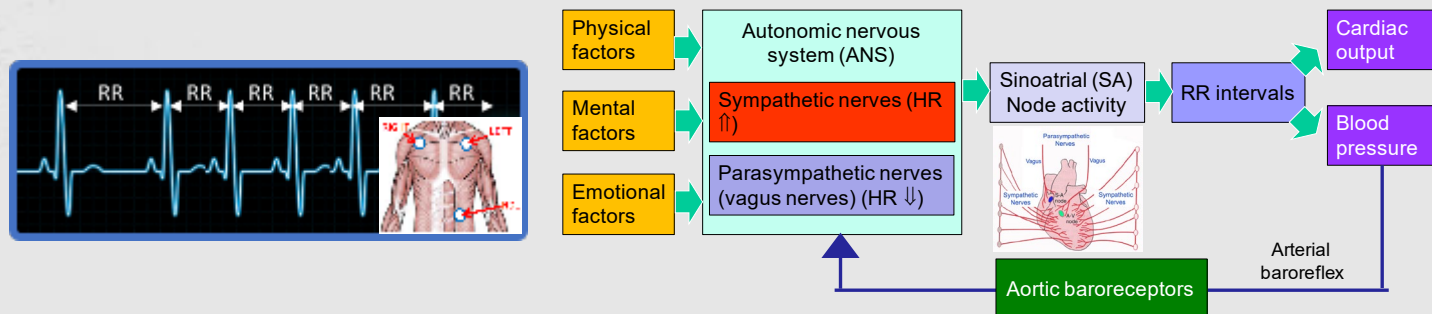


# 스마트 가전제품 User Interface의 ECG 기반 인지부하 평가



고정배, 전은진, 이승훈, 유희천

포항공과대학교 산업경영공학과 인간공학설계기술 연구실

본 연구는 산업통상자원부의 “미래 첨단 사용자 편의서비스 기반조성사업”의 지원을 받아 수행된 결과임  
(R0004840, 2017)

---

# Contents

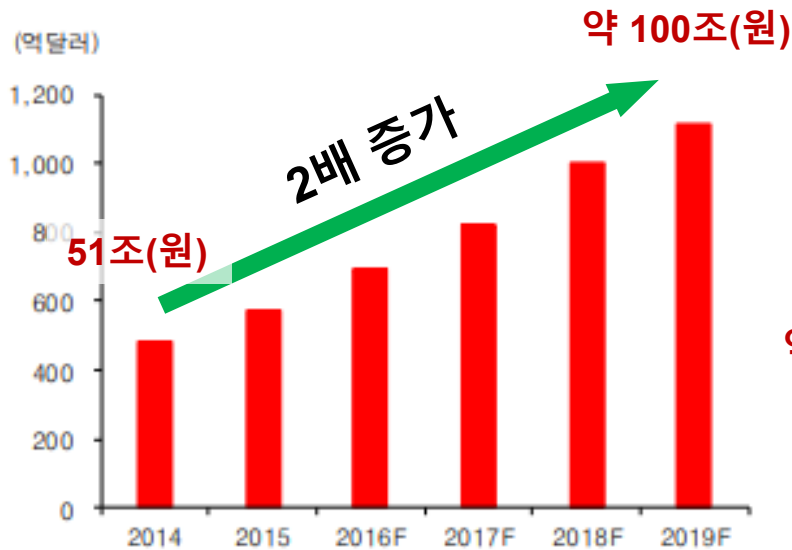
---

- **서론**
  - 연구 배경
  - 연구 목적
- **문헌조사: ECG 기반 인지부하 분석**
  - ECG 분석 척도
  - 인지부하에 의한 ECG 신호 변화 경향
- **스마트 TV User interface (UI) 평가**
  - 스마트 TV UI별 인지부하 평가 실험
  - 스마트 TV UI별 인지부하 분석
- **토의**

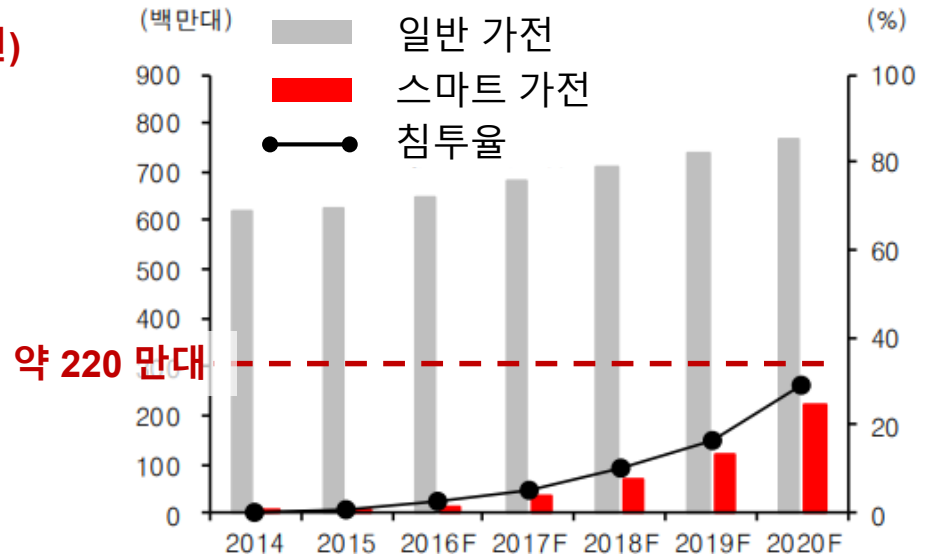
# 스마트 가전제품

- 스마트 가전제품: 인터넷 접속 기능을 내장한 똑똑한(smart) 가전제품 통칭
- 스마트 가전제품의 **시장 규모와 판매량이 지속적으로 증가**
  - ✓ 시장 규모: 2014년 대비 2019년에 2배 이상 증가하여 약 100조(원) 규모 전망
  - ✓ 판매량: 2014년 대비 2019년에 20배 이상 증가하여 약 200만대 전망

