포항공과대학교
산업경영공학과

DGIST

Ergonomic Design
Technology Lab

운전 생체 신호 및 운전 수행도 분석 system 개발

이원섭[1], 박장운[1], 김수진[1], 윤성혜[1], Xiaopeng Yang[1], 유희천[1]
손준우[2], 이용태[2], 김만호[2]

[1]포항공과대학교 산업경영공학과
[2]대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터

Global Contributor to Eco-Techno-Humanopia

목 차

- 연구 배경 및 목적
- 운전 생체 신호
- 분석 protocol 개발
- 분석 시스템 개발
- 토의

연구 배경

- **교통환경의 복잡화** 및 자동차 human-machine interface (HMI) 발전에 따른 **운전자의 습득 정보 다양화** ⇒ 운전 부하(driving workload) 증가 ⇒ 집중력 및 상황 파악 능력 저해

- 안전하고 편리한 운전을 위한 **운전 부하 경감이 중요**

- **운전 생체 신호 분석 기반**의 운전 부하 예측 및 부하 경감에 관한 연구 필요

기존 연구 현황

- **생체 신호 측정 및 분석 연구**
  - 자동차 운전와 항공기 조종 시의 생체 신호 분석 (Verwey and Veltman, 1996; Boucsein et al., 2007; Perala and Sterling, 2007)
  - 지표간 독립성이 우수하고 측정이 용이한 **심박변화(HRV), 피부전기활동(skin conductance)**이 주로 사용됨 (박준영 외, 2003)

Experienced vs. less-experienced

Yao et al. (2008)

Perala and Sterling (2007)

기존 연구 현황 (계속)

신체적 작업부하 평가 시스템 (REBA)

EEG 분석을 통한 작업부하 파악

- **작업부하(workload) 측정 및 분석 연구**
  - **신체적 작업부하**: OWAS (Karhu et al., 1977), RULA (McAtamney et al., 1993)
  - **정신적 작업부하 주관적 측정**: NASA-Task Load Index (NASA-TLX; Hart and Staveland, 1988), Subjective Workload Assessment Technique (SWAT; Reid et al., 1982)
  - **정신적 작업부하 객관적 측정**: 뇌파(EEG), 심전도(ECG), 호흡수(respiration rate) 등

종합적 작업부하 평가 시스템 개발 사례
천장 크레인 운전 작업부하 평가모델 개발 (권오채 외, 2007)

연구 목적

- **문헌 조사**를 통한 운전 생체 신호 분석 방법 종합 파악
  - 운전 생체 신호 분석 방법 조사
  - 운전 생체 신호 분석 기반의 운전 작업부하 분석 사례 조사

- 운전 생체 신호 **분석 protocol 개발**

- 운전 생체 신호 분석 protocol의 **system화**

운전 생체 신호 및 운전 수행도 측정 실험

- 실험 수행 기간: 2007년 8월 ~ 2008년 1월
- 피실험자: 20대와 60대 남녀 총 60명
- 측정 data
  - **운전 생체 신호**: Electrocardiogram(ECG), skin conductance level(SCL), respiration rate
  - **운전 수행도**: 속도 및 가속도, 차선 변경, 급정거, 사고 발생 수, 속도 위반 수 등

