

산업용로봇 표준화 동향 및 대응방안

(ISO 10218-1/2, ISO TS 15066 중심)

2020. 07.

임 성 수

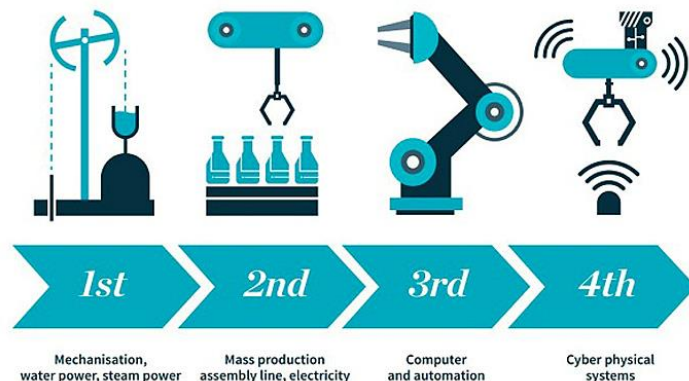
경희대학교
기계공학과

목 차

1. 산업용 로봇 시장 현황
2. 산업용 로봇 및 로봇시스템 관련 안전 표준 개요
3. 산업용 로봇 및 로봇시스템 관련 법규
4. 산업용 로봇 및 로봇시스템 관련 안전 표준 상세

로봇과 4차 산업혁명

- 산업혁명의 근간은 생산, 제조, 서비스 혁명
 - 인지, 학습, 판단 분야
 - IoT, 데이터, AI
 - 행동(물리적 상황 변화) 분야
 - 생산, 제조
 - 행동의 주체는 사람 또는 로봇
- 로봇이 인간의 인식, 판단, 행동을 보조/대체
 - 인공지능로봇, 지능로봇, smart 로봇 등



협동로봇과 4차 산업혁명- 산업용로봇 시장 변화

- 기존 > 인간과 로봇의 작업 공간 분리 – Why? Safety!!
 - 안전 펜스 (Safeguarding)



- 인간과 로봇의 작업공간 분리(원칙적 접촉차단)를 위해 여유 공간 확보 필요
- 기존 생산/작업 라인에 로봇 추가 설치 어려움
- 인간의 장점과 로봇의 장점을 결합한 **협동 작업의 기회 차단**



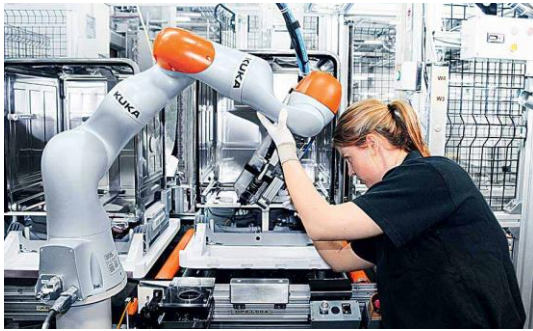
2013

**Robot(산업용)이
펜스 밖으로 나온다!**

**50년 만에!
드디어!**

- 2008년 선보인 Universal Robots의 UR 시리즈
- 2013년 세계최초 대량생산 공정(독일 Volkswagen)에 협동로봇 UR 투입
 - 엔진 조립 공정

협동로봇 Wave



2020



협동형 로봇 등장 of 시사점

공간분리형 로봇 활용 (기존)

- 인간과 로봇의 작업공간 분리(원칙적 접촉차단)를 위해 공간 확보 필요
- 기존 생산/작업 라인에 추가 어려움
- 공간분리를 전제로 한 기능활용 한계



로봇기술/
방호기술
발전

공간공유형 로봇 활용 (협동 로봇)

- 인간과 로봇이 작업공간을 공유
- 협동작업으로 인한 생산성 향상
- 기존 생산/작업 라인에 추가 편리 (새로운 활용 가능성)



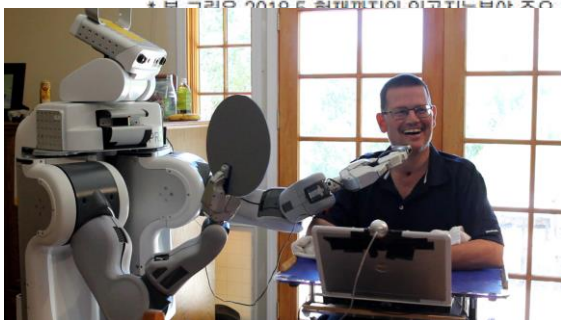
협동작업(Collaborative Operation)용 로봇에 대한 새로운 안전 표준, 법규, 기준 마련 필요

Human-Robot Co-Existence and Collaboration



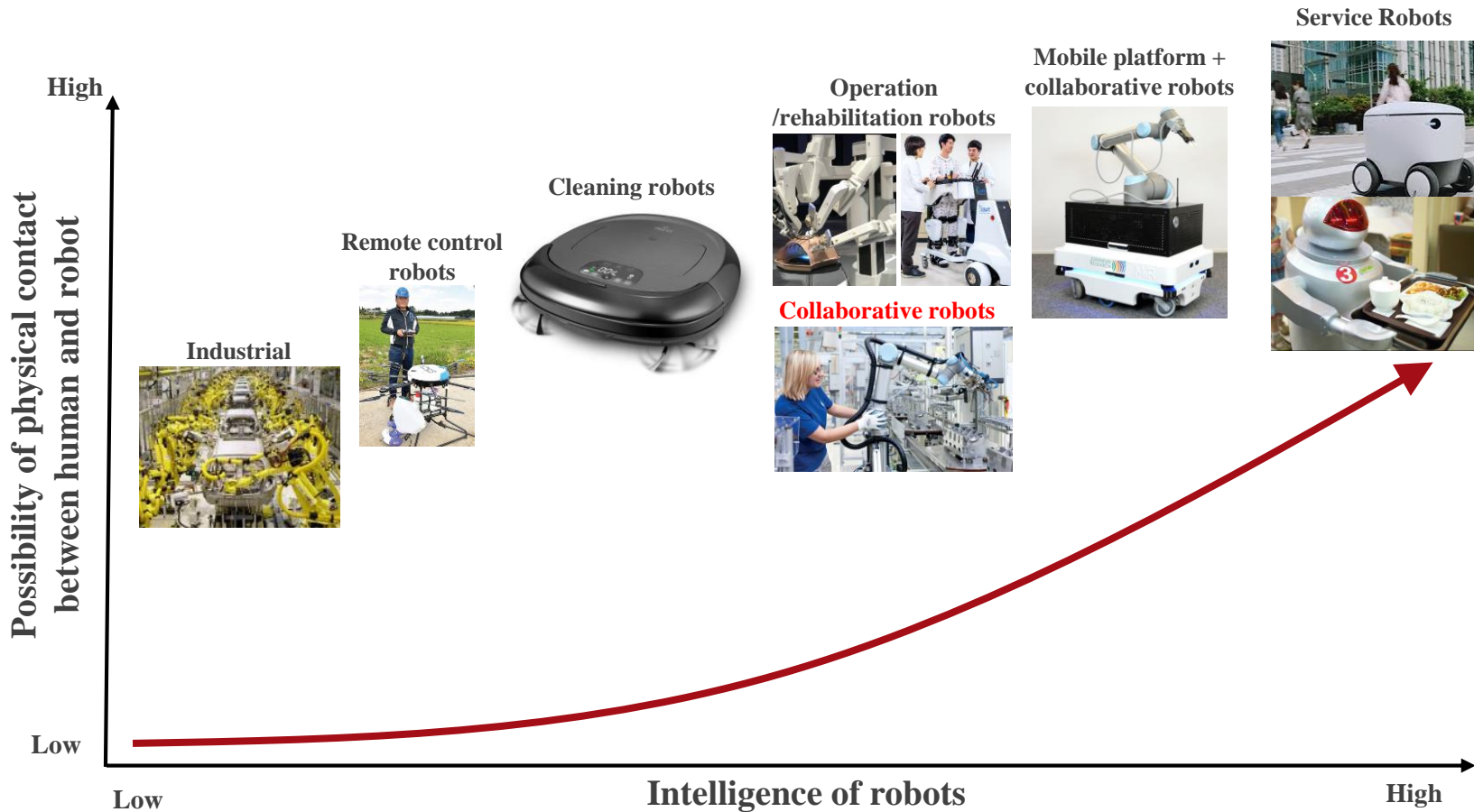
* 출처 : I-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능 R&D 전략 (과학기술정보통신부, 2018.5)

* 본 그림은 2018.5 현재까지의 인공지능 분야 주요 결과물과 향후 2030년까지의 주요 기술도향에 대해 표시한



산업용로봇, 서비스로봇

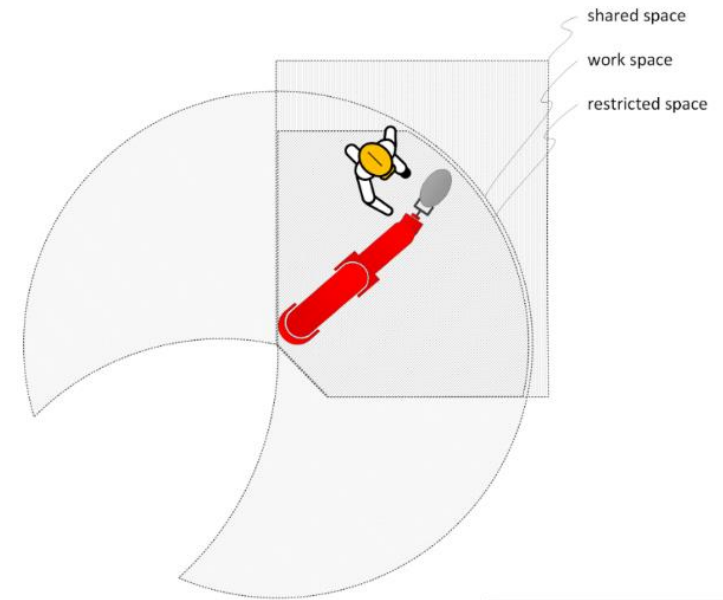
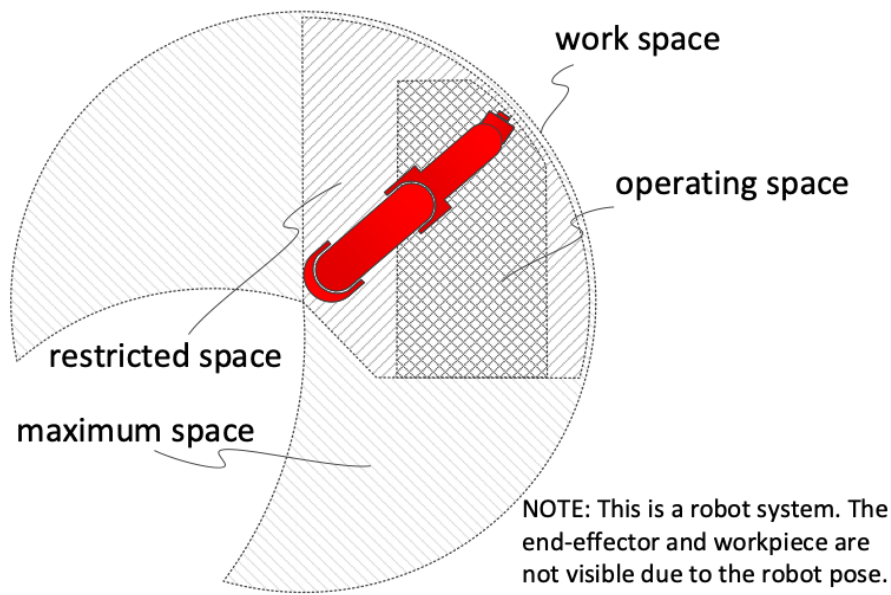
Collision risk between human and robot is steadily increasing.



임성수 (Sungsoo Rhim)

로봇과 인간의 작업 영역(Space)

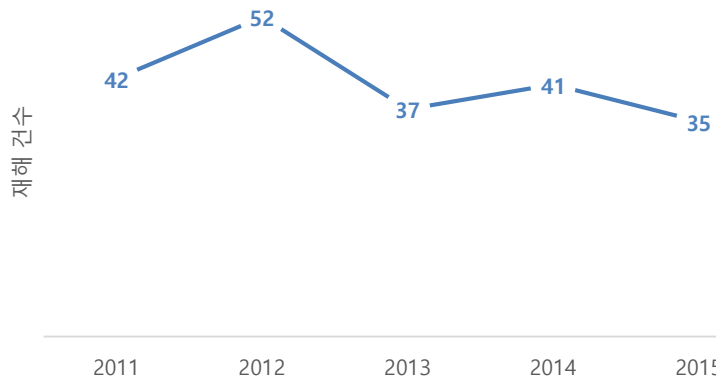
- **최대영역(maximum space):** 로봇의 움직이는 부위가 지나가는 영역
- **제한영역(restricted space):** 최대 영역의 일부로, 초과할 수 없도록 제한을 설정한 제한 장치(limiting devices)에 의해 제한되는 영역
- **운전영역(operational space):** 제한 영역의 일부로, 작업 프로그램에 의한 모든 동작을 수행하기 위하여 실제로 사용되는 영역
- **보호영역 (safeguarded space):** 주변 안전 보호 장치에 의해 정의된 영역
- **공유영역 (shared space):** 로봇과 작업자가 공유하는 영역



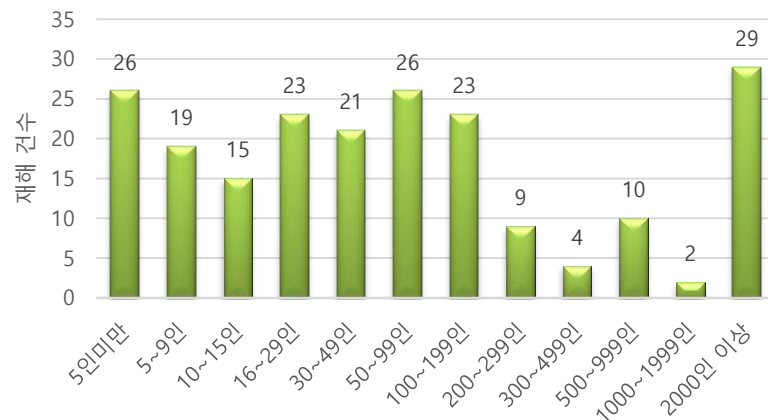
ISO 10218-1 revision draft

산업용로봇 관련 재해 분석

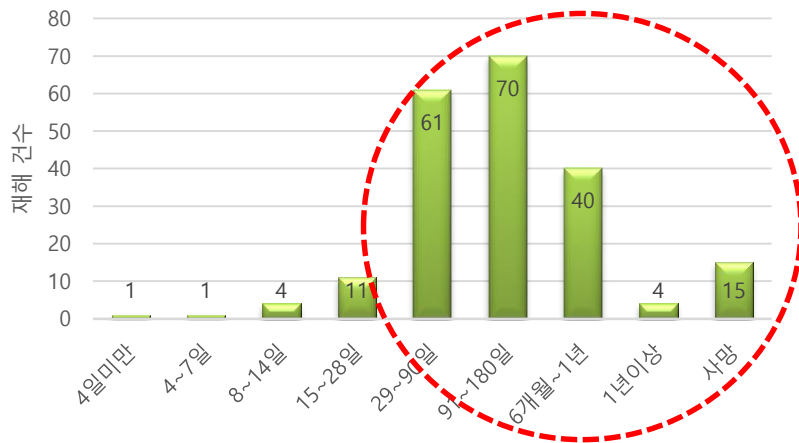
연도별 산업용로봇 관련 재해 발생 건수



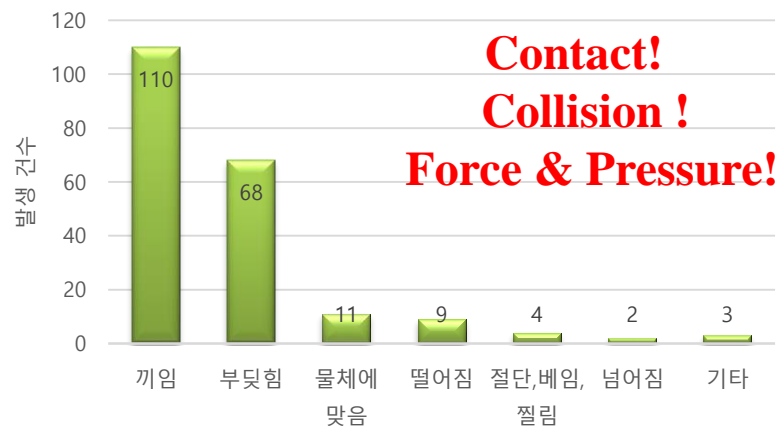
사업장 규모별 재해 발생 건수 (2011년 ~2015년)



요양기간별 재해 발생 건수 (2011년 ~2015년)



발생 재해 형태별 재해 발생 건수 (2011년 ~2015년)



모든 위험한 상황을 대비하였습니까?

그것을 어떻게 확신하는가?

안전한 로봇? 안전한 로봇시스템? 안전한 OOO?

- 안전하다(safe) ?
 - 감내할 수 있는 위험성 (Tolerable risk)
- 위험성(risk) ?
 - 발생 가능한 상해의 심각성과 발생 가능성의 조합
 - Combination of the **probability** of occurrence of **harm** and the **severity** of that harm
- 감내할 수 있는?
 - 시대적, 사회적, 경제적, 법적, 윤리적 판단
- 전문가, 사용자, 제조사의 합의



ISO 12100 Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction

안전 요구 조건, 인증, 법규, ...

- 표준

- 국제표준, 국가표준, 단체표준
- 안전성 표준
- 성능평가 표준



- 법규

- 표준 인용
- 자체 기준
- 국가별, 지역별 법규
- 인증
- 자율안전확인신고, 안전검사



지능형로봇표준포럼(KOROS)

ISO/IEC Guide 51

ISO 표준

IEC 표준

Type A

기본안전표준

모든 안전관련 표준에서
공통으로 이용할 수 있는
기본 개념, 설계원칙을 취급하는 표준

Type B

그룹안전표준

광범위한 기계류에서
이용할 수 있는
안전 및 안전장치 관련 규격

Type C

개별 안전 표준

특정한 기계에 대한
상세한 안전요건을 규정하는 규격

ISO 12100
ISO 14121-2

ISO 14119 인터록 규격
ISO 14120 가드시스템규격
ISO 13849-1 시스템 안전규격
ISO 13849-2 안전관련 부품규격
ISO 13852 안전거리규격
ISO 13850 비상정지규격
ISO 14118 갑작스런 기동방지규격

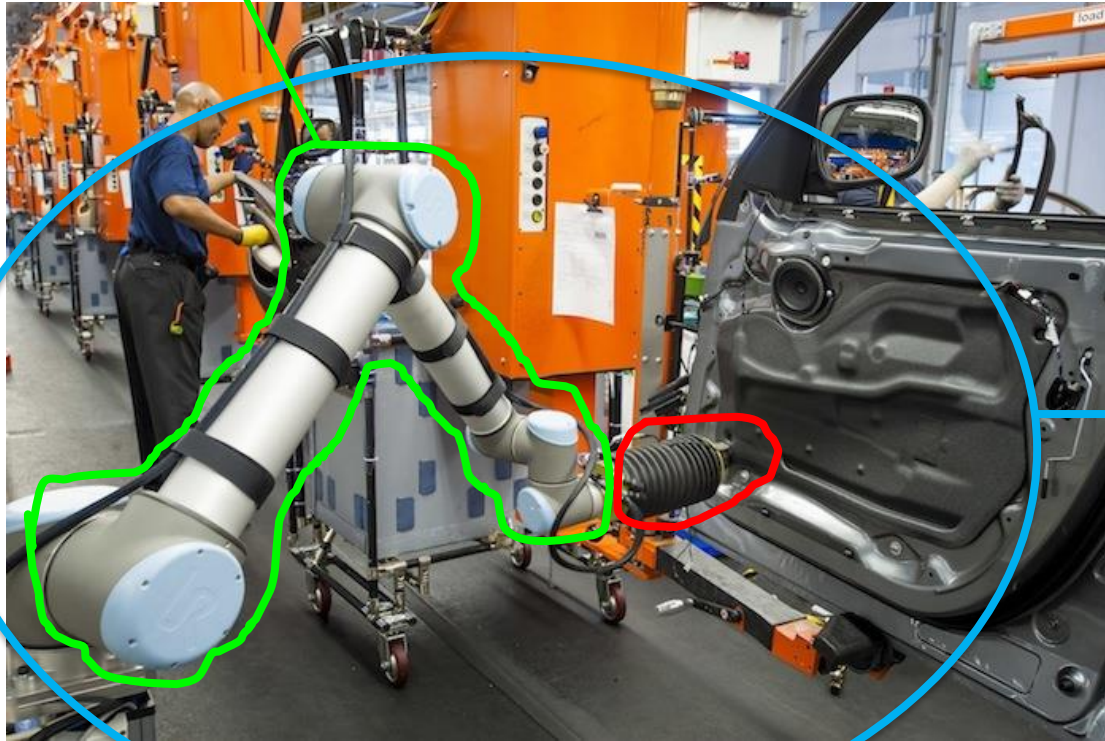
ISO 10218-1, 2
ISO 13482

IEC 60204 전기설비안전규격
IEC 61496 센서일반안전규격
IEC 62046 센서응용규격
IEC 61508 전기적안전기능규격
IEC 60947 스위치류규격
IEC 61000-xx EMC 규격
IEC 60076 트랜스규격

- 기계류를 사용하면서 발생하는 위험성(risk)를 줄이는 체계적인 절차
 - 제품 수명 주기 (cycle of product life) 전체에 대한 고려가 필요
 - 설계 시, 사용 중, 폐기 시
 - 기계의 용도 내 사용에 대비 (intended use)
 - 사용 설명서에 명기된 사용법에 준하는 기계 사용
 - 논리적 예상 오류 (reasonably foreseeable misuse)
 - 설계자가 의도하지 않은 방향의 기계 사용이지만, 작업자의 일반적 행동을 고려할 때 충분히 예상할 수 있는 잘못된 기계사용 고려
- **목표: 위험성을 인식하고 위험성을 감소(risk reduction)한다**

