



디지털 휴먼 모델링 및 시뮬레이션을 통한 K9 자주포의 개선 설계에 대한 인간공학적 평가

2023.05.18



김민재¹, 김라연¹, 정영제¹, 정하영¹,
박찬송², 박종배¹, 이석우³, 유희천¹

¹ 포항공과대학교 산업경영공학과

² 한동대학교 콘텐츠융합디자인학부

³ 한화에어로스페이스 화력체계 2팀

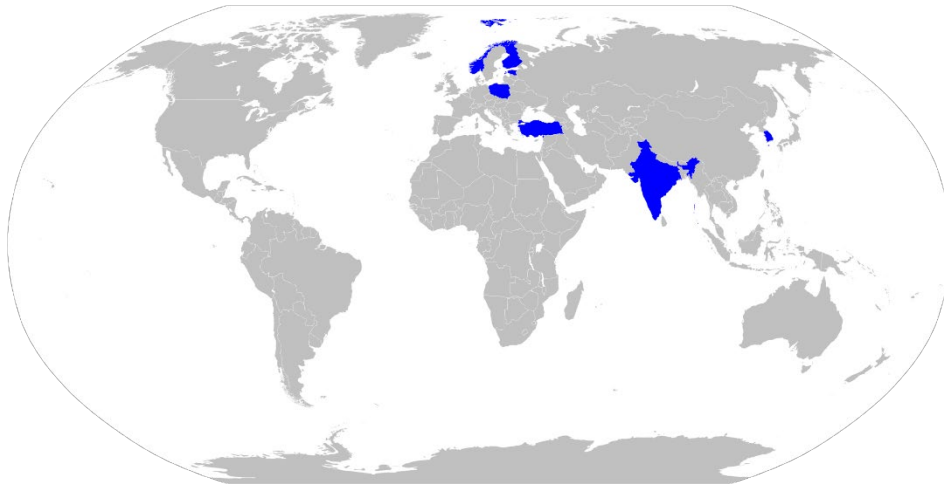
Contents

- **서론**
 - 연구 배경 및 필요성
 - 연구 목적
 - **인간공학적 평가 방법 수립**
 - 설계 요구 분석
 - 대표인체 모델 생성
 - 임무 작업 분석
 - **개선 설계에 대한 인간공학적 평가 수행**
 - 인간공학적 평가 수행
 - 개선 방향 제안
 - **토의**
-

K9 자주포 맞춤 설계

□ 다양한 국가로 수출됨에 따라 수출 대상국의 **운용자들의 인체에 적합하도록 K9 자주포 설계의 수정이 요구됨**

- ✓ 나라별로 사람들의 인체 특성(신체 크기)이 다름
- ✓ 인체 특성에 따라 자주포 운용자의 workspace 변경 필요
- ✓ Workspace 변경 시 효율 상승



호주 육군이 한국의 K-9 자주포를 도입하기로 하고 13일 정식으로 계약 체결

K-9 자주포 제원

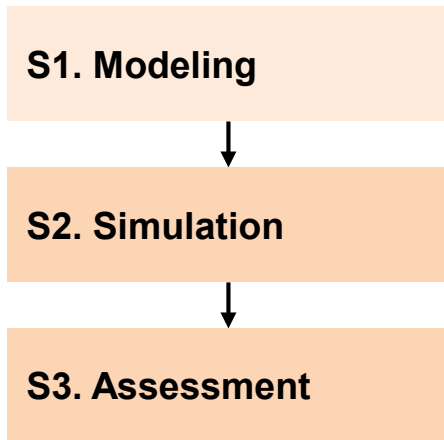
주요 제원		수출 국가규모	
전력화시기 2000년부터	최대속도 60km/h	터키	350문 약 10억달러
중량 47t	최대사거리 40km	폴란드	120문 3억2000만 달러
탄약적재량 48발		핀란드	48문 1억6000만 달러
발사속도 최대 6발 (분당) 급작 사격시 15초 이내 3발 발사 가능. 지속 사격시 1시간 동안 분당 2~3발 발사.		에스토니아	12문 미정
		인도	100문 3억8000만 달러
		노르웨이	24문 2억3000만 달러
		호주	*30문 1조900억원
특징 장거리 화력 지원과 실시간 집중 화력 제공 능력을 바탕으로 다양한 작전 환경에서 운용 가능			※달러(계약시 환율 기준) *K-930문과 K10 탄약운반장갑차 15대 공급

자료: 국토교통부

The JoongAng

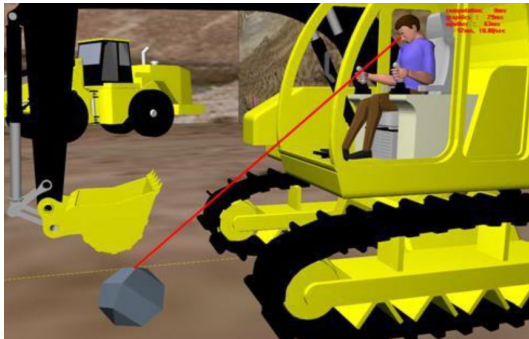
Digital Human Modeling

- ❑ Digital Human Modeling (DHM): 가상 공간에서 인간의 동작과 행동을 **modeling**
(Wang et al., 2013)
- ❑ DHM 평가 protocol



- Software를 통한 **human modeling** 구축
- 사용 software: **Jack** (Siemens), **CATIA** (Dassault Systemes)
- 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)

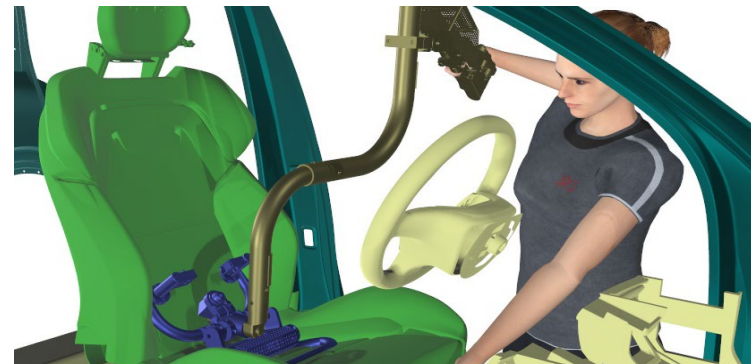


Digital manikin의 작업 자세 simulation (CATIA)



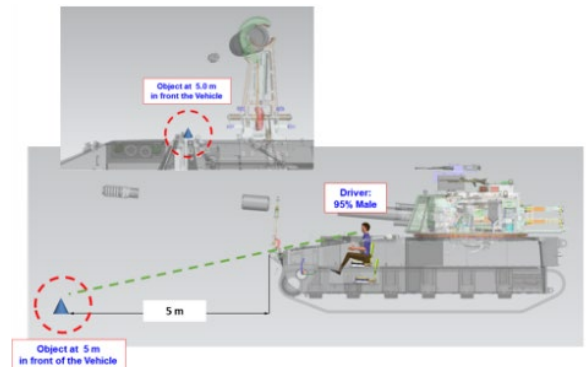
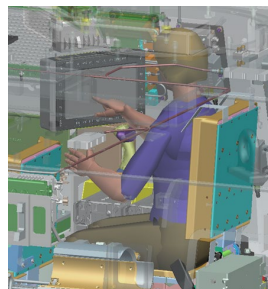
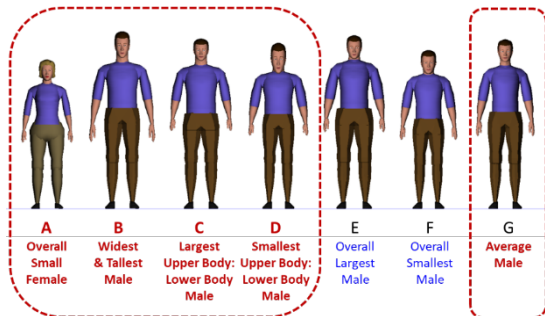
DHM 연구의 장점

- 인간공학적 작업장 설계 최적화를 통한 **근골격계 질환 예방** (Wang et al., 2013)
- **Prototype 없는** 작업장 평가(Akyaempong et al., 2013)
- **설계 초기 단계의** 수정을 통해 **설계 비용 및 소요 시간의 최소화** (Peruzzini et al., 2017)



