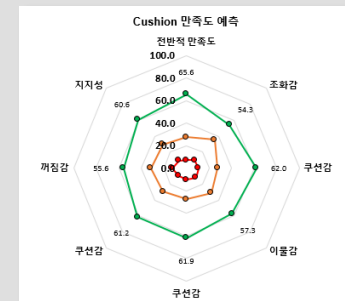
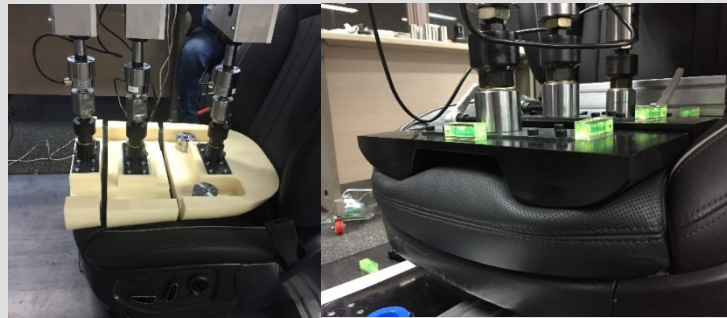


시트 물성 기반 착좌 안락감 추정 방법 개발

낮은 경도(부드러운)
⇒ 쿠션감 향상

높은 경도(딱딱한)
⇒ 지지성 확보



이승훈¹, 정하영¹, 정규호², 유희천¹

Contents

□ Introduction

- Research Background
- Objective of study

□ Material Property of Seat

- Multi-Segment Static Load Tester (MSLT)
- Material Property Measurement Protocol

□ Evaluation of Seating Comfort

- Experimental Protocol
- Results

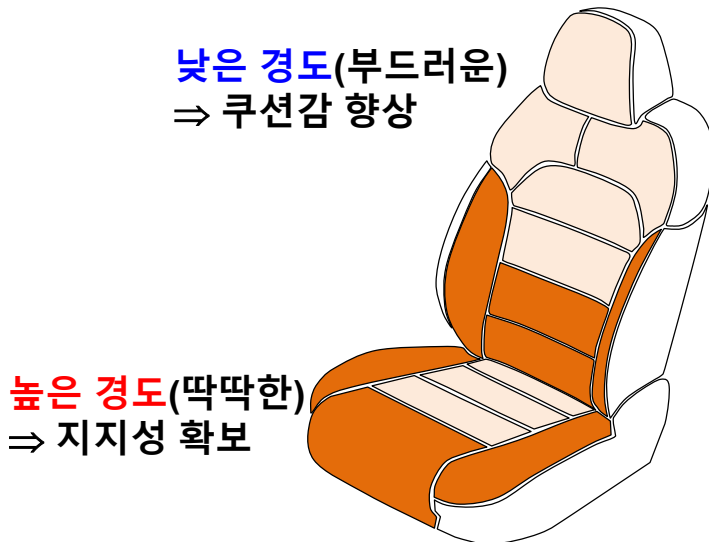
□ Seating Comfort Prediction Models

□ Discussion

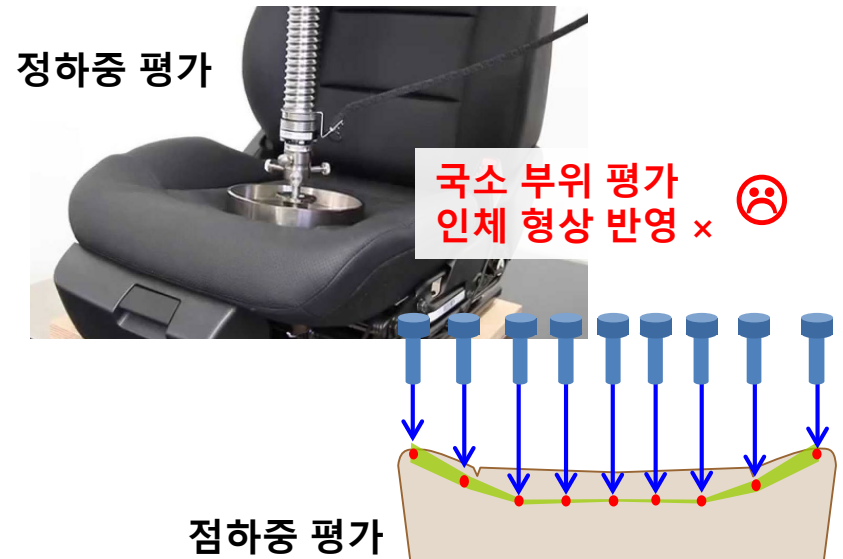
현행 시트 물성 평가 방법

- 착좌 안락감 향상을 위해 **시트 부위별로 물성이 상이하게 적용**되고 있음
- 현행 시트 물성 평가법은 **복합적인 시트 물성의 조화를 평가하기 어려움**
 - ✓ 가압판: **단면이 평평한** 원형 형태 ⇒ **운전자가 착좌한 경우와 동일한 변형 아님**
 - ✓ 측정 부위: 시트 설계 기준점 주변 **국소 부위** ⇒ **전반적 물성 조화 평가 어려움**

부위별 물성이 상이한 시트

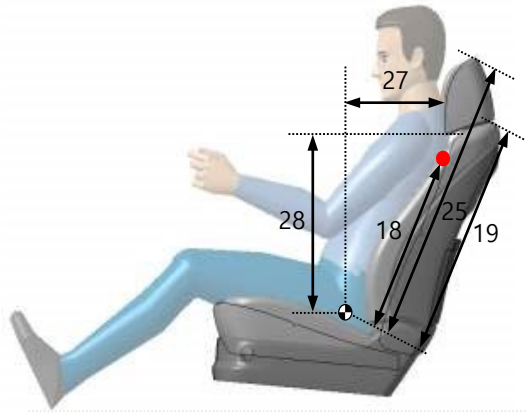


현행 정하중 측정 시험기



착좌 안락감 추정 필요성

- 현재 시트의 적절한 물성 조합을 파악하기 위해 **시제품 제작과 착좌 안락감 평가의 반복적인 과정이 필요함**
- 착좌 안락감 추정을 통해 **초기 설계와 검증 평가에 소요되는 시간과 비용을 줄이고** 시트 부위별 **물성 조합에 대한 최적 설계가 가능**할 것으로 사료됨



시트 물성 설계



주관적 착좌감 평가

착좌 안락감 향상을 위한 시트 부위별 물성 평가 방법 및 착좌 안락감 추정식 개발

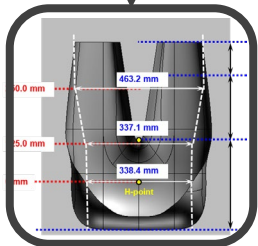
- 인체 형상 기반 시트 물성 측정 시스템 개발
- 시트 부위별 물성 측정 및 착좌 안락감 평가($n = 30$)
- 시트 물성 조합 기반 착좌 안락감 추정식 개발

연구 절차

발표 내용

S1. 문헌조사

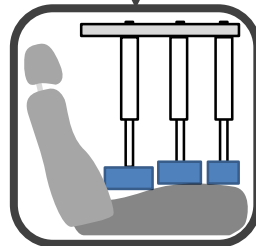
선행 연구 조사



시트 물성 측정 시스템 설계 요구사항 수립

S2. 물성 측정 장비 개발

시트 물성 측정 시스템 개발



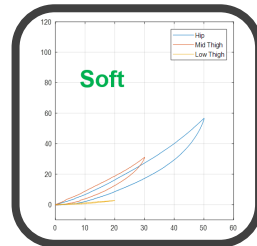
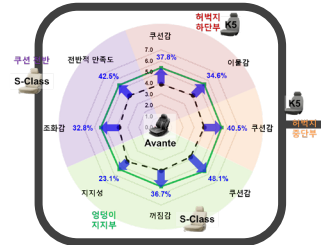
시트 물성 측정 protocol 정립

1. 측정 준비
2. Calibration

...

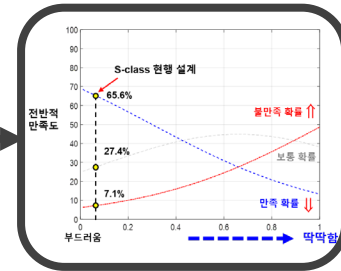
S3. 착좌감 평가

착좌 안락감 평가



부위별 물성 측정

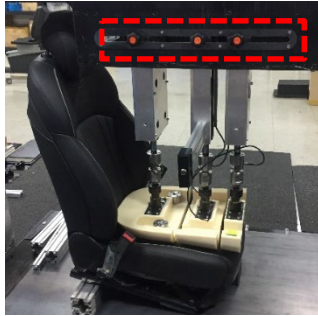
S4. 추정식 개발



시트 물성 기반 착좌 안락감 추정식 개발

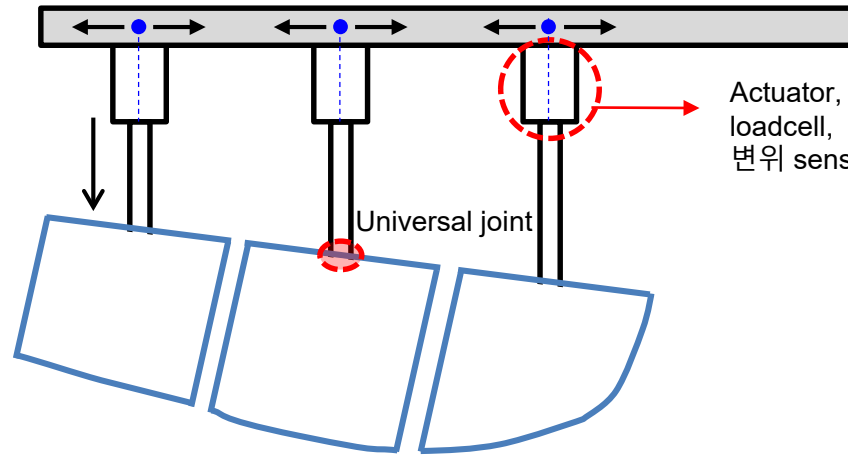
물성 측정 장비 개발

Multi-Segment Static Load Tester (MSLT)



Sliding 가능 구조

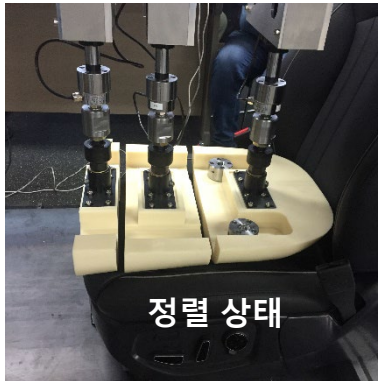
- seat와 align 목적



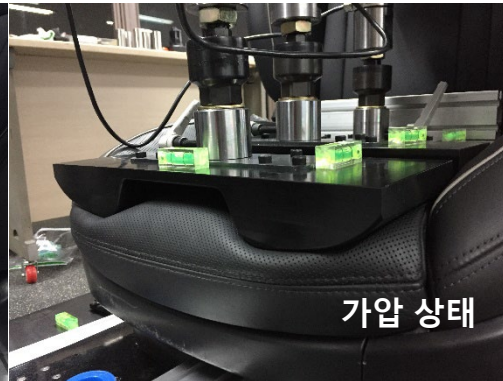
Actuator,
loadcell,
변위 sensor

하중-변위 측정 장치

- 1축 로드셀 사용
- Swivel 형태 shaft
- 가압 거리 제어(ASTM D3574 B1)



