

로봇 시스템 위험성 평가 사례

산업용 로봇 시스템 안전지원 세미나

2020. 07. 07.

곽관웅 교수

세종대학교 기계공학과

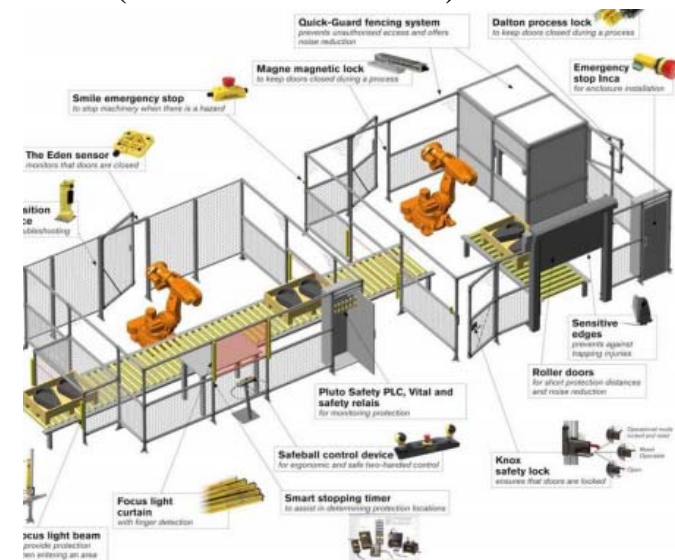
로봇 사용 환경 변화

- 새로운 로봇 사용 환경 등장
 - ✓ 지속적인 산업용 로봇 관련 사고 발생
 - ✓ 인간과 작업공간 공유 가능한 협동로봇(collaborative robot) 등장
- ➔ 다양하고 새로운 특성을 가진 로봇 환경에서 인간의 **안전**에 대한 담보 필요
- ➔ 안전 & 성능 관련 **규제**와 **표준**이 빠른 변화 중
 - 산업용 로봇 안전 검사** 2017.10.29 시행
 - 협동로봇 설치작업장 안전인증** 시행 중 (산업용로봇 안전인증 선결 요건)
- ➔ 관련 기준 및 규격 모니터링 필요
 - ✓ 산업용 로봇 안전검사 기준
 - ✓ ISO 12100, ISO 10218-1 & -2, ISO TS 15066
- ➔ 로봇 시스템 위험성 평가 사례 분석
- ➔ 로봇 시스템 안전 확보 토대 구축



정의(definitions)

- **로봇 (Robot)**
programmed actuated mechanism with a degree of autonomy, moving its environment, to perform intended tasks (ISO 8373:2012)
- **산업용 로봇(Industrial Robot)**
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** (ISO 8373:2012)
- **산업용 로봇 시스템(Industrial robot system)**
System comprising of industrial robot, **end-effector, any machinery, equipment, devices, external auxiliary axes or sensors supporting the robot performing its task**(ISO 10218-1:2011)
- **협동로봇 (Collaborative robot)**
Robot **designed for direct interaction with a human** within a defined collaborative workspace



안전 표준 개요

- ISO 12100 Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction
: 모든 기계류의 안전을 담보하기 위한 설계 통칙
- ISO 10218-1 Safety requirements for industrial – robots Part 1: **Robots**
: 산업용 로봇 자체에 대한 안전 요구사항 규정
- ISO 10218-2 Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial – robots Part 2: **Robot systems and integration (로봇 시스템 및 통합)**
: 산업용 로봇이 주변 기기와 결합되어 설치, 운용되는 로봇 시스템에 대한 안전 요구사항에 대해 규정
- ISO TS 15066 Robots and robotic devices — **Collaborative robots**
: 협동로봇을 이용한 협동 작업 운용에 대한 추가적인 요구조건 규정

ISO 12100 기반의 위험성 평가

Key Terminology

➤ Harm (상해)

: Physical injury or damage to health

➤ Hazard (위험원, 위험요소)

: Potential source of harm

➤ Risk (위험도)

: combination of the **probability** of occurrence of harm and the **severity** of that harm

➤ hazardous situation(위험한 상황)

: circumstance in which a person is exposed to at least one hazard

Ex)

남태평양에 들어가면 식인상어에 물려 다리가 절단되거나 죽을 확률이

hazardous situation

hazard

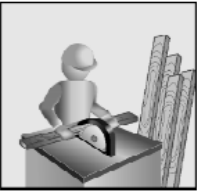
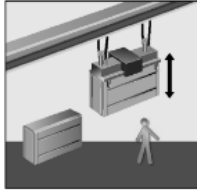



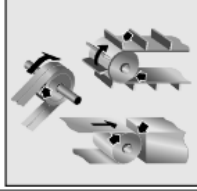
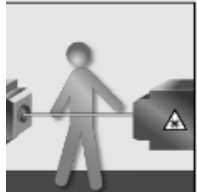

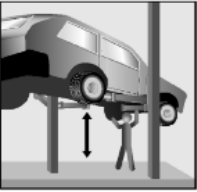

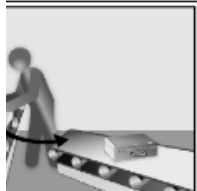
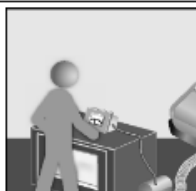
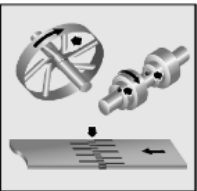

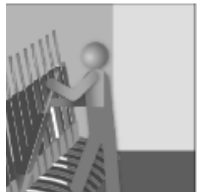
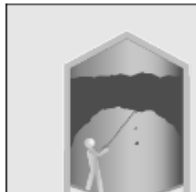

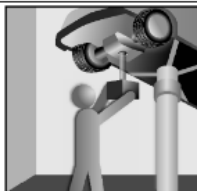
risk (severity of harm)

3%이다.

risk (probability of harm)

