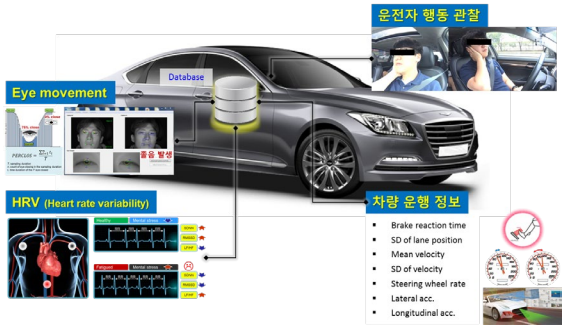
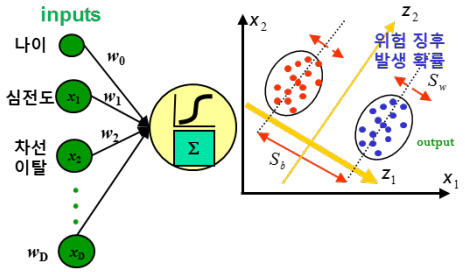
운전자 생체 신호 및 차량 주행 정보를 활용한 실차 주행 중 운전자 피로도 분석





이승훈, 김민재, 고정배, 오지현, 유희천

Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

Contents

- **Introduction**
  - 연구 배경
  - 연구 목적
- **실차 주행 평가**
  - 실험 참여자
  - Experimental Protocol
  - 운전자 피로도 분석 절차
- **Results**
  - 운전자 피로에 의한 척도별 경향성
  - 운전자 피로 판별 모형
- **Discussion**

Driving Fatigue 유형: Active TR vs. Passive TR

Active task-related (TR) fatigue

- Increased task load
- High density traffic
- Poor visibility

Passive TR fatigue

- Monotonous driving
- Extended driving
- Assisted driving (cruise control system)

Aggravating

Sleep-related (SR) fatigue

- Time of the day (circadian effects)
- Sleep deprivation
- Sleep restriction
- Sleep disorders

Driving Performance ⇓

Crash risk ⇑

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

- 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 주행 차량의 Passive TR Fatigue

- 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 (i.e., 차선 위치의 변동) ↑, 반응 시간 ↑
  - ✓ 주관적 피로도 ↑

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

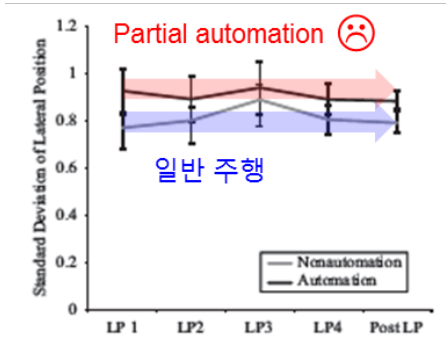


Figure 4. Standard deviation of five lateral positions (LPs) for both experimental groups. Error bars are standard errors.

Reaction time

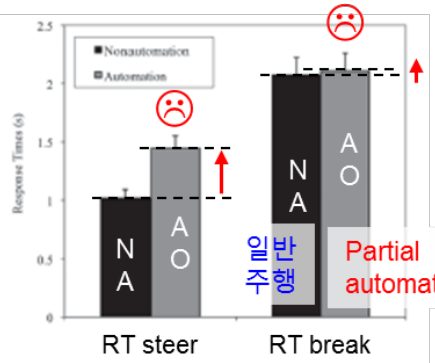
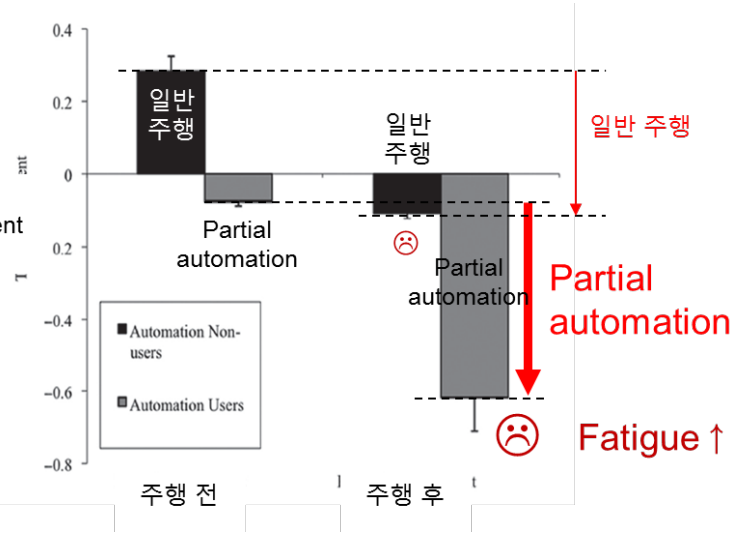


Figure 5. Response times (RTs) for steering and braking in the automation optional and nonautomation conditions. Error bars are standard errors.

