



ECG기반의 운전자별 인지 부하 평가 방법 개발

Development of an Evaluation Method for a Driver's Cognitive Workload Using ECG Signal

2011. 10. 21



Wongi Hong¹, Wonsup Lee¹, Kihyo Jung², Baekhee Lee¹, Suwan Park³,
Yunsuk Park³, Joonwoo Son³, Seikwon Park⁴, and Heecheon You¹

¹Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

²School of Industrial Engineering, University of Ulsan

³HumanLAB, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

⁴Department of Industrial Engineering, Air Force Academy

AGENDA

- Background
- Research Objectives
- Method
 - Cognitive Workload Measurement
 - AUC Analysis
- Results: Optimal Analysis Condition
- Discussion

연구 배경

□ 안전 운전 지원 기술



보행자 추돌방지 시스템(New S60, Volvo)

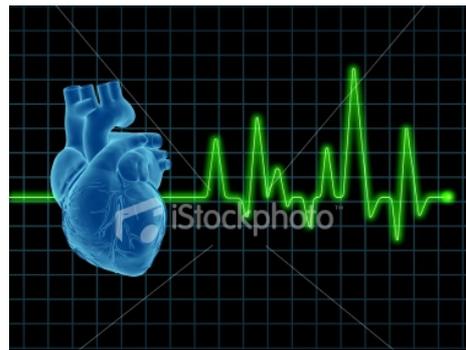


차선이탈 경보장치(Genesis, Hyundai Motor Company)

□ 심전도(electrocardiography; ECG)를 활용한 안전 운전 지원 기술



인지 부하 상승



심전도를 활용한
인지 부하 파악



안전 운전 지원

ECG 분석을 위한 정량화 척도

Mean IBI: 평균 심박 간격 Yao et al. (2008)

$$\frac{\sum_{i=1}^n (y_i)}{n}$$

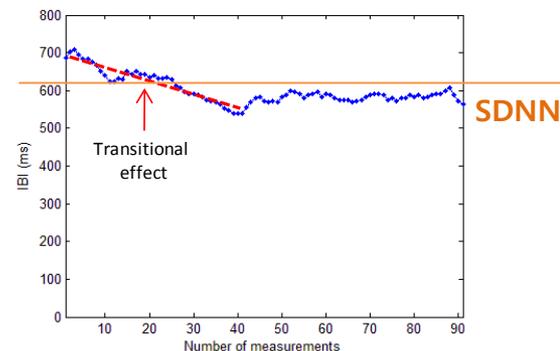
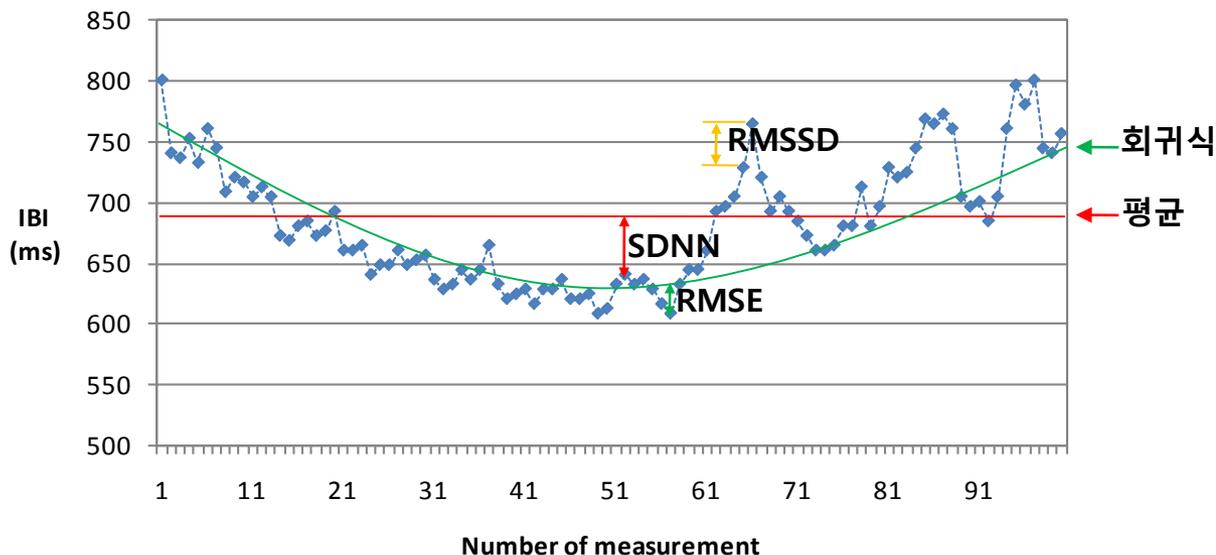


