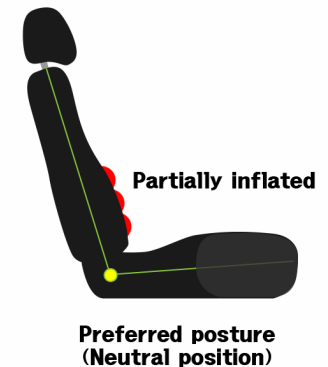


Seat Motion System의 운전자 피로 저감 효과 실차 주행 평가



이승훈¹, 김민재¹, 고정배¹, 오지현¹, 최선우², 유희천¹

Contents

□ Introduction

- Background
- Objectives of the Study

□ Methods

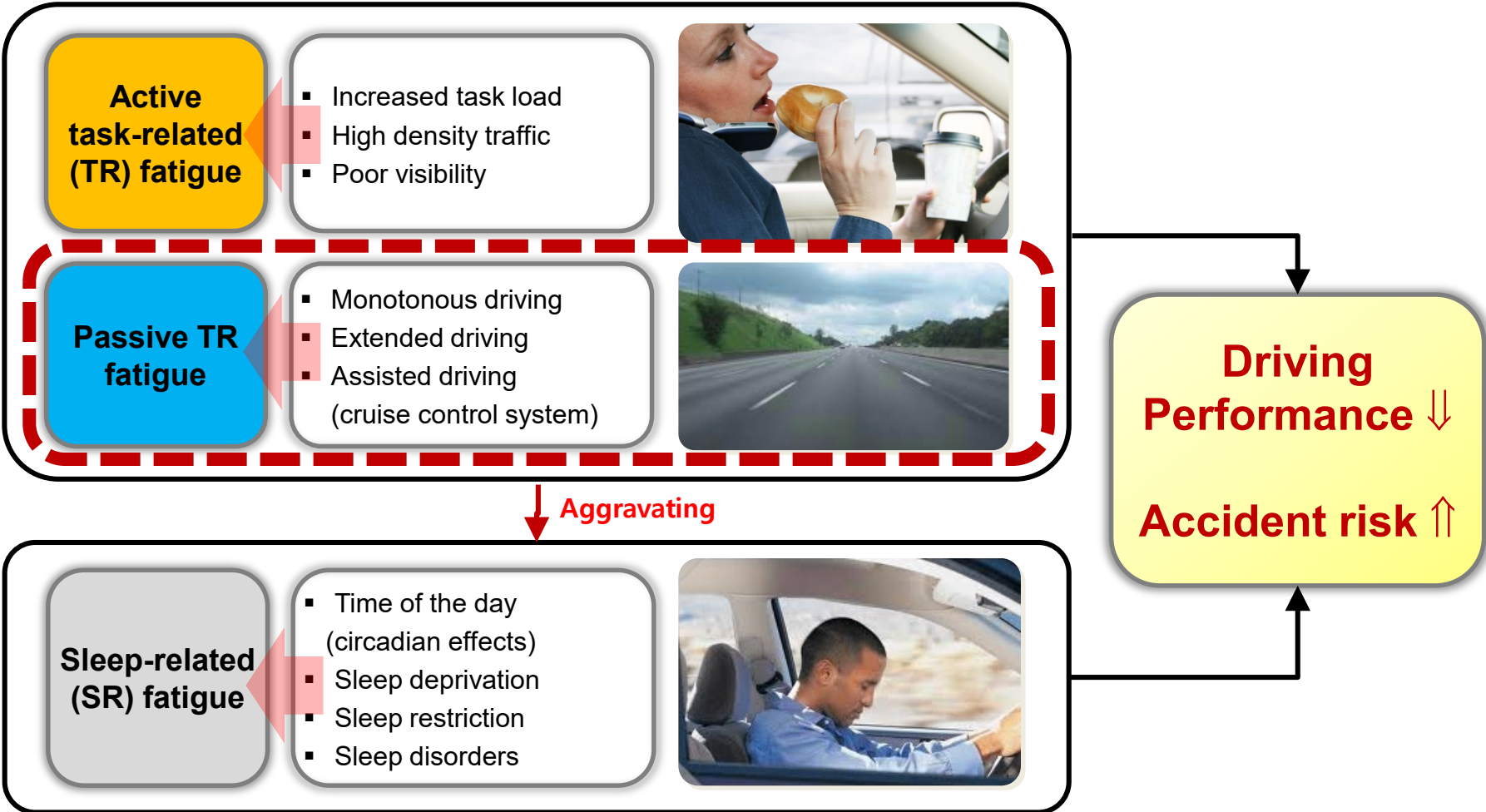
- Development of Experimental Protocol
- Evaluation of Motion Seat System Effects

□ Results

- Driving Performance
- Physiological Measures
- Subjective Fatigue

□ Discussion

Driving Fatigue 유형



Source: May and Baldwin (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research*, 12(3), 218-224.

Passive TR Fatigue 예방 중요성

- 장시간 단조로운 주행 환경(e.g., 복잡하지 않은 고속도로) 지속
 - ⇒ passive TR fatigue ↑
 - ⇒ 운전 중 졸음 발생 ↑, 운전자의 주행 능력 ↓
 - ⇒ 사고 발생률 ↑ (May and Baldwin, 2009)

Monotonous driving

Passive TR fatigue

Accident



Drowsy driving

Inactive eye movement

Alertness ↓
Brake reaction time ↑

Effects of Autonomous Driving on Passive TR Fatigue

❑ **부분 자율 주행: 운전의 단조로움 ↑ → passive TR fatigue ↑**

❑ 부분 자율 주행에 의한 운전자 피로 발생 효과

✓ **객관적 평가 척도**

▪ 생리학적 평가: 동공 지름 ↑, 눈 깜빡임 빈도 ↑

▪ 주행 능력: SD of lateral position (차선 위치 변동) ↑, 반응 시간 ↑

✓ **주관적 평가 척도 ↑**

Standard deviation of lateral position (SDLP)

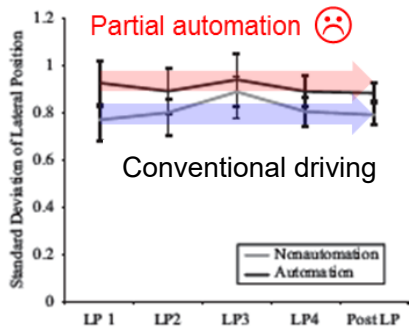


Figure 4. Standard deviation of five lateral positions (LPs) for both experimental groups. Error bars are standard errors.

Reaction time

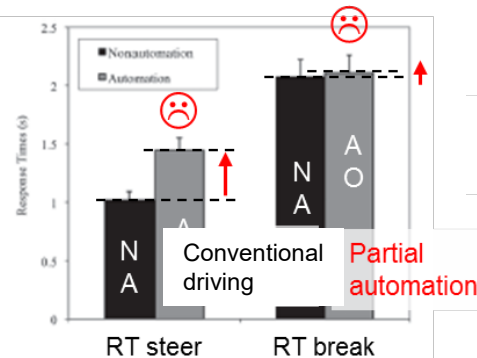
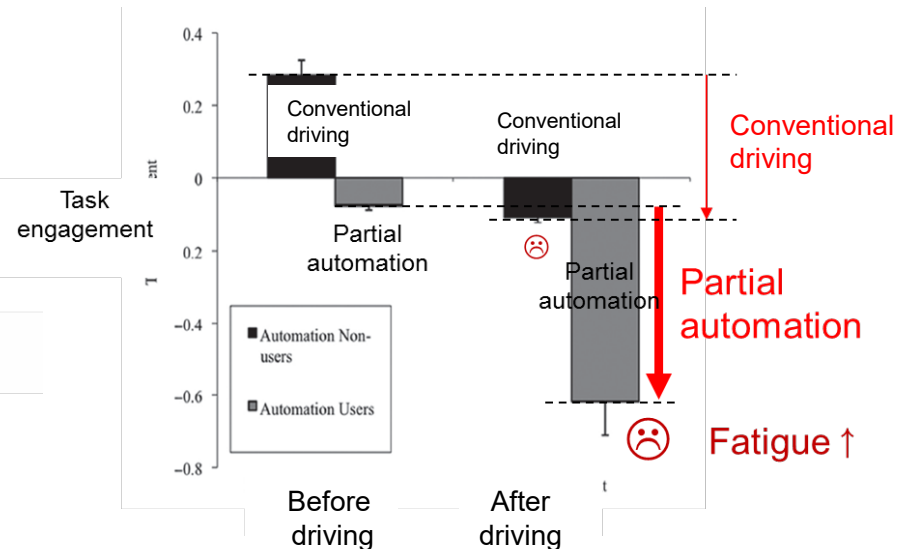


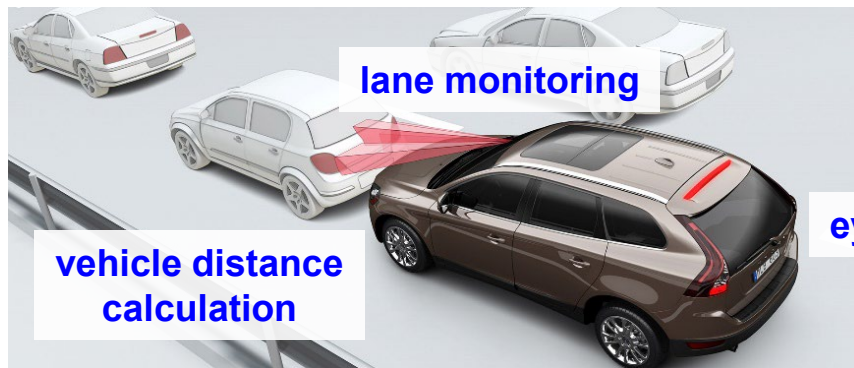
Figure 5. Response times (RTs) for steering and braking in the automation optional and nonautomation conditions. Error bars are standard errors.



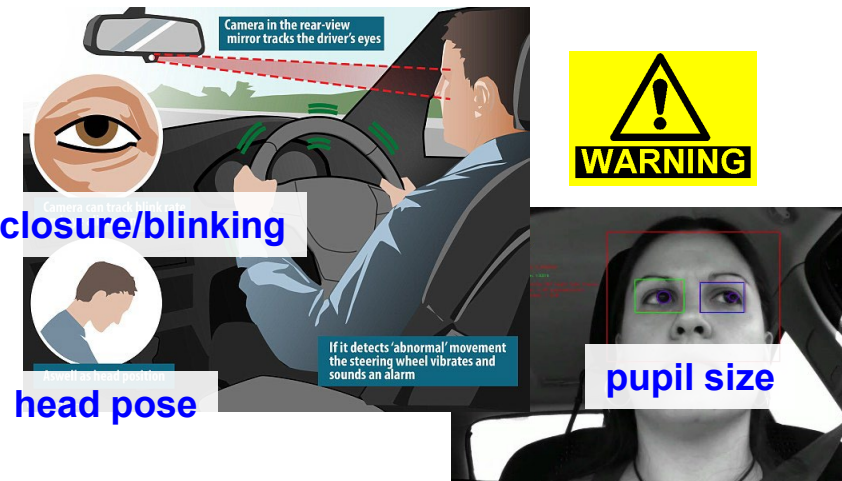
기존 안전 주행 시스템 유형 및 한계

- ❑ **Collision avoidance system**: Rradar, laser (LIDAR), camera, GPS sensors 등을 사용하여 충돌 예방
 - ❑ **Driver fatigue detection system**: 생리학적 신호(e.g., ECG, eye-closure duration)와 운전자 행동(e.g., speed variation, lane departure)을 monitoring 하여 fatigue 또는 distraction 발생 시 운전자에게 경고(e.g., seat vibration and/or audio alarm)
- ⇒ **시스템이 운전자를 보조하거나 경고를 제공하지만, 운전자의 피로를 사전 예방할 수 없음**