정렬 상태

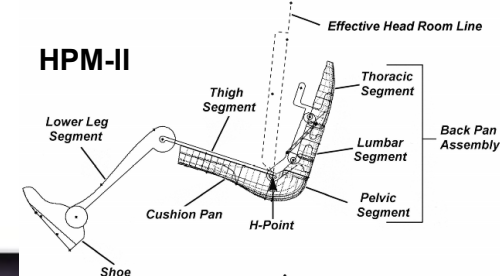


가압 상태

★ 인체 형상 가압판


- 시트 설계 및 평가 기준으로 사용되는 H-point machine (HPM-II)과 동일 형상
- 상체와 하체를 각각 3개 parts로 구분

SAE J4004
INTERNATIONAL



MLST 특성

□ 인체 착좌 상황과 유사한 조건에서 seat 물성 측정이 가능한 시스템 개발

	기존(정하중 시험기)	MLST
사진		
가압판	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 단면이 평평한 원형 형태 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 단면이 인체 형상과 동일
가압 부위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seat 국부 지점 가압 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cushion: 설계 기준점 전방 80 mm 지점 ✓ Seatback: 설계 기준점 상방 150 mm 지점 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seat 착좌 시 인체와 접촉되는 지점 가압 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cushion: 엉덩이, 허벅지 중단, 허벅지 하단 ✓ Seatback: 골반, 요추, 흉추
가압 장치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가압 하중 제어 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가압 하중 제어 ▪ 가압 거리 제어
제어 S/W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 반복 가압 시나리오만 구현 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부위별 가압 하중, 거리, 속도를 조절 가능

시트 부위별 물성 측정 Protocol

측정 준비

S1. 시트 soaking: 항온(23 ± 2 °C) 항습(50 ± 10 %) 조건에서 12시간 이상

S2. 시트 정렬: 부목을 사용하여 시트 고정 후 가압판과 정렬

- **Cushion:** 엉덩이 가압판 후면부를 시트 등받이와 동일선상에 정렬
- **Back:** 골반 가압판 하단부를 시트 쿠션과 동일선상에 정렬



물성 측정

S3. Sensor calibration: 가압판 시트 접촉 후 측정힘과 거리 0으로 초기화

S4. 가압 시나리오 작성: 가압 거리와 속도 S/W에 입력

- **가압 조건:** 오른쪽 표 참조
- 반복 측정: ≥ 3 회

S5. 측정: 정렬 상태를 확인하며 측정



Seat	부위	가압 조건	
		거리(mm)	속도(mm/s)
Cushion	Hip	58.0	58.0
	Mid thigh	50.0	50.0
	Low thigh	0.0	0.0
Back	Thoracic	0.0	0.0
	Lumbar	28.0	39.0
	Pelvis	41.0	40.0

정의 필요

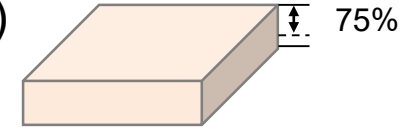
측정 데이터 검토

S6. 이상치 검토: 측정 데이터의 noise (e.g., peak, 떨림) 확인

S7. 저장

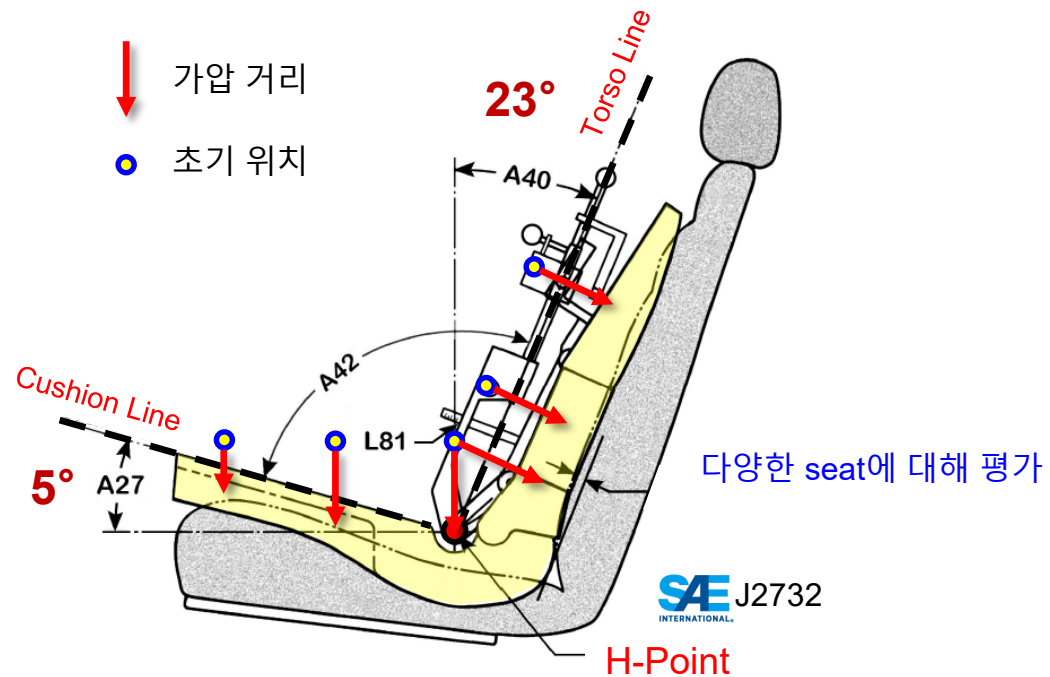
시트 부위별 가압 거리

- 기존: foam pad 두께의 75% 수준(ASTM D3574 N 물성 평가법)



← 실제 인체 착좌 시 부위별 변화량을 의미하지 않음

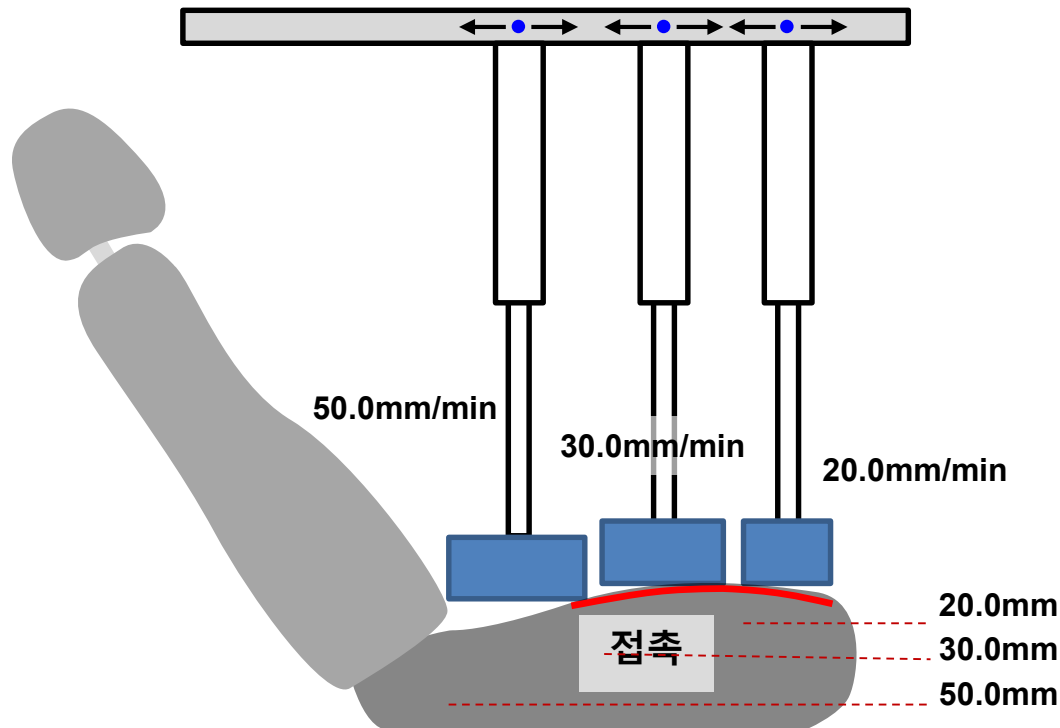
- 신규: HPM-II를 seat에 착좌한 후 부위별 가압량을 3D digitizer로 측정



시트 부위별 가압 속도

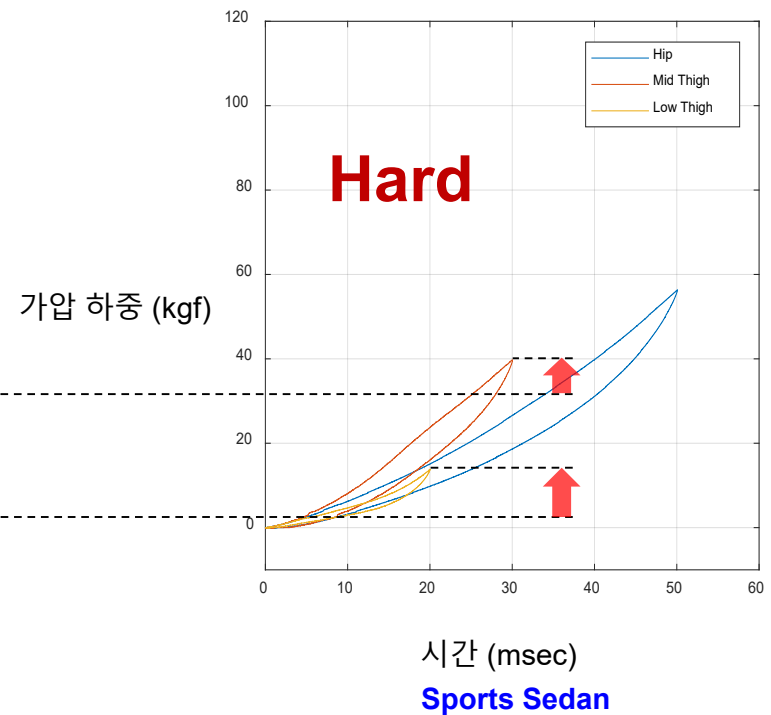
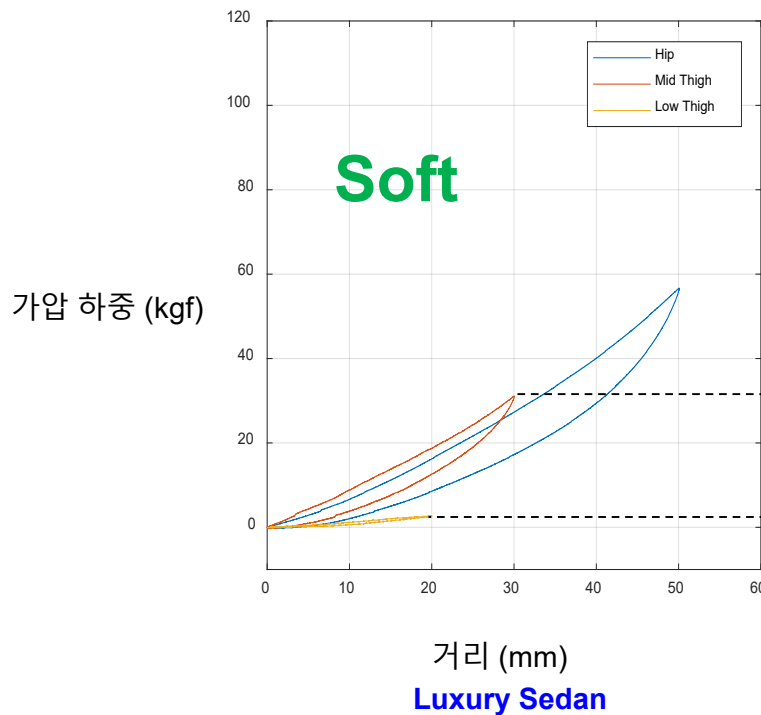
- 부위별 평가 시간이 동일하도록 함
⇒ 부위별 **동시 착좌 가정**
- **가압 속도 \propto 가압 거리**

평가 부위	가압 하중 (kgf)	가압 거리 (mm)	가압 속도 (mm/min)
엉덩이	-	50.0	50.0
허벅지 중단	-	30.0	30.0
허벅지 하단	-	20.0	20.0



물성 평가 결과 예시

- 지지성 확보가 필요한 **Sports Sedan**은 **Luxury Sedan**에 비하여 **허벅지 중단과 하단의 반발력이 높은** 것을 확인할 수 있음



