Title

Ergonomic Evaluation of Console Chairs for a Weapon Locating Radar

ABSTRACT

Objective: The present study is intended to evaluate usability of a console chair for a weapon locating radar by comparing with different kinds of chair design.

Background: Console chairs need to be ergonomically designed to reduce physical workload of operators and improve mission capability; few studies have been reported which systematically evaluate usability of military console chairs.

Method: Ergonomic evaluation of a console chair, a bus seat, and an office chair was evaluated in terms of headrest, seatback, seatpan, armrest, and controller by a 7-point scale. Ten males in their 20s and 30s were recruited by considering the demographic characteristics of operators.

Results: The satisfaction scores of the console chair for headrest, seatback, and seatpan were significantly higher than those of the bus seat (mean difference [MD] = 0.9) and office chair (MD = 1.3). Meanwhile, the satisfaction scores of the console chair for armrest and controller were significantly lower than those of the office chair (MD = -1.4) and bus seat (MD = -2.2).

Conclusion: The armrest and controller of the console chair needs ergonomic improvements for better comfort.

Application: The evaluation results of the console chair would be of use for ergonomic console chair design.

Keywords

Ergonomic console chair, Weapon locating radar, Ergonomic evaluation

1. Introduction

우리나라는 적의 도발을 신속하고 정확하게 파악하기 위해 차기 대포병탐지레이더(이하, 차탐)를 개발하고 있다. 차탐은 우리 군의 적 포탄 탐지 능력과 실시간 대화력전 수행 능력을 향상시키기 위해 개발되고 있다. 차탐은 운용쉘터부, 안테나부, 그리고 차량부로 구성되는데, 그 중에서 운용쉘터부는 운용관이 콘솔의 디스플레이와 버튼들을 조작하여 탐지레이더를 운용하는 공간이다. 인간공학적으로 설계된 콘솔은 인적 오류를 최소화하고 사용성을 제고하여 운용효율성을 향상시킬 수 있는데(Sanders and McCormick, 1993), 기존 연구들은 인간공학적인 콘솔의 layout 설계를 위해 최적화 기법을

적용하여 설계요소들을 콘솔에 배치하는 연구를 수행하였다(Hani et al., 2007; Holman et al., 2003; Jung et al., 1995; Pham and Onder, 1992; Sargent and Kay, 1997; Udosen, 2006; Wang et al., 1991; Xu et al., 2010a, 2010b, 2011).

장시간 감시 임무를 수행하는 차탐 콘솔 운용관을 위해 인간공학적 콘솔 의자 설계가 필요하다. 차탐 콘솔 운용관의 주요 임무는 콘솔 의자에 착석한 상태로 콘솔 디스플레이에 나타나는 레이더 영상을 감시하는 것이다. 운용관의 인체특성이 고려되지 않은 콘솔 의자는 장시간 감시 임무를 수행하는 운용관에게 불편함을 유발할 뿐만 아니라 신체 통증 및 피로를 유발할 수 있다(ANSI/HFES 100, 2007; Grandjean, 1980; Kirk, 1969). 따라서, 차탐 콘솔 의자 설계 시 운용관의 인체특성을 고려하여 인간공학적으로 설계하는 것이 중요하다.

다양한 유형의 의자에 대한 사용성을 평가하는 연구들이 수행되어 왔으나 군용 콘솔 의자의 사용성을 평가한 연구는 미흡하다. 버스 의자 연구를 예로 들면, Kim et al. (2012)은 버스 승객석에 대한 인간공학적 평가를 위해 평가 설문지를 개발하였다. Lee et al. (2013)은 주관적 만족도 및 3D 형상분석 기반의 인간공학적 버스 승객석 설계 방법을 개발하였으며, Park et al. (2013)은 버스 승객석에 대한 인간공학적 평가 protocol을 개발하였다. 또한, Kim et al. (2013)은 소비자 감성과 사용성을 고려하기 위하여 Kansei Engineering 기법을 적용해 인간공학적 의자를 개발하였다. 그러나, 현재까지 군용 콘솔 의자에 대한 사용성 연구는 부재한 것으로 파악되어 인간공학적 콘솔 의자에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 차탐에 사용될 콘솔 의자를 다른 유형의 의자들과 인간공학적으로 비교 평가하여 개선사항을 도출하였다. 본 연구는 콘솔 의자를 버스 의자 및 사무용 의자와 부위별(예: 등받이)로 비교 평가할 수 있는 평가 설문지를 개발하여 평가를 수행하였다. 본 연구는 의자 부위 별로 선호도를 분석하고 콘솔 의자의 개선방안을 도출하였다.

