항	운전 중 외력 및 외부환경 변화에 대한 동작 성능	
		하드웨어 또는 소프트웨어 오류로 인한 위험	
		제어시스템의 논리회로 오류로 인한 위험	
		예측 가능한 휴먼에러로 인한 위험	
	1.2 요구조건	의도하지 않은 조건에서 기계류 동작 위험	
		기계류 설정값의 임의 변경 가능 및 임의 변경에 따른 위험	
		정지명령에서의 정지성능	
		구동부 또는 기계부품의 임의 분리 또는 배출	
		구동부의 정지 방식(수동 또는 자동) 및 독립 동작	
		기계류 정지를 위한 방호장치의 유효화 상태 유지	
		전체 또는 일부 완성 기계류의 안전제어시스템 적용	
		무선통신의 신호감도에 따른 기계류 정지	
2. 제어장치	2.1 요구조건	그림문자 등을 이용한 식별의 명확성	
		조작의 용이성 및 접근성	
		이동형 제어장치의 작동성능 보장	
		제어장치(비상정지장치 및 티칭펜던트 제외)의 위험영역 존재	
		제어장치 조작에 따른 위험 가동부의 동작	
		외력에 대한 제어장치 동작성능 보장 및 비상정지장치 신뢰성	
	2.2 다중제어	다중제어의 경우 기계류별 제어동작의 명확성	
	2.3 배치	작업자의 이동경로 등을 고려한 인간공학적 원리 적용	
	2.4 표시	작업위치에서 식별 및 사용할 수 있는 표시기능 보유	
	2.5 조작영역	위험영역의 사람 존재여부 확인 또는 위험영역 사람 존재 시 미작동	
		위험영역으로부터 이탈을 위한 경보장치(시각, 청각) 설치	
3. 기동	2.6 위치	운전위치가 2개소 이상인 경우 1개소에서만 제어가능	
		운전위치가 2개소 이상인 경우 비상정지 및 정지 기능을 제외하고 1개소에서만 제어가능	
		운전위치가 2개소 이상인 경우 각 위치별 모든 조작기능 보유	
	3.1 목적	기동목적에 부합하는 자체 제어장치 사용(재기동 시에도 적용) - 다만, 위험상황 미발생시 다른 제어장치 사용 가능	
	3.2 자동운전	자동운전의 경우 정지이후 안전조건 재설정 후 재기동 가능	
	3.3 장치	2개 이상의 기동장치를 보유한 경우 인터록 등 안전장치 설치	
	3.4 순서	기동과 정지의 동작순서가 안전상 요구되는 경우 동작순서 확인가능	

항목	세부항목	평가내용	결과
4. 정지	4.1 정지기구	기계류의 안전한 정지를 위한 정지기구 설치	
		기계류의 안전한 상태 유지를 위한 정지기구의 제어반 설치	
		정지기능의 기동기능보다 우선	
		안전장치 무효화 시 위험영역 공급동력 차단	
	4.2 감시	액츄에이터의 동력공급이 차단되지 않는 경우 정지상태 감시 및 관리	
	4.3 비상정지 장치	다음 각 호의 경우를 제외하고 위험 시 동작시킬 수 있는 비상정지장치의 기계류별 설치 (1) 정지시간을 줄일 수 없거나 안전조치가 불가능한 경우 (2) 휴대형·이동형 기계류	
	4.4 비상정지 장치 요건	수동조작을 위한 신속한 접근 및 식별과 인식	
		위험공정 정지 시 추가적 위험 발생	
		필요시 안전상 필요한 방호장치 연동	
		비상정지장치 동작 후 정지상태 유지 및 절차와 조치에 의한 해제	
		비상정지 해제 시 정상조건이 충족되는 경우 재 기동방식에 의한 기동	
		운전모드에 관계없이 사용 및 동작	
		보완적 수단의 안전장치로 대체 불가	
	4.5 기계류 조립	기계류 조립 시 비상정지장치 유효화 상태 유지	
5. 제어 및 운전모드	5.1 일반사항	선택모드는 비상정지장치를 제외하고 다른 제어로부터 우선	
	5.2 모드 선택기	방호조치 또는 작업절차를 위한 제어 및 운전 모드를 가지는 경우 모드 선택기 설치	
		제어모드별 잠금장치 설치	
		고유기능을 가지는 모드별 선택위치의 확인 및 식별 가능	
		작업자 권한에 따라서 기계류의 사용 제한	
	5.3 방호장치 및 가드 해제	모든 다른 제어 및 운전모드의 무효화	
		위험기능의 조작은 인에이블 장치 등을 통한 연속적 작동시만 운전	
		안전성이 확보된 경우에서만 위험기능 조작	
		안전 센서류에 의한 위험상황 차단 및 저감	
		상기 조건 불충족 시 작업자는 안전영역에서만 모드 선택기를 조작	
	5.4 제어위치	작업자는 제어위치에서 작업 상황을 통제	
6. 동력원	6.1 공급실패	동력원의 맥동 또는 공급중단으로 위험	
		의도하지 않는 조건에서의 기계류 동작	
		설정값의 체계적 관리 및 임의 변경에 따른 위험	
		정지신호 입력 시 동력차단 및 정지	
		구동부 정지는 독립적인 자동 또는 수동방식 사용	
		방호장치의 유효화 상태 유지 및 정지신호 활성화	

항목	세부항목	평가내용	결과
7. 안전성 상실	7.1 일반사항	뒤집힘, 떨어짐 또는 불시기동의 위험이 발생하지 않도록 안전성 유지	
		기계류의 특수성으로 인해 안전성을 확보할 수 없을 경우 특수방법 사용 및 사용설명서 명시	
8. 사용 중 파손위험	8.1 응력	예상 사용조건에서의 발생응력에 대한 기계류의 성능유지	
	8.2 내구성	예상 사용조건, 재료의 피로, 부식 및 마모 등에 대한 재료의 내구성	
	8.3 교체	검사 방법 및 주기, 보수 등 관리방법과 주요 부품의 교체주기	
	8.4가드	파손 또는 비래 등 위험방지를 위한 가드 사용	
	8.5 유체파이프	고압유체 파이프의 발생응력에 대한 충분한 안전성 확보 및 파열 위험방지를 위한 고정 등	
	8.6 피가공물	피가공물과 공구의 상태감시 시스템 신뢰성에 따른 가드 설치	
		절삭공구의 선정, 사양 및 설치 등의 방법이 사용설명서에 제시	
9. 배출물의 떨어짐 또는 이탈 위험	9.1 일반사항	위험에 대한 예방조치(토우 보드 또는 방호가드 등) 실시	
	9.2 기술문서	피가공물 또는 공구 무게, 속도 및 에너지 추정치의 기술문서 제시	
10. 표면, 모서리 또는 돌출부 위험	10.1 일반사항	신체접촉이 가능한 기계류의 날카로운 모서리, 예리한 돌출 또는 위험한 거친 부분 존재 여부	
11. 복합 기계류의 위험	11.1 일반사항	위험영역에서는 복합 기계류의 단위동작 별로 작업자의 안전성 확보 하거나 격리 가동 또는 정지	
12. 운전조건 변경	12.1 일반사항	다양한 운전조건 기계류의 선택과 조정기능의 안전성과 신뢰성 확보	
13. 구동부 위험	13.1 일반사항	구동부의 격리, 안전거리 유지 및 가드 또는 방호장치 설치	
	13.2 예방조치	불시 걸림을 방지하기 위한 사용단계별 예방조치 및 방호장치 설치 또는 걸림 제거 수단 제공	
	13.3 사용설명서	사용설명서 또는 경고표지에 구체적인 예방조치 명시	
14. 구동부 방호장치	14.1 일반사항	구동부 위험 특성에 적합한 가드 또는 방호장치 설치	
		동력전달부의 위험으로부터 방호될 수 있는 가드 설치	
		유지보수 목적인 경우 가동식 연동가드 설치	
	14.2 위험성	고정식 가드, 가동식 연동가, 방호장치 또는 조합으로 설치	
	14.3 접촉방지	접근이 불가피한 경우 고정식 가드 또는 가동식 연동가드 설치	
		접근이 필요한 경우 가동식 연동가드 설치	
	14.4 통제 불능	기계류 정지 시 정지위치로부터 벗어나는 위험이 발생하지 않도록 구동부의 안전 정지거리 고려	

항목	세부항목	평가내용	결과
15. 가드 및 방호장치	15.1 일반사항	튼튼한 구조	
		특정위치에 확실한 고정	
		추가적인 위험	
		안전기능 제거의 용이성	
		위험영역으로부터 안전거리 확보	
		공정과의 간섭	
		유지보수 및 점검 시 가드나 방호장치의 무효화	
	15.2 차폐	가공물, 비산물 및 위험물질(화학적, 물리적 인자 등) 차폐	
16. 가드 특별요구사항	16.1 고정식가드	개방 또는 제거 전용도구 방식의 시스템으로 고정	
		가드 제거 시에도 고정시스템은 가드나 기계류에 고정	
		가드는 고정물을 통하여 해당 위치에 고정	
	16.2 가동식 연동가드	의도적 조절을 통한 가드 개방 및 기계류에 부착상태 유지	
		가드 닫힘 시까지 기동 방지 및 닫히지 않는 경우 정지상태 유지	
		작업자가 위험영역으로 접근이 가능한 경우 위험성이 저감되기 전 까지 잠금 상태 유지	
	16.3 부품	고장발생 또는 부품 해제 시 기동 불가 및 기동 정지	
	16.4 접근제한형	작업방법에 따라 공구의 사용 없이 수동 또는 자동 조정 가능	
	16.5 제어기능	위험영역에 작업자 접근 시 기계류 기동 불가	
		시동 후 위험영역에 접근 금지	
		방호장치 무효화 또는 파손 시 기동 불가 및 기동 정지	
	16.6 피가공물	의도된 조작에 의해서만 방호장치 조정 가능	
17. 전기공급	17.1 일반사항	모든 전기적 위험을 방지할 수 있어야 함	
	17.2 규격	기계류 전기안전에 관한 사항은 KS C IEC 60204-1 만족	
18. 정전기	18.1 일반사항	정전기 대전 및 방전의 방지 또는 제전장치 설치	
19. 전기 이외의 동력원	19.1 일반사항	전기 이외의 동력원으로 기계류 동작 시 에너지 관련 잠재 위험요소 회피 또는 제거	
20. 오조립 및 오접속	20.1 일반사항	위험요소의 부품의 조립 및 접속 오류는 설계 및 제작 시 반영	
	20.2 방지	부품 또는 외함에 적절한 표시	
		위험방지를 위한 작동방향을 외함에 표시하고, 사용설명서에 명시	
		오류방지를 위한 구조적 설계 또는 연결수단상에 정보 제공	

항목	세부항목	평가내용	결과
21. 이상온도	21.1 안전조치	이상온도로 인해 직접 접촉하거나 접근 시 위험한 경우 안전조치	
	21.2 배출방지	이상온도 재료 배출 위험시 방지조치	
22. 화재	22.1 일반사항	기계류, 가스, 먼지, 증기 또는 배출물질 등에 의한 과열 또는 화재 예방	
23. 폭발	23.1 설계·제작	기계류, 가스, 먼지, 증기 또는 배출물질 등에 의한 폭발 예방	
	23.2 법령	폭발위험장소에 설치·사용 기계류의 관련 법령 준수	
24. 소음	24.1 저감	소음원에 대한 기술적 공정 개선 및 소음저감 설계·제작	
	24.2 평가	유사 기계류와 비교를 통한 소음 방출수준 평가	
25. 진동	25.1 저감	진동원에 대한 기술적 공정 개선 및 진동저감 설계·제작	
	25.2 평가	유사 기계류와 비교를 통한 진동 방출수준 평가	
26. 방사선	26.1 일반사항	방출 방사선은 제거 또는 유해위험하지 않는 수준으로 저감	
	26.2 방호조치	설정, 운전 및 청소 시 발생 이온 방사선은 최소한으로 제한되도록 방호조치	
	26.3 감소	설정, 작동 및 유지·보수 시 기능적 비이온 방사선은 인체에 해롭지 않는 수준으로 저감	
27. 노이즈	27.1 일반사항	외부의 방사선(노이즈)로부터 간섭받지 않고 안전한 작동	
28. 레이저 장비	28.1 요구조건	사고에 의한 빔의 방사를 방지	
		빔의 방사, 반사 또는 산란에 의한 방사, 2차 방사 등에 의한 위험	
		광학장치 레이저로 인한 위험	
29. 위험 재료 및 물질의 배출	29.1 요구사항	배출되는 위험 재료 및 물질의 인체 접촉 또는 투과 방지	
	29.2 여과, 처리	유효한 방법을 통하여 여과 또는 처리설비 설치	
	29.3 배출장치	개방공간의 저장장치나 배출장치는 효과적인 위치에 설치	
30. 기계에 간힘	30.1 일반사항	작업자의 끼임 또는 간힘을 방지하거나 도움을 요청할 수 있는 장비 사용	
31. 미끄러짐 또는 떨어짐	31.1 구조	기계류에서 작업 시 미끄러지거나 떨어짐 방지	
	31.2 손잡이	위험장소에는 고정식 손잡이 설치	
32. 낙뢰	32.1 일반사항	접지시스템(KSC IEC 60364) 설치	

항목	세부항목	평가내용	결과
33. 정비	33.1 일반사항	조정 및 정비는 위험영역 밖에서 실시	
		조정, 정비, 청소 등 유지보수는 기계류의 정지 상태에서 실시	
	33.2 자동화설비	자동화설비의 경우 고장진단 장비를 연결할 수 있는 장치 설치	
	33.3 운전방법	빈도가 높은 작업의 경우 기술적인 방법의 작업절차 준수	
34. 조작위치	34.1 일반사항	생산, 조정 및 정비 등을 위하여 안전한 접근방법 마련	
35. 동력원 차단	35.1 일반사항	유지보수 동안 기계류의 안전한 정지상태 유지를 위한 동력차단장치 설치	
	35.2 요구조건	명확히 식별되는 에너지 공급차단 수단 설치	
		동력원 재투입 방지를 위한 잠금장치 구비	
		차단장치의 동작 상태를 확인할 수 없는 경우 잠금장치 설치	
		동력원의 잔류에너지에 대한 소산조치	
		유지보수 시 특정회로에 대한 에너지 공급 필요시 작업자의 안전을 보장하기 위한 추가 조치 필요	
36. 작업자 개입	36.1 일반사항	작업자 개입의 최소화 및 불가피한 경우 안전한 작업 수행	
	36.2 내부청소	내부 청소작업이 없도록 설계·제작 및 잠금장치는 외부에서 해지 내부 청소작업 시 위험성 감소를 위한 안전조치	
37. 기계류의 정보 및 경고	37.1 일반사항	쉽게 이해 가능한 기호나 픽토그램 형태의 사용자 필요 정보 및 경고와 사용 설명서 제공	
38. 정보 및 제공장치	38.1 내용	명확하고 쉽게 이해 가능한 내용으로 제공	
	38.2 형태	간단명료하게 작성	
	38.3 수단	디스플레이 장비 또는 상호 통신수단의 조작 용이성	
39. 경보장치	39.1 구비	위험경보를 위한 음향 또는 시각 신호 등의 장치 구비	
	39.2 인지	분명하고 쉽게 인지할 수 있는 신호 또는 경보장치	
	39.3 규정	경보장치의 색상과 신호는 관련 규정에 적합	
40. 잔류위험	40.1 경고	근본적인 안전조치에도 불구하고 위험이 잔존하는 경우 경고장치 등의 경고 제공	
41. 표시	41.1 항목	제조사, 품명, 형식번호, 제조번호, 제조연도, 인증마크, 기타	
	41.2 방폭	방폭구조 전기기계기구 인증 표시	
	41.3 정보	형식 및 사용 관련 안전보건 필수정보 표기	
	41.4 정격	달기기구를 보유한 기계류의 정격용량 표기	
42. 사용설명서	42.1 일반사항	설치·사용되는 나라의 언어로 구성된 사용설명서 비치	
	42.2 내용	기계류의 의도된 사용을 포함하여 예측 가능한 오사용도 고려	
	42.3 항목	필수적인 안전보건사항 포함	

부록 3. 스마트팩토리 안전시스템 평가에 관한 기술지침

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

스마트팩토리 안전시스템 평가에 관한
기술지침(안)

2021. 11.

