JESK J Ergon Soc Korea 2023; 42(5): 495-507
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2023.42.5.495
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Ergonomic Evaluation and Improvement Case of K9 Self-propelled Howitzer Design

Minjae Kim[1], Rayoun Kim[2], Youngjae Jung[1], Hayoung Jung[3], Jongbae Park[1], Seokwoo Lee[4], Heecheon You[1], Chansong Park[5]

[1]Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, 37673
[2]Biomedical Research Institute, Jeonbuk National University Hospital, Jeonju, 54907
[3]University of Michigan Transportation Research Institute, University of Michigan, Michigan, USA, 48109
[4]System Engineering Team 2, Hanwha Aerospace, Changwon, 51561
[5]School of Contents Convergence Design, Handong Global University, Pohang, 37554

K9 자주포 설계의 인간공학적 평가 및 개선 사례

김민재[1], 김라연[2], 정영제[1], 정하영[3], 박종배[1], 이석우[4], 유희천[1], 박찬송[5]

[1]포항공과대학교 산업경영공학과
[2]전북대학교병원 의생명연구원
[3]미시간대학교 교통연구소
[4]한화에어로스페이스 화력체계 2팀
[5]한동대학교 콘텐츠융합디자인학부

Corresponding Author
Chansong Park
School of Contents Convergence Design, Handong Global University, Pohang, 37554
Email : cspark@handong.edu

Received : September 14, 2023
Revised : October 16, 2023
Accepted : October 24, 2023

Copyright@2023 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The present study aims to conduct an ergonomic evaluation of a revised design of the K9 self-propelled howitzer (SPH) through the application of digital human modeling and simulation techniques.

Background: As K9 SPH is exported to various countries, a revision of the K9 SPH design to better fit the anthropometric characteristics of operators and the concepts of weapon operation of the target export country is needed.

Method: Information was collected on the revised design of K9 SPH, representative anthropometric characteristics of operators of the target population, crew members and their tasks, and design requirements. Various ergonomic evaluations were conducted with the representative human models in the revised SPH while performing mission tasks using Technomatix Jack software.

Results: The evaluation results of the revised K9 SPH design were presented in terms of visibility, reach, posture, clearance, and accessibility. For the revised design that failed to meet the design requirements, issues and modified designs were informed to the design engineers.

Conclusion: The ergonomic evaluation of the present study demonstrates the usefulness of digital human modeling and simulation techniques in identifying design problems and proposes a modified design in the development of a revised product design.

Application: The findings from this research offer foundational knowledge to design, evaluate, and, when necessary, modify and improve a product.

Keywords: Digital human modeling, Design simulation, Ergonomic evaluation, Vehicle design, Workplace design

1. Introduction

K9 자주포가 다양한 국가로 수출됨에 따라 수출 대상국의 운용자들의 인체 특성과 무기 운용 개념 특성에 보다 적합하도록 K9 자주포 설계의 맞춤화가 요구되고 있다. 국가별 인체 특성의 차이로 인해 국내에서 개발된 K9 자주포가 수출 대상국의 사람들이 이용하기에 적합하지 않을 수 있기 때문에 수출 대상국의 인체 특성에 맞춘 설계가 필요하다(da Silva et al., 2018; Muthiah and Lee, 2022; Nam et al., 2012; Rasco et al., 2015). 인체 특성을 제대로 반영하지 못한 작업 환경은 작업자의 편안함이 감소되고 근골격계질환의 발생을 유발하며 작업 능률이 저하되게 된다(Zunjic et al., 2015). 특히, 군용 장비의 경우 기능이 우선 시 되어 인간공학적 고려를 소홀히 할 수 있는데, 사용자의 인체 특성이 작업 공간에 맞지 않으면 가시성 등 작업 성능이 떨어질 뿐만 아니라 작업자의 건강과 안전이 위협받을 수 있다(Wibneh et al., 2021; Zunjic et al., 2015).

디지털 인체모델링 및 시뮬레이션(digital human modeling & simulation; DHMS) 기술이 인간공학적 제품 및 작업장 설계에 유용한 기법으로 활용되고 있다. 국내의 경우, DHMS 기술이 헬리콥터 조종석 설계 평가(Jung et al., 2010), 장애인용 체어스키 개발 효과 평가(Kwon et al., 2014), 장갑차의 인간공학적 문제 식별 및 개선안 개발(Nam et al., 2012) 연구 등에 활용되었다. 한편, 국외의 경우, DHMS 기술은 작업자의 신체 상태 시뮬레이션을 통한 근골격계질환 감지 및 평가(Wang and Lau, 2013), 굴삭기 운전석에 헤드업(head-up) 디스플레이의 가시성 개선 및 작업 부하 평가(Akyeampong et al., 2013), 농업 근로자의 작업 부하 평가(Vyavahare and Kallurkar, 2015) 등에 활용되었다.

본 연구는 K9 자주포의 맞춤 설계안의 인적요소 측면의 적합성을 파악하기 위해 DHMS 기법 적용하였다. 첫째, K9 자주포의 수정 설계안에 대해 운용자의 특성 및 임무에 따른 작업 분석을 통해 수정 설계안의 한계점을 파악하고 개선을 위한 요구 사항을 파악하였다. 둘째, 수집된 운용자의 인체측정 정보를 바탕으로 단변량과 다변량의 대표 인체모델을 생성하여 실제 운용 상황에서의 인간공학적 문제점을 시뮬레이션으로 예측하였다. 마지막으로, 가시성(visibility), 도달성(reach), 자세(posture), 여유 공간(clearance), 접근성(accessibility) 등 다양한 인간공학적 측면에서 K9 자주포의 수정 설계안의 인간공학적 적합성과 개선안 필요 여부에 대해 분석하였다.

