

Master's Thesis

운전자 개인 맞춤형  
부정적 이상 감정 징후 탐지 모형 개발

Gunhee Oh (오 건 희)

Department of Industrial and Management Engineering

(Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang University of Science and Technology

2018

운전자 개인 맞춤형  
부정적 이상 감정 징후 탐지 모형 개발

Development of a Driver Specific Detection Model  
for Adverse Emotional Symptoms

# Development of a Driver Specific Detection Model for Adverse Emotional Symptoms

by

Gunhee Oh

Department of Industrial and Management Engineering

(Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang University of Science and Technology

A thesis submitted to the faculty of the Pohang University of Science and Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Department of Industrial and Management Engineering (Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang, Korea

12. 13. 2017

Approved by

Heecheon You (Signature)

Academic Advisor

# Development of a Driver Specific Detection Model for Adverse Emotional Symptoms

Gunhee Oh

The undersigned have examined this thesis and hereby certify that it is  
worthy of acceptance for a master's degree from POSTECH

12/13/2017

Committee Chair Heecheon You

Member Kihyo Jung

Member Minseok Song

MIME 오건희, Gunhee Oh

20162826 Development of a Driver Specific Detection Model

for Adverse Emotional Symptoms

운전자 개인 맞춤형 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형 개발

Division of Industrial and Management Engineering (Human Factors and Ergonomics Program), 2018, 136P, Advisor: Heecheon You, Text in Korean.

## **ABSTRACT**

A driver's adverse emotion aroused during driving increases the risk of traffic accidents by reinforcing risky driving behaviors such as aggressive driving, speeding, and traffic violation. Previous studies have developed a model to discriminate a driver's adverse emotions using only physiological information such as ECG (electrocardiography), SC (skin conductance), EMG (electromyography), and RSP (respiration rate); however, there is insufficient research to recognize emotions based on physiological information and driving performance together. In addition, most of previous studies did not reflect differences in individual physiological characteristics in response to adverse emotions and developed a subject-independent emotion detection model rather than a personalized model.

This study aims to develop a personalized model that can detect a driver's adverse

emotional symptoms based on individual optimal ECG and driving performance measures for emotion detection. This study consists of three steps: (1) establishment of a driver emotion evaluation experimental protocol, (2) selection of optimal ECG and driving performance measures for adverse emotional symptom detection, (3) development and validation of the detection model of a driver's adverse emotional symptoms.

First, an emotion induction method was designed to induce a driver's adverse emotion effectively during a driving test, and an experiment that can evaluate a driver's emotion was conducted. Sixteen healthy participants (male:8, female:8) were recruited and three different types of emotion (1. neutral, 2. anger, 3. anxiety) were evaluated during a driving test. The adverse emotion was induced by continuously presenting keywords from individual different situations that aroused anger or anxiety in the past on the driving simulator display during driving. Next, the trends of changes in ECG (IBI and LF/HF) and driving performance measures (driving speed, steering wheel rate, and centripetal acceleration) by the three types of emotion were analyzed relatively.

Second, individual optimal measures were selected for the detection of adverse emotional symptoms during driving considering the individual heart rate characteristics and driving performance. Each ECG and driving performance measure was normalized by corresponding baseline data in order to lower variability by individual differences and different units of variables. The individual's optimal measures were selected based on the following three criteria: (1) whether the tendency of the data change by emotion is consistent

with the trend of previous studies, (2) the statistical significance of the difference in the change of each measure by three different types of emotion ( $p < .10$ ), and (3) repeatability (coefficient of variation  $< 30\%$ ).

Third, a driver-specific emotional symptom detection model was developed based on driver's individual optimal measures and the model performance of the model was validated. Two types of detection model (1. neutral vs. anger, 2. neutral vs. anxiety) were developed with non-linear support vector machine (SVM), and the performance of the model was evaluated by k-fold cross validation ( $k=3$ ). The accuracy of the SVM model was 87.5% for anger and 79.2% for anxiety.

The driver specific detection model for adverse emotional symptoms developed in this study can be used in a system that detects and warns of adverse emotional symptoms while driving to reduce the risk of traffic accidents. However, this study has a limitation that it is based on a simulated driving experiment. In an actual driving situation, ECG and driving performance measures used in this study may be influenced by factors such as surrounding vehicles, traffic conditions, and speed limits; thus, it is necessary to conduct a driver's emotion evaluation experiment in the real driving environment in future research. In addition, this study aimed to develop a model that can discriminate between driving only situations and the situation where emotions are aroused while driving.

# TABLE OF CONTENTS

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>i</b>
<b>TABLE OF CONTENTS .....</b>	<b>iv</b>
<b>LIST OF FIGURES.....</b>	<b>vii</b>
<b>LIST OF TABLES .....</b>	<b>ix</b>
<b>Chapter 1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1. Research Background.....	1
1.2. Objectives of the Study .....	8
1.3. Organization of the Thesis .....	10
<b>Chapter 2. Literature Review .....</b>	<b>11</b>
2.1. Definition of Emotion .....	12
2.1.1. Emotion Arousal Mechanism .....	12
2.1.2. Emotion Classification System .....	17
2.2. Emotion Evaluation Measures .....	19
2.2.1. Physiological Evaluation.....	20
2.2.2. Driving Performance .....	23
2.2.3. Subject Evaluation.....	26
2.3. Emotion Evaluation Experiment .....	28
2.3.1. Driving Task.....	28

2.3.2. Emotion Induction Task .....	29
2.3.3. Statistical Classification Model.....	32
<b>Chapter 3. Driver’s Emotion Evaluation Experiment.....</b>	<b>36</b>
3.1. Participants .....	36
3.2. Apparatus .....	36
3.3. Experimental Tasks .....	39
3.4. Experimental Procedure .....	42
3.5. Analysis Protocol .....	44
3.6. Results .....	48
3.6.1. Physiological Evaluation (ECG) .....	48
3.6.2. Driving Performance .....	51
3.6.3. Subject Evaluation.....	57
3.6.4. Relationship between ECG and Driving Performance .....	62
<b>Chapter 4. Emotional Symptom Detection Model of Driver .....</b>	<b>65</b>
4.1. Development of Statistical Classification Model .....	65
4.1.1. Significant Feature Selection .....	65
4.1.2. Data Modeling and Model Performance Evaluation .....	71
4.2. Validation of Statistical Classification Model .....	73
<b>Chapter 5. Discussion.....</b>	<b>75</b>
5.1. Driver’s Emotion Recognition Experiment.....	75

5.2. Emotional Symptom Detection Model of Driver .....	81
<b>Chapter 6. Conclusion.....</b>	<b>85</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>87</b>
<b>APPENDICES .....</b>	<b>93</b>
Appendix A. IRB Approval .....	93
Appendix B. Existing Research on Emotion Evaluation.....	98
Appendix C. Questionnaire for Subjective Emotion Evaluation.....	100
Appendix D. Selection of Individual Optimal Measures for Emotion Recognition..	108
Appendix E. R Code for SVM (Support Vector Machine) Modeling.....	112
Appendix F. Driving Map.....	114
Appendix G. Randomized Latin Square Design.....	115
Appendix H. ANOVA Results .....	116

## LIST OF FIGURES

Figure 1.1. 감정에 의한 ECG 변화 경향의 개인차 예시.....	4
Figure 1.2. 감정에 의한 운전자 주행 척도 변화 경향의 개인차 예시.....	6
Figure 1.3. 운전자 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형 개발 연구 절차.....	9
Figure 2.1. 감정에 의한 자율 신경계 활성화 메커니즘.....	14
Figure 2.2. 감정에 의한 인지, 생리, 행동 반응 변화.....	16
Figure 2.3. 감정 분류 체계 (1D vs. 2D vs. 3D models).....	17
Figure 2.4. 주관적 감정 평가 방법(self-assessment manikin; SAM).....	26
Figure 3.1. 운전자 감정 평가 실험 환경.....	37
Figure 3.2. ECG 측정 장비 및 부착 위치.....	38
Figure 3.3. 2D model을 활용한 감정 분류 결과.....	41
Figure 3.4. 주행 평가 중 감정 유도 예시.....	41
Figure 3.5. 운전자 감정 평가 실험 절차.....	42
Figure 3.6. 구심 가속도(centripetal acceleration).....	46
Figure 3.7. 감정 유형에 따른 inter-beat interval (IBI) 변화 (baseline vs. 주행 전반 vs. 주행 후반).....	49
Figure 3.8. 감정 유형에 따른 inter-beat interval (IBI) 변화 (시간 구간별).....	49
Figure 3.9. 감정 유형에 따른 LF/HF ratio 변화 (baseline vs. 주행 전반 vs. 주행 후반).....	50
Figure 3.10. 감정 유형에 따른 LF/HF ratio 변화 (시간 구간별).....	51

Figure 3.11. 감정 유형에 따른 driving speed 변화 (주행 전반 vs. 후반).....	52
Figure 3.12. 감정 유형에 따른 driving speed 변화 (시간 구간별).....	53
Figure 3.13. 감정 유형에 따른 steering wheel rate 변화 (주행 전반 vs. 후반).....	54
Figure 3.14. 감정 유형에 따른 steering wheel rate 변화 (시간 구간별).....	54
Figure 3.15. 감정 유형에 따른 centripetal acceleration 변화 (주행 전반 vs. 후반) .....	56
Figure 3.16. 감정 유형에 따른 centripetal acceleration 변화 (시간 구간별).....	56
Figure 3.17. 감정 유형에 따른 주관적 분노 지수 변화 (주행 전반 vs. 후반).....	57
Figure 3.18. 감정 유형에 따른 주관적 불안 지수 변화 (주행 전반 vs. 후반).....	58
Figure 3.19. 주관적 분노 성향(trait anger)에 따른 감정 효과 차이.....	60
Figure 3.20. 주관적 불안 성향(trait anxiety)에 따른 감정 효과 차이.....	61
Figure 3.21. 분노 유발 시 ECG 척도와 운전자 주행 척도간 상관 관계.....	63
Figure 3.22. 불안 유발 시 ECG 척도와 운전자 주행 척도간 상관 관계.....	64

## LIST OF TABLES

Table 2.1. 감정 평가 관련 문헌 조사 핵심어 .....	11
Table 2.2. 감정에 의한 생리학적 척도 변화 경향성 .....	21
Table 2.3. 감정에 의한 운전자 주행 척도 변화 경향성.....	24
Table 2.4. STAI (state-trait anxiety inventory) 설문 평가 항목 예시 .....	28
Table 2.5. 감정 유도 방법 기존 연구 동향 .....	32
Table 2.6. 감정 판별 기법 및 성능 기존 연구 동향 .....	35
Table 3.1. 주관적 감정 설문 평가 방법 (STAI, STAXI-2).....	38
Table 3.2. 주관적 감정 성향(trait) 기반 실험 참여자 분류 .....	59
Table 4.1. ECG 정량화 척도 .....	66
Table 4.2. 감정 탐지 최적 척도 선정 결과: 분노(anger).....	69
Table 4.3. 감정 탐지 최적 척도 선정 결과: 불안(anxiety).....	70
Table 4.4. 운전자 부정적 감정 징후 탐지 모형 성능 평가 결과.....	74

# Chapter 1. Introduction

## 1.1. Research Background

졸음, 인지 부하, 과도한 감정 몰입과 같은 운전자 위험 징후는 교통 사고 발생률을 증가시킨다. Rumar (1985)는 미국과 영국에서 발생한 교통사고의 발생 원인을 분석한 결과 운전자 관련 요인이 각각 95%, 94%를 차지한다고 보고하였다. US National Sleep Foundation에 따르면 미국의 경우 졸음 운전으로 인해 매년 최소 100,000건의 차량 사고가 발생하는 것으로 나타났다(Rau, 2015). 또한, National Safety Council (NSC)에 따르면 전체 교통사고의 약 21%가 운전자의 인지 부하에 기인하는 것으로 밝혀졌다(NSC, 2012). 운전자의 감정 상태는 난폭 운전, 과속, 신호 위반 등과 같은 위험 운전 빈도를 증가시키고 이에 교통 사고 발생 위험을 증가시킨다(Brake, n.d.). AAA Foundation for Traffic Safety (2009)는 미국에서 발생하는 모든 교통 사고의 약 56%가 운전자의 공격적인 운전 행동에 기인하는 것을 밝혀냈으며, 2014년 10,000 건 이상의 교통 사고가 과속으로 인해 발생하였다고 보고하였다(National Safety Council, 2014).

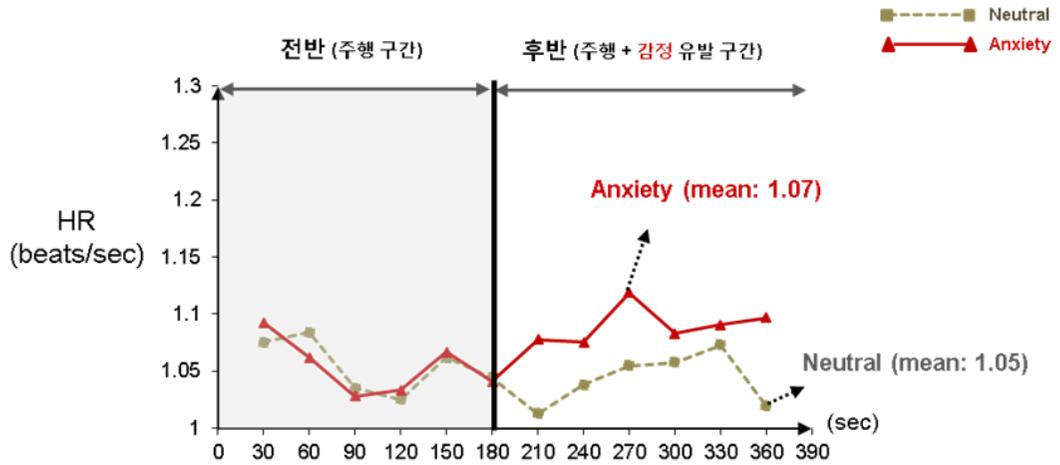
운전자의 부정적인 감정은 운전자의 주행 능력을 저하시켜 위험 운전 빈도를 증가시킨다. Stephens & Groeger (2009)는 운전자의 높은 분노 수준은 주행 가속도와 핸들 회전각의 편차를 각각 290%, 150% 증가시키는 것을 밝혀냈다.

높은 수준의 불안감은 운전자의 정보 처리 능력을 저하시키고 새로운 자극에 대한 반응 능력 수준을 저해하는 것으로 파악되었다(Andres et al., 1994). 또한, 공격적이고 우울한 성향의 운전자는 주행 중 잠재적인 위협을 인지하는 능력과 위급 상황 시 주행 속도 제어 능력이 현저히 낮은 것으로 보고되었다(Deery & Fildes, 1999). 운전자의 평소 부정적인 성향 또한 그 수준이 높을수록 위험 운전 경향이 강한 것으로 파악되었다. Kwon & Oh (2013)는 운전자의 부정적인 성향이 강할수록 안전 운전 및 여유 운전의 빈도는 감소 ( $\gamma = -0.56; p < .01$ )하는 반면 난폭 운전 및 법규 위반의 빈도는 급증 ( $\gamma = 0.83; p < .01$ )하는 것을 밝혀냈다. Hu et al. (2013)은 부정적인 감정의 현재 상태와 평소 성향 모두 운전자의 합리적인 판단을 저해함으로써 위험 운전 성향을 강화하고 이는 결국 과속과 같은 위험 운전 행동으로 이어진다고 보고하였다.

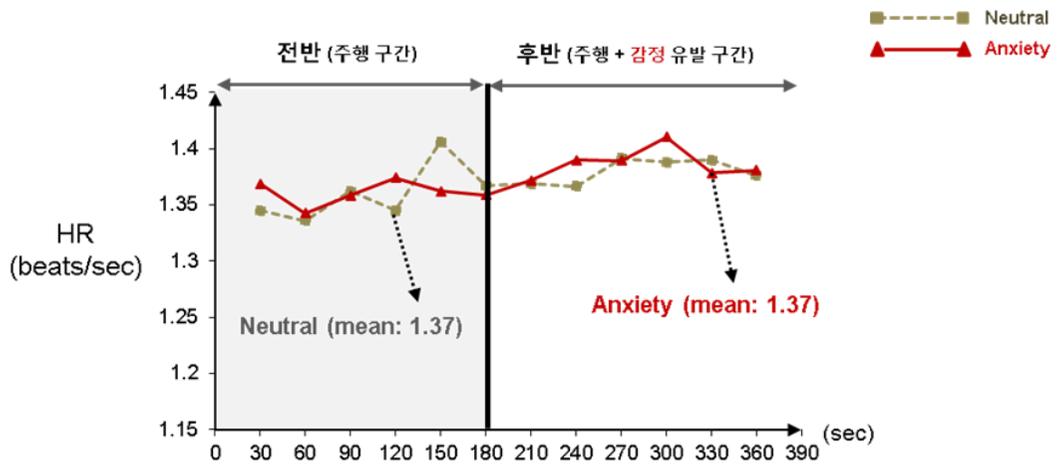
운전자의 감정을 판별하기 위한 다양한 연구가 수행되었으나, 생리학적 정보와 주행 정보를 종합적으로 연계한 운전자 감정 평가와 개인별로 상이한 생리학적 특성의 반영 측면에서 보완될 필요가 있다. Katis et al. (2008)은 생체 신호의 실시간 측정이 가능한 wearable system을 활용하여 자동차 경주 중 선수들의 4가지 생체 신호(electrocardiogram (ECG), electromyogram (EMG), electrodermal activity (EDA), respiration (RSP))를 측정하고 이를 기반으로 운전자 감정 판별 모형을 개발하고 그 성능을 검증하였다. Seok & Kim (2015)은 운전자의 생체 신호와 주행 정보를 종합적으로 고려하여 운전자 상태를

평가하는 시스템을 제안하였으나 실제 평가 실험에서는 주행 정보 중 주행 시간(driving time)만이 활용되었다. 또한, Zhu et al. (2016)은 운전자 정보(예: 생체 신호, 현재 감정 상태의 self-report), 도로 및 교통 정보, 차량 정보, 그리고 주행 정보를 종합적으로 고려하여 운전자의 감정 상태를 인식하고 적합한 음악을 추천해 주는 시스템을 제안하였으나 실제로는 심장 박동수(heart rate: HR)만을 활용하여 운전자의 감정이 평가되었다.

다음으로, 기존 운전자 감정 평가 관련 연구는 감정에 반응하는 생리학적 특성의 개인차를 보정하는 작업이 미흡하였다. 운전자 감정 평가 시 실험 참여자마다 감정에 민감한 척도가 상이하며, 생체 신호 자체의 절대적인 scale이 다르다. 예를 들어, ECG 측면에서 Driver A (Figure 1.1.a)는 불안 감정 유발 후 감정 중립 상태 대비 심장 박동수(heart rate; HR)가 소폭 증가하나 Driver B (Figure 1.1.b)는 유지되는 경향을 보인다. 또한, Driver A는 감정 중립 상태와 불안 상태에서의 평균 heart rate가 각각 1.07 beats/sec, 1.05 beats/sec로 Driver B의 감정 중립 상태(1.37 beats/sec)와 불안 상태(1.37 beats/sec)보다 각각 약 0.3 beats/sec, 0.32 beats/sec 작은 것으로 파악되었다.



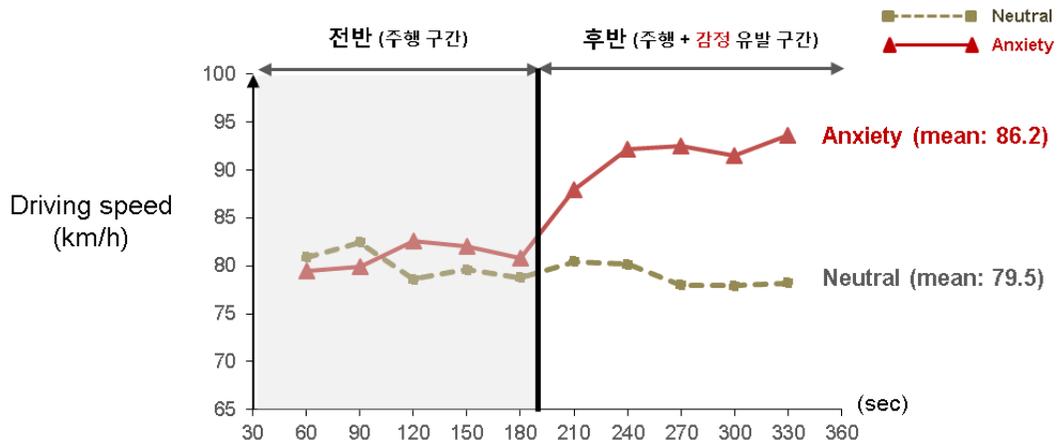
(a) Driver A



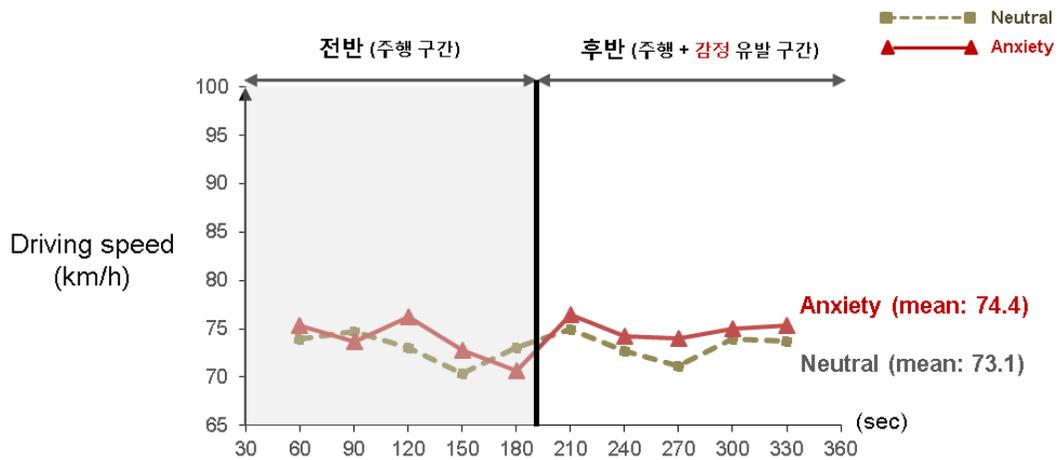
(b) Driver B

Figure 1.1. 감정에 의한 ECG 변화 경향의 개인차 예시

또한, 개인의 평소 주행 습관에 따라 감정 유발 시 운전자 주행 척도의 변화 경향이 상이하며 이에 보정이 필요하다. 예를 들어, Driver C (Figure 1.2.a)는 불안 감정이 유도된 후 감정 중립 상태 대비 주행 속도가 상승하나 Driver D (Figure 1.2.b)는 유지되는 경향을 보인다. 또한, Driver C는 감정 중립 상태(neutral)와 불안 상태(anxiety)에서의 평균 주행 속도가 각각 86.2 km/h, 79.5 km/h로 Driver D의 감정 중립 상태(74.4 km/h)와 불안 상태(73.1 km/h)보다 주행속도가 각각 11.8 km/h, 6.4 km/h 큰 것으로 파악되었다. 개인 맞춤형 감정 탐지 모형을 개발하기 위해서는 개인마다 감정에 민감하게 반응하는 척도를 다르게 선정해야 한다. 또한, 감정이 유도되었을 때 각 실험 참여자의 다양한 감정 평가 척도가 변화되는 경향을 상대적으로 비교 분석하기 위해서는 각 실험 참여자의 감정 평가 척도 데이터를 baseline을 기준으로 normalization할 필요가 있다.



(a) Driver C



(b) Driver D

Figure 1.2. 감정에 의한 운전자 주행 척도 변화 경향의 개인차 예시

생체신호와 주행 정보를 활용한 개인 맞춤형 운전자 감정 판별은 판별 성능이 우수하고 차량 내 환경에서 데이터 측정이 용이하므로 감정으로 인한 주행 사고를 경감하는데 유용하게 활용될 수 있다. Cai et al. (2009)은 다양한 ECG 정량화 척도를 기반으로 joy와 sadness에 대한 판별 모형을 개발하였으며 그 중 sadness에 대한 판별 성능은 약 90%로 우수하였다. Lee et al. (2005)은 ECG 및 SC 신호를 활용하여 4가지 감정(sad, calm, interesting, fear)에 대한 판별 모형을 개발하였으며 sad 및 fear 감정에 대한 평균 판별 정확도는 약 86%로 보고되었다. 운전자 주행 척도를 활용한 운전자 감정 판별 연구는 미흡한 실정이나, 운전자의 부정적인 감정과 운전자 주행 척도의 관계가 통계적으로 유의하며 일관된 경향을 보여(Jeon, 2015; Mesken et al., 2007; Roidl et al., 2014) 운전자 부정적 이상 감정 징후 탐지에 있어 활용도가 높다. Jeon (2015)은 평온한 상태 대비 분노 감정 발생 시 차선 이탈, 교통 신호 위반, 과속, 충돌사고와 같은 주행 오류의 빈도가 유의하게 증가된다고 보고하였다. Mesken et al. (2007)은 주행 중 분노 감정을 경험하였다고 보고한 운전자가 그렇지 않은 운전자 대비 평균 주행 속도가 약 3 km/h 빠르며( $F(1,27) = 48, p < .05$ ) 전체 주행 시간 대비 속도 위반 시간 비율이 13% 큰 것으로 파악하였다( $F(1,27) = 4.8, p < .05$ ). 또한, steering wheel (Jung & Shin, 2014), seat (Sakai et al., 2013) 등 차량 내 다양한 부품에 ECG 측정 센서를 내장하여 정상적인 주행에 방해 없이 신호를 간편하게 실시간으로 측정하는 기술이 개발되었다. 따라서, 감정 판별의 우수한

성능과 상용화 가능성을 종합적으로 고려해 보았을 때 ECG와 운전자 주행 정보 기반의 운전자의 부정적 이상 감정 징후를 탐지할 수 있는 모형을 개발하고 그 유용성을 고찰해 볼 필요성이 있다.

## 1.2. Objectives of the Study

본 연구는 주행 중 운전자 감정에 의해 변화되는 개인별 생리학적 특성과 운전자 주행 척도를 종합적으로 고려하여 운전자 개인 맞춤형 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형을 개발하고 검증한다. 이를 위해 본 연구는 (1) 운전자 감정 평가 실험 protocol 수립, (2) 개인별 감정 탐지 최적 척도 파악, 그리고 (3) 운전자 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형 개발 및 검증의 3가지 세부 목표를 가진다(Figure 1.3).

첫째, 주행 중 운전자 감정을 효과적으로 유발할 수 있는 방법과 주행 중 유발되는 운전자 감정을 평가할 수 있는 실험을 설계한다. 20~40대 남녀 16명을 대상으로 총 3가지 유형의 감정(neutral, anger, anxiety)을 제공하고 중립 감정(neutral) 대비 분노(anger)와 불안(anxiety)이 유도된 상태에서 (1) ECG, (2) 운전 주행 척도, 그리고 (3) 주관적 감정 점수의 변화 양상을 상대적으로 평가한다.

둘째, 개인별 심장 박동과 주행 습관을 고려하여 주행 중 부정적 이상 감정 징후 탐지에 효과적인 최적 척도를 선정한다. ECG 신호와 운전자 주행

정보의 다양한 정량화 척도 중 (1) 기존 연구에서 감정에 따른 척도 변화 경향성과의 일치 여부, (2) 감정에 의한 차이의 통계적 유의성, 그리고 (3) 실험 반복성(데이터 신뢰성)의 3가지 조건을 기준으로 감정 탐지에 효과적인 척도를 선별한다.

셋째, 운전자 개인별 최적 감정 탐지 척도를 기반으로 운전자 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형을 개발하고 그 성능을 검증한다. Non-linear support vector machine 기법을 적용하여 2가지 유형(neutral vs. anger, neutral vs. anxiety)의 모형을 개발한 후 k-fold cross validation을 적용하여 탐지 모형의 성능이 평가된다.

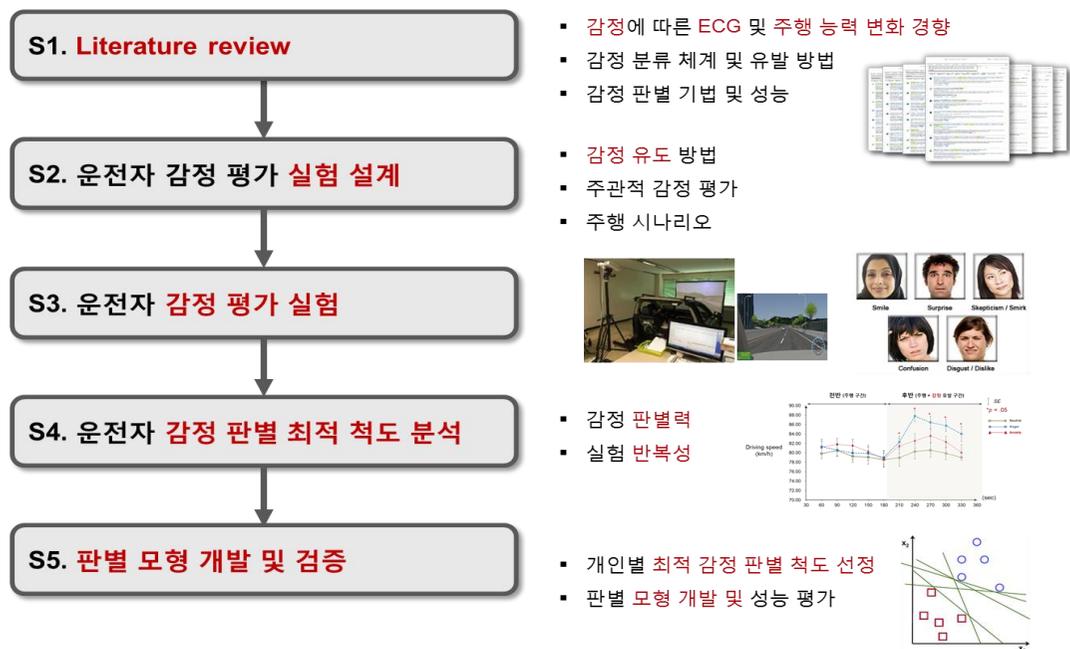


Figure 1.3. 운전자 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형 개발 연구 절차

### 1.3. Organization of the Thesis

본 논문은 총 5개의 장과 부록으로 구성되어 있다. 제 1장은 연구의 배경 및 필요성, 연구 목적과 같은 본 연구의 전반적인 개요를 다루고 있으며, 제 2장은 기존 문헌 조사 결과 감정 발생 mechanism, 감정 분류 체계, 감정 유도 방법, 그리고 감정 판별 기법 및 판별 성능의 기존 연구 동향에 대해 기술하고 있다. 제 3장은 운전자 감정 평가 실험 방법과 데이터 처리에 대한 전반적인 내용을 기술하고 있으며, 감정에 의한 ECG, 운전자 주행 척도, 그리고 주관적 감정 평가 결과의 변화 경향을 분석한 결과를 포함하고 있다. 제 4장은 감정 탐지 최적 척도 선정 방법, 탐지 모형 모델링 방법, 그리고 모형 검증 결과에 대해 서술하고, 제 5장은 운전자 감정 평가 결과의 주요 내용, 제안된 운전자 감정 징후 탐지 모형과 감정 평가 protocol 의의와 적용 가능성, 그리고 본 연구의 한계 및 추후 연구에 대한 토의 내용을 서술한다. 제 6장은 앞선 장들의 내용을 종합적으로 요약하여 본 연구의 결론을 도출하였다. 마지막 부록은 각 장에서 기술된 내용의 구체적인 분석 결과와 추가 정보를 제시하고 있다.

## Chapter 2. Literature Review

본 장에서는 (1) 감정 발생 메커니즘 및 감정 분류 체계, (2) 감정의 객관적 및 주관적 평가 방법, 그리고 (3) 운전자 감정 평가 protocol과 감정 탐지 모형의 기존 연구 동향을 분석하고 한계점을 파악하였다. 문헌 조사는 keyword 조합을 통한 문헌 검색, title screening, abstract screening, 입수 문헌의 관련도 평가, 최종 review 대상 문헌 선별의 5 단계를 통해 수행되었다. Table 2.1에 포함된 주요 핵심어(keywords)를 조합하여 문헌 검색 사이트인 ScienceDirect ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))와 구글 학술 검색 사이트 ([scholar.google.co.kr](http://scholar.google.co.kr))에서 검색한 후 screening 과정을 거쳐 최종 review 대상 문헌을 선별하였다(Appendix B 참고).

