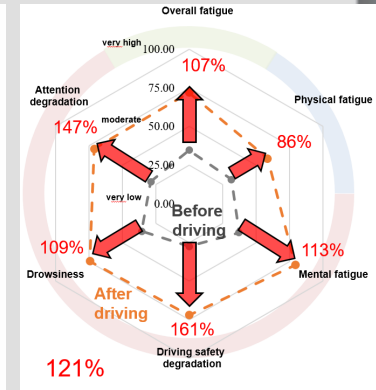
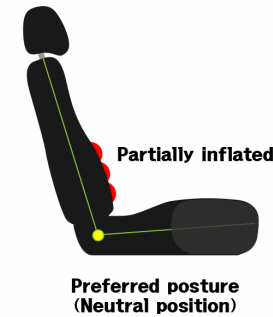
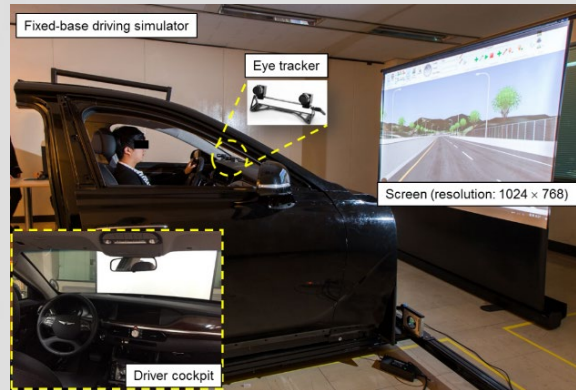


모션 시트 시스템의 피로 저감 효과 평가 프로토콜 개발



이승훈¹, 김민재¹, 최선우², 김영식², 유희천¹

POSTECH
POHANG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

HYUNDAI | NEW THINKING,
NEW POSSIBILITIES.

¹ 포항공과대학교, 산업경영공학과

² 현대자동차 차체의장개발팀

목 차

□ 서 론

- 연구 배경
- 연구 목적

□ 평가 Protocol 개발

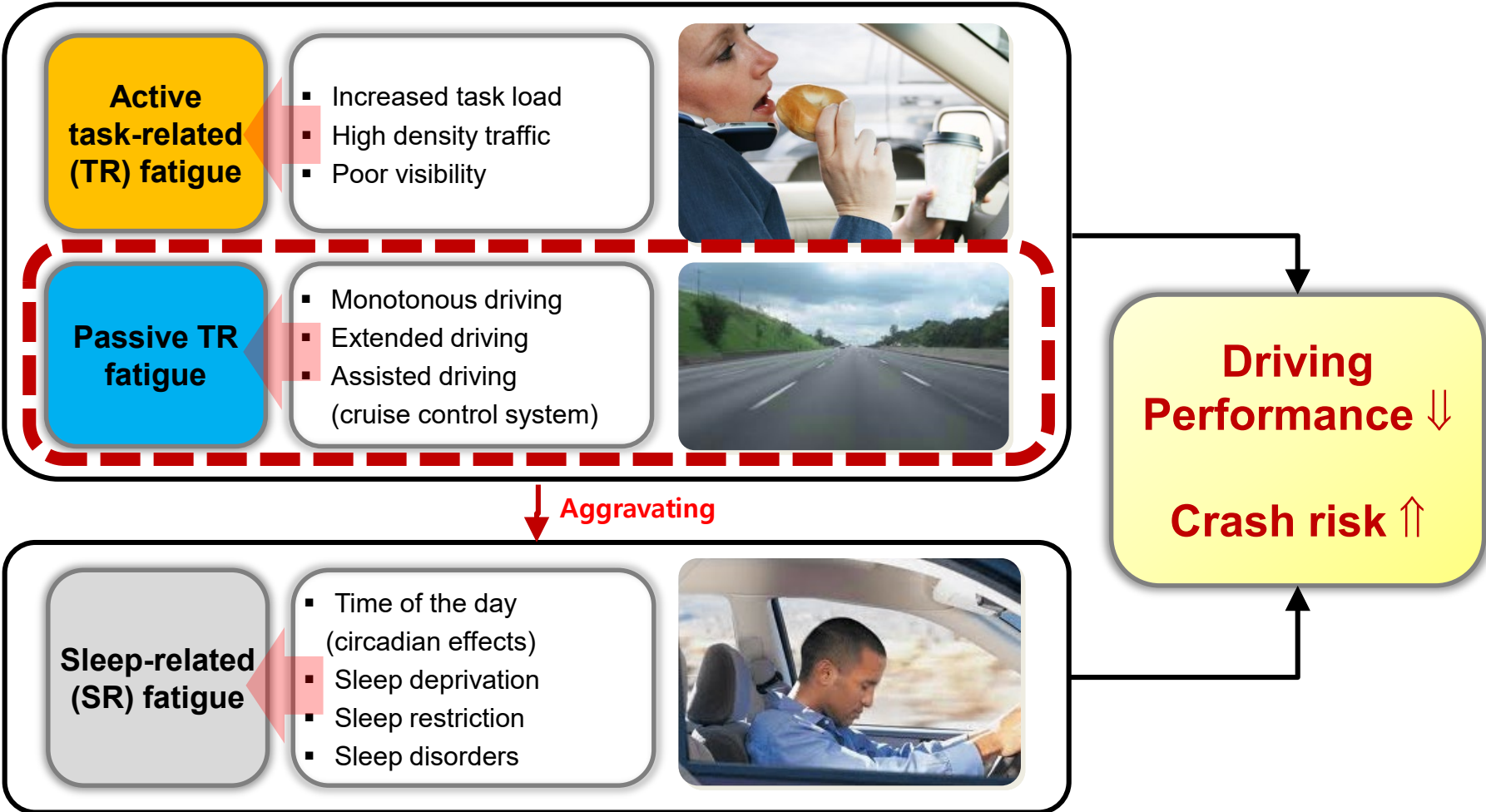
- Driving Simulator & 측정 시스템
- 평가 실험 Protocol

□ 결 과

- Driving Performance
- Physiological Measures
- Subjective Fatigue

□ 토 의

Driving Fatigue 유형



출처: 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 예방의 중요성

- Passive TR fatigue 발생 상황: 단조로운 운전상황, 복잡하지 않은 고속도로 운전상황
- 장시간 단조로운 운전에 의해 passive TR fatigue가 심해질 경우, 졸음 운전 유발
(May and Baldwin, 2009) ⇒ 주행 능력 ↓, 사고 발생률 ↑

Monotonous driving

Passive TR fatigue

Accident



Brain deactivation
Drowsy driving

Inactive eye-blink pattern

Driving alertness ↓
Brake reaction time ↑

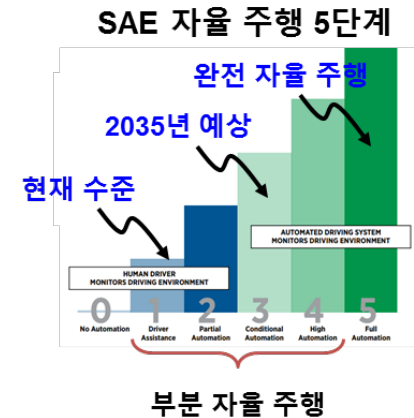
Effects of Autonomous Driving on Passive TR Fatigue

□ 기존 연구는 **부분 자율 주행에 의한 운전자의 passive TR fatigue ↑** 보고

✓ **객관적 평가 척도**

- 생리학적 평가: 동공 지름 ↑, 눈 깜빡임 빈도 ↑, 눈 깜빡임 속도 ↑
- 주행 능력 평가: SD of lane position (≈ 차선 위치의 변동) ↑, 반응 시간 ↑

✓ **주관적 피로도 ↑**



Standard deviation of lateral position (**SDLP**)

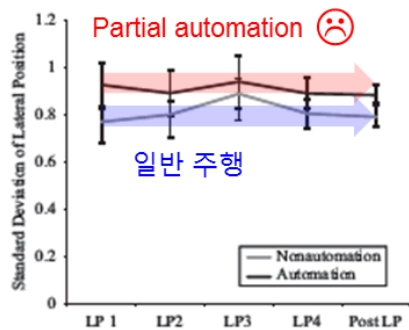


Figure 4. Standard deviation of five lateral positions (LPs) for both experimental groups. Error bars are standard errors.

