JESK J Ergon Soc Korea 2021; 40(2): 123-138
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2021.40.2.123
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Optimal Dimensional Guidelines for Urban Air Mobility (UAM) Internal Space Design

Chae-Won Park[1], Yong-Ku Kong[1], Kyeong-Hee Choi[1], Min-Uk Cho[1], Seoung-Yeon Kim[1], Ki-Seok Sung[2], Kye-Yoon Kim[2], Min-Jung Kim[1]

[1]Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16419
[2]Hyundai Motor Company, UAM Vehicle Development Team, Uiwang, 16082

Urban Air Mobility (UAM) 실내 공간 디자인을 위한 최적의 치수 가이드라인 제시

박채원[1], 공용구[1], 최경희[1], 조민욱[1], 김승연[1], 성기석[2], 김계윤[2], 김민정[1]

[1]성균관대학교 산업공학과
[2]현대자동차 UAM 기체개발팀

Corresponding Author
Min-Jung Kim
Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16419
Email : xlsk1013@naver.com

Received : March 26, 2021
Accepted : April 26, 2021

Copyright@2021 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of this study is to derive design dimensions for each spatial factor based on subjective satisfaction evaluation using variable UAM (Urban Air Mobility) Mockup and to suggest guidelines for UAM internal space design.

Background: Urban Air Mobility (UAM), which enables transportation of cargo and passengers in urban areas, has been proposed as a solution to the problem of economic loss and environmental pollution caused by ground transportation worldwide. Despite the active development in many companies such as UBER, Airbus, and Hyundai, the research on UAM internal space design is very insufficient compared to the research on UAM's technical factors and the design guidelines for each internal space factors based on user satisfaction are needed.

Method: In this study, 100 adults in their 20s were tested by variable UAM Mockups based on existing design guidelines for aircraft and helicopters and 5 to 95%ile of body dimensions presented in Size Korea. As independent variables, Seat Angle (0~30°), Seat Width (390~470mm), and Seat Height (350~450mm) were selected, and as dependent variables, Subjective Rating Level and Space/Seat Satisfaction for Seat (front/rear) Distance, Side Allowance Distance, and Ceiling Height. Subjective Rating Level for each factor was measured in three categories: First Uncomfortable Distance (FUD), Lowest Acceptable Distance (LAD), and First Comfortable Distance (FCD), and a survey of Space/Seat Satisfaction was conducted whenever each point was reached.

Results: As a result of the experiment, the highest satisfaction with Space/Seat Satisfaction was shown at the Seat Angle 20°, Seat Width 450, 470mm, and Seat Height 400mm. A guideline for each Subjective Rating Level (FUD, LAD, FCD) for Seat (front/rear) Distance, Side Allowance Distance, Ceiling Height are derived.

Conclusion: It is assumed that the appropriate design guidelines and methods derived for each Subjective Rating Level (FUD, LAD, FCD) by combining seat design factors and cabin space design factors can be used not only for UAM but also for vehicle and aircraft internal design.

Application: If the Subjective Rating Level (FUD, LAD, FCD) is appropriately considered, it can be used as a guideline to satisfy both user satisfaction and optimization of UAM internal space design.

Keywords: Urban Air Mobility (UAM), Internal space design, Subjective satisfaction, Subjective rating level (FUD, LAD, FCD)

1. Introduction

한국 교통 연구원의 발표에 따르면 지상 교통의 혼잡으로 인한 경제적 손실이 약 33조원으로 추정되며, 지상 교통 체계의 환경 오염의 주 원인인 이산화탄소 배출량의 16%를 차지할 만큼 심각한 문제에 직면하고 있다(Jun et al., 2020). 이러한 지상 교통의 여러 문제점들을 해결하기 위해, 인구가 밀집된 도심지역에서는 헬리콥터 사용을 시도하고 있으나 소음, 안전성, 연료효율, 고비용 등의 여러 새로운 문제들로 인해 제한적으로 사용되고 있는 현실이다(Kim, 2017). 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 새로운 교통 서비스 체계에 대한 연구가 진행되고 있다.

새로운 교통 서비스 도심항공 모빌리티(Urban Air Mobility, UAM)가 하나의 지상 교통의 문제점에 대한 대책으로 대두되고 있으며, 이는 전기동력을 이용한 수직 이착륙(electric vertical takeoff and landing, eVTOL) 비행체인 배송용 드론이나 Air-Taxi를 통해 도심 속에서 화물이나 승객 운송을 가능하게 해주는 교통 서비스를 말한다(Jun et al., 2020). 이러한 UAM의 개발로 인하여 현재 극심한 지상교통망의 정체 및 포화 문제에 대한 해결이 가능할 것으로 전망되며(Thipphavong et al., 2018) 효율적인 Air Traffic Operation으로 활용될 것으로 예상하고 있다(Prevot et al., 2016). 최근 많은 국내외 기업들이 UAM에 관한 연구를 활발히 진행 중이며, 국외 대표 기업인 Uber는 Boeing, Embraer, Bell 등 기존 항공기 제조업체들과 적극적인 연계를 진행하여 개발 중이고 Airbus는 현재 UAM에 기술 개발에 가장 많이 투자하는 기업 중 하나로 알려져 있다. 국내에서도 UAM에 대한 연구가 진행 중이며 한국항공우주산업, 현대 자동차, 한화 시스템 등이 적극적으로 기술 개발에 힘쓰고 있다(Lee et al., 2019).

다만, 현재 진행되고 있는 UAM에 대한 대부분의 연구는 안전성, 소음/매연, 설계 유연성, 배터리에 관한 기체 자체에 대한 기술적 연구에 집중되어 있어(Hwang, 2018), 실제 UAM 이용 대상이 되는 사용자들의 주관적 만족도를 고려한 내부 공간 설계 가이드라인에 대한 연구가 매우 부족한 현실이다. 기내 공간 설계 시 가장 핵심적인 요소는 밀폐된 환경에서 사용자의 심리적 편안함과 인간공학적 요소의 충족이므로(Abbasov, 2019), UAM 개발 연구에 있어 기술적인 연구와 함께 사용자 만족도를 기반으로 한 기내 공간 설계 연구가 필요하다고 할 수 있다. 또한, 기내 공간에서 가장 중요한 공간을 차지하는 요소인 좌석은 기내 공간과 밀접한 연관성이 있음에도 불구하고, 기존 연구에서는 좌석과 기내 공간 구성 요소를 각각 별개의 항목으로 진행된 연구가 대부분이며, 좌석과 기내 공간 요소의 조합을 통한 연구 결과를 찾는 것에 어려움이 있다.

따라서 본 연구는 주관적 만족도를 통해 사용자 친화적인 UAM 내부 공간 설계에 필요한 좌석 배치 각도, 좌석 너비, 좌석 높이 등 좌석 설계 요소와 좌석 앞뒤 간격, 좌우 여유 공간, 천장 높이 등 기내 공간 요소를 함께 고려한 적정 치수를 산출하여, UAM 실내 공간 설계의 가이드라인을 제시하고자 한다. 이를 위해 기존 차량 및 항공기에 대한 설계 가이드라인을 기반으로 한 가변 UAM mockup을 제작하였으며, 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)과 공간/좌석에 대한 주관적 만족도를 평가하였다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구는 건강한 성인 100명(남성 69명; 여성 31명)을 대상으로 수행하였으며, 평균 연령은 22.1세(18~32세)이다. 실험에 참여한 피실험자는 키, 앉은키, 몸무게, 허리 두께, 앉은 엉덩이너비, 앉은 오금높이, 앉은 엉덩이 오금수평길이를 측정하였고 신체 측정 치수의 평균과 표준편차 및 범위는 Table 1과 같다.