### 글로벌 스마트홈 시장 전망

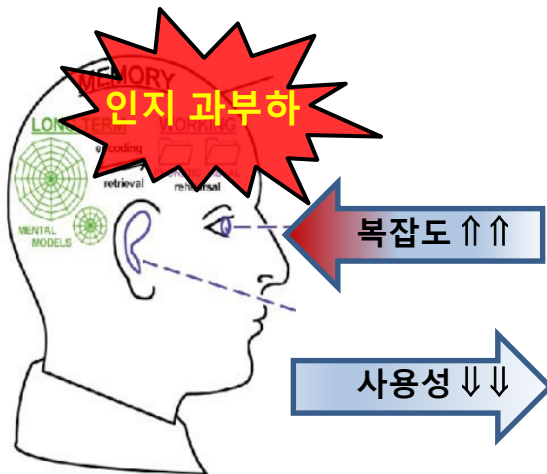


### 가전제품 판매량 전망



# 부적절한 스마트 가전제품 UI에 의한 인지부하

- 복잡한 조작 인터페이스는 인지 과부하를 발생시켜 사용성을 저해시킬 수 있음
  - ✓ 스마트 가전의 부적절한 UI는 사용자의 의사결정 지연, 작업 수행 오류 초래(Stone et al., 2005)
  - ✓ 스마트 가전의 정보의 양이 과도한 경우 사용성 저하로 이어질 수 있음(John et al., 2016)
- 스마트 가전에 익숙하지 않은 사용자(예: 노인, 어린이)는 스마트 가전제품 사용 시 더 많은 인지부하 발생(Higgins et al., 2010) ⇒ 인지부하를 최소화 할 수 있는 설계 필요



# 인지 부하에 대한 객관적 평가 필요

- ❑ 스마트 가전 사용 시 발생할 수 있는 **인지 부하에 대한 표준화된 평가 방법 부재**
- ❑ 스마트 가전제품의 **다양한 인터페이스 설계 요소에 대한 객관적 평가 어려움**
  - ✓ 대부분의 연구에서 주관적 평가 방법(NASA TLX, Bergen Burnout Indicator 등) 사용
  - ✓ 주관적 평가만으로 인지 부하에 대한 실시간 data 측정 어려움(Liu et al., 2016)

## NASA TLX

### NASA Task Load Index

Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.

Name	Task	Date
Mental Demand      How mentally demanding was the task?		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Very Low</span> <span>Very High</span> </div>		
Physical Demand      How physically demanding was the task?		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Very Low</span> <span>Very High</span> </div>		
Temporal Demand      How hurried or rushed was the pace of the task?		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Very Low</span> <span>Very High</span> </div>		
Performance      How successful were you in accomplishing what you were asked to do?		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Perfect</span> <span>Failure</span> </div>		
Effort      How hard did you have to work to accomplish your level of performance?		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Very Low</span> <span>Very High</span> </div>		
Frustration      How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Very Low</span> <span>Very High</span> </div>		

## Bergen Burnout Indicator(BBI)

### Checking Yourself for Burnout

#### Instructions

For each question, click the radio button in the column that most applies. Then click the 'Calculate My Total' button to add up your score and check your result using the scoring table underneath.

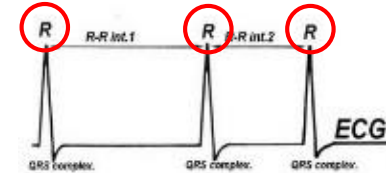
15 Statements to Answer	Not at All	Rarely	Sometimes	Often	Very Often
1 I feel run down and drained of physical or emotional energy.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 I have negative thoughts about my job.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 I am harder and less sympathetic with people than perhaps they deserve.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 I am easily irritated by small problems, or by my co-workers and team.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 I feel misunderstood or unappreciated by my co-workers.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 I feel that I have no one to talk to.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 I feel that I am achieving less than I should.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 I feel under an unpleasant level of pressure to succeed.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 I feel that I am not getting what I want out of my job.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10 I feel that I am in the wrong organization or the wrong profession.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11 I am frustrated with parts of my job.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12 I feel that organizational politics or bureaucracy frustrate my ability to do a good job.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13 I feel that there is more work to do than I practically have the ability to do.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14 I feel that I do not have time to do many of the things that are important to doing a good quality job.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15 I find that I do not have time to plan as much as I would like to.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## ECG 기반 스마트 가전제품 User Interface 인지부하 평가 Protocol 정립

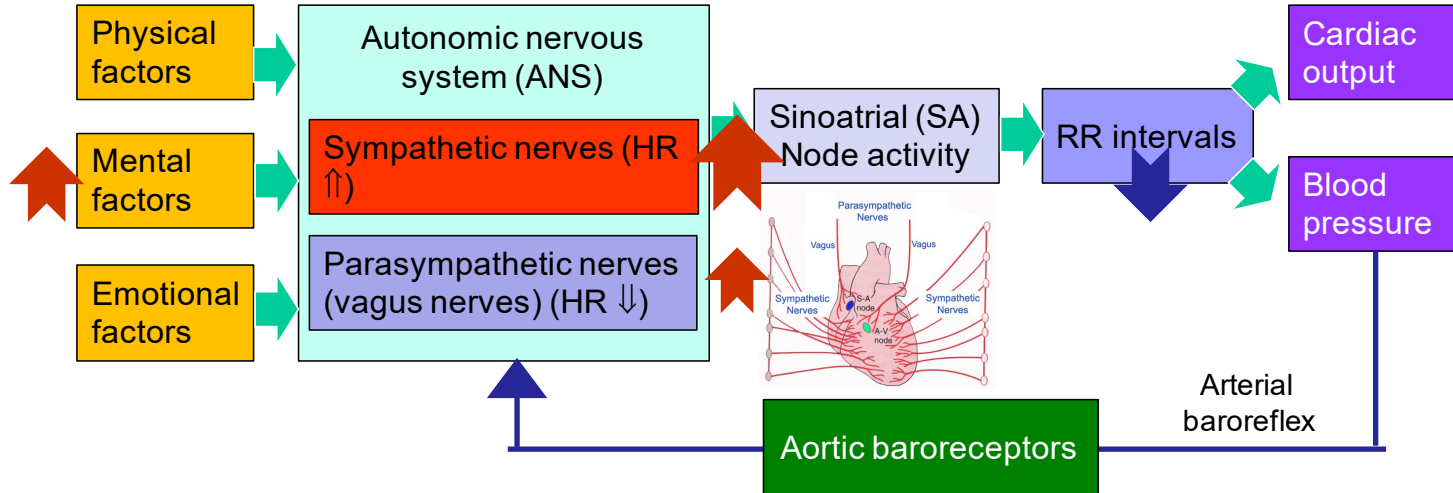
1. ECG 기반 인지부하 평가 및 분석 방법 조사
2. 스마트 가전제품 UI의 인지부하 평가 및 분석 protocol 개발
3. 스마트 가전제품 UI의 인지부하 평가 실험 적용

