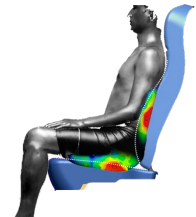
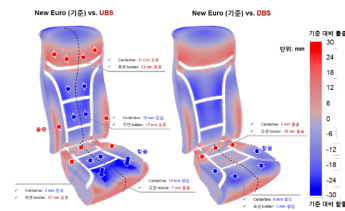
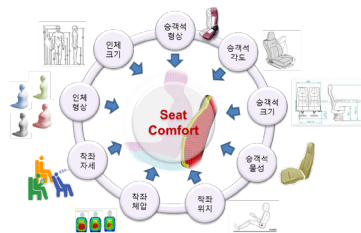
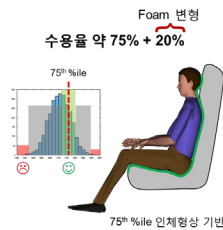
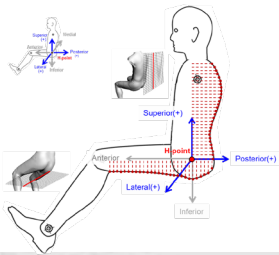


3D 착좌 인체형상 기반 인간공학적 버스 승객석 설계 방법론 개발



2016. 6. 2

POSTECH

HYUNDAI

이나현¹, 이승훈¹, 정하영¹, 박보영², 최희민³, 유희천¹

¹ 포항공과대학교 산업경영공학과

² 휴머노피아 Product Development Team

³ 현대자동차 Bus Body & Trim Engineering Design Team

CONTENTS

- **Introduction**

- 연구 배경
- 연구 목적

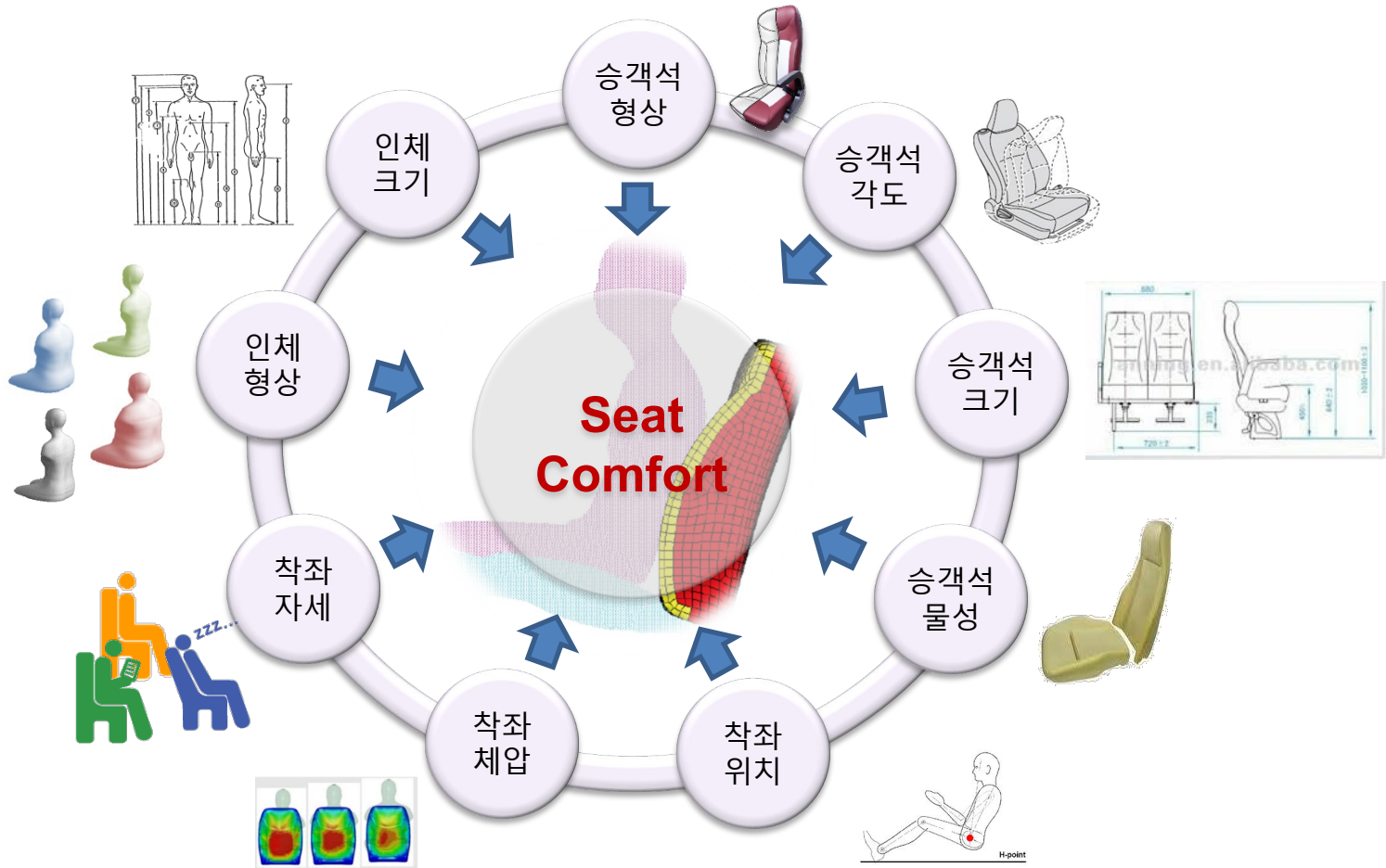
- **Design Method**

- 인체형상 기반 승객석 설계 방법론 개발
- 인체형상 기반 승객석 설계 방법론 타당성 검증
- 인체형상 기반 신규 승객석 설계 개발

- **Discussion**

Seat Comfort 설계 인자

❖ **착좌 안락감에 영향을 미치는 다양한 설계 인자들을 고려한 승객석 설계 필요**



인간공학적 버스 승객석 설계 중요성

- ❖ 버스 승객석은 다양한 승차자들을 안락하게 수용할 수 있도록 **인체 형상, 승객석 형상, 승객석 경도**를 고려한 인간공학적 설계가 필요함



인간공학적 승객석 설계 필요

연구 목적

3D 착좌 인체형상 기반 승객석 설계 방법론 개발 및 인체형상 기반 신규 승객석 개발

- ❖ 착좌 인체형상 기반 승객석 설계 방법론 개발
- ❖ 착좌 인체형상 기반 승객석 설계 방법론의 적용
- ❖ 착좌 인체형상 측정($n = 36$) 및 인체형상 분석
- ❖ 인체형상 기반 승객석 인간공학적 평가

< 이전 발표 >

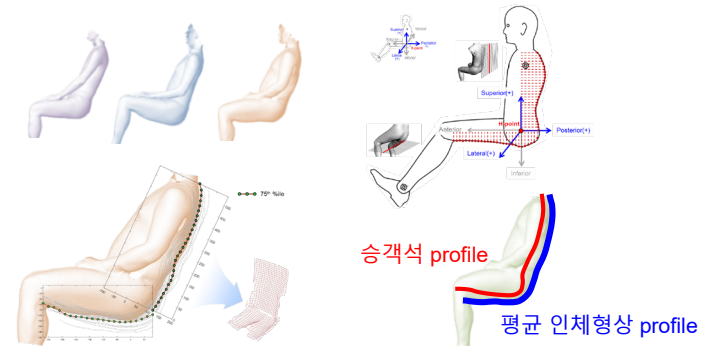
Session 5 6월 2일(목) 13:30~15:00

감성공학 (Ruby)	좌장 : 박우진 교수
<ul style="list-style-type: none"> Investigation of physical and emotional attributes influencing user satisfaction of pens 	Jinho Ahn, Kyungdoh Kim (Hongik University)
<ul style="list-style-type: none"> 감성소재 및 부품 개발을 위한 감성평가기법 적용사례 연구 	Jongkyu Shin (금오공과대학교), Hyeokchun Kwon (한국생산기술연구원), Sang Ho Kim (금오공과대학교)
<ul style="list-style-type: none"> 시장 대응형 감성소재·부품 개발 - 이중적 색상구현이 가능한 유리소재 개발 사례를 중심으로 	안정운 (금오공과대학교), 이효수 (한국생산기술연구원), 김선아 (금오공과대학교)
<ul style="list-style-type: none"> Development of humanoid dummy for evaluation of car seat comfort 	Dong Hyun Kim, Se Hoon Jeon, Ye Eun Song, Seong Guk Kim, Woo Hyuk Choi (The University of Yonsei), Hyung Joo Kim, In Ju Lee, Sung Rae Kim, Young Keun Cho (Hyundai Central Advanced Research & Engineering Institute), Han Sung Kim (The University of Yonsei)
<ul style="list-style-type: none"> 3D 인체형상 기반 버스 승객석의 착좌 안락감 및 선호 정도 평가 	Seunghoon Lee, Hayoung Jung, Nahyeon Lee (POSTECH), Boyoung Park (Humanopia, Co), Hoimin Choi (Hyundai Motor Company), Heecheon You (POSTECH)

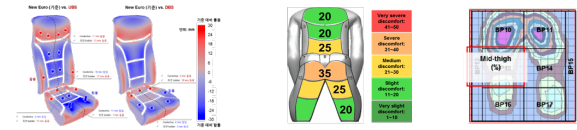
연구 절차

1. 인체형상 기반 버스 승객석 설계 방법론 개발

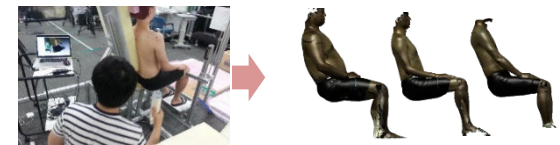
- 3D 착좌 인체형상 측정
- 개별 인체형상 외곽선 추출
- 설계 기준 인체형상 도출
- 착좌 foam 변형량 기반 승객석 설계
- 승객석 설계안 검토 및 수정



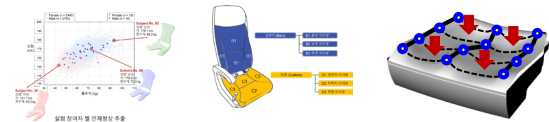
2. 승객석 설계 방법론 타당성 검증



3. 착좌 인체형상 (n = 36) 측정



4. 인체형상 기반 신규 승객석 설계 개발



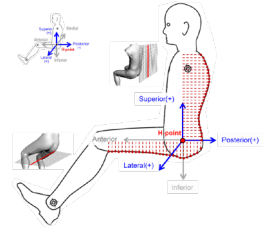
인체형상 기반 승객석 설계 방법

S1. 3D 착좌 인체형상 측정

- ✓ 착좌 시 변형되지 않은 인체형상(undeformed body shape; UBS) 측정
- ✓ 착좌 시 변형된 인체형상(deformed body shape; DBS) 측정

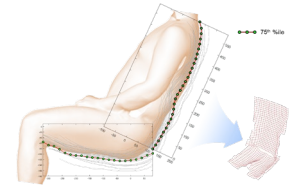
S2. 개별 인체형상 외곽선 추출

- ✓ 동일 간격으로 인체형상 외곽선 추출:
seatback 및 seatpan



S3. 설계 기준 인체형상 도출

- ✓ 인체형상 외곽선의 75th %ile 값 계산
- ✓ 75th %ile 인체형상 생성



S4. 착좌 foam 변형량 기반 승객석 설계

- ✓ 착좌 시 하중에 따른 승객석 변형량을 고려한 승객석 설계



S5. 승객석 설계안 검토 및 수정

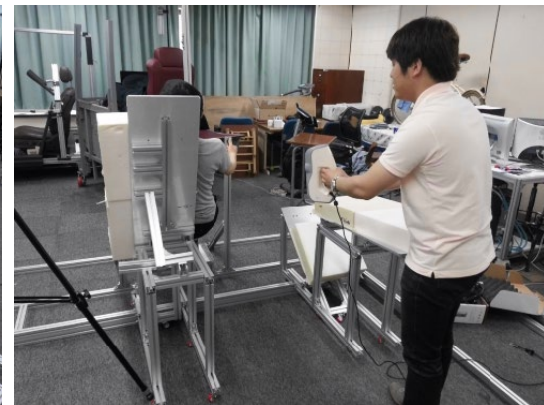
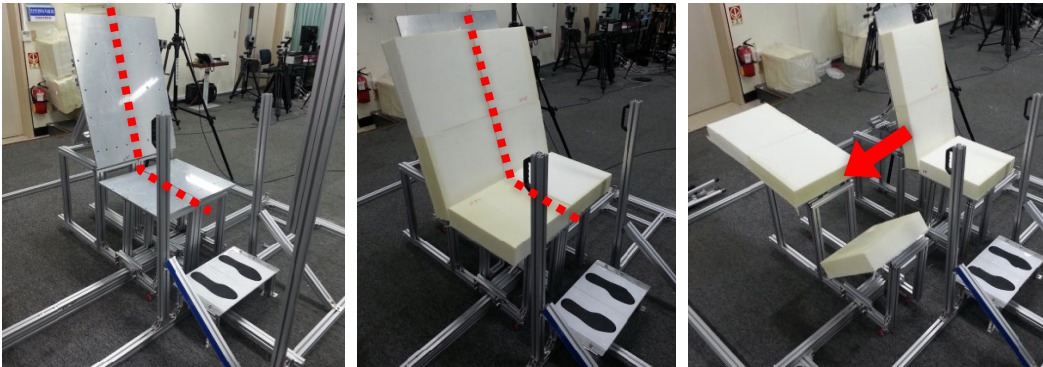
- ✓ 승객석 설계 및 제조 실무진의 검토 및 수정



S1. 3D 인체형상 측정: Seating Buck 개발

- 착좌 인체형상 측정을 위해 좌/우 구분 및 sliding 구조의 seating buck 개발
- 착좌 undeformed body shape (UBS) 측정 시 half part sliding

Half supporting seating buck



S1. 3D 인체형상 측정

- ❖ 착좌 시 undeformed body shape (UBS) 3D scan
- ❖ 석고붕대를 사용하여 착좌 인체형상을 casting 후 deformed body shape (DBS) 3D scan

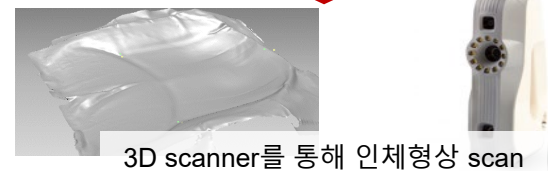
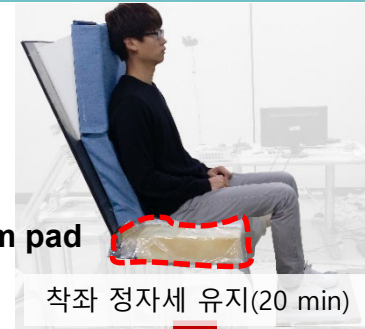
Undeformed seating body shape (UBS)