시트 착좌감 평가

실험 참여자

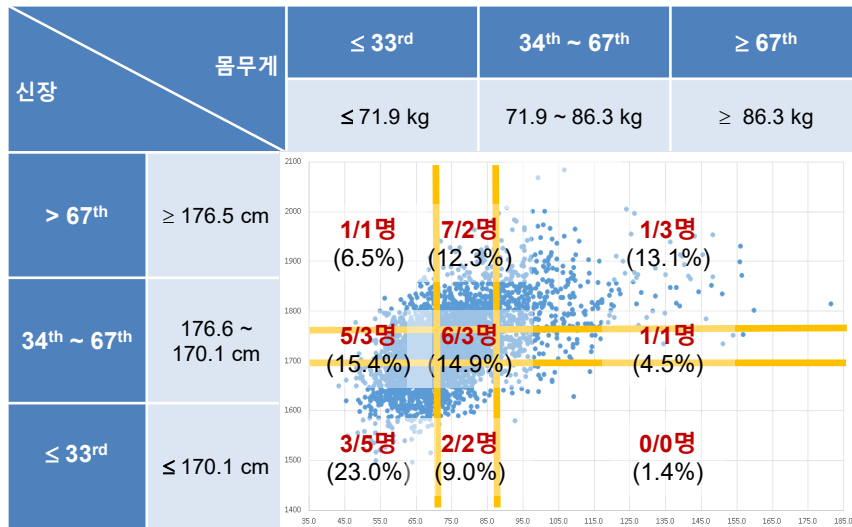
□ $n = 33$ (남성: 26명, 여성: 7명)

✓ 한국인과 북미인의 신체 크기에 대한 **composite group (1:1)**과 평균적인 차이 없음

➢ 신장: 남성($t(3,538) = 1.20, p = 0.23$), 여성($t(2,030) = 0.14, p = 0.89$)

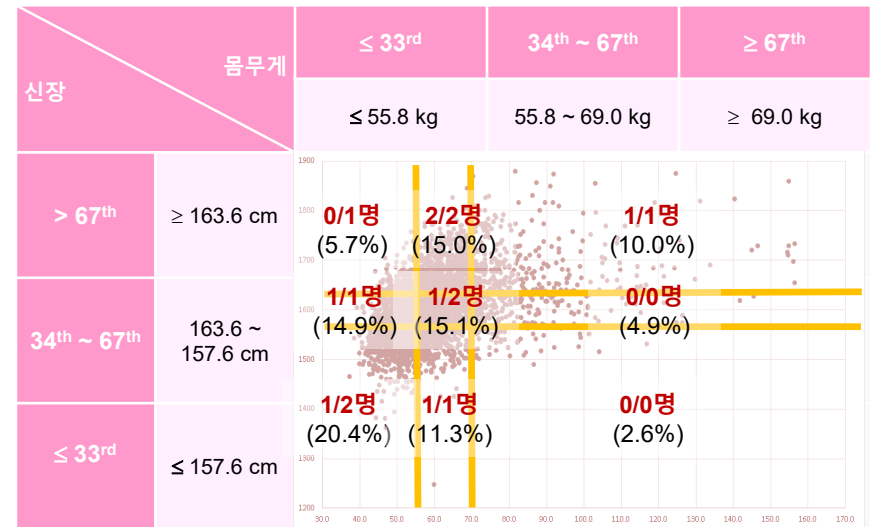
➢ 체중: 남성($t(3,538) = 0.88, p = 0.38$), 여성($t(3,170) = 0.26, p = 0.79$)

남성 참여자 분포($n = 26$) (단위: 명)



※ Size Korea 2010 ($n = 2,471$), CAESAR 2012 ($n = 1,043$)

여성 참여자 분포($n = 7$) (단위: 명)



※ Size Korea 2010 ($n = 2,025$), CAESAR 2012 ($n = 1,146$)

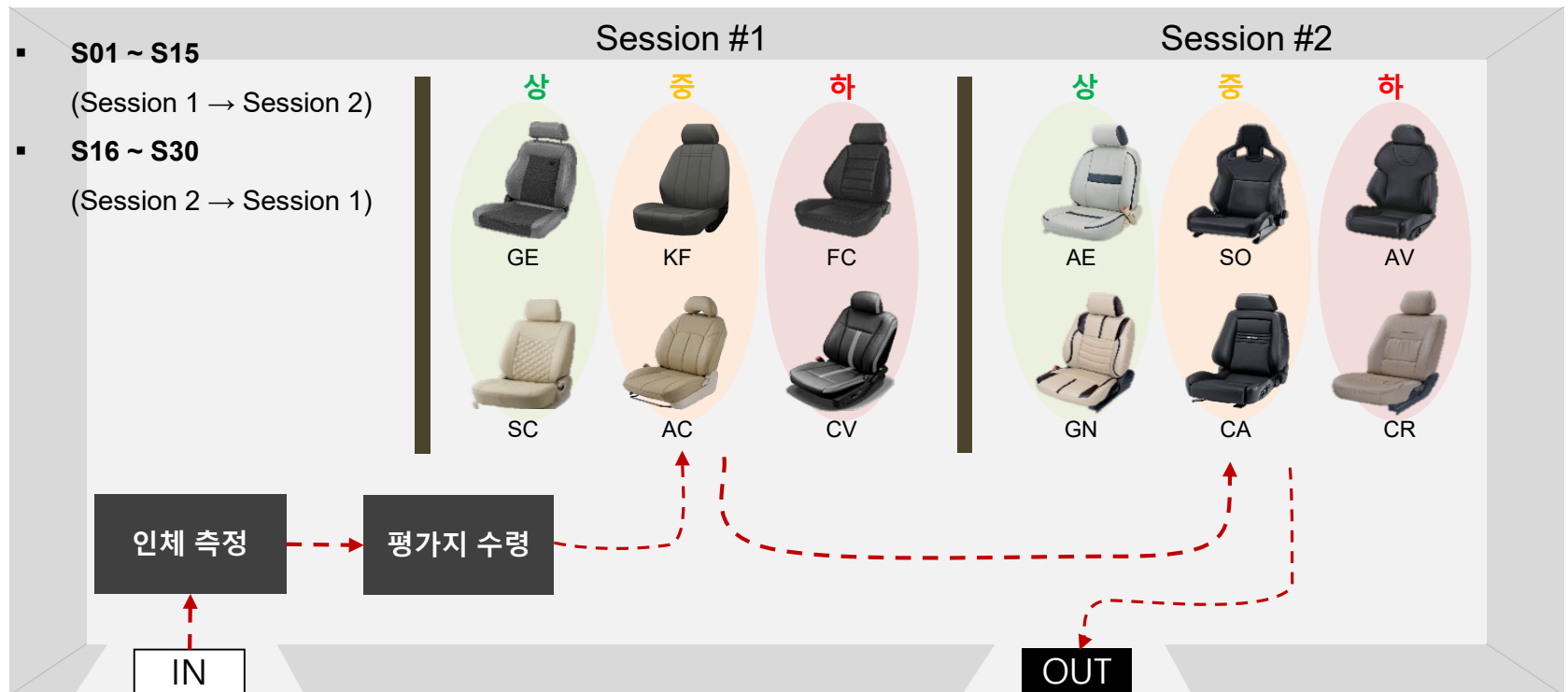
부위별 물성 및 착좌감 평가 대상

- 만족도 **상, 중, 하** 그룹에 대해 평가 대상 4종 선정 ⇒ **총 12종**
 - ✓ 2010 ~ 2017년 출시된 차량의 전석 seat에 대한 소비자 만족도 점수 조사
 - ✓ 차량 제조사 실무진 의견 반영

만족도	평가 대상			
상	 <p>HYUNDAI GE</p>	 <p>Audi AE</p>	 <p>Mercedes SC</p>	 <p>HYUNDAI GN</p>
중	 <p>TOYOTA CA</p>	 <p>HONDA AC</p>	 <p>HYUNDAI SO</p>	 <p>KIA KF</p>
하	 <p>Ford FC</p>	 <p>HONDA CV</p>	 <p>HYUNDAI AV</p>	 <p>TOYOTA CR</p>

평가 환경

- 2개의 실험 공간(차량 외부)에 **상, 중, 하 그룹별 seat를 2개씩(총 6개/공간) 배치**
- 실험참여자는 **지정된 순서**(실험 설계 다음 page 참조)에 따라 평가 진행



Experimental Design

□ 실험 순서를 **randomize** 하여 평가 순서에 의한 영향 최소화

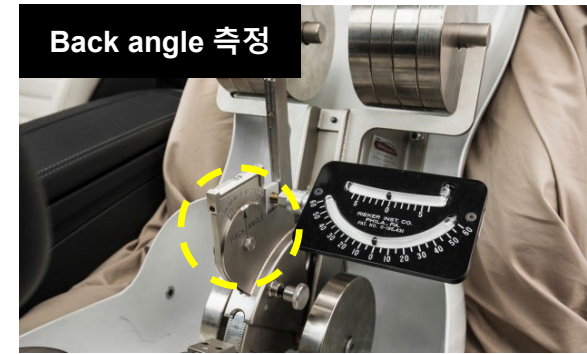
Sub.	순서	Session #1						Session #2					
		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
S1		AC	SC	CV	FC	GE	KF	CA	GN	CR	AV	AE	SO
S2		FC	KF	SC	CV	AC	GE	AV	SO	GN	CR	CA	AE
S3		CV	GE	KF	SC	FC	AC	CR	AE	SO	GN	AV	CA
S4		KF	FC	AC	GE	CV	SC	SO	AV	CA	AE	CR	GN
S5		GE	AC	FC	KF	SC	CV	AE	CA	AV	SO	GN	CR
S6		SC	CV	GE	AC	KF	FC	GN	CR	AE	CA	SO	AV
S7		AC	SC	CV	FC	GE	KF	CA	GN	CR	AV	AE	SO
S8		FC	KF	SC	CV	AC	GE	AV	SO	GN	CR	CA	AE
S9		CV	GE	KF	SC	FC	AC	CR	AE	SO	GN	AV	CA
S10		KF	FC	AC	GE	CV	SC	SO	AV	CA	AE	CR	GN
S11		GE	AC	FC	KF	SC	CV	AE	CA	AV	SO	GN	CR
S12		SC	CV	GE	AC	KF	FC	GN	CR	AE	CA	SO	AV
S13		AC	SC	CV	FC	GE	KF	CA	GN	CR	AV	AE	SO
S14		FC	KF	SC	CV	AC	GE	AV	SO	GN	CR	CA	AE
S15		CV	GE	KF	SC	FC	AC	CR	AE	SO	GN	AV	CA
S16		KF	FC	AC	GE	CV	SC	SO	AV	CA	AE	CR	GN
S17		GE	AC	FC	KF	SC	CV	AE	CA	AV	SO	GN	CR
S18		SC	CV	GE	AC	KF	FC	GN	CR	AE	CA	SO	AV
S19		AC	SC	CV	FC	GE	KF	CA	GN	CR	AV	AE	SO
S20		FC	KF	SC	CV	AC	GE	AV	SO	GN	CR	CA	AE
S21		CV	GE	KF	SC	FC	AC	CR	AE	SO	GN	AV	CA
S22		KF	FC	AC	GE	CV	SC	SO	AV	CA	AE	CR	GN
S23		GE	AC	FC	KF	SC	CV	AE	CA	AV	SO	GN	CR
S24		SC	CV	GE	AC	KF	FC	GN	CR	AE	CA	SO	AV
S25		AC	SC	CV	FC	GE	KF	CA	GN	CR	AV	AE	SO
S26		FC	KF	SC	CV	AC	GE	AV	SO	GN	CR	CA	AE
S27		CV	GE	KF	SC	FC	AC	CR	AE	SO	GN	AV	CA
S28		KF	FC	AC	GE	CV	SC	SO	AV	CA	AE	CR	GN
S29		GE	AC	FC	KF	SC	CV	AE	CA	AV	SO	GN	CR
S30		SC	CV	GE	AC	KF	FC	GN	CR	AE	CA	SO	AV

Session #1 ⇒ Session #2

Session #2 ⇒ Session #1

Seat Configurations 통일 방법

- Seat height, cushion angle, seatback angle에 의해 **착좌 자세가 변화되면 착좌감 평가에 영향을 줄 수 있으므로 seat configuration을 동일하게 정렬함**
 - ✓ Seat height (H30): 평가 대상 seat 중 **최대 높이인 278.0mm 로 통일**
 - ✓ Cushion angle (A27): 평가 대상 seat 중 **평균 각도 16.4°로 통일**
 - ✓ Seatback angle (A40): Seat 평가 관련 **제조사 내규에 따라 23.0°로 통일**



