

# 로봇 시스템 안전규격 및 요구사항

## Part II - 산업용 로봇

### 곽 관 웅

세종대학교 기계공학과 교수

ISO TC 299 WG 2 Secretary / Project leader / 한국대표단 수석대표

# 로봇 안전

➤ **ISO 12100** : 기계류의 설계에 안전성을 확보하기 위한 원칙과 방법론 명시

{ **기계**의 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 personal care robot** → **ISO 13482**

# ISO 10218-1

---

- 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)

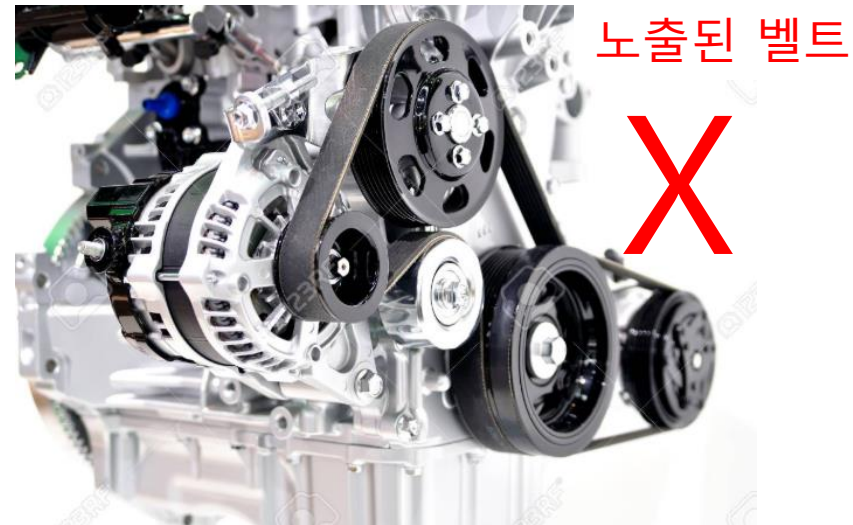
5.14 로봇 들어올리기에 대한 규정

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 Robot stopping functions (로봇 정지 기능) 반드시 보호정지(protective stop) 기능과 독립적인 비상정지 기능 보유

- E-stop vs protective stop

Parameter	Emergency stop	Protective stop
Location of initiation means	Operator has quick, unobstructed access	For protective devices, the location is determined by the minimum (safe) distance formulas described in ISO 13855
Initiation	Manual	Manual, automatic or may be automatically initiated by a safety-related function
Safety-related control system performance	Shall meet performance requirement in 5.4	Shall meet performance requirement in 5.4
Reset	Manual only	Manual or automatic
Use frequency	Infrequent	Variable; from every operation to infrequent
Purpose	Emergency	Safeguarding or risk reduction
Effect	Remove energy sources to all hazards	Safely control the safeguarded hazard(s)

## 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)

## 5.6 Speed control

말단장치의 장착 플랜지와 공구중심점(TCP)의 속도는 **선택된 속도로 제어할 수 있어야** 한다.

### 5.6.2 reduced speed control operation(감속제어 운전)

- TCP(공구중심점) 속도 250mm/s이하로 유지

### 5.6.3 safety-rated reduced speed control (안전정격 감속 제어)

- 고장 시에도 5.4.2에 따라 TCP 속도 250mm/s이하로 유지되고 보호정지 시행

### 5.6.4 safety-rated monitored speed (안전정격 감시 속도)

- 5.4.2에 따라 TCP 속도 감시하고, 속도 한계 초과 시 보호정지

## 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

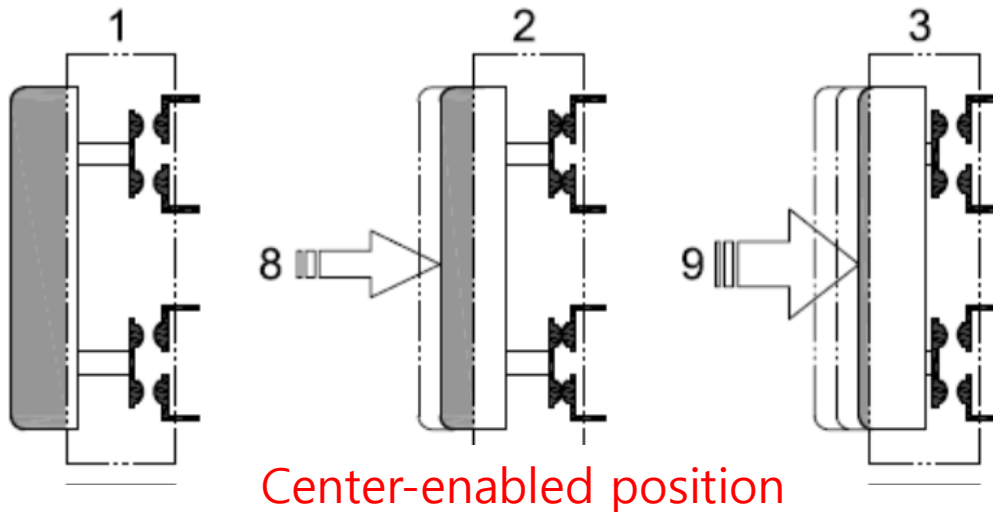
- 작업자 개입 허용
- 자동 운전 금지
- Jogging, 교시, 프로그래밍, 프로그램 확인 (유지관리 임무) 시 사용
- 보호영역 내 수동 제어 시 반드시 감속 상태 운전을 다음 장치와 연계해서 사용
  - 동작허가 장치(enabling device)와 연계된 Hold-to-run (동작 유지장치)

## 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

## 5.12 Axis limiting (축 제한)

- 로봇 작업 공간 제한 수단 필요
- 로봇의 primary axis의 운동 제한하는 기계적 멈춤장치 필요

### 5.12.2 Mechanical and electro-mechanical axis limiting devices

- 2,3 축 제한할 수 있는 기계식, 비기계식 장치 필요
- 기계식: 정격부하, 최대 연속 속도, 최대/최소 extension에서 로봇 정지 가능하도록
- 전기기계식 장치는 5.4 만족(PLd, CAT 3)
- 로봇 제어 및 task program으로는 전기기계식 장치 설정 변경 불가

### 5.12.3 Safety-rated soft axis and space limiting

- 연성 제한(soft limit): 로봇 동작을 소프트웨어에서 정의한 값으로 제한하는 것  
로봇 동작을 일정영역 내로 제한 또는 일정영역 내로 들어가는 것을  
금지하기 위해 사용
- Soft limit(소프트웨어를 이용한 작업공간 제한)이용하여 작업영역 제한
- 최대 부하&속도에서 로봇 정지 가능할 경우, soft limit 사용 가능
- 로봇 정지 거리 고려하여 제한영역 설정
- Soft limit 기능 → 5.4 만족(PLd, CAT 3) & 허가받은 작업자만 설정/변경 가능
- Soft limit 위반시 보호정지 개시

### 5.13 Movement without drive power

- 비상/비정상 상황 시 동력없이 축 이동 가능해야 함
- 가능할 경우 한 사람에 의해

### 5.14 provisions for lifting

- 로봇 및 관련 부품 거중 지침 및 방법 제공 되어야 함 (lifting hooks, eye bolts, threaded holes, fork pockets)

### 5.15 Electrical components

- 의도치 않은 분리가 발생하지 않도록 설계 및 제작



## 6. Verification and validation of safety requirements and protective measures

- A visual inspection;
- B practical tests;
- C measurement;
- D observation during operation;
- E review of application-specific schematics, circuit diagrams and design material;
- F review of task-based risk assessment;
- G review of specifications and information for use.

