

Ergonomic Design and Evaluation of Combat Engineering Vehicle (CEV) for Future Korean Soldiers

Kyung Hyun Nam¹, Gyouhyung Kyung¹, Songil Lee¹, Jong Hoon Kim²

¹Department of Human and Systems Engineering, UNIST, Ulsan, 689-798

²System Development Team 1, Hyundai Rotem, Gyeonggi-do, 437-718

ABSTRACT

목적: 본 연구의 목적은 미래 한국 군인의 신체에 적합한 공병 전차를 디지털 휴먼 모델링 도구를 사용하여 인간공학적으로 평가하고 설계하는 것이다. **배경:** 군인들에게 적합한 차량을 설계하기 위해서는 차량 관련 인자들과 인간 관련 인자들의 특징들을 면밀히 고려해야 한다. 특히, 인간 관련 특징을 고려할 경우 시간에 따른 군인들의 인체 측정치 변화를 인간공학적 설계 및 평가 과정에서 고려되어야 할 주요 인자 중 하나이다. 또한, 공병 전차의 경우, 장애물을 구축하거나 제거하기 위한 장비들이 기존의 전차 차대 위에 장착되기 때문에 전방 시계나 장치 조작성 등에서 새로운 문제점들이 나타날 수 있다. **방법:** 공병 전차의 투입 시기가 2020년으로 예정되어 있어, 본 연구에서는 먼저 한국 20대 남성의 주요 인체 측정 변수들의 치수 변화를 예측하였다. SizeKorea에서 제공하는 5개 연도 인체 치수 측정데이터에 기계 학습 예측 알고리즘을 적용하였다. RAMSIS™에서 예측된 인체 치수를 사용하여 단신, 중간 신장 및 장신의 세 가지 마네킨을 생성하였다. 개발 중인 공병 전차를 거주성, 시계성 및 조작성 측면에서 평가하고, 재설계 안을 제시하였다. **결론:** 미래 한국 군인의 신체에 적합한 설계를 위하여 기존 설계 대비 여러 차량 설계 안의 수정이 이루어졌다. (예: 천장 높이, 가속 페달 각도, 굴착기 조작 장치 위치 등) **적용:** 인체 치수 예측치는 앞으로 개발 될 다른 군용 차량의 설계에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

Keywords: Anthropometric data prediction, Machine learning, Combat Engineering Vehicle, Digital human modeling

1. Introduction

공병 전차 (CEV: Combat Engineering Vehicle)는 기동 부대 선두에서 기동로를 개척할 수 있는 기동성과 생존성을 갖춘 차량이다 (이승현, 2007). CEV는 굴착, 지뢰 제거, 도저 기능 등을 담당하는 차량으로, 기존에 설계된 전차 차체에 특수한 공병 장비를 장착하여 개발이 이루어지고 있다. 그러나, 기존에 설계된 전차 차대에 특수한 공병 장비를 설치할 경우, 장비 운용 시 기존에 발견되지 않았던 새로운 문제점들이 생겨날 가능성이 있다. 예를 들어, 굴삭 장비에 의해 운용자 혹은 운전자의 시계를 방해할 수 있고, 차량 실내에서도 장비 조작 컨트롤 패널이 재배치 되어야 하므로, 컨트롤 패널의 조작성 문제 및 기타 컨트롤러와의 간섭 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 개념 설계 및 실차 설계 단계에서 이러한

문제점들을 파악하고, 사전에 문제들을 제거하는 것이 개발 사업의 원활한 진행을 위하여 반드시 필요하다.

이를 위해 설계 단계에서 Digital Human Modeling (DHM)을 사용하여 시제품 제작 전 실제 사용자의 사용 행태를 미리 예측하는 방법이 널리 사용되고 있다. DHM을 활용할 경우 시간과 비용이 많이 소요되는 실물 목업의 제작 없이 3D CAD 데이터를 이용하여 실시간 디자인 평가 및 수정이 가능하다. 또한, 효과적인 동작, 자세의 시각화 및 동작에 대한 인간공학적 분석이 가능하다.

현재 차세대 공병 전차의 개발이 추진될 경우 2020년 이후 투입이 가능할 것으로 예상되며, 고가의 군용 장비 운용 특성 상 장기적 사용이 요구됨에 따라 이에 맞는 한국인의 인체 측정 예측치를 제품 설계에 반영해야 한다.

본 연구에서는 제품 사용과 수명 주기를 고려한

2020년의 20대 남성의 대표 인체 모델을 예측하고, 이에 적합한 운전석의 의자, 헤치 여유공간, 조작장비 배치 검토 및 조작성 검토가 이루어졌다.

