



# 운전자의 Passive Task-Related (TR) Fatigue 실차 평가 Protocol 개발

**POSTECH**  
POHANG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

 INDUSTRIAL AND MANAGEMENT  
ENGINEERING, POSTECH

 Ergonomic Design  
Technology Lab

2017. 11. 30

 **HYUNDAI** | NEW THINKING,  
NEW POSSIBILITIES.

김민재<sup>1</sup>, 이승훈<sup>1</sup>, 오건희<sup>1</sup>, 문수진<sup>1</sup>, 최선우<sup>2</sup>, 유희천<sup>1</sup>

<sup>1</sup>포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학설계기술 연구실

<sup>2</sup>현대자동차 차체의장개발팀

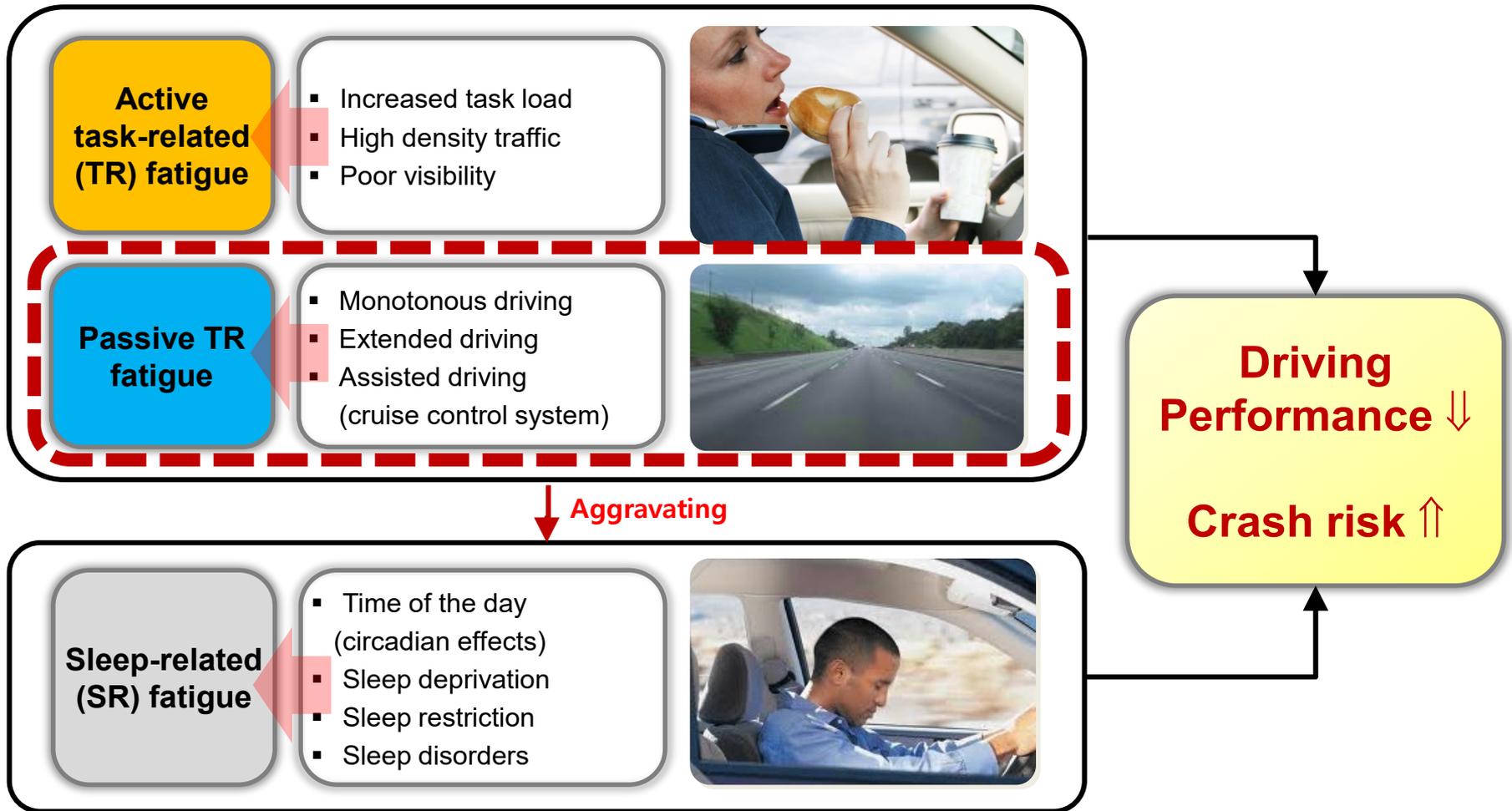
---

# Contents

---

- **Introduction**
    - ✓ Research background
    - ✓ Objectives of study
  - **Literature Review**
    - ✓ Participants
    - ✓ Experimental Environment
    - ✓ Driving Task
    - ✓ Fatigue Measures
  - **Driver's Fatigue Evaluation Protocol: On Road**
  - **Discussion**
-

# Passive Task-Related (TR) Fatigue



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 ↓

# 자율 주행에 의한 Passive TR Fatigue 증가

- ❑ 부분 자율 주행은 운전의 단조로움을 가중시켜 운전자의 passive TR fatigue ↑
- ❑ 선행 연구는 자율 주행에 의한 운전자의 객관적 및 주관적 피로도 증가 확인
  - ✓ 객관적 평가
    - 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)

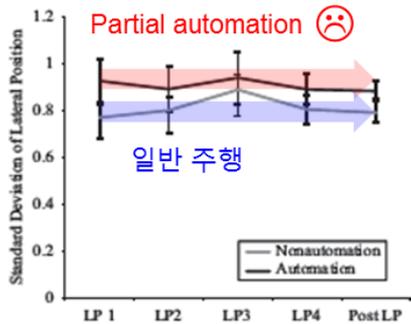


Figure 4. Standard deviation of five lateral positions (LPs) for both experimental groups. Error bars are standard errors.

Reaction time

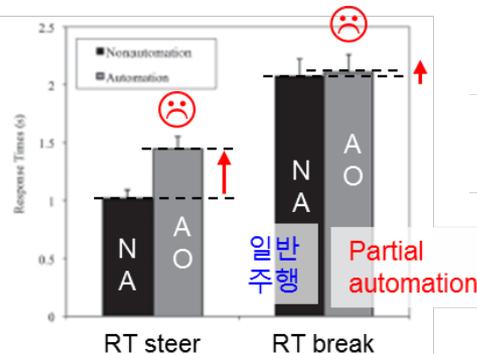
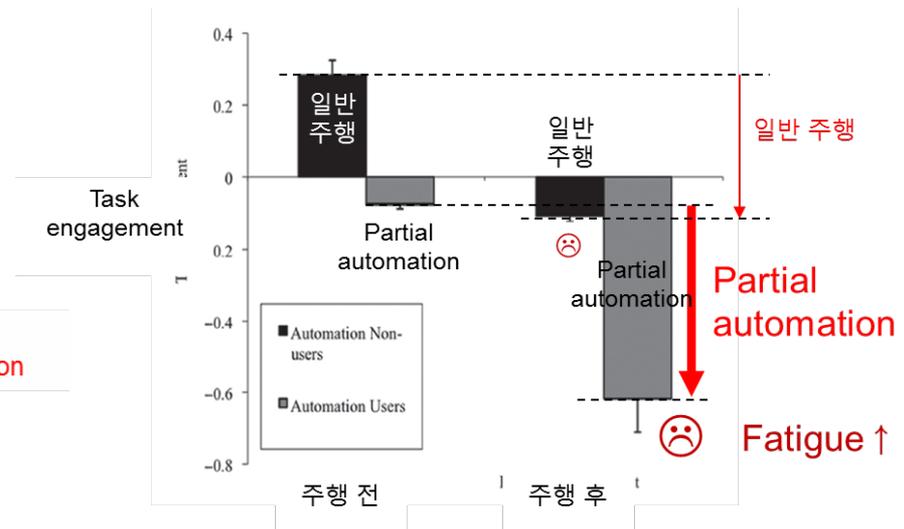
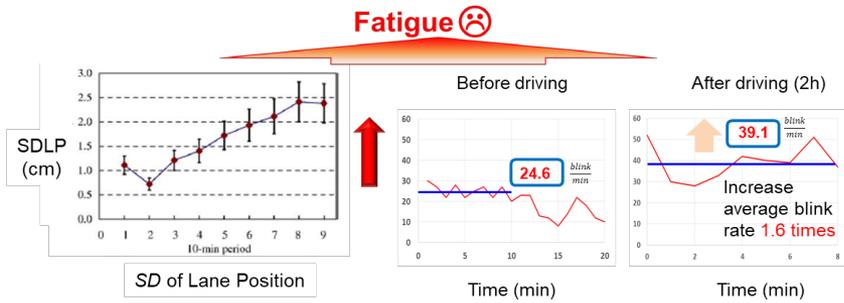


Figure 5. Reaction times (RTs) for steering and braking in the automation optional and nonautomation conditions. Error bars are standard errors.