주관적 착좌감 평가 항목

□ 평가 항목을 보완하여 (1) 물성, (2) 조화성, (3) 안락성 측면의 평가 척도 6종 선정

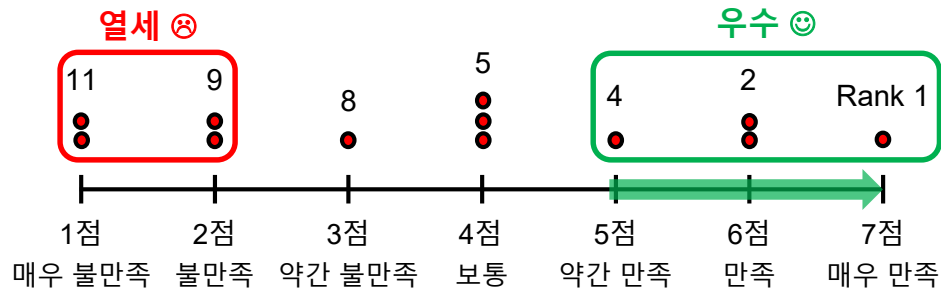
구분	평가 척도	설명
물성	쿠션감	착좌 시 느껴지는 쿠션의 부드러움과 딱딱함에 대한 만족도
	꺼짐감	착석 시 느껴지는 탄성 및 하강 정도에 대한 만족도
	지지성	착석 시 seat가 신체를 받쳐주는 느낌에 대한 만족도
조화성	조화감	착석 시 seat 전반의 물성이 이루는 조화에 대한 만족도
	이질감	착석 시 seat 부위별로 느껴지는 물성의 이질감에 대한 만족도
안락성	전반적 만족도	착석 시 seat 물성에 대한 종합적인 만족도

우수 시트 탐색 방법

- (1) 만족도 **평가 점수 5점 이상**이며,
- (2) 전체 참여자 중 **50% 이상**이 우수 & 10%이하가 열세로 ranking

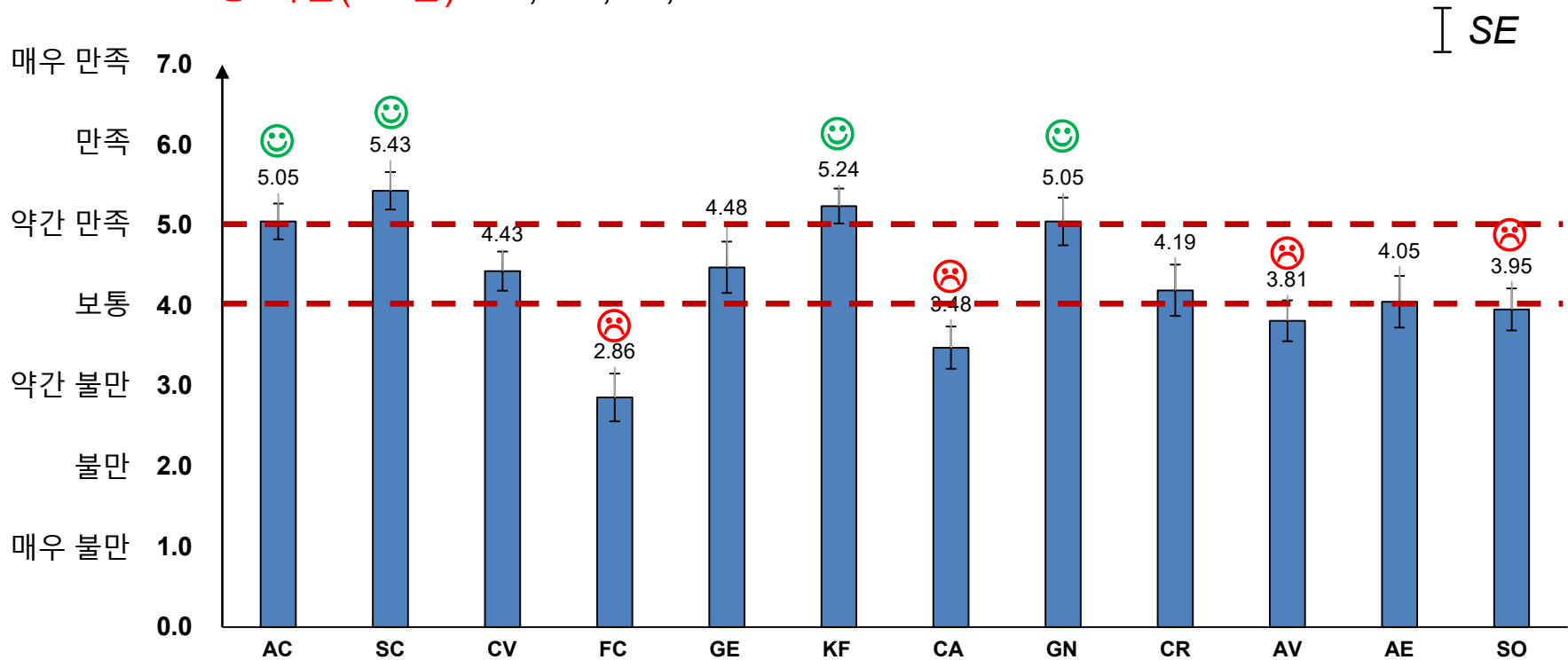
시트별 평균 만족도 점수

우수/열세 순위 분포 비율



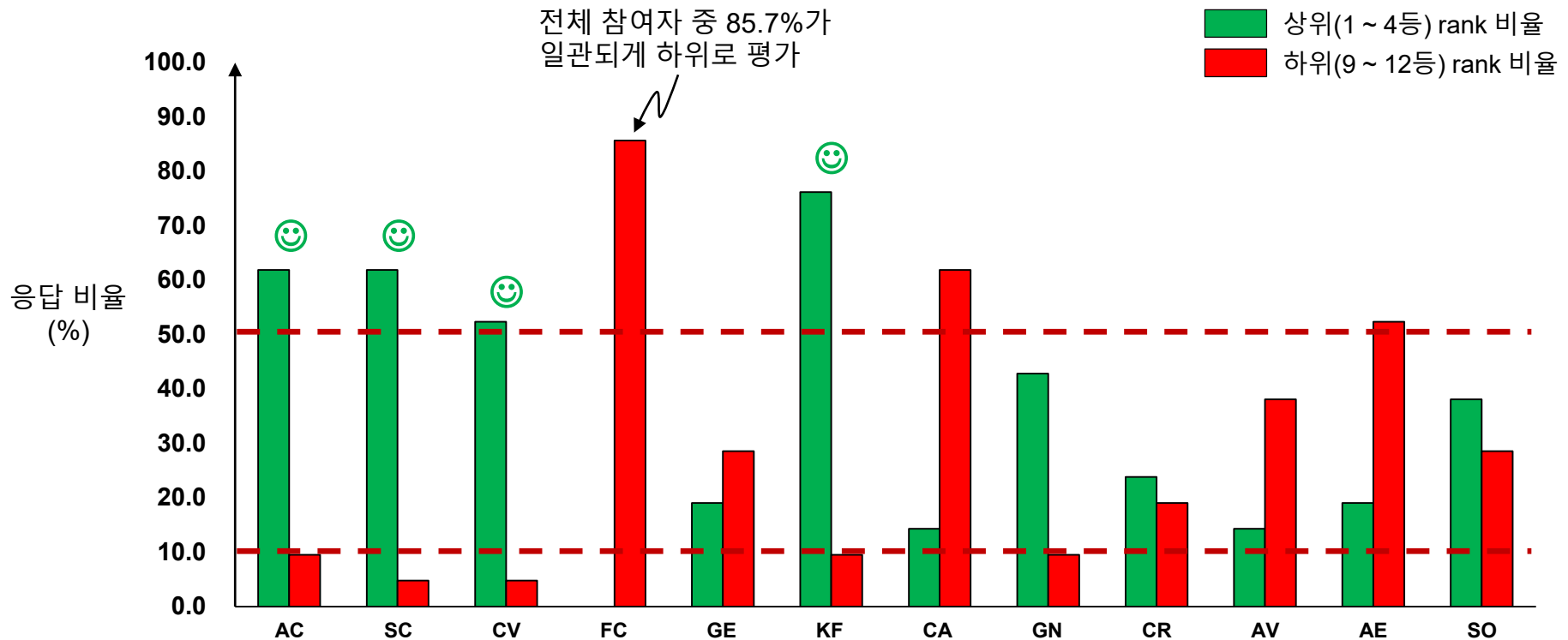
예시. 시트별 평균 만족도: 전반적 만족도

- 주관적 만족도 평균 점수 약간 만족(5점)과 보통(4점)을 기준으로 선호 시트 탐색
 - ✓ 약간 만족 이상(≥ 5 점): AC, SC, KF, GN
 - ✓ 보통(4점) ~ 약간 만족(5점): CV, GE, CR, AE
 - ✓ 보통 미만(< 4 점): FC, CA, AV, SO



예시. 우수/열세 순위 분포 비율: 전반적 만족도

- 개별 참여자의 만족도 평가 점수를 순위로 변경하여 시트간 상대적 우위 확인
- 전체 참여자의 응답 중 순위가 상위(1 ~ 4등)에 50% 이상, 하위(9 ~ 12등)에 10%이하로 평가된 시트 확인(i.e., 평가의 강건성 높음)

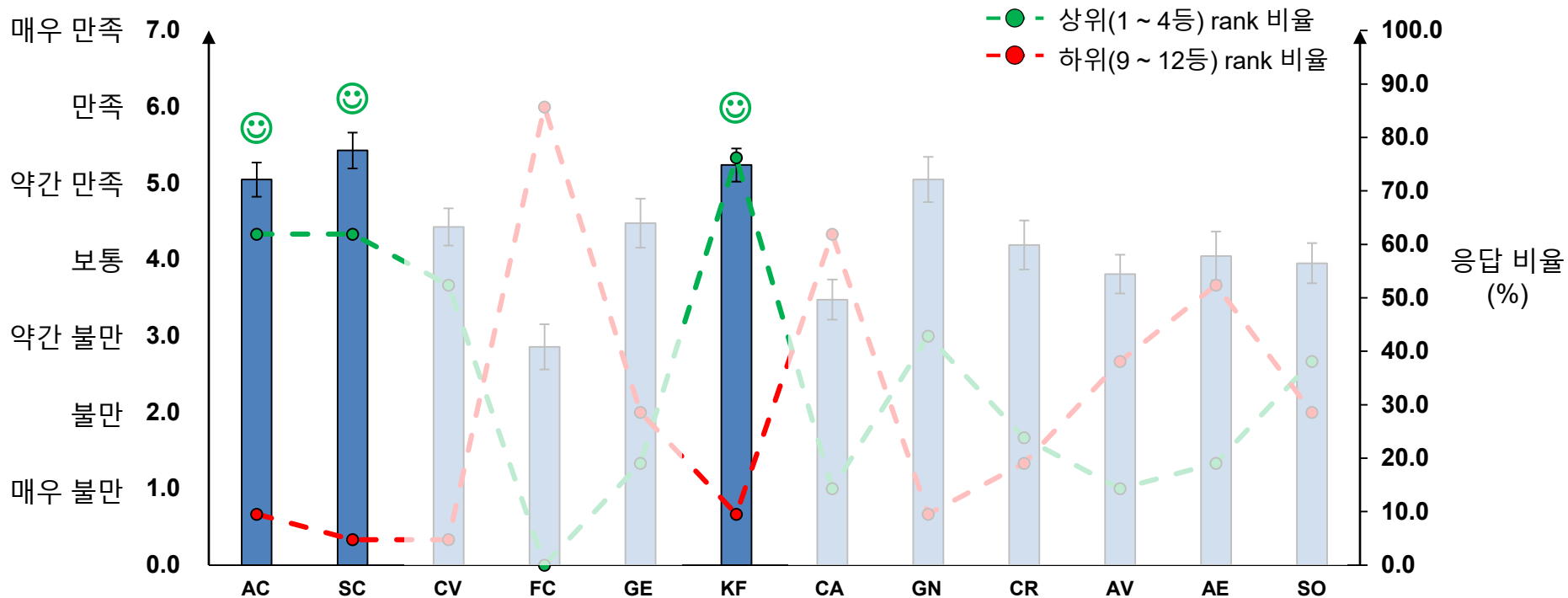


예시. 우수 시트 탐색: 전반적 만족도

- (1) 시트별 평균 만족도와 (2) 우수/열세 순위 분포 비율을 종합적으로 고려하여

우수 시트 탐색: AC, SC, KF



- 우수 시트는 추후 **benchmarking** 대상으로 사용

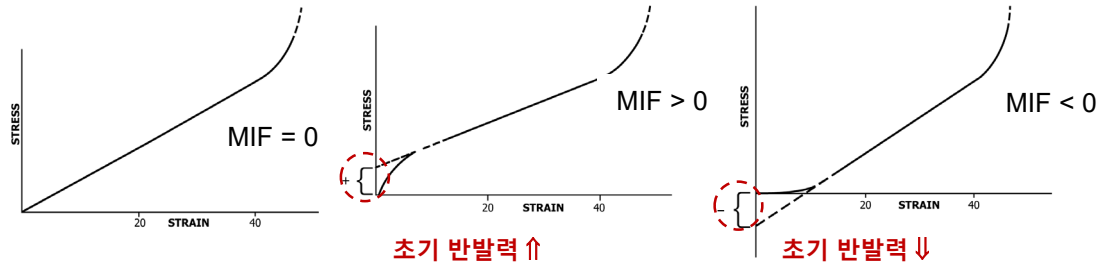


물성 정량화 척도 (1/2)