Table 1. Anthropometric data of participants

Variable	Male		Female	
	Mean ± SD	Range	Mean ± SD	Range
Height (cm)	174.6±4.9	162.2~187.3	161.5±4.1	149.6~168.5
Sitting height (cm)	89.7±3.3	82.3~101	83.3±3.2	76.9~90.9
Weight (kg)	74.3±13.8	52.7~115.9	54.7±5.9	44.4~71.4
Waist depth (cm)	20.0±3.2	13.4~29.0	17.4±1.4	15.1~22.3
Hip breadth, sitting (cm)	36.6±2.8	31.3~46.3	37.2±2.0	33.1~41.7
Popliteal height (cm)	43.0±1.9	38.7~47.4	40.3±1.4	38.1~43.1
Buttock-Popliteal length (cm)	46.8±2.5	40.4~52.2	44.4±2.2	39.5~48.9

2.2 Apparatus

본 연구에서는 UAM 실내 공간의 각 설계 요소에 대한 연구를 수행하기 위해 좌석 설계 요소인 좌석 배치 각도, 좌석 너비, 좌석 높이, 그리고 공간 설계 요소인 좌석 앞뒤 간격, 좌우 여유 공간, 천장 높이를 조절할 수 있는 가변 UAM mockup을 제작하여 연구를 진행하였다(Figure 1). 각 설계 요소 별 치수 및 조절 범위는 좌석 배치 각도(0°, 10°, 20°, 30°), 좌석 너비(390, 410, 430, 450, 470mm), 좌석 높이(350, 400, 450mm), 좌석 깊이(450mm), 좌석 앞뒤 간격(0~899mm), 천장 높이(989~1,800mm)로 연구 범위에 맞게 수동으로 조절할 수 있도록 제작하였다(Figure 2).

Figure 1. Layouts of UAM Mockup

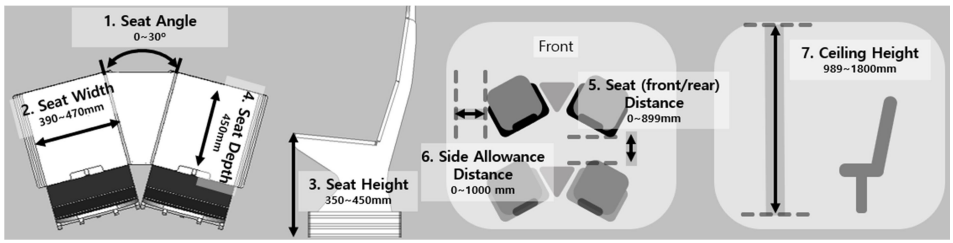

Figure 2. Definition and range of design dimensions

본 연구에 사용된 각 설계 요소 별 정의는 다음과 같다.

1. 좌석 배치 각도: 좌석 배치 각도는 옆 좌석과의 사이 각도를 말한다(Figure 2). 기존 항공기 Air New Zealand사 Boeing 777-200ER (772)의 Business class와 Boeing 777-300 (773)의 Business premier class 좌석의 배치 각도는 45°이지만, 이는 일반 좌석에 비해 넓은 실내 공간을 활용한 설계 치수이므로 45° 미만인 0°, 10°, 20°, 30° 수준(Discrete Value)을 적용하였다. 좌석 배치 각도는 콘솔 모듈을 삽입하여 조절하였다.

2. 좌석 너비: 좌석 너비는 착좌 부분의 가로 길이를 말한다. 좌석 너비는 앉은 엉덩이너비와 관련 있는 요소로, 사무용 의자의 설계 표준은 최소 330mm (KS G 4215, 2016), 489mm (BIFMA G1-2013) 또는 450mm (ANSI/HFES 100-2007; 95%ile 앉은 엉덩이너비 380mm와 여유 공간 70mm)의 공간이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 390~470mm 범위 내에서 20mm 간격으로 390, 410, 430, 450, 470mm (discrete value) 수준을 적용하였다. 좌석 너비는 각 수준에 따른 좌석 너비 콘솔을 교체하며 조절하였다.

3. 좌석 높이: 좌석 높이는 기체 바닥으로부터 착좌 부분까지의 높이를 말한다. 사무용 의자의 설계 표준은 380~410mm (KS G 4215, 2016), 376~512mm (BIFMA G1-2013), 420~510mm (CSA-Z412), 380~540mm (MIL-STD-1472F), 380~560mm (ANSI/HFES 100-2007)이며 2018 이후 출시한 SUV 차종, 14대의 차량을 분석한 결과 350~410mm의 값을 보였다. 조사 결과에 대한 치수를 고려하여 350, 400, 450mm (discrete value) 수준으로 적용하였다. 좌석 높이는 높이 조절 콘솔을 이용하여 수동으로 각 높이에 맞게 삽입 또는 제거하여 조절하였다.

4. 좌석 깊이: 좌석 깊이는 착좌 부분의 세로 길이를 말한다. 좌석 깊이는 앉은 엉덩이 오금수평길이와 관련 있는 요소로 사무용 의자의 설계 표준은 최대 380~560mm (KS G 4215, 2016; BIFMA G1-2013; CSA-Z412; MIL-STD-1472F; ANSI/HFES 100-2007)로 다양하며, 기존 차량은 최소 362mm, 최대 440mm이며(Kolich, 2003; Reed, 1994) 기존 항공기를 조사한 결과는 450mm이었다(Rutherford, 1998). 본 연구에서는 좌석 깊이를 450mm로 고정하였다.

5. 좌석 앞뒤 거리: 좌석 앞뒤 거리는 착석한 좌석과 앞좌석과의 최단 거리를 말한다. 좌석 앞뒤 간격은 허리 두께와 관련 있는 요소로, Quigley et al. (2001)은 유럽의 95%ile 허리 두께를 고려할 때(300mm) 최소 305mm의 간격이 필요하다고 하였으며, MDC (UBER Mission Driven Cabin)에서는 899mm를 제안하였다. 따라서 본 연구에서는 사용자의 선호 좌석 간격 평가를 위해 300~899mm (continuous value)로 지정하였다. 좌석 앞뒤 간격은 피실험자가 착석한 좌석의 앞쪽 좌석을 앞, 뒤로 움직여 간격의 거리를 조절하였다.

6. 좌우 여유 거리: 좌우 여유 거리는 좌석으로부터, 좌측 또는 우측의 여유 거리를 말한다. 대부분의 항공기 및 차량의 좌우 여유 공간은 여유로운 공간을 적용하기 보다는 좌석의 크기에 맞게 설정하는 경향이 있다. 따라서 UAM Mockup의 폭을 고려하여 0~1,000mm (continuous value)로 선정하고, 좌우 벽을 수동으로 이동하여 조절할 수 있도록 하였다.

7. 천장 높이: 천장 높이는 기체 바닥에서부터 천장까지의 높이를 말한다. 적절한 천장 높이는 기체를 설계하는 데에 있어 매우 중요한 요소임에도 불구하고(Causse et al., 2011), 천장 높이에 대한 연구 및 구체적인 치수를 제시하는 문헌은 찾아보기 어렵다. 따라서 기존 차량의 치수인 830~1,050mm 및 UAM mockup의 높이를 고려하여 989~1,800mm (continuous value) 범위 내에서 도르래 원리를 이용하여 조절할 수 있도록 하였다.