3D scanner를 통해 인체형상 scan

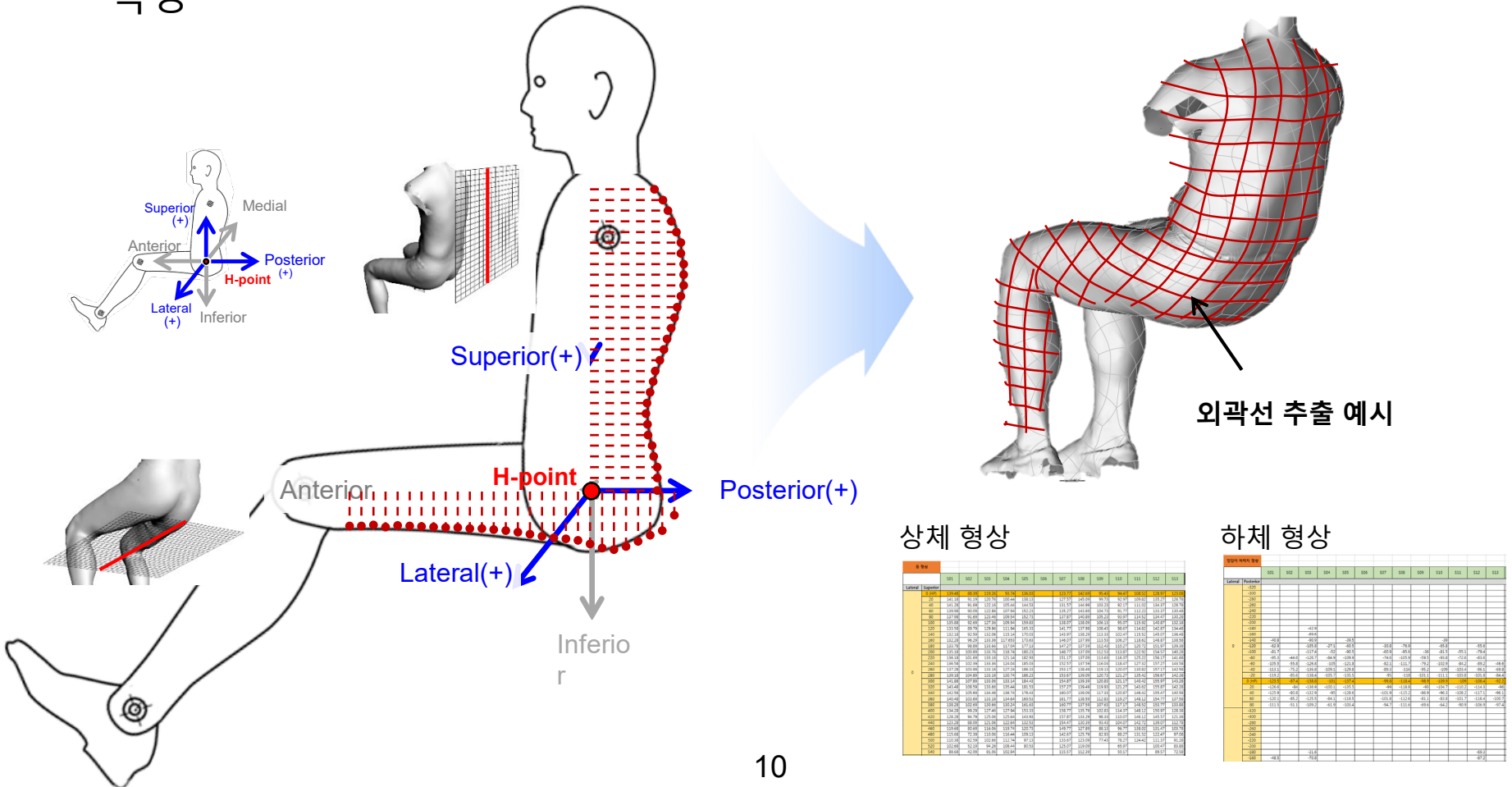


Deformed seating body shape (DBS)



S2. 인체형상 외곽선 거리 측정

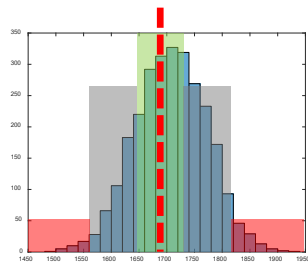
- 수집된 개인별 인체형상의 정량적 파악을 위해 개인별 3D scan data를 동일한 hip point를 기준으로 정렬하여 20 mm 간격으로 hip point와 외곽선 사이 거리 측정



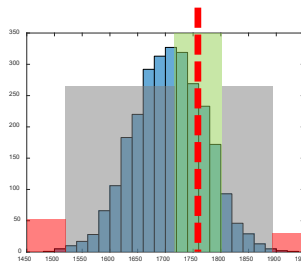
S3. 설계 기준 인체형상 도출 (1/2)

- ❖ 50th %ile 인체형상 기반 승객석 설계 시 인체 크기가 큰 승객 신체 압박 발생
 - ❖ 95th %ile 인체형상 기반 승객석 설계 시 인체 크기가 작은 승객 지지성 감소
- ⇒ 다양한 인체 크기를 수용할 수 있도록 75th %ile 인체형상을 설계 기준으로 설정

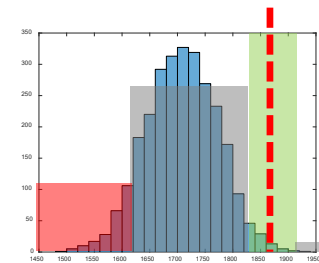
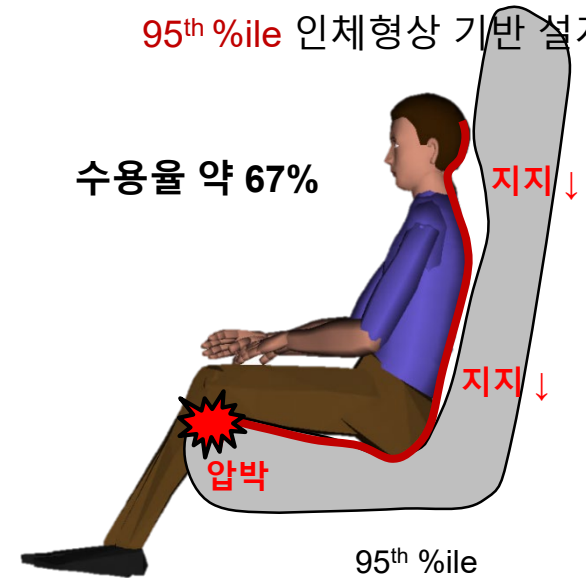
50th %ile 인체형상 기반 설계



75th %ile 인체형상 기반 설계

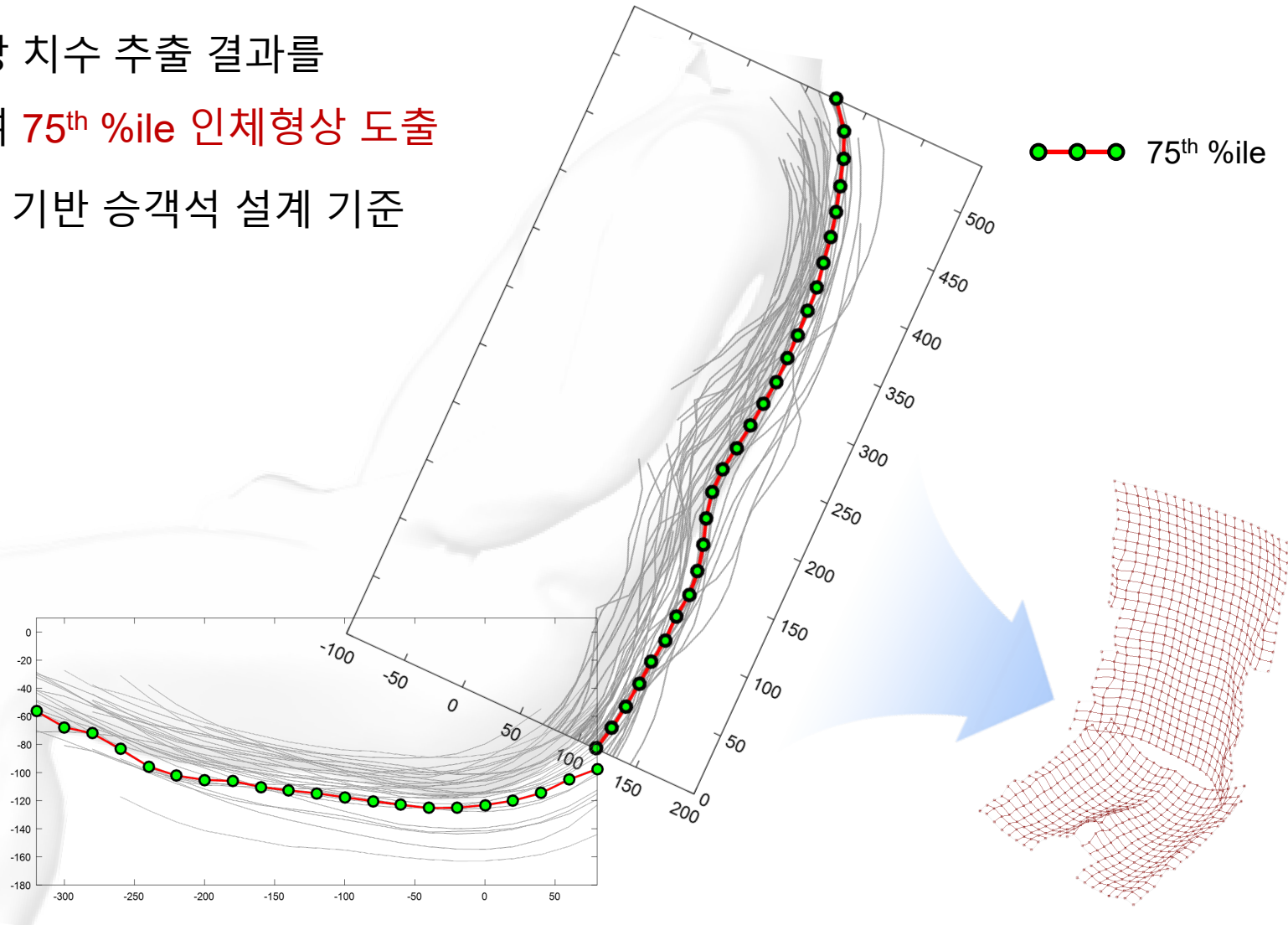


95th %ile 인체형상 기반 설계



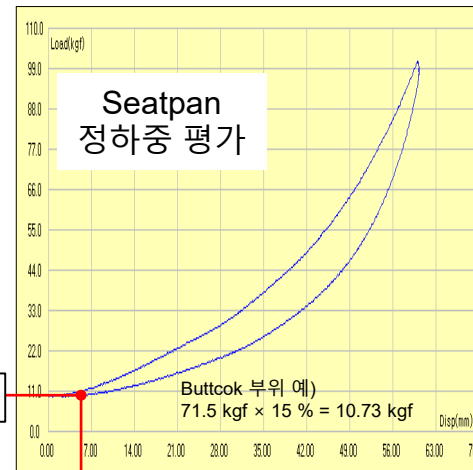
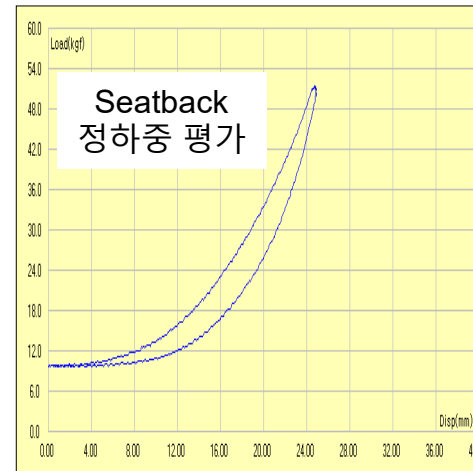
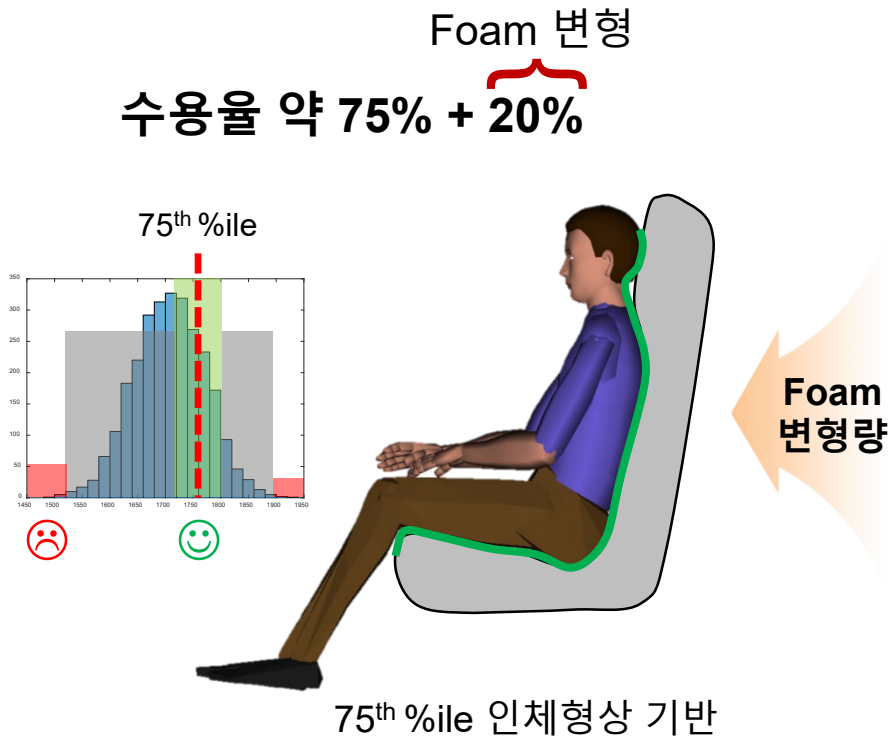
S3. 설계 기준 인체형상 도출 (2/2)

- ❖ 인체형상 치수 추출 결과를
활용하여 75th %ile 인체형상 도출
⇒ 인체형상 기반 승객석 설계 기준



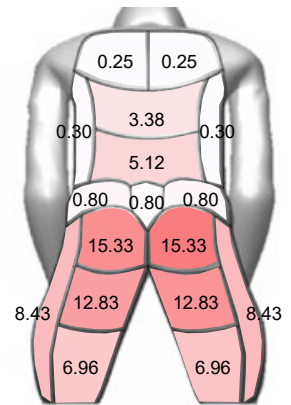
S4. 착좌 Foam 변형량 기반 승객석 설계 (1/2)

❖ 75th %ile의 인체형상과 정하중 평가 결과(foam 변형량)를 사용하여 승객석 설계



10.73kgf

5.31 mm



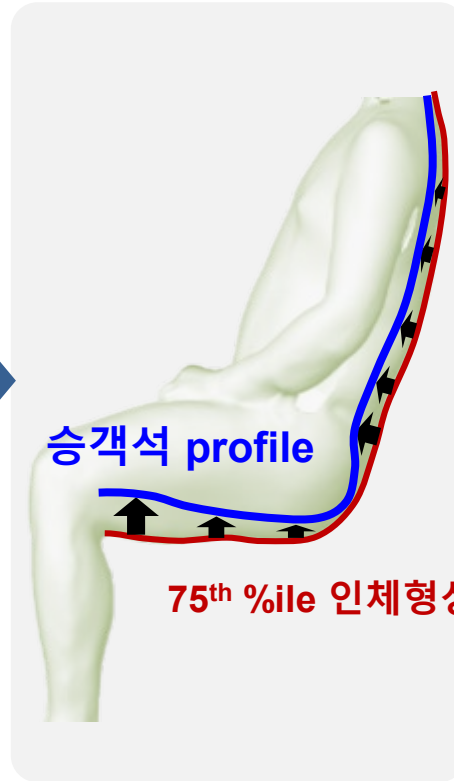
75th %ile 몸무게 ×
부위별 체압 분포 비율
= 승객석 부위별 무게

S4. 착좌 Foam 변형량 기반 승객석 설계 (2/2)

