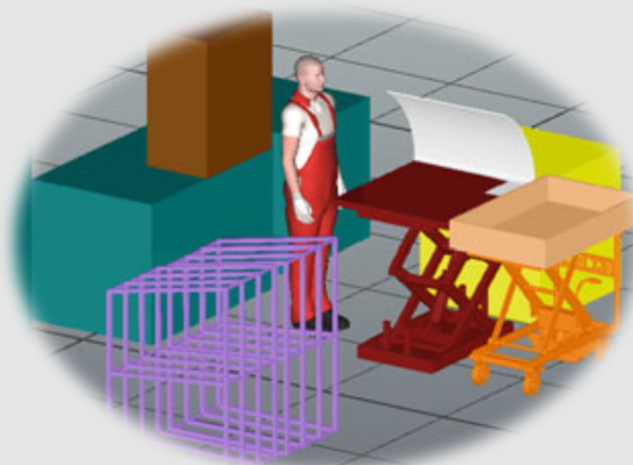




가상환경 기반 인간공학적 평가 추세



박종배, 김민재, 정하영, 최신아, 유희천

포항공과대학교 산업경영공학과

Contents

- **서론**
 - 연구 배경 및 필요성
 - 연구 목적
- **문헌 조사: 신규 DHM 기술 동향**
- **DHM 연구 동향 분류 및 사례 확인**
 - VR/AR 기반 DHM
 - Digital Twin 기반 DHM
 - AI/ML 기반 DHM
- **토의**

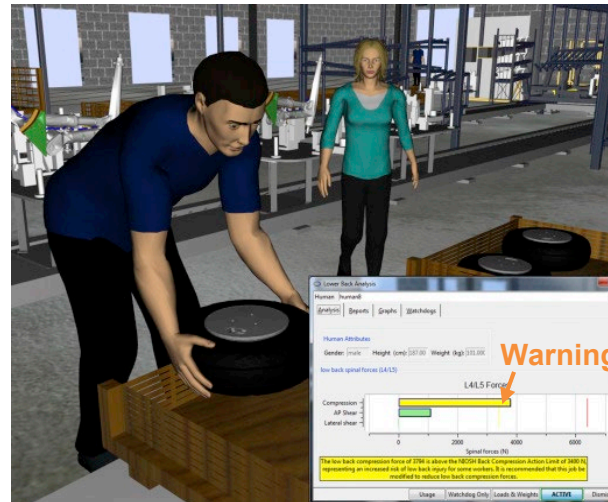
가상환경 기반 인간공학적 평가

- ❑ 가상환경에서의 **simulation**을 통해 **작업 자세나 작업장 평가** (Silva et al., 2022)
- ❑ **Mock-up**을 제작할 **필요가 없어 평가 시간과 비용 감소** (Högberg et al., 2007)

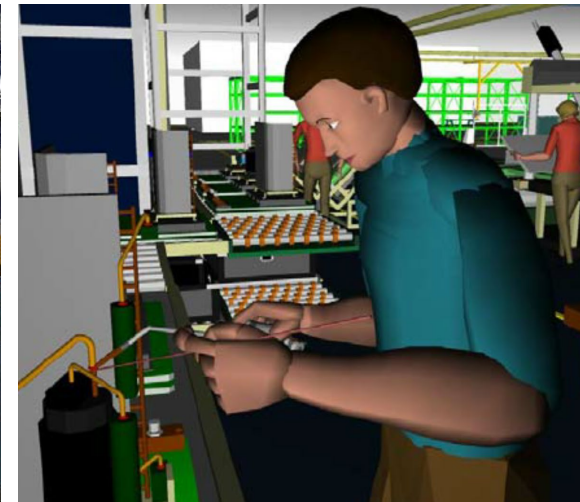
가상 simulation을 통한
작업 자세 평가 (Högberg et al., 2007)



가상 simulation을 통한
작업 자세 평가 (Bubb et al., 2019)



가상환경에서 작업하는
digital human (Zhang and Chaffin, 2005)



Digital Human Modeling (DHM)

- DHM: **가상 공간**에서 인간의 동작과 행동을 **modeling**하는 기술 (Wang et al., 2013)
- DHM 프로토콜

S1. Modeling



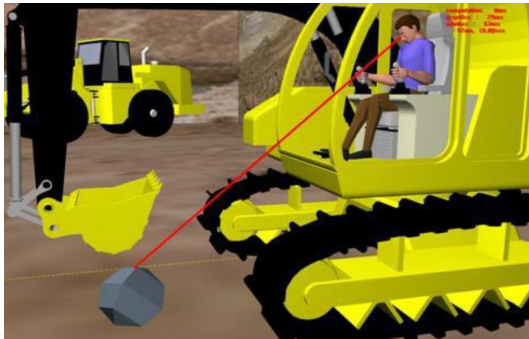
S2. Simulation



S3. Assessment

- Software를 통한 **human modeling 구축**
- 사용 software: **Jack** (Siemens), **CATIA** (Dassault Systemes) 등
- 가상 환경 내에서 작업 자세 **simulation**
- **REBA, RULA**, lower back pressure analysis 등의 평가 방법을 통한 **작업자의 부하 및 작업장 설계 평가**

가상 환경에서의 작업(Jack)
(Akyeampong et al., 2013)



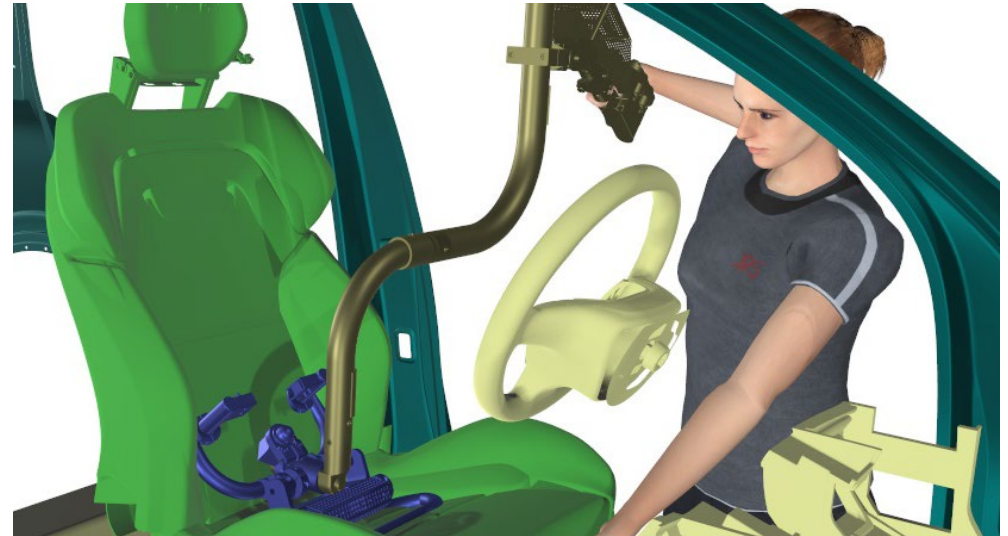
Digital manakin의 작업 자세 simulation (CATIA)
(Vyavahare et al., 2015)



전형적 DHM 연구의 장점

- ❑ 인간공학적 작업장 설계 최적화를 통한 **근골격계질환 (WMSDs) 예방** (Wang et al., 2013)
- ❑ **Prototype 없이** 작업장 평가 수행 가능 (Akyeampong et al., 2013)
- ❑ **설계 초반 단계의** 수정을 통한 **설계 비용 및 소요 시간의 최소화** (Peruzzini et al., 2017)

DHM software를 사용해 digital human으로 작업 수행



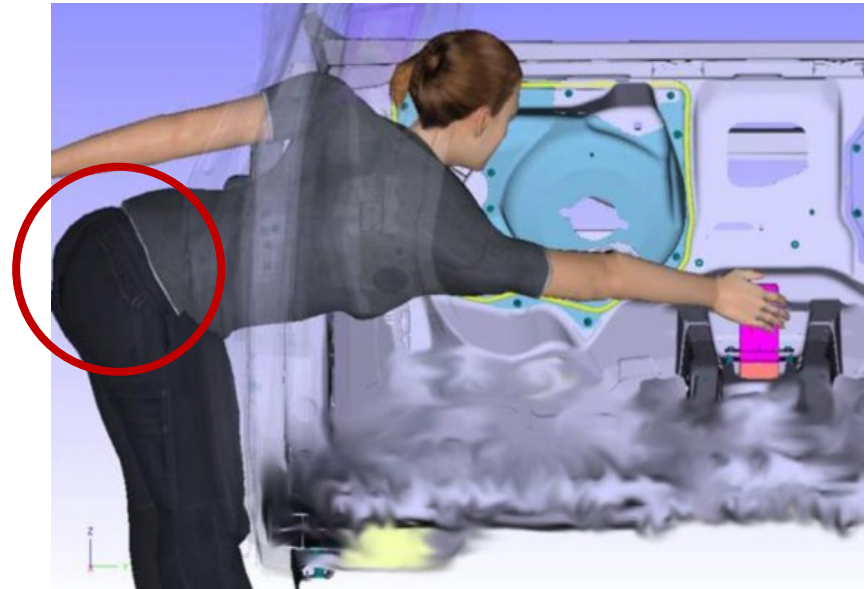
전형적 DHM 연구의 한계점

- ❑ **Simulation**의 낮은 정확도로 어색한 작업 자세 구현 (Alexander et al., 2014, Lamkull et al., 2020)
- ❑ 현실과의 상호작용 부족으로 실시간 평가가 어려움 (Wolf et al., 2020)
- ❑ 결과 분석 시, 평가자의 주관이 개입됨 (Savino et al., 2017)

Simulation의 낮은 정확도로 인한 어색한 작업 자세 (Lamkull et al., 2020)



접촉을 피하도록 학습된 마네킹의 어색한 작업 자세 (Lamkull et al., 2020)



가상환경기반 인간공학적 평가를 위한 Digital Human Modeling (DHM) 기술 조사

- **문헌조사**를 통한 DHM 동향 조사
- 고도화된 DHM **연구 동향 분류** (VR/AR, Digital Twin, AI/ML)
- 고도화된 DHM **연구 사례 조사**

