



# 협동로봇 충돌안전 시험 및 적용사례

세이프틱스 대표 신헌섭

[hsshin@safetix.io](mailto:hsshin@safetix.io)



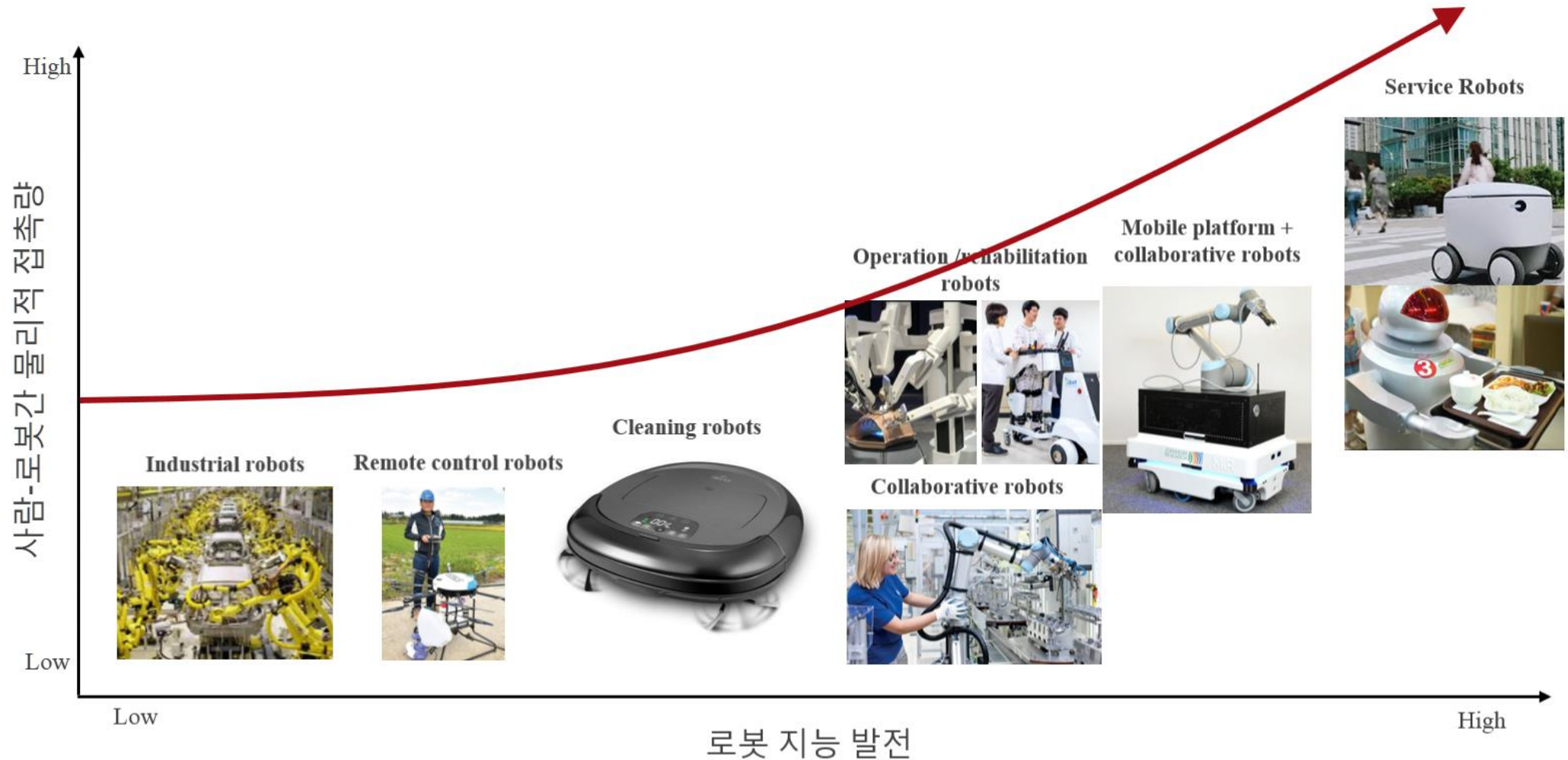
## 협동로봇 충돌안전평가 전문기관





## 협동로봇의 등장

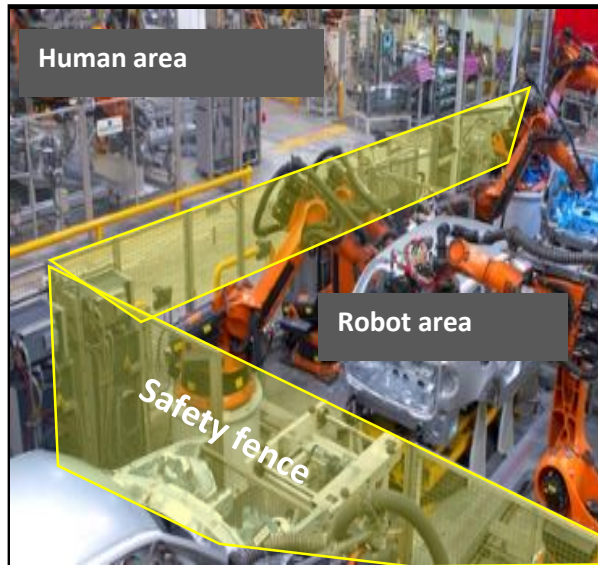
- 로봇산업이 발전함에 따라 사람-로봇간 물리적 접촉이 비약적으로 증가



## 협동로봇의 등장

- 사람과 로봇 “공간분리”에서 “공간공유”로 패러다임 전환

● ●  
기존 산업용 로봇 : 공간분리형



- 펜스를 통한 **작업공간 분리**
- 펜스를 위해 공간 확보 필요
- 안전대책 : 안전펜스

● ●  
협동로봇 : 공간공유형



- 인간과 로봇이 **작업공간 공유**
- 기존 생산/작업 라인에 추가 편리 (새로운 활용 가능성)
- 안전대책 : ?





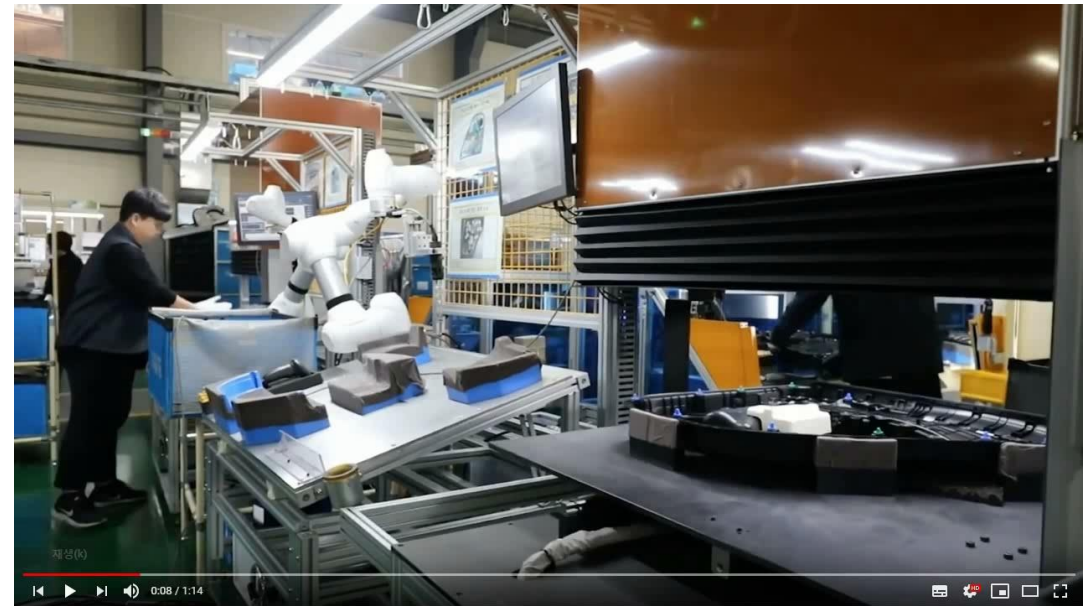
## 협동로봇의 안전이슈

- 사람과 로봇 “공간분리”에서 “공간공유”로 패러다임 전환

[산업현장에서 협동로봇을 활용하는 예시]



Cobots enables Xiamen Runner Industrial Corporation to achieve flexible manufacturing



Doosan Collaborative Robot: Performing an ultrasonic welding application



## 협동로봇의 등장

- 협동로봇, 펜스가 없어도 되지만 **펜스에 준하는 안전대책 필요**



안전대책

펜스



펜스에 준하는 대책이 필요

?