Digital Human Model 제작 및 Simulation을 통한 K9 자주포의 개선 설계 인간공학적 평가

1. 인간공학적 평가 방법 수립
2. 개선 설계에 대한 인간공학적 평가 수행





인간공학적 평가 계획

설계 요구 분석

□ 자주포 수입국에서 요구하는 세부 규격 사양 파악

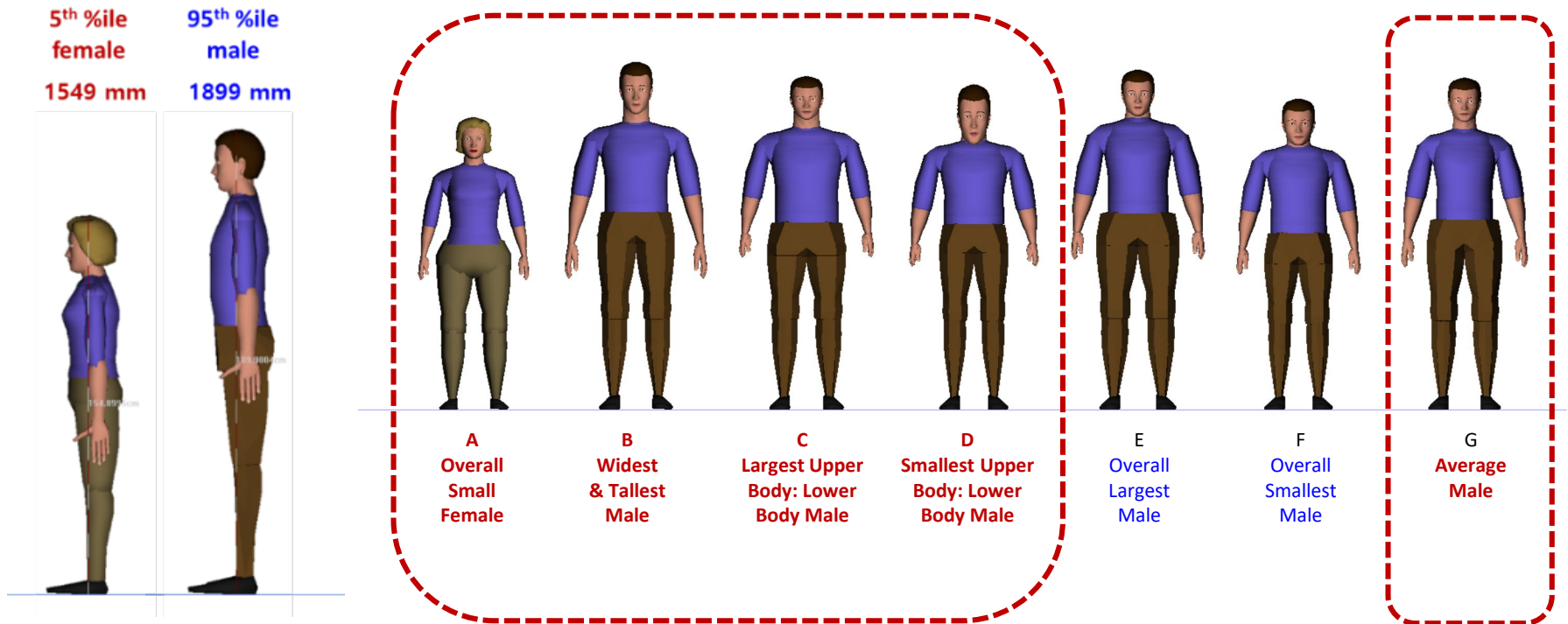
- ✓ 가시성, 도달성, 여유 공간, 접근성 등의 다양한 설계 요구 사항 파악 및 평가 방법 수립
(e.g., 가시성: 조종수 기준 전방 x.x m 시야 확보)

No	설계 요구 사항
1	The Vehicle shall accommodate Crew ranging from 5th percentile females to 95th percentile males.
2	The Vehicle shall allow operation by Crew ranging from 5th percentile females to 95th percentile males.
3	The Vehicle shall be operated by Crew in a seated and restrained position wearing the Crew Ensemble.
4	The Vehicle shall be operated by Crew in a seated and restrained position wearing the CBRN Ensemble.
5	The Vehicle shall enable Crew to change into the CBRN Ensemble while in the Crew Compartment without exiting the vehicle or opening any external hatches.
⋮	
13	The Vehicle shall enable the Driver in the seated and restrained position to have clear view of the ground x.0 metres directly in front of the Vehicle while Heads Up, with the Vehicle on Level Ground.
14	The Vehicle shall enable the Driver in the seated and restrained position to have clear view of the ground xx metres directly in front of the Vehicle while under Armour, using Direct Vision, with the Vehicle on Level Ground.
15	The Vehicle shall enable the Driver in the seated and restrained position to have clear view of the ground, x.0 metres directly in front of the Vehicle while under Armour on Level Ground using Augmented Vision, during the Day and in Rain, Wind and Fog.
16	The Vehicle shall enable the Driver in the seated and restrained position to have clear view of the ground, x.0 metres directly in front of the Vehicle while under Armour on Level Ground using Augmented Vision, during the Night and in Rain, Wind and Fog.

⋮

대표인체 모델 생성

- Human modeling and simulation (M&S)을 수행하기 위해 대표 인체 모델 생성
 - ✓ 2 univariate manikin: 신장, 앉은 키, 눈높이
 - ✓ 7 multivariate boundary manikins: 신장, 앉은 키, 눈높이, 어깨 넓이, 허벅지 길이 등



임무 작업 분석

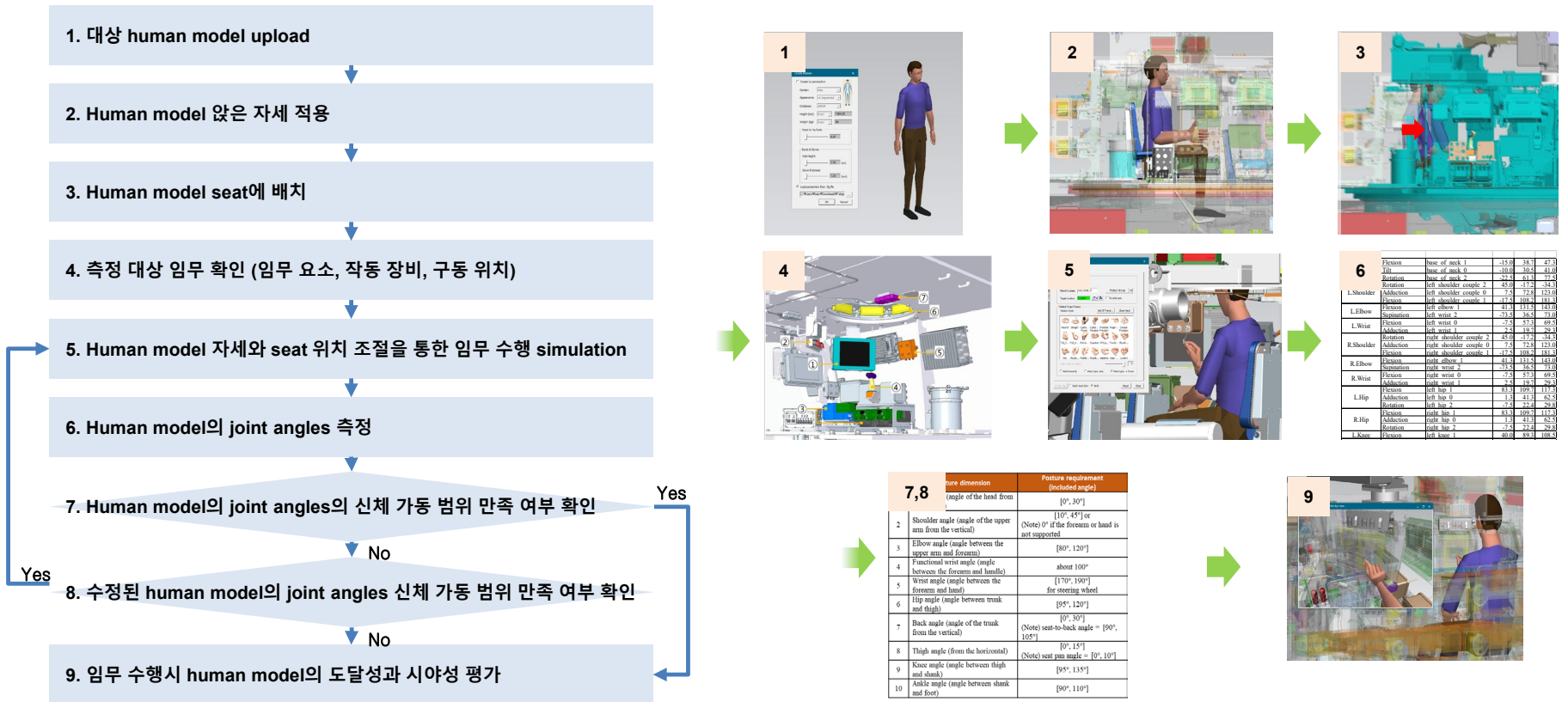
□ 운용 매뉴얼 및 설계 도면 확인을 통한 crew별 수행 임무 및 사용 장비 파악