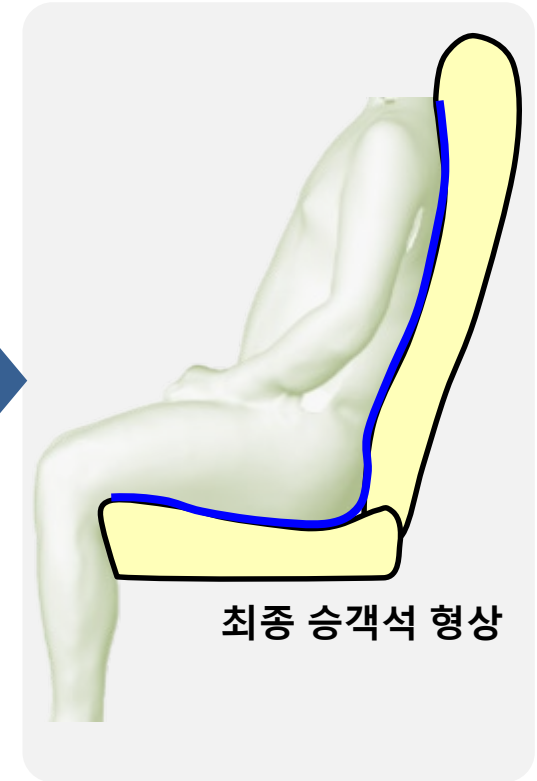
75th %ile 인체형상



착좌 Foam 변형량 적용

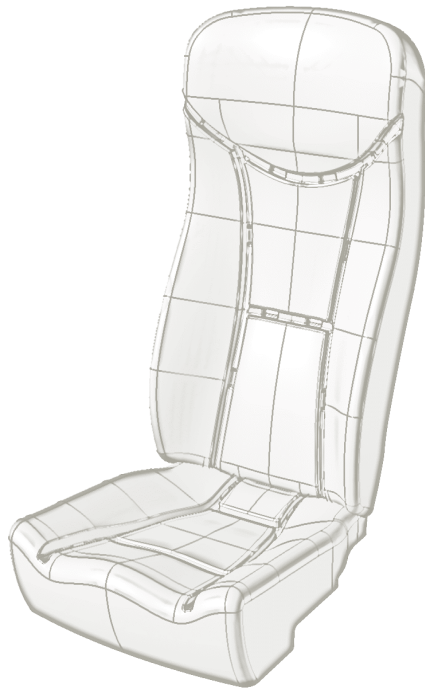


승객석 설계



S5. 승객석 설계안 검토 및 수정

- ❖ 착좌 인체형상 기반 설계 방법론에 근거하여 설계된 승객석 설계안은 실무진의 검토를 통해 최종 수정 보완됨



Fine tuning



승객석 설계 방법론의 타당성 평가: 개요

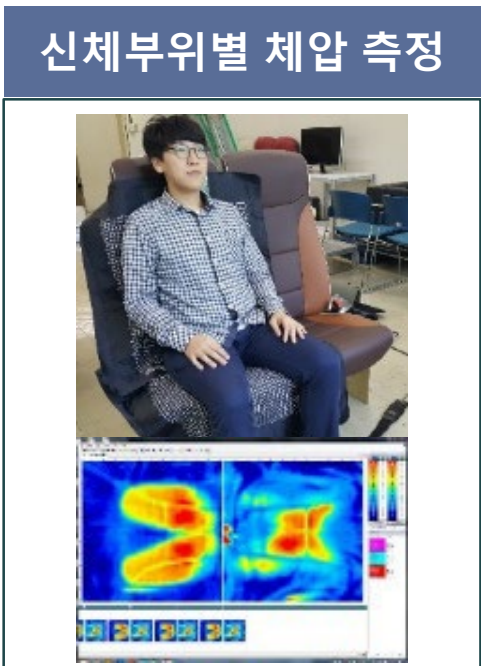
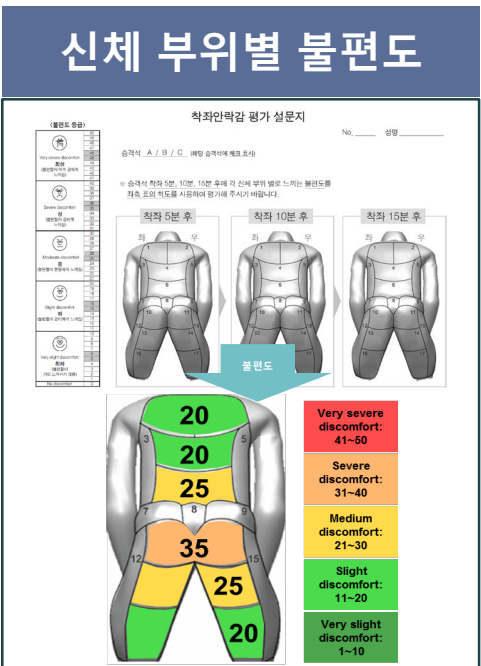
- ❖ 목적: 인체형상 기반 승객석 설계 방법론의 평가
- ❖ 평가 척도

승객석 부위별 만족도

동반자(12)

평가 부위	주요 신체 부위	평가 항목	A 승객석 (타당) 만족도 평가				B 승객석 (타당) 불충족도 평가				C 승객석 (타당) C 승객석 평가							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
머리 지지부	머리 지지부 목부 지지부 의견(의견부 포함) 의견(의견부 포함) 의견(의견부 포함)	의견(의견부 포함)	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중		
		목부 지지부	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	
		의견(의견부 포함)	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	중	
평가 이유			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
평가 이유			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
평가 이유			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
평가 이유			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

1: 가장 불만족, 2: 불만족, 3: 만족, 4: 가장 만족



평가 대상

- 1) New Euro (평가 기준): 기존 승객석
 - 2) UBS
 - 3) DBS
- } 인체형상($n = 3$) 기반 설계 방법론을 통해 설계된 승객석

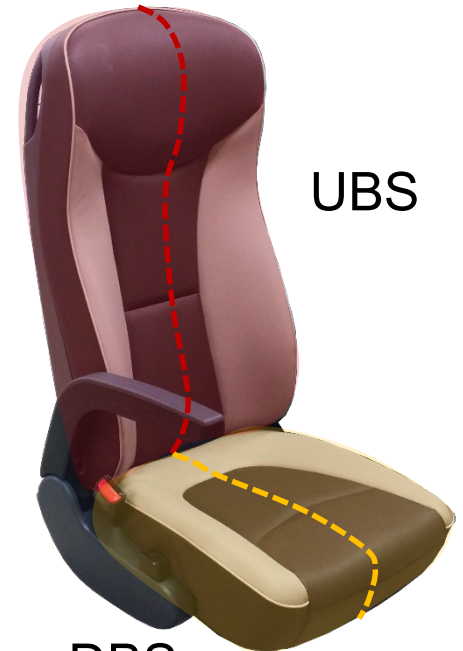


New Euro
절대 평가



UBS

UBS
상대 평가



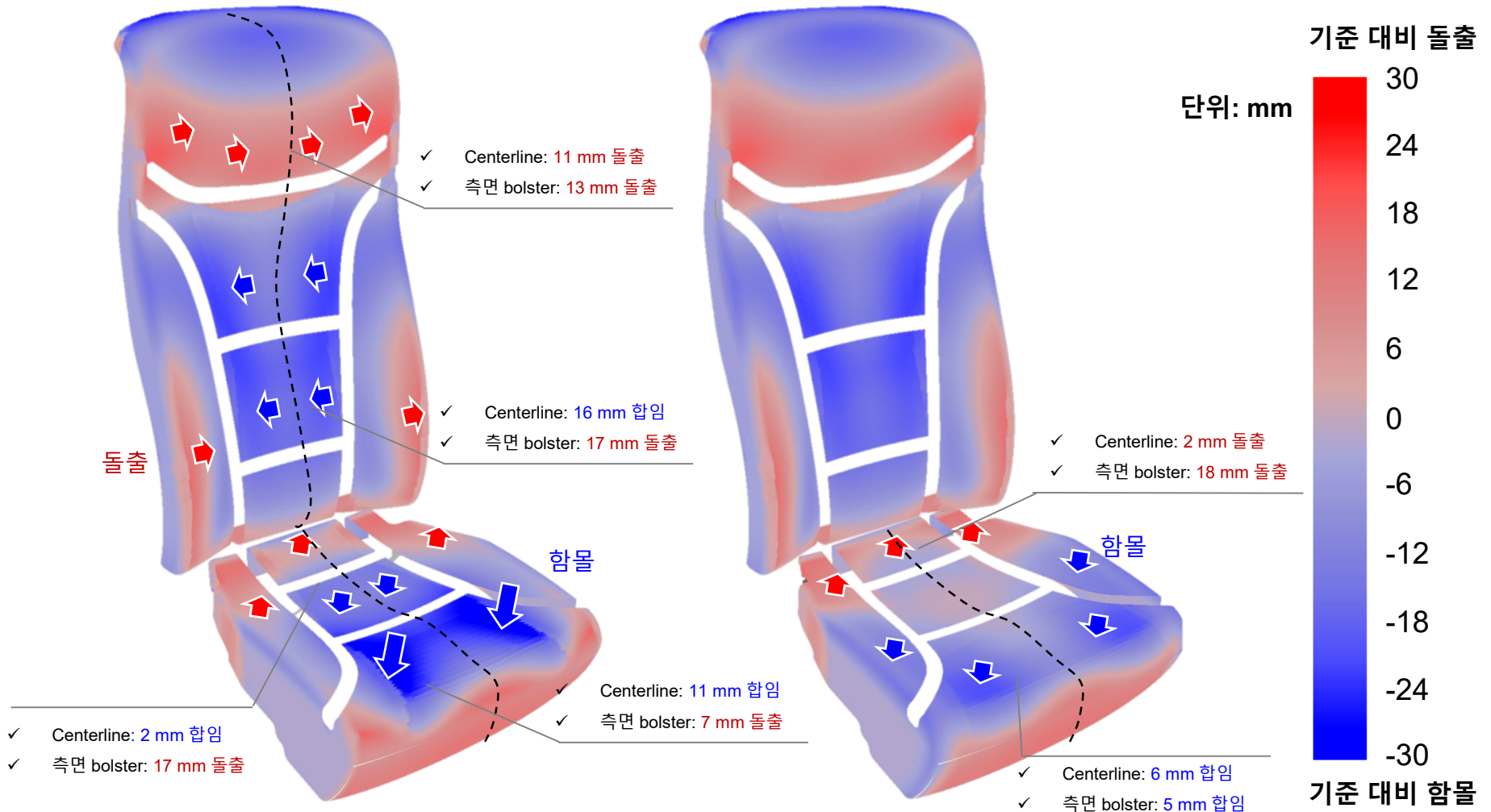
UBS

DBS
상대 평가

New Euro 대비 인체형상 기반 승객석 설계 비교

New Euro (기준) vs. UBS

New Euro (기준) vs. DBS

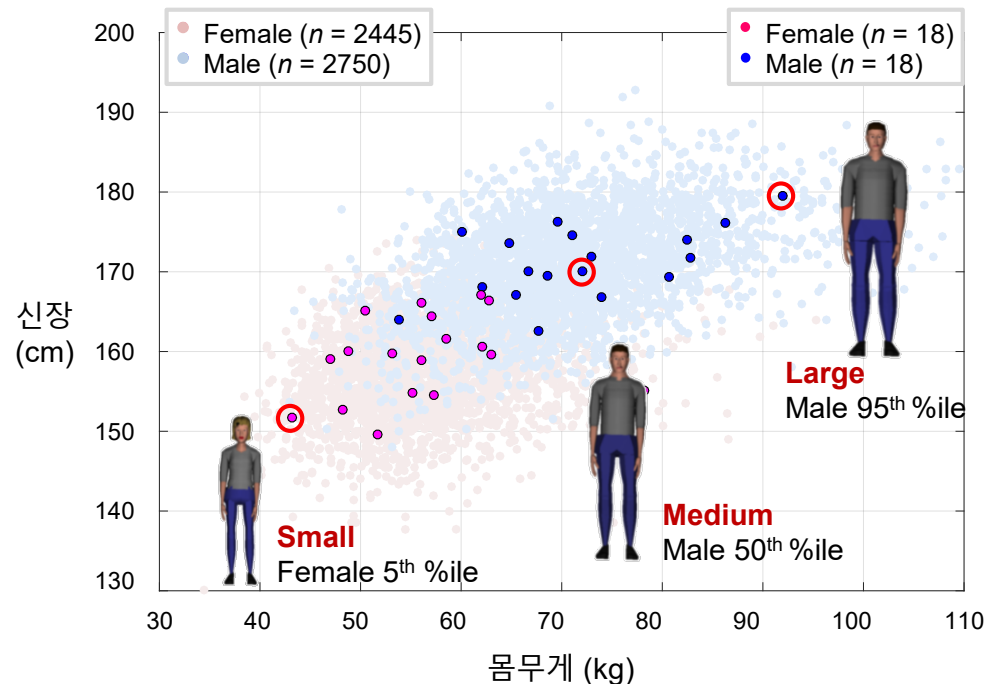


실험 참여자 Demographic Information

- ❖ $n = 36$ 명(남성: 18명, 여성: 18명)
- ❖ 연령: $M = 26.6$, $SD = 10.0$, $R = 20 \sim 61$ 세
- ❖ 본 실험에 참여한 평가자들의 인체크기는 Size Korea (2010) 한국인 평균 인체크기와 유사
 ⇒ 통계적으로 적합하게 한국인 모집단을 대표

신장 (cm)	남		여	
	Size Korea	본 실험	Size Korea	본 실험
평균	171.4	171.8	158.4	159.2
SD	6.1	4.5	5.7	5.3
최소	-	162.5	-	149.6
최대	-	179.5	-	167.0

몸무게 (kg)	남		여	
	Size Korea	본 실험	Size Korea	본 실험
평균	71.6	71.8	55.9	56.1
SD	10.3	9.8	7.6	8.0
최소	-	53.8	-	43.2
최대	-	91.9	-	78.2



승객석 평가: 실험 절차

승객석 부위별 만족도 평가

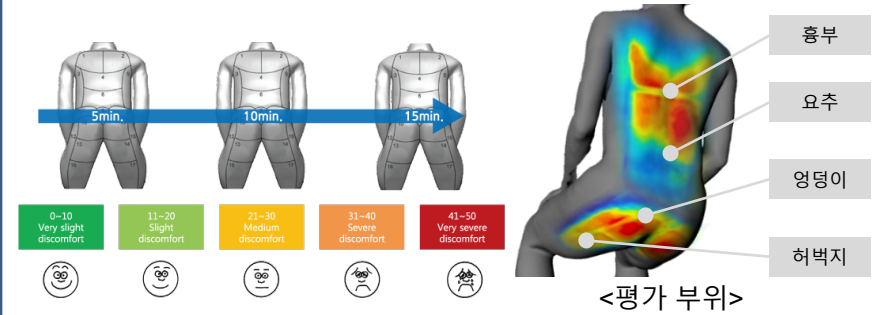
- 승객석 부위별 절대 평가(New Euro) 및 상대평가(UBS, DBS)



자유롭게 앉아보며 기준 승객석 대비 상대 평가

신체 부위별 불편도 평가 및 체압 측정

- 주관적 평가: 신체 부위별 불편도 평가
- 객관적 평가: 착좌 압력 측정
- 평가 도구: CP-50 scale
- 평가 도구: pressure mat
- 측정 횟수: 3회 (1회/5분 간격)
- 측정 빈도: 1 Hz (1 frame/s)
- 측정 부위: 흉부, 요추, 엉덩이, 허벅지
- 측정 범위: 609 × 609 mm