2.3 Experimental design

실험 시작 전, 피실험자에게 실험에 대한 자세한 설명, 목적, 진행 절차에 대해 안내한 후 신체 치수를 측정하였다. 본 연구에서는 총 5가지 실험을 실시하였는데, (1) 좌석 배치 각도(0°, 10°, 20°, 30°)에 따른 좌석 앞뒤 간격; (2) 좌석 배치 각도(0°, 10°, 20°, 30°)에 따른 좌우 여유 거리; (3) 좌석 너비(390, 410, 430, 450, 470mm)에 따른 좌석 앞뒤 거리; (3) 좌석 너비(390, 410, 430, 450, 470mm)에 따른 좌우 여유 거리, (5) 좌석 높이(350, 400, 450mm)에 따른 천장 높이에 대한 주관적 평가 수준과 만족도를 각각 평가하였다.

2.3.1 Distance of subjective rating level

본 연구에서는 좌석 배치, 너비, 높이에 따른 앞뒤 간격, 좌우 여유 거리, 천장 높이에 대한 주관적 평가 수준에 대한 거리를 평가하기

위해, 다음과 같이 세 가지 거리를 정의를 사용하였다.

① 처음으로 불편함을 느끼는 지점, FUD (First Uncomfortable Distance)

② 불편함을 참기 어려운 지점, LAD (Lowest Acceptable Distance)

③ 처음으로 편안함을 느끼는 지점, FCD (First comfortable Distance)

불편도 수준 측정 순서는 FUD-LAD-FCD이며 측정하고자 하는 설계 요소에 대해, 최대치에서 시작하여 서서히 좁혀가면서 FUD(처음으로 불편함을 느끼는 지점)와 LAD(불편함을 참기 어려운 지점)를 각각 측정한 후, LAD에서 다시 점점 넓혀가며 FCD(처음으로 편안함을 느끼는 지점)를 측정하였다(Figure 3).

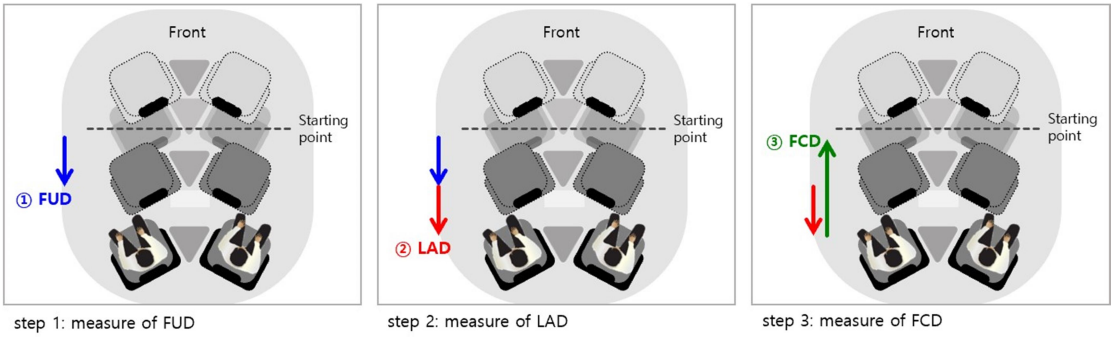

Figure 3. Steps for measuring FUD, LAD, and FCD [example: seat (font/rear) distance]

2.3.2 Space/seat satisfaction

본 연구에서는 공간/좌석 만족도를 평가할 수 있도록 총 4문항을 질문하였으며 이 중 3가지 항목(전반적인 공간에 대한 만족도, 갇히거나 답답한 느낌에 대한 만족도, 착좌 자세에 대한 만족도)은 일반 공통 항목이고, 그 외 항목은 각 실험에 따라 구체적인 공간에 대한 적절성에 대하여 질문하였다(Table 2).

Table 2. General and detail space/seat satisfaction

Space/Seat satisfaction						
General satisfaction		5-point scale				
		Very dissatisfied	Dissatisfied	Normal	Satisfied	Very satisfied
1) How is the overall satisfaction of the space?		1	2	3	4	5
2) Do you feel trapped or stuffy?		1	2	3	4	5
3) Are you comfortable for sitting down?		1	2	3	4	5
Detail satisfaction		5-point scale				
Seat (front/rear) distance	Is there enough free space on the foot/knee?	1	2	3	4	5
Side allowance distance	Do you have proper space from the side?	1	2	3	4	5
Ceiling height	Is the ceiling height appropriate?	1	2	3	4	5

2.3.3 Experimental procedures

좌석 앞뒤 거리(Seat front/rear distance) 평가

실험 1: 좌석 배치 각도에 대한 좌석 앞뒤 거리

좌석 배치 각도(0, 10, 20, 30°)와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)에 따른 좌석 앞뒤 거리 및 만족도(공간/좌석)에 대한 실험절차는 다음과 같다.

① 좌석 배치 각도 중 임의의 배치 각도를 정해 실험환경을 준비한 후, 피실험자는 좌석에 앉는다. 앞 좌석과 피실험자가 앉아있는 뒷 좌석과의 최초 시작 거리 원점은 UBER MDC (Mission Driven Cabin)를 참고하여 889mm 지점으로 선정하였다.
② 실험자는 앞 좌석을 이동하여 서서히 앞뒤 간격을 좁혀가면, 피실험자는 불편함을 느끼기 시작하는 지점(FUD)에서 정지하도록 요청한다. 이때, 실험자는 FUD 지점을 기록하고, 피실험자는 FUD 지점에서의 공간/좌석에 대한 주관적 만족도를 평가한다.
③ FUD 지점 기록과 주관적 만족도 평가 후, 실험자는 다시 FUD 지점에서 서서히 앞뒤 간격을 좁히며, 피실험자는 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)에서 다시 정지를 요청한다. 실험자는 LAD 지점을 기록하고, 피실험자는 LAD 지점에서의 공간/좌석에 대한 주관적 만족도를 평가한다.
④ LAD 지점에 대한 평가가 끝나면, 실험자는 LAD 지점에서 서서히 앞뒤 간격을 넓히며, 피실험자는 처음 편안함을 느끼는 지점(FCD)에서 정지를 요청한. 실험자는 FCD 지점을 기록하고, 피실험자는 FCU 지점에서의 공간/좌석에 대한 주관적 만족도를 평가한다.

실험 2: 좌석 너비에 대한 좌석 앞뒤 거리

좌석 너비(390, 410, 430, 450, 470mm)와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)에 따른 좌석 앞뒤 거리 및 만족도(공간/좌석)에 대한 실험절차는 실험 1과 동일하다.

좌우 여유 거리(Side allowance distance) 평가

실험 3: 좌석 배치 각도에 대한 좌우 여유 거리

좌석 배치 각도(0, 10, 20, 30°)과 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)에 따른 좌우 여유 거리 및 만족도(공간/좌석)에 대한 실험절차는 다음과 같다.

① 좌석 배치 각도 중 임의의 배치 각도를 정해 실험환경을 준비한 후, 피실험자는 좌석에 앉는다. 좌우 벽면과 피실험자가 앉아있는 좌석과의 최초 시작 거리 원점은 UBER MDC (Mission Driven Cabin)를 참고하여 1,000mm 지점으로 선정하였다.
② 실험자는 원점에서 벽면을 이동하여 서서히 좌우 여유 거리를 좁히고, 피실험자는 불편함을 느끼기 시작하는 지점(FUD)에서 정지하도록 요청한다. 실험자는 FUD 지점을 기록하고, 피실험자는 FUD 지점에 대한 공간/좌석의 주관적 만족도를 평가한다.
③ FUD 지점 기록과 주관적 만족도 평가 후, 실험자는 다시 FUD 지점에서 서서히 좌우 여유 거리를 좁히면, 피실험자는 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)에서 다시 정지를 요청한다. 실험자는 LAD 지점을 기록하고, 피실험자는 LAD 지점에 대한 공간/좌석의 주관적 만족도를 평가한다.
④ LAD 지점에 대한 평가가 끝나면, 실험자는 LAD 지점에서 서서히 좌우 여유 거리를 넓히며, 피실험자는 편안함을 느끼는 지점(FCD)에서 정지를 요청하게 된다. 실험자는 FCD 지점을 기록하고, 피실험자는 FCU 지점에 대한 공간/좌석의 주관적 만족도를 평가한다.

