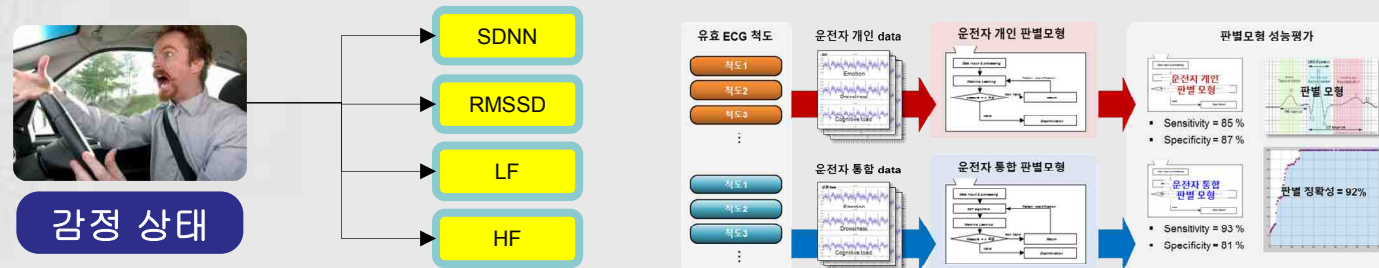


The Development of an ECG-Based Discriminant Model for Emotion Detection of Drivers



오건희¹, 정기효², 이승훈¹, 정하영¹, 이나현¹, 김응환³, 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과
²울산대학교 산업경영공학부
³현대자동차 전자선행설계팀

AGENDA

- 서론
- 본론
 - 문헌조사
 - ✓ 실험 참여자
 - ✓ ECG 정량화 척도
 - ✓ 감정 분류 체계
 - ✓ 감정 유발 실험 protocol
 - 운전자 감정 판별 분석
 - ✓ 감정 판별 분석 척도 선정
 - ✓ 감정 판별 모형 개발
- 결론
 - 연구 의의 및 추후 연구

운전자 감정 판별 기술 개발 필요성

- 부정적 감정(i.e., 화남, 불안함 등)은 주행 안전에 악영향을 미침
⇒ 교통 사고 발생 위험 증가

운전자의 정서가 운전 미치는 영향

운전을 할 때 운전기술뿐만 아니라 교통 상황에 대한 대처방안을 생각하고 명료한 판단을 내리는 것도 중요하다. 사람들은 생활 속에서 뿐만 아니라 운전 중에도 부정적이거나 긍정적인 감정을 느끼게 된다.

흥분 ⇒ 운전 부주의

(<http://sem.cckcr.com/board/contentsView.php?idx=1146186&hl=29036>)

흥분된 상태에서 운전할 때는 흥분을 유발한 일에만 생각이 빠져 운전이 부주의하게 된다. 자신도 모르게 속도를 높인다거나 도로표지, 신호 등에 신경 쓰지 않는 등 위험한 운전을 할 수 있다. 그러므로 운전 중 집중할 수 없거나 흥분을 유발할 일이 자꾸만 떠오른다면 집중력이 돌아올 때까지 기다리거나 다른 사람이 운전하도록 한다.

또한 운전은 심신을 전부 이용하는 복잡한 활동이다. 다른 차량의 움직임이나 신호를 보는 것은 물론 주변의 소리도 들어야 한다. 또 이러한 사항들을 기초로 하여 올바른 판단을 내려야 한다. 이때 감정이 흥분된 상태에 있다면 그 부분에 주의를 기울여 운전 정보처리 능력은 감소하게 된다.

자신의 지각 능력과 판단능력을 논리적으로 연결시키는 회로가 일시적으로 마비되어 멍한 상태에 놓이면 위험한 상황을 초래할 수도 있다.

불안 정서로 운전 할 경우 쉽게 교통사고 초래



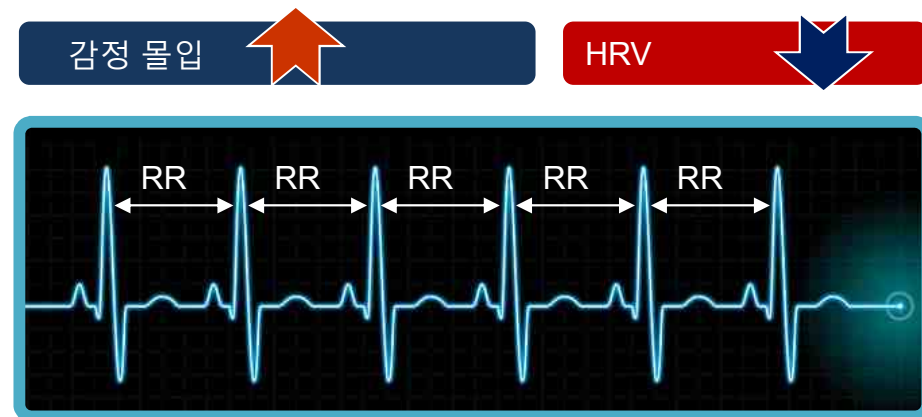
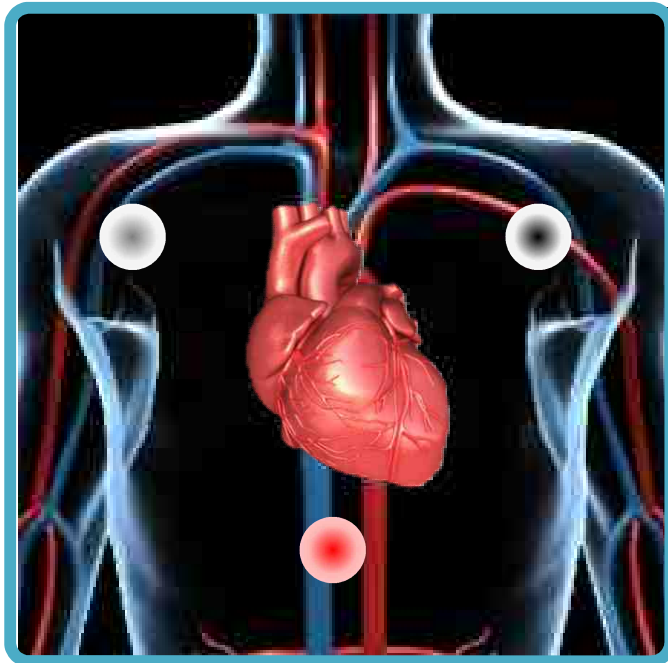
화 또는 낙심 ⇒ 교통사고 발생을 정상운전 대비 9.8배