측정 Scenario

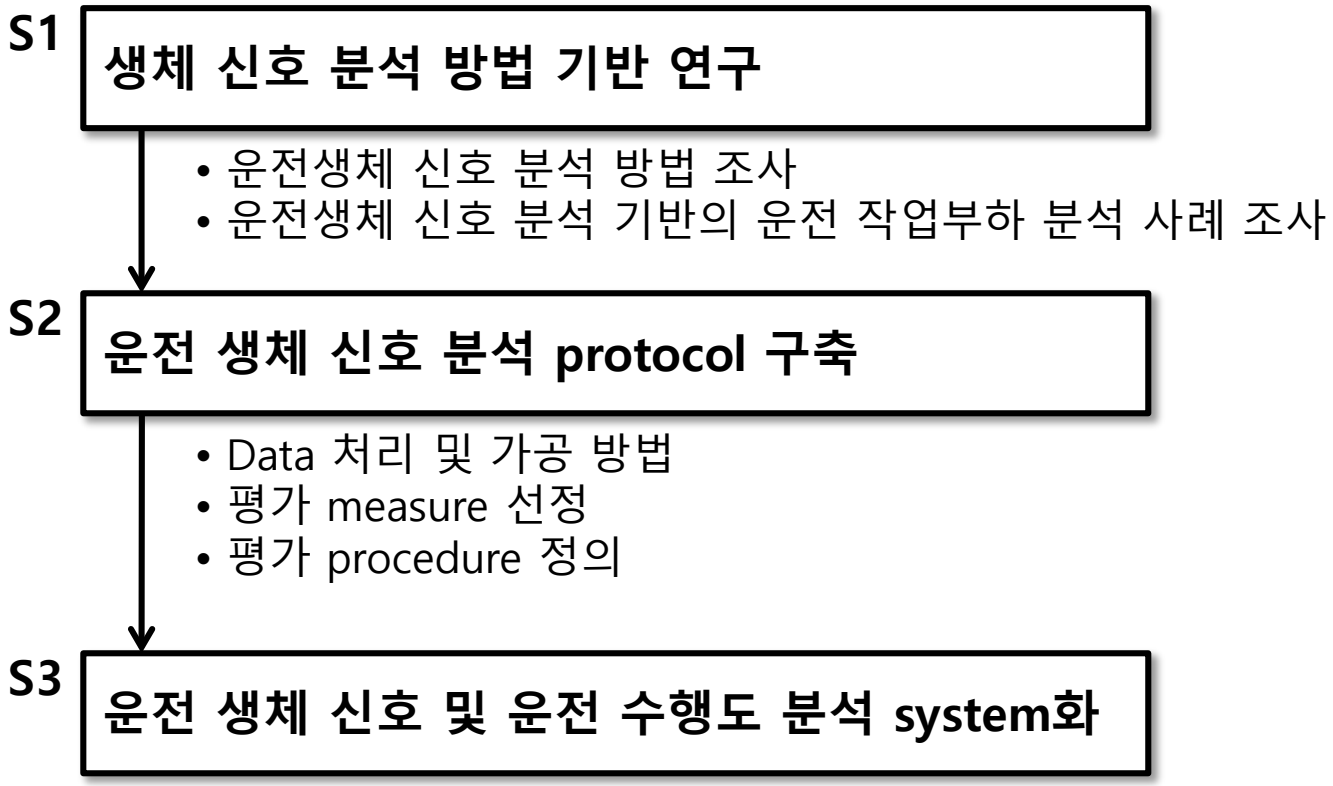
- Event type
  - **Driving events** (예: curve, hill, traffic light, construction zone, 돌발상황 등)
  - **Cognitive events**: city와 highway에서 각각 일정 시간 동안의 cognitive task 할당
- Scenario는 10개의 세부구간(예: urban, city, rural, highway 등)으로 구분
- 총 운전 거리: 226,500 ft (약 69 Km)

순번	Scenario 1	구간 거리(ft)	Scenario 2	구간 거리 (ft)
1	Pre-training	20,000	Pre-training	20,000
2	Urban 4	8,500	Urban 3	8,500
3	Urban 5	11,500	Rural 5	24,000
4	City 7	20,000	Highway 6	72,000
5	Urban 6	9,500	Rural 6	24,000
6	Boring 5	18,500	Boring 5	18,500
7	Rural 5	24,000	Urban 5	11,500
8	Highway 6	72,000	City 8	20,000
9	Rural 2	24,000	Urban 6	9,500
10	Boring 6	18,500	Boring 6	18,500

Cognitive event 발생

Cognitive event 발생

연구 추진 체계


S1
생체 신호 분석 방법 기반 연구
• 운전생체 신호 분석 방법 조사
• 운전생체 신호 분석 기반의 운전 작업부하 분석 사례 조사
S2
운전 생체 신호 분석 protocol 구축
• Data 처리 및 가공 방법
• 평가 measure 선정
• 평가 procedure 정의
S3
운전 생체 신호 및 운전 수행도 분석 system화