2. Methods

K9 자주포의 수정 설계안에 대한 체계적인 인간공학적 평가, 수정 및 보완을 위해 4단계(준비 단계, 시뮬레이션 단계, 평가 단계, 대안 설계 모색 단계)의 과정이 진행되었다. 준비 단계에서는 K9 자주포의 수정 설계안, 수출 대상국 운용자를 대표하는 인체 특성, 운용자 구성 및 임무 작업, 그리고 설계 요구사항에 대한 정보가 수집되었다. 시뮬레이션 단계에서는 Technomatix Jack 16.1.2 (Siemens Inc., Germany)를 사용하여 수정 설계안에서 대표 인체모델들이 임무 작업 수행 시 다양한 인간공학적 평가가 수행되었다. 평가 단계에서는 K9 자주포의 수정 설계안에 대해 가시성(visibility), 도달성(reach), 자세(posture), 여유 공간(clearance), 접근성(accessibility) 등의 측면에서 평가 결과가 제시되었다. 이 때, 평가 기준과 척도 등의 요소는 군용 표준(MIL-STD-1472G, DSTO-TR-3006, MIL-HDBK-46855A)을 사용하였다. 마지막으로, 대안 설계 모색 단계에서는 수정 설계안이 설계 요구를 만족하지 못하는 경우 대안 설계안이 모색되었으며 담당 설계 엔지니어에게 보완된 설계안에 대한 정보가 제공되었다.

3. Results

3.1 Preparation

3.1.1 K9 SPH design analysis

K9 자주포(self-propelled howitzer; SPH)의 구성품들과 구성품에 대한 설계안에 대해 CAD 정보가 수집되었다. Table 1은 K9의 임무에 따라 사용되는 장비들의 내역에 대한 예시를 보여 주고 있는데, 포반장석은 RWS (Remote Weapon System) 조종기, 잠망경과 통신기 등으로 구성되어 있음을 보여 준다. 또한, 각 구성품들이 필요한 상황과 해당 구성품들의 CAD 모델, 그리고 Figure 1과 같은 모든 구성품들이 위치해 있는 CAD 자료가 확보되었다.

Table 1. Operating devices of K9 self-propelled howitzer

No.		Task	Operating device (location)
1	1.1	Drive the vehicle	Parking brake pedal (8)
	1.2		Service brake pedal (9)
	1.3		Acceleration pedal (10)
	1.4		Steering handle (11)
	1.5		Shift lever (12)
	1.6		Hull Power Distribution Unit (5)
	1.7		Driver's Instrument Panel (DIP) (2)
	1.8		Driver's ICS (1)
	1.9		Driver's periscope (3)
	1.10		Dome Light (4)
2		Open a jaw locked the gun	Driver's Instrument Panel (DIP) (2)
3		Lower a Gun Travel Lock	Driver's Instrument Panel (DIP) (2)
4		Upper a Gun Travel Lock	Driver's Instrument Panel (DIP) (2)
5		Close a jaw locked the gun	Driver's Instrument Panel (DIP) (2)
6		Control the ECM device	ECM remote control unit (6)
7		Control the Automatic Fire Extinguisher System (AFES)	AFESS control unit (7)

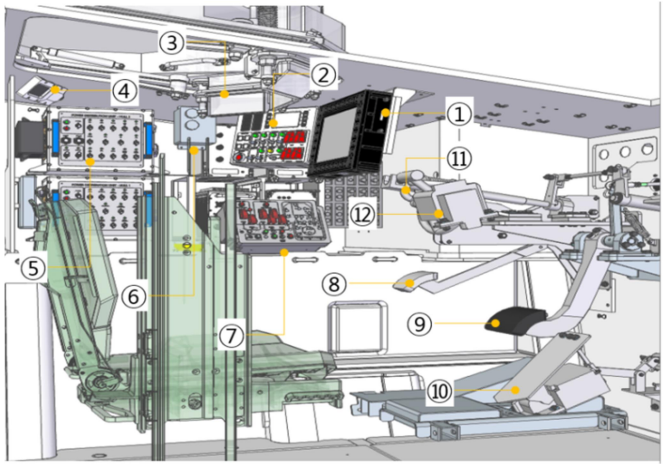


Figure 1. The CAD model of K9 self-propelled howitzer

3.1.2 Representative human model generation

K9 자주포 수입국의 운용자들에 관한 인체측정 정보가 수집되었다. 인체측정 정보는 DSTO-TR-3006에 따라 단변량 경계 인체모형(univariate boundary manikins, UBM)과 다변량 경계 인체모형(multivariate boundary manikins, MBM)의 두 가지 형태로 구분되었다. UBM은 MIL-STD-1472G에 언급된 바와 같이 Figure 2.a와 같이 여자 5분위, 남자 95분위에 대해 신장, 앉은키, 앉은 눈높이 등을 통해 정의되었다. 그리고 MBM은 DSTO-TR-3006에 따라 UBM의 전반적인 신체 치수에 대해 PCA (Principal Component Analysis) 기법을

적용하여 여자 5분위에서 남자 95분위를 대표하도록 Figure 2.b와 같은 7개의 인체모델로 정의되었다(인체모형 A: 전체적으로 가장 작은 여성; 인체모형 B: 가장 넓은 남성; 인체모형 C: 상체 크기가 가장 크고 하체 크기가 가장 작은 남성; 인체모형 D: 상체 크기가 가장 작고 하체 크기가 가장 작은 남성; 인체모형 E: 전체적으로 가장 큰 남성; 인체모형 F: 전체적으로 가장 작은 남성; 인체모형 G: 평균적인 남성).