2. Method

2.1. Selection of evaluation chairs

본 연구는 콘솔 의자(Figure 1a)가 다른 유형의 의자들에 비해 얼마만큼 선호되는지를 평가하기 위해 버스 승객석(Figure 1b)과 사무용 의자(Figure 1c)를 평가대상으로 선정하였다. 콘솔 의자(우창, 대한민국)는 Figure 1a와 같이 하단부에 충격 완화를 위한 서스펜션(100 ~ 150 mm)이 장착되어 있으며 의자의 전방과 후방의 높이를 각각 조절할 수 있다. 버스 승객석(현대자동차, 대한민국)은 Figure 1b와 같이 의자 높이는 고정되어 있으며 머리지지부가 등받이랑 연결되어 있는 특징이 있다. 마지막으로, 사무용 의자(파트라, 대한민국)는 머리지지부와 팔걸이의 높이뿐만 아니라 각도가 조절되고 사용자의 착석 자세에 따라 등받이가 유연하게 후방으로 젖혀지며 하단부에는 이동을 위한 바퀴가 구비되어 있다. 세 가지 평가 대상 의자의 설계 특징은 서로 상이하지만 공통적으로 머리지지부(headrest), 팔걸이(armrest), 등받이(seatback), 좌면(seatpan), 그리고 조절 레버(controller)로 구분될 수 있는

것으로 조사되었다.

(a) Console chair (b) Bus seat (c) Office chair

Figure 1. Evaluation chairs

2.2. Development of an evaluation questionnaire

평가 설문지는 기존 연구들을 참고하여 (1) 평가 기준 선정, (2) 평가 부위 선정, 그리고 (3) 연관성 분석의 세 단계가 적용되어 개발되었다. 첫째, 평가 기준 선정 단계에서는 기존 의자의 사용성 평가 연구들(Kim et al., 2010; Kolich, 2003; Smith et al., 2006)을 참조하여 Table 1과 같은 전반적 만족도(overall satisfaction), 생체역학적(biomechanical quality), 그리고 감성적(affective quality) 측면의 12가지 평가 요소를 선정하였다. 생체역학적 측면은 도달 용이성(reach), 조작 용이성(adjustment), 조작 힘 적절성(force), 형태 적합성(shape), 체압 분산 적절성(pressure distribution), 인체 지지성(body support), 허깅성(bolster), 그리고 크기 적절성(size)의 8가지 평가 요소로 분류되었다. 감성적 측면은 접촉감(touch), 쿠션감(cushion), 그리고 그립감(grip)의 3가지 평가 요소로 세분화되었다.

Table 1. Ergonomic Evaluation criteria

Criteria		Description
Overall satisfaction		Overall satisfaction with seat
Biomechanical quality	Reach	Ease of reaching a controller
	Adjustment	Ease of adjusting a controller
	Force	Appropriateness of force requirement for operation of a controller
	Shape	Appropriateness of the shape of seat to the shape of the body

	Pressure distribution	Appropriateness of sitting pressure distribution
	Body support	Appropriateness of the support of seat to the body
	Bolster	Fit of seat bolster to the body
	Size	Satisfaction with the size of seat
Affective quality	Touch	Satisfaction with the material of seat cover
	Cushion	Satisfaction with the hardness or softness of seat cushion
	Grip	Fit of controller to the hand

둘째, 평가 부위 선정 단계에서는 Figure 2와 같이 의자 부위를 머리지지부, 팔걸이, 등받이, 좌면, 그리고 조절 레버의 5가지로 구분하고 등받이, 좌면, 조절 레버의 경우 각각 4가지의 세부적인 항목으로 구분하여 총 14가지의 평가 부위가 선정되었다. 등받이는 흉부 지지부, 요추 지지부, 측면 지지부, 그리고 등받이 전체의 4가지 항목으로 평가되었다. 좌면은 엉덩이 지지부, 허벅지 지지부, 측면 지지부, 그리고 좌면 전체의 4가지 항목으로 평가되었다. 조절 레버는 좌면 높낮이, 등받이 각도, 서스펜션 강도, 그리고 의자 앞뒤 위치 조절 레버 부위로 구분하여 평가되었다.