산업용로봇 & 산업용로봇 시스템

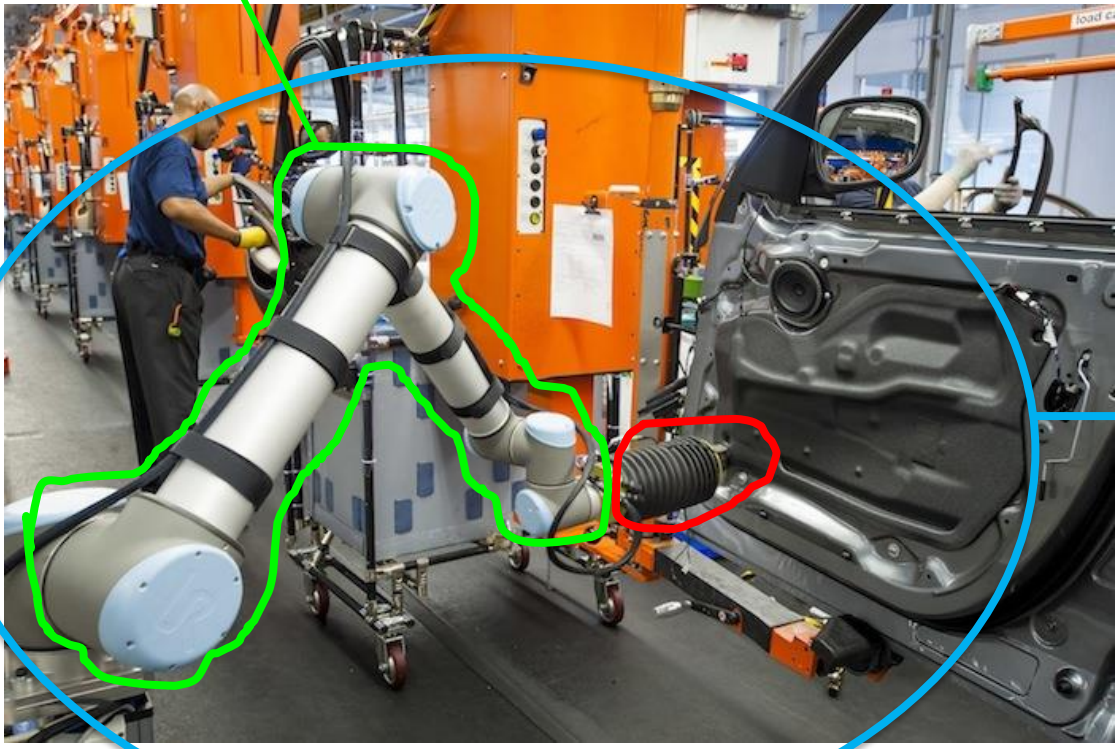
Robot



Robot System

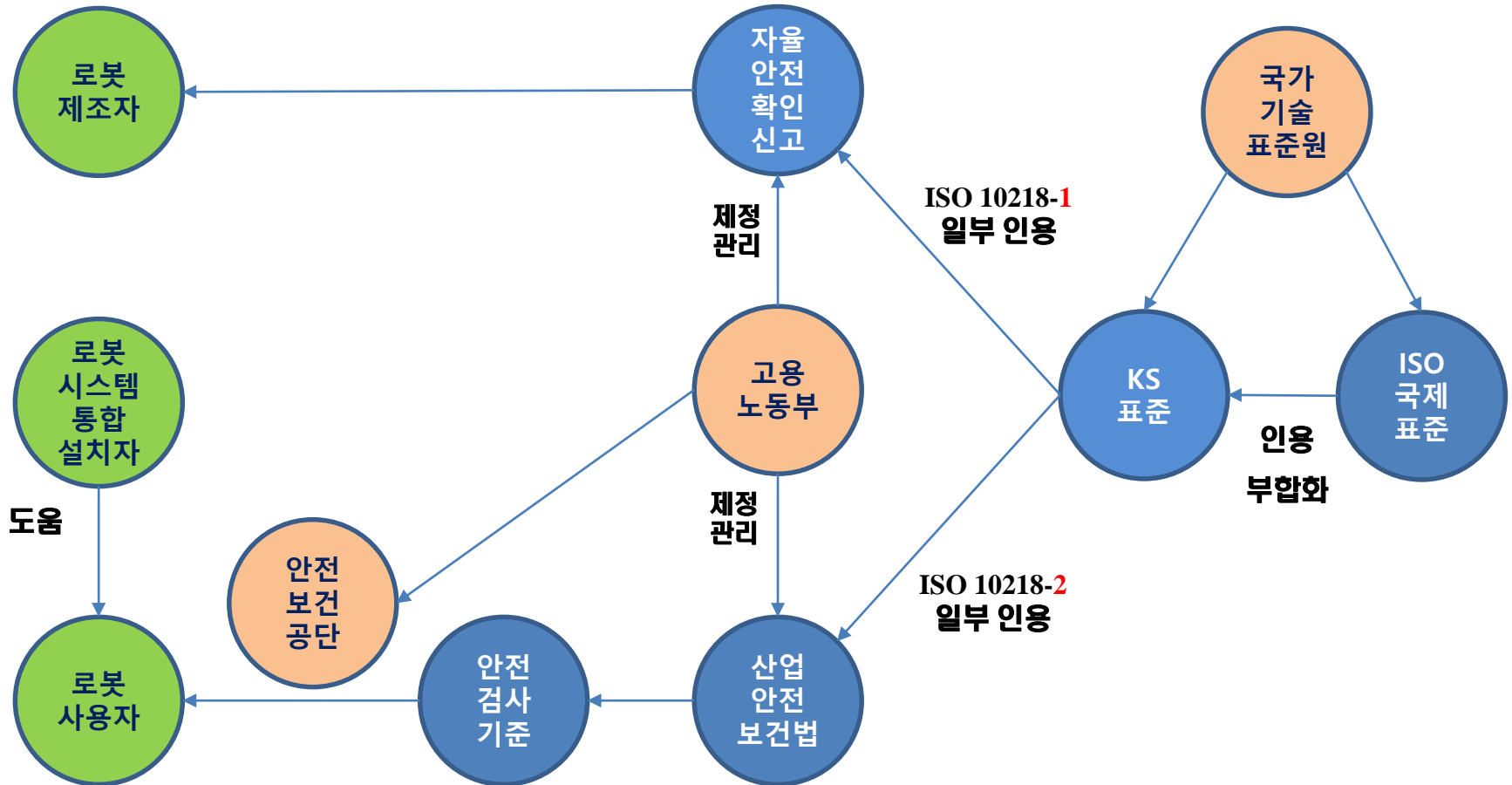
산업용로봇 Scope

- Robot
- ISO 10218-1
- Robot 제조사
- 자율안전확인신고(산업안전보건법 35조)

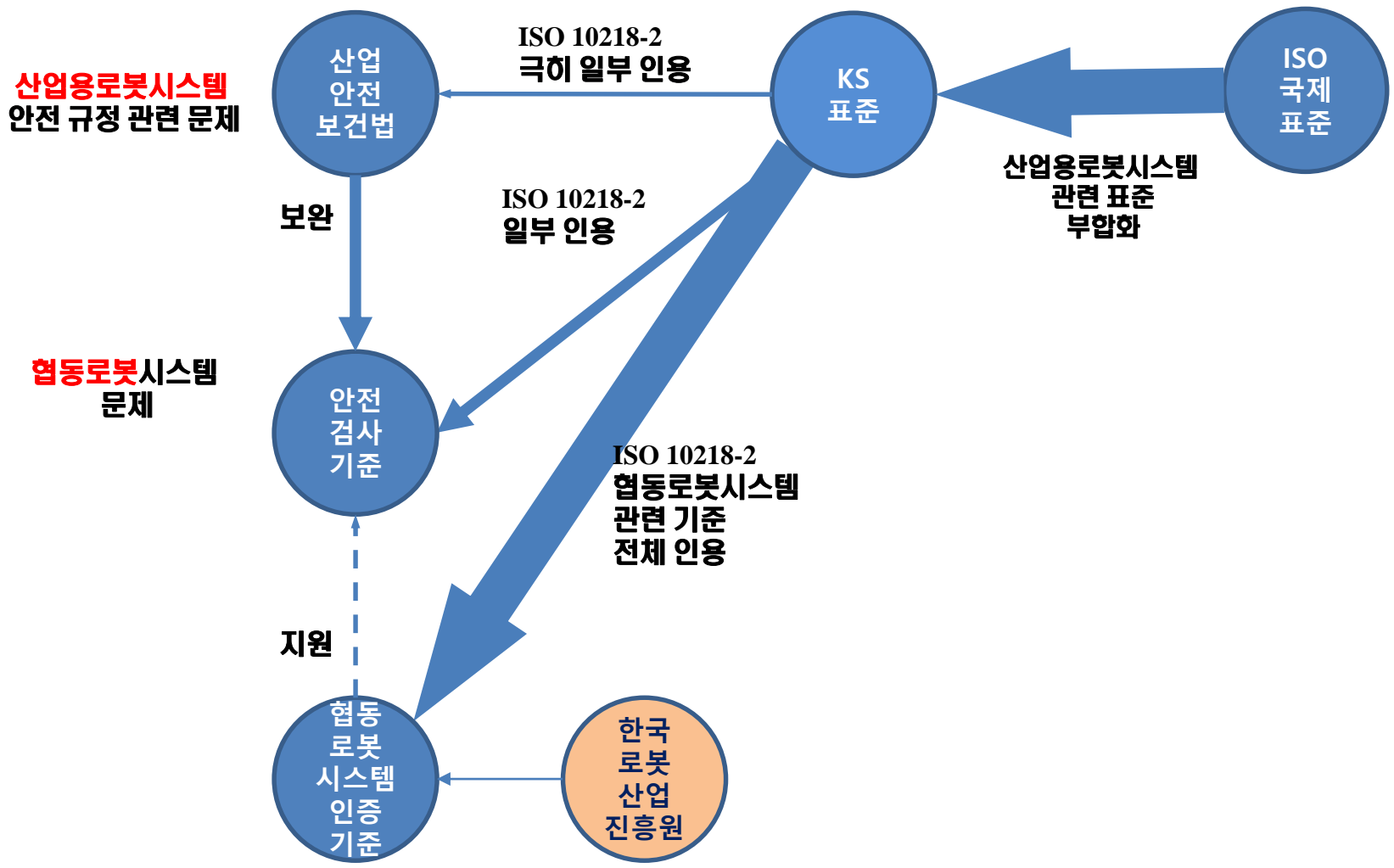


- Robot System
- ISO 10218-2, ISO TS 15066
- Robot 사용자 (또는 system integrator)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 223조
- 산업용로봇 안전검사
- 협동로봇시스템 안전인증(한국로봇산업진흥원)

국내외 로봇, 로봇시스템 관련 단체, 표준, 법규



산업용로봇로봇시스템 안전검사

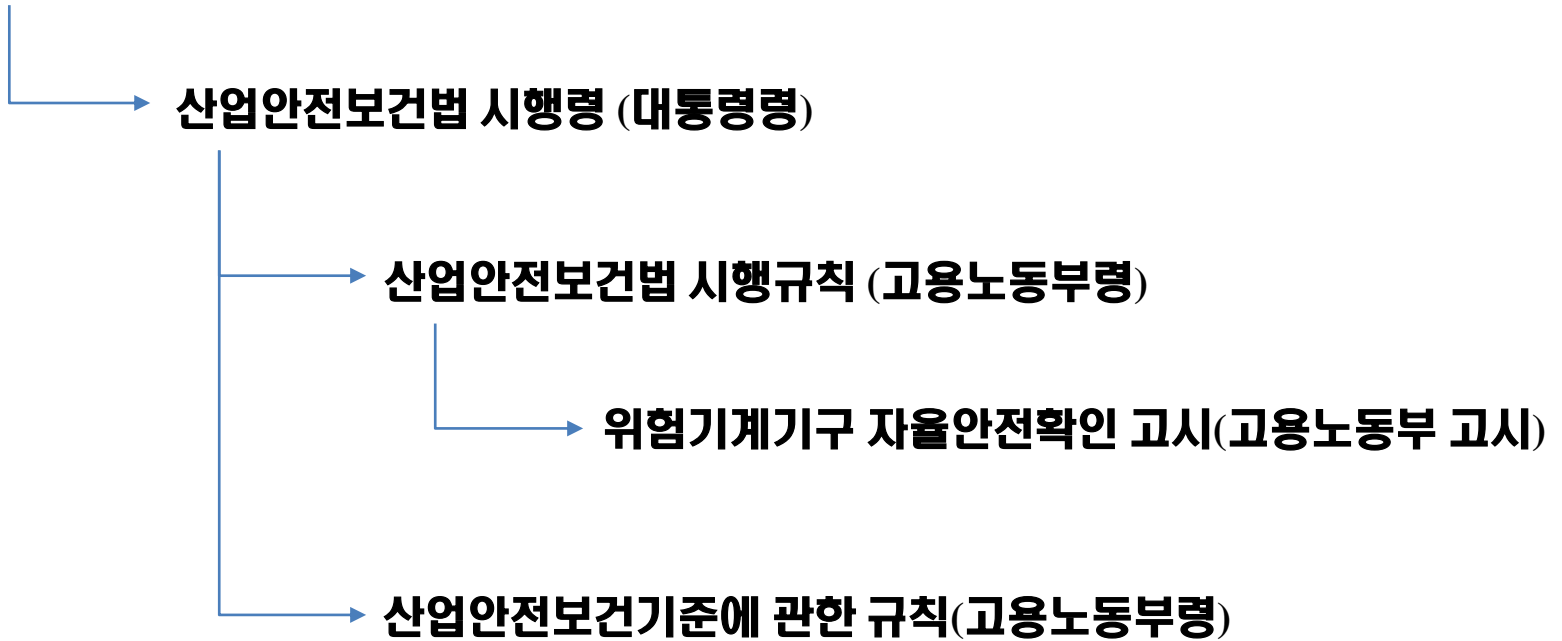


산업용로봇 관련 법규

국내 산업용로봇 관련 법규

- 로봇제조사 & 로봇(시스템)사용자

산업안전보건법 (법률)



산업표준화법 (법률)

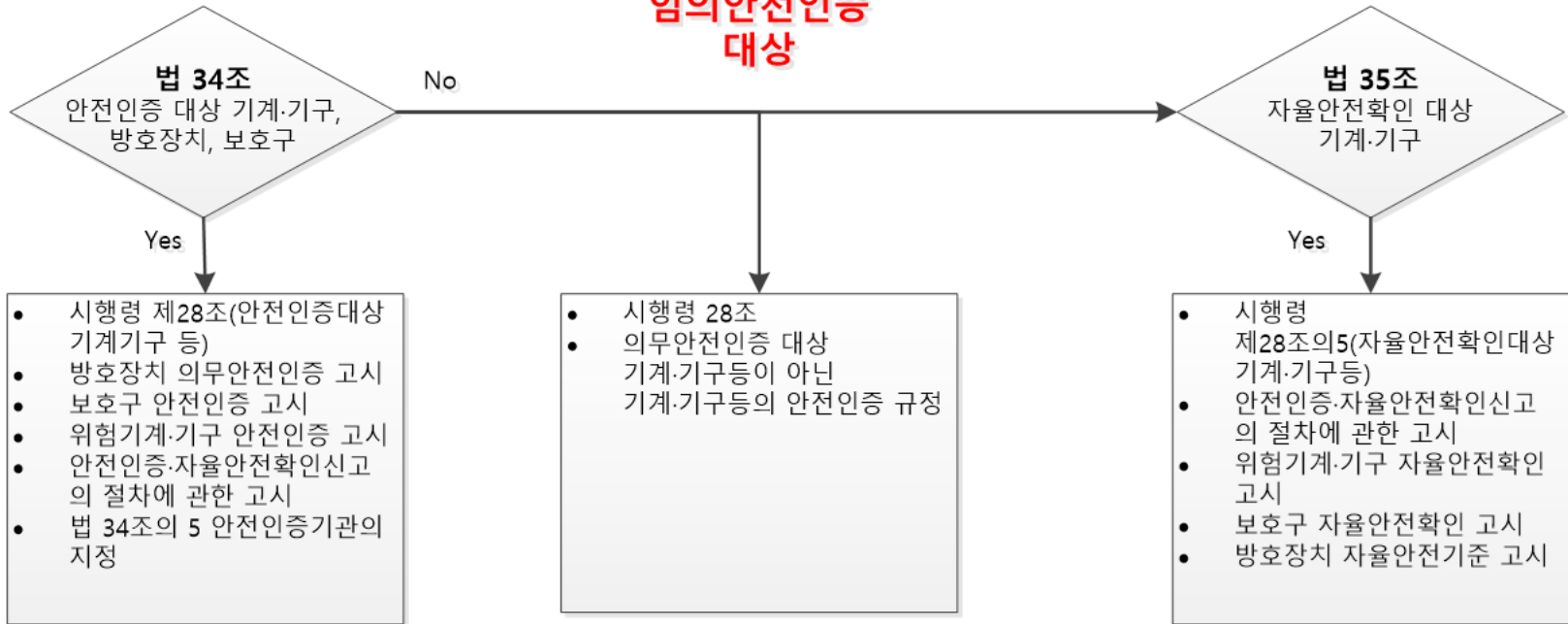
국내 산업용로봇 관련 법규

로봇 제조자 – 산업안전보건법에 의한 자율안전확인대상

유해 위험 기계·기구의 안전성을 평가하기 위하여 그 안전에 관한 성능과 제조자의 기술 능력 및 생산 체계 등에 관한 안전인증기준

안전인증대상 기계·기구등이 아닌 유해·위험한 기계·기구·설비 중 대통령령으로 정하는 것("자율안전확인대상 기계·기구등")을 제조하거나 수입하는 자

임의안전인증 대상



로봇 시스템 사용자 - 산업안전보건기준에 관한 규칙

- ▣ 제1편 총칙
 - 제1장 통칙
 - 제2장 작업장
 - 제3장 통로
 - 제4장 보호구
 - 제5장 관리감독자의 직무, 사용의 제한 등
 - 제6장 추락 또는 붕괴에 의한 위험 방지
 - 제7장 비계
 - 제8장 환기장치
 - 제9장 휴게시설 등
 - 제10장 잔재물 등의 조치기준

- ▣ 제2편 안전기준
 - 제1장 기계·기구 및 그 밖의 설비에 의한 위험예방
 - 제1절 기계 등의 일반기준
 - 제2절 공작기계
 - 제3절 프레스 및 전단기
 - 제4절 목재가공용 기계
 - 제5절 원심기 및 분쇄기 등
 - 제6절 고속회전체
 - 제7절 보일러 등
 - 제8절 사출성형기 등
 - 제9절 양중기
 - 제10절 차량계 하역운반기계 등
 - 제11절 컨베이어
 - 제12절 건설기계 등
 - 제13절 산업용 로봇
 - 제222조 교시 등
 - 제223조 운전 중 위험 방지
 - 제224조 수리 등 작업 시의 조치 등

  복사 |  동보기 |  조문주소

- 제2장 폭발·화재 및 위험물누출에 의한 위험방지
- 제3장 전기로 인한 위험 방지
- 제4장 건설작업 등에 의한 위험 예방
- 제5장 중량물 취급 시의 위험방지
- 제6장 하역작업 등에 의한 위험방지
- 제7장 벌목작업에 의한 위험 방지
- 제8장 계도 관련 작업 등에 의한 위험 방지

- ▣ 제3편 보건기준
- ▣ 제4편 특수형태근로종사자 등에 대한 안전조치 및 보건조치 <신설 2019. 12. 26.>
 - 제672조 특수형태근로종사자에 대한 안전조치 및 보건조치
 - 제673조 배달종사자에 대한 안전조치 등

제2편 안전기준

제1장 기계·기구 및 그 밖의 설비에 의한 위험예방

제13절 산업용 로봇

제222조 교시 등

제223조 운전 중 위험 방지

제224조 수리 등 작업 시의 조치 등

산업안전보건기준에 관한 규칙

제223조(운전 중 위험 방지)

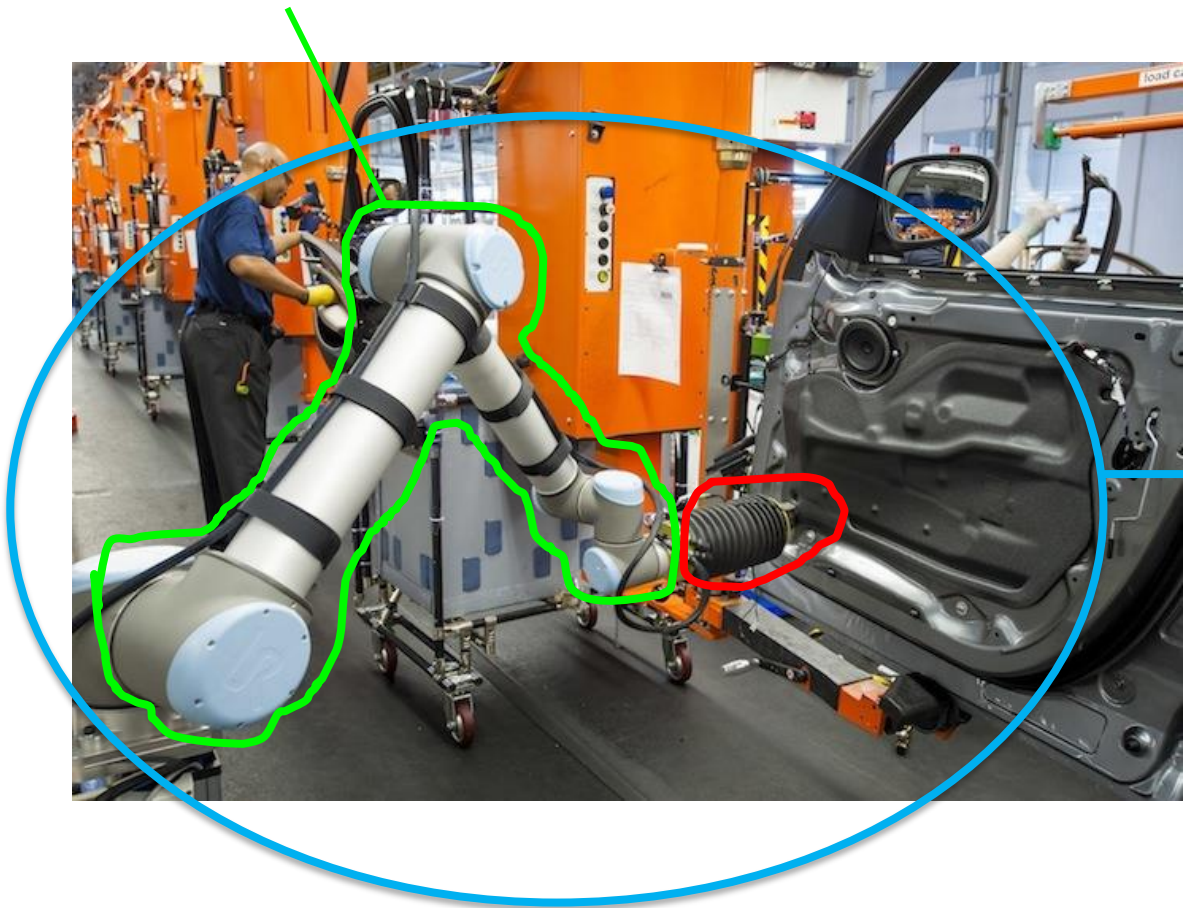
구 조항 (2016.4.7. 일부 개정)	신 조항 (2018.8.14. 일부 개정)
<p>사업주는 로봇의 운전(제222조에 따른 교시 등을 위한 로봇의 운전과 제224조 단서에 따른 로봇의 운전은 제외한다)으로 인하여 근로자에게 발생할 수 있는 부상 등의 위험을 방지하기 위하여 안전매트 및 높이 1.8미터 이상의 방책(로봇의 가동범위 등을 고려하여 높이로 인한 위험성이 없는 경우에는 높이를 그 이하로 조절할 수 있다)을 설치하는 등 필요한 조치를 하여야 한다. 다만, 고용노동부장관이 해당 로봇의 안전기준이 「산업표준화법」 제12조에 따른 한국산업표준에서 정하고 있는 안전기준 또는 국제적으로 통용되는 안전기준에 부합한다고 인정하는 경우에는 본문에 따른 조치를 하지 아니할 수 있다.</p>	<p>사업주는 로봇의 운전(제222조에 따른 교시 등을 위한 로봇의 운전과 제224조 단서에 따른 로봇의 운전은 제외한다)으로 인하여 근로자에게 발생할 수 있는 부상 등의 위험을 방지하기 위하여 높이 1.8미터 이상의 울타리(로봇의 가동범위 등을 고려하여 높이로 인한 위험성이 없는 경우에는 높이를 그 이하로 조절할 수 있다)를 설치하여야 하며, 컨베이어 시스템의 설치 등으로 울타리를 설치할 수 없는 일부 구간에 대해서는 안전매트 또는 광전자식 방호장치 등 감응형(感應形) 방호장치를 설치하여야 한다. 다만, 고용노동부장관이 해당 로봇의 안전기준이 「산업표준화법」 제12조에 따른 한국산업표준에서 정하고 있는 안전기준 또는 국제적으로 통용되는 안전기준에 부합한다고 인정하는 경우에는 본문에 따른 조치를 하지 아니할 수 있다.</p>