척도 (기호)	설명	그림	단위	유관 만족도 척도	구분
착좌 정하중 (F_{HPM})	<ul style="list-style-type: none"> 정의: H-Point machine 착좌 시 반발력 가압 거리: HPM 착좌 시 평균 변형량 <ul style="list-style-type: none"> - Cushion: Hip (35.2 mm), Mid Thigh (25.5 mm), Low Thigh (16.6 mm) - Back: Thoracic (34.9 mm), Lumbar (34.9 mm), Pelvis (36.5 mm) 		kgf	Seat 전체 물성 대표	
히스테리시스 손실률 (Hysteresis)	<ul style="list-style-type: none"> 정의: 가압 및 감압 그래프 사이 면적 비율 의미: 가압 및 감압 시 에너지 손실률 <ul style="list-style-type: none"> - $Hysteresis = (E_{loading} - E_{unloading}) / E_{loading}$ - 낮은 경우: 스프링 feel 발생 - 높은 경우: 꺼짐감 발생 		%	탄력감 꺼짐감	
25% 변형힘 $(F_{25\%})$	<ul style="list-style-type: none"> 정의: 최대 가압 거리의 25% 변형 반발력 Foam pad 단독 평가 시 일반적으로 100 mm 두께의 의 25% 변형 힘을 평가 기준으로 사용 		kgf	초기 쿠션감	

물성 정량화 척도 (2/2)

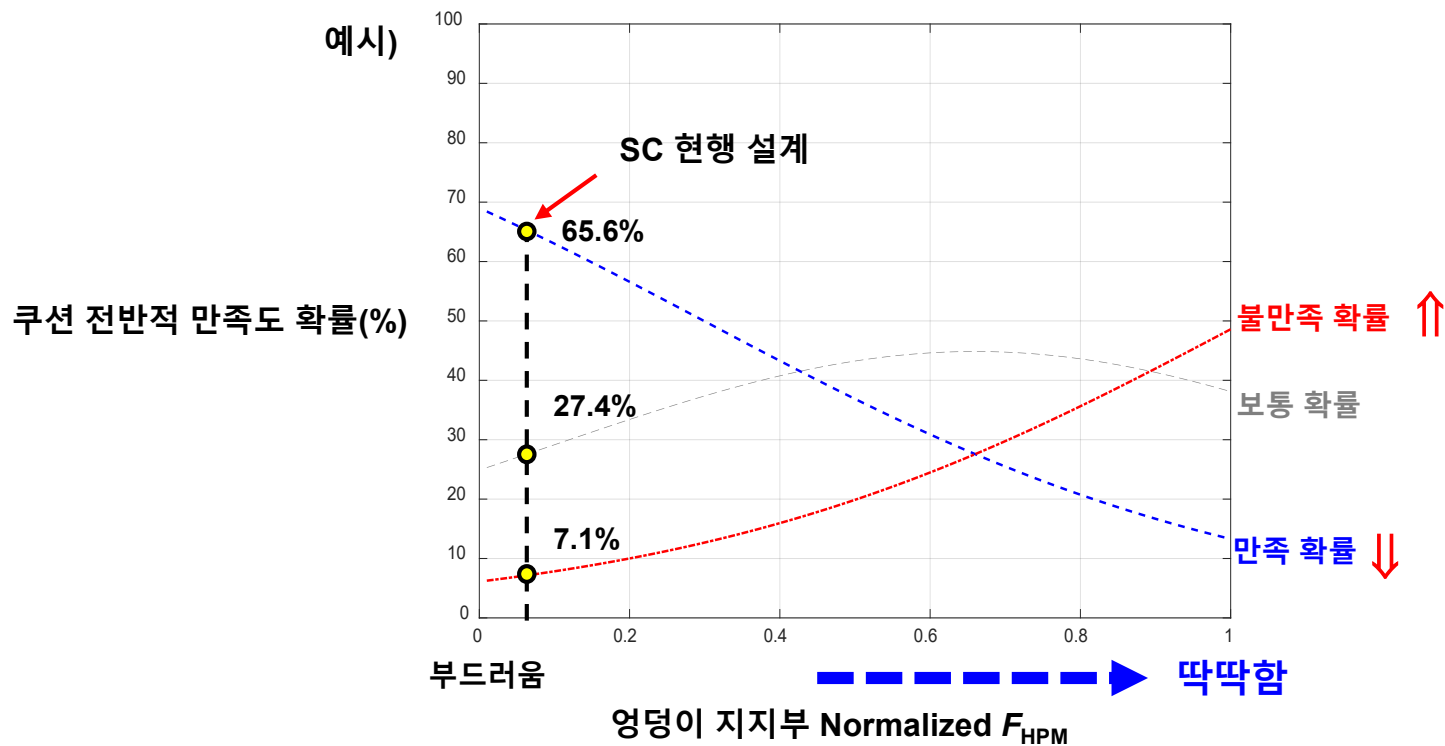
척도 (기호)	설명	그림	단위	유관 만족도 척도	구분
Support factor (SF)	<ul style="list-style-type: none"> 정의: 최대 가압 거리의 65%와 25% 변형 시 측정되는 반발력의 비율 낮을 경우 바닥감 발생 가능 $SF = F_{65\%} / F_{25\%}$ 	-	-	지지성	
Modulus irregularity factor (MIF)	<ul style="list-style-type: none"> 정의: 최대 가압 거리의 40%와 20% 변형의 선형성 의미: pad 변형의 비선형성을 나타내며, MIF의 절대값이 크면 불편함을 느낄 수 있음 $MIF = 2 \times F_{20\%} - F_{40\%}$ 	아래 참조	-		



착좌 안락감 추정식 개발

시트 물성 기반 착좌 안락감 추정: 개요

- **시트 부위별 물성을 이용하여 주관적 착좌감을 예측할 수 있는 추정식 개발**
 - ✓ 추정 변수: 주관적 착좌감과 연관성이 있는(상관계수 ≥ 0.3) 물성
 - ✓ 추정 결과: 전반적 만족도와 조화감을 **만족, 보통, 불만족의 3단계로 구분**
 - ✓ 방법: Ordinal logistic regression

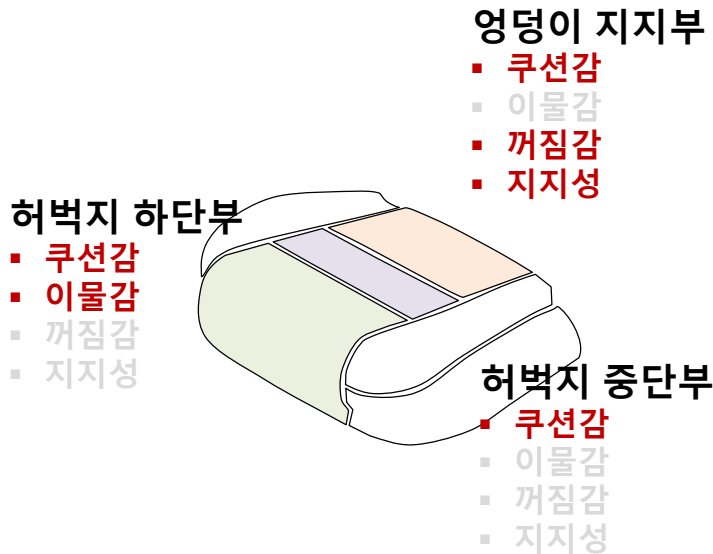


쿠션 부위별 중요 주관적 만족도 평가 항목

□ Stepwise regression ($\alpha_{in} = 0.05, \alpha_{out} = 0.05$)을 통해 **쿠션 전반의 만족도에 주요한 영향을 미치는 시트 부위별 만족도 평가 항목 분석**

- ✓ 허벅지 하단부: 쿠션감, 이물감
- ✓ 허벅지 중단부: 쿠션감
- ✓ 엉덩이 지지부: 쿠션감, 꺼짐감, 지지성

} **쿠션 전반 만족도 중요 척도**



쿠션 전반적 만족도 추정 회귀식

$R^2 = 84.24\%$

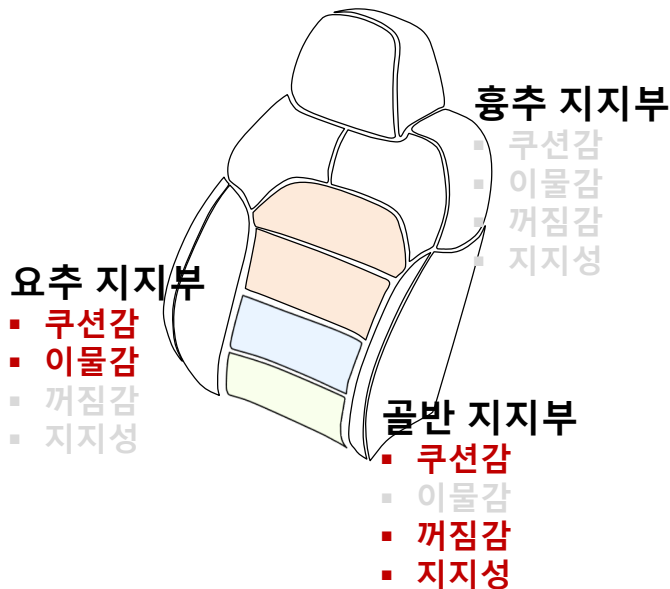
시트 부위	평가 척도	Coefficients	의견
엉덩이 지지부	쿠션감	0.232	중요도 상
	꺼짐감	0.200	엉덩이 지지부에서만 중요 (실무진 의견 일치)
	지지성	0.146	
허벅지 중단부	쿠션감	0.249	중요도 상
허벅지 하단부	쿠션감	0.150	Extension 구조물 영향
	이물감	0.164	
-	Constant	-0.763	

등받이 부위별 중요 주관적 만족도 평가 항목

□ Stepwise regression ($\alpha_{in} = 0.05, \alpha_{out} = 0.05$)을 통해 **등받이 전반의 만족도에 주요한 영향을 미치는 시트 부위별 만족도 평가 항목 분석**

- ✓ 요추 지지부: 쿠션감, 이물감
- ✓ 골반 지지부: 쿠션감, 꺼짐감, 지지성

} **등받이 전반 만족도 중요 척도**



등받이 전반적 만족도 추정 회귀식

$R^2 = 82.39\%$

시트 부위	평가 척도	Coefficients	의견
골반 지지부	쿠션감	0.198	실무진 주요 의견 척도
	꺼짐감	0.248	
	지지성	0.193	실무진 주요 고려 척도
요추 지지부	쿠션감	0.311	중요도 상
	이물감	0.161	
흉추 지지부	-	-	영향 없음
-	Constant	-0.667	