한 국 산 업 안 전 보 건 공 단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 국립한경대학교 김기식
산업안전보건연구원 산업안전연구실 변정환
- 관련규격 및 자료
 - 스마트팩토리 안전시스템 수준별 평가모델 개발, 2019, 한국산업안전보건공단
 - KS B ISO 12100, 기계안전-설계 일반원칙-위험성평가와 위험성감소, 2016
 - KS B ISO 13849-1, 기계 안전-제어 시스템의 안전관련 부품- 제1부: 설계의 일반원칙, 2016
 - KS B ISO 13849-2, 기계 안전-제어 시스템의 안전관련 부품- 제2부: 검증, 2016
 - KS B ISO 13850, 기계 안전 비상 정지-설계원리, 2016
 - KS B ISO 13854, 기계안전 - 인체 부분의 협착을 방지하기 위한 최소 틈새, 2017
 - KS B ISO 13855, 기계 안전-신체 일부의 접근 속도에 따른 보호 장치 위치 설정, 2016
 - KS B ISO 13856, 기계안전 - 압력 감지식 보호 장치, 2016
 - KS B ISO 13857, 기계안전- 인체의 상지와 하지의 위험요인영역 접근을 방지하기 위한 안전거리, 2016
 - KS B ISO 14118, 기계안전- 예기치 않은 시동의 방지, 2017
 - KS B ISO 14119, 기계안전가드와 관련된 연동 장치 - 설계 및 선택에 대한 원칙, 2016
 - KS B ISO 14120, 기계안전-가드-고정식 및 이동식 가드의 설계와 시공에 대한 일반 요구사항, 2017
 - KS B ISO 14122, 기계안전 -기계설비에 대한 영구적 접근 수단, 2014
 - KS C IEC 60204-1, 기계류의 안전성 - 기계의 전기 장비 - 일반 요구사항, 2015
 - KS C IEC 61310-1, 기계류의 안전성-지시, 표시 및 작동-제1부: 시각, 청각 및 촉각 신호용 요구 사항, 2017
 - KS C IEC 61310-2, 기계류의 안전성-지시, 표시 및 작동-제2부: 표시 요구사항, 2017
 - KS C IEC 61310-3, 기계류의 안전성-지시, 표시 및 작동-제3부: 액추에이터의 위치 및 조작, 2014
 - KS C IEC 61496-1, 기계류의 안전성 - 전기감응 방호장치 - 제1부: 일반요구사항 및 시험, 2019
 - KS C IEC 61800-5-2, 가변속 전력구동 시스템 - 제5-2부: 안전 요구사항 - 기능, 2014
 - KS B ISO 10218-1: 2011 로봇 및 로봇장치-산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항-제1부. 로봇
 - KS B ISO 10218-2, 로봇 및 로봇장치 - 산업용 로봇의 안전에 관한 요구사항- 제1부: 로봇 시스템 및 통합, 2017
 - KS B ISO TS 15066, 로봇 및 로봇 장치 - 협동로봇, 2017

- KS B 7313, 산업용 협동로봇, 2018
- KS T 2013, 컨베이어 안전 기준, 2019
- KS T2003, 연속처리 장비 및 시스템-벨크재료용 고정식 벨트 컨베이어의 안전 및 EMC 요구사항, 2017
- KS X 9001-2, 스마트공장 - 제2부: 용어
- S3-M-13, 무인운반차에 대한 기술기준, 2009
- ANSI/ITSDF B565-2012, 무인, 자동 산업 차량에 대한 안전 표준
- ISO/DIS 3691-4, 산업용 트럭 - 안전 요구 사항 및 검증 - 제4부: 무인 산업용 트럭 및 시스템, 2018
- DIN EN 1525 : 무인 산업용 트럭 및 시스템, 1997
- JIS D 6801, 무인운반차의 안전기준, 2019
- 2006/42/EC, 기계류지침, 2006
- 스마트제조혁신추진단 스마트공장 사업관리시스템, 디지털 라이브러리

○ 관련 법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제6장 유해·위험 기계 등에 대한 조치

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr) 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2021년 00월 00일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

스마트팩토리(Smart Factory) 안전시스템 평가에 관한 기술지침

1. 목적

이 지침은 스마트팩토리(Smart Factory) 사업장의 안전관리 수준을 진단하기 위하여 안전시스템을 평가하는 도구와 그 사용 등에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 스마트팩토리(Smart Factory)를 구축한 모든 사업장에 대하여 적용한다. 다만, 수리, 보수, 교체 및 폐기 등의 비정형 상황에 대하여는 적용하지 아니한다.

3. 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) "스마트팩토리(Smart Factory)"라 함은 기획·설계, 생산, 유통·판매에 이르는 생산과정의 전부 또는 일부에서 사물인터넷(IoT)·인공지능(AI)·빅데이터와 같은 정보통신기술을 활용해 기업의 생산성과 제품 품질 등을 높이는 지능형 공장을 말한다.

(나) "자동화공장"라 함은 생산과정에서 노동자의 개입을 최소화하여 기계·설비로 대체함으로써 무인화공장을 말한다.

(다) "스마트팩토리(Smart Factory) 안전시스템 수준"이라 함은 Enterprise - Work Centers - Station - Control Device - Field Device의 생산시스템 계층 구조에서 계층간 안전관련 정보교환의 정도에 따라 안전시스템을 구분하는 것을 말한다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

- (라) “전사적 자원관리(ERP)”라 함은 기업의 자금, 회계, 구매, 생산 및 판매 등의 경영과정을 한 번에 파악할 수 있도록 관리해주는 시스템을 말한다.
- (마) “제조실행 시스템(MES)”라 함은 생산과정을 실시간으로 모니터링하고 제어할 수 있도록 하는 시스템을 말한다.
- (바) “자동화제어(PLC)”라 함은 센서로부터 신호를 수신하여 제어장치에 신호를 보내어 설정값으로 작동시키는 시스템을 말한다.
- (사) “정보통신기술(ICT)”라 함은 정보를 주고 받는 것을 포함하여 개발, 저장, 처리 및 관리에 필요한 모든 기술을 말한다.
- (마) “사물인터넷(IoT)”라 함은 인터넷을 기반으로 시간, 장소 및 사물 등에 대한 제약없이 모든 사물이 연결되어 사람과 사물, 사물과 사물간의 정보를 소통할 수 있는 지능형 기술을 말한다.
- (바) “가상물리 시스템(CPS)”라 함은 공장에서 사용하는 시스템과 사이버 공간 시스템을 실시간으로 통합하는 기술로 새로운 프로젝트 테스트를 위하여 생산공정을 중단시키지 않고 사이버 공간에서 테스트할 수 있는 시스템을 말한다.
- (2) 그 밖의 용어 정의는 이 지침에서 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 관련 고시에서 정하는 바에 따른다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

4. 평가항목의 구분

스마트팩토리(Smart Factory) 안전관련 정보교환 정도의 판단을 통한 스마트팩토리 안전시스템 수준을 평가하기 위한 계층통합 생산시스템의 안전 구성요소는 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 계층통합 생산시스템의 안전 구성요소

구성	내용
Enterprise	- ERP: Topfloor(전사차원의 계획 및 자원 활용) - 완성공정을 위한 초기 생산계획과 발주를 위한 지속적 제어
Work Center	- MES: 경영(제조, 실행, 시스템) - 제조 실행 시스템(MES)을 위한 기본사항으로 경영, 기계류 및 개인정보를 파악하고 제어, 조정 및 생산 제어를 실행 - 경영(Topfloor)와 기계 제어사이의 연결고리 - 정보파악을 통한 생산계획 - 기업자원계획시스템(ERP: Enterprise Resource Planning-System)에 미래지향적 계획을 위한 정보 제공
Work Station	- 인간-기계 인터페이스 (HMI): 공정제어 - 공정제어, HMI 그리고 SCADA 시스템에 대한 경보 기능 장착 - 시각화된 생산관련 공정제어 - 공정제어 인간-기계 단계의 감시와 서비스 기능의 제어
Control Device	- PLC: 제어 (프로그램, 물류, 제어) - 저장 가능한 프로그램 제어를 위한 입력정보(센서 데이터) 평가 및 결과정보를 Shopfloor에 재전송 - 전자정보를 통한 역추에이터 작동(예: 유공압, 전자식 역추에이터 작동) - 기계/설비 제어 분산 배치 - 예: 전기 및 난방관리 디지털 시스템 등
Field Device	- Shopfloor: 실시간 현장처리 (센서, 역추에이터) - 위치-장소적 생산설비와 관련된 생산정보 - 온도 센서와 차광막(Light Barrier)과 같은 센서 장착 역추에이터 - 생산과 관련된 입·출력 자료의 전달 및 가공

여기서 평가 항목은 모두 142개로 구성되며, <부록 1>에 제시되어 있고 각 항목에 대한 평가는 적합, 부분적합, 부적합, 해당없음 중 하나를 선택하여 실시한다. 그리고 <부록2>에는 평가항목에 대한 점점 해설을 담고 있다.

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

4.1 평가 방법의 구분

평가항목은 총 142개 항목으로 문서 확인 및 관계자 면담 87개 문항과 현장확인 55개 문항을 평가하도록 구성되어 있다.

4.2 평가 분야 및 세부항목

평가 분야는 법규 및 인증, 공정설비 안전설계 및 구성, 방호장치 및 조치, 유지보수 및 교육의 4개 분야로 구분하며 각 분야는 이를 세부항목으로 다시 구분한다.

(1) 법규 및 인증 분야 (4개 문항)

법규 및 인증 분야는 스마트팩토리 기계류·설비별 설치 및 운용에 필요한 각종 법규 준수와 안전인증 획득 및 적용여부를 확인하고 각 디바이스별로 공통 적용할 수 있는 4개 문항으로 문서 확인 및 관계자 면담으로 도출하도록 하고 있다.

(2) 공정설비 안전설계 및 구성 분야 (67개 문항)

공정설비 안전설계 및 구성 분야는 문서 확인 및 관계자 면담으로 50개 문항과 현장확인으로 17개 문항에 답하도록 구성되어 있고 세부항목은 아래와 같다.

- (가) 안전제어시스템 (문서 확인 및 관계자 면담으로 20개, 현장확인 4개 문항)
- (나) 정보(통신) 운영기술 및 통신 네트워크 (문서 확인 및 관계자 면담 7개 문항)
- (다) 협동작업 안전 (문서 확인 및 관계자 면담 11개, 현장확인으로 5개 문항)
- (라) 모듈설비 (문서 확인 및 관계자 면담 6개, 현장확인으로 3개 문항)
- (마) 제어기기 (휴대용)(문서 확인 및 관계자 면담 6개, 현장확인 5개 문항)

(3) 방호장치 및 조치

방호장치 및 조치분야는 문서 확인 및 관계자 면담으로 26개 문항과 현장확인으로 29개 문항에 답하도록 구성되어 있고 세부항목은 아래와 같다.

- (가) 방호조치(방책) (문서 확인 및 관계자 면담 9개, 현장확인 12개 문항)
- (나) 방호장치(센서) (문서 확인 및 관계자 면담 9개, 현장확인 5개 문항)
- (다) 비상정지장치 (문서 확인 및 관계자 면담 8개, 현장확인 12개 문항)

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

(4) 유지보수 및 교육

유지보수 및 교육 분야는 문서 확인 및 관계자 면담으로 7개 문항과 현장확인으로 9개 문항에 답하도록 구성되어 있고 세부항목은 아래와 같다.

- (가) 유지관리규정 수립 (문서 확인 및 관계자 면담 1개 문항)
- (나) 작업결과 기록관리 (문서 확인 및 관계자 면담 1개 문항)
- (다) 안전교육 계획수립 (문서 확인 및 관계자 면담 2개 문항)
- (라) 교육시행 (문서 확인 및 관계자 면담 2개 문항)
- (마) 교육관리 (문서 확인 및 관계자 면담 1개 문항)
- (바) 작업규정 준수 (현장확인 3개 문항)
- (사) 조작금지 표시 (현장확인 1개 문항)
- (아) 안전감시 및 조치 (현장확인 2개 문항)
- (자) 에너지 방출 (현장확인 1개 문항)
- (차) 운전개시 (현장확인 1개 문항)
- (카) 자료비치 (현장확인 1개 문항)

4.3 안전시스템 수준별 단계

안전시스템의 수준별 단계를 구분에 앞서 스마트팩토리 수준별 정의는 다음 <표2>와 같다.