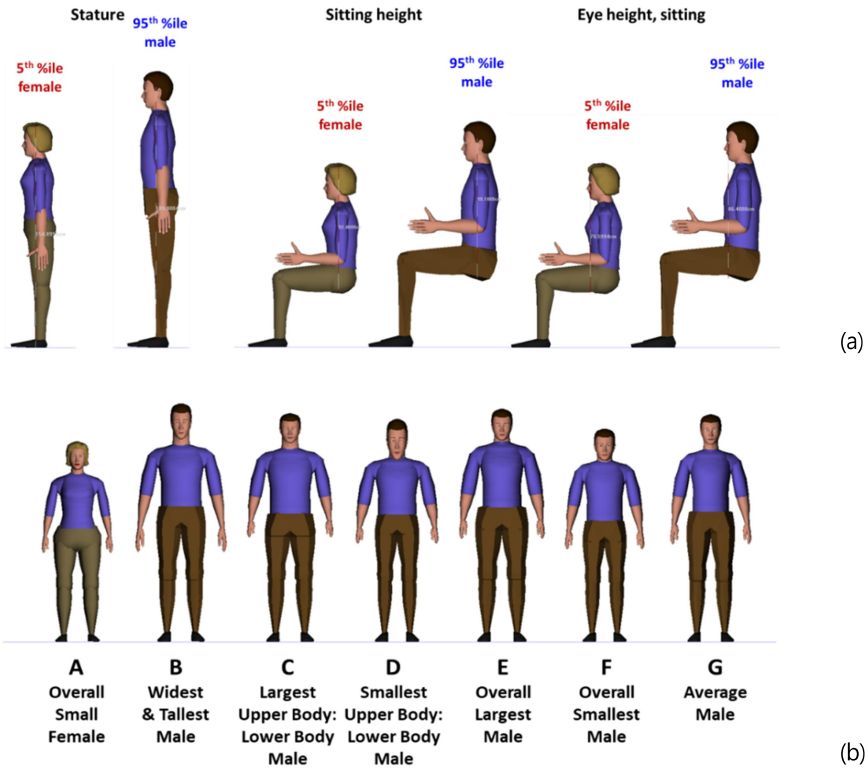


Figure 2. Representative human models: (a) univariate boundary manikins (UBM), (b) multivariate boundary manikins (MBM)

3.1.3 Task analysis

K9 자주포의 운용자 구성 및 운용자별 임무 작업이 파악되었다. K9 자주포는 포반장(commander), 사수(gunner), 부사수(assistant gunner), 포수(loader), 운전수(driver) 5명으로 구성되어 운용되고 있는데 Table 2는 운용자별 임무를 예시하고 있다. 예를 들어, 운전수는 전차 조종, 총기 이동 장치 하향, 포수는 포탑 회전장치의 잠금 해제 등의 임무를 수행함을 보여 준다.

Table 2. Task of K9 self-propelled howitzer by crew member

Mission	Task	Crew
Maneuver	Command to move	All Crews
	Move	Driver
	Security during the movement	Commander
		Assistant gunner

Table 2. Task of K9 self-propelled howitzer by crew member (Continued)

Mission	Task	Crew
Preparing the fire	Open a breech	Assistant gunner
	Open a jaw locked the gun	Driver
	Unlock a Turret traverse	Loader
	Turn on a Hydraulic and Electrical system	Assistant gunner
	Drive the gun to the unlock position (3.6 deg)	Gunner
	Lower a Gun Travel Lock	Driver

3.1.4 Design requirement analysis

K9 자주포의 설계 개선을 위한 요구 사항을 운용자와의 인터뷰를 통해 조사되었다. 운용자의 업무별 사용되는 자주포 장비에 대해 사용성 측면에서 만족하는 정도와 개선 사항이 있는지에 대해 운영자들을 통해 조사되었다. 설계 요구 분석은 군용 장갑차량 설계안의 인간공학적 평가에 주로 사용되고 있는 가시성(Bubb et al., 2021; Grandi et al., 2022), 도달성(He et al., 2019; Zare et al., 2021), 자세(Antonelli et al., 2013; Zare et al., 2021), 여유 공간(Hsiao et al., 2005; Freier et al., 2010), 접근성(Grandi et al., 2022; Tabattanon and D'Souza, 2021)을 중점적으로 평가하였다. 가시성은 인체모델의 시야에 대한 시뮬레이션을 통해 운용자가 조작하는 장비 외의 다른 장비나 주변 환경의 방해 없이 시야가 확보되는지 여부를 확인하였다. 도달성은 사용하는 장비가 운용자의 손이 도달하는 범위 안에 위치하고 있는지 여부에 대해 확인하였다. 자세는 사용하는 장비가 운용자의 손이 도달하였을 때 운용자의 주요 신체 관절 범위가 장비 조작 시 편안하게 조작할 수 있는 범위 안에 있는지 여부를 확인하였다. 여유 공간은 운용자의 신체와 주변 구성품 간의 여유 공간의 적절한지 확인하였다. 마지막으로, 접근성은 컨트롤 및 디스플레이를 조작함에 있어 신체의 모든 부위에 부담이나 불편함 없이 접근할 수 있는지 확인하였다.