(<http://sem.cckcr.com/board/contentsView.php?idx=1146186&hl=29036>)

연구원들은 3500대가 넘는 차량에 몰래카메라, 마이크와 감지센서를 설치하고 길게 2년동안 운전자의 매번 운전 행위를 기록하고 교통사고의 주요원인을 분석했다. 운전대상자는 16세에서 98세 사이인데 연구기간, 이 차량들은 총 5632.6만 킬로미터를 운행했고 총 905차의 엄청난 교통사고가 발생했다.

Heart Rate Variability (HRV)

- 하나의 심장박동 주기에서 다음 심장박동 주기 사이의 미세한 변동으로 나타나는 변이(Finkenzeller et al., 2011)
- 심박은 자극에 민감하고 신속하게 반응(Choi and Noh, 2004; Part et al., 2015)



※ RR interval(IBI): the time interval between individual beats

ECG 기반 감정 판별

- ❑ ECG 기반 운전자 감정 판별 성능 ↑ (> 85 %) (Jing et al., 2009; Wagner et al., 2005)
- ❑ Steering wheel (Hong et al., 2014), seat (Lee et al., 2012; Tsuji et al., 2014) 등 차량 내 다양한 부품에서 심박을 측정하는 기술 개발
⇒ ECG 기반 운전자 감정 판별 기술의 상용화 가능성 높음

ECG 기반 감정 판별 정확도 ↑
(Average recognition rate = 85.78%)

TABLE III. THE RECOGNITION OF TWO EMOTIONS USING ECG SIGNAL

Features/Recognition Rate	Classifier	
	KNN	Fisher-KNN
original feature subset	79	79
optimal feature subset	23	12
highest recognition rate	83.68%	94.59%
lowest recognition rate	62.19%	73.71%
average recognition rate	75.85%	85.78%

Jing et al., 2009



연구 필요성

- 개인별로 심박 특성 변화에 민감한 ECG 정량화 척도 상이 (Lee et al., 2010)
 - ⇒ 선행 연구는 감정 판별 모델 개발 시 심박 특성의 개인차를 고려 ×
 - ⇒ 개인별 심박 특성 변화에 민감한 최적 ECG 정량화 척도 파악 및 개인 맞춤형 판별 모형 개발 필요

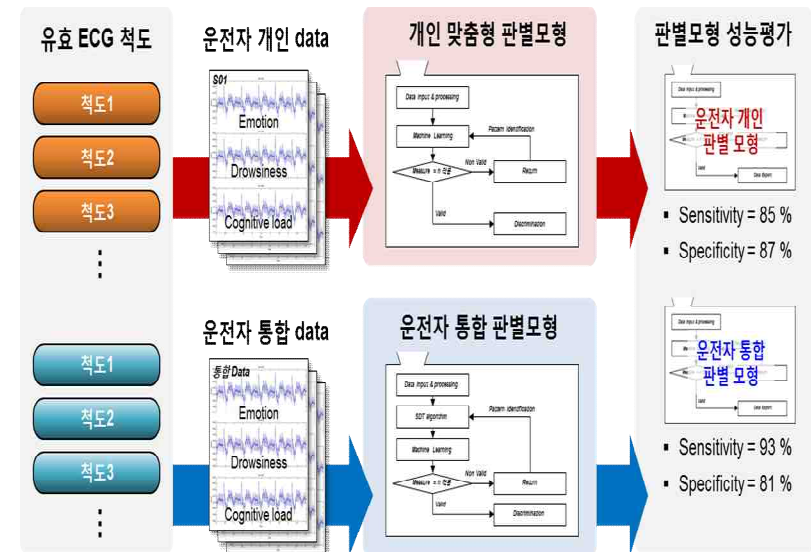
실험 참여자별 최적 ECG 정량화 척도 상이

예: 실험 참여자 1 vs. 실험 참여자 8
 ⇒ ECG 정량화 척도: RMSSD vs. SDNN

Table 3. Individual optimal analysis condition for cognitive workload evaluation and validation

Participant No.	Factors	Measure	Window span (sec)	Update rate (sec)	AUC			Cognitive workload ^a	
					Before driving	During driving	Difference	Low	High
1		RMSSD	40	2	0.989	0.947	-0.042	BL, 0B, 1B	2B
2		-	-	-	< 0.500	-	-	-	-
3		SDNN	30	2	0.658	0.751	0.093	0B, 1B	2B
4		RMSSD	30	1	0.862	0.253	-0.609	0B	1B, 2B
5		RMSSD	30	1	0.993	0.850	-0.143	BL, 0B, 1B	2B
6		SDNN	40	3	0.636	0.336	-0.300	BL, 0B, 1B	2B
7		SDNN	40	1	0.969	0.963	-0.006	0B, 1B	2B
8		SDNN	20	3	0.947	0.651	-0.296	0B, 1B	2B
9		SDNN	40	1	0.946	0.992	0.046	BL, 0B	1B, 2B
10		-	-	-	< 0.500	-	-	-	-
11		Mean IBI	40	2	0.986	0.894	-0.092	BL, 0B, 1B	2B
12		Mean IBI	40	3	0.844	0.693	-0.151	BL, 0B, 1B	2B
13		SDNN	40	3	0.885	0.830	-0.055	0B, 1B	2B
14		-	-	-	< 0.500	-	-	-	-
15		RMSSD	30	1	0.970	0.795	-0.175	BL, 0B	1B, 2B