# ECG: Heart Rate Variability

- 연속적인 R-peak사이 간격(inter-beat interval, IBI)의 변화량 (Malik et al. 1996)



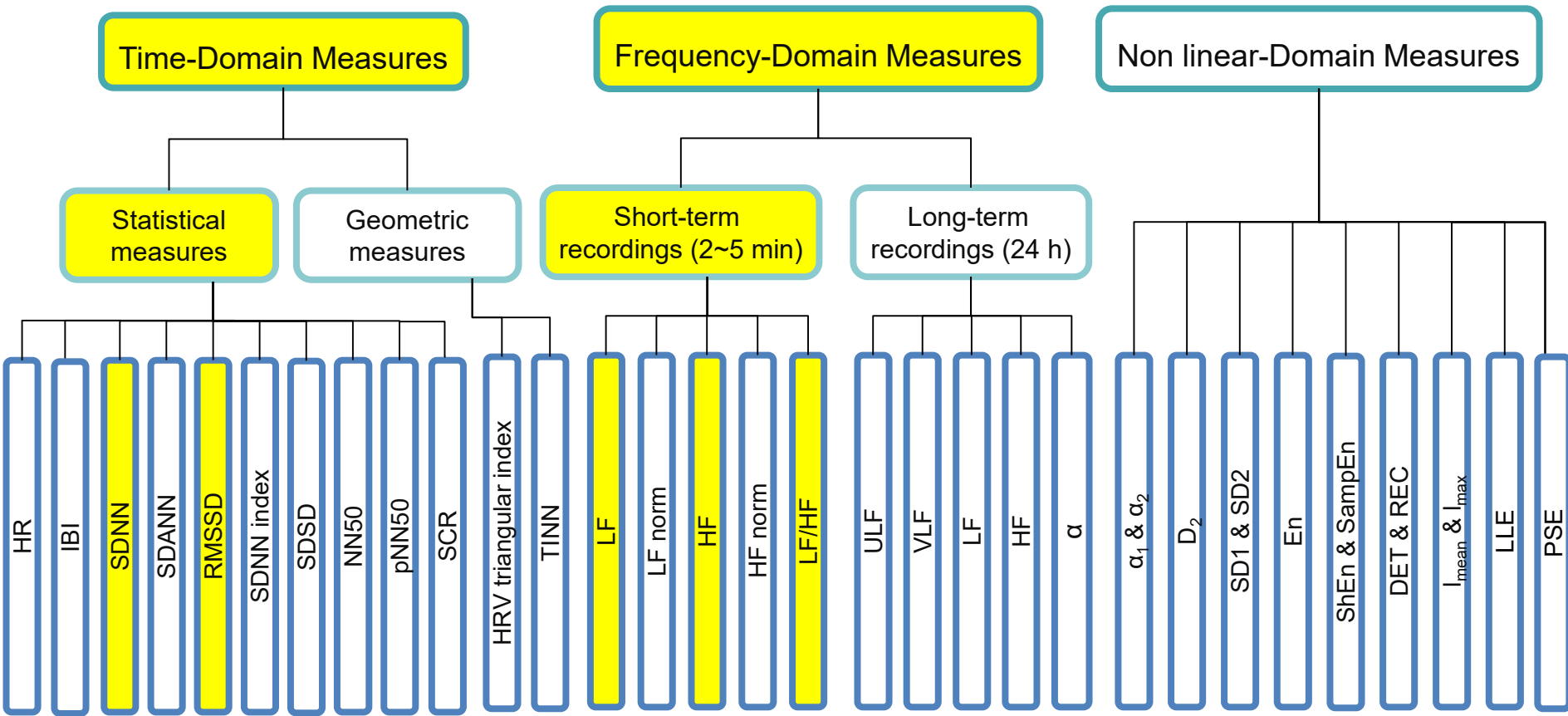
- IBI(inter-beat interval)의 변화는 지속적인 교감신경과 부교감 신경의 상호작용에 의해 발생



References: Malik et al. (1996), Tarvainen & Niskanen (2008)



# ECG 신호 분석 척도

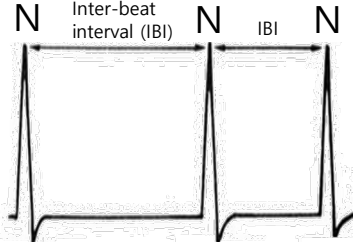
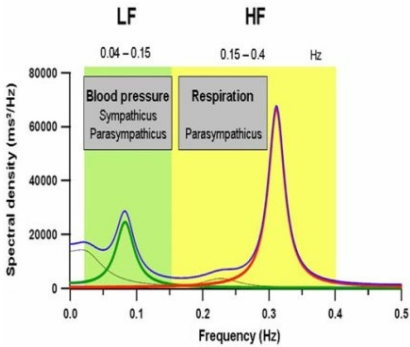


HRV(heart rate variability) measures commonly employed for analysis on short-term recordings