Task engagement



차량내 운전자 상태 측정 기술

- 주행 능력(e.g., lane position)과 생리신호(e.g., EEG)에 기반하여 졸음을 경고하는 시스템이 활발히 개발되고 있음

ABM Drowsiness Monitoring Device

Engine Driver Vigilance Telemetric Control System

차량 내부 sensor 장착

Mercedes-Benz Attention Assist

Driver fatigue monitor DD850

연구 목적

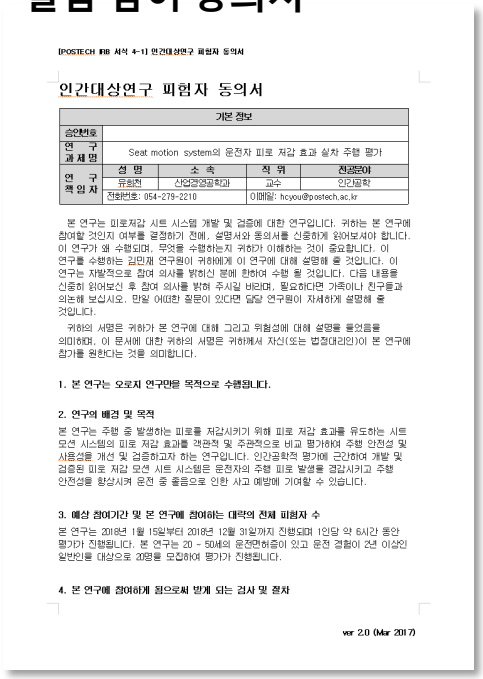
운전자 생체 신호 및 차량 주행 정보를 활용한
실차 주행 중 운전자 피로도 분석

- 운전자 피로 분석를 위한 실차 주행 평가 protocol 수립
- 실차 주행 평가 수행(n = 11)
- 피로에 의한 평가 척도(주행 능력, 생체 신호)별 경향성 분석
- 운전자 피로 판별 모형 개발

실험 참여자

- 인원: 20 ~ 50대 11명(남: 6, 여: 5)
- 모집 기준: (1) 운전 경력 2년 이상, (2) 심혈관계 질환이 없는 자, (3) 실험 당일 카페인 섭취 금지, (4) 실험 전날 4시간 이상 수면
- 실험의 위험성과 사고 대책에 대한 서면 고지

실험 참여 동의서



[POSTECH IRB 서식 4-1] 인간대상연구 피험자 동의서

인간대상연구 피험자 동의서

기본 정보				
승인번호				
연구과제명	Seat motion system의 운전자 피로 저감 효과 실차 주행 평가			
연구책임자	성 명	소 속	직 위	전공분야
	유희천	산업경영공학과	교수	인간공학
	전화번호: 054-279-2210		이메일: hcyou@postech.ac.kr	

본 연구는 피로저감 시트 시스템 개발 및 검증에 대한 연구입니다. 귀하는 본 연구에 참여할 것인지 여부를 결정하기 전에, 설명서와 동의서를 신중하게 읽어보셔야 합니다. 이 연구가 왜 수행되며, 무엇을 수행하는지 귀하가 이해하는 것이 중요합니다. 이 연구를 수행하는 김민재 연구원이 귀하에게 이 연구에 대해 설명해 줄 것입니다. 이 연구는 자발적으로 참여 의사를 밝히신 분에 한하여 수행 될 것입니다. 다음 내용을 신중히 읽어보신 후 참여 의사를 밝혀 주시길 바라며, 필요하다면 가족이나 친구들과 의논해 보십시오. 만일 어떠한 질문이 있다면 담당 연구원이 자세하게 설명해 줄 것입니다.

귀하의 서명은 귀하가 본 연구에 대해 그리고 위험성에 대해 설명을 들었음을 의미하며, 이 문서에 대한 귀하의 서명은 귀하께서 자신(또는 법정대리인)이 본 연구에 참가를 원한다는 것을 의미합니다.

1. 본 연구는 오로지 연구만을 목적으로 수행됩니다.

2. 연구의 배경 및 목적

본 연구는 주행 중 발생하는 피로를 저감시키기 위해 피로 저감 효과를 유도하는 시트 모션 시스템의 피로 저감 효과를 객관적 및 주관적으로 비교 평가하여 주행 안전성 및 사용성을 개선 및 검증하고자 하는 연구입니다. 인간공학적 평가에 근간하여 개발 및 검증된 피로 저감 모션 시트 시스템은 운전자의 주행 피로 발생을 경감시키고 주행 안전성을 향상시켜 운전 중 졸음으로 인한 사고 예방에 기여할 수 있습니다.