# Passive TR Fatigue 실차 평가 필요성

- ❑ Passive TR fatigue 대한 연구는 대부분 simulation 환경에서 평가됨
- ❑ Simulation 기반 평가의 실차 환경 validation 필요



실차 주행 평가  
protocol 적용



## 운전자의 **Passive Task-Related (TR) Fatigue** 실차 주행 평가 Protocol 개발

1. 문헌 조사 기반 운전자 **passive TR fatigue** 평가 protocol 분석
  - 운전자 피로도 평가 척도
  - 실차 주행 평가 protocol
2. 실차 주행 **평가 protocol** 수립
  - 실험 참여자 및 실험 환경
  - 평가 척도 및 평가 절차
3. 실차 주행 평가 protocol **예비 평가**

# 문헌 조사

# 문헌 조사 방법

- **Keyword 검색을 통한** (1) 운전자 피로도 평가 척도 및 (2) 실차 주행 평가 protocol 문헌 조사 ⇒ 총 51 편

	운전자 피로도 평가 척도	실차 주행 평가 Protocol
조사 site	ScienceDirect, Google Scholar	
조사 범위	논문, 보고서	
Keyword	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Vehicle</b>: seat, drive, driver, driving</li> <li>▪ <b>피로</b>: fatigue, comfort, discomfort, stress, pain</li> <li>▪ <b>측정 measure</b>: task performance, workload, psychological, physiological, biomechanical, sleepiness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>실차 주행</b>: real, real driving, on-road</li> <li>▪ <b>Vehicle</b>: car, vehicle, automobile</li> <li>▪ <b>운전자 상태</b>: performance, comfort, discomfort, fatigue, sleepiness, emotion, work load, pain, drowsiness, alertness, distraction, psychology, mental</li> </ul>
문헌 수	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>총 27편</b>: fatigue measure (20편) + fatigue 발생 mechanism (7편)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>총 24편</b>: 실차 주행 + 운전자 상태 관련 (7편) + 실차 주행 관련 (4편) + 자율 주행 관련 (5편) + 그 외 (모의 주행 관련; 13편)</li> </ul>

# 실험 참여자

- Simulation 환경 평가:  $32.9\text{명} \pm 43.9\text{명}$  (*min ~ max*: 4 ~ 184명)
- Real driving 환경 평가:  $18.0\text{명} \pm 10.0\text{명}$  (*min ~ max*: 4 ~ 42명)

No.	Author (year)	Participants							Driving condition		
		# subjects				Age (years)			Simulator	Real driving	General seat
		Total	Male	Female	Ratio	<i>M</i> ± <i>SD</i>	<i>min</i>	<i>max</i>			
1	Lin et al. (2010)	35	35	-	1:0	26.4 ± 3.6	-	-		○	
2	Falou et al. (2003)	11	11	-	1:0	35.7 ± 10.4	-	-	○		
3	van Deursen et al. (2000)	10	4	6	1:1.5	M: 53.0 ± 19.8 F: 54.5 ± 14.5	M: 25 F: 28	M: 70 F: 68			○
4	Sonnleitner et al. (2014)	20	15	5	1:0.3	29	-	-		○	
⋮											
50	Young et al. (2013)	23	10	13	1:1.3	28.9 ± 8.6	-	-		○	
51	Durkin et al. (2006)	8	4	4	1:1	21.9 ± 1.2			○		
<i>Mean</i>		<b>25.8</b>	<b>17.0</b>	<b>13.2</b>		<b>31.9</b>					
<i>SD</i>		<b>32.1</b>	<b>18.3</b>	<b>20.1</b>		<b>11.3</b>					
<i>min</i>		<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>19.3</b>					
<i>max</i>		<b>184</b>	<b>111</b>	<b>108</b>		<b>72.6</b>					

# 실험 참여자 모집 기준

## □ 신체 & 정신적 건강 상태

- ✓ 수면 장애 × (Wiberg et al. 2015)
- ✓ 약물 복용 × (Hamer et al., 2007; Jing et al. 2009)
- ✓ 정상 시력 및 시야 (Zhao et al. 2012)



## □ 운전 면허 소지 및 운전 경력 고려 (Wiberg et al. 2015; Verwey & Zaidel, 1999)

## □ 무사고 기록 (Reimer et al. 2016)

## □ 실험 전 제한 사항

- ✓ 술 또는 카페인 복용 금지 (Uusitalo et al. 2011; Quintana et al. 2012; Miu et al. 2009; Riener et al. 2009; Terkelsen et al. 2005; Spangler & Friedman 2015)
- ✓ 흡연 금지 (Uusitalo et al. 2011; Quintana et al. 2012; Miu et al. 2009)
- ✓ 예방 접종 또는 헌혈 금지 (Wiberg et al. 2015)
- ✓ 과도한 육체적 활동 금지 (Terkelsen et al. 2005; Spangler & Friedman 2015)
- ✓ 약물 복용 금지 (Terkelsen et al. 2005)



# 외부 실험 환경

- Passive TR fatigue를 유발하기 위한 **주행 평가 시간대 선정**
  - ✓ 교통 혼잡도가 높은 **주말과 출퇴근 시간대**는 평가 시간에서 제외  
(Ebnali et al., 2016; Young et al., 2013, Lin et al., 2010, Engstrom et al., 2005)
  - ✓ 운전자 **피로도 평가**를 위해 **신체 및 인지 기능이 저하되는 오후 2시 ~ 4시**  
(Williamson & Friswell, 2011)
- **주행 안정성 확보**를 위해 **맑은 날씨와 건조한 노면이 요구됨**(Lin et al., 2010)  
⇒ **운전자 시야 및 주행 안정성 확보**
- **전방 및 후방 차간 안전 거리 확보**(Ebnali et al., 2016)



# 내부 실험 환경

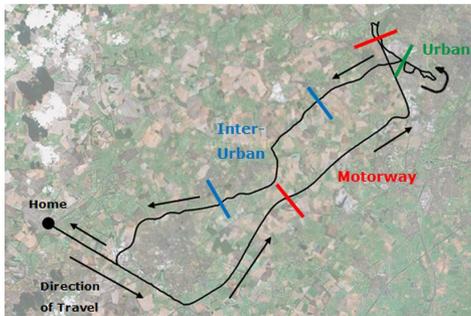
- 숙련된 실험 진행자 동승 ⇒ 실험 차량 제어, 주행 상황 및 운전자 상태 기록
  - ✓ 위험 상황에서 보조석에 설치된 brake pedal를 통한 차량 제어(Ebnali et al., 2016)
  - ✓ 주행 정보(교통 법규 위반, 차선 위치 및 변경 등) (Stefano & Macdonald, 2003)
  - ✓ 주행 오류(e.g., 경로 이탈), 주변 상황(e.g., 공사 구간) 등 기록 (Young et al., 2013)
  - ✓ 진행자 실험 개입 상황 기록 (Stefano & Macdonald, 2003)
  - ✓ 네비게이션 경로 이탈 빈도 평가 (Lin et al., 2010)
- 주행 안전에 영향이 있는 경우 운전자 또는 진행자에 의해 평가 중단  
(Sonnleitner et al., 2014; Haufe et al., 2014)