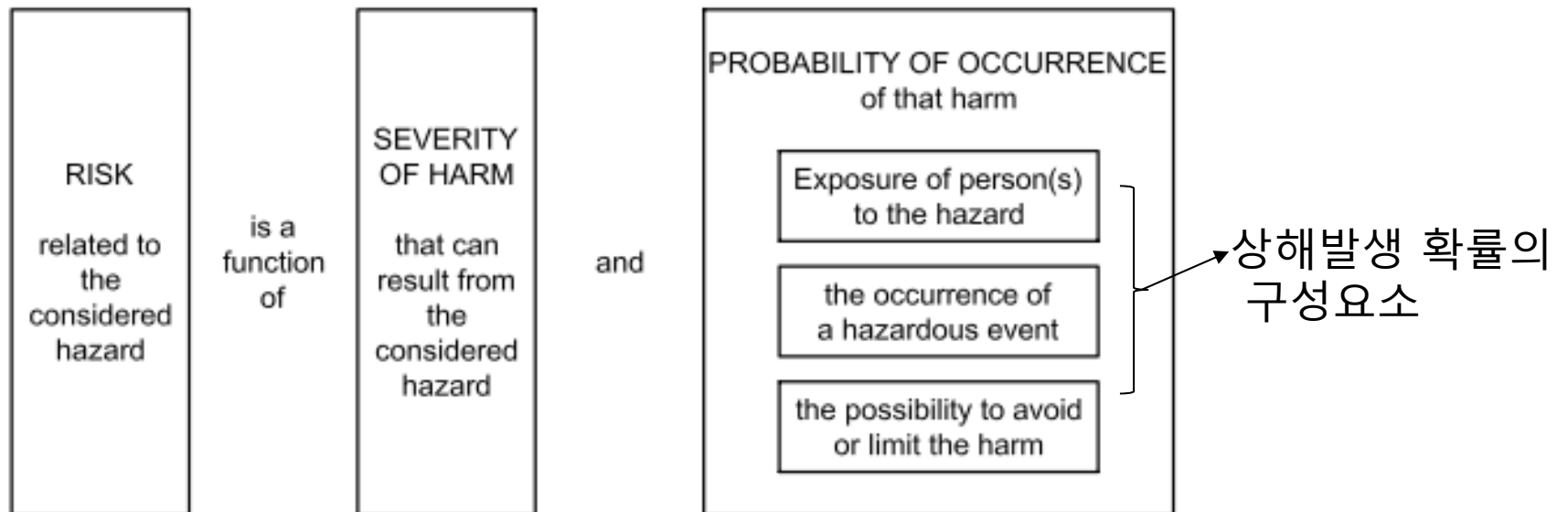
Examples of Hazards

12100:2010 Annex B

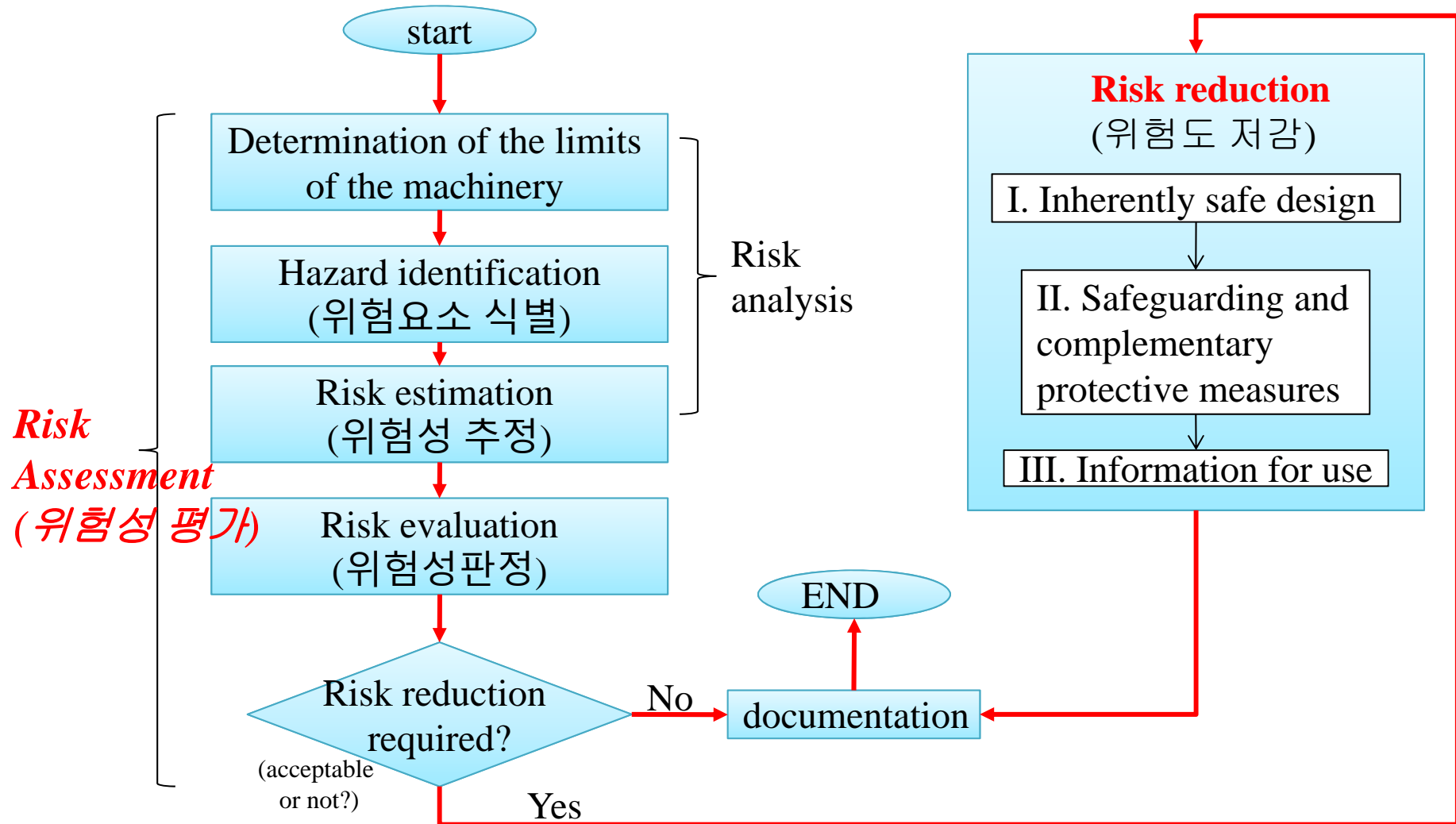
 <p>Hazard</p> <p>Origin cutting parts</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - cutting - severing 	 <p>Hazard</p> <p>Origin falling objects</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - impact 	 <p>Hazard</p> <p>Origin vibrating equipment</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - osteo-articular disorder - vascular disorder 	 <p>Hazard</p> <p>Origin noisy manufacturing process</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - fatigue - hearing impairment - loss of awareness - stress
 <p>Hazard</p> <p>Origin moving elements</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - impact - shearing 	 <p>Hazard</p> <p>Origin moving elements (three examples)</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - drawing-in - friction, abrasion - impact 	 <p>Hazard</p> <p>Origin laser beam</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - burn - damage to eyes and skin 	 <p>Hazard</p> <p>Origin dust (emissions)</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - breathing difficulties - explosion - loss of sight
 <p>Hazard</p> <p>Origin gravity, stability</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - trapping 	 <p>Hazard</p> <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>Hazard</p> <p>Origin posture</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - discomfort - fatigue - musculoskeletal disorder 	 <p>Hazard</p> <p>Origin fumes</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - breathing difficulties - irritation - poisoning
 <p>Hazard</p> <p>Origin rotating or moving elements (three examples)</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - severing - entanglement 	 <p>Hazard</p> <p>Origin moving elements</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - crushing - friction, abrasion - impact - severing 	 <p>Hazard</p> <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>Hazard</p> <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
 <p>Hazard</p> <p>Origin live electrical parts</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - electric shock - burn - puncture - scald 	 <p>Hazard</p> <p>Origin objects or materials with a high or low temperature</p> <p>Potential consequences</p> <ul style="list-style-type: none"> - burn 		

Risk

- Combination of the **probability** of occurrence of harm and the **severity** of that harm
- Function of severity of harm and probability of occurrence of that harm



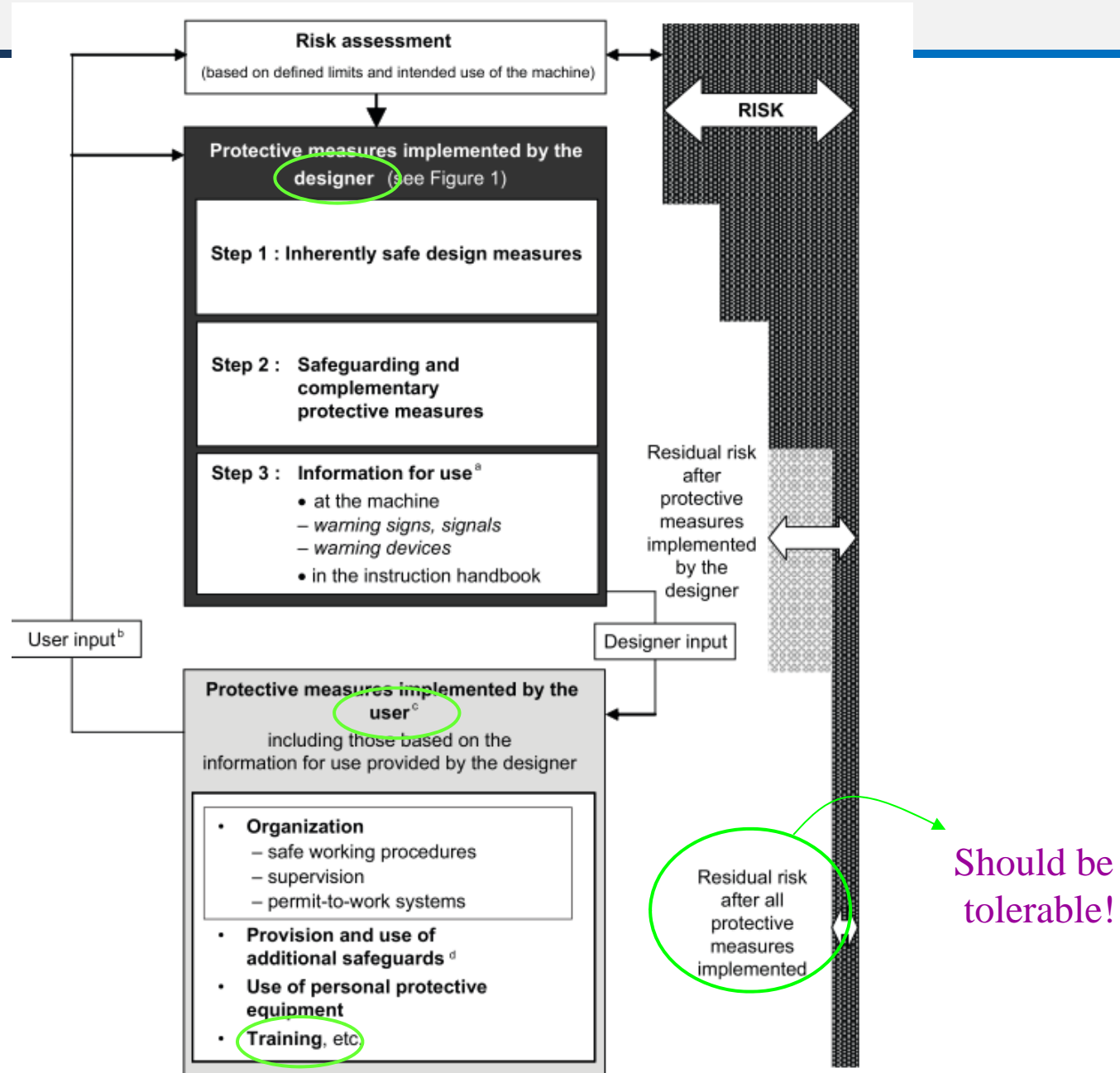
Strategy for risk assessment and risk reduction from ISO 12100



Risk reduction process (위험도 저감 절차)

- inherently safe design measure (본질적으로 안전한 설계 대책)
: 안전보호 장치의 활용 없이, 설계 또는 기계의 작동 특성을 변경하여 위험을 제거하거나 위험도를 감소시키는 보호대책
Ex) 위해 수준 이하의 전압 사용, 손가락이 들어 갈 수 없을 정도로 작은 gap
- safeguarding and complementary protective measure (안전장치 및 보조 보호조치의 적용)
: 본질적으로 안전한 설계 대책을 활용하여 위험을 충분히 제거하거나 위험도를 충분히 감소시키지 못하는 경우, 안전장치를 활용하여 작업자를 보호하기 위한 보호 대책
Ex) 활성부 덮개, gap cover, 제어 시스템 (ex. 센싱 후 감속)
- Information for use (사용정보의 제공)
: 전달 매체(문서, 단처, 표시, 기호, 신호, 도식)로 구성되는 보호대책으로서, 개별 또는 조합으로 사용되어 사용자에게 정보를 전달
Ex) Warning sign

Risk reduction process from point of view of designer





➤ After all,

safety of machine/robot

= tolerable risk

로봇 시스템 안전 요구조건

▶ ISO 12100 : 기계류의 설계에 안전성을 확보하기 위한 원칙과 방법론 명시

- 기계의 위험원(hazard)을 식별하는 절차
- 각 수명주기에서의 위험도(risk)의 예측과 평가(assessment)절차
- 위험원의 제거 또는 충분한 위험도 저감절차

- Safe machine → ISO 12100

- Safe industrial robot → ISO 10218-1

- Safe industrial robot system → ISO 10218-2

- Safe collaborative robot → ISO TS 15066

- Safe service robot → ISO 13482

안전한 로봇 시스템의 구현

➤ ISO 12100 기반 위험성 평가

➤ 관련 규격 및 규정 준수

{ ISO 10218-1, -2
ISO TS 15066
산업용 로봇 안전검사 기준



관련 규격 및 규정 소개

산업용 로봇 시스템 위험성 평가 사례 공유

ISO 10218

- ISO 12100의 설계원칙을
 - 산업용 로봇(10218-1)
 - 산업용 로봇 시스템(10218-2)에 특정해서 적용
- ISO 10218-1 → 로봇 제조사
- ISO 10218-2 → SI 업체, 로봇 사용자