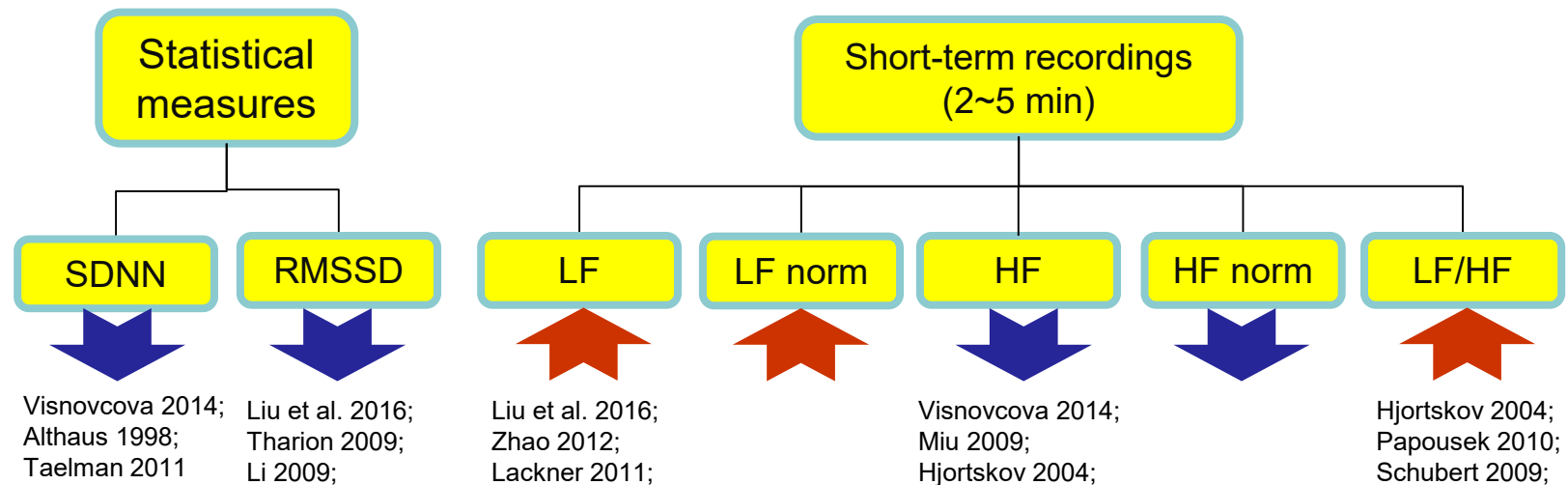
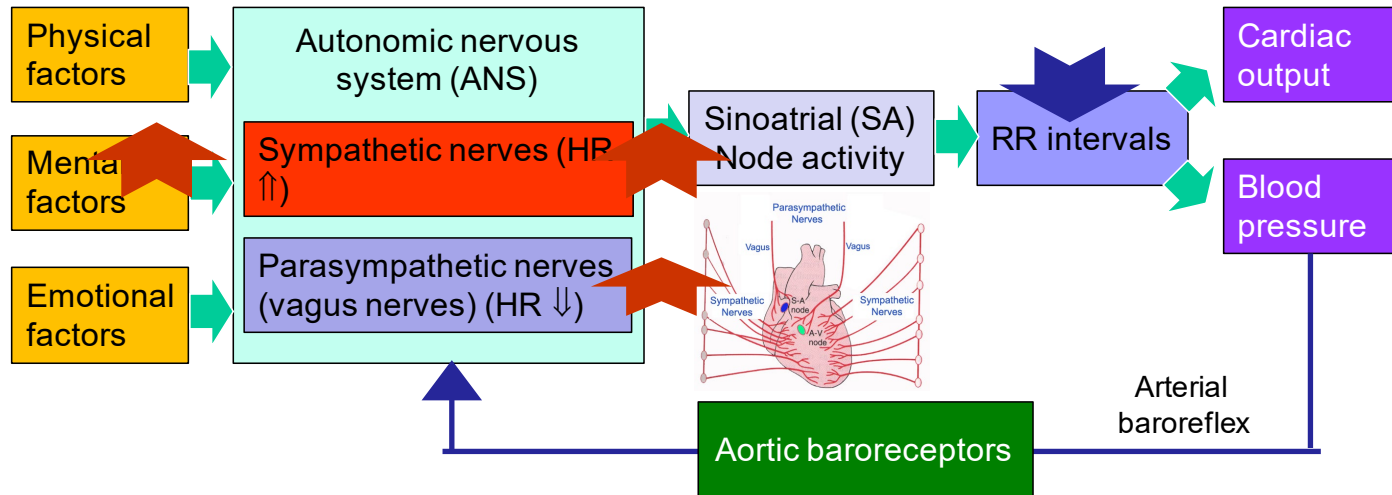


# ECG 신호 분석 척도

□ 인지부하 평가 ECG 분석 시 주로 사용되는 척도

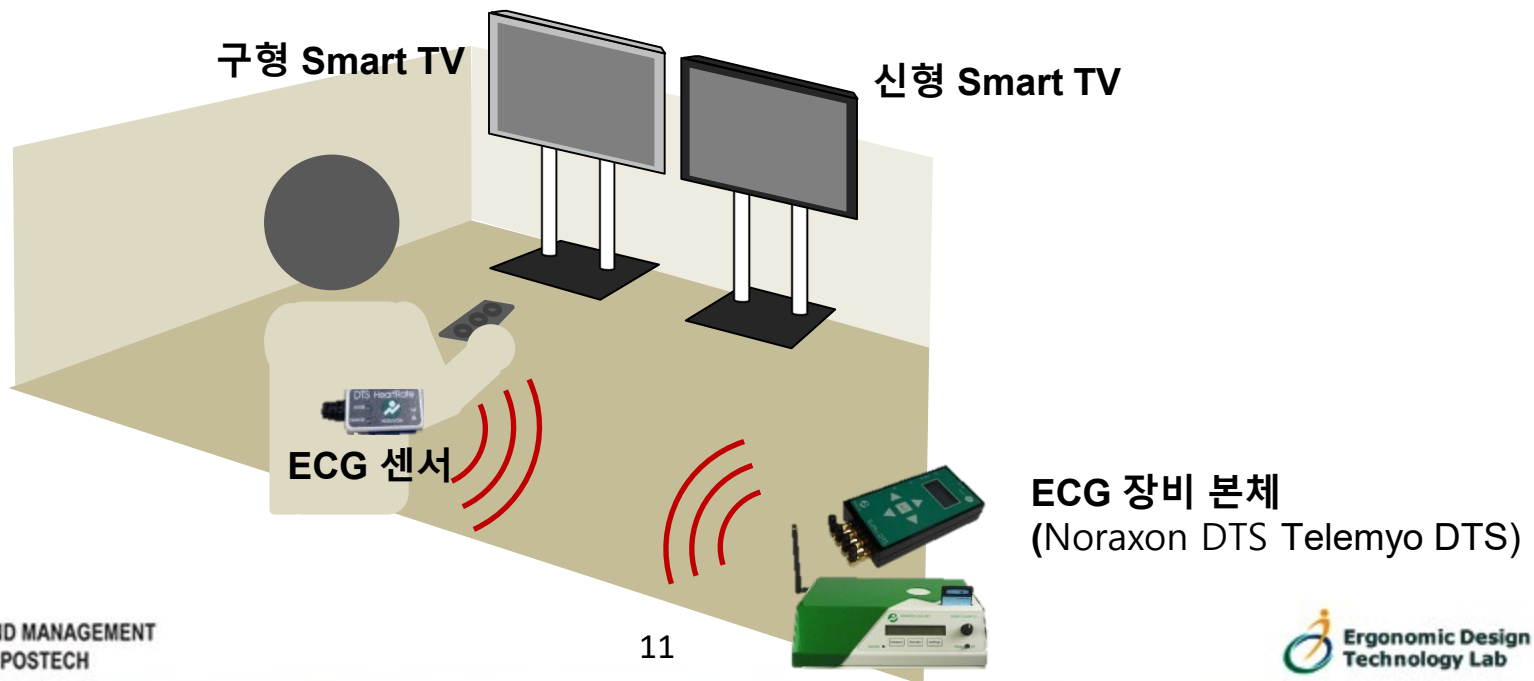
Domain	척도	예시	단위	설명
Time	Mean IBI		ms	IBI의 평균값
	SDNN		ms	IBI의 표준편차 $SD_{NN} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (RR_j - \overline{RR})^2}{N-1}}$
	RMSSD		ms	인접 IBI 간의 표준편차 $RMSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N-1} (RR_{j+1} - RR_j)^2}{N-1}}$
Frequency	LF		ms <sup>2</sup>	낮은 주파수 대역(0.04~0.15Hz)의 power
	HF		ms <sup>2</sup>	높은 주파수 대역(0.15~0.4Hz)의 power
	LF/HF		-	LF와 HF의 비율