<표 2> 스마트팩토리 수준 정의

수준	정의
기초	기초 ICT를 활용하여 생산 일부의 정보를 수집 및 활용하고 기존 인프라를 활용을 통하여 최소비용으로 정보시스템을 구축하는 수준
중간 1	설비의 정보를 최대한 자동으로 수집하고 인프라와 신뢰성 있는 정보를 공유함으로써 생산과정의 자동화를 지향하는 수준
중간 2	모기업과 공급사슬 및 엔지니어링 관련 정보를 공유함으로써 최적화와 자동제어를 기반으로 실시간 의사결정할 수 있는 제어형 공장을 달성하는 수준
고도화	사물과 인터넷 서비스를 IoT/IoS화하여 사물, 서비스, 비즈니스 모듈간 실시간으로 소통체계를 구축하고 사이버 공간에서 생산활동을 구현하는 수준

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

스마트팩토리(Smart Factory) 안전시스템 수준에 따른 4단계의 문항은 다음과 같이 구성되며, 스마트팩토리 안전시스템을 평가하기 위한 수준별 정의는 다음 <표3>과 같이 4단계로 구분한다.

- (1) Safety I (90개 문항)
- (2) Safety II (17개 문항)
- (3) Safety III (20개 문항)
- (4) Safety IV (15개 문항)

<표 3> 스마트팩토리 안전시스템 수준 정의

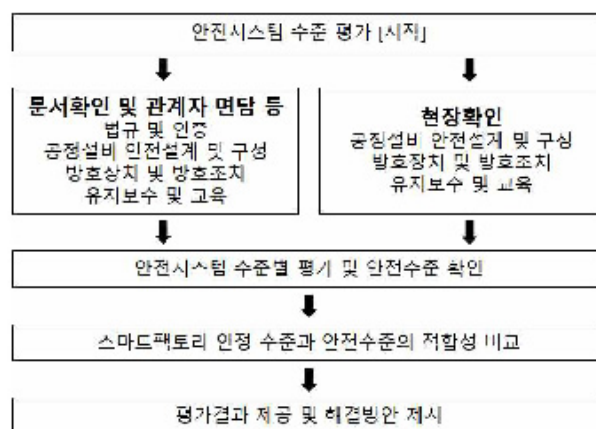
단계	조건(구축 수준)
Safety IV	빅데이터와 AI 기술을 통해 부품고장, 교환주기 예지 및 예지적 방호조치, CPS 상에서 자율안전확인 (자기적합성 선언)
Safety III	이상상태 모니터링을 통한 설비·자동제어, 이력관리, 설비수명 예측 등
Safety II	기계·설비류(모듈설비 포함) 및 작업자 안전 모니터링
Safety I	기계·설비류(모듈설비 포함) 안전기준 및 국내·외 관련 규격

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

5. 평가방법

스마트팩토리(Smart Factory) 안전시스템 수준 평가 방법은 다음 [그림1]과 같다.



[그림 1] 안전시스템 수준 평가 절차

‘법규 준수’, ‘안전인증 획득 제품 사용’, ‘자율안전확인신고’, ‘안전검사’를 통해 해당 설비의 안전성을 검증하고 각종 표준, 규격 및 위험성평가 등 각종 문서와 관계자 면담 등을 통해 적합 여부를 판단하는 과정과 기계류·설비 시설물 설치상태와 각종 안전장치의 정상 작동여부를 현장 확인하여 적합성을 평가하는 과정을 거친다. 그런 다음 안전시스템 수준별 평가결과 및 안전수준의 적합성을 구하고 사업장에 적절한 해결방안을 제시한다.

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

6. 평가절차

6.1 안전성평가 실시규정 작성

안전성평가 성과를 거두기 위해서는 평가 실시 사업장의 생산활동과 연계하여 자체 평가계획을 포함하는 실시규정을 작성하여야 한다. 안전성평가 실시규정에는 다음 사항을 포함한다.

- (1) 안전성평가 실시 조직의 구성, 역할 및 책임
- (2) 안전성평가 대상 및 실시시기
- (3) 안전성평가 실시상의 유의사항
- (4) 안전성평가 기록

6.2 안전성평가에 관한 교육 실시

사업장에서 안전성평가를 실시하는 경우 담당자 또는 관계자가 그 방법에 관한 상당한 지식과 경험을 보유하여야 한다. 따라서 사업주는 담당자 및 관계자에 외부 교육기관의 필요한 교육을 수강하게 하거나 자체적으로 근로자에게 평가의 중요성 및 실시방법 등을 교육시켜야 한다.

6.3 평가대상 선정

- (1) 안전성평가를 실시하는 경우 스마트팩토리(Smart Factory) 관련 모든 유해·위험요인을 대상으로 하며, 주로 스마트팩토리(Smart Factory) 관련 작업을 대상으로 한다.
- (2) 안전성평가의 대상은 과거에 산업재해가 발생한 작업, 위험한 일이 발생한 작업 등 근로자의 근로에 관계되는 유해·위험요인에 의한 부상 또는 질병의 발생이 합리적으로 예견 가능한 것으로 한다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

- (3) 동일한 작업(동일한 작업설비를 사용하거나 작업을 수행하는 방법 등이 같다고 객관적으로 인정되는 작업)인 경우 묶어서 대상으로 선정하여 평가할 수 있다.

6.4 평가대상 작업별 분류

- (1) 스마트팩토리(Smart Factory) 공정 흐름도에서 평가대상을 작업별로 분류한다.
- (2) 분류된 작업별로 평가 담당자를 지정하고, 평가 담당자로 하여금 해당 공정의 작업별로 평가를 실시하게 한다. 다만, 평가 담당자가 분류된 작업에 대한 지식, 기술 및 정보 등을 충분히 보유한 경우에는 복수의 작업에 대한 평가도 가능하다.

6.5 안전보건정보 사전 조사

- (1) 난이도가 높은 문제부터 우선적으로 개선하기 위하여 평가단계에서부터 유해·위험요인에 관한 정보가 누락되지 않아야 하며, 따라서 스마트팩토리(Smart Factory) 관련 정보를 가급적 많이 수집하고 정리한다.
- (2) 스마트팩토리(Smart Factory) 관련 유해·위험요인에 관한 정보를 입수할 때는 법령, 지침, 사내규정 등 각종 기준과 재해통계, 안전보건관리 기록, 안전보건활동 기록 등의 정보를 토대로 파악하여야 한다.
- (3) 유해·위험요인을 파악하기 전에 사업장의 기본적인 안전보건정보는 다음을 참조하여 작성한다.
- (가) 작업표준, 작업절차 등에 관한 정보
 - (나) 기계·기구, 설비 등의 사양서, 제조 공정도 등의 유해·위험요인에 관한 정보
 - (다) 기계·기구, 설비 등의 공정 흐름과 작업 주변의 환경에 관한 정보
 - (라) 재해사례, 재해통계 등에 관한 정보
 - (마) 그 밖에 안전성 평가에 참고가 되는 자료 등

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

67. 평가결과 해석 및 판정

특정 설비를 미보유하거나 사업장의 해당 공정과 무관한 항목에 대해서는 '해당없음'으로 구분하고 적합도 계산 시 모수에서는 제외한다. 또한 체크리스트에서 평가를 실시한 경우 '적합', '일부적합', '부적합'에는 각각 1, 0.5, 0점을 배정하여 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned}
 - \text{Safety I 수준 평가점수} &= \frac{(\text{'적합'문항수}) + 0.5 \times (\text{'부분적합'문항수})}{(\text{Safety I에 해당하는 문항수}) - (\text{'해당없음'문항수})} \\
 - \text{Safety II 수준 평가점수} &= \frac{(\text{'적합'문항수}) + 0.5 \times (\text{'부분적합'문항수})}{(\text{Safety II에 해당하는 문항수}) - (\text{'해당없음'문항수})} \\
 - \text{Safety III 수준 평가점수} &= \frac{(\text{'적합'문항수}) + 0.5 \times (\text{'부분적합'문항수})}{(\text{Safety III에 해당하는 문항수}) - (\text{'해당없음'문항수})} \\
 - \text{Safety IV 수준 평가점수} &= \frac{(\text{'적합'문항수}) + 0.5 \times (\text{'부분적합'문항수})}{(\text{Safety IV에 해당하는 문항수}) - (\text{'해당없음'문항수})}
 \end{aligned}$$

적합도를 평가하는 경우 각 평가범주에 해당하는 문항 중 적합도가 60%(0.6) 이상인 경우에 해당 안전수준을 통과하는 것으로 본다. 다만, 해당 안전수준을 통과하더라도 전단계 안전수준을 통과하지 못하는 경우의 적합도는 전전단계 안전수준으로 본다.

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

<부록 1> 평가항목(체크리스트)

구분	평가 분야	세부항목	순번	단계	질문 내용	적합	부분 적합	부적합	해당 없음
문서화인 및 관계자 면담 등	법규 및 인증	기계류· 설비류	1	Safety I	기계·설비류가 KCs 자율안전확인 신고를 받은 제품인가?				
			2	Safety I	사업장에 운용 중인 기계류 설비류는 관련 안전인증서를 보유하고 적합하게 부착하여 표시하고 있는가?				
			3	Safety I	KS B ISO 10218-2 또는 ISO 10218-2 기준을 충족하는 협동로봇 제품인 중 및 협동로봇 설치 사업장 안전인증서를 보유하고 있는가?				
			4	Safety I	사업장에 운영 중인 기계류·설비류는 유효한 안전검사 합격 증명서를 보 유하고 있는가?				
	공장설비 안전 설계 및 구성	안전제어 시스템	5	Safety I	안전센서의 출력 신호는 적절 안전 PLC 또는 Safety Controller 등의 안 전 입력 회로와 연결되어 있는가?				
			6	Safety I	안전 PLC는 KS B ISO 13849-1 및 IEC 61508에서 요구하는 안전기능을 수행하고 있는가?				
			7	Safety I	프로그램 내용을 확인할 수 있는 Interlock 구성 로직 또는 조건표가 문 서로 작성되어 있는가?				

8	Safety I	안전 프로그램 모직은 안전 PLC 자체만으로 작동하며, 일반제어 도리와 별도로 구분되어 작성되어 있는가?			
9	Safety I	안전제어시스템은 일반제어시스템과 회로가 분리되어 있으며, 일반제어시스템의 고장과 상관없이 안전기능을 수행하고 있는가?			
10	Safety I	위험성평가와 함께 KS B ISO 13849-1에 근거한 PLr를 선정하고 그에 맞는 PL 계산 등급과 안전 Category의 근거 자료를 보유하고 있는가?			
11	Safety I	안전제어시스템은 EMC(전자파 적합성 시험) 인증을 받았으며, 자파사고가 발생하게 될 때 설비의 불시 오작동을 방지하기 위한 회로로 구성되어 있는가?			
12	Safety I	Interlock 기능대로 정확하게 작동하는지에 대한 기능 시험 레포트를 작성했는가?			
13	Safety I	안전제어시스템의 점접 솔러기(릴레이, MC(Magnet Contactor))는 IEC 60947-5-1 Annex L(Mechanically linked contact) 또는 IEC 60947-4-1 Annex F(Mirror Contact)에 적합한 인증품을 사용하고 있으며, 점접의 용착을 방지하기 위해 상태 모니터링 점접을 임력으로 구성하고 있는가?			
14	Safety I	Interlock 입력기(도어, 비상, 라이트 커튼 등)들은 다른 시스템을 거쳐 지 않고 안전 제어시스템에 직접 연결되어 있는가?			
15	Safety I	Interlock 작동 후 재가동 조작 시 Interlock 기능이 복귀가 안 되어 있으면 설비 가동이 안 되도록 하고 있는가?			

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

16	Safety I	Interlock 입력 기기들은 용도별로 안전제어시스템에 입력 신호로 받고 있는가?					
17	Safety I	유저보수 모드 등으로 안전 인터록의 입력신호의 무효화 사용이 필요시, 별도의 모드 신호를 안전회로에서 따로 받고, 무효화 신호는 안전회로로 직접 연결되어 모드 설정에 따라 안전회로에서 무효화가 처리되고 있는가?					
18	Safety I	Interlock 무효화 작동을 위험성이 감소된 조건에서만 허용되고 있는가?					
19	Safety II	모든 안전 PLC 상태를 제어 기기에서 모니터링할 수 있는가? - 작동상태 및 내부 오작상태, 입출력 상태 등					
20	Safety II	안전 출력이 OFF 될 때의 원인을 모니터링할 수 있는가?					
21	Safety III	안전 PLC 프로그램 수정 이력을 별도로 관리하고 있는가?					
22	Safety III	유저보수 모드 작동으로 인한 Interlock 무효화 기능을 인원에 따라 단계별 권한을 부여하고, 인원별 이력을 수집하고 있는가?					
23	Safety III	유저보수 모드 작동 이력은 정기적인 점검을 위한 것인지 비정기적인 작동인지 확인이 가능한가?					
24	Safety IV	작업공정 중 안전 출력의 OFF 번도수를 카운팅하여 OFF 원인 분석과 시스템 상태진단 및 수명예측할 수 있는가?					

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

25	Safety II	설비의 정보 정보와 통전시간, 노후화의 Logging을 통해 안전사고를 미연에 방지할 수 있도록, 모진활동의 빈도관리와 모진활동의 모니터링을 수행하고 있는가?			
26	Safety II	제어용 네트워크와는 별도로 안전시스템 기기와 IT 인프라 연결에 필요한 별도의 안전 전용 네트워크가 구성되어 있는가?			
27	Safety II	안전회로의 타당성과 유효·무효화를 적절히 파악할 수 있는 시스템이 구성되어 있는가?			
28	Safety III	안전시스템 네트워크의 신뢰성 확보를 위한 트래픽 및 보안에 대한 관리를 실시하고 있는가?			
29	Safety IV	작업자의 액세스 이력과 디바이스 레벨의 상태 데이터로부터 AI(인공지능)이 스스로 정지원인 분석을 수행할 수 있는가?			
30	Safety IV	속제한 DB와 정지 원인분석을 통해 작업자의 액세스 빈도 요인의 저장 대책으로 위험상황을 제거할 수 있는 조치를 취하고 있는가?			
31	Safety IV	원인 불명의 안전 정지의 요인 규명과 대책에 대한 정보화 솔루션 시스템이 구축되어 있는가?			
32	Safety II	협동작업 영역의 4가제(안전 정적 모니터링 중저, 핸드 가이딩, 속도 및 분리 모니터링, 동력 및 힘 제한) 운전기능을 모니터링하고 있는가?			