# 협동로봇의 등장

- 사람과 로봇 “공간분리”에서 “공간공유”로 패러다임 전환

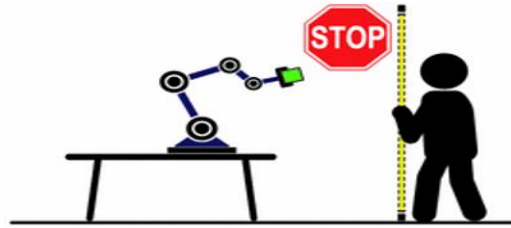
## 충돌 안전사고 발생



펜스가 없어짐에 따라 충돌로 인한 안전사고 발생 가능성 증가

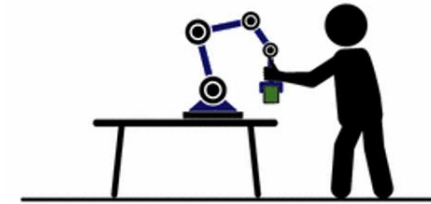
## 협동로봇의 사용모드

### 1. 안전정격 감시모드



“가까이 가면 **센서**로 인지하여 로봇을 **멈추거나 PFL만족하에 동작 가능**”

### 2. 핸드가이딩



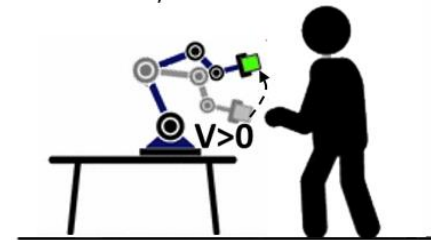
“로봇을 사람의 힘을 이용하여 직접 움직임”

### 3. 속도 및 이격거리 감시모드



“가까이 가면 **센서**로 인지해 로봇을 서서히 멈추거나 **PFL만족하에 동작 가능**”

### 4. 동력 및 힘 제한 (PFL)



만약의 충돌에도 사람이 상해를 입지 않는다면 사람의 **위치와 무관**하게 로봇을 멈추지 않아도 된다.

→ **센서를 안써도 근접협동작업 가능** ←

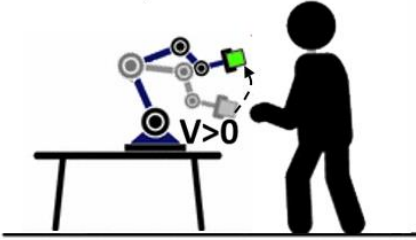


# 협동로봇의 안전이슈

## 충돌해도 안전하다는 검증이 필요하다

### 4. 동력 및 힘 제한 (PFL)

Pressure, force < threshold



만약의 충돌에도 사람이 상해를 입지 않는다면  
사람의 위치와 무관하게 로봇을 멈추지 않아도 된다.

→ 센서를 안써도 근접협동작업 가능 ←

### 센서 감지영역

센서를 통한 사람을 감지  
↓  
센서로 인한 위험관리 가능

약 2m

“센서의 오차, 사각지대, 반응시간” 등의 이유로

### 센서 감지불가 영역

로봇이 눈을 감고 동작하는 상황  
(언제든지 충돌할 수 있음)  
↓  
해당 영역에 사람이 들어오면  
↓  
「충돌해도 안전하다」  
검증 수행  
↓  
로봇 정지      로봇 동작  
사람-로봇 협동불가      사람-로봇 협동가능



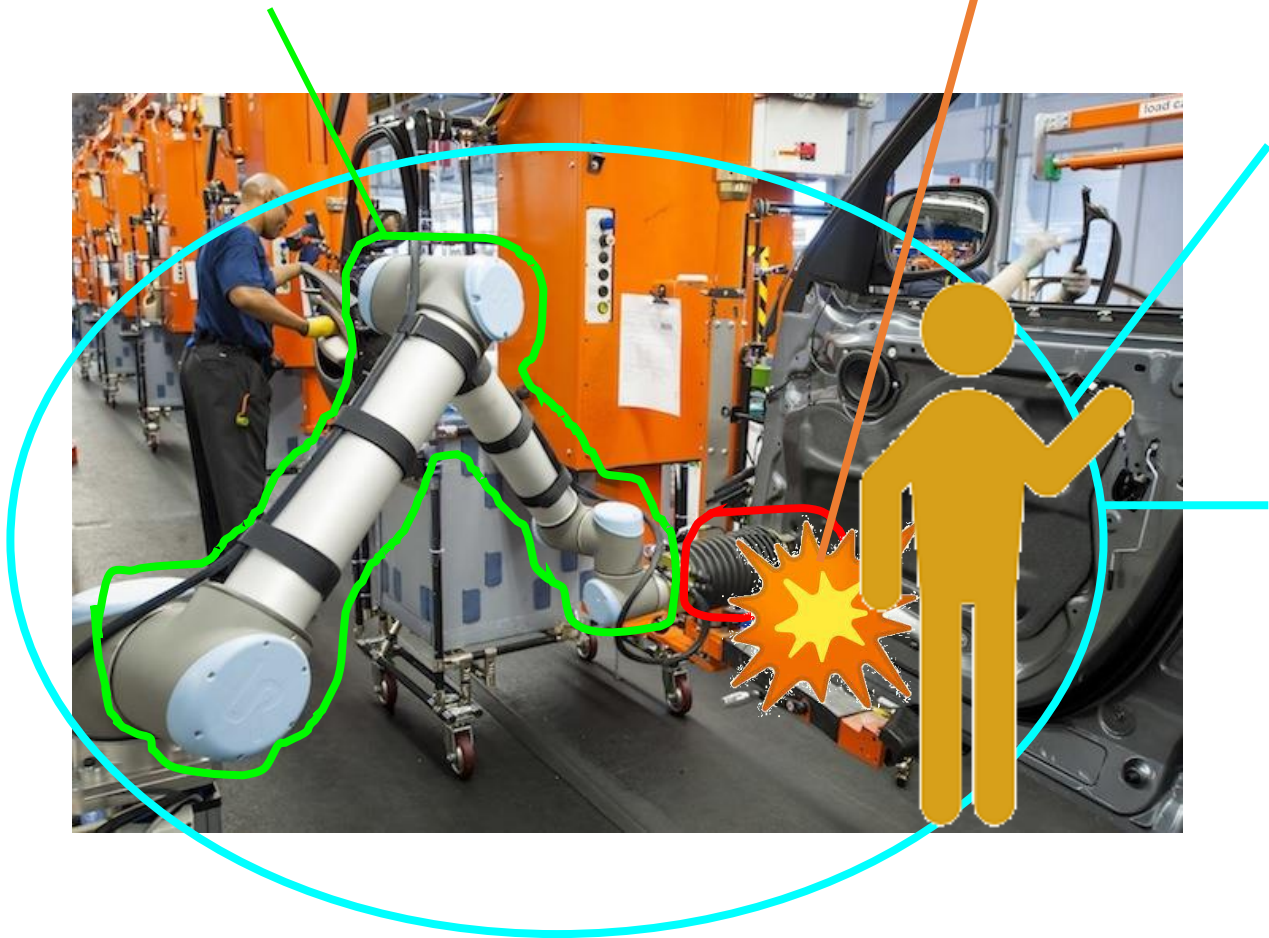


- **ISO 10218-1**

- Robot관련
- **Robot 제조사**

- **ISO/TS 15066, RIA 15.806**

- 협동작업간 충돌안전 요구조건 및 테스트방법
- **Robot System 사용자**

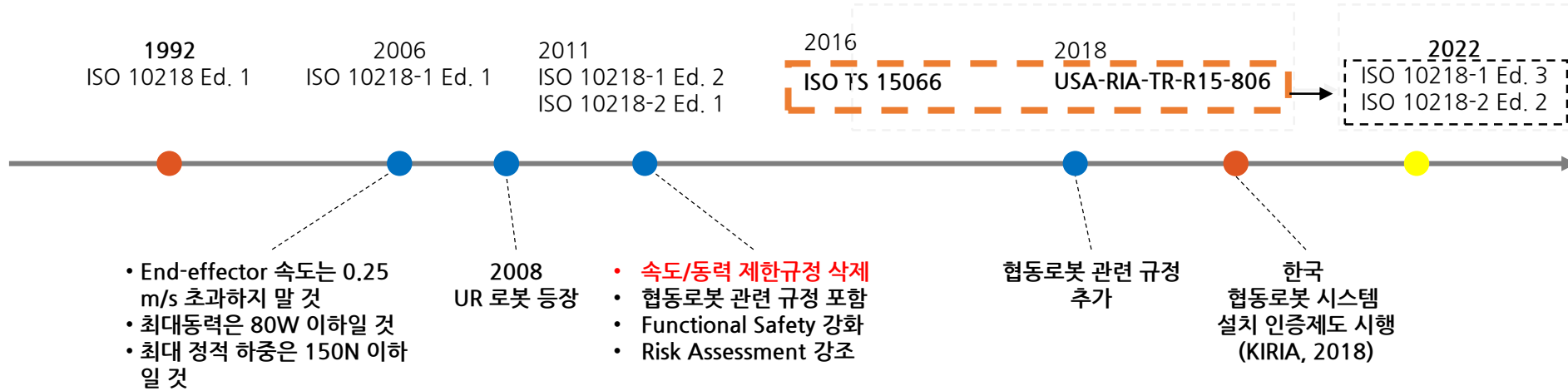


- **ISO 13849-1**

- Robot System 신뢰성 등급
- **Robot 제조사**
- **Robot System 사용자**

- **ISO 10218-2**

- Robot System
- **Robot System 사용자**  
(system integrator)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 223조
- 로봇산업진흥원 안전인증
- **설치작업장 인증**

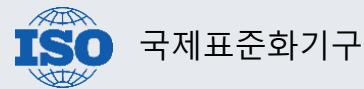


[2011~2021]

속도 ≤ 250mm/s



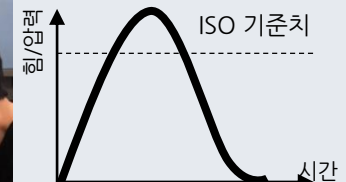
규정 준수 확인 용이



로봇의 사용 형태가 다양해짐에 따라  
일반적인 속도 조건으로  
안전을 보장할 수 없음

[2022~]