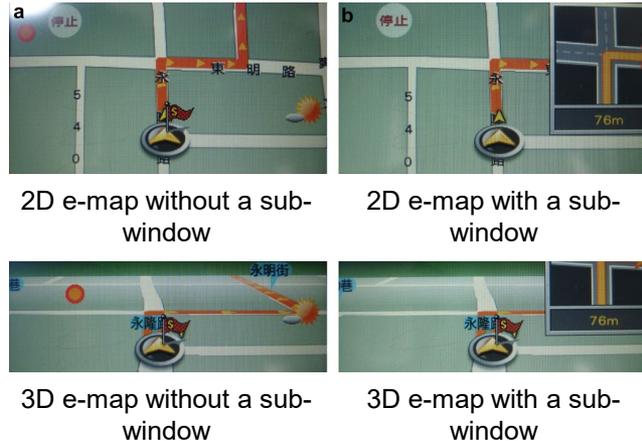
# 주행 평가 Task

- 주행 작업은 (1) 자유형, (2) 네비게이션 안내형, (3) 선행 차량 안내형으로 분류
  1. 자유형: 참여자가 숙달된 경로 주행(Birrel & Fowkes, 2014)
  2. 네비게이션 안내형: 네비게이션에 제시되는 경로 안내에 따라 주행(Lin et al., 2010)
  3. 선행 차량 안내형: 선행차량을 따라가며 주행(Sonnleitner et al., 2014)

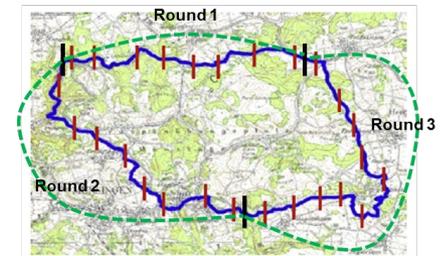
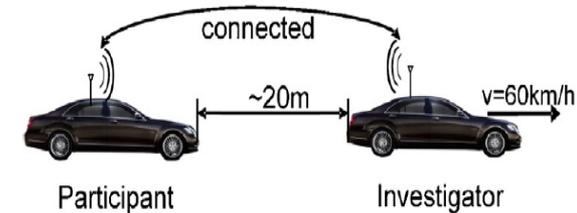
## 자유형



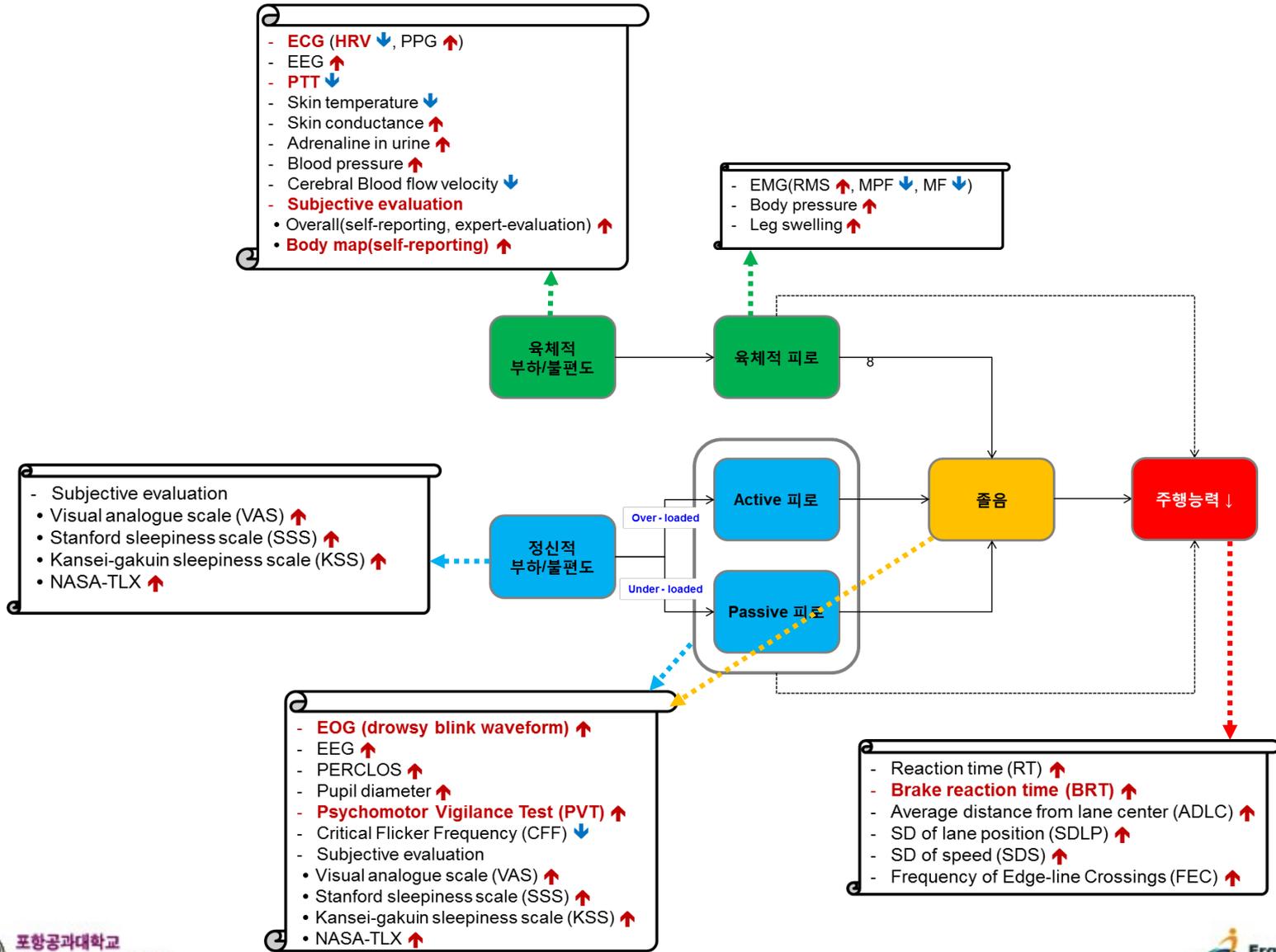
## 네비게이션 안내형



## 선행 차 안내형



# 운전자 Fatigue 평가 척도



## Fatigue

### Task performance

- **Reaction time (RT)** ↑
- Brake reaction time (BRT) ↑
- Average distance from lane center (ADLC) ↑
- **SD of lane position (SDLP)** ↑
- **SD of speed (SDS)** ↑
- Frequency of Edge-line Crossings (FEC) ↑

### Subjective evaluation

- Overall (self-reporting, expert-evaluation) ↑
- Body map (self-reporting) ↑
- **Visual analogue scale (VAS)** ↑
- Stanford sleepiness scale (SSS) ↑
- Kansei-gakuin sleepiness scale (KSS) ↑
- NASA-TLX ↑

### Human response

- **ECG (PPG)** ↑
- EEG ↑
- Skin conductance ↑
- Adrenaline in urine ↑
- Blood pressure ↑
- EMG (RMS) ↑
- Body pressure concentration ↑
- Leg swelling ↑
- EOG (drowsy blink waveform) ↑
- EEG ↑
- **PERCLOS** ↑
- Pupil diameter ↑
- Psychomotor Vigilance Test (PVT) ↑

## Fatigue ☹️

### Human response

- **ECG** (HRV ↓)
- **PTT** ↓
- Skin temperature ↓
- Blood flow velocity ↓
- EMG (MPF ↓, MF ↓)
- Critical Flicker Frequency (CFF) ↓

# 실차 주행 평가 Protocol

# 실험 참여자

□ 모집 인원:  $n = 20$ 명(30 ~ 50대, 남성: 10명, 여성 10명)

□ 모집 기준

- ✓ 운전 면허 소지 및 운전 경력 2년 이상 (Wiberg et al. 2015; Verwey & Zaidel, 1999)
- ✓ 신체 및 정신적 건강 상태
  - 수면 장애 × (Wiberg et al. 2015)
  - 약물 복용 × (Hamer et al., 2007; Jing et al. 2009)
  - 정상 시력 및 시야: normal (20/20) or corrected to normal visual acuity (Zhao et al. 2012)
- ✓ 실험 전 제한 사항
  - 술 또는 카페인 복용 금지 (Uusitalo et al. 2011; Quintana et al. 2012; Miu et al. 2009)
  - 흡연 금지 (Uusitalo et al. 2011; Quintana et al. 2012; Miu et al. 2009)
  - 예방 접종 또는 헌혈 금지 (Wiberg et al. 2015)
  - 과도한 육체적 활동 금지 (Terkelsen et al. 2005; Spangler & Friedman 2015)
  - 약물 복용 금지 (Terkelsen et al. 2005)