Interbeat interval (IBI) Mehler et al. (2009)

Variability measure $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i)^2}{n-1}}$

- SDNN: 평균 대비 편차 ($d_i = y_i - \bar{y}$) Wood et al. (2002), Schubert et al. (2002)
- RMSSD: 직전 data 대비 편차 ($d_i = y_i - y_{i-1}$) Gould et al. (2009)
- RMSE: 회귀 추정값 대비 편차 ($d_i = y_i - \hat{y}$) Lee et al. (2010)

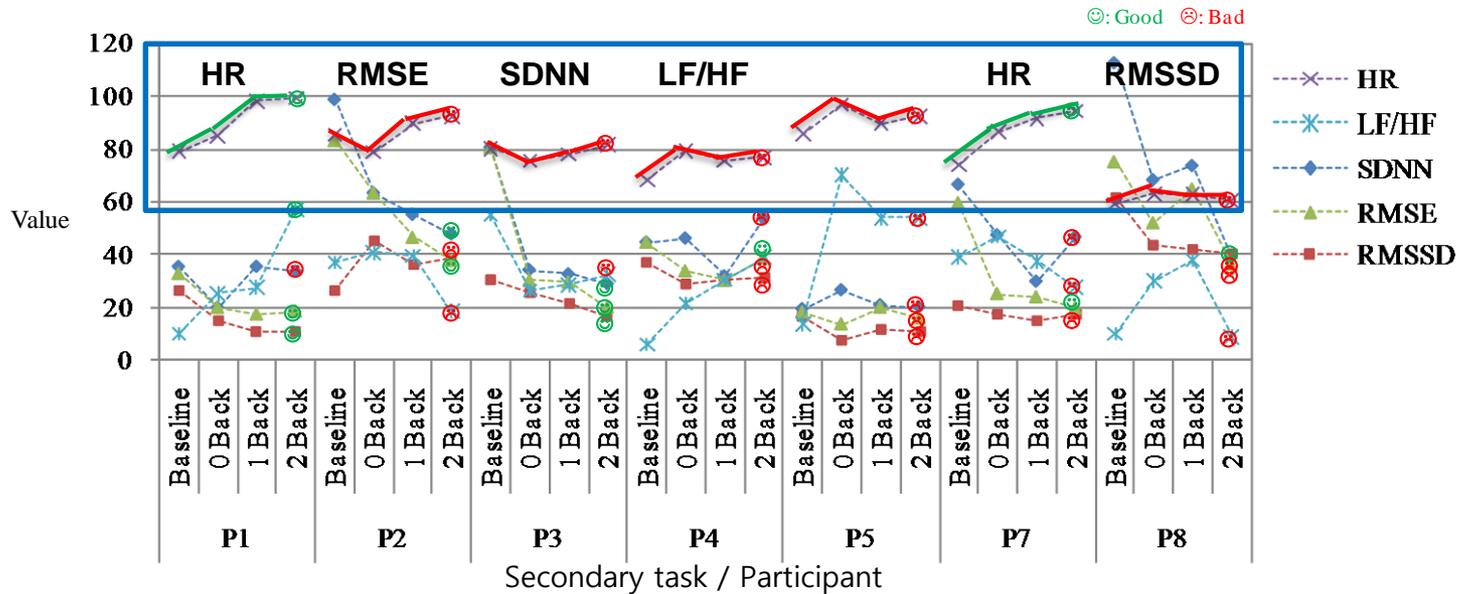
IBI 변화 trend 반영



*RMSE 사용 목적: 작업 부하가 가중시 IBI가 점진적으로 감소하는 경향(transition effect)을 제외한 실제적인 IBI의 변동성을 파악하기 위함 (이원섭 외, 2010)