Reaction time

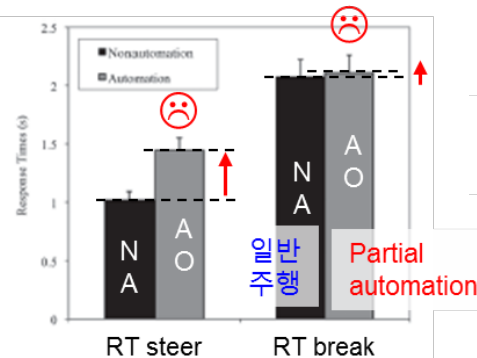
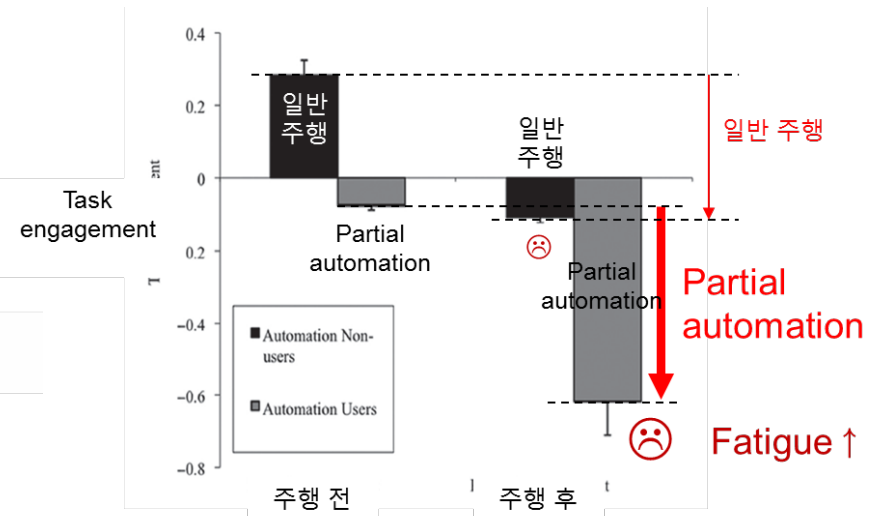


Figure 5. Response times (RTs) for steering and braking in the automation optional and nonautomation conditions. Error bars are standard errors.



기존 안전 주행 시스템 유형 및 한계

- ❑ **충돌 방지 시스템**: Radar, LIDAR, GPS 등을 활용하여 주행 보조 및 충돌 방지
⇒ **한정된 상황에서 보조 역할**을 하며 **운전자의 피로를 예방할 수 없음**
- ❑ **운전자 피로 감지 시스템**: 운전자의 생리학적 신호(e.g., 동공 반응, 심박)와 주행 패턴(e.g., 속도 변화, 차선 이탈)에 기반 피로 감지
⇒ **피로 발생 후 경고**하는 시스템으로 **운전자의 피로를 예방할 수 없음**

충돌 방지 시스템



운전자 피로 감지 시스템



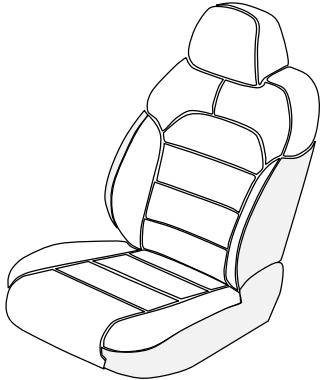
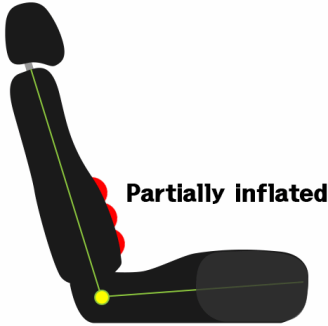
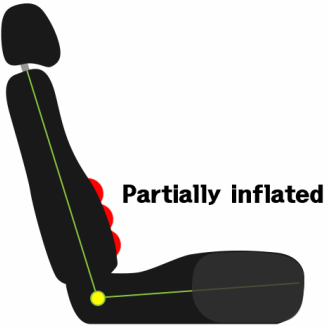
Objectives of the Study

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

- 1) ~~Motion seat system~~ 개발
- 2) 운전자의 passive TR fatigue 평가를 위한 **주행 실험 protocol** 구축
- 3) Motion seat system의 **피로 저감 효과**에 대한 모의 주행 평가
- 4) Motion seat system의 **주행 피로 저감 효과** 분석

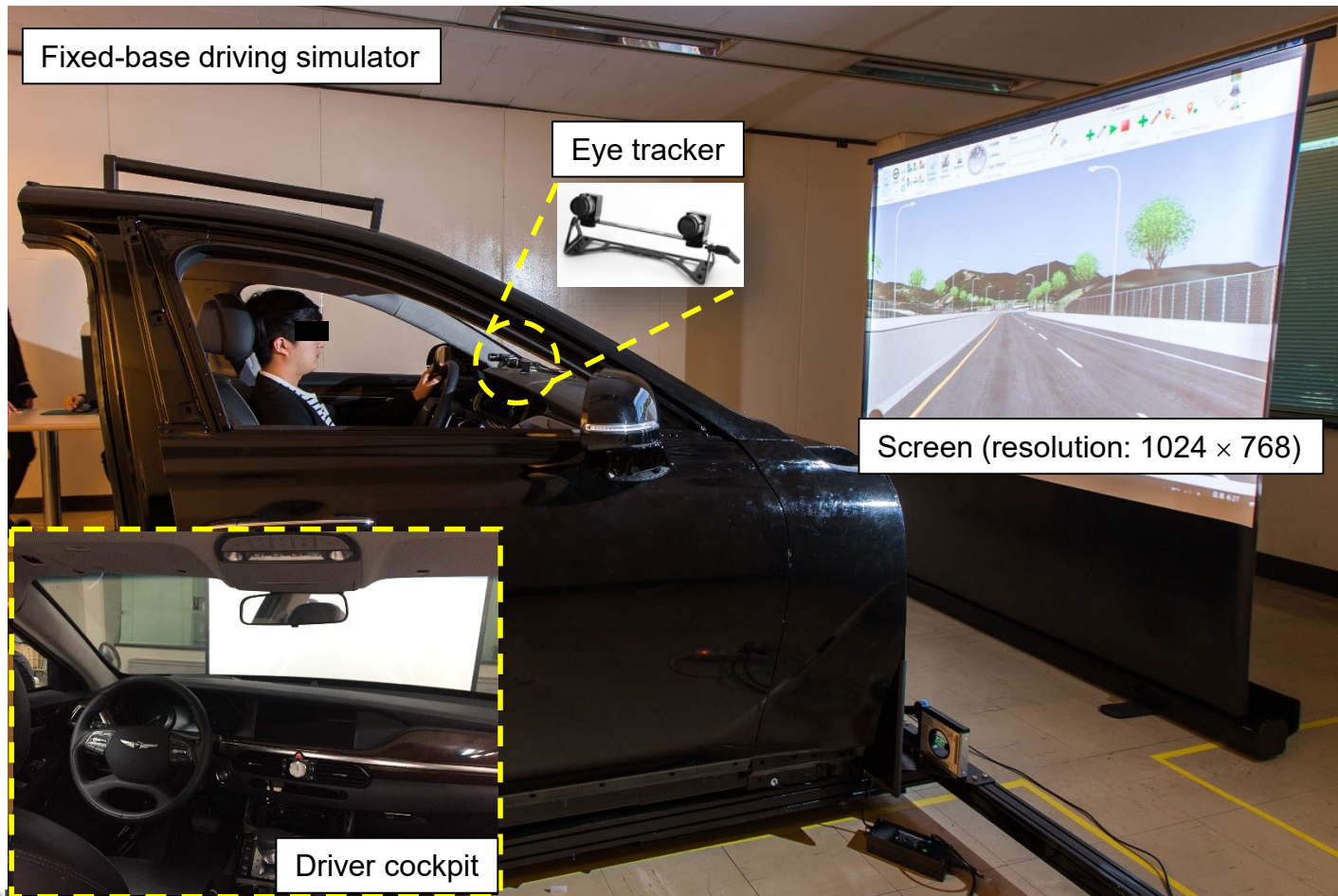
Motion Seat System: Motion Profile

- Two types of motion profile (Bow and Wave) were developed by combining the seatback angle, cushion angle, cushion extension and lumbar support movement

	Static seat (Control)	Motion seat	
		Bow motion profile	Wave motion profile
			
Seatback angle	Fixed	$\pm 00^\circ$	
Cushion angle		$\pm 00^\circ$	
Cushion extension		$\pm 00 \text{ mm}$	
Lumbar support		00 mm of air cell inflation/deflation	

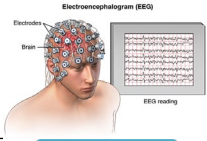





Apparatus: Fixed-Base Driving Simulator

- ❑ Reconfigurable seating buck: EQ 900(Hyundai-Kia Motors) 차량 부품을 사용하고, ECU와 UC-win/Road ver. 10 (Forum 8, Japan) 연동된 seating buck 제작