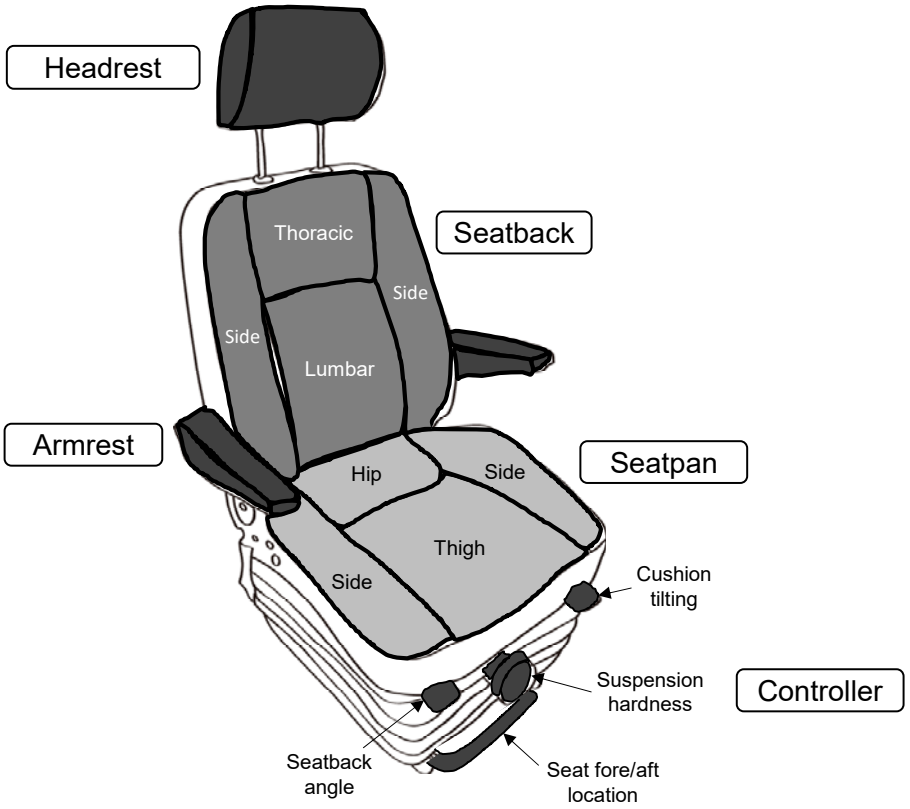


Figure 2. Classification of chair parts

마지막으로, 연관성 분석 단계에서는 선정된 12가지 평가 요소와 14가지 평가 부위와의 연관성을 분석하여 Table 2와 같은 평가 부위 별 79가지 평가 항목이 선정되었다. 예를 들어, 조작 용이성은

착석 시 운용관이 손을 뻗어 조작할 수 있는 부위인 머리지지부, 팔걸이, 좌면 높낮이, 등받이 각도, 서스펜션 강도, 그리고 의자 앞뒤 위치의 6가지 부위에 대하여 평가되었다. 체압 분산 적절성은 착석 시 운용관의 체압이 전달되는 부위인 등받이와 좌면 부위에 대하여 평가되었으며 머리지지부의 경우 선택적으로 사용될 수 있으므로 평가 대상에서 제외되었다. 지지성은 착석 시 운용관의 상체가 지지되는 등받이 부위에 대해서 평가되었고, 허깅성은 착석 시 운용관의 하체를 감싸주는 좌면 부위에 대하여 평가되었다.

Table 2. Relationship analysis between evaluation parts and criteria

Chair part		Ergonomic criteria											
		Overall satisfaction	Biomechanical quality								Affective quality		
			Reach	Adjust-ment	Force	Shape	Pressure distribution	Body support	Bolster	Size	Touch	Cushion	Grip
Headrest		○		○				○	○	○			
Armrest		○	○	○	○					○*	○	○	
Seatback	Thoracic	○				○	○	○		○			
	Lumbar	○				○	○	○		○			
	Side	○				○	○	○		○			
	Overall	○				○	○	○		○	○	○	
Seatpan	Hip	○					○		○	○			
	Thigh	○					○		○	○			
	Side	○					○		○	○			
	Overall	○					○		○	○	○	○	
Adjustment lever	Cushion tilting	○	○	○	○					○			○
	Seatback angle	○	○	○	○					○			○
	Suspension hardness	○	○	○	○					○			○
	Seat fore/aft location	○	○	○	○					○			○

* Size of armrest was evaluated in terms of length, width, height, and location.

의자 평가 실험에서는 평가 대상 의자에 착석한 후 주관적 만족도를 평가하였다. 본 실험에는 차탐 콘솔 운용관의 연령, 성별, 그리고 인체크기를 고려하여 모집된 20 ~ 30대 남성 10명(연령: 30.5 ± 3.7세; 신장: 172.8 ± 6.6 cm, 몸무게: 70.7 ± 10.8 kg)이 참여하였다. 실험참여자는 의자에 착석하여 콘솔 디스플레이를 감시하도록 통제되었다. 의자 평가 항목에 대한 주관적 만족도는 7점 척도(1점: 매우 불만, 4점: 보통, 7점: 매우 만족)를 사용하여 평가되었으며, Figure 3은 콘솔 의자의 좌면 전반에 대한 평가 설문지 예시를 보여준다.

Chair part	Criteria	Console chair						
		Extremly dissatisfaction	Very dissatisfaction	Somewhat dissatisfaction	Neither	Somwhat satisfaction	Very satisfaction	Extremly satisfaction
Seatpan overall satisfaction	Size	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	Bolster	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	Pressure distribution	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	Touch	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	Cushion	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	Overall satisfaction	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦

Figure 3. An example of evaluation questionnaire

3. Results

머리지지부, 등받이, 그리고 좌면은 콘솔 의자가 가장 선호되는 것으로 나타났다(Figure 4). 머리지지부(Figure 5)에 대한 콘솔 의자의 평균 선호도(4.3 ± 1.4점)는 버스 승객석(3.5 ± 1.4점)과 사무용 의자(3.6 ± 1.8점)보다 각각 0.8점 정도 유의하게 높은 것(t[98] = 2.97, p = 0.004; t[93] = 2.37, p = 0.020)으로 나타났다. 등받이(Figure 6)에 대한 콘솔 의자의 평균 선호도(5.3 ± 1.5점)는 버스 승객석(4.5 ± 1.2점)과 사무용 의자(4.6 ± 1.3점)보다 각각 0.8점 정도 유의하게 높은 것(t[437] = 6.34, p < 0.001; t[442] = 5.82, p < 0.001)으로 나타났다. 좌면(Figure 7)에 대한 콘솔 의자의 평균 선호도(5.4 ± 1.4점)는 버스 승객석(4.2 ± 1.1점)과 사무용 의자(4.6 ± 1.3점)보다 각각 1.2점과 0.8점만큼 유의하게 높은 것(t[357] = 8.87, p < 0.001; t[372] = 5.92, p < 0.001)으로 분석되었다. 한편, 콘솔 의자와 버스 승객석의 차이가 가장 큰 항목은 머리지지부의 지지성(평균 차이 = 1.3점), 등받이의 크기 적절성(1.4점), 좌면의 쿠션감(2.4점)이었다. 또한, 콘솔 의자와 사무용 의자의 차이가 가장 큰 항목은 머리지지부의 지지성(1.3점), 등받이의 지지성(2점), 좌면의 허깅성(2.1점)이었다.