Table 2.1. 감정 평가 관련 문헌 조사 핵심어

구분	Keywords
Vehicle	Driving, driver, road
Measurement	Electrocardiography, ECG, skin conductance, SC, EDA, heart rate, HRV, driving performance, driving speed, acceleration, steering wheel
감정	Emotion, sentiment, affective, anger, anxiety
판별	Detection, recognition, discriminant, monitor, awareness

\* 검색 조건: title, abstract, keyword 위주로 검색

\*\* 검색 분야 및 대상: Ergonomics, biomechanics 분야의 journal paper

## 2.1. Definition of Emotion

### 2.1.1. Emotion Arousal Mechanism

인간의 감정(또는 정서)은 감정적인 자극을 주는 특정 상황이나 환경에 대한 반응으로 (1) 신체가 반응하는 생리적 요소, (2) 감정 경험을 인식하고 해석하는 인지적 요소, 그리고 (3) 감정 변화를 외부로 표출하는 행동적 요소를 포함한다. Carlson & Hatfield (1992)는 감정을 내적/외적 변인에 대해 경험적·생리적·행동적으로 반응하려는 동기적 경향으로 정의하였다. 예를 들어, 우리는 분노의 감정을 느낄 때 분노를 유발하는 상황을 인지하고(인지적 요인), 심장 박동이 증가하거나 손에 땀이 나며(생리적 요인), 소리를 지르거나 책상을 내리 친다(행동적 요인).

첫째, 인지적 요소는 우리에게 감정을 유발할 수 있는 자극이나 상황이 주어졌을 때 이를 개인의 평소 태도나 성향에 따라 주관적으로 해석하는 것을 의미한다. Lazarus (1991)에 따르면 인간은 특정 상황이 본인의 목표 및 관심사에 이롭거나 또는 해롭다고 판단될 때 비로소 감정을 경험한다고 보고하였다. Lazarus의 appraisal 이론에 따르면 감정적인 자극이 주어진 후 2가지 종류의 인지 평가(primary appraisal, secondary appraisal)가 순차적으로 진행된다. 먼저, 주요 평가(primary appraisal) 단계에서는 감정적인 자극이 가해진 상황이 개인의 주요 관심사와 목표에 미칠 수 있는 영향력을 기준으로 기본적인 감정 자체의

유발 유무가 결정되며 그 영향이 개인에게 이익을 가져올지 또는 위협을 가할지 여부가 평가되어 감정의 valence (positive or negative)가 결정된다. 다음으로, 부가 평가(secondary appraisal) 단계에서는 감정적인 자극이 유도된 상황을 개인이 대처할 수 있는 가능성이 평가되는 과정으로 이를 통해 감정의 유형이 정의된다. 예를 들어, 누군가가 본인을 향해 뛰어오는 것을 인지한 후 primary appraisal 단계를 통해 이 상황을 위협으로 판단한다면 감정의 valence가 negative로 결정된다. 다음으로, secondary appraisal 단계에서 이러한 상황을 본인이 감당할 수 있다고 판단하면 분노와 같은 감정이 발생하여 적극적으로 상황에 대처하는 반면 본인이 이와 같은 상황을 감당할 능력이 없다고 판단하면 불안과 같은 감정이 발생하여 상황에 수동적으로 대처하게 된다.

둘째, 생리적 요소는 감정 자극이 주어진 후 인체 내 자율신경계 시스템에 의해 생리적 변화를 경험하는 것을 의미한다. 감정은 우리 신체에서 자율 신경계(autonomic nervous system; ANS)가 관장하며 자율신경계는 크게 (1) 교감 신경(sympathetic nerves)과 (2) 부교감 신경(parasympathetic nerves)으로 분류된다. 교감 신경은 갑작스런 외부 자극이 주어졌을 때 이에 반응할 수 있도록 신체의 긴장 상태를 유지하는 역할을 담당하며 부교감 신경은 이완 상태에서 신체 에너지를 절약하고 보존하는 역할을 수행한다. 교감 신경과 부교감 신경은 길항작용을 통해 신체의 항상성을 유지하고 균형을 이룬다.

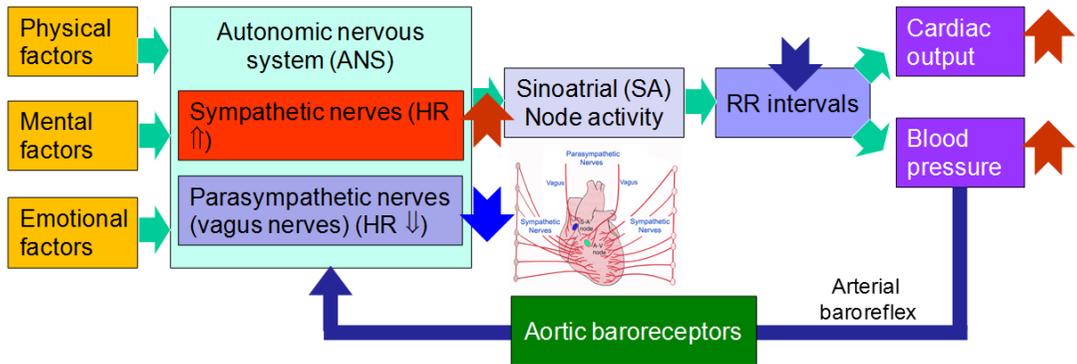


Figure 2.1. 감정에 의한 자율 신경계 활성화 메커니즘(Tarvainen & Niskanen ,2008)

Tarvainen & Niskanen (2008)은 감정적인 자극이 주어지면 신체의 각성 수준이 높아짐에 따라 신체의 이완 반응에서 활성화되는 부교감 신경 대비 각성 반응에서 활성화되는 교감 신경의 활성화 정도가 커지며 심장 박동이 빨라지고 혈압이 높아진다고 보고하였다(Figure 2.1).

셋째, 행동적 요소는 감정을 외부로 표출하는 것으로 (1) 음성 언어를 활용하여 감정 경험을 소통하는 언어적 표현과 (2) 얼굴 표정, 몸짓, 자세 등을 통하여 언어 외적으로 감정을 표현하는 비언어적 표현이 있다. Bowling et al. (2014)은 기쁨, 분노, 평온, 슬픔 감정을 대상으로 음성의 특성을 분석한 결과 표현하고자 하는 감정의 각성 상태(arousal)와 긍정/부정 성향(valence)에 따라 음성 기본 주파수의 평균 및 표준 편차, 변동률 등이 차이를 보인다는 것을 밝혀냈다. 또한, Mortillaro et al. (2011)은 얼굴 움직임 부호화 시스템(facial action coding system; FACS)을 통해 4가지 긍정적 감정(interest, pride, pleasure, joy)이

유발되었을 때의 각 얼굴 표정을 분석하였는데 감정 유형에 따라 얼굴 근육 부위의 움직임과 움직임의 지속 시간이 상이하다는 것을 밝혀냈다. 예를 들어, pride와 pleasure은 감정이 유발되었을 때 눈 깜빡임(eye closure)을 수반하는 반면 interest와 joy 감정 유발 시에는 이러한 움직임이 관찰되지 않음을 밝혀냈다. 또한, joy는 interest 대비 볼 주변 근육 상승 움직임(cheek raiser)의 지속시간이 통계적으로 유의하게 긴 것으로 보고하였다( $p < .01$ ).

감정은 감정을 유발하는 사건 또는 상황에 신체가 먼저 반응한 후 이를 개인이 특정 감정으로 인지하면서 발생되거나 신체 변화의 경험과 감정 인식이 동시에 발생되기도 한다. 첫째, 특정 자극이 주어진 후 신체 변화를 경험하게 되고 이러한 신체 변화에 대한 지각으로 감정을 경험하게 된다. James (1884)에 따르면 내부 또는 외부 자극에 대한 반응으로 생리적 변화가 선행되고 이 변화가 대뇌 피질에 전달됨으로써 감정을 지각하게 된다. 예를 들어, 사람이 꿈을 보면 두려움이라는 감정을 지각하기 이전에 몸이 떨리고 혈압이 상승하는 것과 같은 생리적 변화를 겪으며 그 후 이러한 생리적 변화가 두려움이라는 감정에 의한 것이라는 것을 인식하게 된다. 둘째, 신체적 반응은 필연적으로 감정 발생에 선행되지는 않으며, 신체 변화와 감정 경험은 동시에 발생된다(Cannon, 1927). Bard (1934)는 모든 감각, 움직임, 생리학적 정보는 뇌의 시상 하부(hypothalamus)를 거치게 되고 이 시상 하부의 활성이 신체 변화와 감정 경험을 동시에 유발한다는 것을 밝혀냈다. Cannon & Britton (1925)은

고양이를 대상으로 한 실험에서 고양이 대뇌의 신피질 영역을 제거하였는데 여전히 낮은 수준의 자극에도 극심한 분노 성향을 표출하였다. 그러나, 시상하부 뒷면 하단의 일부분이 제거되니 고양이의 분노 성향이 완화되는 것을 밝혀냈다.

이와 같이 감정은 인지, 생리, 행동 요소의 복합적인 반응을 통해 발생되므로 주행 중 운전자의 감정을 평가하기 위해서는 이 세가지 반응이 종합적으로 고려될 필요성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 운전자의 감정을 종합적으로 판단하기 위해 인지 반응은 주관적 감정 평가를 통해, 생리 반응은 ECG 신호를 통해, 그리고 행동 반응은 운전자의 주행 척도를 통해 평가되었다(Figure 2.2).

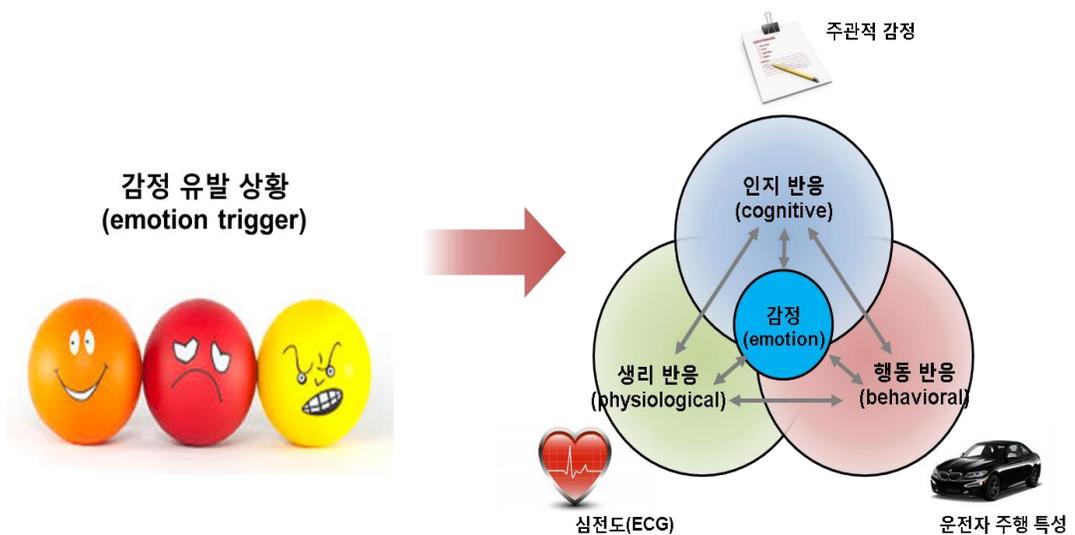
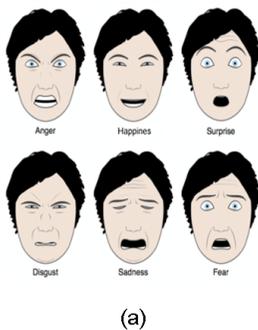


Figure 2.2. 감정에 의한 인지, 생리, 행동 반응 변화

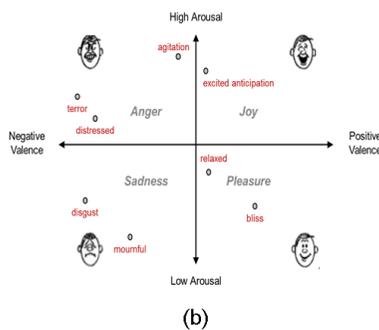
## 2.1.2. Emotion Classification System

감정 분류 체계에는 개별 감정을 분노와 불안과 같이 독립적으로 분류하는 비연속적 접근법(discrete emotion theory)과 감정을 긍정과 부정의 정도(valence), 각성 정도(arousal), 그리고 지배 정도(dominance)와 같은 측면으로 나누어 정량화하는 다차원 접근법(dimensional emotion theory)이 있다(Agrafioti et al., 2012; Figure 2.3). 첫째, 비연속적 접근법은 문화와 인종의 경계를 넘어 인류가 보편적으로 가지는 핵심 감정(core emotion)이 존재한다는 것을 가정하고 이러한 핵심 감정을 독립적으로 분류한다. Ekman (1992)은 인간은 언어와 문화의 경계를 넘어 6가지 보편적 감정(행복, 슬픔, 공포, 분노, 놀람, 혐오감)을 가지고 있으며 이러한 핵심 감정들의 조합을 통해 모든 얼굴 표정이 해석될 수 있다고 보고하였다.

1 dimension (1D) model



2 dimension (2D) model



3 dimension (3D) model

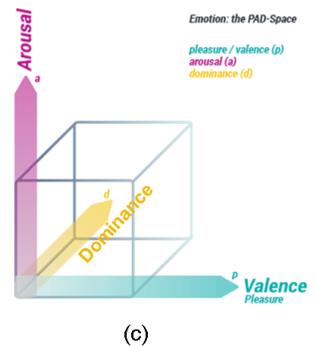


Figure 2.3. 감정 분류 체계 (1D vs. 2D vs. 3D models)

Jack et al. (2014)은 Ekman이 제시한 6가지의 보편적 감정에서 공포와 놀람, 그리고 분노와 혐오를 각각 동일한 감정으로 정의한 결과 4가지 감정(행복, 슬픔, 공포/놀람, 분노/혐오)을 인간이 보편적으로 가지는 핵심 감정으로 제시하였다. 인간은 다양한 얼굴 근육 부위의 활성화를 통해 감정을 표현한다는 점에 착안하여 3차원 얼굴 표정 이미지를 분석한 결과 행복과 슬픔은 시간에 따라 명확하게 차별화가 된 반면 공포/놀람과 분노/혐오감은 감정 유발 직후 활성화되는 얼굴 근육 부위가 각각 유사하다는 것을 밝혀냈다. 예를 들어, 공포와 놀람 감정이 유발되었을 때는 공통으로 윗 눈꺼풀을 올리고(upper lid raiser) 입이 약간 벌어지며(jaw drop), 그 후 다시 윗 눈꺼풀을 올리는(upper lid raiser) 패턴을 보인다. 또한, 분노와 혐오감이 발생되었을 때는 코를 찡긋한(nose wrinkler) 후 입술을 깔대기 모양으로 벌리는(lip funneler) 유사한 경향을 보인다. 둘째, 다차원 접근법은 감정의 긍정 및 부정 성향과 각성을 일으키는 정도와 같이 인간의 감정을 구성하는 다양한 요소를 복합적으로 고려하여 감정을 정량화한다. Russell (1980)은 Figure 2.3 (b)와 같이 arousal과 valence로 구성되는 2차원의 감정 공간을 통해 개별 감정을 분류하였다. Arousal은 각성의 강도를 의미하며 수치가 높을수록 신체가 긴장되어 있는 상태이며, 낮을수록 신체가 이완되어 평온한 상태임을 의미한다. 또한, valence는 감정의 긍·부정의 정도를 나타내는 척도로 수치가 높을수록 긍정에 가까운 감정으로 분류된다. 따라서, 각성 강도 및 긍·부정 성향에 따라

개별 감정을 2차원 공간 내에 정의할 수 있다. 예를 들어, Figure 2 (b)에서 보이는 바와 같이 anger는 부정적인 성향을 가지는 동시에 신체를 각성시키는 정도가 높아(high arousal) 2차원 공간에서 제 2사분면으로 분류되는 반면 sadness는 동일하게 부정적인 성향을 가지나 신체를 각성시키는 정도가 낮아(low arousal) 제 3사분면에 위치하게 된다. Mehrabian (1996)은 2차원 공간에 dominance 축을 추가하여 3차원 정서 공간 모델을 제안하였다. Dominance는 개인이 감정을 지배하는 정도를 뜻하는 요소이다. 예를 들어, 분노와 공포는 arousal과 valence 측면에서 유사한 특성을 가지나 분노는 개인이 지배하는 경향이 높은 반면 공포는 순종하는 경향이 높은 감정으로 분류된다(Liu & Sourina, 2016).

## 2.2. Emotion Evaluation Measures

주행 중 유발되는 운전자 감정은 (1) 심전도, 피부 전도도와 같은 생리학적 정보, (2) 주행 속도, 핸들 회전율과 같은 운전자 주행 척도, 그리고 (3) 감정을 표현하는 단어 또는 이미지를 활용하는 주관적 감정 평가 척도를 기반으로 평가된다. 본 section에서는 운전자 감정을 효과적으로 감지할 수 있는 척도를 파악하기 위해 기존의 감정 평가 관련 연구에서 활용된 다양한 척도들을 조사하고 감정에 의한 각 척도들의 변화 경향성을 검토한다.

### 2.2.1. Physiological Evaluation

감정을 평가하기 위해 심전도(electrocardiography, ECG), 피부 전도도(skin conductance, SC), 근전도(electromyography, EMG), 그리고 호흡수(respiration rate, RSP)와 같은 생리학적 척도가 활용된다(Table 2.2). ECG는 심장 박동 시 발생하는 전류를 파형 형태로 기록한 것으로 심장 박동간 시간 간격(inter-beat interval, IBI)으로 변환된 후 분석되며 감정이 발생하면 심장 박동이 빨라져 심장 박동의 시간 간격인 IBI 값은 감소한다. 피부 전도도는 피부 표면의 전기 전도 수준을 평가하는 척도로 피부의 습도가 이를 결정한다. 피부의 땀샘은 교감 신경계의 통제를 받으며 감정이 유발되어 교감 신경계가 활성화되면 발한 현상이 나타나고 그 결과 피부의 전도율도 높아진다. 근전도는 말초신경과 근육에서 발생하는 전기 신호를 측정하는 것으로 특정 근육의 긴장 수준을 나타낸다. 감정 평가 시 안면 근전도(facial EMG)가 주로 활용되어 감정 유발 후 얼굴 표정이 변화될 때 안면 근육의 상이한 움직임은 근거로 감정이 평가된다. 호흡수는 시간 내 일어나는 흉부의 운동 횟수로서 감정에 몰입함에 따라 호흡수가 증가한다.

ECG는 다양한 정량화 척도(예: HR, RMSSD, LF/HF)를 통해 감정 평가의 유용한 도구로 활용되며, 기존 연구에서 감정 판별 성능이 우수하였으며, 현재 차량 내 부품을 통해 주행 중 손쉽게 측정이 가능하다.

Table 2.2. 감정에 의한 생리학적 척도 변화 경향성

Measure		Trend	Reference
Electrocardiography (ECG)	Inter-beat interval (IBI)	↓	Jonassaint et al., (2009); Hamer et al., (2007)
	Heart rate (HR)	↑	Verkuil et al., (2014)
	Standard deviation of normal-to-normal intervals (SDNN)	↓	Lane et al., (2014)
	Root mean square differences of the standard deviation (RMSSD)	↓	Verkuil et al., (2014)
	High frequency (HF)	↓	Lane et al., (2009); Miu et al., (2009)
	Low frequency / high frequency (LF/HF)	↑	Riener et al., (2009)
Skin conductance (SC)	Skin conductance response (SCR)	↑	Najstrom & Jansson (2007)
Electromyography (EMG)		↑	Sloan (2004)
Respiration rate (RSP)		↑	Gorman et al., (2004)

Verkuil et al. (2014)은 speech task를 통해 피험자에게 불안 정서를 유발한 후 ECG 신호를 분석한 결과 평온한 상태 대비 심장 박동(heart rate; HR)은 12 bpm 증가하고 심장 박동의 평균 편차(root mean square of successive differences, RMSSD)는 13 msec 감소하는 것을 밝혀냈다. Riener et al. (2009)은 ECG 신호를

기반으로 주행 경로와 운전자 감정 상태 사이의 상관 관계를 파악한 결과 교통이 원활한 구역 대비 혼잡한 구역에서 운전자 감정의 각성 수준(arousal)이 높아지고 LF/HF (부교감 신경 대비 교감 신경의 활성화 정도) 값이 125% 증가하는 것을 밝혀냈다. 다음으로, Cai et al. (2009)은 391명의 건강한 성인을 대상으로 joy와 sadness를 유발할 수 있는 영상(joy: popular comic TV; sadness: 재난 관련 영화)을 통해 감정을 자극한 후 ECG의 정량화 척도를 활용하여 2가지 감정(joy, sadness)을 판별하는 k-nearest neighborhood (KNN) 모형을 개발하였는데 평균 약 86%의 높은 판별 정확도를 보였다. 마지막으로, steering wheel과 seat 좌면 등과 같은 차량 내 부품에 내장되어 있는 ECG 측정 센서를 통해 정상적인 주행에 방해 없이 실시간으로 운전자의 ECG를 측정하는 기술들이 개발되고 있다(Jung & Shin, 2014; Sakai et al., 2013). Skin conductance는 외부 온도와 습도의 영향을 많이 받는데(Najafpour et al., 2017) 실제 차량 환경에서 이러한 외부 환경 요인을 통제하기 어려우며 EMG와 RSP는 별도의 장비 없이 차량 내 부품을 통해 손 쉽게 측정할 수 있는 기술이 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 정량화 척도의 활용 가능성, 우수한 감정 판별 성능, 그리고 주행 중 측정 용이성을 종합적으로 고려하여 운전자 감정 평가에 ECG가 활용되었다.

## 2.2.2. Driving Performance

감정이 운전자 주행 척도에 미치는 영향을 파악하기 위해 주행 속도, 핸들 움직임, 차선 유지 능력과 같은 운전자 주행 척도가 활용된다(Table 2.3). 주행 속도는 단위 시간당 이동 거리로 주행 속도의 평균과 편차가 활용되며 일반적으로 감정이 발생되면 주행 속도와 속도의 편차는 증가한다. 핸들 움직임은 운전자가 움직이고자 하는 방향으로 핸들을 조작하는 능력을 의미하며 기준 위치(reference position) 대비 현재 핸들 위치인 핸들 각도(steering wheel angle; SWA)가 사용된다. 감정이 유발 되면 운전자는 현재 자신의 위치에서 벗어나고자 하는 경향이 높아지고 이에 핸들 각도의 편차도 증가한다 (Stephens & Groeger, 2009). 차선 유지 능력은 차선의 중심으로부터 차량 위치의 편차를 계산한 SDLP (*SD of lane position*)를 통해 평가된다. Techer et al. (2017)은 모의 주행 실험을 기반으로 선행 motorcycle을 따라 주행하는 시나리오를 제공하고 선행 motorcycle의 지속적인 브레이크 등 점화를 통해 운전자에게 분노를 유발한 조건(anger)과 선행 motorcycle의 간섭 없이 원활한 주행을 수행한 조건(control)을 비교한 결과 분노를 유발한 조건에서의 SDLP 값이 분노가 유발되지 않은 조건 대비 2.7 cm 증가한 것으로 보고하였다( $F(1,32) = 4.41, p < .05$ ).

Table 2.3. 감정에 의한 운전자 주행 척도 변화 경향성

Measure		Trend	Reference
Velocity	Mean driving speed	↑	Roidl et al., (2014); Mesken et al., (2007); Zhang et al., (2016)
	SD of driving speed	↑	Stephens & Groeger (2009)
	Speeding (speed violation)	↑	Roidl et al., (2014); Mesken et al., (2007)
	Longitudinal acceleration	↑	Stephens & Groeger (2009); Roidl et al., (2013)
	Lateral acceleration	↑	Roidl et al., (2014); Stephens & Groeger (2009); Roidl et al., (2013)
Steering wheel control	SD of steering wheel angle	↑	Stephens & Groeger (2009)
Lateral position control	SD of lane position (SDLP)	↑	Stephens & Groeger (2009); Techer et al., (2017)

주행 중 유발되는 감정은 운전자의 차량 제어 능력을 저하시키며 이러한 차량 제어 능력을 평가하기 위해 주행 속도와 핸들 움직임 관련 척도가 유용한 도구로 활용된다. 첫째, 주행 중 발생하는 운전자의 특정 감정은 과속 운전의 빈도를 증가시킨다. Roidl et al. (2014)은 모의 주행 실험을 기반으로 주행 시나리오에 선행 차의 저속 주행과 도로 위 장애물과 같이 원활한 주행을 저해하는 상황을 포함하여 분노를 유발한 결과 분노를 강하게 경험하였다고 응답한 그룹이 그렇지 않은 그룹 대비 주행속도, 종가속도, 횡가속도, 그리고

전체 주행 시간 대비 제한 속도 위반 시간 비율이 모두 유의하게 증가( $p < .05$ )한 것으로 보고하였다. Stephens & Groeger (2009)는 모의 주행 실험을 기반으로 주관적 감정 평가(5-point Likert scale; 1 = “not at all” and 5 = “very much”) 결과와 운전자의 주행 척도 사이의 상관관계를 분석한 결과 운전자의 현재 분노 수준이 높아질수록 가속도 및 가속 페달(throttle)에 가해지는 하중이 유의하게 증가하는 것을 밝혀냈다( $r = .20, p < .01$ ;  $r = .18, p < .01$ ). 둘째, 핸들 조향 능력 관련 척도는 운전자 감정과 높은 상관 관계를 가진다. Stephens & Groeger (2009)는 동일한 실험에서 운전자에게 강한 분노를 유발하는 교통 상황(예: 보행자 난입, 선행 차의 저속 주행 등)과 분노의 강도가 다소 낮은 교통 상황(예: 특별한 방해 없이 약 50 ~ 80km/h 속도의 주행 등)에서의 운전자 주행 척도를 비교 분석한 결과 낮은 수준의 분노를 유발하는 교통 상황 대비 높은 수준의 분노를 유발하는 교통 상황에서 steering wheel angle (SWA)의 편차가 유의하게 큰 것으로 보고하였다( $t(23) = 4.97, p < .01$ ). 또한, 주행 당시 운전자가 경험하는 좌절감(frustration)의 강도가 높아질수록 SWA의 편차가 유의하게 증가하는 것을 파악하였다( $r = .27, p < .01$ ). 따라서, 본 연구에서는 운전자의 종방향 측면에서의 차량 제어능력은 주행 속도를 통해 평가되었으며, 횡방향 차량 제어능력 측면에서는 시간에 따른 핸들 각도의 변화 정도를 평가하기 위해 핸들 회전율(steering wheel rate)과 차량의 회전 운동시 방향에 작용하는 가속도를 평가하기 위해 구심 가속도(centripetal acceleration)가 활용되었다.

### 2.2.3. Subject Evaluation

주관적 감정 평가는 비언어적 방법(non-verbal)과 언어적(verbal) 방법을 이용하여 수행된다. 첫째, 비언어적 방법은 감정을 표현하는 이미지 또는 애니메이션을 활용하여 감정을 평가한다. 예를 들어, self-assessment manikin (SAM)은 Figure 2.4와 같이 시각적 캐릭터를 통해 감정의 3가지 요소(arousal, valence, dominance)를 표현하고 이를 9-point Likert scale로 평가한다(Bradley & Lang, 1994). Lee et al. (2005)은 SAM을 통해 피험자의 감정 상태를 정성적으로 평가하였으며 일정 수준 이하의 점수를 보인 피험자의 데이터는 감정 판별 모형에 적용하지 않았다.

#### Valence



#### Arousal



#### Dominance



Figure 2.4. Self-assessment manikin (Bradley & Lang, 1994)

둘째, 언어적 방법은 감정을 표현하는 단어 또는 문장을 통해 피험자의 현재 감정 상태를 평가하는 방법이다. 예를 들어, positive and negative affect schedule (PANAS) 척도는 긍정적 정서를 표현하는 10개의 형용사(예: active, interested, proud, 등)와 부정적 정서를 표현하는 10개의 형용사(예: ashamed, irritable, nervous 등)를 제시하고 이에 대해 5점 척도로 각 형용사에 해당하는 기분을 경험한 강도를 평가하여 피험자의 긍정 및 부정 성향을 파악한다(Watson et al., 1988). Kwon & Oh (2013)는 PANAS 척도를 활용하여 운전자의 감정을 평가하였으며 이를 통해 운전자 정서와 난폭운전 및 법규위반 행동 간의 상관관계를 분석하였다. 또한, State-Trait Anxiety Inventory (STAI)는 불안 정서를 유추할 수 있는 Table 2.4와 같은 STAI 설문 항목의 평가를 통해 현재의 불안 정도(state)와 평소의 불안 성향(trait)을 파악한다(Spielberger, 1983). Barnard & Chapman (2016)은 STAI를 통해 운전자의 불안 성향(trait anxiety)을 평가하고 주행 중 위험 상황에 대한 반응 능력과의 상관성을 분석하였다. 본 연구에서는 주행 중 운전자의 분노와 불안감을 평가하기 위해 분노와 불안감의 평소 성향(trait)과 현재 상태(state)를 함께 평가할 수 있으며 다수의 설문 항목을 통해 각 감정의 여러 요소를 종합적으로 평가할 수 있는 State-Trait Anxiety Inventory (STAI)와 State-Trait Anger Expression Inventory-2 (STAXI-2)가 활용되었다.

Table 2.4. State-Trait Anxiety Inventory (STAI) 평가 항목 예시(Spielberger, 1983)

설문 평가 항목	점수			
	1: 그렇지 않다, 2: 약간 그렇다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다			
나는 차분함을 느낀다 (I feel calm). .....	1	2	3	4
나는 안전함을 느낀다 (I feel secure). .....	1	2	3	4
나는 긴장된다 (I am tense). .....	1	2	3	4
나는 압박감을 느낀다 (I feel strained). .....	1	2	3	4
나는 걱정이 없음을 느낀다 (I feel at ease). .....	1	2	3	4
나는 속상해 있다 (I feel upset). .....	1	2	3	4

### 2.3. Emotion Evaluation Experiment

#### 2.3.1. Driving Task

졸음, 인지 부하, 감정과 같은 교통 안전을 저해하는 운전자 상태를 유도하기 위하여 3가지 유형(단조로운 주행 상황, 도로 내 위험 구간 설계, 그리고 주행 중 차량 또는 동물 출현)의 주행 시나리오가 주행 평가에서 제공된다. 첫째, 주행 중 운전자의 졸음을 유도하기 위해 단조로운 주행 환경을 조성한다. Du et al. (2015)은 운전자 피로가 운전자 주행 척도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 주행 도로를 각성 유발 구간과 피로 유발 구간으로 분리하고 피로 유발 구간은 커브 도로 대비 단조로운 직선 도로 비율을 높였다. Zhang et

al. (2012)은 운전자 피로를 유발하기 위하여 운전자가 선행 차를 따라 4개의 긴 직선 도로를 특별한 사건 없이 주행하는 시나리오를 제공하였다. 둘째, 정상적인 주행을 방해하는 특정 구간을 도로에 포함하여 운전자의 주의를 분산시키고 이를 통해 인지 부하를 유도한다. Engstrom et al. (2005)은 주행 중 발생하는 운전자 인지 부하를 평가하기 위하여 주행 시나리오에 도로 절단 지점과 도로 공사 구역과 같은 특정 구간을 포함하여 인지 부하를 발생시켰다. 셋째, 주행 중 차량, 보행자, 그리고 동물의 갑작스러운 출현으로 인한 위험 상황을 제공하여 운전자에게 감정을 유도한다. 주행 평가 중 운전자의 감정을 발생시키기 위해 주행 중 분노를 발생시킬 수 있는 위험한 상황(예: 도로에 난입하는 보행자, 차량 끼어들기, 도로 위 동물 출현, 선행 차의 급정거 등)을 제공한 후 해당 시점의 생리학적 척도 또는 운전자 주행 척도의 변화 경향이 분석되었다(Jansen et al., 2013; Roidl et al., 2014; Stephens & Groeger, 2009).

### 2.3.2. Emotion Induction Task

주행 중 운전자의 감정을 유도하기 위해 주행 작업 이외의 연설, 음악 청취, 과거 회상과 같은 부수 작업을 수행하여 주행과는 무관한 감정(incidental affect)을 유도하는 방법과 정상적인 주행을 방해하는 상황을 주행 시나리오에 포함하여 주행 상황으로 인하여 발생하는 감정(integral affect)을 유도하는 방법이 활용될 수 있다(Jeon, 2015). 주행 시나리오를 통해 주행 상황에 의한

감정(integral affect)을 유도하는 방법은 원활한 주행을 저해함으로써 운전자에게 과도한 인지 부하를 발생시킬 가능성이 높으며(Otahal et al., 2016) 또한 평가하고자 하는 특정 감정을 정확히 유도하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 감정 평가 중 인지 부하의 영향을 최대한 통제하고 특정 감정(분노, 불안)을 평가하기 위해 주행 상황과 무관한 개인의 상황에 의해 발생하는 감정(incidental affect)을 유도하였다.