문헌 조사: 전형적 DHM 연구

- 전형적 DHM 연구: 고도화된 기술을 활용하지 않은 DHM 적용 평가 연구
- 문헌 조사 site: <https://www.scopus.com>
- 검색 조건: keyword, title, abstract로 최근 10년 이내 연구 문헌 조사
- 검색 결과
 - ✓ 국외 논문 **243건 검색**, 중요도 분석을 통해 선정된 **최종 21건 분석**
- 검색 keywords
 - ✓ **DHM** 관련: human model, digital human, full body
 - ✓ **평가** 관련: evaluation, experiment, analysis
 - ✓ **인간공학** 관련: ergonomics, human factors

문헌 조사: 고도화된 DHM 연구

- 고도화된 DHM 연구: Industry 4.0 기술을 활용한 최근 DHM 적용 평가 연구
- 문헌 조사 site: <https://www.scopus.com>
- 검색 조건: keyword, title, abstract로 최근 10년 이내 연구 문헌 조사
- 검색 결과
 - ✓ 국외 논문 **45건 검색**, 중요도 분석을 통해 선정된 **최종 10건 분석**
- 검색 keywords
 - ✓ **DHM** 관련: human model, digital human, full body
 - ✓ **기술** 관련: AI, machine learning, digital twin, AR, VR, MR, human-robot
 - ✓ **평가** 관련: evaluation, experiment, analysis
 - ✓ **인간공학** 관련: ergonomics, human factors

문헌 조사 절차

전형적/고도화

S1. **Keywords 조합**을 통한 journal paper 검색

- 최신: (("human model" OR "digital human" OR "full body") AND ("AI" OR " Machine learning" OR "digital twin" OR "Mixed reality" OR "AR" OR "VR") AND ("ergonomics" OR "human factors")) AND PUBYEAR > 2012

243/45 건

S2. Title screening을 통한 1차 선별



47/38 건

S3. Abstract screening을 통한 관련도 평가

- 상, 중, 하 분류

45/12 건

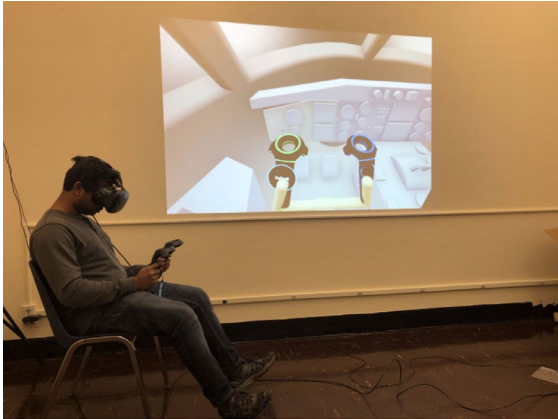
S4. 관련도에 따라 **최종 review 대상 논문** 선별

21/10 건

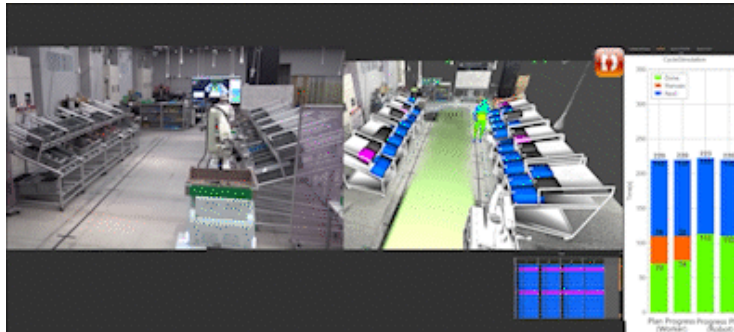
고도화된 기술 기반 DHM 연구

- VR/AR, DT (digital twin), AI/ML (artificial intelligence/machine learning)로 구분
 - ✓ **VR/AR 기술로 가상환경에서의 정확한 simulation**이 가능함
 - ✓ **DT 기술로 human-robot cooperation (HRC) 상호작용 작업장 설계가 용이함**
 - ✓ **AI 기술로 작업 부하 계산과 위험 판단의 자동화가 가능함**

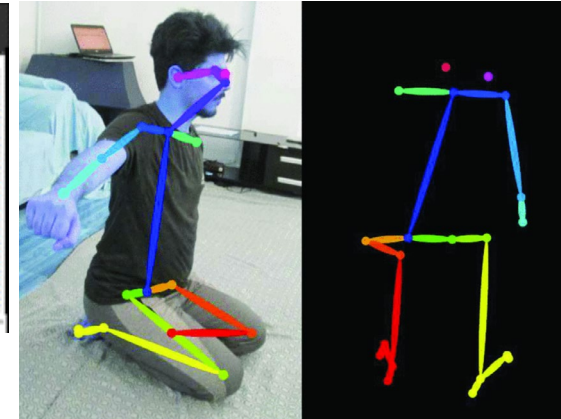
**HMD를 착용하고
작업 simulation** (Ahmed et al., 2019)



DT를 통한 HRC 작업장 설계
(Maruyama et al., 2021)

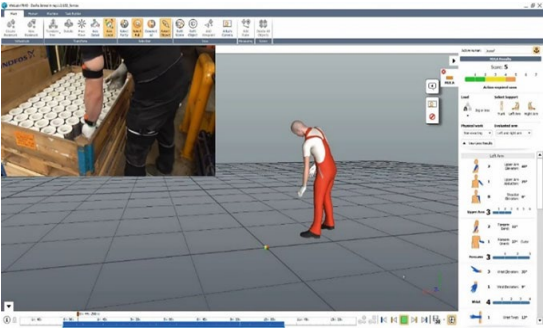

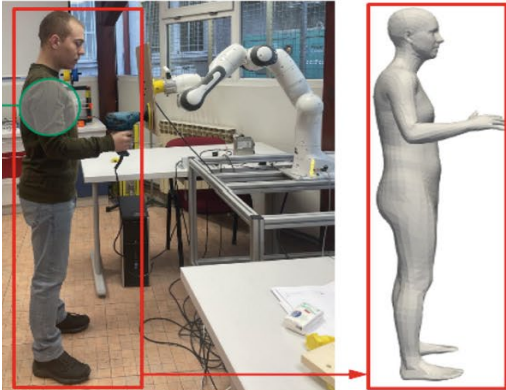


**Openpose 딥러닝 기술을 통한
작업 자세 분석** (Kasani et al., 2022)



고도화된 기술 기반 DHM 연구

고도화된 기술 기반 DHM 연구 특징

	VR/AR	DT	AI/ML
대표 사진	 <p>(Babicsné-Horváth et al., 2022)</p>	 <p>(Ippolito et al., 2020)</p>	 <p>(Petrovic et al., 2022)</p>
주목적	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장의 효과적 개선 	<ul style="list-style-type: none"> • 최적화된 HRC 시스템 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자를 모니터링해 관절 토크 및 부하 자동 계산
강점 및 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 제품 개발 및 생산 비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> • HRC 로봇의 실시간 제어 가능 HRC 시스템의 안전성, 생산성, 정확성 향상 	<ul style="list-style-type: none"> • 인간 행동 모니터링을 통한 위험 평가에 효과적 • 효과적인 자세 평가



VR/AR 기반 DHM 연구

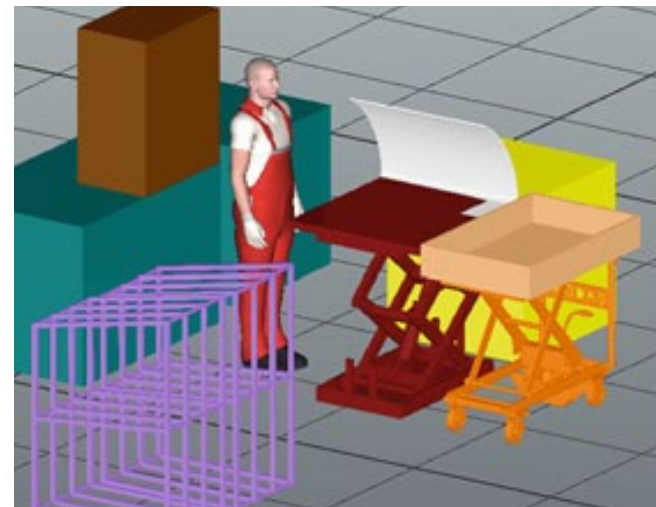
VR/AR 기반 DHM 연구: 공통 목적

- ❑ **Motion capture**와 결합해 **작업 자세 및 작업장 평가** (Babicsné-Horváth et al., 2022)
 - ✓ VR을 사용하는 작업자의 **움직임 데이터 수집** (Reinhard et al., 2020)
 - ✓ 평가 **결과 AR 시각화** (Evangelista et al., 2023)
 - ✓ **가상환경에서 개선된 작업자세 및 작업환경 제시** (Paravizo et al., 2018)

Digital 조립 작업장



가상 작업장에 있는 DHM
(Babicsné-Horváth et al., 2022)



가상 환경 기술

□ VR, AR, MR, XR 기술 비교 (박승창과 김진이, 2021, Xing et al., 2021, Venkatesan et al., 2021)

기술	개요	장점	단점
VR Virtual Reality	컴퓨터로 가상환경(VE) 생성	• HMD를 통한 몰입형 환경을 제공	• 현실 세계와 차단되어 현실과의 상호작용은 약함
AR Augmented Reality	현실 세계 위에 가상 정보를 중첩	• 현실 세계와 상호작용 가능	• VR에 비해 몰입감이 비교적 떨어짐
MR Mixed Reality	현실 세계 아래에 가상 환경 구축 가능	• 몰입형 경험 제공 • 의료 및 엔지니어링 산업에 중점	• 기술적 제약(시야가 다소 좁음)
XR eXtended Reality	VR, AR, MR 기술로 생성되는 실제와 가상이 결합된 모든 환경	• 현실과 가상 전체의 스펙트럼을 포함	• 기술적 제약