기존 ECG 기반의 인지 부하 파악 연구의 한계

- 개인별 상이한 ECG 반응 민감도를 고려하지 않음 [Gould et al. \(2009\)](#), [Yao et al. \(2008\)](#),
[Wood et al. \(2002\)](#), [Schubert et al. \(2002\)](#)
- 개인별 인지 부하 판별이 용이한 ECG 정량화 척도 상이 [Lee et al. \(2010\)](#)



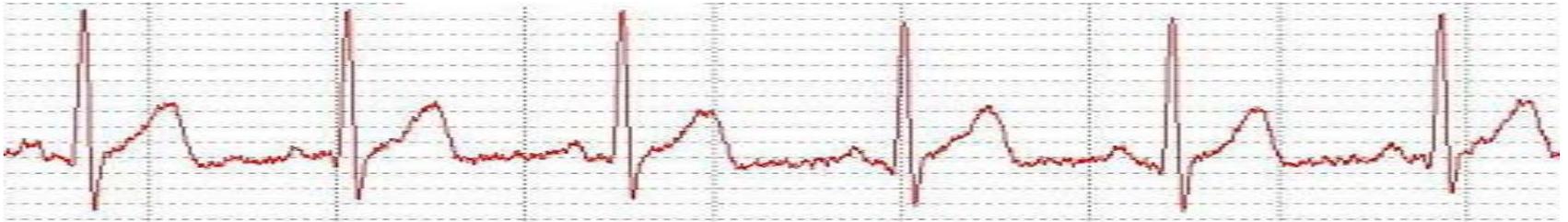
개인별 상이한 최적 ECG 정량화 척도

→ 개인별 심박 특성을 고려한 **최적 ECG 정량화 척도 선정**하여 인지 부하를 평가하는 방법 개발 필요

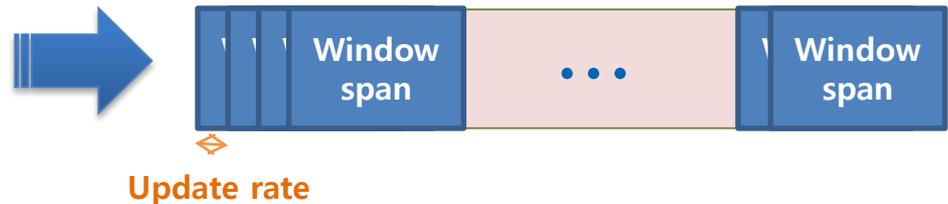
ECG 기반의 실시간 인지 부하 평가

- 기존 연구는 특정 작업 부하 상황에서 ECG 신호를 수집하고 사후에 인지 부하를 평가함 [Gould et al. \(2009\)](#), [Yao et al. \(2008\)](#), [Wood et al. \(2002\)](#), [Schubert et al. \(2002\)](#)

→ 자동차 안전 운전 시스템 적용을 위해서는 **실시간으로 측정**되는 ECG 신호를 **지속적으로 sampling**하여 분석 필요



기존 연구의 ECG 분석 형태



실시간 ECG 분석 형태

연구 목적

운전자 개인별 심박 특성이 고려된 인지 부하 판별을 위한 최적 ECG 분석 방법 개발

세부 연구 목적

- 개인별 최적 ECG 정량화 척도 선정 방법 개발
- 실시간 분석을 위한 sampling 관련 변수들(window span 및 update rate)의 개인별 최적 조건 선정 방법 개발
- Area Under the ROC Curve (AUC)를 통한 작업 부하 수준에 따른 인지 부하 간 변별 능력 평가 방법 개발