3.2 Simulation

3.2.1 Human model simulation

Technomatix Jack 소프트웨어를 사용하여 수정 설계안에 대해 대표 인체모델들을 활용하여 임무 작업 수행을 시뮬레이션 하였다. 체

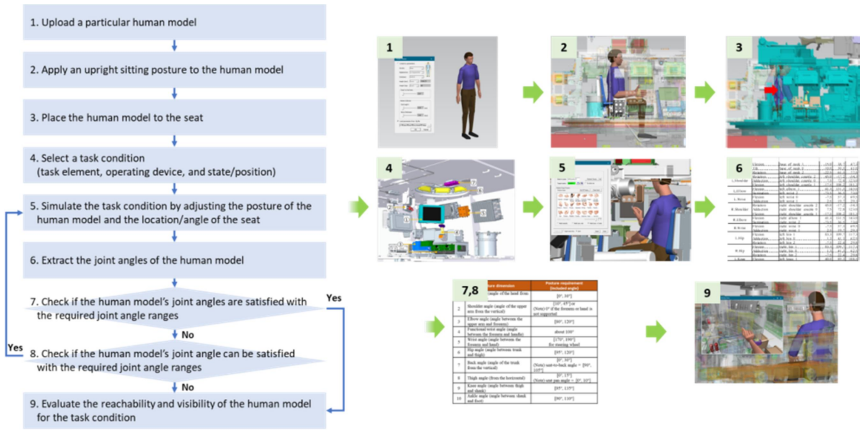


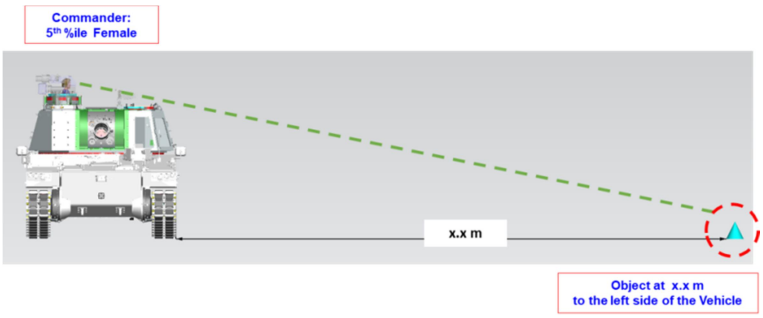
Figure 3. Protocol of human model simulation for the design of K9 self-propelled howitzer

계적 시뮬레이션을 위해 Figure 3과 같이 9가지 단계의 절차가 확립되어 진행되었다. 시뮬레이션은 우선 대표 인체모델을 업로드하고 인체모델의 자세를 앉은 자세로 변경하여 분석하고자 하는 임무를 수행하는 좌석에 위치시킨다. 인체모델이 수행해야 할 특정 임무와 관련된 요소, 작동 장비 및 구동 위치를 확인한다. 시뮬레이션 과정에서 인체모델의 자세와 좌석 위치를 조절하여 임무 수행이 가능한지 검토하고 운용자의 관절 각도를 측정한다. 인체모델의 관절 각도가 요구되는 신체 가동 범위에 있는지 여부를 확인하고, 필요한 경우 수정된 관절 각도로 재검증 한다. 마지막으로, 운용자가 임무를 수행할 때 도달성과 시야성을 평가한다.

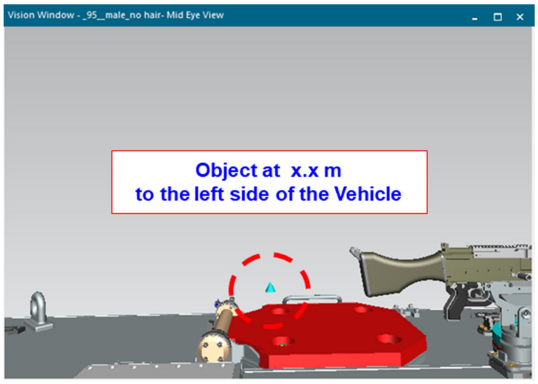
3.3 Evaluation

3.3.1 Visibility

운용자로부터 특정 거리에 떨어져 있어 가시성 확보가 필요한 구성품들에 대해 가시성 평가가 이루어졌다. 외부에 있는 물체에 대한 가시성은 5분위 여성과 95분위 남성을 나타내는 UBM을 사용하여 이루어졌으며, 내부에 있는 물체에 대한 가시성은 MBM들을 이용하여 진행되었다. Figure 4.a는 5분위 여성 운용자가 hatch 밖으로 얼굴을 노출하여 운용 시 좌측의 가시성 확보에 대한 평가를 예시하고 있으며, Figure 4.b는 운용자의 시야를 나타내며 목표 지점의 시야가 확보되는 것을 보여주고 있다.



(a)



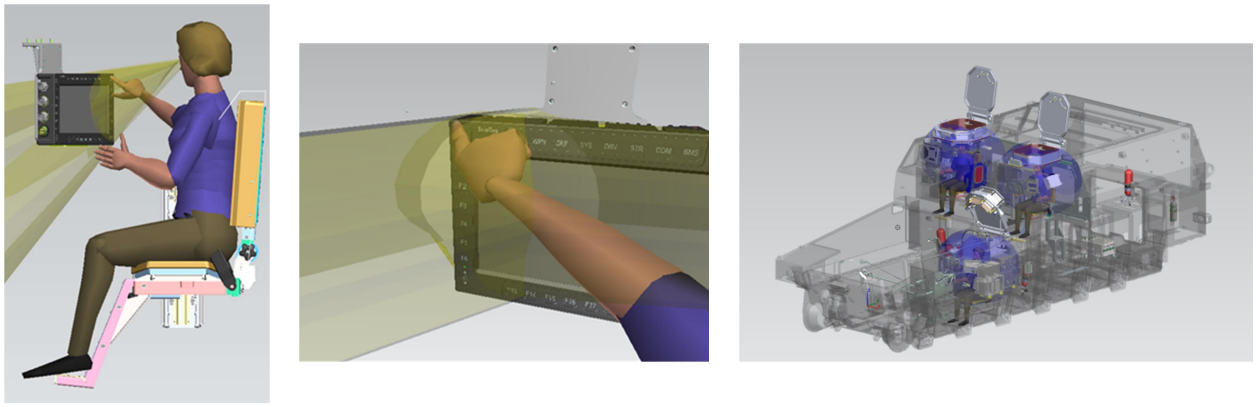
(b)

Figure 4. Visibility evaluation: (a) left-side visibility evaluation for 5 %ile female, (b) view window

3.3.2 Reach

운용자로부터 특정 거리에 있는 구성품들 중 손이나 발을 사용하여 조작이 필요한 구성품들에 대해 도달성에 대한 평가가 이루어졌다. 구성품에 대한 도달성은 다양한 인체변수들이 연관되어 있어 MBM들을 사용하여 평가가 진행되었다. 평가 시 MBM은 Figure 5.a와 같이 의자에 착석하여 안전벨트에 의해 허리가 의자에 고정된 자세로 어깨, 팔꿈치 및 손목을 이용하여 구성품에 대해 손이 도달 가능한지 여부가 평가되었다. 도달성 평가 시 버튼의 범위가 넓은 패널은 Figure 5.b와 같이 좌측 상단, 좌측 하단, 중앙, 우측 상단, 우측 하단에 대해 수행되었으며, 동작 범위가 넓은 페달 형태의 장비는 중립 위치와 최대 작동 범위에 대해 도달성 평가를 수행하였

다. 또한 Figure 5.c와 같이 5분위 여성의 팔 길이에 맞추어 ROM (range of motion)을 확인하여 장비에 대한 도달성이 확보되는지 평가하였다.