VR/AR 기반 DHM 연구: 공통 process

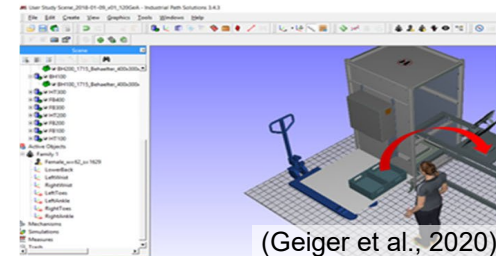
1. Create DHM

Head-mounted display(HMD)로
digital human 생성



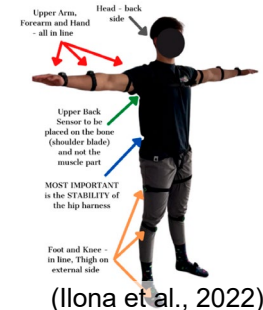
2. Virtual environment

Workstation과 DHM을 포함한
가상환경 생성 후 작업 수행



3. Motion capture

Depth camera, motion capture suit를 통해
movement 및 joint tracking



4. Analysis & Assessment

Tracking data를 RULA, REBA 등 평가 방법으로
작업 부하 및 작업장 평가



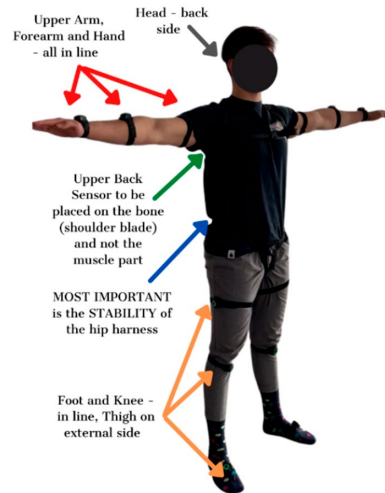
VR/AR 기반 DHM 연구: Device & Tool

- ❑ **Motion capture device:** 실제 작업자의 **movement data**를 획득
- ❑ **VR/AR hardware (HMD):** 를 사용해 **몰입형 환경** 제공
- ❑ **VR/AR software:** digital human이 있는 **가상환경** 구축

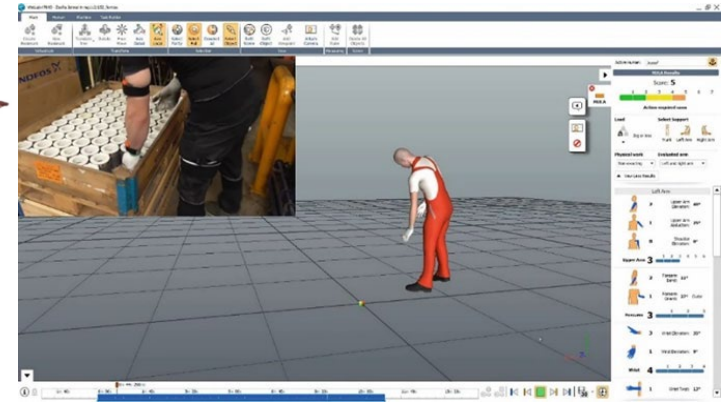
HMD를 착용한 작업자
(Reinhard et al., 2020)



Motion capture suit를
착용한 작업자
(Ilona et al., 2022)



Digital human이 있는 가상 작업장 구축
(Babicsné-Horváth et al., 2022)

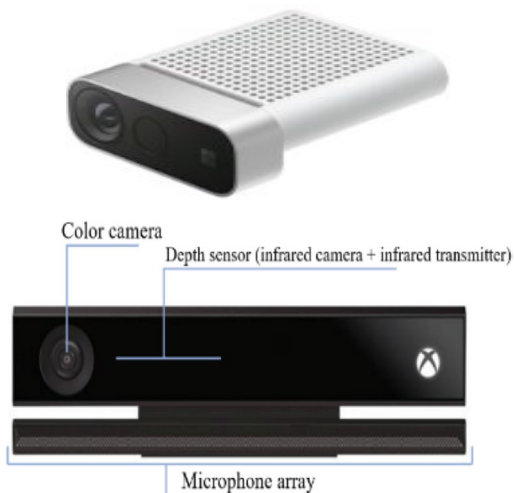


VR/AR 기반 DHM 연구: Device & Tool

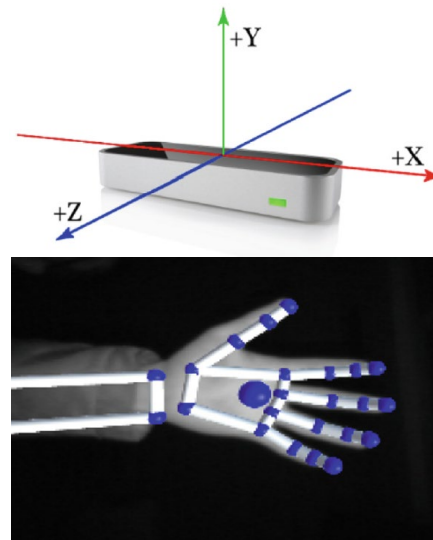
❑ Motion capture device

- ✓ **Kinect**, Microsoft, US: whole body tracking, 실시간 motion capture
- ✓ **LeapMotion**, Ultraleap, US: hand and finger tracking에 특화
- ✓ **Xsens MVN suit**, Xsens Technologies, Netherland: 추가 장비 없이 대부분 환경에서 capture 가능

Kinect의 구조
(Wang et al., 2020)



**LeapMotion을 이용한
hand detection**
(Wang et al., 2020)



**Xsens MVN
motion capture suit**
(Babicsné-Horváth et al., 2022)



VR/AR 기반 DHM 연구: Device & Tool

□ VR/AR hardware

- ✓ **HTC Vive**, HTC, Taiwan: room-scale tracking을 통해 자유로운 상호작용이 가능
- ✓ **Oculus Quest 2**, Oculus, US: PC나 다른 기기가 필요 없는 무선 VR기기
- ✓ **HoloLens 2**, Microsoft, US: 가상 개체와 hands-free 상호작용 가능

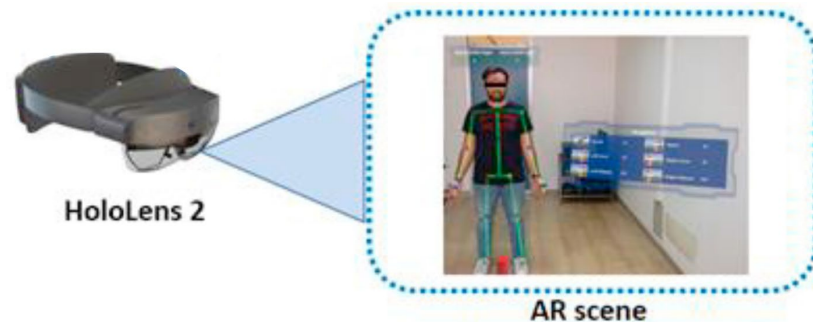
HTC Vive를 착용하고
virtual object grabbing
(Geiger et al., 2020)



Oculus Quest 2를
착용한 작업자
(Ilona et al., 2022)



HoloLens 2로 분석 결과 현실에 overlay
(Evangelista et al., 2023)



VR/AR 기반 DHM 연구: Device & Tool

□ VR/AR software

- ✓ **Unity**, Unity Technologies, US: 다양한 pre-made assets, 통합 개발환경(IDE) 구축
- ✓ **Unreal Engine 4**, Epic games, US: multi-platform 지원, 실시간 렌더링
- ✓ **ARKit**, Apple, US: 4K 해상도, 실제 환경을 분석해 가상 물체 배치 가능

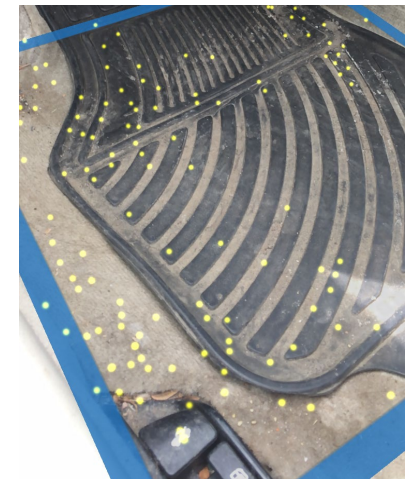
Unity로 seated model을
조작하고 시각화
(Park et al., 2019)



Unreal Engine 4로 개발한
가상 작업환경
(Paravizo et al., 2018)

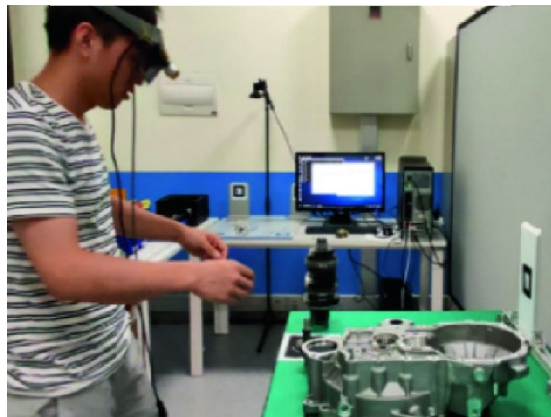
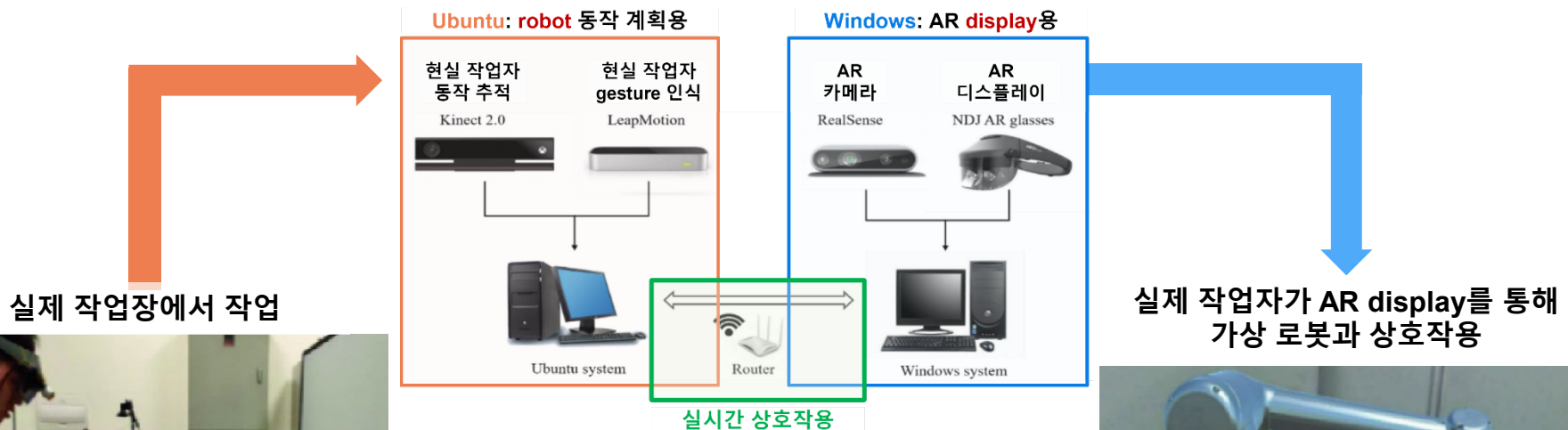