# Effects of Cognitive Stress on HRV Measures



# 스마트 가전제품 UI의 인지부하 평가: 개요

- 목적: ECG 기반 스마트 가전제품 User Interface 인지부하 평가
- 실험 참여자: 심혈관계 질환 없는 건강한 성인 5명(20~50대)
- 실험 방법
  - ✓ 객관적 평가: Smart TV 무선인터넷 연결 task를 수행하며 ECG 신호 측정
  - ✓ 주관적 평가: 무선인터넷 연결 task에 대한 정신적 요구수준 평가
- 평가 대상: Smart TV 2종(구형 vs. 신형)

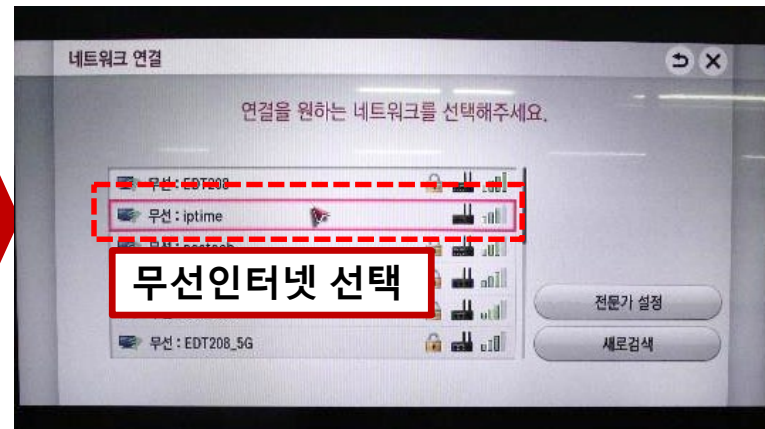


□ 네트워크 설정 바로가기 아이콘 사용 ⇒ 빠르고 쉬운 task 수행

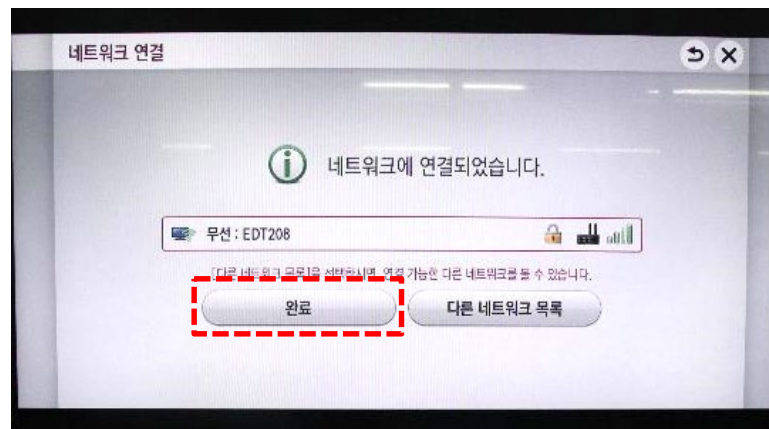
S1.네트워크 설정 아이콘 선택



S2.실험실 무선인터넷 연결



S3.연결 확인



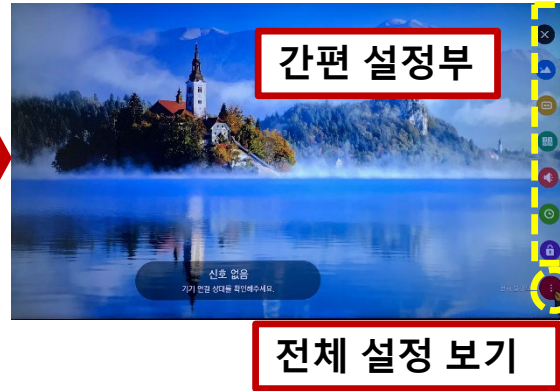


□ 무선인터넷 연결 작업을 완료하기 위해 많은 아이콘 및 메뉴 탐색 필요

S1.우측 상단 설정 아이콘 선택



S2.전체 설정 보기 아이콘 선택

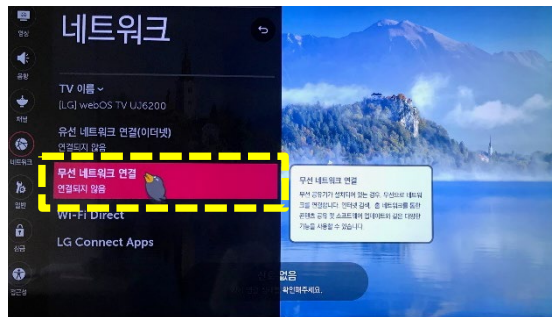