(a) (b) (c)

Figure 5. Reach evaluation: (a) reach while seated, (b) reach for the upper left panel, (c) range of motion

3.3.3 Clearance

운용자의 신체와 주변 구성품 간의 여유 공간의 적절성을 파악하기 위한 평가가 이루어졌다. 여유 공간 평가는 각 구성품의 주요 설계 인자 관련 치수를 파악한 후 유관 인체변수 측정치와 비교하는 과정을 통해 진행되었다. 여유 공간 적절성은 인체측정 설계 원칙들 중 극한치 설계(design for extremes)를 기반으로 95분위 남자 UBM을 사용하여 평가를 진행하였다. 또한, 운용자가 착용하는 군복 및 개인장비 관련 두께 치수를 추가적으로 반영하여 여유 공간을 평가하였다. K9 수정 설계안은 내부의 협소한 공간으로 인해 머리 여유 공간에 대한 평가가 필요한데, Figure 6은 머리 여유 공간에 대한 평가를 95분위 남자 UBM을 이용하여 평가한 예시를 보여주고 있다. 또한, 운용자가 출입하는 K9 수정 설계안의 도어 및 해치는 협소한 크기로 인해 어깨 너비 여유 공간에 대한 평가가 필요하였는데, Figure 7은 어깨 너비 여유 공간에 대한 평가를 95분위 남자 UBM을 이용하여 평가한 예시를 보여주고 있다.

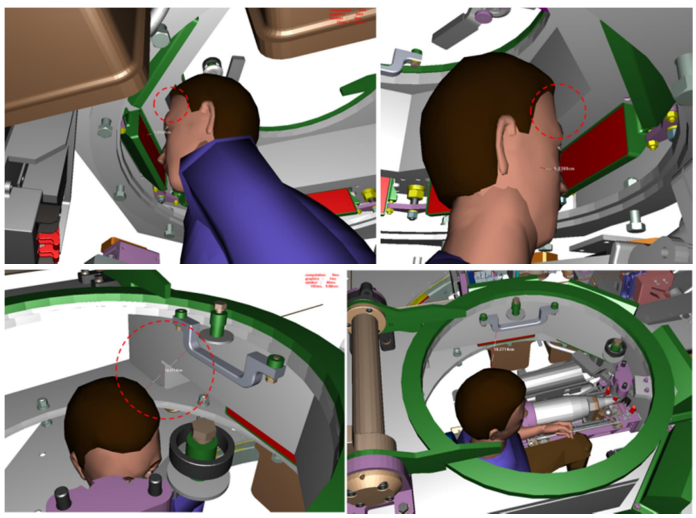


Figure 6. Head clearance evaluation

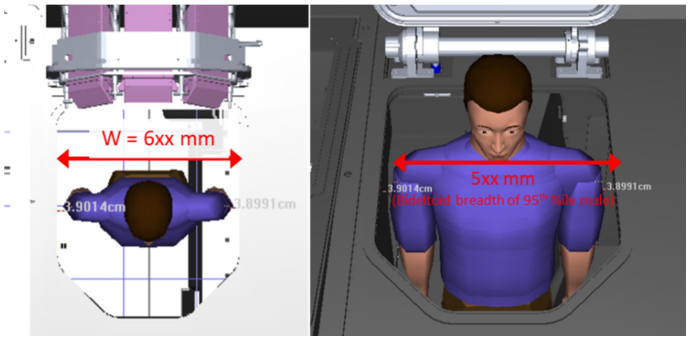


Figure 7. Shoulder clearance evaluation

3.3.4 Posture

운용자의 자세에 대한 요구 조건이 만족되는지 평가가 이루어졌다. 각 운용자의 자세가 각 관절의 선호되는 범위에 있는지를 평가하였으며, 다양한 인체변수들이 연관되어 있어 MBM들을 사용하여 평가가 진행되었다. 예를 들어, Figure 8은 최대 크기의 MBM에 대해 운용자의 위치에서 의자에 앉은 자세에서 조향 장치와 페달을 사용할 때에 운용자의 자세가 선호되는 범위에 있는지를 파악한 사례를 보여주고 있다. 가상 설계 공간에서 MBM을 배치하여 각 임무를 수행하는 자세를 취하도록 하였으며, 해당 자세에서의 관절 각도들을 추출하여 관절 각도가 선호 범위 내에 포함되는지 여부가 평가되었다.

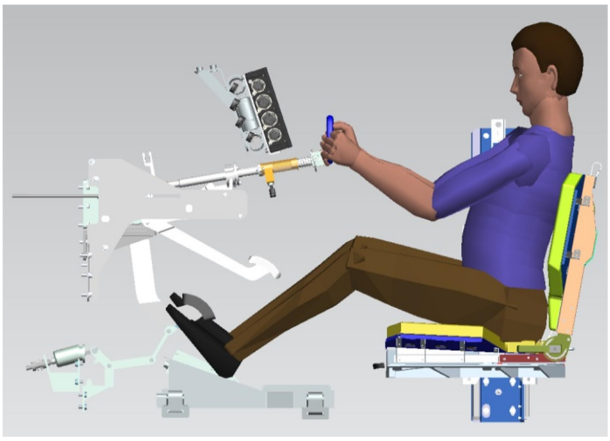


Figure 8. Driving posture evaluation

3.3.5 Accessibility

접근성에 대한 요구 조건이 만족되는지 평가가 이루어졌다. 예를 들어, Figure 9는 지상에서 K9 자주포 상단까지 접근할 수 있는 지 여부를 파악하기 위해 5분위 여성을 이용하여 시뮬레이션하고 있는 장면을 보여주고 있다. 소프트웨어를 사용하여 인체모델을 생성하고, 인체 관절 가동 범위를 고려하여 인체모델의 자세를 변경하며 인체모델이 자주포 상단까지 접근이 가능한지 여부를 시뮬레이션을 통해 파악하였다. 또한, 자주포 상단 접근 시 운용자의 안전성을 위하여 최소 3곳 이상의 지점에 대해 몸을 지지할 수 있는지 여부에 대한 평가가 동시에 이루어졌다.