실험 참여자 및 실험 장비

□ 실험 참여자

- 모집 인원: 20 ~ 30대 남성 15명(27.7 ± 3.0 세)
- 모집 기준: 운전 경력이 3년 이상, 심혈관계 질환이 없는 자

□ 실험 장비

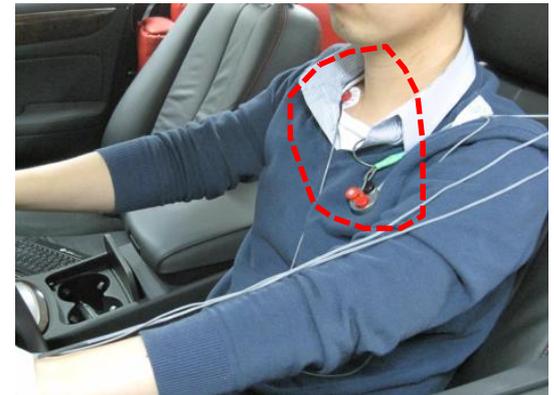
- 주행 시뮬레이터: STISIM Drive™ (Systems Technology Inc., USA)
- ECG 측정 장비: MEDAC system/3 (Biomation, USA) 사용



주행 시뮬레이터

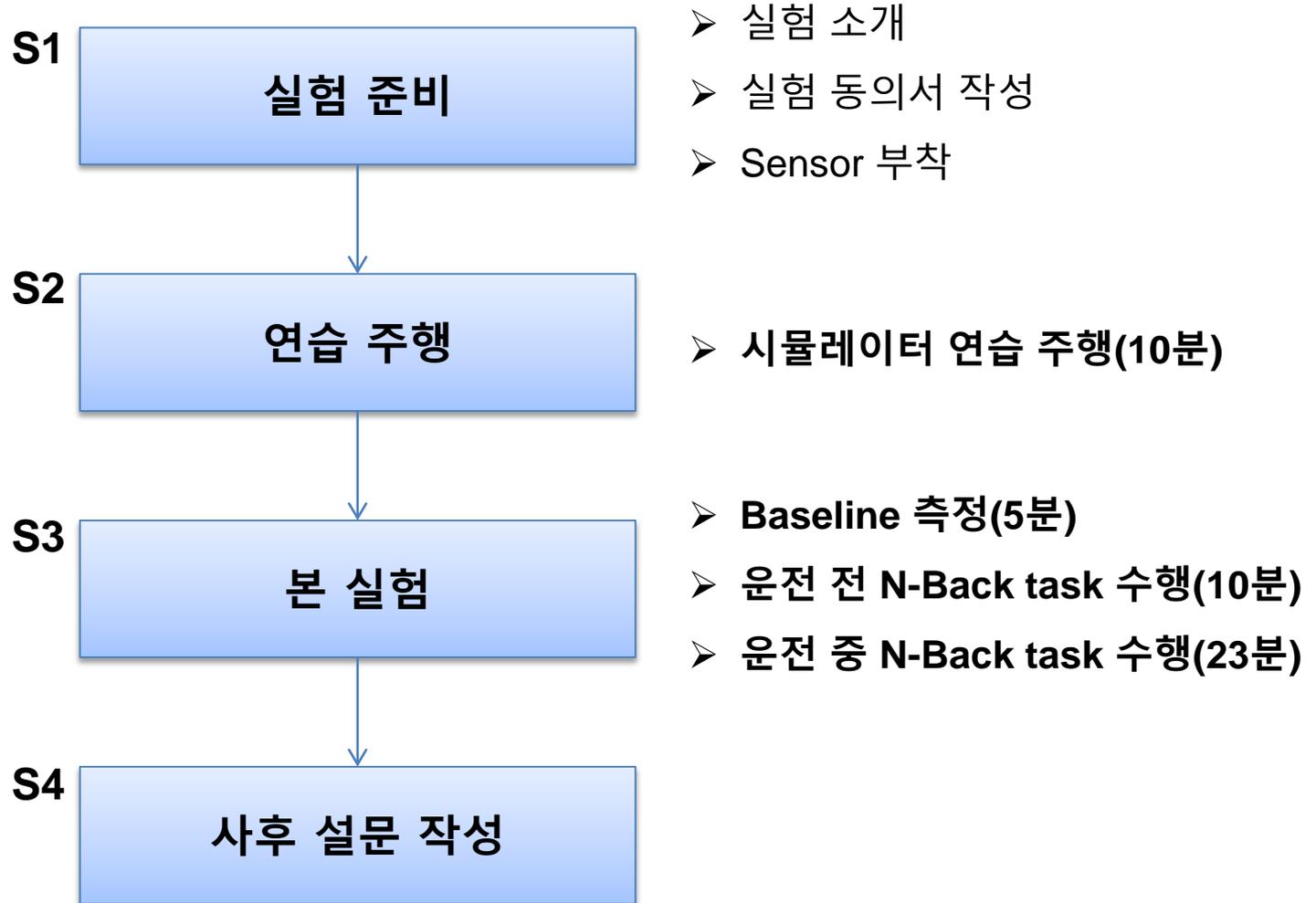


주행 시뮬레이터 화면(예)