실험 4: 좌석 너비에 대한 좌우 여유 거리

좌석 너비(390, 410, 430, 450, 470mm)와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)에 따른 좌우 여유 거리 및 만족도(공간/좌석)에 대한 실험절차는 실험 3과 동일하다.

천장 높이 (Ceiling height) 평가

실험 5: 좌석 높이에 대한 천장 높이

좌석 높이(350, 400, 450mm)와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)에 따른 천장 높이 및 만족도(공간/좌석)에 대한 실험절차는 다음과 같다.

① 좌석 높이 중 임의의 좌석 높이를 정해 실험환경을 준비한 후, 피실험자는 좌석에 앉는다. 천장과 피실험자가 앉아있는 좌석과의 최초 시작 천장 높이는 1,800mm로 세팅한다.
② 실험자는 최초 천장 높이에서 서서히 천장 높이를 낮추고, 피실험자는 불편함을 느끼기 시작하는 지점(FUD)에서 정지하도록 요청한다. 실험자는 FUD 지점을 기록하고, 피실험자는 FUD 지점에 대한 공간/좌석의 주관적 만족도를 평가한다.
③ FUD 지점 기록과 주관적 만족도 평가 후, 실험자는 다시 FUD 지점에서 서서히 천장 높이를 낮추며, 피실험자는 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)에서 다시 정지를 요청한다. 실험자는 LAD 지점을 기록하고, 피실험자는 LAD 지점에 대한 공간/좌석의 주관적 만족도를 평가한다.
④ LAD 지점에 대한 평가가 끝나면, 실험자는 LAD 지점에서 서서히 천장 높이를 높이고, 피실험자는 편안함을 느끼는 지점(FCD)에서 정지를 요청하게 된다. 실험자는 FCD 지점을 기록하고, 피실험자는 FCU 지점에 대한 공간/좌석의 주관적 만족도를 평가한다.

2.4 Statistical analysis

본 연구에서는 좌석 배치 각도, 좌석 너비, 좌석 높이에 따른 주관적 평가 수준과의 상호작용에 영향을 주는 좌석 앞뒤 거리, 좌우 여유 거리 및 천장 높이와 공간/좌석 만족도에 대한 분석을 위해 다원배치 분산분석(SPSS 20, SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA)을 이용하였으며, 유의 수준(α)은 0.05로 수행하였다. 유의한 변수들에 대해 Tukey test를 이용하여 사후분석을 시행하였다.

3. Results

3.1 Seat (front/rear) distance for seat angle

좌석 배치 각도와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 좌석 앞뒤 거리에 통계적으로 유의하였다(p<0.05). 평균 좌석 앞뒤 거리는 좌석 배치 각도가 0°일 경우, 25.3cm로 가장 넓은 앞뒤 거리를 보였고, 10°와 20° 보다 넓고(21.7과 19.9cm), 가장 작은 앞뒤 거리(16.4cm)를 보인 좌석 배치 각도 30°인 경우 보다 약 35% 큰 좌석 앞뒤 거리를 보였다(Figure 4, left). 예상대로, 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 좌석 앞뒤 간격은 13.9cm로, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 22.2cm와 편안함을 느끼는 지점인(FCD)의 26.3cm보다 작은 앞뒤 거리를 보였다(Figure 4, right).

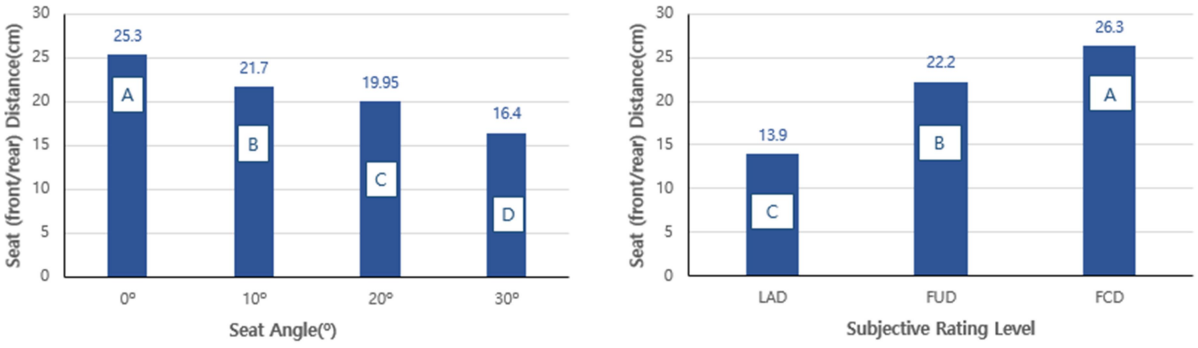

Figure 4. Seat (front/rear) distance for seat angle (left) and subjective rating level (right)

좌석 배치 각도와 주관적 평가 수준의 교호작용 또한 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 전반적으로 좌석 간의 배치 각도가 증가함에 따라, FCD가 FUD 그리고 LAD보다 넓은 앞뒤 거리를 유지하는 경향은 유지되지만, 그 차이는 다소 감소하는 경향을 보였다(Figure 5).

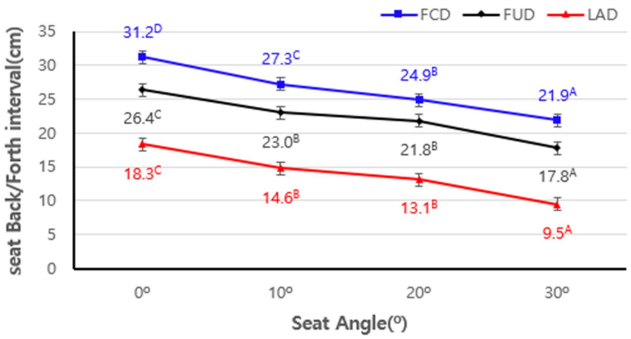

Figure 5. Seat (front/rear) distance for the interaction of seat angle and subjective rating level

좌석 배치 각도와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 공간/좌석 만족도에 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 좌석 배치 각도가 20°일 경우, 다른 배치 각도(0°, 10°, 30°)들 보다 높은 만족도를 보였다(Figure 6, left). 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)에 대한 공간/좌석 만족도의 평균은 약 2.0으로, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 평균 3.0과 편안함을 느끼는 지점인(FCD)의 평균 3.5 보다 낮은 만족도를 보였다(Figure 6, right).