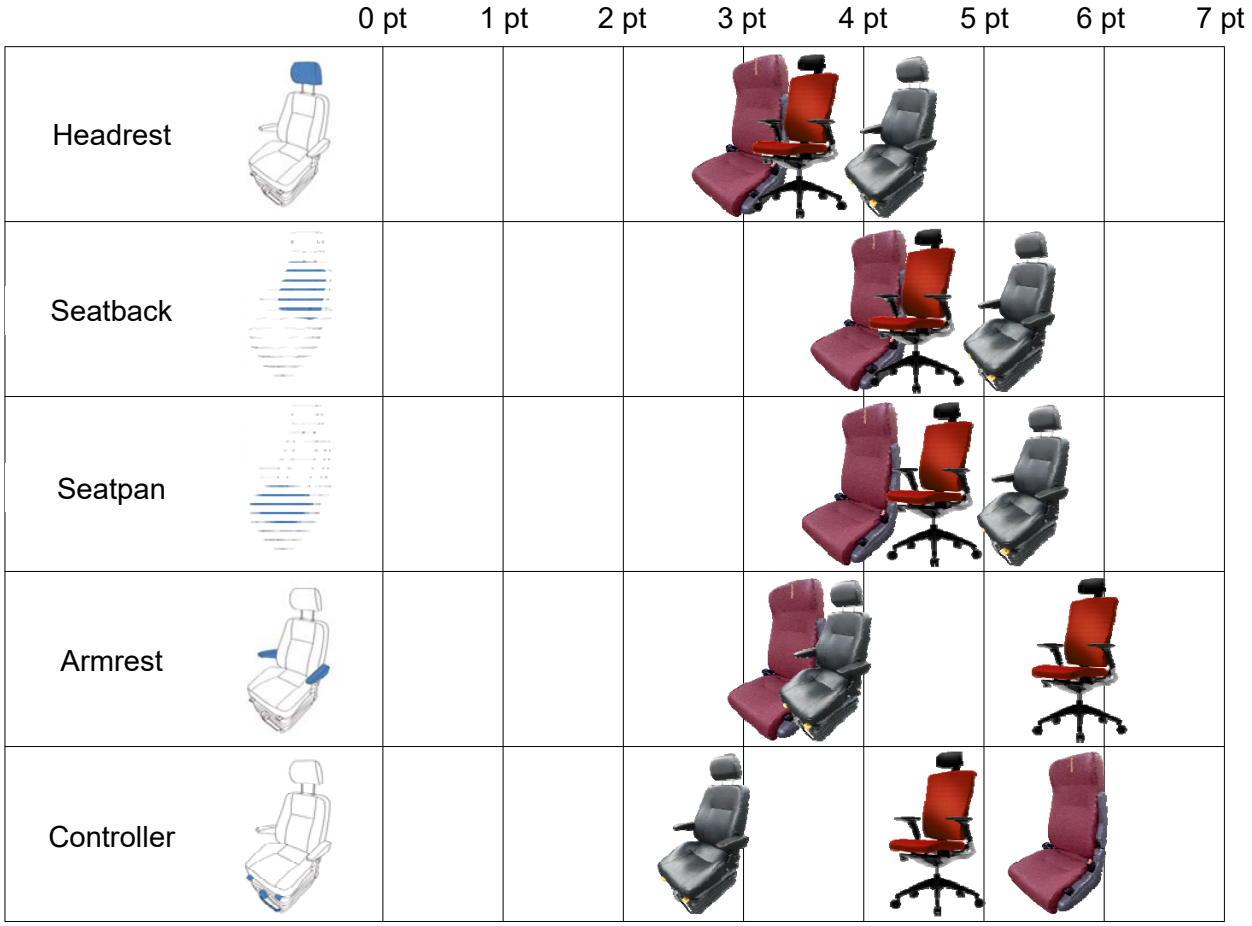


Figure 4. Summary of evaluation results

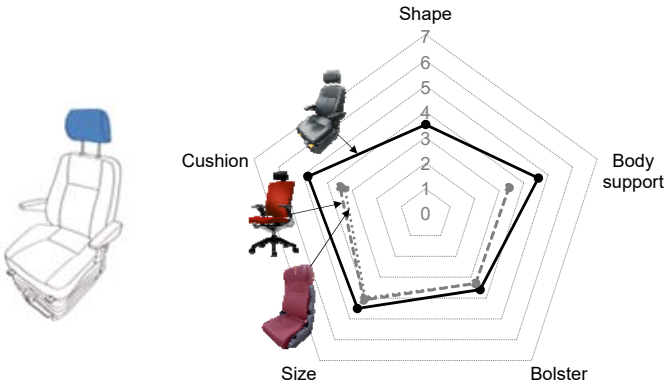
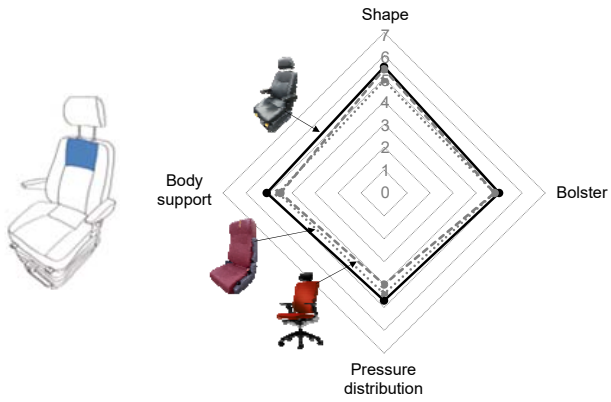
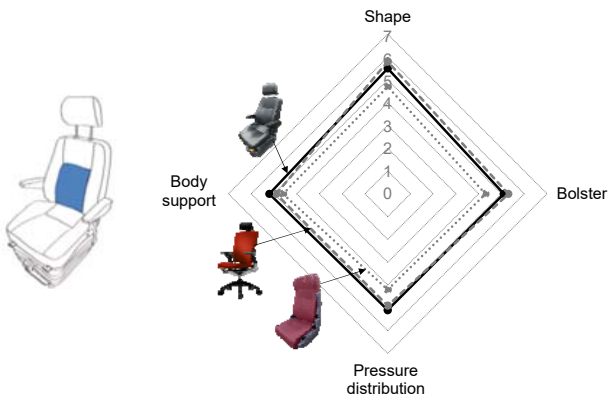


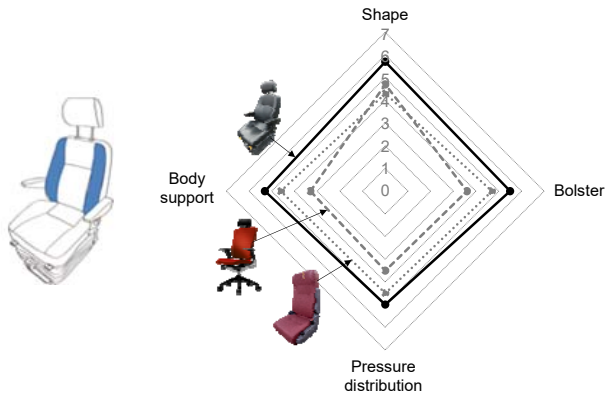
Figure 5. Satisfaction comparison of headrest