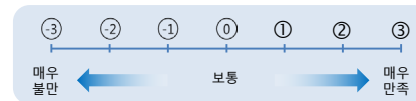


<X Sensor PX100>
(XSENSOR Technology, Korea)

<측정 부위>

승객석 부위별 만족도 평가 결과 - Summary

- UBS: 0.53점(중립 ~ 약간 좋음)
- DBS: 0.30점(중립 ~ 약간 좋음)



(n = 36)

설계 부위	상대평가 점수 평균			MD
	New Euro (평가 기준)	UBS	DBS	UBS-DBS
머리지지부	0점 (중립)	0.34	-	-
등받이 흉부 지지부		-0.08	-	-
등받이 요추 지지부		0.22	-	-
등받이 측면 지지부		1.28	-	-
등받이 전반		0.46	-	-
좌면 엉덩이 지지부	0점 (중립)	0.72	0.23	0.49
좌면 허벅지 지지부		0.58	0.06	0.52
좌면 측면 지지부		0.66	0.15	0.51
좌면 전반		0.59	0.01	0.58
평균		0.53	0.30	0.53

등받이 만족도:
UBS > New Euro

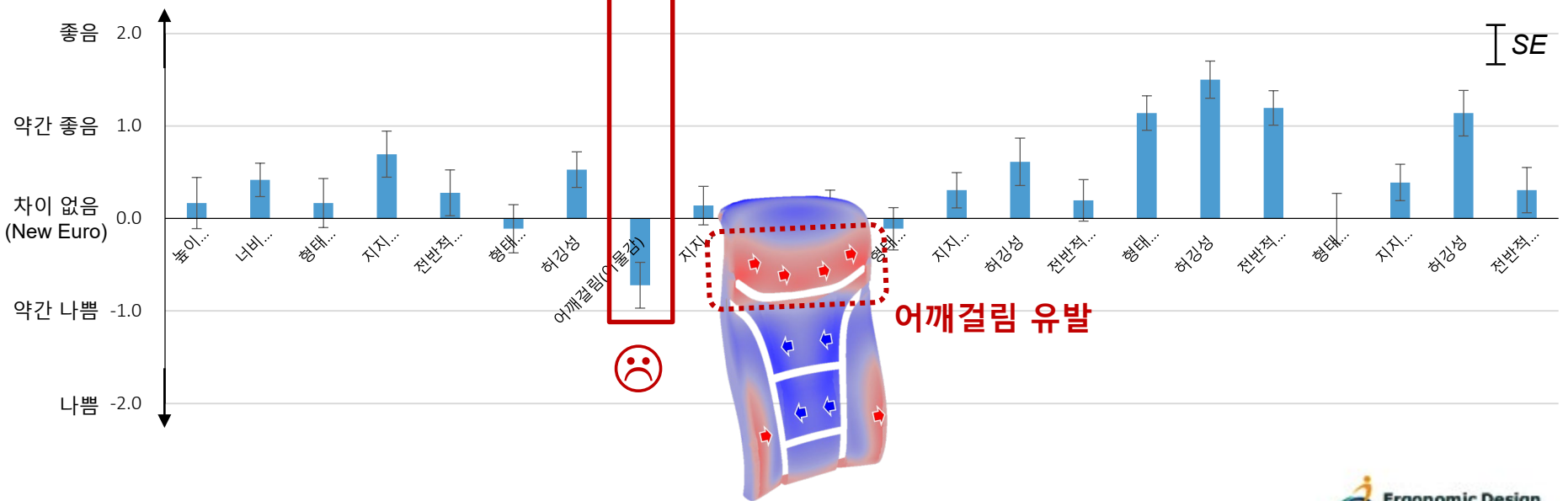
좌면 만족도:
UBS > DBS

인체형상 기반 승객석 평가: 등받이

- **흉부 지지부의 어깨걸림(이물감) 평가 항목은 New Euro에 비해 평균 약 0.7점 낮음**

Mean (SE) * $p < 0.5$

(기준)	머리 지지부					흉부 지지부					요추 지지부					측면 지지부			등받이 전반			
	높이 적절성	*너비 적절성	형태 적합성	*지지 적절성	전반적 만족도	형태 적합성	*허깅성	*어깨 걸림 이물감	지지 적절성	전반적 만족도	높이 적절성	형태 적합성	지지 적절성	*허깅성	전반적 만족도	*형태 적합성	*허깅성	*전반적 만족도	형태 적합성	지지 적절성	*허깅성	전반적 만족도
New Euro	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
UBS	0.2 (0.28)	0.4 (0.18)	0.2 (0.27)	0.7 (0.25)	0.3 (0.25)	-0.1 (0.26)	0.5 (0.19)	-0.7 (0.25)	0.1 (0.21)	-0.3 (0.23)	0.1 (0.19)	-0.1 (0.23)	0.3 (0.19)	0.6 (0.26)	0.2 (0.22)	1.1 (0.19)	1.5 (0.20)	1.2 (0.19)	0.0 (0.27)	0.4 (0.20)	1.1 (0.25)	0.3 (0.25)
DBS	UBS와 동일																					

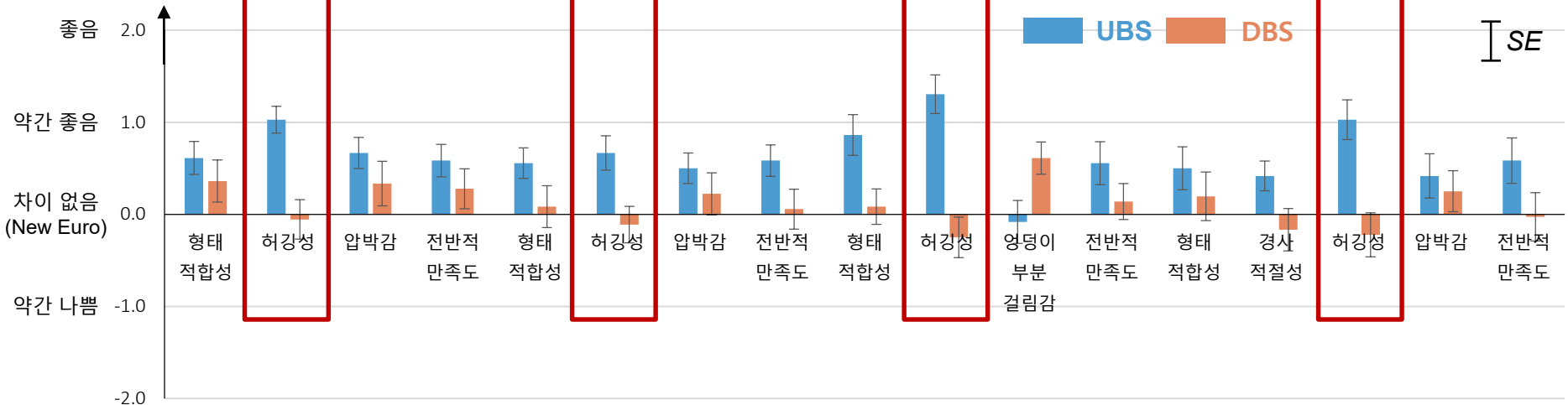


인체형상 기반 승객석 평가: 좌면

- 모든 승객석 부위에서 허깅성은 New Euro에 비해 평균적으로 UBS의 경우 약 1.07점 높게, DBS의 경우 약 0.18점 낮게 평가됨

Mean (SE) * $p < 0.5$

	엉덩이 지지부				허벅지 지지부				좌면 측면 지지부				좌면 전반				
	* 형태 적합성	* 허깅성	* 압박감	* 전반적 만족도	* 형태 적합성	* 허깅성	* 압박감	* 전반적 만족도	* 형태 적합성	* 허깅성	* 엉덩이 부분 걸림감	* 전반적 만족도	* 형태 적합성	* 경사 적절성	* 허깅성	* 압박감	* 전반적 만족도
(기준) New Euro	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)
UBS	0.6 (0.18)	1.0 (0.15)	0.7 (0.17)	0.6 (0.18)	0.6 (0.17)	0.7 (0.19)	0.5 (0.17)	0.6 (0.17)	0.9 (0.22)	1.3 (0.21)	-0.1 (0.23)	0.6 (0.23)	0.5 (0.23)	0.4 (0.16)	1.0 (0.22)	0.4 (0.24)	0.6 (0.25)
DBS	0.4 (0.23)	-0.1 (0.21)	0.3 (0.24)	0.3 (0.22)	0.1 (0.23)	-0.1 (0.20)	0.2 (0.23)	0.1 (0.22)	0.1 (0.19)	-0.3 (0.22)	0.6 (0.17)	0.1 (0.20)	0.2 (0.26)	-0.2 (0.23)	-0.2 (0.24)	0.3 (0.22)	0.0 (0.26)

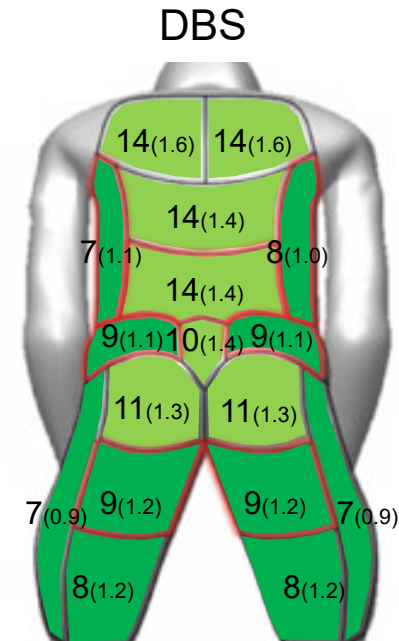
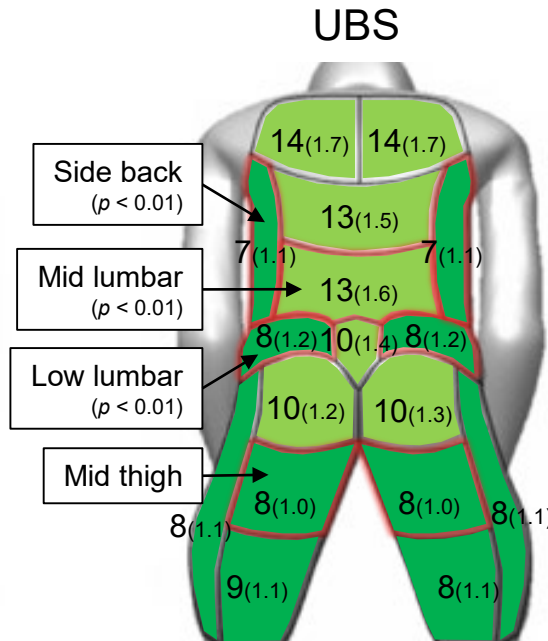
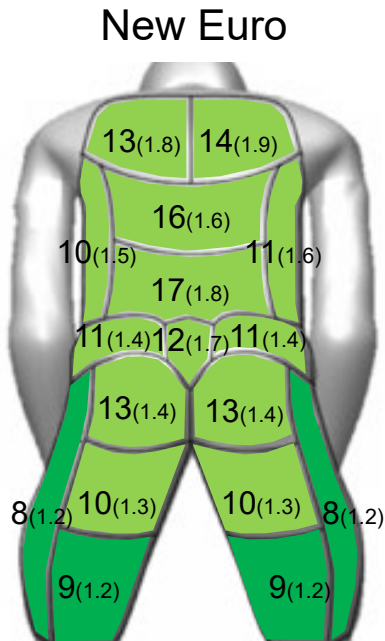


신체 부위별 주관적 불편도 평가 결과

- 승객석에 관계없이 모든 신체 부위의 불편도 < 20점 (slight discomfort)
- New Euro에 비해 UBS와 DBS는 side back, lumbar, mid thigh의 불편도 ↓

신체 부위	불편도 (점)			% difference (New Euro 대비)		p-value
	New Euro	UBS	DBS	UBS	DBS	
Side back	10.5	7.0	7.5	-33.3	-28.6	< 0.01
Mid back	17.0	13.0	14.0	-23.5	-17.6	< 0.01
Low back	11.0	8.0	9.0	-27.3	-18.2	< 0.01
Mid thigh	10.0	8.0	9.0	-20.0	-10.0	0.08

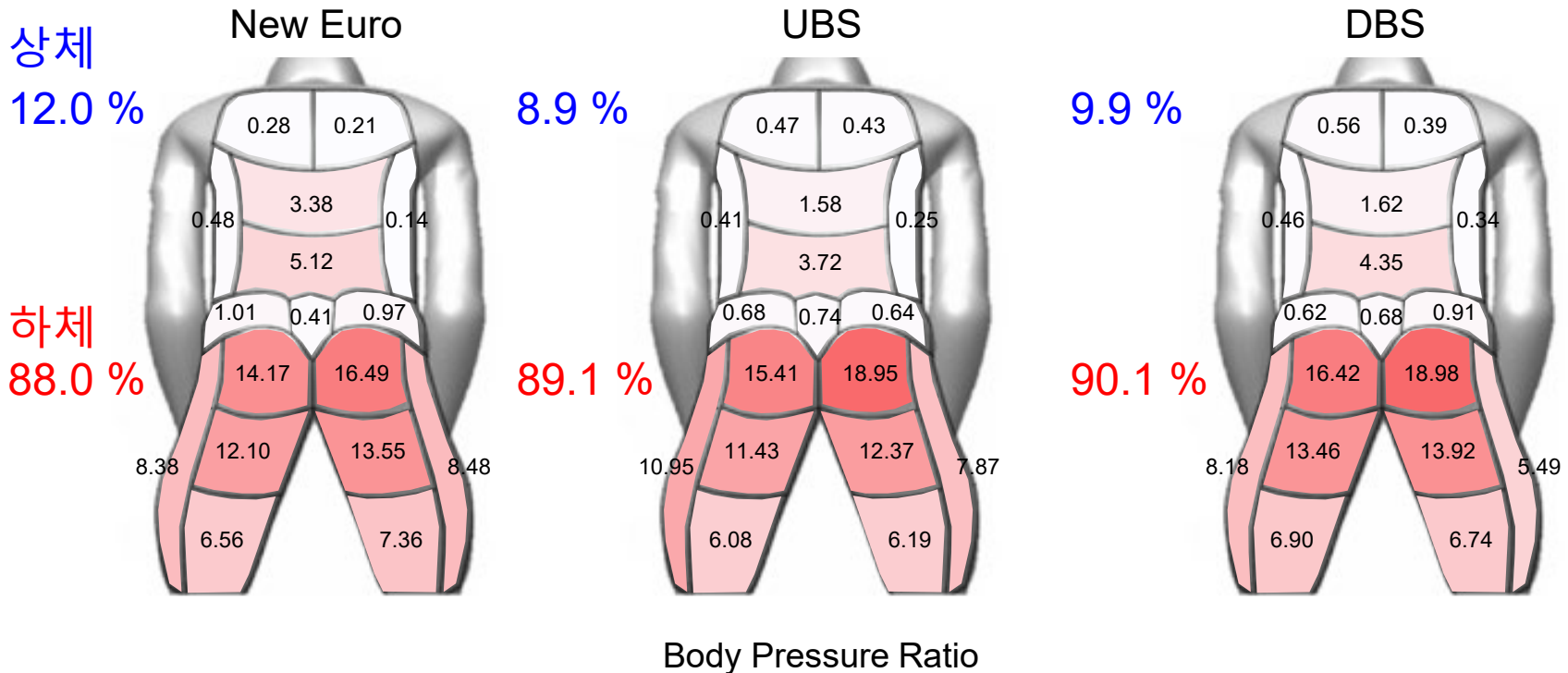
(n = 36)