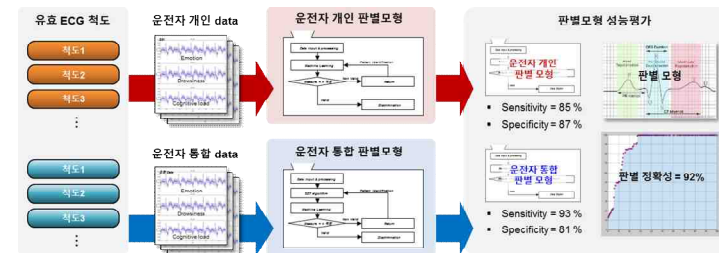
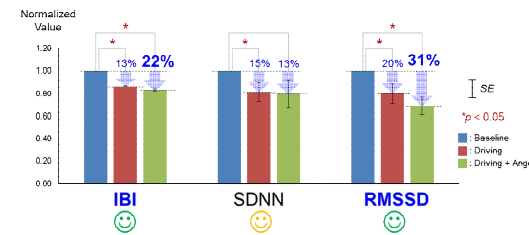
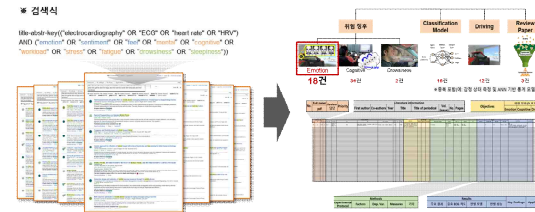
^a BL : baseline; 0B : 0-back; 1B : 1-back; 2B : 2-back.



연구 목표

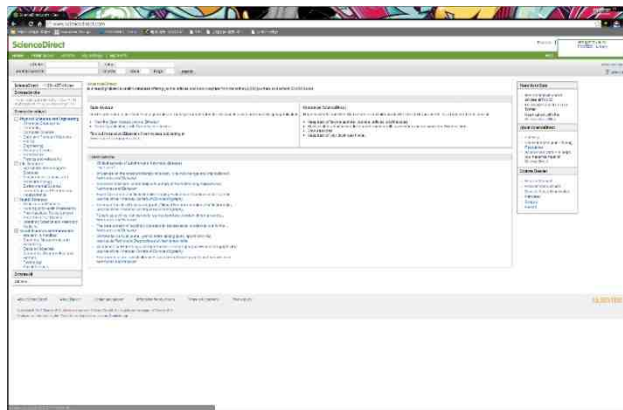
ECG 기반 운전자 감정판별 기술 개발 및 성능 평가

1. ECG 기반 감정 판별 문헌 조사
2. 운전자 감정 판별을 위한
실험참여자별 유효 ECG 척도 파악
3. 개인 맞춤형 운전자 감정 판별 모델
개발 및 성능 평가

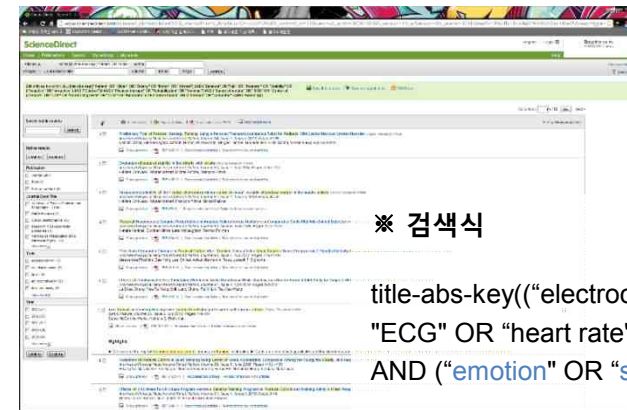


문헌 조사 방법

- 문헌 조사 site: www.sciencedirect.com
- 검색 조건: title, abstract, keyword
- 검색 keyword
 - **ECG** 관련: electrocardiography, ECG, heart rate, HRV
 - **감정** 관련: emotion, sentiment, feel
- 주요 검토 사항: (1) 감정 분류 체계, (2) 감정 유발 방법, (3) 감정에 의한 ECG 척도 변화 경향성



문헌 검색 site: Sciencedirect



※ 검색식

title-abs-key(("electrocardiography" OR "ECG" OR "heart rate" OR "HRV") AND ("emotion" OR "sentiment"))

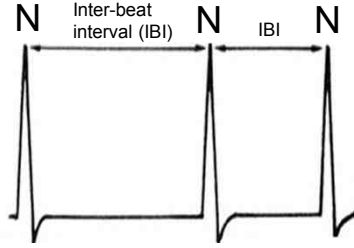
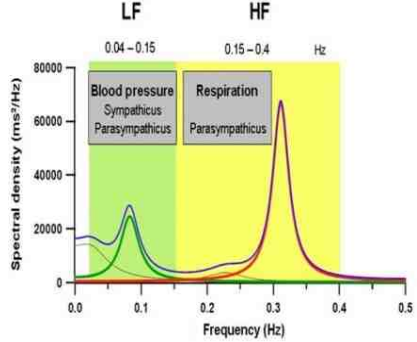
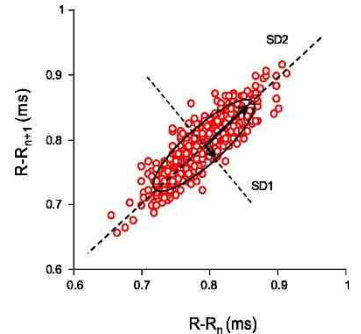
문헌 검색 결과 예