Passive TR Fatigue 평가 척도

□ Pilot 실험($n = 6$)에서 passive TR fatigue에 의해 민감하게 변화하는 척도 선별

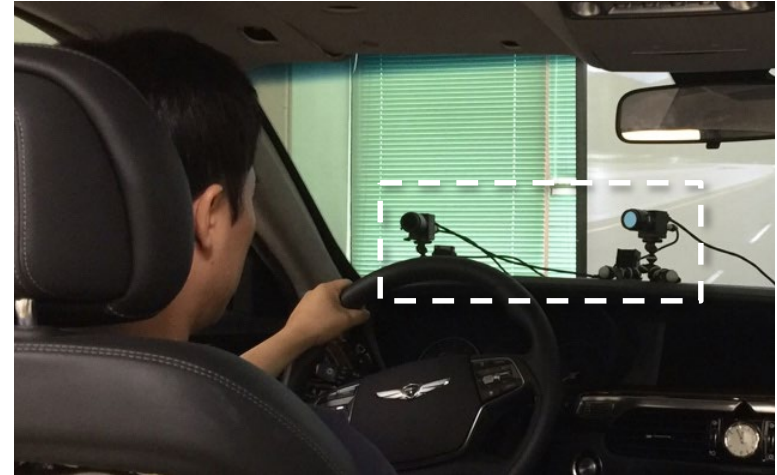
Passive TR Fatigue Assessment Tools		Measures	Tendency	Reference
Physiological Indicators	 EEG	α band β band δ band θ band	\uparrow - - \uparrow	Michail et al., 2008; Eoh et al., 2005; Jap et al., 2011; Yvonne et al., 2010; Cao et al., 2010; Zhao et al., 2011
	 ECG	Heart rate (HR) NN interval (IBI) SDNN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

Apparatus: HRV & Eye Tracker

HRV 센서 부착 예



Eye Tracking 예



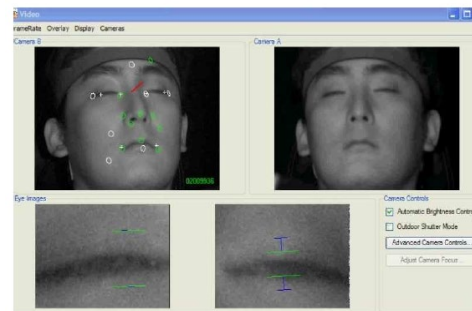
HRV 측정 장비

Noraxon Telemetry DTS (Noraxon Inc., USA)



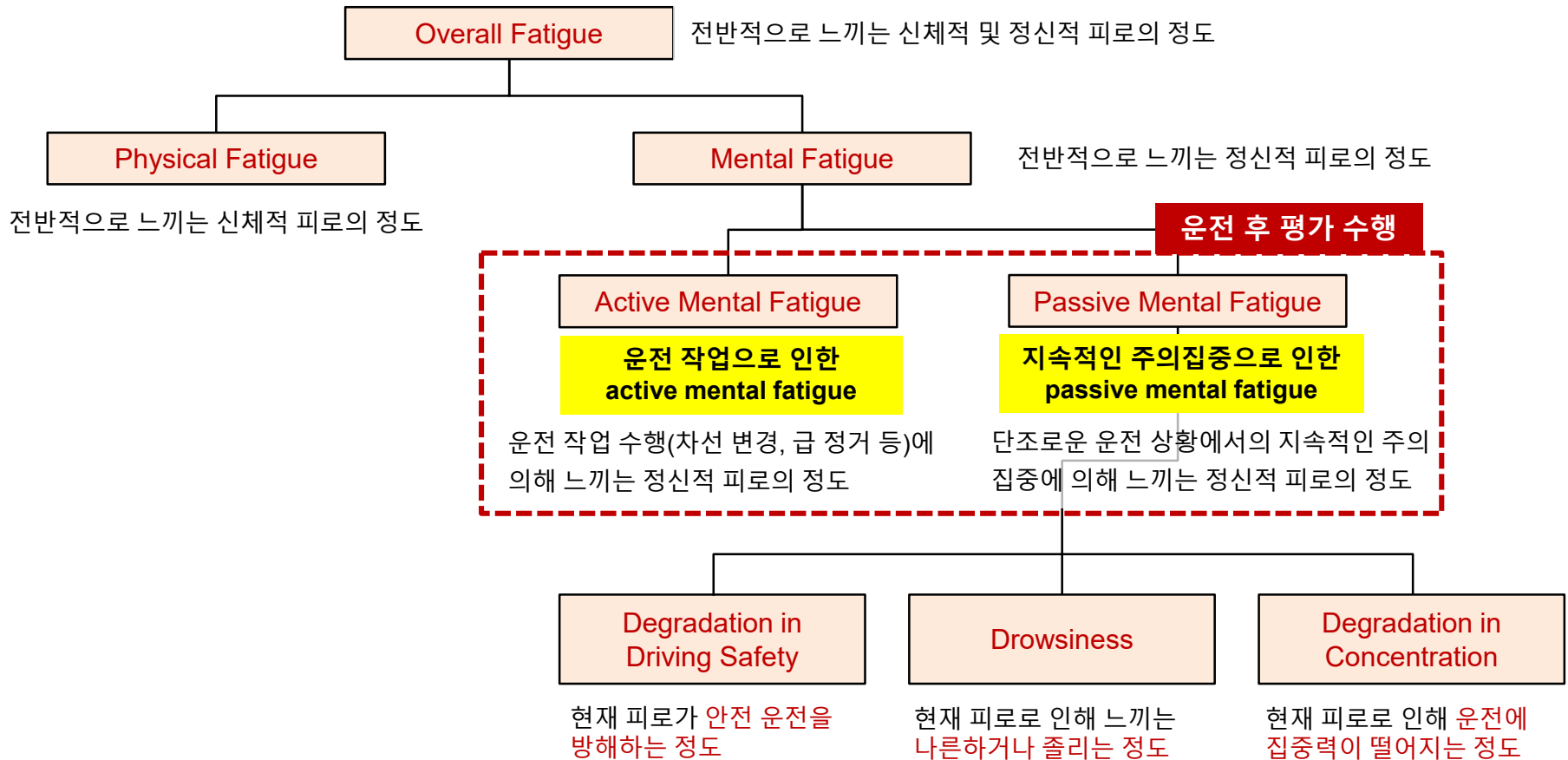
Eye Tracking 장비

faceLAB (EKSTREM Machine, Turkey)



Apparatus: 주관적 피로도(VAS)

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

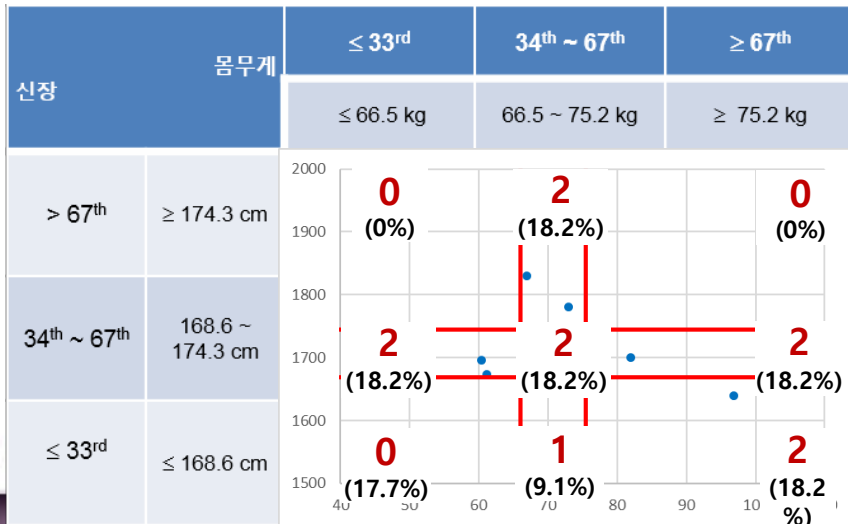


실험 참여자

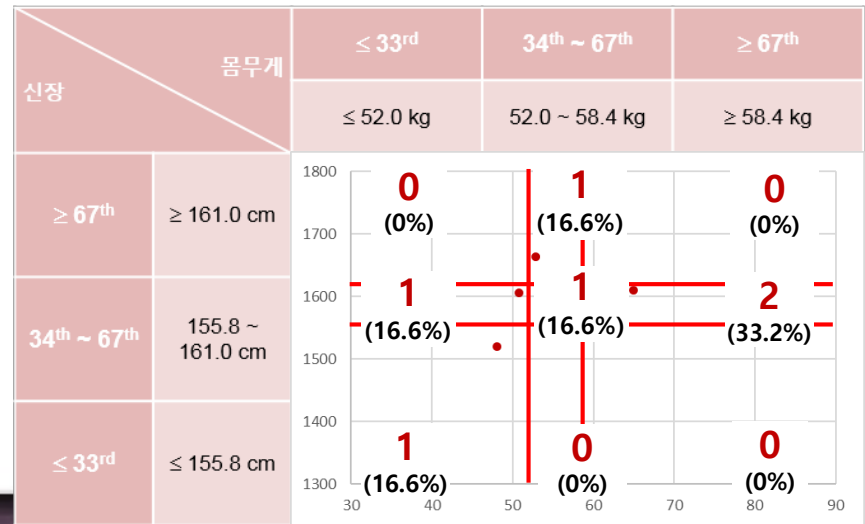
- $n = 17$ 명(남성: 11명, 여성: 6명), 20~50대 운전 경력 2년 이상 남녀
- 실험 참여자의 신장, 체중은 Size Korea (2010) 한국인 인체 크기, 체중과 유사