Crew	Task Elements	Operating Devices
포반장	수행 임무 명령	<input type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기) <input type="checkbox"/> RWS (Joystick and display) <input type="checkbox"/> 무전기 세트 <input type="checkbox"/> Dimmer controller <input type="checkbox"/> Softkill controller <input checked="" type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자)(R) <input type="checkbox"/> 실내등 <input type="checkbox"/> CIED#1 (control panel, remote control unit) <input type="checkbox"/> 소총
	사격 준비 절차 확인	<input type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기) <input type="checkbox"/> RWS (Joystick and display) <input type="checkbox"/> 무전기 세트 <input type="checkbox"/> Dimmer controller <input type="checkbox"/> Softkill controller <input checked="" type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자)(R) <input type="checkbox"/> 실내등 <input type="checkbox"/> CIED#1 (control panel, remote control unit) <input type="checkbox"/> 소총
	소방방재센터와의 소통을 위한 무전 작동	<input type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기) <input type="checkbox"/> RWS (Joystick and display) <input checked="" type="checkbox"/> 무전기 세트(R) <input type="checkbox"/> Dimmer controller <input type="checkbox"/> Softkill controller <input type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자) <input type="checkbox"/> 실내등 <input type="checkbox"/> CIED#1 (control panel, remote control unit) <input type="checkbox"/> 소총
	RWS/Display for commander/Dimming controller/ 작동	<input checked="" type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기)(R) <input checked="" type="checkbox"/> RWS (Joystick and display)(R) <input type="checkbox"/> 무전기 세트 <input checked="" type="checkbox"/> Dimmer controller(R) <input type="checkbox"/> Softkill controller <input type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자) <input type="checkbox"/> 실내등 <input type="checkbox"/> CIED#1 (control panel, remote control unit) <input type="checkbox"/> 소총
	주행 시 주변 탐색	<input type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기) <input checked="" type="checkbox"/> RWS (Joystick and display)(R) <input type="checkbox"/> 무전기 세트 <input type="checkbox"/> Dimmer controller <input type="checkbox"/> Softkill controller <input type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자) <input type="checkbox"/> 실내등 <input type="checkbox"/> CIED#1 (control panel, remote control unit) <input type="checkbox"/> 소총 <input checked="" type="checkbox"/> 잠망경(R/V)
	Softkill 장치 작동	<input type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기) <input type="checkbox"/> RWS (Joystick and display) <input type="checkbox"/> 무전기 세트 <input type="checkbox"/> Dimmer controller <input checked="" type="checkbox"/> Softkill controller(R) <input type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자) <input type="checkbox"/> 실내등 <input type="checkbox"/> CIED#1 (control panel, remote control unit) <input type="checkbox"/> 소총
	CIED#1 작동	<input type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기) <input type="checkbox"/> RWS (Joystick and display) <input type="checkbox"/> 무전기 세트 <input type="checkbox"/> Dimmer controller <input type="checkbox"/> Softkill controller <input type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자) <input type="checkbox"/> 실내등 <input checked="" type="checkbox"/> CIED#1 (control panel, remote control unit)(R) <input type="checkbox"/> 소총
	사수	자동사격통제장치(AFCS) 작동
사격 발사 계산에 따라 포 위치		<input checked="" type="checkbox"/> 전시화면 (전시통제기)(R) <input type="checkbox"/> 위성항법장치 수신기 <input type="checkbox"/> 실내등 <input type="checkbox"/> 상호 통화기 제어장치 (조정상자) <input type="checkbox"/> 소총



Simulation 평가 Protocol 개발

- 다양한 체형의 crew 수용 여부 평가를 위한 simulation기반 평가 protocol 개발
(Technomatix Jack software (Siemens Inc., Germany))





인간공학적 평가 수행

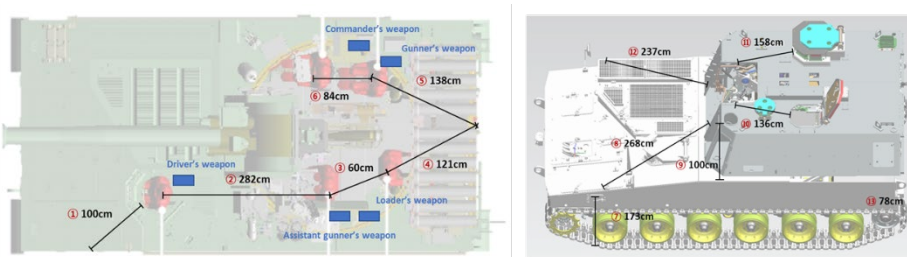
CAD-based DHM 제작 및 Simulation 수행

□ **Representative DHM**을 통해 차량 design의 요구 사항 준수 여부 평가

✓ CAD 및 DHM simulation 기반 가시성, 접근성, 편의성 평가

✓ Head clearance, body clearance 측면의 anthropometric accommodation rate 평가

CAD 활용 예시



Crew Manikin 운용 예시

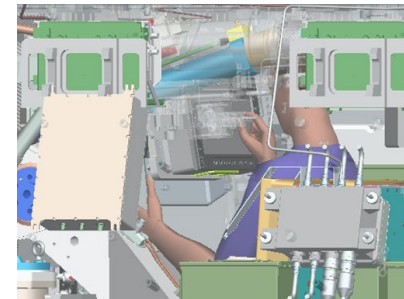
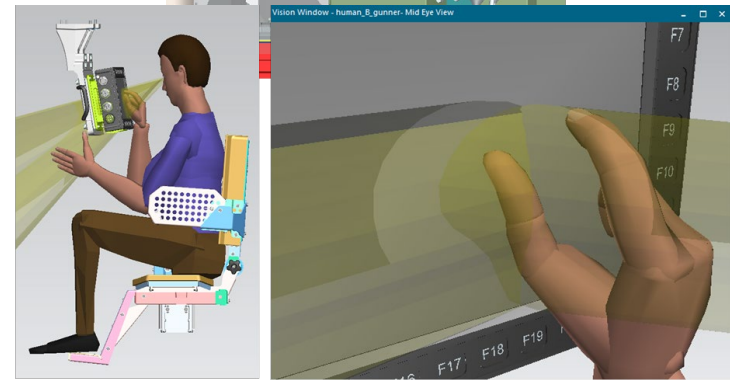
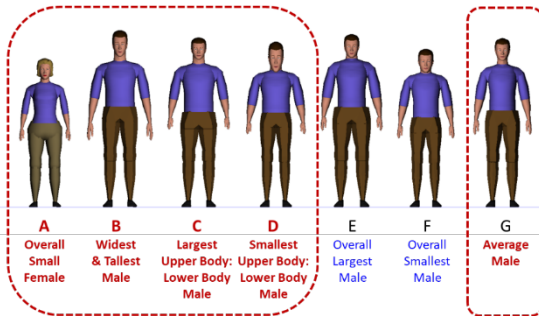