					협동로봇의 방호장치(비상정지장치, 라이트커튼, 레이저스캐너 등)를 모니터링하고 있는가?				
33	Safety II				협동작업 영역의 이상발생 시 실시간으로 관리자에게 정보전달을 하고 있는가?				
34	Safety II				협동작업 영역에서의 로봇과 작업자의 충돌과정을 이력관리하고 있는가?				
35	Safety III				협동작업 운전모드 변환에 관해 이력관리 하고 있는가?				
36	Safety III				협동작업 영역에 대한 접근을 이력관리하고 있는가?				
37	Safety III				협동작업 영역에 대한 접근을 이력관리하고 있는가?				
38	Safety III				협동로봇 및 협동로봇 시스템의 수명을 전산시스템으로 이력관리 하고 있는가?				
39	Safety III				작업자가 협동구역을 벗어 날 경우 정비의 동작상태에 대한 모니터링 및 이력을 수집하고 있는가?				
40	Safety III				협동작업 상황에서 협동로봇이 정지 한 경우 모니터링 및 이력을 수집하고 있는가?				
41	Safety IV				가상 물리적 작업환경에서 시뮬레이션을 통하여 협동작업 영역에서의 위험요인을 파악하여 현장 적용이 가능한가?				

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

					AI 기능(자율의사 결정)을 통하여 협동로봇과 융복합설비를 관리하고 있는가?				
					사업장 내 운영 중인 모동설비는 인증증을 사용하고 있는가?				
					모동설비 내 이상상태를 모니터링할 수 있는가?				
					공정변화에 따른 모동설비 배치정보를 이력관리하고 있는가?				
					모동설비간 인터페이스에서 발생하는 고장에 대한 이력관리와 원인분석을 수행하고 있는가?				
					모동설비에 대해 인공지능을 통해 예지적 방호조치를 실행하고 있는가?				
					모동설비 배치 변경 시 CPS 상에서 자율안전확인(자기적합성선언)이 가능한가?				
					인예이를 스위치는 IEC 60947-5-1에 준하는 안전인증품인가?				
					인예이를 기기를 활용하여 위험 요소의 작동은 위험성이 감소된 곳에서만 활용할 수 있도록 설계되어 있는가?				
					각 계소별 인예이를 스위치의 활성화 상태를 모니터링할 수 있는가?				

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

					인에이를 스위치 조작 이력을 수집하고 있는가?					
52	Safety III				인에이를 스위치 조작 이력은 정기적인 점검을 위한 것인데 비정기적인 작동인지 확인이 가능한가?					
53	Safety III				기계 사용기간 동안 예지보전을 위해 인에이를 스위치가 실제 작동한 횟수와 상황에 대해 모니터링하여 수명예측할 수 있는 수단이 있는가?					
54	Safety IV				안전도어 스위치는 KS B ISO 14119와 IEC 60947-5-1을 만족하는 안전인증품인가?					
55	Safety I				안전 리미트 스위치는 IEC 60947-5-1을 만족하는 안전인증품인가?					
56	Safety I				고장식 방패 사용 시 안전도어(전임도어)가 닫히기 전까지는 설비 또는 기계가 작동되지 않도록 하고, 안전도어(전임도어) 개방 시 정지 명령이 실행될 수 있도록 구성되어 있는가?					
57	Safety I				방패(예: 펜스 등)의 높이 설정을 위험원에서 저라에 따라 KS B ISO 13857에 준하는 설계가 되었거나 이에 따른 근거자료를 보유하고 있는가?					
58	Safety I				방패의 구멍 또는 개구부는 사람의 신체 부위가 위험영역에 도달하지 못하도록 KS B ISO 13857에 준하는 설계가 되어 있는가?					
59	Safety I				각 개소별 방패(안전도어)의 열림과 닫힘 상태를 모니터링이 가능한가?					
60	Safety II									

61	Safety III	각 계소별 방벽(안전도어)의 열림과 닫힘 이력을 수집하고 있는가?			
62	Safety III	사용자에 따라 방벽(안전도어) 출입에 대한 권한을 부여하고 이력을 수집하고 있는가?			
63	Safety IV	방벽(안전도어) 개방 시 기계가 어떤 공정 또는 작업 중이었는 지 사용 중인 부품과 재료에 대한 정보 취득 및 분석이 가능한가?			
64	Safety I	안전 스위치의 사용 시 안전제어시스템(예: 안전 컨트롤러, 안전 PLC 등)을 활용하여 요구되는 안전등급(Type)에 맞게 사용하고 있는가?			
65	Safety I	안전센서는 IEC 61496-1 전기감응 방호장치에 적합한 제품을 사용하고 있는가?			
66	Safety I	인체가 기계의 위험부로 도달하기 전에 위험부를 정지시키기 위해 안전 센서와 위험부 사이에 KS B ISO 13857 기준에 적합한 안전거리를 고려하고 계산한 근거리료를 보유하고 있는가?			
67	Safety I	안전센서의 감지신호는 임플 시 ON, 차광 시 OFF 신호로 사용하고 있는가?			
68	Safety I	기계의 위험부와 안전센서의 감출영역 사이에 작업자가 진입할 경우, 인체폭이 발생되는 시스템으로 구성하여 기계의 제기동을 방지하고 있는가?			
69	Safety I	안전센서를 Monitoring 등의 일시 무효 기능 사용 시 무효 신호의 조건은 안전에 적합하게 사용되고 있는가?			

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

					각 계소별 안전센서 상태 모니터링이 가능한가?					
		70	Safety II		안전센서의 작동 및 안전 출력 O/P 신호의 변동 측정이 가능한가?					
		71	Safety III		안전센서 작동 시, 기계가 어떤 작업 중이었는지를 사용 중인 부품과 세로에 대한 정보 획득 및 분석이 가능한가?					
		72	Safety IV		안전센서 작동 시, 기계가 어떤 작업 중이었는지를 사용 중인 부품과 세로에 대한 정보 획득 및 분석이 가능한가?					
		73	Safety I		비상정지장치는 안전인증품(CE, KCs)을 사용하였는가?					
		74	Safety I		비상정지장치 기능의 최소 안전 요건으로 KS B ISO 13849-1 PL ₁ ≥c 또는 IEC 62061 SIL1 이상으로 설계되어 있는가? (산업용 로봇, 협동로봇: PL ₁ ≥d 또는 IEC 62061 SIL2)					
		75	Safety II	비상정지장치	비상정지장치의 설치 위치 각 계소별 비상정지의 작동 상태를 모니터링할 수 있는가?					
		76	Safety III		비상정지장치의 작동 이력(Alarm, Warning)을 데이터로 수집하고 있는가?					
		77	Safety IV		비상정지장치 작동 시, 설비의 공정(작업)에 대한 작업 환경, 공정 단계, 비상정지 장치 작동 원인 등의 분석이 가능한가?					
		78	Safety IV		공정운영 중 예방보전을 위한 비상정지장치의 조작 횟수를 모니터링하고 수명에 대한 안전경고를 확인할 수 있는 수단이 있는가?					

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

					기계(설비) 사용기간 동안 예방 보전을 위해 스위치가 실제 작동한 횟수 와 상황에 대해 모니터링하여 수명을 예측할 수 있는가?				
					작업과정 중 안전센서의 사용 통관시간 또는 불량 측정으로 상태전단 및 수명 예측이 가능한가?				
	유지관리 규정수행	81	Safety I		유지관리규정(위험작업 포함)은 기계류·설비류의 설치장소, 작업 절차 및 내용 등에 적절하게 작성되어 있는가?				
	작업결과 기록관리	82	Safety I		기계류·설비류의 보수(위험작업) 등을 실시한 후 그 내용을 기록하여 3년 이상 보존하고 있는가?				
유지 보수 및 교육	안전교육 계획수행	83	Safety I		기계류·설비류 운영을 위해 필요한 안전사고 예방 및 기술교육 계획이 수립되어 있는가(가시내 근로자)				
		84	Safety I		협력업체 또는 기계류·설비류 제조사 기술자(종사자)의 안전 및 기술교육 계획이 수립되어 있는가?				
	교육시행	85	Safety I		작성된 안전교육 계획에 따라 기계류 설비류에 대해 근로자를 대상으로 필요한 이론 및 실기 교육을 실시하고 있는가?				
		86	Safety I		작성된 안전교육 계획에 따라 협력업체 또는 기계류·설비류 제조사 기술 자(종사자)를 대상으로 필요한 안전 및 기술교육을 실시하고 있는가?				

원격확인	공정성비 안전성제 및 구성	표속 판리	87	Safety I	기계류 설치부의 관계 업무에 종사하는 근로자를 대상으로 필요한 이론 및 실기 교육을 실시하고 그 내용을 기록하며 3년 이상 기록·보존하고 있는가?				
			88	Safety I	안전 PLC 프로그램은 소프트웨어로 접근 시 사용처에 따라 제한하고 있는가?				
			89	Safety I	안전제어시스템은 별도의 전용 전원공급 장치로 운영되고 있는가?				
			90	Safety I	안전 PLC와 제어기기의 통신이 용바드지 않을 경우 상태 정보등 또는 정보를 발생시키는가?				
			91	Safety II	운전모드, 유지보수(타칭) 모드 구분에 대해 모니터링하고 있는가?				
	협동작업 안전		92	Safety I	협동로봇에 KCs 마크 및 안전점사 필증이 부착되어 있는가?				
			93	Safety I	협동로봇에 협동안전 상태를 표시하는 경고표지가 설치되어 있는가?				
			94	Safety I	협동안전영역은 바닥표지 등으로 명확하게 표시되어 있는가?				
			95	Safety II	협동로봇 시스템의 센서 및 개인보호구에 부착된 센서를 통해 작업자의 위치를 모니터링하고 있는가?				
			96	Safety II	협동로봇과의 복합 작업(제품착제→협동로봇→컨베이어)에 대해 모니터링 하고 있는가?				

			개별 모듈설비에는 비상정지장치가 설치되어 있으며, 해당 모듈 뿐 아니라 모듈과 연결된 공정을 정지시킬 수 있는가?			
모듈설비	97	Safety I	개별 모듈설비에는 비상정지장치가 설치되어 있으며, 해당 모듈 뿐 아니라 모듈과 연결된 공정을 정지시킬 수 있는가?			
	98	Safety I	개별 모듈설비에는 인터록 방호조치가 되어 있으며, 외부에서 해당 모듈 접근 시 해당 모듈 뿐 아니라 연결된 모든 공정을 정지시킬 수 있는가?			
	99	Safety I	모듈설비를 사이의 연결부위에 방호장치가 설치되어 있는가?			
	100	Safety I	프시상거(디칭 펜던트)에 비상정지장치가 설치되어 있는가?			
	101	Safety I	프시상거(데: 디칭 펜던트)와 연동된 인에이블 스위처에 비상정지 장치가 부착되어 있는가?			
제어기기 (후대용)	102	Safety I	인에이블 스위처를 놓거나 중립(Neutral) 작동 위치를 지나도록 누르면 위험원의 작동을 정지 시키는가?			
	103	Safety I	인에이블 스위처가 완전히 눌러진 상태에서 중립(Neutral) 작동 위치를 지나가는 경우에 위험원의 작동이 허용되지 않게 하였는가?			
	104	Safety I	다수의 인원이 작업을 할 경우 개인별로 별도의 인에이블 스위처 사용이 가능한가?			
	105	Safety I	안전스위치로 기계 또는 설비의 위험도에 따라 적합한 인터록 장치를 선택하여 위험을 줄일 수 있도록 선택 되었는가? - 도어 인터록, 안전 매트, 안전 벨트(안전지), 안전 리미트 등			
방호장치 및 조치	106	Safety I	기계 작동 중 방벽(안전도어) 개방 시 장치 명령이 실행되는가?			

107	Safety I	방패(안전도어)는 자동으로 닫히지 않고 개폐가 유지되도록 설계되어 있는가?				
108	Safety I	방패(안전도어) 닫힘 동작만으로 기계가 스스로 작동하지 않도록 설계되어 있는가?				
109	Safety I	방패(안전도어)에 안전 도어 스위치 설치방법(임의)의 해제 및 무효화 방법(태워)이 다음 중 한 가지 방법으로 적용되어 있는가? - 특수 볼트 설치. - 손이 닿지 않는 곳에 장착. - 물리적인 차폐물 및 장애물. - 은폐된 위치에 장착. - 중, 고수압의 코드화 드래프트 시스템.				
110	Safety I	방패(안전도어)에 안전 도어 스위치 사용 시 전용 암호화된 코드로 백이 맞는 스위치와 예측데이터만으로 사용할 수 있도록 관리가 되는가?				
111	Safety I	고정식 방패의 경우 공구 사용 없이 임의적으로 개방할 수 있도록 설계하였는가?				
112	Safety I	조정식(이동식) 방패는 작동상의 이유로 위험요인을 완전히 예방할 수 있을 경우에만 사용하도록 하였는가?				
113	Safety I	조정식(이동식) 방패 사용 시 공구 없이 쉽게 사용하고 작동 중에는 조정이 고정되게 하였는가?				

114	Safety I	제품 투입 배출 등으로 작업이 필요하여 재구부가 존재할 경우, 작업 시 KS B ISO 13853에 준하는 임시버튼 조작으로 작업을 수행하도록 구성되어 있는가?				
115	Safety I	모터 측, 기어, 구동벨트 등 동력 전달 부품에 대해 고정형 또는 이동형 안전방으로 보호되고 있는가?				
116	Safety I	설비 운전이 자동으로 시작되는 것을 방지하기 위하여 기동 연동장치가 설치되어 있는가?				
117	Safety I	위험영역 전체를 방호할 수 있도록 충분한 안전센서(광전자 센서)의 광속 수를 적용하였는가?				
118	Safety I	검출 영역을 통과해야만 기계의 위험부에 도달할 수 있도록 기계 주변에 방호 구조물을 설치하였는가?				
119	Safety I	이동경로에 있는 인체를 감지하기 위하여 운반차에 병렬(임력 감지장치, 평전자식 감지장치), 근접센서 등과 같은 인체 감지장치가 설치되었는가?				
120	Safety I	인체가 감지되어 운반차가 멈춘 경우, 경보를 울린 후 2초 후에 동일한 방향으로 자동 재기동하는가?				
121	Safety I	안전센서의 Muting 등의 일시적 무효화 기능은 LAMP 등으로 무효화 상태를 쉽게 확인할 수 있는가?				

[illegible]

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

	에너지 방출	140	Safety I	용제·보수 작업 전에 기계류·설비류의 간략 동력을 완전히 소멸시키고 확인하고 있는가?				
	안전개시	141	Safety I	용제 보수 작업 완료 후 기계류 설비류 운전 재개 시 방호장치의 작동여 부를 확인하고 있는가?				
	저로비저	142	Safety I	작업자는 용제 보수(위험작업) 재확시를 원점에 비추하여 시행하고 있는 가?				

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

<부록 2> 주요 점검항목 해설

1. 비상정지장치

1.1 작동 또는 위험기능 작동 시 비상상황 대응이 가능한 비상정지장치를 가지고 있는가?