ARKit의 평면 감지 기능으로
차량 바닥 자동 감지
(Park et al., 2019)



VR/AR 기반 DHM 연구: 사례 (1/3)

- **Human-robot cooperation (HRC)**를 위한 **simulation system 개발** (Wang et al., 2020)
 - ✓ 실제 작업자가 **실제 작업장에서 가상 로봇과 상호작용**
 - ✓ HRC system: heterogeneous platform의 실시간 상호작용



VR/AR 기반 DHM 연구: 사례 (2/3)

□ 실제 공간에 가상 운전자를 배치해 탑승자 수용성 평가 도구 개발 (Park et al., 2019)

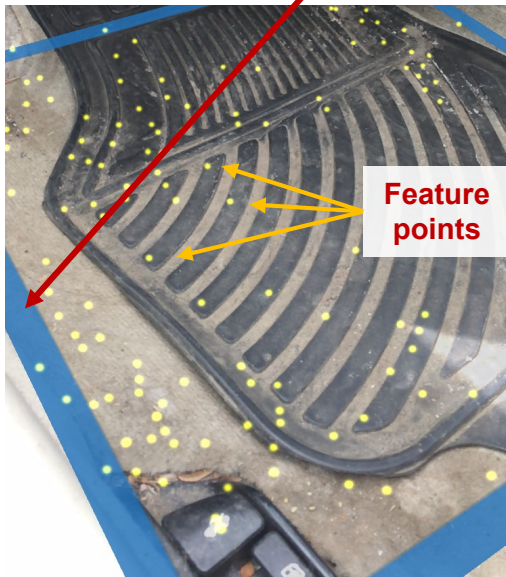
✓ AR 기술(ARKit, Apple) 로 실제 공간과 가상 공간의 feature points를 인식하고 서로의 위치 차이 계산

➔ 실제 공간과 가상 공간 간의 대응 관계 생성

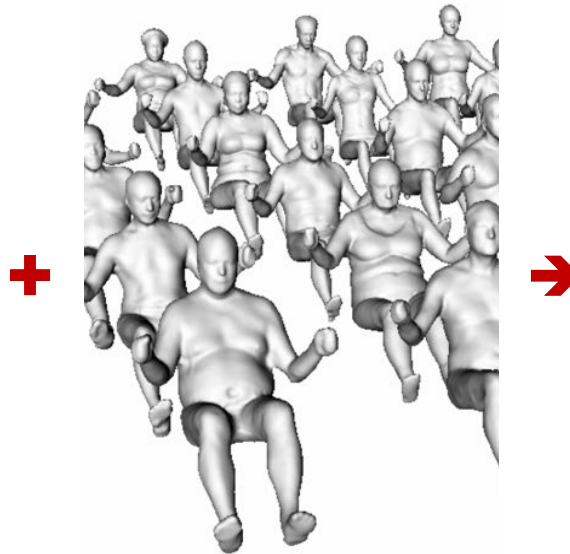
ARKit, Apple



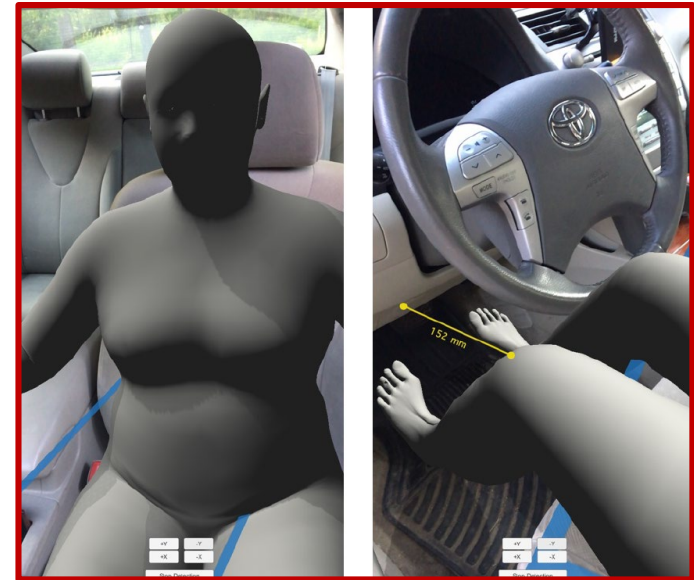
Reality environment
: 차량 바닥 평면 감지



Virtual DHM
: digital 체형 모델



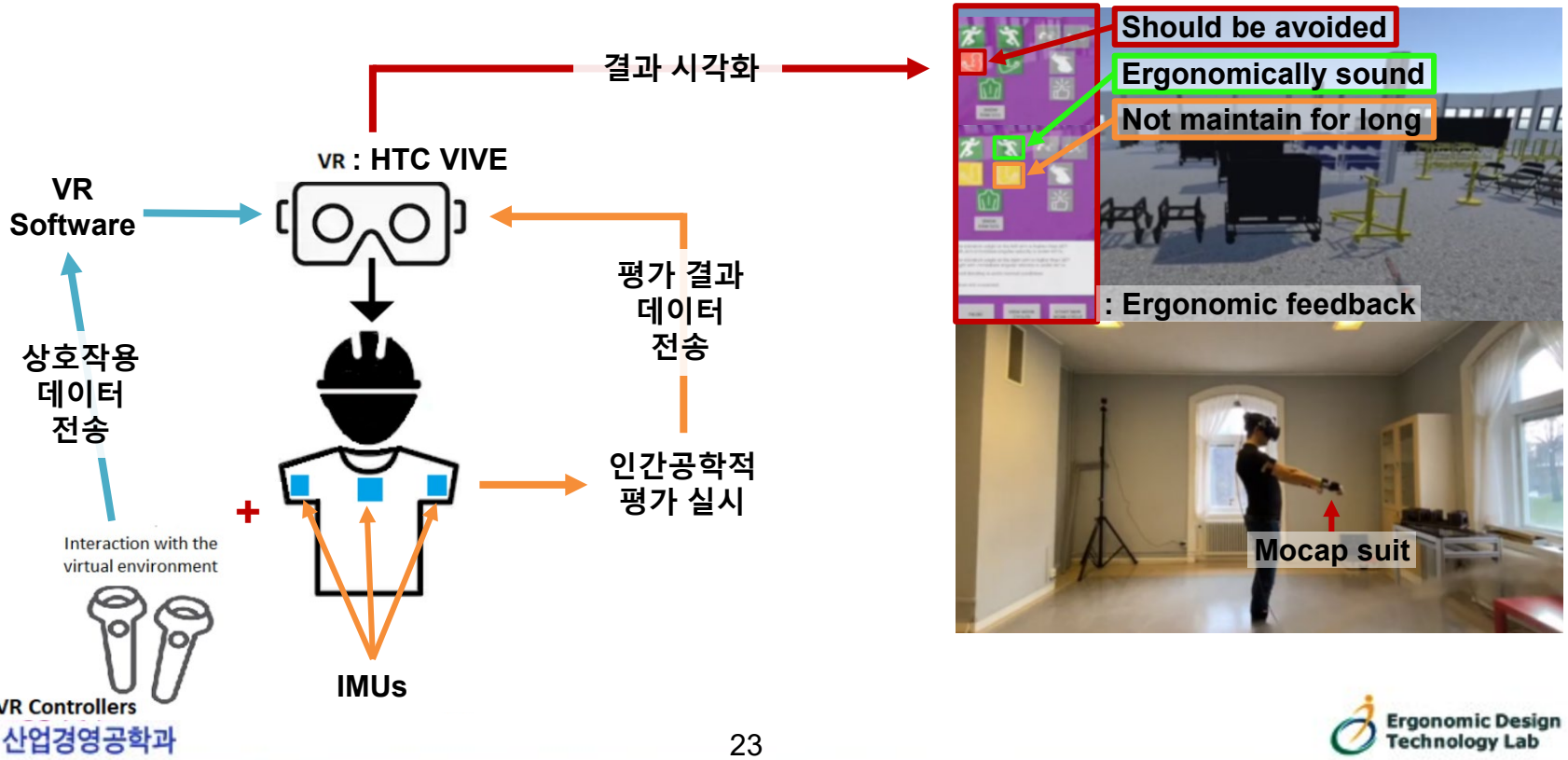
Virtual human in reality environment



VR/AR 기반 DHM 연구: 사례 (3/3)

□ 몰입형 VR 가상환경을 통한 작업장 설계 (Rivera et al., 2020)

- ✓ 관성 측정 장치(IMU): 관절 각도 및 각속도 data 수집
- ✓ 몰입형 VR 환경: 가상 환경 내에서 **시각적 자극으로 평가 결과 표출**



VR/AR 기반 DHM 연구: 효과 (1/2)

□ 효과적인 작업장 개선 가능 (1/2) (Ilona et al., 2022)

- ✓ VR 환경에서의 작업장 개선 시, 작업자의 상지(upper limb)가 불편한 자세를 유지하는 시간이 약 25~50% 더 개선(감소)됨

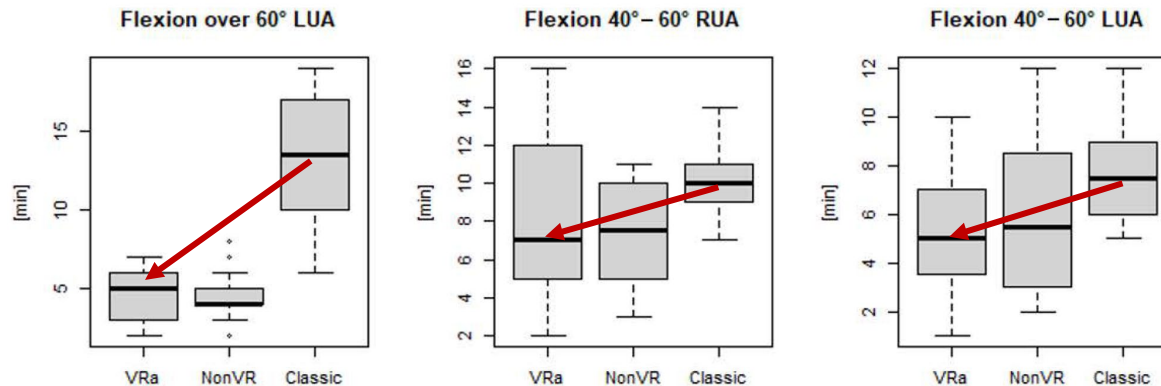
Kinematic suit를 사용해
개선 후의 가상환경에서 측정

개선 후의 실제 환경에서
고전적인 방법(영상 촬영)으로 측정

Table 2. Time spent in working position.