충돌 힘/압력 ≤ ISO 허용치



규정 준수 확인 어려움



## ISO TS 15066 Robots and robotic devices : Collaborative robots

- End effector 속도는 0.25 m/s 이하로 제한될 것
- 최대동력은 80W 이하일 것
- 최대 정적 하중은 150N 이하 일 것
- 속도/동력 제한규정 상세
- 협동로봇 관련 규정 포함
- Functional Safety 강화
- Risk Assessment 강조

협동로봇 관련 규정 추가

한국 협동로봇 시스템 설치 인증제도 시행 (KIRIA, 2018)



KS B ISO TS 15066:2016

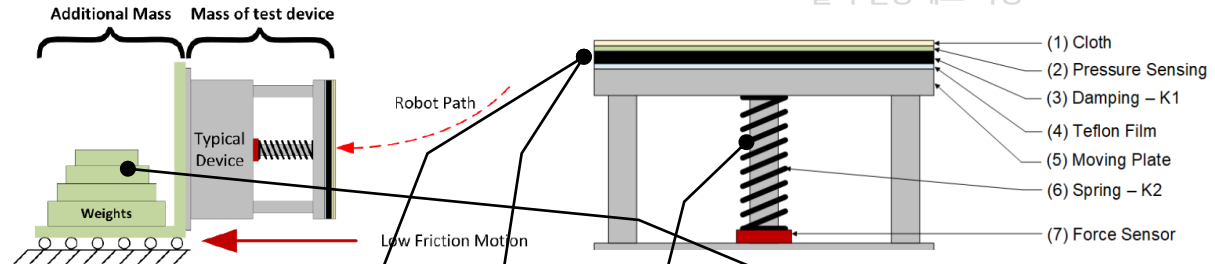
표 A.2 — 생체 역학적 한계

신체 부위	특정 신체 영역	준정적 접촉		동적 접촉	
		최대 허용 압력 <sup>a</sup> $p_s$ N/cm <sup>2</sup>	최대 허용 힘 <sup>b</sup> N	최대 허용 압력 배수 <sup>c</sup> $F_T$	최대 허용 힘 배수 <sup>c</sup> $F_T$
두개골과 이마 <sup>d</sup>	1 이마 중앙	130	130	해당 없음	해당 없음
	2 관자놀이	110		해당 없음	
얼굴 <sup>d</sup>	3 저작근	110	65	해당 없음	해당 없음
	4 경근	140	150	2	2
목	5 7번 경추	210		2	
	등과 어깨	6 견관절	160	210	2
7 5번 요추		210	2		
가슴	8 흉골	120	140	2	2
	9 흉근	170		2	
배	10 복근	140	110	2	2
골반	11 골반 뼈	210	180	2	2
	12 삼각근	190		2	
상완과 주 관절	13 상완골	220	150	2	2
	14 요골	190		2	
전완과 손목 관절	15 전완근	180	160	2	2
	16 팔 신경	180		2	

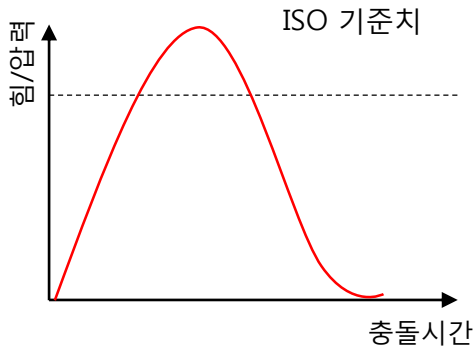


## USA-RIA-TR-R15-806 Testing Methods for Power & Force Limited Collaborative Applications

- 2008 End-effector 속도는 0.25 m/s 이하로 제한
- 2008 최대동력은 80W 이하일 것
- 2008 최대 정적 하중은 150N 이하
- 2008 [인체더미와의 직접 충돌 실험수행]
- 2008 속도/동력 제한규정 삭제
- 2008 협동로봇 관련 규정 포함



'BodyPart'	Hardness [Shore A]	Thickness [mm]	K2-Stiffness [N/mm]	Effective Mass [kg]	Force threshold [N]	Pressure threshold [MPa]
'Skull and forehead'	70	7	150	4.4	130	1.3
'Face'	70	7	75	4.4	65	1.1
'Hand and finger'	70	7	75	0.6	280	6
'Neck'	70	7	50	1.2	300	2.8
'Lower arm and wrist'	70	7	40	2	320	3.8
'Chest'	70	7	25	40	280	2.4
'Pelvis'	70	7	25	40	360	4.2
'Lower leg'	30	14	60	75	320	4.4
'Thigh and knee'	30	14	50	75	440	5
'Back and shoulders'	30	14	35	40	420	3.2
'Upper arm and elbow'	30	14	30	3	300	3.8
'Abdomen'	10	21	10	40	220	2.8







1992  
ISO 10218 Ed. 1

2006  
ISO 10218-1 Ed. 1

2011  
ISO 10218-1 Ed. 2  
ISO 10218-2 Ed. 1

2016  
ISO TS 15066

2018  
USA-RIA-TR-R15-806

2022  
ISO 10218-1 Ed. 3  
ISO 10218-2 Ed. 2

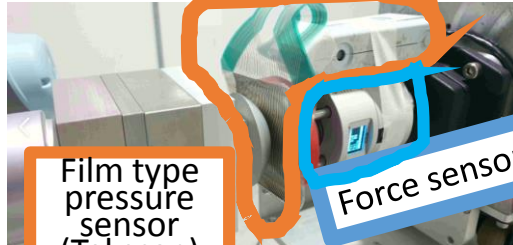
## USA-RIA-TR-R15-806 Testing Methods for Power & Force Limited Collaborative Applications

- 속도/동력 제한규정 삭제
- 협동로봇 관련 규정 포함
- Functional Safety 강화
- Risk Assessment 강조

협동로봇 관련 규정  
추가

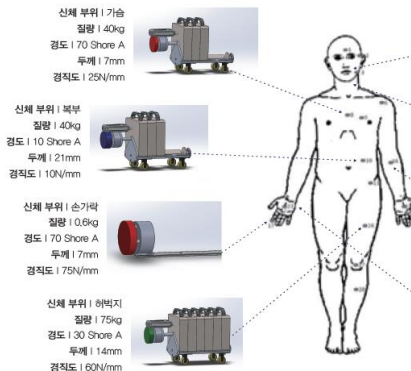
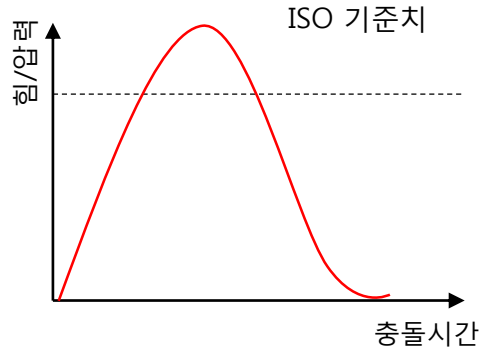
한국  
협동로봇 시스템  
설치 인증제도 시행  
(KISA 2019)

[인체더미와의 직접 충돌 실험수행]



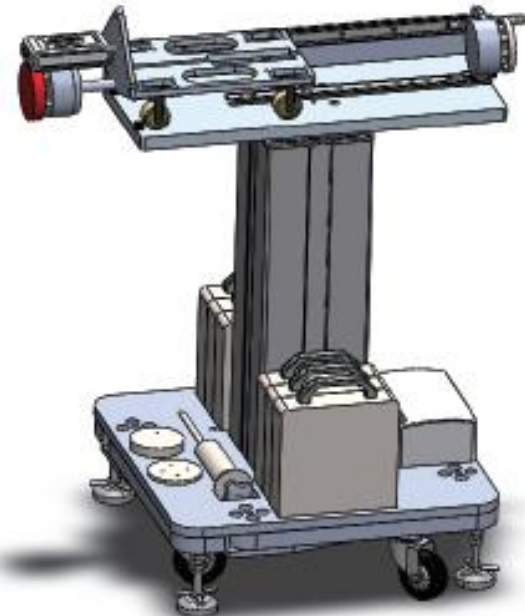
Film type  
pressure  
sensor  
(Tekscan)

Force sensor (GTE)



<신체 부위별 측정 장치 부 !