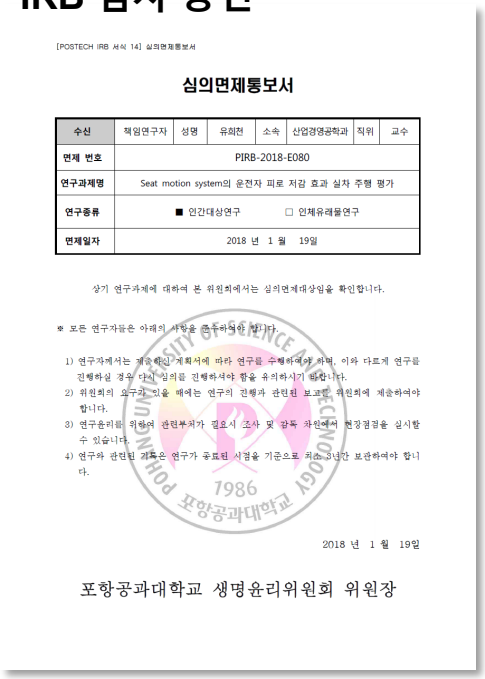
3. 예상 참여기간 및 본 연구에 참여하는 대략의 전체 피험자 수

본 연구는 2018년 1월 15일부터 2018년 12월 31일까지 진행되며 1인당 약 6시간 동안 평가가 진행됩니다. 본 연구는 20 ~ 50세의 운전면허증이 있고 운전 경험이 2년 이상인 일반인을 대상으로 30명을 모집하여 평가가 진행됩니다.

4. 본 연구에 참여하게 됨으로써 받게 되는 검사 및 절차

ver 2.0 (Mar 2017)

IRB 심사 승인



[POSTECH IRB 서식 14] 심의면제통보서

심의면제통보서

수신	책임연구자	성명	유희천	소속	산업경영공학과	직위	교수
면제 번호	PIRB-2018-E080						
연구과제명	Seat motion system의 운전자 피로 저감 효과 실차 주행 평가						
연구종류	■ 인간대상연구 □ 인체유래물연구						
면제일자	2018 년 1 월 19일						

상기 연구과제에 대하여 본 위원회에서는 심의면제대상임을 확인합니다.

※ 모든 연구자들은 아래의 사항을 준수하여야 합니다.

1) 연구자께서는 제출하신 계획서에 따라 연구를 수행하여야 하며, 이와 다르게 연구를 진행하실 경우 다시 심의를 진행하셔야 함을 유의하시기 바랍니다.
2) 위원회의 요구가 있을 때에는 연구의 진행과 관련된 보고를 위원회에 제출하여야 합니다.
3) 연구윤리를 위하여 관련부처가 필요시 조사 및 감독 차원에서 현장점검을 실시할 수 있습니다.
4) 연구와 관련된 기록은 연구가 종료된 시점을 기준으로 최소 3년간 보관하여야 합니다.

2018 년 1 월 19일

포항공과대학교 생명윤리위원회 위원장

주행 평가 환경

- **교통량:** 9:00 AM ~ 18:00 PM에서 포항-대구 고속도로의 교통 혼잡도 낮음
  - ✓ 평균 통행시간/자유류 통행 시간(≤ 1: 원활): 0.88 ~ 1.06
  - ✓ 포항-대구 통행 시간 평균: 48분(자유류 통행 시간: 46분)

- **평가 시간대:** 12:00 ~ 18:00 PM를 포함

  ⇐ 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

- **실험 중단:** 주행 안전에 영향이 있는 경우 운전자 또는 진행자에 의해 평가 중단

  (실험참여자가 주행을 지속할 수 없다고 판단되는 경우)