Dimension	Gender	Group	n	Mean	SD	Mean Comparison	SD Comparison
Stature (cm)	M	Size Korea	2471	171.4	6.1	$t(2480) = 0.21$ $p = 0.83$	$f(2470, 10) = 0.83$, $p = 0.28$
		Motion Seat	11	171.0	5.6		
	F	Size Korea	2025	158.4	5.6	$t(2480) = 0.73$ $p = 0.49$	$f(2470, 5) = 0.71$, $p = 0.22$
		Motion Seat	6	159.8	4.7		
Weight (kg)	M	Size Korea	2471	71.6	10.3	$t(2482) = -0.55$ $p = 0.60$	$f(2470, 10) = 1.04$, $p = 0.47$
		Motion Seat	11	73.3	10.5		
	F	Size Korea	2025	55.9	7.6	$t(2480) = -0.26$ $p = 0.81$	$f(2470, 5) = 0.71$, $p = 0.21$
		Motion Seat	6	55.2	6.4		

Male ($n = 11$)

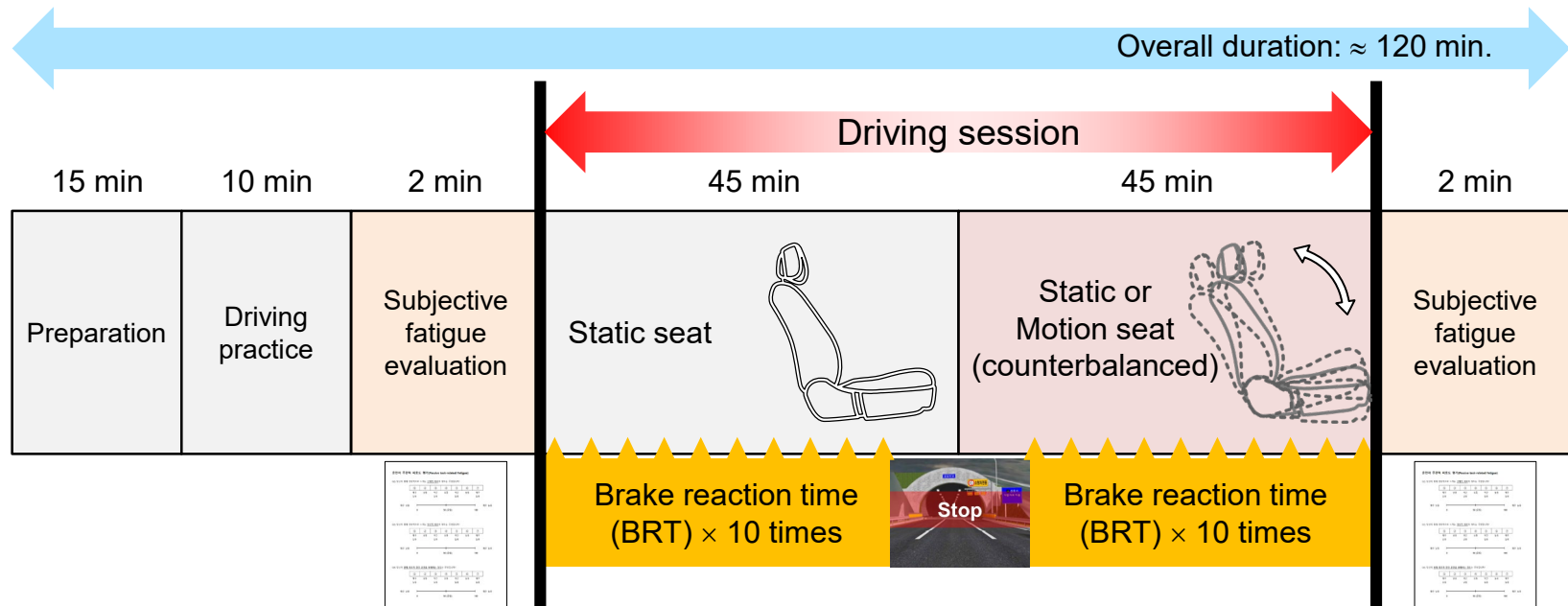


Female ($n = 6$)



Experimental Procedure

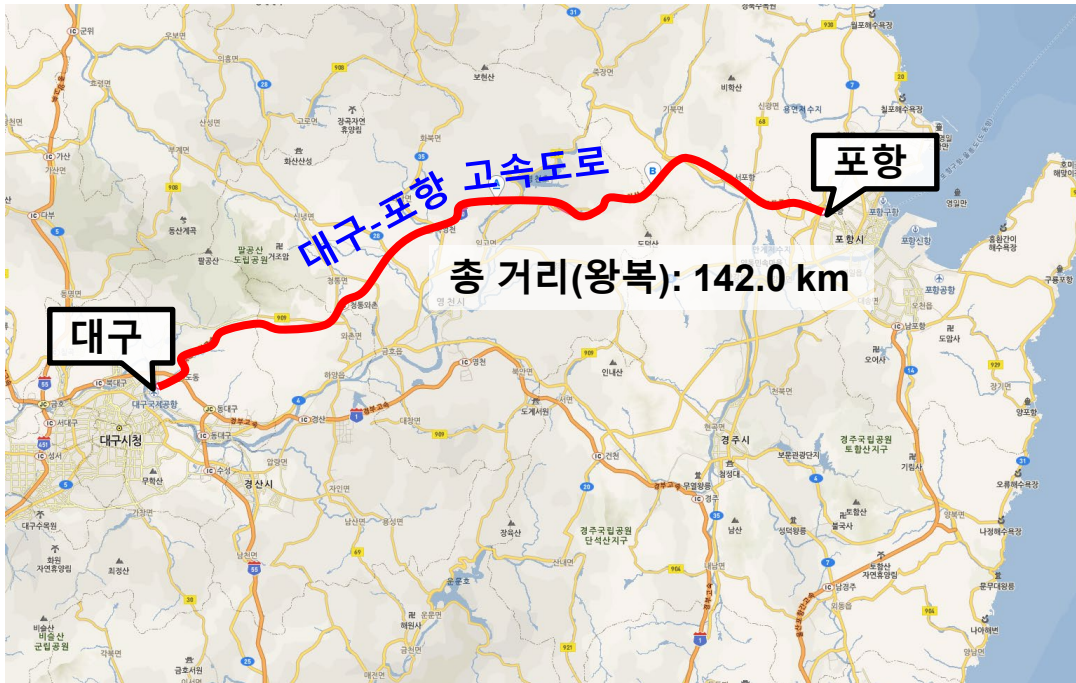
- 주행 실험 전: 센서 부착, 주행 연습, 주관적 피로도 평가
- 주행 중: driving performance, eyelid closure, ECG 측정
- 주행 실험 후: 주관적 피로도 평가



주행 환경

□ 교통량이 적은 단조로운 고속도로 주행 환경을 driving simulation S/W UC-win/Road ver. 10 (Forum8, Japan)로 구현하여 제공