세이프티스 개발제품





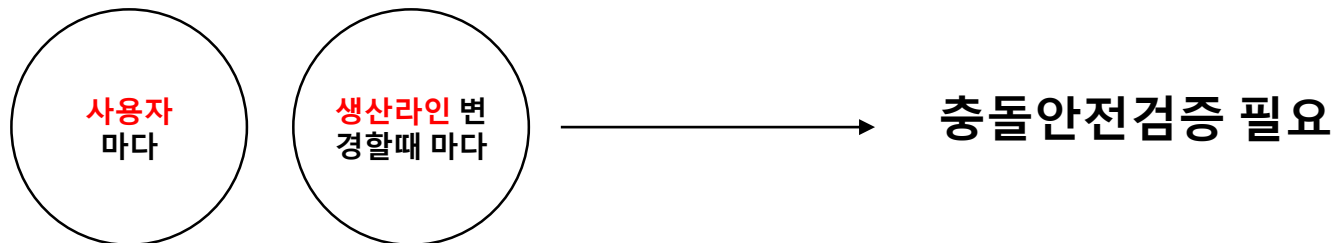
# 협동로봇의 이슈

- 자동차제조사가 자동차 충돌실험하는 것과 달리, 로봇은 사용자의 사용형태에 따라 위험도가 달라지기 때문에 **설치하는 로봇마다 충돌실험을 수행해야 함.**



같은 로봇이라도 **사용자마다 다르게 사용**하여 위험도가 각각 다름

같은 사용자라도 **생산라인이 변경**시 위험도가 변경

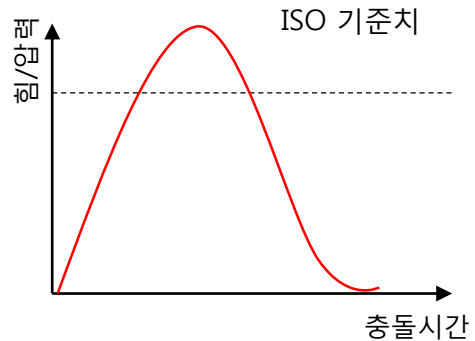


# 협동로봇의 충돌안전검증



## 충돌실험의 한계

[인체더미와의 직접 충돌 실험수행]



언제 가장 위험한가? → 경로중 N번 충돌

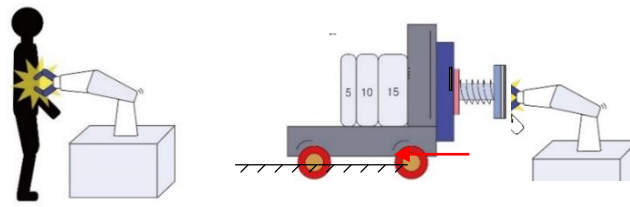


✓ 어디가 가장 위험한가? → N개 부위 충돌



$N^2$  : 많은 시간과 비용 소모

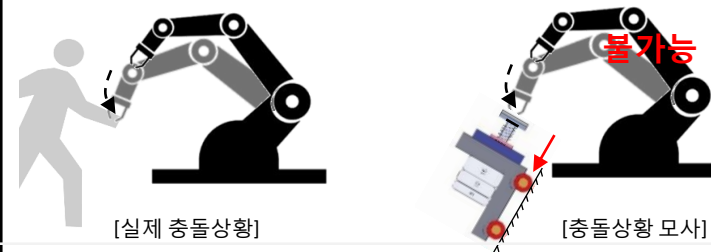
수평모션 → 가능



[실제 충돌상황]

[충돌상황 모사]

수평이외의 모션 → 중력으로 인해 불가능



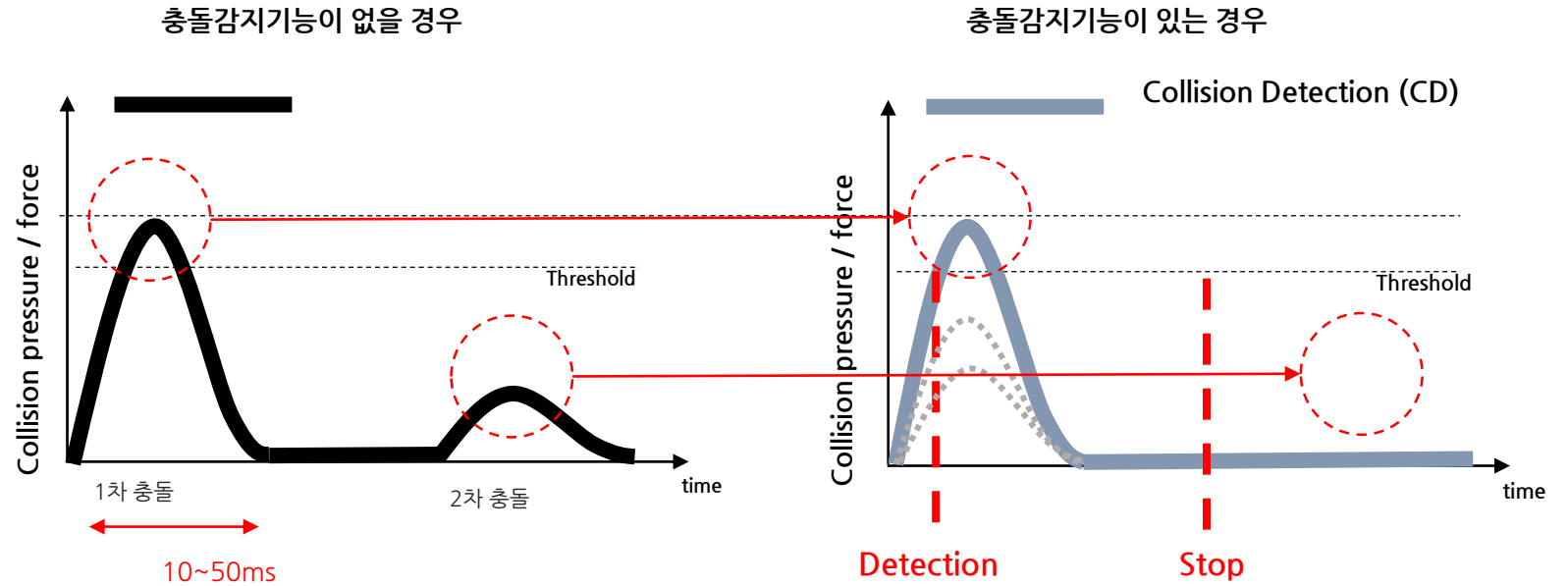
[실제 충돌상황]

[충돌상황 모사]

대부분의 모션에서 충돌실험 불가능



- 모든 협동로봇은 토크센서/접촉센서/알고리즘을 기반한 **충돌을 감지하여 멈추는 기능 탑재**
- 하지만 충돌감지기능은 충돌을 감지하고 기계적으로 **멈추면, 이미 가장 위험한 순간은 이미 넘어선 상태,**
- 2차충돌을 방지할 뿐 가장 위험한 1차 충돌력/압력을 감소시키는 것은 불가능








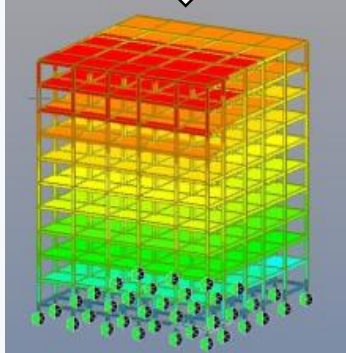
# 협동로봇의 충돌검증

- 건축안전 진단과 유사하게 충돌실험 없이 모델기반 충돌안전평가 소개

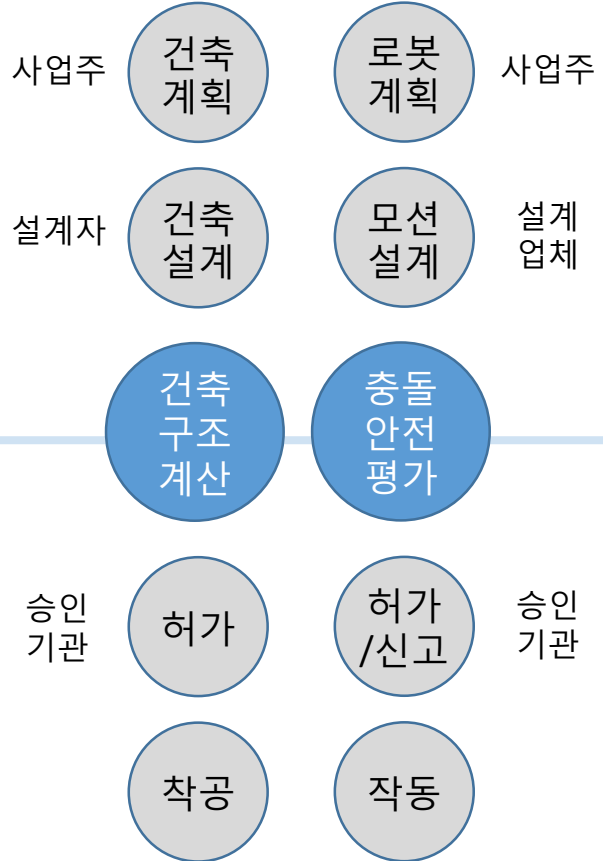
## 건축분야의 안전검증



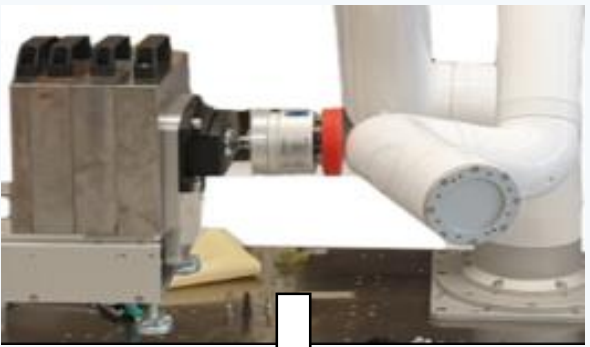
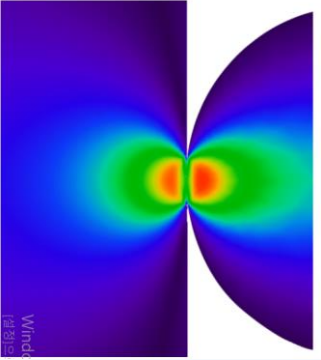
**10층 건물 세워 놓고 지진 실험**