	VRa [min]	NonVR [min]	Classic [min]
Flexion over 60° LUA	4	5	13
Flexion 40–60° RUA	8	7	10
Flexion 40–60° LUA	5	6	8

RUA—right upper arm, LUA—left upper arm.



VR/AR 기반 DHM 연구: 효과 (2/2)

□ 효과적인 작업장 개선 가능 (2/2) (Babicsné-Horváth et al., 2022)

✓ VR software를 사용해 작업장을 개선한 결과, **작업자의 부하가 크게 감소**

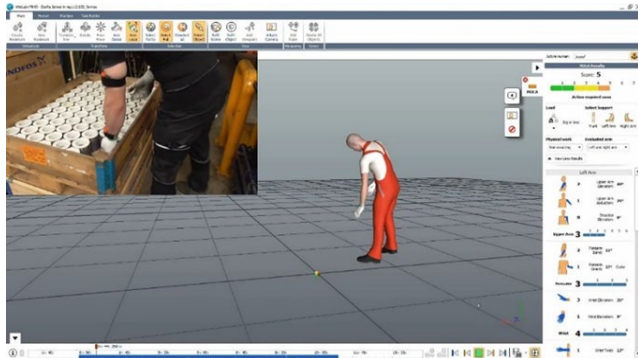
➢ **작업 시간**: 개선된 작업장에서의 작업이 기존보다 **67% 감소**

➢ 정적작업 **자세 평가**(ISO 11226): 부적절한 작업자세 개수가 기존보다 **82% 감소**

➢ 기계 관련 작업 자세 및 **움직임 평가**(EN 1005-4): 부적절한 작업자세 개수가 기존보다 **33% 감소**

➢ **RULA 즉시 개선** 요구 기준(7점): 기존보다 **85% 감소**

ViveLab Ergo software로 가상환경에 작업장 구현해 개선

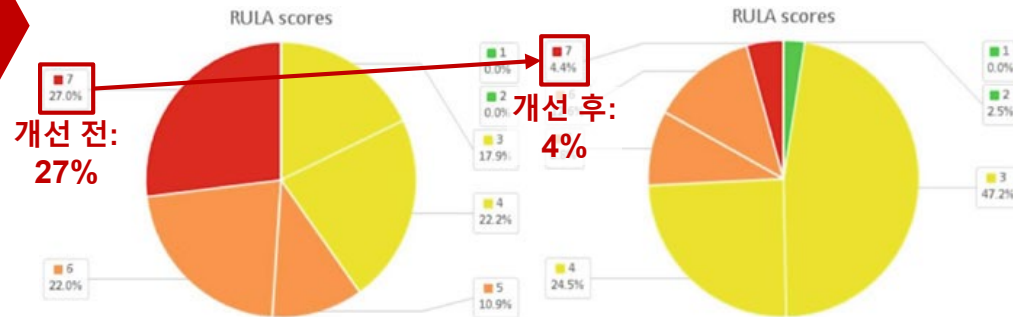


Redesigned results

workstation values 비교

	Workflow duration	ISO 11226	EN 1005-4
Original workstation	9 min ↓	103 incorrect posture ↓	39 incorrect posture ↓
Redesigned workstation	3 min ↓	19 incorrect posture ↓	26 incorrect posture ↓

RULA 분석 결과



VR/AR 기반 DHM 연구: 제한점

- 기술의 한계로 인한 **물리적 지원의 어려움** (Reinhard et al., 2020)
 - ✓ HMD VR을 착용한 작업자의 avatar가 가상 물체에 **접촉할 경우**, 작업자에게 그에 따른 **physical feedback**이 **제공되지 않음**
- 물리적 시제품과 실제 사용자를 사용한 **추가적 검증 단계 필요**
 - ✓ 분석 및 평가 결과의 **신뢰성을 유지**하고 **동일한 경험을 제공**하기 위한 **기술적 발전 필요**

HMD VR을 착용하고 작업 중인 작업자
(Reinhard et al., 2020)



HMD 속 avatar는 가상 물체에 **기대 있는 시각적 인식 제공받음**

물리적 요소가 없어, 현실 작업자는 기대고 있는 느낌을 받을 수 없음

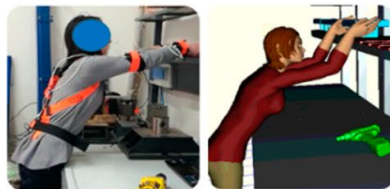


Digital Twin 기반 DHM 연구

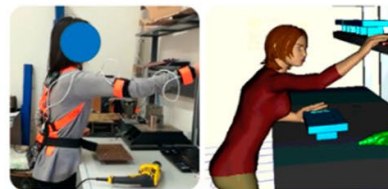
Digital Twin 기반 DHM 연구: 공통 목적

- ❑ **Human-robot cooperation (HRC) simulation system 개발** (Dimitropoulos et al., 2021)
 - ✓ HRC: 인간과 로봇 간의 상호 작용 및 협업
 - 측정 모듈, 센서, 인지 기술 등으로 **작업자의 움직임 및 의도 파악, 로봇 동작 설계**
- ❑ **현실과 가상 간의 상호작용을 통한 작업장 설계 최적화** (Lv et al., 2021)

DT를 사용해 구현한 현실과 가상 환경에서의 작업 구현 (Greco et al., 2020)



OP_10. Pick-up the component 1 and place it on the workbench.



OP_20. Pick-up the component 2.



OP_30. Assembly the two components.



OP_40. Pick up the screwdriver and perform 4 screwings.



OP_50. Place the screwdriver on the workbench and pick-up the assembly.

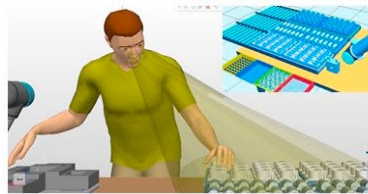


OP_60. Place the assembly on the cart at the side of the station.

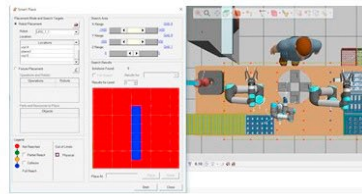
Digital Twin 기반 DHM 연구: VR/AR과의 차이

	VR/AR	Digital twin
공통점	가상환경에서 digital human model과 함께 상호작용함	
차이점	<ul style="list-style-type: none"> 가상 환경 내에서 상호작용 몰입형 환경을 구현해 사용자 경험 분석 인간공학적 분석 및 작업장 설계 검증에 DHM이 사용됨 	<ul style="list-style-type: none"> 현실과 가상 환경 사이의 상호작용 현실을 최대한 비슷하게 구현해 사용자 경험이 주 목적은 아님 작업장이나 system에서의 실시간 모니터링 및 예측 분석에 DHM이 사용됨

Digital twin을 이용한 다양한 분석 (Malik et al., 2018)



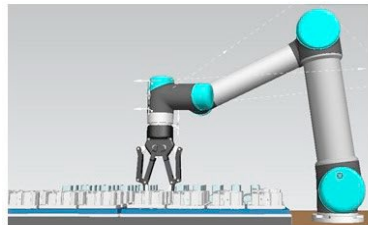
Vision Analysis



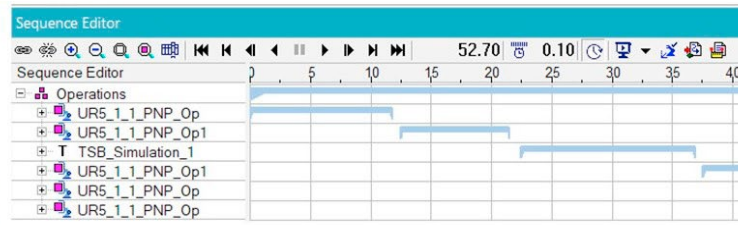
Robot Reach Analysis



Grasp Analysis



Robot Program



Operation Times

Digital Twin 기반 DHM 연구: 공통 process

□ HRC system flow (Maruyama et al., 2021, Lv et al., 2021)