ECG 측정 장비

실험 절차



수행 작업

- 주 작업: 편도 2차 고속도로(폭: 4.57m) 약 37km를 23분 이내 주행
- 보조 작업: N-back task
 - 연속적으로 제시되는 무작위 숫자들의 N번째 이전 숫자를 기억해내는 암기 작업(Son et al., 2010)
 - 0-back: 낮은 부하
 - 1-back: 중간 부하
 - 2-back: 높은 부하



N-back task 설명(예)

실험 변수

- 독립변수: N-back task(Baseline, 0-back, 1-back, 2-back)
- 종속변수
 - ECG 정량화 척도(Mean IBI, SDNN, RMSSD, RMSE)
 - 실시간 분석을 위한 sampling 관련 변수
 - ✓ Window span(20초, 30초, 40초)
 - ✓ Update rate(1초, 2초, 3초)

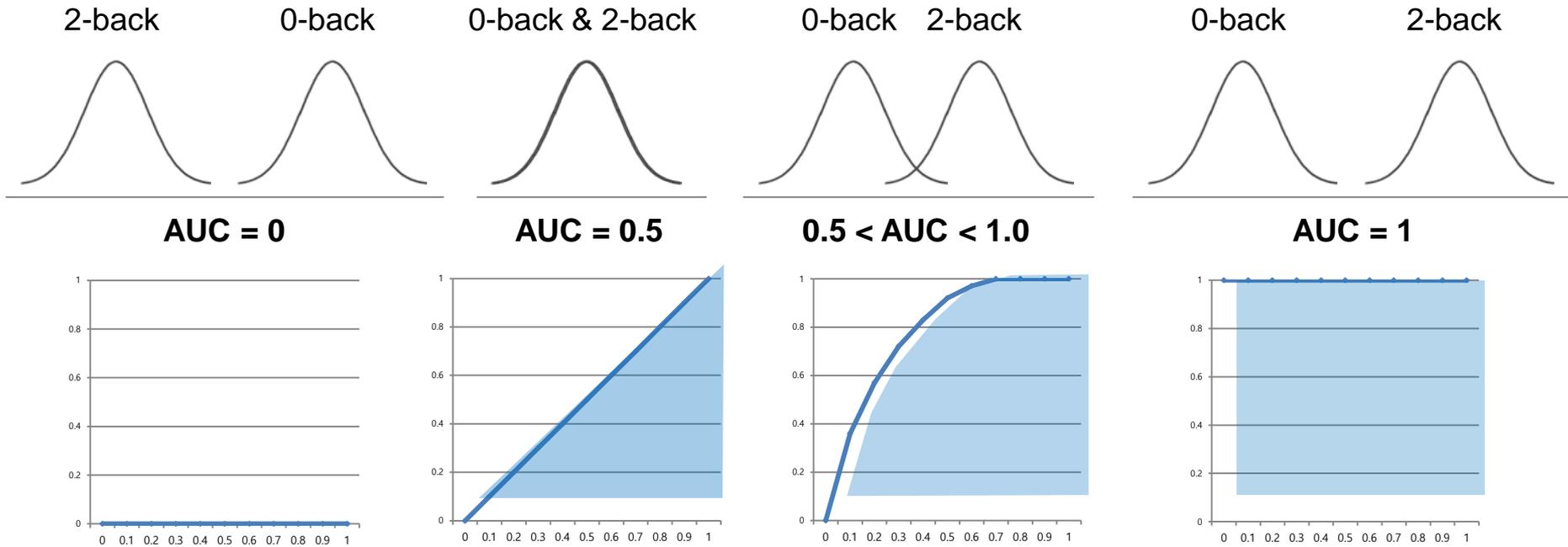