[해설]

KS B ISO 13850 4.3.1 “비상정지장치”에서는 비상정지장치는 운전자와 작동할 필요가 있는 다른 사람이 쉽게 식별하고 작동할 수 있도록 설계되어야 한다.

1.1.1 비상정지장치의 액추에이터(버튼)

- 손바닥으로 쉽게 활성화될 수 있는 누름 버튼
- 와이어, 로프, 바
- 핸들
- 다른 대안의 적용이 어려운 곳에서 보호 덮개가 없는 발·페달
- 액추에이터에 열쇠를 필요로 하는 비상정지장치는 사용 금지
- 비상정지장치 구동은 액추에이터가 체결되지 않더라도 정지 명령 생성

1.1.2 비상정지장치 위치

운전자별 제어 스테이션에 설치하는데 다음과 같이 위험성 평가에 의해 결정된 장소에 설치하고 위험성 평가 결과 불필요하다고 판단되는 경우는 제외 할 수 있다.

- 입구와 출구 위치
- 기계의 제어가 필요한 위치
- 설계로 인해 사람과 기계의 상호 작용이 예상되는 모든 장소
- 수동으로 작동하도록 의도된 비상정지장치의 액추에이터는 바닥에서 0.6m 이상 ~ 1.7m 이하 사이에 설치
- 운전자가 작동할 필요가 있는 경우 다른 사람에 의해 위험하지 않은 구동을 할 수 있도록 바로 접근이 가능한 위치에 설치
- 발·페달은 접근거리 내에서 직접 고정 위치에 설치

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

1.1.3 비상정지장치 표시(IEC 60417-5638)

비상정지장치의 액추에이터(버튼)는 빨간색이어야 하고, 액추에이터의 배경은 노란색이어야 한다.

- 액추에이터나 배경에는 텍스트나 기호 라벨이 표시되지 않아야 하며, 설명이 필요한 경우 IEC 60417-5638에 따라 다음 [그림1]의 기호가 사용된다.



[그림 1] 비상정지장치 표시

1.1.4 기타사항

비상정지장치가 분리될 수 있거나 무선 운전자 제어 스테이션에 설치되었다면 적어도 하나의 비상정지장치는 영구적으로 기계에 설치되어야 한다.

(1) 능동적 비상정지장치와 수동적 비상정지장치 사이의 혼동 방지

- (가) 능동적 비상정지장치의 조명을 통한 장치 색상 변화
- (나) 수동적 비상정지장치의 자동 덮개
- (다) 분리될 수 있거나 무선 운전자 제어 스테이션을 위한 적절한 스토리지 지원

(2) 비상정지장치의 의도하지 않은 구동의 방지

- (가) 예견할 수 있는 극심한 혼잡 영역에서 비상정지장치를 이격하여 위치시킴
- (나) 비상정지장치의 종류 선택
- (다) 비상정지장치의 적절한 크기나 형태 선택
- (라) 주변 제어 패널의 돌출된 표면에 비상정지장치를 설치
- (마) 보호 덮개의 사용은 의도치 않은 구동을 방지하는데 필요할 때와 다른 방법을 실시할 수 없을 때를 제외하고 피해야 한다.
- (바) 보호 덮개는 부상을 초래할 수 있는 날카로운 모서리나 끝부분, 거친 표면을 가지지 않아야 한다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

1.2 방호장치(비상정지장치 등)는 안전인증을 받은 제품을 사용하였는가?

[해설]

	“인터록(Interlock)”은 기계의 위험 구역의 부스 내부에 존재하며, 유지/보수를 위해 부스 도어를 설치할 경우 해당 기계의 위험 등급에 따라 도어의 인터락 센서의 적용을 달리할 수 있다. 위험등급이 낮은 경우에는 일반 도어 리미트 스위치를 사용할 수 있으나, 위험성이 높은 경우에는 해당 위험 등급에 맞는 컨트롤러를 사용하는 도어 인터락 스위치를 적용해야 한다. (ISO 14119에 따라 설치된 도어 인터락)
	“광전자식 안전센서(Light Curtain)” 기계의 위험구간의 노출 범위가 큰 구역에서 작업자의 접근을 통해 발생할 수 있는 인명 피해를 막기 위해 광전자식 안전센서를 통해 순간적인 근로자의 접근을 적외선 빔의 송/수신 감지를 통해 실시간 컨트롤러와 즉각적인 신호교환 체계에 의해 기계의 구동을 정지시키는 장치이다.
	“안전매트(Safety Mat)” 기계의 위험구간에 작업자가 의도적으로 혹은 비의도적으로 접근할 경우 위험요소 즉, 구동부 회전체, 톱날이나 절단 날 등이 설치되어 가동되고 있는 구간에서 순간적인 정지 시에 남게 될 관성을 고려하여 위험구간으로부터 적절한 간격을 둔 진입 가능 구역의 바닥에 설치하여 작업자가 밟을 경우 스위치에 연동된 컨트롤러로 구동을 정지시킬 수 있는 장치이다.
	“레이저스캐너(Laser Scanner)”는 복합적이고 불규칙적인 위험지역에서 작업장의 안전장치, 이송라인, 로봇 스테이션, 무인 운반기 등의 작동 시 장애물을 감지할 수 있는 장치이다.

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

	비상정지장치의 "돌출(버섯)형 누름버튼"이란 EMO(Emergency Switching Off) 또는 EMS(Emergency Stop) 스위치를 말한다. EMO는 전기적인 위험요인(감전, 누전, 과전류, 과부하 등)의 전기 에너지 차단을 목적으로 하며 구동부나 화학적 유닛이 없는 장비에 주로 사용된다.
	EMS는 가동 시 위험구간, 즉 구동부가 있는 기계를 사용할 경우 비상시에 가장 위험성이 높은 구동부의 전원을 차단함으로써 모터, 벨트 등의 운동을 정지시켜 작업자를 보호하는 보편적인 비상정지 장치이다. "돌출(버섯)형 누름버튼"은 모든 기계에 적용되며, 부착 위치(기계본체, 조작 판넬, 메인 판넬, 중앙통제실, 위험요인이 존재하는 모든 구간)도 다양하다.
	"CE 마크"는 Conformite Europeenne Mark의 약어로, 제품이 안전, 건강, 환경 그리고 소비자 보호와 관련된 유럽규격의 조건들을 준수한다는 의미이다.
	"KCs 마크"는 안전인증대상 기계·기구 등의 안전성과 제조자의 기술능력 및 생산체계가 안전인증기준에 맞는지에 대하여 고용노동부장관이 종합적으로 심사하는 제도이다.
	"S 마크"는 제품의 안전성과 신뢰성 그리고 제품의 안전설계 및 제조를 위한 제조사의 품질관리 체계를 심사하여 안전인증기준에 부합할 경우 안전인증증표(S마크)의 사용을 승인하는 제도이다.
	안전인증서(예시)

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

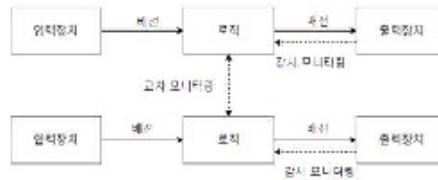
1.3 비상정지장치 기능의 최소 안전 요건으로 KS B ISO 13849-1 $PLr \geq e, d$ 또는 IEC 61508 SIL2 이상으로 설계가 되어 있는가?

[해설]

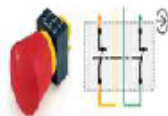
1.3.1 KS B ISO 13849-1에 따른 “제어시스템의 안전관련 부품”(SRP/CS: Safety Related Part of a Control System)이란 안전관련 입력신호에 응답하고 안전관련 출력신호를 발생시키는 제어시스템의 부품을 말한다.

1.3.2 KS B ISO 13849-1 5.1 안전기능 시방에서 안전관련 정지기능, 예상치 못한 기동의 방지, 수동 리셋 기능, 실행유지 기능을 위한 안전조치가 달성되어야 하고, 성능요구수준(PLr: Required Performance Level: 각 안전기능에 대한 위험성감소를 달성하기 위해 적용되는 성능수준)의 a - c 수준은 결함을 피하는 조치로 충분하고, d - e인 고위험성의 경우 SRP/CS의 구조는 결함을 회피, 검출 또는 허용하는 조치를 제공해야 한다.

1.3.3 위와 같은 ISO 13849-1의 최소 요구사항을 충족한 것인가에 대한 회로확인 시에는 다음 [그림 2, 3]과 같이 내용을 확인한다.



[그림 2] 이중화 회로



비상정지 2 채널



안전 Relay, 안전 PLC



전자점촉기 2 채널

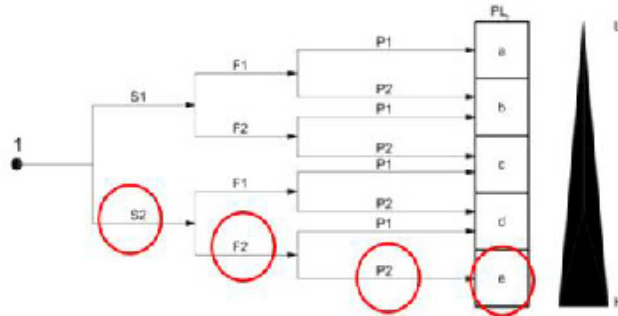
[그림 3] 안전기능 장치

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

1.3.4 PLd의 요구사항은 지정 아키텍처 Category 3, MTTFd=Medium 이상, DC(Diagnostic Coverage: 진단적용 범위) 감시 모니터링 등급이 최소 60%의 조건에 CCF(Common Cause Failure: 공통원인 고장) 값이 65점 이상이어야 만족하여야 한다.

1.3.5 PLr에 따른 등급 지정방식으로 KS B ISO 13849-1에 따라 발생 가능한 위험에 대하여 도식화하면 다음 [그림4]와 같다.



S = 부상 심각도	F= 위험에 노출되는 빈도	P= 위험 회피 가능성
S1= 경미(원상 회복이 가능한 부상)	F1= 낮은 빈도의 노출	P1= 위험 회피가능성이 높음
S2= 심각(원상회복이 불가능한 부상 또는 사망)	F2= 높은 빈도의 노출	P2= 위험 회피 가능성이 낮음

[그림 4] PLr에 따른 등급지정방식

<비교> 프레스 작업 등과 같은 경우 손 끼임과 같은 위험이 발생할 가능성이 있다고 추정하면 PLr=PLd 또는 PLe가 산정된다.



위험산정 및 위험수준	
상해 심각도	S2
위험에 노출되는 빈도	F2
위험 회피 가능성	P2
손끼임 부분에 요구되는 PLr	PLd 또는 PLe

→ 산정된 PLr=d, e 값에 따라 만족하는 안전회로 및 방호장치를 요구한다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

2. 스위치

2.1 안전 스위치 사용 시 안전제어 시스템(예: 안전 컨트롤러, 안전 PLC 등을 활용하여 요구되는 안전등급(Type))에 맞게 사용하는가?

[해설]

2.1.1 유해·위험 기계·기구 안전인증 고시(고용노동부고시 제2016-29호)에 따라 안전 스위치 시스템은 다음과 같이 한다.

- (1) 정보제공 요소로 사용되는 안전스위치는 결함이 발생하여도 안전한 상태를 유지하도록 설계될 것
- (2) 안전스위치의 대응으로 다음 중 어느 하나인 경우에는 센서나 스위치를 선택하여 사용할 수 있을 것
 - (가) 센서나 스위치를 이중화할 것
 - (나) 작동하는 순간부터 자기진단 기능이 동작하고 센서의 신호를 지속적으로 모니터링 하는 경우에는 센서나 스위치를 선택하여 사용할 수 있도록 할 것

2.1.2 안전제어 설계표준 KS B ISO 13849-1의 카테고리를 결정하는 안전기능(Functional Safety)은 안전등급 확보를 위해서 안전기능 적용 대상을 적절한 Category로 설계하는 것이 요구되며 사람의 개입여지가 많을 경우일수록 높은 Category를 다음 <표 1>과 같이 요구한다.

<표 1> 안전기능 설계 Category

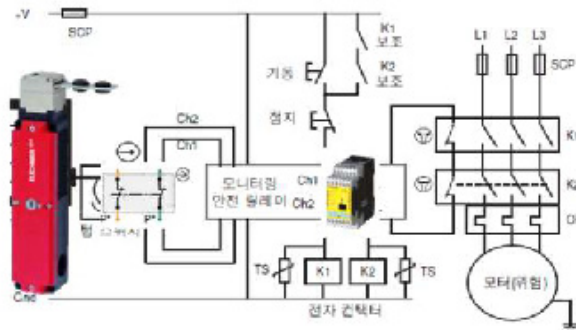
안전기능 적용 대상	Category 적용 기준	
안전 관련 정지 기능	B	안전관련 위험을 야기하지 않는 장치
수동 리셋 기능		
기동 및 재기동 기능		
현장 조작 기능		
안전기능의 순시 해제	1	기계적 인터록 기능을 통해 보호되는 자동화 장치
일시 동작 기능	2	트립 장치가 장착된 자동화 장치
예상 외 기동 방지 기능		
인명 구조 기능	3	빈번한 접근이 있는 반자동 및 자동화 장치
차단 및 방전 기능		
제어 모드 선택 기능	4	개별 이상발생이 안전문제를 일으킬 수 있는 반자동 장치
안전기능 간의 연동		
안전 기능의 입력 모니터링 및 파라미터 추출기능		
비상 정지 기능		

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

2.1.3 안전스위치 출력 신호 연결 확인

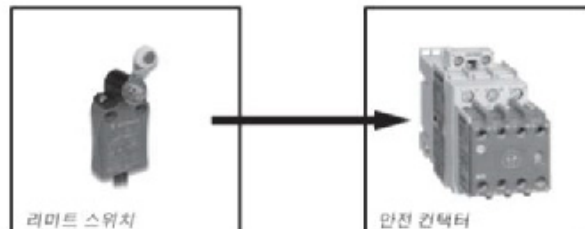
안전스위치의 연결은 반드시 직접 개방동작 방식(☹ 마크)의 접점이 안전 Relay 또는 안전 PLC 입력 1채널(PLC), 2채널(PLd, PLe) 방식 또는 IEC 62061 SIL3으로 연결되도록 설치되었는지 확인해야 한다. 다음 [그림5]는 안전 스위치 연결 도면에 관한 사례이다.