S3.네트워크 설정 아이콘 선택



전체 설정 메뉴

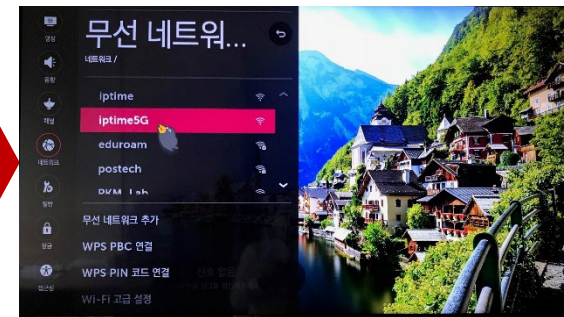
S4.무선네트워크 연결 선택



S5.실험실 무선인터넷 연결

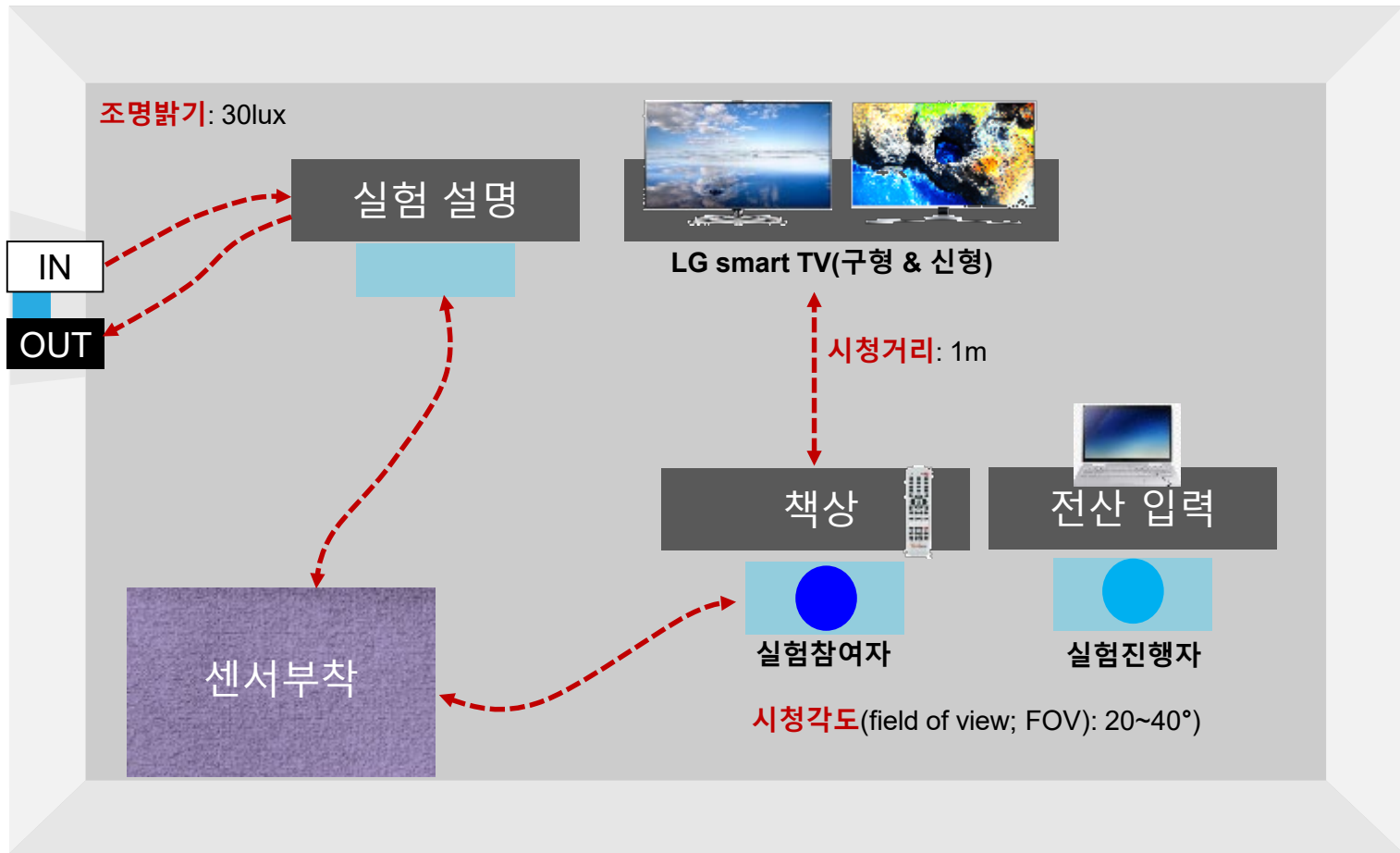


S5.연결 확인



# 평가 환경

- 시청 거리(1m), 시청 각도( $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ), 조명 밝기(30 lux)를 고려하여 Smart TV 사용 환경 조성



\*출처: <http://digxtal.com/insight/20130114/on-ergonomic-viewing-condition/>

# 평가 절차

S1. 실험 준비(5 min)

- 실험 목적 설명
- 실험 참여 동의서 작성

S2. Sensor attachment (5 min)

- ECG 센서 부착

S3. Practice (5 min)

- 리모컨 조작법 연습
- 메뉴 검색 연습

S4. 안정기(5 min)

- Baseline 측정

S5. Task 수행(10 min)

- Task: 난이도 하, 난이도 상
- Task 수행 중 ECG 측정

S6. Subjective evaluation (5 min)