- ✓ 도로 상황: 주변 차량이 없는 단조로운 주행
- ✓ 속도: 90 ~ 100 km/h 유지



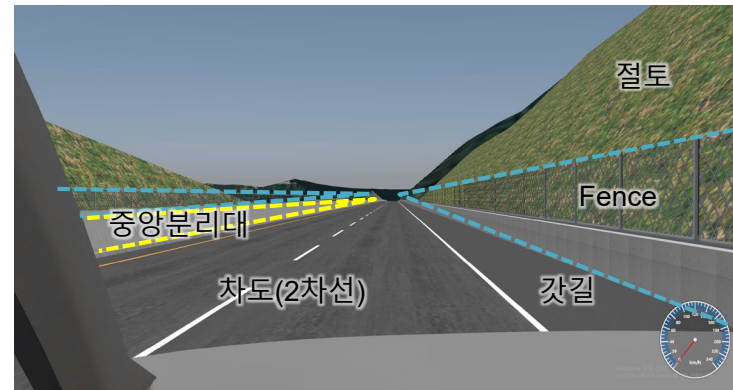
주행 평가 Scenario: 도로 환경 구성

- Daum 지도 로드뷰와 비교하여 실제 고속도로 환경과 유사하게 제작

Daum 지도 로드뷰

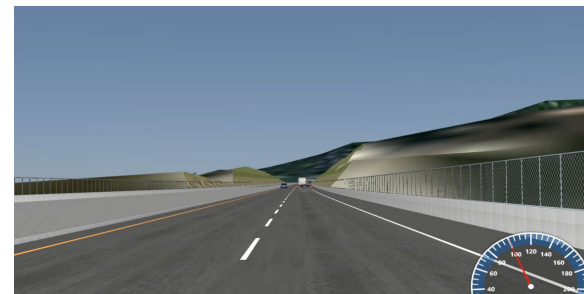


UC Win Road

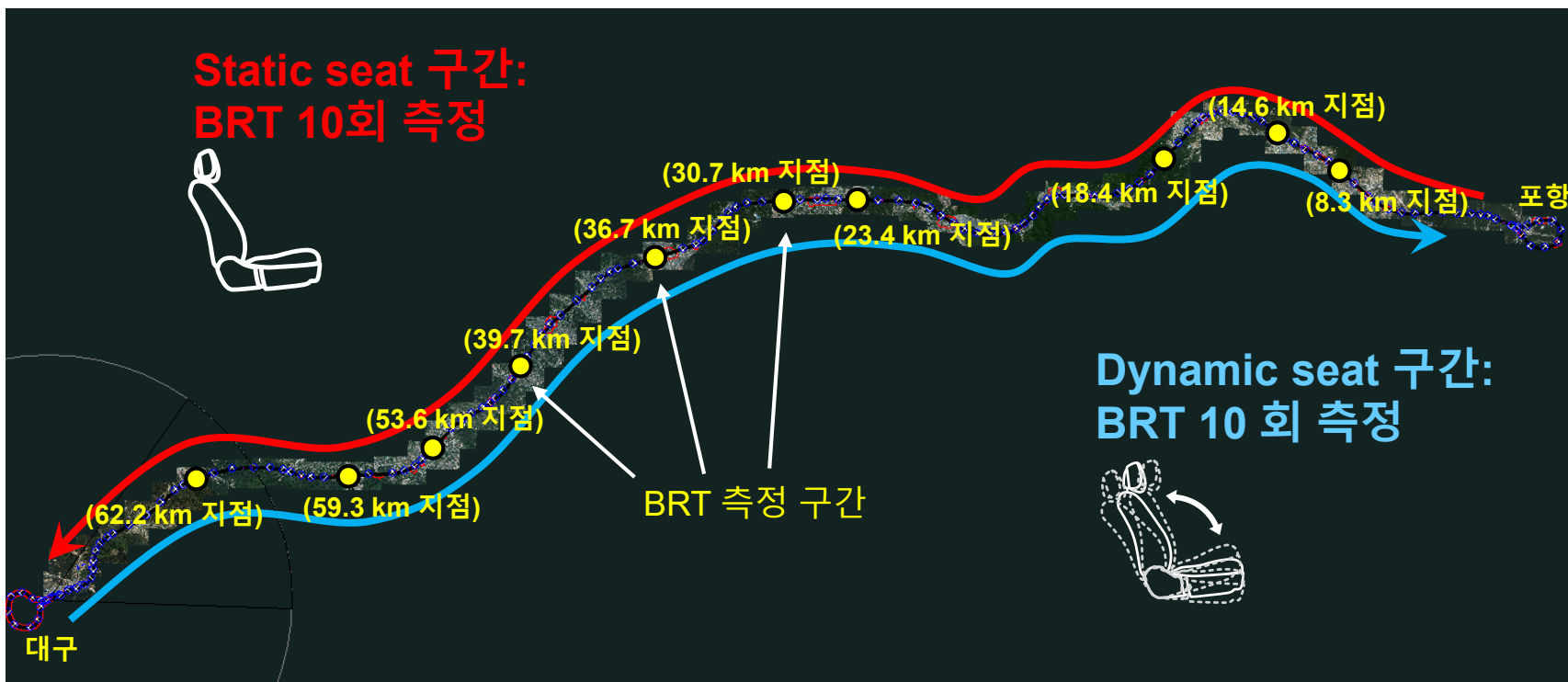


Brake Reaction Time (BRT) 측정 구간

- 대구 포항 고속도로 중 직선 구간에서 BRT 20회 측정
 - ✓ Static seat 구간(포항→대구): BRT 10회
 - ✓ Dynamic seat 구간(대구→포항): BRT 10회



BRT 측정 예시



SD of Lateral Position (SDLP)

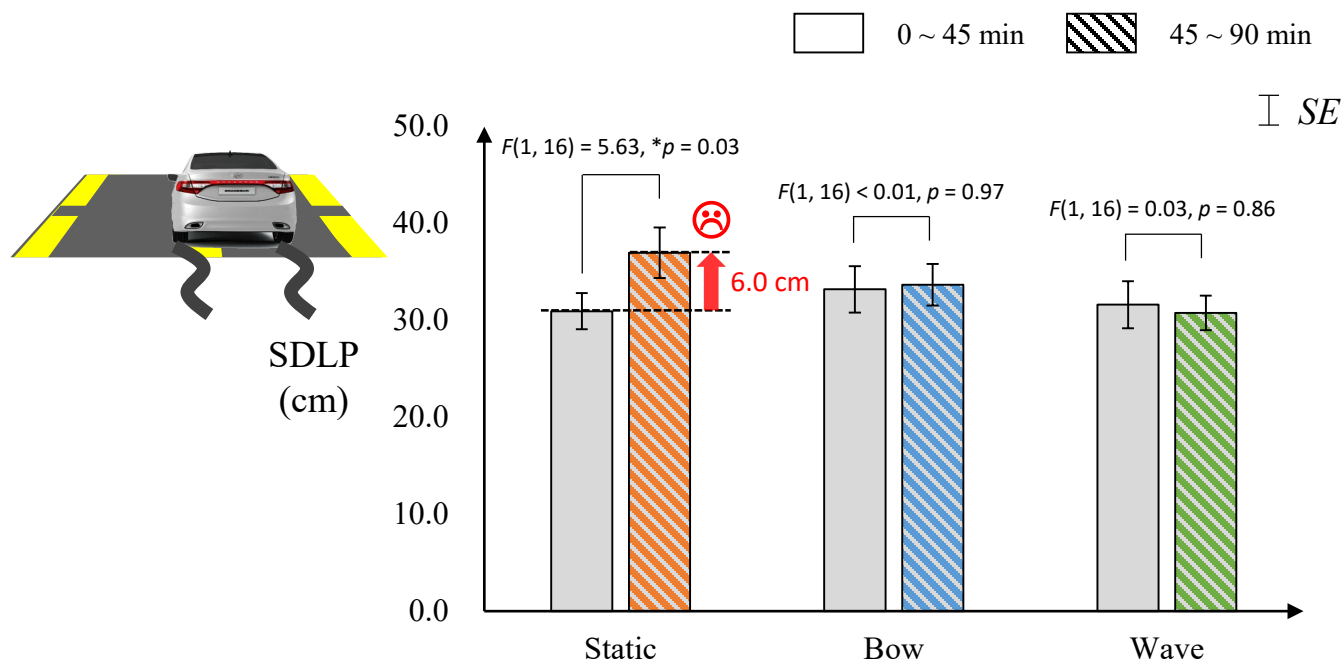
□ 주행 전반에서 seat motion에 상관없이 SDLP 유사($F[2, 32] = 0.51, p = 0.61$)

□ **Static**은 주행 전반 대비 **후반의 SDLP가 19.5% 증가**

✓ 주행 전반: 31.0 ± 1.9 cm

✓ 주행 후반: 37.0 ± 2.6 cm

⇒ **Bow와 wave**는 static에 비해 **주행 후반 SDLP가 감소**되어 **운전자 차선 유지 능력 지속**



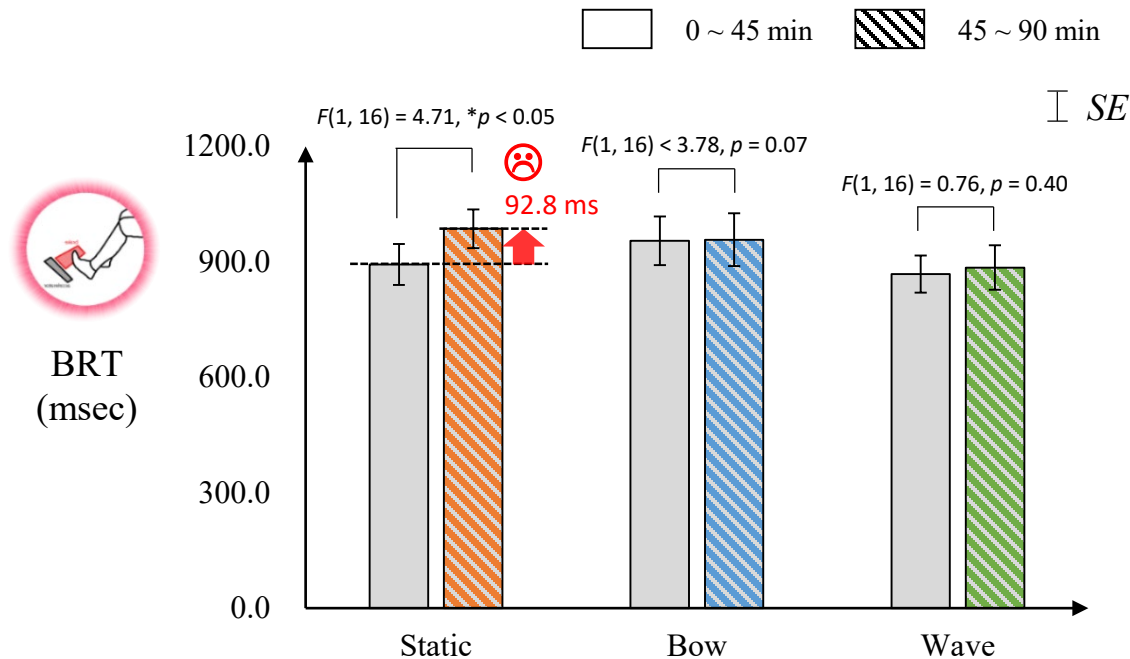
Brake Reaction Time (BRT)