[그림 5] PLr에 따른 등급지정방식

2.1.4 안전회로 등급결정(PLC 카테고리 1)

시스템은 기본 시스템 구성요소(Component) 또는 서브시스템으로 분리될 수 있고, 각 서브시스템에는 고유한 개별 기능이 있다. 또한 대부분의 시스템은 입력-로직-출력의 세 가지 기본 기능으로 구분된다. 단, 예외적으로 일부 간단한 시스템에는 로직 기능이 없을 수 있으며 그에 대한 예시는 다음 [그림6]과 같다.



[그림 6] 안전 컨트롤러

KOSHA GUIDE

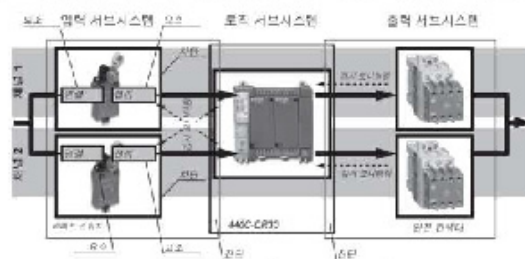
M - 00 - 2021

단일 채널 시스템의 안전 컨트롤러 자체는 내부적으로 오류 자동복구 기능이 있지만, 서브시스템에서는 단일 리미트 스위치 및 단일 접촉기로 인해 전체 시스템이 하나의 채널로 제한되어, 만약 시스템 중 하나가 고장이 발생하면 단일 채널 시스템이 고장이 발생하게 되어 있다.

2.1.7 안전회로 등급결정(PLd, PLc, SIL 3)

이중(Dual) 채널은 각 서브시스템이 2개의 채널을 가지며 단일 장애를 극복할 수 있는 안전기능을 제공하도록 설계되는 것을 말하며, 안전기능은 서브시스템의 2개 채널 중 하나에 고장이 발생할 경우 작동하게 된다. 따라서 이중 채널은 단일 채널 시스템보다 위험 상태에 놓일 확률이 낮다.

다음 [그림7]은 모니터링 기술에 의해 진단하는 이중 채널의 예시이다.



[그림 7] 이중 채널 회로

2.2 AGV에는 제어회로를 차단할 수 있는 수동조작 스위치가 있는가?

[해설]

ANSI/ITSDF B56.5-2012에서 제어회로는 다음과 같은 사항을 요구하고 있다.

- (1) 모든 제어회로를 분리하기 위한 수동조작 스위치(키 타입일 수 있음)가 제공되어야 한다.
- (2) 어떤 운전모드에서도 비상시 배터리 전원회로를 신속하게 분리할 수 있도록 사람이 쉽게 접근할 수 있는 수단을 제공해야 한다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

2.3 AGV의 운행을 원격으로 제어(정지)할 수 있는가?

[해설]

ANSI/ITSDF B56.5-2012, 운반차의 비상 제어 또는 장치에서는 다음과 같은 사항을 요구하고 있다.

(1) 모니터

자동 배터리 상태, 부하 감지, 차량 위치, 벨트 고장, 부하 인터페이스 위치 등과 같은 정보 제공

(2) 제어식 정지 스위치

운반차의 작동 시 제어식 정지 스위치는 쉽게 접근할 수 있는 곳에 설치

(3) 수동 제어장치

조작자가 수동 또는 반자동 작동 중에 사용 중인 경우, 자동 작동은 비활성화 되어야 한다. 작업자는 차량이 통제 하에 있을 때 허용 기능에 대한 책임을 져야 한다.

(4) 제어식 제동

제어식 제동은 차량의 정상 감속 또는 정지를 위한 수단이다. 제어식 제동은 전기적 또는 기계적 방법으로 이루어질 수 있다.

2.4 안전 도어 스위치 설치방법(임의 해제 및 무효화 방지 대책)이 다음 중 한 가지 방법으로 적용되어 있는가?

- 특수 볼트 설치
- 손이 닿지 않는 곳에 장착
- 물리적인 차폐물 및 장애물
- 은폐된 위치에 장착
- 중, 고 수준의 코드화 트랩트 키 시스템

2.4.1 KS B ISO 14119에서는 인터록 장치의 무효화 방지를 위한 설치 및 시스템 구축 시에는 다음의 요건을 요구한다.

- (1) 액추에이터를 쉽게 제거할 수 없는 방법(용접·리벳·특수 나사 등)으로 도어에 고정한다. 단 기계의 수명 전에 인터록 장치가 고장 날 것이라고 예상되는 경우 또는 신속한 교환이 필요한 경우는 그렇지 않다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

- (2) 임의 조작이 불가능한 장소에 인터록 장치를 설치한다.
- (3) 물리적인 방해물(실드)을 설치한다.
- (4) 격리된 위치에 설치한다.
- (5) 무효화 방지를 위한 상태 감시/사이클 테스트를 제어시스템에 설치한다.
- (6) 조작키가 쉽게 빠지지 않도록 용접, 리벳, 특수 나사 등을 사용하여 도어의 적당한 위치에 견고하게 고정시킨다.

2.4.2 유지·보수, 동작 셋팅을 위하여 안전 인터록 회로를 무효화(By pass)시킬 필요가 있을 경우에는 다음 <표2>와 같이 회로에 만족하도록 설계 및 설치되어야 한다.

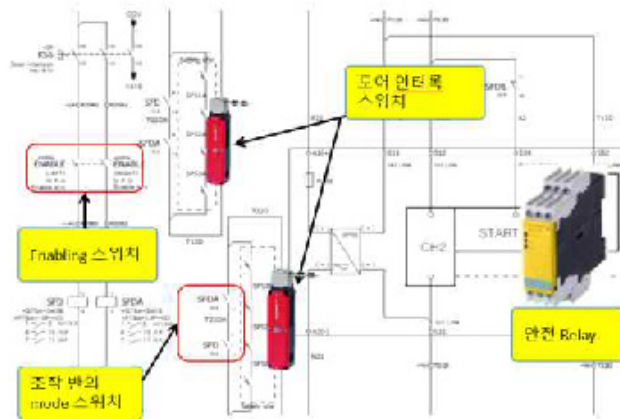
<표 2> 무효화 조건

명칭	형태	내용
키타입 스위치		일반스위치는 사용할 수 없으며 키 타입의 스위치 혹은 터치 패널로 변경하여 스위치에 비밀번호를 설정하여 사용해야 한다.
인에이블 기기		모드 변경조건에서는 정상동작과 같은 동작과 속도로 동작할 수 없도록 속도 및 동작에 제한을 두도록 설계하고 동작허가 스위치(Enabling device)와 홀드투런(Hold-to-run) 스위치로만 동작되도록 구성한다.
안전릴레이		무효화 회로 구성 시 일반 릴레이 또는 안전 릴레이 사용 시 인터록 접점만을 무효화하고, 비상정지는 정상동작이 가능한 상태를 유지하고, 동작허가 스위치(Enabling device)와 홀드투런(Hold-to-run) 스위치로 접점만을 연결한다.
안전PLC		또한 안전 PLC 사용 시에는 프로그램에 의해 설정하며, 프로그램 변경일자를 기록 관리하도록 한다.

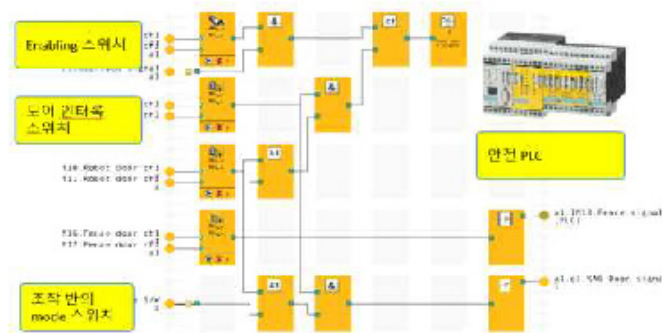
KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

2.4.3 다음 [그림8, 9]는 무효화 회로를 나타내고 있다.



[그림 8] 인에이블 스위치 및 안전 PLC 적용 무효화 회로



[그림 9] 안전 PLC 적용 무효화 회로

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

3. 동작허가장치(Enabling Device)

3.1 인에이블 기기가 KS C IEC 60204-1를 만족하는 안전인증 제품인가?

[해설]

3.1.1 고용노동부고시 제2020-43호 산업용 로봇 안전검사 고시 8. 펜던트 제어의 라목에서는 “펜던트 또는 교시 제어장치에는 동작허가 장치(Enabling Device)를 설치하고 이 장치가 중앙의 활성화 위치에서 연속적으로 유지시키는 경우에만 로봇이 작동되어야 한다” 라고 기술하고 있다. 이 경우 동작허가 장치는 다음 사항을 만족하여야 한다.

- (1) 다른 작동제어장치와는 독립적으로 작동될 것
- (2) 중앙의 활성화 위치에서 더 깊이 눌러지거나 해제되는 경우 작동이 중지될 것
- (3) 하나 이상의 동작허가 장치를 이용하여 로봇의 동작을 제어하는 경우에는 모든 동작허가 장치가 중앙의 활성화 위치에 있는 경우에만 로봇의 작동이 가능할 것
- (4) 동작허가 장치를 떨어뜨린 경우에도 로봇의 작동이 개시되는 등의 이상이 발생되지 않을 것
- (5) 협동로봇 중 본질적인 안전설계 대책 및 안전정격 제한 기능에 의해 동작허가 장치를 대신하여 안전성이 확보된 경우에는 동작허가 장치가 없어도 되지만, 안전정격 제한기능을 사용할 경우 그 기능은 항상 활성화 되어야 함

3.1.2 KS B ISO 10218-1 58.3 “동작허가장치(Enabling Device)”에서 교시상자 또는 교시 제어장치는 KS C IEC 60204-1에 따라서 세 개의 위치를 갖는 동작허가 장치를 가져야 하며, 중앙의 작동허가 위치에 계속 있는 경우에만 로봇에 의해 제어되는 로봇의 동작 허가 및 다른 위험요인을 허용할 수 있다.



[그림 10] 동작허가장치

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

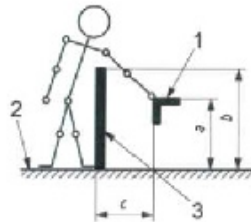
4. 방호대책

4.1 방호가드의 높이 선정은 설비 및 기계의 사용에 맞게 KS B ISO 13857 및 위험성 평가를 실시하여 적절히 선택되었는가?

[해설]

4.1.1 KS B ISO 13857 4.1.2 "위험성 평가"에서 사람이 위험요인 발생영역에 접근하는 것을 방지하기 위한 안전거리를 결정하기 전에 고위험성 또는 저위험성에 관한 값을 사용할지 여부를 결정하는 것이 필요하고, 이를 위해 KS B ISO 12100에 따른 위험성 평가가 수행되어야 한다.

4.1.2 위험성 평가는 기술적 요소와 인적 요소의 분석을 통해 이루어지고 KS B ISO 13857 부속서 A의 데이터를 참조하여 다음 [그림11]과 <표3> 최대 제한 값을 선택하여야 한다.



- a: 위험요인 발생영역의 높이
- b: 방호가드의 높이
- c: 위험요인 발생영역까지의 수평 안전거리
- 1: 위험요인 발생영역(가장 가까운 지점)
- 2: 기준면
- 3: 방호가드

[그림 11] 위험성에 따른 안전거리 측정

<표 3> 위험성에 따른 안전거리

단위: mm											
위험수준 평가치 a	보호용 구조물에 접근 (저위험성)										
	보호용 구조물에 접근 (고위험성)										
	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,200	2,400	2,600	2,800	
2,700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

단위: mm											
위험수준 평가치 a	보호용 구조물에 접근 (저위험성)										
	보호용 구조물에 접근 (고위험성)										
	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,200	2,400	2,600	2,800	
2,700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

단위: mm

<보호용 구조물에 접근 (저위험성)>

<보호용 구조물에 접근 (고위험성)>

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

4.2 고정식 방호가드의 경우 공구 사용 없이 임의적으로 개방할 수 없도록 설계하였는가?

[해설]

KS B ISO 10218-2 5.8.3 “유지·보수 접근 지점의 안전 보호”에서는 「유지·보수 또는 정비 작업을 위하여 방호가드가 제공되는 경우에는 오직 도구를 사용해서만 제거될 수 있어야 한다」라고 명기하고 있다.

4.3 가동식(이동식) 방호가드는 작동상의 이유로 위험요인을 완전히 보호할 수 있을 경우에만 사용하도록 하였는가?

[해설]

4.3.1 KS B ISO 10218-2 5.8.3 “유지·보수 접근 지점의 안전 보호”에서는 유지·보수 또는 정기적인 정비에 대한 작업으로 빈번한 접근이 필요한 때, 접근장소에서는 보호 장치(가압적 이동식 방호가드)에 의하여 보호되어야 한다고 명기하고 있다.

4.3.2 유지·보수 또는 일상 정비작업을 위하여 빈번한 접근이 필요한 경우 접근 공간에는 이동식 방호가드 등의 안전장치를 설치하여야 한다. 또한 이동식 방호가드가 설치되더라도 바로 시작요구가 개시되어서는 안 된다.

4.3.3 이동식 방호가드가 설치된 안전장소에서 체류한다면 추가적으로 재기동 방지조치를 하여야 한다. 이러한 장치에는 재기동 연동장치, 유무 감지장치 또는 방호가드가 개방되더라도 고정할 수 있는 장치가 포함된다.

4.4 방호가드의 구멍 또는 개구부는 사람의 신체 부위가 위험영역에 도달하지 못하도록 KS B ISO 13857에 준하는 설계가 되었는가?

[해설]

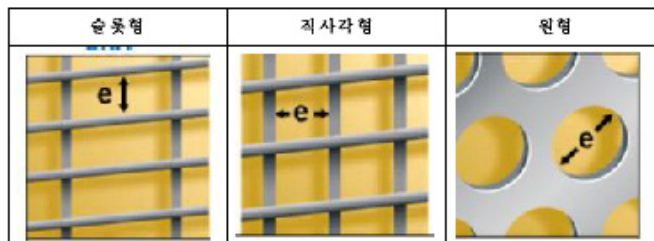
KS B ISO 13857 4.2.4 “개구부를 통한 접근”에서는 개구부를 통한 접근(14세 이상인 자)은 신체 부위가 위험영역(개구부가 120mm를 초과하는 경우)에 도달하지 못하도록 설계 데이터를 제공하고 있다. 또한 3세 이상인 자는 개구부가 100mm를 초과하는 경우 안전거리가 적용되어야 한다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

4.4.1 개구부의 안전거리 산정

개구부의 안전거리 산정은 개구부 형태와 인체부분을 고려하여 다음 [그림12]와 <표 4>와 같이 실시한다.