Collision avoidance system



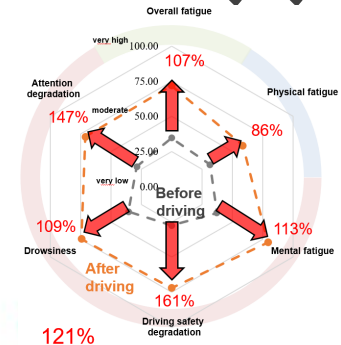
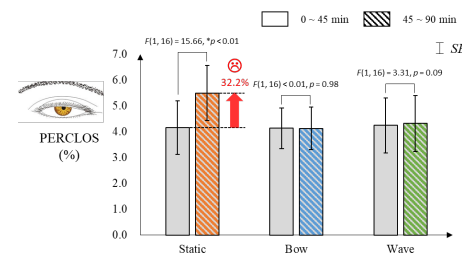
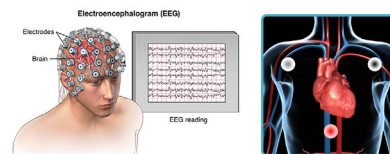
Drive fatigue detection system



Objectives of the Study

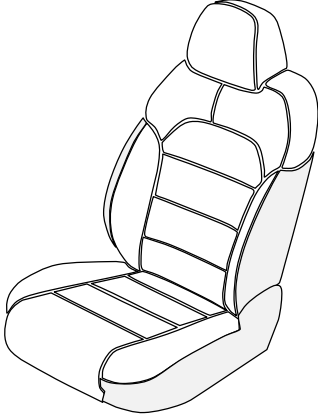
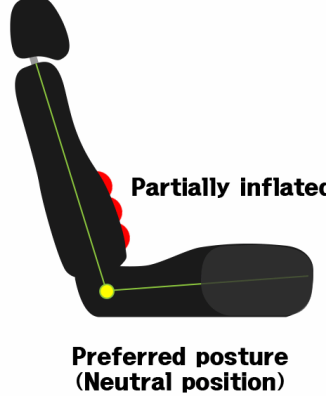
Evaluation of a **Motion Seat System** for Reduction of a **Driver's Passive Task-Related Fatigue**

- ❑ ~~Develop a **motion seat system**~~
- ❑ Establish a **protocol to assess a driver's fatigue**
- ❑ Evaluate the **effect of a motion seat on passive TR fatigue**



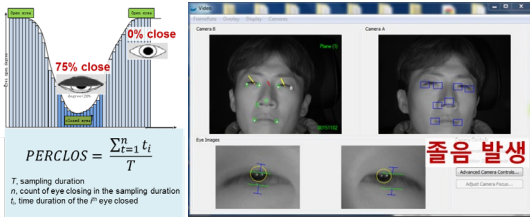
Motion Seat System: Motion Profiles

- Bow motion profile⁰ | seatback angle, cushion angle, cushion extension, lumbar support motions을 조합하여 개발됨

	Static seat (reference)	Bow motion profiles
		 Partially inflated Preferred posture (Neutral position)
Seatback angle	Fixed	$\pm 00^\circ$
Cushion angle		$\pm 00^\circ$
Cushion extension		± 00 mm
Lumbar support		00 mm of air cell inflation/deflation

실차 평가 시스템 구성

Eye movement



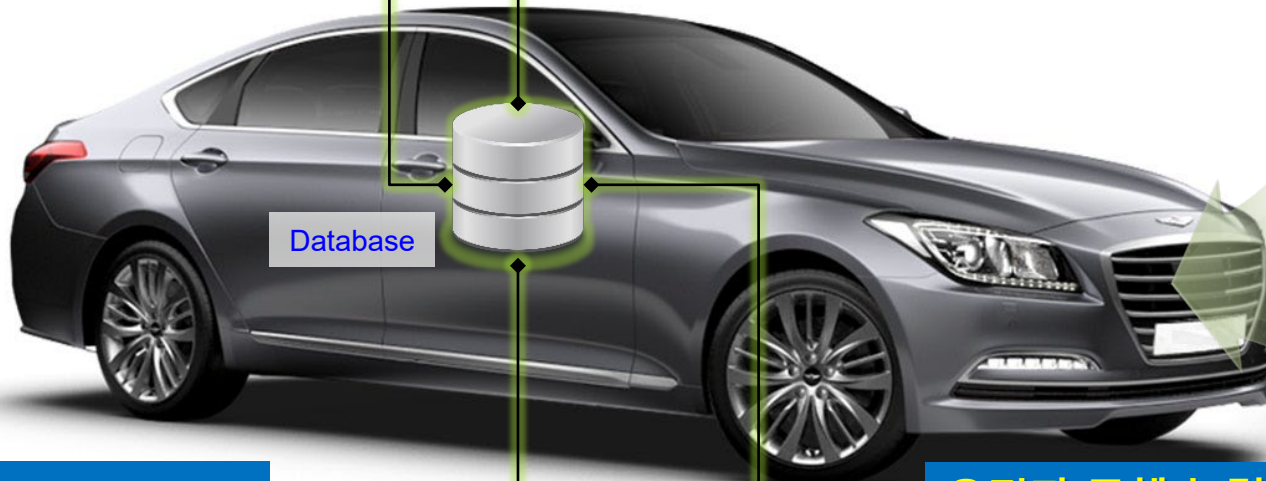
운전자 행동 관찰



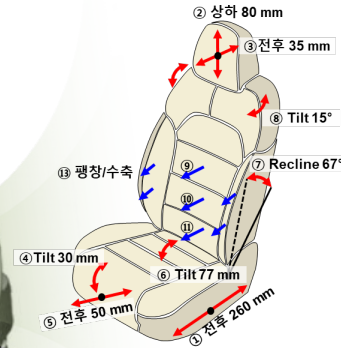
Facial view

Perspective view

Road view

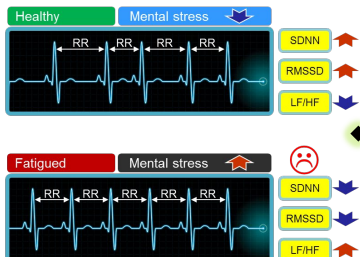
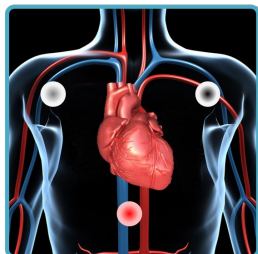


Database



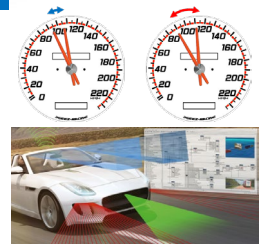
Motion Seat

HRV (Heart rate variability)



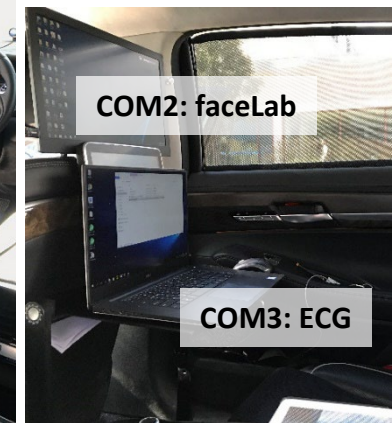
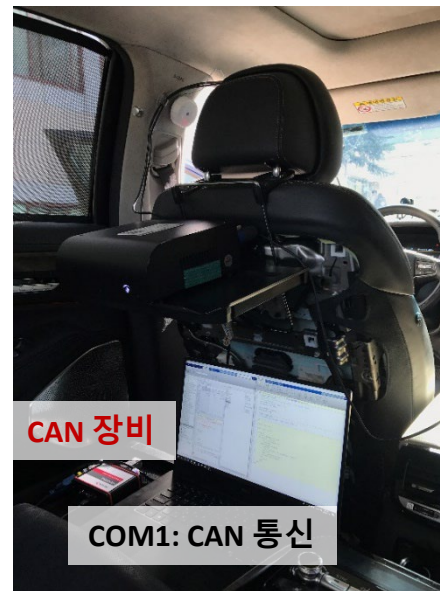
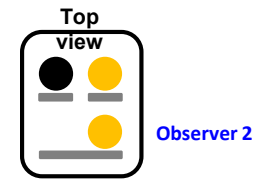
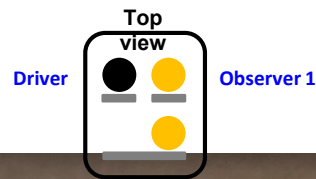
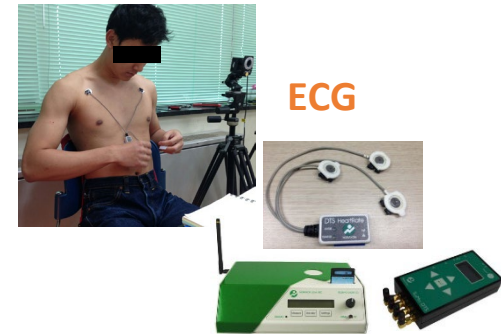
운전자 주행 능력

- Mean velocity
- SD of velocity
- Steering wheel rate
- Lateral acc.
- Longitudinal acc.



실차 평가 장치 구성: 차량 내 평가 환경

- **CAN 통신** (VN 1630A, Vector, Germany): 차량 주행 정보
- **faceLAB** (Seeing machine, EKSTREM): eye tracking
- **ECG** (Noraxon Telemetry DTS, Noraxon Inc., USA): 심전도 측정
- **Action CAM** (HDR-AS200, SONY, Japan): 운전자 행동 관찰



ECG & Eye Tracker

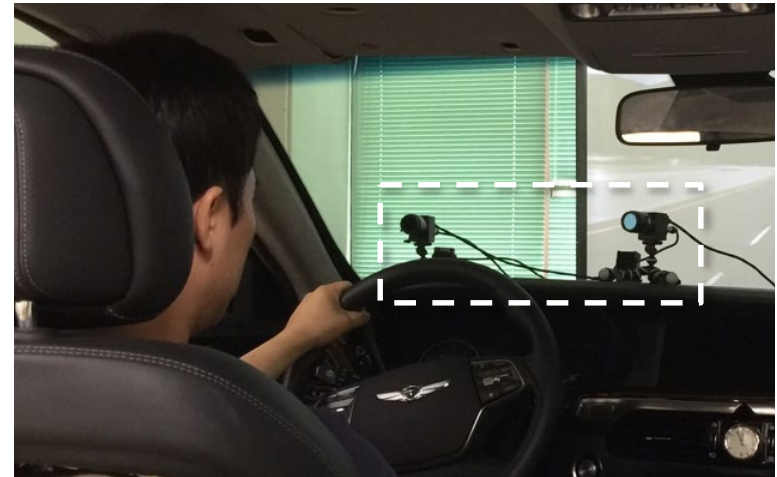
ECG measurement system



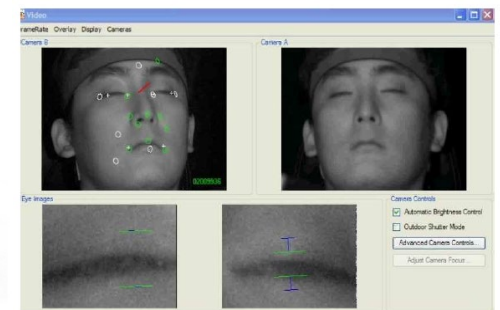
Noraxon Telemetry DTS
(Noraxon Inc., USA)