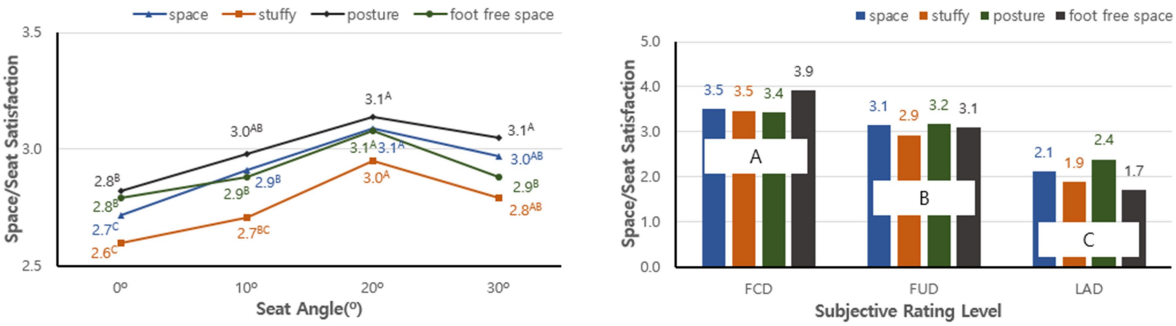

Figure 6. Space/seat satisfaction for seat angle (left) and subjective rating level (right)

3.2 Seat (front/rear) distance for seat width

좌석 너비에 따른 좌석 앞뒤 거리는 통계적으로 유의하지 않았으나, 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)에 대한 좌석 앞뒤 거리는 통계적으로 유의하였다(p<0.05). 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 앞뒤 간격 거리는 13.2cm로, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 21.5cm와 편안함을 느끼는 지점인(FCD)의 25.1cm보다 작은 앞뒤 거리를 보였다.

좌석 너비와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 공간/좌석 만족도에 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 좌석 너비가 470mm일 경우, 가장 높은 만족도를 보인 반면, 좌석 높이가 가장 좁은 390mm에서 가장 낮은 만족도를 보였다(Figure 7, Left). 또한, 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 공간/좌석 만족도는, 불편함을 느끼는 지점(FUD)과 편안함을 느끼는 지점(FCD) 보다 상대적으로 낮은 만족도를 보였다(Figure 7, right).

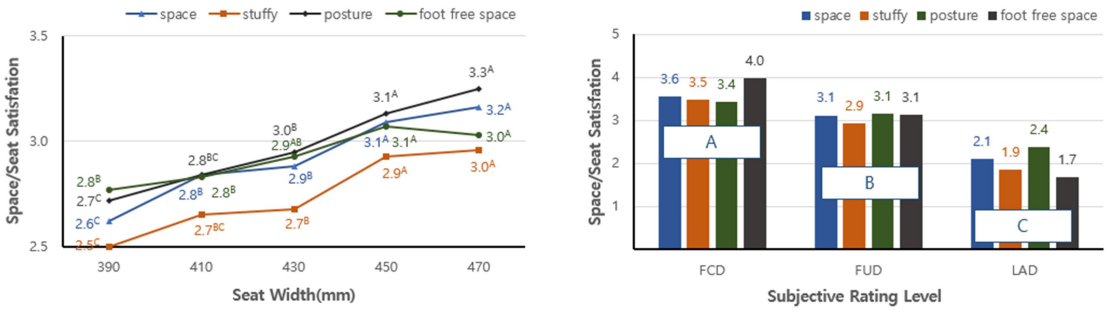

Figure 7. Space/seat satisfaction for seat width (left) and subjective rating level (right)

3.3 Side Allowance distance for seat angle

좌석 배치 각도와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 좌우 여유 거리에 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 좌석의 배치 각도 0°일 경우 22.1cm로 가장 넓은 좌우 여유 거리를 보인 반면, 30°인 경우에는 13.0cm로 가장 좁은 좌우 여유거리를 보였다(Figure 8, left). 주관적 평가수준에 대한 결과, 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 좌우 여유 공간은 10.3cm로, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 19.0cm와 편안함을 느끼는 지점(FCD) 의 22.1cm보다는 작은 좌우 여유 거리를 보였다(Figure 8, Right).

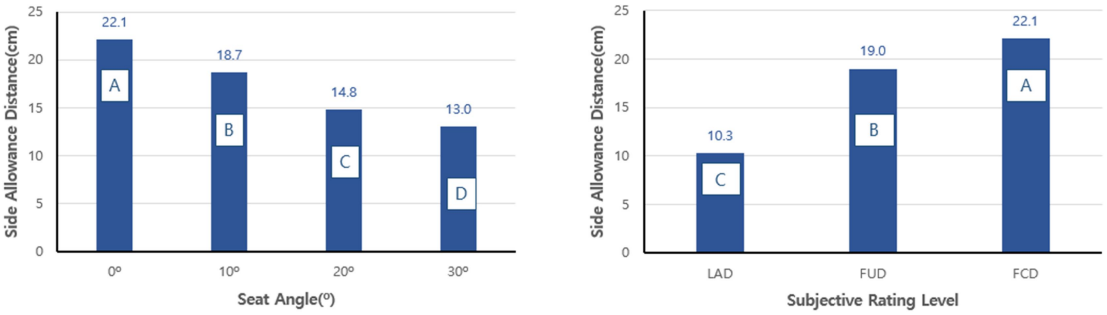

Figure 8. Side allowance distance for seat angle (left) and subjective rating level (right)

좌석 배치 각도와 주관적 평가 수준의 교호작용은 통계적으로 유의하였는데, 전반적으로 좌석 간의 배치 각도가 증가함에 따라, FCD

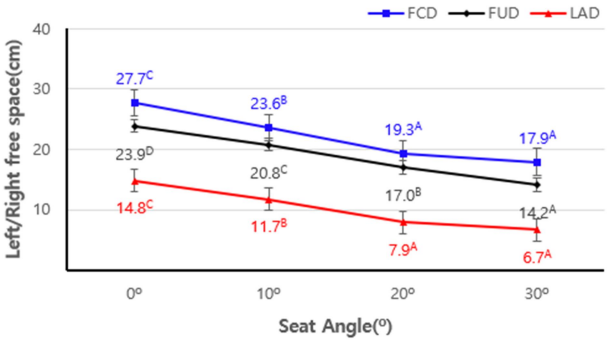

Figure 9. Side allowance distance for the interaction of seat angle and subjective rating level

가 FUD, LAD보다 넓은 좌우 여유 거리를 유지하는 경향이 나타났고, 좌석 배치 각도 20°에서 FCD와 FUD의 차이가 가장 작은 것으로 보였다(Figure 9).

좌석 배치 각도와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 공간/좌석 만족도에 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 좌석 배치 각도가 20°일 경우, 10°와 30°보다 높은 만족도를 보였고, 0°에서 가장 낮은 만족도였다(Figure 10, Left). 예상하는 바와 같이, 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 공간/좌석 만족도의 평균(2.0)은, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 3.1과 편안함을 느끼는 지점인(FCD)의 3.6보다 낮은 만족도를 보였다(Figure 10, right).

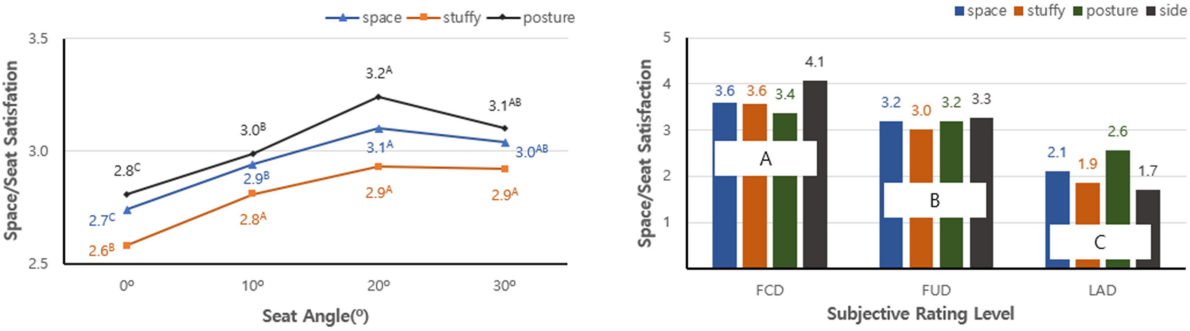

Figure 10. Space/Seat satisfaction for seat angle (left) and subjective rating level (right)

3.4 Side Allowance distance for seat width

좌석 너비와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 좌우 여유 거리에 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 좌석 너비가 390mm일 경우 20.1cm로 가장 넓은 좌우 여유 거리를 보였으며, 가장 작은 좌우 여유 거리(14.1cm)인 470mm인 경우 보다 약 30% 큰 좌우 여유 거리를 보였다(Figure 11, left). 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 좌우 여유 거리는 10.2cm로, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 18.8cm와 편안함을 느끼는 지점인 FCD의 21.7cm보다 작은 좌우 여유 거리를 보였다(Figure 11, right).