산업용로봇 관련 표준 Scope

- **Robot** (ISO 8373:2012)
 - programmed actuated mechanism with a degree of autonomy, moving within its environment, to perform intended tasks
- **Industrial Robot** (ISO 10218-1:2011)
 - automatically controlled, reprogrammable multipurpose manipulator, programmable in three or more axes, which can be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications
- **Industrial Robot System** (ISO 10218-1:2011)
 - system comprising: industrial robot;
 - end-effector(s);
 - any machinery, equipment, devices, external auxiliary axes or sensors supporting the robot performing its task
- **Collaborative Robot** (ISO 10218-2:2011)
 - robot designed for direct interaction with a human within a defined collaborative workspace

산업용로봇 Scope

- Robot
- ISO 10218-1
- Robot 제조사
- 산업안전보건법 35조 자율안전확인신고



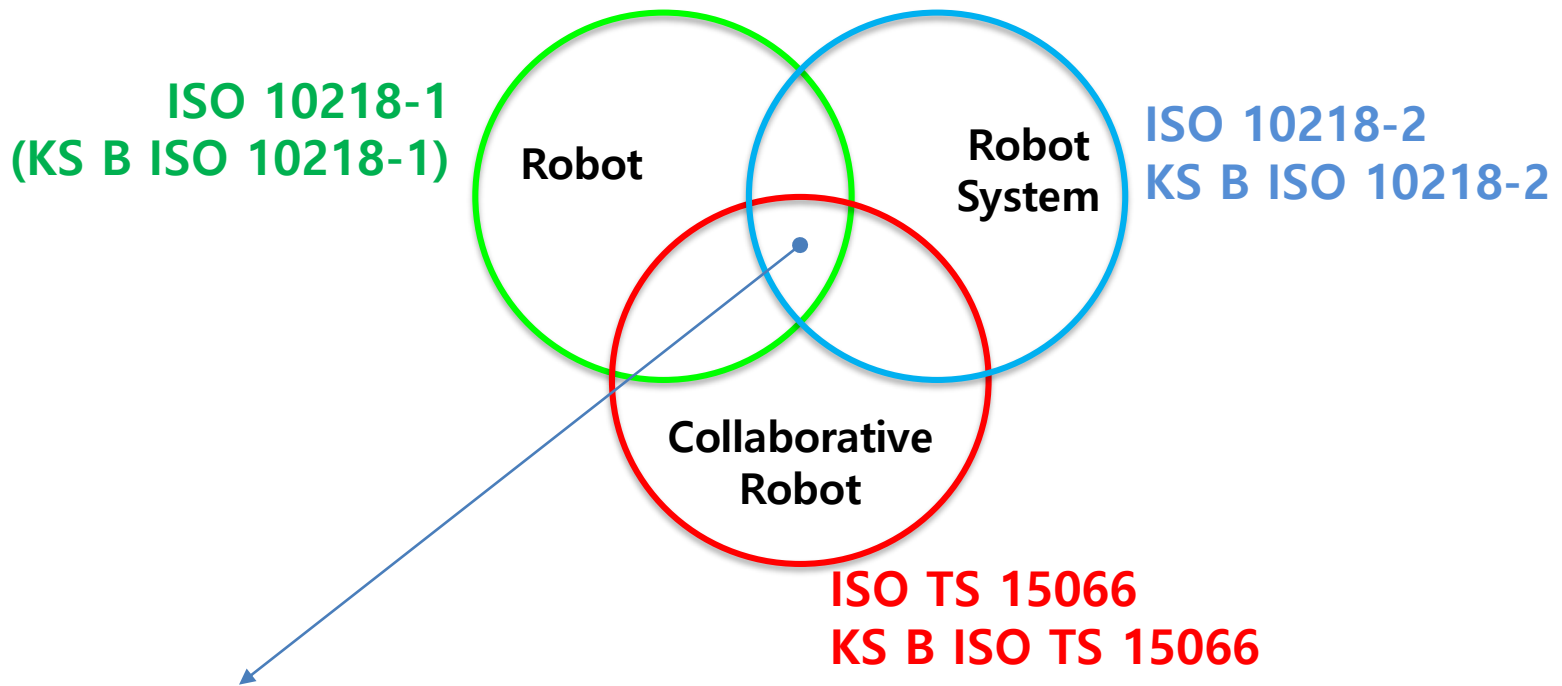
- Robot System
- ISO 10218-2
- Robot 사용사 (system integrator)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 223조
- 로봇산업진흥원 안전인증

산업용로봇 표준 Scope

- **ISO 10218-1:2011** Robots and robotic devices -- Safety requirements for industrial robots -- Part 1: **Robot**
- **ISO 10218-2:2011** Robots and robotic devices -- Safety requirements for industrial robots -- Part 2: **Robot systems and integration**
- **ISO/TS 15066:2016** Robots and robotic devices -- **Collaborative robots**

협동로봇 관련 국제표준 현황

- Industrial Robot에 적용되는 표준: ISO 10218-1,2 & ISO TS 15066
- ISO TS 15066은 "협동로봇+협동로봇 시스템"에 대한 표준

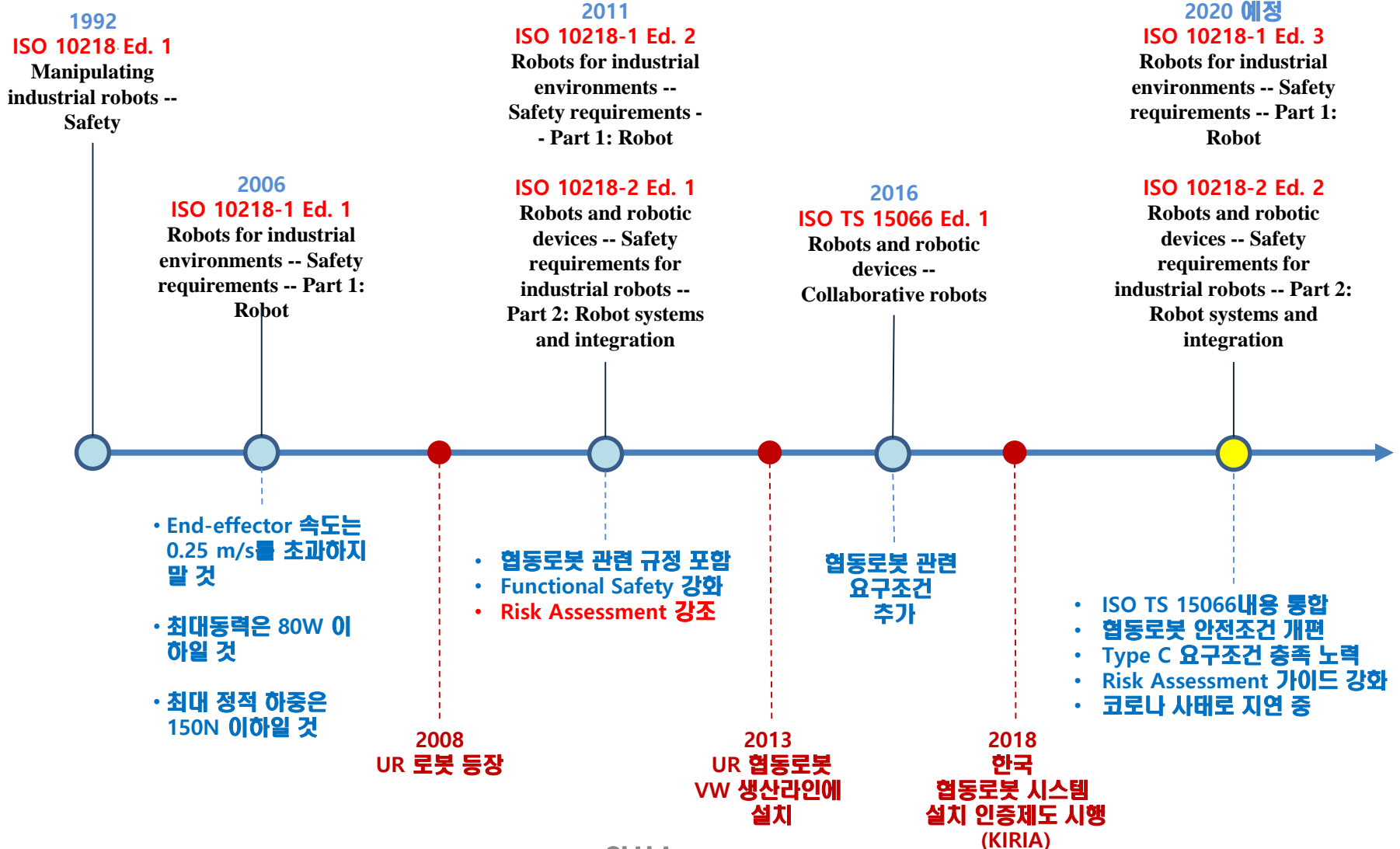


ISO 13849-1

- 기능안전성(Functional Safety) 요구조건 PL d

산업용 로봇 관련 국제표준

ISO 10218-1,2 의 변화



산업용로봇 안전 요구조건 표준의 개요

1 적용범위

2 인용표준

3 용어와 정의

4 위험원 인지와 위험도 평가

5 설계 요구사항 및 보호 수단

- 5.1 일반사항
- 5.2 일반 요구사항
- 5.3 구동 제어(actuating controls)
- 5.4 안전관련 제어 시스템
성능(하드웨어/소프트웨어)
- 5.5 로봇정지 기능
- 5.6 감속 제어(speed control)
- 5.7 운전모드(operational mode)
- 5.8 교시상자 제어
- 5.9 동시동작 제어(control of simultaneous motion)
- 5.10 협동운전 요구사항(collaborative operation requirements)
- 5.11 특이점 보호(singularity protection)
- 5.12 축 제한(axis limiting)
- 5.13 무동력 동작(movement without drive power)
- 5.14 로봇 들어올리기에 대한 규정
- 5.15 전기 커넥터

6 안전 요구사항 및 보호 대책에 대한 확인 및 검증

- 6.1 일반사항
- 6.2 확인 및 검증 방법
- 6.3 필수 확인 및 검증

7 사용 정보

- 7.1 일반사항
- 7.2 지침 안내서
- 7.3 표시

부속서 A(참고) 주요 위험원 목록

부속서 B(규정) 정지 시간 및 거리 측정

부속서 C(참고) 3-위치 동작허가 장치의 기능적 특성

부속서 D(참고) 선택 사양

부속서 E(참고) 표시 방법

부속서 F(규정) 안전 요구사항 및 대책의 확인 수단

참고문헌

1 적용범위

2 인용표준

3 용어와 정의

4 위험원 식별과 위험도 평가

- 4.1 일반사항
- 4.2 배치(layout) 설계
- 4.3 위험도 평가(risk assessment)
- 4.4 위험원 식별(hazard identification)
- 4.5 위험원 제거 및 위험도 감소(hazard elimination and risk reduction)

5 안전 요구사항 및 보호 대책

- 5.1 일반사항
- 5.2 안전 관련 제어 시스템 성능(하드웨어/소프트웨어)(safety-related control system performance)
- 5.3 설계 및 설치(design and installation)
- 5.4 로봇 동작 제한(limiting robot motion)
- 5.5 배치(layout)
- 5.6 로봇 시스템 운전 모드 응용(robot system operational mode application)
- 5.7 교시 상자(pendants)
- 5.8 유지보수 및 수리(maintenance and repair)
- 5.9 통합 제조 시스템(Integrated Manufacturing System, IMS) 인터페이스
- 5.10 안전 보호 장치(safeguarding)
- 5.11 협동 로봇 운전(collaborative robots operation)
- 5.12 로봇 시스템의 시운전(commissioning of robot systems)

6 안전 요구사항 및 보호 대책에 대한 확인 및 검증

- 6.1 일반사항
- 6.2 확인 및 검증 방법(verification and validation methods)
- 6.3 필수 확인 및 검증(required verification and validation)
- 6.4 보호 장치의 확인 및 검증(verification and validation of protective measures)

7 사용 정보

- 7.1 일반사항
- 7.2 지침 안내서(instruction handbook)
- 7.3 표식(marking)

- 부속서 A(규정) 주요한 위험원 목록
 - 부속서 B(참고) 보호 장치와 관련된 표준 관계도
 - 부속서 C(참고) 부품의 입 출구 지점에 대한 보호 장치
 - 부속서 D(참고) 하나 이상의 동작 허가 장치 운전
 - 부속서 E(참고) 협동 로봇의 개념적 응용 분야
 - 부속서 F(참고) 프로세스 관찰
 - 부속서 G(규정) 안전 요구사항 및 대책의 확인 수단
- 참고문헌

1 적용범위

2 인용표준

3 용어와 정의

4 산업용 협동 로봇 시스템 설계(Collaborative industrial robot system design)

4.1 일반사항

4.2 협동 작업 설계(Collaborative application design)

4.3 위험원 식별과 위험도 평가(Hazard identification and risk assessment)

5 협동 로봇 작업 설계(Design of the collaborative robot applications)

5.1 일반사항

5.2 안전 관련 제어 시스템 성능(Safety-related control system performance)

5.3 협동 작업 영역의 설계(Design of the collaborative workspace)

5.4 협동 로봇 운전의 설계(Design of the collaborative robot operation)

5.5 협동 운전(Collaborative operations)

6 확인 및 검증

7 사용 정보

7.1 일반사항

7.2 협동 로봇 운전에 대한 정보

7.3 협동 로봇 시스템에 대한 설명

7.4 작업 영역 적용에 대한 설명

7.5 업무에 대한 설명

7.6 동력 및 힘 제한에 대한 정보

부속서 A (규정) 준정적 접촉과 동적 접촉에 대한 제한

A.1 일반사항

A.2 신체 모델

A.3 생체 역학적 제한 사항

참고문헌

Type A

ISO 12100

- 기본 표준 (Basic Standard)
- 기계류에 적용할 수 있는 기본 개념, 설계원리 그리고 기타 일반적인 측면

Type B

- 일반 표준 (Generic Standard)

- 넓은 범주의 기계류에 교차되어 사용될 수 있는 안전의 측면, 안전장치

Type C

ISO 10218-1,2

- 기계 안전 표준 (Machine Safety Standard)
- 특정 기계 및 기계 그룹별 안전 요구사항

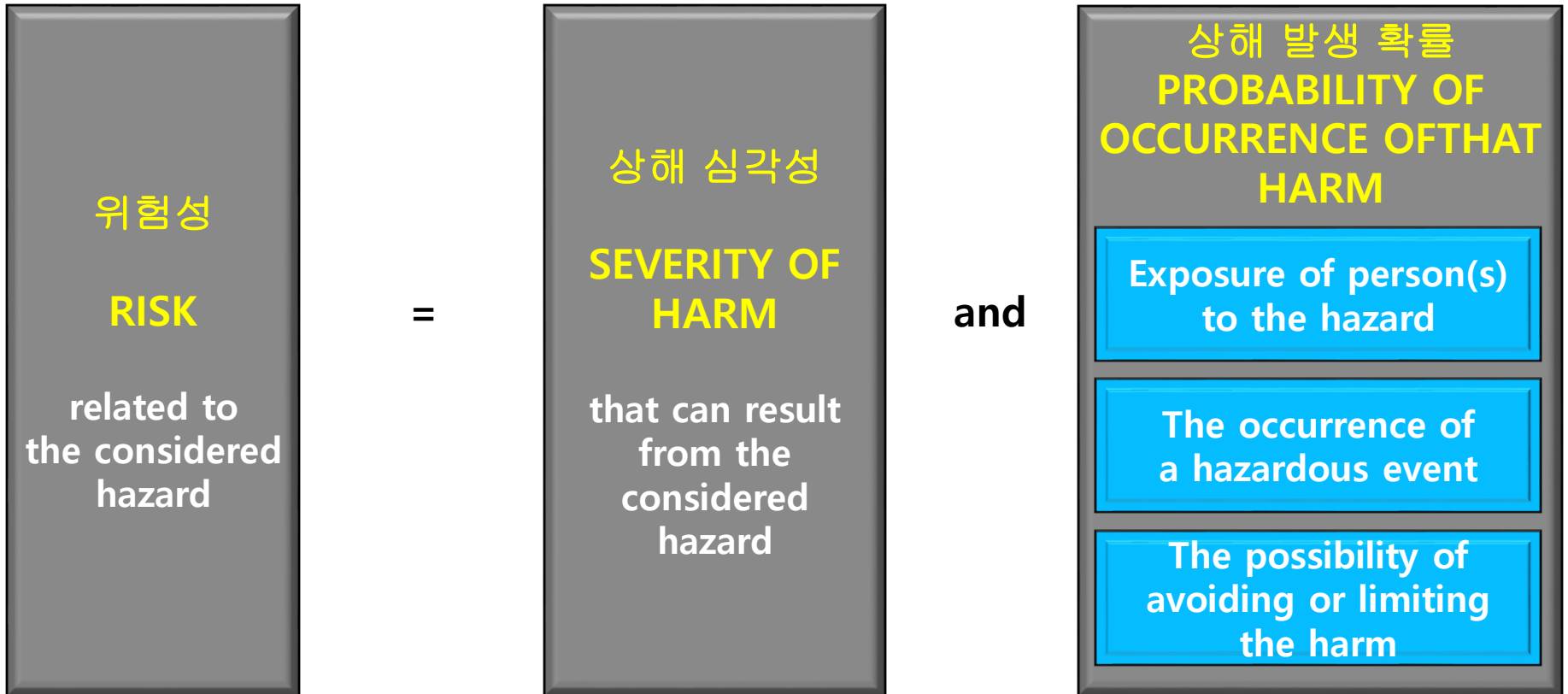
※ Type C의 규격의 내용이 Type A, B와 불일치 하는 경우가 발생한다면 Type C의 규격 내용을 우선으로 한다.