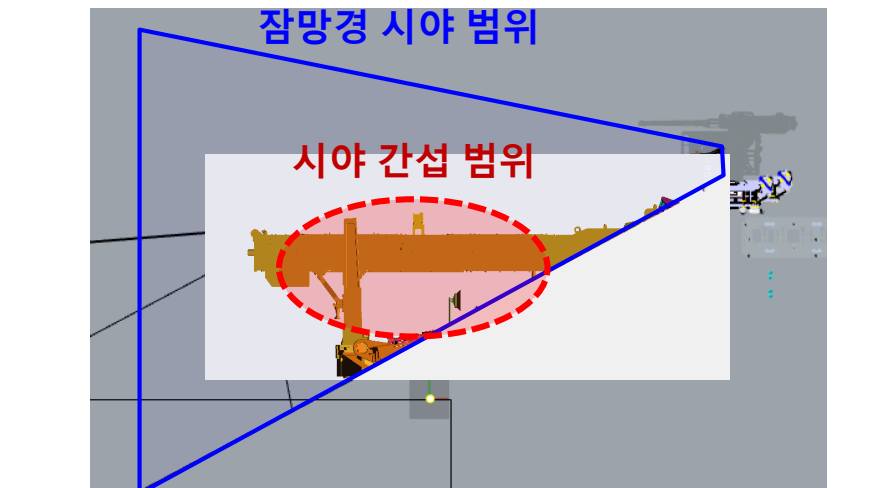
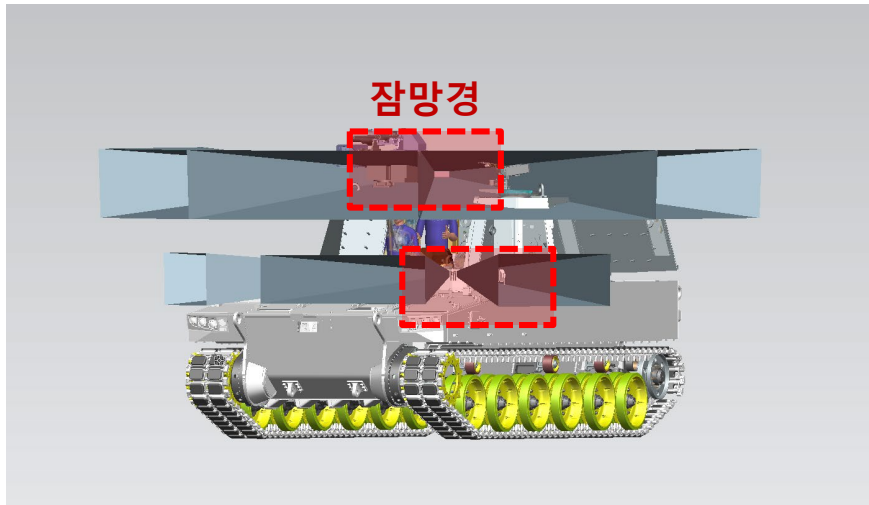
Table 9 - Boundary results critical assessment

Item	Unit	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
M01 Eye Height Sitting (mm)	mm	1542	1900	1542	1900	1542	1900	1542	1900
M02 Accrusion (Eye Height) (mm)	mm	1542	1900	1542	1900	1542	1900	1542	1900
M03 Elbow Bone Height (mm)	mm	1012	1212	1012	1212	1012	1212	1012	1212
M04 Elbow Bone Length (mm)	mm	1112	1312	1112	1312	1112	1312	1112	1312
M05 Knee Height (mm)	mm	712	912	712	912	712	912	712	912
M06 Foot Length (mm)	mm	212	312	212	312	212	312	212	312
M07 Back Height (mm)	mm	1112	1312	1112	1312	1112	1312	1112	1312
M08 Back Length (mm)	mm	1112	1312	1112	1312	1112	1312	1112	1312
M09 Chest Depth (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M10 Back Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M11 Shoulder Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M12 Forearm-outer Breadth (mm)	mm	112	212	112	212	112	212	112	212
M13 Abdominal Extension (mm)	mm	112	212	112	212	112	212	112	212
M14 Hip Length (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M15 Hip Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M16 Hip to Waist Center (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M17 Back to Waist Center (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M18 Back to Hip Center (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M19 Back to Hip Length (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M20 Back to Hip Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M21 Back to Hip Length (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M22 Back to Hip Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M23 Back to Hip Length (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M24 Back to Hip Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M25 Back to Hip Length (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M26 Back to Hip Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M27 Back to Hip Length (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M28 Back to Hip Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412
M29 Back to Hip Length (mm)	mm	412	512	412	512	412	512	412	512
M30 Back to Hip Width (mm)	mm	312	412	312	412	312	412	312	412



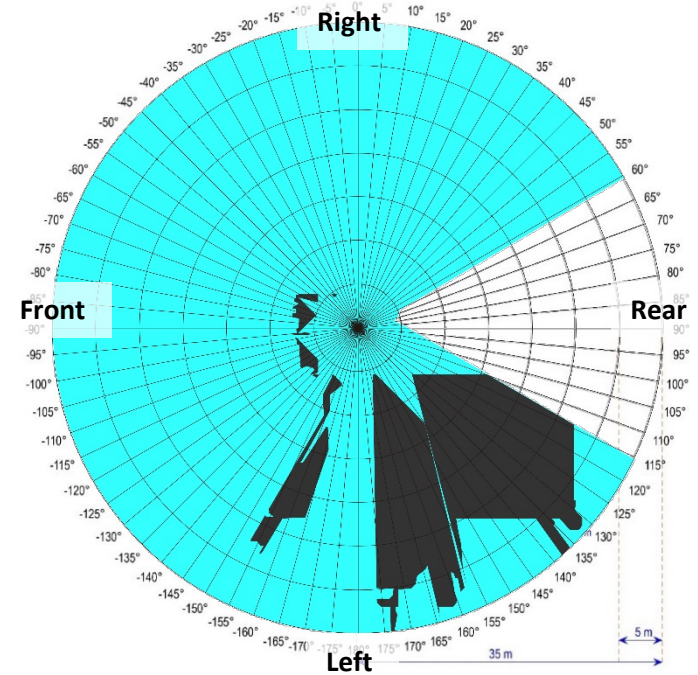
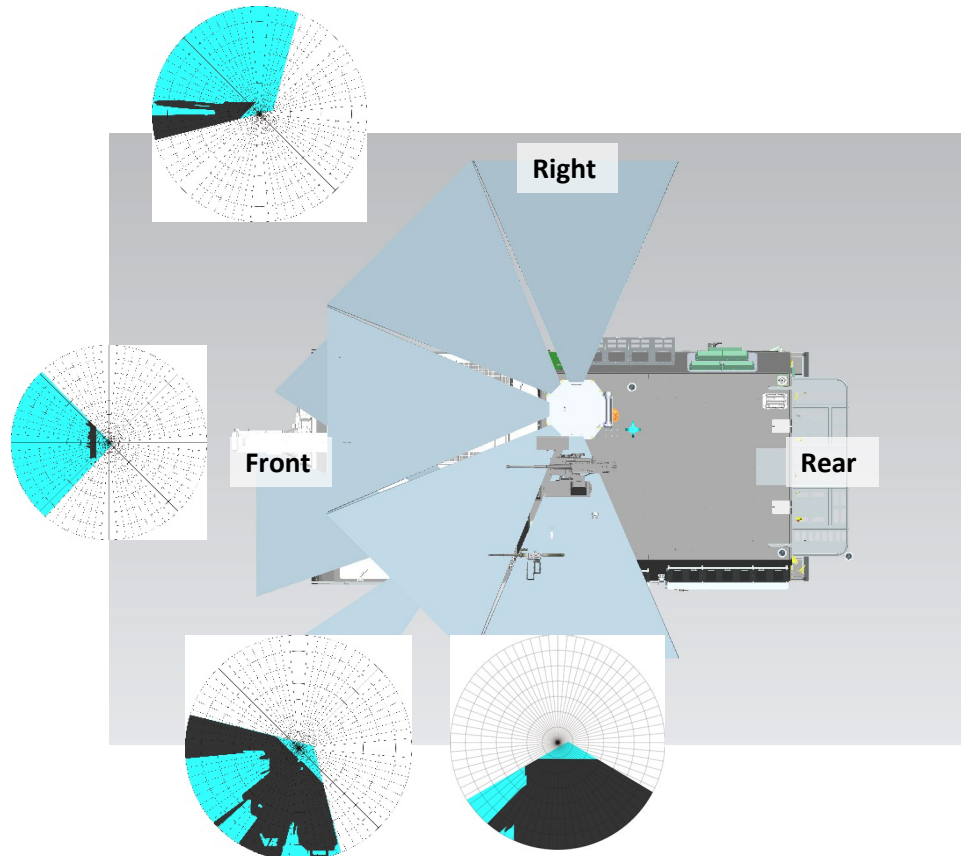
가시성 평가

- 잠망경 시야 범위내의 차량의 구조물로 인한 시야 간섭 범위 파악
 - ✓ 잠망경의 위치와 방향을 기반으로 시야각 적용
 - ✓ 잠망경의 가시 영역에 위치한 차량 구성 요소의 **시선 간섭 지점 분류**
 - ✓ 잠망경부터 시선간섭이 발생하는 차량의 부위의 **연장선을 통해 지면상의 점으로 계산**