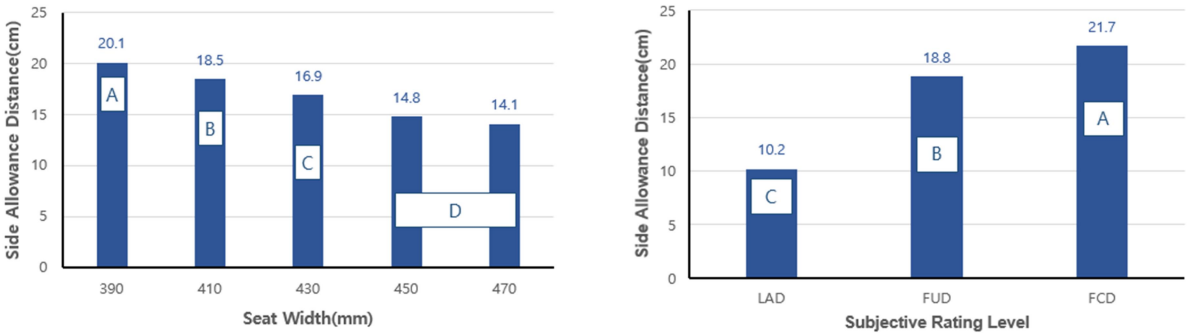

Figure 11. Side allowance distance for seat width (left) and subjective rating level (right)

좌석 너비와 주관적 평가 수준의 교호작용은 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 전반적으로 좌석 너비가 증가함에 따라, FCD가 FUD, LAD보다 넓은 좌우 거리를 유지하는 경향은 유지되지만, 그 차이는 다소 감소하는 경향을 보여 좌석 너비 450mm에서 FCD와 FUD의 차이가 가장 작은 것으로 나타났다(Figure 12).

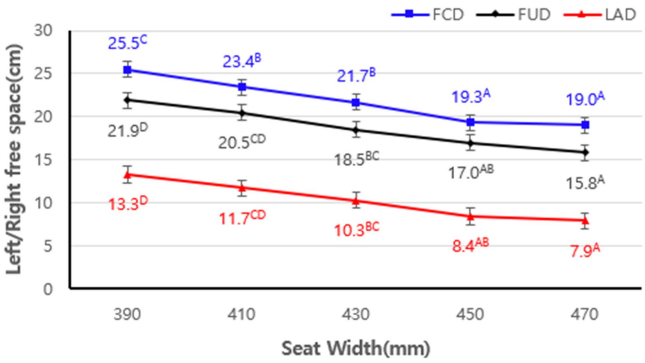

Figure 12. Side allowance distance for the interaction of seat width and subjective rating level

좌석 너비와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 공간/좌석 만족도에서도 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 좌석 너비가 450, 470mm 일 경우 다소 좌석 너비가 좁은 410mm와 430mm 그리고 390mm 보다 높은 공간과 좌석에 대한 만족도를 보였다(Figure 13, left). 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 공간/좌석 만족도의 평균은, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 평균과 편안함을 느끼는 지점의 평균 보다 낮은 만족도를 보였다(Figure 13, right).

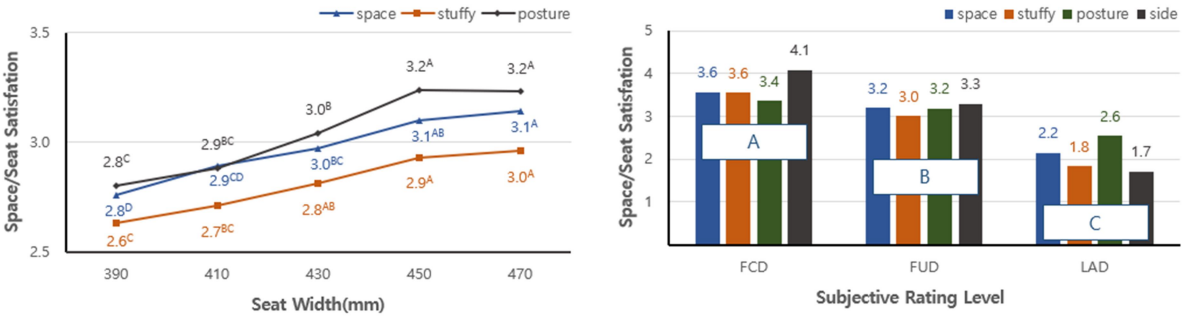

Figure 13. Space/seat satisfaction for seat width (left) and subjective rating level (right)

3.5 Ceiling height for seat height

좌석 높이와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 천장 높이에 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 좌석 높이가 450mm일 경우 150.9cm로 가장 높은 천장 높이를 보였고, 가장 낮은 천장 높이(147.2cm)를 보인 좌석 높이는 350mm이었다(Figure 14, left). 또한, LAD로 평가된 높이는 140.1cm로, 불편함을 느끼는 지점(FUD) 151.8cm와 편안함을 느끼는 지점(FCD) 156.1cm보다 낮은 천장 높이에서 대부분의 피실험자들은 불편함을 참기 힘들다고 평가하였다(Figure 14, right).

천장 높이와 주관적 평가 수준의 교호작용은 통계적으로 유의하였는데(p<0.05), 전반적으로 좌석 높이가 증가함에 따라, FCD가 FUD 그리고 LAD보다 넓은 앞뒤 간격을 유지하는 경향은 유지되지만, 그 차이는 다소 감소하는 경향을 보였다(Figure 15).

좌석 높이와 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)은 공간/좌석 만족도에 통계적으로 유의하였다(p<0.05). 좌석 높이가 400mm일 경우 350mm와 450mm보다 높은 만족도를 보였고, 350mm에서 가장 낮은 만족도가 나타났다(Figure 16, left). 피실험자가 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)의 공간/좌석 만족도의 평균은, 불편함을 느끼는 지점(FUD)의 평균과 편안함을 느끼는 지점(FCD)의 평균 보다 낮은

만족도를 보였다(Figure 16, right).