## Annex F Means of verification of the safety requirements and measures

Subclause	Applicable safety requirements and/or measures	Verification and/or validation method (see 6.2)						
		A	B	C	D	E	F	G
5.3	<b>Actuating controls</b>							
5.3.2	Actuating controls are constructed or located so as to prevent unintended operation	X	X					
5.3.3	Status of the actuating controls is clearly indicated	X	X		X			
5.3.3	If an indicator light is used, it is suitable for its installed location and its colour meets the requirements of IEC 60204-1	X			X			
5.3.4	Actuating controls are labelled to clearly indicate their function	X						
5.3.5	While the robot is under local pendant control or other teaching device control, initiation of robot motion or change of local control selection from any other source is prevented		X		X	X		
5.4	<b>Safety-related control system performance (hardware/software)</b>							
5.4.1	The safety-related control system performance that the equipment meets is clearly stated in the information for use					X		X
5.4.1	The data and criteria necessary to determine the safety-related control system performance is included in the information for use							X
5.4.2	Safety-related parts of control systems comply with PL=d, with structure category 3, or with SIL 2 with a hardware fault tolerance of 1, with a proof test interval of not less than 20 years					X		X
5.4.2	Single faults are detected at or before the next demand upon the safety function		X		X	X		
5.4.2	When single faults occur, the safety function is always performed and a safe state is maintained until the detected fault is corrected		X		X	X		
5.4.2	All reasonably foreseeable faults are detected		X		X	X	X	

## Annex A List of significant hazards

No.	Type or group	Example of hazards		Clause/ subclause reference
		Origin	Potential consequences	
1	Mechanical hazards	— movements (normal or unexpected) of any part of the robot arm (including back)	— crushing	Clause 4
		— movements (normal or unexpected) of end-effector or any mobile part of robot cell	— shearing	5.2.1
		— movements (normal or unexpected) of external axis	— cutting or severing	5.2.3
		— end-effector failure (separation)	— entanglement	5.5
		— movement of end-effector tool at servicing position	— drawing-in or trapping	5.6
		— unintended movement of machines or robot cell parts during handling operations	— impact	5.7
		— materials and products falling or ejection	— stabbing or puncture	5.8.4
		— unintended movement of jigs or gripper	— friction, abrasion	5.9
		— unintended release of tool	— high-pressure fluid/gas injection or ejection	5.10
		— unintended movement of associated machine(s)		5.11
		— manipulation of products and materials, including ejection		5.12
		— movement or rotation of sharp tool on end-effector		5.13
		— movement of robot parts		5.14
		— motion of part with sharp edge held by robot		
		— rotation of tool of the end-effector		
		— rotation or movement of associated machine		

2	<b>Electrical hazards</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— contact with live parts or connections</li> <li>— confusion of various voltages within a system</li> <li>— contact with discrete components in the electrical (electronic) circuitry, i.e. capacitors</li> <li>— exposure to arc flash</li> <li>— process using high voltage or high frequency, i.e. electrostatic painting, inductive heating</li> <li>— welding applications using high voltage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— electric shock</li> <li>— burn or scald</li> <li>— inhalation of toxic fume</li> <li>— eye damage by electric spark</li> <li>— influence to pacemaker</li> </ul>	<p>Clause 4</p> <p>5.2.4</p> <p>5.2.5</p> <p>5.2.6</p> <p>5.2.7</p> <p>5.15</p>
3	<b>Thermal hazards</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— hot surfaces associated with the end-effector; or associated equipment or workpiece</li> <li>— cold surfaces or objects</li> <li>— explosive atmosphere caused by the process, i.e. paint (atomized particles, powder painting), flammable solvents, grinding and milling dust</li> <li>— exposure to temperature extremes required to support the process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— burns</li> <li>— fire, explosion</li> <li>— radiation from heat sources</li> <li>— inhalation of toxic fumes</li> <li>— dehydration</li> </ul>	<p>Clause 4</p>

4	Noise hazards	<ul style="list-style-type: none"> <li>— loss of balance, disorientation in working area of robot cell</li> <li>— inability of two persons assigned to a task to coordinate their actions through normal conversation</li> <li>— ambient noise level so high or distracting as to prevent hearing or understanding audible danger warning signals</li> <li>— long-term exposure to elevated noise levels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— effect on the hearing and balance, awareness</li> <li>— effect on speech communication, perception of acoustic signals</li> <li>— loss of hearing</li> </ul>	Noise is excluded from the scope of this part of ISO 10218
5	Vibration hazards	<ul style="list-style-type: none"> <li>— loosening of connections, fasteners, components resulting in unexpected stopping or expulsion of parts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— fatigue</li> <li>— neurological damage</li> <li>— vascular disorder</li> </ul>	Clause 4 5.2.3
6	Radiation hazards	<ul style="list-style-type: none"> <li>— EMF interference with proper operation of the robot system</li> <li>— exposed to process-related radiation, i.e. arc welding, laser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— burns</li> <li>— illness</li> </ul>	Clause 4
7	Material/substance hazards	<ul style="list-style-type: none"> <li>— servicing, lubrication and changing components that are covered in fluids; cooling and process fluids</li> <li>— unexpected failures to the mechanical and electrical components of the robot system and the protection systems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— poisoning</li> <li>— inhalation of corrosive fumes and dust</li> <li>— burns</li> </ul>	Clause 4

8	Ergonomic hazards	<ul style="list-style-type: none"> <li>— poorly designed teach pendant, human-machine interface (HMI) touch screen or operator panel too far or high</li> <li>— poorly designed loading/unloading post; long distance between components box location and loading/unloading area</li> <li>— poorly designed enabling devices</li> <li>— inappropriate location of controls</li> <li>— inadvertent operation of controls</li> <li>— hard to reach, exposure to additional hazards due to inappropriate location of operating controls</li> <li>— hard to reach, exposure to additional hazards due to inappropriate location of components that require access for anticipated maintenance actions (troubleshooting, repair, adjustment)</li> <li>— recognition of hazards and hazardous situations is obscured because of poor area lighting</li> <li>— components in enclosures that block existing lighting</li> <li>— HMI units placed too high or low for convenient viewing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— fatigue</li> <li>— impact</li> <li>— falling</li> <li>— loss of awareness</li> <li>— stress</li> <li>— consequence of human error</li> </ul>	<p>Clause 4</p> <p>5.3.3</p> <p>5.3.4</p> <p>5.14</p>
---	-------------------	---	---	---

9	Hazards associated with environment in which the machine is used	<ul style="list-style-type: none"> <li>— environment-induced design concerns, i.e. installations in earthquake zones</li> <li>— misidentification of real problem and compound problem by making incorrect or unnecessary actions</li> <li>— one action or failure increases severity of harm, i.e. trying to avoid a sharp edge you come in contact with a hot surface instead</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— <i>force majeure</i></li> <li>— induced failures</li> <li>— unsafe reflex action</li> </ul>	Clause 4
10	Combinations of hazards	<ul style="list-style-type: none"> <li>— unexpected movements of robot or end-effectors or associated machine</li> <li>— unpredictable behaviour of machine controls due to electromagnetic interference or surges in energy source</li> <li>— robot system is directed to start by one person, but this action is not expected by another person</li> <li>— misinterpretation of collaborating robots or simultaneous motion</li> <li>— issued stop command stops the robot in an incomplete cycle</li> <li>— robot system speed can be adjustable resulting in various tasks being done at a variety of speeds</li> <li>— malfunctions of the control with consequent release of holding devices on the load table or</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— restoration of energy supply after an interruption</li> <li>— external influences on the power source</li> <li>— unanticipated start</li> </ul>	Clause 4 5.2.2 5.2.3 5.2.4 5.2.5 5.2.6 5.2.7 5.3.2 5.3.3 5.3.5 5.4 5.5 5.7

## 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) 인터페이스	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
6.3	필수 확인 및 검증(required verification and validation)		부속서 B(참고) 보호 장치와 관련된 표준 관계도
6.4	보호 장치의 확인 및 검증(verification and validation of protective		부속서 C(참고) 부품의 입 출구 지점에 대한 보호 장치
7	사용 정보		부속서 D(참고) 하나 이상의 동작 허가 장치 운전
7.1	일반사항		부속서 E(참고) 협동 로봇의 개념적 응용 분야
7.2	지침 안내서(instruction handbook)		부속서 F(참고) 프로세스 관찰
7.3	표식(marking)		부속서 G(규정) 안전 요구사항 및 대책의 확인 수단
			참고문헌
			43p
			47p
			48p
			51p
			52p
			54p
			57p
			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.

### 4.3 위험도 평가(risk assessment)↵

#### 4.3.1 일반사항↵

로봇 시스템은 항상 특정 응용으로 통합되기 때문에, 통합자는 통합 응용에서 나타나는 위험도를 적절하게 감소시키기 위하여 필요한 위험도 감소 수단을 결정하기 위한 위험도 평가를 수행하여야 한다. 통합 응용을 위하여 개별 기계에서 안전장치를 제거하는 경우에 특히 조심하여야 한다.↵

위험도 평가는 로봇 시스템의 전체 수명(즉, 설치, 조정, 생산, 유지보수, 수리, 해체) 기간 중에 관련된 위험도를 체계적으로 분석 및 평가하도록 한다.↵

필요한 모든 경우, 위험도 평가 다음에 위험도 감소 단계가 따른다. 이러한 과정이 반복될 때, 최대한 가능한 범위에서 위험원을 제거하고 보호 대책을 통한 위험도를 감소시키는 반복 과정이 된다.↵

위험도 평가는 다음을 포함한다.↵

- 로봇 시스템의 제한사항(4.3.2 참조) 결정↵
- 위험원 식별(4.4 참조)↵
- 위험도 예측(risk estimation)↵
- 위험도 판정(risk evaluation)↵

## 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

### 5.3.9 관련 설비 중단(associated equipment shutdown)

- 로봇 시스템은 관련 설비의 중단으로 인하여 위험원 또는 위험 조건이 유발되지 않도록 설치되어야 한다.