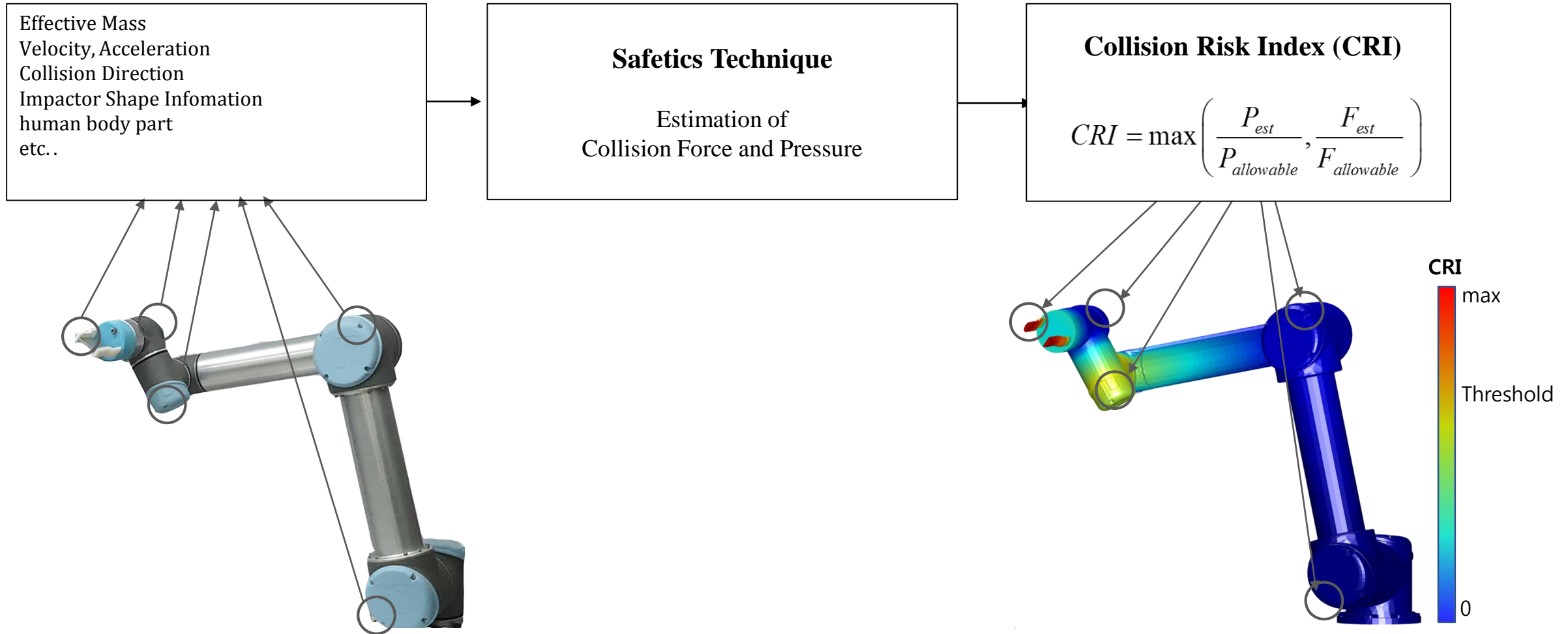
수학적 계산을 통해 건물안전평가 수행



## 로봇분야 안전검증

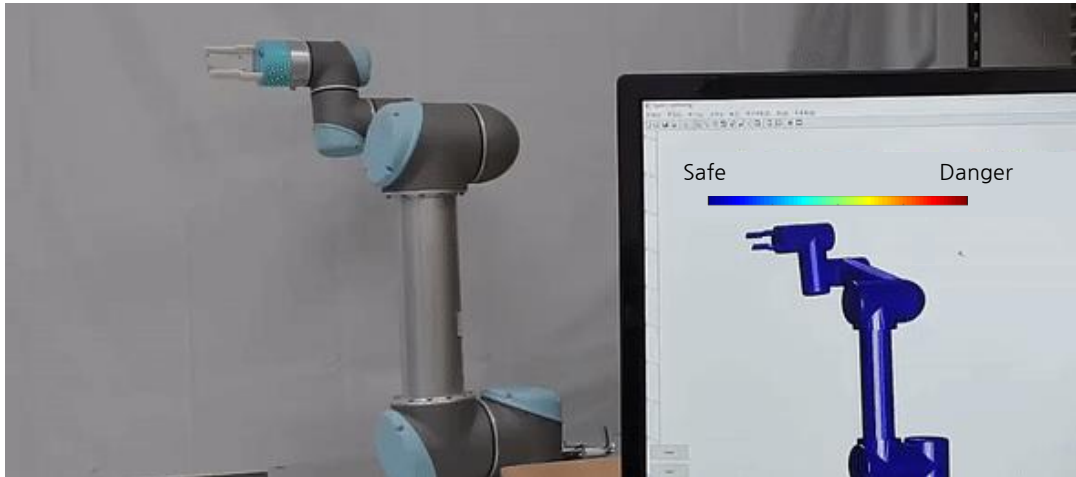
모델을 통한 충돌안전성 평가





# Robot with Safety Intelligence

로봇 스스로 안전을 진단할 수 있습니다

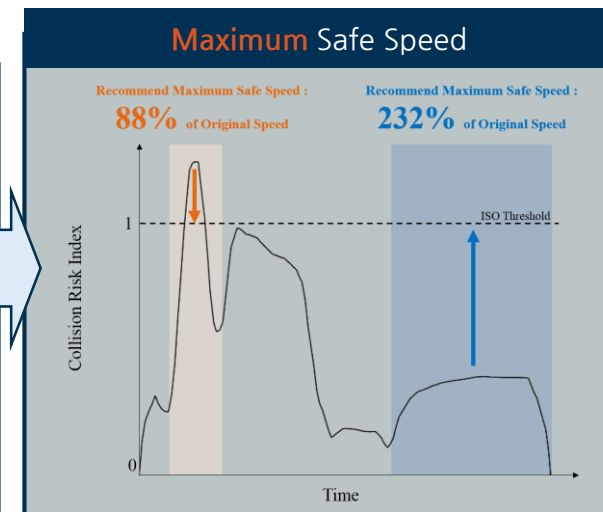
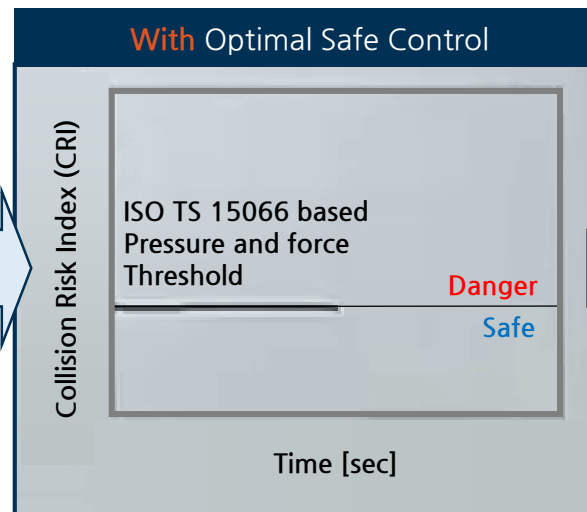
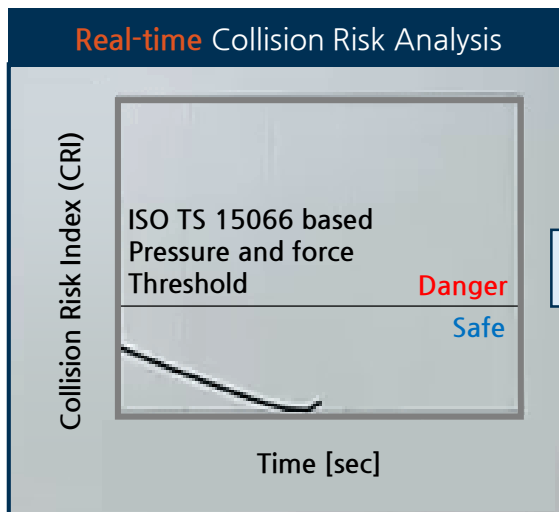


What is CRI ?