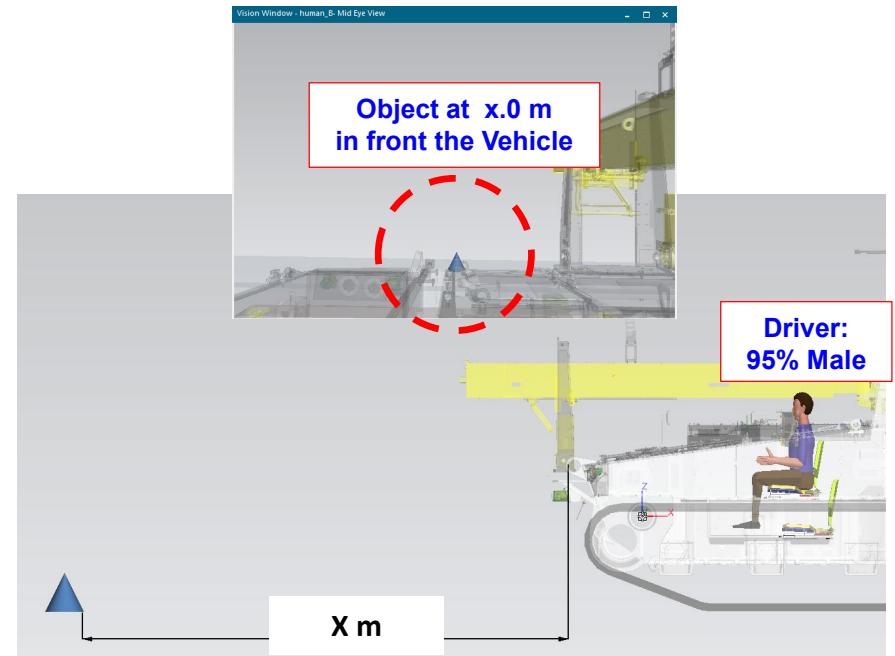
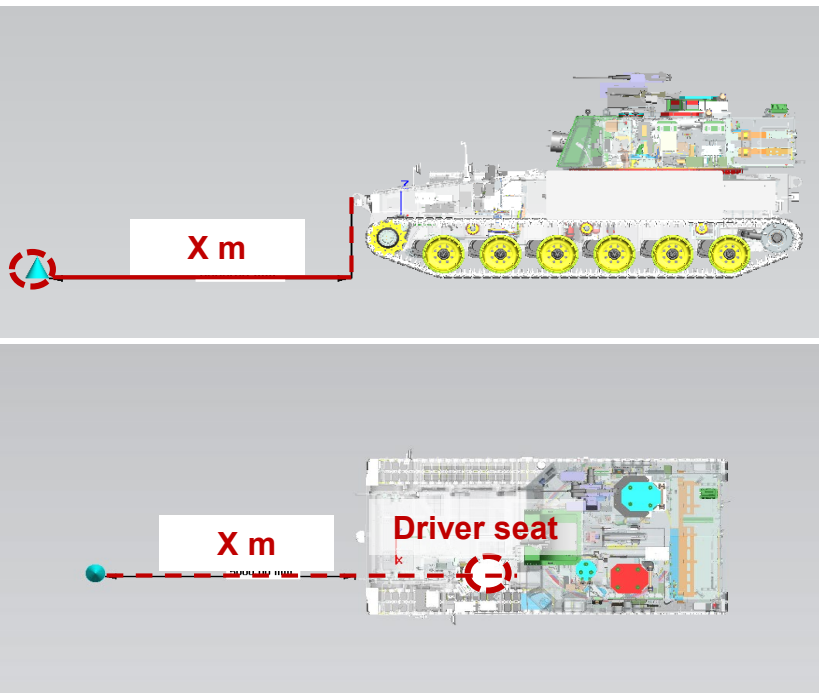
가시성 평가

- 시야 간섭 범위 파악하여 잠망경 시야의 polar plot 범위 확인
 - ✓ 각 잠망경의 polar plot 중첩을 통해 전체 잠망경 시야 범위 확인



가시성 평가

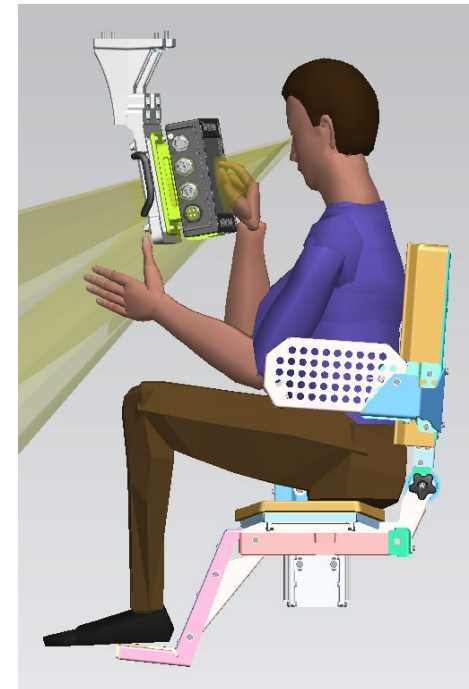
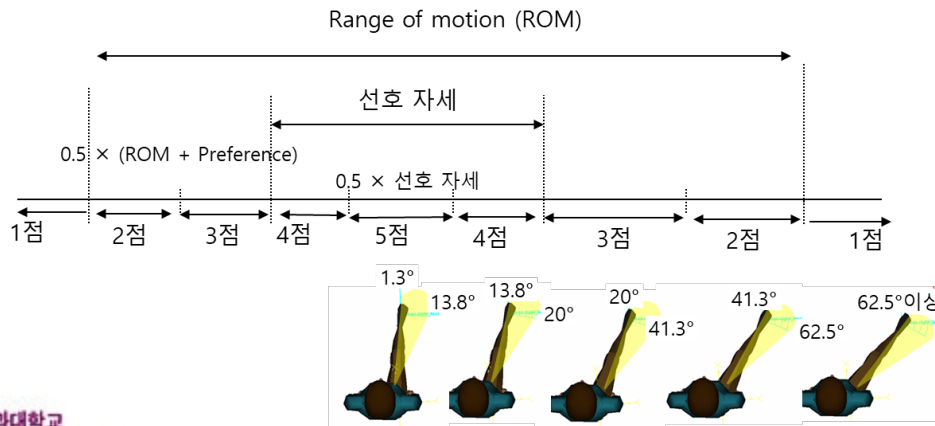
- 시야 범위 내 cone 확인을 통한 crew의 가시성 평가 수행
 - ✓ Cone 생성 및 평가 위치에 배치 (평가 대상 crew와 동일선상)
 - ✓ Simulation 상에서 manikin의 vision window 확인



편의성 평가

- 임무 수행 simulation을 통해 관절 각도 추출 및 편의성 평가
 - ✓ 신체 부위별 가동 범위의 선호 범위, 허용 범위 수집
 - ✓ 임무 수행 시 신체 부위의 각도 및 가동 범위에 따른 편의성 확인

신체 부위	어깨: 회전				
가동 범위	~ -60°	-60° ~ -45°	-45° ~ -15°	-15° ~ 0°	0° ~
자세 선호 비율(%)	0.0	0.0	71.4	0.0	28.6
최소 허용 비율(%)	42.9	57.1	0.0	0.0	0.0
최대 허용 비율(%)	0.0	0.0	14.3	14.3	71.4