Incidental affect는 감정을 유발할 수 있는 작업을 피험자가 직접 수행하거나 피험자에게 시각적/청각적 자극을 주어 간접적으로 유도될 수 있다. Agrafioti et al. (2012)에 따르면 일반적으로 감정은 active 방법과 passive 방법을 통해 유도된다. 먼저, active 방법은 실험 참여자가 직접 작업을 수행하여 감정을 발생시키는 방법으로 경험 회상, 연설과 같은 task가 활용된다. Jonassaint et al. (2009)은 최근 6개월 이내 분노를 느낀 경험을 1분 동안 회상하고 5분동안 관련 경험을 이야기 함으로써 분노 정서를 유발하였다. 반면, passive 방법은 영화와 음악과 같은 시각 및 청각적 매체를 통해 실험 참여자에게 감정을 유도한다. Zhu et al. (2016)은 2차 세계 대전을 배경으로 한 영화에서 침략자들에 의한 무자비한 살육 장면을 피험자에게 제공하여 분노 감정을 유발하였다. 또한, Kim & Andre (2008)는 4가지 감정(anger, joy, sadness, pleasure)을 유발할 수 있는 음악 리스트를 제공하고 피험자가 원하는 시간대에 자유롭게 곡을 선택하여 청취하도록 함으로써 감정을 발생시켰다. 기존 감정 평가 연구에서는

Table 2.5와 같이 다양한 감정 유도 방법이 활용되었으며, 특히 운전자 감정을 평가한 연구(Zhu et al., 2016)에서는 passive 방법을 통해 감정이 유도되었다. 그러나, passive 방법은 모든 피험자에게 동일한 자극을 사용하기 때문에 자극에 반응하는 개인차를 고려하는 측면에서 보완이 필요하다. 또한, 기존 연구 중 주행 환경을 고려하여 주행 중 운전자 감정을 효과적으로 유도할 수 있는 방법을 제안한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 개인마다 감정 유도에 효과적인 자극이 상이하다는 점과 주행 상황에서 감정이 유도되어야 한다는 점을 함께 고려하여 active한 운전자 감정 유도 방법을 설계하였다. 그 결과 active 방법 중 개인의 각기 다른 과거의 감정 경험을 회상하는 방법을 활용하였고, 주행 중 과거에 감정을 경험하였던 상황의 keyword를 감정 유도 전체 구간에서 주행 화면에 지속적으로 제시함으로써 감정이 자극될 수 있도록 하였다.

Table 2.5. 감정 유도 방법 기존 연구

Author (year)	Type	Description	Driving consideration
Zhu et al. (2016)	Passive	Video watching	O
Kim & Andre (2008)	Passive	Music listening	X
Agrafioti et al. (2011)	Passive / Active	Passive: visual image stimuli Active: playing a video game	X
Cai et al. (2009)	Passive	Video watching	X
Wagner et al. (2005)	Passive	Music listening	X
Lane et al. (2009)	Passive /Active	Passive: video watching Active: autobiographical script & memory recall	X
Jonassaint et al. (2007)	Active	Think about a moment which made them angry, and talk about the incident	X
Hamer et al. (2007)	Active	Speech task	X

### 2.3.3. Statistical Classification Model

판별 모형은 표본 관측치가 생성된 확률 분포의 가정 유무에 따라 모수적 방법(parametric method)과 비모수적 방법(non-parametric method)으로 분류된다. 첫째, 모수적 방법은 모형 개발에 투입되는 표본 관측치를 생성하는 확률 분포의 형태를 가정하고 선택된 확률 분포의 모수(parameter) 집합을 추정한다. 예를 들어, 선형 판별 분석(linear discriminant analysis; LDA)은 각 클래스 내의 모든 데이터가 클래스 별 평균과 공통의 분산을 가진다는

가정하에 모수의 추정 값을 얻는다. 모수적 방법은 데이터 모델링을 모수의 집합을 추론하는 문제로 단순화한다는 장점이 있는 반면 가정한 모형의 형태가 실제 모형의 형태에서 많이 벗어난 경우 추정된 모형의 정확성이 현저히 낮아진다는 단점이 있다. 둘째, 비모수적 방법은 모형의 확률 분포 형태에 대한 가정을 전제하지 않고 각 표본 관측치가 특정 값을 가지거나 클래스에 속하게 될 확률을 직접 계산하는 방법이다. 예를 들어, k-최근접이웃(k-nearest neighbors; KNN) 방법은 예측하고자 하는 관측치와 가장 근접한 k개의 이웃 관측치의 정보를 기반으로 해당 관측치의 값 또는 클래스를 추정한다. 비모수적 방법은 모형의 형태에 대한 가정을 요구하지 않으므로 더 넓은 범위의 모형 형태에 적합하게 될 가능성이 있다는 장점이 있다. 그러나, 모델링 문제를 모수 집합 추론의 문제로 축소하지는 못하므로 정확한 모형 추론을 위해서는 많은 수의 관측치를 요구한다(James et al., 2013).

기존의 감정 판별 연구에서도 다양한 모수적 또는 비모수적 모델링 기법이 활용되어 왔다. Wagner et al. (2005)과 Cai et al. (2009)은 ANOVA, sequential forward selection (SFS), Fisher와 같은 변수 선택 기법과 판별 기법과의 조합을 통해 감정을 판별하였는데, 선형판별분석(linear discriminant analysis; LDA)과 SFS기법의 조합의 판별 성능이 약 92%로 가장 우수하였다. Katis et al. (2008)은 support vector machine (SVM)과 adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) 판별 기법을 통해 주행 중 발생하는 운전자의 4가지 감정(high stress, low stress,

disappointment, euphoria)을 판별하였으며 그 결과 각각 약 79.3%, 76.7%의 판별 성능을 보였다(Table 2.6). 기존 감정 판별 연구(Cai et al., 2009; Kim & Andre, 2008; Lee et al., 2005; Wagner et al., 2015)는 주로 주행 환경이 아닌 일반적인 상황에서의 감정 판별을 목표로 하였기 때문에 운전자에 특화된 감정 판별 모형 개발 연구는 부족한 실정이다. 또한, 운전자 감정 판별 연구인 Katis et al. (2008)은 감정 판별 모형 개발 시 생체 신호만을 활용하였으며 개인 맞춤형이 아닌 전체 실험 참여자의 평균 데이터를 기반으로 통합 모형을 개발하였다. 따라서, 생리학적 정보와 운전자 주행 척도의 연계와 개인 맞춤형 운전자 감정 판별 모형 개발 측면에서 보완이 필요한 실정이다.

Table 2.6. 감정 판별 기법 및 성능 기준 연구 동향

Authors	판별 대상	Subject dep. vs. indep.	Measures	판별 기법		판별 성능	Driving consideration
Katis et al. (2008)	High/low stress, disappointment, euphoria	Subject independent	EMG, ECG, SC, RSP	Support vector machine (SVM)		79.3 %	O
				Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)		76.6 %	
Wagner et al. (2005)	Joy, anger, pleasure, sadness	Subject independent	EMG, ECG, SC, RSP	Linear discriminant analysis (LDA)	None	79.55 %	X
					Sequential forward selection (SFS)	92.05 %	
					Fisher	79.55 %	
					SFS/Fisher	90.91 %	
					ANOVA	87.50 %	
Cai et al. (2009)	Joy, sadness	Subject independent	ECG	<i>k</i> -nearest neighbor (KNN)	None	75.9 %	X
					Fisher	85.8 %	
Lee et al. (2005)	Sad, calm, interesting, fear	Subject independent	ECG	Neural network		80.2 %	X
Kim & Andre (2008)	Joy, anger, sadness, pleasure	Subject independent (SI) Subject dependent (SD)	ECG, RSP, SC, EMG	Emotion-specific multilevel dichotomous classification (EMDC)		SI: 70% SD: 95%	X

## Chapter 3. Driver's Emotion Evaluation Experiment

### 3.1. Participants

운전자 감정 평가 실험을 위해 운전면허 자격증을 소지하였으며 신체가 건강한 20 ~ 40대 (mean: 28.1 years, SD: 6.2 years, range: 23 ~ 47 years) 실험 참여자 16명 (male: 8, female: 8)이 모집 되었다. 모집된 실험 참여자들의 평균 신장과 체중은 각각  $168.1 \pm 8.6$  cm,  $64.6 \pm 14.1$  kg 이었다. 실험 당일 흡연과 카페인 음용을 금하였으며, 실험 전날 7시간 이상의 충분한 수면을 취할 것을 요청하였다. 본 실험은 Pohang University of Science and Technology (POSTECH) 생명윤리위원회의 Institutional Review Board (IRB) 승인을 받은 후 수행되었다(승인 번호: PIRB-2016-E047).

### 3.2. Apparatus

운전자 감정 평가 실험에서는 driving simulator, ECG 측정 장비, 그리고 주관적 감정 평가 설문지가 활용되어 운전자 감정이 종합적으로 평가되었다(Figure 3.1). 또한, 실제 차량과 동일한 부품으로 자체 제작된 driving simulator (차종: EQ 900, Hyundai Motor Company Inc., Republic of Korea)와 UC-win/Road ver.11 (Forum 8 Inc., Japan)을 활용하여 모의 주행 평가가 수행되었다.



Figure 3.1. 운전자 감정 평가 실험 환경

ECG 신호는 Noraxon Telemetry DTS (Noraxon Inc., USA)를 활용하여 가슴 상단에 2개, 좌측 늑골에 1개의 센서를 부착(Figure 3.2)한 후 무선 수신기를 통하여 주행에 방해 없이 측정되었다. 운전자 주행 척도는 UC-win/Road의 주행 데이터 logging 기능을 활용하여 수집되었다. 주관적 감정은 불안 및 분노 감정의 현재 강도와 평소 성향 분석에 특화된 설문 평가 방법인 (1) State-Trait Anxiety Inventory (STAI) 및 (2) State-Trait Anger Expression Inventory-2 (STAXI-2)가 활용되었다(Table 3.1).

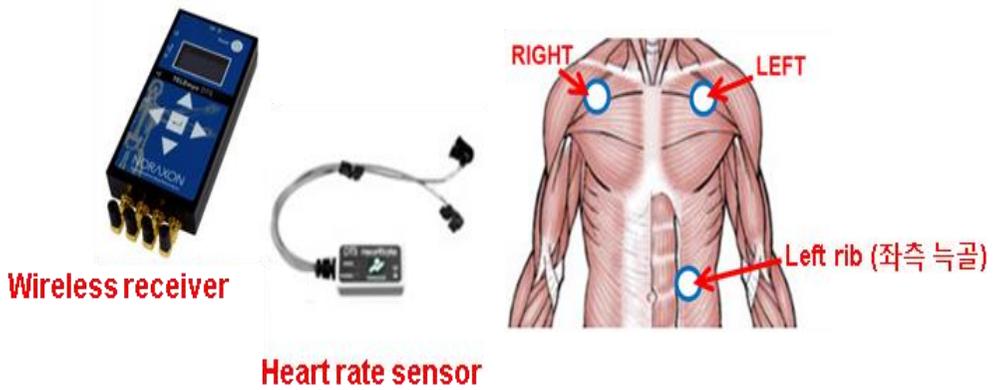


Figure 3.2. ECG 측정 장비 및 부착 위치

Table 3.1. 주관적 감정 설문 평가 방법 (STAI, STAXI-2; Appendix C 참조)

종류	구분	항목 수	Descriptions
State-Trait Anxiety Inventory (STAI)	State-Anxiety (S-Anxiety)	20	현재 불안한 감정의 강도 측정
	Trait-Anxiety (T-Anxiety)	20	불안 성향의 개인차 측정
State-Trait Anger Expression Inventory-2 (STAXI-2)	State-Anger (S-Anger)	15	현재 화나는 감정의 강도 측정
	Trait-Anger (T-Anger)	10	화나는 감정을 경험하는 빈도에 대한 개인차 측정

### 3.3. Experimental Tasks

주행 중 운전자의 감정을 평가하기 위해 실험 참여자는 주행 작업과 감정 회상 작업의 2가지 실험 task를 수행한다. 먼저, 주요 작업(primary task)으로 주행 시뮬레이터를 사용하여 모의 주행 작업을 수행하고, 다음으로 주행 중 감정을 유도하기 위한 부수 작업(secondary task)으로 분노와 불안을 유발하였던 개인의 과거 경험을 모의 주행 중 회상하는 작업을 수행한다.

첫째, 주요 작업으로 실험 참여자가 driving simulator를 사용하여 60 ~ 90 km/h의 속도로 편도 3차선 고속도로를 주행한다. 주행 중 감정이 유도되는 주행 구간에서 감정 이외에 복잡한 도로와 주행 중 돌발 상황으로 인한 인지 부하가 동시에 발생하여 생체 신호, 주행 척도, 그리고 주관적 평가 척도에 영향을 줄 수 있다. 그 결과 감정과 인지 부하에 의한 효과가 동시에 나타나 그 효과를 분리할 수 없는 교락(confounding)현상이 발생할 수 있다. 따라서, 본 실험에서는 이러한 교락 현상을 방지하기 위하여 주변 차량 없이 단조로운 편도 3차선 고속도로(width of a lane: 3.15 m)를 주행하는 시나리오를 제공하고 주행 중 별도의 위험 상황을 시나리오에 포함하지 않음으로써 주행 작업으로 인한 인지 부하 발생 가능성을 최대한 통제하고자 하였다.

둘째, 부수 작업으로는 주행 중 운전자의 감정을 유도하기 위해 driving simulator display에 각 실험참여자가 분노 또는 불안함을 경험하였던 사건의 key sentence를 제시하여 당시 상황을 회상하는 작업이 수행되었다. 운전자 감정

평가 실험에서는 주행 중 운전자의 분노(anger)와 불안(anxiety) 감정이 평가되었다. 선행 연구(Russell et al., 1983; Scherer, 2005)에서 감정의 각성 정도(arousal)와 긍정/부정 성향(valence) 측면에서 17가지의 감정들(ambitious, anger, anxiety, astonished, bored, calm, courageous, fearful, happy, hateful, jealous, melancholic, peaceful, pleasure, sadness, solemn, worried)을 분류한 결과(Figure 3.3)를 참고하여 negative valence가 높아(negative valence score = -5점) 주행 안전성에 부정적인 영향이 높을 것으로 판단되는 분노와 불안 감정을 평가 대상 감정으로 선정하였다. 본 실험에서는 감정을 효과적으로 유도할 수 있는 자극이 개인에 따라 상이하다는 점을 고려하여 개인의 과거 경험을 주행 중 회상하여 감정을 자극하는 방법이 활용되었다. 실험 하루 전 실험 참여자는 분노 또는 불안함을 느꼈던 개인의 과거 경험을 script로 작성한 후 실험 진행자에게 제출하였다. 주행 평가 중 회상이 용이하도록 최근 6개월 이내의 경험으로 작성해 줄 것을 실험 참여자에게 요청하였다. 전달된 각 실험 참여자의 script에서 key sentence를 선별하여 이를 주행 평가 6분 중 감정 유도 구간인 주행 후반 3분 구간에서 지속적으로 driving simulator display에 제시함으로써 감정이 유도될 수 있도록 자극하였다(Figure 3.4).

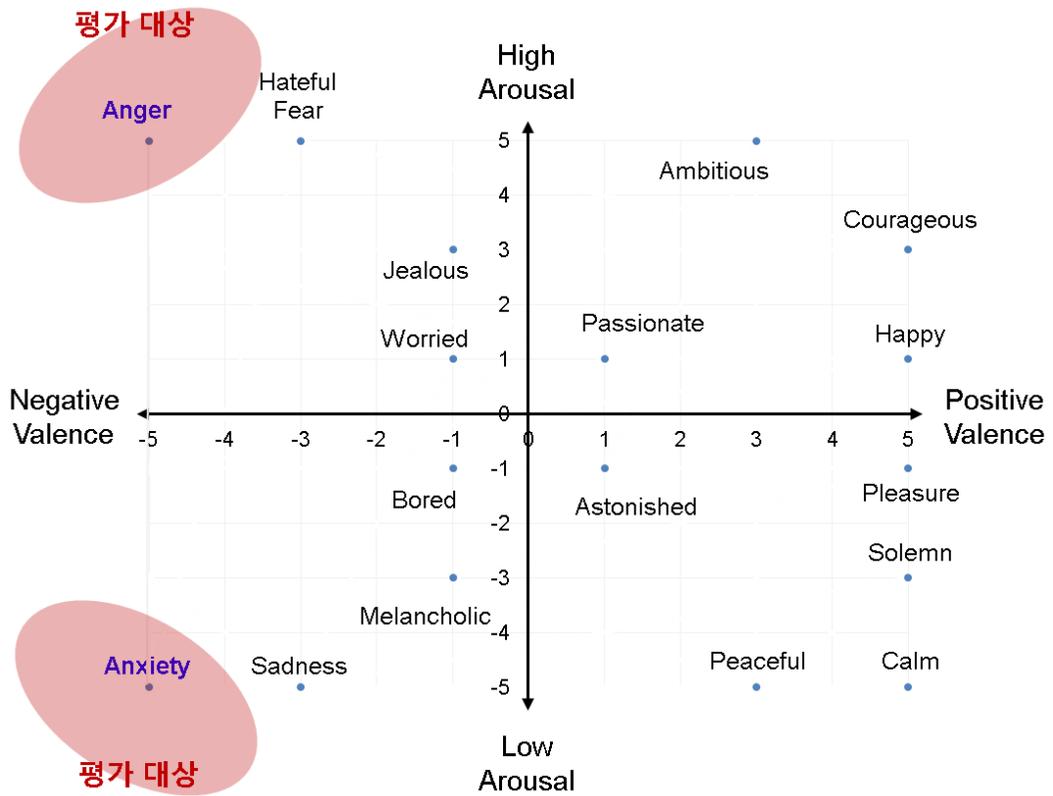


Figure 3.3. 2D model을 활용한 감정 분류 결과



Figure 3.4. 주행 평가 중 감정 유도 예시

### 3.4. Experimental Procedure

운전자 감정 평가 실험은 5단계(S1. 실험 준비, S2. 주행 전 주관적 감정 상태 평가, S3. ECG baseline 측정, S4. 주행 평가, S5. 주행 후 주관적 감정 상태 평가) 절차에 따라 진행되었다(Figure 3.5). 첫째, 실험 준비 단계(총 25분 소요)에서는 본 실험의 목적, 절차, 위험 수준을 실험 참여자에게 설명한 후 실험 참여 동의를 받는다(5분 소요). 실험 절차 설명 시 주행 평가는 60 ~ 90 km/h의 속도로 수행하며 과도한 신체 움직임과 신체에 부착된 ECG 측정의 임의 조작은 자제해 줄 것을 실험 참여자에게 요청하였다. 다음으로, 주행 중 ECG 신호 측정을 위해 ECG 측정 센서를 실험 참여자 신체에 부착(5분 소요)

※ 실험 참여자별 반복 실험 횟수 = 3회

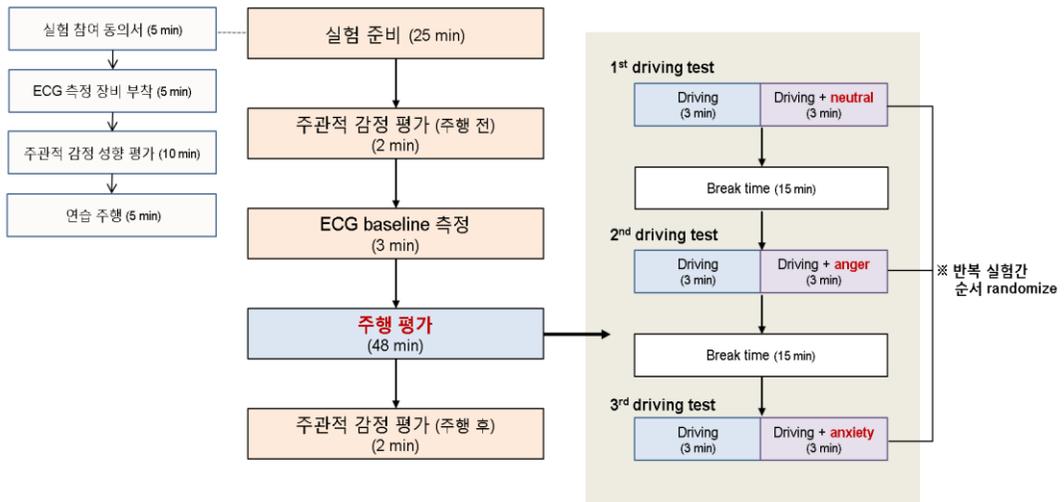


Figure 3.5. 운전자 감정 평가 실험 절차

하며 실험 참여자의 평소 분노 및 불안 감정 성향을 파악하기 위해 STAI 및 STAXI-2 설문 평가가 수행되었다(10분 소요). 마지막으로, 주행 simulator 환경에 실험 참여자가 적응하기 위해 약 연습 주행 시간이 제공되었다(5분 소요). 둘째, 주행 전 실험 참여자의 현재 감정 상태를 파악하기 위해 주관적 감정 설문 평가가 수행되었다(2분 소요). 셋째, 주행 평가 전 편안한 상태에서 피험자의 ECG 신호를 측정한다(3분 소요). 넷째, 주행 simulator를 사용하여 주행 평가가 수행되었다(총 48분 소요). 본 연구는 주행 중 감정이 중립적인 상태 대비 감정이 유발되었을 때 생리학적 척도와 주행 척도의 변화 경향을 상대적으로 평가하기 위해 3가지 유형의 감정(neutral, anger, anxiety)에 따라 총 3회의 주행 평가가 수행되었다. 주행 평가 6분 중 전반 3분은 모든 감정 유형에서 동일하게 주행 작업만 수행되며 후반 3분은 3가지 감정 유형에 따라 (1) 주행 작업 (neutral), (2) 주행 작업 + 분노 경험 회상 (anger), (3) 주행 작업 + 불안 경험 회상 (anxiety)으로 상이하게 제공되었다. 본 실험에는 각 실험 참여자가 모든 감정 유형에 노출되는 피험자 내 설계(within-subject design)가 활용되었다. 감정 누적에 따른 영향을 최소화 하기 위해 감정 유형에 따른 3회의 주행 평가 사이 약 15분의 휴식 시간이 제공되었으며 실험 참여자가 편안한 상태에서 감정이 완화될 수 있도록 3가지의 모차르트 클래식 피아노 음악(Piano Concerto No. 19 in F Major, K. 459: Allegro; Piano Sonata No. 16 in C Major, K. 545; Serenade No. 13 in G Major, K. 525, “Eine kleine Nachtmusik”: I. Allegro)이

제공되었다. 다섯째, 주행 평가 종료 직후 실험 참여자의 현재 감정 상태 파악을 위한 주관적 감정 설문 평가를 수행(2분 소요)한 후 실험이 종료되었다. 본 실험은 감정 평가 척도의 반복성을 검증하기 위해 실험 참여자마다 동일한 절차로 총 3회 반복 수행되었으며 반복 실험에 의한 학습 효과를 최소화 하기 위해 주행 평가 순서는 randomized Latin square design을 통해 randomize되었다(Appendix G 참조).

### 3.5. Analysis Protocol

본 연구는 3단계(S1. 정량화 척도 산출, S2. 이상치 파악, S3. 감정에 의한 평가 척도 변화 분석) 절차에 따라 주행 중 운전자의 감정에 의한 생리학적 척도 및 운전자 주행 척도의 변화 경향을 파악하고 감정에 의한 차이를 통계적으로 검증하였다.

첫째, 주행 평가 중 측정된 ECG와 운전자 주행 척도로부터 다양한 정량화 척도를 추출하였다. ECG 신호는 heart rate variability (HRV) 분석 프로그램인 Kubios HRV (Kubios Inc., Finland)를 활용하여 time domain의 inter-beat interval (IBI)와 frequency domain의 LF/HF를 추출하였다. ECG raw data로부터 추출된 R-peak를 통해 R-peak간 시간 간격을 의미하는 IBI가 정량화되었다. 다음으로, LF/HF는 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform; FFT)을 통해 시간 영역을 주파수 영역으로 변환함으로써 산출되었다. LF와 HF의 주파수 영역대는

기존 연구(Combatalade, 2010)에 기반하여 각각 0.04 ~ 0.15 Hz와 0.15 ~ 0.4 Hz로 설정되었다. ECG 정량화 척도 추출 단계에서는 Kubios HRV의 artefact correction (medium level) 기능을 활용하여 IBI가 지역 평균(local average)  $\pm 0.25$  sec를 벗어난 경우 이를 피험자의 인위적인 움직임으로 인한 outlier로 간주하여 분석 대상에서 제외하였다(Jokinen et al., 2017; Kryptos et al., 2011; Tarvainen et al., 2017). 다음으로, 주행 시뮬레이터 S/W인 UC-win/road (ver.11)의 운전자 주행 정보 logging 기능을 통해 시간에 따른 주행 속도(driving speed), 핸들 회전율(steering wheel rate), 그리고 구심 가속도(centripetal acceleration) 값을 추출하였다. 주행 속도는 시간에 따른 주행 총 거리로 계산되며, 핸들 회전율은 시간에 따른 핸들 각도의 변화량을 의미한다. 마지막으로, 구심 가속도는 Figure 3.6과 같이 차량이 속력  $v$ 로 반지름  $r$ 의 원운동을 하고 있을 때 방향의 변화에 작용하는 가속도이며  $v^2/r$ 로 계산된다.

둘째, 각 감정 평가 척도 관측치 중 피험자 내 변동(intra-subject variability) 측면에서 정상 범위를 벗어난 경우 outlier로 간주하여 분석에서 제외하기 위해 데이터를 검토하였다. ECG와 운전자 주행 척도 모두 각 실험 참여자별로 3회 반복실험의 평균값에서  $\pm 3SD$  범위를 벗어난 경우가 있는지를 검토한 결과 ECG와 운전자 주행 척도 모두 이러한 경우가 부재한 것으로 파악되었다.

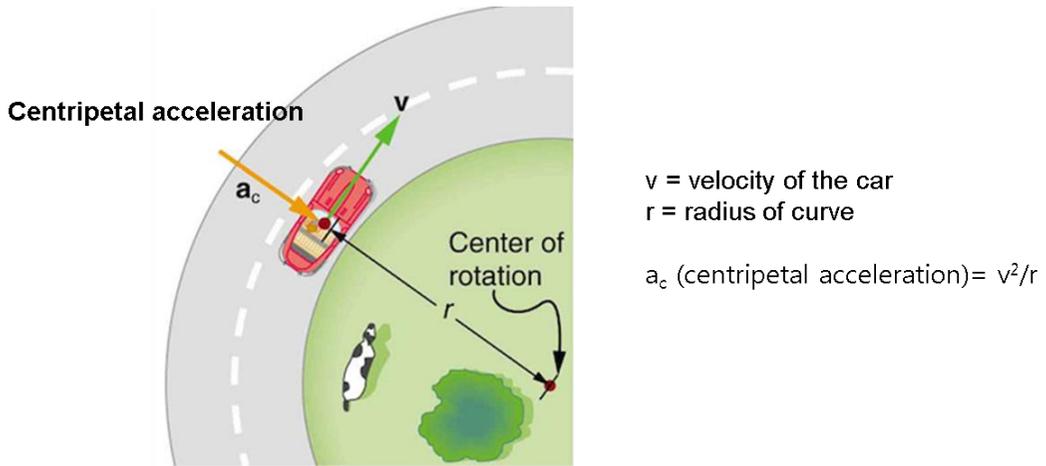


Figure 3.6. 구심 가속도(centripetal acceleration)

셋째, 감정에 의한 감정 평가 척도의 변화 경향을 분석하고 통계적 방법을 활용하여 그 차이를 검증하였다. 주행 평가 중 측정된 피험자의 ECG와 주행 척도는 30초 간격(1 구간)으로 분석되어 주행 평가 총 6분(=360초)이 12구간(360/30 = 12)으로 분할되어 분석되었다. 운전자 주행 척도 데이터 중 주행 평가 시작 직후 30초는 실험 참여자가 평소의 주행 패턴에 도달하는 과도 구간(transient zone)으로 분석에서 제외되었다(Hirata et al., 2007). 예를 들어, 주행 평가 시작 후 30초 구간에서 전체 실험 참여자 평균 주행 속도는 약  $62.6 \pm 9.0$  km/h이며, 30 ~ 60초 구간( $81.2 \pm 8.9$  km/h)과 60초 ~ 90초 구간( $80.9 \pm 7.1$  km/h)에 도달하면서 점차 안정적인 주행 패턴에 도달하는 것으로 파악되었다. 다음으로, 감정 유발 전 구간(주행 전반 3분) 대비 감정 유발 후 구간(주행 후반 3분)의 ECG와 운전자 주행 척도의 변화량과 변화율을 계산하여 감정에 의한 각 감정

평가 척도의 변화 양상이 분석되었다. 주관적 감정 평가 결과는 각 설문 평가 항목의 점수를 더한 총점을 기준으로 주행 평가 전 대비 주행 평가 후 분노와 불안 점수의 증/감 경향을 파악하였으며 주행 전/후 점수를 normative data와 비교하여 피험자의 분노와 불안 수준을 정의하였다. 또한, 주행 평가 전 실시한 주관적 감정 성향 평가 결과를 기반으로 전체 실험 참여자를 평소 감정적인 성향에 따라 분노 또는 불안 성향이 높은 그룹(anger-sensitive group, anxiety-sensitive group)과 다소 낮은 그룹(anger-insensitive group, anxiety-insensitive group)으로 분류한 후 두 그룹에서 감정에 의한 평가 척도의 변화 양상을 비교 분석 하였다. 분노 및 불안 성향 점수를 STAI 및 STAXI-2의 normative data와 비교하여 백분위(percentile)를 계산하였고 60%ile (약간 높음 ~ 높음)보다 높은 백분위에 해당하는 실험 참여자들은 각각 분노 또는 불안 성향이 높은 anger-sensitive group과 anxiety-sensitive group으로 분류하였다(Spielberger, 1988; Viens et al., 2003). 통계 분석에는 실험 참여자간의 차이로 인한 변동성을 제거하기 위해 repeated measure ANOVA를 활용하여 감정 유발 전 3가지 감정 유형(neutral, anger, anxiety)간 차이, 각 감정 유형에서 감정 유발 전/후의 차이, 그리고 주행 평가 시간 구간별 감정 유형 간 차이가 분석되었다. 또한, ECG와 운전자 주행 척도의 상관성을 분석하기 위해 correlation analysis ( $\alpha = .05$ )이 활용되었다. ANOVA 분석에는 Matlab R2017b (MathWorks Inc., USA)을, correlation analysis에는 Minitab 16 (Minitab Inc., USA)이 활용되었다.

## 3.6. Results

### 3.6.1. Physiological Evaluation (ECG)

IBI는 neutral에서 baseline 대비 주행 전반에 약 1% 소폭 감소한 반면, 주행 전반 대비 후반에 약 2% 증가하였다. 한편, anger와 anxiety는 baseline 대비 주행 전반에 약 1% 증가한 반면, 주행 전반 대비 후반에 약 1% 감소하는 유사한 경향을 보였다(Figure 3.7). Baseline과 주행 전반에서 감정에 의한 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(baseline:  $F[2,30] = 0.75, p = 0.48$ ; 주행 전반:  $F[2,30] = 0.01, p = 0.99$ ). Neutral에서는 주행 전반( $0.865 \pm 0.021$ ) 대비 후반( $0.882 \pm 0.021$ )에서 IBI가 약 0.017 sec 증가( $F[1,15] = 11.7, p < 0.01$ )한 반면 anger와 anxiety는 주행 전반(anger =  $0.865 \pm 0.021$  sec, anxiety =  $0.863 \pm 0.016$ ) 대비 주행 후반(anger =  $0.854 \pm 0.022$  sec, anxiety =  $0.856 \pm 0.016$  sec) 각각 약 0.011 sec, 0.007 sec 미미하게 감소한 것으로 파악되었다(anger:  $F[1,15] = 10.64, p < 0.01$ ; anxiety:  $F[1,15] = 2.79, p = 0.12$ ). 주행 평가 시간 구간별 분석에서는 baseline과 주행 전반 구간에서는 감정 유형간 유사한 경향을 보였으나 주행 후반 구간에서는 neutral과 비교하여 anger와 anxiety가 다소 감소하는 경향을 보였다. 특히, 감정 유발 후 1분 30초 ~ 2분 구간에서 감정에 의한 차이가 통계적으로 유의한 것으로 파악되었다( $F(2,15) = 3.54, p = 0.04$ ; Figure 3.8).