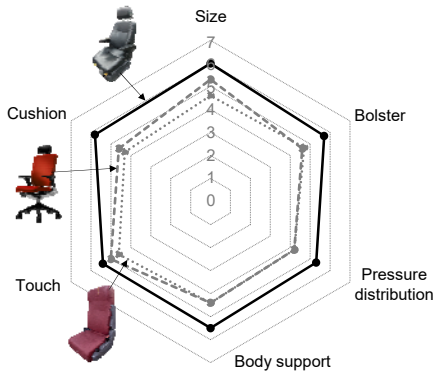
(a) Thoracic support



(b) Lumbar support



(c) Side support



(d) Overall

Figure 6. Satisfaction comparison of seatback

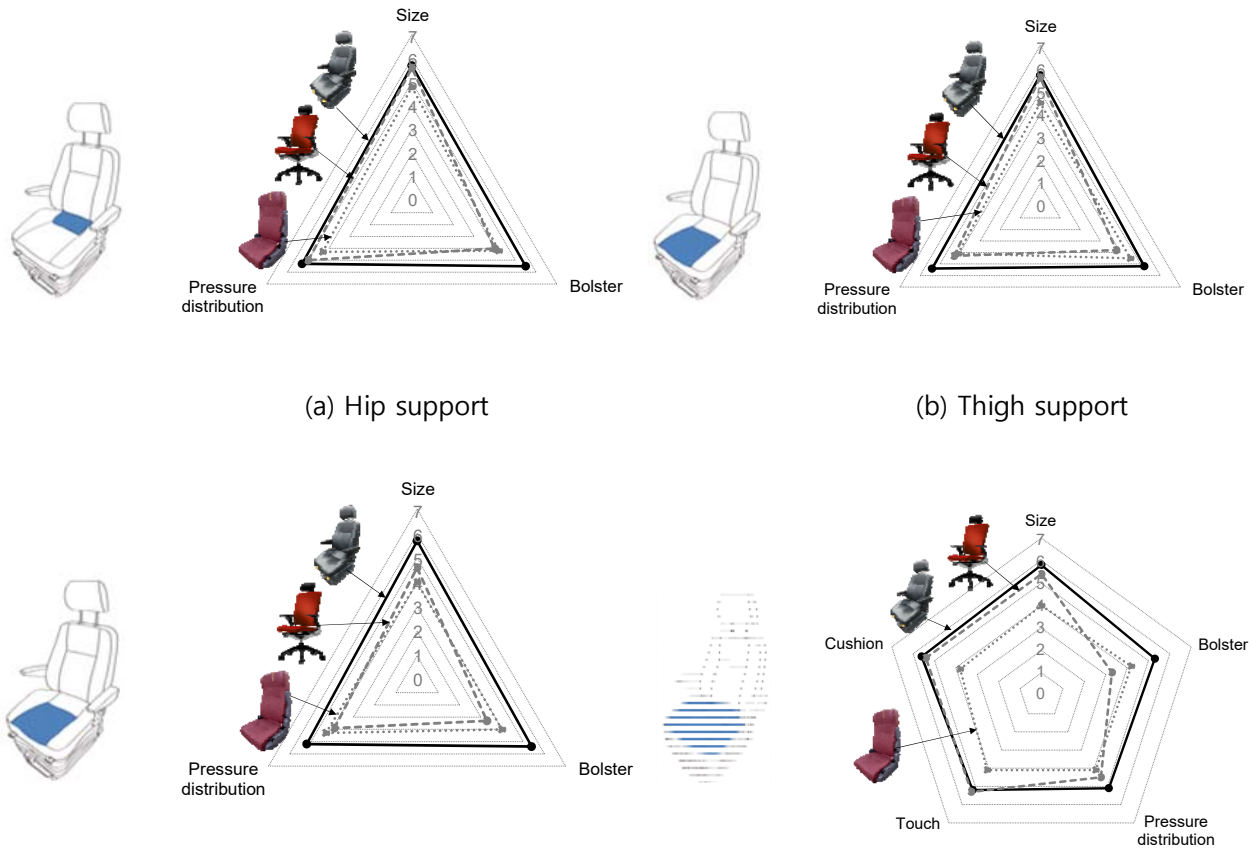


Figure 7. Satisfaction comparison of seatpan

팔걸이는 사무용 의자, 콘솔 의자, 그리고 버스 승객석 순으로 선호되는 것으로 나타났다(Figure 4). 