Eye tracking system

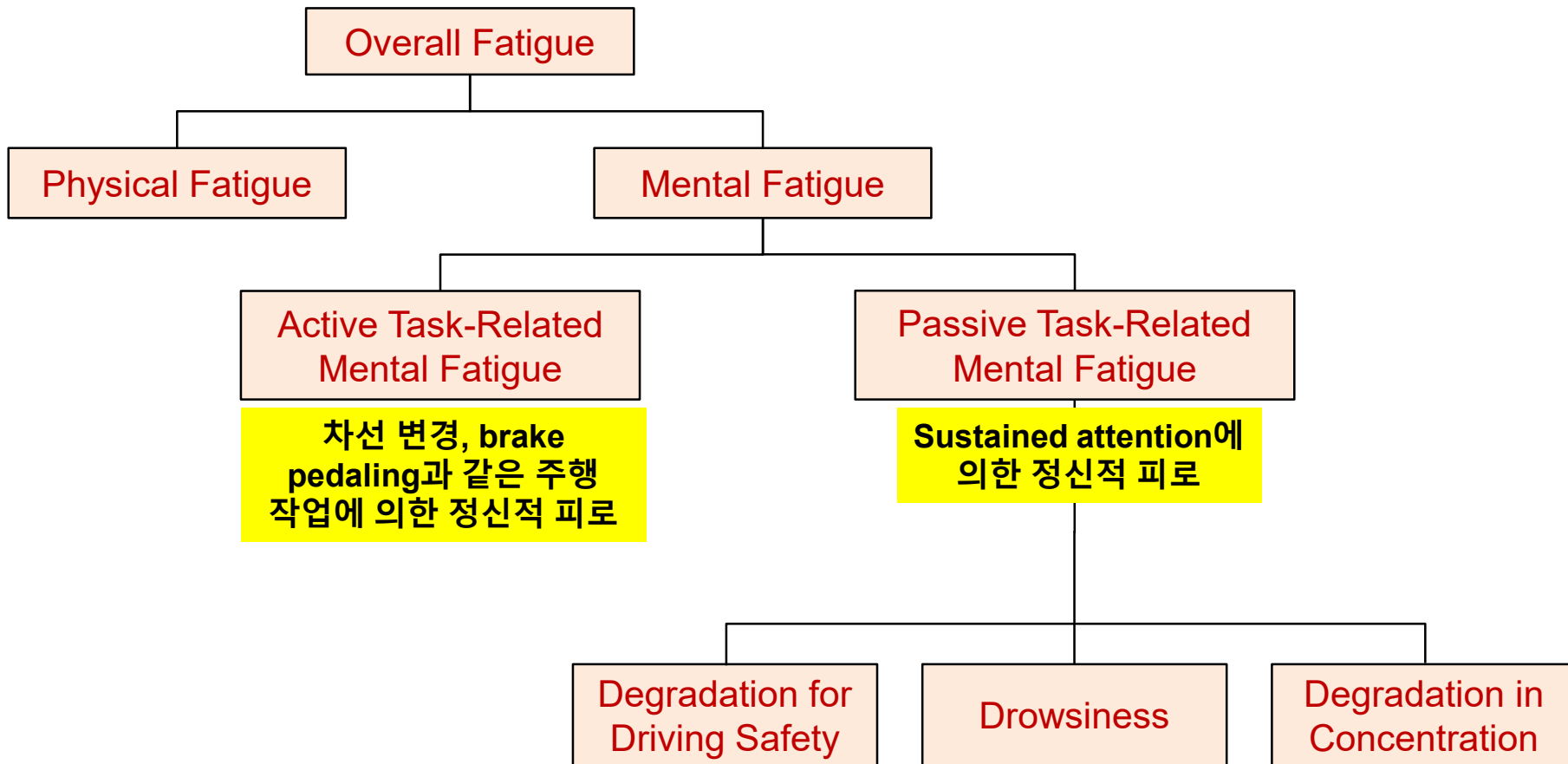


faceLAB 5
(Seeing Machines, Australia)



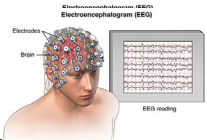

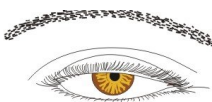


Subjective Fatigue: VAS

- **Dundee Stress State Questionnaire** (DSSQ; Matthews et al., 2002)를 사용하여 운전자의 주관적 피로도를 **overall, physical, mental fatigue** 측면에서 평가



Metrics of Passive TR Fatigue

- 사용된 평가 척도들은 pilot study ($n = 6$)를 통해 **passive TR fatigue에 대한 motion seat의 효과를 민감하게 검출 가능한 것으로 판단됨**

Passive TR fatigue assessment methods		Metrics	Tendency	References
Physiological Indicators	 EEG	α band	↑	Michail et al., 2008; Eoh et al., 2005; Jap et al., 2011; Yvonne et al., 2010; Cao et al., 2010; Zhao et al., 2011
		β band	-	
	δ band	-		
	θ band	↑		
ECG	 ECG	Heart rate (HR)	↓	Oron-Gilad et al., 2008; Ahsberg et al., 2000; Lai and Craig, 2001; Patel et al., 2011
		NN interval (IBI)	↓	
		SDNN	↓	
		LF/HF	↑	
	EDA (Skin conductance)	Tonic SCR	↓	Lim et al., 1996
Psychomotor & Mental Tests	PVT (Psychomotor vigilance task)	Reaction time	↑	Gunzelmann et al., 2011; Horrey and Wickens (2006)
Eye Movement	 EOG	Amplitude	↓	Lal and Craig, 2001b; Wijesuriya, et al., 2007; Svensson, 2004; Santamaria & Chiappa, 1987; Dinges et al., 1998;
		Blinking rate	↑	
		Closing duration	↑	
		PERCLOS	↑	
Driving Performance	 Steering wheel control	Angular position	↑	Thiffault and Bergeron, 2010; He et al., 2011
		Steering wheel rate	↑	
		Yaw rate	↑	
	 Longitudinal position control	SD of velocity	↑	Pilutti and Ulsoy, 1999; Thiffault and Bergeron, 2010
		Brake reaction time	↑	
		Lateral position control		
		Lateral position	↑	
		Lateral velocity	↑	
		Lateral acceleration	↑	
Subjective Assessment	Karolinska sleepiness scale		↑	Bekiaris et al., 2001
	Stanford Sleepiness Scale (SSS)		↑	Hoddes et al., 1973
	Yoshitake Fatigue Scale		↑	Yoshitake, 1978
	Dundee Stress State Questionnaire (DSSQ)		↑	Matthews et al., 2002

실험 참여자

□ **n = 28명**(M: 19명, F: 9명)

- ✓ **연령: 38.8 ± 12.8 yrs** (range = 24 ~ 64 yrs)
- ✓ **운전 경력: 13.5 ± 10.6 yrs** (range = 3 ~ 35 yrs)
- ✓ **평균 주행 거리: 18.0 ± 8.9 km/일** (range = 5 ~ 40 km)

□ **실험 중단: 3명**(M: 2명, F: 1명)

- ✓ 진행자에 의해 주행을 지속할 수 없다고 판단된 경우(**졸음 심화**): 2명
- ✓ 실험 참여자의 실험 중단 요청(**허리 통증 호소**): 1명

인간대상연구 피험자 동의서

2018. 11. 15

성명	Seok Hyeon Yoon		
성별	남	연령	38
직업	운전자	주거지	서울
연락처	010-1234-5678	이메일	hyeon.yoon@knu.ac.kr

본 연구는 위험요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다. 위험 요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구는 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다. 본 연구는 위험요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다. 본 연구는 위험요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다.

- 본 연구는 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다.
- 본 연구는 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다.
- 본 연구는 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다.
- 본 연구는 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다.

2018. 11. 15

심의명세서

연구자	Seok Hyeon Yoon	연구자 연락처	010-1234-5678
연구자 이메일	hyeon.yoon@knu.ac.kr	연구자 주소	서울
연구자 직업	운전자	연구자 나이	38
연구자 성별	남	연구자 교육 수준	대학

본 연구는 위험요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다. 본 연구는 위험요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다. 본 연구는 위험요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다. 본 연구는 위험요인 제거 시 운전 경험 및 운전 능력에 대한 연구입니다.

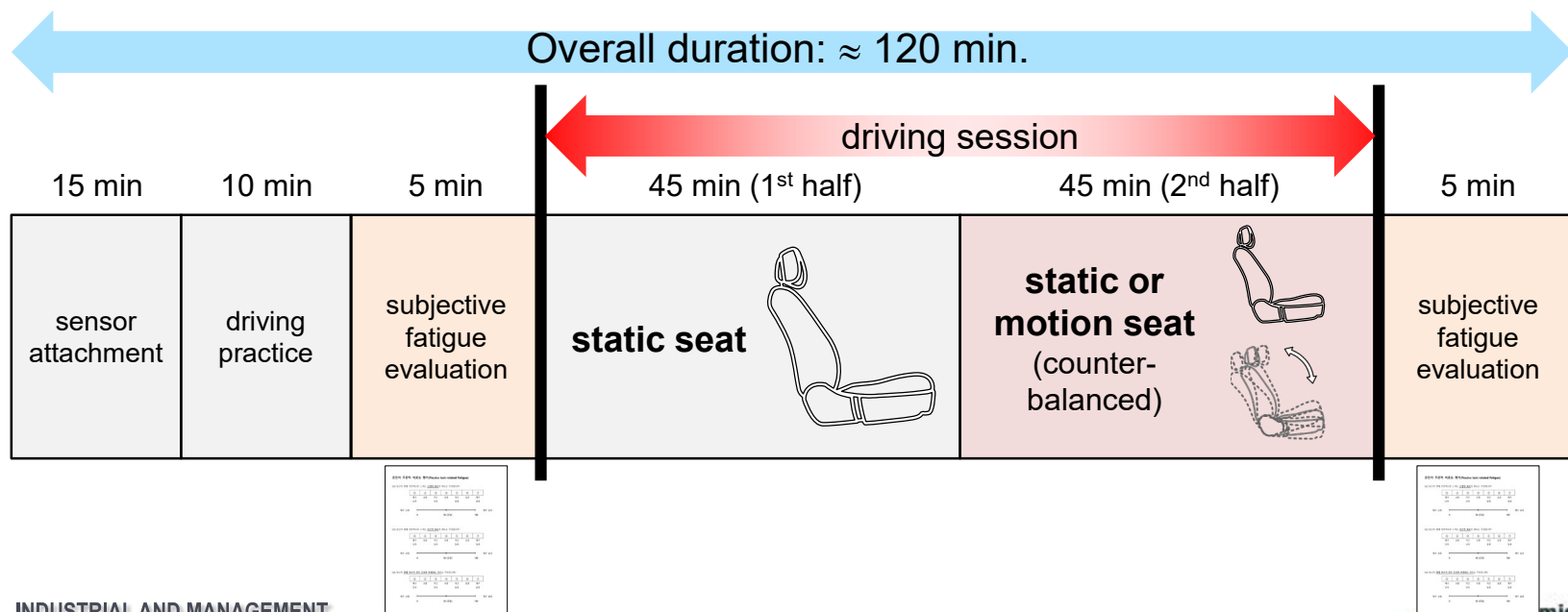
2018. 11. 15

포항공과대학교 생명윤리위원회 위원장

실험 참여 동의서 IRB 심사 승인

Experiment Procedure

- ❑ **실험 준비 (before driving 30 min):** (1) ECG 센서 부착, (2) 주행 연습, (3) 주관적 피로도 평가
- ❑ **주행 평가 (driving; 90 min.):** driving performance, eyelid closure, ECG 측정(static or motion seat condition)
- ❑ **Debriefing (after driving; 5 min):** 주관적 피로도 평가



Driving Environment

□ 교통량이 적은 단조로운 고속도로 환경에서 주행

✓ 경로: 포항 TG (출발) → 팔공산 IC 부근 (회차) → 포항 TG (도착)

✓ 거리: 139.9 km (소요 시간: 약 90분)

✓ 속도: 약 100 ± 10 km/h 유지

✓ 주행 차로: **2차선 유지**(교통 흐름에 방해받을 경우 차선 변경하여 주행 가능)



회차 지역(약 300m, 1분 소요)