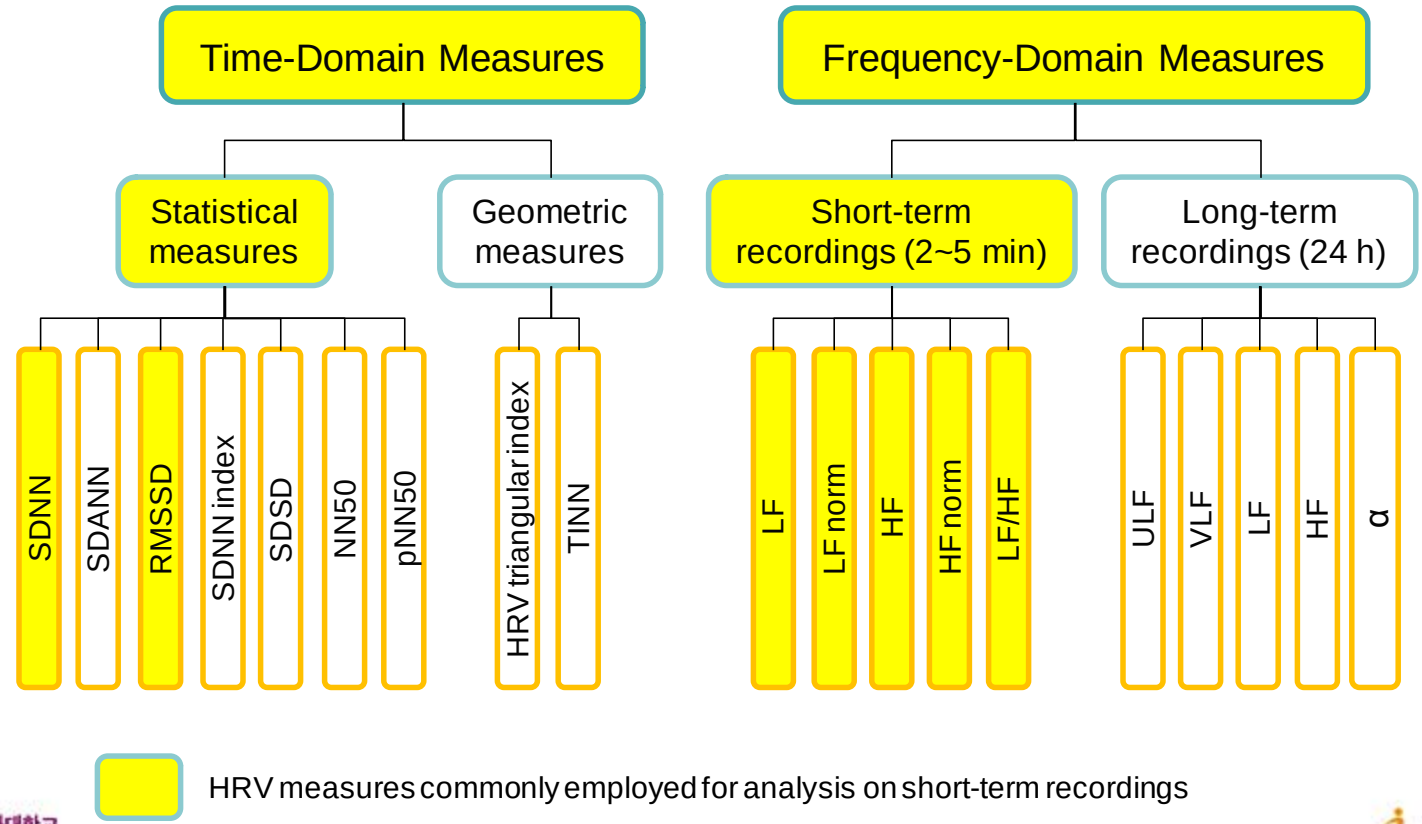
S1. 생체 신호 분석 방법 기반 연구

- Heart rate, respiration rate, skin conductance 관련 문헌 15편 review
- 생체 신호 분석 방법 및 분석 사례 파악
  - Data filtering (예: noise 및 이상치 제거)
  - Data transformation (예: ECG로부터 inter-beat interval (IBI) data를 추출)
  - Data 분석 및 해석 방법
- 생체 신호 범위

Bio-signal	Unit	Typical range for cognitive tasks	Possible range for extreme workload conditions
Heart rate	Beats/min	50 ~ 150	50 ~ 200
Skin conductance	Microsiemens	2 ~ 25	2 ~ 30
Respiration rate	Breaths/min	10 ~ 30	5 ~ 50

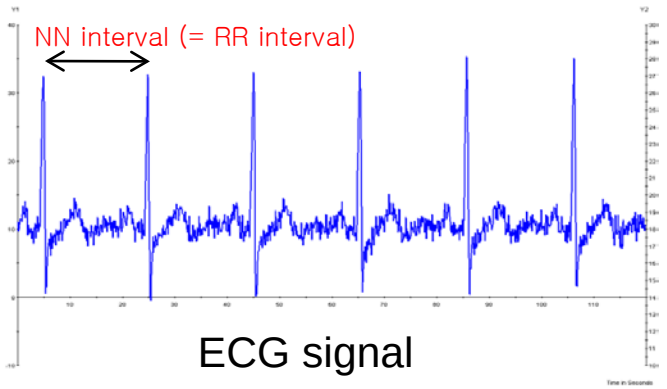
Heart Rate Variability (HRV) Measures

- Heart rate는 raw electrocardiogram(ECG) data로부터 분석이 용이한 유용한 변수들로 변환하여 사용
- 변환된 변수 예시

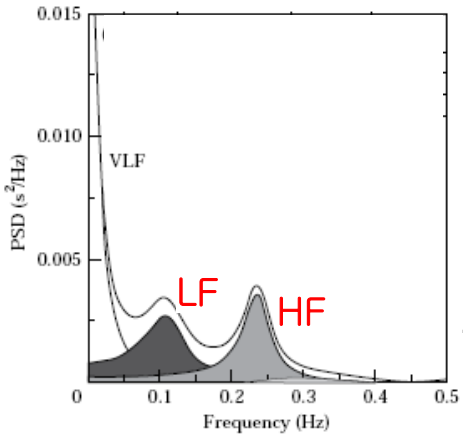


Representative HRV Measures

Category	Measure	Unit	Description
Time-domain measures	SDNN (SD_{NN})	ms	SD of all NN intervals
	RMSSD	ms	The square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent NN intervals
Frequency-domain measures	LF	ms^2	• Power in low frequency range (0.04 ~ 0.15 Hz) • Both sympathetic and parasympathetic origin
	HF	ms^2	• Power in high frequency range (0.15 ~ 0.4 Hz) • Parasympathetic origin
	LF/HF		• Ratio between LF and HF • Indicating sympatho-vagal balance ratio