No.	Author (year)	Participants				Age (years)			Driving condition		
		Total	Male	Female	Ratio	$M \pm SD$	min	max	Simulator	Real driving	General seat
1	Lin et al. (2010)	35	35	-	1:0	26.4 ± 3.6	-	-		0	
2											
3											
4											
45											
50	Lounin et al. (2006)	8	4	4	1:1	41.2 ± 1.4				0	
	Mean	25.8	17.0	13.2		31.9					
	SD	32.1	18.3	20.1		11.3					
	min	4	1	1		19.3					
	max	184	111	108		72.6					

문헌 조사에 기반하여 모집 인원 및 남녀 비율 선정

# 고속도로 평가 환경

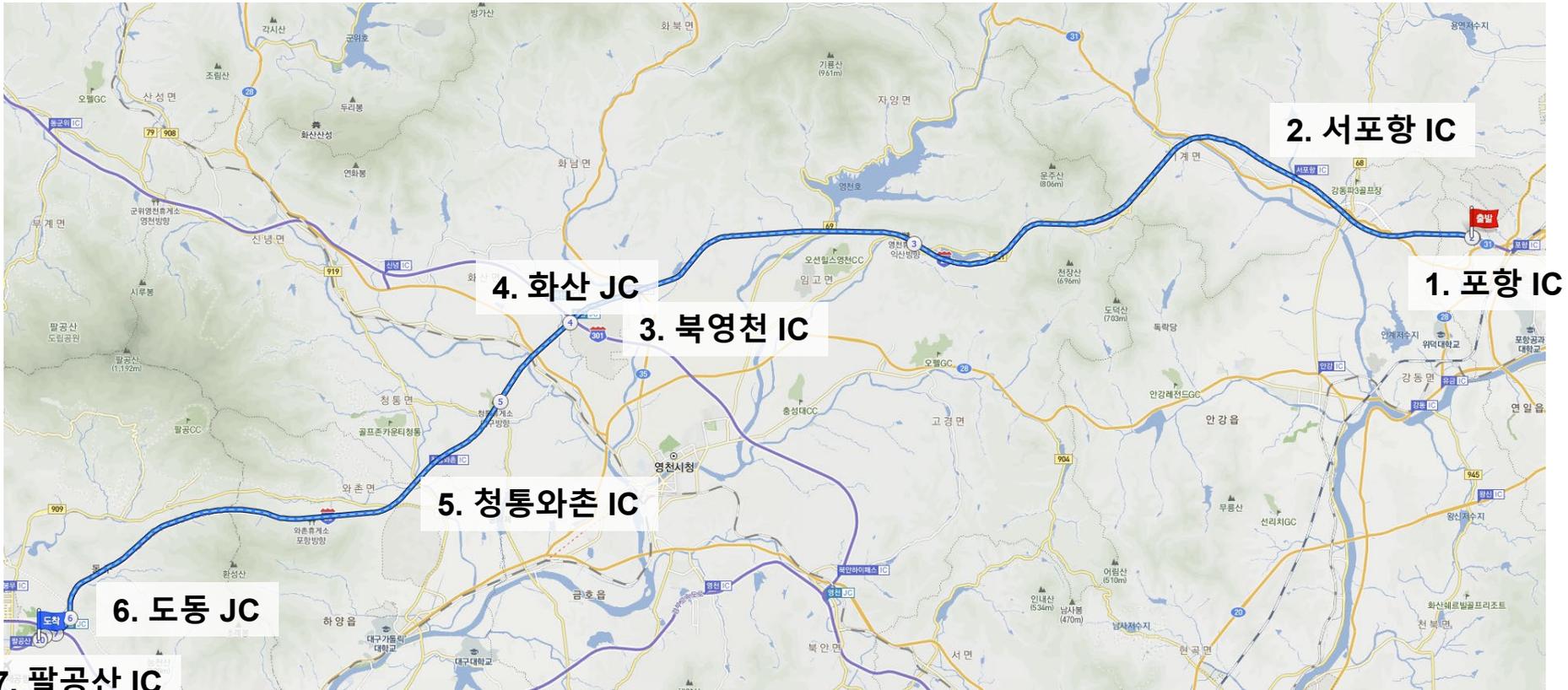
- **교통량:** 통행량 분석을 통해 **교통 혼잡도가 낮은 시간대 선정**
  - ✓ 평균 통행시간/자유류 통행 시간( $\leq 1$ : 원활): 0.88 ~ 1.06
  - ✓ 포항-대구 통행 시간 평균: 48분(자유류 통행 시간: 46분)
  
- **평가 시간대: 14:00 ~ 16:00 PM**
  - ← human performance & alertness level ↓ (Williamson & Friswell, 2011)
  
- **날씨:** 비/눈/안개/돌풍 등이 없는 **맑은 날씨 & 노면이 젖어있지 않은 상태**
  - ⇒ 운전자의 시야와 주행 안전성 확보(Lin et al., 2010)

# 교통량 분석

□ 주행 경로의 교통량 파악을 위해 **통행시간지수(TTI, travel time index)** 분석

✓ 산출식: **평균 통행시간/자유류 통행 시간**( $\leq 1$ : 원활)

✓ 출처: 고속도로 공공데이터 포털 이용 **EX 한국도로공사**  
고속도로 공공데이터 포털



# 통행시간지수

□ 대부분 통행시간지수가 약 1이므로, 평균 통행 시간과 자유류 통행 시간이 유사

포항 → 대구 방면

	포항	서포항	북영천	화산	청통와촌	도동	팔공산
0:00	1.01	0.96	0.98	0.94	1.03	-	
1:00	1.06	1.01	1.00	0.96	1.05	-	
2:00	1.10	1.07	1.06	0.99	1.08	-	
3:00	1.12	1.09	1.06	1.02	1.12	-	
4:00	1.11	1.08	1.08	1.03	1.12	-	
5:00	1.00	0.97	1.02	0.96	1.06	-	
6:00	0.97	0.92	0.97	0.94	1.03	-	
7:00	0.96	0.89	0.95	0.92	1.02	-	
8:00	0.98	0.91	0.96	0.91	1.01	-	
9:00	0.99	0.92	0.96	0.95	1.04	-	
10:00	1.01	0.92	0.96	0.94	1.03	-	
11:00	1.00	0.92	0.96	0.95	1.04	-	
12:00	0.99	0.91	0.96	0.95	1.04	-	
13:00	0.99	0.90	0.95	0.94	1.04	-	
14:00	1.01	0.93	0.96	0.96	1.06	-	
15:00	1.03	0.93	0.95	0.95	1.05	-	
16:00	1.03	0.93	0.95	0.96	1.06	-	
17:00	0.99	0.89	0.93	0.94	1.05	-	
18:00	0.97	0.88	0.92	0.93	1.04	-	
19:00	0.97	0.89	0.93	0.92	1.02	-	
20:00	1.02	0.94	0.99	0.96	1.04	-	
21:00	1.02	0.94	0.99	0.96	1.03	-	
22:00	1.01	0.93	0.97	0.95	1.03	-	
23:00	1.00	0.94	0.98	0.94	1.02	-	