Window Span 및 Update Rate

- ECG data의 IBI 변환시 실시간 인지 부하 변화에 따른 경고를 제공하기 위해 data를 일정 구간으로 sampling하여 분석에 사용
 - 구간의 크기 = window span
 - 구간의 이동 속도 = update rate
- 분석 절차 예(window span = 30초, update rate = 1초)
 - S1. 매 1초마다 30초 분량의 ECG data를 sampling
 - S2. 각 sampling data (30초)에서 IBI 추출
 - S3. IBI로부터 ECG 척도(예: Mean IBI) 변환



Area Under the ROC Curve (AUC)

□ 비교에 사용되는 data가 정규분포를 따르지 않을때 사용하는 방법

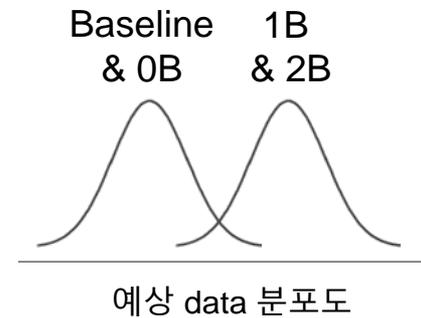
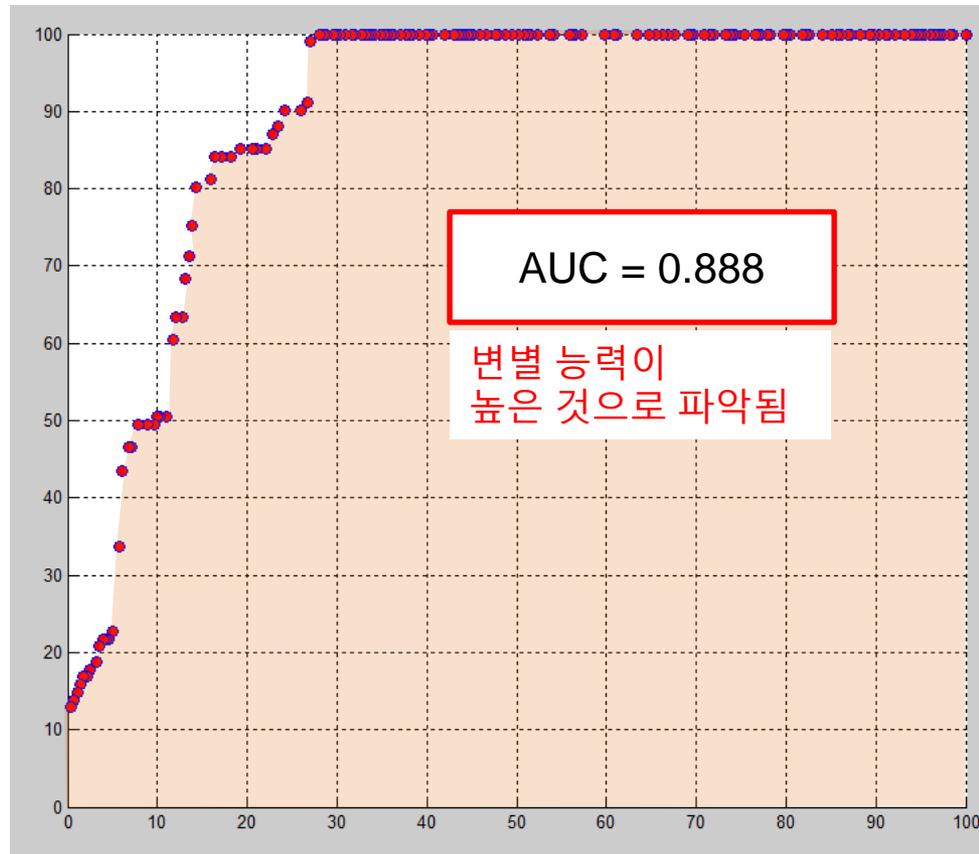