실험 참여자

- 실험 참여자 수는 1 ~ 391명으로 연구간 차이가 매우 큼
- Driving 환경 고려가 미흡한 것으로 파악됨(non-driving = 82%, driving = 18%)

Author (year)	Participant			Age (mean ± SD)	BMI (kg/m ²)	Driving consideration	
	Total	Male	Female			Driving	Non-driving
Lee et al. (2005)	6	3	3	Not specified (N.S.)	N.S.		0
Kim & Andre. (2008)	3		N.S.	23-38 (N.S.)	N.S.		0
Jing et al. (2009)	391		N.S.	19-25 (N.S.)	N.S.		0
Agrafioti et al. (2012)	44		N.S.	N.S.	N.S.		0
Reimer et al. (2009)	1		N.S.	N.S.	N.S.	0	
Lane et al. (2009)	12		N.S.	18-30 (23.3 ± 3.2)	N.S.		0
Jonassaint et al. (2009)	119		N.S.	19-51 (27.31 ± N.S.)	N.S.		0
Hamer et al. (2007)	55		N.S.	N.S. (23.4 ± 3)	(22.1 ± 2.4)		0
*Seok & Kim. (2015)	12		N.S.	20-49	N.S.	0	
Verkuil et al. (2014)	60	19	41	N.S. (22.38 ± 3.27)	N.S.		0
Brosschot & Thayer. (2003)	33	12	21	16-58 (29.18 ± N.S.)	N.S.		0
Average	48.9	14.5	14.7	30.6	22.9		

ECG 정량화 척도

Domain	척도	예시	단위	설명
Time	Mean IBI		ms	IBI의 평균값
	SDNN		ms	IBI의 표준편차
	RMSSD		ms	인접 IBI 간의 표준편차
Frequency	LF		ms ²	낮은 주파수 대역(0.04~0.15Hz)의 power
	HF		ms ²	높은 주파수 대역(0.15~0.4Hz)의 power
	LF/HF		-	LF와 HF의 비율
Non-linear	SD1		ms	SD of the Poincare plot perpendicular to the line of identity ($y=x$) ⇒ Short-term heart rate variability (HRV)
	SD2		ms	SD of the Poincare plot along to the line of identity ($y=x$) ⇒ Long-term heart rate variability (HRV)

감정에 의한 ECG 척도 변화 경향성: 선행 연구

□ 감정 몰입도 ↑

⇒ LF/HF ↑

⇒ IBI, SDNN, RMSSD, HF ↓

□ 기존 연구 부재: SD1, SD2, ApEn, α_1 , α_2

Domain	Measure	Trend	Emotion	Reference
Time	IBI	↓	Negative valence (Anxiety, Anger, Depression)	Jonassaint et al., (2009), Hamer et al., (2007), Miu et al., (2009), Verkuil et al., (2014)
	SDNN	↓	Happiness, Sadness, Disgust	Lane et al., (2009)
	RMSSD	↓	Anxiety	Verkuil et al., (2014)
Frequency	LF		기존 연구 부재	
	HF	↓	Happiness, Sadness, Disgust, Anxiety	Lane et al., (2009), Miu et al., (2009)
	LF/HF	↑	Excitement, Calm	Riener et al., (2009)
Non-linear	SD1		기존 연구 부재	
	SD2			
	ApEn			
	α_1			
	α_2			

Emotion 종류

- 부정적 감정, 중립적 감정, 긍정적 감정을 대표하는 다양한 감정에 대한 연구가 수행되고 있음

Emotion Author (year)	Negative								Neutral	Positive		
	Depress- ion	Sad	Disgust	Fear	Gore	Anger	Erotica	Anxiety	-	Pleasure (Calm)	Happy (Joy)	Satisfact- ion
Lane et al. (2009)		o	o						o		o	
Agrafioti et al. (2012)			o	o	o		o		o		o	
Kim & Andre (2008)		o				o				o	o	
Lee et al. (2005)		o		o						o	o	
Hamer et al. (2003)	o					o						
Brosschot & Thayer (2003)	o (N.S.)									o (N.S.)		
Jing et al. (2009)		o									o	
Reiner et al. (2009)	Only specified arousal											
Jonassaint et al. (2009)	o	o	o	o	o	o	o			o	o	
Seok & Kim (2015)												o
Wagner et al. (2005)		o				o				o	o	
Verkuil et al. (2014)								o				

Emotion 분류 체계

- 감정 분류 시 (1) 1D model과 (2) 2D model이 대표적으로 사용됨
 - **1D model**: 개별 감정을 독립적으로 정량화하여 분류
 - **2D model**: 개별 감정을 2차원으로 나누어 (1) **arousal (high vs. low)**과 (2) **valence (positive vs. negative)**의 측면으로 분류