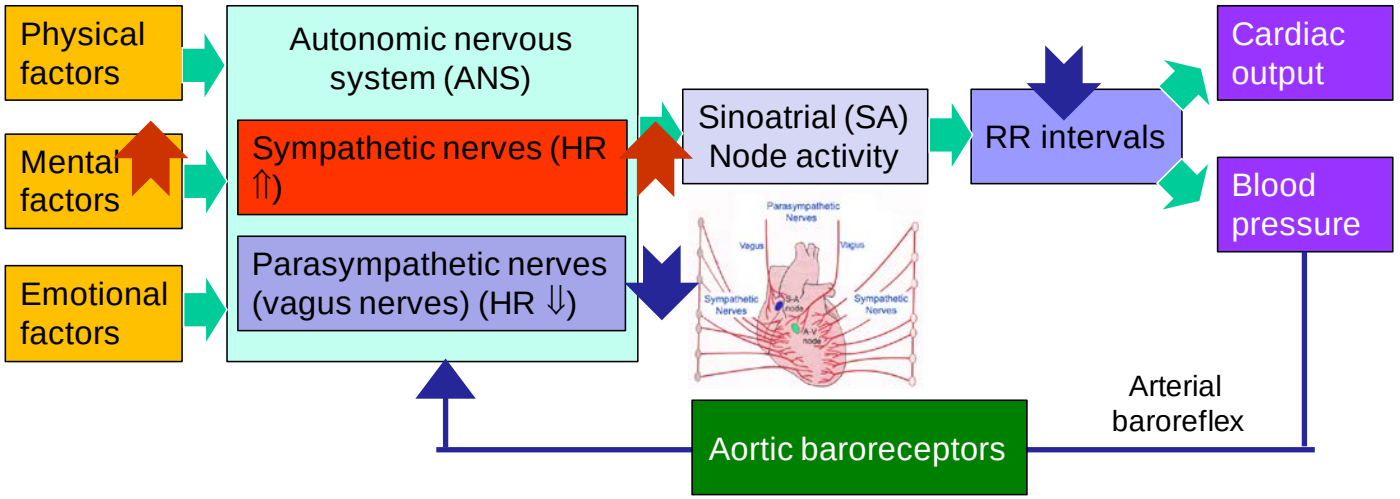


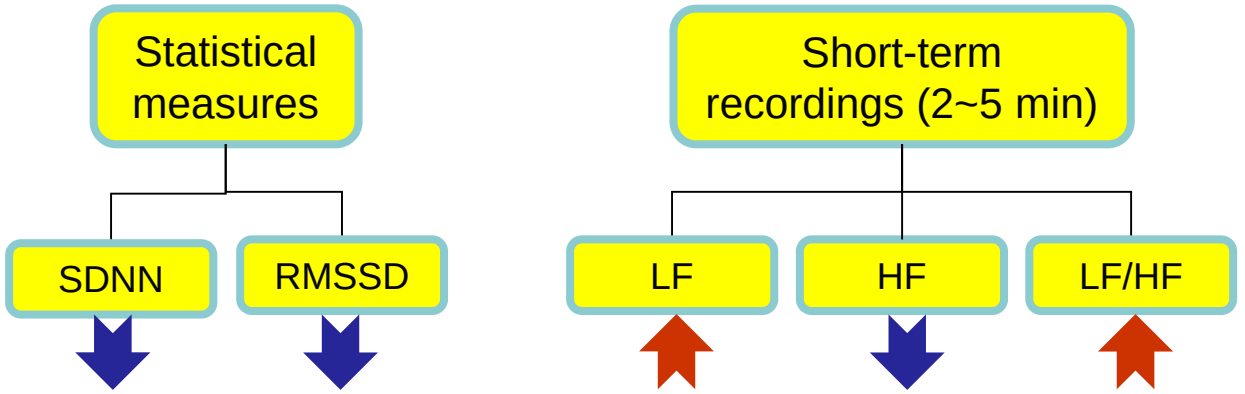
ECG signal



Transformed signal (frequency domain)