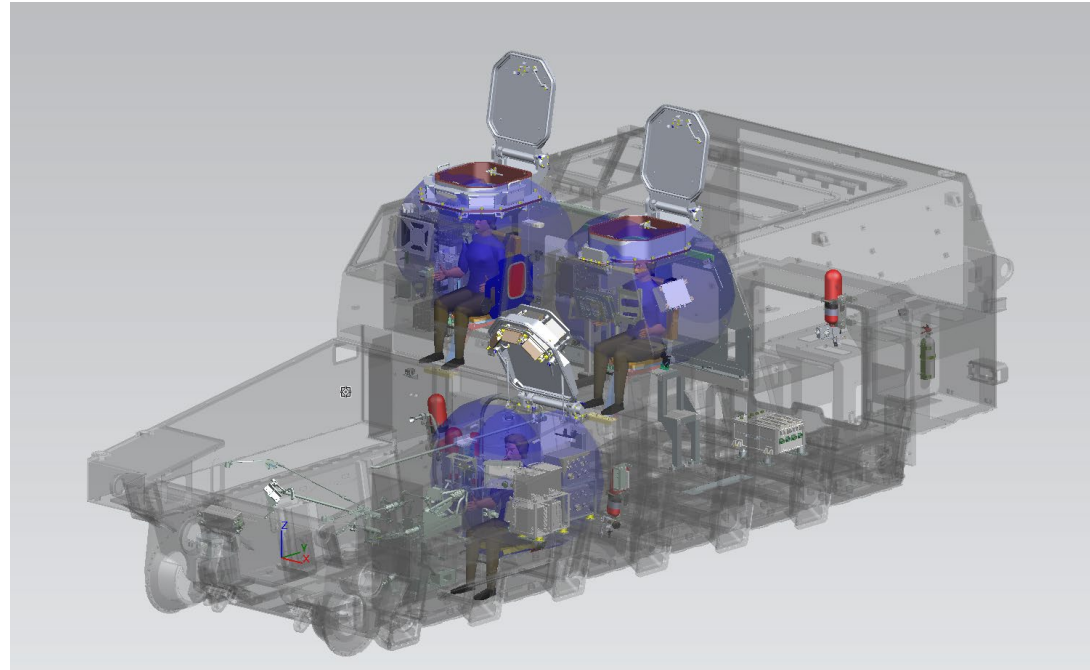
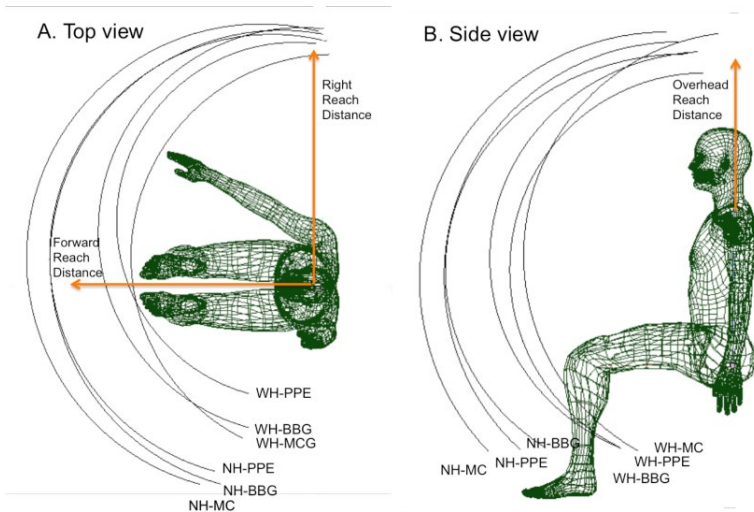


도달성 평가

□ 5%ile female의 reach envelope를 통해 전반적인 기기 접근 가능성 확인

✓ 의자에 착석하여 seat belt에 의해 허리가 고정된 상황 구현

✓ 어깨, 팔꿈치 및 손목을 이용한 동작 범위 확인



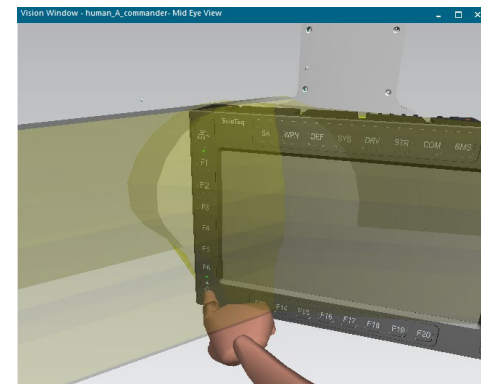
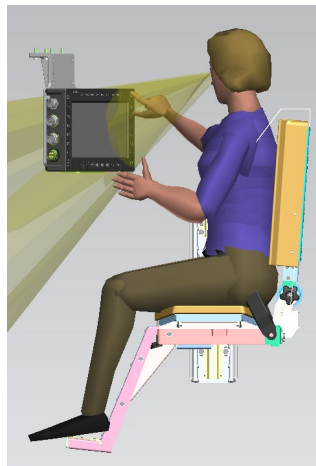
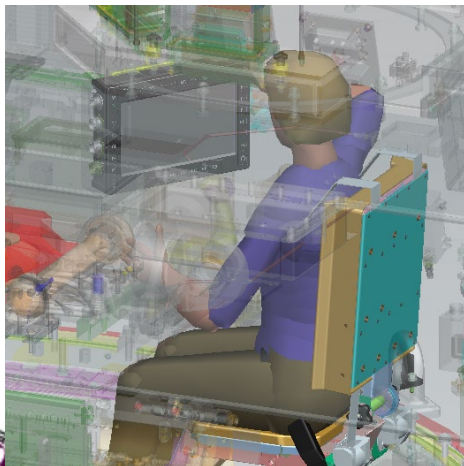
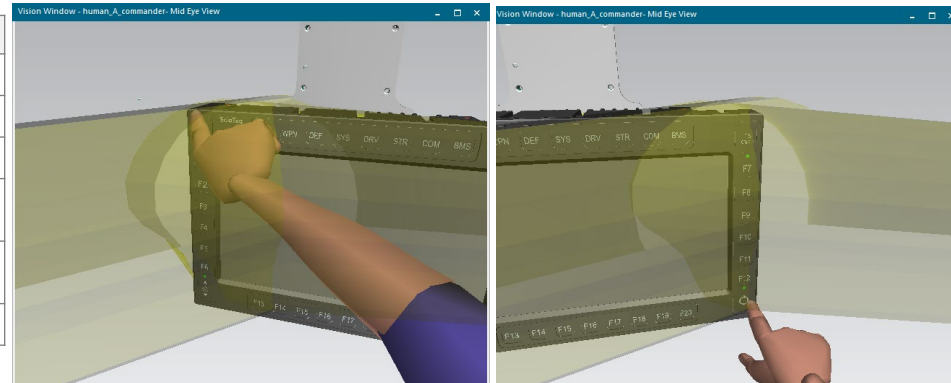
도달성 평가

□ Simulation 기반 crew별 임무 수행에 필요한 장비 도달성 평가 수행

✓ Panel: top right, top left, bottom right, bottom left, neutral

✓ Pedal: neutral, fully pressed

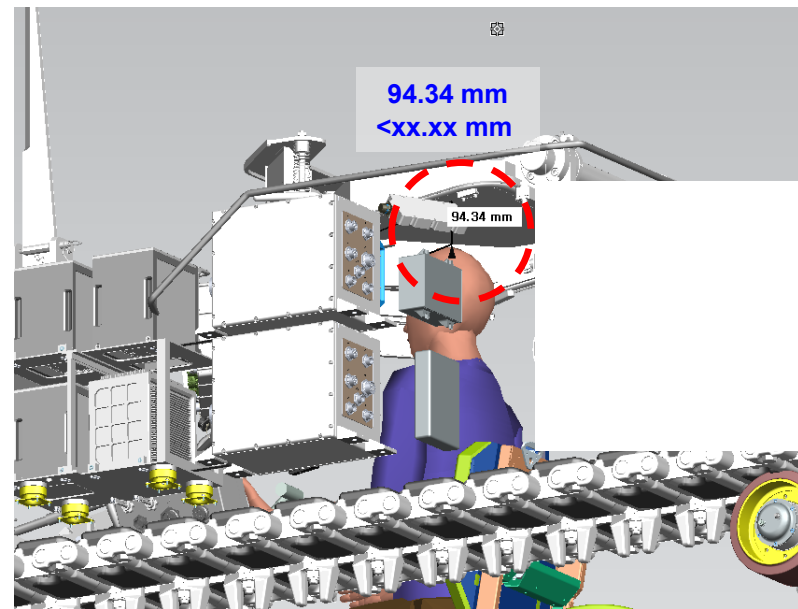
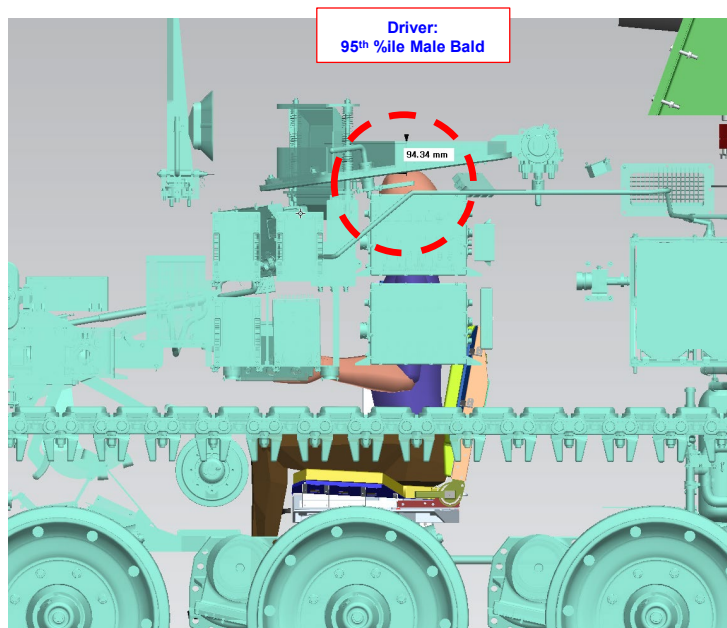
No.	Task	Operating device (lable no.)	State/Position
1	Secure during the movement	RWS SPU (Switch Panel Unit) (2)	-
		RWS Joystick (4)	-
		Commander's periscope (6)	Periscope 1, 2, 3, 4, 5
2	Confirm a mission Order the "fire"	Commander's ICS (1)	Top right, top left, bottom right, bottom left, neutral
3	Order the "fire"	Commander's ICS (1)	Top right, top left, bottom right, bottom left, neutral
4	Communicate internally	TAUS (5)	-