### 5.3.10 말단 장치 요구사항(end-effector requirements)

- 말단 장치는 에너지 공급(즉, 전기, 유압, 공압, 진공 공급)의 손실 또는 변화로 인하여 위험 조건이 발생할 수 있는 부하 방출이 유발되지 않도록 설계 제작 되어야 한다 → 비상정지에 의해 공압 라인 중지로 그리퍼 열려 작업물 낙하 되지 않아야 함 (예. Check valve)



### 5.3.15 Enabling device

- 보호영역에서 한 명 이상이 보호되어야 할 때는 각각에게 동작허가장치 제공
- 작업자가 로봇 수동 작업 중 위험상황에 노출될 때 cell 영역내 모든 위험요소를 동작허가장치가 제어할 수 있도록 제어시스템은 동작허가장치와 연동되어야 함
- 연동된 위험한 기계기능은 동작허가장치에 의해 통제(정지)된 후 재기동하기 위해서 별도의 동작을 가져야 함

## 5.4 Limiting robot motion

- 로봇 시스템의 동작을 제한하는 외부장치나 연계된 장치를 이용해서 불필요하게 넓은 방호벽으로 보호되는 최대공간(maximum space) 축소 가능
- 로봇에 연계된 수단(예. 안전정격 soft-axis 및 space limit, 기계식 장치) 또는 외부 제한장치 설치 통해 동작 제한 가능
- 기계식 → 설계된 제한 영역 초월 금지
- 비기계식 → 로봇 제어시스템 통해 정지 기능 개시. **로봇 정지 거리 고려 필요**

### 5.4.4 Dynamic limiting(동적제한)

- 로봇 시스템의 주기 일부분 동안 로봇의 설정된 제한 영역을 자동으로 변경
- cam-operated limit switches, light curtains or control-activated retractable hard stops 적용 가능
- 정격 부하 및 속도 조건에서 로봇 동작을 정지시킬 수 있어야 함
- PL d, CAT 3

## 5.5 Layout(배치)

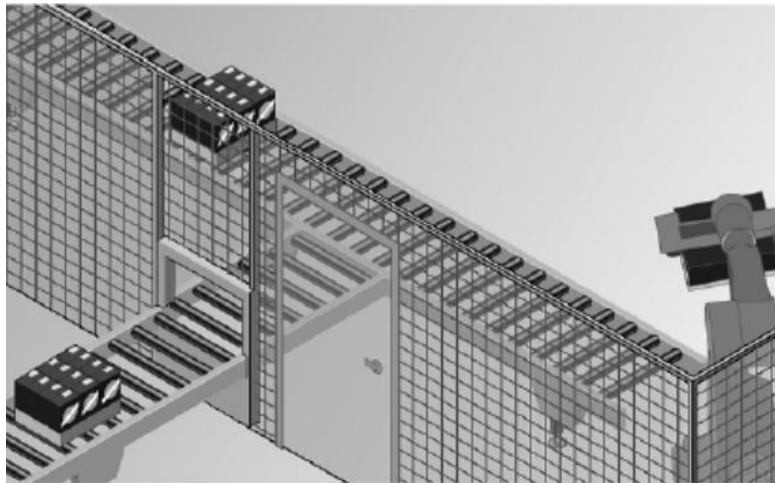
- 경계 안전 보호(perimeter safeguarding) 장치는 방호벽이나 감지 보호 장치로 구현
- 로봇 시스템에서의 공급 및 배출과 관련되어 처리된 부품의 영향을 반드시 고려
  - 부품 로딩/언로딩 통로 주의!
- 기계적 방호벽 상부 및 통과 안전거리는 ISO 13857(팔 및 다리가 위험 지역에 도달하는 것을 금지하기 위한 안전거리)의 요구 조건을 만족
- 연동 방호벽 및 기타 트립(trip) 장치로부터의 최소거리는 KS B ISO 13855 준수
- 최소 간격 사용하여 압착(crushing)을 방지하려는 경우, KS B ISO 13854 준수

## 5.5.2 Access for interventions (개입을 위한 접근)

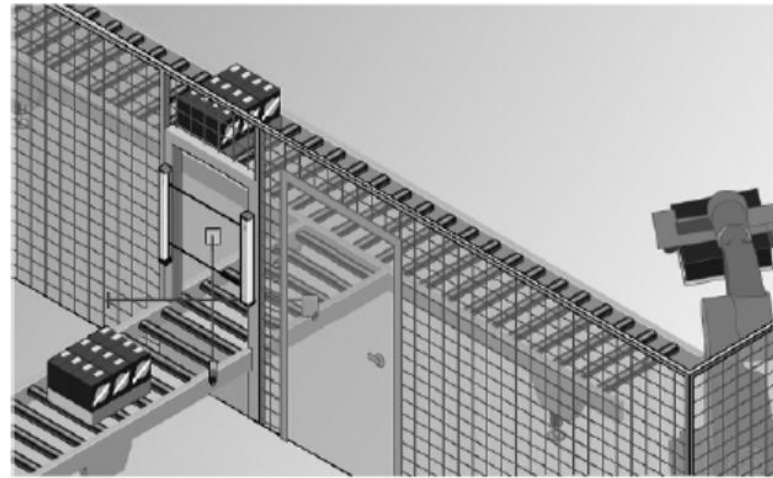
- 로봇 시스템을 설치하는 경우, 로봇의 제한 영역 내에 갇힘 또는 끼임 가능성을 판단하기 위하여 구체적인 설치 및 예상 작업을 대상으로 작업 기반 위험도 평가를 수행
- 고속 수동 모드의 사용을 필요로 하는 작업은 **최소 0.5 m 여유 공간 제공**
- 계산된 정지 위치와 빌딩, 구조물, 경계 방호벽, 공급 설비, 기타 로봇 기능을 지원하지 않는 기계 및 설비와의 사이에, 갇힘 또는 끼임이 발생 가능한 경우에 요구(KS B ISO 13854 참조)
- **운전자의 작업이 보호 영역 외부에서 수행되도록 로봇 시스템 배치**
- **보호 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

## 5.6 로봇 시스템 운전 모드 응용(robot system operational mode application)←

←

### 5.6.1 일반사항←

←

다중 로봇 시스템이 있는 셀의 경우, 운전 모드는 각각의 로봇 시스템에 대하여 선택될 수도 있고, 또한 셀 내부의 모든 로봇 시스템에 공동 모드로 선택될 수도 있다. 각 로봇 시스템에 대한 개별 모드가 선택된 경우, 모든 로봇 시스템이 수동 모드로 전환할 필요는 없다. 수동으로 운전되지 않는 로봇은 선택된 운전 모드에서 독립적으로 안전한 상태에 머물러 있어야 한다.←

←

다음 요구사항들은 로봇 시스템 또는 로봇 셀에 적용된다. 이것은 로봇 작업을 위해 필요로 하지 않는 로봇 셀 내부의 다른 장비에 대한 요구사항은 포함하지 않는다. 이러한 다른 장비로 인한 위험도 때문에 취하여야 하는 추가적 수단을 결정하기 위하여 별도의 위험도 평가가 수행되어야 한다. 로봇 시스템이 수동 모드로 놓인 경우, 모든 다른 장비들은 안전한 상태로 놓이고 유지되는 것이 강력하게 권장된다.←

←

### 5.6.2 선택(selection)←

←

비공인 그리고(또는) 부주의한 모드 선택은 적당한 수단에 의하여 방지되어야 한다.←

←

이러한 수단은 선택된 모드만을 기동하여야 하며, 자체적으로 로봇 시스템 운전 또는 관련된 기계류로부터 기타 위험 운전을 기동하여서는 안 된다. 로봇 시스템 운전을 시작하기 위하여 별도의 기동이 필요해야 한다.←

←

선택된 운전 모드에 대한 명백한 표시가 제공되어야 한다.←

←

운전 모드 변환이 위험 상황을 유발하여서는 안 된다.←

### 5.6.3 자동 모드(automatic mode)←

←

#### 5.6.3.1 일반사항←

←

자동 모드에서 보호 영역으로 사람이 들어가게 되면 위험원 또는 위험 상황을 유발할 수 있는 모든 설비는 보호정지를 발생하여야 한다.←

←

#### 5.6.3.2 자동 모드의 선택(selection of automatic mode)←

←

로봇 시스템의 자동 모드 선택은 어떠한 보호정지 또는 비상정지를 리셋 또는 무효화하여서는 안 된다.←

←

자동 모드의 선택은 보호 영역 외부에서 수행되어야 하며, 교시 상자나 교시 제어기를 사용하여 자동 모드를 선택하는 경우에는 자동 운전의 기동을 위한 보호 영역 외부에서의 별도의 의도된 동작이 필요하다.←