추정 변수 선정 예시: Cushion

□ 시트 부위별 **중요 만족도 평가 항목과 연관성이 상대적으로 높은** ($r > 0.3$) **물성 척도**

✓ 허벅지 하단부: **Hysteresis**

✓ 허벅지 중단부: F_{static} , **MIF**

✓ 엉덩이 지지부: F_{static} , $F_{25\%}$, **MIF**

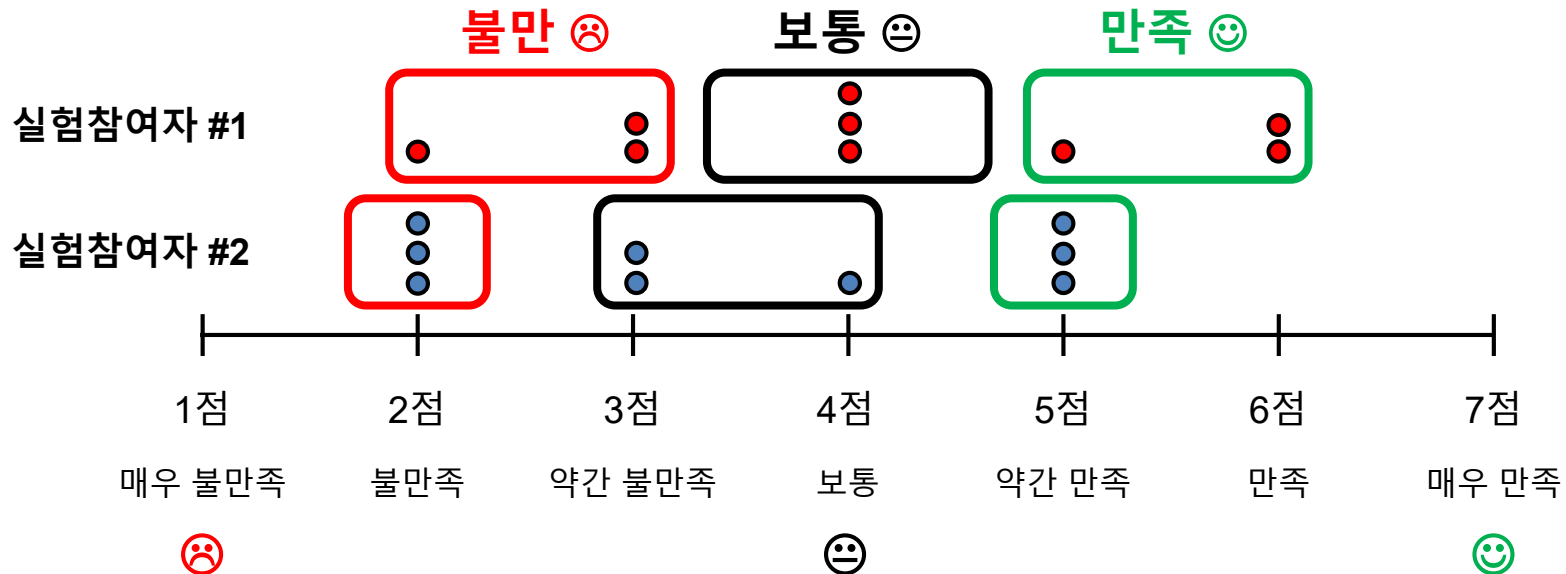
- Weak: $r \leq 0.3$
- Moderate: $0.3 < r \leq 0.7$
- Strong: $r \geq 0.7$

Negative -1.0 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 Positive

Pearson Correlation (물성 VS. 주관적 만족도 평균)		허벅지 하단부(Low Thigh, LT)					허벅지 중단부(Mid Thigh, MT)					엉덩이 지지부(Buttock, BT)				
		쿠션감	꺼짐감	지지성	이물감	전반적 만족도	쿠션감	꺼짐감	지지성	이물감	전반적 만족도	쿠션감	꺼짐감	지지성	이물감	전반적 만족도
허벅지 하단부 (Low Thigh, LT)	F_{static} (HPM)	-0.29	0.05	-0.03	-0.26	-0.17										
	Hysteresis	0.48	0.53	0.59	0.50	0.59										
	$F_{25\%}$	-0.24	0.06	0.04	-0.16	-0.13										
	SF	0.06	-0.28	-0.26	0.06	0.00										
	MIF	-0.13	0.10	0.12	0.06	-0.05										
허벅지 중단부 (Mid Thigh, MT)	F_{static} (HPM)						-0.64	-0.59	-0.23	-0.46	-0.59					
	Hysteresis						0.16	0.10	0.08	0.15	0.20					
	$F_{25\%}$						-0.34	-0.35	0.03	-0.09	-0.31					
	SF						-0.19	-0.11	-0.23	-0.32	-0.12					
	MIF						0.62	0.59	0.42	0.62	0.60					
엉덩이 지지부 (Buttock, BT)	F_{static} (HPM)											-0.75	-0.74	-0.77	-0.71	-0.77
	Hysteresis											-0.20	-0.15	-0.08	-0.21	-0.18
	$F_{25\%}$											-0.58	-0.57	-0.44	-0.53	-0.60
	SF											-0.03	-0.01	-0.19	-0.07	-0.02
	MIF											0.51	0.49	0.65	0.51	0.52

Rank Normalization

- 주관적 만족도를 시트에 대한 Rank로 변환한 후 만족(1 ~ 4등), 보통(5 ~ 8등), 불만족(9 ~ 12등)의 3단계로 구분하여 추정식의 입력으로 사용
- ← 동일한 만족도에 대해 실험참여자별로 사용하는 주관적 평가의 scale 상이
- ← 주관적 평가 시 극단값(e.g., 1점: 매우 불만, 7점: 매우 만족) 드물게 사용



추정 성능: Cushion

□ 추정 성능: **75.3% ± 2.9%**

시트	주관적 평가		추정 확률식 (Probability = $e^z / (1 + e^z)$)	성능
쿠션 전반	전반적 만족도	만족	$z = -0.32 - 0.30 \times \text{Hysteresis_LT} - 1.60 \times F_{\text{static_MT}} + 1.40 \times MIF_MT - 2.68 \times F_{\text{static_BT}} + 0.67 \times F_{25\%_BT} + 0.46 \times MIF_BT$	78.2%
		불만족	$z = -1.60 + 0.30 \times \text{Hysteresis_LT} + 1.60 \times F_{\text{static_MT}} - 1.40 \times MIF_MT + 2.68 \times F_{\text{static_BT}} - 0.67 \times F_{25\%_BT} - 0.46 \times MIF_BT$	
	조화감	만족	∴	74.9%
		불만족	∴	
허벅지 하단부	쿠션감	만족	∴	78.1%
		불만족	∴	
	이물감	만족	∴	74.7%
		불만족	∴	
허벅지 중단부	쿠션감	만족	∴	75.5%
		불만족	∴	
엉덩이 지지부	쿠션감	만족	∴	78.1%
		불만족	∴	
	꺼짐감	만족	∴	72.9%
		불만족	∴	
	지지성	만족	$z = -1.98 + 0.54 \times \text{Hysteresis_LT} + 1.15 \times F_{\text{static_MT}} + 1.40 \times MIF_MT - 0.59 \times F_{\text{static_BT}} - 1.12 \times F_{25\%_BT} + 0.98 \times MIF_BT$	70.0%
		불만족	$z = 0.17 - 0.54 \times \text{Hysteresis_LT} - 1.15 \times F_{\text{static_MT}} - 1.40 \times MIF_MT + 0.59 \times F_{\text{static_BT}} + 1.12 \times F_{25\%_BT} - 0.98 \times MIF_BT$	

추정 성능: Back

□ 추정 성능: **74.8% ± 2.0%**

시트	주관적 평가		추정 확률식 (Probability = $e^z / (1 + e^z)$)	성능
등받이 전반	전반적 만족도	만족	$z = 1.45 + 1.54 \times \text{Hysteresis_LT} - 2.71 \times F_{\text{static_MT}} - 1.10 \times MIF_MT - 1.68 \times F_{\text{static_BT}} + 0.01 \times F_{25\%_BT} - 1.56 \times MIF_BT$	78.2%
		불만족	$z = -3.31 - 1.54 \times \text{Hysteresis_LT} + 2.71 \times F_{\text{static_MT}} + 1.10 \times MIF_MT + 1.68 \times F_{\text{static_BT}} - 0.01 \times F_{25\%_BT} + 1.56 \times MIF_BT$	
	조화감	만족	⋮	73.8%
		불만족	⋮	
흉추 지지부	꺼짐감	만족	⋮	73.9%
		불만족	⋮	
요추 지지부	쿠션감	만족	⋮	76.3%
		불만족	⋮	
	이물감	만족	⋮	72.2%
		불만족	⋮	
골반 지지부	꺼짐감	만족	⋮	75.5%
		불만족	⋮	
	지지성	만족	$z = 0.55 + 1.28 \times \text{Hysteresis_LT} - 2.11 \times F_{\text{static_MT}} - 0.70 \times MIF_MT - 1.21 \times F_{\text{static_BT}} + 0.60 \times F_{25\%_BT} - 0.90 \times MIF_BT$	73.7%
		불만족	$z = -2.19 - 1.28 \times \text{Hysteresis_LT} + 2.11 \times F_{\text{static_MT}} + 0.70 \times MIF_MT + 1.21 \times F_{\text{static_BT}} - 0.60 \times F_{25\%_BT} + 0.90 \times MIF_BT$	

시트 부위별 물성 개선안 도출

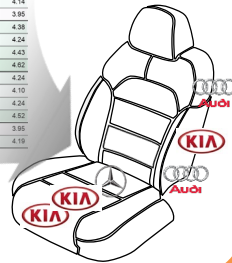
1. Benchmarking: 시트 부위별 만족도가 높은 물성을 조합하여 사용
2. 시트 물성 최적화 분석: 최적화 기법을 사용하여 만족도 최대화하는 물성 탐색

Benchmarking

- 부위별로 만족도가 높은 시트의 물성을 사용하여 전반적 만족도 향상
- 조합 방법
 - 쿠션: 엉덩이(SC) + 허벅지(KF)
 - 등받이: 골반, 흉부(AE) + 요추(KF)

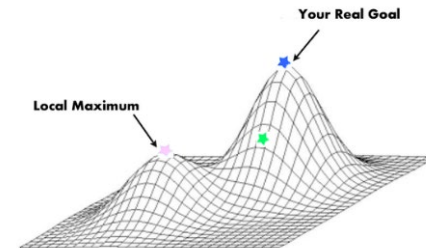
주관적 착좌감 평가 결과

부위	차종	점수	주요차종별 평가 점수												
			Accord	S-Class	Clara	Focus	GR8	K5	Camry	Q90	Corolla	Avante	A8	Sonata	
허벅지 부위 (Low Thigh)	우측 엉덩이 (SC)	K5	5.38	5.10	5.19	5.00	2.71	4.33	5.38	3.82	4.88	4.58	3.90	3.52	4.33
	좌측 엉덩이 (SC)	Q90	5.00	4.76	5.00	4.71	3.33	4.87	4.82	4.00	5.00	3.81	4.00	4.38	4.29
	허벅지 (KF)	-	-	4.85	5.29	4.95	4.00	4.71	4.71	4.82	5.14	4.24	4.29	4.82	4.14
	우측 엉덩이 (SC)	K5	5.52	4.81	5.48	5.39	3.81	4.10	5.52	3.87	5.10	4.82	4.10	3.90	3.95
허벅지 중간부 (Mid Thigh)	우측 엉덩이 (SC)	K5	5.48	5.00	5.28	4.81	3.28	4.33	5.48	3.79	4.88	4.28	3.90	4.38	4.38
	좌측 엉덩이 (SC)	Sclass	5.29	4.90	5.55	4.87	3.57	4.43	4.81	4.55	5.10	4.24	3.95	4.48	4.24
	허벅지 (KF)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	우측 엉덩이 (SC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
엉덩이 하단부 (Buttock)	우측 엉덩이 (SC)	Sclass	5.33	4.85	5.33	4.43	3.19	4.24	4.76	3.85	4.81	3.85	3.90	4.82	4.30
	좌측 엉덩이 (SC)	Sclass	5.33	4.81	5.33	4.38	3.90	4.87	4.87	4.00	4.88	4.24	4.33	4.87	4.24
	허벅지 (KF)	Sclass	5.43	5.05	5.43	4.81	3.95	4.82	5.24	4.33	4.95	4.10	3.95	4.71	4.52
	우측 엉덩이 (SC)	Sclass	5.43	5.05	5.43	4.43	3.86	4.48	5.24	3.48	5.00	4.19	3.81	4.05	3.95
골반 (Pelvis)	우측 엉덩이 (SC)	Sclass	5.38	4.90	5.38	4.90	3.38	4.24	4.95	3.87	5.00	4.19	4.05	3.95	4.19
	좌측 엉덩이 (SC)	Sclass	5.38	4.90	5.38	4.90	3.38	4.24	4.95	3.87	5.00	4.19	4.05	3.95	4.19