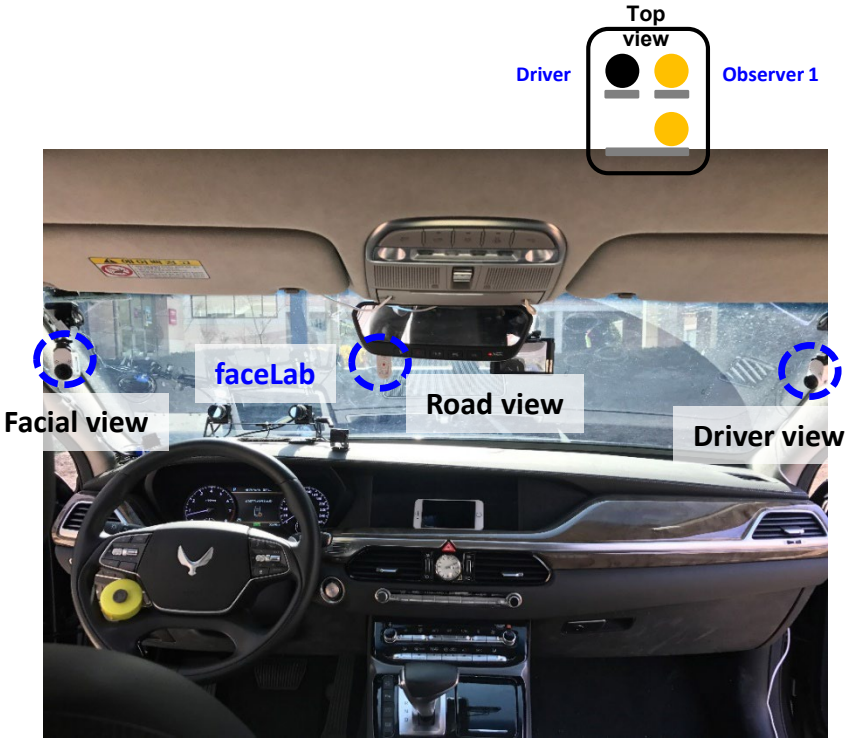
주행 평가 Task

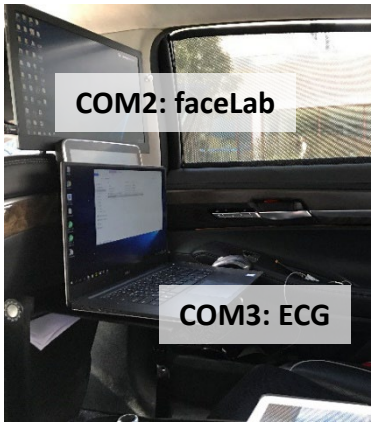
- 교통량이 적은 단조로운 고속도로 환경에서 주행
  - ✓ 경로: 포항 TG (출발) → 팔공산 IC 부근 (회차) → 포항 TG (도착)
  - ✓ 거리: 139.9 km (소요 시간: 약 90분)
  - ✓ 속도: 약 100 ± 10 km/h 유지
  - ✓ 주행 차로: 2차선 유지(교통 흐름에 방해를 받는 경우 차선 변경하여 주행 가능)

회차 지역(약 300m, 1분 소요)

실차 평가 환경 및 실험 장비

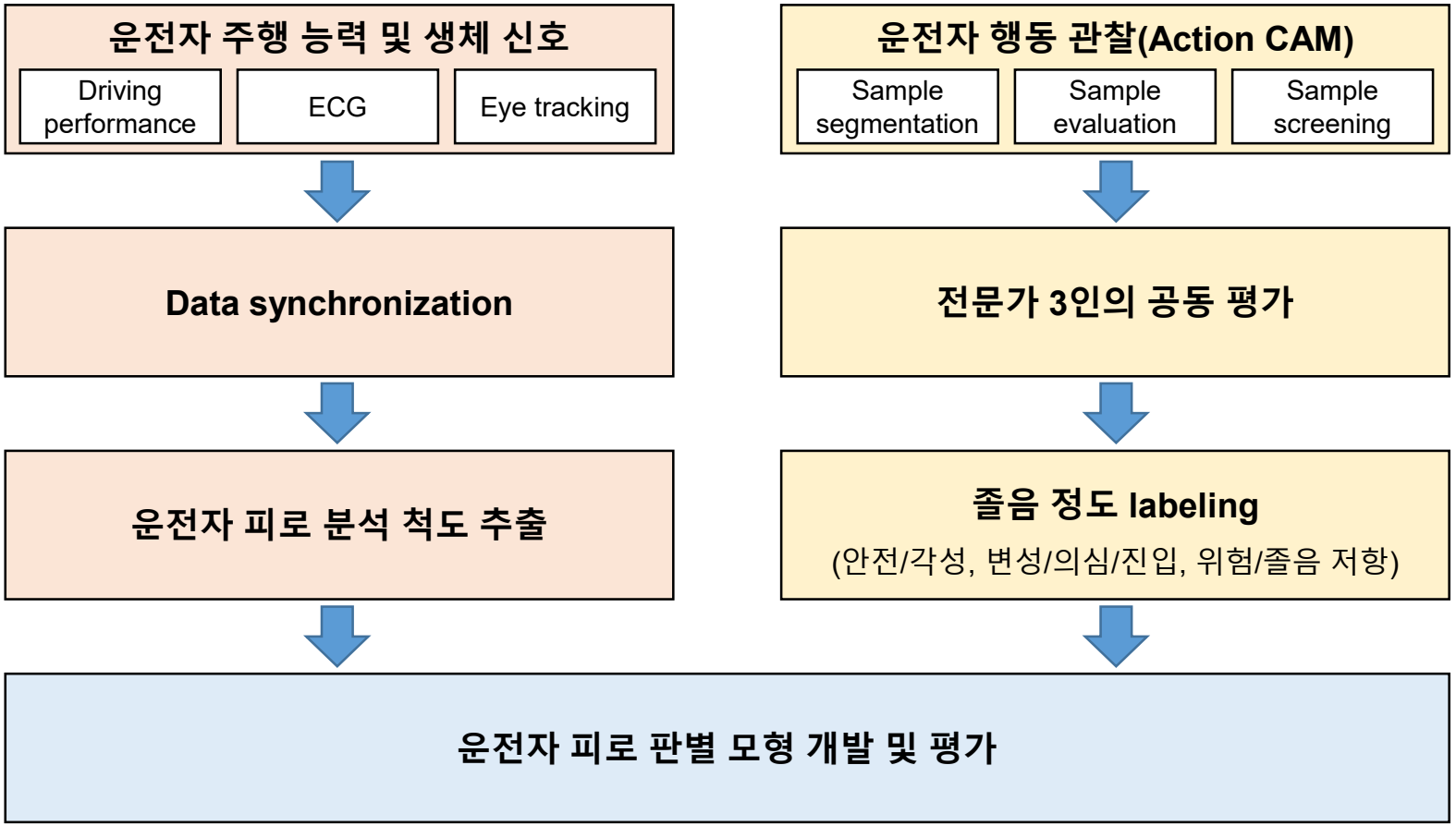
- **CAN 통신**(VN 1630A, Vector, Germany): 차량 주행 정보
- **faceLAB** (Seeing machine, EKSTREM): eye tracking
- **ECG** (Noraxon Telemyo DTS, Noraxon Inc., USA): 심전도 측정
- **Action CAM** (HDR-AS200, SONY, Japan): 운전자 행동 관찰