- 기계류를 사용하면서 발생하는 위험성(risk)를 줄이는 체계적인 절차
 - 제품 수명 주기 (cycle of product life) 전체에 대한 고려가 필요
 - 설계 시, 사용 중, 폐기 시
 - 기계의 용도 내 사용에 대비 (intended use)
 - 사용 설명서에 명기된 사용법에 준하는 기계 사용
 - 논리적 예상 오류 (reasonably foreseeable misuse)
 - 설계자가 의도하지 않은 방향의 기계 사용이지만, 작업자의 일반적 행동을 고려할 때 충분히 예상할 수 있는 잘못된 기계사용 고려
- **목표: 위험성 감소 (risk reduction)**

- 상해 (harm)
 - 신체적 부상 이나 건강상의 손실(Physical injury or damage to health)
- 위험원 (hazard)
 - 잠재적인 상해의 근원(Potential source of harm)
- 위험한 사건 (hazardous event)
 - 상해를 야기할 수 있는 사건
- 위험 상황 (hazardous situation)
 - 작업자가 적어도 한 가지 이상의 위험원에 노출되는 상황. 노출 결과 상해는 즉시 또는 오랜 시간을 두고 나타날 수 있다 (Circumstance in which a person is exposed to at least one hazard. The exposure can immediately or over a period of time result in harm)

용어 정의

- 위험성 (risk)
 - 상해 발생 확률과 상해 심각성의 정도
 - Combination of the **probability** of occurrence of **harm** and the **severity** of that harm



용어 정의 - 사례

사례 1)

빙판길- 위험원 (hazard)

빙판길 위를 걸어감- 위험 상황 (hazardous situation)

빙판길 위를 걸어가다 넘어지는 성인(?) 중에 **10%**는 **중증 골절상**을 입는다-
위험성 (risk)

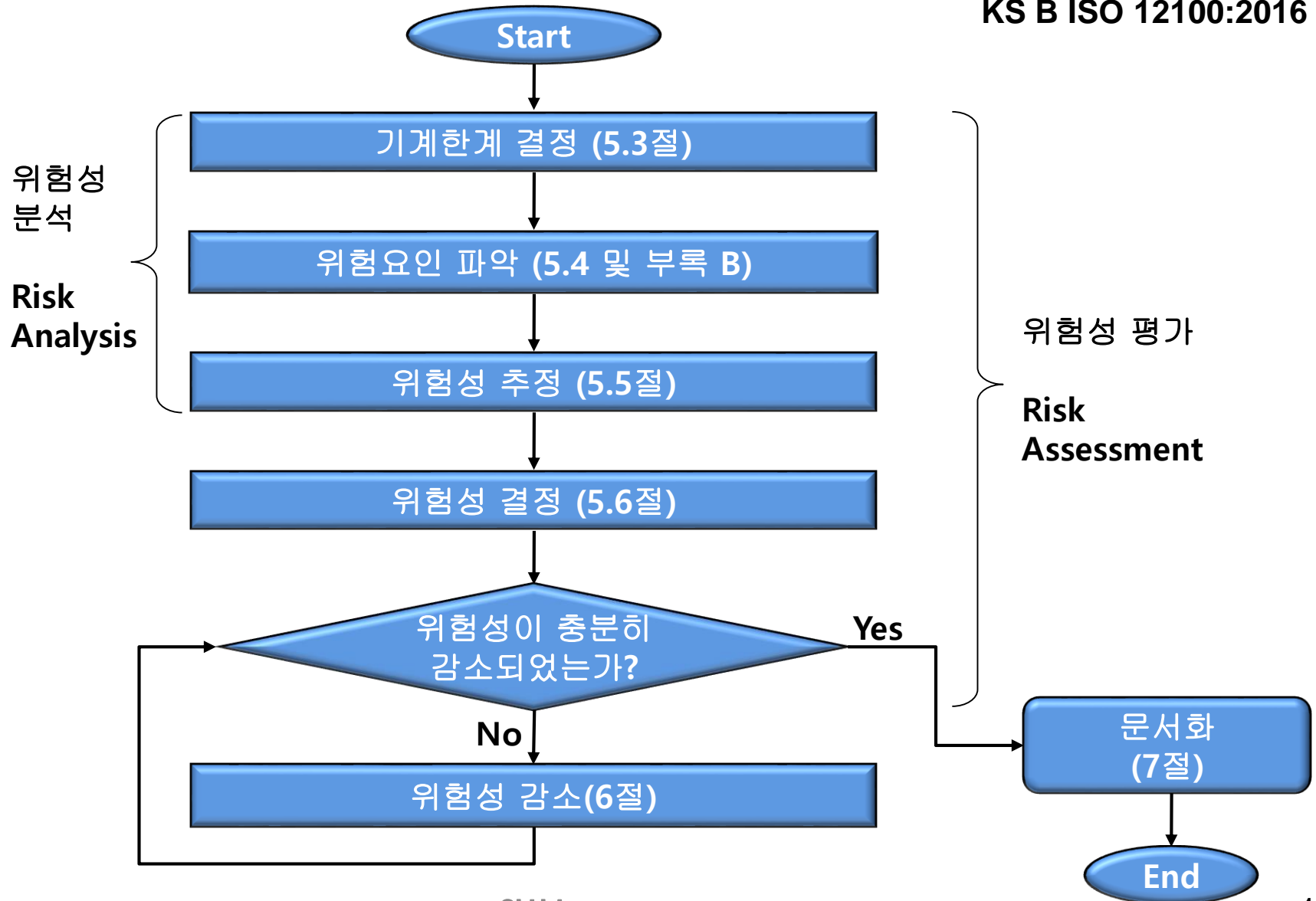
사례 2)

빙판길 위에 앉아 있으면?



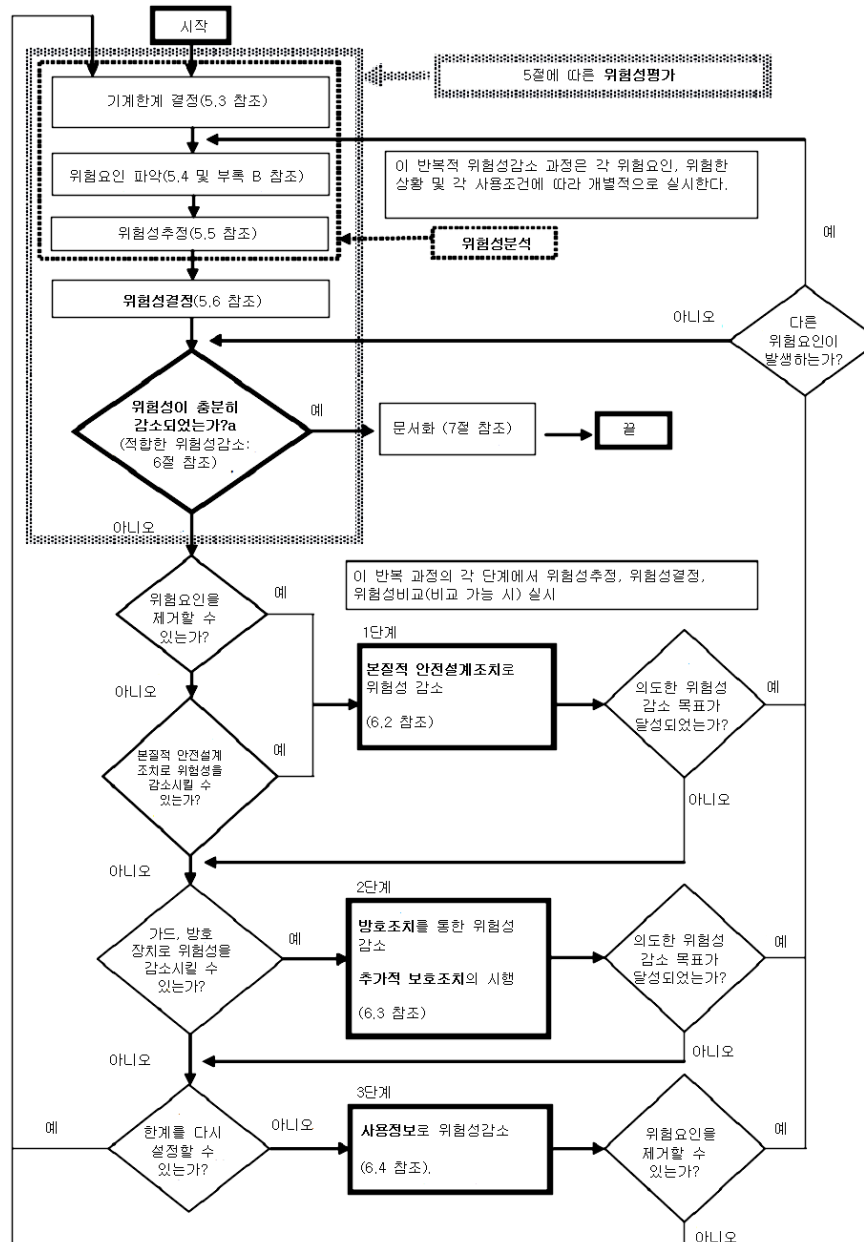
위험성 감소 (Risk Reduction) 절차

KS B ISO 12100:2016



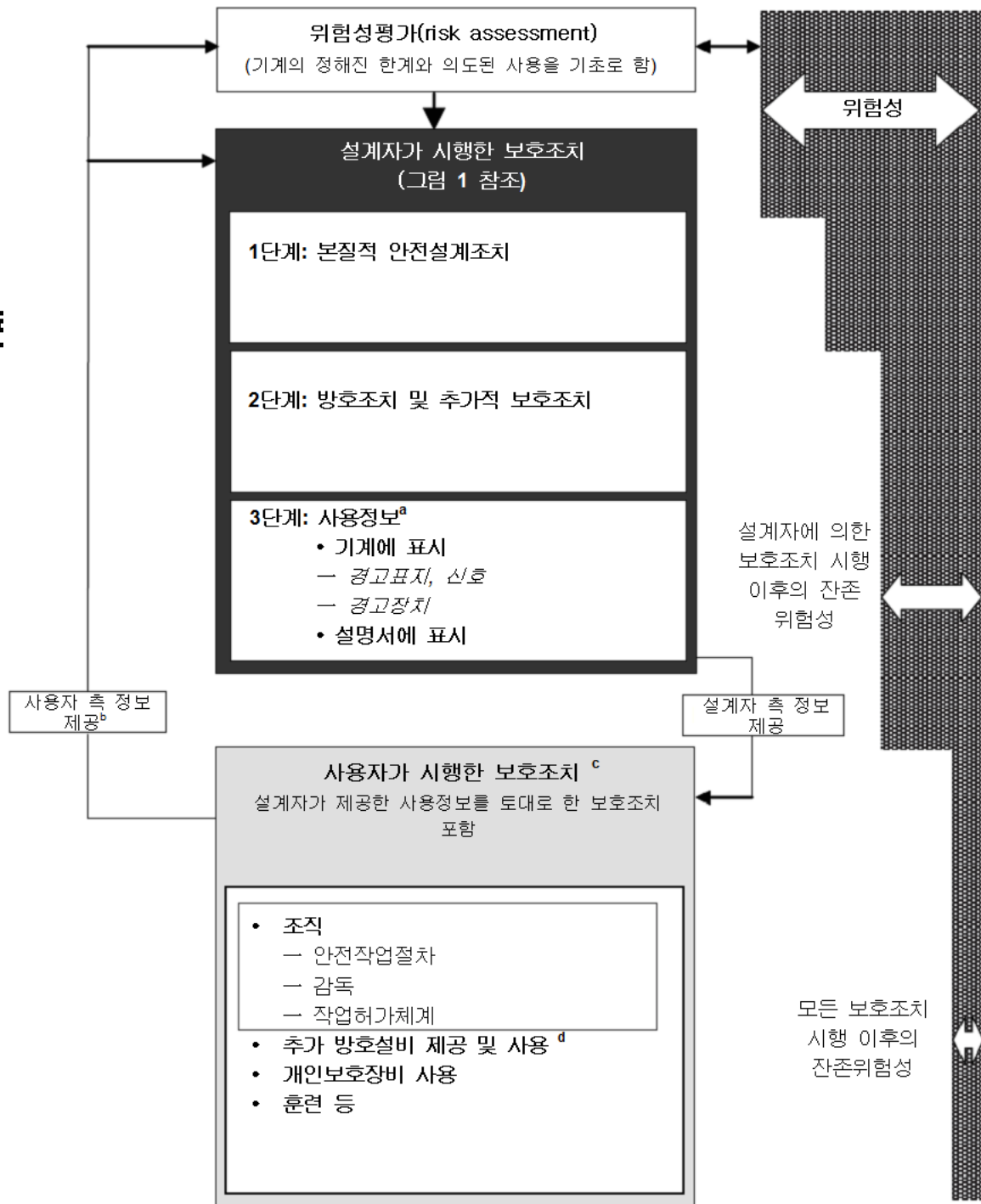
위험성 감소 (Risk Reduction) 절차

KS B ISO 12100:2016



KS B ISO 12100:2016

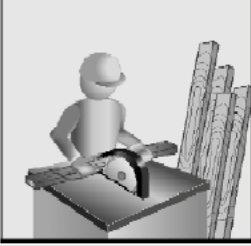
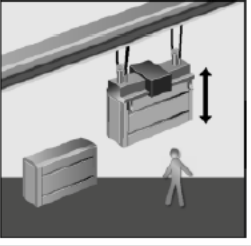

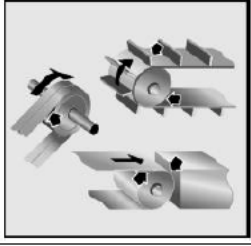
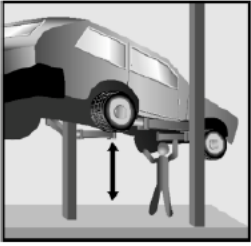

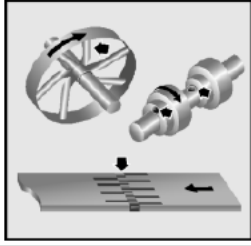

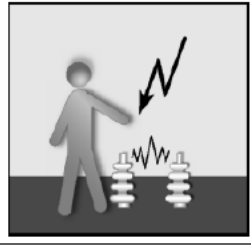

그림 2 – 설계자 관점에서 본 위험성감소 과정



위험원 (Hazard)

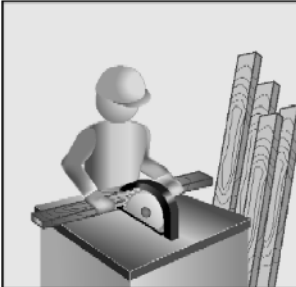
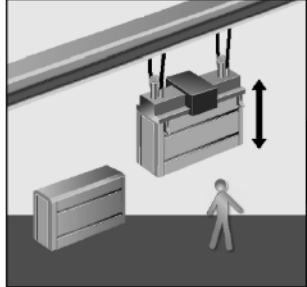

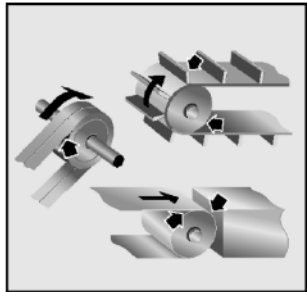
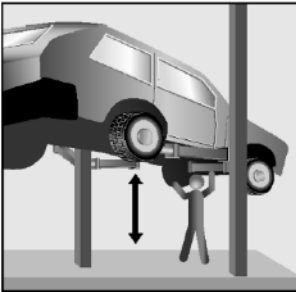
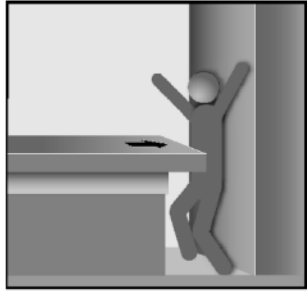
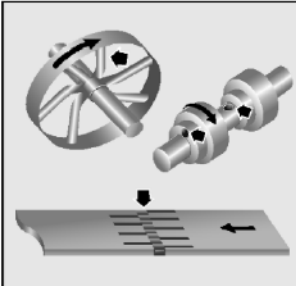

- 기계적 위험원 (mechanical hazard)
- 전기적 위험원 (electrical hazard)
- 열적 위험원 (thermal hazard)
- 소음 관련 위험원 (hazards generated by noise)
- 진동 관련 위험원 (hazards generated by vibration)
- 방사 관련 위험원 (hazard generated by radiation)
- 재료, 물질 관련 위험원 (hazards generated by materials and substances)
- 인간 공학적 원리의 무시여 따라 발생하는 위험원 (hazards generated by neglecting ergonomic principles)
- 미끄러짐, 걸림, 낙하 위험원 (slipping, tripping and falling hazards)
- 위험원의 조합 (hazard combinations)
- 기계가 사용되는 환경과 관련된 위험원 (hazards associated with the environment in which the machine is used)

- KS B ISO 12100:2016

위험요인		위험요인	
	<p>근원 부품 절단 잠재적 결과 — 절단 — 분리</p>		<p>근원 추락물 잠재적 결과 — 압착 — 충격</p>
	<p>근원 움직이는 요소 잠재적 결과 — 압착 — 충격 — 전단</p>		<p>근원 움직이는 요소 잠재적 결과 — 끌려 들어감 — 마찰, 마모 — 충격</p>
	<p>근원 중력, 안정성 잠재적 결과 — 압착 — 걸림</p>		<p>근원 움직이는 요소의 고정된 부분에 접근 잠재적 결과 — 압착 — 충격</p>
	<p>근원 회전 부품 또는 움직이 는 요소 잠재적 결과 — 절단 — 얽힘</p>		<p>근원 움직이는 요소 잠재적 결과 — 압착 — 마찰, 마모 — 충격 — 절단</p>
	<p>근원 작동 부품 잠재적 결과 — 감전 — 화상 — 관통 — 데임</p>		<p>근원 고온 또는 저온 물체나 재료 잠재적 결과 — 화상</p>

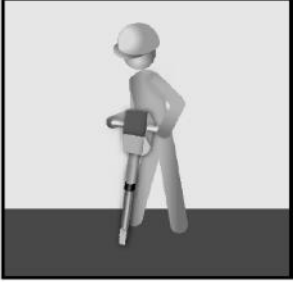

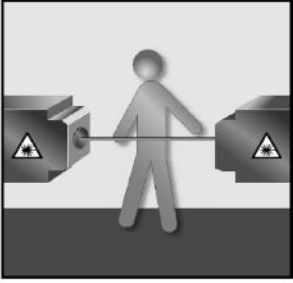
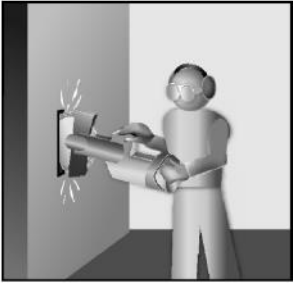
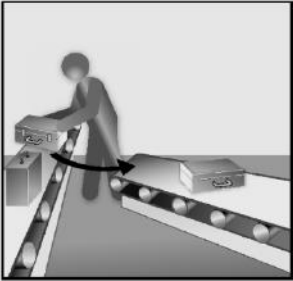
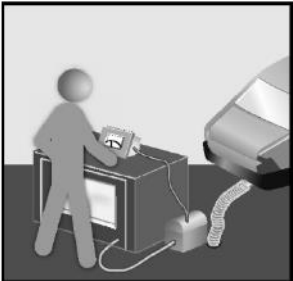
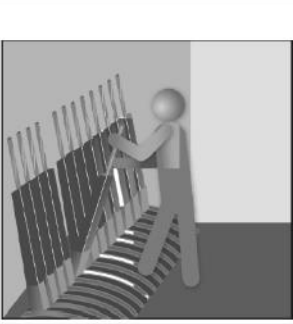
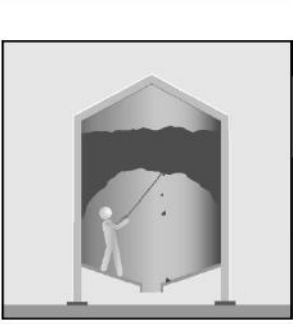
- ISO 12100:2016

Table B.2

Hazard	Hazard	Hazard	Hazard
	<p>Origin cutting parts</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - cutting - severing 		<p>Origin falling objects</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - impact
	<p>Origin moving elements</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - impact - shearing 		<p>Origin moving elements (three examples)</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - drawing-in - friction, abrasion - impact
	<p>Origin gravity, stability</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - trapping 		<p>Origin approach of a moving element to a fixed part</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - impact
	<p>Origin rotating or moving elements (three examples)</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - severing - entanglement 		<p>Origin moving elements</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - friction, abrasion - impact - severing

- ISO 12100:2016

Table B.2 (continued)

Hazard		Hazard	
	<p>Origin vibrating equipment</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – osteo-articular disorder – vascular disorder 		<p>Origin noisy manufacturing process</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – fatigue – hearing impairment – loss of awareness – stress
	<p>Origin laser beam</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – burn – damage to eyes and skin 		<p>Origin dust (emissions)</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – breathing difficulties – explosion – loss of sight
	<p>Origin posture</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – discomfort – fatigue – musculoskeletal disorder 		<p>Origin fumes</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – breathing difficulties – irritation – poisoning
	<p>Origin location of control devices</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – any as a consequence of human error – stress 		<p>Origin gravity (bulk material solidified)</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> – collapse, falling – crushing – slumping/sagging – suffocation – wedging/jamming

기계의 한계 (Limits of Machinery)

- **사용 한계**
 - 기계의 다양한 작동 모드, 사용 단계 및 작업자의 조작 과정 등을 포함하는 기계의 사용 용도
 - 논리적으로 예상 가능한 기계의 오용
- **공간 한계**
 - 예를 들면 이동 범위, 설치 및 정비 소요 공간, '기계-작업자간' 연결, '기계-동력원간' 연결 등
- **시간 한계**
 - 기계 및 부품(공구, 마모 부품, 전기 부품)의 사용 용도 고려 시 예상 가능한 수명 한계
- **기타 한계**
 - 작업대상물의 재질
 - 필요한 주변 청결도
 - 필요한 환경(온도, 습도 등) 조건

위험성 평가 (Risk Assessment)

- **위험성 추정 (risk estimation)**
 - 발생 가능한 상해의 심각성과 발생 확률을 정의하는 작업
 - Defining likely severity of harm and probability of its occurrence
- **위험성 결정 (risk evaluation)**
 - 위험성 분석에 근거하여 위험성 감소 목표가 달성되었는지 여부 판정
 - Judgement, on the basis of risk analysis, of whether the risk reduction objectives have been achieved
- **위험성 분석 (risk analysis)**
 - 기계의 한계 규정, 위험 식별, 위험성 예측 등으로 구성된 작업
 - Combination of the specification of the limits of the machine, hazard identification and risk estimation

위험성 평가 (Risk Assessment)

- **위험성 평가 (risk assessment)**
 - 위험성 분석 및 위험성 판정을 포함하는 포괄적인 과정
 - Overall process comprising a risk analysis and a risk evaluation

- **적합한 위험성 감소 (adequate risk reduction)**
 - 현재의 기술 수준을 고려하여 최소한 법률적 요구 조건에 부응할 수 있는 위험성 감소
 - Risk reduction at least in accordance with the legal requirements under consideration of the current state of the art

위험성 추정/예측 (Risk Estimation) 예시 - Risk Matrix

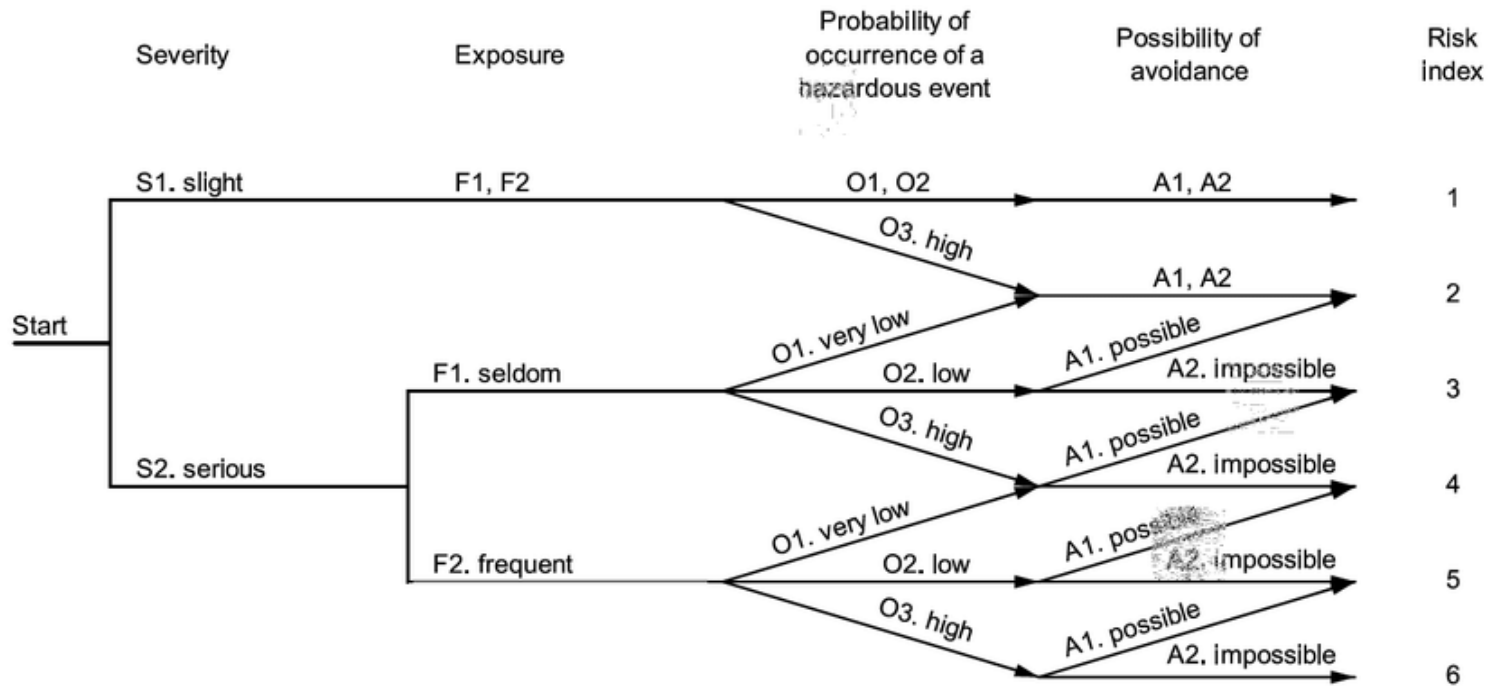
- 위험수준별 등급화 및 그룹화를 통해 위험요소에 대한 위험수준을 간단하면서 빠르고, 효율적으로 도출해낼 수 있음.
- Matrix 구성 참여자의 능력에 많이 의존하는 형태로, 구성자의 능력에 따라 그 정확도의 편차가 심해 정확성이 떨어짐.