1. Scope
2. Normative reference
3. Terms and definitions
4. Hazard identification and risk assessment
- 5. *Design requirements and protective measures***
6. Verification and validation of Safety-requirements and protective measures
7. Information for use

- Annex A (informative) List of significant hazards
- Annex B (informative) stopping time and distance metric
- Annex C (informative) Functional characteristics of three-position enabling device
- Annex D (informative) Optional features
- Annex E (informative) Labelling
- Annex F (normative) Means of verification of the safety requirements and measures

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)

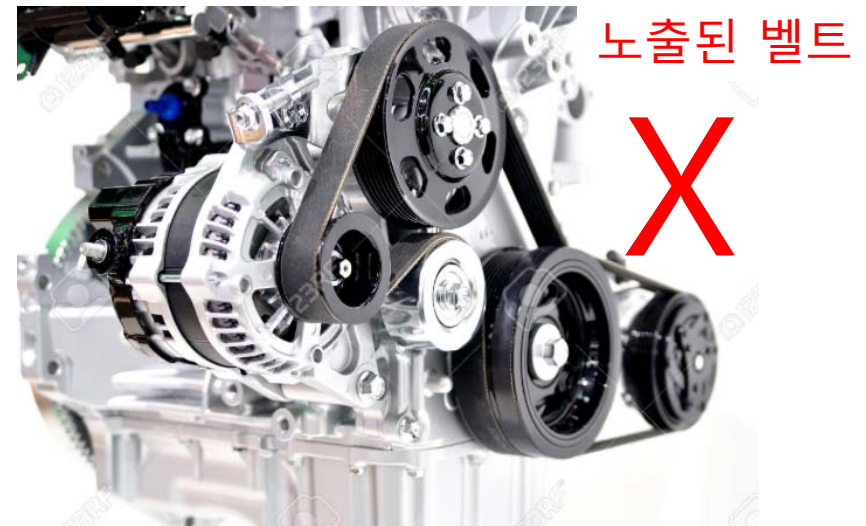
5.14 로봇 들어올리기에 대한 규정

5.15 전기 커넥터

5.2 General requirements

5.2.1 power transmission components (동력 전달 요소)

- 모터 샤프트, 기어, 구동 벨트, 연결부와 같은 위험원에 노출되지 않도록 고정식 또는 이동식 방호벽을 이용하여 보호하여야 한다



- 이동식 방호벽은 위험한 동작에 닿기 전에 위험한 기계기능이 멈추도록 위험한 동작에 연동되어야 한다

방호장치 열림 → 로봇 (동력전달요소) 연동 → 로봇 정지
If not → 인증, 안전검사 결격 사유

5.3 Actuating controls (동작 제어)

5.3.1 동력이나 운동을 개시하는 동작제어기는 5.3.2~5.3.5 요구조건을 만족해야 한다

5.3.2 protection from unintended operation (의도하지 않은 작동으로부터의 보호)

- 의도하지 않은 동작이 발생하지 않도록 동작제어기는 제작되고 위치되어야 함. 일례로 적절한 위치에 배치된 push-button이나 key-selector 스위치 사용 가능



X



O



O

5.3.3 status indication

- 동작 제어기의 상태(power on, 고장 감지, 자동 동작 중)가 명확히 명시되어야 함

5.3.5 single point of control (단일 제어점)

로봇이 펜던트 제어나 기타 교시장치에 의해 제어될 때, 다른 어떤 source로 부터 로봇 동작 개시나 지역(local)제어 선택 변경은 금지되어야 함

5.4 Safety-related control system (SRP/CS) performance (hardware/software)

- SRP/CS (전기/유압/공압/소프트웨어)는 PLd & structure category 3 또는 SIL 2 & hardware fault tolerance of 1 반드시 준수
 - SRP/CS의 단일 고장이 안전기능(safety function) 상실로 이어지면 안됨
 - 단일 고장은 다음 번 안전기능 호출 시 또는 그 전에 반드시 감지되어야 함
 - 단일 고장 발생 시 안전기능 반드시 항상 수행되어야 하고 감지된 고장이 교정될 때까지 안전상태(safe state)를 유지해야 함
 - 합리적으로 예측가능한 모든 고장을 감지해야 함
- Performance Levels(PL) & categories → ISO 13849-1:2006 4.5.1
- Safety integrity Levels (SIL) → IEC 62061:2005, 5.2.4
- 사용자 정보(information for use)에 level 결정 근거 데이터와 기준 제시 해야함
- IEC 60204-1에 의거 SRP/CS 고장 시 반드시 stop category 0 또는 1 정지

5.5.2 Emergency stop

- Stop category 0 또는 1 비상정지 기능 필수 (IEC 60204-1)
- 로봇 운동이나 다른 위험 상황을 개시하는 제어기는 반드시 수동 비상정지 보유
- 5.4에 따라 PLd & Category 3
- 모든 로봇 제어기능에 우선
- 모든 위험요인 중지
- 로봇 구동기로부터 동력 제거
- 리셋 전까지 활성화

5.5.3 Protective stop

- 외부 보호 기기(ex. 센서)와 접속
- 5.4에 따라 PLd & Category 3
- 모든 로봇 동작 중지
- 로봇 구동기의 동력을 제거 또는 통제
- 수동 또는 제어로직에 의해 개시
- Stop category 0, 1, 2(동력제거 없이 로봇 정지 후 정지상태 모니터링 필요) (IEC 60204-1)

5.7 Operational modes (작업 모드)

- 모드는 삽입/탈거 가능한 Key switch 등으로 선정하거나 access code(eg. Pwd) 같은 기능으로 선택
- 선정된 모드 명확히 표시
- 안전목적으로 사용시, 출력은 5.4 따라 Category 3 & PLd

5.7.2 Automatic mode (자동모드)

- 자동모드에서는 Task program 및 보호기능(safeguarding measures)도 작동해야 함
- 정지 조건 검출 시 자동모드 중단 후 로봇 정지
- 자동모드에서 다른 모드 전환 시 로봇 정지

5.7.3 Manual reduced speed

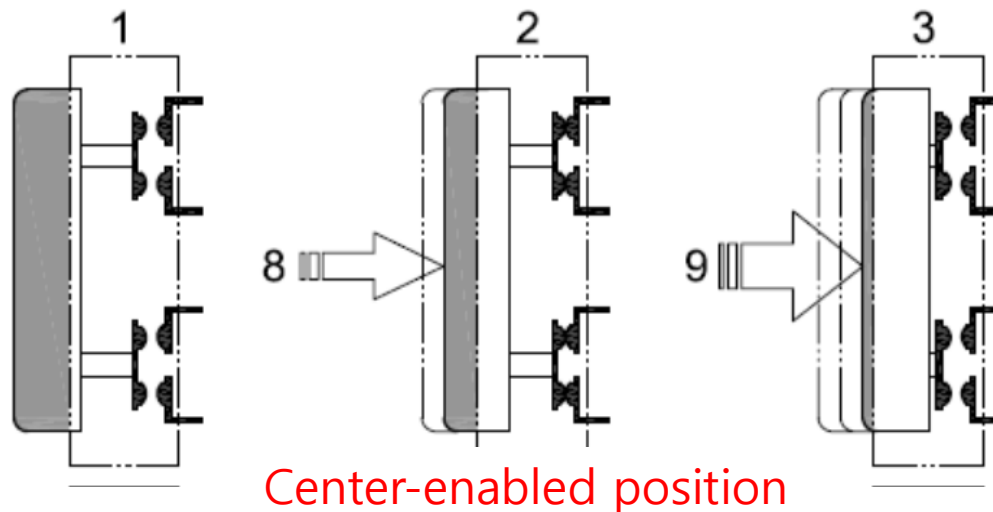
- 작업자 개입 허용
- 자동 운전 금지
- Jogging, 교시, 프로그래밍, 프로그램 확인 (유지관리 임무) 시 사용
- 보호영역 내 수동 제어 시 반드시 감속 상태 운전을 다음 장치와 연계해서 사용
 - 동작허가 장치(enabling device)와 연계된 Hold-to-run (동작 유지장치)

5.8 Pendant controls (펜던트 제어)

- 펜던트나 교시장치로 로봇 동작 개시 시 반드시 5.6의 감속운전

5.8.3 Enabling device

- IEC 60204-1에 의거 펜던트나 교시장치는 **three position enabling device** 가져야 함
- Center-enabled position 유지 시에만 로봇 동작 허가 (다른 경우 로봇 정지)
- 한 개 이상의 enabling device 동작 시, 모든 장치가 동시에 center-enabled position 유지 시에만 로봇 동작
- 펜던트나 교시장치에 비상정지 기능 필요
- 펜던트나 교시장치로만 자동 운전 개시 불가. 반드시 보호영역 밖에서 추가적인 확인 (confirmation) 후 가능.