AUC가 0.5를 초과할 때, 정상 범위의 값이며 클수록 변별 능력 높음

본 연구는 AUC가 높은 조건을 개인별 최적의 분석 조건으로 판별

AUC 분석 예

□ Baseline & 0B vs. 1B & 2B 분석 결과 예



Plotting된 AUC 분석 결과 예

개인별 최적 ECG 분석 조건

- 36가지의 AUC 분석 조건
 - ECG 정량화 척도(4가지): Mean IBI, SDNN, RMSSD, RMSE
 - Window span(3가지): 20초, 30초, 40초
 - Update rate(3가지): 1초, 2초, 3초
- 최적 ECG 분석 조건 파악 방법: 각 인지 부하 비교 조건(총 4가지)에서 최대 AUC를 갖는 분석 조건을 최적의 ECG 분석 조건으로 선정

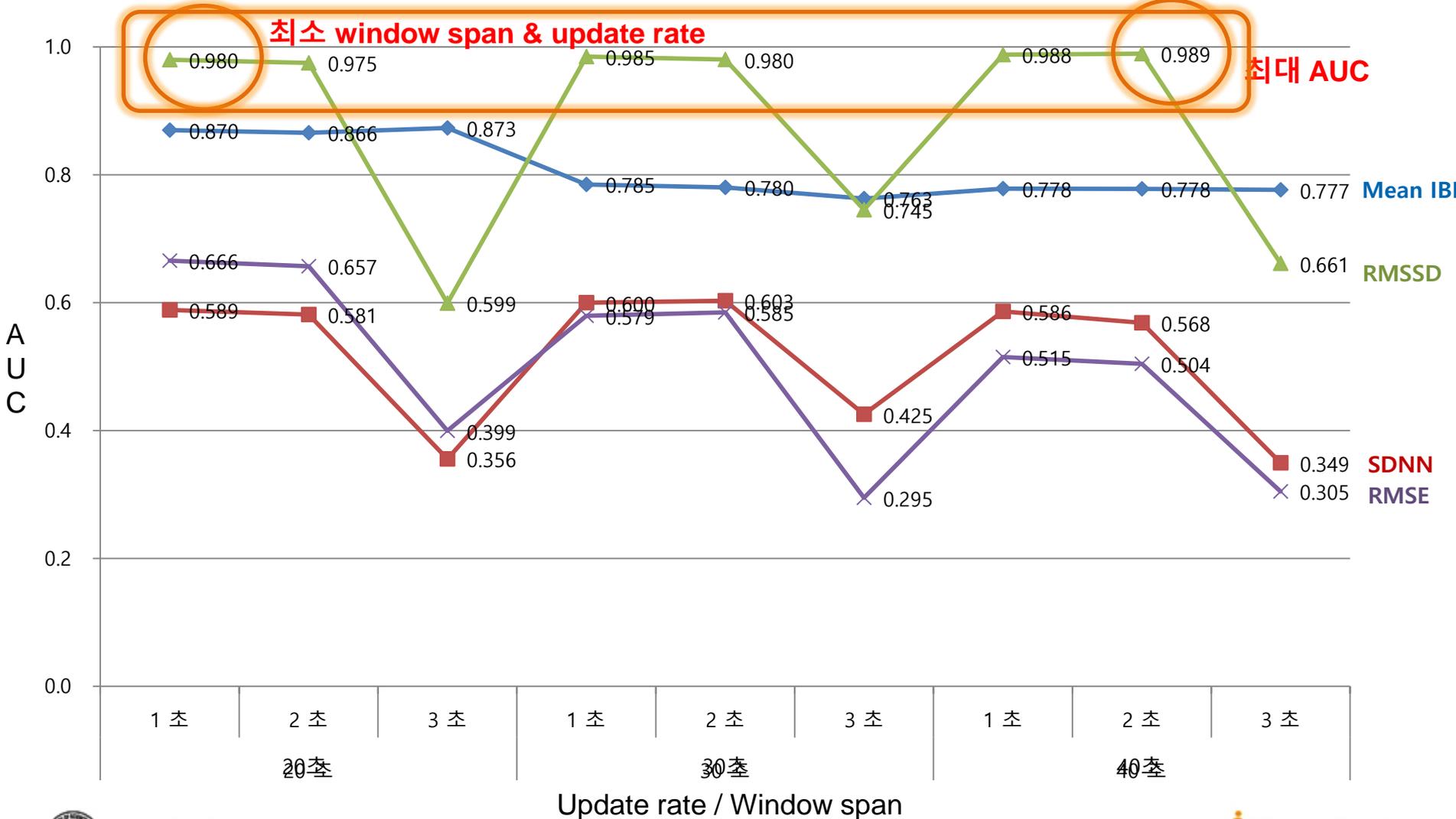
최적 ECG 분석 조건: 실험 참여자 1번

분석 조건			비교 인지 부하			
Window span (s)	Update rate (s)	정량화 척도	BL & 0B vs. 1B & 2B	BL & 0B & 1B vs. 2B	0B vs. 1B & 2B	0B & 1B vs. 2B
20	1	Mean IBI	0.944	0.870	0.782	0.740
		SDNN	0.511	0.589	0.165	0.445
		RMSSD	0.696	0.980	0.037	0.253
		RMSE	0.499	0.666	0.296	0.486
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
40	2	Mean IBI	0.945	0.778	0.720	0.554
		SDNN	0.275	0.568	0.059	0.394
		RMSSD	0.877	0.989	0.069	0.344
		RMSE	0.249	0.504	0.077	0.375
40	3	Mean IBI	0.946	0.777	0.715	0.540
		SDNN	0.111	0.349	0.064	0.430
		RMSSD	0.563	0.661	0.053	0.322
		RMSE	0.109	0.305	0.074	0.384

최적 ECG 분석 조건: 실험 참여자 1번(cont'd)

인지 부하 비교 조건: BL & 0B & 1B vs. 2B

RMSSD의 update rate 1, 2초에서 높은 AUC 값 도출



실험 참여자별 최적 ECG 분석 조건