Probability of occurrence of harm	Severity of harm			
	Catastrophic	Serious	Moderate	Minor
Very likely	High	High	High	Medium
Likely	High	High	Medium	Low
Unlikely	Medium	Medium	Low	Negligible
Remote	Low	Low	Negligible	Negligible

ANSI B11 TR3:2000

위험성 추정/예측 (Risk Estimation) 예시 - Risk Graphs

- Decision Tree를 사용하는 방법으로, 보호수단에 따른 위험감소의 효과를 확인할 수 있음.
- Tree의 가지 수가 많아지면 전체적으로 복잡해지고, 위험요소에 대한 인지가 힘들어짐.



위험성 결정 (Risk Evaluation) 예시

- 위험성 분석에 근거하여 위험성 감소 목표가 달성되었는지 여부 판정

〈표 11〉 위험성 결정(5×4단계 예시)

위험성 크기		허용 가능 여부	개선방법
16~20	매우 높음	허용 불가능	즉시 개선
15	높음		신속하게 개선
9~12	약간 높음		가급적 빨리 개선
8	보통		계획적으로 개선
4~6	낮음	허용 가능	필요에 따라 개선
1~3	매우 낮음		

〈표 13〉 위험성 결정(4단계 예시)

위험성 크기	허용가능 여부	위험성 범위	개선방법
Ⅳ	허용 불가능	20~12	즉시 개선
Ⅲ		11~9	가능한 한 빨리 개선
Ⅱ		8~6	연간계획으로 개선
Ⅰ	허용 가능	5~3	필요에 따라 개선

2017 위험성평가 해설지침서 - 안전보건공단

위험성 감소 (Risk Reduction) 방법

- 설계상의 대책 (inherently safe design measure)
- 방호조치(safeguarding)
- 추가적 보호조치 (complementary protective measure)
- 사용 정보 (information for use)

- **설계상의 대책 (inherently safe design measure)**
 - 보호 장치를 활용하는 대신에 설계 또는 기계의 작동 특성을 변경하여 위험을 제거하거나 위험성을 감소시키는 보호 대책
 - Protective measure which either eliminates hazards or reduces the risks associated with hazards by changing the design or operating characteristics of the machine without the use of guards or protective devices
- **방호조치(safeguarding)**
 - 설계상의 대책을 활용해서 위험을 충분히 제거하거나 위험성을 충분히 감소시키지 못하는 경우 안전 장치를 활용하여 작업자를 보호하기 위한 보호 대책
 - 안전 장치: 방호벽 및 보호 장치
 - Protective measure using safeguards to protect persons from the hazards which cannot reasonably be eliminated or from the risks which cannot be sufficiently reduced by inherently safe design measures
 - Safeguard: guard or protective device

위험성 감소 (Risk Reduction) 방법

- **추가적 보호조치 (complementary protective measure)**
 - 위험성 감소 달성을 목적으로 수행하는 추가적 조치
 - 설계자 (설계상의 대책, 안전 장치 및 보조적 보호 대책, 사용 정보)
 - 사용자 (조직적 대책, 안전 작업 절차, 감독, 작업 허가 체계, 부수적 안전 장치 제공 및 활용, 작업자별 보호 장치 활용, 교육)
 - Measure intended to achieve risk reduction
 - By the designer (inherently safe design, safeguarding and complementary protective measures, information for use) and
 - By the user (organization: safe work procedures, supervision, permit-to-work systems; provision and use of additional safeguards; use of personal protective equipment; training)
- **사용 정보 (information for use)**
 - 전달 매체(문서, 단어, 표시, 기호, 신호, 선도 등)로 구성되는 보호 대책으로서, 개별 또는 조합으로 사용되어 사용자에게 정보를 전달
 - protective measure consisting of communication links (e.g. texts, words, signs, signals, symbols, diagrams) used separately or in combination, to convey information to the user

설계 상의 대책 (Inherent Safe Design)

- 기하학적 요인 및 물리적 측면 검토
- 기계 설계 관련 일반적 기술 지식(응력, 재료, 배출 등)에 대한 고려
- 적합한 기술의 선택
- 부품 간의 포지티브 기계 작용 원리 활용
- 안정성 (stability) 확보
- 보전성 (maintainability) 규정
- 인간 공학적 원리 (ergonomic principles) 준수
- 전기 위험의 예방
- 공압 및 유압 장치의 위험 예방
- 제어 장치에 적용되는 설계상의 대책 (ISO 13849-1)
- 안전 기능 고장 확률의 최소화
- 장치의 신뢰도를 통한 위험 노출 제한
- 적재(공급) 또는 하역(제거)의 기계화 또는 자동화를 통한 위험 노출 제한
- 설정 및 정비 위치를 위험 영역 밖에 설치함에 따른 위험 노출 감소

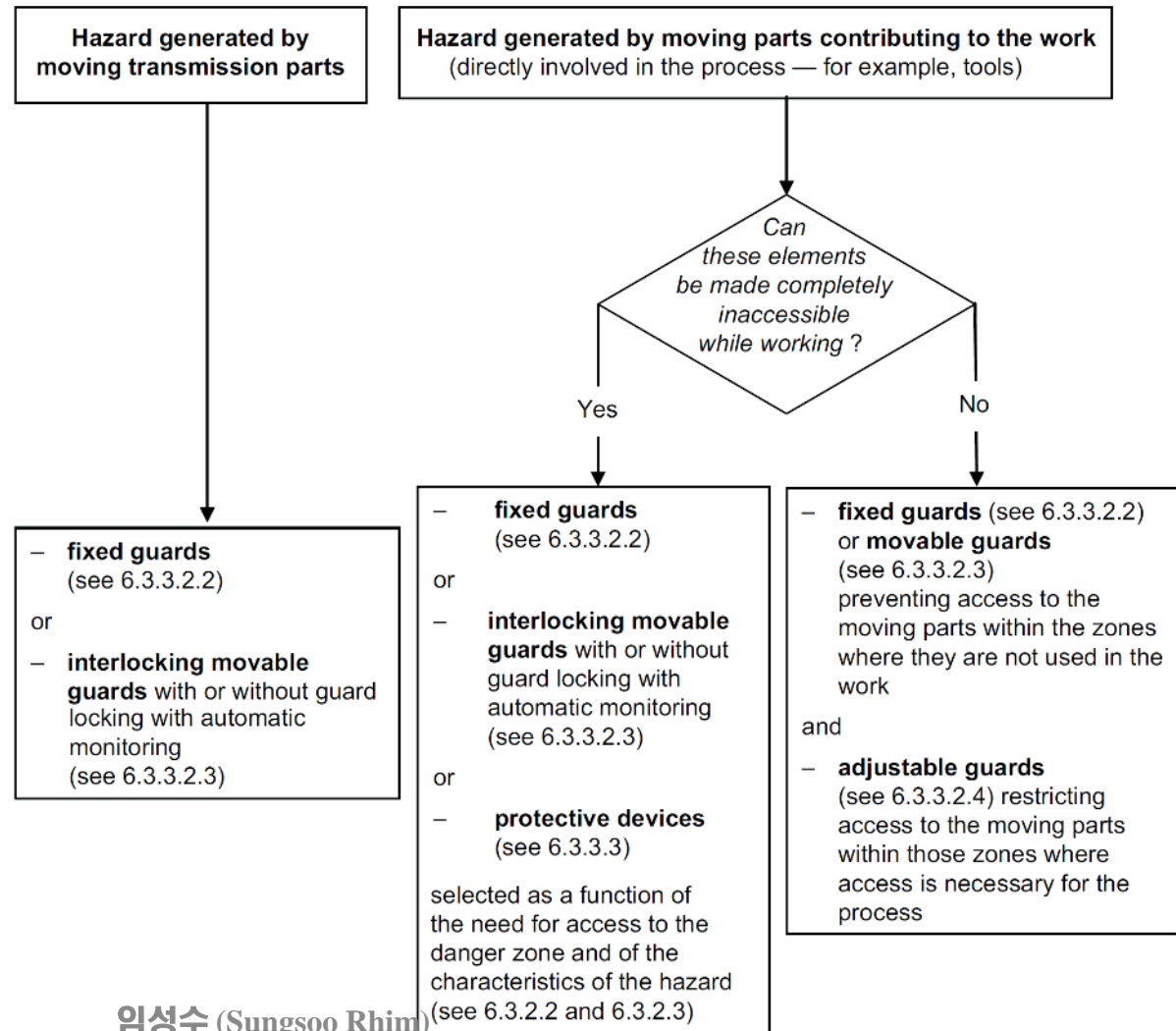
안전 장치 (Safeguards) 및 보충적 보호 대책

- 방호벽(guard) 및 보호 장치 (protective device) 선정 및 적용 가이드라인
 - 보호 장치는 방호벽을 제외한 일체의 안전 장치를 지칭
- 방호벽 및 보호 장치 설계 요구 조건
 - 고정식 방호벽, 이동식 방호벽, 조절식 방호벽, 연동식 방호벽
- 분산(emission)을 줄이기 위한 안전 장치
 - 소음, 진동, 위험 물질, 방사
- 보충적 보호 대책 (complementary protective measure)
 - 비상 정지 기능을 달성하기 위한 구성품 및 요소
 - 트랩된 조작자 구출 및 탈출 대책
 - 분리 및 에너지 소산 대책
 - 기계 및 중량이 무거운 부품을 쉽고 안전하게 취급하기 위한 준비
 - 기계에 안전하게 접근하기 위한 대책

안전 장치 (Safeguards) 선택 기준

- Fixed Guards
- Protective devices
- Interlocking movable guards
- Adjustable guards

Figure 4 - Guidelines for choosing safeguards against hazards generated by moving parts (ISO 12100:2010)

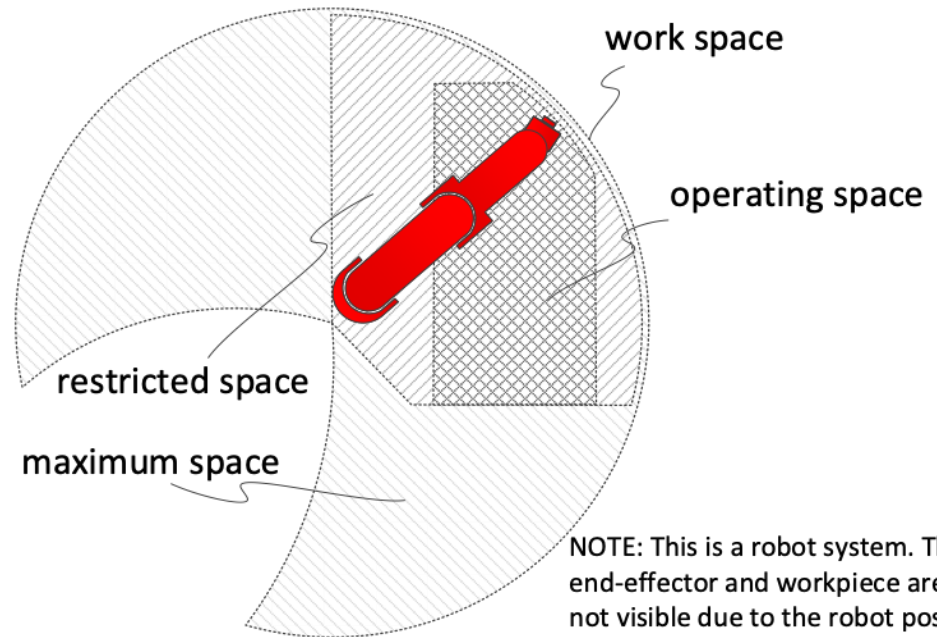


영역 설계 (Space Design)

- The space shall be designed so human tasks can be performed from outside the safeguarded space.
- If it is necessary for the human to perform tasks within the safeguarded space there shall be safe and adequate access to the task locations.
- Access paths and means shall not expose operators to hazards, including slipping, tripping and falling hazards.
- The frequency and the ergonomic aspects of the task shall be considered.

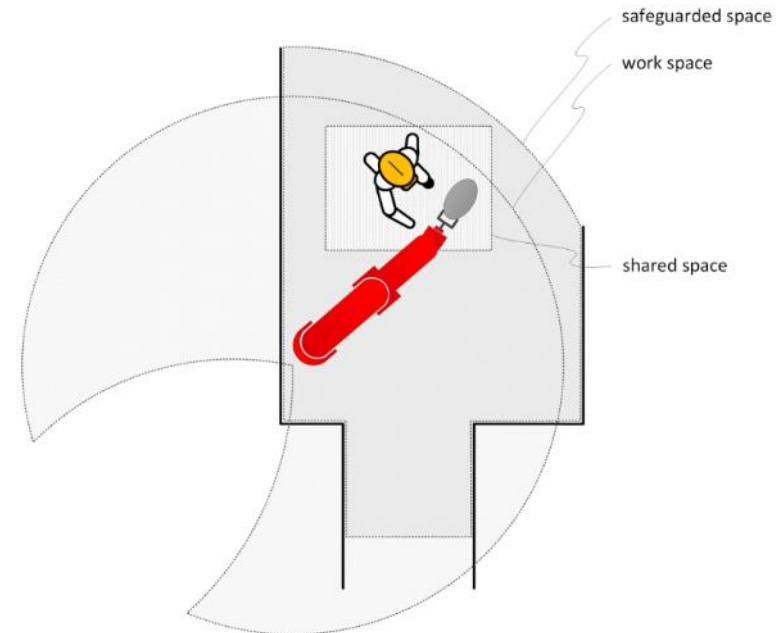
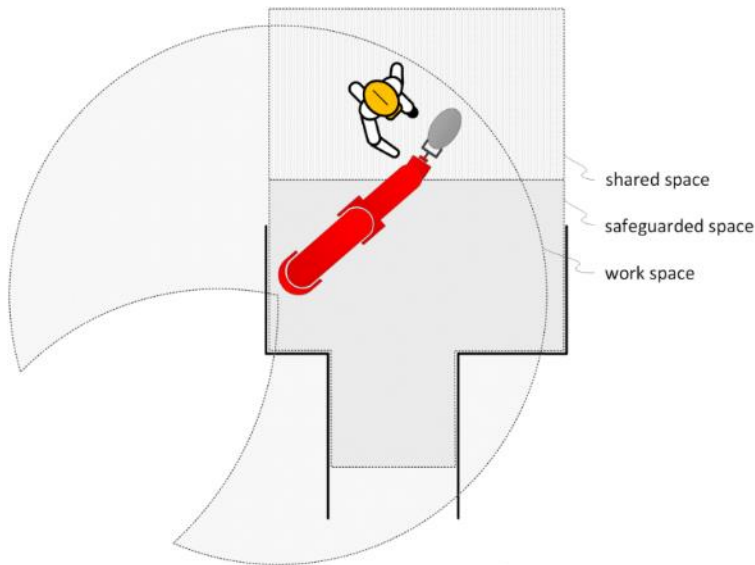
영역(Space)

- **최대영역(maximum space, work space):** 로봇의 움직이는 부위가 지나가는 영역
- **제한영역(restricted space):** 최대 영역의 일부로, 초과할 수 없도록 제한을 설정한 제한 장치(limiting devices)에 의해 제한되는 영역
- **운전영역(operating space):** 제한 영역의 일부로, 작업 프로그램에 의한 모든 동작을 수행하기 위하여 실제로 사용되는 영역
- **보호영역 (safeguarded space):** 주변 안전 보호 장치에 의해 정의된 영역
- **공유영역 (shared space):** 로봇과 작업자가 공유하는 영역

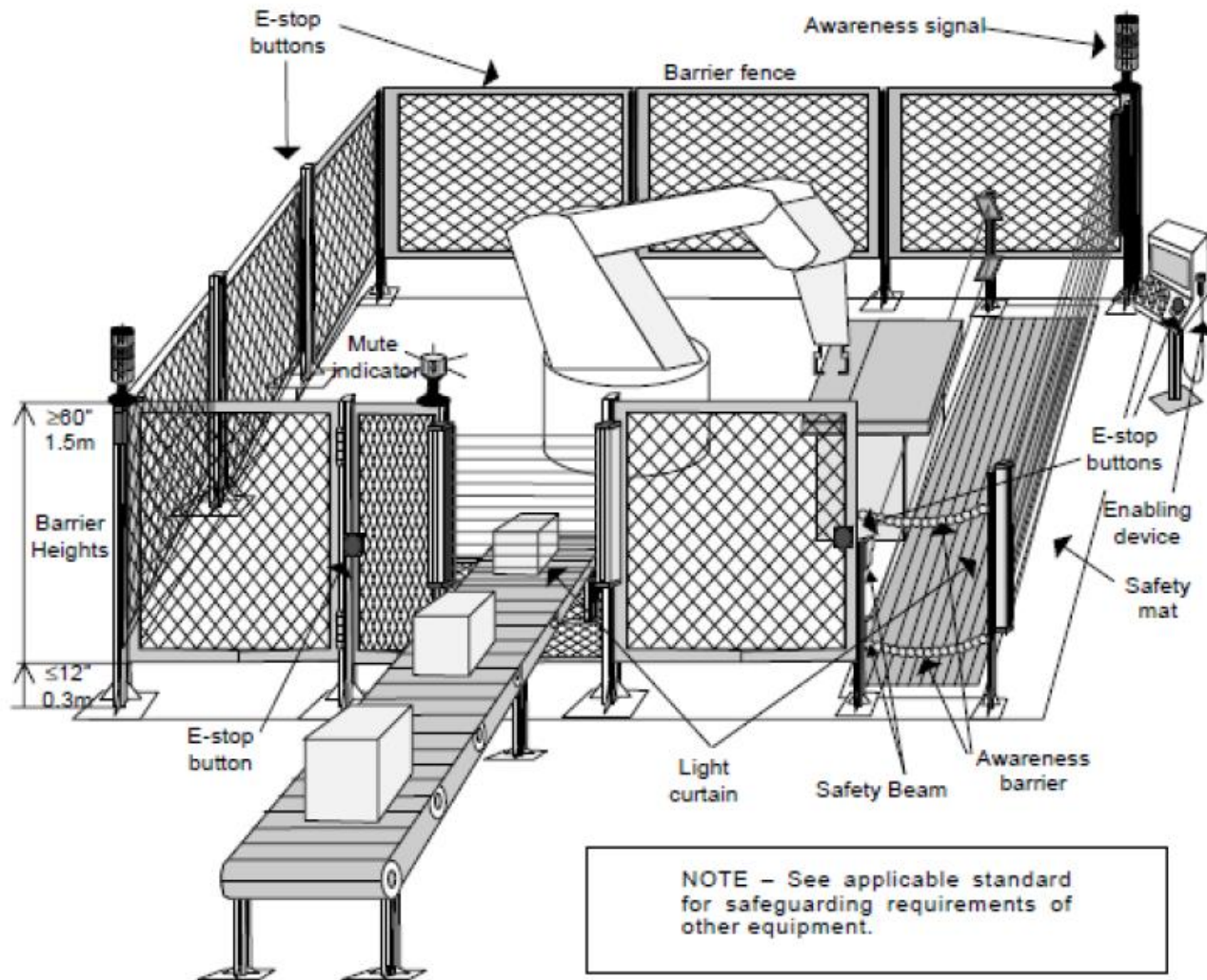


영역(Space)