대구 → 포항 방면

	팔공산	도동	청통와촌	화산	북영천	서포항	포항
0:00	-	1.02	0.95	0.96	0.92	0.94	
1:00	-	1.03	0.97	0.97	0.95	0.96	
2:00	-	1.06	1.01	1.00	0.99	1.00	
3:00	-	1.07	1.03	1.02	1.03	1.03	
4:00	-	1.06	1.03	1.02	1.03	1.05	
5:00	-	1.00	0.94	0.95	0.96	0.99	
6:00	-	1.01	0.92	0.94	0.92	0.95	
7:00	-	1.02	0.92	0.93	0.91	0.97	
8:00	-	1.01	0.92	0.92	0.90	0.97	
9:00	-	1.05	0.97	0.96	0.93	0.97	
10:00	-	1.05	0.95	0.94	0.92	0.98	
11:00	-	1.05	0.95	0.94	0.92	0.98	
12:00	-	1.04	0.94	0.95	0.91	0.98	
13:00	-	1.03	0.94	0.94	0.91	0.98	
14:00	-	1.05	0.95	0.94	0.92	0.99	
15:00	-	1.03	0.94	0.94	0.93	1.00	
16:00	-	1.01	0.93	0.94	0.91	0.98	
17:00	-	1.00	0.91	0.92	0.89	0.96	
18:00	-	0.98	0.90	0.91	0.88	0.94	
19:00	-	0.98	0.90	0.92	0.88	0.93	
20:00	-	1.01	0.93	0.95	0.90	0.97	
21:00	-	0.99	0.92	0.94	0.90	0.95	
22:00	-	0.99	0.92	0.94	0.89	0.94	
23:00	-	0.99	0.93	0.94	0.91	0.94	

Note) 산출 기준 요일: 월 ~ 금

# 영업소간 통행 시간

□ 9:00 AM ~ 18:00 PM에서 통행 시간

✓ 평균: 48 분

✓ 최대: 51 분

□ 포항-대구 자유류 통행 시간: 46분

⇒ 시간대에 상관없이 통행 시간 유사

	포항 → 대구	대구 → 포항
0:00	0:42	0:56
1:00	0:42	0:49
2:00	0:43	0:48
3:00	0:44	0:49
4:00	0:59	0:50
5:00	0:54	0:44
6:00	0:53	0:48
7:00	0:45	0:46
8:00	0:50	0:46
9:00	0:47	0:47
10:00	0:47	0:47
11:00	0:47	0:46
12:00	0:49	0:47
13:00	0:49	0:48
14:00	0:50	0:47
15:00	0:51	0:49
16:00	0:50	0:48
17:00	0:49	0:47
18:00	0:49	0:45
19:00	0:47	0:43
20:00	0:47	0:44
21:00	0:48	0:43
22:00	0:46	0:47
23:00	0:48	0:46

Visibility ↓

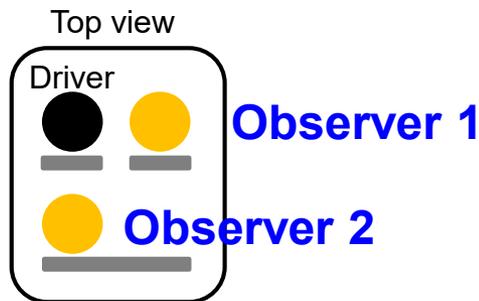
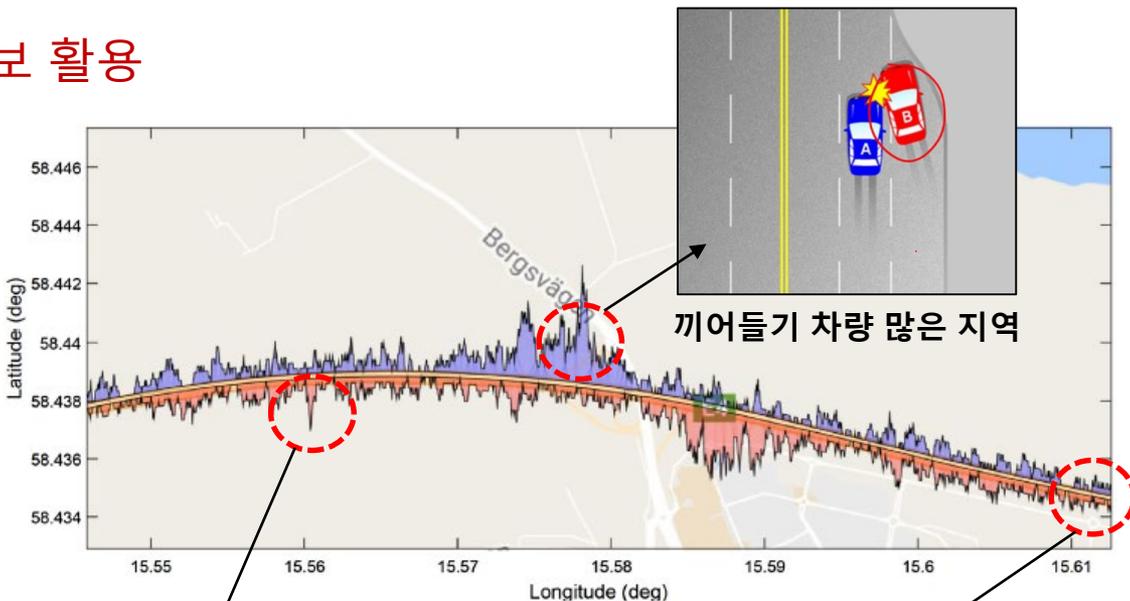
평가 시간 후보

Visibility ↓

Note) 산출 기준 요일: 월 ~ 금

# 주행 환경 관찰: 실험 진행자 관찰

- 주행 실험 시 **control 할 수 없는 상황**(e.g., 공사 중, 차량 끼어들기) **파악**
- 실험참여자의 **error** (e.g., 과속, 선행 차량과 간격 짧음) **관찰** (Young et al., 2013)
- 실험 결과 **분석 시 관찰 정보 활용**



공사 중



나가는 곳

# 주행 평가 Task

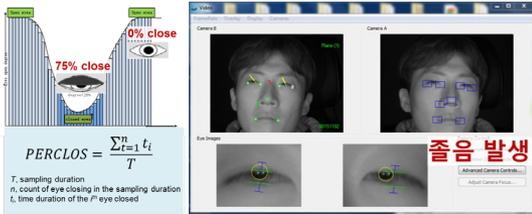
- 교통량이 적은 단조로운 고속도로 환경에서 주행
  - ✓ 경로: 포항 TG (출발) → 팔공산 IC 부근 (회차) → 포항 TG (도착)
  - ✓ 거리: 139.9 km (소요 시간: 약 90분)
  - ✓ 속도: 약 100 km/h 유지

회차 지역(3.6 km, 7분 소요)