팔걸이(Figure 8)에 대한 콘솔 의자의 평균 선호도(3.8 ± 1.6점)는 버스 승객석(3.5 ± 1.3점)보다 0.3점 정도 높았으나, 사무용 의자(5.9 ± 1.3점)보다 3/5정도로 유의하게 낮은 것(t[192] = -10.13, p < 0.001)으로 나타났다. 콘솔 의자의 선호도가 버스 승객석보다 가장 높았던 팔걸이 항목은 너비 적절성(평균 차이 = 2.2점)이었으며, 사무용 의자보다 가장 낮았던 팔걸이 항목은 높낮이 조작 용이성(4.6점)이었다.

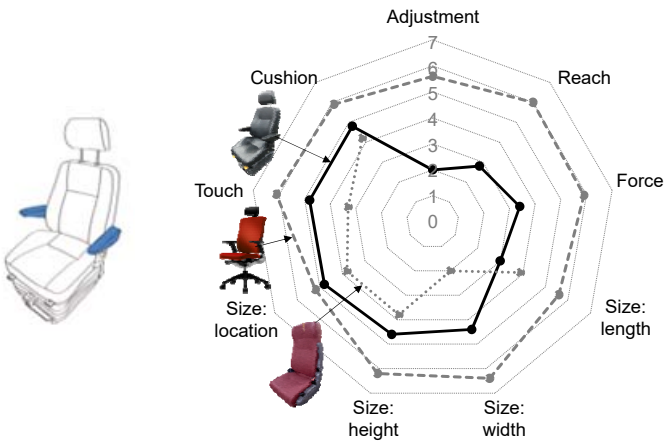
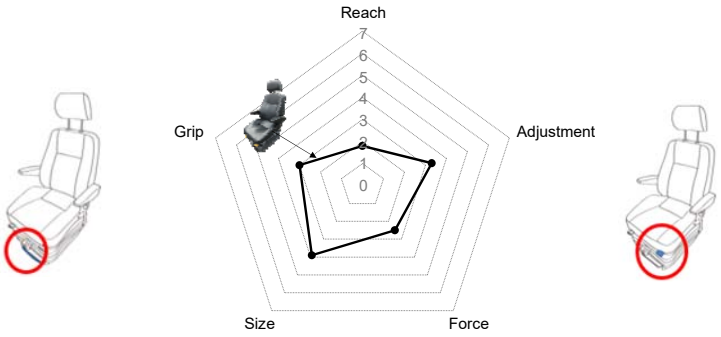
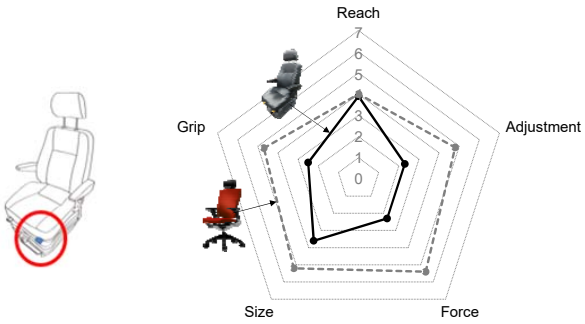