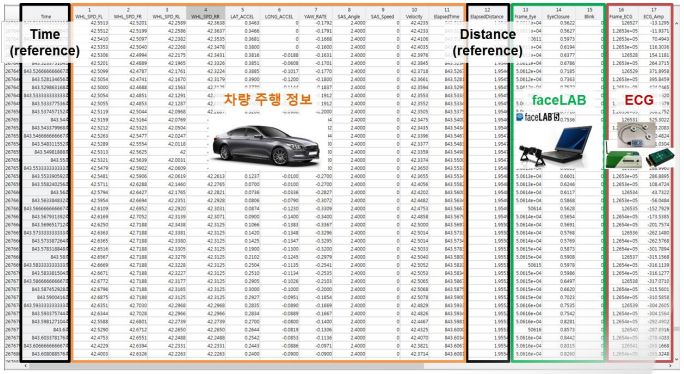
운전자 피로 분석 절차

- 운전자 피로 분석 및 판별 모형 개발 framework



분석 절차: 운전자 피로 분석 척도 추출

- 일정 간격(1 km)의 주행 구간별 운전자 피로 분석 척도 추출
- 끼어들기, 사고 구간, 급 제동 등과 주행 시작 직후와 종료 직전 구간 분석 제외



주행 구간별 피로 척도

Driving performance

faceLAB

			73015	83273	15.0350	5.9218	0.1749	1.0578	-0.2901	0.5478	-1.0590	15.5583	63.1771	63.1041	753.5054	77.6402	22.1964	22.4928	79.1876	112.4570	0.7042	4.6767
13	1.2000		83273	221933	1.1074	3.7282	0.0080	0.2380	-0.0603	0.1921	0.4090	3.9531	15.8371	51.6821	780.5881	76.6357	71.9389	81.6331	2.0568e+03	943.3719	2.1803	2.7325
14	1.3000	1.4000	221933	233415	0.2155	4.8905	-0.3997	0.8390	-0.2074	0.5814	-1.3721	12.8731	73.6788	38.6170	857.6774	68.7446	192.8538	271.8053	4.6496e+03	1.4693e+04	0.3186	0.2685
15	1.4000	1.5000	233415	247789	0.3137	3.3359	-0.1644	0.4144	-0.0700	0.6162	-0.5700	5.6162	15.8700	15.8700	805.9833	71.2378	66.3917	83.8383	770.7255	1.8034e+03	0.4276	0.1698
16	1.5000	1.6000	247789	251868	36.8049	2.3794	0.1	0.2239	-0.2	0.3982	-0.5421	0.7963	4.6503	6.5033	733.9487	79.6731	36.1022	31.5952	274.2929	338.3129	0.8108	0
17	1.6000	1.7000	251868	256259	35.0113	5.0208	0.2130	0.2488	0.2667	0.3895	-0.2966	0.2845	2.2	3.6270	842.1818	64.2023	59.2022	44.6368	1.0331e+03	1.0799e+03	0.9567	0.0484
18	1.7000	1.8000	256259	260200	38.9258	4.1631	0.1638	0.2106	-0.5138	0.5001	-0.2840	0.2651	1.5115	3.0328	819.8667	61.2833	57.1	37.7884	1.0072	778.46	1.2947	0.1698
19	1.8000	1.9000	260200	265281	30.2207	4.1811	0.1112	0.2924	-0.1290	0.7148	-0.5116	1.0123	3.9005	5.6697	819.5381	68.2994	156.4947	269.0271	1.5116e+03	9.9280e+03	0.1523	1.3102
20	1.9000	2	265281	269402	37.2484	5.1613	0.1330	0.1768	0.3152	0.7699	-0.4041	0.2656	1.5399	3.3717	819.5152	68.2994	156.4947	269.0271	1.5116e+03	9.9280e+03	0.1523	1.4989
21	2	2.1000	269402	275509	24.9086	8.1267	0.1289	0.1467	-0.5464	0.4663	-0.3122	0.2359	1.0046	3.2869	832.6667	66.3778	29.4080	28.8275	202.5933	347.7322	0.5826	3.1949
22	2.1000	2.2000	275509	289843	9.9006	4.9528	0.1671	0.1374	-0.0970	0.4156	-0.1895	0.8193	9.7602	23.8107	803.1545	73.2928	57.1637	82.1680	862.8391	2.0408e+03	0.4228	6.0956