불편도 평균(표준오차)
24

신체 부위별 Body Pressure Ratio 분석 결과

- 승객석에 관계 없이 착좌 시 체압은 하체에 집중됨(상체: 10.2%, 하체: 88.8 %)
- 최대 체압 분포 부위 → 1순위: **Buttock** (16.7%), 2순위: Mid-thigh (12.8%)
- 승객석 종류에 관계 없이 체압 분포 유사



승객석 평가 종합

		승객석 만족도 (7-Point Likert)		주관적 불편도 (CP50)		체압 (Body Pressure Ratio)	
		상체	하체	상체	하체	상체	하체
New Euro seat							
UBS seat							
DBS seat							
UBS seat의 인간공학적 개선 효율 (vs. New Euro seat; 단위: %)	+	17	23	28	20	0	0
	0	73	74	72	80	100	100
	-	10	3	0	0	0	0

Note: + = positive, 0 = neutral, - = negative

착좌 UBS 인체형상($n = 36$) 측정

- ❖ 목적: 다양한 인체크기별 인체형상 획득 → 신규 승객석($n = 36$) 설계에 활용
- ❖ 실험 참여자: Size Korea data상 한국인의 인체 크기를 대표할 수 있도록 모집됨
 - ✓ $n = 36$ 명 (남: 18, 여 18)
 - ✓ 연령: $M = 26.6$, $SD = 10.0$, $R = 20 \sim 61$ 세
- ❖ 측정 방법: Half supporting seating buck을 활용하여 착석 시 undeformed body shape 3D scan

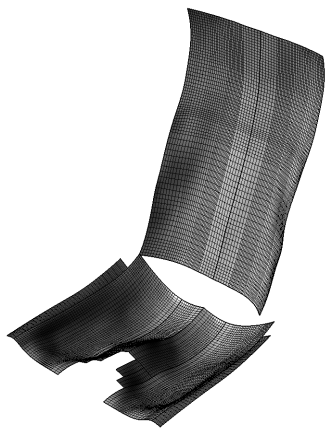
Undeformed seating body shape (UBS) 측정



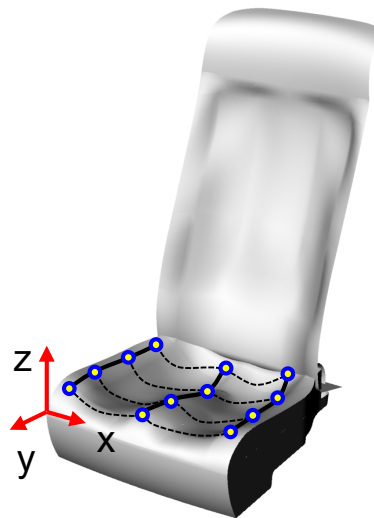
인체형상($n = 36$) 기반 승객석 형상 설계

- ❖ 수집된 인체형상 data ($n = 36$)를 인체형상 기반 승객석 형상 설계 방법론에 적용하여 신규 승객석 설계

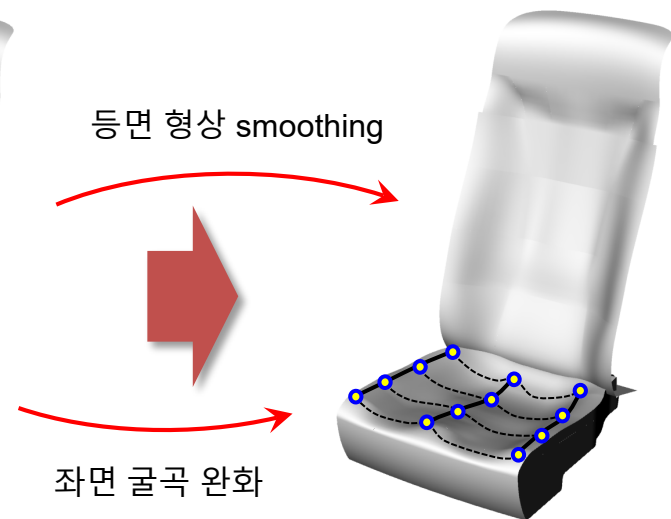
75th%ile 인체형상



Full 승객석



Compromised 승객석



인체형상 기반 승객석
설계 방법론에 따라 설계

실무진의 검토를 통해 양산성을
고려하여 75th%ile 기준 형상의 굴곡을
상하방향(z축)으로 기준 대비 70%
수준으로 완화

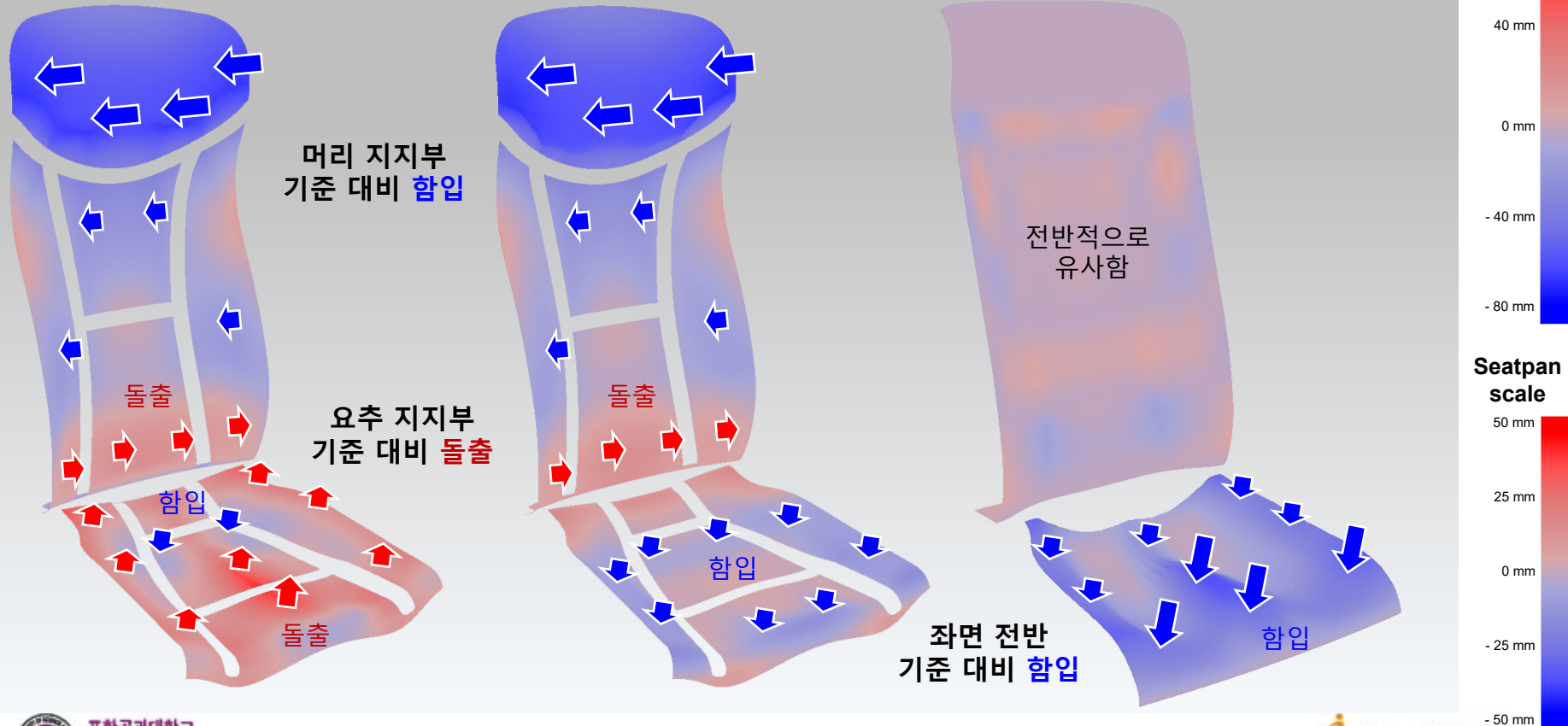
신규 승객석 형상 비교

- ❖ 신규 승객석($n=36$, comp.)은 기존 UBS ($n=3$) 승객석 대비 **머리 지지부와 좌면 전반이 함입**되고 **요추 지지부가 돌출된** 형상으로 설계됨

$n=3$ UBS (기준) vs. Full

$n=3$ UBS (기준) vs. Compromised

Full (기준) vs. Compromised



Discussion

❖ Contribution

- ✓ 착좌 인체형상 기반 버스 승객석 설계 방법론 개발
- ✓ 신규 승객석 설계안의 착좌감 평가를 통한 설계 방법론 타당성 검증

❖ Limitation

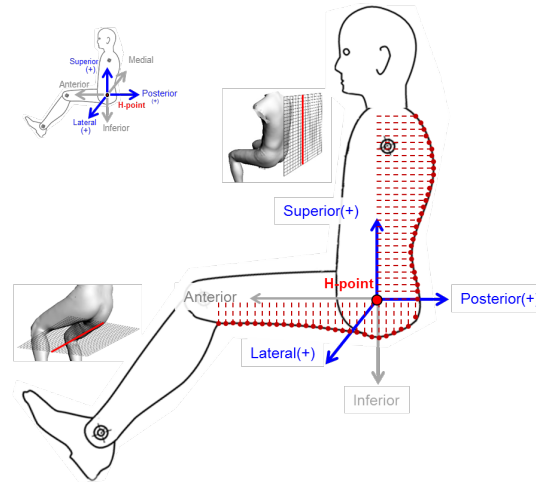
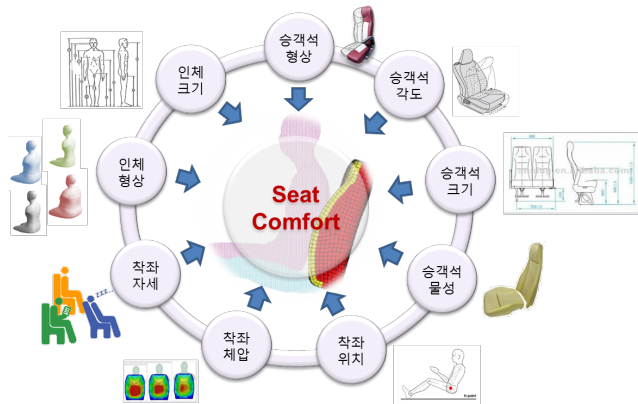
- ✓ 설계 방법론 타당성 평가 시 실제 승차 환경에서의 착좌감은 평가되지 않음

❖ Future study

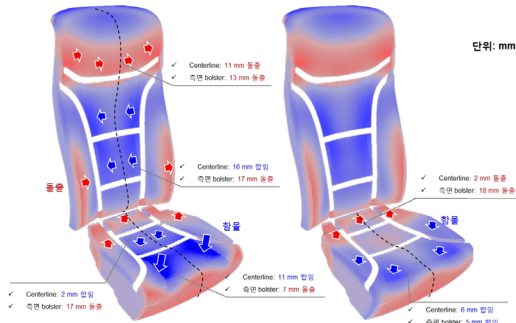
- ✓ 버스 승객석 쿠션 경도의 최적화 연구

Q & A

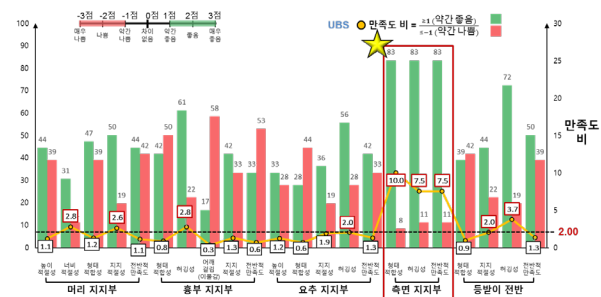
Thank you for your attention...



New Euro (기준) vs. UBS



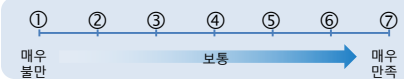
New Euro (기준) vs. DBS



인체형상 기반 승객석 효과 평가: Big Picture

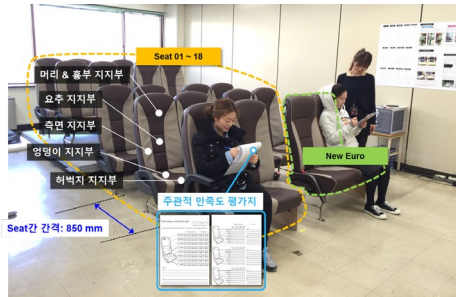
Phase 1. 형상 평가

- 평가 대상
 - New Euro 승객석(기존)
 - Ergo Seat
- 평가 방법: 착좌 시 부위별 주관적 만족도 평가



Phase 2. 경도 평가

- 평가 대상
 - New Euro 승객석(기존)
 - Ergo Seat 18종 (Taguchi design)
- 평가 방법: 부위별/전반적 선호 쿠션감 평가



Seat간 간격: 850 mm

Phase 3. 체압 평가

- 평가 대상
 - New Euro 승객석(기존)
 - Ergo Seat 18종 (Taguchi design)
- 평가 방법:
 - 착좌 체압 분포 측정
 - H-point machine 사용

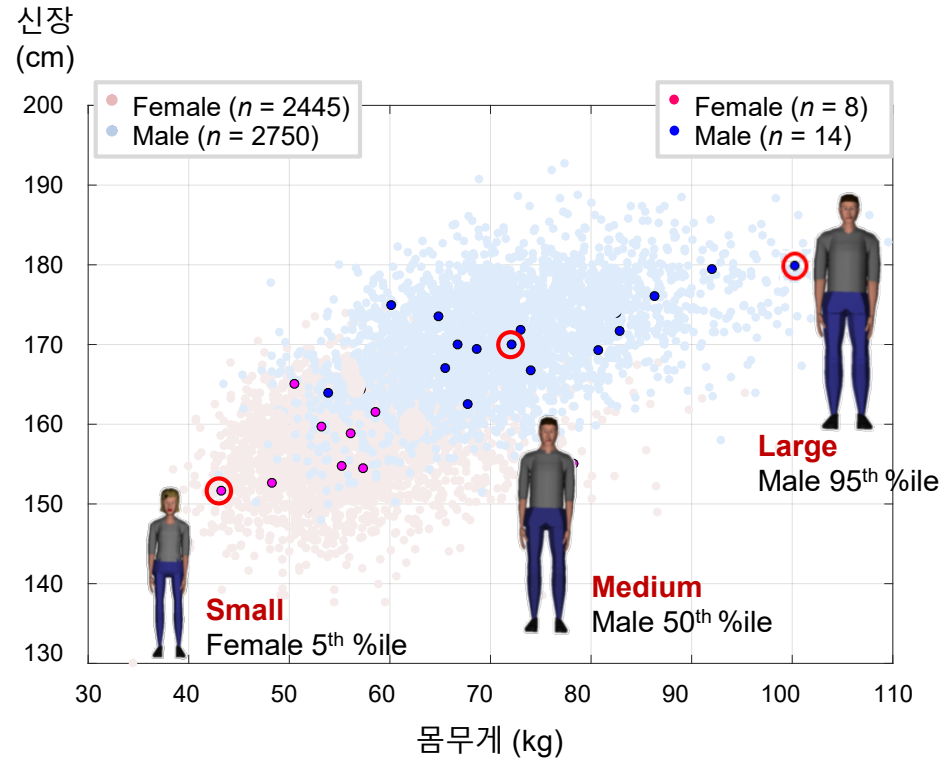


실험 참여자

- ❖ $n = 22$ 명(남성: 14명, 여성: 8명)
- ❖ 연령: $M = 36.3$, $SD = 11.1$, $R = 23 \sim 60$ 세
- ❖ 본 실험에 참여한 평가자들의 인체크기는 Size Korea (2010) 한국인 평균 인체크기와 유사
 ⇒ 통계적으로 적합하게 한국인 모집단을 대표

신장 (cm)	남			여		
	Size Korea	본 실험	p -value	Size Korea	본 실험	p -value
평균	171.4	172.5	0.38	158.4	159.5	0.58
SD	6.1	4.5		5.7	5.3	
최소	-	163.0	-	-	152.0	-
최대	-	183.0	-	-	165.1	-

몸무게 (kg)	남			여		
	Size Korea	본 실험	p -value	Size Korea	본 실험	p -value
평균	71.6	75.6	0.15	55.9	53.5	0.42
SD	10.3	9.8		7.6	8.0	
최소	-	52.8	-	-	46.0	-
최대	-	101.0	-	-	59.5	-



*Size Korea (2010) 6차 인체측정자료

Phase 1. 승객석 형상 평가

- ❖ 실험 목적: 승객석 부위별 주관적 만족도 평가
- ❖ 평가 대상: New Euro (기존) 승객석 및 인체형상 기반 Ergo seat
- ❖ 실험 시간: 약 1 시간/인
- ❖ 실험 방법: 7-point Likert scale (1: 매우 불만, 4: 보통, 7: 매우 만족)을 사용하여 만족도 평가



VS.