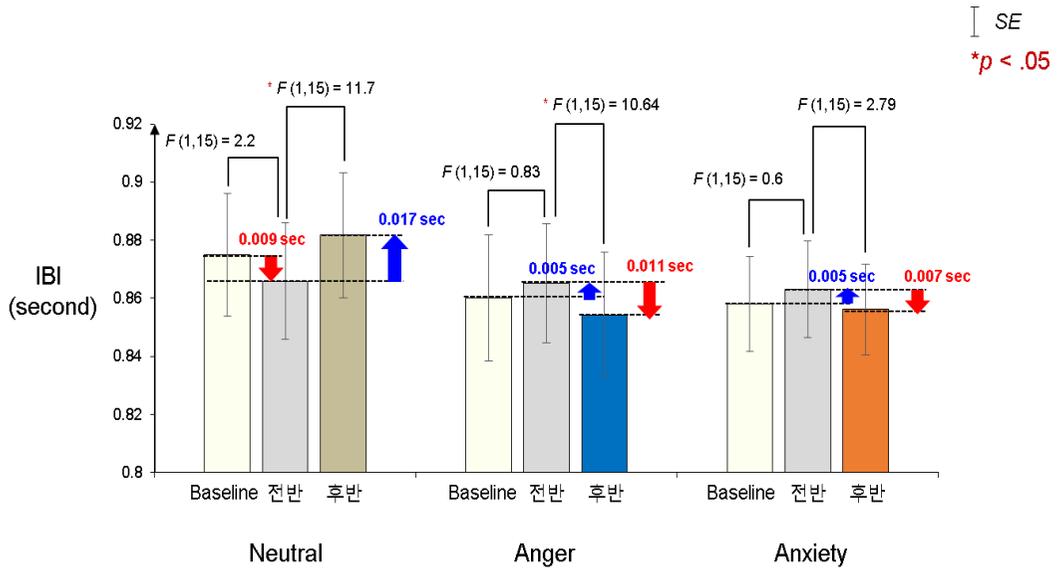


Figure 3.7. 감정 유형에 따른 inter-beat interval (IBI) 변화 (baseline vs. 주행 전반 vs. 주행 후반)

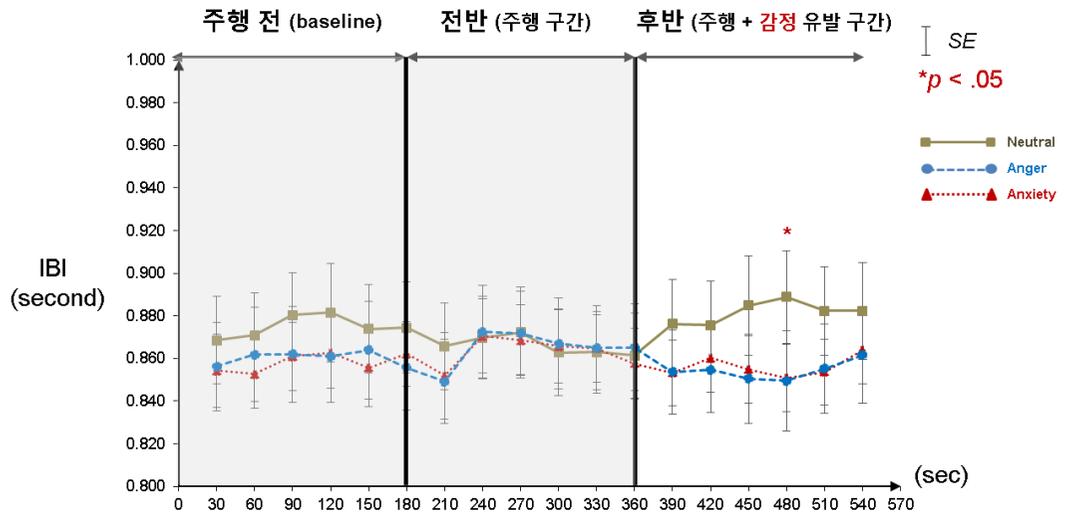


Figure 3.8. 감정 유형에 따른 inter-beat interval (IBI) 변화 (시간 구간별)

LF/HF는 neutral, anger, anxiety에서 baseline 대비 주행 전반에 각각 약 13%, 13%, 27% 감소하는 경향을 보였다. 한편, 주행 전반 대비 후반에서 neutral은 약 6% 감소하는 반면 anger와 anxiety는 각각 약 13%, 10% 증가하는 경향을 보였다(Figure 3.9). Baseline과 주행 전반에서 감정에 의한 차이는 최대 약 0.19%로 통계적으로 유의하지 않았다(baseline:  $F[2,30] = 0.96, p = 0.39$ , 주행 전반:  $F[2,30] = 0.45, p = 0.64$ ). Neutral에서는 주행 전반( $3.02 \pm 0.56$ ) 대비 후반( $2.85 \pm 0.53$ )에서 LF/HF가 0.17 소폭 감소하였으나 anger와 anxiety는 주행 전반(anger =  $2.99 \pm 0.76$  sec, anxiety =  $2.68 \pm 0.65$ ) 대비 후반(anger =  $3.38 \pm 0.65$  sec, anxiety =  $2.95 \pm 0.66$ )에서 각각 약 0.39, 0.26 증가하였다. 주행 시간 구간별 분석에서는 주행 후반 neutral에서는 LF/HF가 주행 전반과 비교하여 유지되는 경향을 보이거나

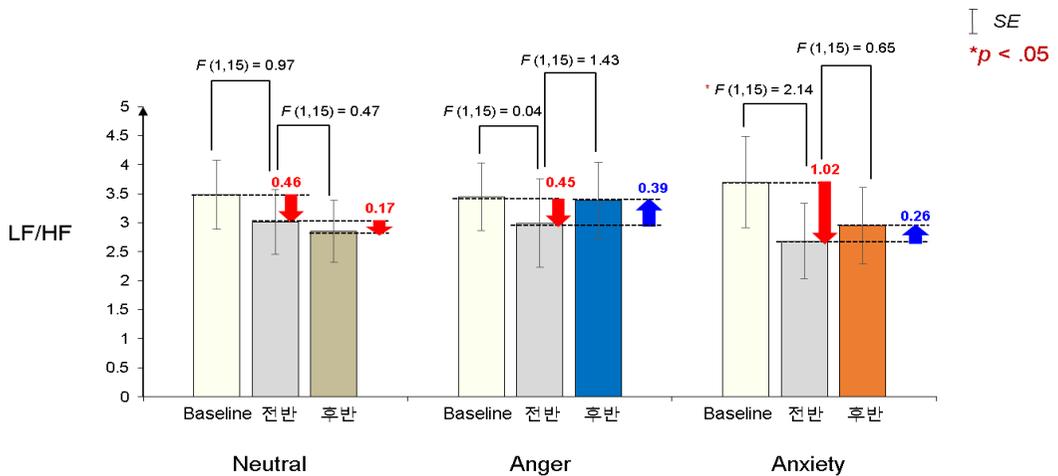


Figure 3.9. 감정 유형에 따른 LF/HF ratio 변화 (baseline vs. 주행 전반 vs. 주행 후반)

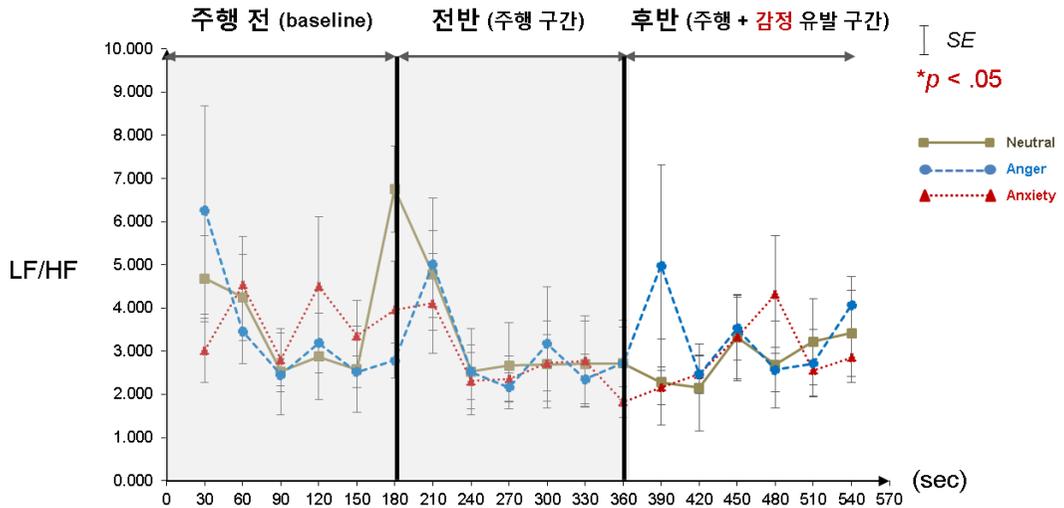


Figure 3.10. 감정 유형에 따른 LF/HF ratio 변화 (시간 구간별)

anger는 감정 유발(360 sec) 직후 30초, 그리고 anxiety는 감정 유발 후 1분 30초 ~ 2분 사이 구간에서 다소 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다(Figure 3.10).

### 3.6.2. Driving Performance

주행 후반에서 주행 속도는 주행 전반 대비 neutral과 anxiety에서 유지되는 경향을 보였으나 anger에서 약 5.7% 증가되었다(Figure 3.11). 주행 전반에서 감정에 의한 차이는 통계적으로 유의하지 않았다( $F[2,30] = 3.25, p = 0.053$ ). Neutral에서는 주행 전반 대비 후반에 주행 속도가 약 0.03 km/h 소폭 증가하여 유지되는 경향을 보이는 반면 anger와 anxiety에서 주행 전반 대비

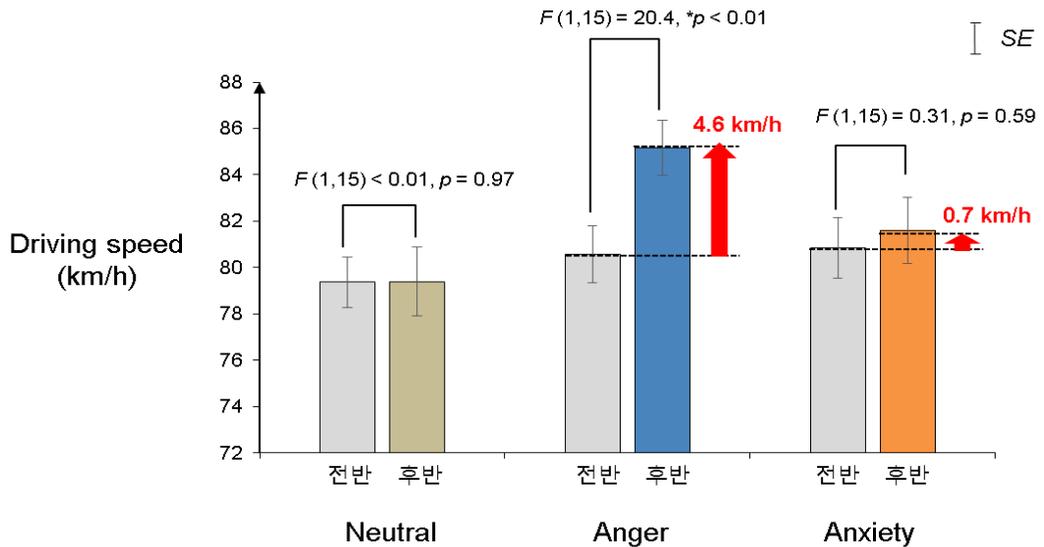


Figure 3.11. 감정 유형에 따른 driving speed 변화 (주행 전반 vs. 후반)

후반에 각각 약 4.6 km/h, 0.7 km/h 증가하였다. 특히, anger에서는 주행 전반( $80.59 \pm 1.23$  km/h) 대비 후반( $85.18 \pm 1.19$  km/h)에서 통계적으로 유의한 변화를 보였다( $F[1,15] = 20.4, p < 0.001$ ). 주행 시간 구간별 분석에서 주행 전반에는 대부분 구간에서 감정에 의한 주행 속도 차이가 통계적으로 유의하지 않았다(Figure 3.12). 그러나, 감정 유발 후 주행 후반의 모든 구간에서 감정에 의한 차이가 통계적으로 유의하였다( $p < .05$ ; Appendix H 참조).

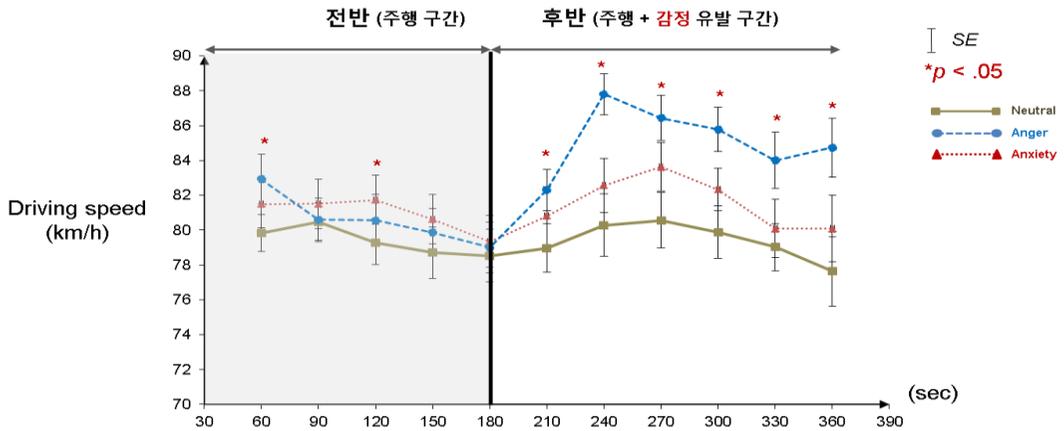


Figure 3.12. 감정 유형에 따른 driving speed 변화 (시간 구간별)

Steering wheel rate (SWR)는 주행 전반 대비 주행 후반에서 neutral은 약 13% 증가되었으나, anger와 anxiety는 증가율이 다소 커져 각각 약 45%, 37% 증가되었다(Figure 3.13). 주행 전반 감정에 의한 차이는 통계적으로 유의하지 않았다( $F[2,30] = 1.39, p = 0.27$ ). 주행 전반과 주행 후반의 차이는 neutral, anger, anxiety 모두 통계적으로 유의하였다( $p < 0.05$ ). 그러나, neutral에서 주행 전반 대비 후반 steering wheel rate는 약 0.3 %/sec 증가한 반면 anger와 anxiety에서는 증가량이 다소 커져 주행 전반 대비 후반에 각각 약 1 %/sec, 0.8 %/sec 증가하는 경향을 보였다. 주행 시간 구간별 분석에서 감정 유발 후 neutral 대비 anger와 anxiety의 steering wheel rate 증가량이 커지는 경향을 확인할 수 있다. 감정 유발 직전/직후 30초와 1분 ~ 1분 30초 구간에서 감정에 의한 차이가 통계적으로 유의한 것으로 파악되었다(Figure 3.14; Appendix H 참조).

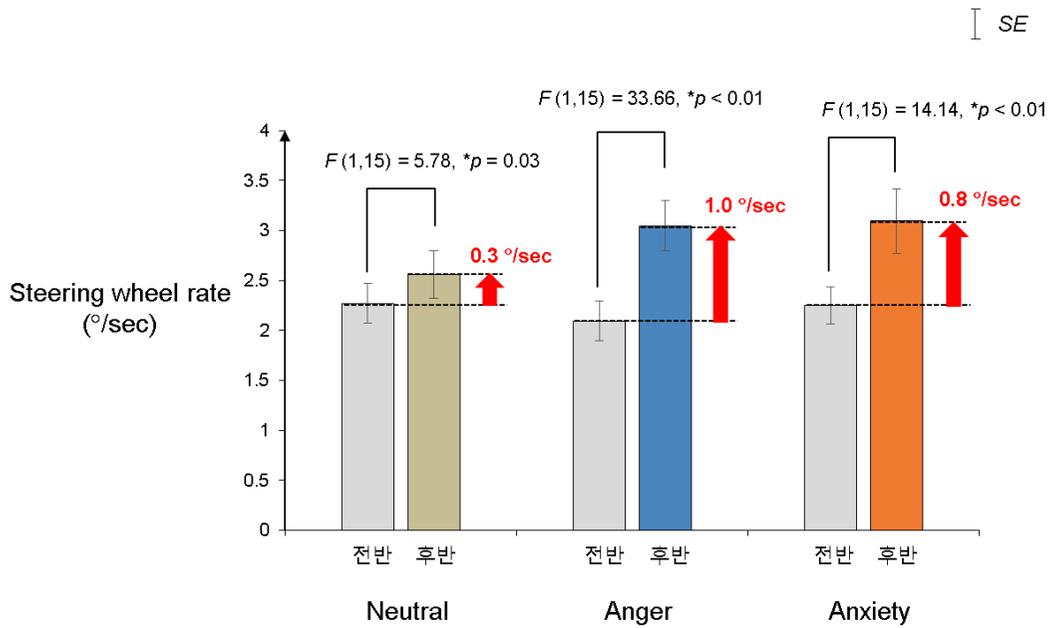


Figure 3.13. 감정 유형에 따른 steering wheel rate 변화 (주행 전반 vs. 후반)

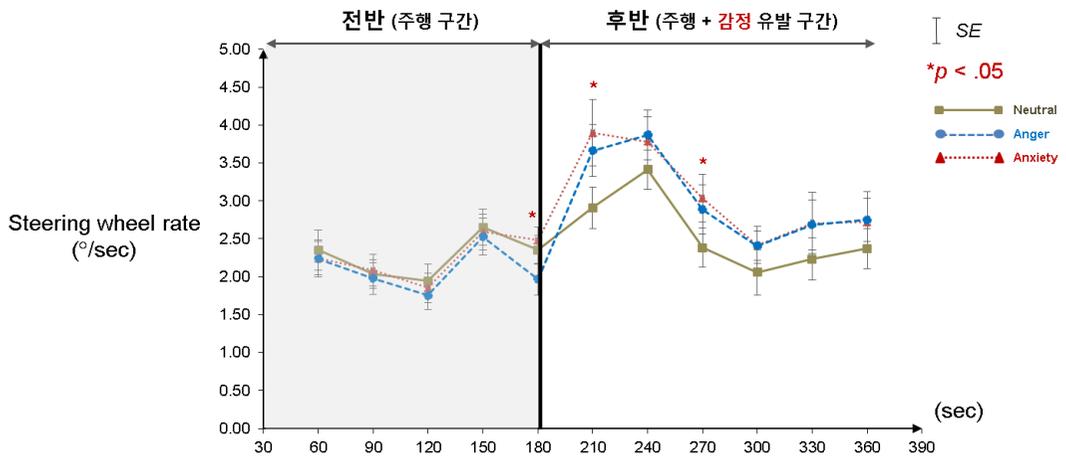


Figure 3.14. 감정 유형에 따른 steering wheel rate 변화 (시간 구간별)

Centripetal acceleration은 주행 전반 대비 후반에서 neutral은 약 2% 소폭 증가되었으며, anger와 anxiety는 증가율이 다소 커져 각각 약 14%, 5% 증가되었다(Figure 3.15). 주행 전반 감정에 의한 차이는 통계적으로 유의하지 않았다( $F[2,30] = 1.59, p = 0.22$ ). Neutral에서 주행 전반 대비 후반 증가량은 약  $0.01 \text{ m/s}^2$  였으나, anger와 anxiety에서는 증가량이 다소 커져 주행 전반 대비 후반 각각 약  $0.08 \text{ m/s}^2, 0.03 \text{ m/s}^2$  증가하는 경향을 보였다. 한편, 주행 전반 대비 주행 후반의 centripetal acceleration의 증가 경향은 neutral과 anxiety에서 통계적으로 유의하지 않았으나 anger에서는 유의한 것으로 파악되었다( $F[1,15] = 13.96, p < 0.01$ ). 주행 시간 구간별 분석에서는 주행 전반에는 감정간 centripetal acceleration이 유사한 경향을 보였으나 감정 유발 후 특히 anger에서 neutral 대비 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였다. 감정 유발 후 주행 후반의 대부분 구간에서 감정에 의한 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Figure 3.16; Appendix H 참조).

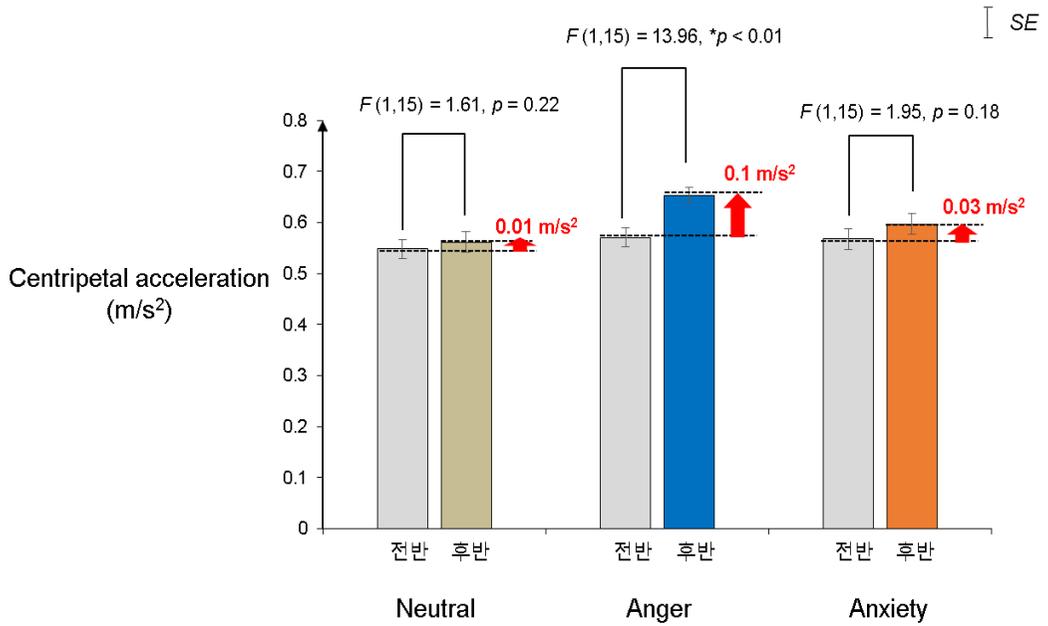


Figure 3.15. 감정 유형에 centripetal acceleration 변화 (주행 전반 vs. 후반)

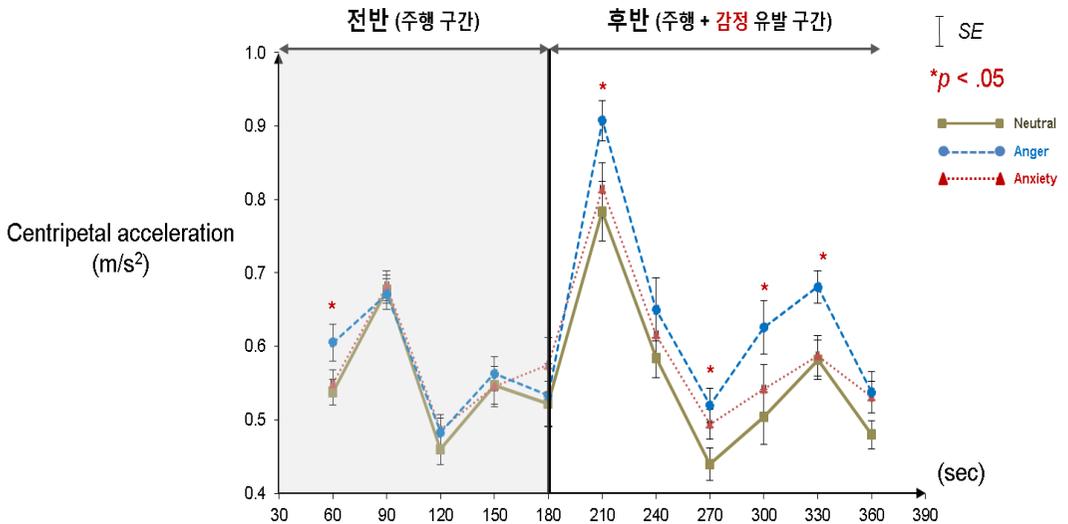


Figure 3.16. 감정 유형에 따른 centripetal acceleration 변화 (시간 구간별)

### 3.6.3. Subject Evaluation

주행 평가 후 실험 참여자의 주관적 분노 평가 점수는 neutral에서 주행 평가 전 대비 평가 후 주관적 분노 점수가 동일한 반면 anger에서는 약 61% 유의하게 증가하는 경향을 보였다( $F[1,15] = 24.3, p < 0.001$ ; Figure 3.17). 주관적 불안 평가 점수는 neutral에서 약 3% 소폭 감소하여 그 차이가 매우 미미한 반면 anxiety에서는 약 59% 유의하게 증가하였다( $F[1,15] = 30.3, p < 0.001$ ; Figure 3.18). 주행 평가 후 점수 분석 결과 anger에서 약 25점(60점 만점), anxiety에서 49점(80점 만점)으로 각 평가 방법의 normative data를 기준으로 모두 85%ile에 위치하는 점수로 파악되었다. 이는 주행 평가 후 실험 참여자의 분노와 불안감이 높은 수준이었음을 의미한다.

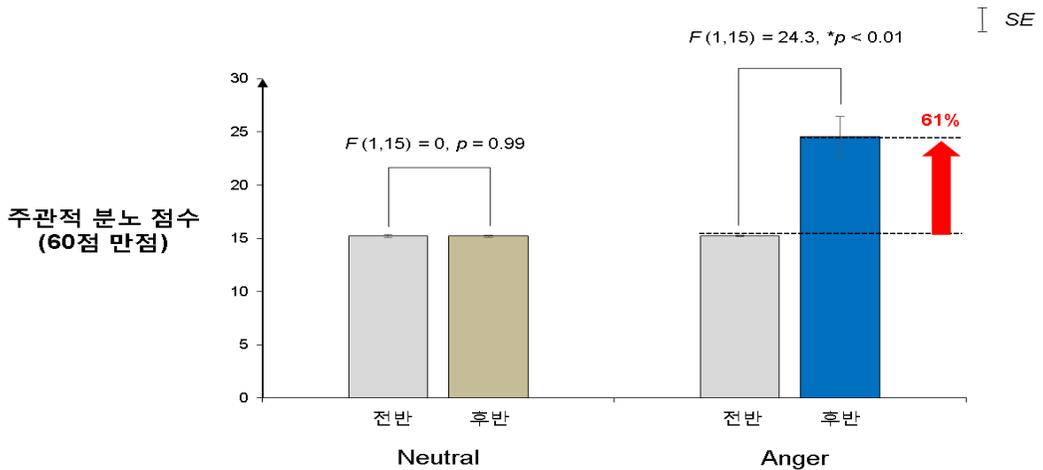


Figure 3.17. 감정 유형에 따른 주관적 분노 지수 변화 경향

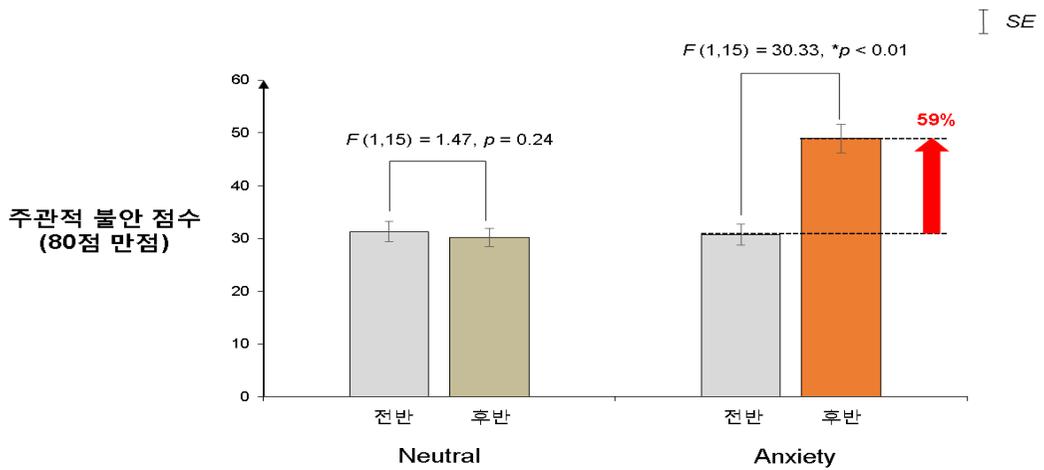


Figure 3.18. 감정 유형에 따른 주관적 불안 지수 변화 경향

분노와 불안의 평소 성향이 실제 감정에 의해 각 평가 척도가 변화되는 정도에 미치는 영향을 파악하기 위해 주관적 감정 성향(trait) 평가를 기반으로 전체 실험 참여자를 분노 또는 불안 성향이 높은 그룹(anger-sensitive group, anxiety-sensitive group)과 낮은 그룹(anger-insensitive group, anxiety-insensitive group)의 두 그룹으로 분류하였다. STAXI-2의 T-Anger (분노 성향 점수)와 STAI의 T-Anxiety (불안 성향 점수) 점수가 각 평가 방법 normative data의 60<sup>th</sup> %ile를 초과한 실험 참여자를 분노와 불안 측면에서 각각 anger-sensitive 그룹과 anxiety-sensitive 그룹으로 분류한 결과, 각각 5명과 8명의 실험 참여자가 anger-sensitive 그룹과 anxiety-sensitive 그룹으로 분류되었다(Table 3.2).

Table 3.2. 주관적 감정 성향(trait) 기반 실험 참여자 분류

\*Shaded area: the subject classified into emotionally sensitive group

Subject		Trait Anger score (Percentile)	Trait Anxiety score (Percentile)
No.	Gender		
1	M	14 (20)	32 (43)
2	M	20 (60)	39 (69)
3	M	30 (95)	45 (83)
4	M	16 (55)	32 (43)
5	F	12 (10)	31 (38)
6	F	18 (50)	38 (70)
7	F	24 (80)	39 (25)
8	M	16 (45)	25 (15)
9	F	17 (35)	37 (54)
10	F	16 (35)	54 (94)
11	F	18 (50)	39 (66)
12	M	19 (55)	34 (52)
13	F	22 (80)	30 (29)
14	M	20 (60)	44 (81)
15	F	17 (40)	44 (81)
16	M	19 (50)	45 (83)

먼저 anger 측면에서는 steering wheel rate와 LF/HF가 평소 분노 성향에 따라 감정에 의한 차이가 뚜렷한 경향을 보였으나 그 외의 평가 척도들은 차이가 미미한 것으로 파악되었다(Figure 3.19). 먼저 steering wheel rate는 anger-insensitive 집단은 주행 전반 대비 후반에 약 0.71 %/sec가 증가한 반면 anger-sensitive 집단은 증가량이 다소 커져 약 1.35%/sec가 증가하였으며 두 집단간의 주행 전반 대비 후반의 증가량 차이가 통계적으로 유의하였다( $t(14) = 2.13, p = 0.03$ ). LF/HF는 anger-insensitive 집단은 주행 전반 대비 후반에 약 0.18 소폭

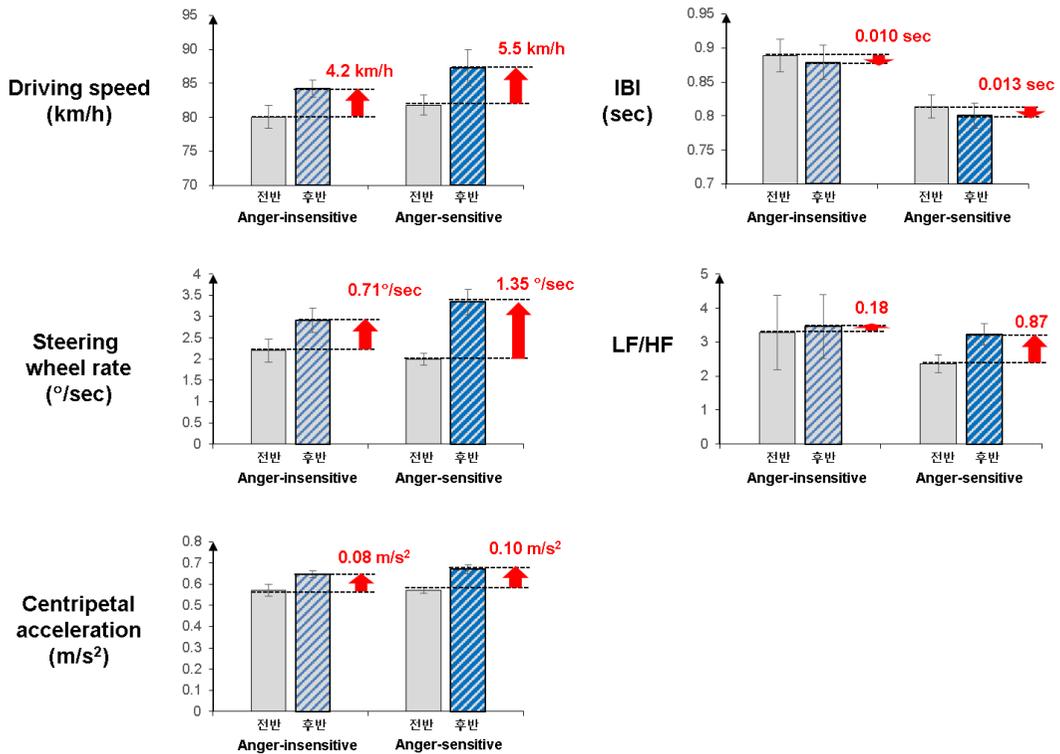


Figure 3. 19. 주관적 분노 성향(trait anger)에 따른 감정 효과 차이

증가한 반면 anger-sensitive 집단은 약 0.87 증가하는 것으로 파악되었으나 두 집단간의 주행 전/후반 증가량 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 파악되었다( $t(14) = 0.96, p < 0.18$ ). 한편, anxiety 측면에서는 centripetal acceleration과 LF/HF가 평소 불안 성향에 따른 감정 효과의 차이가 뚜렷한 것으로 파악되었다(Figure 3.20). Centripetal acceleration은 anxiety-insensitive 집단에서 주행 전반 대비 후반에 증가량이 약 0.003 m/s<sup>2</sup> 로 유지되는 경향을 보이나 anxiety-sensitive 집단은 증가량이 다소 커져 약 0.057 m/s<sup>2</sup> 가 증가한 것으로 파악되었다.