주행 평가 환경

□ 교통량, 평가 시간대, 날씨, 실험 중단 조건을 고려한 주행 평가 환경

고려 사항	기준	비고
교통량	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 교통 원활 ▪ 9:00 ~ 18:00 사이 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 포항-대구 평균 통행 시간: 48분 (자유류 통행 시간: 46분) ⇒ 원활
평가 시간대	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 12:00 ~ 18:00 포함 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Human performance ↓ ▪ Alertness level ↓
날씨	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 맑은 날씨 ▪ 노면 젖지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주행 안전성 확보 ▪ 주행 시야 확보
실험 중단	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주행 안전에 영향 있는 경우 ▪ Passive TR Fatigue 유발 방해 요소(e.g., 사고 발생 구역) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 실험 진행자의 판단 ▪ 실험 참여자의 요청

주행 중 운전자 및 주행 환경 관찰 기록

□ 운전자 및 주행 환경 관찰 기록지를 활용 **운전자 피로 및 분석 제외 구간 탐색**

■ 운전자 및 주행 환경 관찰 기록지(Main 실험 진행자 작성, 필요 시 별지 사용)

시간	운전자 상태	주행 환경	기타	내용
14시 20분	✓	□	□	졸음 2단계(하품)
16시 20분	□	✓	□	졸음
16시 30분	□	✓	□	주행
16시 40분	□	□	□	끼어들
16시 50분	✓	□	□	졸음 2단계 (하품)
16시 55분	□	✓	□	끼어들
16시 57분	□	□	□	라선 이탈 (졸음 2단계)
16시 59분	□	✓	□	주행
17시 00분	✓	□	□	눈 깜빡임 (졸음 2단계)
17시 02분	□	✓	□	끼어들
17시 06분	□	✓	□	급제거
17시 08분	□	✓	□	주행
17시 10분	□	✓	□	라선 변경 (라크 → 라크) → 뒤편
17시 12분	□	✓	□	라선 변경 (라크 → 라크)
17시 14분	□	✓	□	좌요, 급제거
17시 17분	□	✓	□	주행 (

■ 기타 comments 사항

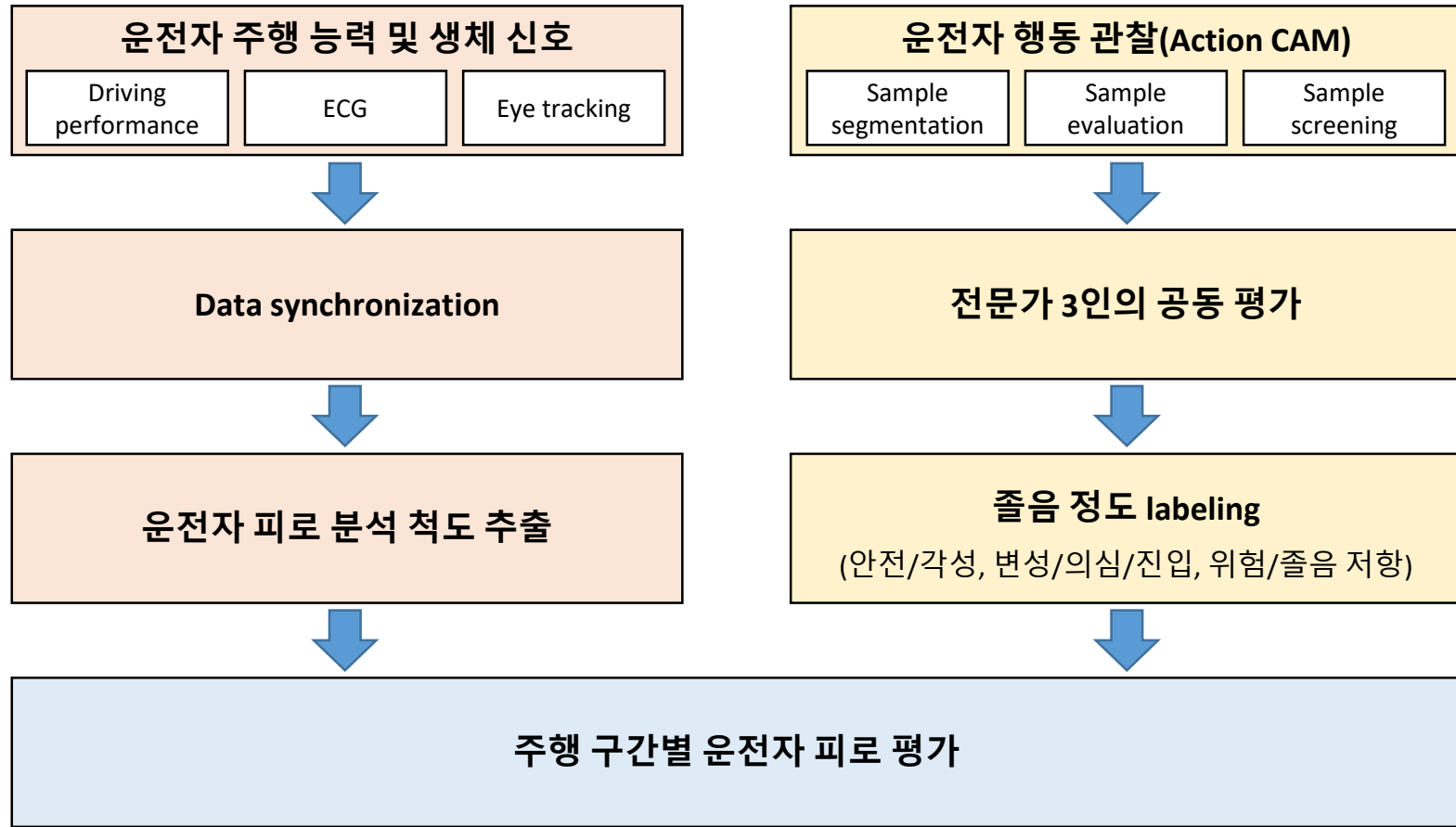
16시 55분	□	✓	□	끼어들
---------	---	---	---	-----



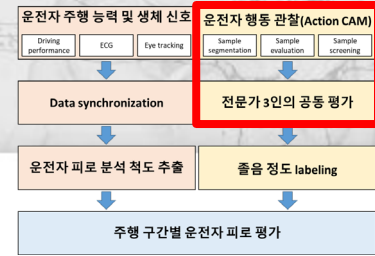
운전자 및 주행 환경 관찰지

운전자 피로 분석 절차

□ 운전자 피로 분석 framework



운전자 졸음 행동 분석 기준

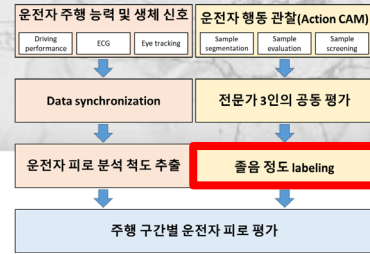


- 선행 연구 참조하여 졸음 단계별 운전자 행동 파악
- 연구진 3인의 공동 평가를 통해 정상, 졸음 판별

	1단계 (안전/각성)	2단계 (변성/의심/진입)	3단계 (위험/졸음 저항)
	졸음 없음	졸음을 깨기 위한 행동 할 수 있음	의지와 상관없이 졸음 나타남
눈	<ul style="list-style-type: none"> 안정된 주기 깜빡임 	<ul style="list-style-type: none"> 눈에 힘을 줌/눈썹 치켜 올림 깜빡임 빈도 ↑ 	<ul style="list-style-type: none"> 눈꺼풀이 반 이상 감김
고개/얼굴	<ul style="list-style-type: none"> 정면 유지 	<ul style="list-style-type: none"> 좌우로 흔들 얼굴 찡그림 	<ul style="list-style-type: none"> 고개 떨굼
입	<ul style="list-style-type: none"> 입을 닫은 상태 입을 벌려도 곧바로 닫음 	<ul style="list-style-type: none"> 하품/큰 숨 호흡 아! 소리를 냄 	<ul style="list-style-type: none"> 2초 이상 입을 벌린채 유지
손	<ul style="list-style-type: none"> Steering wheel, gear, 다리 위에 둠 	<ul style="list-style-type: none"> 코나 입을 만짐 머리 긁음 	<ul style="list-style-type: none"> Steering wheel에서 떨어짐
자세	<ul style="list-style-type: none"> 정 자세 자세를 틀어도 정자세로 돌아옴 	<ul style="list-style-type: none"> 한 쪽으로 처짐 들쭉거림 	<ul style="list-style-type: none"> 정상 운전을 하지 못하는 상태 (예: 차선 유지, 속도 유지)



운전자 졸음 상태 Labeling



□ 동영상에서 파악된 운전자의 **졸음 행동 단계와 발생 시간 기입**

S1. 운전자 졸음 행동 발생 구간 탐색



S2. 졸음 단계 판별(연구진 3인 공동 검토)

Subject No.	S16									이름	박태응	분석자	고정배	
	경과 시간													졸음 단계
No.	시	분	초	~	시	분	초	초	~	초				
주행 시작	0	0	24		0	0	27	24		27	1	블레이크 통과 전 구간	O	
회차 구간	0	40	49		0	42	4	2449		2524	1	회차 구간	O	
1	0	18	7		0	18	11	1075		1091	2	하품	X	
2	0	20	44		0	20	46	1232		1246	2	하품	X	

분석 제외

분석 활용

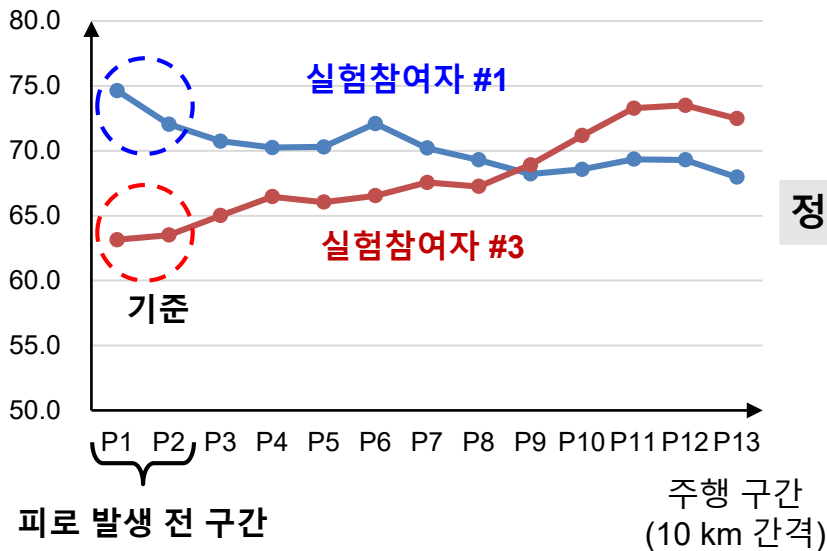
Subject No.	S16									이름	박태응	분석자	고정배	
	경과 시간													졸음 단계
No.	시	분	초	~	시	분	초	초	~	초				
회차 구간	0	40	49		0	42	4	2449		2524	1	회차 구간	O	
2	0	20	44		0	20	46	1232		1246	2	하품	X	

분석 척도 Normalization

- 실험 참여자별로 주행 능력과 생체 신호의 기준(Baseline) 상이
- 동일한 조건에서 비교하기 위하여 피로가 발생되지 않은 0 ~ 20 km 구간 (Phase 1 ~ 2)의 평균값으로 정규화