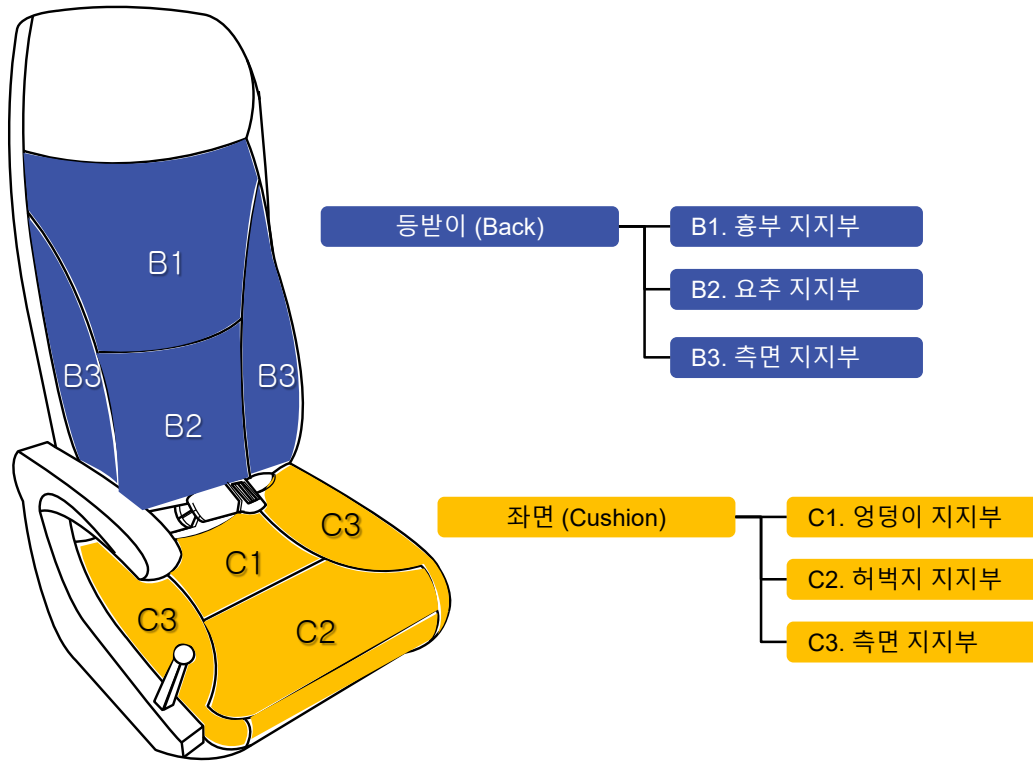


New Euro
(기존)

Ergo seat

Phase 1. 승객석 평가 설문지

- ❖ 버스 승객석 형상 및 승차자 신체부위를 고려한 승객석 component 세분화 및 구조화
- ❖ Seat comfort 관련 문헌조사를 통해 인간공학적 평가 measure 결정



좌면

평가 부위	유관 신체 부위	평가 항목	A 승객석 절대평가				A 승객석 대비 B 승객석 평가				A 승객석 대비 C 승객석 평가			
			좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편
엉덩이 지지부	[Diagram]	형태 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		허당성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		압박감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		전반적 만족도	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		추가 의견	1) _____ 2) _____											
허벅지 지지부	[Diagram]	형태 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		허당성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		압박감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		전반적 만족도	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		추가 의견	1) _____ 2) _____											
측면 지지부	[Diagram]	형태 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		허당성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		양말이부분 포함감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		전반적 만족도	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		추가 의견	1) _____ 2) _____											
좌면 전반	[Diagram]	형태 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		경사 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		허당성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		압박감	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		추가 의견	1) _____ 2) _____											

등받이(L2)

No. _____ 성명: _____

평가 부위	유관 신체 부위	평가 항목	A 승객석 절대평가				A 승객석 대비 B 승객석 평가				A 승객석 대비 C 승객석 평가			
			좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	좌우 불편	
머리 지지부	[Diagram]	높이 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		형태 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		지지 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		전반적 만족도	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		추가 의견	1) _____ 2) _____											
흉부 지지부	[Diagram]	형태 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		허당성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		어깨넓이(팔걸)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		지지 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		추가 의견	1) _____ 2) _____											
요추 지지부	[Diagram]	높이 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		형태 적합성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		허당성	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		전반적 만족도	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
		추가 의견	1) _____ 2) _____											

* 허당성: 등을 감싸주는 정도에 대한 적합성

참고문헌: 김정아 외 (2010), Kolich (2003), Smith et al. (2006)

Phase 1. 승객석 형상 평가 결과: 등받이 전반

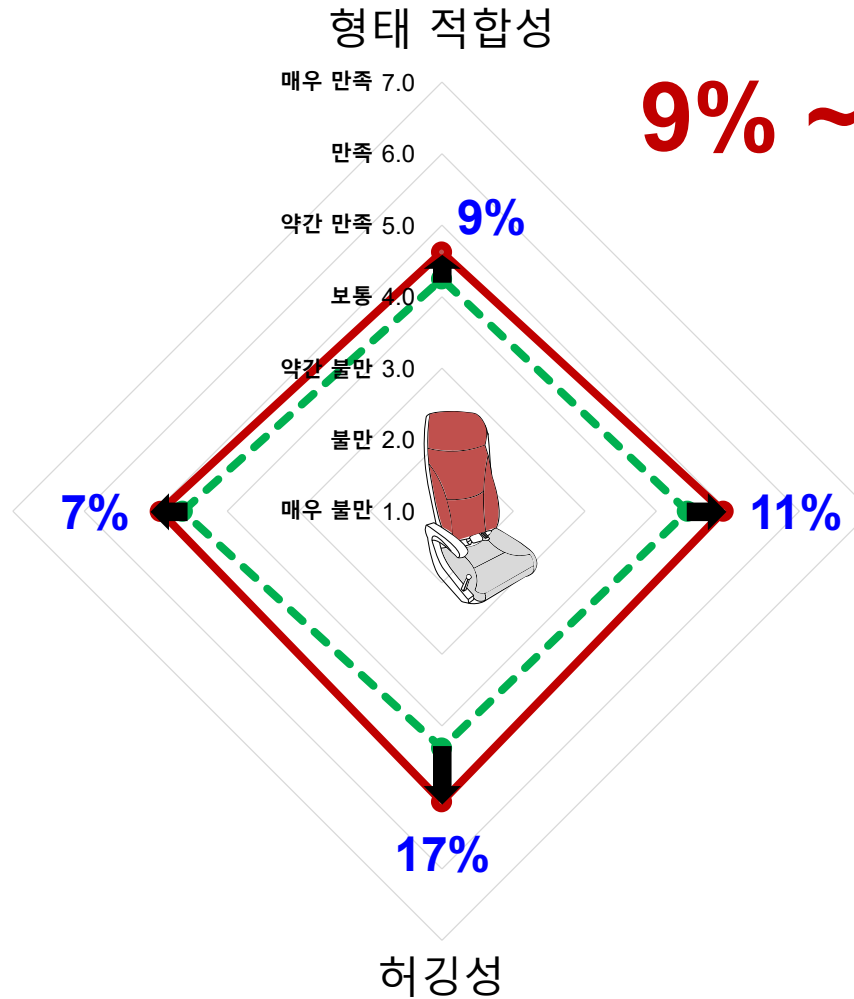


New Euro
(기존)



—
ErgoSeat

전반적 만족도



9% ~ 17% ↑

지지 적절성

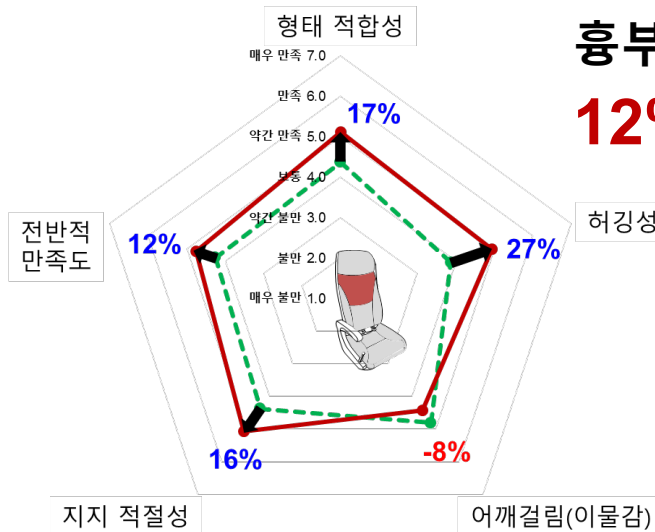
Phase 1. 승객석 형상 평가 결과: 등받이 부위별



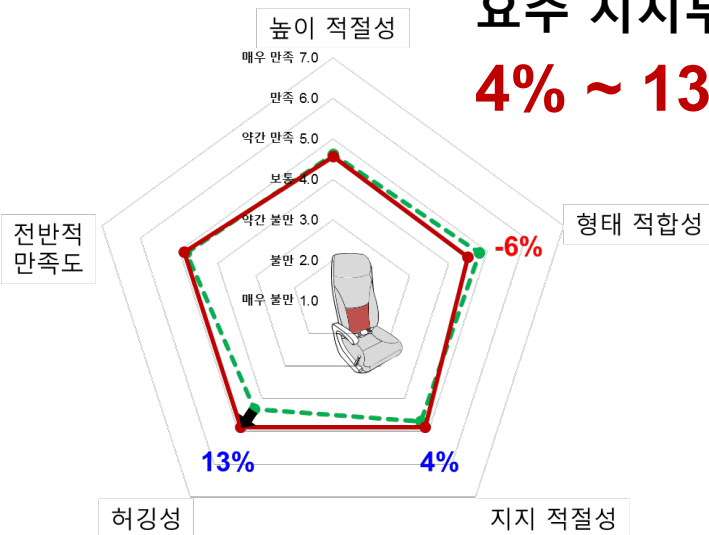
New Euro (기존)



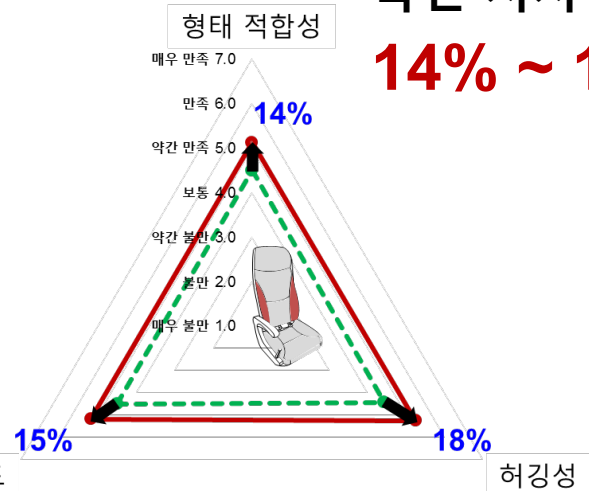
ErgoSeat



흉부 지지부
12% ~ 27% ↑



요추 지지부
4% ~ 13% ↑



측면 지지부
14% ~ 18% ↑

Phase 1. 승객석 형상 평가 결과: 좌면 전반

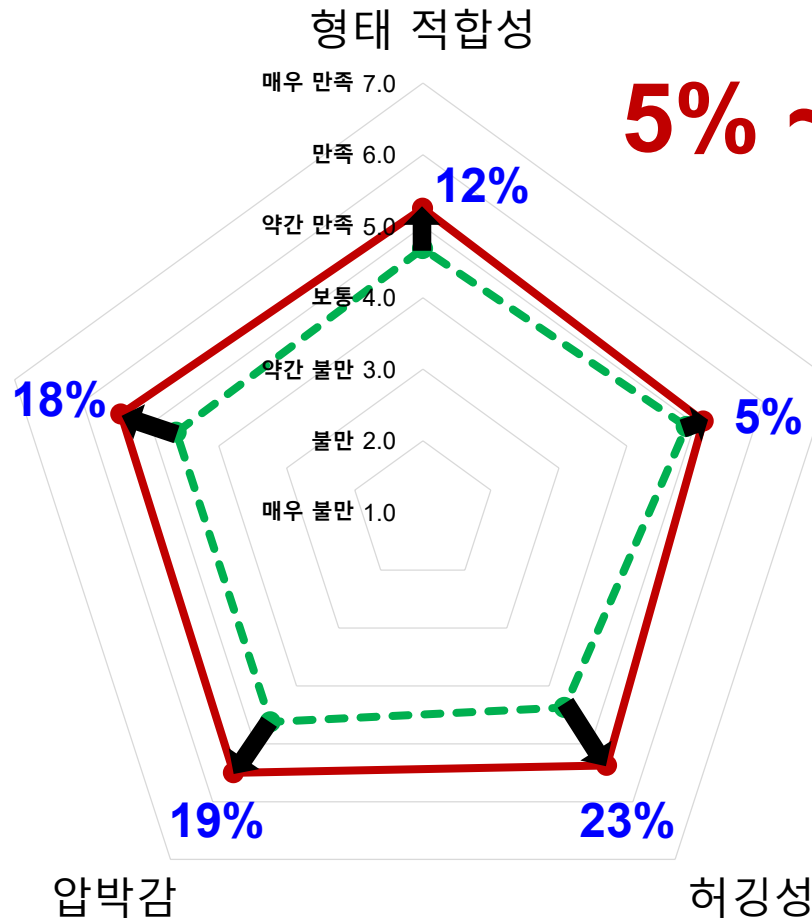


New Euro
(기존)