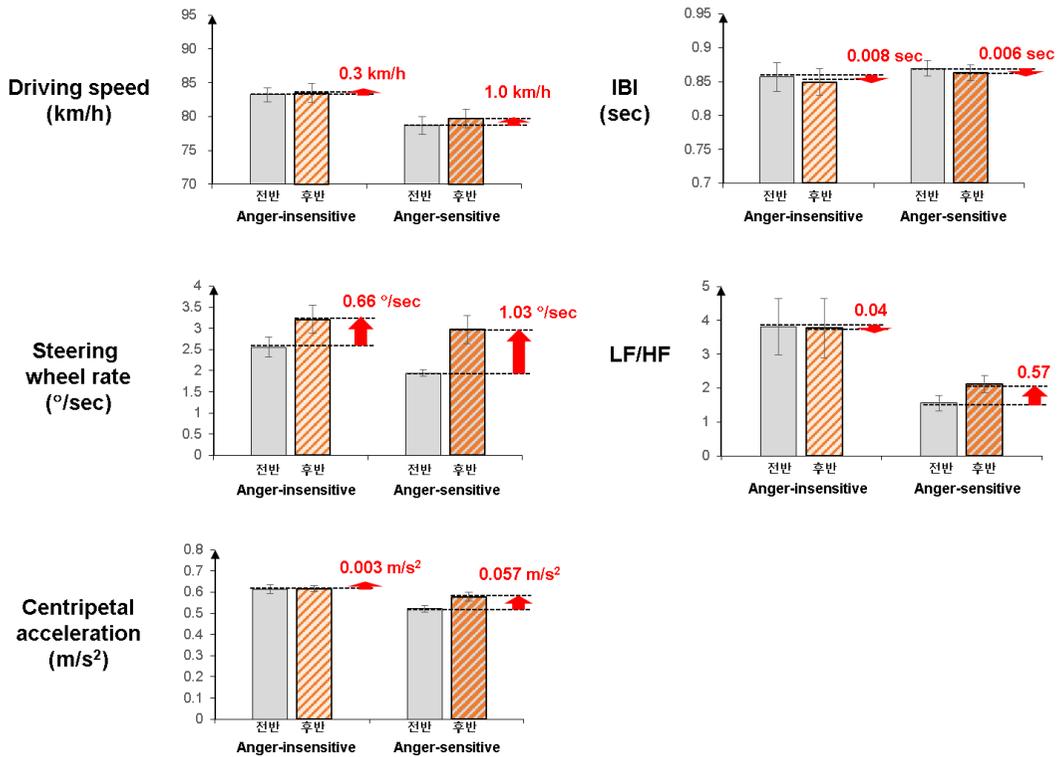


Figure 3. 20. 주관적 불안 성향(trait anxiety)에 따른 감정 효과 차이

그러나, 두 집단간의 주행 전/후반 증가량 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 파악되었다( $t(14) = 1.3, p = 0.11$ ). LF/HF는 anxiety-insensitive 집단은 주행 전반 대비 후반에 약 0.04 감소하여 뚜렷한 변화를 보이지 않은 반면 anxiety-sensitive 집단은 약 0.57 증가하는 경향을 보였으나 두 집단간의 주행 전/후반 증가량 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다( $t(14) = 0.93, p = 0.18$ ).

#### 3.6.4. Relationship between ECG and Driving Performance

감정이 유발되었을 때 ECG와 운전자 주행 척도 변화 경향 사이의 상관관계가 분석되었다. 만약 ECG와 운전자 주행 척도의 변화 경향간에 유의한 상관관계가 존재한다면 감정 징후 탐지를 위해 2가지 measure 중 한가지만 활용될 수도 있으므로 이를 판단하기 위해 두 척도간 상관 관계가 분석되었다. 상관 관계 분석 결과 분노 유발 시 LF/HF와 steering wheel rate ( $r = 0.27$ ,  $p < 0.01$ )는 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 가지는 것으로 파악되었다(Figure 3.21).

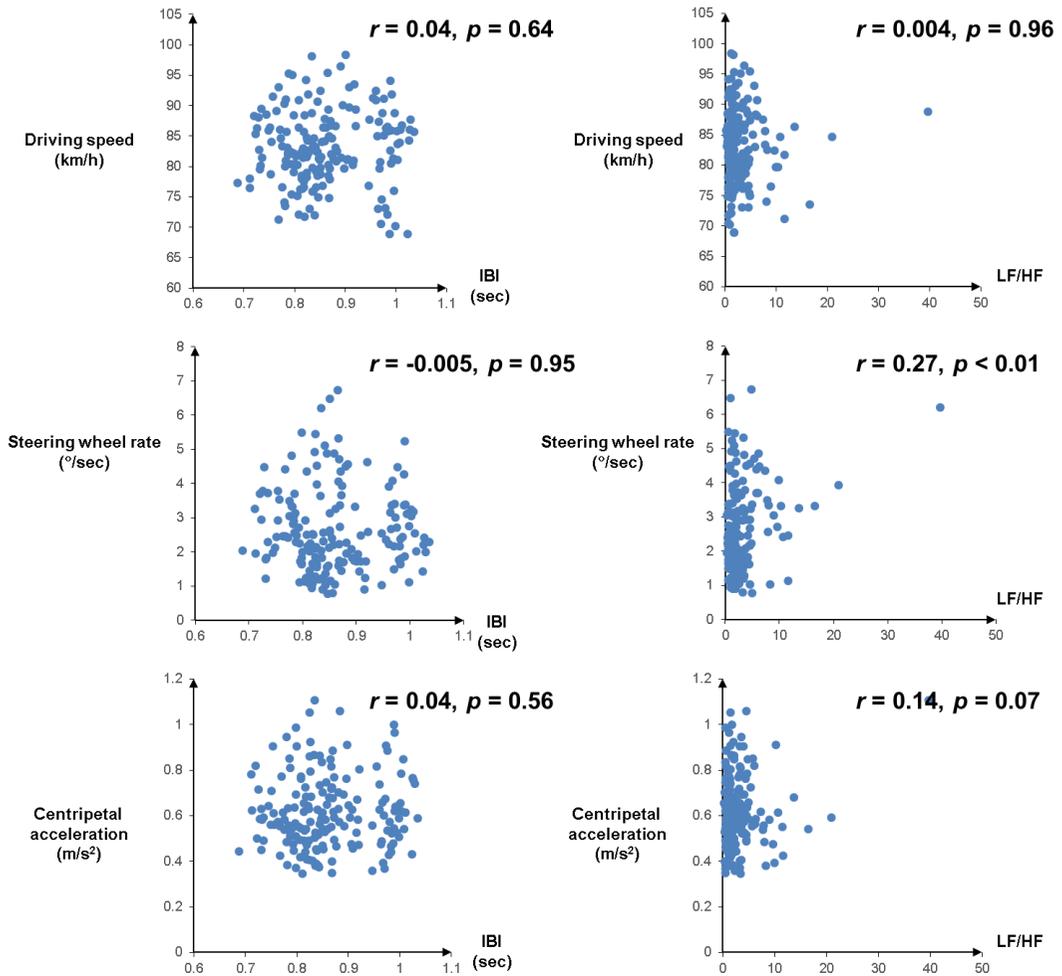


Figure 3.21. 분노 유발 시 ECG 척도와 운전자 주행 척도간 상관 관계

한편, 불안 유발 시 IBI와 운전자 주행 척도 변화 경향의 상관관계 분석 결과 IBI와 주행 속도( $r = 0.18, p = 0.01$ )와 LF/HF와 steering wheel rate ( $r = 0.24, p < 0.01$ )는 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 가지는 것으로 파악되었다(Figure 3.22).

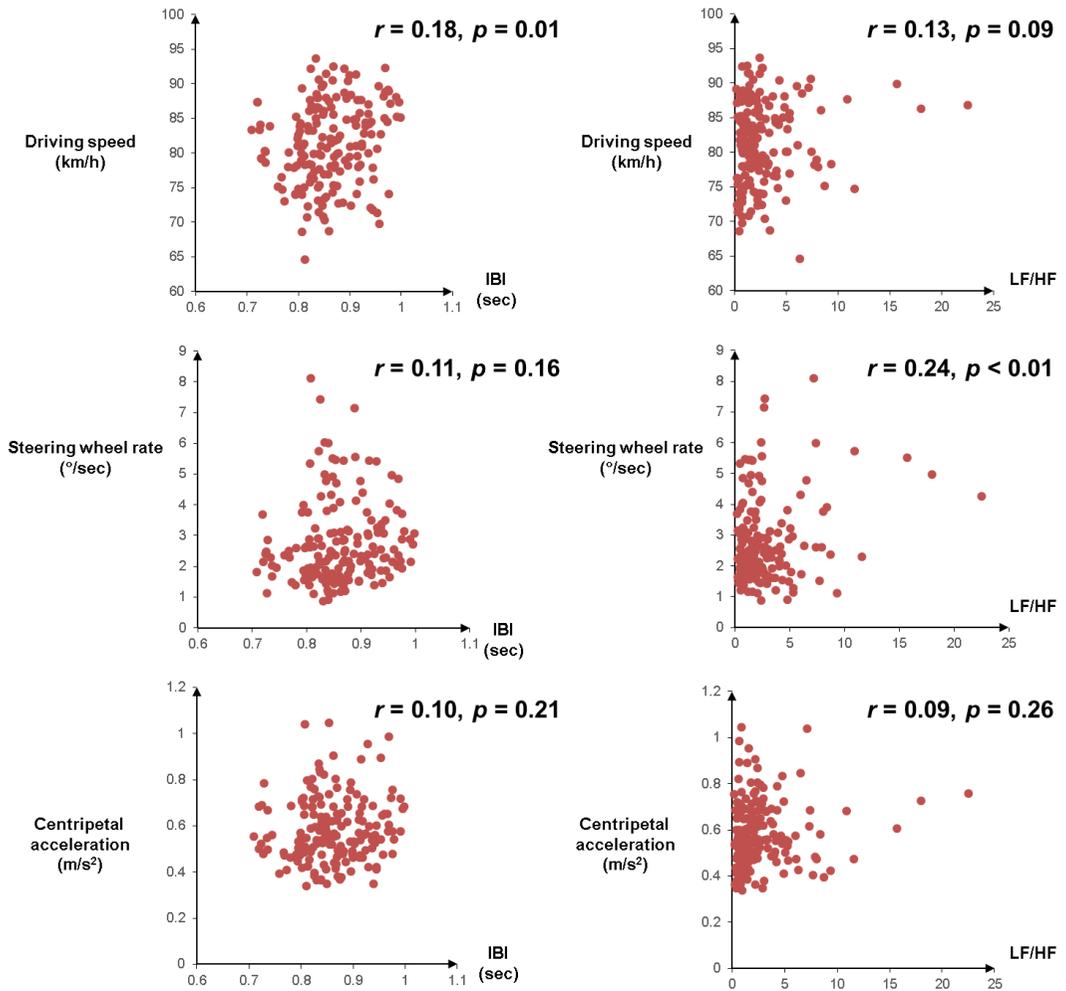


Figure 3.22. 불안 유발 시 ECG 척도와 운전자 주행 척도간 상관 관계

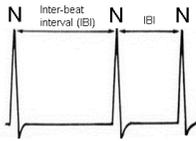
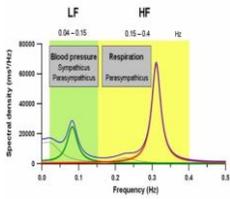
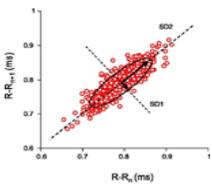
## Chapter 4. Emotional Symptom Detection Model of Driver

### 4.1. Development of Statistical Classification Model

#### 4.1.1. Significant Feature Selection

본 단계에서는 실험 참여자별로 감정에 민감하게 반응하는 척도가 다양한 것을 고려하여 Chapter 3에서 분석한 감정 평가 척도와 더불어 추가 ECG 및 운전자 주행 척도를 추출하여 분석하였다. 그 결과 Table 4.1과 같이 ECG 경우 (1) time domain 3개 (IBI, SDNN, RMSSD), (2) frequency domain 3개 (LF, HF, LF/HF), 그리고 (3) non-linear domain 2개 (SD1, SD2)의 총 8개의 정량화 척도가 분석되었다. 운전자 주행 척도 경우 driving speed, steering wheel rate (SWR), 그리고 centripetal acceleration의 평균값과 더불어 표준 편차 값을 추가로 산출하여 총 6개의 정량화 척도가 분석에 활용되었다.

Table 4.1. ECG 정량화 척도

Domain	척도	예시	단위	설명
Time	Mean IBI		msec	심장 박동 간 평균 시간 간격
	SDNN		msec	IBI의 표준 편차
	RMSSD		msec	연속적인 IBI의 평균 제곱근
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		-	LF/HF의 비율
Non-linear	SD1		msec	단기 심박 변이율 (SD of the instantaneous beat-to-beat variability)
	SD2		msec	장기 심박 변이율 (SD of the continuous beat-to-beat variability)

실험 참여자별로 감정에 민감하게 반응하는 척도를 선별하기에 앞서 실험 참여자간 차이에 의한 변동성을 낮추고 감정 평가 척도들간의 단위를 통일하기 위해 각 평가 척도는 정규화(normalization)되었다. ECG와 운전자 주행 척도의 scale은 실험 참여자, 그리고 다양한 척도간에 현저한 차이를 보인다. 따라서, 판별 모형 개발에 앞서 각 정량화 척도들의 통일된 단위를 얻기 위해 데이터의 정규화 작업이 요구된다. 본 연구에서는 각 실험참여자의 ECG와

운전자 주행 척도의 주행 후반 3분 데이터를 baseline(주행 전반 3분)의 평균으로 나눔으로써 각 평가 척도의 정규화된 값을 산출하였다. 예를 들어, neutral 조건에서 driver A의 주행 후반 3분 구간에서의 평균 주행 속도가 77.1 km/h였고 주행 전반 3분의 평균 주행 속도가 78.1 km/h 였다면 driver A의 neutral 조건에서의 normalized value는  $0.978 (77.1 / 78.1 \text{ km/h})$ 이 된다.

다음으로 감정에 의한 데이터의 변화 경향(기존 연구 경향과의 부합 여부), 감정에 의한 차이의 통계적 유의성, 그리고 실험의 반복성(데이터 신뢰성)을 종합적으로 고려하여 개인별로 감정 탐지에 최적의 척도를 선정한다. 첫째, 감정에 따른 증/감 경향이 기존 연구 결과의 경향과 일치하는지를 파악한다. 예를 들어, 기존 연구에서 감정이 유발되면 심장 박동이 빨라지고 이에 심장 박동 사이 시간 간격을 의미하는 척도인 IBI는 감소된다(Jonassaint et al.,2009). 따라서, IBI가 감소하는 경향을 보이는 실험 데이터는 상기 기준을 충족시킨다. 기존 연구에서 분석되지 않은 척도(ECG: SD1, SD2; 운전자 주행 척도: 주행 속도, steering wheel rate, centripetal acceleration의 표준 편차)는 이 기준을 최적 감정 탐지 척도 선정 기준에 포함하지 않았다. 둘째, 감정(neutral, anger, anxiety)에 의한 차이의 통계적 유의성을 검증한다. Paired *t*-test ( $\alpha = .10$ )를 통해 2가지 유형(neutral vs. anger, neutral vs. anxiety)의 검증이 수행되었다. 셋째, 반복 실험(3회)을 통해 얻어진 데이터의 반복성을 변동 계수(coefficient of variation; CV)를 통해 검증한다. Brown (1998)는 반복 실험 데이터의 변동 계수가

30%를 넘으면 이는 실험에 적절한 통제가 가해지지 않았으며 따라서 해당 데이터의 신뢰성이 낮을 가능성이 있다고 보고하였다. 따라서, 본 연구에서는 변동 계수 30%를 초과한 데이터는 분석 대상에서 제외하여 데이터의 신뢰성을 높였다.

감정 탐지 최적 척도 선정 결과 개인별로 감정 탐지에 유효한 평가 척도의 유형과 개수가 매우 상이하였다. Anger 탐지에 유효한 척도를 선정한 결과, 특히 평균 주행 속도, centripetal acceleration, 그리고 IBI가 전체 실험 참여자 중 각각 50% (8/16), 38% (6/16), 31% (5/16)의 참여자에게서 감정 탐지에 유효한 경향을 보였다(Table 4.2). Anxiety 탐지에 유효한 평가 척도 선정 결과에서는 steering wheel rate의 평균과 표준편차가 선정 비율이 31%(5/16)로 다른 평가 척도 대비 높은 수준이었으며 그 외에 평균 주행 속도와 centripetal acceleration의 표준 편차가 25% (4/16)로 높은 수준의 선정 비율을 보였다(Table 4.3). 또한, 특정 실험 참여자(anger: S04, S13, anxiety: S01, S03, S09, S11)는 본 분석에서 활용된 ECG 및 운전자 주행 척도 중 감정 탐지에 유효한 척도가 부재한 것으로 파악되었다. 마지막으로, 전체 실험 참여자의 평균 데이터를 기준으로 감정 탐지에 최적인 척도를 파악한 결과 anger 탐지에는 IBI, 주행 속도, 그리고 steering wheel rate과 centripetal acceleration의 평균과 표준편차가 유효하였으며 anxiety 탐지에는 IBI, 주행 속도, steering wheel rate의 평균과 표준편차, 그리고 centripetal acceleration이 유효한 것으로 파악되었다.

Table 4.2. 감정 탐지 최적 척도 선정 결과: 분노(Anger)

\*All: 전체 실험 참여자 평균 데이터, SWR: steering wheel rate, CA: centripetal acceleration

Subject	ECG measures								Driving performance						유효 척도 개수
	IBI	SDNN	RMSSD	LF	HF	LF/HF	SD1	SD2	Speed		SWR		CA		
									Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
1			✓				✓								2
2									✓				✓	✓	3
3									✓				✓	✓	3
4															-
5									✓						1
6									✓				✓		2
7	✓	✓	✓				✓								4
8		✓	✓		✓		✓	✓	✓				✓	✓	8
9											✓				1
10		✓							✓		✓	✓		✓	5
11	✓								✓				✓		3
12	✓														1
13															-
14	✓														1
15	✓					✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	8
16											✓	✓			2
<b>선정비율(%)</b>	<b>31</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>50</b>	<b>-</b>	<b>25</b>	<b>19</b>	<b>38</b>	<b>31</b>	
All	✓								✓		✓	✓	✓	✓	6

Table 4.3. 감정 탐지 최적 척도 선정 결과: 불안(Anxiety)

\*All: 전체 실험 참여자 평균 데이터, SWR: steering wheel rate, CA: centripetal acceleration

Subject	ECG measures								Driving performance						유효 척도 개수
	IBI	SDNN	RMSSD	LF	HF	LF/HF	SD1	SD2	Speed		SWR		CA		
									Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
1															-
2									✓	✓			✓	✓	4
3															-
4						✓				✓					2
5									✓						1
6	✓								✓		✓	✓	✓	✓	6
7											✓	✓			2
8		✓						✓							2
9															-
10		✓							✓					✓	3
11															-
12	✓		✓				✓								3
13														✓	1
14											✓	✓			2
15	✓		✓				✓				✓	✓			5
16											✓	✓			2
선정비율(%)	19	13	13	-	-	6	13	6	25	13	31	31	13	25	
All	✓								✓		✓	✓	✓		5

#### 4.1.2. Data Modeling and Model Performance Evaluation

실험 참여자별로 선별된 ECG와 운전자 주행 척도를 기반으로 주행 중 운전자의 감정 징후를 탐지 할 수 있는 개인 맞춤형 탐지 모형을 개발하였다. 본 연구에서는 선별된 ECG 및 운전자 주행 척도를 입력 변수로 하고 neutral과 anger (또는 anxiety)를 출력 변수로 하는 2가지 유형의 탐지 모형(neutral vs. anger, neutral vs. anxiety)을 각각 실험 참여자별 개인 맞춤형 모형과 전체 실험 참여자 평균 데이터 기반의 통합 모형으로 개발하였다. 분노 또는 불안 탐지에 유효한 척도가 2개 미만인 경우 탐지 모형은 개발되지 않았다. 감정 징후 탐지에는 방사형 커널(radial kernel) 기반의 non-linear support vector machine이 활용되었으며 데이터 모델링 시 cost와 gamma, 2가지 종류의 hyper-parameter를 조정하였다. Cost는 관측치의 오분류 시 지불되는 비용을 의미하며 데이터의 과적합(overfitting)을 방지하는 용도의 파라미터로 해석된다. 예를 들어, cost 값이 크면 오분류 가능성을 낮추기 위해 폭이 좁은 마진(초평면에서 관측치까지의 거리)을 구성하여 학습 데이터에 고도로 적합된 분류기를 생성한다. 따라서 cost의 값을 적절히 조율하여 데이터의 과적합 정도를 조정할 수 있다. 다음으로 gamma는 데이터의 단일 관측치가 모델에 미치는 영향력으로 해석될 수 있으며 그 값이 클수록 학습 데이터에 고도로 과적합되는 결과를 보인다. 따라서 데이터의 과적합을 방지하기 위해 gamma 값의 적절한 조율이 필요하다. 최적의 hyper-parameter는 학습되는 데이터에

따라 상이하므로 heuristic method를 통해 다양한 값(cost: 0.1, 1, 10, 100, 100; gamma: 0.5, 1, 2, 3, 4)을 투입한 후 가장 높은 sensitivity와 specificity를 보여준 수치를 최적 hyper-parameter로 결정하였다.

데이터는 train set과 test set으로 분할되어 학습된 후 모형의 성능이 평가되었다. 먼저 실험 참여자별 탐지 모형은 총 3회 반복 실험 중 train set과 test set의 2:1 비율로 분할되어 3-fold cross validation이 수행되었다. 다음으로, 전체 실험 참여자의 평균 데이터 기반의 감정 탐지 모형은 총 16명의 실험 참여자 중 무작위로 12명을 train set 으로 4명을 test set으로 분할하여 학습 및 검증이 수행되었다. 개발된 탐지 모형의 성능은 sensitivity, specificity, 그리고 accuracy 지표를 통해 평가되었다.

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{number of true positives}}{\text{number of true positives} + \text{number of false negatives}} \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{Specificity} = \frac{\text{number of true negatives}}{\text{number of true negatives} + \text{number of false positives}} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Sensitivity} + \text{Specificity}}{2} \quad (\text{Eq.3})$$

## 4.2. Validation of Statistical Classification Model

탐지 모형 개발 결과 전체 실험 참여자 평균 데이터 기반의 탐지 모형은 anger에서 87.5%의 정확도를, anxiety에서 79.2%의 정확도를 얻었다(Table 4.4). 개인별 탐지 모형은 anger에서 전체 실험 참여자 평균 sensitivity 83.5%, specificity 73.4%, 그리고 accuracy 78.5%의 결과를 얻었으며, anxiety에서 평균 sensitivity 85.3%, specificity 81.5%, 그리고 accuracy 83.4%의 성능을 보였다. 특정 실험 참여자(anger: S02, S06, S10, S15, anxiety: S02, S06, S14)는 100%의 탐지 정확도를 보였다. 탐지 모형의 개발과 검증에는 오픈 소스 통계 소프트웨어인 R (ver. 3.2) 이 활용되었다.

Table 4.4. 운전자 부정적 감정 징후 탐지 모형 성능 평가 결과

Subject	Anger vs. Neutral			Anxiety vs. Neutral		
	Sensitivity	Specificity	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Accuracy
S01	67	33	50	-	-	-
S02	100	100	100	100	100	100
S03	67	67	67	-	-	-
S04	-	-	-	67	100	83.5
S06	100	100	100	100	100	100
S07	67	67	67	100	67	83.5
S08	67	33	50	-	-	-
S10	100	100	100	67	67	67
S11	67	67	67	-	-	-
S12	-	-	-	67	33	50
S14	-	-	-	100	100	100
S15	100	100	100	67	100	83.5
S16	100	67	83.5	100	67	83.5
<b>Average</b>	<b>83.5</b>	<b>73.4</b>	<b>78.5</b>	<b>85.3</b>	<b>81.5</b>	<b>83.4</b>
<b>All</b>	<b>91.7</b>	<b>83.3</b>	<b>87.5</b>	<b>83.3</b>	<b>75</b>	<b>79.2</b>

\*Average: 실험 참여자별 탐지 모형 성능의 평균

\*All: 전체 실험 참여자 평균 데이터 기반 통합 모형

## Chapter 5. Discussion

### 5.1. Driver's Emotion Recognition Experiment

본 연구는 운전자 감정 평가 실험을 통해 ECG 및 운전자 주행 척도와 운전자 감정과의 상관성을 규명하였다. ECG 정량화 척도 분석 결과 감정이 중립적인 상태(neutral)에서 심장 박동의 시간 간격(inter-beat interval; IBI)은 주행 전반 대비 후반에 약 0.017 sec 소폭 증가하는 경향을 보였으나 분노와 불안 감정이 유도되었을 때는 각각 약 0.011 sec, 0.007 sec 미미하게 감소하는 경향을 보였다. Fairclough & Spiridon (2012)은 모의 주행 기반 실험을 통해 운전자의 분노를 유발 할 수 있는 교통 정체 상황을 제공하고 이를 정상적인 주행 구간과 비교한 결과 정상적인 주행 구간 대비 분노를 유발 할 수 있는 교통 정체 구간에서 IBI가 약 0.1 sec 감소한 것으로 보고하였다. 부교감 신경 대비 교감 신경의 활성화 정도(LF/HF)는 중립 감정 상태에서 약 0.17 감소하나 분노와 불안이 유도되었을 때는 각각 약 0.39, 0.26 증가하는 경향이 확인되었다. Riener et al. (2009)은 실차 실험을 기반으로 LF/HF 척도를 활용하여 주행 구간에 따른 운전자의 감정 변화를 분석한 결과 원활한 교통 구간 대비 교통 정체 구간에서 LF/HF가 최대 약 1.6 증가하는 것으로 보고하였다. 이를 통해 본 연구에서 주행 중 유발된 분노 또는 불안과 같은 운전자 감정에 의해 심장 박동은 미미하게 빨라지고 LF/HF가 증가하는 경향을 확인할 수 있었으나 기존

연구 대비 그 변화 정도가 크지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 본 연구에서 유도된 주행 상황과 무관한 감정과 비교하여 기존 연구들에서 유도된 교통 정체와 같은 정상적인 주행을 방해하는 요인으로 인한 감정 변화가 더 직접적인 감정 자극이 되어 각 평가 척도의 변화량 또한 커진 것으로 파악된다. 한편, 운전자 주행 척도 분석 결과 주행 속도는 중립 감정 상태(neutral)에서 주행 전반 대비 후반 증가율은 약 0.03 km/h로 속도가 일정하게 유지되는 경향을 보이는 반면 분노와 불안이 유발되었을 때는 각각 약 4.6 km/h, 0.7 km/h 증가하였다. Mesken et al. (2007)은 실차 주행 기반의 실험을 통해 주행 중 분노 경험 유무에 따른 주행 속도 차이를 비교 분석한 결과 분노를 경험하지 않았다고 보고한 집단( $87.9 \pm 3.9$ ) 대비 분노를 경험하였다고 보고한 집단( $90.7 \pm 4.2$ )의 주행속도가 평균 약 3.4 km/h 빠른 것을 밝혀내었으며 이는 본 연구에서의 경향과 유사한 것으로 파악되었다. 다음으로, steering wheel rate는 중립 감정 상태(neutral)에서 주행 전반 대비 후반에 약  $0.3^\circ / \text{sec}$  증가하였으나 분노와 불안 유발 시 증가량이 다소 커져 각각 약  $1^\circ / \text{sec}$ ,  $0.8^\circ / \text{sec}$  증가하는 것으로 파악되었다. 마지막으로, centripetal acceleration은 중립 감정 상태(neutral)에서의 주행 전반 대비 후반의 증가량은  $0.01 \text{ m/s}^2$ 였으나 분노와 불안 감정이 유도될 시 증가량이 커져 각각 약  $0.08 \text{ m/s}^2$ ,  $0.03 \text{ m/s}^2$  증가하는 경향을 보였다. Steering wheel rate와 centripetal acceleration을 활용하여 운전자 감정을 평가한 기존 연구는 부재한 관계로 본 연구와의 비교는 생략하였다.

Stephens & Groeger (2009)는 운전자의 분노 상태는 운전자가 현재의 주행 상황에서 벗어나고자 하는 욕구를 증대시켜 가속도와 핸들 조작 빈도를 증가시킨다고 보고하였다. 따라서, 본 연구에서도 분노와 불안 감정은 운전자에게 현재의 주행 상황으로부터 벗어나고자 하는 동인을 제공하고 이에 종방향 측면에서는 주행 속도를 증가시켰으며 횡방향 측면에서는 steering wheel rate와 centripetal acceleration을 증가시킨 것으로 해석될 수 있다. 마지막으로, 평소의 감정 성향이 감정 유발 시 각 평가 척도가 변화되는 정도에 미치는 영향이 분석되었다. 그 결과, steering wheel rate와 LF/HF는 평소 분노 성향에 따라 실제 불안 유발 시 변화 정도의 차이가 뚜렷한 경향을 보였으나 다른 척도는 그 차이가 미미한 것으로 파악되었다. Steering wheel rate는 분노 성향이 낮은 집단은 주행 전반 대비 후반 증가량이 약 0.71 %/sec 였던 반면 분노 성향이 높은 집단은 약 1.35 %/sec 증가한 것으로 파악되었다. LF/HF는 분노 성향이 낮은 집단은 주행 전반 대비 후반에 약 0.18 소폭 증가한 반면 분노 성향이 높은 집단은 약 0.87 증가하는 경향을 보였다. 한편, 불안 성향 측면에서는 centripetal acceleration과 LF/HF가 평소 불안 성향에 의한 감정 효과 차이가 뚜렷한 반면 다른 척도들은 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. Centripetal acceleration은 불안 성향이 낮은 집단은 주행 전반 대비 후반에 약 0.003 m/s<sup>2</sup> 소폭 증가한 반면 불안 성향이 높은 집단은 약 0.057 m/s<sup>2</sup> 증가한 것으로 파악되었다. LF/HF는 불안 성향이 낮은 집단은 주행 전반 대비 후반에 약 0.04

미미하게 감소하여 유지되는 경향을 보였으나 불안 성향이 높은 집단은 약 0.57 증가하는 경향을 보였다.