Effects of Cognitive Stress on HRV Measures





Data 분석 방법

ECG 측정

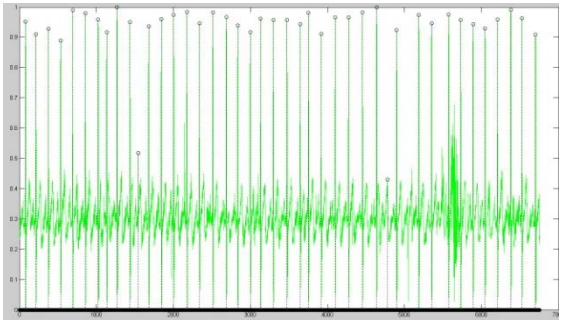
Raw ECG data

R-peak detection

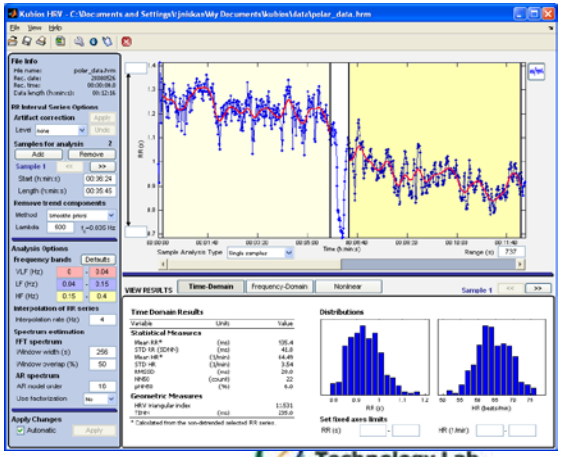
Inter-beat interval (IBI) data

HRV analysis

LIBROW™의 MATLAB open source를 이용하여 ECG로부터 R-peak 추출

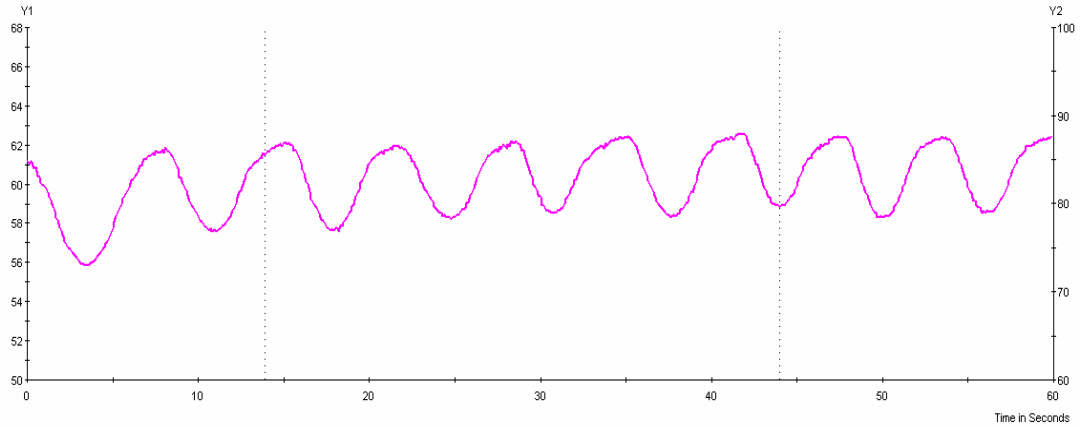


Free software인 Kubios-HRV를 이용하여 HRV, SDNN, LF/HF 도출



Respiration Rate

- Data 변환 없이 간단한 filtering 후 구간별 평균치를 활용하여 통계 분석 수행
  - Data filtering 방법 (Papp et al., 1997; Bloch et al., 1990)
    - ✓값이 3 std 밖인 경우 제거
    - ✓분당 호흡수가 일반적인 값보다 크거나(50 이상) 작은(10 이하) 경우 제거
  - Data 분석 방법
    - ✓분석 구간 간의 RR 평균치에 대한 significant difference 분석 (ANOVA)
    - ✓Workload ↑ ⇒ Respiration rate ↑



Skin Conductance Level (SCL)

- Data 변환 없이 간단한 filtering 후 구간별 평균치를 활용하여 통계 분석 수행
  - Data filtering 방법 (El-Sheikh, 2006; Lim et al., 1996; Mehler et al., 2008; Shimomura et al., 2008)
    - ✓유효 범위 2~30 microsiemens 이외 제거
    - ✓Signal의 fluctuation 파악 (그림 참조)
  - Data 분석 방법
    - ✓분석 구간 간의 SCL 평균치에 대한 significant difference 분석 (ANOVA)
    - ✓Workload ⇑ ⇒ SCL ⇑