5.9 Control of simultaneous motion

5.9.1 single pendant control

- 하나의 교시장치로 하나 또는 여러 대의 로봇 연결 가능하고,
- 교시장치로 각 로봇을 독립적 또는 동시 동작 제어 할 수 있어야 함
- 수동 작업 모드 시 로봇 시스템의 모든 기능은 하나의 교시장치에 의해 통제 할 수 있어야 함

5.10 Collaborative operation requirements (협동 작업 요구조건)

- 로봇이 협동작업 중일 경우 **협동작업상태를 시각적으로 명확히 표시해야 함**
- 4가지 협동작업 모드 조건 만족해야 함
 - Safety-rated monitored stop
 - Hand guiding
 - Speed and separation monitoring
 - Power and force limiting by inherent design or control

5.11 Singularity protection (특이점 보호)

고속 운전 발생 가능한 특이점 근처 운전 시

- **특이점 통과 전 경고하거나 로봇 정지 또는 로봇 경로 수정 반드시 수행**
- **최대 속도 250 mm/s 이하로 특이점 통과할 경우 시각, 청각 경고 신호 생성**
- 위험한 동작 발생 없이 특이점이 통제가 가능할 경우, 별도 보호조치 필요 없음

ISO 10218-2

- ISO 12100의 설계원칙을
 - 산업용 로봇(10218-1)
 - 산업용 로봇 시스템(10218-2)에 특정해서 적용
- ISO 10218-1 → 로봇 제조사
- ISO 10218-2 → SI 업체, 로봇 사용자

1	적용범위	1p	
2	인용표준	1p	
3	용어와 정의	2p	
4	위험원 식별과 위험도 평가	4p	
4.1	일반사항	4p	
4.2	배치(layout) 설계	4p	
4.3	위험도 평가(risk assessment)	6p	
4.4	위험원 식별(hazard identification)	7p	
4.5	위험원 제거 및 위험도 감소(hazard elimination and risk reduction)	7p	
5	안전 요구사항 및 보호 대책	8p	
5.1	일반사항	8p	
5.2	안전 관련 제어 시스템 성능(하드웨어/소프트웨어) (safety-related control system performance)	8p	
5.3	설계 및 설치(design and installation)	9p	
5.4	로봇 동작 제한(limiting robot motion)	13p	
5.5	배치(layout)	15p	
5.6	로봇 시스템 운전 모드 응용(robot system operational mode application)	17p	
5.7	교시 상자(pendants)	20p	
5.8	유지보수 및 수리(maintenance and repair)	21p	
5.9	통합 제조 시스템(Integrated Manufacturing System, IMS) 인터 페이스	23p	
5.10	안전 보호 장치(safeguarding)	24p	
5.11	협동 로봇 운전(collaborative robots operation)	32p	
5.12	로봇 시스템의 시운전(commissioning of robot systems)	35p	
6	안전 요구사항 및 보호 대책에 대한 확인 및 검증	36p	
6.1	일반사항	36p	
6.2	확인 및 검증 방법(verification and validation methods)	부속서 A(규정) 주요한 위험원 목록	43p
6.3	필수 확인 및 검증(required verification and validation)	부속서 B(참고) 보호 장치와 관련된 표준 관계도	47p
6.4	보호 장치의 확인 및 검증(verification and validation of protective)	부속서 C(참고) 부품의 입 출구 지점에 대한 보호 장치	48p
7	사용 정보	부속서 D(참고) 하나 이상의 동작 허가 장치 운전	51p
7.1	일반사항	부속서 E(참고) 협동 로봇의 개념적 응용 분야	52p
7.2	지침 안내서(instruction handbook)	부속서 F(참고) 프로세스 관찰	54p
7.3	표식(marking)	부속서 G(규정) 안전 요구사항 및 대책의 확인 수단	57p
		참고문헌	71

4 위험원 식별과 위험도 평가

4.1 일반사항

4.1.1 로봇의 운전 특성은 타 기계 및 장비와는 상당히 다를 수 있다. 즉,

- a) 로봇은 넓은 운전 공간에서 높은 에너지를 발생하는 동작을 할 수 있다.
- b) 로봇 팔의 동작기동과 경로는 예측이 어려우며 또한 예를 들면 변화하는 운전 요구사항 등으로 인하여 바뀔 수 있다.
- c) 로봇의 운전 공간은 다른 로봇 또는 타 기계 및 관련 장비의 작업 공간의 일부와 겹칠 수 있다.
- d) 운전자는 기계 구동기에 전원이 들어가 있는 상태에서 로봇 시스템과 근접하여 작업하도록 요구 받을 수 있다.

4.1.2 이러한 위험도를 적절히 감소시키기 위한 적당한 안전 보호 대책을 선정 및 설계하기 전에 로봇 및 그 응용 작업과 관련된 위험원을 찾아서 위험도 분석을 하는 것이 반드시 필요하다. 위험도 감소를 위한 기술적 수단들은 다음의 기본적인 원칙들에 근거한다.

- a) 설계에 의한 위험원 제거 또는 대체에 의한 위험원 감소
- b) 운전자가 위험원을 접하지 않도록 금지하거나 또는 운전자가 위험원을 접촉하기 전에 위험원을 안전한 상태로 만드는 것.
- c) 개입(예를 들면, 교시) 기간 동안 위험도의 감소

4.1.3 이러한 원칙의 구현은 다음을 포함할 수 있다.

- a) 보호 영역 및 제한 영역의 설정
- b) 보호 영역 외부에서 작업을 수행할 수 있도록 로봇 시스템을 설계
- c) 보호 영역 내부에서 개입(intervention)이 발생해야 하는 경우에는 타 보호 대책을 제공

펜스 설치!!

보호영역 (safeguarded space)
주변 안전장치에 의해 정의된 영역

4.1.4 로봇의 종류, 응용 그리고 타 기계 및 관련 장비와의 관계 등이 보호 대책의 설계 및 선택에 영향을 미친다. 이러한 수단은 수행하는 작업에 적합하여야 하며, 필요한 경우 교시, 설정, 유지보수, 프로그램 검증, 고장 수리 운전은 안전하게 수행되도록 허락하여야 한다.

5 안전 요구사항 및 보호 대책

5.1 일반사항

로봇 시스템과 셀의 통합은 이 표준의 요구사항을 만족하여야 한다. 나아가서, 로봇 셀 또는 로봇 라인은 관련되기는 하나 구체적으로 이 표준에서 취급하지 않는 위험(예를 들면, 날카로운 모서리 등)에 대해서는 ISO 12100의 원칙에 따라서 설계되어야 한다. 로봇 시스템은 위험원에 인력이 노출되는 것을 방지하기 위하여 설계되어야 한다.

비고 1 이 표준에서 명시한 모든 위험원이 모든 로봇 시스템에 적용되는 것은 아니며, 주어진 위험 상황과 관련된 위험도 수준이 모든 로봇 시스템에 동일한 것은 아니다.

비고 2 이 절에서의 다양한 요구사항에 대한 권고를 확인(verification)하는 방법은 6.에 나와 있다.

5.2 안전 관련 제어 시스템 성능(하드웨어/소프트웨어) (safety-related control system performance)

5.2.2 성능 요구사항(performance requirements)

제어 시스템의 안전 정격 부품은 KS B ISO 13849 - 1에 설명하는 체계 분류 3을 갖는 성능 수준(PL) "d"를 충족시키거나, IEC 62061에서 설명하는 안전 통합 수준(SIL) 2와 하드웨어 고장 허용 1, 그리고 보증 시험 간격이 적어도 20년(y)을 충족하도록 설계되어야 한다.

이것은 특별히 다음을 의미한다.

- a) 이러한 부품들의 단일 고장이 안전 기능의 손상으로 이어지지 않도록 할 것.
- b) 가능한 모든 경우, 단일 고장이 안전 기능의 다음 순서 또는 그 전에 검출되도록 할 것.
- c) 단일 고장이 발생한 경우, 안전 기능이 항상 수행되고 검출된 고장이 교정되기까지 안전 상태가 유지되도록 할 것.
- d) 모든 합리적으로 예측 가능한 고장이 검출되도록 할 것.

이러한 요구사항들은 KS B ISO 13849 - 1에서 설명하는 체계 분류 3과 동등하게 여겨진다.

비고 단일 고장 검출에 대한 요구사항은 모든 고장이 검출된다는 것을 의미하지는 않는다. 따라서 미검출된 고장들의 누적으로 우발적 결과와 기계의 위험한 상황으로 이어질 수 있다.

PLd, CAT 3

5. Safety requirements and protective measures

5.1 General

- Integration of Robot system and cell, robot cell, robot line → 10218 및 12100 (eg. 날카로운 edge) 준수
- 작업자를 위험에 노출시키지 않도록 로봇 시스템 설계

5.2 Safety-related control system performance(hardware/software)

- 10218-1과 동일
- SRP/CS (전기/유압/공압/소프트웨어)는 PLd & structure category 3 또는 SIL 2 & hardware fault tolerance of 1 반드시 준수
 - SRP/CS의 단일 고장이 안전기능(safety function) 상실로 이어지면 안됨
 - 단일 고장은 다음 번 안전기능 호출 시 또는 그 전에 반드시 감지되어야 함
 - 단일 고장 발생 시 안전기능 반드시 항상 수행되어야 하고 감지된 고장이 교정될 때까지 안전상태(safe state)를 유지해야 함
 - 합리적으로 예측가능한 모든 고장을 감지해야 함
- Performance Levels(PL) & categories → ISO 13849-1:2006 4.5.1
- Safety integrity Levels (SIL) → IEC 62061:2005, 5.2.4
- 사용자 정보(information for use)에 level 결정 근거 데이터와 기준 제시 해야함
- IEC 60204-1에 의거 SRP/CS 고장 시 반드시 stop category 0 또는 1 정지

5.3 Design and installation (설계 및 설치)

5.3.1 Environmental condition

- 로봇 시스템 및 로봇 셀의 보호수단은 주변의 온도, 습도, 전자파장애, 조명 등 환경조건을 고려해야함

5.3.2 location of controls (제어기의 위치)

- 작업자가 보호영역 밖에 있을 수 있도록 자동운전 중 접근을 요하는 동작 제어기 (예. 용접 제어기, 공압 밸브 등)는 반드시 보호영역 밖에 배치
- 로봇 제한영역(restricted space)이 확실하게 보이는 곳에 제어기 배치

5.3.3 Actuating controls (구동 제어기)

- IEC 60204-1 및 ISO 10218-1 준수
- 로봇 시스템은 위험상황을 초래하는 조건이나 외부 원격 명령에 반응하지 않아야 함

제한영역 (restricted space)

최대영역의 일부로, 초과할 수 없도록 제한을 설정한 제한장치(limiting devices)에 의해서 제한되는 영역

최대영역 (maximum space)