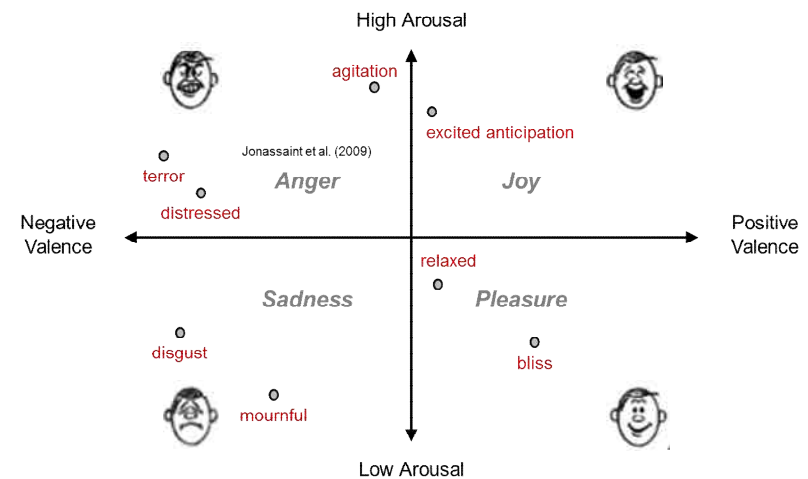
1 dimension (1D) model

(Quintana et al. 2012; Reiner et al. 2009; Jing et al. 2009; Hamer et al. 2007; Seok & Kim 2015; Verkuil et al. 2014)



2 dimension (2D) model

(Agrafioti et al. 2011; Kim & Andre, 2008; Lee et al. 2005; Wagnal et al. 2005)



평가 대상 감정 분류 및 선정: 방법

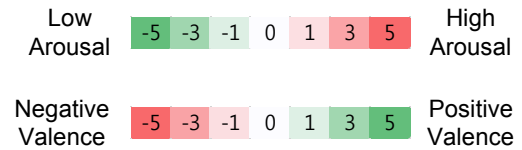
- Arousal과 valence 측면에서 25개의 감정을 11-point bipolar scale을 사용하여 정량적으로 분류(예: depression의 경우 arousal -3점, valence -5점) 후 선정
 - 선행 연구(Russell et al., 1983; Scherer, 2005)의 감정 분류 결과 종합
 - 선행 연구를 통해 정량화 되지 않은 감정의 경우 연구자 3인의 자체 평가 수행



11-point bipolar scale

평가 대상 감정 분류 및 선정

No	Emotion		점수	
	영문	국문	Arousal	Valence
1	Depression	우울함	-3	-5
2	Sadness	슬픔	-5	-3
3	Anxiety	불안	-3	-5
4	Calm	평온	-5	5
5	Bored	지루함	1	-1
6	Lonely	외로움	-5	-5
7	Peaceful	평온	-5	3
8	Melancholic	우울함, 비애	-3	-1
9	Pleasure	기쁨, 즐거움	-1	5
10	Worried	걱정, 우려	-1	-1
11	Disappointed	실망, 낙담	-1	-5
12	Happy	행복, 기쁨	1	5
13	Passionate	열정적인, 열렬하	1	1
14	Disgust	역겨움, 혐오감	3	-5
15	Jealous	질투하는	3	-1
16	Courageous	용감한	3	5
17	Fear	공포, 두려움	5	-3
18	Anger	화, 분노	3	-5
19	Hateful	혐오스러운	5	-3
20	Insecure	불안감, 불안정	-5	-5
21	Wavering	떨리는, 주저하는	-5	-3
22	Solemn	침통함, 엄숙한	-3	5
23	Emphatic	단호한	-5	3
24	Ambitious	야망(포부) 있는	5	3
25	Astonished	깜짝 놀란	-1	1