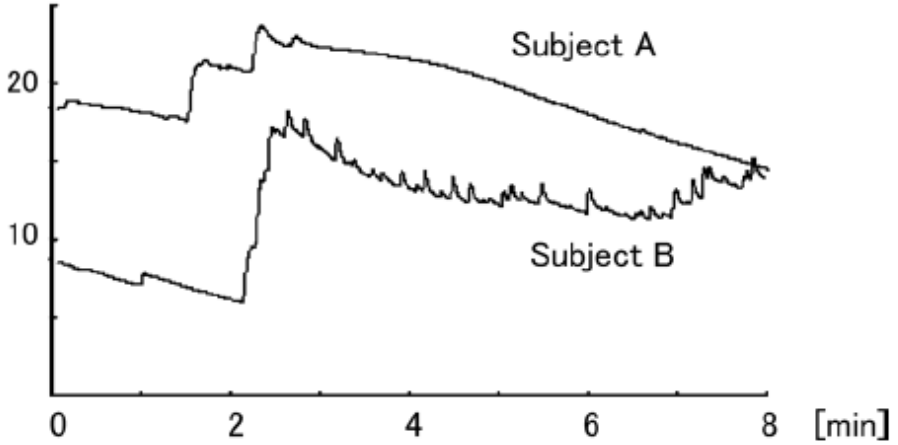
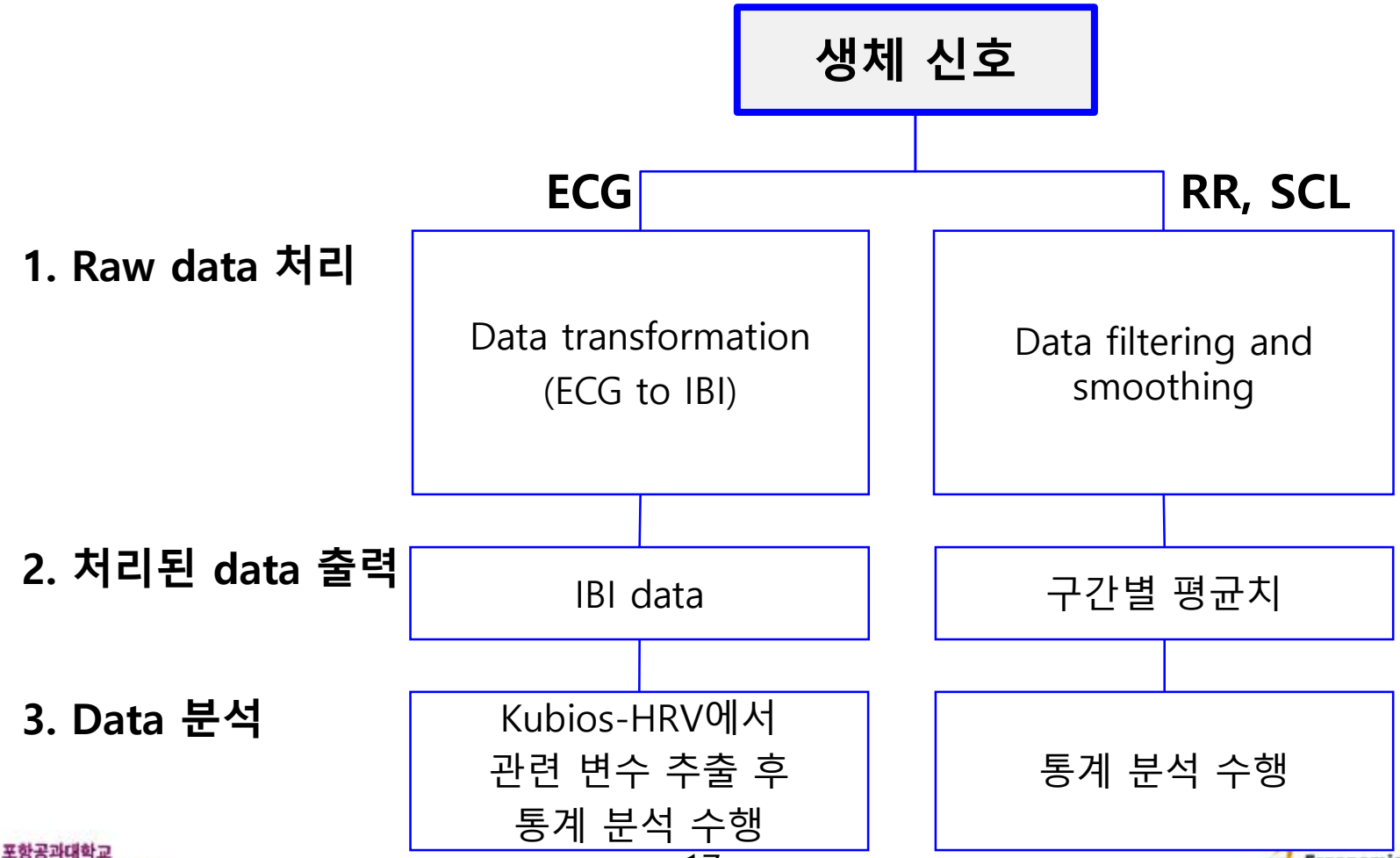


Fig. 4 An example of variation in SCR. Subjects A and B performed a task of the same difficulty in the present experiment. Transient variation in SCR components was clearly observed in subject B.