# 실차 평가 장치 구성

## Eye movement



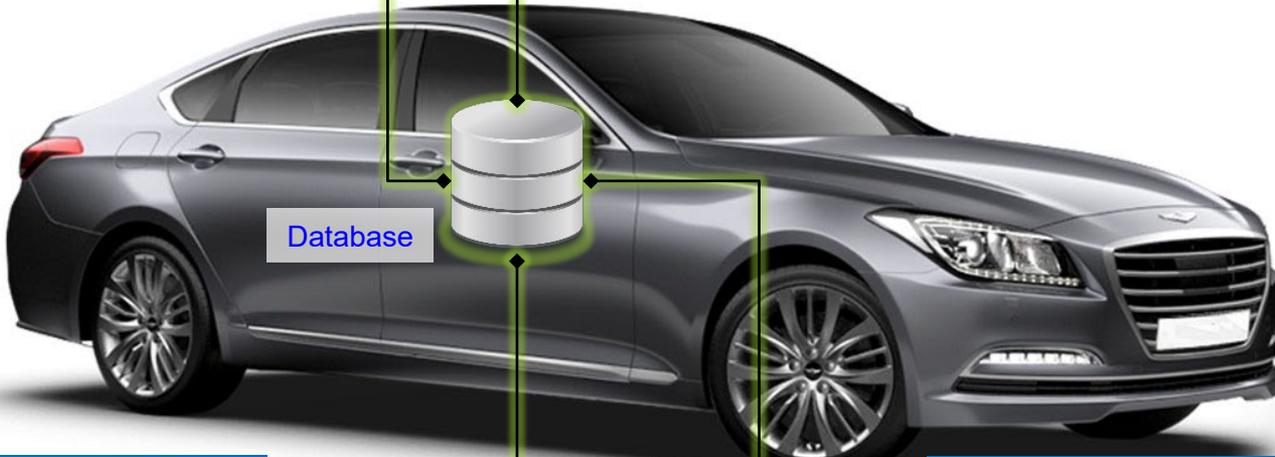
## 운전자 행동 관찰



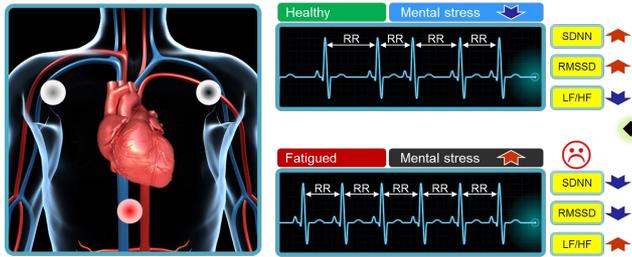
Facial view

Perspective view

Road view



## HRV (Heart rate variability)



## 운전자 주행 능력

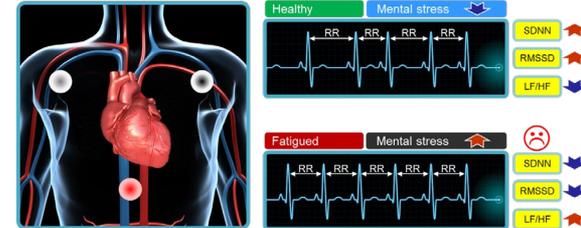
- Brake reaction time
- SD of lane position
- Mean velocity
- SD of velocity
- Steering wheel rate
- Lateral acc.
- Longitudinal acc.



# 차량 내 평가 환경

- 주행 수행도 평가: **CAN 통신**
- 정신적 피로도 평가: **Eye camera, ECG**
- 주관적 피로도 평가: **Action CAM, LED**

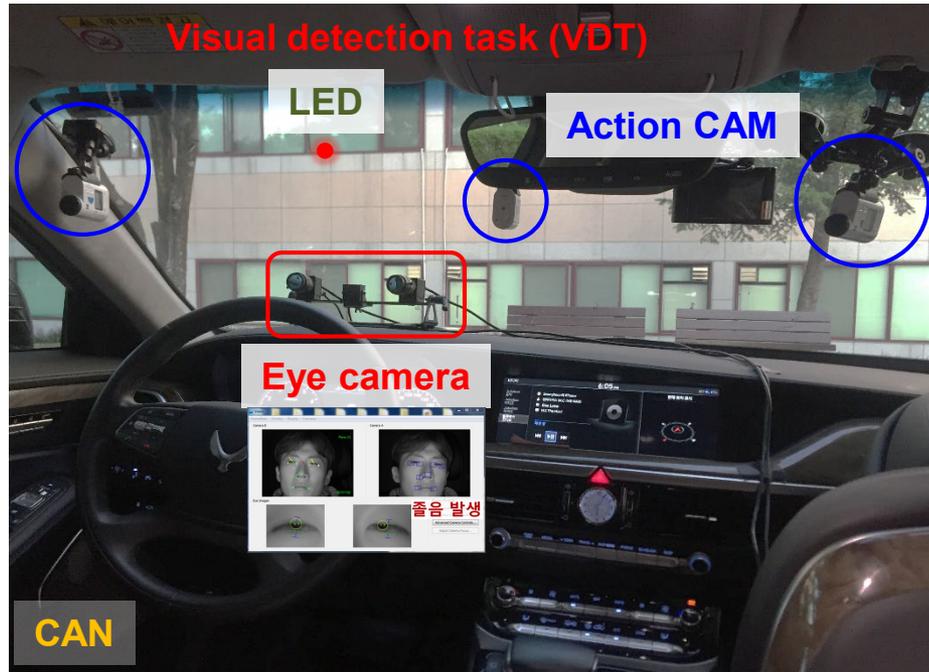
## HRV (Heart rate variability)



## Driver view (표정)



## 차량 주행 정보 수신



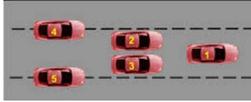
## Perspective view (운전 자세)



## Road view (주행 환경)



# 평가 척도

	평가 척도	Figure	비고	피로 경향
주행 수행도	SD of velocity		<ul style="list-style-type: none"> <li>속도의 표준 편차를 통한 <b>주행 속도 유지 능력</b> 평가</li> </ul>	↑
	SD of lane position		<ul style="list-style-type: none"> <li>운전자 내 차선 위치 및 속도 편차를 통한 <b>주행 안정성</b> 평가</li> </ul>	↑
	Steering wheel reversal rate		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>졸음에 의해</b> 반응 시간 늦어지는 <b>빈도 증가</b></li> </ul>	↑
정신적 피로도	Heart Rate Variability (HRV)		<ul style="list-style-type: none"> <li>운전자의 <b>정신적 부하</b> 평가</li> </ul>	↓
	Percentage of eyelid closure (PERCLOS)		<ul style="list-style-type: none"> <li>운전자 눈이 감긴 비율을 이용한 <b>정신적 피로도</b> 평가</li> </ul>	↑
	Visual Detection Test (VDT)		<ul style="list-style-type: none"> <li>운전자의 반응 시간 측정을 통한 <b>정신적 피로도</b> 평가</li> </ul>	↑
주관적 피로도	운전자 행동 관찰		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>졸음 단계별</b> 운전자 행동 변화 파악</li> </ul>	↑
	Visual Analog Scale (VAS)		<ul style="list-style-type: none"> <li>평가지를 이용한 <b>주관적 피로도</b> 평가</li> </ul>	↑

# 정신적 피로도: Visual Detection Task (VDT)

- 주행 중 안전상의 이유로 brake reaction time 측정이 어려우므로, **visual detection task (VDT)**를 사용하여 운전자 반응 시간 측정
  - ✓ 방법: 주행 중 운전자의 시야(e.g., windshield)에 **LED 자극이 제시되었을 때 운전자가 button을 누르는데까지 걸리는 시간** 측정
  - ✓ Measures: (1) **mean reaction time**, (2) **hit rate** (# of correct response/total stimuli)

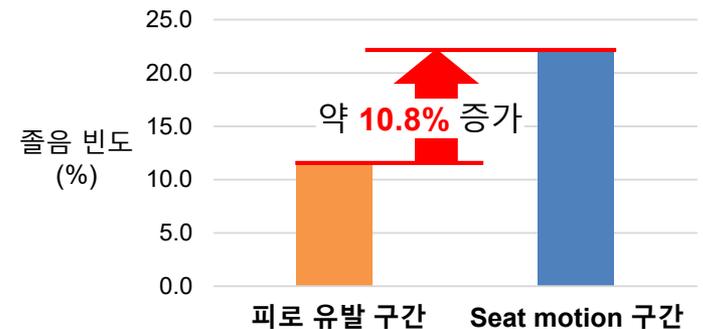


## VDT example (Young et al., 2013)

- Stimulus: a single red LED light on the windshield
- Duration: maximum 2 s
- Interval: random temporal variation of 3-5 s
- Response: press button

# 평가 척도: 주관적 피로도

- 운전자 행동 변화를 통해 파악된 **졸음 단계별 발생 빈도 파악**
  - ✓ 1 단계(안전/각성): 졸음 없음
  - ✓ 2 단계(변성/의심/진입): 졸음을 깨기 위한 행동을 할 수 있음
  - ✓ 3 단계(위험/졸음 저항): 의지와 상관없이 졸음이 나타남
- **Fatigue ↑ → 졸음 2단계/3단계 발생 빈도 ↑**