2. Method

2.1 Anthropometry prediction

2020년 한국 20대 남성의 예측 인체 모델을 생성하기 위해 국가기술표준원의 SizeKorea 데이터를 사용하였다. 인체 치수 변화 양상을 알아보기 위하여 1986년, 1992년, 1997년, 2003년 및 2010년의 측정 데이터를 조사하였다. RAMSIS™ 모델에 적용된 예측 신체 치수는 신장, 앉은 키를 포함한 총 6개이다. 인체 치수 예측 시 신장을 먼저 예측한 후 신장에 대한 각 신체 분절의 비율을 적용하여 인체 모델 치수에 적용하였다.

신장 예측 시 인공신경망, 회귀분석, 스토캐스틱 분석, 주성분 대리 변수 회귀 분석 등의 방법을 통해 예측치를 추정하였다. 기존의 신장 변화 양상을 가장 잘 반영하고, 기존 데이터에 적용 시 오차가 가장 작은 인공신경망의 구성은 연도, 해당 연도의 신장, 및 학습 데이터와의 연도 차이 (interval)를 입력하는 입력 층과 입력 층에서 받아들인 수치에 가중치를 곱하여 학습데이터를 추론하기 위한 2개의 은닉층, 그리고 입력 층의 연도 + interval 후의 5th, 50th 및 95th percentile 신장 출력 층으로 구성되었다.

데이터 분석 시, 연도 별 데이터 수 차이에 의한 영향을 상쇄하기 위하여 연도 별로 신장에 대한 히스토그램을 작성하고, 각각의 신장 구간에 포함되는 case 수를 일정 비율로 축소하였다.

2.2 Posture for evaluation

인체 모형 착석 시 좌석은 최후방에 위치시키고 조종수의 착석 위치를 결정하였다. 착석 위치상 Hip point 높이, H30 (SAE, 1997) 범위를 고려하여 인체 모형의 착석 시 몸통 각도를 결정하였다. Bhise (2011)에 따르면, H30이 낮은 승용차의 경우 (i.e. H30 = 127 ~ 405mm) 18~22°의 몸통 각도가 적절하고, H30이 높은 경우 (i.e. H30 = 405 ~ 530mm) 15~18°가 적절하다고 하였다. 인체 모형의 몸통 각도는 이를 반영하여 좌석을 낮추어 헤치 아래

에서 작업이나 운전을 할 경우와 좌석을 높여 헤치 밖으로 머리를 내밀고 작업하는 경우를 고려했다.

2.2 Evaluation criteria

본 연구에서 운전자는 상황에 따라 head-in 상태로 조종을 할 수도 있고, head-out 상태에서 조종할 수도 있다. 따라서, 좌석 높이에 따라 운전 자세 관절 각도를 달리 평가해야 한다. 승용차 운전 시 운전자가 편안함을 느끼는 관절 각도에 대한 많은 연구들이 진행된 가운데, 박진세 등 (2000)은 한국 성인 남성의 편안한 운전자세를 조사한 바 있어 그 결과를 평가 시 참고하였다. H30이 상대적으로 높은 head-out 상태에서의 운전자세는 NEN 5518:2000 (Dutch Standardization Institute, 2000), Kyung et al. (2010), Kyung & Nussbaum (2009)에 제시된 comfortable joint angle을 참고하였다.

운전자와 차량 구조물 간의 여유공간 및 실내 설계치에 대한 평가는 군사표준인 MIL-STD 1472G (US Department of Defense, 2012) 및 중장비 조종석에 대한 국제 표준인 ISO 6682 (ISO, 1986)를 참고하였다. 또한 운전석 주변 조작기기들에 대한 도달성 평가는 SAE J287 (SAE, 2003) 및 RAMSIS™의 도달면 분석을 기준으로 평가하였다.

3. Results

3.1 Anthropometry prediction

1986년부터 2010년까지 한국 20대 성인 남성 신장 변화 양상을 보면, 2003년 이후부터 증가 양상이 확연히 둔화 되었다. 하지만, 단신 인구 (5th percentile 내외)의 경우 2010년에 들어설 때까지 지속적으로 증가하는 모습을 보였다.

인공신경망으로 예측한 2020년의 한국 20대 남성의 신장치를 기준으로 신장에 대한 위 팔 및 아래 팔 비율, 앉은 키, 앉은 엉덩이-무릎 길이, 앉은 무릎 높이의 비율을 예측 신장에 적용했다.