- 정신적 요구수준 주관적 평가
- 작업시간 및 완료 여부

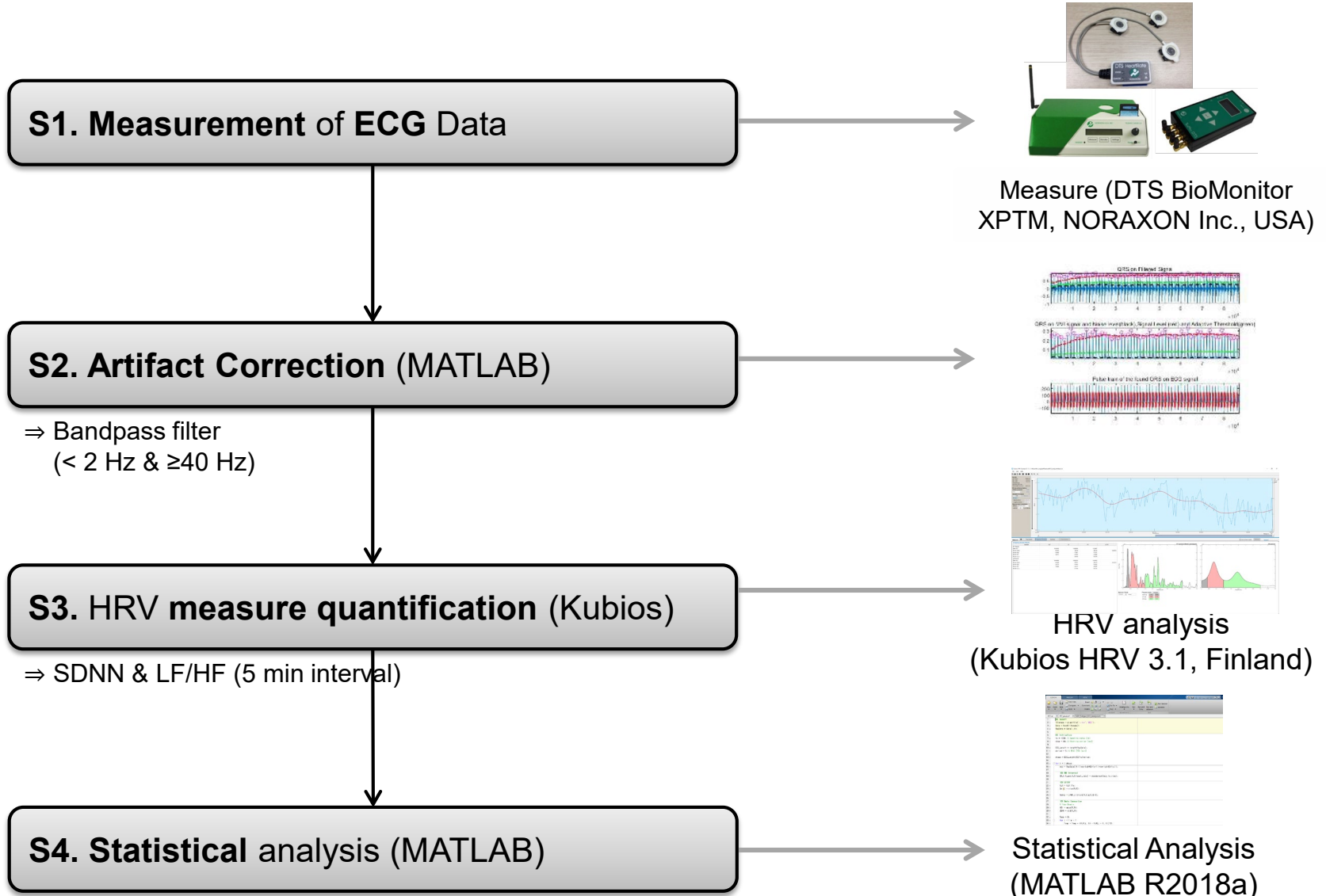
S7. Debriefing (5 min)

- 실험결과에 대한 의견 수집



# ECG 척도 정량화 절차

1 / 2



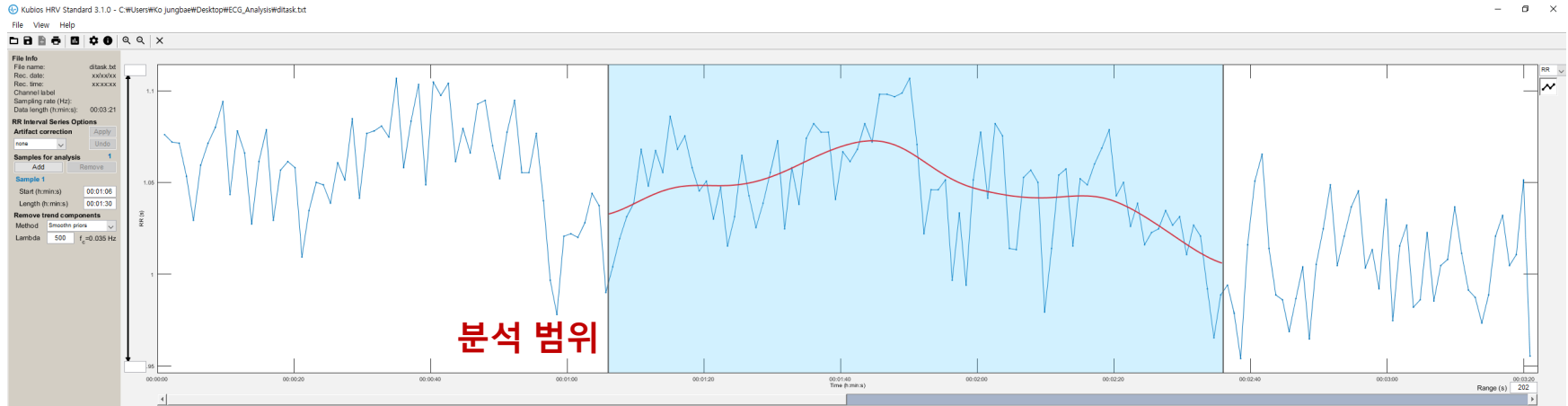
Measure (DTS BioMonitor XPTM, NORAXON Inc., USA)

HRV analysis (Kubios HRV 3.1, Finland)

Statistical Analysis (MATLAB R2018a)

S1. ECG 신호 raw data에서 R-peak 검출

S2. R-peak 값을 사용하여 ECG 척도 정량화(Kubios HRV 3.1, Finland)