# 평가 척도: 주관적 피로도

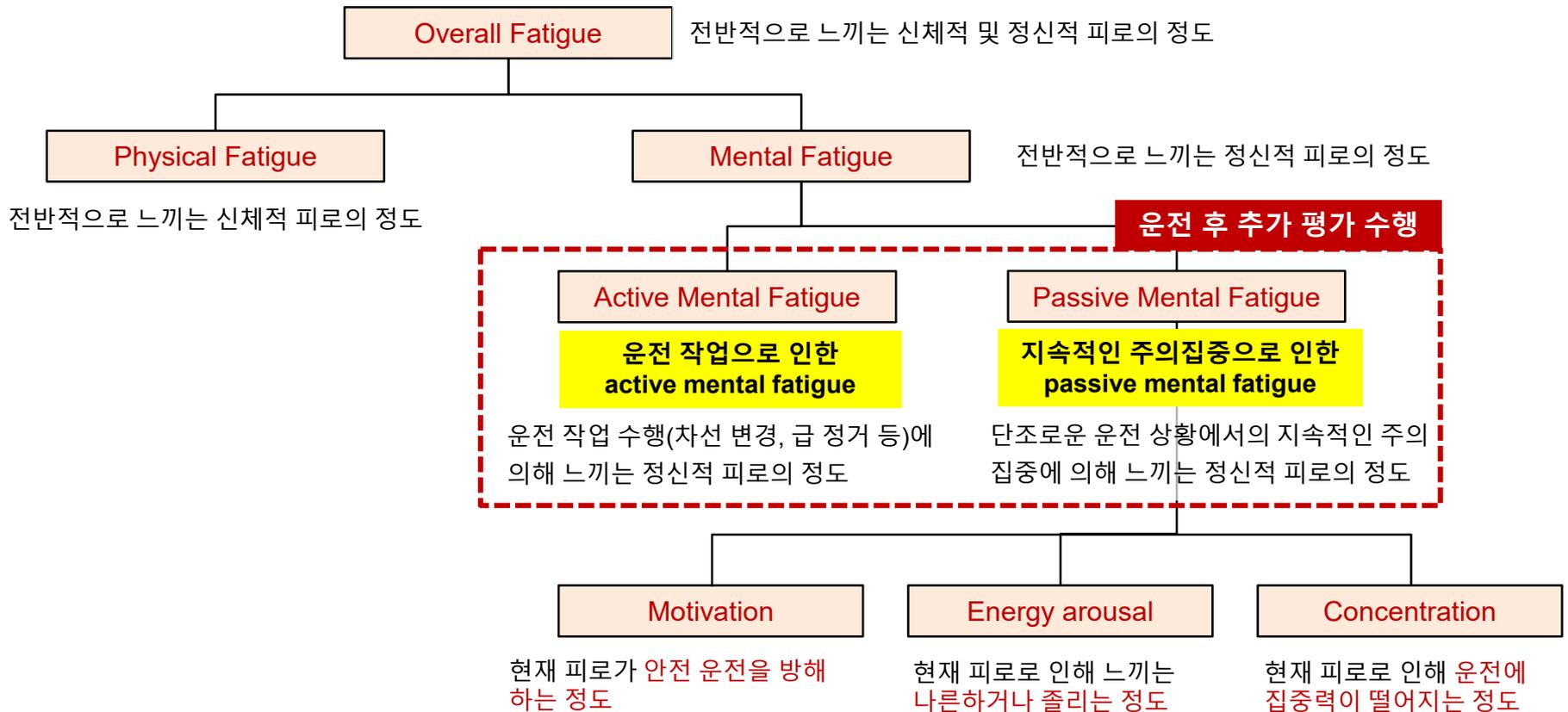
- 운전자 행동 관찰: 다양한 졸음 척도(예: Epworth 졸음 척도, Stanford 졸음 척도)를 참고하여 **졸음 단계별 운전자 행동 변화 파악**

## 졸음 단계별 운전자 행동 변화

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

# 평가 척도: 주관적 피로도

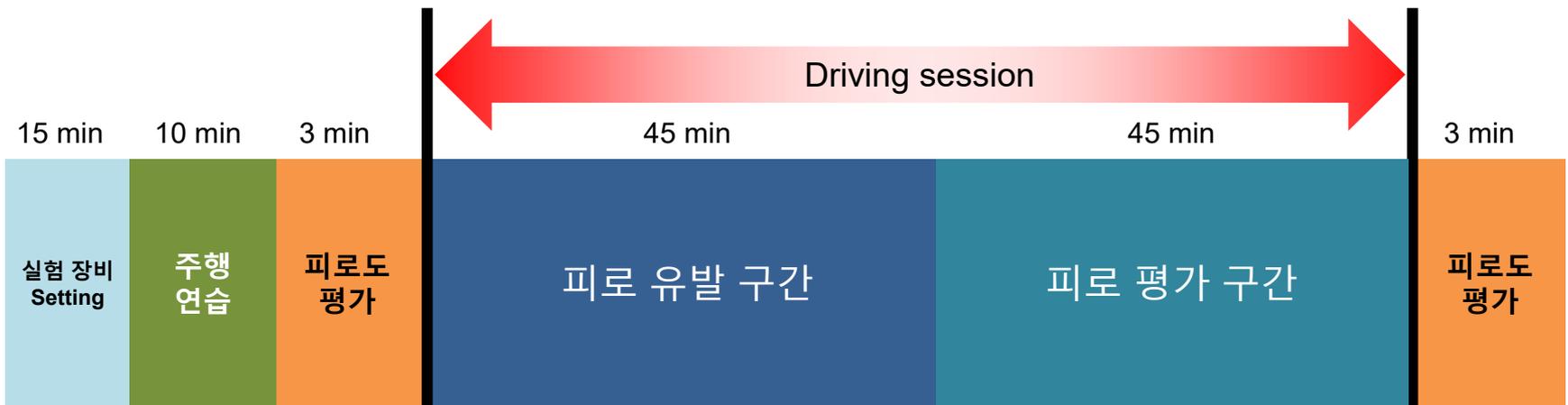
- 주행 전후의 주관적 피로도를 overall fatigue, physical fatigue, mental fatigue 측면에서 평가함



# 실험 절차

- 주행 실험 전: 인체 측정, 센서 부착, 주행 연습, 주관적 피로도 평가
- 주행 중: 90분간 주행 평가 및 VDT, HRV, PERCLOS 측정
- 주행 실험 후: 주관적 피로도 평가

실험 시간: 약 2 시간



# 예비 평가

# 예비 평가 개요

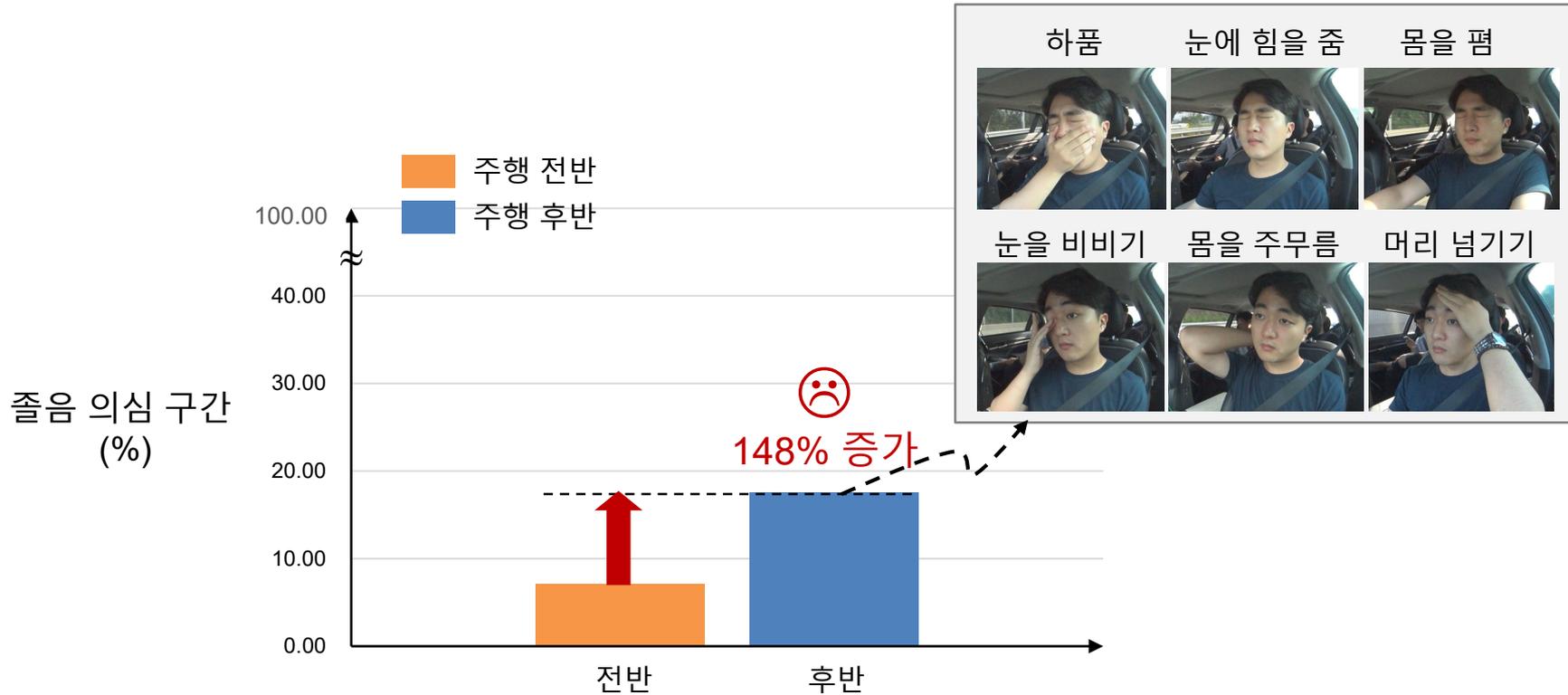
- 목적: 실차 주행 평가 protocol 검토 및 보완
- 실험 참여자: 운전 경력 2년 이상
- 평가 방법: 운전자의 (1) PERCLOS, (2) 행동 관찰, (3) 주관적 피로도 평가
- 평가 환경: 교통량이 적은 단조로운 고속도로 환경에서 주행
  - ✓ 경로: 포항 TG (출발) → 팔공산 IC 부근 (회차) → 포항 TG (도착)
  - ✓ 거리: 139.9 km (소요 시간: 약 90분)