여유 공간 평가

□ 95%ile male의 차량 운용에 필요한 공간 확보 여부 평가

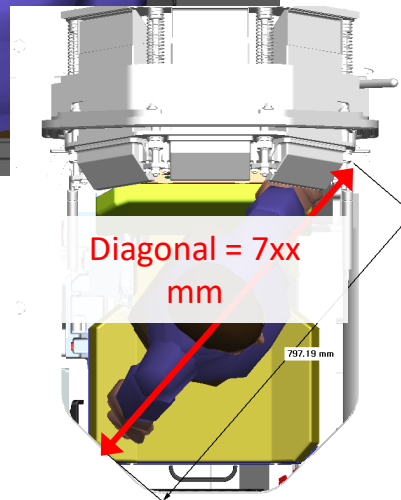
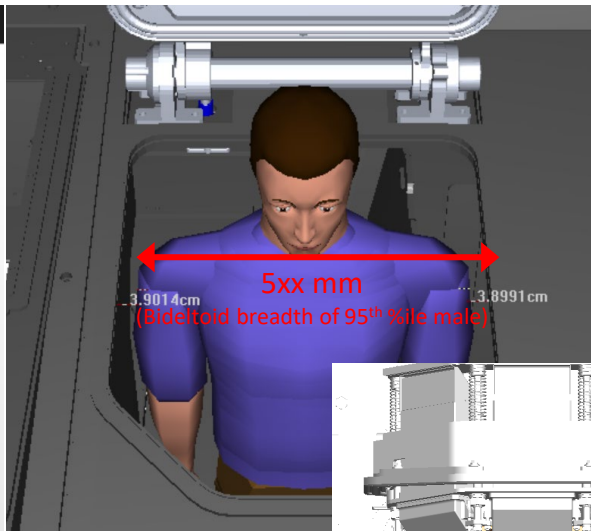
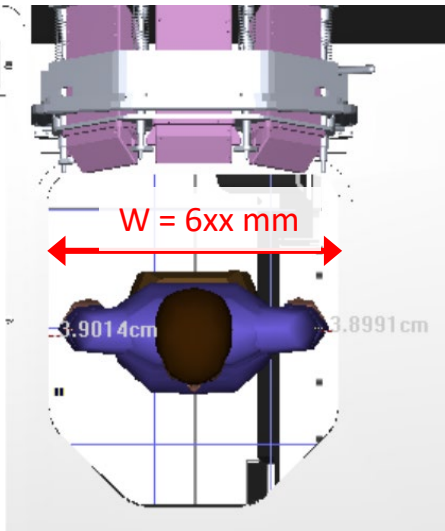
- ✓ Personal equipment & clothing correction factor (PECCF)을 통해 헬멧에 의한 공간 고려
- ✓ 최악의 조건 고려하기 위해 95%ile male 대상 평가 수행



여유 공간 평가

□ 95%ile male의 차량 이동 및 운용에 필요한 공간 확보 여부 평가

- ✓ Personal equipment & clothing correction factor (PECCF)을 통해 의복에 의한 공간 고려
- ✓ 최악의 조건 고려하기 위해 95%ile male 대상 평가 수행