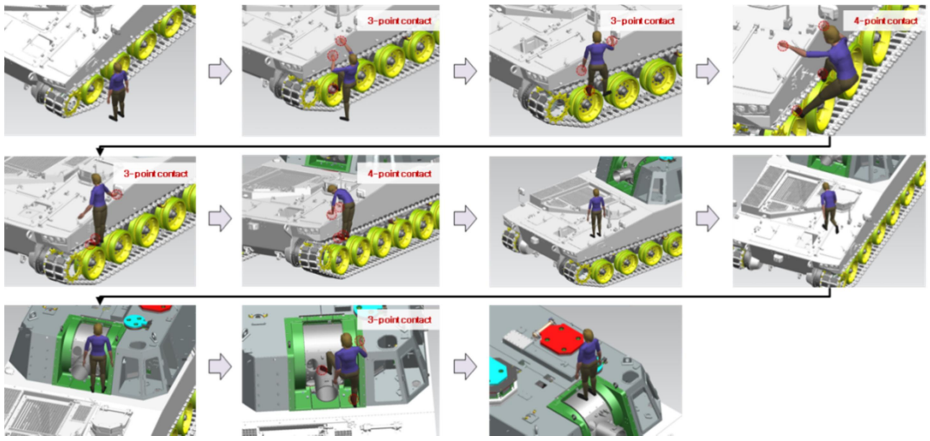


Figure 9. Accessibility evaluation

3.4 Alternative design exploration

수정 설계안이 설계 요구를 만족하지 못하는 경우 대안 설계안이 모색되었으며 담당 설계 엔지니어에게 관련 사항들에 대한 정보가 제공되었다. 예를 들면, 가시성 평가에서 5분위 여성에 대해 평가가 수행되었을 때, 포반장 위치에서 장애물로 인해 전방 시야가 확보되지 않아 수정 설계안이 설계 요구 조건을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다. 해당 수정 설계에 대한 대안으로 Figure 10과 같이 수정 설계안의 의자 높이 조정 범위 190mm로는 5분위 여성의 시야가 확보가 되지 않는 것을 나타내며, 이를 해결하기 위해 의자 이동 범위 조정 또는 발 받침을 통해 추가로 220mm가 확보되어야 함을 보여주고 있다.

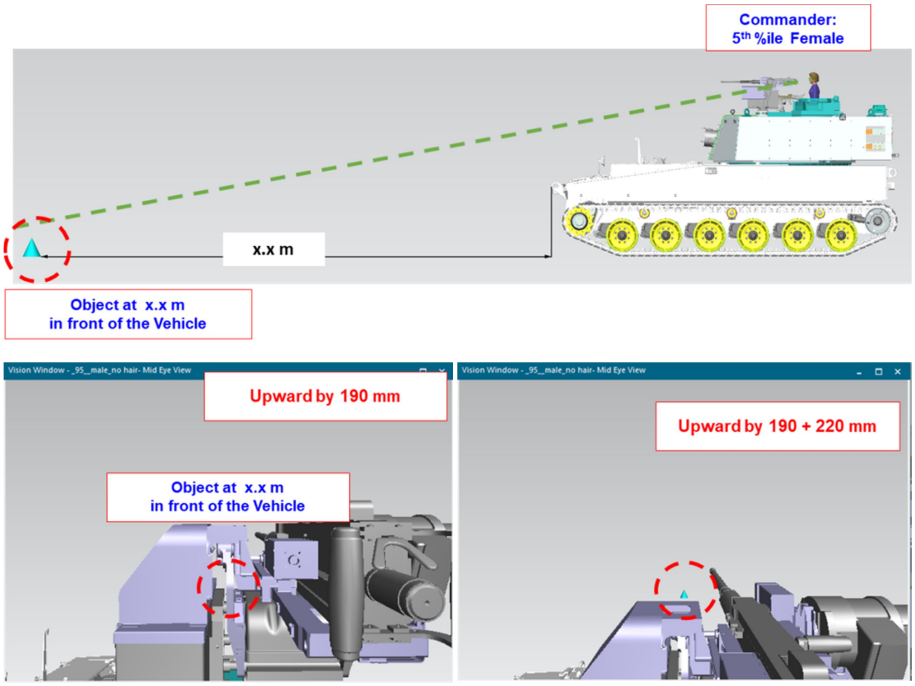


Figure 10. Development of an alternative design solution

4. Discussion

본 연구의 인간공학적 평가 사례는 제품 설계 및 개선에 있어 DHMS 방법의 효율성 및 유용성을 보여 주고 있다. 본 연구는 K9 자주포의 인간공학적 평가를 위해 설계 대상 인구의 특성을 대표하는 인체모델 7종을 생성하여 시뮬레이션 기반 평가를 수행하였다. 본 연구는 DHMS 기법을 이용하여 자주포 설계를 가시성, 도달성, 자세, 여유 공간, 그리고 접근성 측면에서 체계적으로 평가하는 방법을 제안하였다는 점에서 의의가 있다. DHMS 방법은 가상 환경에서 운용자 집단의 인체 치수 특성과 승무원별 임무 및 작업 특성을 고려한 인체모델을 기존 설계 및 대안 설계에 따라 용이하게 반영할 수 있는 특성을 지닌다. 따라서, 설계 변경에 따른 사용성 변화가 용이하게 추적 및 분석되고 설계 관련 실무 엔지니어들에게 설계와 관련된 유용한 정보가 제공될 수 있다.