회차 지역(약 300m, 1분 소요)



# 예비 평가 결과: Sleepiness Scale

□ 주행 전반 대비 주행 후반에 전반 대비 졸음 의심 구간 148% 증가

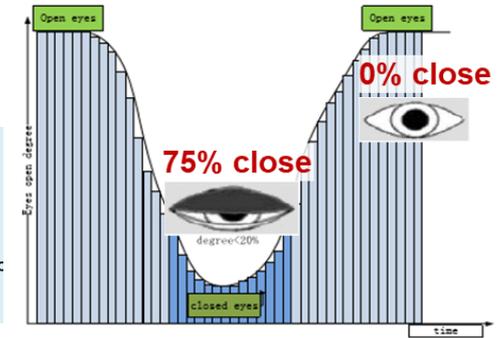


# 예비 평가 결과: PERCLOS

□ 주행 전반 대비 주행 후반에 PERCLOS 69% 증가

$$PERCLOS = \frac{\sum_{t=1}^n t_i}{T}$$

$T$ , sampling duration  
 $n$ , count of eye closing in the sampling duration  
 $t_i$ , time duration of the  $i^{th}$  eye closed



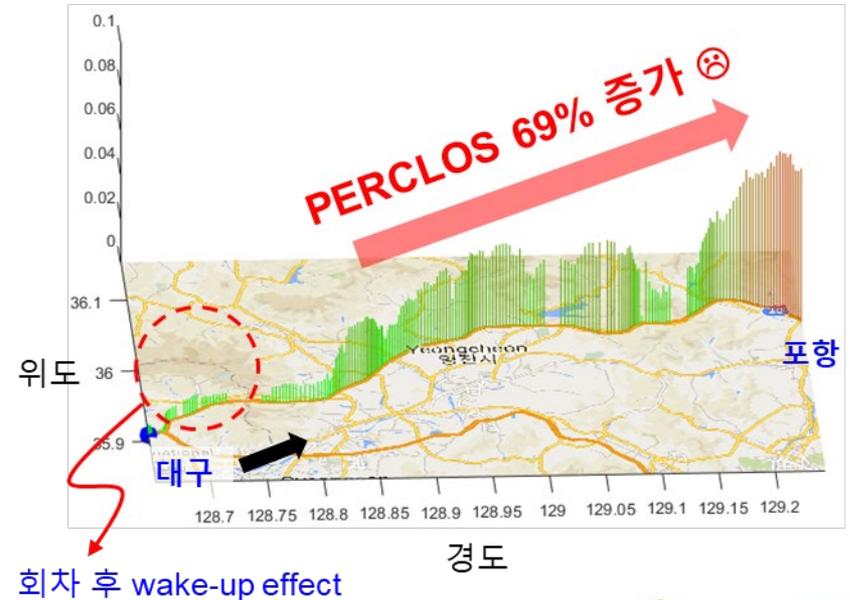
주행 전반

PERCLOS



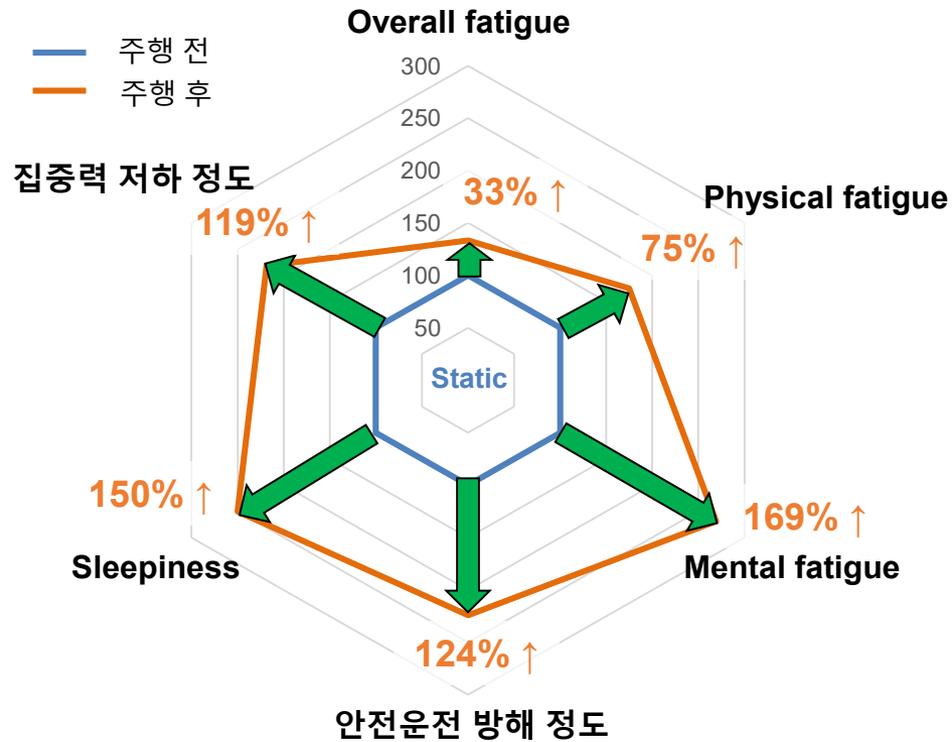
주행 후반

PERCLOS



# 예비 평가 결과: 주관적 피로도

□ 주행 전 대비 주행 후 피로도 증가 (33% ~ 169%)



## □ 운전자 피로도 평가 척도 및 실차 주행 평가 protocol 문헌 조사

- ✓ 운전자 피로 발생 mechanism 확인
- ✓ 주행 평가 환경(simulation, 실차)에 따른 실험참여자 모집 인원 및 참여 제한 사항
- ✓ Passive TR fatigue 유발을 위한 주행 환경(e.g., 고속도로)
- ✓ 주행 피로에 따른 (1) 정신적 피로도, (2) 주행 능력, (3) 주관적 피로도 척도별 경향성 검토

## □ 평가 protocol 개발, 예비 평가

- ✓ 실차 주행 중 운전자의 passive TR fatigue 평가 protocol 구축
- ✓ 운전자 행동 변화를 통한 정신적 피로도 평가 기준 수립
- ✓ 주행 피로에 따른 운전자 정신적 피로도, 주행 능력, 주관적 피로도 변화 확인

## □ Limitations

- ✓ 운전자 passive TR fatigue 평가에만 적용됨
- ✓ 운전자의 피로를 사전에 예측하지 못함
- ✓ 평가 measure들에서 측정된 data를 통합하여 획득하지 못함

## □ Applications & 추후 연구

- ✓ 기존 simulation 기반 평가의 실차 환경 validation
- ✓ 사전에 운전자의 피로를 저감하는 system 평가

경청해 주셔서 감사합니다.