ErgoSeat

전반적
만족도



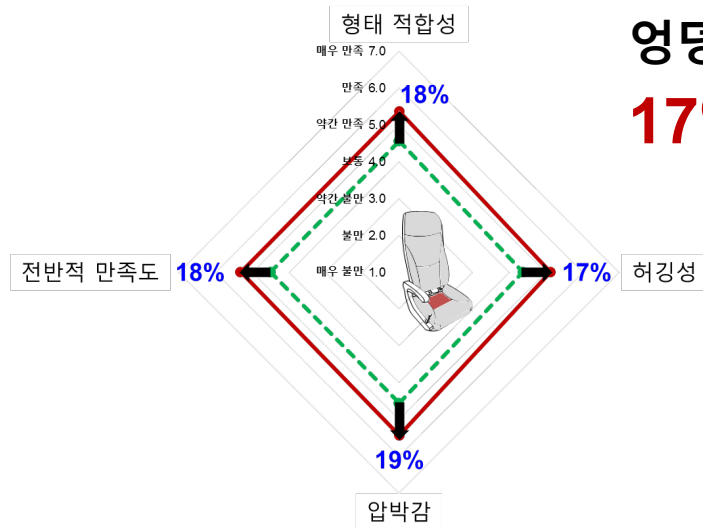
5% ~ 23% ↑

Phase 1. 승객석 형상 평가 결과: 좌면 부위별

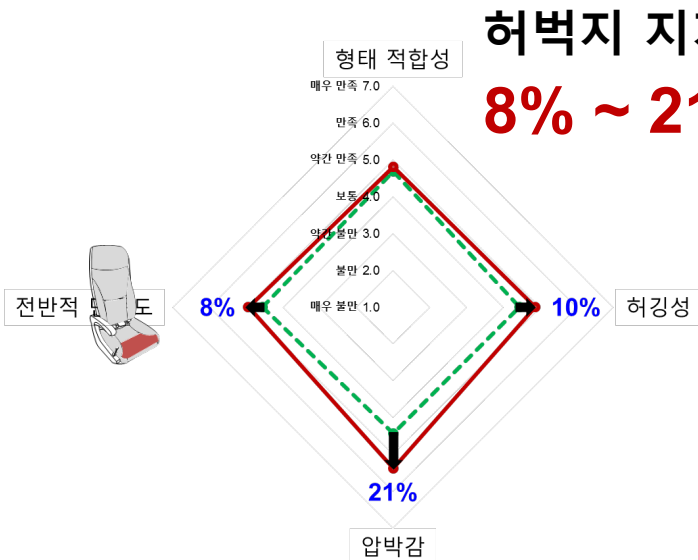


New Euro (기존)

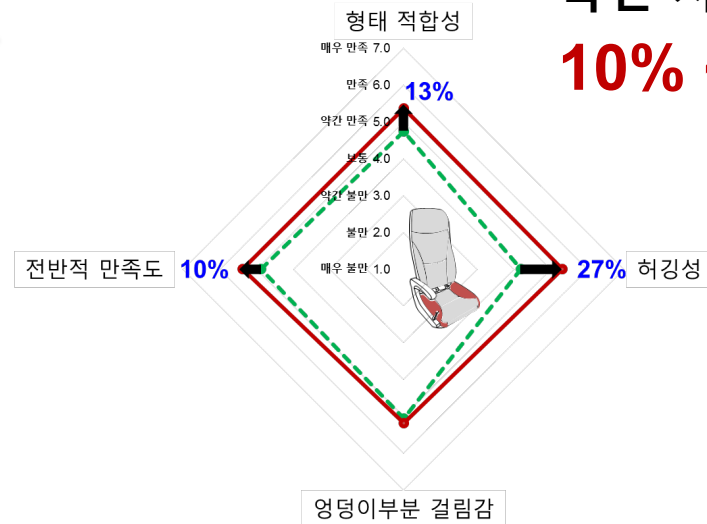
ErgoSeat



엉덩이 지지부
17% ~ 19% ↑



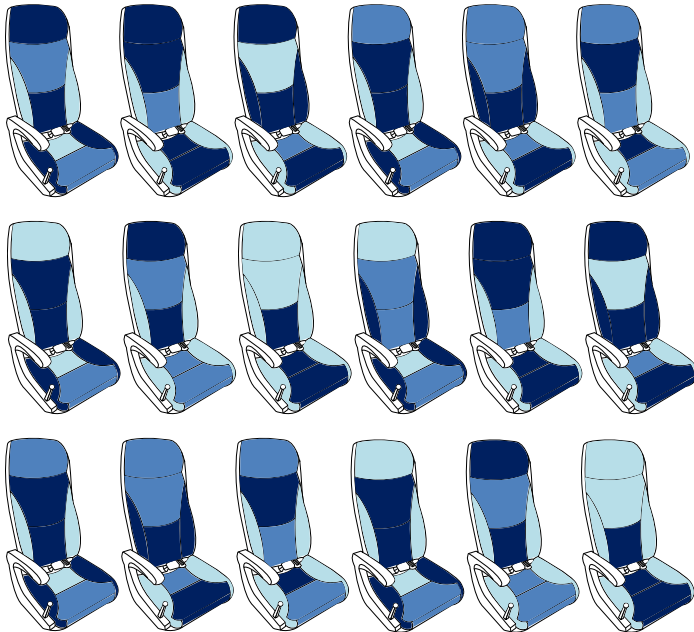
허벅지 지지부
8% ~ 21% ↑



측면 지지부
10% ~ 27% ↑

Phase 2. 선호 쿠션감 평가

- ❖ 실험 목적: 승객석 부위별 선호 폼 경도 파악
- ❖ 평가 대상: 다양한 경도 조합의 Ergo seat 18종 및 New Euro (기존) 승객석
- ❖ 실험 시간: 약 1.5 시간/인
- ❖ 실험 방법: 7-point Likert scale (1: 매우 불만, 4: 보통, 7: 매우 만족)을 사용하여 쿠션감 평가



부위별 물성이 상이한 seat 18종



쿠션감 평가 실험 절차

Phase 2. Experimental Design: Factor & Level

- ❖ 머리 지지부를 제외한 나머지 승객석 부위에 대해 모든 foam 경도(Soft, Moderate, Hard) 고려 → **L18(2¹ x 3⁵)**

항목		Factor	Factor level
등받이 실험 인자	1	머리 & 흉부 지지부 경도	2-level (Soft, Hard)
	2	요추 지지부 경도	3-level (Soft, Moderate, Hard)
	3	측면 지지부 경도	
좌면 실험 인자	4	엉덩이 지지부 경도	
	5	허벅지 지지부 경도	
	6	측면 지지부 경도	
실험 design		L18(2¹ x 3⁵)	
실험 소요 시간(명)		5분/조건 × 18조건 = 90분 = 1.5시간	

※ 경도별 물성 정보: **Hard** (x.x kgf), moderate (x.x kgf), **soft** (x.x kgf)

Phase 2. Experimental Design: Taguchi Design

- ❖ Taguchi design 중 2-3 level을 사용하는 L18 실험 설계를 사용하여 6 가지의 부위에 대해 쿠션감 평가

Designs	Single-level designs				Mixed-level designs							
	Single-level				2-3 level		2-4 level		2-8 level		3-6 level	
	2 level	3 level	4 level	5 level	2 level	3 level	2 level	4 level	2 level	8 level	3 level	6 level
L4	2 ~ 3						1 ~ 4	1				
L8	2 ~ 7											
L9		2 ~ 4										
L12	2 ~ 11											
L16	2 ~ 15		2 ~ 5				2 ~ 12	1	1 ~ 8	1		
							1 ~ 9	2				
							1 ~ 6	3				
							1 ~ 3	4				
L18					1	1 ~ 7					1 ~ 6	1
L25				2 ~ 6								
L27		2 ~ 13										
L32	2 ~ 31						1	2 ~ 9				
L36					1 ~ 11	2 ~ 12						
					1 ~ 3	13						
L54					1	3 ~ 25						

Phase 2. 선호 쿠션감 평가 설문지

승객석 부위별 쿠션감 만족도 평가 설문지

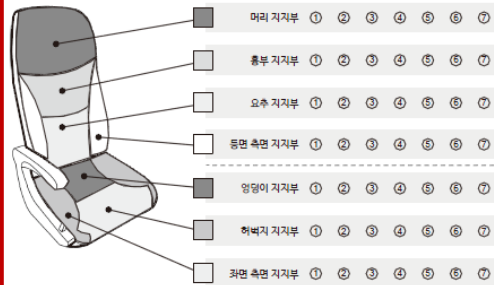
Sub. _____ 성명 _____
신장 _____ cm 몸무게 _____ kg

평가 방법

1. 한 가지 부위에 대한 평가를 모두 완료한 후 다음 부위에 대한 평가를 수행해 주세요.
2. 승객석 부위별 쿠션감에 대한 만족도를 7점 척도로 각각 절대평가 및 상대평가(기준: New Euro)해 주세요.
3. New Euro 승객석을 평가한 후 평가지 하단에 기재된 평가순서에 따라 각 승객석 부위를 평가해 주세요.

기준 승객석 쿠션감 평가

New Euro



승객석 부위별
쿠션감 평가

추가 의견 _____
평가 순서 _____

전반적 쿠션감 만족도 평가 설문지

1/16

Sub. _____ 성명 _____
신장 _____ cm 몸무게 _____ kg

평가 방법

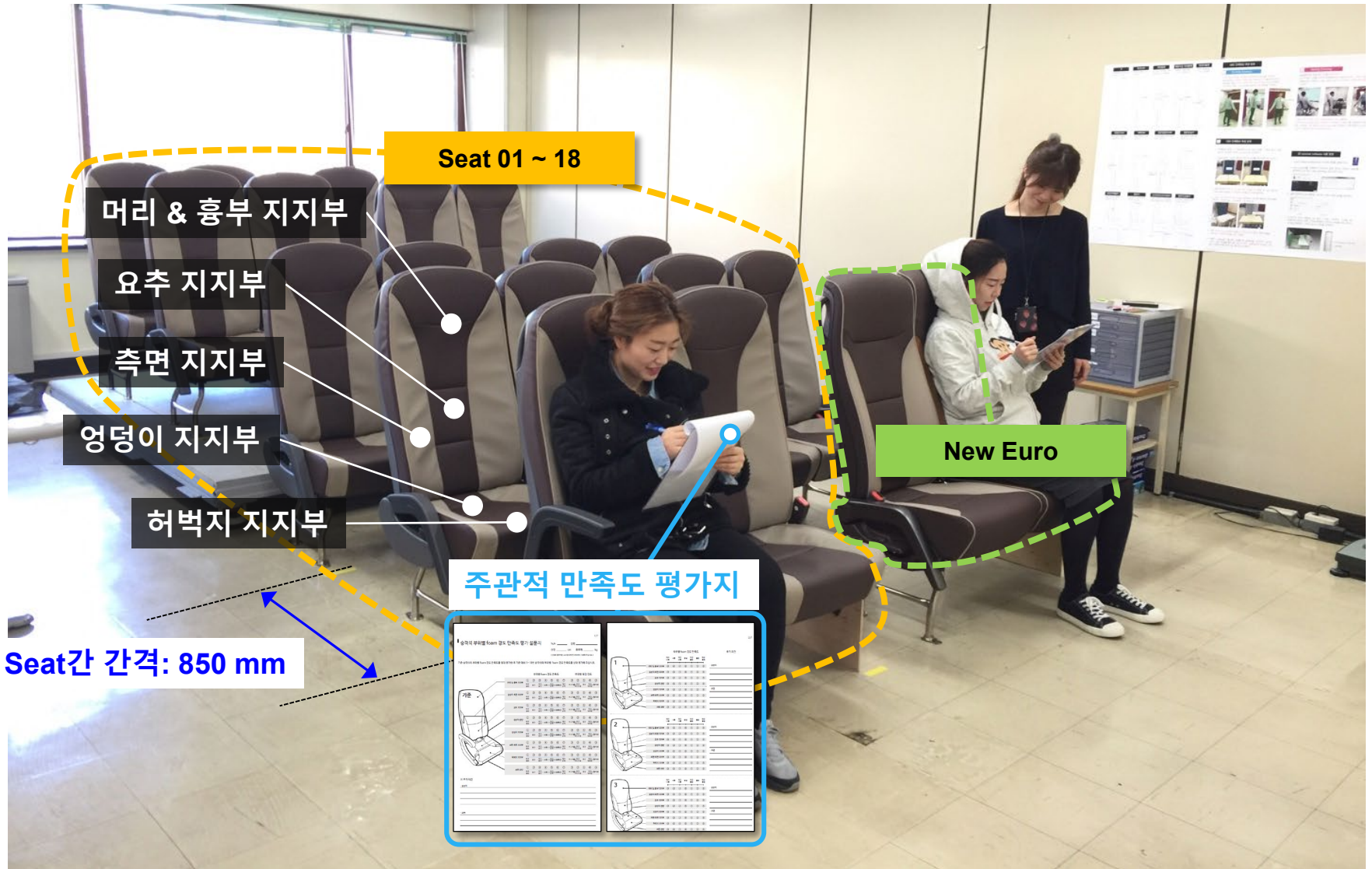
1. 등면에 대한 평가를 모두 완료한 후 좌면, 그리고 승객석 전반에 대한 평가를 수행해 주세요.
2. 승객석 등면, 좌면, 그리고 승객석 전반 쿠션감에 대한 만족도를 7점 척도로 각각 절대평가 및 상대평가해 주세요.
3. New Euro 승객석을 평가한 후 평가지 하단에 기재된 평가순서에 따라 L1 ~ L18 승객석을 평가해 주세요.



승객석 전반적
쿠션감 평가

- 등면 _____
- 좌면 _____
- 평가 순서 _____

Phase 2. 실험 환경



Seat 01 ~ 18

머리 & 흉부 지지부

요추 지지부

측면 지지부

엉덩이 지지부

허벅지 지지부

New Euro

Seat간 간격: 850 mm

주관적 만족도 평가지

주관적 만족도 평가지																																																																			
	<table border="1"> <tr> <th>구분</th> <th>평가항목</th> <th>평가기준</th> <th>평가결과</th> </tr> <tr> <td rowspan="10">좌석</td> <td>1. 좌석 높이</td> <td>400 ~ 450 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. 좌석 폭</td> <td>400 ~ 450 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3. 좌석 깊이</td> <td>400 ~ 450 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. 좌석 쿠션 두께</td> <td>50 ~ 100 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5. 좌석 쿠션 단단함</td> <td>적당히 단단함</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6. 좌석 쿠션 유연성</td> <td>적당히 유연함</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7. 좌석 쿠션 내구성</td> <td>적당히 내구성 있음</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8. 좌석 쿠션 표면 질감</td> <td>적당히 부드러움</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9. 좌석 쿠션 색상</td> <td>적당히 밝고 깨끗함</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10. 좌석 쿠션 냄새</td> <td>적당히 신선함</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="10">등받이</td> <td>11. 등받이 높이</td> <td>400 ~ 450 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12. 등받이 폭</td> <td>400 ~ 450 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>13. 등받이 깊이</td> <td>400 ~ 450 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>14. 등받이 쿠션 두께</td> <td>50 ~ 100 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15. 등받이 쿠션 단단함</td> <td>적당히 단단함</td> <td></td> </tr> <tr> <td>16. 등받이 쿠션 유연성</td> <td>적당히 유연함</td> <td></td> </tr> <tr> <td>17. 등받이 쿠션 내구성</td> <td>적당히 내구성 있음</td> <td></td> </tr> <tr> <td>18. 등받이 쿠션 표면 질감</td> <td>적당히 부드러움</td> <td></td> </tr> <tr> <td>19. 등받이 쿠션 색상</td> <td>적당히 밝고 깨끗함</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20. 등받이 쿠션 냄새</td> <td>적당히 신선함</td> <td></td> </tr> </table>	구분	평가항목	평가기준	평가결과	좌석	1. 좌석 높이	400 ~ 450 mm		2. 좌석 폭	400 ~ 450 mm		3. 좌석 깊이	400 ~ 450 mm		4. 좌석 쿠션 두께	50 ~ 100 mm		5. 좌석 쿠션 단단함	적당히 단단함		6. 좌석 쿠션 유연성	적당히 유연함		7. 좌석 쿠션 내구성	적당히 내구성 있음		8. 좌석 쿠션 표면 질감	적당히 부드러움		9. 좌석 쿠션 색상	적당히 밝고 깨끗함		10. 좌석 쿠션 냄새	적당히 신선함		등받이	11. 등받이 높이	400 ~ 450 mm		12. 등받이 폭	400 ~ 450 mm		13. 등받이 깊이	400 ~ 450 mm		14. 등받이 쿠션 두께	50 ~ 100 mm		15. 등받이 쿠션 단단함	적당히 단단함		16. 등받이 쿠션 유연성	적당히 유연함		17. 등받이 쿠션 내구성	적당히 내구성 있음		18. 등받이 쿠션 표면 질감	적당히 부드러움		19. 등받이 쿠션 색상	적당히 밝고 깨끗함		20. 등받이 쿠션 냄새	적당히 신선함	
구분	평가항목	평가기준	평가결과																																																																
좌석	1. 좌석 높이	400 ~ 450 mm																																																																	
	2. 좌석 폭	400 ~ 450 mm																																																																	
	3. 좌석 깊이	400 ~ 450 mm																																																																	
	4. 좌석 쿠션 두께	50 ~ 100 mm																																																																	
	5. 좌석 쿠션 단단함	적당히 단단함																																																																	
	6. 좌석 쿠션 유연성	적당히 유연함																																																																	
	7. 좌석 쿠션 내구성	적당히 내구성 있음																																																																	
	8. 좌석 쿠션 표면 질감	적당히 부드러움																																																																	
	9. 좌석 쿠션 색상	적당히 밝고 깨끗함																																																																	
	10. 좌석 쿠션 냄새	적당히 신선함																																																																	
등받이	11. 등받이 높이	400 ~ 450 mm																																																																	
	12. 등받이 폭	400 ~ 450 mm																																																																	
	13. 등받이 깊이	400 ~ 450 mm																																																																	
	14. 등받이 쿠션 두께	50 ~ 100 mm																																																																	
	15. 등받이 쿠션 단단함	적당히 단단함																																																																	
	16. 등받이 쿠션 유연성	적당히 유연함																																																																	
	17. 등받이 쿠션 내구성	적당히 내구성 있음																																																																	
	18. 등받이 쿠션 표면 질감	적당히 부드러움																																																																	
	19. 등받이 쿠션 색상	적당히 밝고 깨끗함																																																																	
	20. 등받이 쿠션 냄새	적당히 신선함																																																																	