제조사에 의해 정의된 것으로, 로봇의 가동부위가 지나가는 영역과 말단장치와 작업물체에 의해 도달 가능한 영역을 합한 영역

5.3.8 Robot system and cell stopping function

반드시 보호정지(protective stop) 기능과 별도의 비상정지 기능 보유

5.3.8.2 Emergency stop

- 모든 로봇 동작과 셀 내부 기타 위험기능 중지
- 로봇 시스템은 제반 부위에 대하여 동작하는 단일 비상정지 기능을 가져야 한다. → *연계된 시스템 (예. 컨베이어, 프레스 등) 모두 중지*
- 동작이나 다른 위험한 기능을 개시할 수 있는 모든 제어 station에 수동 비상정지 기능 반드시 설치
- Stop category 0 또는 1의 선택은 위험성 평가로 결정
- **PLd & Category 3**
- 제어 스테이션이 비활성상태라도 로봇시스템 비상정지는 동작해야 함

5.3.8.3 Protective stop

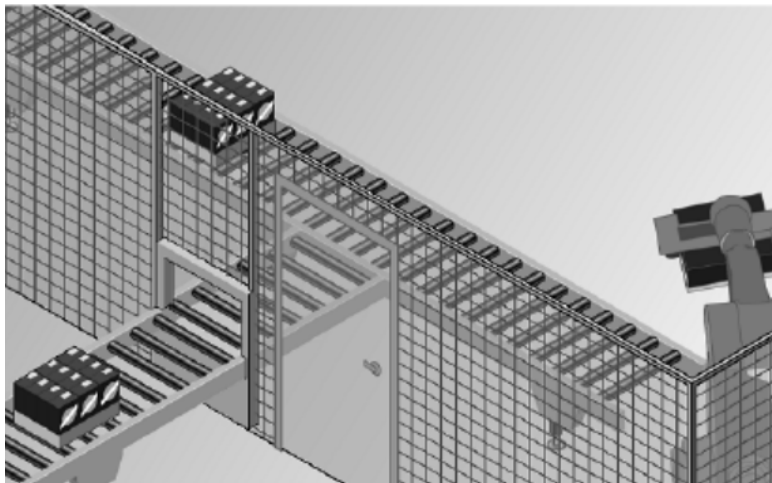
- 외부 보호 기기(ex. 센서)와 접속되도록 설계된 보호정지 회로 반드시 보유
- PL d & Category 3
- 모든 로봇 동작 및 로봇 시스템에 의해 통제되는 위험한 기능 중지
- 수동 또는 제어로직에 의해 개시
- Stop category 0, 1 & 2(동력제거 없이 로봇 정지 후 정지상태 모니터링 필요) (IEC 60204-1) 가능

5.5.2 Access for interventions (개입을 위한 접근)

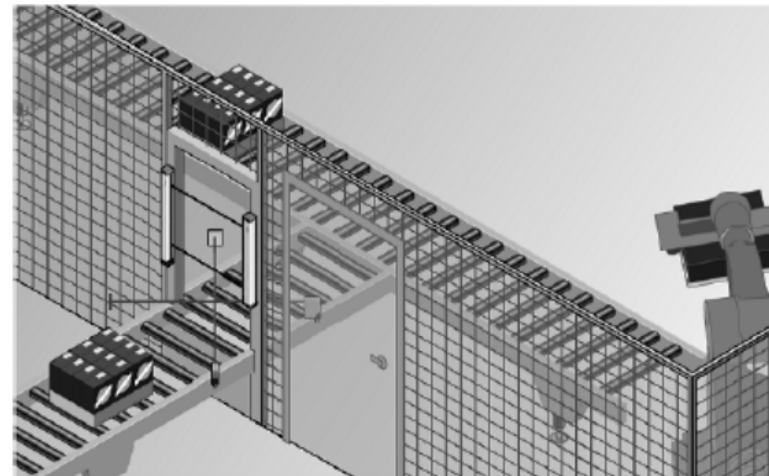
- 로봇 시스템을 설치하는 경우, 로봇의 제한 영역 내에 갇힘 또는 끼임 가능성을 판단하기 위하여 구체적인 설치 및 예상 작업을 대상으로 작업 기반 위험도 평가를 수행
- 고속 수동 모드의 사용을 필요로 하는 작업은 **최소 0.5 m 여유 공간 제공**
- 계산된 정지 위치와 빌딩, 구조물, 경계 방호벽, 공급 설비, 기타 로봇 기능을 지원하지 않는 기계 및 설비와의 사이에, 갇힘 또는 끼임이 발생 가능한 경우에 요구(KS B ISO 13854 참조)
- **운전자의 작업이 보호 영역 외부에서 수행되도록 로봇 시스템 배치**
- **보호 영역 내부에서 작업을 수행해야 하는 경우에는 작업 장소로의 안전하고 적절한 접근이 확보되어야 한다. 접근 경로와 수단은 운전자에게 미끄러짐, 헛디딤, 넘어짐 위험원을 포함한 위험원에 노출되지 않도록 하여야 한다.**
- **제어 장치(즉, 교시 상자, 로봇 제어 캐비닛)는 운전자가 쉽게 사용하도록 접근 수단 근처에 위치**
- 접근이 필요한 요소를 가지고 있는 전기 설비가 정상적인 높이보다 높은 곳에 있는 경우(예를 들면, 기계의 지붕), 접근 수단(예를 들면, 작업 플랫폼)이 제공
- **전기 인클로저들은 문이 완전히 열릴 수 있고, 문이 완전히 열렸을 때도 탈출 경로는 항상 사용할 수 있도록 설치해야 한다 (남은 간격은 문이 완전히 열려 있을 때 적어도 500 mm이어야 한다(IEC 60364 - 7-729 참조)**
- **운전자가 셀 사이로 접근하는 것을 금지하거나, 인접 셀의 위험원을 운전자가 접근하기 전에 안전한 상태로 변환하도록 안전 보호 장치를 제공하여야 한다.**
- **인접한 셀의 내, 외부로의 부품 이동으로 인한 운전자에 대한 위험을 막기 위하여 안전 보호 장치가 제공되어야 한다 → 작업자 감지 EEPE 설치**

5.5.3 Material handling (재료 처리)

- 부품이 보호 영역으로 들어가고 나가는 경우, 사람이 검출되지 않고 위험 지역으로 들어가는 것을 방지하기 위한 수단이 채택되어야 한다 → 개구부 light curtain
- 이러한 수단은 사람이 위험원과 접촉하는 것을 금지하거나, 또는 위험원에 접촉하기 전에 추가적인 위험원을 생성하지 않고 위험원을 안전한 상태로 바꾸어야 한다. → 감지 시 로봇 시스템 정지
- 입구의 크기는 제품의 입고와 반출을 하기 위한 **최소한의 크기**가 되어야 한다



Material entry through small openings in guards



Safeguarding with ESPE

5.7 교시 상자(pendants)

5.7.2 무선 또는 분리형 설치/통신에 관한 요구사항(requirements for cableless or detachable in stallations/communications) ←

←

로봇 시스템에 무선 또는 분리형 교시 상자가 사용되는 경우, 다음이 만족되어야 한다.←

←

- a) 교시 상자는 KS B ISO 10218-1, 5.8.6을 준수하여야 한다.←
- b) 교시 상자의 비상정지 기능과 동작 허가 장치는 KS B ISO 10218-1, 5.8의 요구사항을 준수하여야 한다.←
- c) 우발적으로 로봇 시스템을 제어할 가능성은 다음에 의하여 피해야 한다.←
 - 1) 운전하는 로봇을 가리키는 명확한 수단←
 - 2) 통신 완전성을 보장하는 접속 수단(예: 로그인, 암호화, 방화벽)←
 - 3) 접속 연속성을 나타내는 명확한 수단(예: 화면 표시)←
- d) 단일 무선 교시 상자는 오직 단일 로봇 또는 두 대 이상의 로봇으로 구성된 단일 로봇 시스템과 연결되어야 하고, 동시에 다중 로봇 시스템과 연결되어서는 안 된다.←
- e) 수동 모드에서 활성화된(즉 로봇과 연결된) 교시 상자의 통신 단절(예: 범위 이탈, 전지 전력 손실)은 모든 제어 장비에 보호정지 또는 비상정지를 유발하여야 한다. 통신복구는 별도의 의도된 행위 없이 로봇 동작을 재기동하여서는 안 된다. KS B ISO 10218-1, 5.8.6 및 KS C IEC 60204-1, 9.2.7을 참조한다.←
- f) 교시 상자로부터 로봇 제어를 분리하기 위한 명백한 수단이 제공되어야 한다(즉, 운전자의 적극적인 동작). 장치가 로그아웃되면, 관련된 안전 기능들이 더 이상 동작하지 않는다는 것을 명확하게 인지할 수 있게 하거나, 또는 장치가 완전히 꺼져야 한다. 적절한 보관 또는 설계 및 사용 정보를 제공함으로써, 활성화와 비활성 비상정지 장치 사이에 혼동을 피할 수 있도록 주의하여야 한다. ←
- g) KS B ISO 10218-1, 5.3에 따른 단일 제어점을 준수하여야 한다.←

5.8 유지보수 및 수리(maintenance and repair)

5.8.2 유지보수를 위한 안전 보호 요구사항(safeguarding requirements for maintenance)←

←

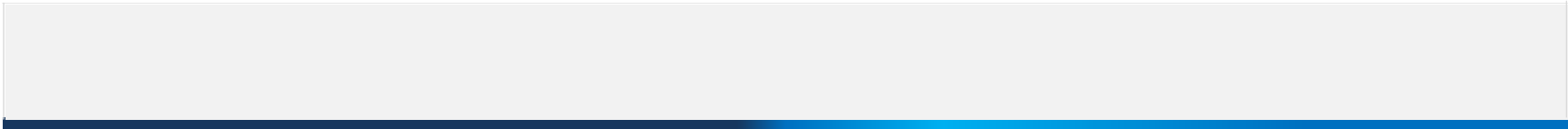
로봇 시스템은 운전, 조정, 유지보수 동안 개입이 필요한 경우, 모든 영역에 안전한 접근이 허용되도록 설계 및 제작되어야 한다. 유지보수는 보호 영역 외부에서 수행되어야 한다. 보호 영역 내에서 유지보수를 하여야 하는 경우, 안전 보호 장치 권장 수단 선택은 다음과 같아야 한다.←