High arousal & negative valence

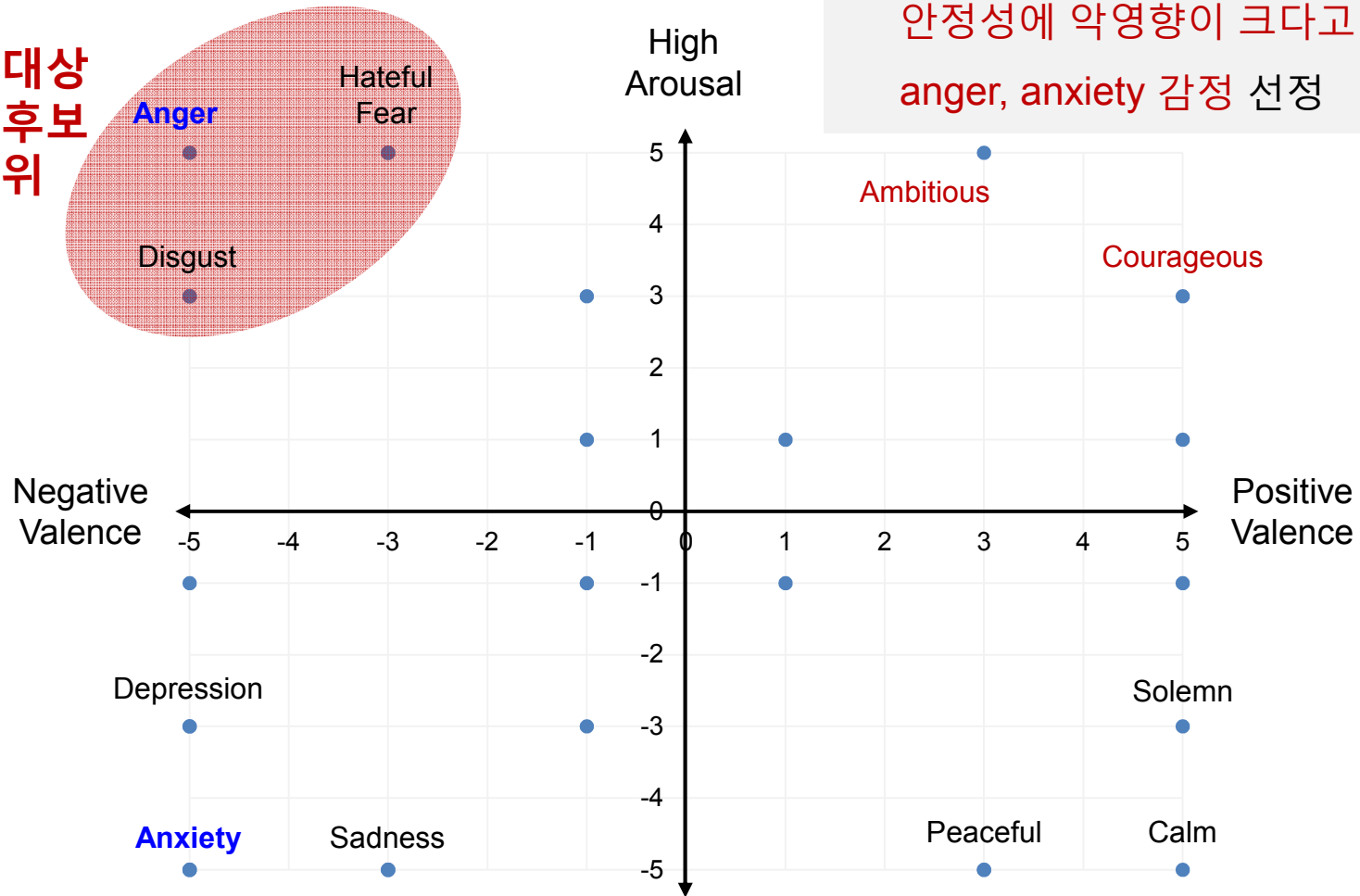
⇒ 평가 대상 감정 후보 1순위

자체 평가
항목

평가 대상 감정 후보

⇒ 자동차 전문가와의 협의를 통해 주행 안정성에 악영향이 크다고 생각되는 anger, anxiety 감정 선정

평가 대상
감정 후보
1순위



감정 유발 방법

- **Active** 또는 **passive** 방법 중에서 하나를 선정하여 실험참여자 감정 유도
 - **Active (expression-based)**: 실험 참여자가 특정 행동 또는 task를 수행하여 감정 유발
 - **Passive (perception-based)**: 실험 참여자에게 시각 및 청각적 자극을 주어 감정 유발
- ⇒ 동일한 시각 및 청각적 자극을 사용하는 **passive** 방법은 모든 실험참여자에게 특정한 감정(anger, anxiety)을 유발하기 어려움 → **active** 방법이 선호됨

1. Active (expression-based)

1. Playing game



(Hoover et al., 2012; Verwey & Zaidel, 1999; Giakoumis et al., 2012; Agrafioti et al., 2012)

2. Verbal task (memory recall + speech)



(Jonassaint et al., 2009)

2. Passive (perception-based)

1. Visual (film clips/images)

(Agrafioti et al., 2012; Lane et al. 2009; Jing et al, 2009; Lee et al. 2005; Peira et al., 2014)



2. Audio (music)

(Wagner et al., 2005; Kim & Andre, 2005)



감정 판별 실험 개요

- 목적: ECG 기반 감정 판별의 가능성 파악 및 **유효 ECG 척도 선정**
- 실험 참여자
 - ✓ 연령: 20대 (남: 1, 여: 1), 60대(여: 1)
 - ✓ 모집 기준: **감정에 민감한 사람**(STAXI-2, STAI 평가)
 1. State-Trait Anger Expression Inventory-2 (STAXI-2): T-anger score > 60th %ile
 2. State-Trait Anxiety Inventory (STAI): T-anxiety score ≥ 45점(약간 높음)
 3. 운전 경력 2년 이상
- 실험 방법: 일정 속도(100 km/hr)로 **주행하며 emotion(anger or anxiety) recall**
- 독립변수
 1. 감정 상태: (1) **Anger**, (2) **Anxiety**
 2. Driving task: 1-lane에서 일정 속도(60km/hr)로 주행
- 종속변수: (1) Time, (2) Frequency, (3) Non-linear domain ECG measures


감정 평가 설문지

종류	구분	Descriptions
State-Trait Anxiety Inventory (STAI)	State-Anxiety (S-Anxiety)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 현재 불안한 감정의 강도(intensity) 측정 ✓ 점수 ↑ ⇒ 긴장감(tension) & 불안감(anxiety) ↑
	Trait-Anxiety (T-Anxiety)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 불안 성향의 개인차(individual difference) 측정 ✓ 점수 ↑ ⇒ (1) 위험 또는 위협으로 인식되는 상황, (2) 부적당한 대인관계에서 더 자주, 더 강하게 S-Anxiety 경험
State-Trait Anger Expression Inventory-2 (STAXI-2)	State-Anger (S-Anger)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 평가 당시 화나는 감정의 강도 측정 ✓ 말이나 신체적으로 화를 표현하는 정도 측정
	Trait-Anger (T-Anger)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 화나는 감정을 경험하는 빈도에 대한 개인차 측정
	Anger Expression Index (AX Index)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Anger 표현(Expression & Control)에 대한 대표적 지표 ✓ $AX\ Index = AX/Out + AX/In - (AX/Con-Out + AX/Con-In) + 48$