Velocity | Lateral Acc. | Longitudinal Acc. | Yaw Rate | Steering wheel Rate

IBI | HR | SDNN | RMSSD | LF | HF | LF/HF

PERCLOS

구간
(1 km 간격)

HRV

분석 절차: 피로 발생 구간 탐색

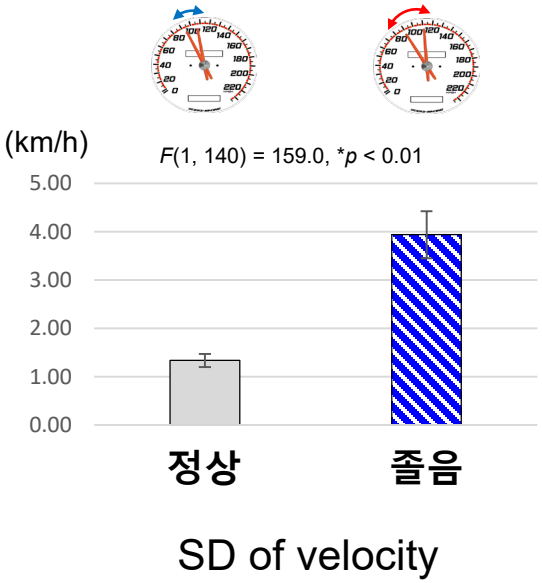
- 선행 연구 참조하여 졸음 단계별 운전자 행동 파악(예: Epworth, Stanford 졸음 척도)
- 연구진 3인의 공동 평가를 통해 정상, 졸음 판별

	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	▪ 안정된 주기 깜빡임	▪ 눈에 힘을 줌/눈썹 치켜 올림 ▪ 깜빡임 빈도 ↑	▪ 눈꺼풀이 반 이상 감김
고개/얼굴	▪ 정면 유지	▪ 좌우로 흔듦 ▪ 얼굴 찡그림	▪ 고개 떨굼
입	▪ 입을 닫은 상태 ▪ 입을 벌려도 곧바로 닫음	▪ 하품/큰 숨 호흡 ▪ 아! 소리를 냄	▪ 2초 이상 입을 벌린채 유지
손	▪ Steering wheel, gear, 다리 위에 둠	▪ 코나 입을 만짐 ▪ 머리 긁음	▪ Steering wheel에서 떨어짐
자세	▪ 정 자세 ▪ 자세를 틀어도 정자세로 돌아옴	▪ 한 쪽으로 처짐 ▪ 들썩거림	▪ 정상 운전을 하지 못하는 상태 (예: 차선 유지, 속도 유지)

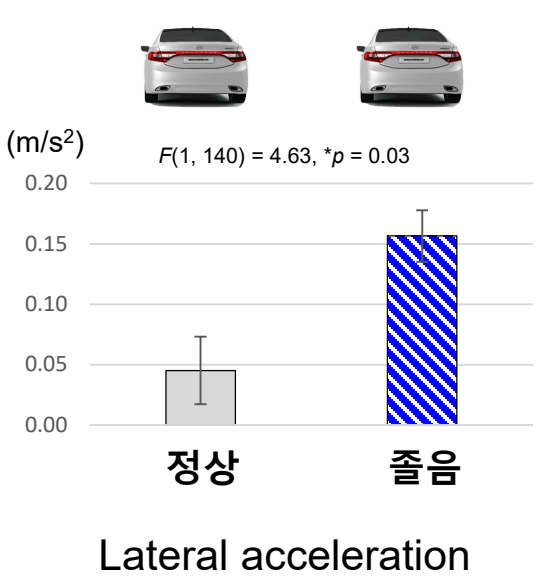
피로 경향: Driving Performance

- 정상 대비 졸음 시 속도 편차, 횡가속도, yaw rates가 평균적으로 약 3.0배 증가
  - ✓ **SD of velocity**: 정상(1.34 ± 0.14 km/h) 대비 졸음(3.94 ± 1.49 km/h) 시 2.9배 증가
  - ✓ **Lateral acceleration**: 정상(0.05 ± 0.03 m/s^2) 대비 졸음(0.16 ± 0.02 m/s^2) 시 3.5배 증가
  - ✓ **Yaw rates**: 정상(0.08 ± 0.18 rad/s) 대비 졸음(0.20 ± 0.09 rad/s) 시 2.5배 증가