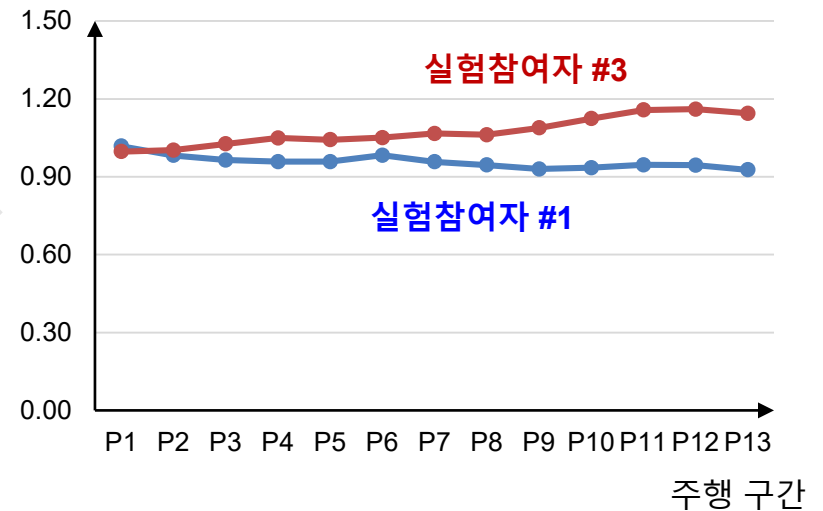
(아래 예시 참조)

Heart Rate (bpm)



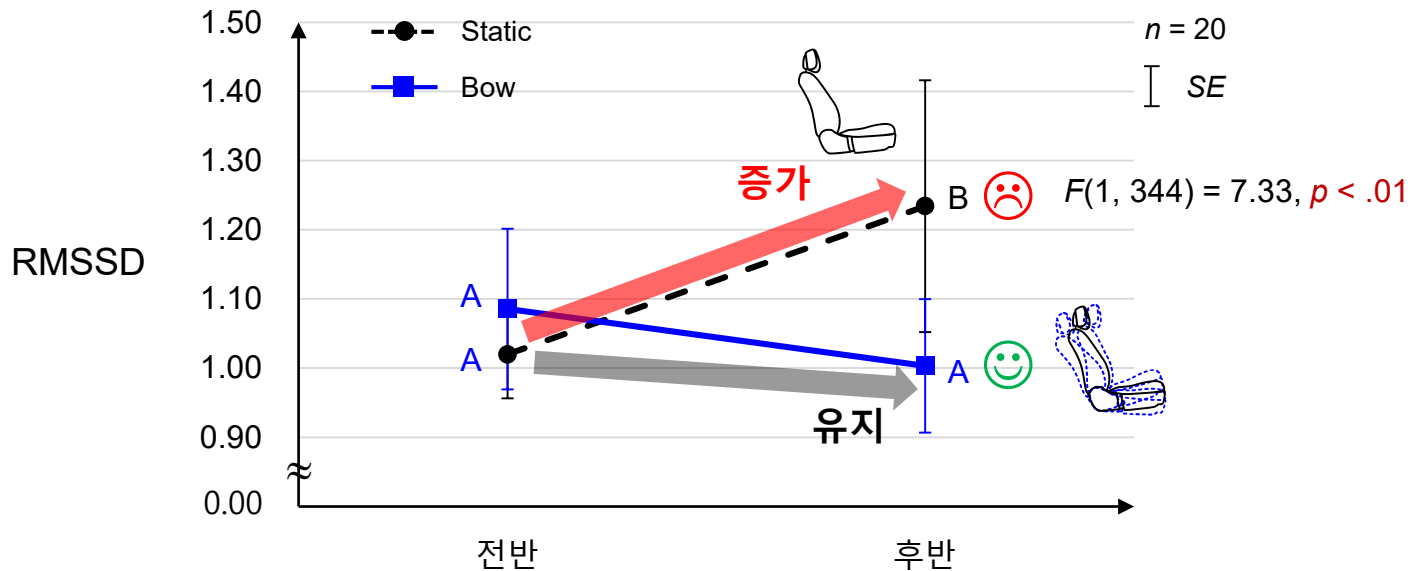
정규화

Normalized Heart Rate



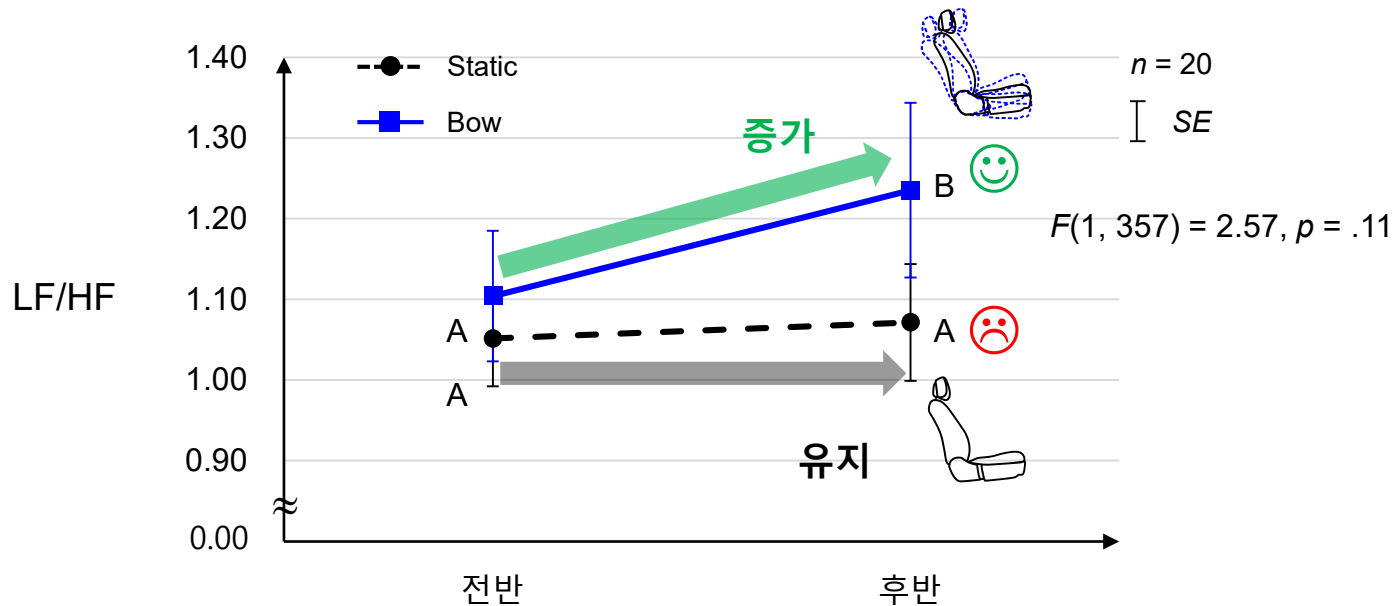
Heart Rate Variability: RMSSD

- ❑ **Static**: 전반 대비 후반에서 **약 21.0% ↑** (전반: 1.02 ± 0.06 , 후반: 1.23 ± 0.18 ; *MD*: 0.21)
 - ❑ **Bow**: 전반 대비 후반에서 **유지** (전반: 1.09 ± 0.12 , 후반: 1.00 ± 0.10 ; *MD*: -0.08)
- ⇒ **Bow**는 주행에 필요한 **적정 stress level**을 **유지**한 것으로 사료됨
- ⇒ **인지 능력이 요구되는 작업 수행** 시 심박이 규칙적으로 유지되어 **RMSSD ↓**
 (Oron-Gilad et al., 2008; Ahsberg et al., 2000; Lai and Craig, 2001; Patel et al., 2011)



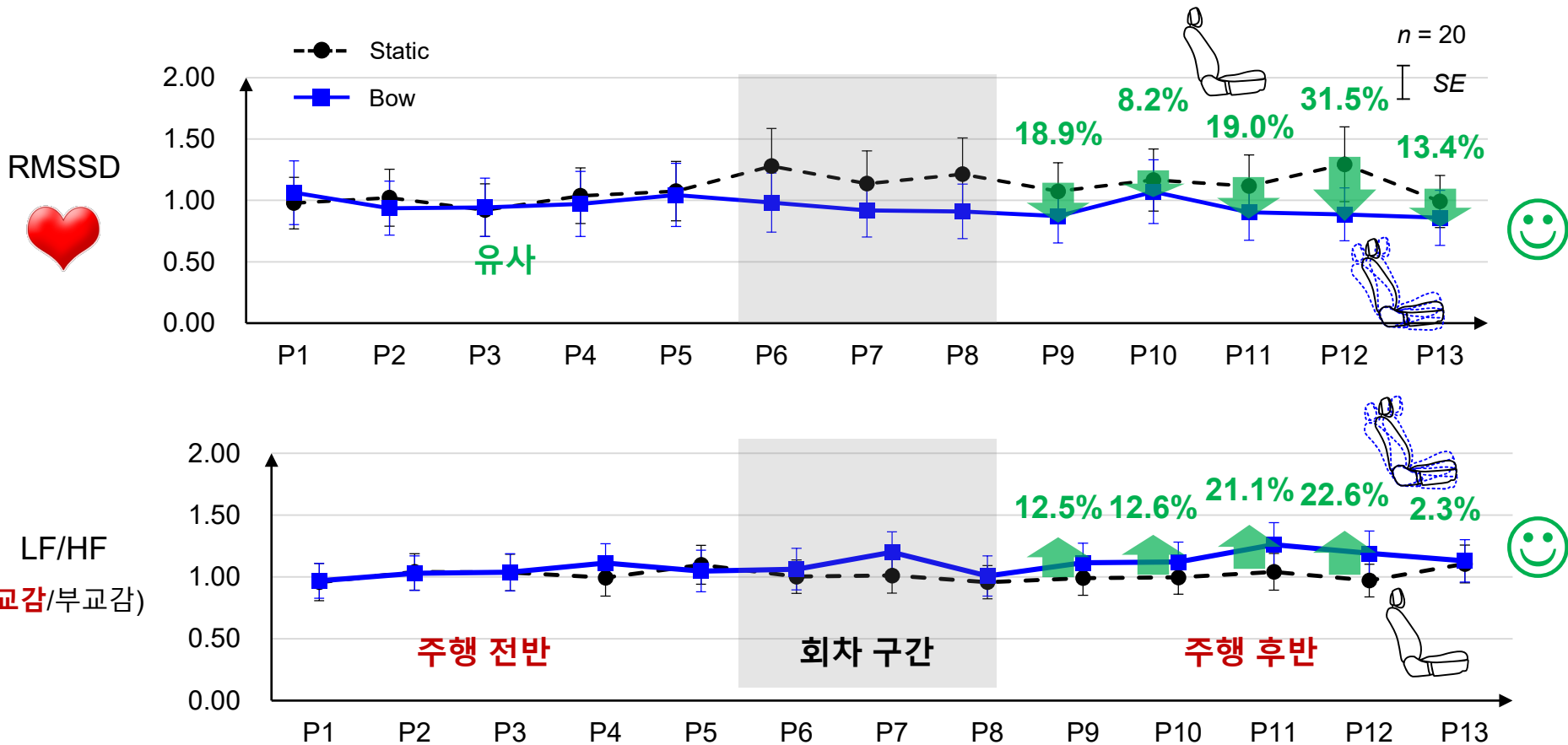
Heart Rate Variability: LF/HF

- ❑ **Static**: 전반 대비 후반에서 **유지** (전반: 1.05 ± 0.06 , 후반: 1.07 ± 0.07 ; *MD*: 0.02)
 - ❑ **Bow**: 전반 대비 후반에서 **약 11.9% ↑** (전반: 1.10 ± 0.08 , 후반: 1.24 ± 0.11 ; *MD*: 0.13)
- ⇒ **Bow**는 주행에 필요한 **주의 집중 정도를 향상**시킨 것으로 사료됨
- ⇒ **인지 능력이 요구되는 작업 수행 시 교감 신경계가 활성화**되어 **LF/HF ↑**
 (Oron-Gilad et al., 2008; Ahsberg et al., 2000; Lai and Craig, 2001; Patel et al., 2011)