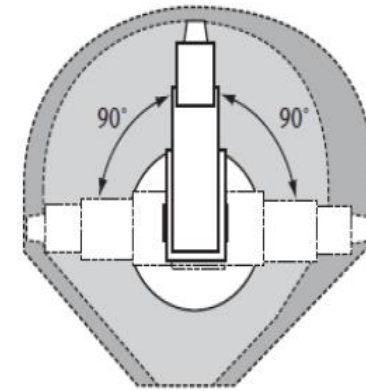
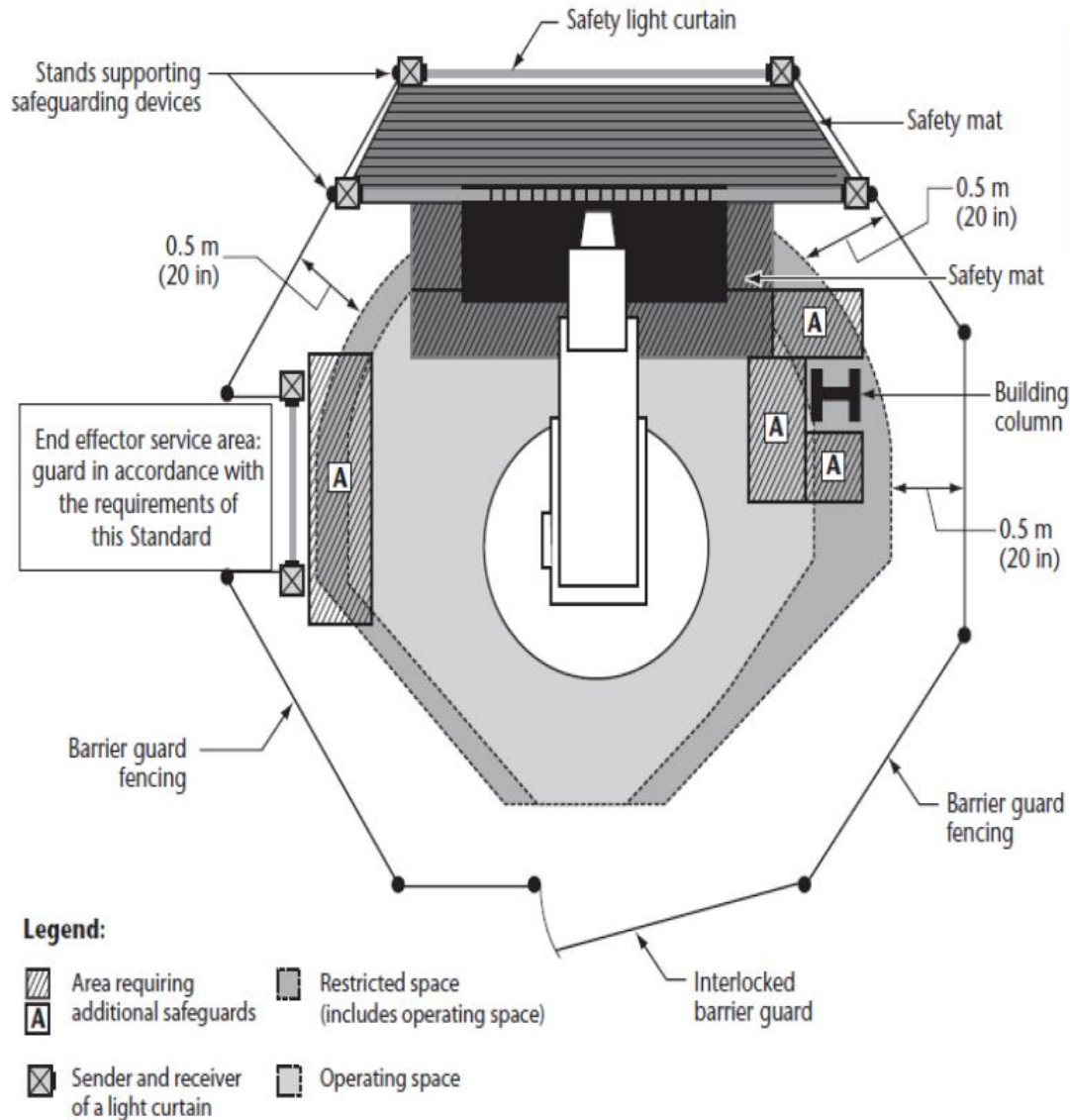
- **최대영역(maximum space, work space):** 로봇의 움직이는 부위가 지나가는 영역
- **제한영역(restricted space):** 최대 영역의 일부로, 초과할 수 없도록 제한을 설정한 제한 장치(limiting devices) 에 의해 제한되는 영역
- **운전영역(operating space):** 제한 영역의 일부로, 작업 프로그램에 의한 모든 동작을 수행하기 위하여 실제로 사용되는 영역
- **보호영역 (safeguarded space):** 주변 안전 보호 장치에 의해 정의된 영역
- **공유영역 (shared space):** 로봇과 작업자가 공유하는 영역



안전장치와 보호영역 (Safeguarded Space) 사례



안전장치와 보호영역 (Safeguarded Space) 사례



Robot Range of Movement

Practical Application of Robot Safety - RIA

Safeguards 요구조건

- ISO 13855:2010 Safety of machinery — Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body

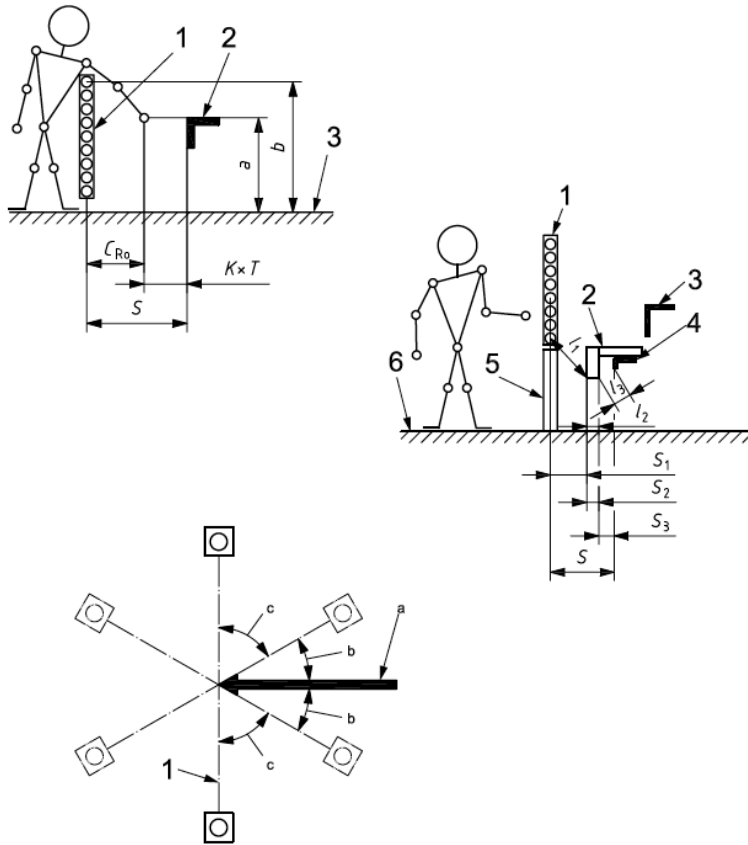


Table 1 — Reaching over the vertical detection zone of electro-sensitive protective equipment

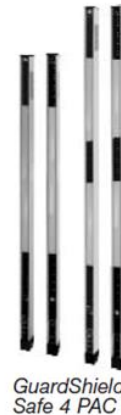
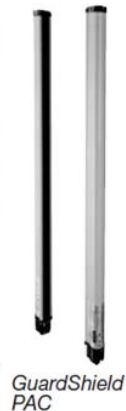
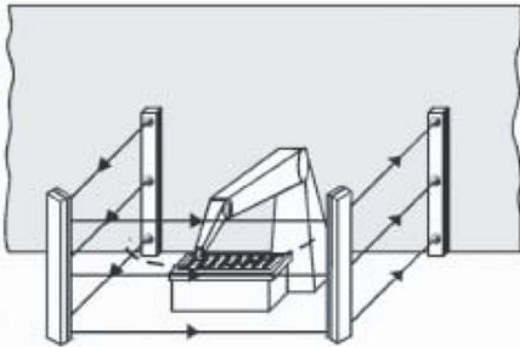
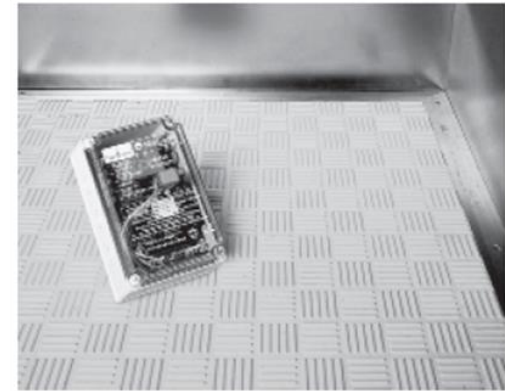
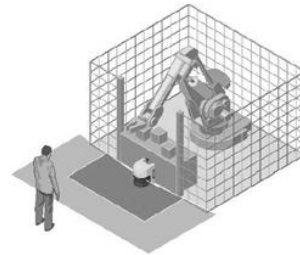
Dimensions in millimetres

Height of hazard zone <i>a</i>	Height of upper edge of the detection zone of the electro-sensitive protective equipment <i>b</i>											
	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600
	Additional distance to hazard zone <i>C_{RO}</i>											
2 600*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2 400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2 200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2 000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1 800	1 100	1 100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1 600	1 150	1 150	1 100	1 000	900	850	750	450	0	0	0	0
1 400	1 200	1 200	1 100	1 000	900	850	650	0	0	0	0	0
1 200	1 200	1 200	1 100	1 000	850	800	0	0	0	0	0	0
1 000	1 200	1 150	1 050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1 150	1 050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1 050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

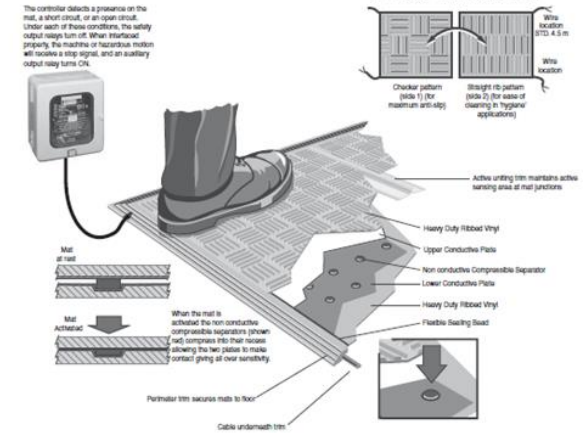
When a value of zero is given, the calculation of the minimum distance, *S*, should be made in accordance with 6.2 to 6.4.

안전장치 예

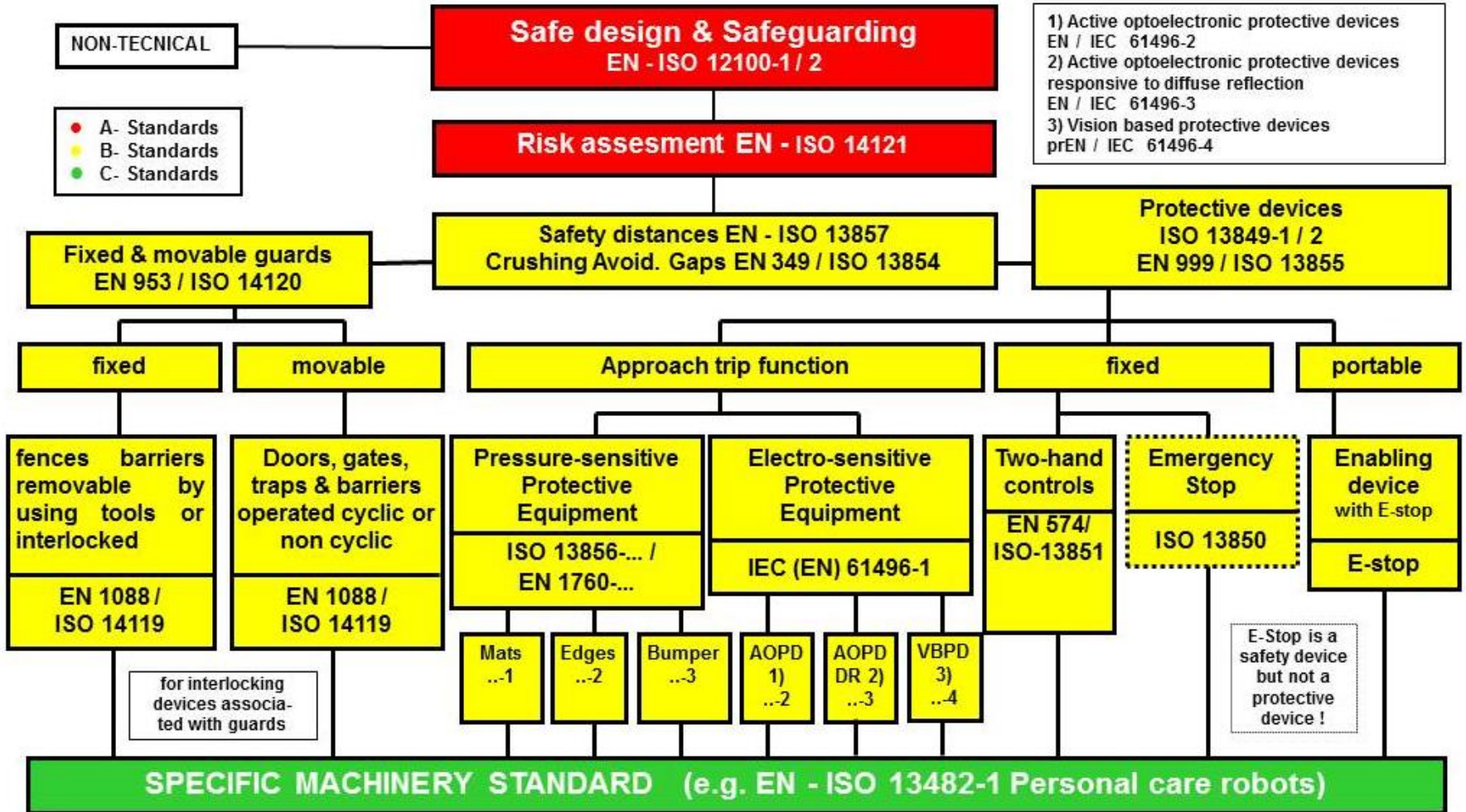
- Light Curtains
- Safety Mats
- Perimeter/Edge Guards
- Single Beam Lasers
- Laser Scanners
- Protective Robot Skin
- Camera-based Safety Sensors



Anatomy of a Mat System



안전장치(Safeguards) 관련 A, B, C Type 표준



Sourced from Otto Görnemann © SICK

안전관련 제어시스템(Safety-related Parts of Control System)

위험성 감소



Risk without Protective Measures

Risk without Safety-related Control

Risk with Safety-related Control

Acceptable Risk

Safety-related Control System
사용



- **Safety-related Control** : A control system in a machine should be regarded as being safety-related if it contributes to reducing any risk to an acceptable level or if it is required to function correctly to maintain or achieve safety.
- SRP/CS (Safety-related Parts of Control System)

안전기능(Safety Function) 예

- Safety related stop function initiated by safeguard
- Local control function
- Hold to run
- Enabling device
- Muting function
- Prevention of unexpected start up
- Control modes and mode selection
- Emergency stop

안전기능(Safety Function)

ISO 10218-1 revision draft

Name	Mandatory OR Conditional Mandatory OR Optional	Possible Triggering Event	Intended Result
Position holding	Conditional (does not require a safety function) Mandatory	a) Robot is at a stop condition, then power is removed from actuators b) Joint speed zero	a) Robot is at a stop condition, then power is removed from actuators b) Joint speed zero
Auxiliary axis (axes) speed limit monitoring	Conditional Mandatory	Robot speed exceeds monitored speed parameter	Protective stop if speed parameter (limit) is exceeded
Emergency stop	Mandatory	Manual actuation of an emergency stop device	Cease of all hazardous machine functions. May be Stop Category 0 or 1
Protective stop	Mandatory	Actuation of a related protective device (e.g., body passes through ESPE, opening an interlocked guard)	Ceasing of all hazardous machine functions intended to be controlled by the protective device. May be Stop Category 0, 1, 2
Safety-rated monitored standstill	Optional, except Mandatory for: <ul style="list-style-type: none"> • PFL robots, • Hand-guided robots 	Triggering of a category 2 stop either by a protective device, manual command, the program, safety function	SS2 as defined in IEC 61800-5-2 where the robot stops and the position is monitored
<Speed limiting> reduced speed when in manual mode	Mandatory	Selecting manual mode	Speed shall not exceed the set value Limit to be no greater than 250mm/sec

안전기능(Safety Function) – 정지 (Stop Function)

	Emergency Stop 비상 정지	Protective Stop 보호 정지
개시	수동	자동 또는 수동
위치	운전자가 신속하고, 방해 없이 접근이 가능한 곳	위험성 평가에 따라
리셋	수동에 의해서	수동 또는 자동
사용 빈도	비상 시에만	매 작업주기 ~ 가끔
결과	모든 위험요소에 에너지 공급 제거	보호된 위험원 제어

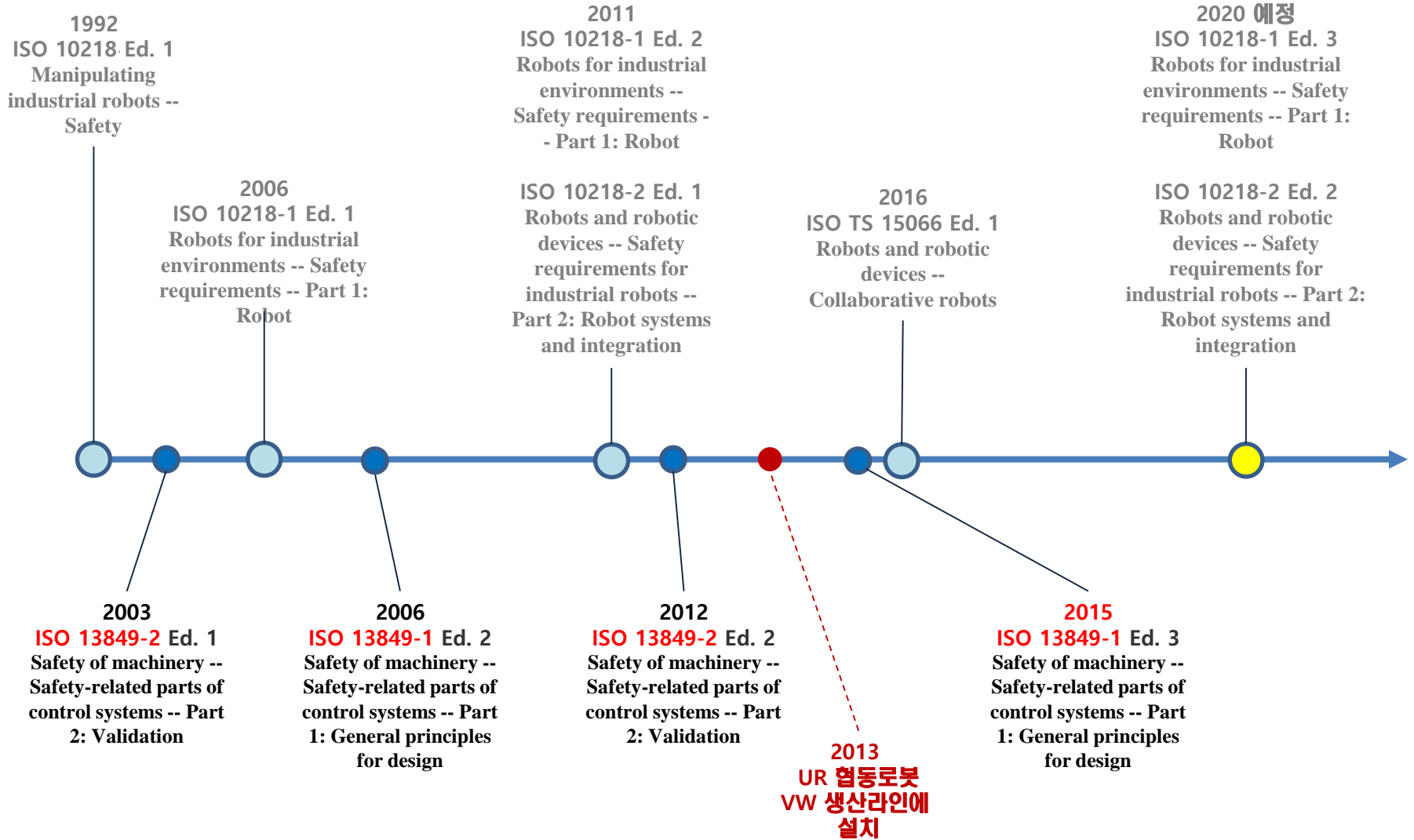
- 비상정지는 IEC 60204-1:2005에 정의된 Type 0 또는 Type 1을 채택하여야 한다.
- 보호정지는 Type 0 또는 Type 1을 채택하여야 하나, Type 2를 채택할 수 있다.
 - Type 0: 전원 off, Uncontrolled stop
 - Type 1: Controlled stop 후 전원 off
 - Type 2: Controlled stop 후에도 전원 on 유지

안전기능(Safety Function) – 기타

- 우발적 운전 방지
 - 구동제어기는 우발적 운전을 방지하기 위하여 제작 및 위치되어야 한다.
 - 예를 들어, 필요한 곳에는 보호 장치가 달려있는 푸쉬버튼 또는 키선택 스위치를 사용할 수 있다.
- 단일 제어점
 - 로봇이 지역 교시 상자 제어 또는 교시 장치 제어에 놓여있을 때, 다른 제어기로부터 로봇 동작의 기동이나 지역 제어 선택의 변화를 방지하도록 로봇 시스템을 설계 및 제작하는 것을 의미함
- 동작 모드의 선택 및 전환
 - 자동 모드, 수동 감속 모드, 수동 고속 모드
 - 동작 모드는 각 위치에서 잠기도록 하는 모드선택기에 의해 선택 될 수 있어야 함
 - 모드선택기의 각 위치는 명확하게 확인 가능해야 함
 - 하나의 제어 또는 동작 모드 만을 가능하게 해야 함

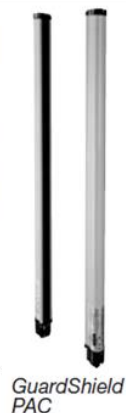
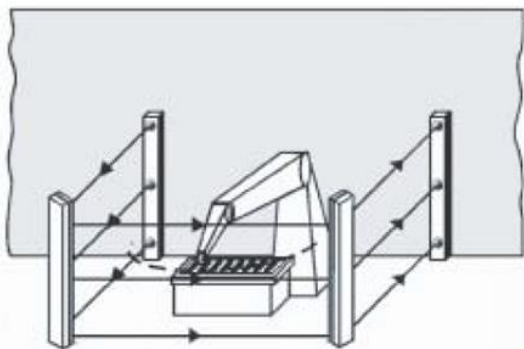
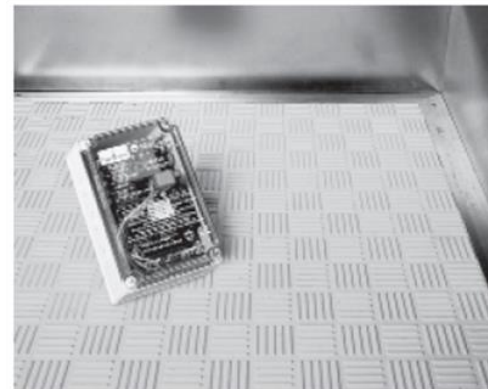
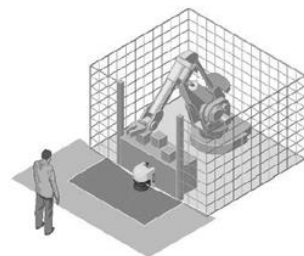
- **Performance Level (PL)** : For each selected safety function to be carried out by a SRP/CS, a required performance level (PLr) shall be determined and documented (see **ISO 13849-1** Annex A for guidance on determining PLr).
- **[ISO 10218-1]** 안전관련 제어시스템은 ISO 13849-1:2006에서 설명하는 구조 분류 (Category) 3을 갖는 성능수준(PL) "d" 또는 IEC 62061:2005에서 설명하는 **하드웨어 고장허용 1**을 갖는 안전통합수준(**SIL**) **2** 수준을 가져야 한다.
- 이것은 특히, 다음을 만족해야 하는 것을 의미한다.
 - a) 부품들의 중의 어느 하나의 고장으로 인하여 안전기능의 상실로 이어져서는 안 된다.
 - b) 합리적으로 가능한 한, 단일 고장은 안전기능과 관련한 다음 요구가 있기 전에 검색되어야 한다.
 - c) 단일 고장이 발생한 경우, 안전기능은 항상 수행되어야 하며, 검출된 고장이 고쳐질 때까지 안전한 상태가 유지되어야 한다.
 - d) 합리적으로 예측 가능한 모든 고장은 검출되어야만 한다.