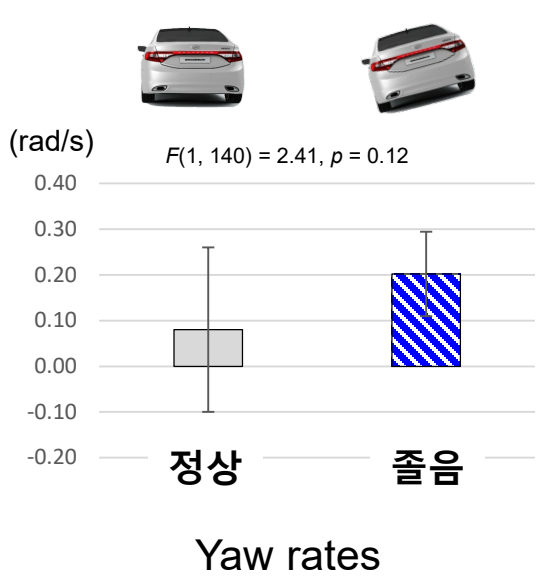
I *SE*



SD of velocity



Lateral acceleration



Yaw rates

* Significance α = 0.05

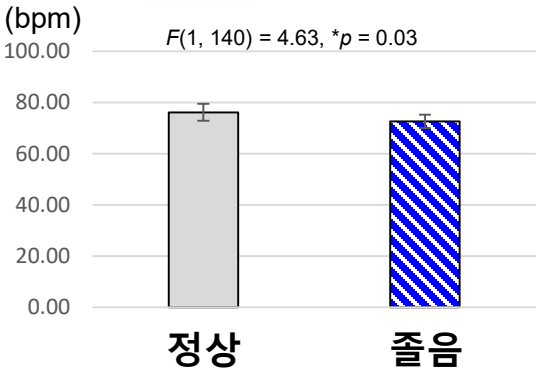
피로 경향: ECG

- 정상 대비 졸음 시 심박수 감소, 심장 박동의 변이 증가, 교감 신경계 작용 감소
  - ✓ **Heart rates**: 정상(76.20 ± 3.35 bpm) 대비 졸음(72.62 ± 2.59 bpm) 시 1.05배 감소
  - ✓ **SDNN**: 정상(20.36 ± 1.62 ms) 대비 졸음(82.50 ± 17.44 ms) 시 4.1배 증가
  - ✓ **LF/HF**: 정상(4.12 ± 0.80) 대비 졸음(1.47 ± 0.46 rad/s) 시 2.8배 감소