K9 자주포의 수정 설계안에 대한 체계적인 인간공학적 평가, 수정 및 보완을 수행하기 위해 4단계(준비 단계, 시뮬레이션 단계, 평가 단계, 대안 설계 모색 단계)의 과정이 진행되었다. 준비 단계에서는 K9 자주포의 수정 설계안, 수출 대상국 운용자들을 대표하는 인체 특성, 운용자 구성 및 임무 작업들, 그리고 설계 요구사항들에 대한 정보가 수집되었다. 시뮬레이션 단계에서는 9가지 절차에 따라 수정 설계안에 대해 대표 인체모델들을 활용하여 작업 수행을 시뮬레이션 하였다. 평가 단계에서는 시뮬레이션을 통해 확인된 내용으로 가시성, 도달성, 여유 공간, 자세, 접근성에 대한 인간공학적 평가가 수행되었다. 마지막으로, 대안 설계 모색 단계에서는 수정 설계안이 설계 요구 조건을 만족하지 못하는 경우 대안 설계안이 모색되었으며 담당 설계 엔지니어에게 관련 사항들에 대한 정보가 제공되었다.

본 연구의 인간공학적 평가 사례는 효과적으로 제품을 설계하고 평가하며 필요 시 이를 수정 보완하는 데에 활용될 수 있다. DHMS 방법을 활용하여 특정 제품의 설계를 인간공학적으로 평가하는 연구 방식은 특수한 목적을 위해 설계된 잠수함, 휠로더와 같은 건설기계 등의 설계에도 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서 제시된 DHMS 방법을 활용한 인간공학적 평가 사례는 다양한 운송기기(예: 선박, 자동차, 비행기, 기차 등)의 가시성, 도달성, 자세, 여유 공간, 접근성을 효율적으로 분석하는데 적용할 수 있다. 본 연구의 인간공학적 평가 사례는 현업에서 실무 엔지니어들이 상대적으로 낮은 비용과 적은 시간을 들여 개발 중인 설계를 평가하고 수정하기 위한 근거 자료 마련에 활용될 수 있다.

본 연구는 가시성, 도달성, 자세, 여유 공간, 접근성의 5가지 지표를 통해 K9 자주포의 수정 설계에 대한 인간공학적 평가를 수행하였으나, 다양한 인간공학적 평가 요소를 포괄적으로 고려하여 K9 자주포와 같은 군용 장갑차량의 설계 평가를 진행할 필요가 있다. 본 연구는 설계 개선을 위한 요구 사항에 따라 5가지 해당 지표들에 초점을 맞추어 평가를 진행하였으며, 이를 바탕으로 K9 자주포의 개선 사항을 제안하였다. 그러나 군용 장갑차량 설계안의 인간공학적 평가를 다룬 기존 논문들을 검토하였을 때, 본 연구에서 제시한 5가지 지표 외에도 다양한 측면들이 고려되어야 함을 확인하였다. Hemin and Ting (2018)은 장갑차 제어실의 가시성, 도달성, 그리고 편안함을 평가하였으며, Mahfud et al. (2020)은 장갑차의 객실 설계를 평가하는 과정에서 LBA, OWAS, 그리고 RULA 값을 활용하였다. 또한, Wibneh et al. (2021)은 도달성, 여유 공간, 그리고 조절 가능성을 평가하였다. 추후 연구에서는 본 연구에서 제시한 5가지 지표를 포함하여, 조절 가능성, 경추 안전성 등의 인간공학적 평가 요소를 포괄적으로 고려하여 K9 자주포와 같은 군용 장갑차량의 설계 평가를 진행할 필요가 있다.

본 연구는 가상 환경 상에서 DHMS 방법을 활용하여 설계를 평가하고 보완한 연구로서 추후 시제품이 제작되었을 때 해당 국가의 사용자들을 대상으로 검증할 필요가 있다. 본 연구는 가상 환경 상에서 인체모델을 활용하여 K9 자주포의 수정 설계에 대한 인간공학적 평가를 수행하였다. 인체모델을 활용한 시뮬레이션의 경우, 인종별 신체적 능력의 차이는 고려되지 않으며 사람의 복잡한 동작을 시뮬레이션 상에서 표현하는 것에는 한계가 있어, 인간이 취할 수 있는 광범위한 움직임과 다양한 자세를 표현하지 못하는 경우가 있다. 또한, 본 연구는 운용자가 착용하는 군복 및 개인장비의 두께 치수를 반영하였으나, 실제로 이를 착용한 후 움직일 경우 발생하게 되는 각도, 위치 등의 변화에 대해서는 고려하지 못하였다. 따라서, 향후 시제품이 제작되면 해당 국가의 실제 운용자들을 대상으로 본 연구에서 진행한 DHMS 방법의 결과에 대해 검증 연구를 수행할 필요가 있다. 이를 위해서는 본 연구에서 활용한 인체모델들과 유사한 신체 크기의 참여자들을 모집하여 작업을 시뮬레이션 하며 개별 구성품 설계와 구성품들의 배치 설계에 대해 인간공학적 검증 평가가 필요하다.

Acknowledgement

This research was jointly supported by Hanwha Aerospace, the National Research Foundation of Korea (NRF) grant (2022R1A2C1013198) funded by Korean Government, the Biomedical Research Institute Fund, Chonbuk National University Hospital, and Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) grant funded by the Korea Government (MOTIE) (P0008691, HRD Program for Industrial Innovation).

References

Akyeampong, J., Nevins, L. and Udoka, S., Using digital human modeling to enhance work visibility for excavator. *IIE Annual Conference and Expo*, 2013, 1909-1918, 2013.

Antonelli, R.A., Costa, L.C.C., Eustachio, A.M.N., Queiroz, R.C., Martins, F.S. and Mello, A.P.S., Development of a methodology focused on the improvement of both: ergonomics and comfort of commercial vehicle seats (No. 2013-36-0216). *SAE Technical Paper*, 2013.