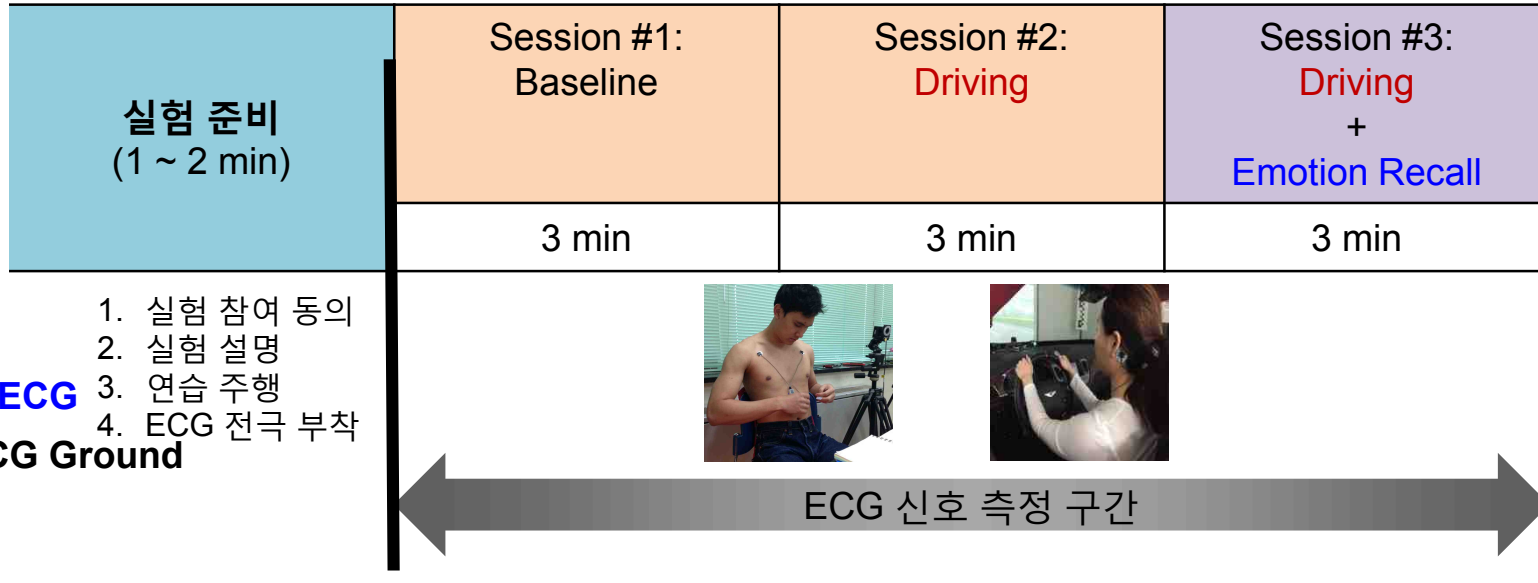
실험 참여자 선정






Participants			Trait Anger (Percentile)	Trait Anxiety (Raw Score)
No.	Gender	Age		
S01	F	27	10	50
★ S02	M	27	60	56
S03	M	26	55	39
S04	M	32	55	41
S05	F	22	35	41
S06	M	29	45	33
S07	F	24	35	43
S08	M	27	45	42
S09	M	24	50	48
S10	M	50	60	47
★ S11	M	61	96	47
S12	F	49	45	37
S13	M	37	75	49
S14	M	27	80	58
S15	M	28	35	26
S16	F	26	35	39
★ S17	F	28	95	47
S18	F	48	15	30


 Trait anger > 60th ile
 Trait anxiety > 45

실험 Protocol



감정 상태별 ECG 측정 실험 순서표 (Anger와 anxiety에 대해 각 3회 반복)

Experimental order		No.1	No. 2	No. 3	No. 4	No.5	No.6
Subject 1		Anger	Anxiety	Anger	Anxiety	Anger	Anxiety
Subject 2		Anxiety	Anger	Anxiety	Anger	Anxiety	Anger
Subject 3		Anger	Anxiety	Anger	Anxiety	Anger	Anxiety

 Counter balanced

분석 절차

S1. ECG 신호 Normalization (by mean of baseline)

- Driving: Driving ECG data / mean of baseline ECG data
- Driving (Dr) + emotion recall (ER):
Dr + ER ECG data / mean of baseline ECG data

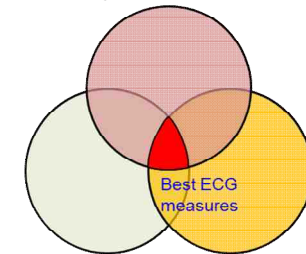
S2. 유효 ECG 척도(감정 변화에 민감한 척도) 파악

- 1) **Trend agreement**: 기존 문헌에서의 감정 변화에 따른 ECG 신호 변화 경향과 부합성
- 2) **통계적 유의성**: ANOVA 분석을 통한 task간(Baseline, Dr, Dr+ER) 차이 (p -value: ≤ 0.05)
- 3) **실험 재현성**: coefficient of variation (CV) $\leq 30\%$ (Wang et al., 2011)

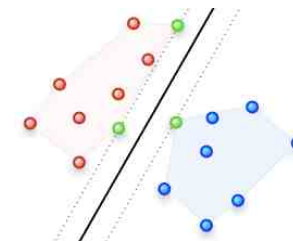
S3. 판별 모델 개발(linear support vector machine)

- 실험 참여자 통합
 - K-fold cross validation
 - Training data(2명) + test data(1명) \rightarrow 3 run times