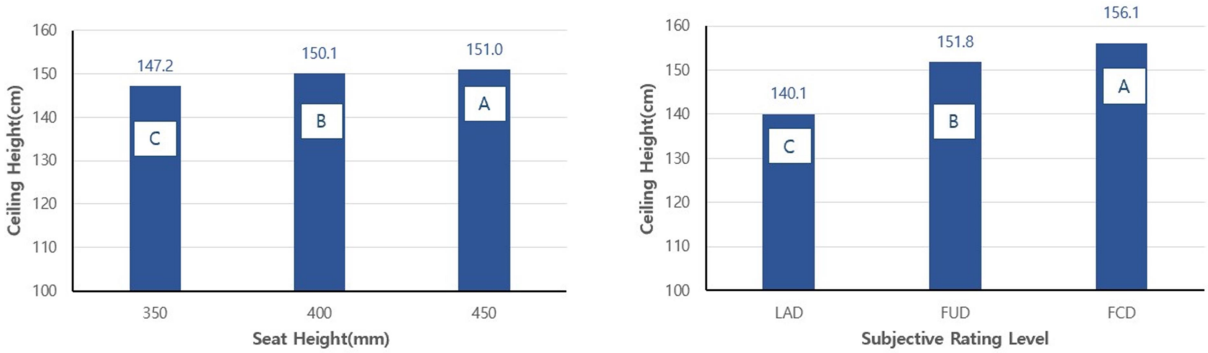

Figure 14. Ceiling height for seat height (left) and subjective rating level (right)

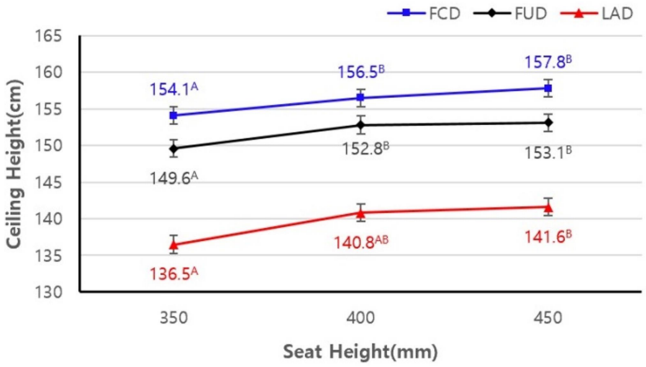

Figure 15. Ceiling height for the interaction of seat height and subjective rating level

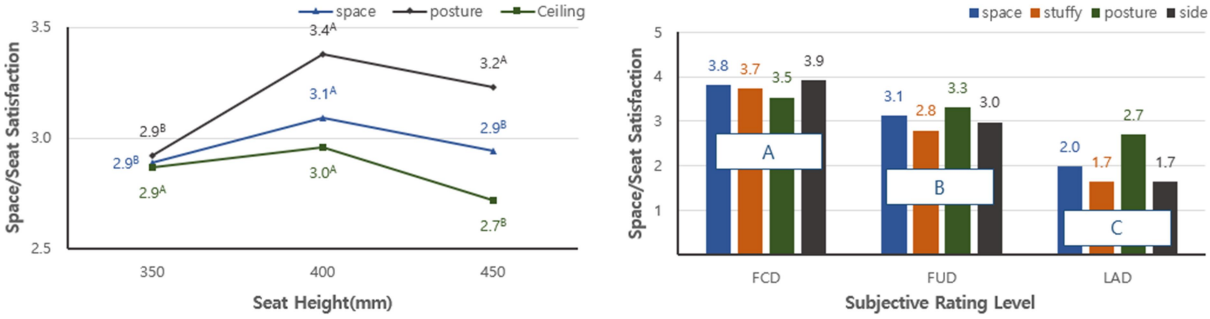

Figure 16. Space/seat satisfaction for seat height (left) and subjective rating level (right)

4. Discussion

본 연구는 UAM 내부 공간 디자인에 필요한 좌석 배치 각도, 좌석 너비, 좌석 높이 등에 따른 좌석 앞뒤 거리, 좌우 여유 거리, 그리고 천장 높이에 대한 적절한 치수를 산정하고 요소 별 중요도를 평가하여 적절한 UAM 설계 가이드라인을 제시하고자 하였다.

좌석 배치 각도의 경우 20°일 때 다른 각도들(0°, 10°, 30°)보다 상대적으로 전반적인 공간 만족도, 및 착좌 자세 만족도 등에서 가장 큰 만족도가 나타났다. 이는 Air New Zealand사 Boeing 777-200ER (772)의 Business class, Boeing 777-300 (773)의 Business premier class의 좌석 배치 각도인 45°와 비교 시, UAM 내부 공간에 대한 설계에서는 기존 각도보다 작은 좌석 배치 각도인 20°에서 높은 만족도가 충족시킬 수 있을 것으로 사료된다. 이는 UAM의 경우 내부 공간이 기존의 대형 항공기보다 협소하여, 좌석을 30° 이상 배치하게 되면, 승객과 좌우 기내 내벽이 가까워져 오히려 만족도가 낮아지는 것으로 해석할 수 있다.

좌석 너비의 경우 450, 470mm에서 가장 높은 만족도가 나타났으며, 이는 기존 ANSI/HFES 100-2007의 연구 결과인 450mm와 유사한 결과를 보였다. 참고로 기존 사무용 의자 설계 표준은 최소 330mm (KS G 4215, 2016) 또는 489mm (BIFMA G1-2013)로 다양한 치수를 제시하고 있다.

좌석 앞뒤 거리에 대한 주관적 평가 수준의 경우 좌석 배치 각도와 좌석 너비에 따라 다양한 값을 보였다. 좌석 배치 각도와 조합할 경우 편안함을 느끼는 지점(FCD)은 21.9~31.2cm, 불편함을 느끼는 지점(FUD)은 17.8~26.4cm, 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)은 9.5~18.3cm로 나타났다. 공간 만족도가 가장 높은 좌석 배치 각도 20°인 경우, 좌석의 앞뒤 간격 거리에 대한 FCD, FUD, 그리고 LAD의 가이드라인은 각각 24.9cm, 21.8cm, 그리고 13.1cm를 제시할 수 있다. 즉, 약 25.0cm 이상을 확보한다면, 대부분의 사용자들에게 앞뒤 거리에 대한 편안함을 제공할 수 있을 것이며, 최소한 13.1cm의 좌석 앞뒤 거리는 확보하여 설계해야 할 것으로 사료된다. 기존 연구 결과인 41.0cm (McClelland and Gawthorpe, 1986), 30.5~35.6cm (Cumberland and Bowey, 1950), 38.0cm (Edward and Edward, 1990)와 비교해 다소 좁은 좌석 앞뒤 거리를 제시해도 사용자의 일정 수준의 편안함을 확보할 수 있음을 확인할 수 있다.

좌우 여유 거리의 경우 또한 좌석 배치 각도, 좌석 너비에 따라 다양한 값을 보였다. 좌석 배치 각도와 조합할 경우 편안함을 느끼는 지점(FCD)은 17.9~27.7cm, 불편함을 느끼는 지점(FUD)은 14.2~23.9cm, 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)은 6.7~14.8cm로 나타났다. 좌석 너비와 조합할 경우, 좌우 여유에 대한 편안함을 느끼는 지점(FCD)는 19.0~25.5cm, 불편함을 느끼는 지점(FUD)은 15.8~21.9cm, 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)은 7.9~13.3cm로 나타났다. 공간 만족도가 가장 높은 좌석 배치 각도 20°와 좌석 너비 450~470mm의 경우, 좌석의 좌우 여유 거리에 대한 FCD, FUD, 그리고 LAD의 가이드라인은 각각 19.0~19.3cm, 15.8~17.0cm, 그리고 7.9~8.4cm를 제시할 수 있다. 즉, 좌석의 좌우 여유 거리를 약 20.0cm 이상을 확보한다면, 대부분의 사용자들에게 좌석의 좌우 여유 거리에 대한 편안함을 제공할 수 있을 것이며, 최소한 약 7.5cm의 좌석 좌우 여유 거리는 확보하여 설계해야 할 것을 제안할 수 있을 것이다.