←

- a) 시스템은 위험에너지를 제어하고 분리할 수 있는 지역적 수단을 제공하여야 한다(즉, 주 회로 분리, 압력 제거 장치, 에너지 분리 제어 시스템). 사용 정보는 에너지 제어 및 분리가 요구되고 위험에너지가 요구되는 경우에 예상되는 유지보수 작업에 관한 세부 사항을 포함하여야 한다.←
- b) 에너지 분리 없이 수행되는 생산에서 예상되며 항상 있는 부수적 정비에 대하여, 효과적인 대안 보호 대책이 제공되어야 한다. 위험에너지 제어 또는 위치 모니터링에 대한 제어 수단은 다음 중 하나 또는 그 이상을 포함한다. ←
 - 1) 작업의 안전한 수행을 위한 안전장치←
 - 2) 작업할 장비를 지정된 안전 관찰 위치 또는 조건에 놓는 것. 벗어나게 되면 보호정지 발생←
 - 3) 사람이 보호 영역에 들어가는 것에 대한 독점적 제어를 제공하는 것. 달성되어야 할 실행 절차가 정의되고 제공되어야 함.←
 - 4) 시스템 통합은 특정 인지 작업에 대하여 적어도 **5.2.2**의 요구사항을 만족하는 구체적인 운전 모드 또는 절차를 제공하여야 함. ←

5.10.4 방호벽에 대한 일반 요구사항(general requirements for guards)

- 고정 방호벽은 오직 도구를 사용해서만 제거할 수 있어야 한다.
- 고정 방호벽의 구멍들은 사람이 위, 아래, 옆 또는 구멍 및 틈새를 관통하여 위험원에 도달하는 것을 허락해서는 안 된다.
- 방호벽의 높이는 적어도 인접한 발판으로부터 1 400 mm 이상이어야 한다.
- 이동 방호벽은 위험원로부터 옆으로 또는 멀어지는 방향으로 열려야 하며, 보호 영역 쪽으로 열려서는 안 된다.
- 연동 장치는 운전자가 방호벽을 통하여 위험원으로 접근하기 전에 위험원을 안전한 상태로 만들도록 하여야 한다
- 연동 기능은 적어도 5.2.2의 요구사항을 달성하여야 한다
- 운전자가 연동된 이동 방호벽을 열고 위험원이 제거되기 전에 위험 지역에 도달할 가능성이 있는 경우, 제어 연동 외에 방호벽 잠금 장치가 있어야 한다. 이 경우 방호벽이 닫혀 있고 잠겨 있는 경우(예를 들면, 울타리의 문)에만 위험한 기계 기능이 기동되도록 허가할 것.
- 보호 영역은 사람이 안에 갇히는 것을 방지하도록 설계, 제작, 설치되어야 한다. 예를 들면, 에너지 공급 상태와 상관없이 보호 영역 내부에서 작동하는 이동 방호벽 수동 열림 장치를 제공하거나 또는 문이 열린 상태에서 잠기는 수단을 제공한다



ISO TS 15066

협동로봇의 확산

- 협동로봇(Collaborative robot)
규정된 협업작업공간 내에서 인간과 직접적 상호작용을 하도록 설계된 로봇
- 작업공간을 인간과 공유
로봇이 갖고 있는 장점(뛰어난 반복 정밀도, 힘, 지구력)
+ 인간이 가지고 있는 우수한 능력(인지/판단 능력을 이용한 비정형화된 작업 수행 능력) 결합

인간-로봇 협동을 통한 생산성 향상
작업 공간활용 효율 극대화

인간-로봇 공존환경에서 작업 가능한 협동로봇 확산



협동로봇의 안전 문제

➤ 작업공간 공유로 인한 본질적 안전 문제 대두 (접촉, 충돌 위험)



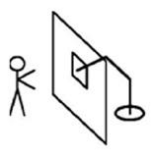
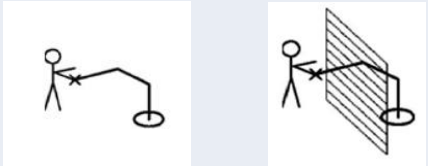
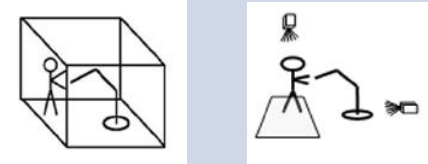
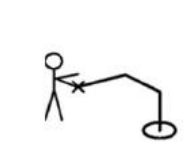
안전 펜스 (인간과 로봇 공간 분리)



안전 펜스 X (접촉, 충돌 위험 상존)

Methods of collaborative operation

- ▶ 협동작업에서 작업자의 안전을 보장하기 위한 작업 방식으로 협동로봇 작업은 다음 모드 중 한 개 또는 이상 선택

Clause (ISO 10218-1)	Types of collaborative operation	Main means of risk reduction	Pictogram
5.10.2	Safety-rated monitored stop (안전 정격 감시 정지)	협동작업공간 내에 작업자가 있을 경우 로봇의 움직임이 금지	 $V = 0$
5.10.3	Hand guiding	작업자의 직접입력에 의해서만 로봇 운동 가능 작업자가 직접 로봇을 잡고 원하는 운동을 구현(교시)	
5.10.4	Speed and separation monitoring (속도 및 이격거리 감시)	로봇과 사람 사이의 간격이 최소 이격거리 이상일 경우에만 로봇의 움직임이 허용	$d > d_{\min}$ 
5.10.5	Power and force limiting by inherent design or control	로봇과 인간 사이의 접촉이 일어날 경우 로봇이 인간에게 가하는 힘을 임계값 이하로 제한	 $F < F_{\max}$

➤ 인간-로봇 접촉 상황에 대한 실험을 통해 통증 임계값 최초 도출

➤ Quasi-Static Contact

– 29개 대표 신체 부위에 대해 특정 형상을 갖는 프로브(probe)를 이용하여 느린 속도로 압박

– 통증이 시작되는 힘과 압력값을 ‘유사-정적 조건에 대한 생체역학적 한계값(quasi-static contact biomechanical limit)’으로 기록

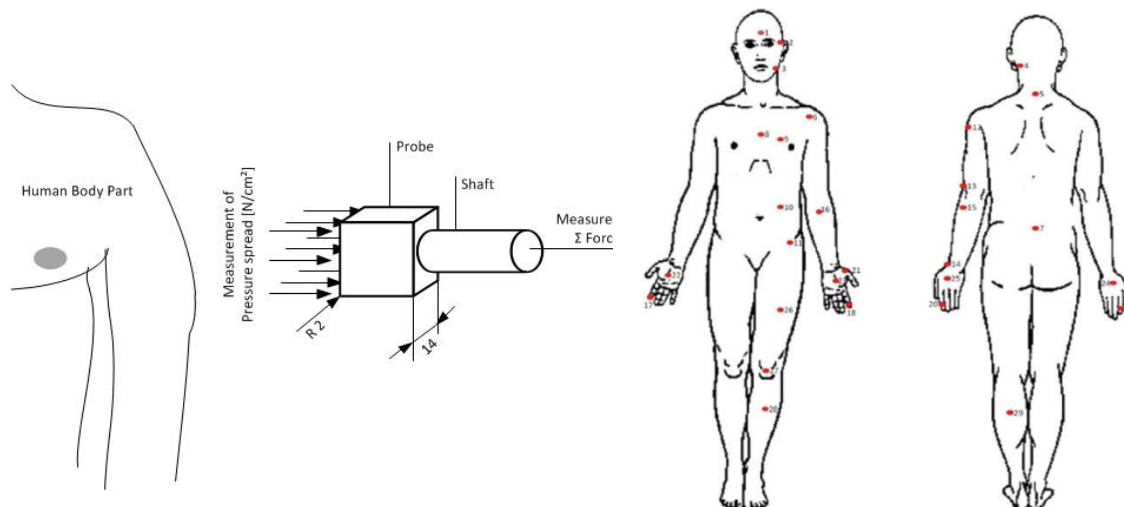


Bild: IFA

– Cubic test probe with edge length of 14 mm and rounded edges of 2 mm radius
– Quasi static increase of contact on human body part by 2 N/s (point 2 and 3) and 5 N/s (all other points).

Biomechanical limits on Force & pressure

ISO TS 15066 Annex A

Body Region	Specific body area	Quasi-static contact		Transient contact	
		Maximum permissible pressure ps [N/cm ²]	Maximum permissible force [N]	Maximum permissible pressure multiplier P _T	Maximum permissible force multiplier F _T
Skull and forehead	1 Middle of forehead	120	130	not applicable	not applicable
	2 Temple	110		not applicable	not applicable
Face	3 Masticatory muscle	110	65	not applicable	not applicable
Neck	4 Neck muscle	140	150	2	2
	5 Seventh neck muscle	210		2	
Back and shoulders	6 Shoulder joint	160	210	2	2
	7 Fifth lumbar vertebra	210		2	
Chest	8 Sternum	120	140	2	2
	9 Pectoral muscle	170		2	
Abdomen	10 Abdominal muscle	140	110	2	2
Pelvis	11 Pelvic bone	210	180	2	2
Upper arms and elbow joints	12 Deltoid muscle	190	150	2	2
	13 Humerus	220		2	
Lower arms and wrist joints	14 Radial bone	190	160	2	2
	15 Forearm muscle	180		2	
	16 Arm nerve	180		2	
Hands and fingers	17 Forefinger pad D	300	140	2	2
	18 Forefinger pad ND	270		2	
	19 Forefinger end joint D	280		2	
	20 Forefinger end joint ND	220		2	
	21 Thenar eminence	200		2	
	22 Palm D	260		2	
	23 Palm ND	260		2	
	24 Back of the hand D	200		2	
25 Back of the hand ND	190	2			
Thighs and knees	26 Thigh muscle	250	220	2	2
	27 Kneecap	220		2	
Lower legs	28 Middle of shin	220	130	2	2
	29 Calf muscle	210		2	