본 연구는 주행 중 운전자 감정을 평가하기 위한 실험 디자인을 제안하였다. 운전자의 감정을 평가하기 위한 주행 평가는 주행 상황에 의한 인지 부하와 주행 피로와 같은 운전자 상태를 동시에 발생시킬 수 있다. 그 결과 다양한 운전자 상태가 동시에 감정 평가 척도에 영향을 주는 교란 현상(confounding)이 발생할 가능성이 있으므로 정확한 운전자 감정 평가를 위해서는 실험 디자인을 통해 인지 부하와 피로의 영향을 최대한 통제할 필요가 있다. Katis et al. (2008)은 virtual 3D room에서 주변 차량과의 모의 car racing을 수행하는 주행 시나리오를 제공하고 주행 중 운전자의 얼굴 표정과 영상을 기반으로 자연스럽게 발생하는 운전자의 감정을 심리 전문가가 10초에 한번씩 주관적으로 기록하였다. 그 후 4가지 생체 신호(ECG, SC, EMG, RSP)를 기반으로 주관적으로 기록된 운전자의 감정을 판별하는 support vector machine (SVM) 모형을 개발하여 약 79.3%의 정확도를 보였으나 감정에 의한 각 생체 신호의 변화 경향이 세부적으로 분석되지는 않았다. 이와 같은 주행 시나리오는 주행 중 지속적으로 주변 차량을 인지해야 하므로 인지 부하 발생 가능성이 높으며 따라서 주행 중 운전자 감정에 의한 영향만을 평가하기 위해서는 보완이 필요하다. 본 실험에서는 단조로운 주행 도로 및 시나리오를 제공하고 감정 유도를 위한 간단한 과거 회상 작업만을 포함하여 운전자에게

인지 부하가 발생되지 않도록 최대한 통제하였으며 주행 평가 시간을 6분으로 구성하여 장시간 주행에 의한 운전자 피로 발생 가능성을 낮추었다. 또한, 6분의 주행 평가 중 주행 후반 3분 구간에 상이한 유형의 2가지 감정(anger, anxiety)을 유도하고 동일한 시간 구간(주행 후반 3분)에서 감정이 중립적인 상태(neutral)와 비교 분석함으로써 주행 시간과 주행 시나리오에 의한 영향을 최대한 통제하였다. 또한, randomized Latin Square design을 통해 반복 실험에 의한 학습효과를 통제하였다.

본 연구에서는 감정에 의한 평가 척도의 변화 경향이 분석되었는데 각 평가 척도의 변화 양상에 감정 이외의 요인이 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 본 연구는 주행 중 감정을 유도하고 이 시점을 전/후로 각 감정 평가 척도들의 변화 경향을 파악하기 위해 단순한 실험 task와 실험 디자인을 통해 인지 부하와 주행 피로와 같은 감정 이외의 요인이 각 평가 척도에 미칠 수 있는 영향을 최대한 통제하고자 하였으나, 실제 감정 이외의 요인이 각 평가 척도들에 영향을 주었을 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 예를 들어, 모의 주행 작업 또는 모의 주행 중 감정 경험 회상 작업에 의하여 인지부하가 발생할 수 있고, 6분 이라는 짧은 주행 시간에도 실험 참여자에 따라 주행 피로가 발생할 수 있으며 이러한 요인들이 각 평가 척도에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 따라서, 본 연구를 통해 감정이 유발되었을 때 각 평가 척도들이 변화되는 경향을 파악했다는 것에는 의미가 있으나 그러한 변화

경향이 전적으로 감정에만 의한 결과라는 해석은 지양될 부분이라고 판단된다. 다음으로, 본 연구에서는 주행 상황과 무관한 감정이 평가되었으나 주행 상황에 의해 유발되는 운전자 감정을 평가하는 연구도 활발히 진행되고 있다(Jansen et al., 2013; Roidl et al., 2014; Stephens & Groeger, 2009). 추후 연구에서는 차량 끼어들기, 선행 차 급정거 등과 같은 주행 시나리오를 통해 주행 중 주행 안전 저해 상황에 의한 평가 척도들의 변화 경향을 분석하여 주행 상황과 무관한 감정에 의한 변화 경향과 비교해볼 필요성이 있다. 마지막으로, 본 연구는 시간을 기준으로 분석 구간을 주행 전반 3분과 후반 3분으로 나누어 운전자의 감정을 평가하였다. 그러나, 본 연구에서는 실험 참여자의 주행 속도를 60 ~ 90 km/h로 제한을 두었으므로 시간 기준으로 구간을 나누어 분석할 경우 실험 참여자의 상이한 주행 속도에 따라 해당 시간 구간에서 경유하는 도로 구간(예: 직선 주행, 커브 주행 등)에 다소 차이가 있을 수 있다. 따라서, 추후에는 도로 구간을 기준으로 분석 구간을 나누어 동일한 도로 구간 내에서 운전자의 감정을 평가해볼 필요가 있다.

## 5.2. Emotional Symptom Detection Model of Driver

본 연구는 생리학적 정보와 운전자 주행 정보를 연계하여 운전자 개인 맞춤형 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형을 개발하였다. 기존 운전자 감정 판별 연구들에서는 운전자 감정 판별을 위해 ECG, EMG, 그리고 skin conductance와 같은 생리학적 정보만이 활용되었으며 개인 맞춤형이 아닌 전체 실험 참여자의 평균을 기반으로 판별 모형이 개발되었다. Zhu et al. (2016)은 ECG 데이터를 기반으로 운전자의 분노 상태를 추정할 수 있는 추정식을 개발하였으나 추정식의 성능은 평가되지 않았다. Katis et al. (2008)은 생체신호를 기반으로 운전자 감정을 판별할 수 있는 모형을 개발하였으며 모형의 판별 정확도는 약 79.3 %로 보고되었다. 또한, Seok & Kim (2015)은 생체 신호와 주행 정보를 연계하여 운전자 상태를 정량화할 수 있는 시스템을 제안하였으나 실제 실험에서는 주행 정보 중 주행 소요 시간(driving time)만이 활용되었으며 판별 모형의 성능 평가는 부재하였다. 본 연구는 ECG와 운전자의 다양한 주행 척도를 활용하여 개인별로 감정에 유효하게 반응하는 최적의 척도를 선별하고 이를 기반으로 개인 맞춤형으로 운전자의 부정적 이상 감정 징후를 탐지할 수 있는 모형을 개발하였다. 개인별 최적 감정 평가 척도는 감정에 의한 데이터 변화 경향이 기존 연구 경향과 일치하는지 여부, 감정에 의한 차이의 통계적 유의성 여부, 그리고 실험 반복성(=데이터 신뢰성)의 3가지 기준을 종합적으로 고려하여 선정되었다. 그 결과 전체 실험 참여자 평균 데이터를 기반으로

분노와 불안 징후를 탐지할 수 있는 모형의 성능이 각각 87.5%, 79.2%의 우수한 성능을 보였다. 또한 개인별 맞춤형 모형 개발 결과 실험 분노 징후 탐지 모형은 실험 참여자 평균 78.5%의 정확도를, 그리고 불안 징후 탐지 모형은 83.4%의 정확도의 성능을 보였으며 이에 운전자 부정적 이상 감정 징후 판별에 있어 생리학적 정보와 주행 정보의 효용성을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 생리학적 정보와 주행 정보 기반의 개인 맞춤형 운전자 부정적 이상 감정 징후 판별 모형은 운전자의 감정 변화를 조기에 감지하여 교통 사고의 발생 위험을 저감시킬 것으로 기대된다. 더 나아가 운전자의 부정적 이상 감정 징후 감지 후 운전자 감정 상태에 따라 맞춤형 서비스를 제공하여 감정 상태를 완화시켜주는 시스템 개발에 활용될 수 있다. Ko et al. (2014)은 체온, 혈압, 맥박을 기반으로 주행 중 운전자의 분노 지수를 도출할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며 분노 지수가 위험 상태에 들어서면 가속 페달과 급격한 방향 전환을 제한하고 비상등 점멸을 통해 주변 차량에게 경고 메시지를 보내는 지능적 운전자 보조 시스템(intelligent driver assistance systems; IDAS)을 제안하였다. 그러나, 운전자 분노 상태 추정식의 정확도는 별도로 평가되지 않았다. Seok & Kim (2015)은 운전자 개인 정보(나이, 성별), 주행 환경 정보(주행 시간대), 차량 정보(주행 소요 시간), 그리고 생체 신호(heart rate, skin conductance response)를 기반으로 운전자 감정 상태를 추정할 수 있는 식을 제안하였다. 그 후 추정된 운전자 감정 상태에 따라 3가지

종류(exciting, relaxing, trot music) 음악의 재생 비중을 적절하게 조정하여 운전자에게 제공하는 시스템을 개발하였다. 다음으로, 운전자 상태 기반 음악 제공 서비스의 만족도를 5-point Likert scale (1: 매우 불만족, 2: 불만족, 3: 보통, 4: 만족, 4: 매우 만족)로 평가한 결과 총 16명의 실험 참여자 중 제공되는 음악 서비스에 불만족하였다고 평가한 실험 참여자는 부재하였다고 보고하였다.

본 연구에서 개발된 운전자 감정 징후 탐지 모형은 모의 주행 실험 결과 기반이므로 추후에는 실차 주행 환경에서의 운전자 감정 평가 실험을 통해 검증될 필요가 있다. 본 연구는 주변 차량이 통제된 단조로운 주행 상황에서의 운전자 감정이 평가되었다. 그러나, 실제 주행 상황에서는 주변 차량, 교통 상황, 그리고 제한 속도 구간과 같은 요인으로 인하여 본 연구에서 활용된 ECG와 운전자 주행 척도가 영향을 받을 수 있다. 예를 들어, 실제로 운전자의 분노 수준이 여전히 높으나 제한 속도로 인하여 주행 속도가 감소되어 정확한 감정 징후 탐지가 이루어지지 않을 가능성도 있다. 본 연구에서는 단일 척도 기반이 아닌 ECG와 다양한 운전자 주행 척도들을 함께 고려하여 운전자의 감정 상태를 평가함으로써 이러한 한계점을 보완하고자 하였다. 그러나 개발된 운전자 감정 징후 탐지 모형의 활용도를 높이고 실효성의 검증을 위해서는 실제 주행 상황에서 발생하는 모든 상황을 포함한 실차 주행 평가 실험을 통해 추가적인 분석과 검증이 수행되어야 할 것이다. 다음으로, 실제 상황에서 개인 맞춤형 탐지 모형의 적용에 대해 고찰해볼

필요성이 있다. 개인에 특화된 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형 개발을 위해서는 개인의 평소 주행 상황과 주행 중 부정적 감정이 유발된 상황에서의 다량의 데이터가 필요하므로 실제 탐지 모형의 적용까지는 오랜 기간이 소요될 수 있다. 이를 보완하기 위해 추후 연구에서는 실험 참여자 수를 확대하여 다양한 실험 참여자 데이터를 확보한 후 이를 기반으로 개인 맞춤형이 아닌 다수의 운전자에게 일반적으로 적용될 수 있는 탐지 모형을 개발하고 검증해 볼 필요성이 있다. 또한, 본 연구는 주행 중 부정적 이상 감정 징후를 감지하는 것을 목표로 하였기 때문에 정상적인 주행 상황과 주행 중 감정이 유발된 상황을 판별할 수 있는 모형을 개발하였다. 그러나, 추후 연구에서 감정간(예: anger vs. anxiety)을 판별할 수 있는 모형이 개발된다면 각 감정 유형에 따라 적합한 차량 내 서비스를 제공하는데 있어 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 마지막으로, 추후에는 본 실험을 통해 얻은 데이터가 아닌 일반인을 대상으로 본 연구에서 개발된 전체 실험 참여자 통합 감정 탐지 모형의 성능이 검증될 필요가 있다.

## Chapter 6. Conclusion

본 연구는 운전자 감정 평가 실험을 통해 감정에 의한 ECG와 운전자 주행 척도의 변화 경향을 파악하였으며 그 결과를 기반으로 개인별 감정 탐지 최적 척도를 선정하고 운전자 개인 맞춤형 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형을 개발하였다. 16명의 실험 참여자를 대상으로 총 6분의 주행 평가를 제공하고 주행 평가 후반 3분 구간에서 3가지 유형의 감정(neutral, anger, anxiety)을 유도하였으며 주행 평가 전/후로 현재 피험자의 감정 상태를 파악하기 위하여 주관적 감정 평가가 수행되었다. 다음으로, 3가지 유형의 감정이 유도되었을 때 주행 전반(3분) 대비 주행 후반(3분)에서 ECG와 운전자 주행 척도의 변화 경향이 상대적으로 비교 분석되었으며 주행 전 대비 주행 후 주관적 감정 평가 결과의 변화 양상이 파악되었다. ECG 정량화 척도 분석 결과 주행 중 유발되는 분노 또는 불안과 같은 운전자의 부정적인 감정에 따라 IBI가 각각 약 0.011 sec, 0.007 sec 미미하게 감소하였으며 LF/HF는 각각 약 0.36, 0.26 증가하는 경향을 보였다. 다음으로 운전자 주행 척도 분석 결과 운전자의 분노와 불안 감정에 따라 주행 속도는 각각 약 5.1 km/h, 0.7 km/h 증가되었으며 steering wheel rate는 각각 약 1 %/sec, 0.8 %/sec 증가하는 경향을 보였다. 그리고 centripetal acceleration은 분노와 불안이 유도되었을 때 각각 약 0.08 m/s<sup>2</sup>, 0.03 m/s<sup>2</sup> 증가하는 것으로 파악되었다.

본 연구는 감정에 민감하게 반응하는 척도의 개인차를 고려하여 개인별로 감정 탐지 최적 척도를 선정하고 이를 기반으로 개인 맞춤형 운전자 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형을 개발하였다. 그 결과 분노 징후를 탐지하는 모형은 실험 참여자 평균 78.5%의 정확도를, 불안 징후를 탐지하는 모형은 평균 83.4%의 우수한 정확도를 보였다. 따라서, 본 연구에서 제안된 운전자 감정 징후 탐지 모형은 주행 중 운전자의 분노와 불안 징후를 감지하여 경고하고 음악과 같은 유용한 도구를 통해 감정을 완화시켜주는 시스템에 활용되어 교통 사고 위험을 저감시킬 것으로 기대된다.

본 연구는 모의 주행 실험 기반으로 실제 주행 상황에서는 주변 차량, 교통 상황 등과 같은 요인으로 인하여 본 연구에서 분석된 감정에 의한 각 평가 척도의 변화 경향과 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형의 성능이 다소 달라질 수 있다. 따라서, 추후 연구에서는 실차 주행 실험을 통해 본 연구에서 파악된 감정에 의한 각 평가 척도의 변화 경향과 개발된 부정적 이상 감정 징후 탐지 모형의 실효성이 검증될 필요가 있다. 또한, 정상 주행과 주행 중 감정 징후가 발생했을 때를 판별하는 모형에서 나아가 서로 상이한 유형의 감정간(예: anger vs. anxiety vs. sadness)을 판별할 수 있는 모형이 개발된다면 운전자의 다양한 감정 유형에 따라 적절한 차량 내 서비스를 제공하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## REFERENCES

- AAA Foundation for Driving Safety. (2009). Aggressive driving: Research update. <https://www.aaafoundation.org/sites/default/files/AggressiveDrivingResearchUpdate2009.pdf>.
- Agrafioti, F., Hatzinakos, D., and Anderson, A. K. (2012). ECG pattern analysis for emotion detection. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3(1), 102-115.
- Bard, P. (1934). On emotional expression after decortication with some remarks on certain theoretical views: Part I. *Psychological Review*, 41(4), 309-329.
- Barnard, M. P., and Chapman, P. (2016). Are anxiety and fear separable emotions in driving? A laboratory study of behavioural and physiological responses to different driving environments. *Accident Analysis and Prevention*, 86, 99-107.
- Bowling, D., Gingras, B., Han, S., Sundararajan, J., and Optiz, E. (2014). Tone of voice in emotional expression and its implications for the affective character of musical mode. *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, 7(162), 29-44.
- Bradley, M. M., and Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49-59.
- Brake. (n.d.). Driver Stress and Road Rage. <http://www.brake.org.uk/rsw/15-facts-a-resources/facts/487-driver-stress>.
- Brown, C. E. (1998). Coefficient of Variation, *Applied Multivariate Statistics in Geohydrology and Related Sciences*, 155-157.
- Cai, J., Liu, G., and Hao, M. (2009). The research on emotion recognition from ECG signal. *2009 International Conference on Information Technology and Computer Science*, 497-500.
- Carlson, J. G., and Hatfield, E. (1992). *Psychology of Emotion*. San Diego, CA: Harcourt Brace Jovanovich.
- Carlson, N. R. (2012). *Physiology of Behavior*. Boston, MA: Pearson.
- Cannon W. B. (1927). The James-Lange theory of emotions: A critical examination and an alternative theory. *The American Journal of Psychology*, 39, 106-124.
- Cannon, W. B., and Britton, S. W. (1925). Studies on the conditions of activity in endocrine

- glands, XV: Pseudoaffective medullary adrenal secretion. *American Journal of Physiology*, 72, 283-294.
- Combatalade, D. C. (2010). *Basic of Heart Rate Variability Applied to Psychophysiology*, Canada: Thought Technology Ltd.
- Deery, H. A., and Fildes, B. N. (1999). Young novice driver subtypes: relationship to high risk behavior, traffic accident record, and simulator driving performance. *Human Factors*, 41, 628-643.
- Du, H., Zhao, X., Zhang, X., Zhang, Y., and Rong, J. (2015). Effects of fatigue on driving performance under different roadway geometries: A simulator study. *Traffic Injury Prevention*, 16(5), 468-473.
- Ekman, P. (1992). An argument of basic emotions. *Cognition and Emotion*, 6 (3/4), 169-200.
- Engstrom, J., Johansson, E., and Ostlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F*, 8, 97-120.
- Fairclough, S. H., and Spiridon, E. (2012). Cardiovascular and electrocortical markers of anger and motivation during a simulated driving task. *International Journal of Psychophysiology*, 84, 188-193.
- Hancock, P. A., and Janelle, C. (2012). The impact of emotions and predominant emotion regulation technique on driving performance. *Work*, 41, 5882-5885.
- Hirata, T., Yai, T., and Takagawa, T. (2007). Development of the Driving Simulation System MOVIVC-T4 and Its Validation Using Field Driving Data. *Tsinghua Science & Technology*, 12(2), 141-150.
- Hu, T. Y., Xie, X., and Li, J. (2013). Negative or positive? The effect of emotion and mood on risky driving. *Transportation Research Part F*, 16, 29-40.
- Jack, R. E., and Schyns, P. G. (2014). Dynamic facial expressions of emotion transmit an evolving hierarchy of signals over time. *Current Biology*, 24(2), 187-192.
- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9(34), 188-205.
- Jansen, S., Westphal, A., and Riener, A. (2013). Detection of drivers' incidental and integral affect using physiological measures. *In Adjunct Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Automotive User Interface and Interactive Vehicular Application (AutomotiveUI 13)*, 97-98.

- Jeon, M. (2015). Lessons from emotional driving research. In *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the IEA*.
- Jokinen, V. L., Korpela, J., Lehtinen, E., Perttunen, J., and Viik, j. (2017). Nocturnal use of light compression garments and recovery. *European Medical and Biological Engineering Conference (EMDC) & Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics (NBC) 2017*, 125-128.
- Jonassaint, C. R., Why, Y. P., Bishop, G. D., Tong, E. M., Diong, S. M., Enkelmann, H. C., Khader, M., and Ang, J. (2009). The effects of neuroticism and extraversion on cardiovascular reactivity during a mental and an emotional stress task. *International Journal of Psychophysiology*, 74, 274-279.
- Jung, S. J. (2014). Driver fatigue and drowsiness monitoring system with embedded electrocardiogram sensor on steering wheel. *IET Intelligent Transport Systems*, 8, 43-50.
- Katis, C. D., Katertsidis, N., Ganiatsas, G., and Fotiadis, D. I. (2008). Toward emotion recognition in car-racing drivers: A biosignal processing approach. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 38, 502-512.
- Kim, J., and Andre, E. (2008). Emotion recognition based on physiological changes in music listening. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(12), 2067- 2083.
- Ko, J. H., Kim, J. Y., and Cho, M. G. (2014). A smart-phone application for preventing road rage using recognition of driver's emotion. In *Proceedings of the Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 441-442.
- Kolosh, K. (2014). Injury Facts Statistical Highlights. National Safety Council (NSC).
- Kryptos, A. M., Jahfari, S., van Ast, V. A., Kindt, M., and Forstmann, B. U. (2011). Individual differences in heart rate variability predict the degree of slowing during response inhibition and initiation in the presence of emotional stimuli. *Frontiers in Psychology*, 2.
- Kwon, M.J., and Oh, Y. T. (2013). A study of effects of the driver's emotion on the driving behavior. *Journal of Korean Society of Transportation*, 31, 33-42.
- Lazarus, R. S. (1991). Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion. *American Psychologist*, 46, 819-834.
- Lee, C. K., Yoo, S. K., Park, Y. J., Kim, N. H., Jeong, K. S., and Lee, B. C. (2005). Using neural network to recognize human emotions from heart rate variability and skin

- resistance. In *Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 5523-5525.
- Liu, Y., and Sourina, O. (2013). Real-time fractal-based valence level recognition from EEG. *Transactions on Computational Science XVIII*, 7848, 101-120.
- Mastsumoto, D., and Willingham, B. (2009). Spontaneous facial expressions of emotion of congenitally and noncongenitally blind individuals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(1), 1-10.
- Mehrabian, A. (1995). Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in temperament. *Current Psychology*, 14(4), 261-292.
- Mesken, J., Hagenzieker, M. P., Rothengatter, T., and Waard, D. D. (2007). Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: an on-road study using self-reports, (observed) behavior, and physiology. *Transportation Research Part F*, 10, 458-475.
- Mortillaro, M., Mechu, M., and Scherer, K. (2011). Subtly different positive emotions can be distinguished by their facial expressions. *Social Psychological and Personality Science*, 2(3), 262-271.
- Najafpour, E., Asl-Aminabadi, N., Nuroloyuni, S., Jamali, Z., and Shirazi, S. (2017). Can galvanic skin conductance be used as an objective indicator of children's anxiety in the dental setting? *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(3), 377-383.
- National Safety Council (NSC) (2012). Understanding the distracted brain: Why driving while using hands-free cell phones is risky behavior. <http://www.nsc.org/DistractedDrivingDocuments/Cognitive-Distraction-White-Paper.pdf>.
- Otahal, M., Marek, J., and Stepankova, O. (2016). Cognitive stress during driving task. *Conference: Kognice a Umely zivot 2016*.
- Rumar K. (1985). The role of perceptual and cognitive filters in observed behavior. *Human Behavior and Traffic Safety*, 151-170.
- Rau, P. S. (2005). Drowsy driver detection and warning system for commercial vehicle drivers: Field proportional test design, analysis, and progress. In *Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Technology Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Washington, 2005*.

- Riener, B., and Mohamed, A. (2009). Heart on the road: HRV analysis for monitoring a driver's affective state. In *Proceedings of the First International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2009)*, 99-106.
- Roidl, E., Frehse, B., and Hoyer, R. (2014). Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations – A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 70, 282-292.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178.
- Sakai, K., Yanai, K., Okada, S., and Nishii, K. (2013). Design of Seat Mounted ECG Sensor System for Vehicle Application. *SAE International Journal of Passenger Cars – Electronic and Electrical Systems*.
- Seok, K. H., and Kim, Y. S. (2015). An in-vehicle application providing system based on driver's biodata. *Journal of Sensors*, 2015.
- Spielberger, C. D. (1983). *The State-Trait Anxiety Inventory-STAI Form Y (test manual)*, Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Spielberger, C. D. (1988). *Manual for the State-Trait Anger Expression Inventory*. Odessa, FL: Psychological assessment resources.
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, P. R., and Vagg, P. R. (2009). *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Consulting Psychologists Press.
- Stephens, A. N., and Groeger, J. A. (2009). Situational specificity of trait influences on drivers' evaluations and driving behaviour. *Transportation Research Part F*, 12, 29-39.
- Tarvainen, M. P., and Niskanen, J. P., (2008). Kubios HRV Version 2.0 User's Guide. Department of Applied Physics, University of Eastern Kuopio, Kuopio, Finland.
- Tarvainen, M. P., Lipponen, J., Niskanen, J. P., and Ranta-aho, P. O. (2017). Kubios HRV Version 3.0.2 User's Guide. Department of Applied Physics, University of Eastern Kuopio, Kuopio, Finland.
- Techer, F., Jallais, C., Corson, Y., Moreau, F., Ndiaye, D., Piechnick, B., and Fort, A. (2017). Attention and driving performance modulations due to anger state: Contribution of electroencephalographic data. *Neuroscience Letters*, 636, 134-139.

- Verkuil, B., Brosschot, J. F., and Thayer, J. F. (2014). Cardiac reactivity to and recovery from acute stress: Temporal associations with implicit anxiety. *International Journal of Psychophysiology*, 92(2), 85-91.
- Viens, M., Koninck, J. D., Mercier, P., St-Onge, M., and Lorrain, D. (2003). Trait anxiety and sleep-onset insomnia evaluation of treatment using anxiety management training. *Journal of Psychosomatic Research*, 54(1), 31-37.
- Wagner, J., Kim, J., and Andre, E. (2005). From physiological signals to emotions: Implementing and comparing selected methods for feature extraction and classification. *2005 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*.
- Watson, D., Clark, L. A., and Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063-1070.
- Zhang, W., Cheng, B., and Lin, Y. (2012). Driver drowsiness recognition based on computer vision technology, *Tsinghua Science and Technology*, 17(3), 354-362.
- Zhu, Y., Wang, Y., Li, G., and Guo, X. (2016). Recognizing and releasing drivers' negative emotions by using music: evidence from driver anger. *In Adjunct Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI'16)*, 173-178.

# APPENDICES

## Appendix A. IRB Approval

※ 주행 중 운전자의 피로도를 평가하는 기존 연구(연구 과제명: 피로 저감 시트 개발)와 실험 환경 및 절차가 유사하여 IRB 계획 변경 신청을 통해 IRB 심의 면제를 통보 받음

[POSTECH IRB 서식 14] 심의면제통보서

### 심의면제통보서

수신	책임연구자	성명	유희천	소속	산업경영공학과	직위	교수
면제 번호	PIRB-2016-E047						
연구과제명	피로 저감 시트 개발						
연구종류	<input checked="" type="checkbox"/> 인간대상연구 <input type="checkbox"/> 인체유래물연구						
면제일자	2017 년 7 월 24 일						

상기 연구과제에 대하여 본 위원회에서는 심의면제대상임을 확인합니다.

※ 모든 연구자들은 아래의 사항을 준수하여야 합니다.

- 1) 연구자께서는 제출하신 계획서에 따라 연구를 수행하여야 하며, 이와 다르게 연구를 진행하 실 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.

2017 년 7 월 24 일

포항공과대학교 생명윤리위원회 위원장

## 연구계획변경신청서

접수번호	<b>※ 익관</b>
------	-------------

연구과제명		기존 승인번호
국문	피로 저감 시트 개발	PIRB-2016-E047

연구진				
연구책임자	성명	소속	직위	전공분야
	유희천	산업경영공학과	교수	인간공학
	내선번호: 054-279-2210 / 휴대폰: 010-3213-2210 / 이메일: hcyou@postech.ac.kr			
심의 관련 업무 연락 담당자	성명	소속	직위	전공분야
	오건희	산업경영공학과	교수	인간공학
	내선번호: 054-279-8246 / 휴대폰: 010-4131-2375 / 이메일: kennyo12@postech.ac.kr			

연구 정보	
연구종류	<input checked="" type="checkbox"/> 인간대상연구 <input type="checkbox"/> 인체유래물연구
연구기관	<input type="checkbox"/> 단일기관 <input checked="" type="checkbox"/> 다기관 (참여기관 수 : 3)
승인 유효기간	심의 연제 발음
연구 위험성	<input checked="" type="checkbox"/> Level I (최소위험) <input type="checkbox"/> Level II (최소위험에서 약간 증가) <input type="checkbox"/> Level III (심각한 후유증 초래 가능) <input type="checkbox"/> Level IV (사망 또는 기형 초래 가능)

변경 내용 (해당하는 항목에 모두 표기 가능)		
<input type="checkbox"/> 연구책임자	<input type="checkbox"/> 공동연구원	<input type="checkbox"/> 연구기간
<input checked="" type="checkbox"/> 연구방식의 변경	<input type="checkbox"/> 연구비 지원기관	<input type="checkbox"/> 연구지의 변경
<input checked="" type="checkbox"/> 설문조사 항목	<input type="checkbox"/> 피험자동의서	<input type="checkbox"/> 피험자 모집방식
<input type="checkbox"/> 인체자원(검체+정보)의 제공기관/방식 변경		
<input type="checkbox"/> 인체자원의 종류와 필요량 변경	<input type="checkbox"/> 인체자원제공자/피험자 보상기준의 변동	
<input checked="" type="checkbox"/> 피험자군의 구성(유형, 특성, 인원수 등) <input type="checkbox"/> 그 밖의 사항 :		

변경 대비표	
변경 전(기존에 승인 받은 연구계획)	변경 후(변경하고자 하는 연구계획)
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 연구 목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 운전자 주행 피로 저감을 위한 인간공학적 seat motion system 개발 및 효과 평가</li> </ul> </li> <li>■ 연구 대상자 수                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 운전자 눈 위치 측정 실험: 20명</li> <li>✓ Motion seat 효과 평가 실험: 15명</li> </ul> </li> <li>■ 연구 방법                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 운전자 눈 위치 측정 실험</li> <li>✓ Motion seat 피로저감 효과 평가 실험</li> </ul> </li> <li>■ 관찰 항목                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 운전자 눈 위치 측정 실험</li> <li>✓ Motion seat 피로저감 효과 평가 실험</li> </ul> </li> <li>■ 효과 평가 기준 및 방법                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 운전자 눈 위치 측정 실험</li> <li>✓ Motion seat 피로저감 효과 평가 실험</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 연구 목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 기존 + ECG (심전도) 기반 운전자 감정 판별 (추가)</li> </ul> </li> <li>■ 연구 대상자 수                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 기존 + 운전자 감정 판별 실험 (추가: 20명)</li> </ul> </li> <li>■ 연구 방법                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 기존 실험 + 운전자 감정 판별 실험 (추가)                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>• 목적: 운전 위험 요인으로 졸음(기존)에 추가적으로 감정을 고려하여 주행 상황에서 운전자의 감정 몰입 정도를 ECG 신호 및 주관적 설문 평가를 통해 평가하고 이를 통해 운전자 감정 판별 모형을 개발하고자 함</li> <li>• 장비: (1) 무선 심전도 측정 장치 (Noraxon Telemetry DTS), (2) 주행 시뮬레이터 S/W (UC-win/Road 11)</li> <li>• 실험 절차   <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD             A[실험 위험 상태 평가(3 min)] --&gt; B[시정 준비 (12 min)]             B --&gt; C[주관적 감정 상태 평가(3 min)]             B --&gt; D[ECG baseline 측정 (3 min)]             C --&gt; E[무엇 평가 (7 min)]             E --&gt; F[주관적 감정 상태 평가(3 min)]             D --&gt; F             F --&gt; G[Energy recovery model (3min)]             H[30min]             I[ECG 신호 측정(3min)]             </pre> </div> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>(1) 실험 준비(동일)</p> <p>(2) &amp; (5) 주관적 감정 상태 평가 - 평가 방법(각 3분):                      (1) state-trait anxiety inventory (STAI), (2)</p>

	<p>state-trait anger expression inventory-2 (STAXI-2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 항목: 개인의 현재 감정 상태를 평가할 수 있는 항목 20개</li> <li>- 평가 척도: 4 Likert-scale</li> </ul> <p><b>State-Trait Anxiety Inventory (STAI)</b></p> <p>이제 특정 감정적 상태를 기록해 보세요.</p> <p>이름: _____ 성: _____ 성별: <input type="checkbox"/> 남 <input type="checkbox"/> 여</p> <p>설명: 다음은 사람들이 자신들의 감정을 설명하는 문항들입니다. 각 문항을 읽고, 가장 적절하다고 느끼는 것을 가장 잘 설명하는 문항 번호를 표기하십시오. 반드시 모든 문항에 대해 답하십시오. 매우 좋은 설명을 써주지 못하더라도 답하는 것을 잘 나타내는 문항을 선택해 주십시오.</p> <p>(A number of statements which people have used to describe themselves are given below. Read each statement and write the appropriate number in the right of the statement to indicate how you feel right now. But in all the answers. There are no right or wrong answers. Do not spend too much time on any one statement but give the answer which seems to describe you most fully.)</p> <p>(3) 심박 (State Anxiety)</p> <table border="0"> <tr> <td>1. 나는 차분함을 느낀다 (I feel calm)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>2. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3. 나는 긴장됨이 없다 (I feel relaxed)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>4. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>5. 나는 마음이 평온함을 느낀다 (I feel at ease)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>6. 나는 마음이 차분함을 느낀다 (I feel calm)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7. 나는 심호흡을 하고 있는 느낌을 지녔다 (I experienced feeling my breath held)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>8. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>9. 나는 불안함을 느낀다 (I feel nervous)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>10. 나는 차분함을 느낀다 (I feel calm)</td> <td>.....</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> </table> <p>그림. 주관적 감정 상태 평가 설문지</p> <p>(3) ECG baseline 측정 (3분)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 작업 수행 전 편안한 상태에서 ECG 신호 측정</li> </ul> <p>(4) 주행 평가 (6분)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 task: 교통량이 적은 고속도로 주행 환경을 driving simulator S/W (UC-win/Road ver.10, Forum 8, Japan)fh 구현하여 수행</li> <li>- 속도: 80 ~ 90 km/h 유지</li> <li>- 소요 시간: driving (3분) + driving + emotion recall (3분) = 총 6분</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 총 실험 소요 시간: 연구대상자 1명 당 약 3시간 소요 예정 (약 30분 × 2조건 (anger, anxiety))</li> </ul>	1. 나는 차분함을 느낀다 (I feel calm)	.....	1	2	3	4	2. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)	.....	1	2	3	4	3. 나는 긴장됨이 없다 (I feel relaxed)	.....	1	2	3	4	4. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)	.....	1	2	3	4	5. 나는 마음이 평온함을 느낀다 (I feel at ease)	.....	1	2	3	4	6. 나는 마음이 차분함을 느낀다 (I feel calm)	.....	1	2	3	4	7. 나는 심호흡을 하고 있는 느낌을 지녔다 (I experienced feeling my breath held)	.....	1	2	3	4	8. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)	.....	1	2	3	4	9. 나는 불안함을 느낀다 (I feel nervous)	.....	1	2	3	4	10. 나는 차분함을 느낀다 (I feel calm)	.....	1	2	3	4
1. 나는 차분함을 느낀다 (I feel calm)	.....	1	2	3	4																																																								
2. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)	.....	1	2	3	4																																																								
3. 나는 긴장됨이 없다 (I feel relaxed)	.....	1	2	3	4																																																								
4. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)	.....	1	2	3	4																																																								
5. 나는 마음이 평온함을 느낀다 (I feel at ease)	.....	1	2	3	4																																																								
6. 나는 마음이 차분함을 느낀다 (I feel calm)	.....	1	2	3	4																																																								
7. 나는 심호흡을 하고 있는 느낌을 지녔다 (I experienced feeling my breath held)	.....	1	2	3	4																																																								
8. 나는 긴장됨을 느낀다 (I feel tense)	.....	1	2	3	4																																																								
9. 나는 불안함을 느낀다 (I feel nervous)	.....	1	2	3	4																																																								
10. 나는 차분함을 느낀다 (I feel calm)	.....	1	2	3	4																																																								

	<p>× repetition (3회) = 약 3시간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 관찰 항목             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험 목적을 고려하여 운전자 감정 판별 실험에 한해서 관찰 항목을 HRV (heart rate variability)와 주관적 감정 상태 평가 2가지로 축소하고자 함</li> </ul> </li> <li>✓ 예상되는 위험             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 운전자 감정 판별 실험에 사용되는 심전도 측정 장치는 침습적인 행위가 포함되어 있지 않으며 신체적 변화를 수반하지 않는 단순 접촉 측정 장비만을 사용하여 측정 시간(9분) 또한 길지 않으므로 이미 알려진 또는 예견되는 부작용은 없을 것으로 사료됨</li> <li>• 운전자 감정 판별 실험 중 주행 평가는 약 6분으로 신체적 스트레스가 크지 않을 것으로 예상되고 근골격계 질환 발병 위험성은 매우 낮을 것으로 사료됨</li> </ul> </li> </ul>
--	---

<p>변경 사유 (위에 체크한 변경항목에 대하여 구체적인 내용과 사유 및 타당성을 기재하여 주시기 바랍니다.)</p>
<p>기존 '운전자 주행 피로 저감을 위한 motion seat 효과 평가 실험'에서 추가적으로 운전자 주행 능력 저하 위험 요인으로 감정을 고려해 볼 필요성을 인지하였으며 이에 실험 protocol 중 일부를 변경하여 동일한 주행 simulator 실험 환경에서 일반인 20명을 대상으로 실험을 수행하고자 합니다.</p>

본인은 기 제출한 연구계획서의 내용 중 일부를 변경, 수정하고자 다음과 같이 연구계획 변경 신청서를 제출하오니 POSTECH 생명윤리위원회에서 심의하여 주시기 바랍니다.