[그림 12] 개구부 형태

<표 4> 개구부 안전거리

단위: mm

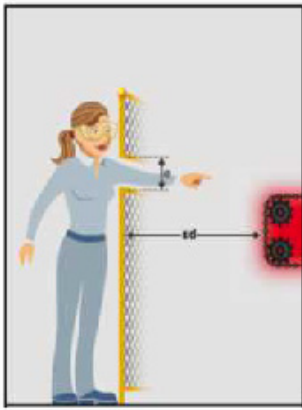
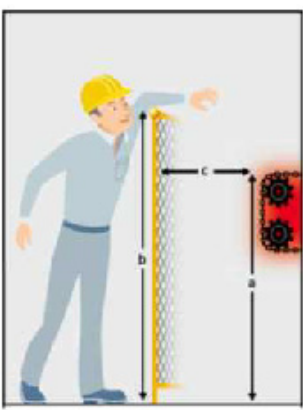
인체 부분	도해	개구부	안전거리, s		
			슬롯	직사각형	원형
		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
손가락 끝		$4 < e \leq 6$	≥ 16	≥ 5	≥ 5
손가락에서 손가락 관절까지		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 16	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 26	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 30
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
손		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^a$	≥ 120	≥ 120
		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
팔에서 어깨로 변경되는 시점까지		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 550

표 내부의 굵은 선은 개구부 크기에 의해 제한되는 인체의 일부를 가리킨다.
^a 만약 슬롯 개구부의 깊이가 65 mm 이하이면, 밑지 손가락이 스를 어댑을 하고, 안전거리는 200 mm까지 줄일 수 있다.

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

4.4.2 방호가드와 개구부의 실제 적용 사례

개구부에 따른 방호가드의 실제 적용 사례는 다음 [그림13]과 같다.

<개구부>		<방호가드>	
			
개구부 크기	$e=25\text{mm}$	위험요인 발생영역	$a=800\text{mm}$
개구부 형태가 슬롯형태	$sr=120\text{mm}$	위험요인 발생영역까지의 수평 안전거리	$c=900\text{mm}$
최소 안전거리	120mm 이상이어야 함	방호가드의 높이	$b=1400\text{mm}$ 이상이어야 함.

[그림 13] 방호가드 적용사례

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

4.5 제품 투입·배출 등으로 작업이 필요하여 개구부가 존재할 경우, 작업 시 KS B ISO 13851에 준하는 양수조작장치를 사용하여 작업을 수행하였는가?

[해설]

KS B ISO 13851 9.1 “인간공학적 요구 조건”에서 개구부 크기 및 장갑 착용이 필요한 특정 작업의 경우에는 양수조작장치의 해제나 우발적 작동을 방지하기 위한 설계에 인간공학(EN 894-3)을 적용하도록 하고 있다.

양수조작장치(Two hand control switch)의 사양, 기능 및 요구사항은 다음 <표5>와 같다.

<표 5> 양수조작장치 (Two hand control switch)

	• CE, S, KCs 등의 인증품을 사용해야 한다. • 양수조작버튼은 두 개 버튼의 간격이 최소 300mm 이상이어야 한다. • 기기의 제동은 양 버튼이 해제된 후에만 가능하도록 한다. • 기기의 동작을 위한 두개 버튼의 동기화 시간은 0.5초 이하야 한다. • EMO 스위치가 부착되어야 한다. • 모든 컨트롤은 안전 릴레이 또는 안전 PLC로 동작되도록 한다. • 양수조작장치는 해당 작업자만을 고려하여야 한다.
	
	

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

4.6 모터 축, 기어, 구동벨트 등 동력 전달 부품에 대해 고정형 또는 가동형 방호가드로 보호되고 있는가?

[해설]

KS B ISO 10218-1 5.2.1 “동력 전달부품”에서 자체 덮개(기어상자의 계기판)에 의해 보호되지 않은 모터, 축, 기어, 구동벨트 또는 링크 장치와 같은 부품에 의한 위험 노출은 고정형 또는 가동형 방호가드로 보호되어야만 한다. 일상적인 점검 시에는 제거가 가능하도록 설계된 고정형 방호가드의 경우에는 기계 또는 안전시스템에 연결된 고정 시스템이 설치되어야 한다. 가동형 방호가드의 경우 위험상태에 이르기 전에 위험동작이 정지되도록 설비운전과 연동되어야 한다. 연동 시스템의 안전과 관련된 제어 시스템 성능은 해당 요구사항을 따라야 한다.



[그림 14] 방호덮개 및 방호가드 예시

4.7 설비 운전이 자동으로 시작되는 것을 방지하기 위하여 기동 연동장치가 제공되어 있는가?

[해설]

KS B ISO 10218-2 5.6.3.4. “수동 리셋, 기동과 재기동 및 예기치 않은 기동”의 5.6.4.3.2에서 전원 스위치가 투입되어 있거나, 전원공급이 중단 또는 재개되는 경우, 위험한 운전이 자동으로 시작되는 것을 방지하기 위하여 기동 연동장치가 설치되어야 한다. 또한 연동장치는 조작자의 의도적인 동작에 의하여 초기화되어야 한다.

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

4.7.1 제기동 연동장치는 다음과 같은 작업 후 위험한 운전을 자동으로 재시작하는 것을 방지하도록 제공되어야 한다.

- (1) 안전 보호기능의 기동
- (2) 셀의 동작모드 변경

보호영역 안에서 로봇 셀이 기동이나 제기동을 하게 되는 경우에는 KS B ISO 14118을 따르며, 보호영역 밖에서의 기동과 제기동 제어는 수동으로 조작되어야 하며, 보호영역 안에서의 활성화는 불가능해야 한다.

4.7.2 수동 제기동 기능은 다음을 만족하여야 한다.

- (1) 안전정격 제어 시스템 내에서 별도의 수동 조작장치를 통해서 가능해야 한다.
- (2) 모든 안전기능과 안전장치가 작동 중인 경우에만 동작이 가능해야 한다.
- (3) 그 자체로 인하여, 동작이나 위험 상황을 유발하지 말아야 한다.
- (4) 의도하는 경우에만 작동되어야 한다.
- (5) 제어 시스템이 별도의 기동명령을 통해서만 동작되어야 한다.
- (6) 구동기가 동력이 공급되는 상태로부터 해제되는 경우에만 동작되도록 해야 한다.
- (7) 각 제어 위치에서 운전자는 보호영역 안에 아무도 없는지 확인할 수 있어야 한다.
- (8) 기동과 제기동 제어장치의 위치는 보호 영역을 확실하게 볼 수 있도록 시야를 가리지 않는 곳이어야 한다.
- (9) 만약 이것이 어렵다면, 보호영역 안에 있는 운전자를 검출할 수 있는 감지장치가 있어야 한다.

5. 안전센서

5.1 안전센서는 IEC 61496-1 전기감응 방호장치에 적합한 제품을 사용 하고 있는가?

[해설]

IEC 61496-1의 1.적용범위에서는 감지 기능을 위해 능동형 광전자 방호장비(AOPDs: Active Opto-electronic Protective Devices)를 사용하는 안전 관련 시스템의 일부로서,

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

사람을 감지하도록 특별하게 설계된 전기감응 방호장치(ESPE)의 설계, 구성 및 시험에 대한 추가 요구사항을 규정하고, 적절한 안전 관련 성능을 달성할 수 있도록 기능에 대해 기술하고 있다.

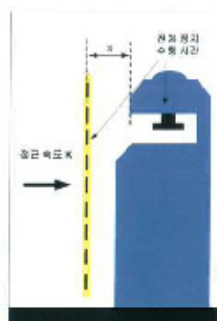
- (1) ESPE의 기능 및 ESPE가 기계와 어떻게 인터페이스 되는지에 대하여만 기술하고 있다.
- (2) 파장의 범위가 400nm ~ 1500nm 밖의 방사선을 사용하는 AOPD는 제외한다.
- (3) EMC 방사 요구사항은 제외한다.

5.2 인체가 기계의 위험부로 도달하기 전에 동력부를 정지시키기 위해 안전센서와 위험부 사이에 국제규격 KS B ISO 13857 기준에 적합한 안전거리를 고려하고 계산한 근거자료를 가지고 있는가?

[해설]

KS B ISO 10218-2 5.10.3.2 “방호벽의 최소 안전거리”에서 어떤 위험요인으로 부터의 최소거리는 KS B ISO 13857의 관련 요구사항에 따라서 결정되어야 한다. 그리고 방호벽을 사용하여 접근을 금지하는 경우, 최소 안전거리를 결정하기 위하여 KS B ISO 13857의 표 2가 사용되어야 한다.

안전센서의 안전거리는 다음 [그림15]와 같이 산정한다.



안전거리의 일반 공식: $S = K(t_1 + t_2) + 8(d - 14)$

S: 안전거리(mm)

K: 접근속도(mm/s)

t1: 센서 및 안전부품의 반응시간

t2: 실제 정지시간

d: 센서의 감지거리(mm)

[그림 145] 안전센서의 안전거리 계산

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

<비고> 사람이 2000mm/s의 속도로 접근하고 센서 및 안전부품의 반응과 실제 정지시간이 335ms이며, 센서의 감지거리가 40mm인 경우의 안전거리는 862mm 이상의 거리에 안전센서를 설치하여야 한다.

5.3 검출 영역을 통과해야만 기계의 위험부에 도달할 수 있도록 기계 주변에 방호가드를 설치하였는가?

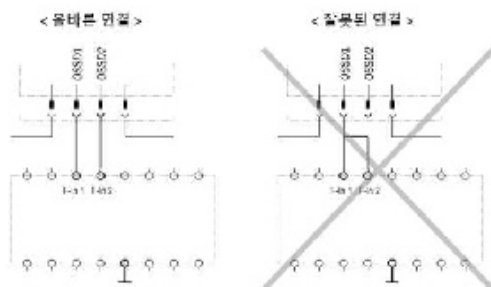
[해설]

KS C IEC 61496-2의 7. 첨부 문서에서 검출영역의 블랭킹된 구역을 통하여 위험구역으로 접근 방지에 대하여 기술하는 IEC/TS 62046에서 관련 자료를 확인할 수 있다. 이때 안전센서의 안전거리 산정을 참조하여 방호가드를 설치하여야 한다.

5.4 안전센서의 감지 신호는 입광 시 ON, 차광 시 OFF 신호로 사용하고 있는가?

[해설]

KS C IEC 61496-2 4.1.2.1 일반요구사항에서 초속 0m에서 초속 1.6m 속도의 모든 각도 또는 검출 영역의 평면과 직각을 이루는 상태의 검출영역에 위치하게 되면 라이트 커튼(Light Curtain)의 감지 장치가 작동되고 안전출력(OSSD)은 꺼진 상태가 되어야 한다. 안전센서의 연결은 반드시 안전센서의 출력 안전출력(OSSD)가 다음 [그림16]와 같이 안전 Relay 또는 안전 PLC의 안전입력에 2채널 방식으로 연결되었는지 확인해야 한다.



[그림 156] 안전센서의 연결

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

5.5 기계의 위험부와 안전센서의 검출영역 사이에 작업자가 진입할 경우에는 인터록 시스템으로 구성하여 기계의 재시동(재기동)을 방지하고 있는가?

[해설]

KS B ISO 12100 6.3.2.5.2에서 감지식 방호장치는 기계의 구동부에는 다음 [그림17]과 같이 설치되며 기계의 제어시스템은 다음과 같이 연결되어야 한다.

- (1) 사람 또는 신체 일부가 감지되는 즉시 구동부는 정지되어야 한다.
- (2) 감지된 사람이나 신체 일부가 감지영역을 벗어나도 위험한 기계동작이 재기동되지 않아야 하며, 새로운 명령이 내려지기 전까지 제어시스템에서는 감지식 방호장치의 정지상태를 유지하여야 한다.
- (3) 위험한 기계동작의 재기동은 운전자가 위험요인 발생영역을 관찰할 수 있는 위험요인 발생영역 밖의 장소에 놓인 제어장치를 의도적으로 작동함으로써 가능하다.
- (4) 뮤팅(Muting, 기능정지)단계 동안은 제외하고 감지식 방호장치의 감지기능이 중단된 상태에서는 기계가 작동하지 못한다.
- (5) 사람 또는 신체 일부가 감지되지 않고 위험요인 영역으로 들어가거나 위험요인 영역에 존재하는 것이 불가능하도록 고정식 가드와 함께 감지영역의 위치와 형태를 결정한다.



[그림 167] 검출영역 인터록 시스템

KOSHA GUIDE

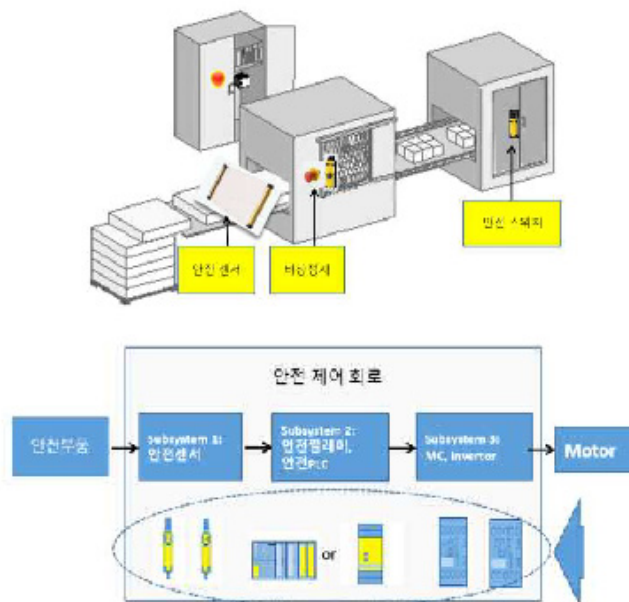
M - 00 - 2021

5.6 안전센서를 Muting 등의 일시 무효 기능사용 시 무효 신호의 조건은 안전에 적합하게 사용되고 있는가?

[해설]

5.6.1 KS B ISO 13849-1 5 “안전기능”이란 제어시스템에서 요구되는 안전조치(안전관련 정지기능, 예상치 못한 시동의 방지, 수동 리셋 기능, 기능정지(Muting) 기능, 실행유지 기능)를 달성하는데 필요한 것들을 말한다.

5.6.2 안전 제어회로(안전스위치, 안전센서, 류팅, 비상정지스위치)는 다음 [그림18]과 같이 일반 제어회로(설비의 작동을 위한 스위치, 제품의 감지 센서)와는 별도로 안전 제어회로를 구성하여 모니터링되도록 독립적으로 구성하여야 한다.