3.2 Evaluations of CEV

Head-in 상태에서 운전 자세를 분석한 결과,

5th percentile 운전자의 경우 팔꿈치나 어깨와 같은 상지 분절의 자세는 comfortable joint angle 이 내에서 자세가 생성되는 것으로 나타났으며, 좌측 무릎 및 발목 각도 역시 자세를 취하는데 불편함이 없을 것으로 예상되었다. 그러나, 엉덩이 각도는 좌측과 우측 모두 comfortable joint angle에서 벗어나는 것으로 나타났고, 페달을 밟게 되는 우측의 경우 발목과 무릎 부위에 다소 불편함이 있을 것으로 예상된다. 95th percentile 운전자 역시 5th percentile 운전자와 마찬가지로 좌, 우측 상지 분절 및 좌측 무릎과 발목각도가 comfortable joint angle 범위에서 자세가 형성되어 불편함이 없을 것으로 예상되었다. 그러나 좌, 우측 엉덩이 관절과 우측 무릎 및 발목 부위가 comfortable joint angle 범위에서 벗어나, 자세를 취하는데 불편함이 있을 것으로 예상되었다.

군용 차량의 경우 안전장치와 임무 수행에 필요한 필수 조작 장치들이 좁은 공간에 배치되어 내부 구조물을 재배치 할 수 있는 공간이 한정적이다. 따라서, 좌석의 설계 위치 이동을 통해 comfortable joint angle을 완전히 만족시키는데 제한이 있다. 허벅지나 무릎의 경우, comfortable range를 벗어나나, 자세가 형성되는 각도가 관절의 전체 Range of Motion (ROM)에서 중간 범위에 있기 때문에 비교적 자세 유지에 여유가 있는 반면, 발목의 경우 ROM의 끝단에 해당하기 때문에 운전자로 하여금 자세 유지 시 피로도를 높일 수 있다. 또한 accelerator pedal은 전차 운용 시 사용되는 주요한 조작장치이므로 오조작을 피해야 한다. 따라서 pedal 기립 각도를 낮추어 resting 시 발목 각도가 중립이 되도록 제안하였다.

RAMSIS™에서 개선 전/후 착석 자세의 불편도를 비교한 결과 5th percentile과 95th percentile 모델에서 평균 12%의 불편도가 개선되는 것을 확인하였다. 개별 분절에 대한 불편도의 경우 5th percentile의 좌측 하지에서 12%, 우측 하지에서 5%의 불편도 개선 효과가 나타나며, 95th percentile의 좌측 하지에서 8%, 우측 하지에서 23%의 불편도 개선 효과를 볼 수 있었다.

또 다른 거주성의 척도로서, 운전자의 안전과 가장 밀접한 머리 여유 공간을 평가하였다. 군용 표준인 MIL-STD-1472G (2012)에서는 머리 여유 공간을 50mm로 권고한다. 또한, 구난 전차 탑승자들은 headset이 장착된 헬멧을 착용하기 때문에 헬멧과 머리 사이의 두께를 고려하여 추가 여유 공간을 설정해야 된다. 그러나, 5th percentile 남성의 착석 시 머리 여유 공간이 부족하여 차량 roof의 수정이 요구된다. SAE J1100 (1997)의 effective

headroom 기준에 따르면 roof 경사를 확대해야 하는 것으로 나타났다.

Head-out 자세의 경우 5th percentile 모델 및 95th percentile 모델의 자세가 NEN 5518:2000 (Dutch Standardization Institute, 2000)에 제시된 comfortable joint angle 범위 내에 위치했다.

조종수석의 손 도달성 평가 시 SAE J287 (SAE, 2003)에 제시된 기준에 따라 차량 인자를 확인하고 사용자 조건에 맞는 표를 적용하여 손이 도달할 수 있는 거리를 수치상으로 확인함으로써 95%의 인원이 도달할 수 있는 설계 기준치를 평가하였다.

RAMSIS™의 reaching envelope을 통해 5th percentile과 95th percentile 모델의 도달성 분석 결과 상체를 구부리지 않고 몸통의 돌림만 허용할 경우에는 조작 장치 중 최전방에 위치한 소화기 조작 레버에 56.0mm 부족하지만, 상체 굽힘 동작 (20.3°)을 통해 도달이 가능한 것으로 나타났다.

굴삭기 조작 장치 배치 평가의 경우 ISO 6682에 조작 장치 작동과 관련된 comfortable joint angle이 제시되어 있으나, 이를 적용하여 평가 차량 내 굴삭기 조작 장치 배치 시 조작 장치의 조작 방향과 조향 장치가 맞물려 굴삭 작업 시 조향 장치와 간섭이 일어날 수 있고, 팔결의 높이가 과도하게 높아져 조향 장치 조작 시 동작에 제한을 줄 수 있어 해당 기준을 적용하지 않았다. Parkinson과 Reed (2006)의 연구에서 truck의 기어 조작 시 balance를 유지할 수 있는 자세의 한계 범위를 balance contour를 통해 표현한 바 있다. Truck의 기어 shift 위치는 현재 구난 전차의 굴삭기 조작 장치와 유사하여 해당 연구 결과의 조작 자세 범위를 적용하였다. 해당 연구 결과에 따르면, 장치 조작 시 90% 수용 범위는 x, y, z, 좌표에서 각각 운전자 발 뒤꿈치 (Accelerator Heel Point; AHP) 후방 300 ~ 700mm, 운전자 중심 기준 좌, 우 300 ~ 600mm, AHP 상방 500 ~ 800mm였으며, 이를 적용하여 조작 장치 위치 개선 설계안을 만들었다.