이 모드로부터의 전환은 보호정지 또는 비상정지가 발생하여야 한다.←

←

#### 5.6.3.3 자동 모드의 기동(initiation of automatic operation)←

←

자동 운전은 보호 영역 외부에서 기동되어야 한다.←

←

자동 운전의 기동은 모든 관련 안전장치가 활성화되어 있을 때만 가능하도록 하여야 한다.←

## 5.7 교시 상자(pendants)

### 5.7.2 무선 또는 분리형 설치/통신에 관한 요구사항(requirements for cableless or detachable installations/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 5.2.2의 요구사항을 만족하는 구체적 운전 모드 또는 절차를 제공하여야 함. ←

## 5.9 통합 제조 시스템(Integrated Manufacturing System, IMS) 인터페이스

- 로봇 시스템과 관련되지만 **로봇 제어기에 의하여 직접 제어되지 않는 기타 기계류 및 장비는 위험도 평가, 지역 설정 구성, 안전 보호 장치, 제어 실행의 범위에 포함되어야 한다**

### 5.9.2 비상정지(emergency stop)

- 로봇 시스템은 기계의 모든 관련 부분에 영향을 주는 단일 비상정지 기능을 가져야 한다
- PLd, CAT3

### 5.9.3. IMS의 안전 관련 부분(safety-related parts of the IMS)

#### 5.9.4 지역 제어(local control)

#### 5.9.5 동작허가 장치(enabling device)

#### 5.9.6 모드선택 (mode selection)

#### 5.9.7 작업지역 설정( task zone implementation)

## 5.10 안전보호 장치(Safeguarding)

- 위험 지역에서의 접근은 방호벽과 보호 장치 같은 보호 장치에 의하여 보호되어야 한다.

방호벽과 보호 장치는 다음 목적으로 사용될 수 있다.

←

- 위험원에 접근 방지←
- 접근 전에 위험원이 중지되도록 유도←
- 우발적 운전 방지←
- 부품 및 공구 움직임 방지←
- 기타 프로세스 위험원(소음, 레이저, 방사선 등)←

### 5.10.2 경계 안전 보호 장치(perimeter safeguarding)

- 적절한 경계 안전 보호 장치의 선택 시 로봇 시스템과 관련된 것 외에 보호 영역 내에 있는 모든 위험원(기계류, 설비, 프로세스, 낙하 또는 방출 물체 등) 을 고려하여야 한다.

### 5.10.3 최소 (안전) 거리(minimum safety distance)

- 모든 안전장치는 단단하게 설치되고 또한 위험원이 접근될 수 없는, 예를 들면 안전장치 위로, 아래로, 옆으로 또는 통과하여 위험원에 도달할 수 없는 곳에 위치되어야 한다
- 고정 및 이동 방호벽의 어떠한 위험원으로부터의 최소거리는 ISO 13857의 관련 요구사항에 따라서 결정
- 여유 공간을 위한 최소 (안전) 거리는 접근 속도로 로봇의 속도를 사용하여 계산하여야 한다

#### 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

## 5.10.5 감지 보호 장치(sensitive protective equipment)

- 빈번한 접근, 기계와 인간과의 상호작용, 기계 또는 프로세스에 대한 양호한 가시성이 필요한 응용, 또는 고정 방호벽이 인간공학적으로 적당하지 않는 경우 등에서 광선 커튼 및 레이저 스캐너, 안전 매트, 안전 에지(safety edges), 범퍼 채택
- 보호정지를 기동하기 위하여 감지 보호 장치가 사용되는 경우, 접근하는 사람의 어떤 부위도 위험 지역에 도달하기 전에 기계가 정지하거나 아니면 안전한 조건이 되도록, 특정 기계 위험으로부터 충분한 거리를 두고 설치되어야 한다.
- 감지 보호 장치는 운전자가 검색 지역의 위로, 아래로, 옆으로 또는 관통하여 위험에 도달하지 못하도록 확실하게 설치되고 위치되어야 한다.
- 감지보호 장비가 발동되었을 때, 보호정지가 기동되어야 한다.
- 운전자 또는 운전자의 일부가 보호 영역에 남아 있는 경우, 우발적 기동과 같은 위험 상황을 방지하기 위해, 보호정지를 유지하기 위하여 보호 영역에서 운전자를 감지하는 장치[예를 들면, 전기 감응 보호 장치(ESPE) 또는 압력 매트] 제공
- 리셋 제어 위치에서 운전자가 보이지 않을 가능성이 있는 경우, 재기동 연동 장치의 리셋을 금지하기 위한 보조 보호 대책이 제공되어야 한다

## 5.10.7 부품 이동용 틈에 대한 안전 보호 장치(safeguarding of openings for material flow)

- 부품의 출입을 위한 보호 영역 내의 틈은 부품이 통과하기 위하여 **필요한 최소한의 크기**이어야 한다
- 만약 위험원에 접근하는 것이 가능한 경우, 위험도 평가에 따라 접근을 막거나 사람 및 사람의 들어오는 부분을 감지하여, 닿기 전에 위험원을 안전한 상태로 만들어야 한다
- 재료에 입구와 출구를 위한 구멍들이 ESPE를 사용하여 지켜지고 있는 곳은 일시적으로 **ESPE 기능을 일시 중지시킴으로 인하여, 재료가 입구와 출구를 통하여 출입하도록** 하는 기능 가져야 함



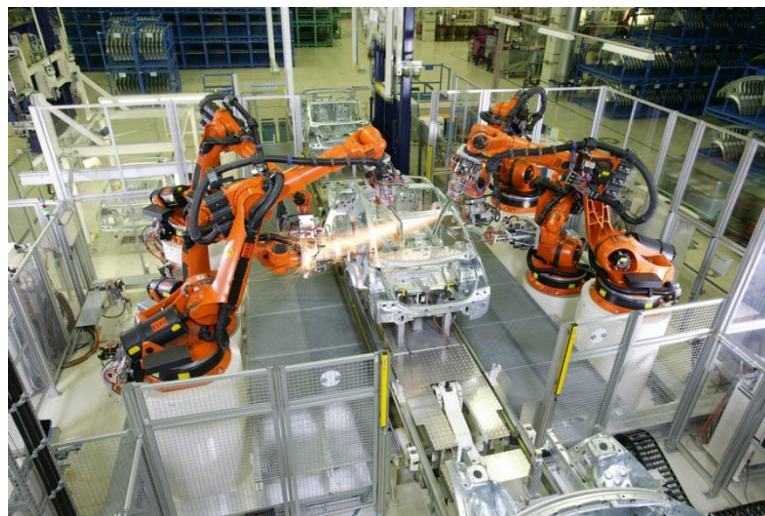
---

# **ISO TS 15066**

---

# 산업용 로봇 시장 환경의 변화

- ▶ 산업용 로봇: 공장자동화에 많은 기여
- ▶ 높은 위험성 → 안전을 위해 작업자와 로봇 격리  
(안전펜스에 의한 작업자 접근 제한)



- ▶ 본질적으로 인간의 개입이 필요한 많은 로봇자동화 작업 구현에 제약
- ▶ 작업공간 활용에 있어서도 비효율적인 문제 야기
- ▶ 인간과 로봇이 작업공간을 공유하도록 하는 협동로봇을 통해 해법 추구  
→ 협동로봇 (**Collaborative robots**) 개념 등장



# 협동로봇의 확산

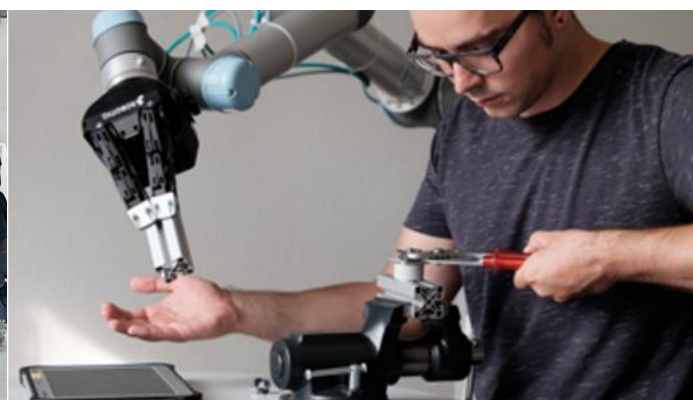
- 협동로봇(**Collaborative robot**)  
규정된 협업작업공간 내에서 **인간과 직접적 상호작용을** 하도록 설계된 로봇
- 작업공간을 인간과 공유  
로봇이 갖고 있는 장점(뛰어난 반복 정밀도, 힘, 지구력)
  - + 인간이 가지고 있는 우수한 능력(인지/판단 능력을 이용한 비정형화된 작업 수행 능력) 결합