좌석 높이의 경우 400mm에서 가장 높은 만족도가 나타났으며 사무용 의자 설계 표준인 380~410mm (KS G 4215, 2016), 380~540mm (MIL-STD-1472F), 380~560mm (ANSI/HFES 100-2007)의 범위 내의 값을 갖는 것으로 보였다. 반면에 450mm에서의 만족도는 감소하였는데 이는 피실험자의 앉은 오금 수평 길이 보다 높은 좌석 높이에서는 발이 땅에 닿지 않아 불편함을 느껴 만족도가 감소하는 경향을 갖는다는 연구 결과(Park, 2018)와 동일하였으며, 실제로 본 실험의 참가한 피험자 100명의 앉은 오금 수평 길이는 평균 416mm로 450mm보다 약 34mm 정도 작은 값이었다. 천장 높이의 경우 좌석 높이에 따라 다양한 값을 보였다. 좌석 높이와 조합할 경우 편안함을 느끼는 지점(FCD)은 154.1~157.8cm, 불편함을 느끼는 지점(FUD)은 149.6~153.1cm, 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)은 136.5~141.6cm로 나타났다. 공간 만족도가 가장 높은 좌석 높이 400mm인 경우, 좌석의 높이에 대한 FCD, FUD, 그리고 LAD의 가이드라인은 각각 156.5cm, 152.8cm, 그리고 140.8cm를 제시할 수 있다. 즉, 천정 높이를 약 157.0cm 이상을 확보한다면, 대부분의 사용자들에게 천정 높이에 대한 편안함을 제공할 수 있을 것이며, 최소한 141cm의 천장 높이를 확보하여 설계하는 것을 제안하고자 한다.

본 연구의 한계점은 사용자의 움직임을 고려하지 않은 정적 자세에 대한 좌석 앞뒤 간격 및 좌우 여유 공간 등에 대한 치수를 나타낸 것에 있다. 사용자의 움직임에 대한 좌석 및 공간 구성 요소의 치수 차이가 나타날 것이라 예상하여 향후 승, 하차 및 내부 공간에서의 이동과 같은 동적 자세에 대한 실내 디자인 치수 가이드라인 연구를 진행할 예정이다.

5. Conclusion

본 연구에서 피실험자 100명을 대상으로 주관적 평가 수준과 공간/좌석에 대한 주관적 만족도를 이용하여 좌석 구성 요소와 기내 공간 구성 요소의 조합을 기반으로 각 요소 별 적정 치수를 도출하여 UAM 항공기 내부 디자인 설계 가이드라인을 제안하고자 하였다.

실험 결과, 20°의 좌석 배치 각도, 450~470mm의 좌석 너비, 그리고 400mm의 좌석 높이의 경우, 상대적으로 다른 조건들에 비해 좌석 및 공간에 대한 큰 만족도를 보였다.

또한, 기존의 여러 실내 디자인 연구에서 각 요소 별 하나의 범위를 제시하였으나, 연관성을 갖는 요소와의 조합과 이에 대한 주관적 평가 수준(FUD, LAD, FCD)을 각각 평가하여 다양한 상황에 따라 적절한 평가 수준을 선택하여 설계할 수 있도록 하였다. 즉, 장시간 착좌가 필요한 실내에 대한 설계 시에는 편안함을 느끼는 지점(FCD)을 기반으로 설계가 가능하며, 반대로 단시간 착좌가 필요한 실내 디자인이나 혹은 최소한의 규격을 필요로 할 때에는, 불편함을 느끼는 지점(FUD) 또는 불편함을 참기 어려운 지점(LAD)을 적용하여 설계할 수 있는 가이드 라인을 제시하였다.

References

Abbasov, I.B., Computer modeling in the aerospace industry, *John Wiley & Sons*, 2019.

American National Standards Institute (ANSI)., Human factors engineering of computer workstations (Standard No. ANSI/HFES 100-2007). Washington, DC, USA; ANSI; 2007.

BIFMA, G1; Ergonomics guideline for furniture used in office work spaces designed for computer use, 2013.

Canadian Standards Association CSA-Z412 Guideline on Office Ergonomics, CSA International, Toronto, Ontario, Canada, 2000.

Causse, J., Wang, X. and Denninger, L., Effects of roof height on car ingress/egress movement, *SAE Technical Papers*, 1-8, 2011.

Cumberland, C.H. and Bowey, G.S., Passenger seats for aircraft: A Survey of the considerations to be borne in mind in designing furniture for maximum safety and comfort, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 1950.

Department of Defense, Human engineering design criteria standard, MIL-STD-1472F, Washington, DC, 1999.

Edwards, M. and Edward, E., The aircraft cabin: managing the human factors, 1990.

Hwang, C., Overview of Urban air Mobility Development, *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 248-249, 2018.

Jun, Y.M., Oh, K.R., Lee, J.H. and Chung, K.H., Current industrial and technological trends in aerospace, *Korea Aerospace Research Institute*, 18(1), 37-48, 2020.

Kim, J.M., Recent trend in urban electric VTOL development abroad and domestic status, *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 302-303, 2017.

Kolich, M., Automobile seat comfort: occupant preferences vs. anthropometric accommodation, *Applied Ergonomics*, 34(2), 177-184, 2003.

Korean Standards & Certifications, Office furniture-Chairs, KS G 4215, 2016.

Lee, S.H., Lee, S.W., Song, K.W., Jin, S.H., Jung, J.S. and Park, K.H., Industrial trends of urban air mobility, *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 965-966, 2019.

McClelland, I.L. and Gawthorpe, R.G., The response of railway passengers to pressure fluctuations, *Applied Ergonomics*, 17(4), 305-315, 1986.

Park, J.H., Calculation of human body acceptance of chair size based on antropometric values, *Proceedings of the ESK Conference*, 388-390, 2018.

Prevot, T., Rios, J., Kopardekar, P., Robinson III, J.E., Johnson, M. and Jung, J., UAS traffic management (UTM) concept of operations to safely enable low altitude flight operations. In *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, 3292-3307, 2016.

Quigley, C., Southall, D., Freer, M., Moody, A. and Poerter, M., Anthropometric study to update minimum aircraft seating standards, 2001.

Reed, M.P., Survey of auto seat design recommendations for improved comfort, 1994.

Rutherford, A., Are you being served? Postmagazine, Sunday Morning Post, 36-37, 1998.

Thipphavong, D.P., Apaza, R.D., Barmore, B.E., Battiste, V., Burian, B.K., Dao, Q.V., Feary, M.S., Go, S., Goodrich, K.H., Homola, J.R., Idris, H.R., Kopardekar, P.H., Lachter, J.B., Neogi, N.A., Ng, H.K., Dseguera-Lohr, R.M., Patterson, M.D. and Verma, S.A., Urban Air Mobility Airspace Integration Concepts and Considerations, *In 2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, 3676-3791, 2018.

Author listings

Chae-Won Park: cwrachel@naver.com
Highest degree: M.S, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: Researcher, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu
Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Kyeong-Hee Choi: kyunghe7@naver.com
Highest degree: M.S, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: PhD Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Min-Uk Cho: crayonmm@naver.com
Highest degree: B.S, Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Seoung-Yeon Kim: kimsy9035@naver.com
Highest degree: B.S, Industrial Management Engineering, Hanbat University
Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Ki-Seok Sung: kiseok@hyundai.com
Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Senior Research Engineer
Areas of interest: Physical ergonomics, User Experience

Kye-Yoon Kim: kyekim@hyundai.com
Highest degree: B.S, Mechanical Engineering, University of Toronto
Position title: Senior Research Engineer
Areas of interest: User Experience, Cognitive Psychology

Min-Jung Kim: xlsk1013@naver.com
Highest degree: B.S, Safety Engineering, Dongguk University
Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design