□ 주행 전반에서 seat motion에 상관없이 BRT 유사 ($F[2, 32] = 2.33, p = 0.11$)

□ **Static**은 주행 전반 대비 **후반의 BRT**

- ✓ 주행 전반: 893.6 ± 53.4 msec
 - ✓ 주행 후반: 986.3 ± 50.5 msec
- } 10.4% ↑

⇒ **Bow와 wave**는 static에 비해 **주행 후반 BRT가 감소되어 주행 중 brake 반응 능력 유지**



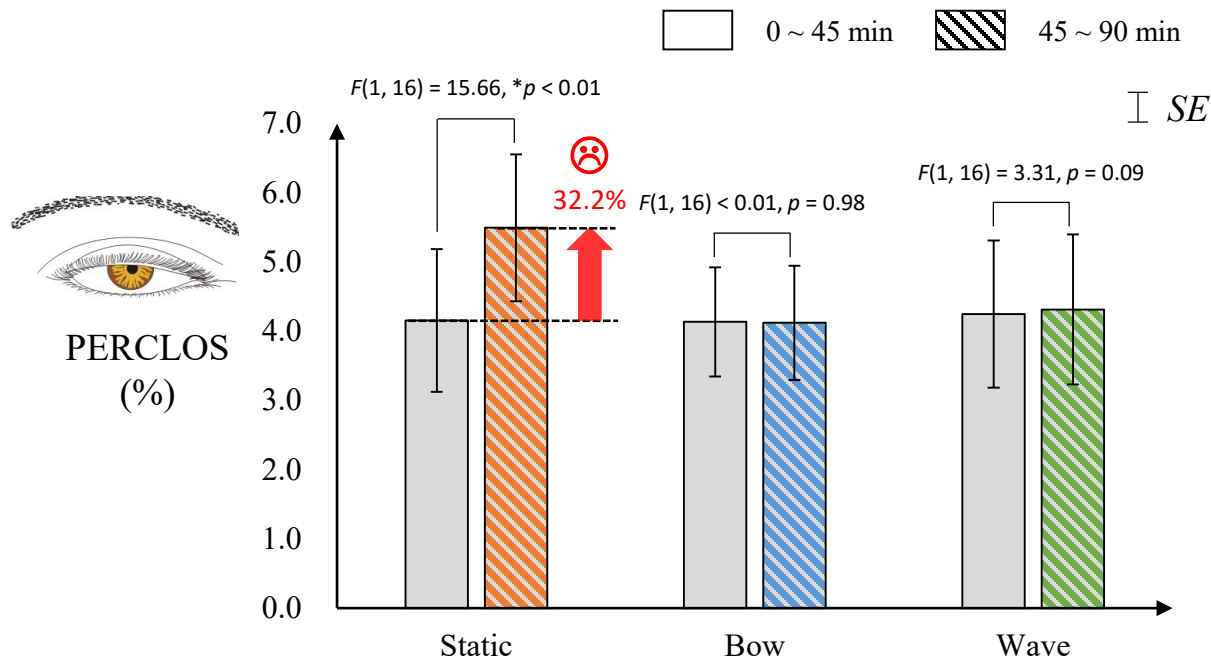
Percentage of Eye Closure (PERCLOS)

□ 주행 전반에서 seat motion에 상관없이 PERCLOS 유사 ($F[2, 32] = 0.16, p = 0.85$)

□ **Static**은 주행 전반 대비 **후반의 PERCLOS**

- ✓ 주행 전반: $4.2\% \pm 1.0\%$
 - ✓ 주행 후반: $5.5\% \pm 1.1\%$
- } 32.2% ↑

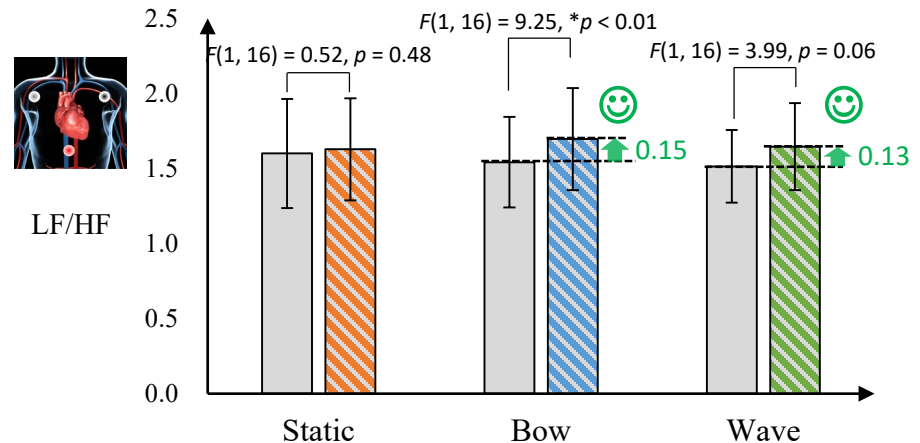
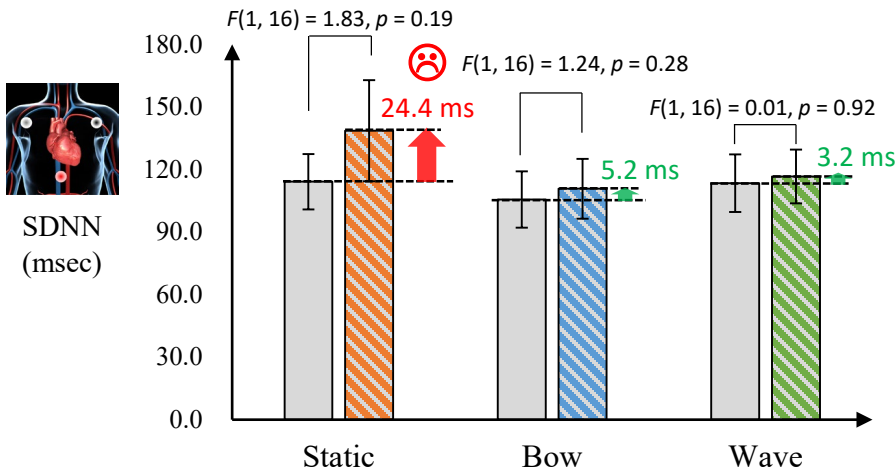
⇒ **Bow와 wave**는 static에 비해 **운전자의 눈이 감긴 구간 비율이 감소**되어 **운전자의 피로 ↓**



Electrocardiography (ECG): SDNN & LF/HF

- 주행 전반에서 seat motion에 상관없이 SDNN과 LF/HF 유사($p > 0.05$)
 - **Static**은 주행 전반 대비 **후반의 SDNN이 21.4% ↑**
 - 주행 후반의 **LF/HF가** 전반 대비 **Bow에서 10.0%, Wave에서 8.7% ↑**
- ⇒ **Bow와 wave**는 static에 비해 **주행 후반** (1) **심장박동의 변이가 감소**하고 (2) **교감신경계 작용이 증가**하므로 **운전자의 alertness ↑**

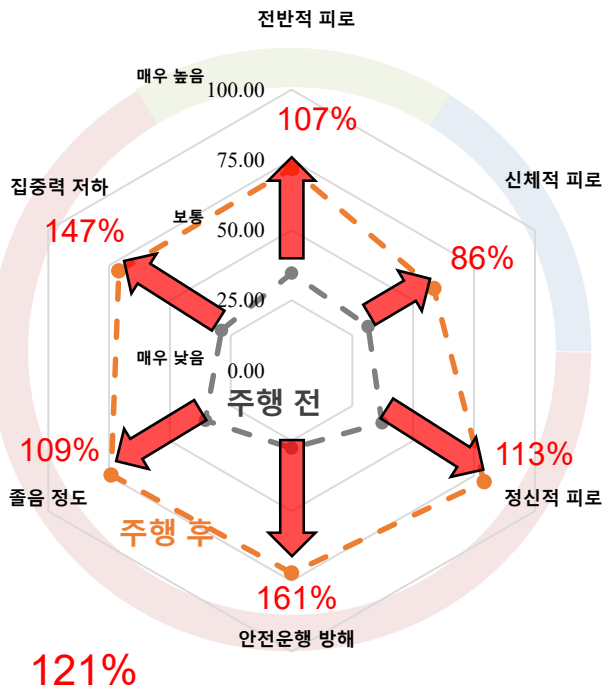
□ 0 ~ 45 min ▨ 45 ~ 90 min
 ⊥ SE



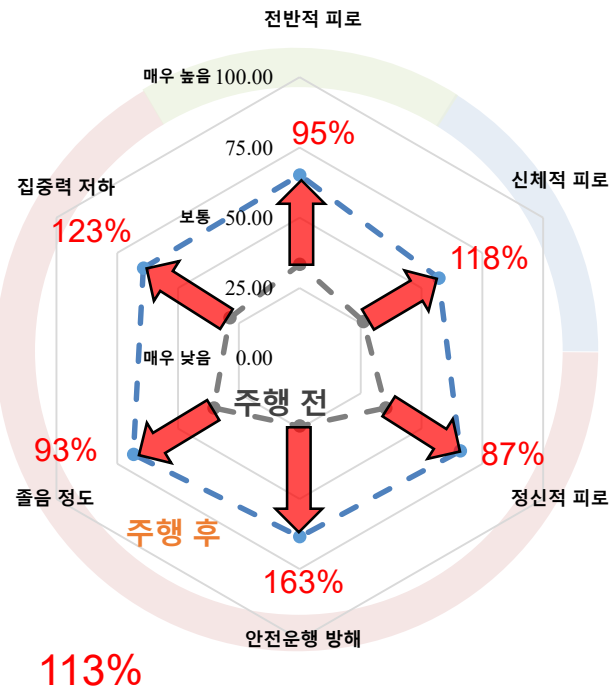
Visual Analog Scale (VAS)