**Collision Risk Index (CRI)**  
ISO Threshold Violation Ratio

$$= \text{Max} \left( \frac{\text{Force}_{\text{est}}}{\text{Force}_{\text{iso}}}, \frac{\text{Pressure}_{\text{est}}}{\text{Pressure}_{\text{iso}}} \right)$$

<b>CRI ≤ 1</b>	<b>CRI &gt; 1</b>
<b>Pass</b>	<b>Fail</b>



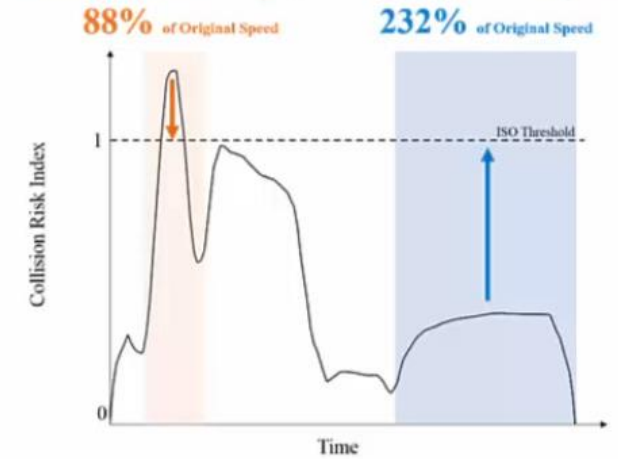


## Collision Safety Evaluation with Safety Intelligence

Real Motion



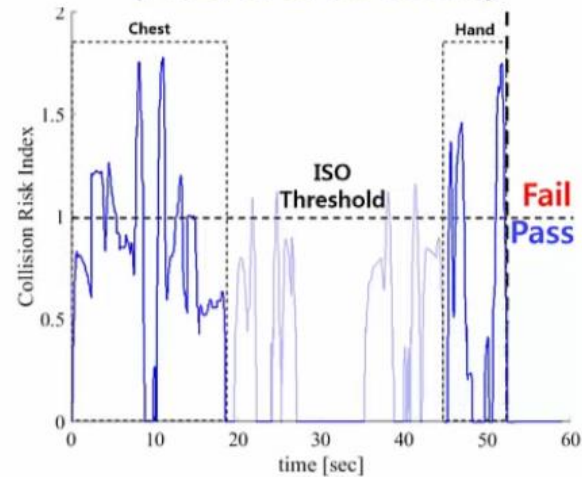
Optimal Velocity Recommendation



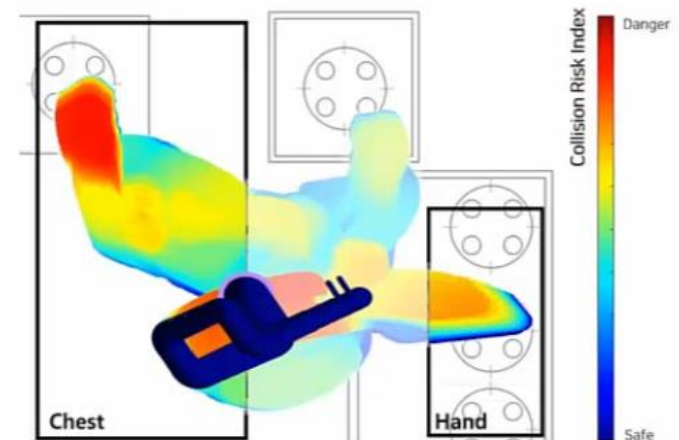
Motion Simulation



Collision Risk Analysis (PFL, ISO/TS 15066)



Risk Space Analysis







# 적용 사례

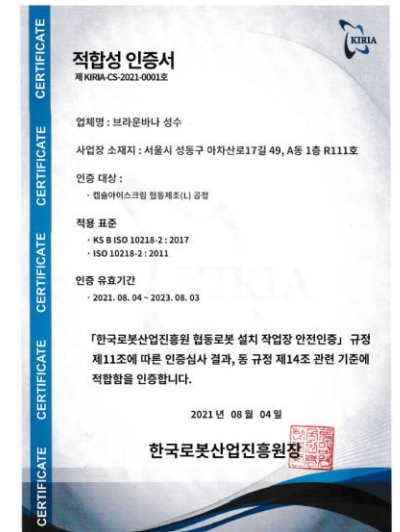
## 세이프티스 기술로, 브라운바나 아이스크림 로봇 '아리스' 안전 펜스/센서 설치 없이 협동로봇 단독 안전인증 획득한 국내 1호

### LOUNGE'LAB

공간의 가치를  
증강시키는 기업



〈브라운바나 아이스크림로봇 '아리스' 소개 영상〉



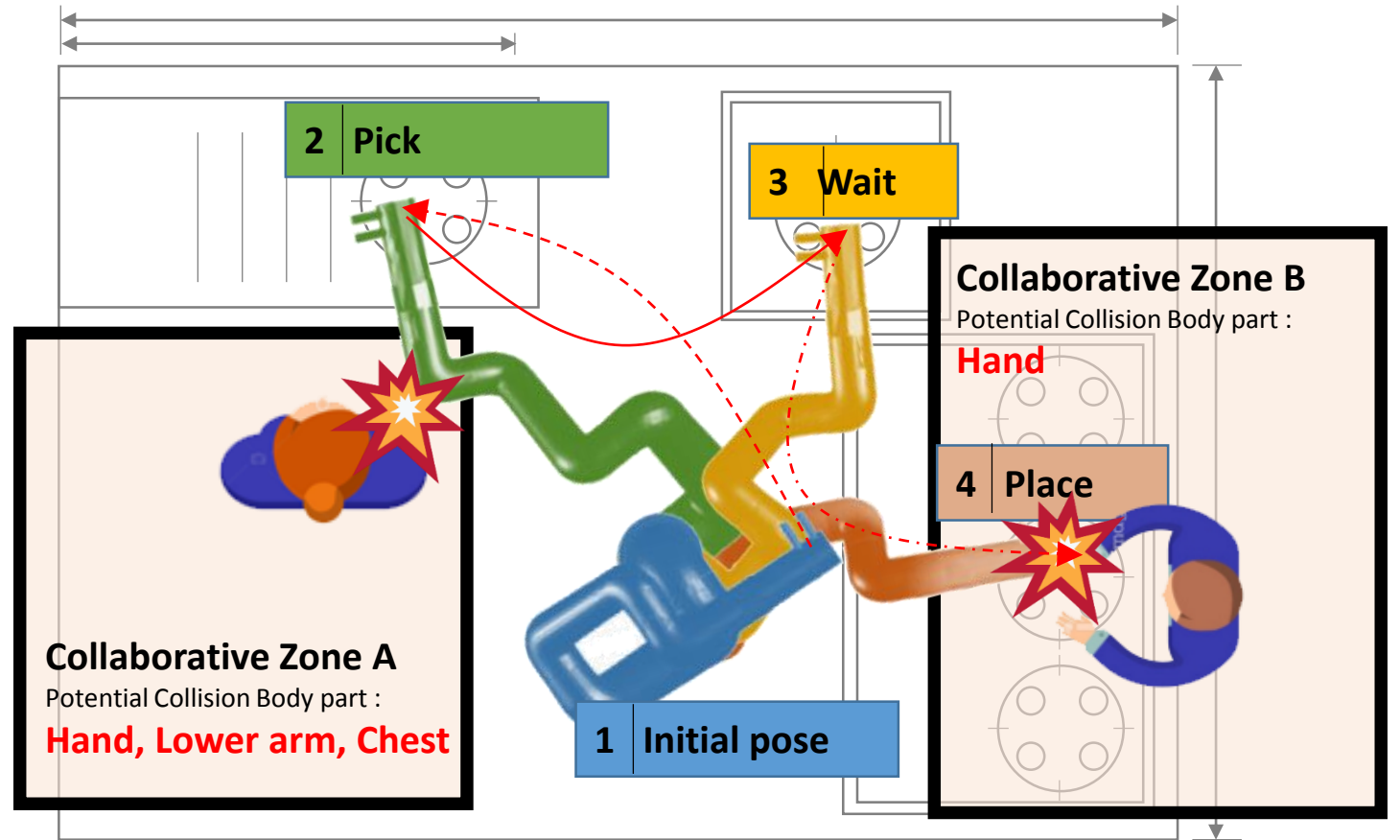
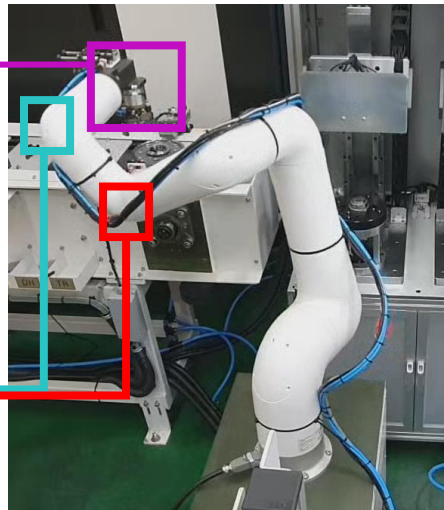
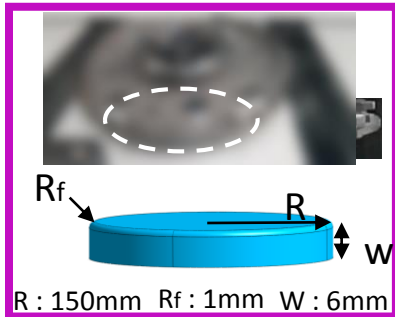
〈충돌안전 시험성적서 및 설치작업장 인증서〉

일반 소비 시장에 협동로봇이 등장하기 시작했지만, 리테일 현장에서 활용되는 협동로봇은 기존 로봇산업의 틀에서 해석되기 어려운 부분이 많았다.