## Appendix B. Existing Research on Emotion Evaluation

No.	Authors	Year	Title	Source
1	Zhu et al.	2016	Recognizing and releasing drivers' negative emotions by using music: evidence from driver anger	<i>8th international conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications</i> , 173-178.
2	Katis et al.	2008	Towards emotion recognition in car-racing drivers: a biosignal processing approach	<i>IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics</i> , 38, 502-512.
3	Agrafioti et al.	2011	ECG pattern analysis for emotion detection	<i>International journal of applied ergonomics</i> . 3(1), 102-115.
4	Cai et al.	2009	The research on emotion recognition from ECG signal	<i>International conference on information technology &amp; CS</i> , 497-500.
5	Kim and Andre	2008	Emotion recognition based on physiological changes in music listening	<i>IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence</i> , 30(12), 2067-2083.
6	Wagner et al.	2005	From Physiological Signals to Emotions: implementing and comparing selected methods for feature extraction and classification	<i>2015 ICME Conference</i> .
7	Lee et al.	2005	Using neural network to recognize human emotions from heart rate variability and skin resistance	<i>Engineering in medicine and biology 27th annual conference</i> , 5523-5525.
8	Nadai et al.	2016	Enhancing safety of transport by road by on-line monitoring of driver emotions	<i>2016 11th systems of systems engineering conference</i> .
9	Seok and Kim	2015	An in-vehicle application providing system based on driver's biodata	<i>Journal of sensors</i> , 20015.
10	Riener et al.	2009	Heart on the road: HRV analysis for monitoring a driver's affective state	<i>AutomotiveUI 2009</i> , 99-106.
11	Verkuil et al.	2014	Cardiac reactivity to and recovery from acute stress: temporal associations with implicit anxiety	<i>International Journal of Psychophysiology</i> , 92(2), 85-91.

No.	Authors	Year	Title	Source
12	Lane et al.	2009	Neural correlates of heart rate variability during emotion	<i>NeuroImage</i> , 44, 213-222.
13	Jonassaint et al.	2009	The effects of neuroticism and extraversion on cardiovascular reactivity during a mental and an emotional stress task	<i>International journal of psychophysiology</i> , 74, 274-279.
14	Harmer et al.	2007	The effects of depressive symptoms on cardiovascular and catecholamine responses to the induction of depressive mood	<i>Biological Psychology</i> , 74, 20-25.
15	Brosschot and Thayer	2003	Heart rate response is longer after negative emotions than after positive emotions	<i>International Journal of Psychophysiology</i> , 50, 181-187.
16	Barnard and Chapman	2016	Are anxiety and fear separable emotions in driving? A laboratory study of behavioral and physiological responses to different driving environments	<i>Accident Analysis &amp; Prevention</i> , 86, 99-107.
17	Jeon	2015	Lessons from emotional driving research	<i>Triennial Congress of the IEA</i>
18	Kwon and Oh	2014	A study on the development of a structural equation model between the driver's negative emotion and driving behavior based on emotion regulation strategies	<i>Journal of Korean Society of Transportation</i> , 32(3), 207-217.
19	Kwon and Oh	2013	A study on effects of the driver's emotion on the driving behavior	<i>Journal of Korean Society of Transportation</i> , 31(6), 34-42.
20	Hu et al.	2013	Negative of Positive? The effect of emotion and mood on risky driving	<i>Transportation Research Part F</i> , 16, 29-40.
21	Mesken et al.	2007	Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology	<i>Transportation Research Part F</i> , 10, 458-475.
22	Bell and Deffenbacher	2011	The effects of trait driving anger, anonymity, and aggressive stimuli on aggressive driving behavior	<i>Journal of Applied Social Psychology</i> , 32(2), 432-433.

Appendix C. Questionnaire for Subjective Emotion Evaluation

(a) State-Anger (Spielberger, 1988)

**주관적 감정 평가 (Anger) \_ 주행 후**

아래 해당 항목에 정보를 기록해 주세요

이름:

**(1) 상태 (State Anger)**

**설명:**  
 다음은 사람들이 자신들에 대하여 설명하는 문장들입니다. 각 설명들을 읽고 지금 이 순간 당신이 느끼는 기분을 가장 잘 표현하는 설명의 번호에 동그라미를 표시하여 주십시오. 정답이나 오답이 없으니, 너무 많은 시간을 소비하지 마시고 현재 당신의 기분을 가장 잘 나타내는 표현을 선택해 주십시오.  
 (A number of statements which people have used to describe themselves are given below. Read each statement and then circle the appropriate number to the right of the statement to indicate how you feel *right now*, that is, *at this moment*. There are no right or wrong answers. Do not spend too much time on any one statement but give the answer which seems to describe your present feelings best)

1 나는 격앙되어 있다. (I am furious) .....	1	2	3	4	
2 나는 짜증나 있다. (I feel irritated).....	1	2	3	4	
3 나는 화가 난다(I feel angry) .....	1	2	3	4	
4 나는 누군가에게 고향을 치고 싶다. (I feel like yelling at some body).....	1	2	3	4	
5 나는 무언가를 부수고 싶다. (I feel like breaking things).....	1	2	3	4	
6 나는 몹시 화가나 있다. (I am mad) .....	1	2	3	4	
7 나는 책상을 내리치고 싶다. (I feel like banging on the table) .....	1	2	3	4	
8 나는 누군가를 때리고 싶다(I feel like hitting someone).....	1	2	3	4	
9 나는 욕설을 내뱉고 싶다. (I feel like swearing) .....	1	2	3	4	
10 나는 화가 나있다. (I feel annoyed).....	1	2	3	4	

	그렇지 않다	약간 그렇다	그렇다	매우 그렇다
11 나는 누군가를 걷어차고 싶다. (I feel like kicking somebody) .....	1	2	3	4
12 나는 누군가에게 큰 소리로 욕하고 싶다. .... (I feel like cursing out loud)	1	2	3	4
13 나는 피성을 지르고 싶다. (I feel like screaming) .....	1	2	3	4
14 나는 누군가를 두들겨 때리고 싶다. (I feel like pounding somebody) .....	1	2	3	4
15 나는 크게 소리를 지르고 싶다. (I feel like shouting out loud) .....	1	2	3	4

(b) Trait-anger (Spielberger, 1988)

## State-Trait Anger Expression Inventory-2 (STAXI-2)

아래 해당 항목에 정보를 기록해 주세요

이름: \_\_\_\_\_

나이: \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월                      성별    남     여

**(1) 성향 (Trait Anger)**

**설명:**  
 다음은 사람들이 자신들에 대하여 설명하는 문장들입니다. 각 설명들을 읽고 당신이 평상시에 주로 느끼는 기분을 가장 잘 표현하는 설명의 번호에 동그라미를 표시하여 주십시오. 정답이나 오답이 없으니, 너무 많은 시간을 소비하지 마시고 현재 당신이 평상시에 느끼는 기분을 가장 잘 나타내는 표현을 선택해 주십시오.  
 (A number of statements which people have used to describe themselves are given below. Read each statement and then circle the appropriate number to the right of the statement to indicate how you feel *right* now, that is, *at this moment*. There are no right or wrong answers. Do not spend too much time on any one statement but give the answer which seems to describe your present feelings best)

		1	2	3	4
1 나는 질퍽하면 화를 낸다. (I am quick tempered) .....		1	2	3	4
2 나는 성질이 불 같다. (I have a fiery temper) .....		1	2	3	4
3 나는 성급한 사람이다. (I am a hotheaded person) .....		1	2	3	4
4 다른 누군가의 실수에 의해 일이 지연되면 나는 화가 난다. .... (I get angry when slowed down by others' mistakes)		1	2	3	4
5 나는 같은 일에 대한 인정을 받지 못하면 화가 난다. .... (I feel annoyed when not given recognition for doing good work)		1	2	3	4
6 나는 버럭 화를 낸다. (I fly off the handle) .....		1	2	3	4
7 나는 몹시 화가 났을 때 저속한 말들을 한다. (I say nasty things when mad)...		1	2	3	4
8 나는 다른 사람들 앞에서 잘못된 점을 책망 받았을 때 분노를 느낀다. ... (It makes me furious when I am criticized in front of others)		1	2	3	4
9 나는 좌절감을 느꼈을 때 누군가를 때리고 싶다.....		1	2	3	4

(I feel like hitting someone when frustrated)

- 10 나는 잘했다고 생각한 일이 나쁜 평가를 받았을 때 격노 한다..... 1 2 3 4  
(I feel infuriated when I do a good job and get a poor evaluation)

(c) State-Anxiety (Spielberger, 1983)

## 주관적 감정 평가 (Anxiety) \_ 주행 후

아래 해당 항목에 정보를 기록해 주세요.

이름:

**설명:**

다음은 사람들이 자신들에 대하여 설명하는 문장들입니다. 각 설명들을 읽고 지금 이 순간 당신이 느끼는 기분을 가장 잘 표현하는 설명의 번호에 동그라미를 표시하여 주십시오. 정답이나 오답이 없으니, 너무 많은 시간을 소비하지 마시고 현재 당신의 기분을 가장 잘 나타내는 표현을 선택해 주십시오.

(A number of statements which people have used to describe themselves are given below. Read each statement and then circle the appropriate number to the right of the statement to indicate how you feel *right now*, that is, *at this moment*. There are no right or wrong answers. Do not spend too much time on any one statement but give the answer which seems to describe your present feelings best)

**(1) 상태 (State Anxiety)**

1 나는 차분함을 느낀다. (I feel calm) .....	1	2	3	4
2 나는 안전함을 느낀다. (I feel secure) .....	1	2	3	4
3 나는 긴장된다. (I am tense) .....	1	2	3	4
4 나는 압박감을 느낀다. (I feel strained) .....	1	2	3	4
5 나는 걱정이 없음을 느낀다. (I feel at ease) .....	1	2	3	4
6 나는 속상해 있다. (I feel upset) .....	1	2	3	4
7 나는 잘못될 수 있는 일들을 걱정하고 있다. .... (I am presently worrying over possible misfortunes)	1	2	3	4
8 나는 만족함을 느낀다. (I feel satisfied) .....	1	2	3	4
9 나는 놀라있다. (I feel frightened) .....	1	2	3	4
10 나는 편안함을 느끼고 있다. (I feel comfortable) .....	1	2	3	4
11 나는 자신감을 느낀다. (I feel self-confident) .....	1	2	3	4

그  
 같  
 지  
 않  
 다     
 약  
 간  
 그  
 령  
 다     
 매  
 우  
 그  
 령  
 다

	그렇지 않다	약간 그렇다	매우 그렇다	그렇다
12 나는 과민한 상태이다. (I feel nervous) .....				
13 나는 초조하게 떨고 있다. (I am jittery) .....	1	2	3	4
14 나는 갈팡질팡하는 편이다. (I feel indecisive) .....	1	2	3	4
15 나는 느긋하게 있다. (I am relaxed) .....	1	2	3	4
16 나는 자족감을 느낀다. (I feel content) .....	1	2	3	4
17 나는 걱정하고 있다. (I am worried) .....	1	2	3	4
18 나는 혼란스럽다. (I feel confused) .....	1	2	3	4
19 나는 침착한 상태이다. (I feel steady) .....	1	2	3	4
20 나는 즐겁다. (I feel pleasant) .....	1	2	3	4

(d) Trait-anxiety (Spielberger, 1983)

## State-Trait Anxiety Inventory (STAI)

아래 해당 항목에 정보를 기록해 주세요.

이름: \_\_\_\_\_

나이: \_\_\_\_\_ 년 \_\_\_\_\_ 월      성별    남     여

**(1) 성향 (Trait Anxiety)**

**설명:**  
 다음은 사람들이 자신들에 대하여 설명하는 문장들입니다. 각 설명들을 읽고 당신이 평상시에 주로 느끼는 기분을 가장 잘 표현하는 설명의 번호에 동그라미를 표시하여 주십시오. 정답이나 오답이 없으니, 너무 많은 시간을 소비하지 마시고 현재 당신이 평상시에 느끼는 기분을 가장 잘 나타내는 표현을 선택해 주십시오.  
 (A number of statements which people have used to describe themselves are given below. Read each statement and then circle the appropriate number to the right of the statement to indicate how you *generally* feel. There are no right or wrong answers. Do not spend too much time on any one statement but give the answer which seems to describe how you generally feel)

1 나는 즐겁다. (I feel pleasant) .....	1	2	3	4
2 나는 과민하고 여유 없게 느껴진다. (I feel nervous and restless) .....	1	2	3	4
3 나는 내 자신에 대해 만족한다. (I am satisfied with myself) .....	1	2	3	4
4 나는 다른 사람들처럼 행복해 지고 싶다. .... (I wish I could be as happy as others seem to be)	1	2	3	4
5 나는 실패자처럼 느껴진다. (I feel like a failure) .....	1	2	3	4
6 나는 충분한 원기를 가진 것처럼 느껴진다. (I feel rested) .....	1	2	3	4
7 나는 평온하고 멋지고 침착하다. (I am "calm, cool, and collected") .....	1	2	3	4
8 나는 수많은 어려움을 헤쳐나가지 못할 것 같다. .... (I feel that difficulties are piling up so that I cannot overcome them)	1	2	3	4
9 나는 실제 중요하지 않은 문제들에 대해 너무 많이 걱정한다. .... (I worry too much over something that really doesn't matter)	1	2	3	4
10 나는 행복하다. (I am happy) .....	1	2	3	4

	거의 그렇지 않다	가끔 그렇다	자주 그렇다	거의 항상 그렇다
11 나를 괴롭히는 생각들이 있다. (I have disturbing thoughts) .....	1	2	3	4
12 나는 자신감이 부족하다. (I lack self-confidence) .....	1	2	3	4
13 나는 안전하게 느껴진다. (I feel secure) .....	1	2	3	4
14 나는 신속하게 결정하는 편이다. (I make decisions easily) .....	1	2	3	4
15 나는 부적격자처럼 느낀다. (I feel inadequate) .....	1	2	3	4
16 나는 자족감을 느낀다. (I am content) .....	1	2	3	4
17 나는 중요하지 않은 문제로 괴로워한다..... (Some unimportant thought runs through my mind and bothers me)	1	2	3	4
18 내 안에 있는 실망감들을 마음에서 지우지 못하고 있다..... (I take disappointments so keenly that I can't put them out of my mind)	1	2	3	4
19 나는 꾸준한 사람이다. (I am a steady person) .....	1	2	3	4
20 나는 최근 걱정거리들에 대해 생각하면 긴장감과 혼란을 느낀다..... (I get in a state of tension or turmoil as I think over my recent concerns and interests)	1	2	3	4

## Appendix D. Selection of Individual Optimal Measures for Emotion Recognition

### D.1. Neutral vs. Anger

\*Trend: ☺ (기존 연구 경향과 일치) / ☹ (기존 연구 경향과 불일치), \**p*-value: paired *t*-test, \*Shaded area: 개인별 최적 감정 판별 척도

Sub.	Criteria	ECG measures								Driving performance					
		IBI	SDNN	RMSSD	LF	HF	LF/HF	SD1	SD2	Speed		SWR		CA	
										Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
S01	Trend	☺	☺	☺	☹	☹	☹	-	-	☺	-	☹	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.36	0.38	0.02	0.73	0.56	0.80	0.02	0.38	0.21	0.77	0.84	0.84	0.12	0.44
	CV (%)	7	25	12	45	35	23	12	27	2	66	31	18	7	22
S02	Trend	☺	☺	☺	☺	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.79	0.23	0.16	0.44	0.23	0.32	0.16	0.27	< 0.01	0.06	0.16	0.19	< 0.01	0.02
	CV (%)	10	5	23	5	54	29	23	5	7	41	67	53	14	14
S03	Trend	☺	☹	☹	☺	☹	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.44	0.85	0.66	0.32	0.71	0.27	0.66	0.86	0.04	0.35	0.14	0.19	0.09	0.02
	CV (%)	10	22	33	7	39	8	33	19	4	30	119	63	14	8
S04	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☺	-	-	☺	-	☹	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.23	0.24	0.09	0.74	0.12	0.20	0.09	0.30	0.29	0.41	0.69	0.69	0.38	0.75
	CV (%)	13	13	49	19	69	23	49	13	3	14	133	75	25	20
S05	Trend	☹	☹	☹	☹	☹	☹	-	-	☺	-	☺	-	☹	-
	<i>p</i> -value	0.95	0.96	0.92	0.80	0.91	0.89	0.92	0.94	< 0.01	0.17	0.37	0.49	0.60	0.73
	CV (%)	1	5	2	2	2	26	2	6	1	16	121	60	15	18
S06	Trend	☺	☹	☹	☺	☹	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.38	0.89	0.83	0.15	0.90	0.32	0.83	0.90	0.03	0.14	0.11	0.12	< 0.01	0.09
	CV (%)	1	2	10	18	24	22	10	5	2	18	91	34	5	16
S07	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.09	0.03	0.09	0.95	0.15	0.44	0.09	0.27	0.14	0.06	0.02	< 0.01	0.15	0.17
	CV (%)	2	8	1	14	4	26	1	13	8	66	39	31	8	4
S08	Trend	☹	☺	☺	☹	☺	☹	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.62	0.05	0.01	0.96	0.03	0.53	0.02	0.05	< 0.01	0.28	0.12	0.69	0.05	0.07
	CV (%)	2	7	3	12	2	325	3	8	7	17	22	19	6	2

## D.1. Neutral vs. Anger

\*Trend: ☺ (기존 연구 경향과 일치)/☹ (기존 연구 경향과 불일치), \**p*-value: paired *t*-test, \*Shaded area: 개인별 최적 감정 판별 척도

Sub.	Criteria	ECG measures								Driving performance					
		IBI	SDNN	RMSSD	LF	HF	LF/HF	SD1	SD2	Speed		SWR		CA	
										Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
S09	Trend	☹	☺	☺	☹	☺	☹	-	-	☹	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.73	0.17	0.15	0.96	0.17	0.70	0.15	0.17	0.61	0.60	0.09	0.40	0.76	0.29
	CV (%)	1	14	2	127	5	26	2	20	6	42	3	2	7	10
S10	Trend	☹	☺	☺	☹	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.69	0.06	0.25	0.92	0.10	0.01	0.25	0.03	0.07	0.02	0.07	0.06	0.14	0.05
	CV (%)	3	6	8	133	17	57	8	51	3	56	22	20	16	8
S11	Trend	☺	☹	☺	☹	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.06	0.67	0.18	0.71	0.28	0.56	0.17	0.71	< 0.01	0.46	0.07	0.01	0.09	0.40
	CV (%)	6	8	15	8	13	12	15	9	3	16	43	37	8	18
S12	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☹	-	-	☺	-	☹	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.08	0.26	0.14	0.78	0.12	0.51	0.14	0.28	0.12	0.53	0.63	0.88	0.75	0.56
	CV (%)	7	36	57	72	91	23	57	29	4	63	14	10	15	10
S13	Trend	☺	☹	☹	☺	☹	☹	-	-	☹	-	☹	-	☹	-
	<i>p</i> -value	0.35	0.80	0.80	0.31	0.78	0.31	0.80	0.79	0.89	0.13	0.82	0.83	0.27	0.24
	CV (%)	18	39	78	40	333	62	79	32	5	28	14	12	13	11
S14	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☹	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.05	0.17	0.20	0.76	0.27	0.57	0.20	0.17	0.11	0.31	0.02	0.02	0.12	0.12
	CV (%)	11	13	20	42	179	58	21	15	8	56	15	12	7	11
S15	Trend	☺	☺	☺	☺	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.02	0.32	< 0.01	0.02	0.05	< 0.01	< 0.01	0.98	0.02	0.15	0.08	0.07	< 0.01	0.01
	CV (%)	1	53	31	184	53	11	30	59	3	13	14	18	10	10
S16	Trend	☺	☹	☺	☺	☹	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.45	0.79	0.57	0.05	0.745	0.09	0.56	0.86	0.18	0.02	0.02	< 0.01	0.11	0.12
	CV (%)	4	76	47	272	75	34	47	78	2	39	7	10	6	7
All	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.02	0.29	0.31	0.90	0.32	0.30	0.31	0.35	0.02	0.26	0.05	0.03	< 0.01	0.02

## D.2. Neutral vs. Anxiety

\*Trend: ☺ (기존 연구 경향과 일치)/☹ (기존 연구 경향과 불일치), \**p*-value: paired *t*-test, \*Shaded area: 개인별 최적 감정 탐지 척도

Sub.	Criteria	ECG measures								Driving performance					
		IBI	SDNN	RMSSD	LF	HF	LF/HF	SD1	SD2	Speed		SWR		CA	
										Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
S01	Trend	☺	☺	☺	☹	☹	☹	-	-	☹	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.40	0.14	0.43	0.86	0.56	0.80	0.43	0.15	0.93	0.84	0.43	0.34	0.87	0.19
	CV (%)	7	8	9	25	5	62	9	10	3	249	34	23	3	3
S02	Trend	☹	☺	☺	☺	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.86	0.32	0.27	0.45	0.31	0.12	0.27	0.35	0.01	0.05	0.13	0.15	0.07	0.09
	CV (%)	3	4	2	30	37	41	2	5	9	16	250	129	24	23
S03	Trend	☹	☹	☹	☹	☹	☹	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.79	0.95	0.86	0.57	0.83	0.99	0.86	0.96	0.23	0.52	0.29	0.31	0.34	0.47
	CV (%)	13	20	35	20	89	12	36	15	3	88	16	23	11	11
S04	Trend	☺	☺	☺	☺	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.13	0.43	0.29	0.44	0.22	0.03	0.29	0.46	0.18	0.06	0.23	0.29	0.82	0.45
	CV (%)	6	2	33	17	58	26	33	4	1	2	37	22	2	6
S05	Trend	☺	☹	☹	☺	☹	☺	-	-	☺	-	☺	-	☹	-
	<i>p</i> -value	0.25	0.99	0.55	0.47	0.73	0.23	0.55	0.98	0.07	0.57	0.25	0.29	0.63	0.51
	CV (%)	4	9	22	7	22	31	22	7	1	82	51	33	7	11
S06	Trend	☺	☹	☹	☺	☹	☹	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.02	0.79	0.85	0.15	0.83	0.76	0.81	0.24	0.02	0.41	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	CV (%)	5	6	16	14	12	39	16	8	10	91	20	15	9	5
S07	Trend	☹	☹	☹	☺	☹	☹	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.69	0.97	0.65	0.17	0.62	0.77	0.65	0.98	0.11	0.22	< 0.01	0.01	0.17	0.25
	CV (%)	6	10	4	4	4	9	4	11	5	41	18	14	4	9
S08	Trend	☹	☺	☺	☹	☺	☹	-	-	☺	-	☹	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.93	0.07	0.30	0.91	0.35	0.94	0.30	0.07	0.15	0.59	0.75	0.90	0.16	0.25
	CV (%)	12	26	20	110	19	7	20	31	7	118	1	3	13	7

## D.2. Neutral vs. Anxiety

\*Trend: ☺ (기존 연구 경향과 일치)/☹ (기존 연구 경향과 불일치), \**p*-value: paired *t*-test, \*Shaded area: 개인별 최적 감정 탐지 척도

Sub.	Criteria	ECG measures								Driving performance					
		IBI	SDNN	RMSSD	LF	HF	LF/HF	SD1	SD2	Speed		SWR		CA	
										Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
S09	Trend	☹	☺	☺	☹	☺	☹			☹	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.87	0.30	0.42	0.77	0.44	0.52	0.42	0.30	0.82	0.47	0.13	0.32	0.67	0.75
	CV (%)	5	15	4	52	9	101	4	22	11	134	19	8	10	8
S10	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☺			☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.39	0.05	0.12	0.93	0.12	0.44	0.11	0.03	0.09	0.12	0.23	0.32	0.18	0.06
	CV (%)	14	23	50	33	116	36	51	38	2	2	5	5	4	1
S11	Trend	☺	☹	☺	☺	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.11	0.58	0.17	0.37	0.24	0.29	0.16	0.63	0.31	0.09	0.18	0.25	0.54	0.97
	CV (%)	5	65	63	155	86	220	63	67	7	89	50	45	16	22
S12	Trend	☺	☺	☺	☹	☹	☹	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.03	0.17	0.04	0.86	0.06	0.62	0.04	0.18	0.23	0.70	0.32	0.54	0.79	0.90
	CV (%)	3	20	25	29	38	36	25	17	11	21	7	10	8	14
S13	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☹			☹	-	☹	-	☹	-
	<i>p</i> -value	0.31	0.49	0.34	0.61	0.44	0.52	0.34	0.53	0.68	0.16	0.98	0.99	0.26	0.08
	CV (%)	2	11	6	19	22	19	6	14	6	74	27	18	10	16
S14	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☺	-	-	☹	-	☺	-	☹	-
	<i>p</i> -value	0.16	0.27	0.25	0.70	0.16	0.14	0.25	0.28	0.75	0.79	<0.01	0.04	0.70	0.57
	CV (%)	2	13	6	28	24	14	6	16	7	46	4	6	10	9
S15	Trend	☺	☹	☺	☺	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.02	0.70	0.09	0.11	0.34	0.03	0.09	0.92	0.46	0.83	0.06	0.05	0.39	0.94
	CV (%)	2	49	24	237	34	33	24	53	4	33	21	13	6	1
S16	Trend	☺	☺	☺	☺	☺	☺	-	-	☹	-	☺	-	☹	-
	<i>p</i> -value	0.27	0.06	0.12	0.23	0.11	0.09	0.12	0.14	0.95	0.15	<0.01	<0.01	0.34	0.76
	CV (%)	4	41	26	970	198	137	26	42	9	7	20	9	13	14
All	Trend	☺	☺	☺	☹	☺	☺	-	-	☺	-	☺	-	☺	-
	<i>p</i> -value	0.02	0.20	0.11	0.88	0.26	0.31	0.15	0.25	0.07	0.82	<0.01	0.01	0.04	0.20