최적화 기법

- 목적 함수: 전반적 만족도 및 조화감 점수 최대화
- 조건: 부위별 중요 평가 항목의 불만족 비율 최소화



Benchmarking 방법

부위별로 만족도가 높은 시트의 물성을 조합하여 사용하여 착좌 komfort 향상

		우수 시트 탐색		주관적 만족도 평가 점수											
		자중	점수	Accord	S-Class	Civic	Focus	G80	K5	Camry	G90	Corolla	Avante	A8	Sonata
허벅지 하단부 (Low Thigh)	*쿠션감 (A)	K5	5.38	5.10	5.19	5.00	2.71	4.33	5.38	3.62	4.86	4.38	3.90	3.52	4.33
	깨짐감 (F)	G90	5.00	4.76	5.00	4.71	3.33	4.67	4.62	4.00	5.00	3.81	4.00	4.38	4.29
	지지성	-	-	4.95	5.29	4.95	4.00	4.71	4.71	4.62	5.14	4.24	4.29	4.62	4.14
	*이물감 (B)	K5	5.52	4.81	5.48	5.19	3.81	4.10	5.52	3.67	5.10	4.82	4.10	3.90	3.95
허벅지 중단부 (Mid Thigh)	*쿠션감 (A)	K5	5.48	5.10	5.29	4.81	3.29	4.33	5.48	3.76	4.95	4.38	3.90	4.38	4.38
	깨짐감 (F)	-	-	4.95	5.29	4.95	4.00	4.71	4.71	4.62	5.14	4.24	4.29	4.62	4.14
	지지성	-	-	4.95	5.29	4.95	4.00	4.71	4.71	4.62	5.14	4.24	4.29	4.62	4.14
	이물감 (B)	-	-	4.95	5.29	4.95	4.00	4.71	4.71	4.62	5.14	4.24	4.29	4.62	4.14
엉덩이 지지부 (Buttock)	*쿠션감 (A)	S-class	5.57	5.48	5.57	4.57	3.24	4.43	5.24	3.95	5.05	4.10	3.76	4.76	4.24
	*깨짐감 (A)	S-class	5.33	4.95	5.33	4.43	3.19	4.24	4.76	3.95	4.81	3.86	3.90	4.62	4.10
	*지지성 (A)	S-class	5.33	4.81	5.33	4.38	3.90	4.57	4.67	4.00	4.86	4.24	4.33	4.67	4.24
	이물감 (A)	S-class	5.43	5.05	5.43	4.81	3.95	4.62	5.24	4.33	4.95	4.10	3.95	4.71	4.52
쿠션 전반 (Cushion)	전반적 만족도	S-class	5.43	5.05	5.43	4.43	2.86	4.48	5.24	3.48	5.05	4.19	3.81	4.05	3.95
	조화감 (A)	S-class	5.38	4.90	5.38	4.90	3.38	4.24	4.95	3.57	5.00	4.19	4.05	3.95	4.19

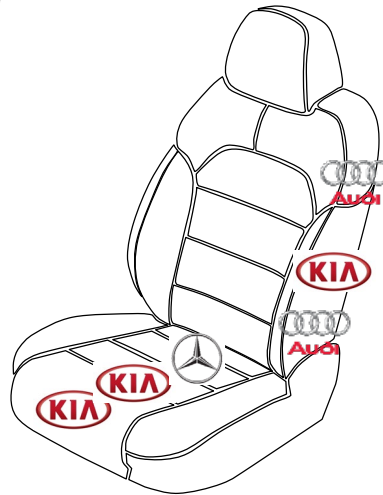
주관적 착좌감 평가 결과

		Negative										Positive					
		-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0					
Pearson Correlation (물성 VS. 주관적 만족도 평균)		허벅지 하단부 (Low Thigh, LT)					허벅지 중단부 (Mid Thigh, MT)					엉덩이 지지부 (Buttock, BT)					
		쿠션감	깨짐감	지지성	이물감	전반적 만족도	쿠션감	깨짐감	지지성	이물감	전반적 만족도	쿠션감	깨짐감	지지성	이물감	전반적 만족도	
허벅지 하단부 (Low Thigh, LT)	F_{static} (HPM)	-0.29	0.05	-0.03	-0.26	-0.17											
	Hysteresis	0.48	0.53	0.59	0.50	0.59											
	$F_{25\%}$	-0.24	0.06	0.04	-0.16	-0.13											
	SF	0.06	-0.28	-0.26	0.06	0.00											
	MIF	-0.13	0.10	0.12	0.06	-0.05											
허벅지 중단부 (Mid Thigh, MT)	F_{static} (HPM)						0.62	0.59	0.42	0.62	0.60						
	Hysteresis																
	$F_{25\%}$																
	SF																
	MIF																
엉덩이 지지부 (Buttock, BT)	F_{static} (HPM)											-0.75	-0.74	-0.77	-0.71	-0.77	
	Hysteresis											-0.20	-0.15	-0.08	-0.21	-0.18	
	$F_{25\%}$											-0.58	-0.57	-0.44	-0.53	-0.60	
	SF											-0.03	-0.01	-0.19	-0.07	-0.02	
	MIF											0.51	0.49	0.65	0.51	0.52	

시트 부위별 중요 물성 척도

부위별 우수 시트

- 엉덩이 지지부: SC
- 허벅지 중단부: KF
- 허벅지 하단부: KF
- 골반 지지부: AE
- 요추 지지부: KF
- 흉부 지지부: AE



부위별 중요 물성

- 엉덩이 지지부: F_{static} , $F_{25\%}$, MIF
- 허벅지 중단부: F_{static} , MIF
- 허벅지 하단부: Hysteresis
- 골반 지지부: F_{static} , SF
- 요추 지지부: F_{static} , SF
- 흉부 지지부: Hysteresis, MIF

자사 대비 Benchmarking 개선 효과: 쿠션

- Benchmarking을 통해 **쿠션의 착좌 킴포트 만족 확률이 평균적으로 약 24.1%**
(*min ~ max; 1.9% ~ 34.5%*) 개선될 것으로 기대됨

		Benchmarking		만족 확률					Benchmarking 개선 효과 (%)				
		차종	만족 확률	KF	GE	GN	AV	SO	KF	GE	GN	AV	SO
허벅지 하단부 (Low Thigh)	*쿠션감	KF	70.8	69.6	16.6	40.7	38.5	29.5	1.2	54.2	30.1	32.3	41.2
	*이물감		54.6	53.0	20.3	36.1	29.9	20.9	1.6	34.4	18.5	24.8	33.7
허벅지 중단부 (Mid Thigh)	*쿠션감	KF	64.4	57.0	19.3	31.3	24.6	25.9	7.4	45.1	33.1	39.8	38.5
엉덩이 지지부 (Buttock)	*쿠션감	SC	54.2	55.4	19.8	42.6	13.5	11.9	-1.1	34.4	11.7	40.7	42.3
	*꺼짐감		41.5	46.3	27.3	44.9	18.7	19.9	-4.8	14.3	-3.4	22.9	21.6
	*지지성		46.3	41.4	30.2	34.4	18.7	20.1	4.9	16.1	11.9	27.6	26.2
쿠션 전반 (Cushion)	전반적 만족도	-	61.9	57.2	17.7	35.3	16.6	14.7	4.7	44.2	26.6	45.3	47.2
	조화감	-	47.0	45.5	17.5	30.0	24.7	21.5	1.5	29.5	17.0	22.3	25.5
개선 효과 종합								1.9	34.0	18.2	32.0	34.5	

물성 최적화 방법

□ 착좌 Komfort 추정식을 사용하여 전반적 만족도를 최대화하는 물성 조합 탐색

시트	주관적 평가	추정 확률식 (Probability = $e^z / (1 + e^z)$)	성능
쿠션 전반	전반적 만족도	$z = -0.32 - 0.30 \times \text{Hysteresis}_{LT} - 1.00 \times F_{static_MT} + 1.40 \times \text{MP}_{MT} - 2.88 \times F_{static_BT} + 0.67 \times F_{static_BT} + 0.46 \times \text{MP}_{BT}$	78.2%
	조화감	$z = -1.80 + 0.30 \times \text{Hysteresis}_{LT} + 1.00 \times F_{static_MT} - 1.40 \times \text{MP}_{MT} + 2.08 \times F_{static_BT} - 0.67 \times F_{static_BT} - 0.46 \times \text{MP}_{BT}$	74.9%
허벅지 하단부	쿠션감	...	78.1%
	이물감	...	74.7%
엉덩이 지지부	쿠션감	...	78.1%
	꺼짐감	...	72.9%
	지지성	$z = -1.98 + 0.54 \times \text{Hysteresis}_{LT} + 1.15 \times F_{static_MT} + 1.40 \times \text{MP}_{MT} - 0.59 \times F_{static_BT} - 1.12 \times F_{static_BT} + 0.98 \times \text{MP}_{BT}$	70.0%
	불만족	$z = 0.17 - 0.54 \times \text{Hysteresis}_{LT} - 1.15 \times F_{static_MT} - 1.40 \times \text{MP}_{MT} + 0.59 \times F_{static_BT} + 1.12 \times F_{static_BT} - 0.98 \times \text{MP}_{BT}$	

착좌 Komfort 추정식 사용 수치해석

Pearson Correlation (물성 VS. 주관적 만족도 평균)	Negative										Positive				
	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0				
	허벅지 하단부 (Low Thigh, LT)				허벅지 중단부 (Mid Thigh, MT)				엉덩이 지지부 (Buttock, BT)						
	쿠션감	꺼짐감	지지성	이물감	전반적 만족도	쿠션감	꺼짐감	지지성	이물감	전반적 만족도	쿠션감	꺼짐감	지지성	이물감	전반적 만족도
허벅지 하단부 (Low Thigh, LT)	F_{static} (HPM)	-0.29	0.05	-0.03	-0.26	-0.17									
	Hysteresis	0.48	0.53	0.59	0.50	0.59									
	$F_{25\%}$	-0.24	0.06	0.04	-0.16	-0.13									
	SF	0.06	-0.28	-0.26	0.06	0.00									
	MIF	-0.13	0.10	0.12	0.06	-0.05									
허벅지 중단부 (Mid Thigh, MT)	F_{static} (HPM)						0.62	0.59	0.42	0.62	0.60				
	Hysteresis														
	$F_{25\%}$														
	SF														
	MIF														
엉덩이 지지부 (Buttock, BT)	F_{static} (HPM)										-0.75	-0.74	-0.77	-0.71	-0.77
	Hysteresis										-0.20	-0.15	-0.08	-0.21	-0.18
	$F_{25\%}$										-0.58	-0.57	-0.44	-0.53	-0.60
	SF										-0.03	-0.01	-0.19	-0.07	-0.02
	MIF										0.51	0.49	0.65	0.51	0.52

시트 부위별 중요 물성 척도

목적 함수: max (전반적 만족도 만족 확률)

제약 조건

- 쿠션감 < 불만족 확률 10%
- 이물감 < 불만족 확률 10%
- 꺼짐감 < 불만족 확률 10%
- 지지성 < 불만족 확률 10%



부위별 중요 물성

- 엉덩이 지지부: F_{static} , $F_{25\%}$, MIF
- 허벅지 중단부: F_{static} , MIF
- 허벅지 하단부: Hysteresis
- 골반 지지부: F_{static} , SF
- 요추 지지부: F_{static} , SF
- 흉부 지지부: Hysteresis, MIF