- Max permissible **pressure**
 - Univ of Mainz, onset of pain 실험 결과 (75% 값)
- Max permissible **force**
 - BG/BGIA 데이터
 - 멍, 피부/연조직 찢김, 골절 이나 기타 골격 상해, AIS 1 이하 수준 상해 발생 임계값
- **Transient** contact data
 - 유사-정적 조건의 힘/압력 임계값의 2 배 값을 transient contact 조건에 대한 임계값으로 설정

협동로봇 설치 작업장 안전인증

협동로봇 설치 작업장 안전인증

- 협동로봇이 설치된 작업장 근로자의 안전을 확인하기 위하여, 산업용 로봇 시스템의 설치단계에 대한 안전기준(KS B ISO 10218-2, ISO 10218-2) 적합성을 심사하고 인증하는 제도
- 한국로봇산업진흥원 운영
- 한국로봇산업진흥원이 규정에 따라 지정한 인증기관이 인증심사 수행
- 협동로봇의 경우 협동로봇 설치 작업장 인증을 득한 경우에만 안전검사신청 가능
- 운영근거: 산업안전보건기준에 관한 규칙 제223조(운전 중 위험방지)

산업용 로봇 안전검사

- 로봇 작업안전에 대한 수요 증가 & 규제 강화
- ‘다관절 로봇이 포함된 산업용 로봇 셀’에 대하여 산업용 로봇 안전검사 2017.
10. 29.부터 실시 (매 2년 검사)
- 검사 기준 (32개 항목)
 - ISO 10218 및 ISO TS 15066 의 핵심 내용
 - + 전기안전요건 (KS C IEC 60204-1)
 - + 협동운전 요구사항

산업용 로봇 안전검사 기준

[별표 14] 산업용 로봇의 검사기준(제30조 관련)

번호	구분	내용	참고조항
1	동력전달 부품	<p>가. 전동기 축, 기어, 구동벨트 또는 연결(link)장치 등의 동력전달부에는 고정식 또는 가동식 가드가 설치되어 있을 것</p> <p>나. 가동식 가드에는 신체의 일부가 위험점에 도달하기 전 로봇의 작동이 정지되도록 연동회로가 구성되어 정상적으로 작동될 것</p> <p>다. 연동시스템의 성능과 관계된 안전은 제4호의 요건을 만족할 것</p>	<p>자율안전확인고시 2. 10218-1 5.2.1</p>
2	동력의 손실 또는 변동	<p>가. 로봇에 공급되는 동력이 차단되거나 변동되더라도 주행 폭주 또는 불시정지 등의 위험이 초래되지 않고, 동력을 재공급하는 경우에도 로봇이 기동되지 않을 것</p> <p>나. 말단장치는 전기, 유·공압, 또는 진공의 상실, 변동에 의한 위험이 초래되지 않을 것. 다만, 불가능한 경우에는 근로자를 보호하기 위한 별도의 안전방호 대책을 사용자에게 제공된 경우에는 예외로 할 수 있다.</p>	<p>자율안전확인고시 3. 10218-1 5.2.2 10218-2 5.3.10</p>
3	제어장치	<p>로봇에 설치되는 제어장치는 다음 각 목의 요건에 적합할 것</p> <p>가. 누름버튼은 오작동 방지를 위한 가드를 설치되어 있는 등 불시기동을 방지할 수 있는 구조일 것</p> <p>나. 전원공급램프, 자동운전, 결합검출 등 작동제어의 상태를 확인할 수 있는 표시장치를 설치되어 있을 것</p> <p>다. 조작버튼 및 선택스위치 등 제어장치에는 해당 기능을 명확하게 구분할 수 있도록 표시되어 있을 것</p>	<p>자율안전확인고시 5. 10218-1 5.3.2~5.3.4 KOSHA GUIDE M-61-2012 4.1.4 조작반</p>

산업용로봇 안전 검사 기준

안전검사 절차에 관한 고시(산업용 로봇)

[별표 14] 안전검사대상 용해·변형기구 등의 안전 및 평가에 적용범위

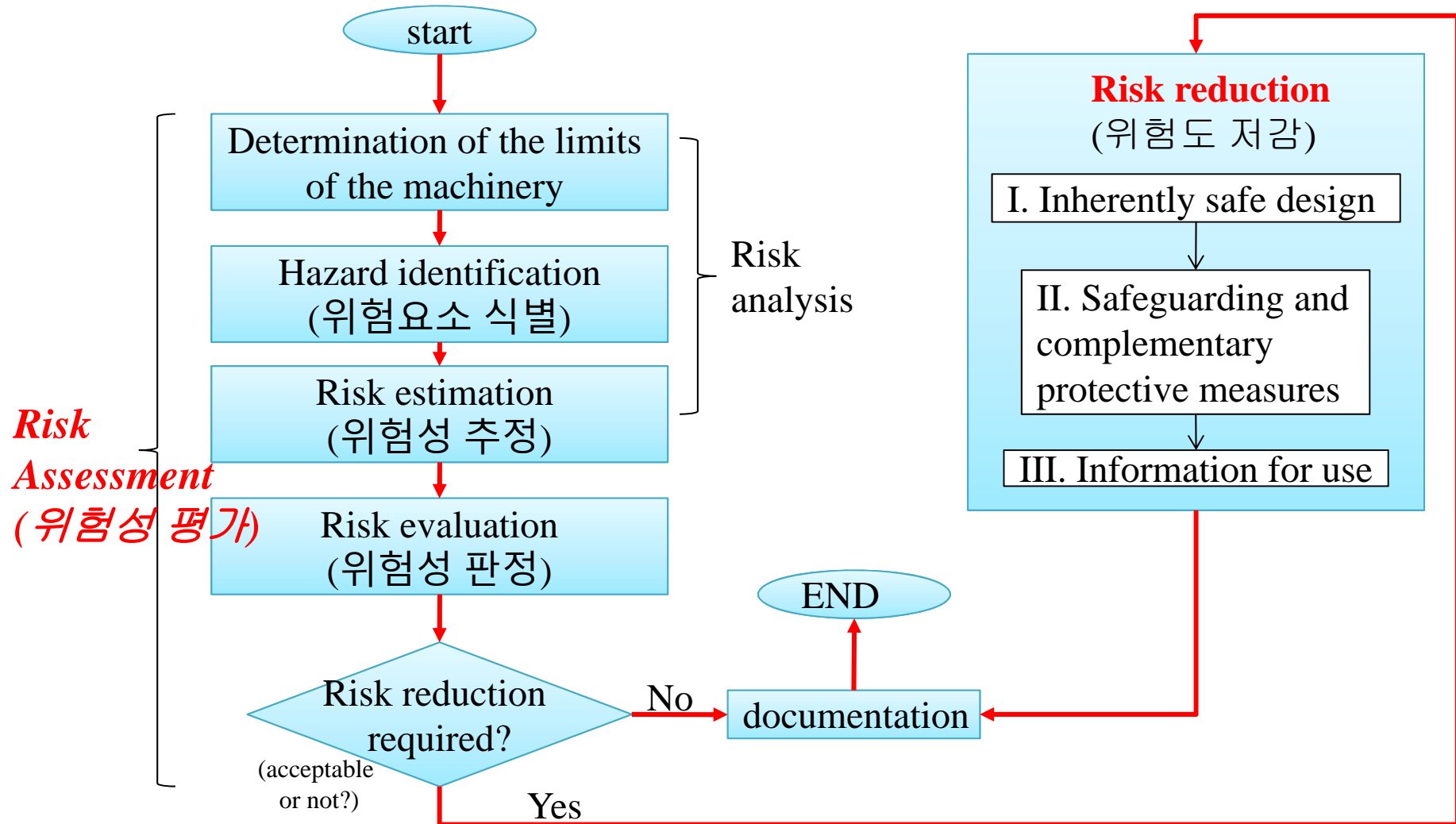
구분	구분	구분	구분
1	구분	구분	구분
2	구분	구분	구분
3	구분	구분	구분
4	구분	구분	구분
5	구분	구분	구분
6	구분	구분	구분
7	구분	구분	구분
8	구분	구분	구분
9	구분	구분	구분
10	구분	구분	구분
11	구분	구분	구분
12	구분	구분	구분
13	구분	구분	구분
14	구분	구분	구분
15	구분	구분	구분
16	구분	구분	구분
17	구분	구분	구분
18	구분	구분	구분
19	구분	구분	구분
20	구분	구분	구분
21	구분	구분	구분
22	구분	구분	구분
23	구분	구분	구분
24	구분	구분	구분
25	구분	구분	구분
26	구분	구분	구분
27	구분	구분	구분
28	구분	구분	구분
29	구분	구분	구분
30	구분	구분	구분
31	구분	구분	구분
32	구분	구분	구분
33	구분	구분	구분
34	구분	구분	구분
35	구분	구분	구분
36	구분	구분	구분
37	구분	구분	구분
38	구분	구분	구분
39	구분	구분	구분
40	구분	구분	구분
41	구분	구분	구분
42	구분	구분	구분
43	구분	구분	구분
44	구분	구분	구분
45	구분	구분	구분
46	구분	구분	구분
47	구분	구분	구분
48	구분	구분	구분
49	구분	구분	구분
50	구분	구분	구분