- 모든 seat에서 주행 후 전반적, 신체적, 정신적 피로도 증가($p < 0.05$)
- 피로도 증가량: **Static** (121% 😞) > **Bow** (113% 😊) > **Wave** (95% 😄)
- ⇒ **Bow와 wave는 static에 비해 주행 전후 VAS 증가량이 작아**되어 주관적인 피로도 감소

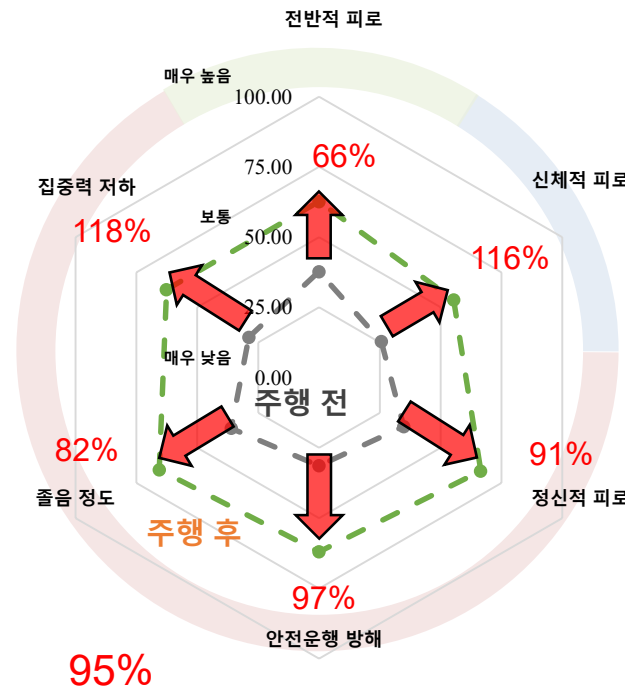
Static



Bow



Wave



Active vs. Passive TR Fatigue: VAS

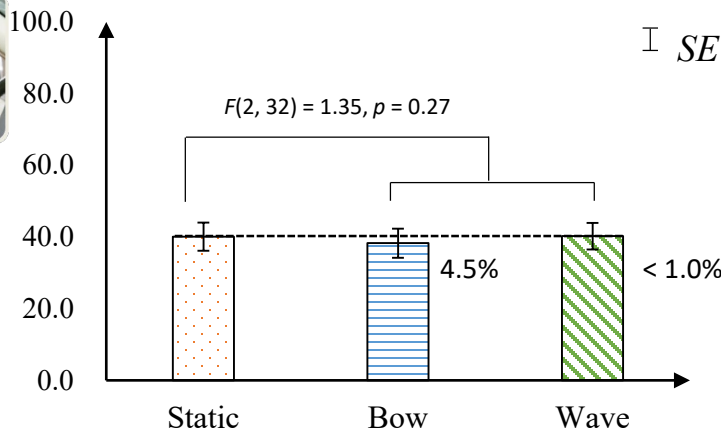
□ Active TR fatigue: **Static** (40.1점) ≈ **Bow** (38.3점) ≈ **Wave** (40.2점)

□ Passive TR fatigue: **Static** (83.7점 ☹️) > **Bow** (71.4점 😊) ≈ **Wave** (69.1점 😊)

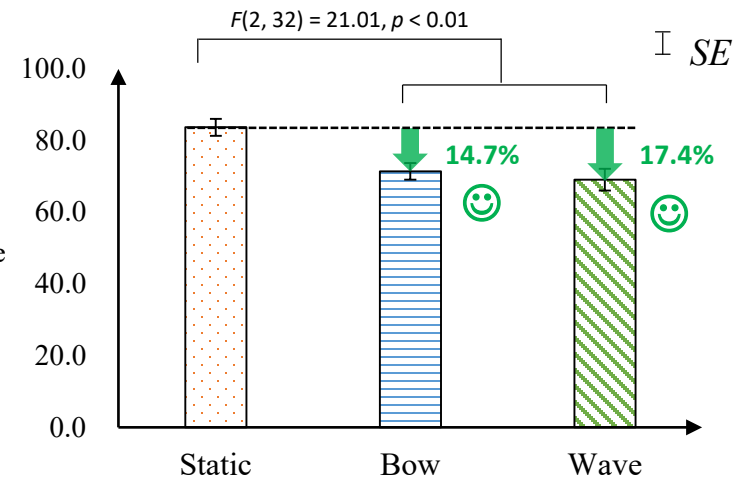
⇒ **Bow와 wave**는 static에 비해 **단조로운 주행 상황 지속**에 의한 **passive mental 피로 감소**



Active mental fatigue (Point)







Passive mental fatigue (Point)



Discussion: 인간공학적 개선 정도

- 주행 전반 대비 후반의 **운전자 피로도**는 **Static seat**에서 평균적으로 약 **33.0% 증가**
- **Bow**와 **Wave motion seat**는 주관적 피로도를 제외한 모든 **객관적 평가 척도의 피로 유지**

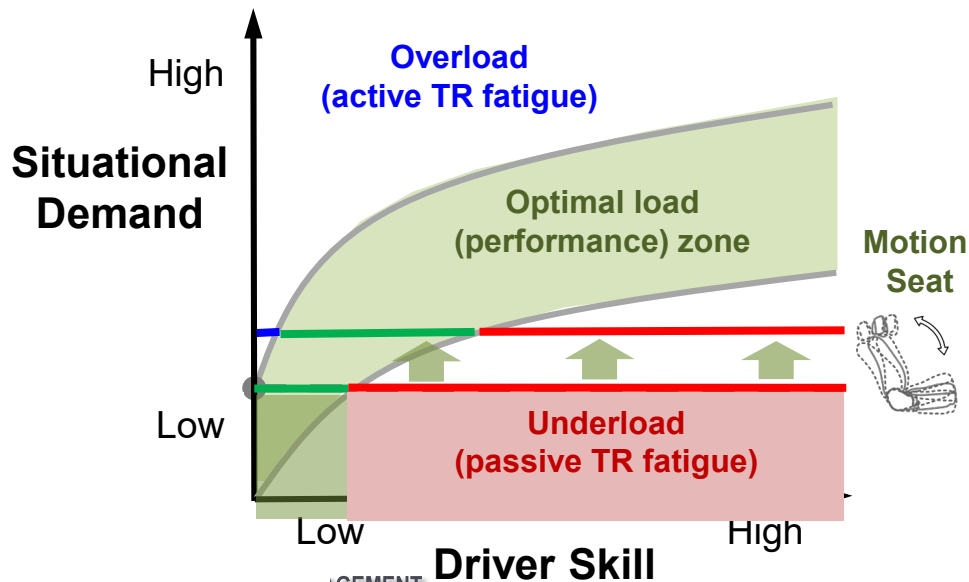
Metrics		Static				Bow				Wave				
		Static	Static	MD	Δ (%)	Static	Bow	MD	Δ (%)	Static	Wave	MD	Δ (%)	
Driving performance	BRT (ms) 	893.57	986.34	92.78 (*p<0.05)	↑ (10.4%)	954.90	957.88	2.98	≈ (0.3%)	868.69	885.31	16.61	≈ (1.9%)	
	SDLP (cm) 	30.95	36.97	6.02 (*p<0.03)	↑ (19.5%)	33.20	33.67	0.47	≈ (1.4%)	31.61	30.77	-0.84	≈ (-2.7%)	
Mental fatigue	ECG 	SDNN (ms)	114.15	138.58	24.44	≈ (21.4%)	105.58	110.75	5.17	≈ (4.9%)	113.43	116.64	3.21	≈ (2.8%)
		LF/HF	1.60	1.63	0.03	≈ (1.7%)	1.54	1.70	0.15 (*p<0.01)	↓ (10.0%)	1.51	1.65	0.13	≈ (8.7%)
	PERCLOS (%) 	4.16	5.49	1.34 (*p<0.01)	↑ (32.2%)	4.13	4.12	-0.01	≈ (-0.3%)	4.25	4.31	0.07	≈ (1.6%)	
Sub-jective fatigue	VAS	37.18	79.12	41.94 (*p<0.01)	↑ (112.8%)	35.35	65.94	30.59 (*p<0.01)	↑ (86.5%)	34.82	66.47	31.65 (*p<0.01)	↑ (90.9%)	
Overall		33.0% ↑				17.1% ↑				18.9% ↑				