주행 구간별 ECG 변화 경향

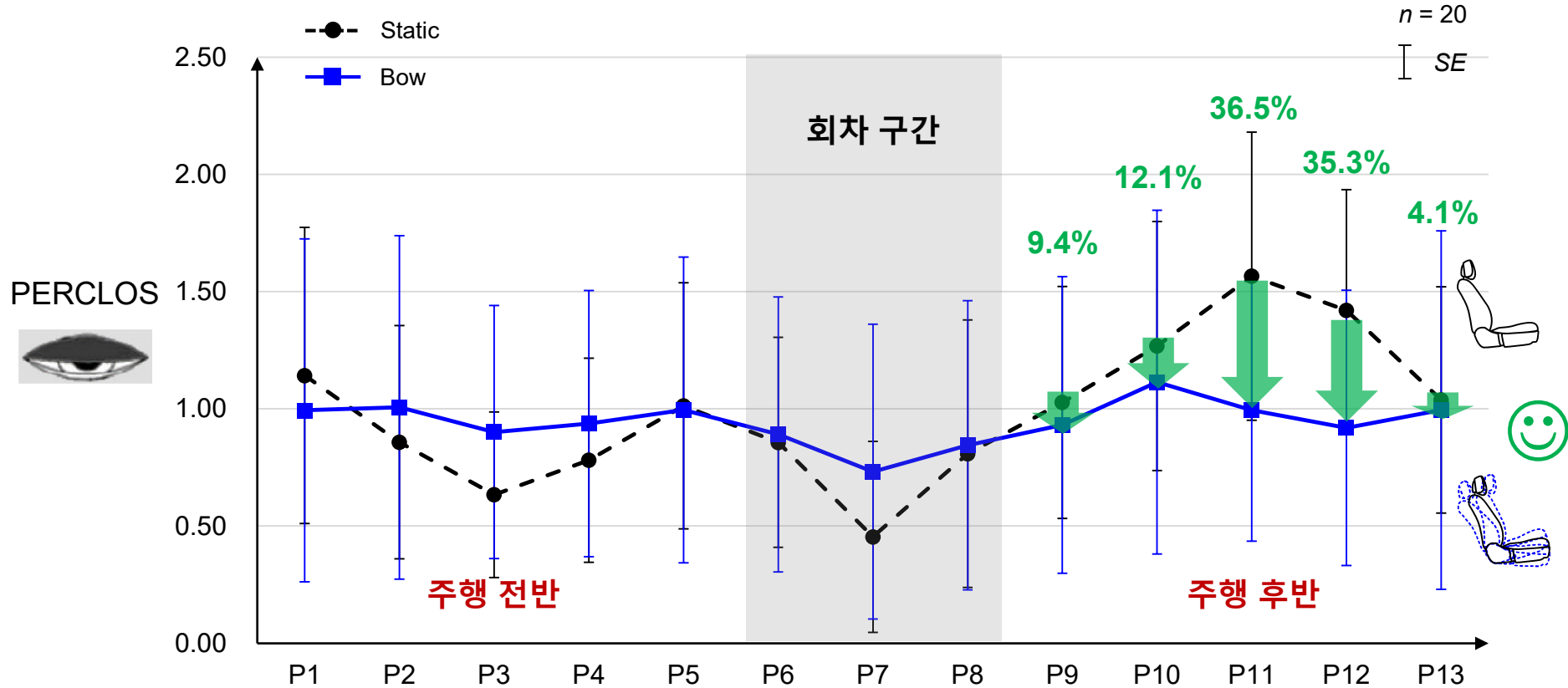
□ 주행 후반에서 **Static** 대비 **Bow**는 **RMSSD 18.6% ↓**, **LF/HF 14.0% ↑**



주행 구간별 PERCLOS 변화 경향

□ 주행 후반 P9 ~ P11 구간(80 ~ 110 km)에서 Bow는 주행 전반과 유사하게 유지

($M = 1.01$; $range = 0.93 \sim 1.11$)된 반면 Static은 급격히 \uparrow ($M = 1.29$; $range = 1.03 \sim 1.57$)

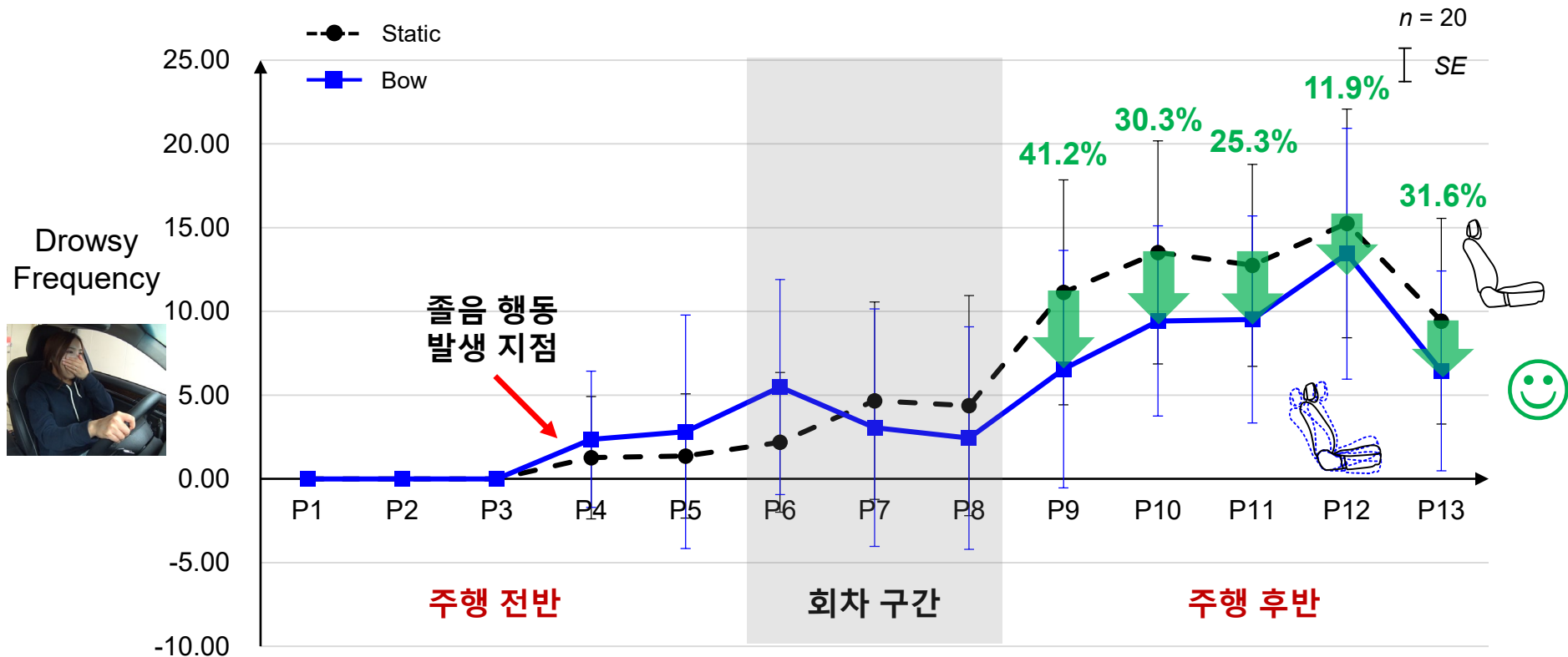


주행 구간별 졸음 행동 발생 빈도

□ 주행 후반에서 **Static** 대비 **Bow**는 졸음 행동 발생 빈도 26.9% ↓

✓ 졸음 행동은 모두 2단계(진입)로 운전자가 졸음을 저항할 수 있는 상태

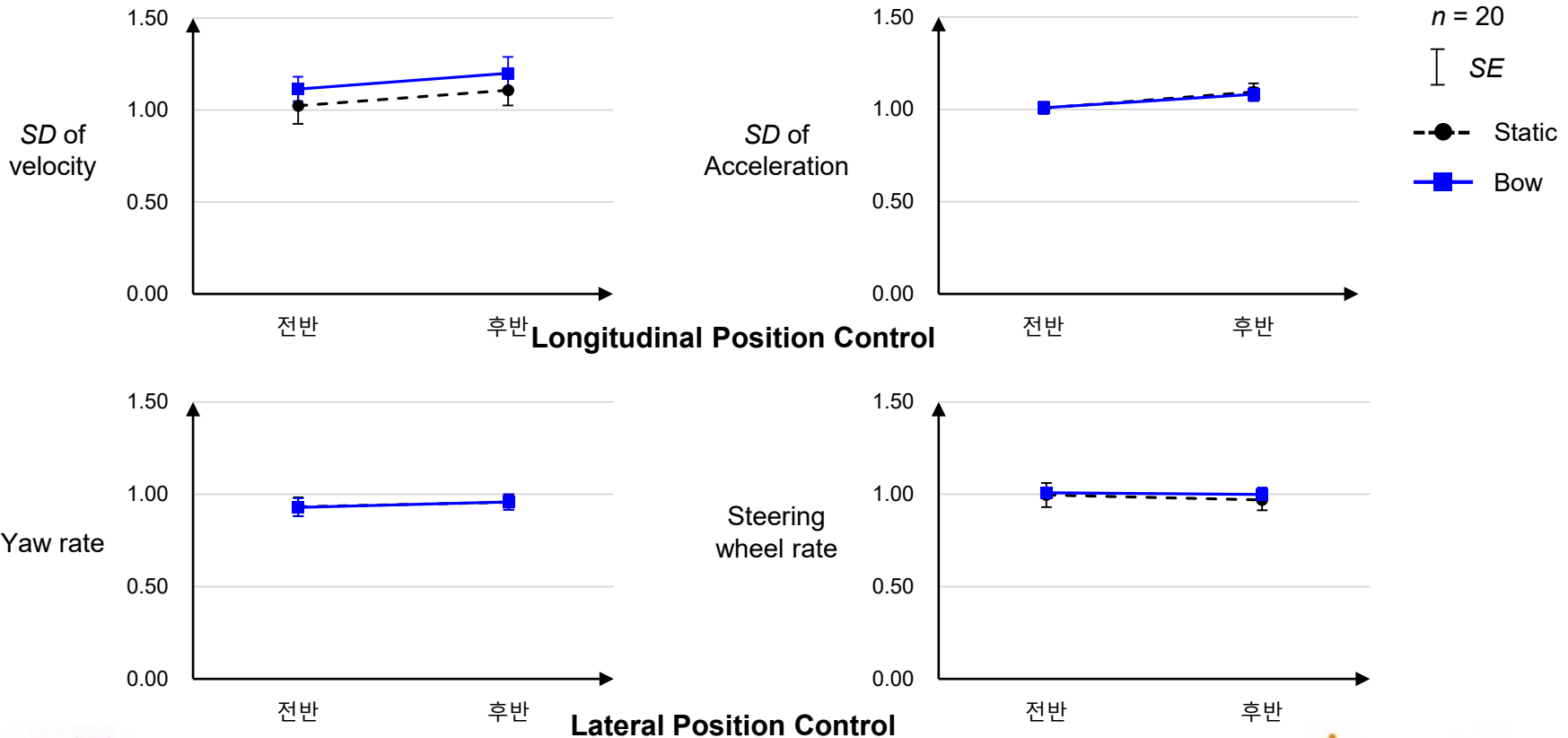
✓ 참고: 약 30 km 주행 (약 20분) 후 발생하여 100 km 주행 (약 54분) 후 급격히 ↑