ISO 13849의 변화와 ISO 10218-1,2의 변화 관계



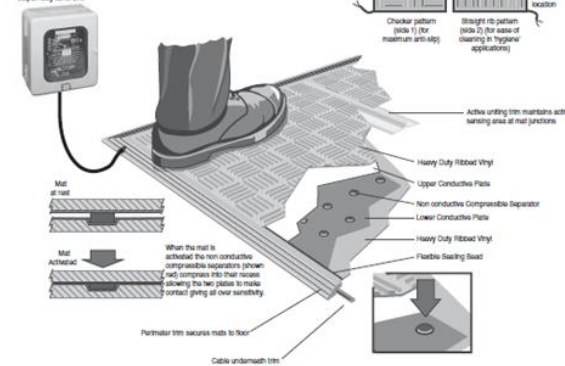
SRP/CS 사례

- Light Curtains
- Safety Mats
- Perimeter/Edge Guards
- Single Beam Lasers
- Laser Scanners
- Protective Robot Skin
- Camera-based Safety Sensors



Anatomy of a Mat System

The controller detects a presence on the mat, a short circuit, or an open circuit. Under each of these conditions, the safety output relay turns off. When hardware properly, the machine or hazardous motion will receive a stop signal, and an auxiliary output relay turns ON.



Speed and Separation Monitoring Operation



Laser Scanner



Intrusion detection with vertical installation



Safety zone can be selected

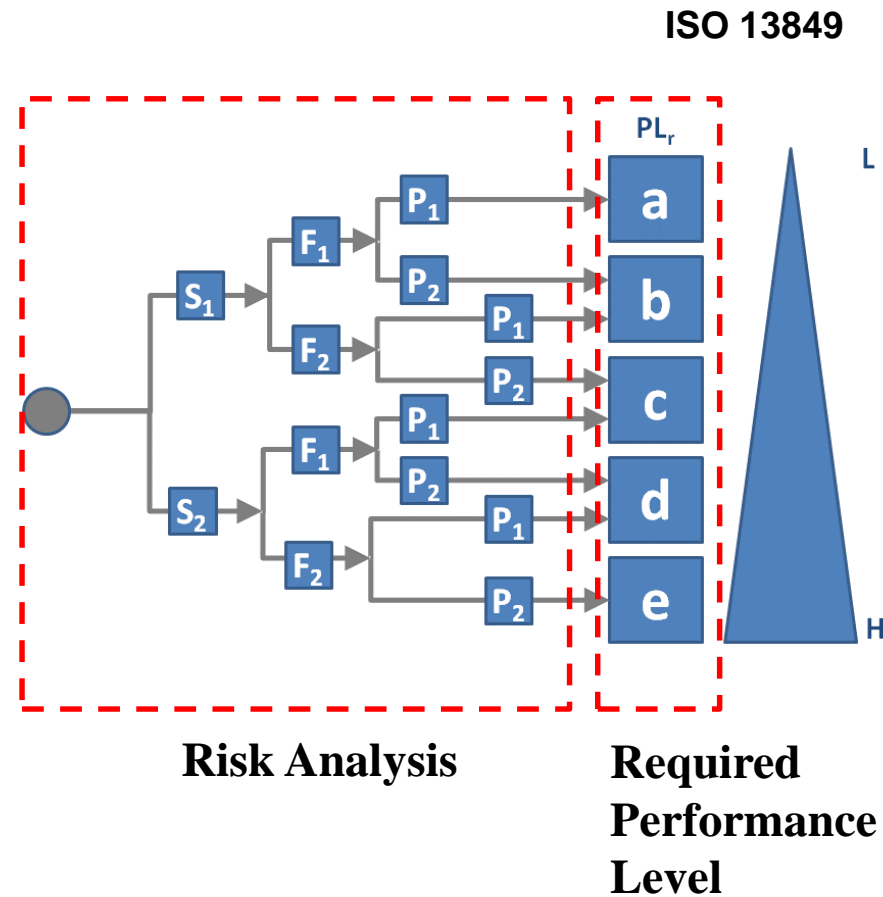
Sensor Type	Type 3 Safety Laser Scanner
Safety Category	PLd/Safety Category 3 (ISO 13849-1)
Detection Capability	Configurable; Non-transparent with a diameter of 30, 40, 50, 70mm (1.8% reflectivity or greater) (default: 70 mm)
Operating Range	Safety Zone: 1.75 m (min. obj. resolution of 30 mm) 2.5 m (min. obj. resolution of 40 mm) 3.0 m (min. obj. resolution of 50 mm or 70 mm) Warning Zone: 10.0 m
Maximum Measurement Error	100 mm (at range of 3 m or less) *1 110 mm (at distance greater than 3 m and up to 4m) *1
Detection Angle	270°
Angular Resolution	0.4°
Laser Scan Plane Height	67mm from the bottom of the scanner (see "External Dimensional Drawings" on Catalog for more detail.)
Response Time	Response time from ON to OFF: From 80 ms (2 scans) to 680 ms (up to 17 scans) *8 Response time from OFF to ON: Response time from ON to OFF + 100 ms to 60 s (Configurable)
Safety Output (OSSD)	PNP transistor x 2, load current of 250 mA max., residual voltage of 2 V max., load capacity of 2.2 µf max., leak current of 1 mA max. *3, *4, *5
Approvals	Certificated by: TÜV Rheinland, UL Standards: EN61496-1 (Type 3 ESPE), EN61496-3 (Type 3 AOPDDR), EN61508 (SIL2), IEC61496-1 (Type 3 ESPE), IEC61496-3 (Type 3 AOPDDR), IEC61508 (SIL2), UL508, UL1998, CAN/CSA-C22.2 No. 14, CAN/CSA-C22.2 No. 0.8

기능안전성 (Functional Safety)

- Functional Safety: Requirement on reliability of safety related functions necessary to sustain or fulfill the required safety.
- Hardware requirement
- Software requirement

PLr (Required Performance Level) 결정 방법

- **Severity of Injury.**
 - S1 Slight injury, (bruise).
 - S2 Severe injury, (Amputation or death).
- **Frequency of exposure to injury.**
 - F1 Seldom.
 - F2 Frequent to continuous (Frequent to continuous are not defined in the standard).
- **Possibility of avoiding the hazard.**
 - P1 Possible.
 - P2 Less possible.



NOTE: ISO 10218-1,2 에서는 이미 이러한 방법으로 PL d 조건이 필요하다고 결정

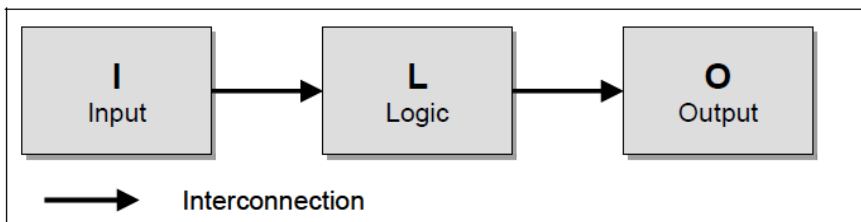
SRP/CS의 PL 계산 관련 기본 개념

- **MTTFd (Mean time to dangerous failure)** : The MTTF assumes the fact that every system will fail if you just wait long enough.
- **DC (Diagnostic Coverage)** : Fractional decrease in the probability of dangerous hardware failures, resulting from the use of automatic diagnostic tests.
- **PFHd (Average Probability of Dangerous Failure per Hour)**

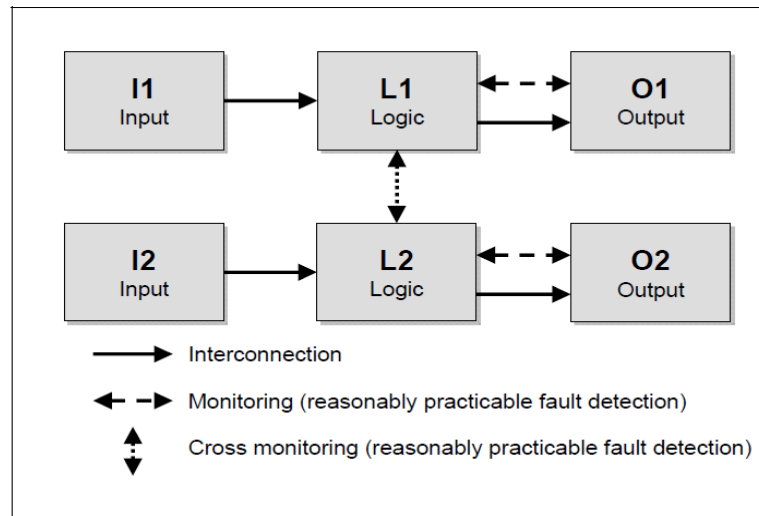
ISO 13849-1 및 IEC 61496-1에서 규정하는 PL(Performance Level) 조건 표

Performance Level (PL)	시간당 위험한 오류 발생 확률 (PFHd) 1/h	
a	$\geq 10^{-5}$ and $< 10^{-4}$	<0.001% to 0.01%>
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ and $< 10^{-5}$	<0.0003% to 0.001%>
c	$\geq 10^{-6}$ and $< 3 \times 10^{-6}$	<0.0001% to 0.0003%>
d	$\geq 10^{-7}$ and $< 10^{-6}$	<0.00001% to 0.0001%>
e	$\geq 10^{-8}$ and $< 10^{-7}$	<0.000001% to 0.00001%>

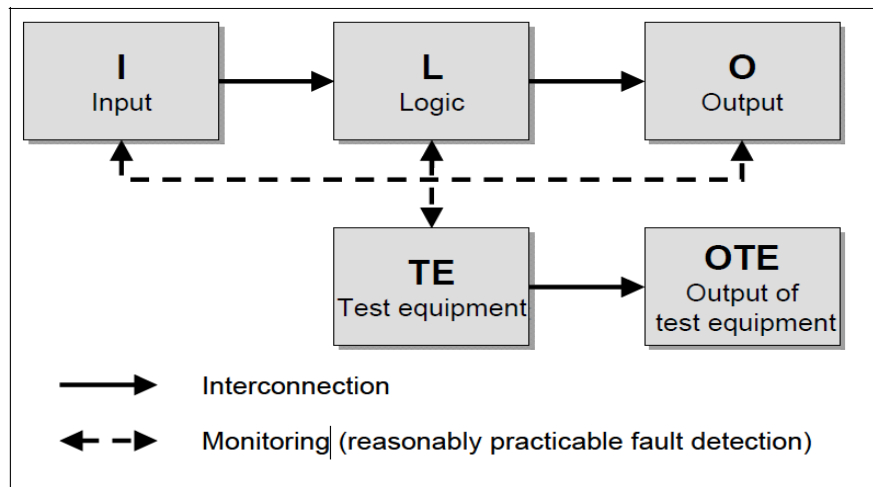
SRP/CS의 PL 계산 관련 기본 개념 - Category Structure



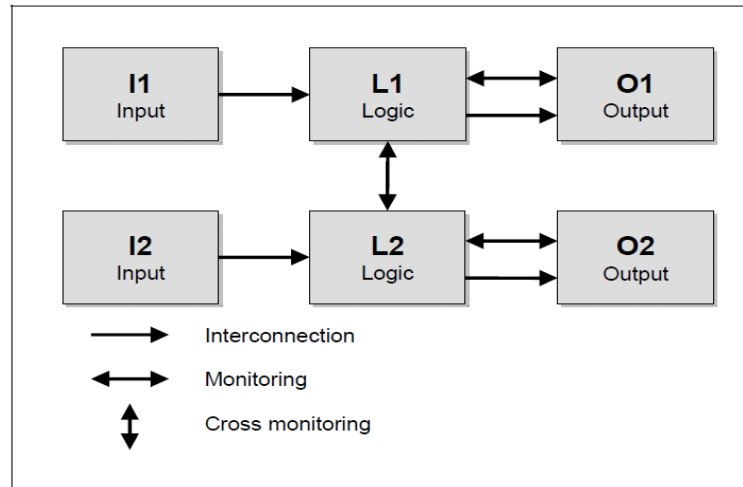
Cat B & Cat 1



Cat 3



Cat 2



Cat 4

PL 합성 - Connecting Safety-related Devices

- PL d, Cat 3 requirement
- Safety-rated controller

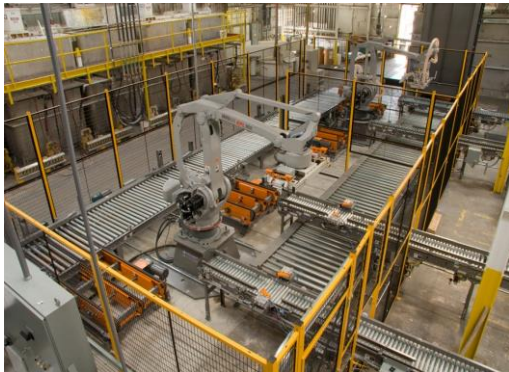


협동작업관련 안전요구 조건

협동형 로봇 등장 of 시사점

공간분리형 로봇 활용 (기존)

- 인간과 로봇의 작업공간 분리(원칙적 접촉차단)를 위해 공간 확보 필요
- 기존 생산/작업 라인에 추가 어려움
- 공간분리를 전제로 한 기능활용 한계



로봇기술/
방호기술
발전

공간공유형 로봇 활용 (협동 로봇)

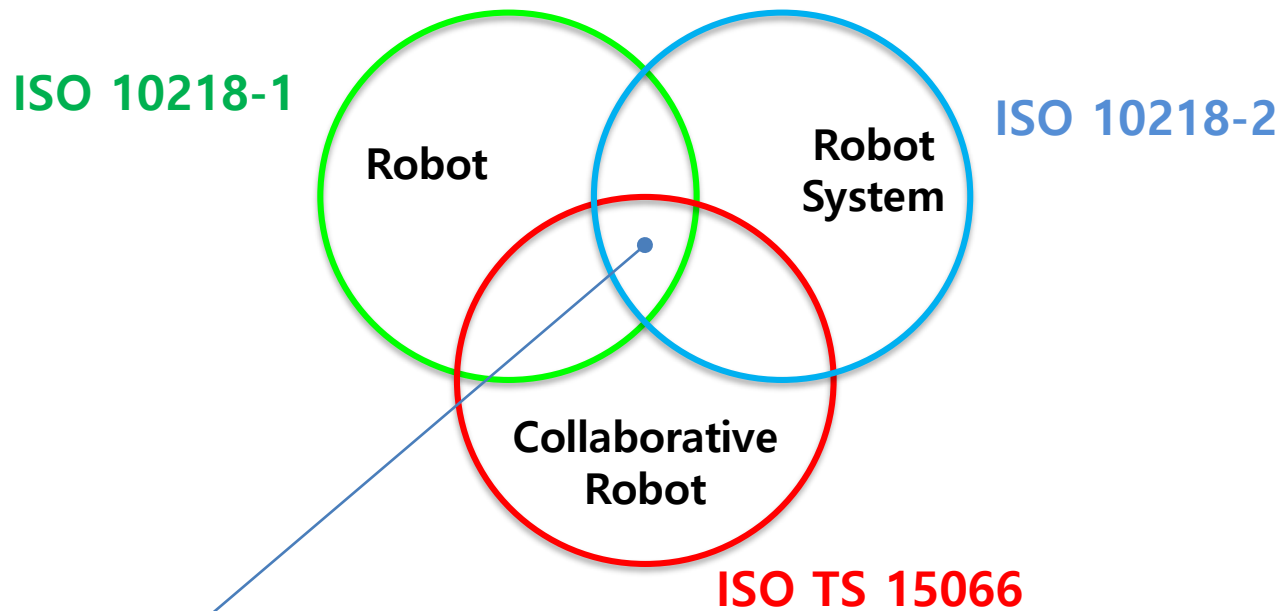
- 인간과 로봇이 작업공간을 공유
- 협동작업으로 인한 생산성 향상
- 기존 생산/작업 라인에 추가 편리 (새로운 활용 가능성)



협동작업(Collaborative Operation)용 로봇에 대한 새로운 안전 표준, 법규, 기준 마련 필요

협동로봇 관련 국제표준 현황

- Industrial Robot에 적용되는 표준: ISO 10218-1,2 & ISO TS 15066
- ISO TS 15066은 "협동로봇+협동로봇 시스템"에 대한 표준



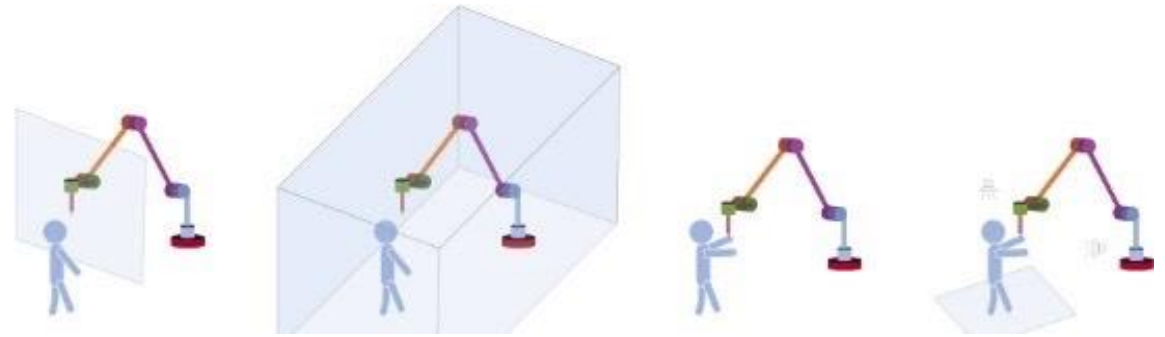
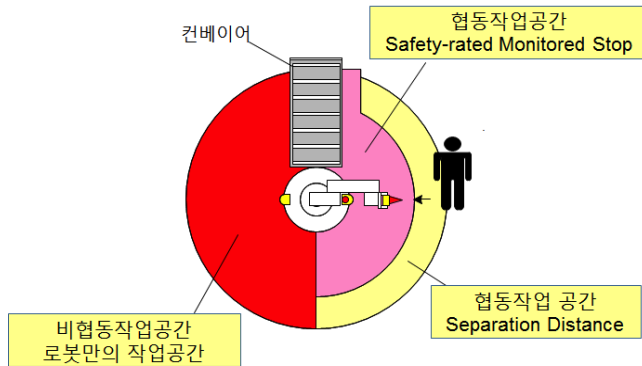
ISO 13849-1

- 기능안전성(Functional Safety) 요구조건 PL d

ISO TS 15066 제정

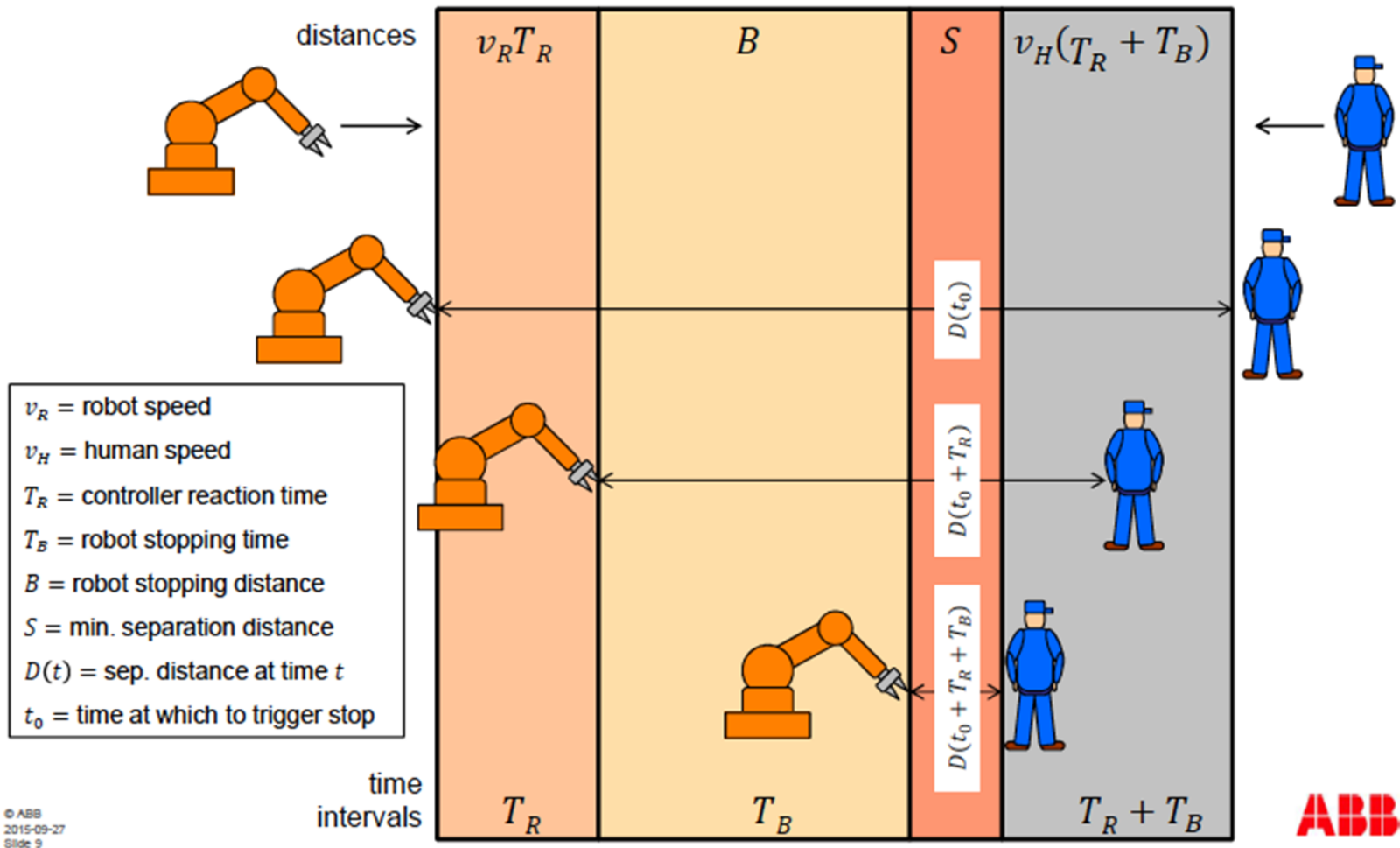
- **ISO TS 15066**
Robots and robotic devices — Safety requirements for Industrial robots —
Collaborative operation
 - Publication is in 02/15/2016
- **Collaborative operation에 대해서 기존 ISO 10218-1,2 보다 상세한 안전 조건**
 - Collaborative operation 관련 ISO 1021-1,2 보완
- **Power & force limit**
 - Biomechanical Limit (로봇과 인간의 정적/동적 접촉시 허용물리력 임계치 기준 제시)
- **Workspace 설계 및 작업 모드 간 전환에 대한 상세한 규정**