Bubb, H., Grünen, R.E. and Remlinger, W., Anthropometric vehicle design. *Automotive Ergonomics*, 343-468, 2021.

da Silva, G., Gordon, C. and Halpern, M., Comparison of anthropometry of Brazilian and US Military population for flight deck design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 64, 170-177, 2018.

Freier, S., Seeley, P., Marklin, R. and Saginus, K., Application of electric utility workers' anthropometry to clearance between vehicle pedals and adjacent structures. *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54, 1120-1124, 2010.

Grandi, F., Prati, E., Peruzzini, M., Pellicciari, M. and Campanella, C.E., Design of ergonomic dashboards for tractors and trucks: innovative method and tools. *Journal of Industrial Information Integration*, 25, 100304, 2022.

He, J., Yang, C., Zhu, T., Wang, X. and Hu, Y., Comparative study on cab's H point design model based on human factors engineering. *In Man-Machine-Environment System Engineering: Proceedings of the 18th International Conference on MMESE*, 18, 305-313, 2019.

Hemin, D. and Ting, W., Study on Man-machine Design of Armoured Vehicles Operation Space. *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 176, 04004, 2018.

Hsiao, H., Whitestone, J., Bradtmiller, B., Whisler, R., Zwiener, J., Lafferty, C., Kau, T.Y. and Gross, M., Anthropometric criteria for the design of tractor cabs and protection frames. *Ergonomics*, 48(4), 323-353, 2005.

Jung, K., Park, J., Lee, W., Kang, B., Uem, J., Park, S. and You, H., Development of Quantitative Ergonomic Assessment Method for Helicopter Cockpit Design in a Digital Environment. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(2), 203-210, 2010.

Kwon, C., Kim, G., Kim, S., Ryu, J., Kim, J. and Mun, J., The Development of Chair Ski Basket and Inner using Digital Human Model. *Korean Society for Precision Engineering Spring Conference*, 665-666, 2014.

Mahfud, H., Zulaihah, L. and Arifati, R., Designing Passengers Cabin Of Carrier Vehicles Of 6x6 Armour Personnel With Principles

Of Ergonomic. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1569(3), 032017, 2020.

Muthiah, A. and Lee, Y., Comparative Analysis of Male Cyclist Population in Four Asia Countries for Anthropometric Measurements. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10078, 2022.

Nam, K., Park, S., Lee, S., Kyung, G., Lee, J., Kim, J., Shin, Y. and Kim, C., Ergonomic Improvements of Armored Personnel Carrier by Using Digital Human Modeling Tools. *Ergonomics Society of Korea Fall Conference*, 340-346, 2012.

Rasco, N., Dytoc, B., Guerrero, J., Lopez, A. and Custodio, B., A comparative analysis of the ergonomic anthropometry and usability of locally designed and foreign designed smartphones. *Procedia Manufacturing*, 3, 5927-5933, 2015.

Tabattanon, K. and D'Souza, C., Accessibility Retrofit of a Shared Automated Vehicle: Challenges and Lessons Learned. *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 65(1), 385-389, 2021.

Vyavahare, R. and Kallurkar, S., Ergonomic evaluation of electric hedge trimmer using digital human modeling. *Agricultural Engineering International*, 17(4), 100-108, 2015.

Wang, L. and Lau, H.Y., Digital human modeling for physiological factors evaluation in work system design. Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management. *Human Body Modeling and Ergonomics: 4th International Conference*, 134-142, 2013.

Wibneh, A., Singh, A. and Karmakar, S., Understanding the synthesis of anthropometric diversity and workspace dimensions in ergonomic design of light armored vehicle. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 31(5), 447-468, 2021.

Zare, M., Baume, H., Bluntzer, J.B., Barret, R. and Walgenwitz, F., Placing Students in an Operational Learning Situation as "Human Factors and Ergonomics Engineering" in a Vehicle Design Project. *In Congress of the International Ergonomics Association*, 582-588, 2021.

Zunjic, A., Brkic, V., Klarin, M., Brkic, A. and Krstic, D., Anthropometric assessment of crane cabins and recommendations for design: A case study. *Work*, 52(1), 185-194, 2015.

Author listings

Minjae Kim: minjae@postech.ac.kr
Highest degree: BS, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea
Position title: PhD candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea
Areas of interest: Ergonomics design, Usability evaluation, Health care product

Rayoun Kim: rykim@mdctc.or.kr
Highest degree: BS, Purdue University

Position title: Researcher, Biomedical Research Institute, Jeonbuk National University Hospital
Areas of interest: Ergonomics design, Usability evaluation, Health care product

Youngjae Jung: nonoman2000@postech.ac.kr
Highest degree: BS, Electronics, Sogang University, Seoul, Korea
Position title: Senior researcher, Department of Industrial and Management, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea
Areas of interest: Ergonomics design, Usability evaluation, Health care product

Hayoung Jung: hayjung@umich.edu
Highest degree: PhD, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea
Position title: Postdoctoral Research Fellow, University of Michigan Transportation Research Institute, Michigan, USA
Areas of interest: Ergonomic Product Design, Digital Human Modeling & Simulation, 3D Anthropometry, Usability testing

Jongbae Park: mikiiy97@postech.ac.kr
Highest degree: BS, Department of Industrial and Management Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea
Position title: MS candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea
Areas of interest: Ergonomics design, Anthropometric analysis, Digital human modeling, VR in ergonomics product design

Seokwoo Lee: seokwoo.hope.lee@hanwha.com
Highest degree: Bachelor's degree, Chunbuk National University
Position title: Senior Researcher
Areas of interest: Generative Artificial Intelligence, Mechanical Engineering, System Engineering, Requirement Analysis, Electrical circuits

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr
Highest degree: PhD, Industrial Engineering, The Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology
Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing

Chansong Park: cspark@handong.edu
Highest degree: MFA, Transportation Design, Umeå Institute of Design, Umeå University
Position title: Assistant Professor, School of Contents Convergence Design, Handong Global University
Areas of interest: Ergonomic product design, Digital human simulation, Advanced mobility design, Service robot design, Sustainable & Contextual design