Figure 8. Satisfaction comparison of armrest

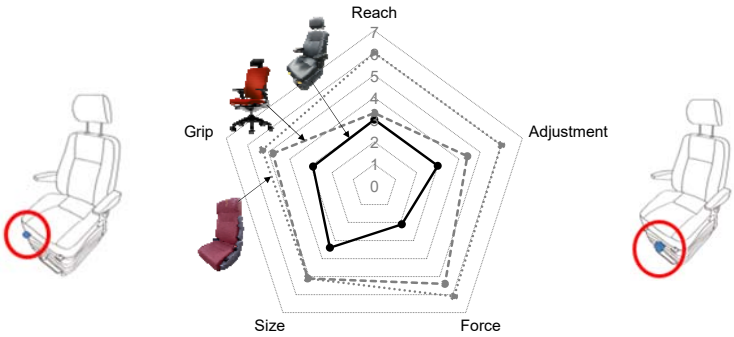
조절 레버는 콘솔 의자가 다른 유형의 의자보다 비선호되었다(Figure 4). 조절 레버의 좌면 높이와 등받이 각도(Figure 9)에 대한 콘솔 의자의 평균 선호도(2.8 ± 1.4점)는 버스 승객석(5.7 ± 1.3점)과 사무용 의자(4.7 ± 1.3점)보다 각각 2.9점과 1.9점 정도 유의하게 낮은 것(t[132] = -13.97, p < 0.001; t[236] = -10.74, p < 0.001)으로 나타났다. 한편, 콘솔 의자의 선호도가 버스 승객석과 사무용 의자보다 가장 낮았던 항목은 조작 힘 적절성(평균 차이 = 4점, 3.3점)이었다.



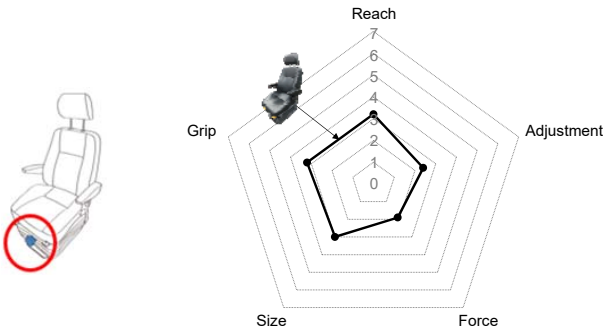
(a) Seat fore/aft location



(b) Cushion tilting



(c) Seatback angle



(d) Suspension hardness

Figure 9. Satisfaction comparison of adjustment lever

4. Discussion

본 연구는 차탐 콘솔 의자의 개선사항을 파악하기 위하여 콘솔 의자를 다른 유형의 의자들(버스 승객석, 사무용 의자)과 사용성 측면, 생체역학적 측면, 그리고 감성적 측면에서 비교 평가하였다. 본 연구는 기존 문헌을 조사해 본 결과 군용 콘솔 의자의 사용성 및 감성에 대한 연구는 아직까지 부재한 것을 파악하였는데, 이는 군 임무의 특성상 콘솔 의자의 사용성이나 감성보다는 견고함이 우선적으로 고려되어 왔기 때문인 것으로 사료된다. 콘솔 운용관은 콘솔 의자에 착석하여 장시간 감시 임무를 수행하는데 의자가 신체적으로 불편할 경우 신체 통증 및 피로가 유발될 수 있어 운용관의 감시 임무에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 사용성 측면, 생체역학적 측면, 그리고 감성적 측면이 종합적으로 고려된 인간공학적 차탐 콘솔 의자는 운용관에게 편안함을 제공함으로써 차탐의 운용효율성을 제고할 수 있다.

콘솔 의자의 머리지지부, 등받이, 좌면은 버스 승객석과 사무용 의자보다 선호되는 것으로 나타나 장시간 감시 임무를 수행하는 운용관에게 편안함을 제공할 수 있다. 콘솔 의자의 머리지지부는 다른 의자들보다 공통적으로 머리를 잘 지지해주는 정도를 나타내는 지지성의 평가 결과가 가장 우수한 것으로 나타났는데, 콘솔 의자의 머리지지부는 운용관의 머리 위치로 조절이 가능하고 적절한 쿠션이 제공되기 때문인 것으로 추정된다. 또한, 콘솔 의자의 등받이와 좌면은 다른 의자들보다 크기 적절성, 지지성, 쿠션감, 그리고 허깅성과 같은 항목에서 높은 만족도를 보였는데, 이는 콘솔 의자의 등받이와 좌면이 인체를 감싸는 형상이며 인체를 지지하는 면적이 넓고 우수한 쿠션감을 제공하기 때문인 것으로 사료된다.