자사 대비 최적화 개선 효과: 쿠션

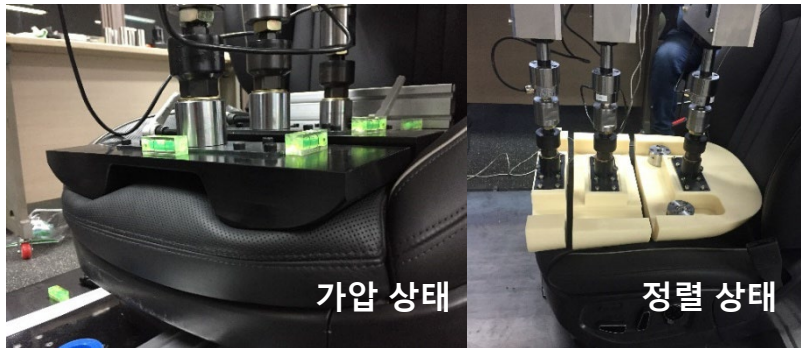
□ 최적화를 통해 **쿠션의 착좌 컴포트 만족 확률이 평균적으로 약 43.9%**
 (*min ~ max; 21.7% ~ 54.3%*) 개선될 것으로 기대됨

		만족 확률						최적화 개선 효과 (%)								
		최적화	KF	GE	GN	AV	SO	KF	GE	GN	AV	SO				
허벅지 하단부 (Low Thigh)	*쿠션감	90.1	69.6	16.6	40.7	38.5	29.5	20.4	73.4	49.4	51.6	60.5				
	*이물감	72.1	53.0	20.3	36.1	29.9	20.9	19.1	51.8	36.0	42.2	51.2				
허벅지 중단부 (Mid Thigh)	*쿠션감	83.6	57.0	19.3	31.3	24.6	25.9	26.6	64.3	52.3	59.0	57.7				
엉덩이 지지부 (Buttock)	*쿠션감	78.3	55.4	19.8	42.6	13.5	11.9	22.9	58.4	35.7	64.8	66.4				
	*꺼짐감	62.2	46.3	27.3	44.9	18.7	19.9	15.8	34.9	17.2	43.5	42.2				
	*지지성	59.6	41.4	30.2	34.4	18.7	20.1	18.2	29.4	25.2	40.9	39.5				
쿠션 전반 (Cushion)	전반적 만족도	82.6	57.2	17.7	35.3	16.6	14.7	25.4	64.9	47.3	66.1	67.9				
	조화감	70.8	45.5	17.5	30.0	24.7	21.5	25.3	53.3	40.9	46.1	49.4				
							개선 효과 종합					21.7	53.8	38.0	51.8	54.3

Contribution

1. **시스템**: 인체 착좌 상황에 기반한 **물성 평가 장치 및 측정 protocol 개발**
2. **중요 척도**: 시트 부위별 **중요 만족도 평가 항목과 관련 물성 척도 파악**
3. **추정식**: 물성 조합에 의한 **착좌 안락감을 75.1% 수준으로 예측하는 추정식 개발**

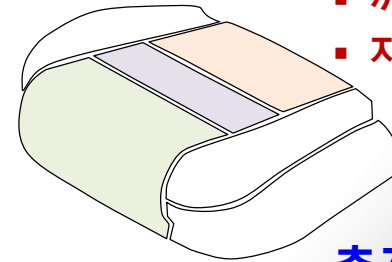
인체형상 기반 시트 물성 측정 장치



엉덩이 지지부

- 쿠션감
- 이물감
- 꺼짐감
- 지지성

$$f(F_{static}, F_{25\%}, MIF)$$

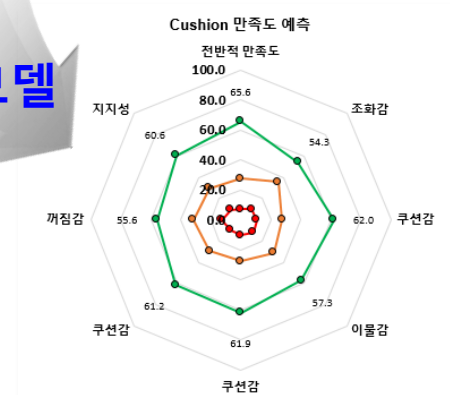


추정 모델

허벅지 하단부

- 쿠션감
- 이물감
- 꺼짐감
- 지지성

$$f(Hysteresis)$$



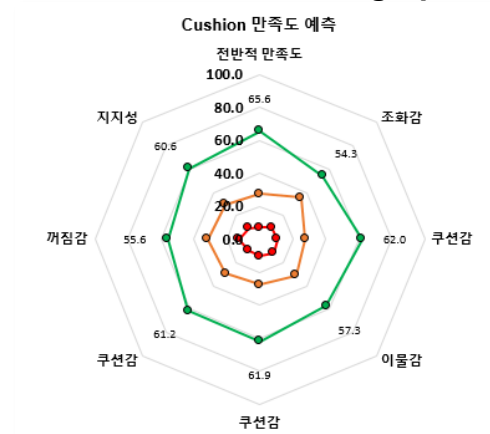
Application

- 자사 신규 및 타사 시트에 대해 **주관적 평가를 대체하여 착좌감 추정 가능**
- 신규 시트 개발 시 부위별 **물성의 적절성을 미리 검토 가능**

1. 물성 입력

1. Cushion 물성																
Seat	허벅지 하단부(Low Thigh, LT)					허벅지 중단부(Mid Thigh, MT)					엉덩이 지지부(Buttock, BT)					
	F _{static} (HPM)	Hysteresis	F _{25%}	SF	MIF	F _{static} (HPM)	Hysteresis	F _{25%}	SF	MIF	F _{static} (HPM)	Hysteresis	F _{25%}	SF	MIF	
Accord	3.900	27.078	0.900	4.778	-1.200	5.900	34.245	0.700	7.857	-0.800	34.700	21.633	8.200	4.671	-6.200	
S-Class	4.100	25.703	1.600	2.813	-0.200	19.100	24.872	5.900	3.153	-1.700	27.100	26.646	9.100	3.253	-1.700	
Civic	3.100	17.031	0.700	5.000	-1.200	8.800	1.200	6.750	-0.700	39.300	21.800	9.100	4.791	-7.700		
Focus	4.300	11.290	1.600	3.063	-0.400	41.900	12.700	3.189	-6.600	40.000	24.241	11.600	3.810	-6.000		
G80	5.300	27.340	2.000	2.950	-0.600	19.200	0.800	22.000	-3.700	34.100	26.414	8.700	4.333	-6.000		
K5	4.200	20.102	1.400	3.357	-0.700	16.300	4.100	3.805	-3.200	27.400	28.135	8.800	3.409	-3.400		
Camry	3.100	10.781	0.800	4.250	-1.200	21.500	3.900	3.900	-5.300	38.300	24.877	8.300	5.313	-8.800		
G90	3.600	22.748	0.800	5.250	-1.200	30.800	3.900	3.900	-3.900	29.000	26.119	8.100	4.000	-5.900		
Corolla	2.900	21.639	0.200	16.500	-1.200	28.800	3.100	3.100	-5.700	34.000	26.991	9.700	3.866	-4.900		
Avante	4.800	22.851	1.600	3.313	-1.200	15.300	3.100	3.100	-1.800	39.600	30.754	12.200	3.557	-6.400		
AB	5.700	18.865	1.600	4.125	-0.800	21.200	2.300	8.609	-4.800	26.300	26.429	5.200	5.712	-4.500		
Sonata	3.400	4.358	0.800	4.750	-0.900	27.300	3.800	3.193	-3.600	36.500	33.014	10.900	3.697	-4.800		
Benchmarking		20.102				19.100				-1.700	27.100		9.100			
Optimize		25.432				5.900				-0.700	26.300		8.385			
입력	물성	4.100	25.703	1.600	2.813	-0.200	19.100	24.872	5.900	3.153	-1.700	27.100	26.646	9.100	3.253	-1.700
	정규화	0.429	0.929	0.778	0.000	1.000	0.367	0.131	0.433	0.000	0.831	0.058	0.440	0.557	0.000	1.000

2. 만족, 보통, 불만 비교 graph



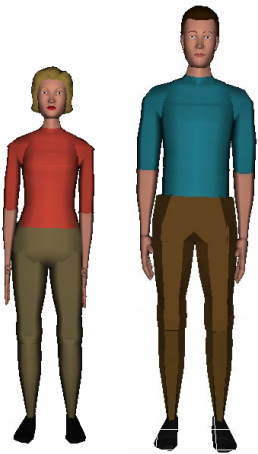
3. 만족도 추정 세부 결과

1-2. Cushion 만족도 예측																																				
	측정 항목	만족 (Satisfactory)										보통 (Fair)										불만족 (Unsatisfactory)														
		확률 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	확률 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	확률 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
쿠션 전반	전방적 만족도	65.6	○	○	○	○	○	○	○				27.4	○	○	○									7.1	○										
	조화감	54.3	○	○	○	○	○	○					35.5	○	○	○	○								10.2	○	○									
	쿠션감	62.0	○	○	○	○	○	○	○				27.5	○	○	○	○								10.5	○	○									
허벅지 하단부	이물감	57.3	○	○	○	○	○	○	○				30.9	○	○	○	○								11.8	○	○									
	쿠션감	61.9	○	○	○	○	○	○	○				27.7	○	○	○	○								10.4	○	○									
허벅지 중단부	쿠션감	61.2	○	○	○	○	○	○	○				29.2	○	○	○	○								9.5	○										
	꺼짐감	55.6	○	○	○	○	○	○	○				31.7	○	○	○	○								12.7	○	○									
엉덩이 지지부	지지성	60.6	○	○	○	○	○	○	○				29.8	○	○	○	○								9.6	○										

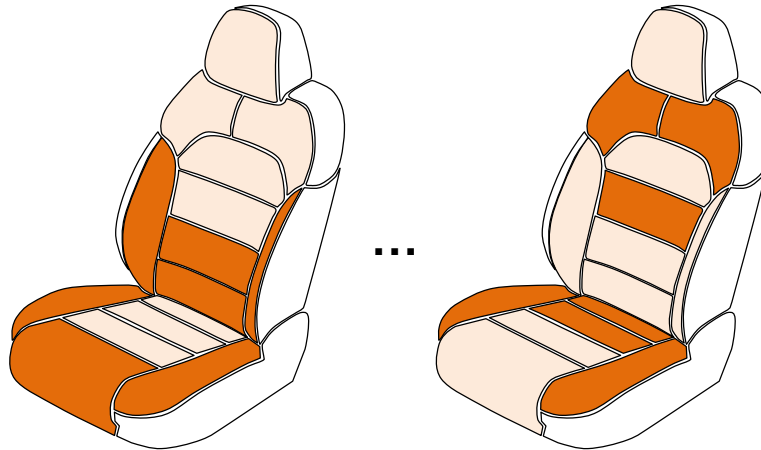
Limitations

- 개발된 추정식은 **인체 크기(신장, 체중) 효과가 고려되지 않음**
 - ✓ 착좌 안락감 = $f(\text{물성, 인체 크기}) \Rightarrow$ 측정된 인체 크기를 입력으로 하여 보완 가능
 - ✓ **인체 크기가 다양한 실험참여자의 평가 결과를 활용**하여 개발되었음
- 물성 외 **시트 디자인 요소에 의한 영향** \Rightarrow 시료 제작 후 추후 연구 필요
- 개발된 추정식에 대한 **실험실 환경 검증**와 **주행 환경 검증 필요**

인체 크기 효과



시트 디자인 요소 영향 제거 (실험계획법 기반 평가)



주행 환경 검증 평가



*Thank you
for your attention!*



Appendix. 가압 속도 영향 파악

- 가압 속도 20 에서 50 mm/min으로 **250% 증가** 시 반발력은 약 **3% 증가**
 - 가압 속도 50 에서 200 mm/min으로 **400% 증가** 시 반발력은 약 **6% 증가**
- ⇒ 가압 속도에 의한 영향은 미미하여 seat 부위별 가압 속도를 차등 적용 가능