[그림 18] 안전 제어회로

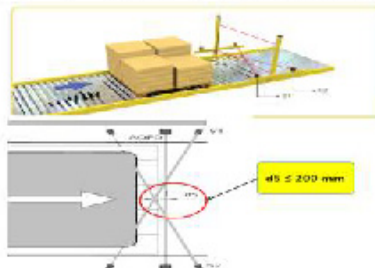
KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

5.6.3 류팅은 안전센서(라이트 커튼 등)의 보호기능을 일시적으로 제거하는 것으로, 다음 [그림19] 크로스 센서 설치 방식과 [그림20] 엣지 센서 설치 방식으로 구분한다.

(1) 크로스 센서 설치 방식

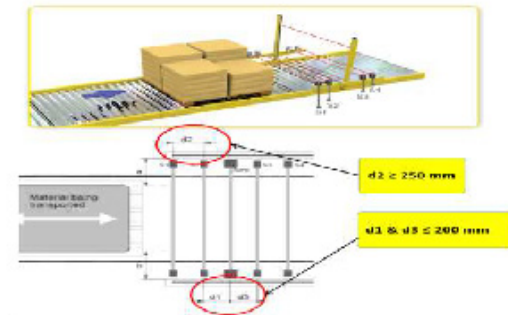
안전센서의 앞과 뒤에 S1과 S2를 교차하게 설치하고 두 개의 센서에 감지되는 순간 안전센서의 설정된 부분이 류팅되어 물체가 안전센서를 통과하도록 한다. 이때 안전센서와 S1 및 S2의 교차 지점간의 간격 $d5$ 는 200mm 이하이어야 한다.



[그림 19] 크로스 센서 설치

(2) 엣지 센서 설치 방식

안전센서의 앞에 S1, S2를 설치하고, 뒤에 S3, S4를 설치하여 센서에 감지되는 순간 안전센서의 설정된 부분이 류팅되어 물체가 안전센서를 통과하는 것이다. 안전센서와 S1, S2의 간격($d2$)은 최소 250mm 이상이어야 하며, $d1$ 과 $d3$ 는 200mm 이하로 설치되어야 한다.



[그림 20] 엣지 센서 설치

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

6. 협동작업 영역 안전

6.1 협동작업 영역의 4가지 운전기능을 모니터링하고 있는가?

[해설]

“KS B ISO 10218-1의 5.10 협동운전 요구사항”의 4가지 기능인 안전정격 감시 정지, 핸드가이딩, 속도 및 위치 감시 그리고 동력 및 힘 제한 기능의 안전요구사항을 충족해야 한다.

KS B ISO 10218-1의 내용을 KS B ISO TS 15066의 5.5 “협동운전”과 5.5.2의 “안전정격 감시 정지”에서 기술하고 있으며, 협동작업 영역에 운전자가 접근하면 정지하고 운전자가 작업공간을 이탈하면 다시 자동모드로 전환하는 것을 말한다.

6.1.1 KS B ISO 10218-1의 5.12에 부합하는 로봇 동작이 다음과 같이 제한되어야 한다.

- (1) 기계적 및 전기-기계적 축 제한장치
- (2) 안전정격 연성축 제한 및 영역제한
- (3) 동적 제한장치
- (4) 동력 동작
- (5) 로봇 들어올리기에 대한 규정
- (6) 전기 커넥터

6.1.2 로봇은 KS B ISO 10218-1의 5.5.3에 따라 다음 <표6>과 같이 보호정지를 할 수 있는 기능을 가져야 한다.

- (1) 요소들 중 어느 하나의 고장으로 인해 안전기능의 상실로 이어져서는 안 된다.
- (2) 합리적으로 가능한 한, 단일 고장은 안전기능과 관련한 다음 요구가 있기 전에 검출되어야 한다.
- (3) 단일 고장이 발생한 경우, 안전기능은 항상 수행되어야 하며, 검출된 고장이 제거될 때까지는 안전한 상태가 유지되어야 한다.
- (4) 합리적으로 예측 가능한 모든 고장은 검출되어야 한다.

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

<표 6> 비상정지와 보호정지 비교

변수	비상정지	보호정지
기동수단의 위치	운전자가 방해받지 않고 신속하게 접근이 가능한 곳	보호장치의 위치는 KS B ISO 13855에서 설명되어 있는 안전거리 계산식에 따라 결정
기동	수동	수동, 자동 또는 안전관련 기능에 의해 자동으로 시작될 수 있음
안전관련 제어 시스템 성능	KS B ISO 10218-1의 5.4 성능 요구사항을 준수	최소
초기화	수동	수동 또는 자동
사용 빈도	가끔	가변적이며, 드물게 발생하는 모든 작업
목적	비상시	안전보호 또는 위험성 감소
영향	모든 위험요인에 대한 에너지 공급원 제거	위험요인의 안전제어

6.1.3 협동로봇은 감속모드로 작동하며 운전자가 손으로 조작하는 지정된 경로에 따라 작동한다.

- (1) 로봇 시스템은 비상정지 기능이 포함된 가이드링 장치와 동작허가 장치를 갖추어야 한다.
- (2) 비상정지는 다음과 같은 기능을 만족하여야 한다.

- (가) KS C IEC 60204-1의 요구사항(분류 0 또는 분류 1 정지)
- (나) 다른 모든 로봇 제어보다 우선권을 가짐
- (다) 모든 위험요인으로부터 격리시켜야 함
- (라) 로봇 구동부의 에너지 제거
- (마) 로봇 시스템에 의해 위험요인을 제어할 수 있어야 함
- (바) 초기화되기 전까지 작동상태 유지
- (사) 초기화는 수동으로만 이루어져야 하며, 초기화 후 바로 재기동되는 것이 아니라 재기동이 조건이 만족되어야 함

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

- (3) 동작허가 장치는 KS C IEC 60204-1에 따라 세 개의 위치를 가져야 하며 다음의 성능 특성을 가져야 한다.
- (가) 동작허가 장치는 교시상자 제어와 통합적인 형태이거나, 또는 물리적으로 구분되어 있을 수 있으며, 다른 동작 제어 기능 또는 장치와 독립적으로 동작하여야 한다.
 - (나) 장치를 놓거나 중앙 작동위치를 지나도록 누르면 위험 동작을 정지시켜야 한다.
 - (다) 중앙 동작허가 장소에 있는 동작허가 장치가 눌러진 뒤에는, 동작허가 장치가 완전히 해제될 필요가 있다.
 - (라) 두 개 이상의 동작허가 스위치가 왼쪽 또는 오른쪽 손으로 운전을 번갈아 허용하는 하나의 동작허가 장치/교시상자에 제공될 경우, 일부 또는 모든 스위치는 중앙 동작허가 위치에 있을 수 있다.
 - (마) 하나 이상의 동작허가 장치가 작동 중인 경우에 각각의 동작허가 장치가 동시에 중앙 위치에 있을 때에는 동작이 허가되어야 한다.
 - (바) 동작허가 장치를 떨어뜨린 경우에, 동작을 유발할 수 있는 고장이 발생하지 말아야 한다.
 - (사) 만일 동작허가 신호가 출력되는 경우 안전관련 시스템 전원이 꺼지게되면 동작 출력에서는 정지조건을 신호를 출력해야 한다.
 - (아) 동작허가 장치가 중앙 동작허가 위치에 있는 동안 모드가 변경되면, 보호정지가 시작되어야 한다.

6.1.4 사람과 로봇사이의 거리가 가까워짐에 따라 로봇의 작동속도는 단계별로 감속되고, 최종단계에서는 정지한다. 로봇 시스템의 위험한 부분과 운전자 사이의 이격거리가 보호 이격거리보다 작아진다면 로봇 시스템은 다음 사항을 시행해야 한다.

(1) 보호정지 개시

KS B ISO 10218-2 5.11.2 g)에 따라 로봇 시스템에 연결된 안전관련 기능을 구현한다.

(2) 정속과 가변적인 속도 및 이격값

운전자와 로봇 시스템의 상태 속도와 거리를 결정하는 방법은 KS B ISO 10218-2 5.2.2의 요구에 따라 안전 규격화 한다.

KOSHA GUIDE
M - 00 - 2021

(3) 충분한 이격 거리 유지

보호 이격거리는 KS B ISO 13855의 최소거리 공식으로 계산되며, 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- (가) 일정속도 조건에서는 로봇의 안전정격 감시속도에 대한 최악의 경우값을 사용
- (나) 가변속도 조건에서의 로봇 시스템과 운전자의 속도는 각 속도의 보호 이격 거리에 해당되는 값들을 결정하여 사용하며, KS B ISO 10218-2 5.2.2에 부합되어야 함
- (다) KS B ISO 10218-1의 부속서 B에 따라 로봇의 정지거리를 결정

6.1.5 로봇과 운전자의 충돌 시 상해를 입지 않도록 로봇의 동력과 힘을 제한하여야 한다.

- (1) 로봇과 운전자 사이의 잠재적인 접촉에 대한 위험성을 감소하기 위해서는 다음의 사항을 고려해야 한다.

- (가) 접촉이 발생하는 조건 확인
- (나) 접촉에 대한 잠재적인 위험성평가
- (다) 접촉이 자주 발생하지 않거나 회피될 수 있도록 로봇 시스템과 작업영역 설계
- (라) 접촉상황을 임계값 아래로 유지하도록 하는 위험성 감소 수단 적용

<비고> 준정적 접촉: 접촉, 끼임 동적 접촉: 충돌

- (2) 수동적 안전설계 대책은 로봇 시스템의 기계적인 설계이며, 능동적 안전설계 대책은 로봇 시스템의 제어 설계이다.

- (가) 수동적 위험 감소 대책(기계설계)
 - 접촉표면 영역의 증가
 - 에너지 흡수, 에너지 전송 시간의 연장 또는 충격력의 감소
 - 동적 질량의 제한

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

(나) 능동적 위험 감소 대책(제어설계)

- 힘과 토크의 제한
- 움직이는 부품의 속도 제한
- 질량과 속도의 함수인 운동량, 기계적 동력 또는 에너지 제한
- 안전정격 연성축과 공간 제한기능의 이용
- 안전정격 감시를 위한 정지기능의 이용
- 접촉을 예상하거나 인지하는 감지의 이용

<비고> 로봇 시스템은 위험성평가에 의해 결정된 준정적 접촉과 동적 접촉에 대하여 적용 가능한 임계값을 넘지 않도록 하여 운전자에 대한 위험성을 적절히 감소하도록 설계되어야 한다.

6.2 협동로봇 시스템의 센서 및 개인보호구에 부착된 센서를 통해 작업자의 위치를 모니터링하고 있는가?

[해설]

통합 방호개념은 전체 작업공간에서 작업자의 안전을 위해 센서(마크네틱 센서, 스테레오 카메라, 레이저 스캐너, RFID, 접촉센서) 등을 개인보호구에 장착하여 보호영역이 아닌 곳에서도 작업자를 보호하기 위한 멀티센서 시스템(작업자, 로봇)을 다음 [그림 261]과 같이 구성한다.



작업자 보호를 위한 센서 등을 개인보호구에 장치 장착



통합방호개념이 도입된 개인보호장구의 활용 시나리오

[그림 261] 멀티 센서 시스템 구성

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

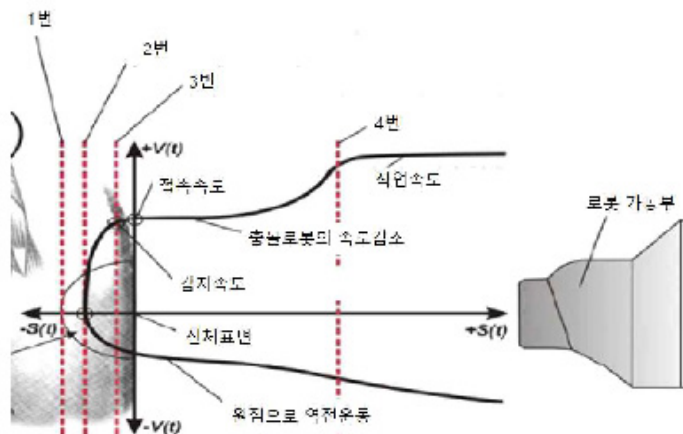
6.3 협동작업 영역에서의 로봇과 작업자의 충돌과정을 이력관리하고 있는가?

[해설]

6.3.1 KS B ISO TS 15066의 부속서 “A.3.5 동적접촉 동안 전달되는 에너지와 로봇 속도의 관계”에서 접촉 시나리오에 대하여 에너지 전달의 한계치가 설정되면, 이 값을 이용하여 협동로봇 시스템과 운전자 간의 접촉이 일어나도 사람과 로봇 간의 잠재적 힘과 압력 값은 압력과 힘의 허용 한계치보다 낮게 유지될 수 있다.

6.3.2 안전한 협동로봇 시스템의 사용을 위한 독일 산재보험공단의 “협동로봇 설치 사업장에 대한 권고사항”에는 다음 [그림22]과 같이 다음 내용을 포함한다.

- (1) 점선 1 : 한계힘에 도달할 때까지의 신체압축 최대 신뢰값(상체 관련부위)
- (2) 점선 2 : 최대 관통거리(상체 관련부위)
- (3) 점선 3 : 감지경로(감지점과 상체사이의 경로)
- (4) 점선 4 : 상체와의 특수거리(속도감소를 위한 작업속도 변환점)



[그림 22] 거리-속도 그래프의 전면 삼각근에서 로봇 일부분까지 적색점선 1. 2. 3. 4

KOSHA GUIDE

M - 00 - 2021

위의 4개 적색점선에서 접촉 전의 경로범위에서 작업속도는 감소한 로봇 작동 속도에 의해 감소되고, 속도 감속 시 상체와의 거리는 적색점선 4로 표시된다. 로봇의 제어를 잘못할 경우 충돌 및 접근의 원인이 되고(적색점선 3), 이때 로봇 공간에서 힘 센서에 의해 로봇과 팔의 상부 사이의 접촉이 감지된다. 만약 감지위치에서 감지된 힘이 한계값을 넘는 경우에는 팔의 상부 접촉점에서는 지정된 변경경로를 형성한다.

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 변정환 (연구위원, 산업안전연구부)

연구원 : 문병두 (부장, 산업안전연구부)

전소영 (연구원, 산업안전연구부)

연구기간

2021. 2. 24. ~ 2021. 11. 30.

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

산업안전보건연구원장

스마트팩토리 안전보건수준 파악 연구
(2021-산업안전보건연구원-778)

발 행 일 : 2021년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구부 연구위원 변정환

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-703-0843

팩 스 : 052-703-0334

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

I S B N : 979-11-92138-55-8