주행 능력

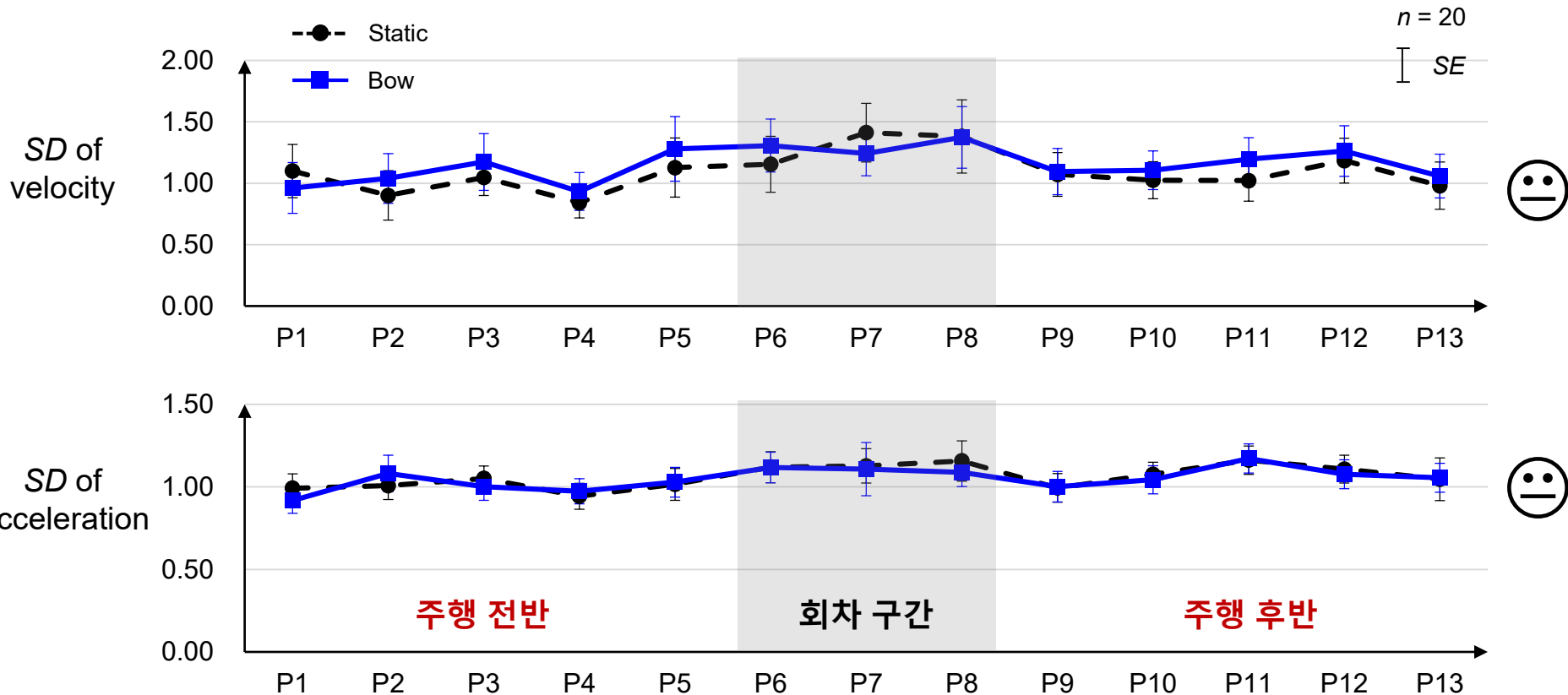
□ 주행 능력은 **Static**과 **Bow**에서 **유의한 차이가 없었음** ($p > .05$)

← 차량 거동에 영향을 미칠 정도의 피로가 발생되지 않았던 것으로 사료되며, 운전자 행동 관찰에서 졸음 3단계(저항 불가능)가 관찰되지 않음



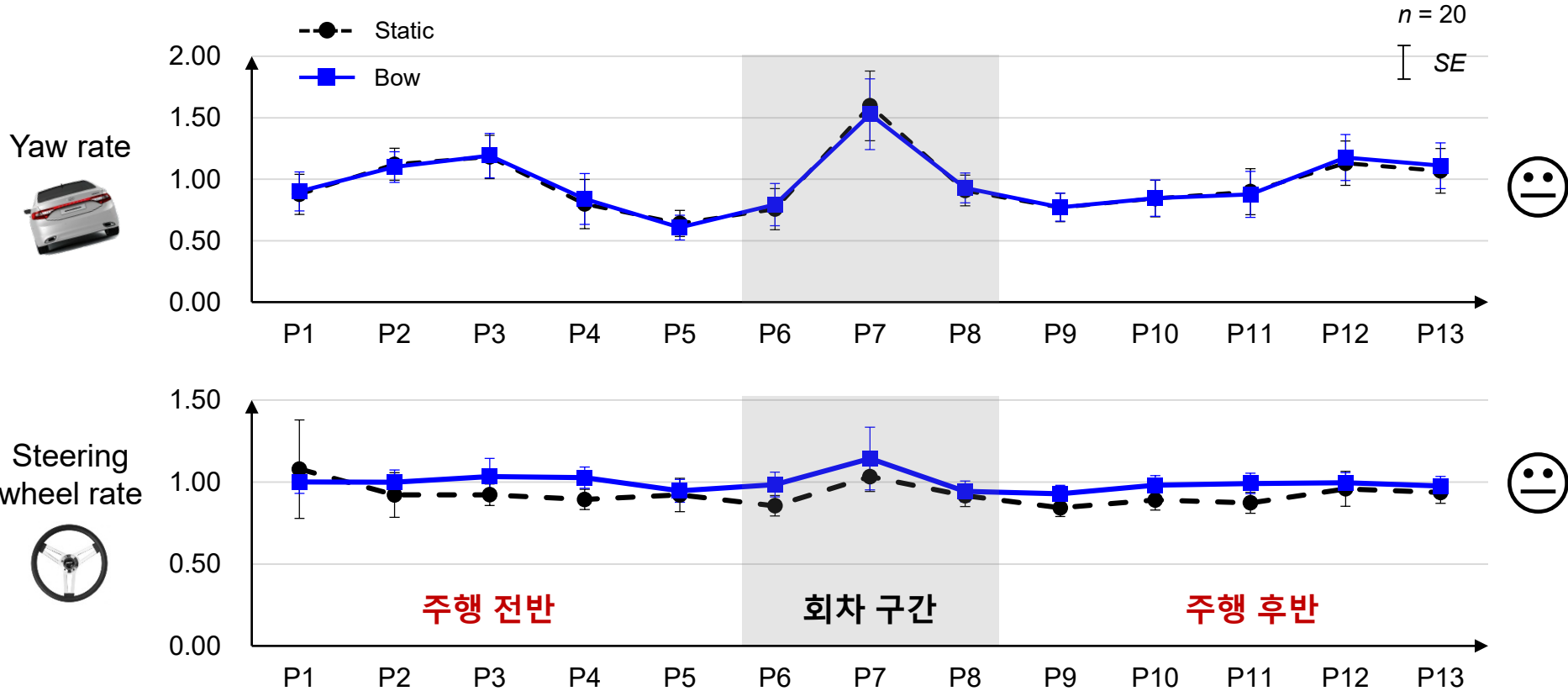
주행 구간별 Longitudinal Position Control

□ 주행 후반에서 **Static**과 **Bow**는 속도 편차(8.2%)와 가속도 편차(-0.7%) 유사함



주행 구간별 Lateral Position Control

- 주행 후반에서 **Static**과 **Bow**는 **Yaw rate (1.6%)**와 **Steering wheel rate (8.3%)**가 유사함

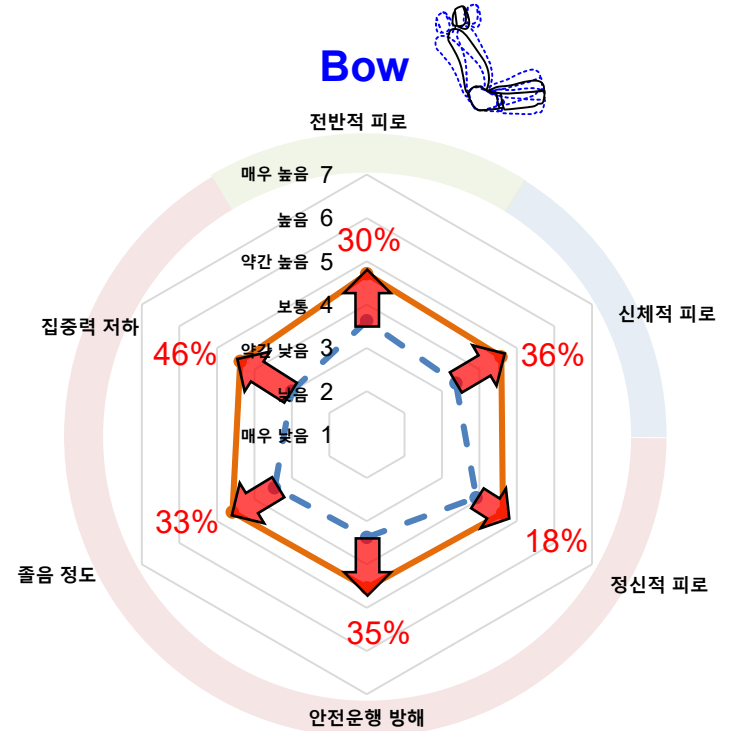
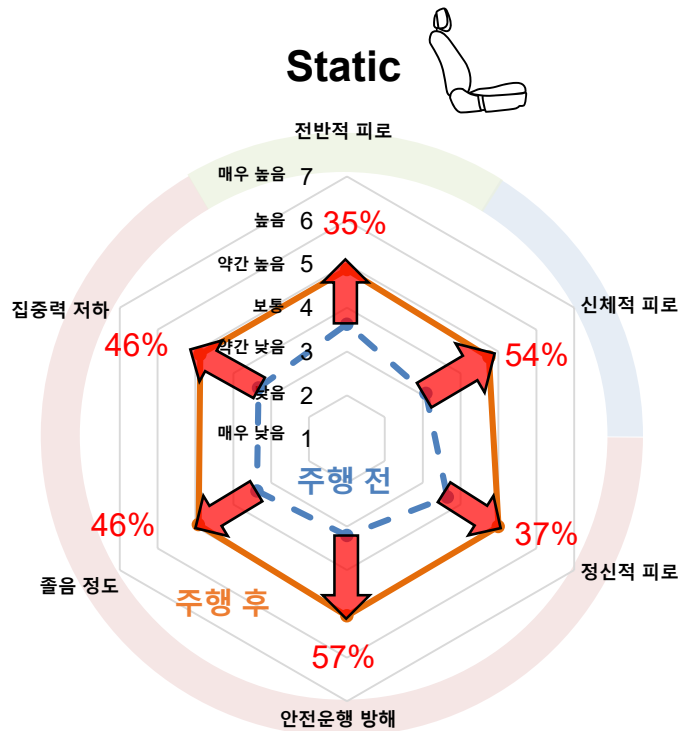


주관적 피로도: 주행 전 vs. 주행 후

□ 모든 seat에서 주행 후 전반적, 신체적, 정신적 피로도 ↑ ($p < 0.05$)

□ 피로도 증가량: **Static** (45.8% 😞) > **Bow** (33.0% 😊)