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)

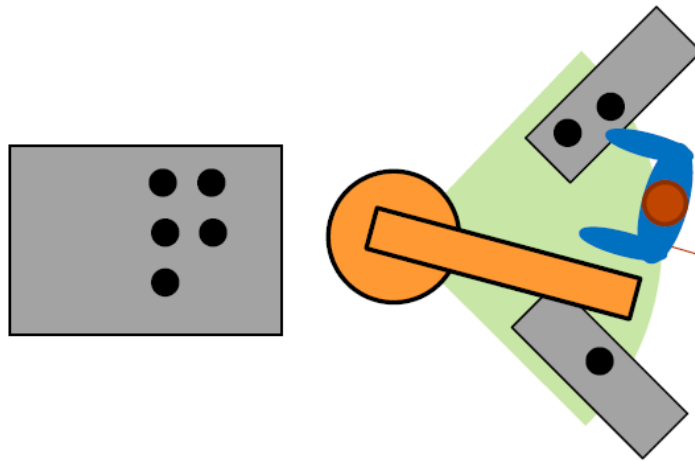
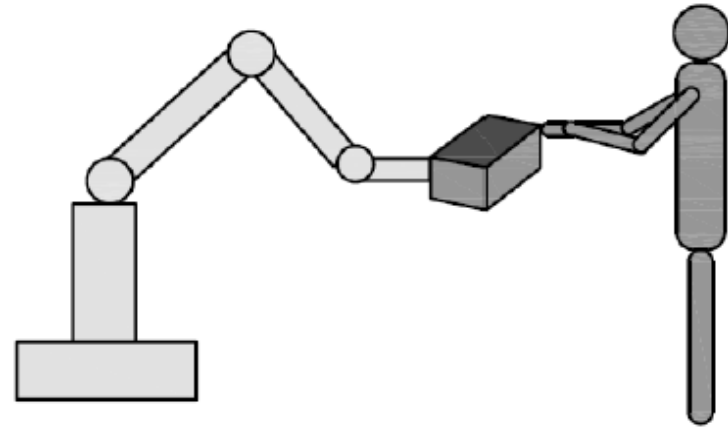


안전 펜스 (인간과 로봇 공간 분리)



안전 펜스 X (접촉, 충돌 위험 상존)

Collaborative operation (협동운전)



Collaborative Workspace (협동작업영역)

Collaborative workspace

# 협동로봇 안전 요구조건에 대한 고민

- **ISO 10218-1:2011**의 협동로봇에 대한 안전요구조건
    - 인간-로봇 접촉에 의한 상해 발생 가능한 특수상황에 대한 구체성 결여
    - Robot-인간 접촉 상황에 적합한 안전/상해 관련 자료 부재
    - 상해 관련 data
      - Available only for 자동차 /산업재해
- ➔ **협동로봇 안전 요구조건에 대한 새로운 기준 도출 필요 공감**

# ISO TS 15066

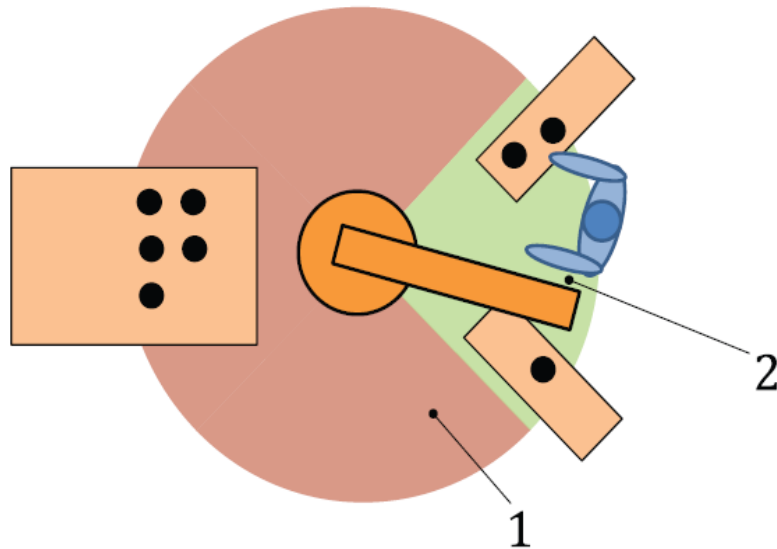
- ISO/TS 15066 Robots and robotic devices — Safety requirements for Industrial robots — Collaborative operation
  - 협동로봇시스템과 작업환경에 대한 안전요구조건 명시
  - ISO 10218-1 & -2에 제시된 협동로봇에 대한 요구조건과 지침을 보완하여 상세한 안전요구 조건 제시
  
- History
  - 2010. 10.: Idea and Consensus
  - 2012.10. : Proposal for new project registered (개발 착수)
  - 2013.12. : New project approved
  - 2014.02. : ‘CD (committee draft) study’ ballot
  - 2016.02.15 **Published as TS**
  
- Note
  - IS (international standard)
  - **TS (technical specification)**
  - PAS (publically available specification), TR (technical report)

# ISO TS 15066

## ➤ ISO/TS 15066 → 협동로봇시스템과 작업환경에 대한 안전요구조건

- 협동로봇 작업에서는 로봇 구동기에 동력이 공급되고 있는 상황에서 로봇 가까이  
에 작업자가 작업할 수 있고,
- 협동작업 공간에서는 작업자와 로봇시스템 사이의 물리적 접촉이 일어날 수 있음

을 고려하여 협동로봇 작업 시 작업자의 안전을 항상 보장할 수 있는 안전대책을  
협동로봇 시스템 설계와 협동로봇 작업 설계에 반드시 반영하도록 규정

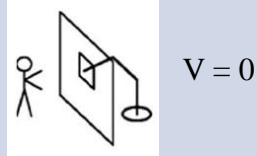
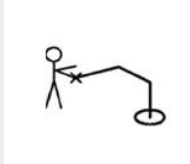
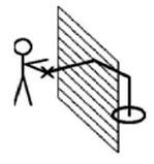
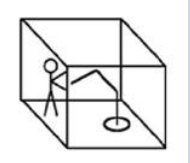
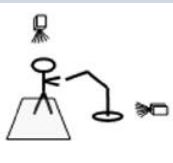



- 1 operating space
- 2 collaborative workspace

**Example of a collaborative workspace**

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

# Safety-rated monitored stop

- 협동작업 공간에 작업자가 들어오면 로봇 정지
- 로봇 정지 후 작업자 협동 작업공간 진입 허용
- 작업자 협동공간 벗어난 후 로봇시스템 운전 개시 가능
- 로봇요구조건: 로봇은 **반드시 Protective stop 기능 보유**해야 함
- 로봇 시스템 요구조건:
  - 협동작업 공간 내 **작업자 유무 감지 할 수 있는 장치 반드시 보유**해야 함
  - IEC 60204-1에 의해 stop category 2로 safety-rated monitored stop 실행되어야 함
  - 요구조건 위반 시 stop category 0의 protective stop 실행되어야 함

로봇 모션 지속/정지  
판단 기준

Robot motion or stop function		Operator's proximity to collaborative workspace	
		Outside	Inside
Robot's proximity to collaborative workspace	Outside	Continue	Continue
	Inside and moving	Continue	Protective stop
	Inside, at Safety - Rated Monitored Stop	Continue	Continue



# Hand Guiding

- 로봇 end-effector나 근처에 장착된 수동 유도장치를 이용하여 사용자가 직접 로봇 동작 유도
- Hand-guiding 수행을 위해 협동작업공간 진입 전 로봇은 반드시 **safety-rated monitored stop** 해야 함.
- 절차
  - safety-rated monitored stop
  - 작업자 협동작업공간 진입
  - Hand-guiding 장치를 이용하여 작업자가 로봇 통제하면 safety-rated monitored stop 기능 해제
  - 작업자가 Hand-guiding를 놓으면 통제하면 safety-rated monitored stop 재개
  - 작업자가 협동작업공간을 떠나면 로봇시스템은 비협동작업 수행 가능

# Speed and separation monitoring

- Speed and separation monitoring 모드에서는 로봇시스템과 작업자가 동시에 협동작업공간 내에서 움직일 수 있음
- 로봇과 작업자 사이의 **최소 보호 이격거리**(protective separation distance)를 항상 유지해야 함
- **최소 거리 이하로 접근할 경우 로봇 시스템은 반드시 정지해야 함**
- 로봇 시스템의 속도를 낮출 경우, 요구되는 최소 보호 이격거리 기준도 낮아짐
- 허용 최대 속도 및 최소 보호이격거리는 최악의 경우를 고려한 위험도 분석을 통해 일정한 값으로 설정하거나, 로봇과 작업자간의 상대 속도와 거리를 실시간으로 검출하여 지속적으로 변경 가능