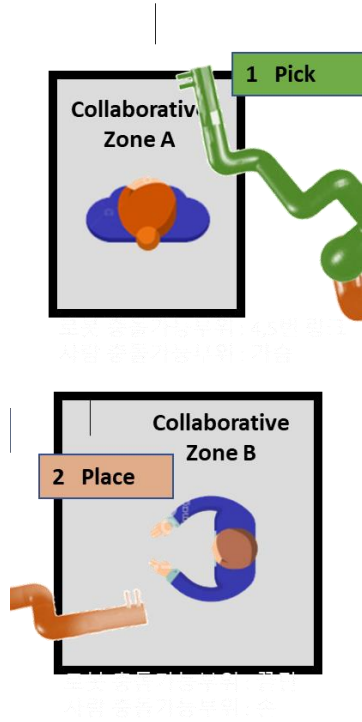
라운지랩은 다양한 서비스 로봇을 선보이며 리테일테크 시장을 선도해온 만큼, 로봇 활용의 새로운 기준을 만들게 되었다.

- 라운지랩 황성재 대표

# 로봇 충돌안전 평가 사례#1 : 모션 및 끝단 정보 소개



# 로봇 충돌안전 평가 사례#1 : 충돌실험



	Collision Part (Robot)	Collision Part (Human)	CRI	Force (ISO) [N]	Force (Est) [N]	Pressure (ISO) [MPa]	Pressure (Est) [MPa]	Evaluation result
Zone A	5 <sup>th</sup> link	Chest	0.00	100	100	0.00	0.00	Pass
Zone B	Products	Finger	0.00	100	100	0.00	0.00	Pass

# 로봇 충돌안전 평가 사례#1 : 위험 시나리오 산정



Collision Type	Collaborative Space	Collision Scenario	Robot Part	Human Body part	Description
Unconstraint Dynamic Collision	A	C1	5 <sup>th</sup> Link	1. Hand 2. Lower arm and wrist 3. Chest	
Unconstraint Dynamic Collision	A	C2	5 <sup>th</sup> Link	1. Hand 2. Lower arm and wrist 3. Chest	

Collision Type	Collaborative Space	Collision Scenario	Robot Part	Human Body part	Description
Unconstraint Dynamic Collision	B	C3	End-Effector	1. Hand	
Constraint Dynamic Collision	B	C4	End-Effector	1. Hand	