S1. Monitoring

센서와 측정 모듈로 작업자의 **움직임 인식 및 monitoring**

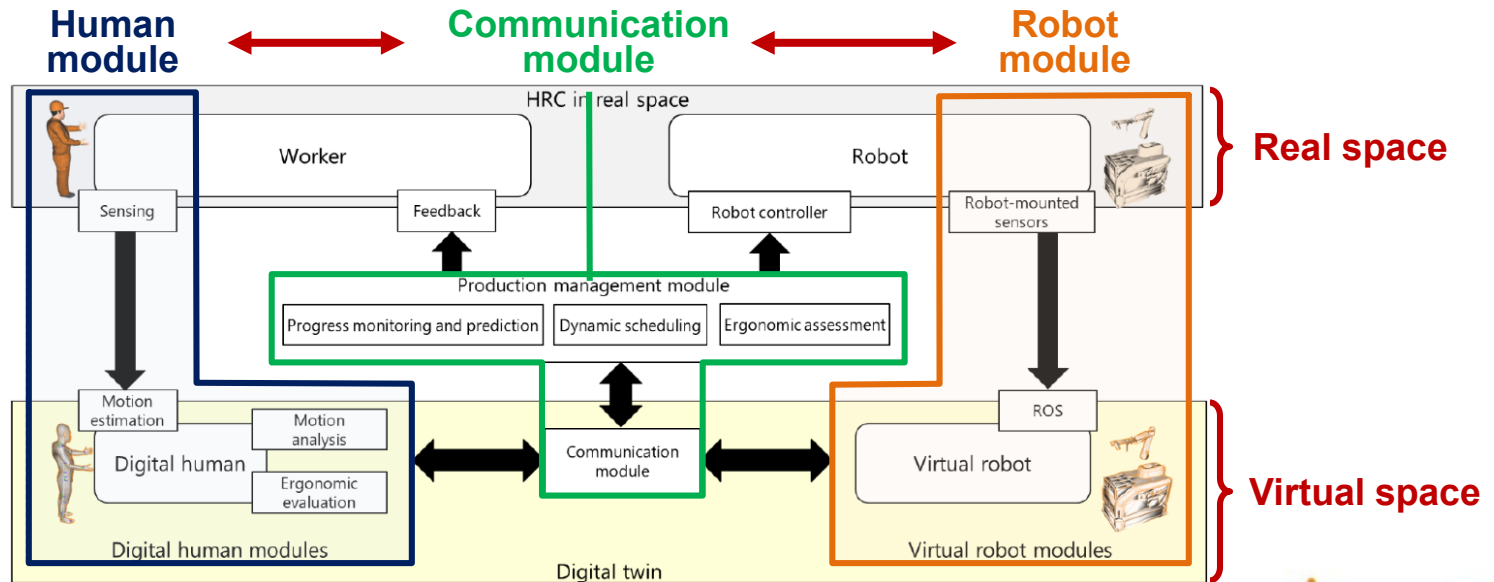
S2. Risk assessment

인간공학적 평가를 통한 **위험 예측 및 scheduling**

S3. Robot setting

평가 결과에 따른 로봇의 **최적 위치와 자세 설정**

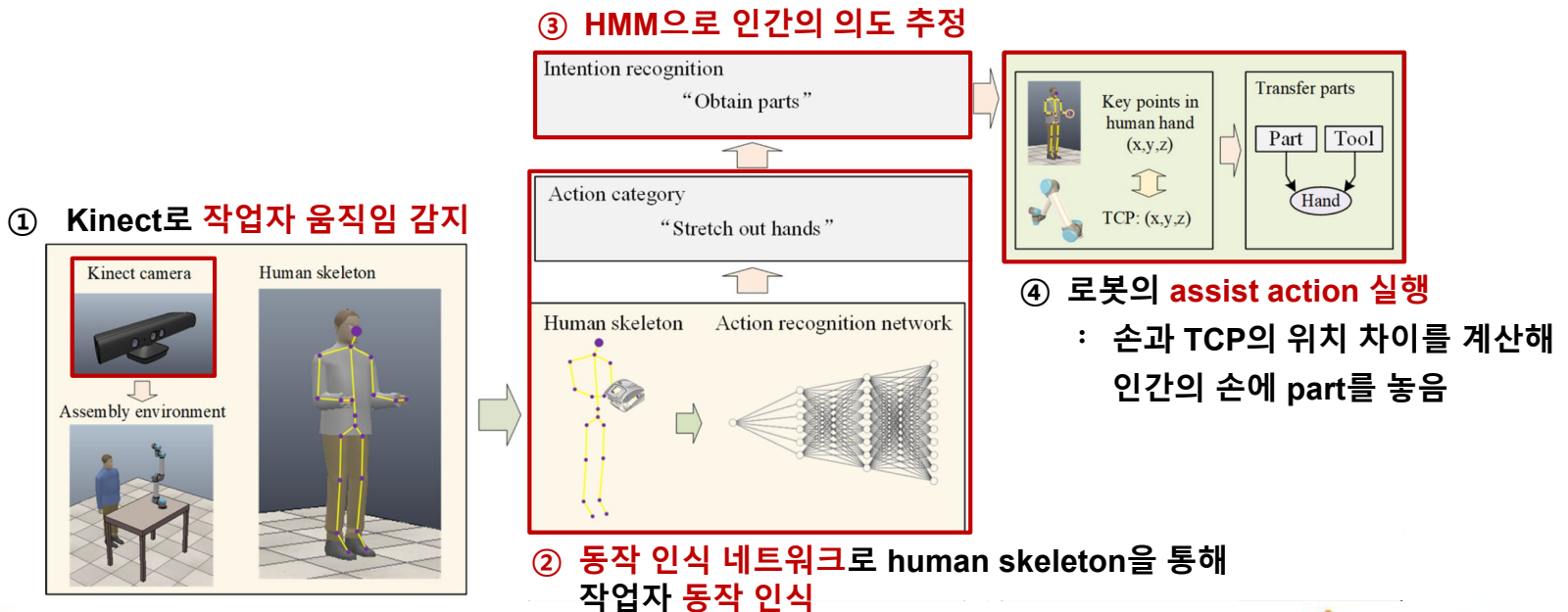
HRC system의 DT framework (Maruyama et al., 2021)



Digital Twin 기반 DHM 연구: 사례 (1/3)

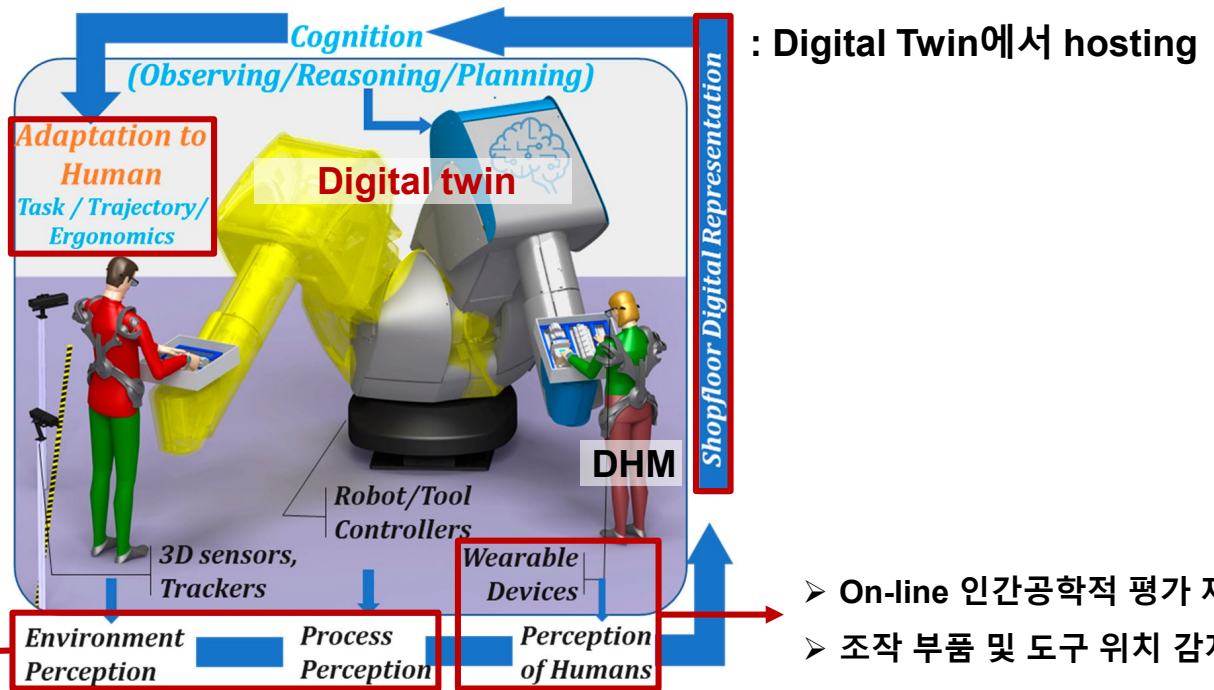
- 작업자의 **의도 추정**을 통한 HRC 최적화 (Lv et al., 2021)
 - ✓ **인간과 로봇 간 상호작용**으로 **로봇의 action 설정**
 - RL(reinforcement learning)은 DT에서 **trajectory와 posture의 최적화**에 사용
 - ✓ **HMM**(Hidden Markov Model): 작업자의 현재 동작 속 **숨겨진 의도 추정**

Human-in-the-loop collaborative assembly



Digital Twin 기반 DHM 연구: 사례 (2/3)

- 인지 기술을 사용한 **digital twin 기반 HRC system** 개발 (Dimitropoulos et al., 2021)
 - ✓ 데이터 인지를 통해 **robot이 인간에 적응**
 - ✓ robot 동작의 **자동 조정**을 통한 인간공학적 최적화 제공



진행 중인 작업자의 작업 식별

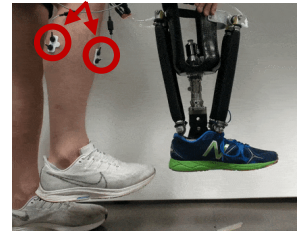
인지 데이터

Digital Twin 기반 DHM 연구: 사례 (3/3)

Exoskeleton robot 기술을 활용한 작업장 설계 최적화 (Ippolito et al., 2020)

- ✓ Exoskeleton robot: 인체 외부에 착용되는 로봇 형태의 구조물
 - 사용자의 움직임을 돕는데 사용, 작업 종류가 다양한 작업장 설계에 유용함

Exoskeleton robot



Reality situation

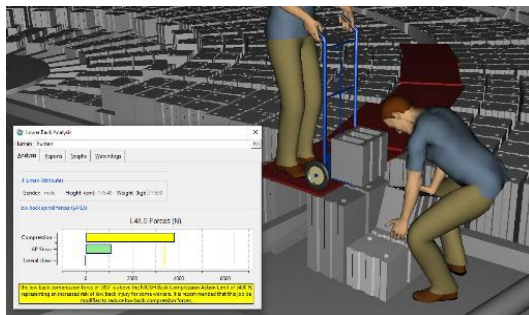


Digitalization

Digitalization

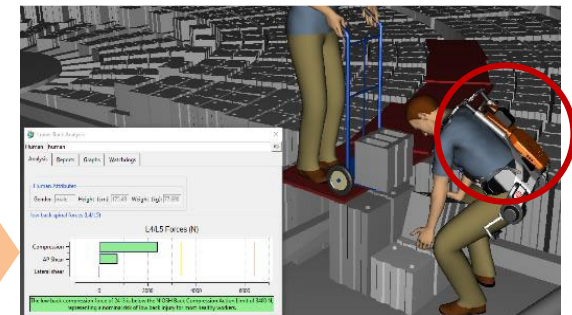
“As it is”

virtual situation:
exoskeleton 사용X



“As it should be”