S2. 운전 생체 신호 분석 Protocol 구축

- 운전생체 신호 분석 방법 조사를 기반으로 생체 신호 분석 protocol 구축

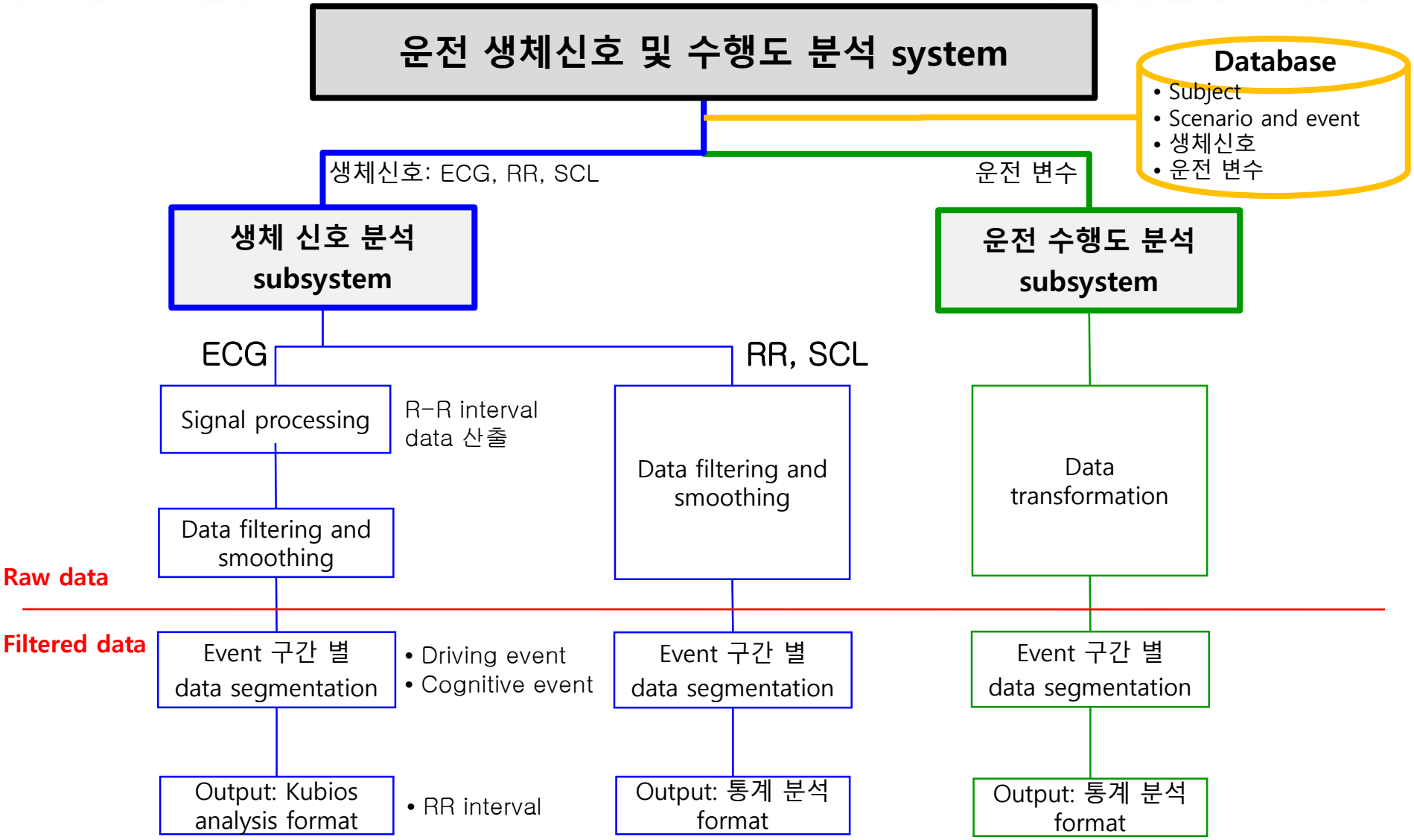


S3. 운전 생체 신호 및 운전 수행도 분석 System화

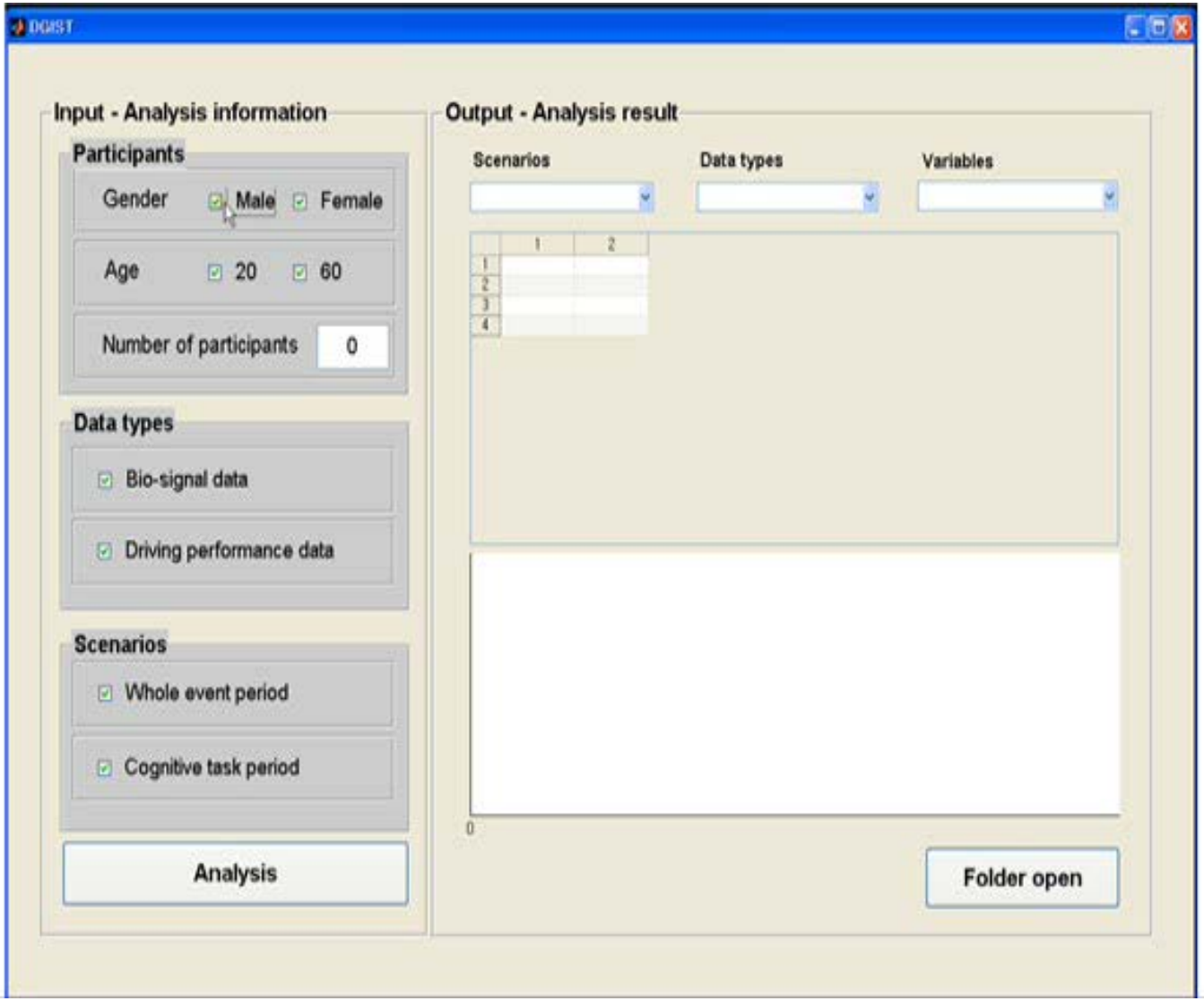
- **System 개발 목적**
  - 방대한 양의 data를 종합적이고 효과적으로 분석
    - ✓생체 신호 data: Heart rate variability, respiration rate, skin conductance
    - ✓운전 수행도 data: 14개 운전 수행도 관련 변수 (예: 속도, 차선 변경, 사고 발생 등)

      피실험자: 연령별, 성별 총 60명
    - ✓Scenario data: 10개 구간 65개 event 및 cognitive task event
    - ✓운전 시간: 1시간 내외
  - 분석 결과를 통계 분석이 가능한 format으로 data 출력

System 구조도


운전 생체신호 및 수행도 분석 system
Database
• Subject
• Scenario and event
• 생체신호
• 운전 변수
생체신호: ECG, RR, SCL
운전 변수
생체 신호 분석 subsystem
운전 수행도 분석 subsystem
ECG
RR, SCL
Signal processing
R-R interval data 산출
Data filtering and smoothing
Data filtering and smoothing
Data transformation
Raw data
Filtered data
Event 구간 별 data segmentation
• Driving event
• Cognitive event
Event 구간 별 data segmentation
Event 구간 별 data segmentation
Output: Kubios analysis format
• RR interval
Output: 통계 분석 format
Output: 통계 분석 format

System Demonstration



토 의

- 생체 신호 분석 방법 조사를 기반으로 **운전 생체 신호 분석 protocol 개발**
  - 지표간 독립성이 우수하고 측정이 용이한 **분석 생체 신호 선정**: heart rate, skin conductance, respiration rate
  - 정확하고 효과적인 분석을 위해 **data filtering** 및 **transformation** 방법 적용

- **운전 생체 신호 및 운전 수행도 분석 system 특성**
  - 방대한 양(예: ECG data는 250 Hz로 1시간 이상 측정)의 data를 분석자의 목적에 따라 **효과적**이면서 **간편**하게 분석
  - 생체 신호 분석 protocol 적용
  - 연령별, 성별, 운전 scenario의 구간별 운전 생체 신호 및 수행도의 **종합적 분석**
  - 효과적으로 통계 분석이 가능한 format으로 data 출력

- **HMI 설계 활용**

질의 응답

경청해 주셔서 감사합니다!