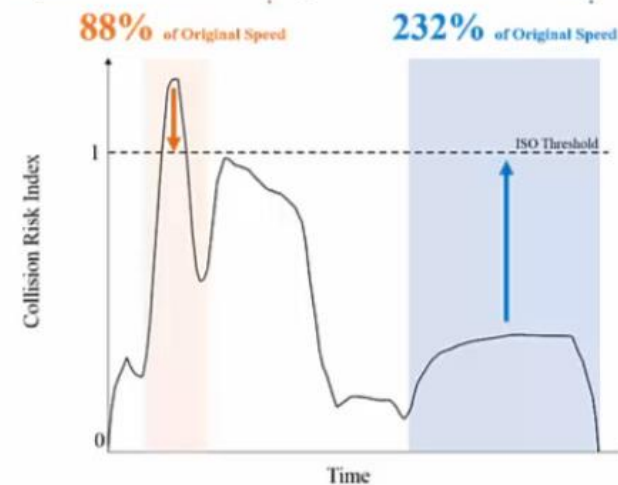




## Real Motion



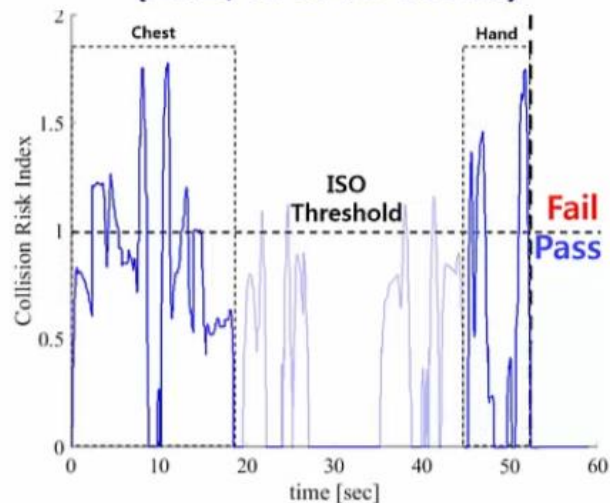
## Optimal Velocity Recommendation



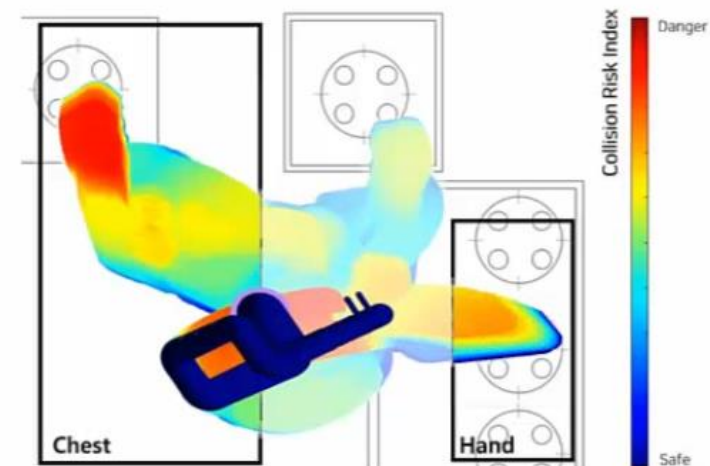
## Motion Simulation



## Collision Risk Analysis (PFL, ISO/TS 15066)



## Risk Space Analysis

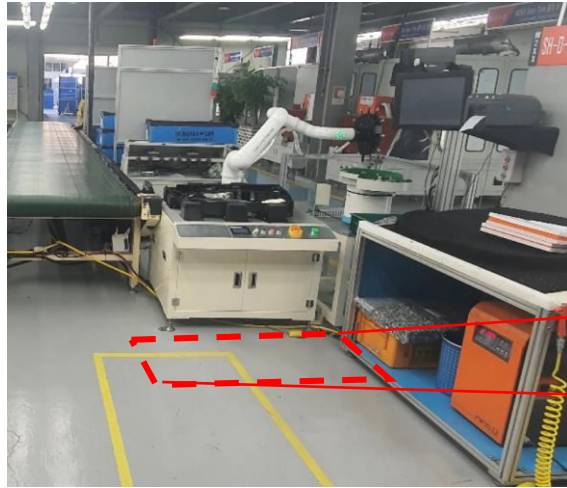




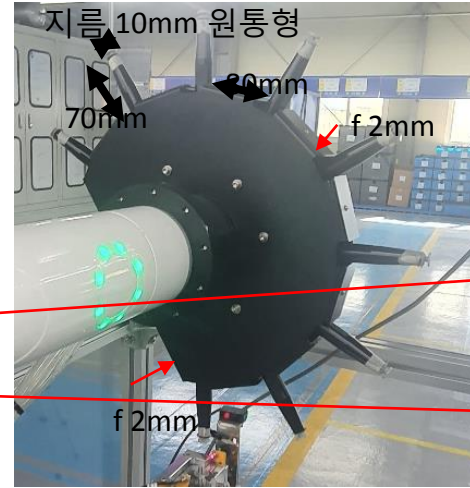


# 로봇 충돌안전 평가 사례#2 : 조립공정

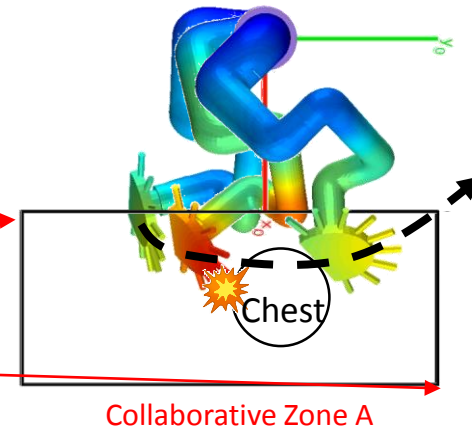
## • 공정사진



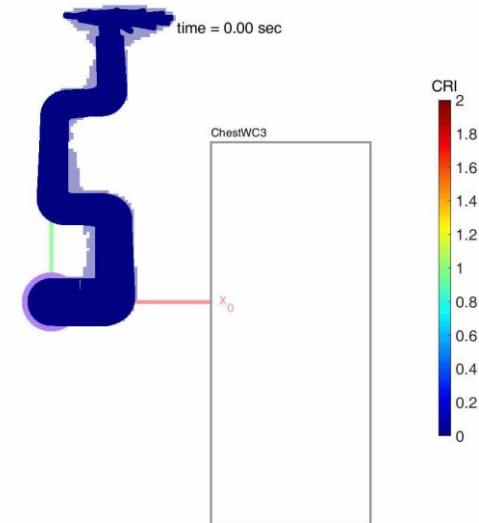
## • 틀 형상 정보



## • 위험성 평가



## • 충돌안전분석



# 로봇 충돌안전 평가 사례#3 : 모바일 매니플레이터



## Safety Analysis of Collision Risk for Cobots

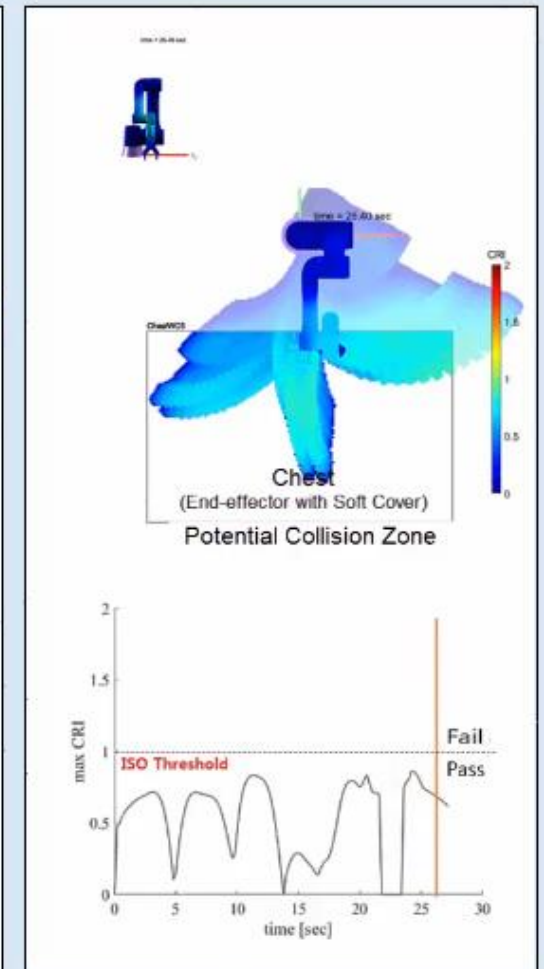
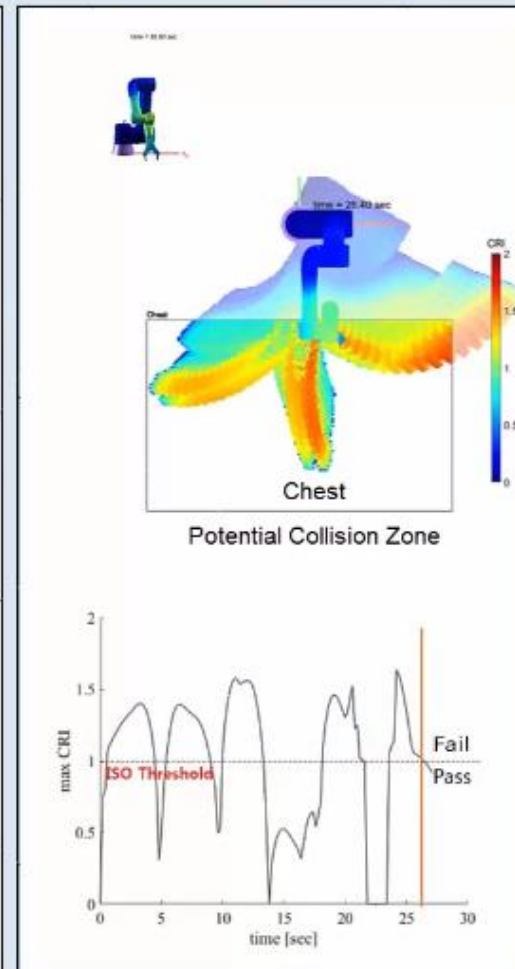
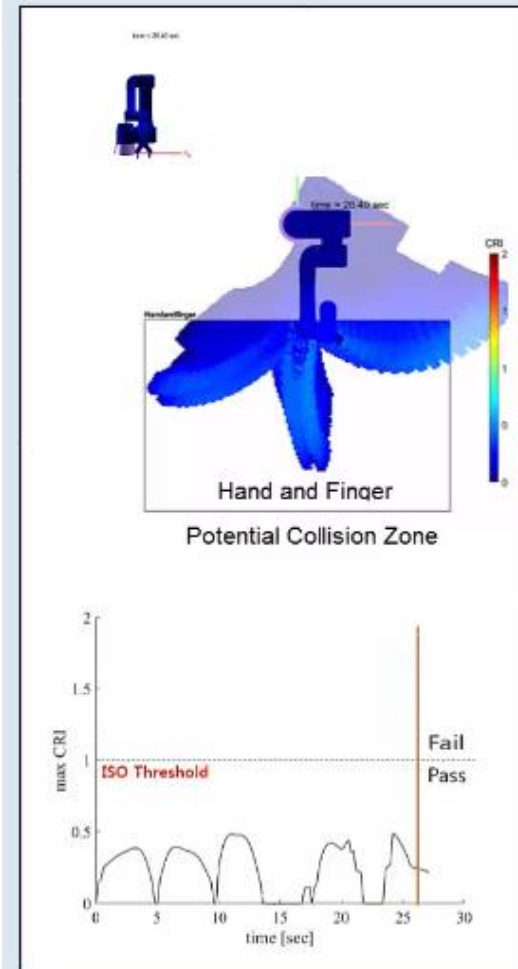
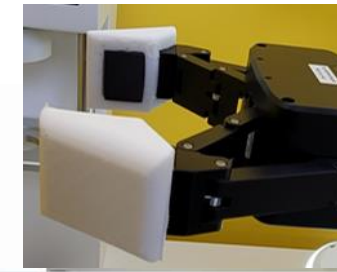
Robot : Omron robot (TM14M)



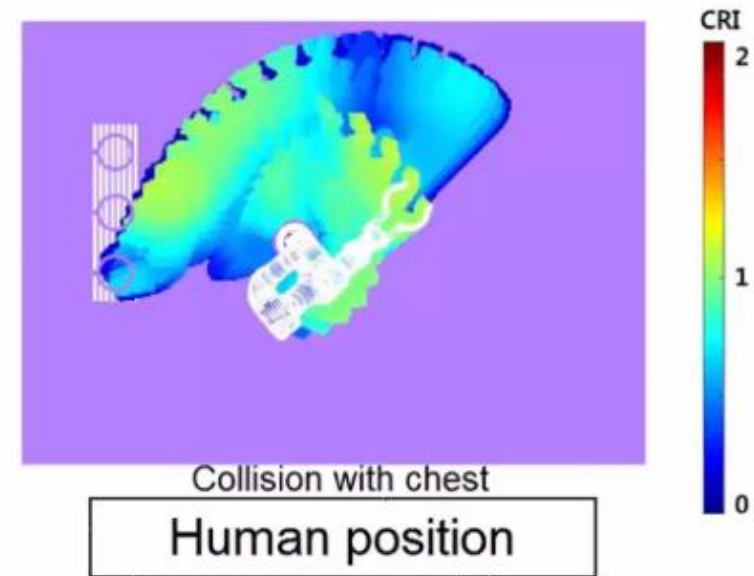
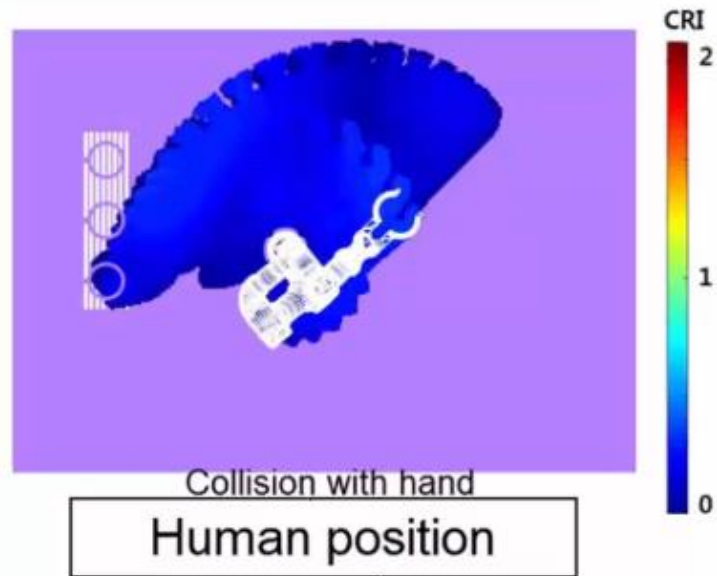
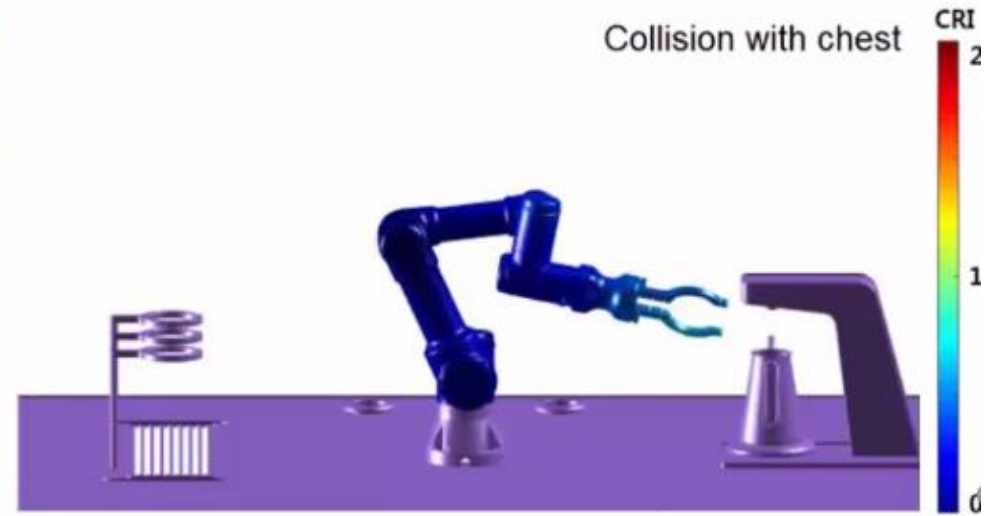
Without Cover



With Cover



# 로봇 충돌안전 평가 사례#4 : 카페로봇





감사합니다.