# Power and force limiting

- 로봇시스템과 작업자 사이의 (의도된 또는 의도하지 않은) **물리적 접촉 가능**
- 이 모드를 사용하려면 모드에 적합하도록 **로봇 시스템이 특수하게 설계되어**  
**야 함**
  - 힘, 토크, 속도, 운동량(momentum), power 측정 장치 내장 필요
- Risk assessment를 통해 임계값 결정
  - Annex A: 임계값 결정 방법
- Contact type category
  - Quasi-static contact(유사정적 접촉): body trapping (몸 끼임, 협착)
  - Transient contact(동적 접촉): dynamic impact
- Frequent contact 경우 임계값 더 낮게

# 협동로봇의 실질적 정의

## ➤ Methods of collaborative operation

Safety-rated monitored stop

Hand-guiding

Speed and separation monitoring

} 기존의 로봇 기술로도 일정수준에서 구현이 가능

**Power and force limiting (biomechanical criteria!) → 접촉/충돌 허용하는 유일한 mode**



- 인간에게 가해지는 접촉 힘이나 압력 같은 생체역학적 물리량을 상해 발생이 일어나지 않는 수준 이하로 유지하도록 엄격히 제한하여 인간-로봇 접촉 시에도 작업자의 안전을 담보하는 작업방식
  - 로봇시스템과 작업자 사이의 (의도된 또는 의도하지 않은) 물리적 접촉 가능
  - 이 모드를 사용하려면 모드에 적합하도록 로봇 시스템이 특수하게 설계되어야 함(힘, 토크, 속도, momentum, power 측정 장치 내장 필요)
- 기존의 산업용 로봇에서 적용된 적이 없는 매우 도전적인 기술적 요구 조건
- 산업용로봇 제조사에게 매우 큰 기술장벽
- **업계에서는 네 번째 작업모드를 충족하는 로봇을 실질적인 협동로봇으로 인식**

# TS 15066의 차별성 및 이슈

## ➤ Power & force limit: Biomechanical Limit (숫자 명시)

- Power and force limiting by inherent design or control 모드에서 상해 발생이 방지되는 접촉 힘이나 압력, 즉 인간-로봇 충돌 시 협동로봇이 제어나 설계 기술을 통해 준수해야 하는 임계값(biomechanical limit) 명시
- 기존의 산업용 로봇에서 적용된 적이 없는 매우 도전적인 기술적 요구조건으로 산업용로봇 제조사에게 매우 큰 기술장벽

## ➤ Biomechanical Limit → very critical for collaborative robot

### - 관련 이슈

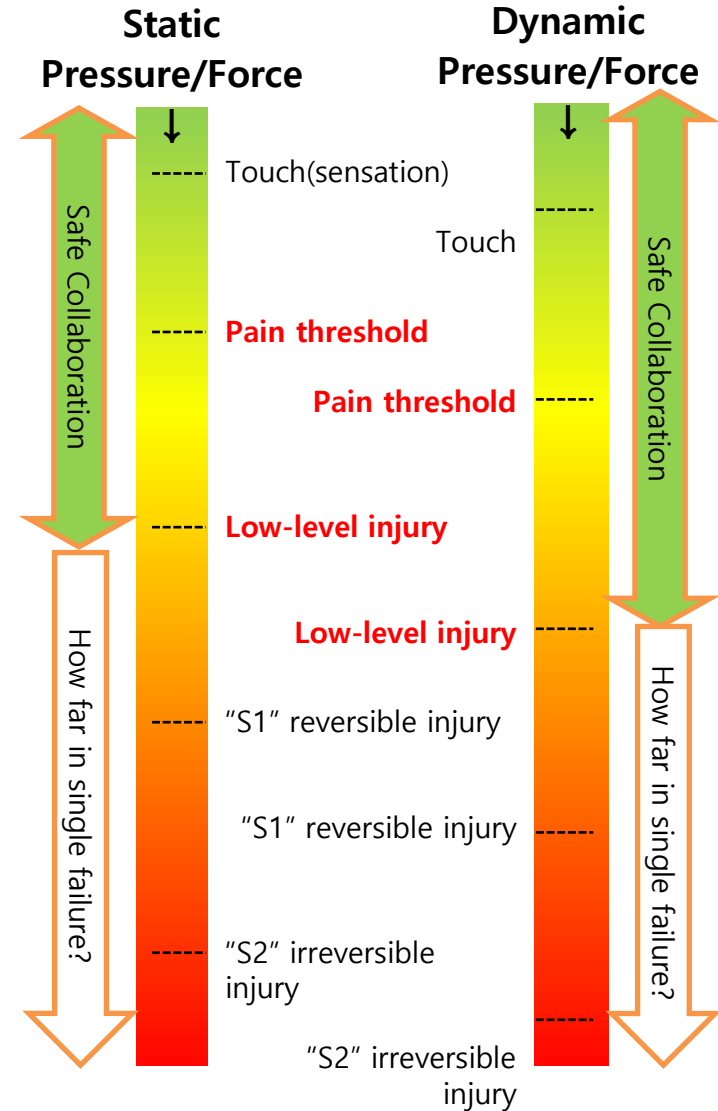
- 어떤 데이터를 적용?
- 데이터를 어떻게 획득?
- 데이터는 신뢰 할만한가?

# Biomechanical limit criteria

## ➤ 다양한 연구 결과

- Barrett Technology
- Equivalent mass, Velocity
- Stanford University
- Head Injury Criteria
- DLR
- Inertia, Velocity
- University of Ljubiana
- Collision-induced pain
- Franuhofer IFF
- Collision test for injury on live test subjects
- DGUV/IFA Limit values
- Univ. of Nagoya

➔ 인간-로봇 접촉 상황에 적용하기에 부적절한 과도한 물리량/상해 수준



# BG-BGIA Risk Assessment Guidelines (Feb. 2011)

## AIS Level 1 Injury Threshold

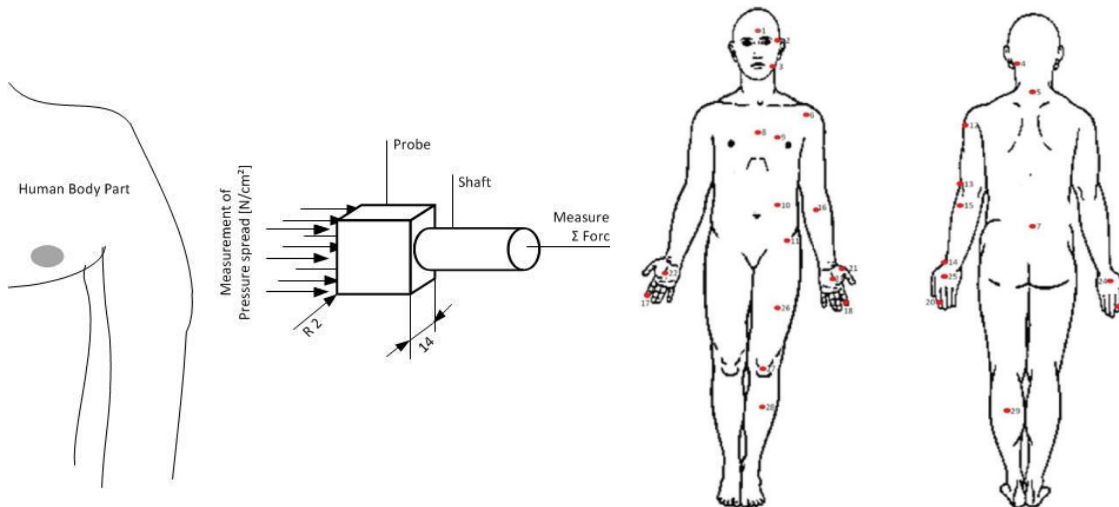
Body Region Codes		Regions	CSF [N]	IMF [N]	PSP [N/cm <sup>2</sup> ]	CC [N/mm]
1. Head with neck	1.1	Skull / forehead	130	175	30	150
	1.2	Face	65	90	20	75
	1.3	Neck (sides / neck)	145	190	50	50
	1.4	Neck (front / larynx)	35	35	10	10
2. Trunk	2.1	Back / shoulders	210	250	70	35
	2.2	Chest	140	210	45	25
	2.3	Abdomen	110	160	35	10
	2.4	Pelvis	180	250	75	25
	2.5	Buttocks	210	250	80	15
3. Upper extremities	3.1	Upper arm / elbow Joint	150	190	50	30
	3.2	Lower arm / wrist	160	220	50	40
	3.3	hand / finger	135	180	60	75
4. Lower extremities	4.1	thigh / knee	220	250	80	50
	4.2	lower leg	140	170	45	60
	4.3	ankle / feet / toes	125	160	45	75