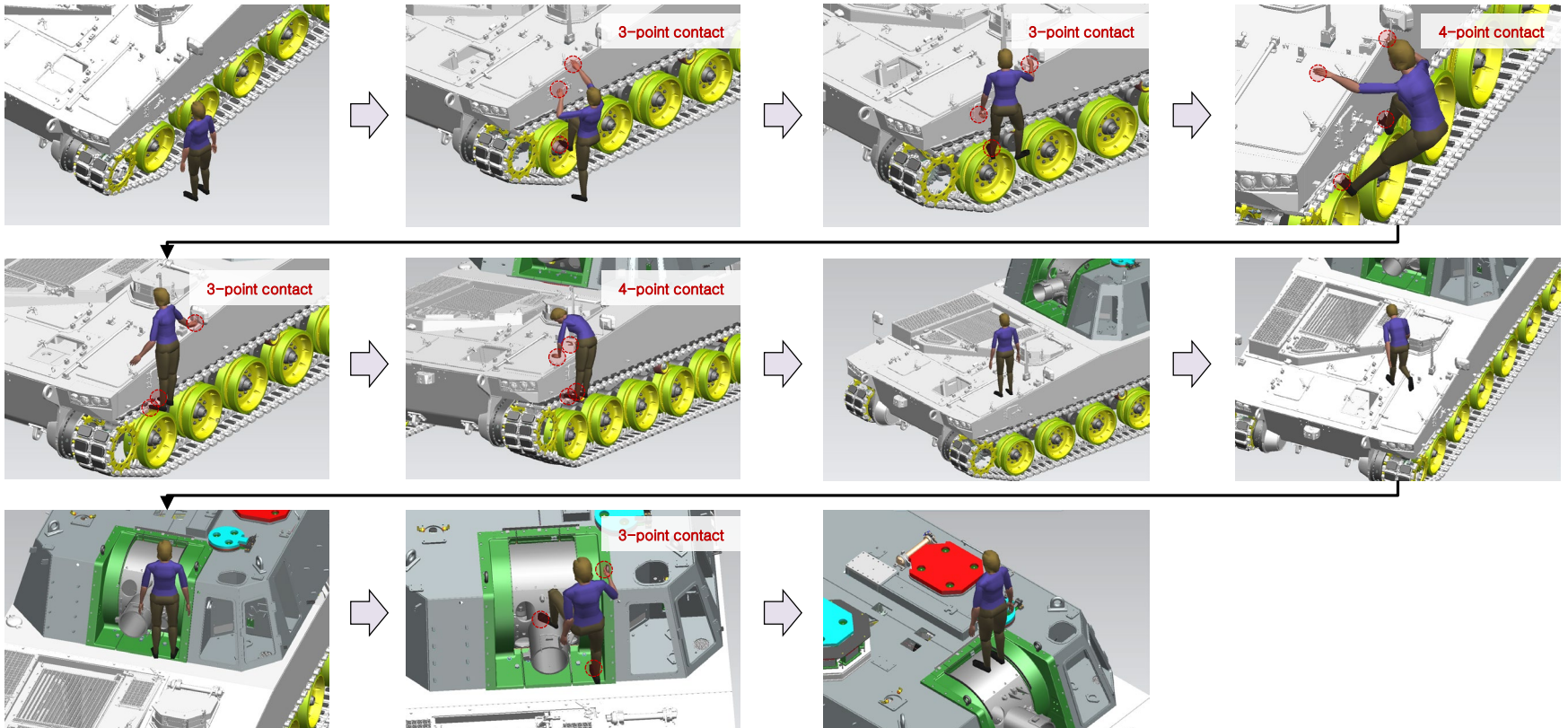


접근성 평가

□ 5%ile female의 차량 외부에서 상부로의 이동 경로 및 방법 평가

✓ 접근 안정성을 위해 경사부에서 차량과의 접촉 부위 3개 이상 유지

✓ 신장 및 팔길이 등을 고려하여 5%ile female 대상 평가 수행





요구사항 미준수 항목 확인 및 개선 방향 제안

요구사항 미준수 항목 확인

□ 100여개의 요구 사항 중 10여개의 **미준수 사항 선별**

✓ **여유 공간**

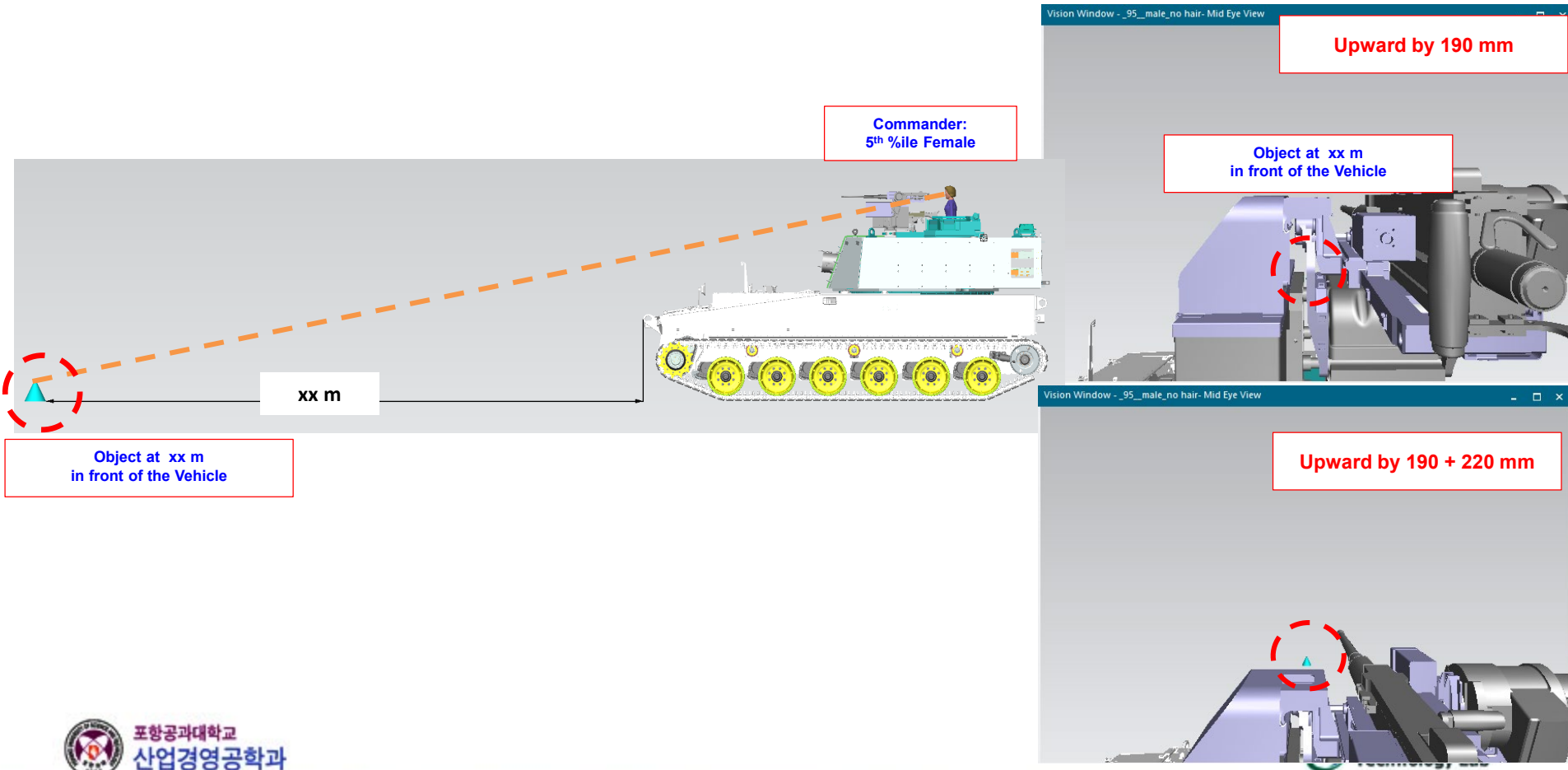
- ✓ Head clearance – 95%ile male gunner 미준수 ($\Delta 33.08$ mm 여유 공간 추가 필요)
- ✓ Head clearance – 95%ile male loader 미준수 ($\Delta xx.xx$ mm 여유 공간 추가 필요)

➤ **가시성**

- ✓ 5%ile female driver의 전방 x m 시야 확보 미준수 ($\Delta 160$ mm 상승시 시야 확보)
- ✓ 5%ile female crew commander의 전방 xxm 시야 확보 미준수 (Δxx mm 상승시 시야 확보)
- ✓ 5%ile female crew commander의 좌측 xx.xm 시야 확보 미준수 (Δxx mm 상승시 시야 확보)
- ✓ 95%ile male crew commander의 좌측 xx.xm 시야 확보 미준수 (Δxx mm 상승시 시야 확보)

요구 사항 미준수 사항 개선 방향안 제안 예시

- 5%ile female driver의 전방 xx m 시야 확보 미준수 (Δ 220 mm 상승시 시야 확보)
 - ✓ 기존 190 mm 높이 조건 적용시 전방 5m 시야 미확보
 - ✓ 220 mm 높이 추가 적용시 시야 확보 (190 + 220mm)



Discussion

Discussion

□ Digital human modeling & simulation 기반 요구 사항 준수 평가 계획

- Multivariate manikin 및 univariate manikin 생성을 통한 인체 다양성 수용
- 운용 매뉴얼 및 설계 도면 확인을 통한 평가 대상 장비 파악
- 다양한 체형의 crew 수용 여부 평가를 위한 simulation 기반 평가 protocol 개발

□ Digital human modeling & simulation을 통한 제품 설계 평가 및 개선 방향 제안

- ✓ CAD 및 DHM simulation 기반 가시성, 접근성, 편의성 평가
- ✓ 개선 요구 사항 준수 여부 평가
- ✓ 개선 요구 사항 중 미준수 사항에 대한 개선 방향 제안

Discussion

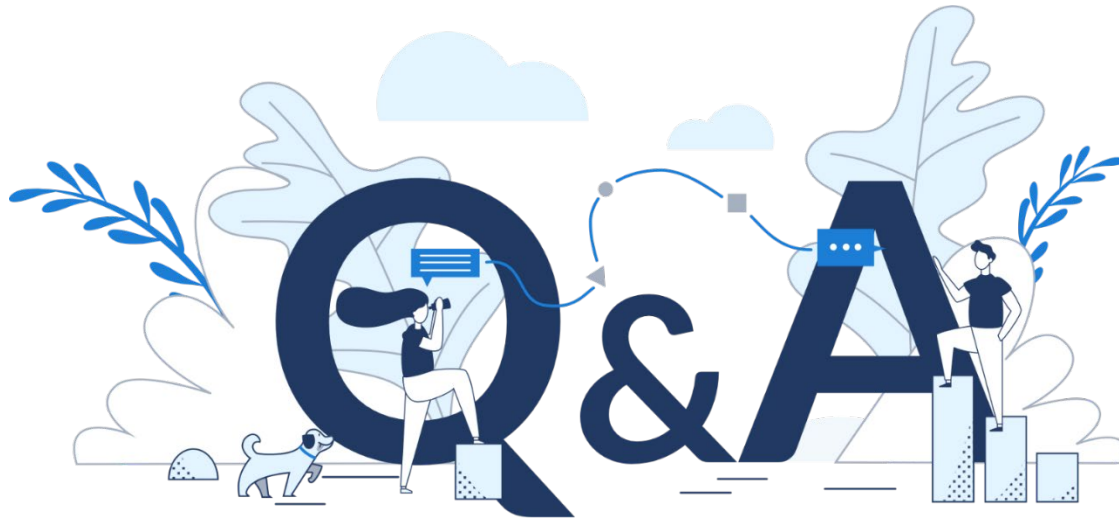
□ Limitations

- ✓ Simulation 기반 평가만 수행되어 시제품이 대한 실제 사용자 대상 검증 수행 필요
- ✓ 인종의 차이로 인한 신체 능력의 차이가 고려되지 않음
- ✓ Simulation 기반 평가로 인간의 광범위한 움직임과 자세를 표현하지 못할 수 있음

□ Future Study

- ✓ 타사 제품과의 비교 평가 및 benchmarking을 통해 usability, safety 개선
- ✓ NIOSH, ISO 등에 따른 설계 및 평가를 통해 사용자의 근골격계질환 예방
- ✓ User interface/user experience 평가를 통해 시스템 사용성 개선

Q&A



경청해 주셔서 감사합니다.