Discussion: Passive TR Fatigue 저감 방법

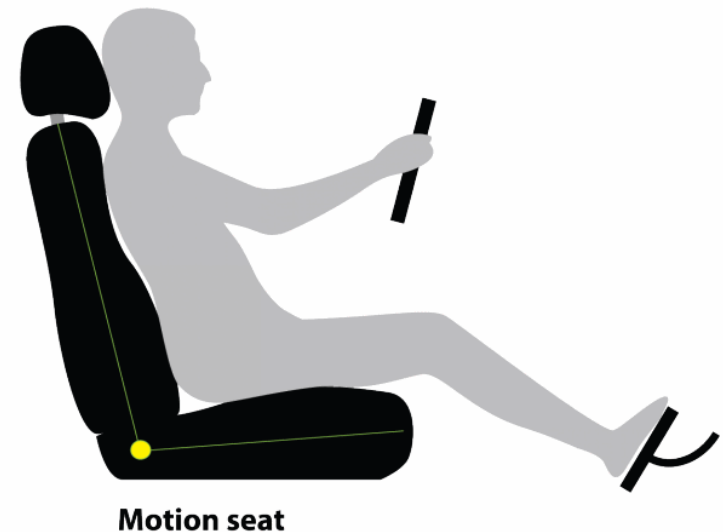
- Seat motion을 통해 운전자에게 적절한 자극을 제공함으로써 passive TR fatigue 저감
 - ✓ Oron-Gilad et al. (2008)은 passive TR fatigue가 situational demand가 낮거나(e.g., 단조로운 고속도로) driver skill level이 높은 경우(e.g., an experienced driver)인 경우 발생된다고 보고함
 - ✓ Motion seat는 운전자의 관절 움직임 → 체성 신경 활성화 → 전두엽 피질 활성화의 과정을 통해 운전자를 자극하여 passive TR fatigue를 저감시키는 것으로 사료됨

Situational Demand vs. Driver Skill

(Adapted from Oron-Gilad et al., 2008)

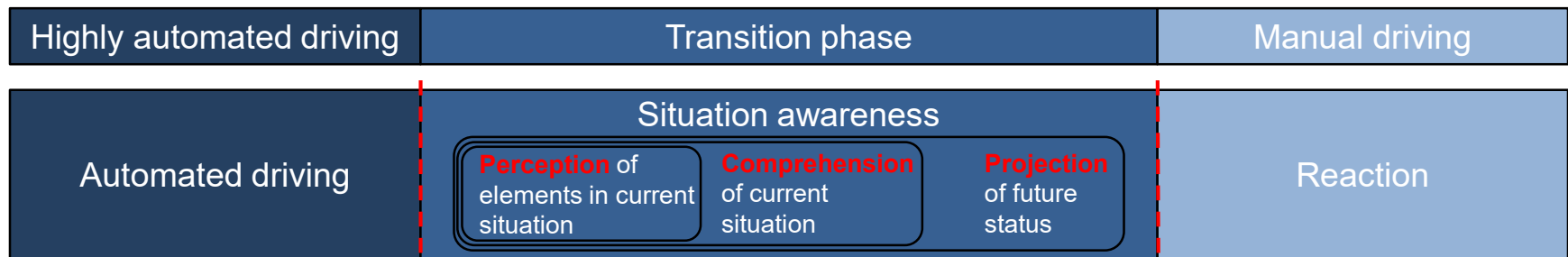


Hypothetical Mechanism of Motion Seat Effects



Discussion: Application of Motion Seat

- ❑ Motion seat를 부분 자율 주행 차량에 적용하면 제어권 전환 시에도 운전자의 alertness를 유지시켜 교통 사고 발생 위험을 줄이는데 기여할 수 있음
 - ✓ 부분 자율 주행: 운전의 단조로움 ↑ → passive TR fatigue ↑



Take-over request

Take-over



Monotonous ↑

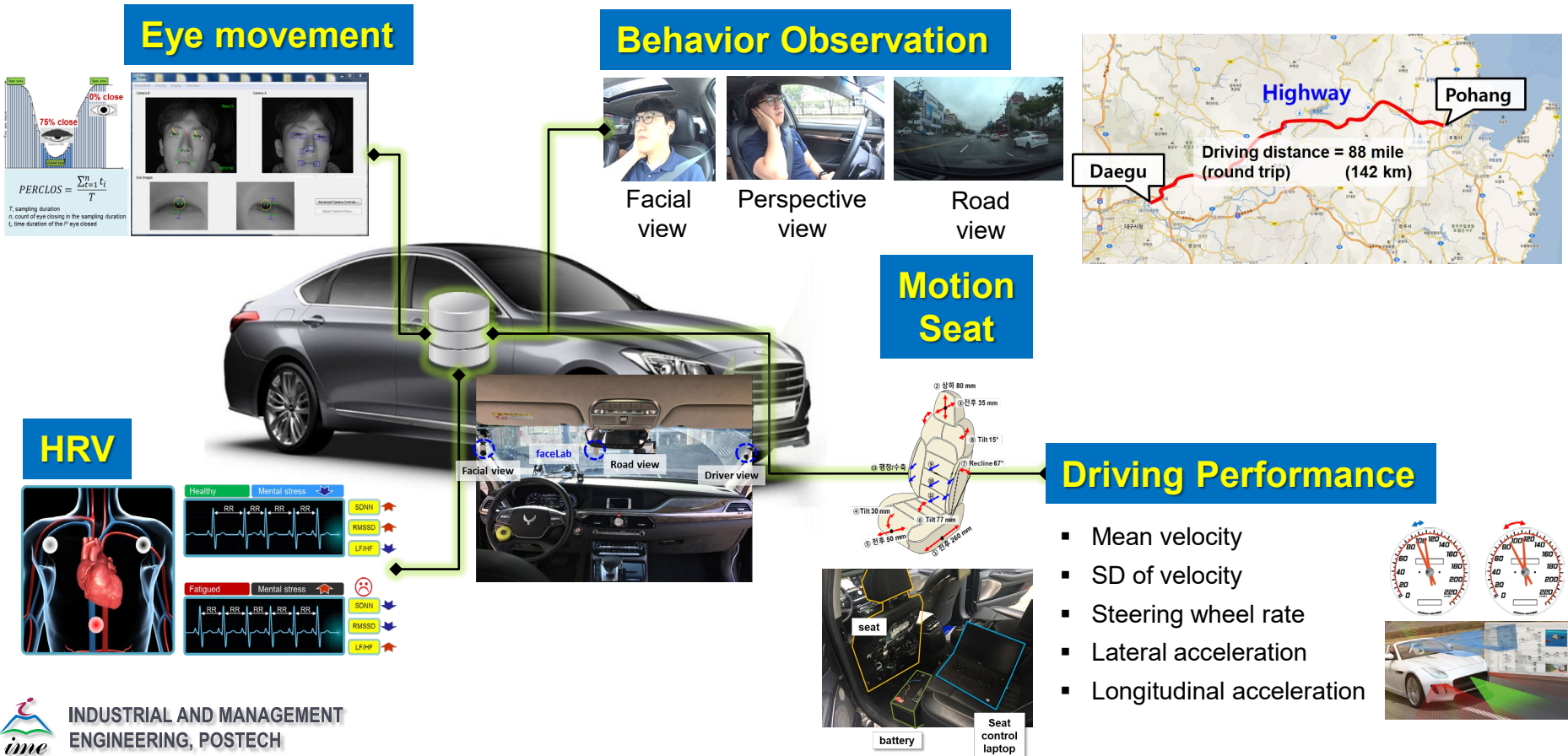
Passive TR fatigue ↑

Accident

Future Research

- 실차 주행 중 motion seat의 피로 저감 효과 파악 필요

In-vehicle testing (illustrated)



Discussion: Limitations

- **운전자의 운전 경력과 fatigue proneness를 고려한 피로 저감 효과 분석**
 - ✓ **운전 경력**(novice vs. experienced)에 따라 운전자의 **mental load**가 상이(over vs. under)하여 motion seat의 효과에 차이가 발생할 수 있음
 - ✓ **운전자의 fatigue proneness에 따라 발생하는 passive TR fatigue의 severity가 상이**하므로 운전자 개인별 특성을 파악(e.g., Driver Stress Inventory, Driving Coping Questionnaire) 필요



Q & A

*Thank you
for your attention!*