콘솔 의자의 팔걸이와 조절레버는 다른 의자들보다 만족도가 낮게 평가되어 개선될 필요가 있다. 콘솔 의자의 팔걸이는 사무용 의자보다 9개 항목(높이 조작 용이성, 높이 조절 장치 도달 용이성, 조작 힘 적절성, 길이 적절성, 너비 적절성, 높이 적절성, 위치 적절성, 접촉감, 쿠션감)에서 낮게 평가되었는데, 특히 높이 조작 용이성(평균 차이 = 4.6점)이 가장 차이가 큰 것으로 나타났다. 콘솔 의자 팔걸이의 높이를 조절하기 위해서는 팔걸이 하단에 위치한 회전레버를 돌려 높이를 조절한 후 다시 회전레버를 돌려 고정해야 하는데, 조절 절차가 단순하지 않고 회전레버의 위치가 잘 보이지 않는 팔걸이 하단에 위치하기 때문에 만족도가 낮았던 것으로 사료된다. 그러나 콘솔 의자의 경우 운용관이 정해져 있고 운용관이 변경되더라도 최초 팔걸이의 높이를 인체크기에 맞게 한 번만 조작하면 되기 때문에 팔걸이 높이 조절 회전레버의 사용 빈도가 낮다.

본 연구는 평가자의 수가 적다는 한계가 있고, 추후 콘솔 의자에 장시간 착석하여 평가해 보는 것이 필요하다. 본 연구는 운용관의 연령, 성별, 그리고 인체크기를 대표하는 10명이 평가를 수행하였으나 실제 차탐 운용관을 포함하여 보다 많은 인원에 대한 평가가 요구된다. 또한, 본 연구에서는 평가자가

콘솔 의자에 단시간 착석을 통해 주관적 만족도를 평가하였는데, 추후 장시간 감시 임무를 고려하여 장시간 착석 평가가 수행될 필요가 있다.

Acknowledgements

This work was funded by grants from LIG Nex1.

References

American National Standards Institution (ANSI), *Human factors engineering of computer workstations*, California, USA: Human Factors and Ergonomics Society, 2007.

Grandjean, E, *Fitting the task to the man*, Talor & Francis Ltd. London, 1980.

Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., and Chen, H., Ant colony optimization for solving an industrial layout problem, *European Journal of Operational Research*, 183(2), 633-642, 2007.

Holman, G.T., Carnahan, B.J., and Bulfin, R.L., "Using linear programming to optimize control panel design from an Ergonomics perspective", *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting* (pp. 1317-1321), USA, 2003.

Jung, E. S., Park, S., and Chang, S. Y., A CSP technique-based interactive control panel layout, *Ergonomics*, 38(9), 1884-1893, 1995.

Kim, J., Yoon, S., Pyun, H., Cho, Y., and Kim, M., Design of ergonomic chair considering consumer's emotional preference and usability and development of interface for designers, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 19(1), 2000.

Kim, J., Na, H., Joe, D., Shin, Y., Park, S., & Kim, J., Development of questionnaire for automobile seat comfort evaluation, *Journal of Korean Society for Emotion & Sensibility*, 13(2), 381-390, 2010.

Kim, Y., Park, J., Choi, Y., Lee, H., Park, K., Kim, M., and You, H., "Development of and ergonomic evaluation questionnaire for a bus seat", *In Proceedings of the 2012 Fall Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2012.

Kirk, N. S., et al., Discrimination of chair seat heights, *Ergonomics*, 12(3), 403-413, 1969.
Kolich, M., Automobile seat comfort: occupant preferences vs. anthropometric accommodation, *Applied*

Ergonomics, 34, 177-184, 2003.

Lee, H., Park, J., Choi, Y., Park, K., Yoon, M., Kim, M., Kim, K., Kim, H., Lee, Y., Kwon, O., Jung, Y., and You, H., "Development of an ergonomic bus passenger seat by an analysis of seat comfort and 3D seat profile", *In Proceedings of the 2013 Fall Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2013.

Pham, D.T. and Onder, H.H., A knowledge-based system for optimizing workplace layouts using a genetic algorithm, *Ergonomics*, 35(12), 1479-1487, 1992.

Park, J., Choi, Y., Lee, H., Park, K., Kim, M., and You, H., "Development of an ergonomic evaluation protocol for a bus seat", *In Proceedings of the 2013 Spring Conference of Ergonomics Society of Korea*, 2013.

Sanders, M. S., and McCormick, E. J., Human factors in engineering and design, McGraw Hi, 1993.

Sargent, T. A., Kay, M. G., and Sargent, R. G., A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator, *Human Factors*, 39(3), 389-309, 1997.

Smith, D. R., andrews, D. M., & Wawrow, P. T., Development and evaluation of the automotive seating discomfort questionnaire (ASDQ), *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 141-149, 2006.

Udoson, U.J., Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CADWORK, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 219-228, 2006.

Wang, M.J. Liu, C.M. and Pan, Y.S., Computer-aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm, *Ergonomics*, 29(6), 1215-1233, 1991.

Xu, Y., Meng, Q., Yu, K., and Xu, Z., A layout method for control panel of thermal power plant, *Key Engineering Materials*, 419-420, 657-660, 2010a.

Xu, Y., Meng, Q., and Yang, Z., Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console, *Advanced Computer Control, International Conference on*, 5, 541-544, 2010b.

Xu, Y., Yang, Z., and Meng, Q., Particle swarm optimization method for panel layout, *Key Engineering Materials*, 450, 308-311, 2011.