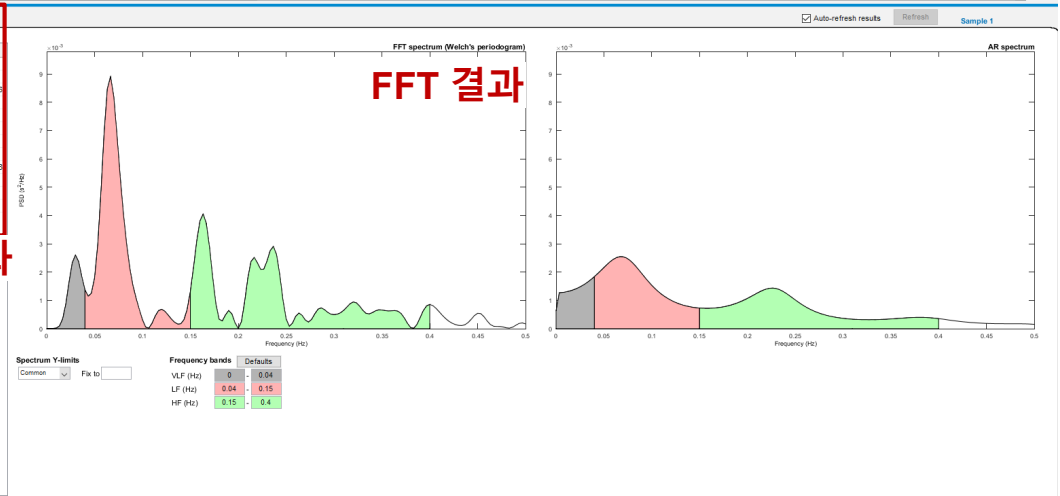


**RESULTS** | Time-Domain | **Frequency-Domain** | Nonlinear | Time-Varying

Frequency-Domain Results

Variable	VLF	LF	HF	LF/HF
FFT Results				
Peak (Hz)	0.030000	0.066667	0.163333	
Power (mW)	42.863	253.57	258.02	0.98276
Power (dB)	3.7566	5.5256	5.5230	
Power (%)	7.6972	45.599	46.399	
Power (n.u.)		49.401	50.268	
AR Results				
Peak (Hz)	0.040000	0.066667	0.22667	
Power (mW)	56.943	191.14	169.95	1.0658
Power (dB)	4.9421	5.1993	5.1355	
Power (%)	13.931	44.316	41.579	
Power (n.u.)		51.489	48.309	

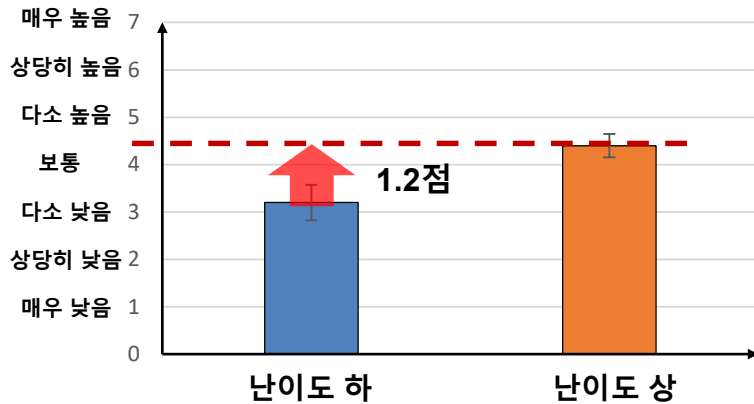
Frequency 분석 결과



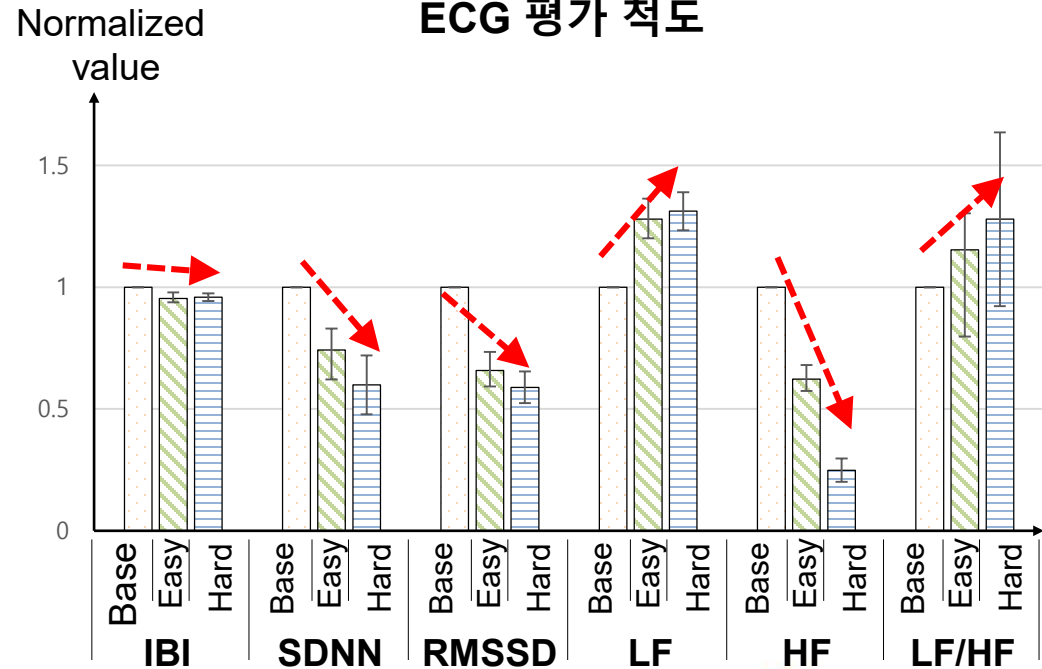
# 평가 결과: 실험참여자 전체 (n = 5)

- 정신적 요구수준은 난이도 하(3.2점, 다소 낮음 ~ 보통) 대비 난이도 상(4.4점, 보통 ~ 다소 높음)에서 38%(1.2점) 높음
- 난이도의 증가에 따른 ECG 척도 변화 경향
  - ✓ Time domain: IBI ↓, SDNN ↓, RMSSD ↓
  - ✓ Frequency domain: LF ↑, HF ↓, LF/HF ↑

주관적 평가: 정신적 요구 수준



ECG 평가 척도



# 토의 (1/2)

## □ 스마트 가전제품의 객관적인 인지부하 평가를 위한 문헌조사

- ✓ 인지부하 평가 주요 ECG 척도 및 척도별 경향성 확인
- ✓ ECG 정량화 척도 구분(Time, Frequency, Non-linear domain)

## □ 스마트 TV의 UI별 인지부하를 평가/분석하기 위한 protocol 정립

- ✓ 시청 거리, 시청 각도, 조명 조도 등의 스마트 TV 시청 환경을 고려한 평가 환경 조성
- ✓ 인지부하를 평가하기 위한 ECG 척도별 정량화 방법

### □ 스마트 TV UI의 인지부하 평가 실험 분석 결과

- ✓ 문헌조사에서 파악된 인지부하별 ECG 정량화 척도 변화 경향성과 동일한 결과 획득
- ✓ **정신적 요구수준에 따른 ECG 정량화 척도의 증가/감소 경향 파악**

### □ 연구 한계점 및 추후 연구

- ✓ 통계적 유효성을 확보하기 위해 **다수의 실험참여자**에 대한 평가 수행
- ✓ 스마트 TV UI **개선안 개발** 및 **인지부하 저감 정도 검증 평가**

Thank you for your attention!