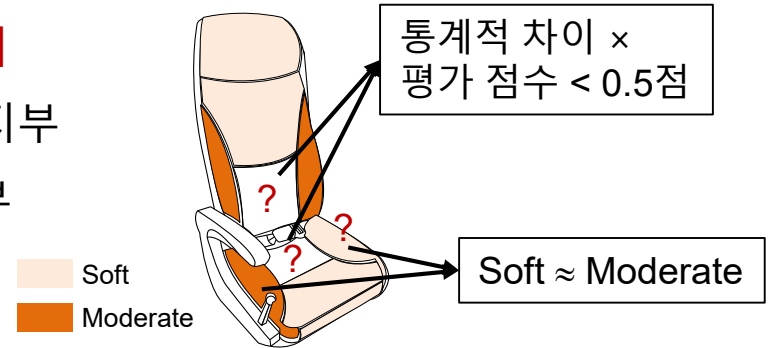
Phase 2. 승객석 부위별 선호 쿠션감

❖ New Euro 승객석의 부위별 폼 경도 만족도는 평균 4.27점(중립)


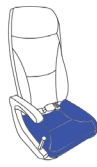
❖ New Euro 대비 폼 경도 선호도가 0.5점 이상인 부위

✓ Soft 선호: 머리, 등받이 흉부, 좌면 허벅지 지지부

✓ Moderate 선호: 등받이 측면, 좌면 측면 지지부



평가 결과

승객석 부위	절대 New Euro	New Euro 대비 상대			p-value
		Soft	Moderate	Hard	
 머리 지지부	4.1 ^b	1.2 ^a 😊	-	-1.9 ^c 😞	< 0.01
등받이 흉부 지지부	4.2 ^a	0.5 ^a	-	-0.8 ^b	< 0.01
등받이 요추 지지부	4.7 ^{ab}	0.3 ^a 😐	0.0 ^{ab}	-0.8 ^b	0.02
등받이 측면 지지부	4.3 ^a	0.1 ^a	0.5 ^a	-0.2 ^a	0.15
 좌면 엉덩이 지지부	4.3 ^a	-0.3 ^a	-0.4 ^a	-1.2 ^b	< 0.01
좌면 허벅지 지지부	4.1 ^b	0.9 ^a	0.1 ^b	-0.8 ^c	< 0.01
좌면 측면 지지부	4.2 ^{ab}	0.5 ^a	0.6 ^a	-0.4 ^b	0.01

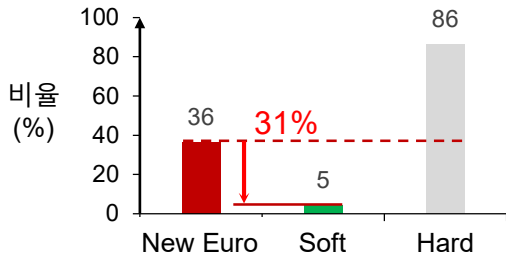
*윗첨자 a,b는 SNK grouping 결과를 나타냄

** significance $\alpha = 0.05$

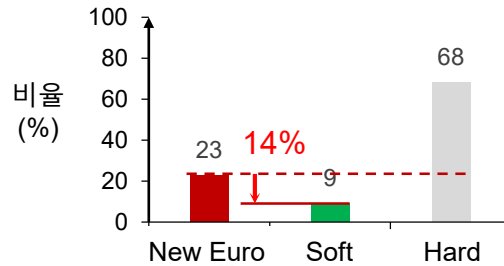
Phase 2. 쿠션감 불만족 평가 비율

❖ 전체 평가(n = 22) 중 3점(약간 불만) 이하 평가자 비율 (%)

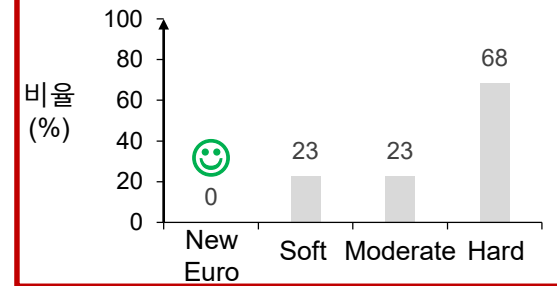
머리 지지부



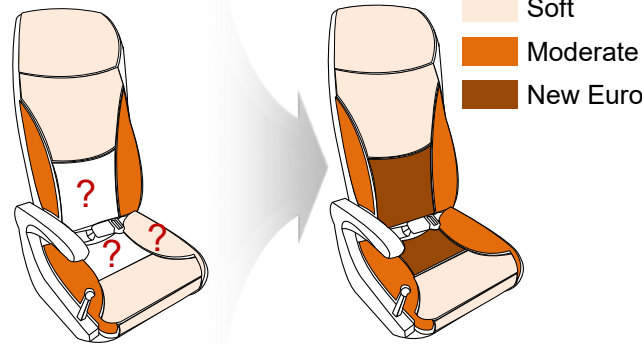
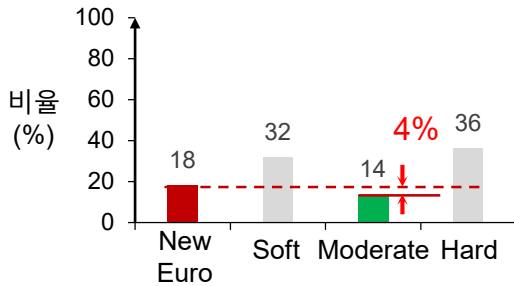
흉부 지지부



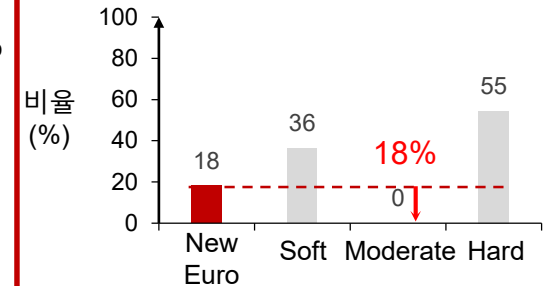
요추 지지부



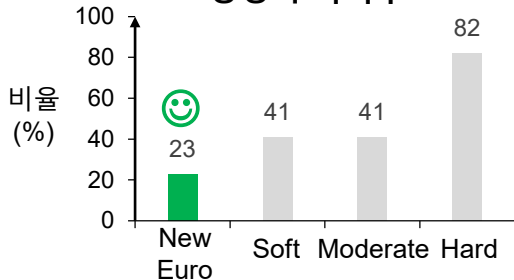
등받이 측면 지지부



좌면 측면 지지부

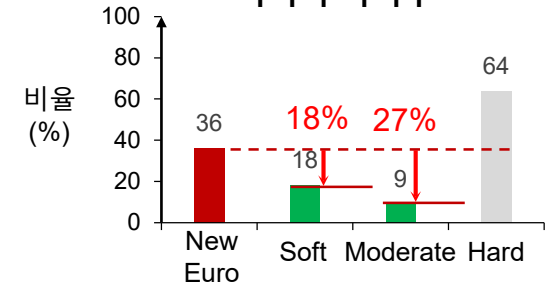


엉덩이 지지부



- 요추, 엉덩이 지지부 정도
⇒ **New Euro** 정도
- 좌면 측면 지지부 정도
⇒ **Moderate** 정도

허벅지 지지부



Phase 2. 전반적 쿠션감

평가 부위	Level	$M \pm SE$	SNK Grouping	Figure	F	P
머리 & 흉부 지지부	Soft	4.2 ± 0.29	a		$F(1, 21) = 25.5$	< 0.01
	-	-	-			
	Hard	3.4 ± 0.24	b			
등받이 요추 지지부	Soft	4.2 ± 0.24	a		$F(2, 42) = 15.7$	< 0.01
	Moderate	3.8 ± 0.24	b			
	Hard	3.4 ± 0.27	c			
등받이 측면 지지부	Soft	3.9 ± 0.23	a		$F(2, 42) = 2.65$	0.08
	Moderate	3.9 ± 0.24				
	Hard	3.7 ± 0.27				
좌면 엉덩이 지지부	Soft	4.2 ± 0.26	a		$F(2, 42) = 26.0$	< 0.01
	Moderate	4.1 ± 0.25	b			
	Hard	3.2 ± 0.25				
좌면 허벅지 지지부	Soft	3.9 ± 0.28	a		$F(2, 42) = 9.86$	< 0.01
	Moderate	4.0 ± 0.24	b			
	Hard	3.5 ± 0.24				
좌면 측면 지지부	Soft	3.8 ± 0.27	a		$F(2, 42) = 2.80$	0.07
	Moderate	4.0 ± 0.21				
	Hard	3.7 ± 0.26				

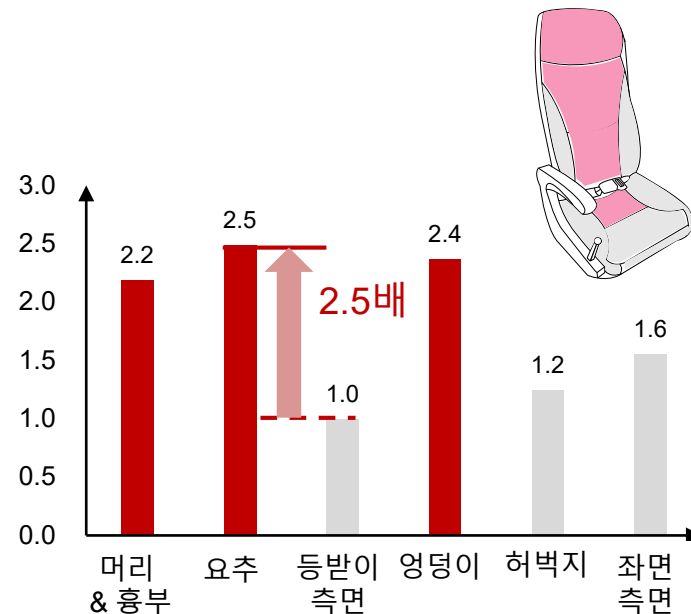
Phase 2. 부위별 선호 쿠션 경도 조합

평가 부위	Level	$M \pm SE$	SNK Grouping	Figure	부위별 선호도 (New Euro 대비)	≤ 3점 응답 평가자 비율 (%)
머리 & 흉부 지지부	Soft	4.2 ± 0.29	a		1.2	5
	-	-	-		-	-
	Hard	3.4 ± 0.24	b		-1.9	86
등받이 요추 지지부	Soft	4.2 ± 0.24	a		0.3	23
	Moderate	3.8 ± 0.24	b		0.0	23
	Hard	3.4 ± 0.27	c		-0.8	68
등받이 측면 지지부	Soft	3.9 ± 0.23	a		0.1	32
	Moderate	3.9 ± 0.24			0.5	14
	Hard	3.7 ± 0.27			-0.2	36
좌면 엉덩이 지지부	Soft	4.2 ± 0.26	a		-0.3	41
	Moderate	4.1 ± 0.25	-0.4		41	
	Hard	3.2 ± 0.25	b		-1.2	82
좌면 허벅지 지지부	Soft	3.9 ± 0.28	a		0.9	18
	Moderate	4.0 ± 0.24			0.1	9
	Hard	3.5 ± 0.24	b		-0.8	64
좌면 측면 지지부	Soft	3.8 ± 0.27	a		0.5	36
	Moderate	4.0 ± 0.21			0.6	0
	Hard	3.7 ± 0.26			-0.4	55

Phase 2. 승객석 부위별 Sensitivity 비교

- ❖ 만족도에 개별 승객석 부위가 미치는 영향력 상대적 비교
 - ✓ 분석 방법: 경도별 S/N Ratio (Larger is better; $-10 \cdot \log[\Sigma(1/Y^2)/n]$) 차이의 크기 비교
 - ✓ 만족도 영향 높은 부위: (1) 요추 지지부, (2) 엉덩이 지지부, (2) 머리 & 흉부 지지부
- ❖ 예를 들면, 요추 지지부는 등받이 측면(sensitivity = 1) 대비 만족도에 2.5배 높은 영향을 미침

항목		머리& 흉부	요추	등받이 측면	엉덩이	허벅지	좌면 측면
S/N Ratio	Soft	10.61	10.59	9.91	10.05	9.55	8.95
	Moderate	-	9.80	9.61	10.40	10.07	10.52
	Hard	8.31	7.99	8.86	7.93	8.76	8.90
Δ	Raw	2.29	2.60	1.05	2.48	1.31	1.62
	Normalize	2.19	2.48	1.00	2.37	1.25	1.55
Rank		3	1	6	2	5	4



Discussion

❖ Contributions

- ✓ 인체형상 기반 승객석의 착좌 안락감 향상에 대한 효용성 확인
- ✓ 전반적 쿠션감에 개별 승객석 부위 경도가 미치는 영향력 평가
- ✓ 본 연구에서 제안된 인체형상 기반 승객석 설계 및 선호 경도 분석 방법은 다양한 종류의 seat (항공기 승객석, 사무용 의자 등) 설계 시 적용될 수 있음

❖ 한계점

- ✓ 한국인 성인 남녀($n = 36$)의 인체형상을 기반으로 설계된 승객석이 외국인에게서 동일한 효과가 있는지에 대해 파악되지 않음
- ✓ Taguchi design이 적용되어 승객석 부위(경도)간 교호 작용 분석 불가

❖ 추후 연구

- ✓ 착좌 체압 분포와 선호 쿠션 경도간 상관관계 분석
- ✓ 전반적 쿠션감에 영향이 높은 승객석 부위를 대상으로 경도를 세분화하여 평가
- ✓ 실차 주행 환경에서 승객석 형상, 경도에 대한 검증 평가