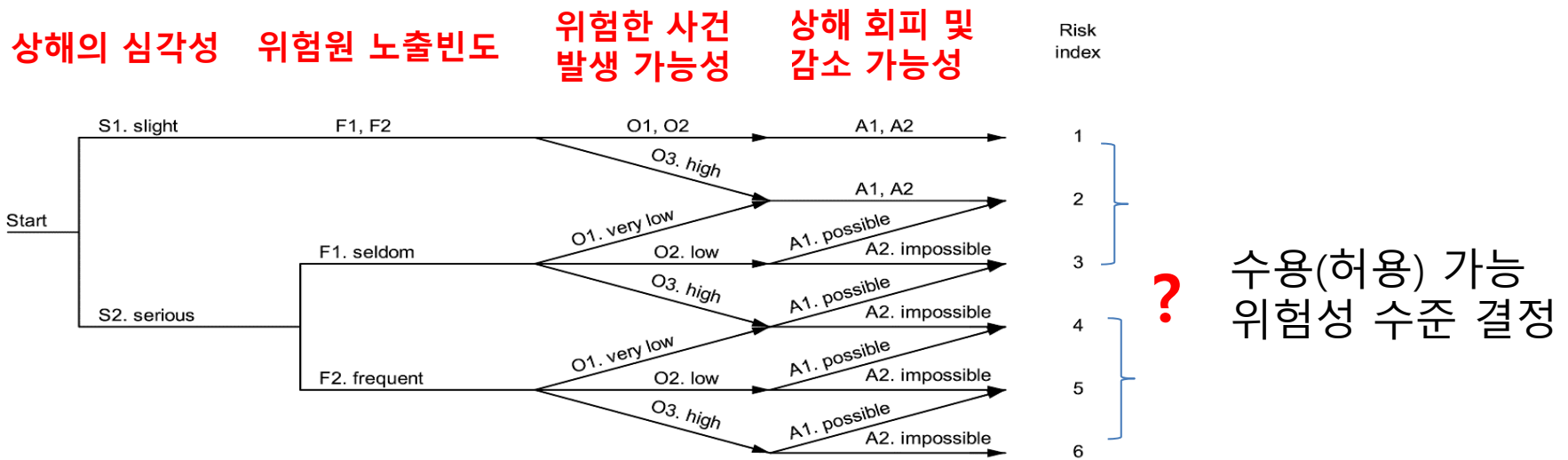
로봇 시스템 위험성 평가 방법

- ISO

ISO 12100 기반 위험성 평가 절차



ISO 14121기반 위험성 추정 방법



안전관리공단 위험성 추정 방법

상해의 발생 빈도	판정 기준
최상(3)	❖ 작업자 상해가 발생할 가능성이 높음(자주 발생)
상(3)	❖ 작업자 상해가 발생할 가능성이 높음(가끔 발생)
중(2)	❖ 작업자 상해가 발생할 가능성이 있음(드물게 발생)
하(1)	❖ 작업자 상해가 발생할 가능성이 낮음(거의 없음, 무시할 수준)



상해의 심각성	판정 기준
최상(4)	❖ 사망, 장애 등을 초래하는 사고
상(3)	❖ 치료가 필요한 사고(업무 즉시 복귀 불가능)
중(2)	❖ 치료가 필요한 사고(업무 복귀 가능)
하(1)	❖ 경미한 사고(업무에 전혀 지장이 없음)

위험성 추정



빈도	심각성	최상 (4)	상 (3)	중 (2)	하 (1)
최상 (4)		높음 (16)	높음 (12)	보통 (8)	낮음 (4)
상 (3)		높음 (12)	보통 (9)	보통 (6)	낮음 (3)
중 (2)		보통 (8)	보통 (6)	낮음 (4)	낮음 (2)
하 (1)		낮음 (4)	낮음 (3)	낮음 (2)	낮음 (1)

위험성 추정에 기반한 위험성 판정

위험성 추정 결과

심각성 빈도	최상 (4)	상 (3)	중 (2)	하 (1)
최상 (4)	높음 (16)	높음 (12)	보통 (8)	낮음 (4)
상 (3)	높음 (12)	보통 (9)	보통 (6)	낮음 (3)
중 (2)	보통 (8)	보통 (6)	낮음 (4)	낮음 (2)
하 (1)	낮음 (4)	낮음 (3)	낮음 (2)	낮음 (1)

위험성 판정

위험성 수준	허용가능 여부	개선방법	비고
높음 (12~16)	허용 불가능	❖ 즉시 개선	- 작업을 지속하려면 즉시개선이 필요한 상태
보통 (5~9)	허용 불가능	❖ 개선	- 안전보건대책을 수립하여 개선이 필요한 상태
낮음 (1~4)	허용 가능	❖ 상태 유지	- 근로자에게 위해/위험정보 제공 및 교육

<산업안전보건공단 기준>



산업용로봇 시스템 위험성 평가 사례

- 방호벽 설치
- 개구부 감응형 보호장치
- 출입문과 로봇/모든 위해요소 정지기능 연동
- 제어기/TP 보호영역 외부 배치

방호벽 설치

위험한 사건	잠재적 결과	위험성 추정			위험성 결정
		상해 발생 빈도	상해의 심각성	위험성 수준	
방호벽이 없어 작업자와 로봇의 충돌 가능	타박상, 골절, 뇌진탕	3	3	9	허용 불가능

공정 특성 따라 달라질 수 있음

위험성 감소 대책	위험성 재추정			위험성 재결정
	상해발생 가능성	상해의 심각성	위험성 수준	
안전보건규칙 223조(산업용로봇안전검사 기준 18항)에 의거 최소 1,400mm 이상의 방책을 설치 가동식 방책(출입문)에는 연동장치가 설치되어야 함	1	1	1	허용 가능

개구부/투입구 감응형 방호장치

위험한 사건	잠재적 결과	위험성 추정			위험성 결정
		상해 발생 빈도	상해의 심각성	위험성 수준	
부품 투입을 위한 개구부에 방호대책이 없어 보호영역에 사람 진입하여 로봇과 충돌 가능	타박상, 골절, 협착, 뇌진탕	2	4	8	허용 불가능

위험성 감소 대책	위험성 재추정			위험성 재결정
	상해발생 가능성	상해의 심각성	위험성 수준	
보호영역은 방책에 의하여 설정될 것. 다만, 재료나 부품의 투입 또는 인출을 위한 개구부의 경우에는 감응형 방호장치 등에 의하여 설정될 것 <산업용로봇 검사기준 18항 보호영역 및 방책>	1	1	1	허용가능



협동로봇 시스템 위험성 평가 사례

- End-effector 등 부가 장치에 의한 협동로봇 시스템의 안전성 담보를 위한 감응형 방호장치
- 협동로봇 작업 영역 표시

협동로봇 시스템 접근에 대한 감응형 방호장치

위험한 사건	잠재적 결과	위험성 추정			위험성 결정
		상해 발생 빈도	상해의 심각성	위험성 수준	
로봇의 좌우측면과 후면에 방호장치가 없어 작업자 또는 제 3자의 진입이 가능하여 작업 중인 로봇과 작업자의 신체일부와 충돌 가능	타박상, 피부 찢김, 멍, 골절	2	3	6	허용 불가능

공정 특성 따라 달라질 수 있음

위험성 감소 대책	위험성 재추정			위험성 재결정
	상해발생 가능성	상해의 심각성	위험성 수준	
로봇 작업영역과 겹치는 부분에 작업자 신체의 일부가 들어올 경우 작업자를 감지하고 로봇을 정지시킬 수 있는 감응형 방호장치(예. 라이트 커튼, 레이저 스캐너) 설치. 방호장치는 PLd CAT 3 등급을 만족하여야 함. 로봇의 측면의 경우 방호벽의 설치로 구현가능. <산업용 로봇 안전검사 기준 11, 18항> 감응형 센서 사용을 원하지 않을 경우 협동로봇의 PFL 모드에서 ISO TS 15066 기준에 준하는 힘/압력 측정 시험 데이터 제시 <ISO TS 15066>	1	1	1	허용 가능

협동로봇에 대한 흔한 오해

➤ 충돌에 대해 힘/압력 기준을 준수하도록 제작되고 인증받은 협동로봇인데 왜 별도의 방호장치가 필요한가?

➤ 협동로봇의 안전인증은 로봇 자체의 안전기능에 대한 인증으로 **로봇 자체에만 적용**

➤ 협동로봇에 end-effector나 부가적인 장치가 추가될 경우 인증 받은 로봇과는 다른 위해요소를 갖는 로봇 시스템이 됨

➤ 로봇 시스템에 대해 안전 요구조건 준수요건 추가됨

➤ Two options

➤ **로봇 시스템에 대해 안전을 담보할 수 있는 방호장치 적용**

➤ **end-effector가 적용된 작업조건에 대해 ISO TS 15066 (power and force limit) 기준을 만족한다는 증명(실험 data) 제시**

(end-effector의 형상이 날카롭거나 뾰족하지 않고 작업속도가 충분히 느려서 ISO TS 15066의 힘/압력 기준값 만족 가능성이 있는 경우만 적용가능)

<end-effector에 날카로운 tool이 장착되어 작업자 신체 일부에 상해 유발 가능>

협동작업공간 구분 표시

위험한 사건	잠재적 결과	위험성 추정			위험성 결정
		상해 발생 빈도	상해의 심각성	위험성 수준	
바닥에 협동작업공간을 구분하는 표시가 없어 작업자와 로봇의 충돌 가능	타박상, 피부찢김, 멍, 골절	2	3	6	허용 불가능

위험성 감소 대책	위험성 재추정			위험성 재결정
	상해발생 가능성	상해의 심각성	위험성 수준	
바닥에 협동로봇의 작업영역을 표시 <산업용 로봇 안전검사 기준 10항 나목>	1	2	2	허용가능



공통(산업용/협동) 적용 위험성 평가 사례

공정/동작 제어기의 보호영역 밖 배치

위험한 사건	잠재적 결과	위험성 추정			위험성 결정
		상해발생 빈도	상해의 심각성	위험성 수준	
로봇의 자동운전 중 접근을 요하는 공압조절 밸브와 같은 동작제어기가 로봇 바디에 붙어 있어 로봇과 작업자의 충돌 가능	타박상, 피부찢김, 멍, 골절	3	3	9	허용 불가능

위험성 감소 대책	위험성 재추정			위험성 재결정
	상해발생 가능성	상해의 심각성	위험성 수준	
작업자가 보호영역 밖에 있을 수 있도록 자동운전 중 접근을 요하는 동작 제어기 (예. 공압 밸브 등)는 반드시 보호영역 밖에 배치 <산업용 로봇 안전검사 기준 15항 및 ISO 10218-2 5.3.2>	1	2	2	허용가능



감사합니다.

Robot System Safety