Virtual situation:
exoskeleton 사용O



작업자 기립근에
근전도(EMG) 센서 배치 후,
lower back analysis 결과

Lifting 자세 근육 활동 58% 감소
근육 활동 평균값 27% 감소

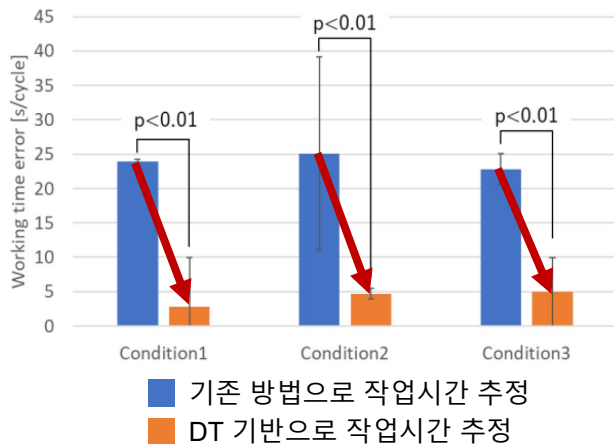
Digital Twin 기반 DHM 연구: 효과 (1/2)

동작 분석 및 인간공학적 평가 용이 (Maruyama et al., 2021)

✓ DT 기반 HRC system: **작업시간 추정 및 감소**, **작업 재배치** 등에서 효과적

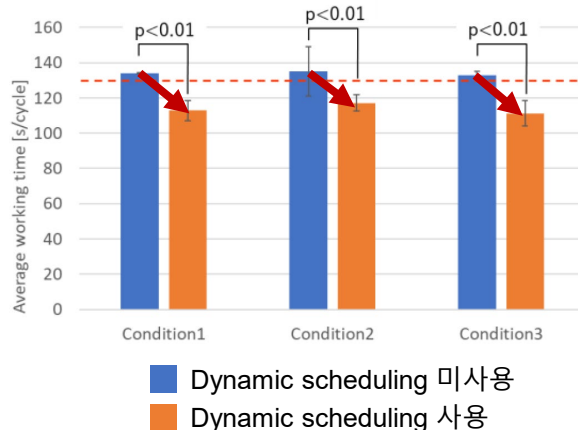
작업시간 추정 오류(error)

DT 기반 system에서의 **작업시간 추정 오류가** 기존 방법보다 **약 80% 감소**



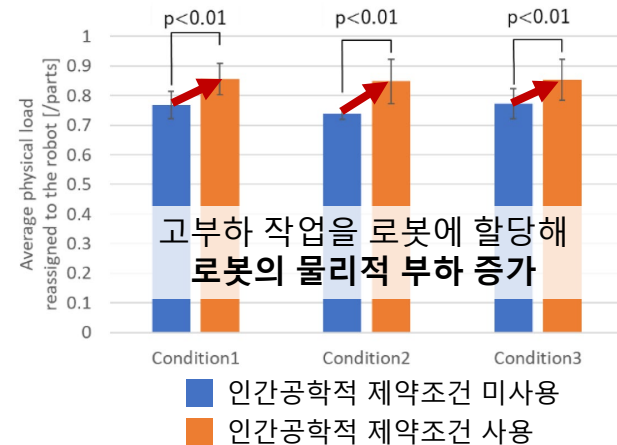
Dynamic scheduling 사용

Dynamic scheduling을 사용한 DT 기반 system에서의 작업 시간이 **약 12% 감소**



고부하 작업 로봇 재할당

인간공학적 제약조건이 있는 DT 기반 system이 **고부하 작업을** **로봇에 추가 할당**하여 **작업자의 부하를 줄임**



Digital Twin 기반 DHM 연구: 효과 (2/2)

□ **작업 효율성 향상** (Lv et al., 2021)

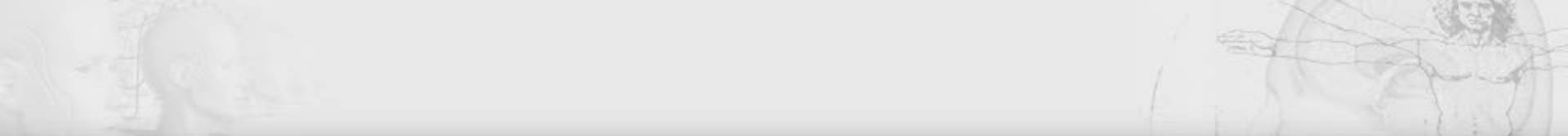
- ✓ DT 환경에서의 **작업 소요시간, 작업 충돌률, 작업 정확도가 모두 향상됨**
 - **DDPG**(deep deterministic policy gradient): DT 환경에서 시스템을 제어하는 강화 학습
 - D-DDPG(double-DDPG): DDPG1(최적 동작 순서) + DDPG2(최적 로봇 궤적)

Performance of picking with different methods

Control method	Picking time (s)	Collision rate	Picking accuracy (Δd): 조립 편차
Pre-programming	25.645	5.208 %	2.447 mm
DDPG	16.354 ↓ 44% 감소	1.563 % ↓ 90% 감소	1.875 mm ↓ 63% 감소
D-DDPG	14.832	0.521%	0.895 mm

Performance of collaborate assembly with different methods

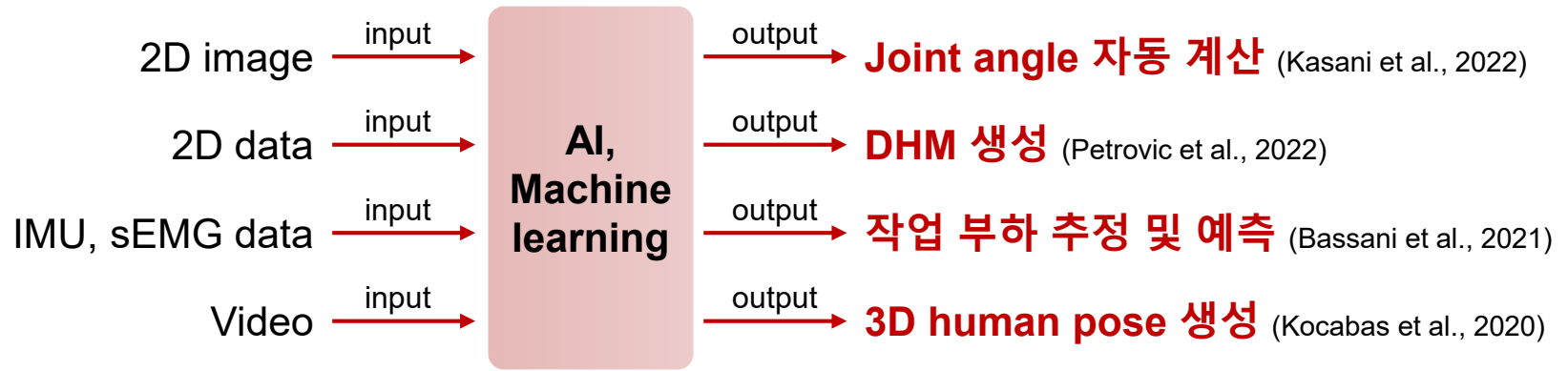
Control method	Assembly time (s)	Collision rate	Assembly accuracy (Δd)
Pre-programming	24.845	5.128 %	1.884 mm
DDPG	14.564 ↓ 50% 감소	1.538 % ↓ 90% 감소	0.964 mm ↓ 69% 감소
D-DDPG	12.453	0.513 %	0.587 mm



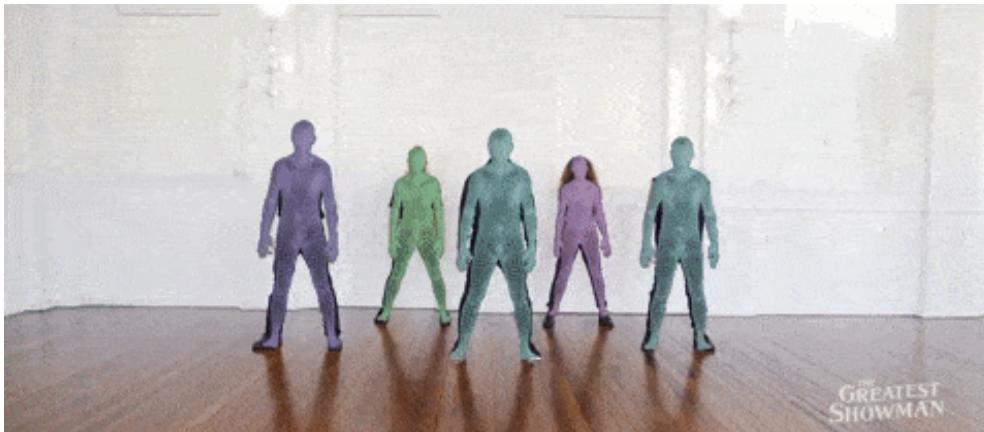
AI 기반 DHM 연구

AI 기반 DHM 연구: 공통 목적

- 작업장 설계나 신체적 위험 평가를 위한 **인간 행동 모니터링 및 예측**



Machine learning 기술로 video에서 human 3D pose 추출
(Kocabas et al., 2020)



AI 기반 DHM 연구: 사례 (1/3)

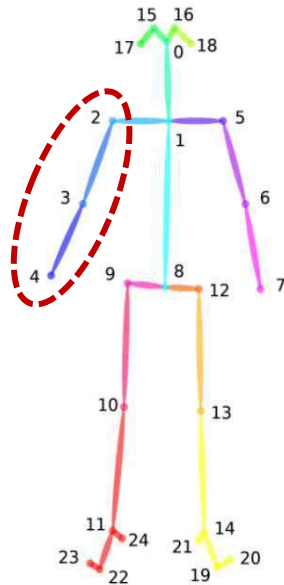
□ 관절 각도 예측 (Kasani et al., 2022)