➤ 인간-로봇 접촉 상황에 대한 실험을 통해 통증 임계값 최초 도출

## ➤ Quasi-Static Contact

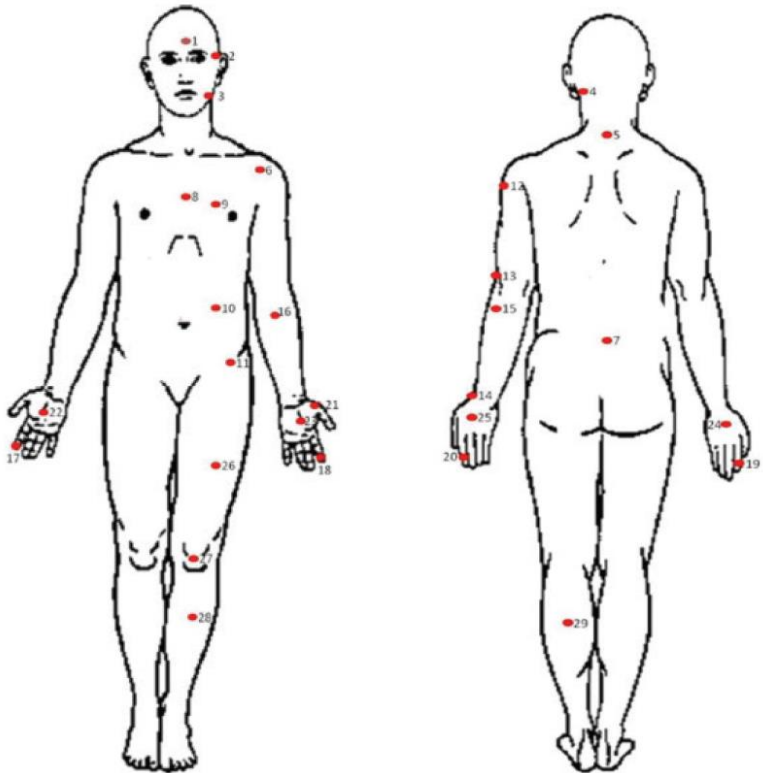
- 29개 대표 신체 부위에 대해 특정 형상을 갖는 프로브(probe)를 이용하여 느린 속도로 압박

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



- 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).





Body model & 29 points

Body region	Specific body area		Front/Rear
	Point	Description	
Skull and forehead	1	Middle of forehead	Front
	2	Temple	Front
Face	3	Masticatory muscle	Front
Neck	4	Neck muscle	Rear
	5	Seventh neck vertebra	Rear
Back and shoulders	6	Shoulder joint	Front
	7	Fifth lumbar vertebra	Rear
Chest	8	Sternum	Front
	9	Pectoral muscle	Front
Abdomen	10	Abdominal muscle	Front
Pelvis	11	Pelvic bone	Front
Upper arms and elbow joints	12	Deltoid muscle	Rear
	13	Humerus	Rear
Lower arms and wrist joints	14	Radial bone	Rear
	15	Forearm muscle	Rear
	16	Arm nerve	Front
Hands and fingers	17	Forefinger pad D <sup>a</sup>	Front
	18	Forefinger pad ND <sup>a</sup>	Front
	19	Forefinger end joint D <sup>a</sup>	Rear
	20	Forefinger end joint ND <sup>a</sup>	Rear
	21	Thenar eminence	Front
	22	Palm D <sup>a</sup>	Front
	23	Palm ND <sup>a</sup>	Front
	24	Back of the hand D <sup>a</sup>	Rear
25	Back of the hand ND <sup>a</sup>	Rear	
Thighs and knees	26	Thigh muscle	Front
	27	Kneecap	Front
Lower legs	28	Middle of shin	Front
	29	Calf muscle	Rear

<sup>a</sup> D = dominant body side; ND = non-dominant body side.

# Biomechanical limits on Force & pressure

## ISO TS 15066 Annex A

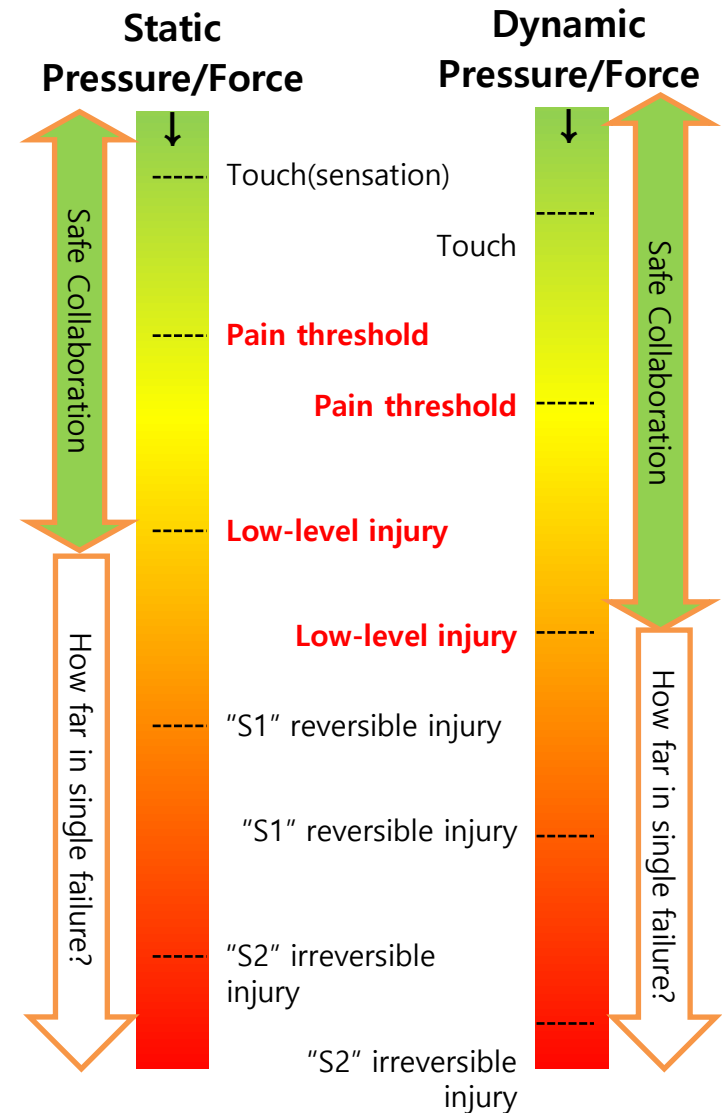
Body Region	Specific body area	Quasi-static contact		Transient contact	
		Maximum permissible pressure ps [N/cm <sup>2</sup> ]	Maximum permissible force [N]	Maximum permissible pressure multiplier P <sub>T</sub>	Maximum permissible force multiplier F <sub>T</sub>
Skull and forehead	1 Middle of forehead	120	130	not applicable	not applicable
	2 Temple	110		not applicable	not applicable
Face	3 Masticatory muscle	110	65	not applicable	not applicable
	4 Neck muscle	140	150	2	2
Neck	5 Seventh neck muscle	210		2	2
	Back and shoulders	6 Shoulder joint	160	210	2
7 Fifth lumbar vertebra		210	2		2
Chest	8 Sternum	120	140	2	2
	9 Pectoral muscle	170		2	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	2
Lower arms and wrist joints	14 Radial bone	190	160	2	2
	15 Forearm muscle	180		2	
	16 Arm nerve	180		2	
	17 Forefinger pad D	300		2	
Hands and fingers	18 Forefinger pad ND	270	140	2	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	
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

# Comments on biomechanical limits (may skip)

## ➤ Biomechanical limit in ISO TS 15066

- Mainz Univ. 데이터 사용
  - 상해발생 임계값이 아닌 통증발생 임계값
  - 경증상해를 발행시키는 물리적 임계값에 대한 데이터가 존재하지 않음
  - 연구윤리규정으로 인해 경증상해 발생 데이터를 실증적으로 확보하기 어려운 현실적 한계
- ➔ 상해보다 보수적인 통증에 대한 임계값을 안전기준으로 적용