협동작업별 Risk Reduction 방법

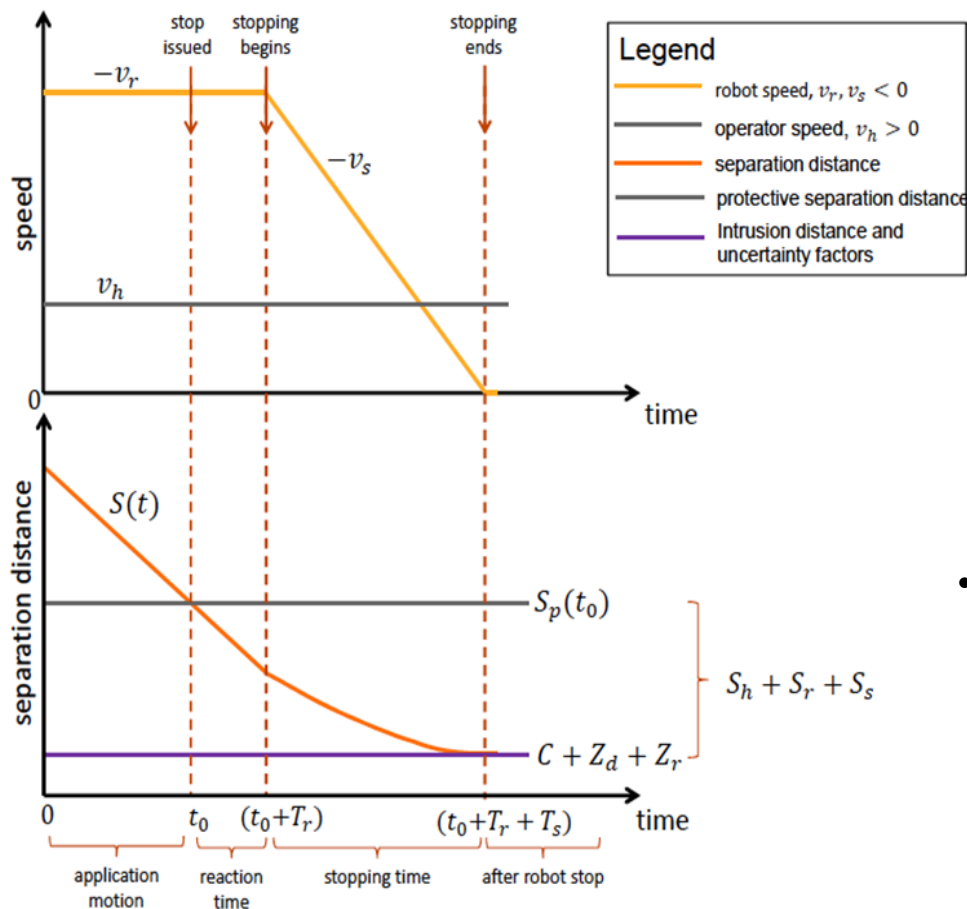


협동작업 종류	위험성 감소 방법	필요한 센서 또는 방호장치
안전정격 감시 정지 (Safety-rated monitored stop)	사람이 협동작업영역에 존재할 경우 로봇은 움직이지 않는다.	사람이 협동작업영역에 진입했는지, 잔류하는지를 감지할 수 있는
핸드가이딩 (교시작업, Hand guiding)	로봇은 사람으로 (접촉을 통해) 직접적으로 주어지는 입력에 따라서만 움직인다.	사람이 협동로봇의 말단부를 잡고 있는지 여부를 검출할 수 있는 스위치
속도 및 이격거리 감시 (Speed and separation monitoring)	로봇과 사람사이의 간격이 안전거리 이상인 경우에만 로봇이 움직인다.	사람과 로봇사이의 거리와 사람과 로봇사이의 상대속도를 감지할 수 있는 센서
일률 및 힘 제한 (Power and force limiting by inherent design or control)	로봇과 사람이 접촉하는 경우, 로봇은 사람에게 제한된 크기의 정적, 동적 힘만을 전달한다.	사람과 로봇 사이의 접촉력을 감지할 수 있는 센서

Speed and Separation Monitoring Operation



Speed and Separation Monitoring Operation



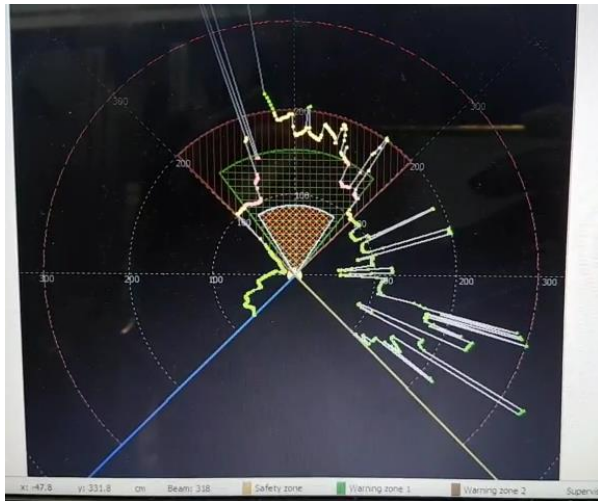
Minimum Safety Distance

$$S_p(t_0) = S_h + S_r + S_s + C + Z_d + Z_r$$

- 보호정지는 Type 0 또는 Type 1을 채택하여야 하나, Type 2를 채택할 수 있다.
 - Type 0: 전원 off, Uncontrolled stop
 - Type 1: Controlled stop 후 전원 off
 - **Type 2: Controlled stop 후에도 전원 on 유지**

Speed and Separation Monitoring Operation

- 협동운전용 산업용 로봇에 사용될 수 있는 최신방호 장치 일부의 유효성 평가 실험 수행
- 안전 레이저 스캐너 등의 일부 센서를 구입하여 협동운전 로봇 적용성에 대한 평가.



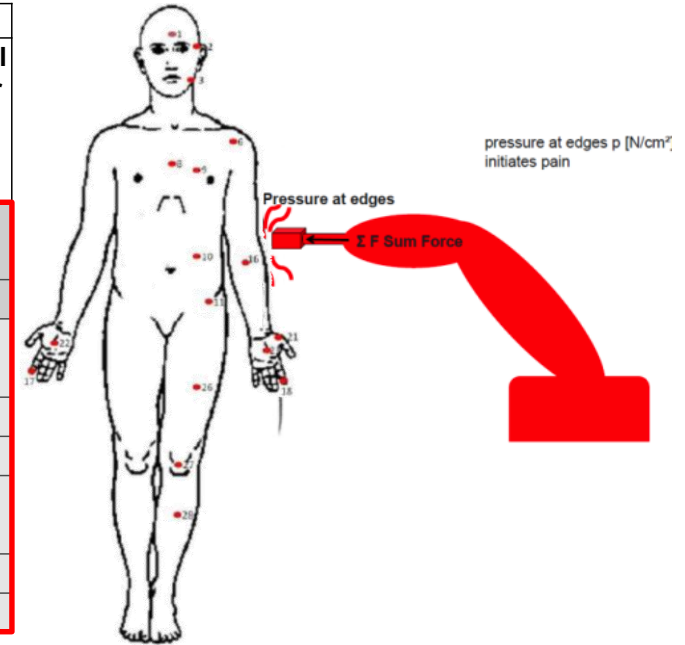
협동작업 관련 안전기능(Safety Function) 예

Name	Mandatory OR Optional	Triggering Event	Intended Result
Speed and separation monitoring	Mandatory for robots claiming SSM safety functions/ capabilities	Position of the human relative to the robot is such that the robot will not be able to stop before coming in contact with the human	<p>a) change robot speed (e.g. down to speed zero) and/or</p> <p>b) changing pose(s) and/or trajectory of the robot.</p> <p>If the minimum separation distance cannot be achieved, then a protective stop is performed.</p>
Safety-rated monitored force limit	Mandatory for PFL robots with safety functions	Force exceeds the set limit(s)	<p>One or more of the following:</p> <p>a) Protective Stop (only for transient contact)</p> <p>b) Stop the robot, then move to a position where the limit is not exceeded. Then a safety-rated monitored standstill.</p> <p>c) Stop the robot, hold position. Then the robot automatically goes into a force and torque-free state</p>

Power and Force Limit Operation – 생체역학적 한계

ISO TS 15066 Annex - 29개 신체부위별 힘/압력 한계치

Body Region	Specific Body Area		Quasi-Static Contact		Transient Contact	
			Maximum Allowable Pressure P_s [N/cm ²]	Maximum Allowable Force [N]	Maximum Allowable Pressure Multiplier P_T	Maximum Allowable Force Multiplier F_T
Skull and forehead	1	Middle of forehead	125	130	N/A	N/A
	2	Temple	112		N/A	N/A
Face	3	Masticatory muscle	110	65	N/A	N/A
Neck	4	Neck muscle	138	145	2	2
	5	Seventh neck muscle	205		2	2
Back and shoulders	6	Shoulder joint	P_s	F_s	2	2
	7	Fifth lumbar vertebra	213		2	2
Chest	8	Sternum	116	140	2	2
	9	Pectoral muscle	166		2	2
Abdomen	10	Abdominal muscle	143	110	2	2
Pelvis	11	Pelvic bone	209	180	2	2



표준지수 : 힘 & 압력

$$F_{dynamic} = F_{static} \times \lambda$$

$$P_{dynamic} = P_{static} \times \lambda$$

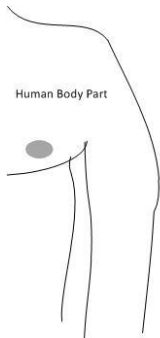
ISO TS 15066 – 생체역학적 한계 (Pain VS Injury)

독일, DGUV

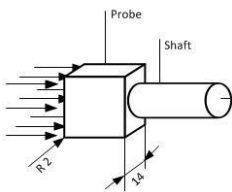


Bild: IFA

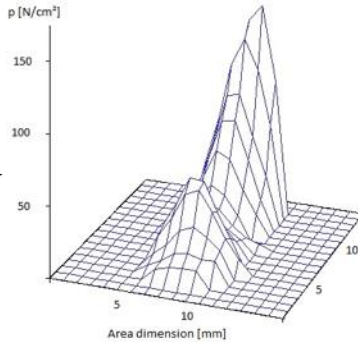
한국, 경희대 공대+의대



Measurement of Pressure spread [N/cm²]



Measurement of Z Force [N]



Static Pressure/Force



Touch (sensation)

Pain threshold

Pain threshold

Low-level injury

Low-level injury

"S1" reversible injury

"S1" reversible injury

"S2" irreversible injury

"S2" irreversible injury

Dynamic Pressure/Force

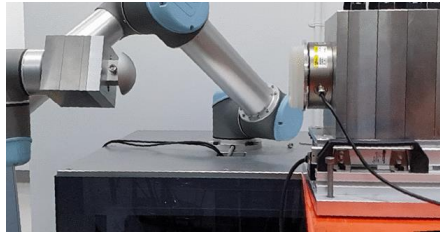


Touch

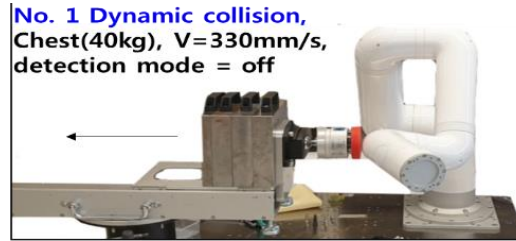
Safe

Safe

Power and Force Limit (PFL) 작업 안전성 평가 방법

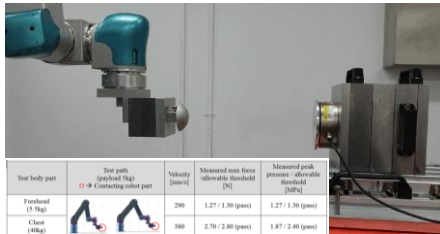


유니버설 로봇

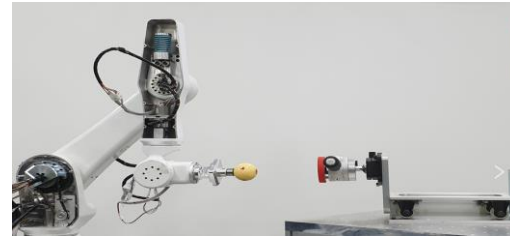


No. 1 Dynamic collision,
Chest(40kg), V=330mm/s,
detection mode = off

뉴로메카



디에스티 로봇



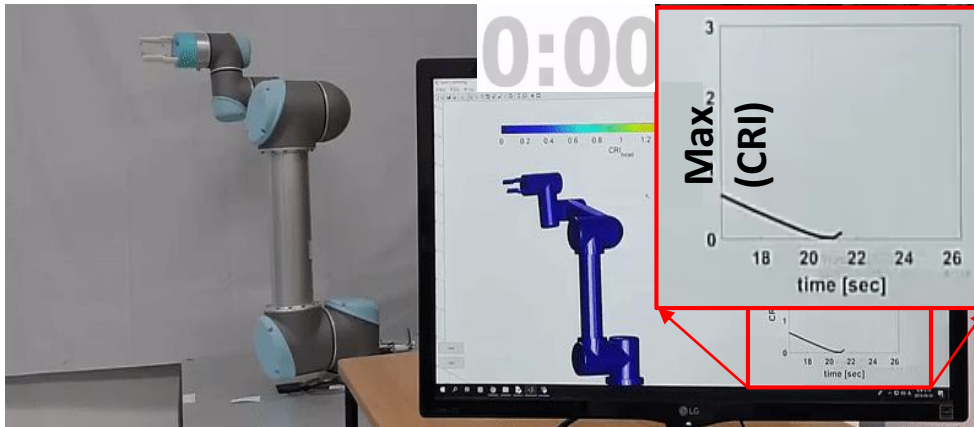
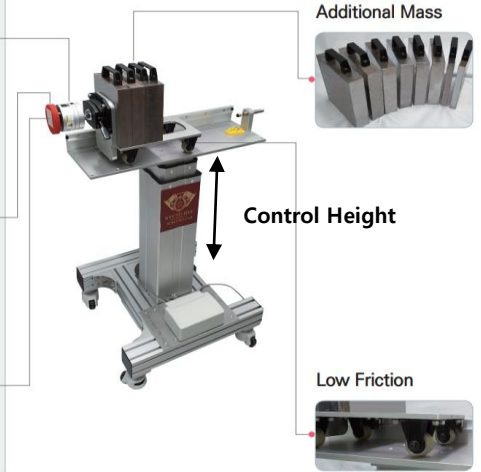
한국기계연구원

Test body part	Test path (preload flag) / Contacting robot part	Velocity [mm/s]	Measured max force allowable threshold [N]	Measured peak pressure allowable threshold [MPa]
Forehead (1.5kg)		200	1.27 / 1.30 (pass)	1.27 / 1.30 (pass)
Chin (4kg)		300	2.79 / 2.80 (pass)	1.87 / 2.00 (pass)

PF Measurement Device Sets



경희대 & SAFETICS



https://youtu.be/zRAJswWR_10

- 지능형로봇표준포럼 KOROS 1141:2019 로봇의 정적·동적 접촉 물리량 측정 및 평가 방법
- ISO 10218-2:2020에 포함될 내용과 같음.

위험성 평가 사례

위험 식별 (Risk Identification)	부품 트레이에 부품을 꽂는 작업 중 접촉	식별번호 (Risk Number)	1
표제 (Title)	부품 트레이 스테이션 접근		
위치 (Location)	부품 트레이 스테이션		
목표 (Target)	손		
활동 (Activity)	일반 운영		
작업 (Task)	부품 꽂기		
세부작업 (Sub-Task)	로봇 작업 중 사람의 미세한 간섭		
위험원 유형 (Hazard Type)	기계적 위험 (Mechanical Hazard)		
잠재적 결과 (Potential Consequence)	Crushing		
위험 상황 설명	<ul style="list-style-type: none"> 로봇이 작업물(부품)을 집어 정해진 위치(부품 트레이)에 내려 꽂는 작업을 수행하는 순간에 작업자가 잘못 놓여진 작업물의 위치를 수정하기 위해 의도적으로 손을 뻗거나, 부주의로 의도치 않게 손을 뻗어 로봇이 이송하는 작업물과 부품 트레이 사이에 손이 끼일 수 있음. 부품의 형상과 그리퍼의 형상을 고려하여 작업자 손과 접촉이 가능한 모든 로봇시스템 부위에 대해 접촉 압력과 접촉력을 측정하였고, 이 상황이 발생하여 로봇이 접촉을 감지하고 움직임을 멈추는 순간까지 측정되는 최대 접촉력과 접촉압력은 각각 300 N, 4.0 Mpa로 ISO TS 15066에 제시된 손 부위 임계치 보다 큼. 		
위험 예상과 평가 (Risk Estimation and Evaluation) – 조치 전 (Before risk reduction)			
가능한 위험의 정도 (Degree of Possible Harm)	3	회피 가능성 (Possibility of Avoidance)	1
위험 발생 가능성 (Possibility of Occurrence of Hazardous Event)	3	노출 빈도 및 지속 시간 (Frequency and/or Duration of Exposure)	4
위험 정도 (Risk Level)	3	종합 평가 (Summary Level)	High Risk

위험 감소 조치 (Risk Reduction Measure)			
<p>Case 1) 협동작업 영역으로 작업자의 접근이 가능한 모든 경로를 통해 작업자 손이 작업 영역으로 접근하는 것을 감지하기 위해 라이트 커튼(또는 레이저 스캐너 등)을 설치하여, 작업자 손이 작업영역에 들어 오는 순간 로봇의 움직임을 멈추도록 하고, 작업자 손이 협동작업 영역을 벗어나는 것이 확인(감지)되는 순간까지 로봇은 움직이지 않도록 유지함 ('안전한 감시 정지' 협동작업 모드, Safe Monitored Stop Collaboration Mode, ISO 10218-2 참조). 이 때 사용된 감지기는 PL d 수준(ISO 13849, ISO 10218-2 참조)을 만족하는 제품으로 이를 증명하는 확인서가 있음 ('안전한 감시 정지' 협동작업 모드, Safe Monitored Stop Collaboration Mode, ISO 10218-2 참조).</p> <p>Case 2) 협동작업 영역으로 작업자의 접근이 가능한 모든 경로에 대해 안전매트를 설치하여, 작업자가 협동작업 영역에 접근하는 것이 감지된 순간 로봇의 움직임을 멈추도록 하고, 작업자가 협동작업 영역을 벗어나는 것이 확인(감지)되는 순간까지 로봇은 움직이지 않도록 유지함. 이 때 안전 매트는 작업자의 신체 부위가 협동작업 영역에 들어갈 수 없을 만큼 협동작업 영역으로부터 충분한 거리를 두고 설치됨 ('안전한 감시 정지' 협동작업 모드, Safe Monitored Stop Collaboration Mode, ISO 10218-2 참조). 이 때 사용된 감지기는 PL d 수준(ISO 13849, ISO 10218-2 참조)을 만족하는 제품으로 이를 증명하는 확인서가 있음 ('안전한 감시 정지' 협동작업 모드, Safe Monitored Stop Collaboration Mode, ISO 10218-2 참조).</p> <p>Case 3) 로봇과 작업자 사이의 거리를 감지하는 감지기(레이저 스캐너 등)를 이용하여 작업자의 신체가 로봇에 다가가는 상황을 감지하여 로봇과 작업자 사이에 접촉이 발생하는 순간 로봇과 작업자 사이의 상대속도가 0이 되도록 제어함. 이때 거리 감지에 사용되는 감지기는 PL d 수준(ISO 13849, ISO 10218-2 참조)을 만족하는 제품으로 이를 증명하는 확인서가 있음 ('속도 및 위치 감시' 협동작업 모드, Speed and Position Monitoring, ISO 10218-2 참조).</p> <p>Case 4) 로봇의 '동력 및 힘 제한 작업 기능'을 활용하여, 로봇이 작업자와의 접촉을 감지하여 접촉에 의해 작업자에게 가해지는 힘과 압력의 크기가 ISO TS 15066에 제시된 손 부위 임계치에 도달하기 전에 로봇을 정지하도록 함. 로봇시스템의 다양한 충돌 가능 부위(작업을 포함)와 충돌 방향에 대해서 시험을 수행함 ('동력 및 힘 제한' 협동작업 모드, Power and Force Limiting Collaboration Mode, ISO 10218-2 참조).</p>			
위험 예상과 평가 (Risk Estimation and Evaluation) – 조치 후 (After risk reduction)			
가능한 위험의 정도 (Degree of Possible Harm)	3	회피 가능성 (Possibility of Avoidance)	0
위험 발생 가능성 (Possibility of Occurrence of Hazardous Event)	2.5	노출 빈도 및 지속 시간 (Frequency and/or Duration of Exposure)	4
위험 정도 (Risk Level)	1	종합 평가 (Summary Level)	Negligible Risk

- 제품 수명 주기 (cycle of product life) 전체에 대한 고려가 필요
 - 설계 시, 사용 중, 폐기 시
- 기계의 용도 내 사용에 대비 (intended use)
 - 사용 설명서에 명기된 사용법에 준하는 기계 사용
- 논리적 예상 오류 (reasonably foreseeable misuse)
 - 설계자가 의도하지 않은 방향의 기계 사용이지만, 작업자의 일반적 행동을 고려할 때 충분히 예상할 수 있는 잘못된 기계사용 고려
- 공간 설계 및 보호영역 - 로봇과 인간의 접촉 가능성 파악
- 안전기능관련 장치의 PL d 요구 조건 만족
- 협동작업 중 힘/압력 제한 작업의 힘/압력 평가

감사합니다.