(1) Trend analysis



(2) Statistical significance



감정 변화에 민감한 ECG 척도

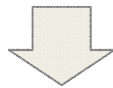
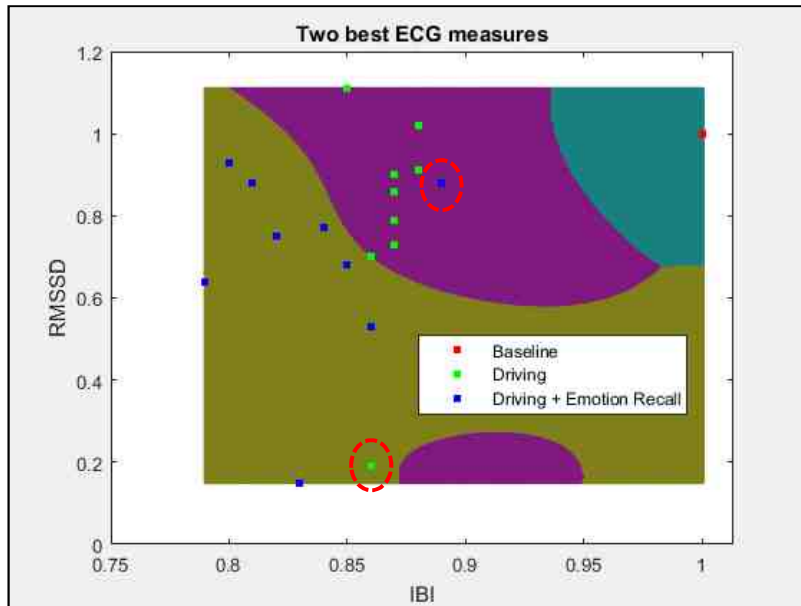
□ 각 실험참여자 감정별 2개 이상의 유효 ECG 척도 파악

Participant No.	Emotion	Task	ECG measure							
			IBI	SDNN	RMSSD	LF	HF	LF/HF	SD1	SD2
S01	Anger	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								
	Anxiety	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								
S02	Anger	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								
	Anxiety	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								
S03	Anger	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								
	Anxiety	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								
All	Anger	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								
	Anxiety	Trend agreement								
		p value								
		Mean CV								

※ 유효 척도 기준을 모두 만족시키는 척도가 1가지 인 경우 → 세가지 기준 중 2가지 충족 시 선택

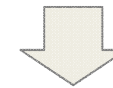
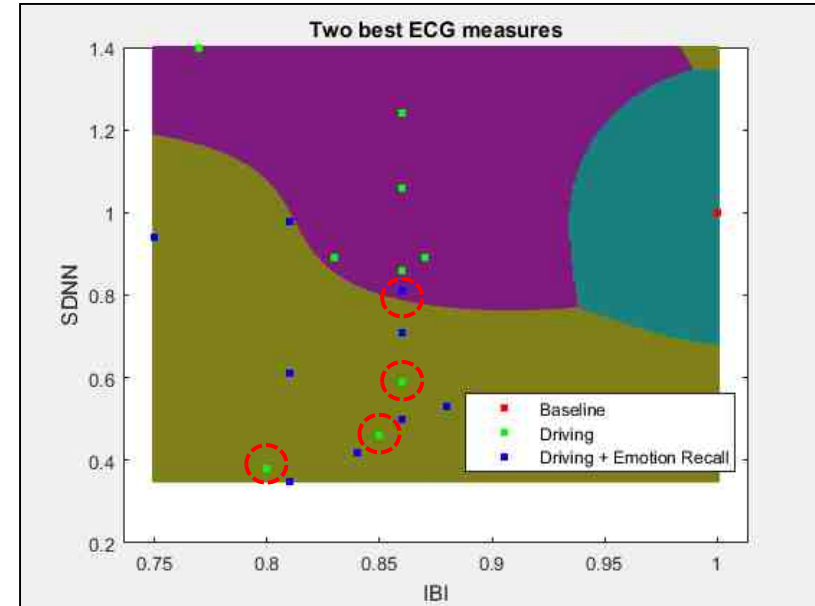
판별 분석 결과: 전체 실험 참여자

Anger



Average accuracy = 84.1 %
(Sensitivity: 86%, Specificity: 82.2%)

Anxiety



Average accuracy = 70.2 %
(Sensitivity: 70.3%, Specificity: 70%)

판별 분석 결과: 개인 실험 참여자별

Subject No.	Anger	Anxiety	Average accuracy
S01			<ul style="list-style-type: none"> Anger: 100% Anxiety: 90.3%
S02			<ul style="list-style-type: none"> Anger: 90.3% Anxiety: 77.8%
S03			<ul style="list-style-type: none"> Anger: 100% Anxiety: 100%

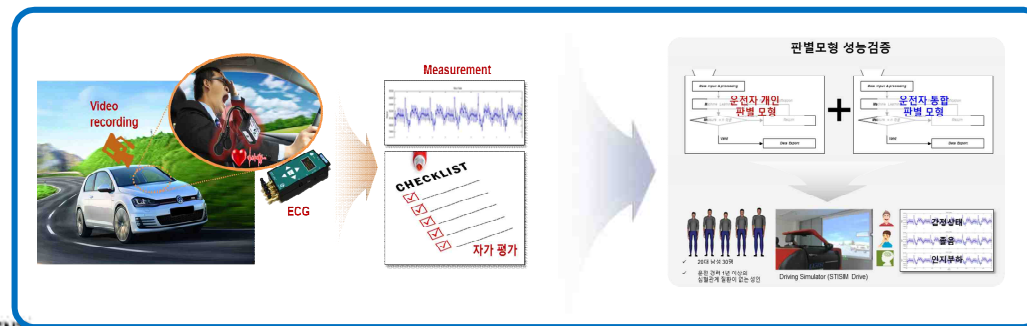
토의

□ Contributions

- 개인차를 고려한 실험 참여자별 유효 ECG 척도 선정
- 유효 ECG 척도 기반 개인 맞춤형 판별 모형 개발 및 성능 평가
- 본 연구에서 제안된 운전자 감정 판별 모형은 운전자 감정 변화를 감지하여 교통사고의 발생 위험을 저감시킬 수 있음

□ 연구 한계점 및 추후 연구

- Driving simulator 기반의 소규모 실험 ($n = 3$)이 수행됨
- ⇒ 실험 참여자 확대 후 실차주행 기반 판별 모형 개발 및 성능 검증



Q & A

Thank you for your attention!