# Quasi-static vs Transient Contact

## ➤ Quasi-static contact

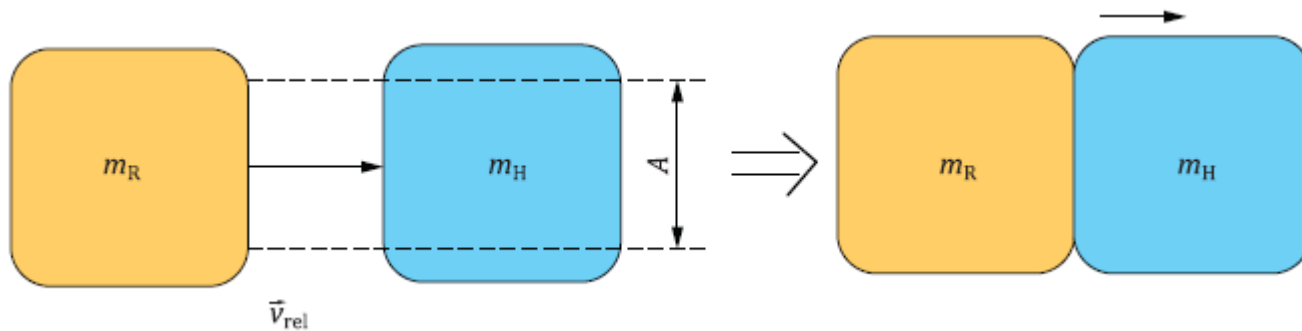
- Mainz data → 매우 느린 속도(2N/s, 5N/s)의 접촉 상황인 유사-정적 조건에 대해 얻어진 데이터
- 실제로 훨씬 빠른 속도로 발생하는 인간-로봇 접촉에 적용되기에는 한계

## ➤ Transient contact

- 짧은 시간 동안 발생하는 동적인 접촉상황을 과도적 접촉(transient contact)으로 정의
- 과도적 접촉 상황에 대한 통증 발생 임계값을 여러 생체역학적 연구자료를 근거로 유사-정적 조건의 2배로 설정하여 제시
- 실험적으로 검증된 것은 아니라는 한계

# Limits for transient contact

- 유사-정적(quasi-static) 조건으로 가정하기에는 상대 속도가 큰 경우인 transient(dynamic) contact 조건에서 힘과 압력을 임계값 이하로 유지할 수 있는 최대 속도 값 계산 방법 제시
- Two-body collision model로 가정
- 최악의 경우인 완전 비탄성체 충돌로 가정 (운동에너지가 모두 전달)
- 각 신체영역에 대해 최대 허용 에너지 전달량을 힘/압력 임계값으로 표현하고, 이 관계를 이용하여 **힘과 압력을 임계값 이하로 유지할 수 있는 로봇의 최대 속도 제시**



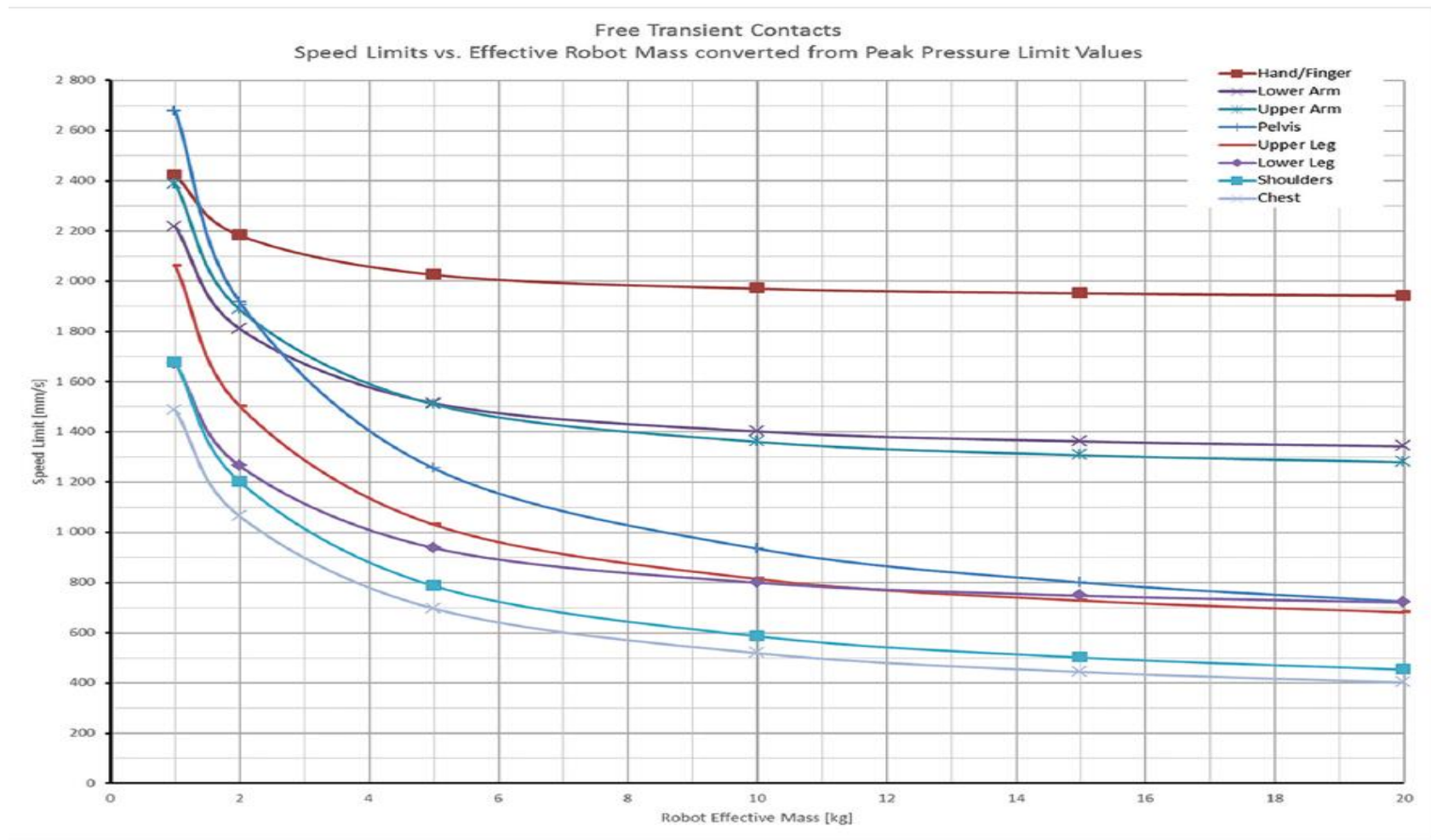
# Speed limits for transient contact

- transient(dynamic) contact 조건에서 힘과 압력을 임계값 이하로 유지할 수 있는 최대 속도

## Two-body collision model을 이용한 접촉 속도 제한 값

Body region	Speed limit as a function of robot effective mass, based on maximum pressure value with an area of 1 cm <sup>2</sup>					
	mm/s					
	1	2	5	10	15	20
Hand/finger	2 400	2 200	2 000	2 000	2 000	1 900
Lower arm	2 200	1 800	1 500	1 400	1 400	1 300
Upper arm	2 400	1 900	1 500	1 400	1 300	1 300
Abdomen	2 900	2 100	1 400	1 000	870	780
Pelvis	2 700	1 900	1 300	930	800	720
Upper leg	2 000	1 400	920	670	560	500
Lower leg	1 700	1 200	800	580	490	440
Shoulders	1 700	1 200	790	590	500	450
Chest	1 500	1 100	700	520	440	400

# 로봇 유효관성(질량)에 따른 Speed limits



# Effect of ISO TS 15066

- 생산성 향상을 위한 협동로봇 수요 증대 상황에서 강력한 시장 진입 장벽으로 작용
- 일본:
  - power and force limiting value 법규화 완료
  - ISO TS 15066 사용 지침서 발간
- 미국, 캐나다, 독일 : 국가 표준으로 채택 완료/진행 중
- 한국: KS 제정 완료 및 공표 (2017.02) & 협동로봇 설치 작업장 인증 시행 중 (로봇 안전검사 선결 요건)
- 국내 산업안전보건법 개정(2016.3)
  - 방책(안전 펜스) 없이 협동로봇을 사용할 수 있는 법적 근거 無 → 산업안전보건기준에 관한 규칙 개정

223조(운전중 위험방지) 사업주는 로봇을 운전하는 경우 안전매트 및 높이 1.8미터 이상의 방책을 설치하여야 하나 **로봇이 협동운전용으로 설계된 것으로** 한국산업표준(KS)의 기준에 부합하거나 이와 동등한 수준 이상으로서 국제적으로 통용되는 기준에 부합하다고 사업주가 객관적으로 입증할 수 있는 경우 **안전매트 및 방책의 설치하지 아니할 수 있도록 하여 사업장의 안전·보건에 관한 규제를 완화**



# Concluding Remarks

- 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)
- 협동로봇 설치 작업장 인증 시행 중
- 협동로봇의 경우 협동로봇 설치 작업장 인증을 득한 경우에만 안전검사신청 가능
- ISO 10218-1 & -2, ISO TS 15066 이해 필요

Thank You!