✓ **Open-pose**와 **CNN**을 이용해 **관절 각도를 예측**하는 신경망 구축

Input:
2D image

Open-pose로
keypoints detection

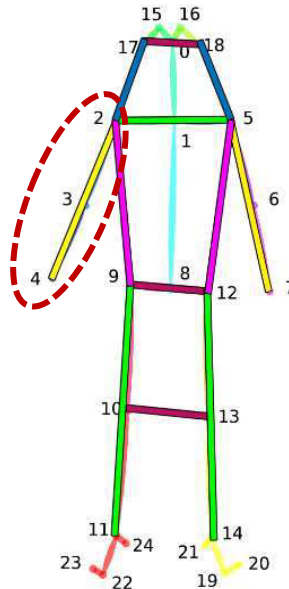
- Keypoints: 25개(0~24)



keypoints간
relationship, 3D matrix 생성

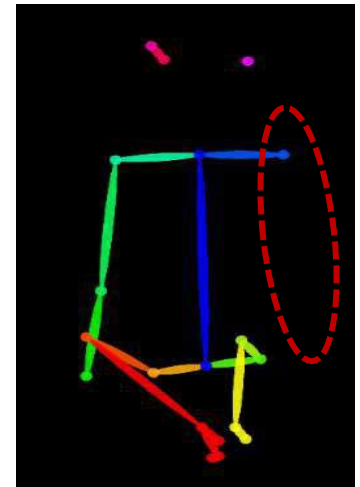
- Joint connector function으로
keypoints를 다음 keypoints로
연결

relationship



Output: **CNN**으로 관절 각도
및 위치 예측

- 가려진 이미지에 **CNN** 기법을
적용하여 관절 각도를 추정
- 추정 정확성 측정 결과 **RMSE**
12.9와 **MAE** **4.7**로 높은
정확도를 보임



AI 기반 DHM 연구: 사례 (2/3)

□ HRC 평가를 위한 **3D pose 재구성** (Petrovic et al., 2022)

Input: 2D

4개의 IP camera로
2D data 획득



DAHUA
IPC-HFW2831TP-ZS

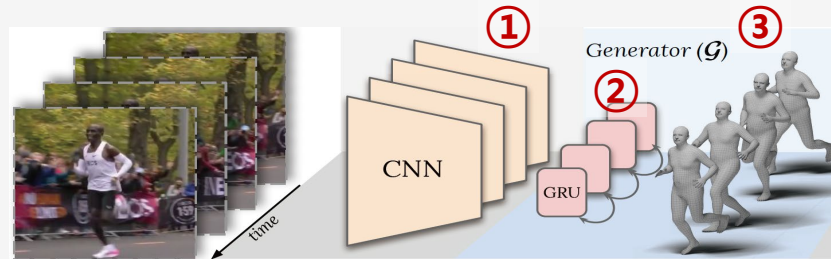


VIBE deep learning

(Video Inference for Human Body Pose and Shape Estimation)

2D landmark에서 **3D human action 추정**
(Kocabas et al., 2020)

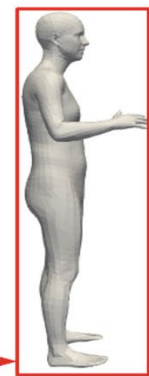
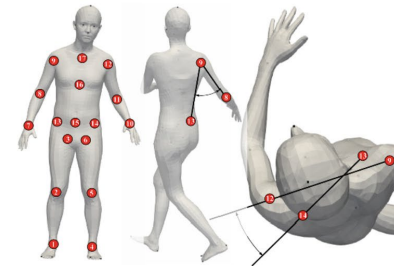
- ① **Convolutional neural network (CNN)** 사용
: 각 frame별 특징 추출
- ② **Gated Recurrent Units (GRU)** 사용
: Human motion의 순차적 특성 파악
- ③ **SMPL model** regression



VIBE 3D Pose Estimation

**Output: 3D
Digital human model**

추정 결과
SMPL model로 표현



AI 기반 DHM 연구: 사례 (3/3)

□ HRC에서 **작업자 대체 로봇 자세 선정** (Dimitropoulos et al., 2021)

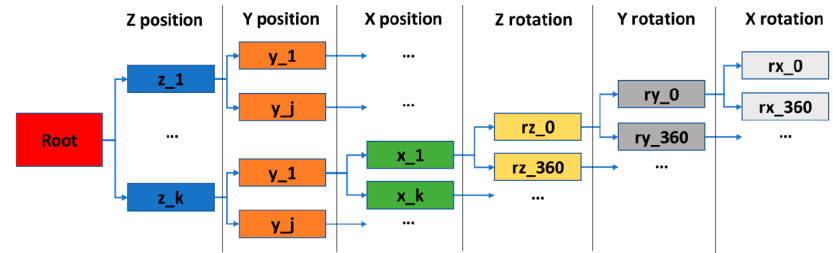
✓ AI 기반 알고리즘 검색 기능으로 로봇의 **end-effector 대체 위치 생성**

S1. Divide workplace

- 작업장을 사용자가 조정 가능한 grid로 나눔
 - Grid의 각 지점은 **end-effector의 가능한 새 위치**

S2. Decision tree

- 가능한 3D 공간을 **tree node로 표현**, 무작위 및 반복적으로 생성

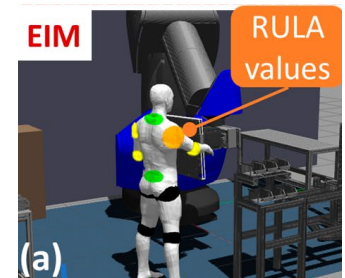


S3. Optimal position selection

- Decision horizon, number of alternatives, Sample rate 등으로 **utility value**를 추정해 최적의 위치 선정

S4. Calculate RULA score

- 해당 로봇 위치에서의 작업자의 **작업 부하**를 **virtual mannequin**을 사용해 계산 후 표현



AI 기반 DHM 연구: 효과 (1/2)

□ HRC에서 **AI support 유무**에 따른 **작업 효과 증명** (Dimitropoulos et al., 2021)

✓ 작업의 전반적인 평가에서 **긍정적인 영향 및 개선 확인**

➤ **Cycle time**: AI 모듈 사용 시 **약 6% 감소**

➤ **RULA score**: AI 모듈 사용 시 작업자의 부하는 **안전 수준(2점)**으로 개선됨

➤ 주관적 만족도: AI 모듈 사용 시 **높은 만족도 확인**

Experimental results

	Cycle Time (s)		Ergonomics Score (Max RULA Value) (Lower Is Better)		Satisfaction (Higher Is Better)	LPM Learning Curve (Cycles)
	Before	After	Before	After		
Operator 1	137	140	2/6	2/6	3.2/5	2
Operator 2	186	175	2/6	3/6	3.8/5	4
Operator 3	154	141	3/6	2/6	4.8/5	6
Operator 4	192	177	4/6	2/6	4.2/5	5
Operator 5	169	155	3/6	2/6	4.2/5	4

- Before(without AI support): 고정된 robot 위치에서 작업자 공정 수행
- After(with AI support): 작업자의 수요에 따라 Robot 위치 자동 조절

AI 기반 DHM 연구: 효과 (2/2)

- **높은 정확도의 인간공학적 평가 가능** (Igelmo et al., 2020)
 - ✓ CNN을 제외한 model의 OWAS **accuracy가 약 95%로 매우 높음**
 - ⇒ **AI 알고리즘을 인간공학적 평가에 적용하는 것이 적합함**

Training results for each trained model and its accuracy with OWAS

Model	Back OWAS accuracy (%)	Upper limbs OWAS accuracy (%)	Legs OWAS accuracy (%)	Avg. (%)
Fine tree	91.8	98.1	97.1	95.7
Medium tree	91.8	98.1	97.1	95.7
Coarse tree	85.7	98.1	97.1	95.6
Fine KNN	85.4	95.2	97.1	92.6
Medium KNN	90.7	98.1	97.1	95.3
Coarse KNN	79.3	55.2	97.1	77.2
Cosine KNN	92.1	98.1	97.1	95.8
Cubic KNN	90.7	98.1	97.1	95.3
Weighted KNN	92.9	98.1	97.1	96.0
Convolutional Neural Network	99.9	99.9	99.9	99.9

: CNN은 과적합(overfitting)되어 부정확한 결과 야기 가능성 높음

Discussion

□ 전형적 DHM 연구 동향 파악

- ✓ 전형적 DHM 연구 사례 조사
- ✓ DHM 연구 프로토콜 확인
- ✓ 전형적 DHM 연구의 장점과 한계점 파악

□ 고도화된 기술 기반 DHM 연구 동향 파악

- ✓ 고도화된 기술 중 VR/AR, Digital twin, AI/ML으로 구분해 선택
- ✓ 각 기술 별 DHM 연구 사례 조사
- ✓ 각 기술 별 DHM 연구의 공통 목적과 장점 및 효과 파악

Discussion

□ 고도화된 기술 기반 DHM 연구의 **한계점**

- ✓ 가상 환경, DHM 및 simulation 방법 등의 **충실도(fidelity)**와 사용자 동작 **측정의 정확성에 따라 평가 결과의 신뢰성이 달라짐**
- ✓ **측정의 정확성과 데이터 통합성 측면에서 한계**가 있음
- ✓ AI/ML 모델의 설명력이 부족해 **모델의 신뢰성이 떨어짐**

□ 고도화된 기술 기반 DHM 연구의 **추가 연구 방향 제안**

- ✓ 현실과 동일한 경험을 주면서 **최적 설계를 효율적으로 탐색**하는 수단을 파악할 필요 있음
- ✓ 작업자와 로봇의 **상호작용을 정확하게 캡처**하고 HRC 시스템의 **다양한 구성요소를 통합하는 기술 발전이 필요**
- ✓ 모델의 예측 결과를 실제 환경에 적용하기 위한 **추가적인 검증 및 평가 단계 필요**

Q&A

경청해 주셔서 감사합니다.