⇒ **Static** 대비 **Bow**는 주행 전후 피로도 증가량이 작아 주관적인 피로도 ↓

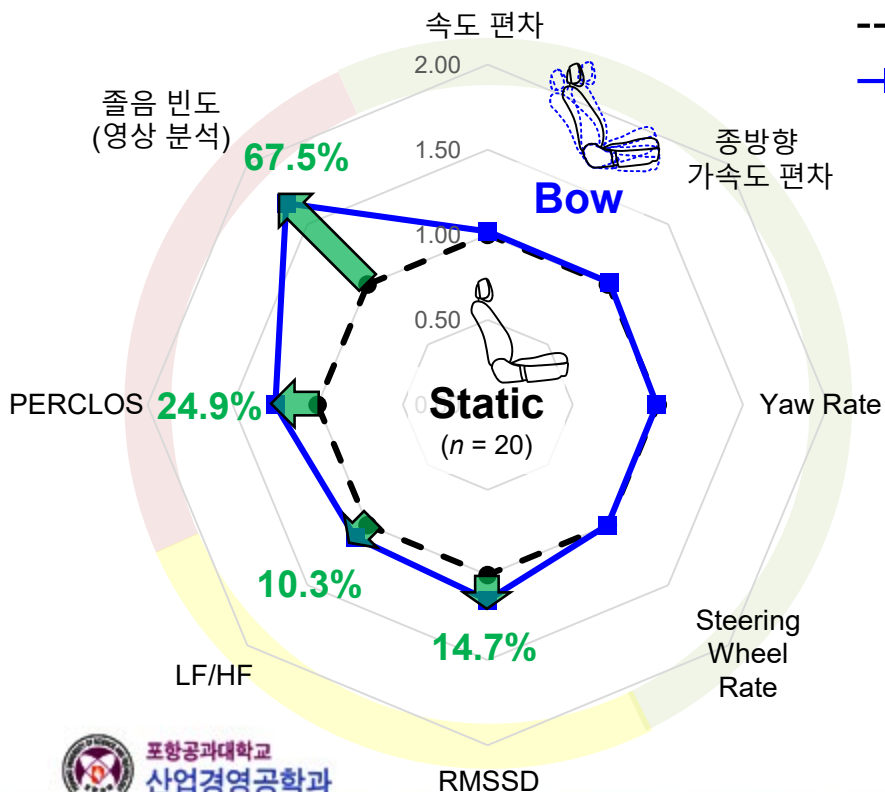


Passive TR Fatigue 평가 종합

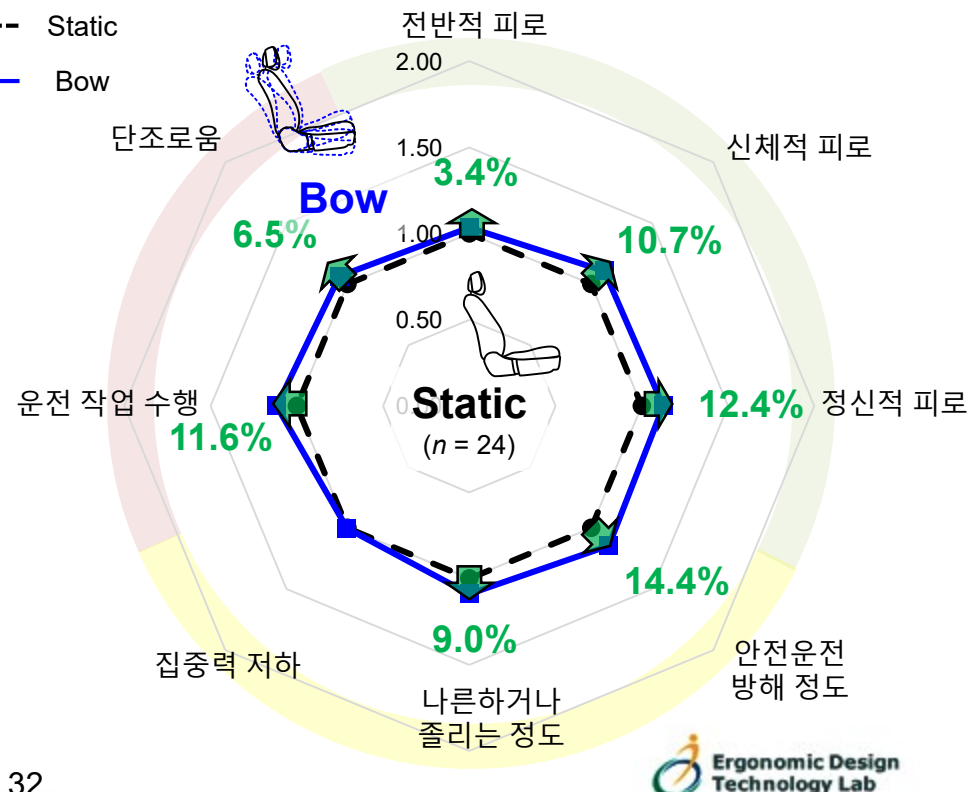
□ Static 대비 Bow의 Passive TR Fatigue 저감 효과 향상

- ✓ 객관적 척도: 약 15.0% ↑ (주행 능력 < 1.0%, 생체 신호: 16.6%, 졸음 빈도: 67.5%)
- ✓ 주관적 척도: 약 8.5% ↑

객관적 피로도 척도



주관적 피로도 척도

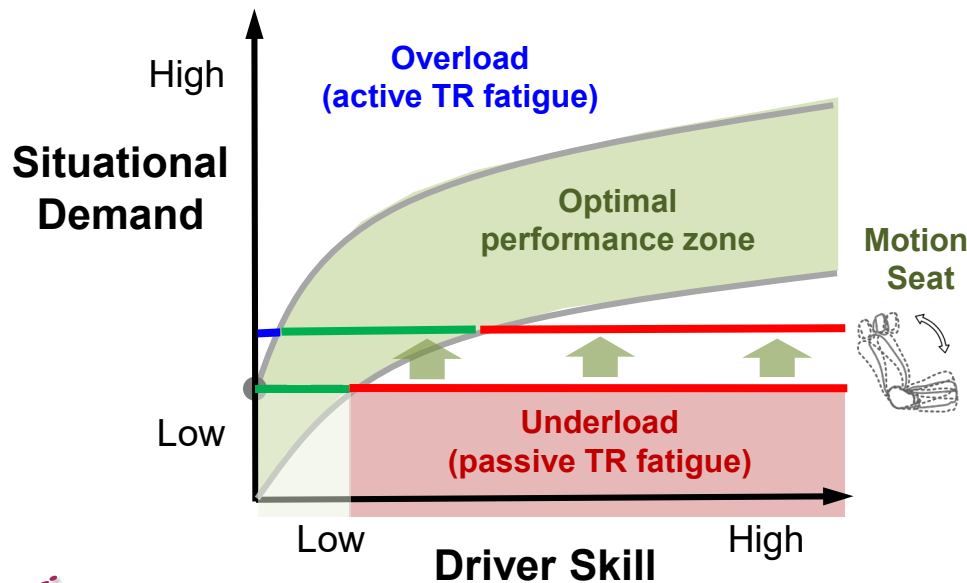


Motion Seat on Passive TR Fatigue Reduction

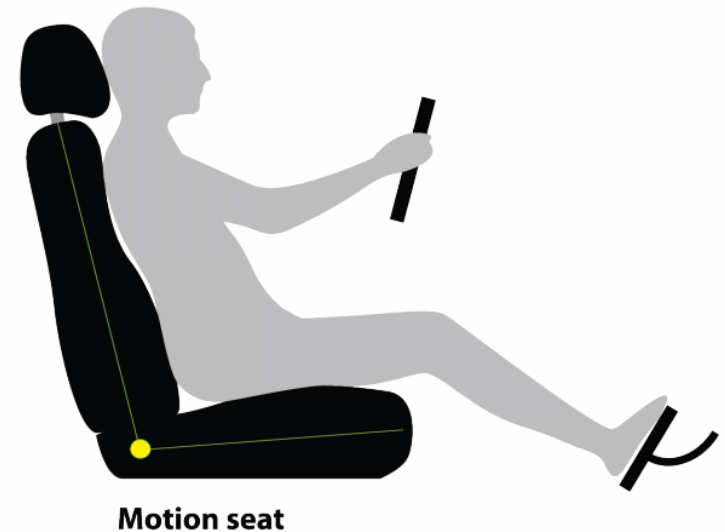
- Hypothetical mechanism of motion seat effects on passive TR fatigue reduction
 - ✓ The level of workload = f {situational demand, driver skill}
 - ✓ **Motion seat activation** \Rightarrow posture change \Rightarrow body joint angle change \Rightarrow proprioceptor activation \Rightarrow parietal lobe activation \Rightarrow situational demand \uparrow \Rightarrow **passive TR fatigue** \downarrow

Situational Demand vs. Driver Skill

(Oron-Gilad et al., 2008)

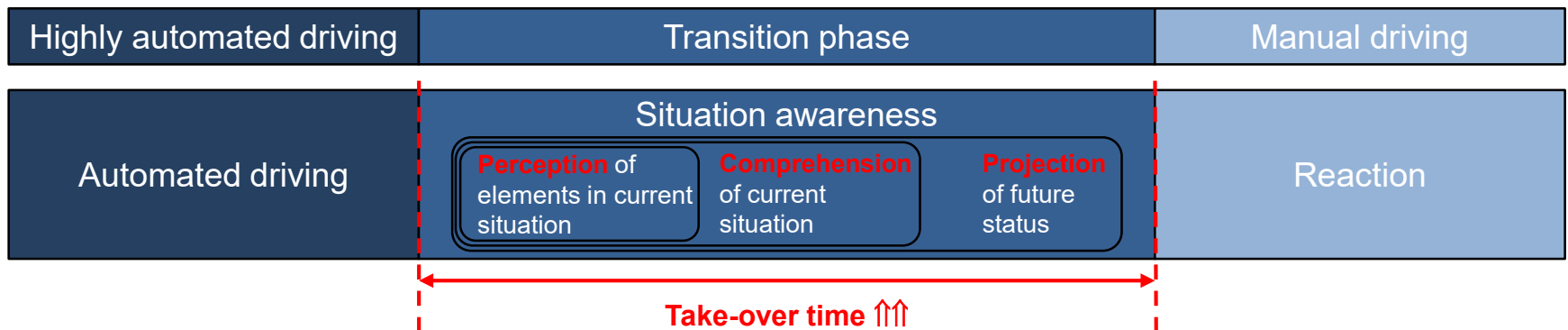


Hypothetical Mechanism of Motion Seat Effects



Motion Seat in Autonomous Driving

- ❑ **Motion seat system**은 부분 자율 주행 상황에서 운전자의 alertness level을 유지시켜 **교통 사고 발생 위험을 줄이는데 기여**할 수 있음



Take-over request

Take-over



Driving alertness ↓
Brake reaction time ↑

Accident

Monotony ↑

Passive TR fatigue ↑

Future Research

- ❑ **Driving experience, age, fatigue propensity**와 같은 요인이 **motion seat system의 passive TR fatigue 저감 효과**에 미치는 효과 분석
 - ✓ 운전자의 cognitive workload는 운전 경력(novice vs. experienced), 성별, 연령에 따라 변화될 수 있음
 - ✓ Passive TR fatigue의 정도는 개인별 fatigue propensity에 따라 변화될 수 있음이 driver stress inventory, driving coping questionnaire 등을 사용하여 확인됨





Q & A

*Thank you
for your attention!*



2. Motion Seat vs. Massage Seat 비교

구분	시트 모션 	마사지 
주요 개념	단조로운 운전 상황에서 정신적 피로로 인한 각성도와 주의력 감소를 저감시키는 기능	장시간 운전 상황에서 신체적 피로로 인한 근육 피로를 해소하는 기능
작동 원리	Seat의 recline, tilt, inflation 등을 미세하게 움직여 주어 운전자를 각성시켜 주고 주의력을 향상	Seat에 장착된 air chamber, vibrator 등을 사용하여 신체 국소 부위(e.g., neck, lumbar)를 자극
적용 상황	장시간 단조로운 주행으로 정신적 피로(각성 및 주의력 저감) 발생 시 사용 (e.g., 고속도로, 부분 자율 주행)	장시간 주행 등으로 신체적 피로 발생 시 사용
목적	운전자의 저감된 각성 및 주의력 증진	운전자의 신체적 피로 감소 및 안락감 향상
효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정신적 피로 저감 > 신체적 피로 저감 ▪ 운전자의 주행 능력 감소 완화 및 회복 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정신적 피로 저감 < 신체적 피로 저감 ▪ 운전자의 주행 능력 감소 완화 및 회복
눈 위치 보정	Seat의 움직임으로 인한 눈 위치 움직임을 상쇄하기 위해 눈 위치 보정 기능 적용	Seat의 움직임은 없기 때문에 불필요