최적 정량화 실험 참여자 조건	Measure	Window span (sec)	Update rate (sec)	AUC	인지 부하 비교 조건
1	RMSSD	40	2	0.989	BL & 0B & 1B vs. 2B
2			※		
3	SDNN	30	2	0.658	0B & 1B vs. 2B
4	RMSSD	30	1	0.888	0B & 1B vs. 2B
5	Mean IBI	40	2	0.986	BL & 0B & 1B vs. 2B
6	Mean IBI	40	3	0.844	BL & 0B & 1B vs. 2B
7	SDNN	40	3	0.885	0B & 1B vs. 2B
8			※		
9	RMSSD	30	1	0.970	BL & 0B vs. 1B & 2B
10					
11	Mean IBI	40	2	0.986	BL & 0B & 1B vs. 2B
12	Mean IBI	40	3	0.844	BL & 0B & 1B vs. 2B
13	SDNN	40	3	0.885	0B & 1B vs. 2B
14			※		
15	RMSSD	30	1	0.970	BL & 0B vs. 1B & 2B

정량화 척도: SDNN (6명) > RMSSD (4명) > Mean IBI (2명) > RMSE (0명)

Window span: 40초(7명) > 30초(4명) > 20초(1명)

Update rate: 1초(5명) > 3초(4명) > 2초(3명)

※: Secondary task에 따른 ECG 변화 경향성 낮아 최적 분석 조건 파악 난해한 경우

BL: baseline, 0B: 0-back, 1B: 1-back, 2B: 2-back

토 의

- 운전자 개인별 인지 부하(cognitive workload) 최적 분석조건 선정방법 개발
 - 개인별 최적 ECG 정량화 척도 선정방법 개발
 - 실시간(real-time) 분석을 위한 sampling 관련 변수들(window span 및 update rate)의 개인별 최적 조건 선정방법 파악

⇒ 운전자 개인의 특성이 고려된 **안전 운전 지원 시스템 적용 가능**
- Window span과 update rate 조합에 따른 AUC 세부 분석
 - AUC가 유사한 것으로 파악됨(실험 참여자 1번)

⇒ 시스템 부하와 응답 시간을 고려하여 **낮은 window span과 update rate 사용할 것을 제안함**
- 본 연구에서 제안된 방법을 **다양한 운전자와 실차 주행에 대해 검증 필요**

Thank You
for Your **Attention!** 😊