4. Discussion

본 연구에서는 장애물 개척용 공병 전차를 거주성, 조작성 측면에서 평가하였다. DHM 도구를 사용하여 도출한 결과들을 기존의 군사용 guideline 및 인간공학적 기준들과 비교함으로써

인간공학적으로 문제를 일으킬 수 있는 요소들에 대해 고려하고 개선안을 제시하였다.

조종수석 거주성의 경우 5th percentile과 95th percentile 신장의 성인 남성 착석 시 하지 관절에서 comfortable joint angle을 벗어나는 자세가 관찰되었으나, 전체적인 discomfort 평가 시 크게 문제가 될 만한 simulation 결과는 발견되지 않았다. 또한, pedal 각도 수정과 같은 변경 사항을 통하여 해당 문제점이 개선될 수 있다는 점을 확인하였다. 조종수석 Periscope 시계 범위에 맞추어 자세를 설정할 경우 머리에 대한 여유공간이 부족하다는 점이 문제점으로 나타나 천장 경사를 확대하도록 제안하였다.

조종수석 굴삭 장비 조작장치의 조작성에 대해서는 ISO 표준치를 적용하는데 한계가 있어서 Parkinson과 Reed (2006)의 balance contour를 적용하여 적절한 조작장치 위치를 설정하였다.

본 연구에서 제시된 2020년 한국인 치수 및 설계개선안을 고려하여 인간공학적인 군용 특수 차량을 개발중에 있다.

Acknowledgements

This work was supported by Hyundai-Rotem Company.

References

- Dutch Standardization Institute, *Ergonomic requirements for the design and evaluation of cabins of trucks, vans and cars*, NEN 5518, 2000.
- ISO 6682, *Earth-moving machinery - Zones of comfort and reach for controls*, 1995
- Kyung, G., Nussbaum, M. A., Babski-Reeves, K. L., *Enhancing digital driver models: Identification of distinct postural strategies used by drivers*. Ergonomics, 2010, 53.3: 375-384.
- Kyung, G., & Nussbaum, M. A., *Specifying comfortable driving postures for ergonomic design and evaluation of the driver workspace using digital human models*, Ergonomics, 52(8), 939-953, 2009
- Lee, S. H., *Global trends of development of combat engineering vehicle*, Defense and Technology, 346, 88-93, 2007.
- Department of Defense, Human engineering design criteria for military systems equipment and systems, MIL-STD-1472G, Washington (DC): DOD, 2012
- Parkinson, M. B., Reed, M. P., *Considering driver balance capability in truck shifter design*. SAE Technical Paper, 2006.
- Park, S. J., Kim, C. B., Kim, C. J., & Lee, J. W., *Comfortable driving postures for Koreans*, International journal of industrial ergonomics, 26(4), 489-497, 2000.
- Porter, J. M., Gyi, D. E., *Exploring the optimum posture for driver comfort*, International Journal of Vehicle Design, 19.3: 255-266, 1998
- SAE J287, *Driver Hand Control Reach*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 2003.
- SAE J1100., *Automotive engineering handbook*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1997.

Author listings

Kyunghyun Nam: skarudgus@unist.ac.kr

Highest degree: BS, Department of Physical Therapy, Yonsei Univ.

Position title: PhD Candidate, School of Design & Human Engineering, UNIST

Areas of interest: Automotive Ergonomics, Cognitive Science, Sensibility Ergonomics

Gyuhung Kyung: ghkyung@unist.ac.kr

Highest degree: PhD, Industrial and Systems Engineering, Virginia Tech

Position title: Associate Professor, School of Design & Human Engineering, UNIST

Areas of interest: Human Factors Engineering, Visual Ergonomics, Vehicle Ergonomics

Songil Lee: songil@unist.ac.kr

Highest degree: BS, School of Design & Human Engineering, UNIST

Position title: PhD Candidate, School of Design & Human Engineering, UNIST

Areas of interest: Human Factors Engineering

Jonghun Kim: kjh8131@hyundai-rotem.co.kr

Highest degree: BS, mechanical engineering, Sungkyunkwan Univ.

Position title: Research Engineer, Hyundai-Rotem Company

Areas of interest: Vehicle system integration design