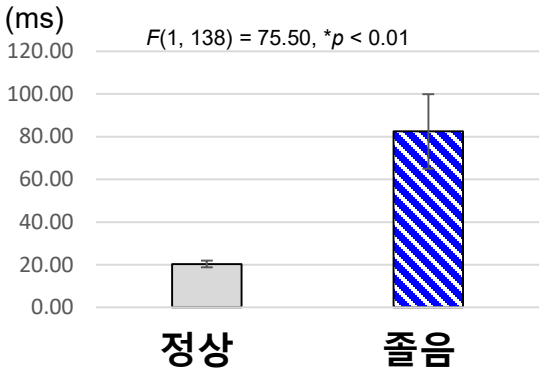
I *SE*

균일 불균일

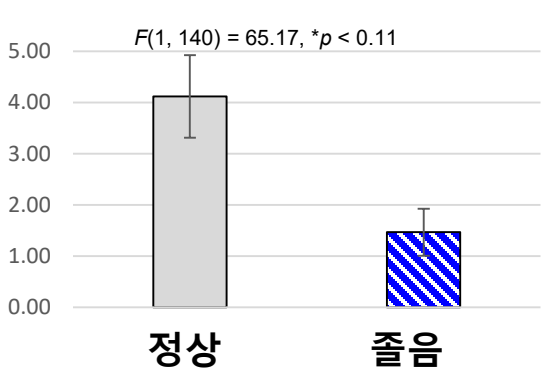
교감 > 부교감



Herat rates



SDNN



LF/HF

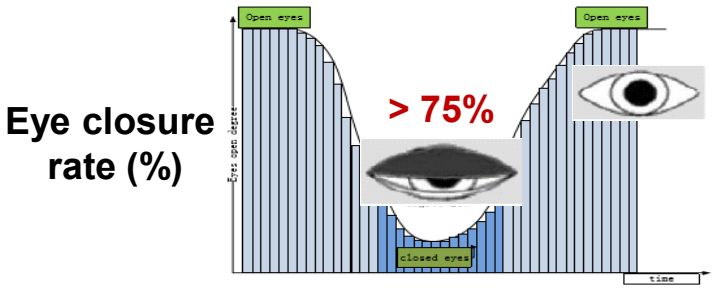
* Significance α = 0.05

피로 경향: PERCLOS

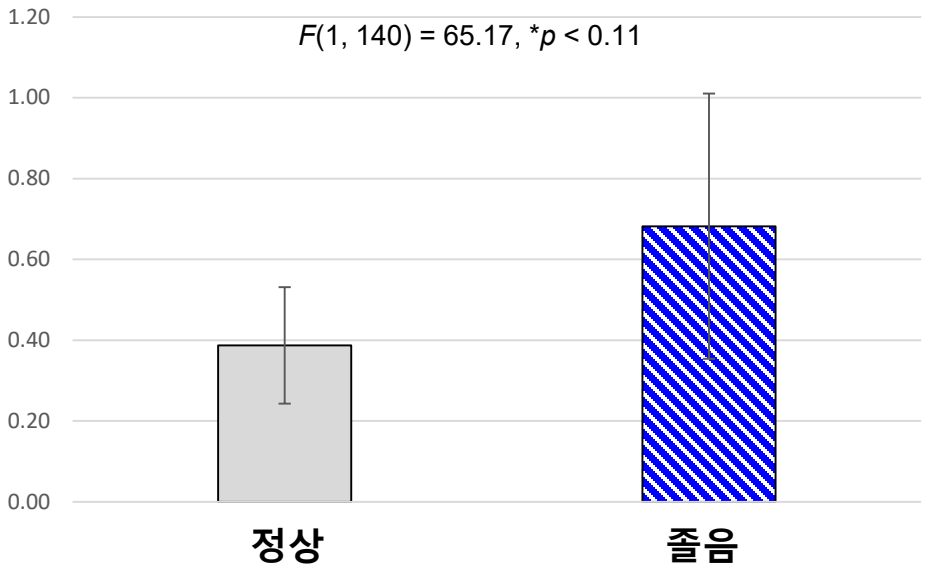
- 정상(0.39 ± 0.14) 대비 졸음(0.68 ± 0.33) 시 PERCLOS가 1.8배 증가
  - ✓ 주행 중 눈꺼풀이 75% 이상 감긴(blinking 제외) 구간의 비율
  - ✓ Fatigue ⇑ → Eye closure rate (%) ≥ 0.75 비율 ⇑

PERCLOS (%)

Percentage of eye closure rates



I SE



* Significance α = 0.05

운전자 피로 판별 모형

- 모든 평가 척도를 사용한 경우 판별 성능이 92.9%로 가장 높음
  - ✓ Classification learner: support vector machine
  - ✓ Data: 141개 중 약 80% (113개)를 무작위로 선별, 나머지는 성능 평가에 사용

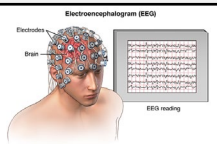
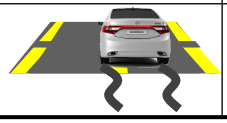
Features			Expert Classification	Detection Results		Overall performance
Driving	ECG	PERCLOS		Awake	Drowsy	
○	-	-	Awake	92.0%	8.0%	**88.5%**
			Drowsy	14.0%	86.0%	
○	○	-	Awake	98.0%	2.0%	**91.2%**
			Drowsy	14.0%	86.0%	
○	○	○	Awake	98.0%	2.0%	**92.9%**
			Drowsy	11.0%	89.0%	

- 평가 성능: 92.9%

	Awake	Drowsy
Awake	93.8%	6.3%
Drowsy	8.3%	91.7%

Discussion

- **피로에 의한 평가 척도별 경향성 분석**
  - ✓ 운전자의 **주행 능력 감소**, 심장 박동의 **변이 증가**, **눈꺼풀이 감긴 구간 증가**
  - ✓ **실차 주행**에서도 선행 연구에서 파악된 **피로에 의한 척도별 증감 경향이 동일하게 파악되었음**

Fatigue Assessment Tools		Measures	Tendency	Reference
Physiological Indicators	EEG 	α band β band δ band θ 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
	ECG	**Heart rate (HR)** NN interval (IBI) **SDNN** **LF/HF**	⇓ ⇓ ⇓ ⇑	Oron-Gilad et al., 2008; Ahsberg et al., 2000; Lai and Craig, 2001; Patel et al., 2011
	EDA (Skin conductance)	Tonic SCR	⇓	Lim et al., 1996
Psychomotor and Mental Tests	PVT	Reaction time	⇑	Gunzelmann et al., 2011; Horrey and Wickens (2006)
Eye Movement	**EOG**	Amplitude Blinking rate Closing duration **PERCLOS**	⇓ ⇑ ⇑ ⇑	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**	⇑ ⇑ ⇑	Thiffault and Bergeron, 2010; He et al., 2011
	Lateral position control 	Lateral position Lateral velocity **Lateral acceleration**	⇑ ⇑ ⇑	Pilutti and Ulsoy, 1999; Thiffault and Bergeron, 2010

Discussion

- **운전자 피로 평가/분석 protocol 정립**
  - ✓ 실차 주행 시 피로에 의해 **민감하게 변화하는 유관 척도와 피로 경향성 분석**
  - ✓ 주행 수행도와 생리학적 신호를 **종합적으로 고려한 피로 평가/분석**

❑ **Applications**

- ✓ 운전자의 피로도를 **조기에 파악하여 교통 사고 발생 예방에 기여**
- ✓ 특히, **대형 운송 차량**(예: 버스, 화물 트럭) 운전자의 **졸음 운전은 빈번히 발생**하며, 일단 사고가 발생하면 **매우 큰 인명피해를 야기**하므로 적용성이 높음
- ✓ 자율 주행 차량에서 **운전자의 상태에 따라 제어권 전환 여부 판별**