## Appendix E. R Code for SVM (Support Vector Machine) Modeling

```
## Import dataset and create subset of each subject (repetition 1,2,3)

library(e1071)

library(caret)

DE=read.csv("DE.csv",header=TRUE)

## Subgrouping (S1_Anger, S1_Anxiety, S2_Anger, S3_Anger, ....., S16_Anxiety)
for (i in 1:16) {
  name_subject=paste("S",i,sep="")
  Sub_anger=DE[which(DE$Subject==name_subject & DE$Emotion!="Anxiety"),]
  Sub_anxiety=DE[which(DE$Subject==name_subject & DE$Emotion!="Anger"),]
  name_anger=paste("S",i,"_Anger",sep="")
  name_anxiety=paste("S",i,"_Anxiety",sep="")

  assign(name_anger,Sub_anger)
  assign(name_anxiety,Sub_anxiety)
}

## 3-fold cross validation with a personalized SVM model
k=3
for (i in 1:3){
  test=S8_Anger[S8_Anger$Rep.==i,] # test set 생성
  train=S8_Anger[S8_Anger$Rep.!=i,] # train set 생성
  test$Emotion=factor(test$Emotion)
  train$Emotion=factor(train$Emotion)
  test_x=subset(test,select=-c(1,2,3)) # 척도 관련 변수 외 변수는 제외
  test_x=subset(test_x,select=c(3,5,7,8,9,13,14)) # 개인별 최적 감정 탐지 척도 설정
  test_y=test$Emotion
  train_x=subset(train,select=-c(1,2,3)) # 척도 관련 변수 외 변수는 제외
  train_x=subset(train_x,select=c(3,5,7,8,9,13,14)) # 개인별 최적 감정 탐지 척도 설정
  train_y=train$Emotion
  tune.out=tune(svm, train_x, train_y, kernel="radial",ranges=list(cost=c(0.1,1,10,100,1000),gamma=c(0.5,1,2,3,4,1/ncol(test_x))),
    tunecontrol=tune.control(sampling="cross",cross=4)) # SVM Modeling with hyper-paramter tuning
```

```

pred=predict(tune.out$best.model,test_x) # Hyper-paramter tuning 결과 최적의 model 을 기준으로 test set 을 대상으로 prediction 수행

predicted_values=pred

actual_values=test_y

conf_matrix=table(predicted_values,actual_values) # confuse matrix 생성

SE=paste("SE",i,sep="")

SP=paste("SP",i,sep="")

assign(SE,sensitivity(conf_matrix)) # Fold 별 Sensitivity 계산

assign(SP,specificity(conf_matrix)) # Fold 별 Specificity 계산

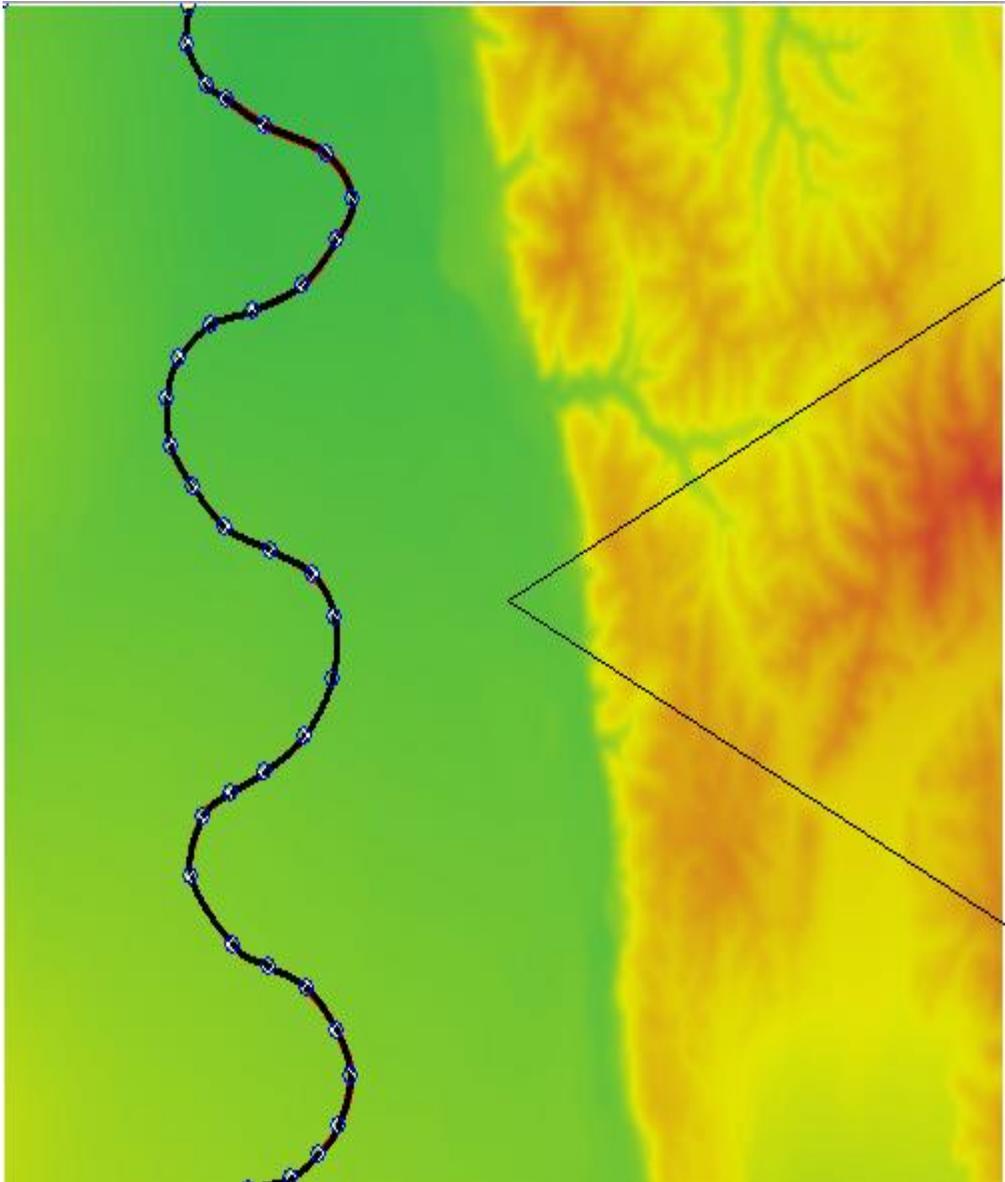
}

SE_Mean=(SE1+SE2+SE3)/3 # 3 Fold 의 평균 sensitivity 계산

SP_Mean=(SP1+SP2+SP3)/3 # 3 Fold 의 평균 specificity 계산

```

Appendix F. Driving Map



Appendix G. Randomized Latin Square Design

주행 평가 순서 반복 실험	1	2	3
1 <sup>st</sup> experiment	Anger	Neutral	Anxiety
2 <sup>nd</sup> experiment	Anxiety	Anger	Neutral
3 <sup>rd</sup> experiment	Neutral	Anxiety	Anger

## Appendix H. ANOVA Results

### H.1. ECG

#### H.1.1. Baseline 구간에서 감정 유형 간 차이

Measure	Source	SS	df	MS	F	p-value
IBI	Emotion	0.00289	2	0.00145	0.75	0.4803
	Subject	0.22869	15	0.01525	7.93	<0.0001
	Error	0.05771	30	0.00192		
	Total	0.28229	47			
LF/HF	Emotion	9.372	2	4.686	0.96	0.3946
	Subject	310.252	15	20.6835	4.23	0.0004
	Error	146.526	30	4.8842		
	Total	466.15	47			

#### H.1.2. 주행 전반 구간에서 감정 유형 간 차이

Measure	Source	SS	df	MS	F	p-value
IBI	Emotion	0.00006	2	0.00003	0.01	0.986
	Subject	0.19981	15	0.01332	6.22	<0.0001
	Error	0.06421	30	0.00214		
	Total	0.26407	47			
LF/HF	Emotion	1.093	2	0.5546	0.45	0.6431
	Subject	278.36	15	18.5573	15.21	<0.0001
	Error	36.604	30	1.2201		
	Total	316.058	47			

### H.1.3. Baseline vs 주행 전반 (IBI)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	0.00087	1	0.00087	2.2	0.1589
	Subject	0.19866	15	0.01324	33.52	<0.0001
	Error	0.00593	15	0.0004		
	Total	0.20546	31			
Anger	Emotion	0.00014	1	0.00014	0.83	0.3775
	Subject	0.21289	15	0.01419	80.96	<0.0001
	Error	0.00263	15	0.00018		
	Total	0.21567	31			
Anxiety	Emotion	0.00015	1	0.00015	0.6	0.4505
	Subject	0.12655	15	0.00844	33.74	<0.0001
	Error	0.00375	15	0.00025		
	Total	0.13045	31			

### H.1.4. Baseline vs 주행 전반 (LF/HF)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	4.9	1	4.8996	0.97	0.3396
	Subject	247.634	15	16.509	3.28	0.0139
	Error	75.528	15	5.0352		
	Total	328.062	31			
Anger	Emotion	0.099	1	0.09947	0.04	0.8362
	Subject	141.322	15	9.42146	4.19	0.0043
	Error	33.706	15	2.24707		
	Total	175.127	31			0.1639
Anxiety	Emotion	3.275	1	3.2746	2.14	0.0003
	Subject	160.392	15	10.6928	6.99	<0.0001
	Error	22.93	15	1.5287		
	Total	186.597	31			

### H.1.5. 주행 전반 vs 주행 후반 (IBI)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	0.00202	1	0.00202	11.7	0.0038
	Subject	0.30663	15	0.01378	79.75	<0.0001
	Error	0.00259	15	0.00017		
	Total	0.21124	31			
Anger	Emotion	0.00095	1	0.00095	10.64	0.0053
	Subject	0.21066	15	0.01404	157.13	<0.0001
	Error	0.00134	15	0.00009		
	Total	0.21295	31			
Anxiety	Emotion	0.00039	1	0.00039	2.79	0.1155
	Subject	0.12246	15	0.00816	58.48	<0.0001
	Error	0.00209	15	0.00014		
	Total	0.12494	31			

### H.1.6. 주행 전반 vs 주행 후반 (LF/HF)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	0.223	1	0.22311	0.47	0.5028
	Subject	136.678	15	9.11183	19.25	<0.0001
	Error	7.099	15	0.47329		
	Total	144	31			
Anger	Emotion	1.246	1	1.2456	1.43	0.2504
	Subject	228.3	15	15.22	17.47	<0.0001
	Error	13.071	15	0.8714		
	Total	242.617	31			
Anxiety	Emotion	0.556	1	0.5556	0.65	0.4317
	Subject	192.48	15	12.832	15.08	<0.0001
	Error	12.767	15	0.8511		
	Total	205.803	31			

### H.1.7. 시간 구간별 감정 유형간 차이 (IBI)

Time	Source	SS	df	MS	F	p-value
60	Emotion	0.00268	2	0.00134	0.72	0.4964
	Subject	0.22795	15	0.0152	8.14	<0.0001
	Error	0.05598	30	0.00187		
	Total	0.2866	47			
90	Emotion	0.00379	2	0.0019	1.07	0.3545
	Subject	0.23806	15	0.01587	8.99	<0.0001
	Error	0.05299	30	0.00177		
	Total	0.29484	47			
120	Emotion	0.00416	2	0.00208	0.88	0.4244
	Subject	0.24576	15	0.01638	6.95	<0.0001
	Error	0.07068	30	0.00236		
	Total	0.3206	47			
150	Emotion	0.00268	2	0.00134	0.48	0.6242
	Subject	0.24227	15	0.01615	5.77	<0.0001
	Error	0.08397	30	0.0028		
	Total	0.32893	47			
180	Emotion	0.00289	2	0.00144	0.66	0.5241
	Subject	0.20857	15	0.0139	6.36	<0.0001
	Error	0.06557	30	0.00219		
	Total	0.27703	47			
210	Emotion	0.00253	2	0.00126	0.58	0.5682
	Subject	0.200001	15	0.01333	6.08	<0.0001
	Error	0.06576	30	0.00219		
	Total	0.2683	47			
240	Emotion	0.00007	2	0.00003	0.01	0.986
	Subject	0.21384	15	0.01426	5.85	<0.0001
	Error	0.07309	30	0.00244		
	Total	0.287	47			
270	Emotion	0.00013	2	0.00007	0.03	0.9734
	Subject	0.20799	15	0.01387	5.74	<0.0001

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Error	0.07243	30	0.00241		
	Total	0.28055	47			
300	Emotion	0.00015	2	0.00008	0.03	0.9728
	Subject	0.20852	15	0.0139	5.08	0.0001
	Error	0.08208	30	0.00274		
	Total	0.29075	47			
330	Emotion	0.00004	2	0.00002	0.01	0.9881
	Subject	0.20192	15	0.01346	7.88	<0.0001
	Error	0.05125	30	0.00171		
	Total	0.25322	47			
360	Emotion	0.00046	2	0.00023	0.09	0.9126
	Subject	0.19605	15	0.01307	5.21	0.0001
	Error	0.07527	30	0.00251		
	Total	0.27178	47			
390	Emotion	0.00548	2	0.00274	1.05	0.3636
	Subject	0.19086	15	0.01272	4.86	0.0001
	Error	0.07859	30	0.00262		
	Total	0.27494	47			
420	Emotion	0.00375	2	0.00188	0.87	0.4306
	Subject	0.20706	15	0.0138	6.38	<0.0001
	Error	0.06491	30	0.00216		
	Total	0.27573	47			
450	Emotion	0.01117	2	0.00558	2.05	0.1465
	Subject	0.23092	15	0.01539	5.65	<0.0001
	Error	0.08175	30	0.00272		
	Total	0.32384	47			
480	Emotion	0.01596	2	0.00798	3.54	0.0417
	Subject	0.25046	15	0.0167	7.4	<0.0001
	Error	0.06767	30	0.00226		
	Total	0.33409	47			
510	Emotion	0.00825	2	0.00412	2.02	0.1497

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Subject	0.22977	15	0.01532	7.52	<0.0001
	Error	0.0611	30	0.00204		
	Total	0.29911	47			
540	Emotion	0.00414	2	0.00207	1.01	0.3779
	Subject	0.25294	15	0.01686	8.19	<0.0001
	Error	0.06179	30	0.00206		
	Total	0.31887	47			

### H.1.8. 시간 구간별 감정 유형간 차이 (LF/HF)

Time	Source	SS	df	MS	F	p-value
60	Emotion	10.095	2	5.0475	0.4	0.674
	Subject	437.016	15	29.1344	2.31	0.025
	Error	378.805	30	12.6288		
	Total	825.915	47			
90	Emotion	1.104	2	0.552	0.32	0.7291
	Subject	122.526	15	8.1684	4.73	<0.0001
	Error	51.855	30	1.72851		
	Total	175.485	47			
120	Emotion	24.088	2	12.0442	0.96	0.3944
	Subject	478.658	15	31.90-105	2.54	0.0144
	Error	376.398	30	12.5466		
	Total	879.144	47			
150	Emotion	6.995	2	3.49748	0.81	0.4535
	Subject	124.498	15	8.29986	1.93	0.0616
	Error	129.216	30	4.30718		
	Total	260.708	47			
180	Emotion	133.05	2	66.525	1.22	0.308
	Subject	1802.28	15	120.152	2.21	0.0313

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Error	1629.19	30	54.306		
	Total	3564.52	47			
210	Emotion	7.13	2	3.5668	0.28	0.7607
	Subject	880.61	15	58.7072	4.54	0.0002
	Error	387.69	30	12.923		
	Total	1275.43	47			
240	Emotion	0.474	2	0.2371	0.17	0.8474
	Subject	224.442	15	14.9628	10.51	<0.0001
	Error	42.175	30	1.4238		
	Total	267.631	47			
270	Emotion	2.081	2	1.04034	0.63	0.5409
	Subject	133.386	15	8.89237	5.36	<0.0001
	Error	49.751	30	1.65838		
	Total	185.218	47			
300	Emotion	2.266	2	1.1329	0.17	0.8407
	Subject	492.804	15	32.8536	5.06	0.0001
	Error	194.799	30	6.4933		
	Total	689.869	47			
330	Emotion	1.626	2	0.8132	0.14	0.8706
	Subject	234.243	15	15d.6162	2.67	0.0106
	Error	175.16	30	5.8387		
	Total	411.028	47			
360	Emotion	8.625	2	4.3127	1.49	0.2418
	Subject	251.87	15	16.7913	5.8	<0.0001
	Error	86.896	30	2.8965		
	Total	347.391	47			
390	Emotion	81.01	2	40.5037	1.48	0.2448
	Subject	688.36	15	45.8094	1.67	0.1126
	Error	823.61	30	27.4536		
	Total	1592.97	47			
420	Emotion	0.998	2	0.49886	0.28	0.7608

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Subject	86.27	15	5.745134	3.18	0.0034
	Error	54.243	30	1.80778		
	Total	141.501	47			
450	Emotion	0.43	2	0.2149	0.03	0.9667
	Subject	318.372	15	21.2248	3.35	0.0023
	Error	189.932	30	6.3311		
	Total	508.734	47			
480	Emotion	30.548	2	15.2741	1.66	0.2064
	Subject	328.977	15	21.9318	2.39	0.0206
	Error	275.371	30	9.179		
	Total	634.896	47			
510	Emotion	3.857	2	1.9284	0.52	0.6022
	Subject	191.502	15	12.7668	3.42	0.002
	Error	112.152	30	3.7384		
	Total	307.511	47			
540	Emotion	11.83	2	5.9152	0.81	0.4535
	Subject	287.57	15	19.1713	2.63	0.0117
	Error	218.577	30	7.2859		
	Total	517.977	47			

## H.2. 운전자 주행 척도

### H.2.1. 주행 전반 구간에서 감정 유형 간 차이

Measure	Source	SS	df	MS	F	p-value
Driving speed	Emotion	21.99	2	10.9951	3.25	0.0529
	Subject	936.18	15	62.4121	18.43	<0.0001
	Error	101.6	30	3.3868		
	Total	1059.78	47			
Steering wheel rate	Emotion	<0.0001	2	1.82E-06	1.39	0.2652
	Subject	0.0005	15	3.33E-05	25.41	<0.0001
	Error	0.00004	30	1.31E-06		
	Total	0.00054	47			
Centripetal Acceleration	Emotion	0.00461	2	0.0023	1.59	0.2212
	Subject	0.24931	15	0.01662	11.45	<0.0001
	Error	0.04357	30	0.00145		
	Total	0.29748	47			

### H.2.2. 주행 전반 vs. 주행 후반 (driving speed)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	0.006	1	0.006	<0.01	0.9687
	Subject	750.885	15	50.059	13.36	<0.0001
	Error	56.188	15	3.7458		
	Total	807.079	31			
Anger	Emotion	168.556	1	168.556	20.36	0.0004
	Subject	577.863	15	38.524	4.65	0.0025
	Error	124.21	15	8.281		
	Total	870.629	31			
Anxiety	Emotion	3.285	1	3.2851	0.31	0.5887
	Subject	724.064	15	48.2709	4.49	0.0031
	Error	161.405	15	10.7604		
	Total	888.754	31			

### H.2.3. 주행 전반 vs. 주행 후반 (steering wheel rate)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	0.00001	1	1.34E-05	5.78	0.0295
	Subject	0.00042	15	2.83E-05	12.21	<0.0001
	Error	0.00003	15	2.31E-06		
	Total	0.00047	31			
Anger	Emotion	0.00013	1	0.00013	33.66	<0.0001
	Subject	0.00043	15	0.00003	7.42	0.0002
	Error	0.00006	15	<0.0001		
	Total	0.00062	31			
Anxiety	Emotion	0.00011	1	0.00011	14.14	0.0019
	Subject	0.00052	15	0.00003	4.4	0.0034
	Error	0.00012	15	0.00001		
	Total	0.00075	31			

### H.2.4. 주행 전반 vs. 주행 후반 (centripetal acceleration)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	0.00144	1	0.00144	1.61	0.224
	Subject	0.15202	15	0.01013	11.31	<0.0001
	Error	0.01344	15	0.0009		
	Total	0.1669	31			
Anger	Emotion	0.05433	1	0.05433	13.96	0.002
	Subject	0.09538	15	0.00636	1.63	0.1762
	Error	0.05839	15	0.00389		
	Total	0.2081	31			
Anxiety	Emotion	0.00711	1	0.00711	1.95	0.183
	Subject	0.13327	15	0.00888	2.43	0.0476
	Error	0.05474	15	0.00365		
	Total	0.19513	31			

## H.2.5. 시간 구간별 감정 유형간 차이 (driving speed)

Time	Source	SS	df	MS	F	p-value
60	Emotion	76.12	2	38.0604	4.39	0.0213
	Subject	936.78	15	62.4517	7.2	<0.0001
	Error	260.39	30	8.6795		
	Total	1273.28	47			
90	Emotion	10.34	2	5.1706	0.64	0.5324
	Subject	886.44	15	59.0961	7.36	<0.0001
	Error	240.92	30	8.0308		
	Total	1137.71	47			
120	Emotion	48.96	2	24.479	4.44	0.0204
	Subject	1208.03	15	80.5352	14.62	<0.0001
	Error	165.3	30	5.5099		
	Total	1422.28	47			
150	Emotion	29.76	2	14.8788	1.97	0.1571
	Subject	1224.37	15	81.6244	10.81	<0.0001
	Error	226.61	30	7.5535		
	Total	1480.73	47			
180	Emotion	5.49	2	2.7464	0.47	0.6315
	Subject	1400.75	15	93.3837	15.87	<0.0001
	Error	176.52	30	5.8841		
	Total	1582.77	47			
210	Emotion	89.53	2	44.765	4.25	0.0237
	Subject	1142.31	15	76.1543	7.23	<0.0001
	Error	315.89	30	10.5295		
	Total	1547.73	47			
240	Emotion	475.67	2	237.834	11.81	0.0002
	Subject	1078.4	15	71.893	3.57	0.0015
	Error	604.1	30	20.137		
	Total	2158.16	47			
270	Emotion	276.67	2	138.335	9.73	0.0006

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Subject	1065.45	15	71.03	5	0.0001
	Error	426.43	30	14.214		
	Total	1768.54	47			
300	Emotion	281.11	2	140.556	7.82	0.0018
	Subject	759.26	15	50.618	2.82	0.0077
	Error	539.13	30	17.971		
	Total	1579.5	47			
330	Emotion	219.58	2	109.791	4.46	0.0202
	Subject	985.93	15	65.729	2.67	0.0108
	Error	739.07	30	24.636		
	Total	1944.59	47			
360	Emotion	415.62	2	207.809	13.25	<0.0001
	Subject	2000.93	15	133.395	8.5	<0.0001
	Error	470.65	30	15.688		
	Total	2887.2	47			

## H.2.6. 시간 구간별 감정 유형간 차이 (steering wheel rate)

Time	Source	SS	df	MS	F	p-value
60	Emotion	0	2	2.46E-06	0.45	0.6407
	Subject	0.00067	15	2.47E-05	82	<0.0001
	Error	0.00016	30	5.44E-06		
	Total	0.00084	47			
90	Emotion	0	2	1.74E-07	0.05	0.9524
	Subject	0.00048	15	3.21E-05	9.02	<0.0001
	Error	0.00011	30	3.55E-06		
	Total	0.00059	47			
120	Emotion	0.00001	2	2.77E-06	0.77	0.47
	Subject	0.00047	15	3.10E-05	8.68	<0.0001

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Error	0.00011	30	3.57E-06		
	Total	0.00058	47			
150	Emotion	0	2	1.27E-06	0.43	0.6538
	Subject	0.00071	15	4.72E-05	16	<0.0001
	Error	0.00009	30	2.95E-06		
	Total	0.0008	47			
180	Emotion	0.00005	2	2.26E-05	7.06	0.0031
	Subject	0.00043	15	2.87E-05	8.95	<0.0001
	Error	0.0001	30	3.21E-06		
	Total	0.00057	47			
210	Emotion	0.00017	2	0.00008	10.12	0.0004
	Subject	0.00157	15	0.0001	12.59	<0.0001
	Error	0.00025	30	0.00001		
	Total	0.00199	47			
240	Emotion	0.00003	2	1.39E-05	1.18	0.3212
	Subject	0.00101	15	6.70E-05	5.67	0.0002
	Error	0.00035	30	1.18E-05		
	Total	0.00139	47			
270	Emotion	0.00007	2	3.65E-05	6.02	0.0063
	Subject	0.0011	15	7.33E-05	12.08	<0.0001
	Error	0.00018	30	6.07E-06		
	Total	0.00135	47			
300	Emotion	0.00003	2	1.34E-05	1.99	0.1547
	Subject	0.00068	15	4.52E-05	6.71	<0.0001
	Error	0.0002	30	6.74E-06		
	Total	0.00091	47			
330	Emotion	0.00004	2	2.24E-05	2.69	0.0841
	Subject	0.0014	15	9.30E-05	11.16	<0.0001
	Error	0.00025	30	8.33E-06		
	Total	0.00169	47			
360	Emotion	0.00003	2	1.39E-05	1.4	0.2634

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Subject	0.00117	15	7.79E-05	7.77	<0.0001
	Error	0.0003	30	1.00E-05		
	Total	0.0015	47			

## H.2.7. 시간 구간별 감정 유형간 차이 (centripetal acceleration)

Time	Source	SS	df	MS	F	p-value
60	Emotion	0.04153	2	0.02076	4.22	0.0244
	Subject	0.15648	15	0.01043	2.12	0.0391
	Error	0.14776	30	0.00493		
	Total	0.34576	47			
90	Emotion	0.00106	2	0.00053	0.2	0.8201
	Subject	0.21205	15	0.01414	5.33	<0.0001
	Error	0.07951	30	0.00265		
	Total	0.29261	47			
120	Emotion	0.00654	2	0.00327	2.15	0.1341
	Subject	0.25005	15	0.01667	10.95	<0.0001
	Error	0.04567	30	0.00152		
	Total	0.30226	47			
150	Emotion	0.00292	2	0.00146	0.47	0.6279
	Subject	0.38281	15	0.02552	8.27	<0.0001
	Error	0.0926	30	0.00309		
	Total	0.47833	47			
180	Emotion	0.02464	2	0.01232	1.93	0.1625
	Subject	0.79296	15	0.05286	8.29	<0.0001
	Error	0.19136	30	0.00638		
	Total	1.00897	47			
210	Emotion	0.13171	2	0.06586	7.22	0.0028
	Subject	0.59818	15	0.03988	4.37	0.0003
	Error	0.27376	30	0.00913		

	Source	SS	df	MS	F	p-value
	Total	1.00366	47			
240	Emotion	0.03501	2	0.01751	3.02	0.064
	Subject	0.72516	15	0.04834	8.33	<0.0001
	Error	0.17408	30	0.0058		
	Total	0.93425	47			
270	Emotion	0.05409	2	0.02704	7.89	0.0018
	Subject	0.24164	15	0.01611	4.7	0.002
	Error	0.10287	30	0.00343		
	Total	0.39859	47			
300	Emotion	0.12339	2	0.0617	7.14	0.0029
	Subject	0.65269	15	0.04351	5.03	0.0001
	Error	0.25926	30	0.00864		
	Total	1.03534	47			
330	Emotion	0.09898	2	0.04949	7.12	0.003
	Subject	0.25848	15	0.0723	2.48	0.0167
	Error	0.20863	30	0.00695		
	Total	0.56609	47			
360	Emotion	0.03189	2	0.01595	2.95	0.0677
	Subject	0.22928	15	0.01529	2.83	0.0075
	Error	0.16219	30	0.00541		
	Total	0.42337	47			

### H.3. 주관적 감정 평가

#### H.3.1. 주행 전반 vs. 주행 후반 (주관적 분노 지수: state-anger)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	<0.0001	1	<0.0001	<0.01	0.988
	Subject	6.06808	15	0.40454	7.82	0.0001
	Error	0.77558	15	0.05171		
	Total	6.84367	31			
Anger	Emotion	693.75	1	693.75	24.3	0.0002
	Subject	449.91	15	29.994	1.05	0.4624
	Error	428.16	15	28.544		
	Total	1571.82	31			

#### H.3.2. 주행 전반 vs. 주행 후반 (주관적 불안 지수: state-anxiety)

Emotion type	Source	SS	df	MS	F	p-value
Neutral	Emotion	9.39	1	9.385	1.47	0.2448
	Subject	1506.2	15	100.414	15.68	<0.0001
	Error	96.08	15	6.406		
	Total	1611.67	31			
Anxiety	Emotion	2658.66	1	2658.66	30.33	0.0001
	Subject	1411.83	15	94.12	1.07	0.446
	Error	1314.72	15	87.65		
	Total	5285.22	31			

## Acknowledgements

지난 2 년의 석사 과정 동안 제가 성장할 수 있도록 도움을 주신 모든 분들께 진심을 담아 감사의 인사를 올립니다. 먼저, 부족한 저를 믿고 기회를 주셨으며 석사 과정 내내 믿음과 격려로 지도해주신 유희천 교수님께 감사드립니다. 교수님께서 주신 가르침을 바탕으로 사회에 나가 항상 올바른 태도로 맡은 역할에 책임을 다하며 점차 더 큰 가치를 사회에 기여할 수 있도록 최선을 다하겠습니다. 또한, 바쁘신 일정 중에 제 석사 학위 논문을 심사해주시고 세심한 조언을 아낌 없이 주신 정기효 교수님과 송민석 교수님께도 진심으로 감사하단 말씀 전해드립니다.

석사 과정 동안 여러 프로젝트를 통해 저를 세심하게 지도해주신 연구실 선배님들, 2 년이라는 시간 동안 힘들 때 옆에서 격려해주고 고생해준 연구실 동기와 학과 동기들, 그리고 연구 과정에서 많은 도움을 주었던 후배님들에게도 감사하단 말 꼭 전하고 싶습니다. 또한, EDT 연구실과 협력하며 훌륭한 가치를 창출하고 계신 휴머노피아 연구원분들께도 감사의 말씀을 드립니다. 마지막으로, 타지에서 힘들 때마다 진심으로 제 이야기에 귀 기울이고 공감하고 응원해준 제 사랑하는 친구들에게도 고맙다는 말 전하고 싶습니다.

제가 2 년이라는 쉽지 않은 기간을 끝내고 졸업할 수 있도록 버팀목이 되어준 사랑하는 아빠, 엄마, 누나, 매형에게 진심으로 고마운 마음을 전하며 얼마 전에 세상에 나온 제 조카와도 이 행복을 함께 나누고 싶습니다. 이외에도 위에서 언급되지는 않았지만 도움을 주셨던 수많은 분들께 감사드립니다. 석사 과정 동안, 더 나아가 제 인생에서 도움을 주셨던 수많은 분들의 은혜에 보답하기 위해 건전한 가치를 사회에 기여할 수 있는 사람이 되도록 노력하겠습니다. 감사합니다.

2018. 1. 5

오건희

# Curriculum Vitae

## Gunhee Oh

Ergonomic Design Technology (EDT) Laboratory,  
Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH,  
San 31 Hyojadong, Pohang, 790-784, South Korea

### Education

- M.S., Industrial and Management Engineering Feb. 2018  
Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang,  
South Korea
- B.S., Applied Mathematics & Statistics May. 2015  
The State University of New York at Stony Brook,  
Stony Brook, New York, USA

### Publication

#### Domestic Journal

1. 이지형, 최영근, Xiaopeng Yang, 이나현, 오건희, 김영균, 강자현, 유희천(2016).  
시선 고정 유도 방법이 시야 검사에 미치는 영향, *대한산업공학회지*, 42(6),  
412-420.

### International Conference

1. 이지형, 최영근, Xiaopeng Yang, **오건희**, 김민재, 김혜지, 강자현, 유희천(2017). The effect of visual attention factors on visual field testing for maintenance of gaze fixation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES) 61<sup>st</sup> Annual Meeting*. Austin, TX: The Human Factors and Ergonomics Society.
2. 이지형, 최영근, 이나현, **오건희**, 진경현, 김혜지, 김영균, 강자현, 유희천(2016). The effect of design elements of gaze fixation induction method on visual field testing. In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction*. Toronto, Canada: HCI International 2016.

### Domestic Conference

1. **오건희**, 정기효, 이승훈, 유희천(2017). 운전자 개인 맞춤형 부정적 감정 조기 판별 모형 개발. *대한인간공학회 2017 춘계학술대회지*.
2. 김민재, 이승훈, **오건희**, 문수진, 최선우. 실차 주행 중 운전자의 Passive Task Related Fatigue 평가 Protocol 개발. *대한인간공학회 2017 춘계학술대회지*.
3. **오건희**, 정기효, 이승훈, 정하영, 이나현, 김응환, 유희천(2017). 운전자 감정 감지를 위한 ECG 기반 판별 모형 개발. *대한인간공학회 2017 춘계학술대회지*.
4. 이승훈, 정하영, **오건희**, 문수진, 이한수, 김민재, 최선우, 유희천(2017). 운전자 엉덩 관절 및 눈 위치 추정을 위한 통계적 모델 개발. *대한인간공학회 2017 춘계학술대회지*.
5. 김민재, 이승훈, **오건희**, 문수진, 이한수, 최선우, 유희천(2017). 운전자 정신적 피로에 대한 운전석 동작 시스템의 효과. *대한인간공학회 2017 춘계학술대회지*.
6. 이지형, 최영근, **오건희**, 김민재, 김혜지, 주진호, 강자현, 유희천(2017).

정상인의 시야 결손 특성 파악을 위한 다양한 시야 분석 방법 비교.  
*대한산업공학회 2017 춘계학술대회지.*

7. 정하영, 문수진, **오건희**, 이승훈, 최영근, 성창훈, 이상혁, 이상훈, 박찬송, 최재필, 유희천(2017). 굴삭기 주요 부품의 인간공학적 평가 방법.  
*대한산업공학회 2017 춘계학술대회지.*
8. 최영근, 이한수, **오건희**, 유희천(2017). 삼킴 장애의 효과적인 조기 선별을 위한 모니터링 장치 개발. *대한산업공학회 2017 춘계학술대회지.*
9. 이승훈, **오건희**, 정하영, 이지형, 이한수, 문수진, 류지운, 최선우, 유희천(2016). A Preliminary Study of the Effects of a Seat Motion System for Reduction of Driving Fatigue. *대한인간공학회 2016 추계학술대회지.*
10. 이지형, 최영근, 이나현, **오건희**, 강자현, 김영균, 유희천(2016). 시선고정 유도방법의 시각적 요소가 시야 검사에 미치는 영향. *대한산업공학회 2016 춘계학술대회지.*

## **Honors and Awards**

현대 NGV 자동차인간공학 우수 논문상, 대한인간공학회, 2017년 12월.

## Research Projects

1. 연구 보조(자료 조사 및 서비스 기획) 2016. 9 – 2020. 8  
삼킴 기능 모니터링을 통한 노인의 삶의 질 증진  
후원 기관: 한국연구재단
2. 연구 보조(실험 설계 및 분석) 2017. 5 – 2018. 4  
Seat Motion System의 운전자 피로 저감  
효과의 실차 주행 평가  
후원 기관: NGV-현대기아자동차
3. 연구 보조(실험 설계 및 분석) 2016. 3 – 2017. 4  
피로 저감 시트 시스템 개발  
후원 기관: NGV-현대기아자동차
4. 연구 보조(데이터 분석) 2014. 6 – 2017. 4  
녹내장 진단을 위한 PC기반 시야계 임상 평가  
후원 기관: 보건복지부
5. 연구 보조(실험 설계 및 분석) 2015. 12 – 2016. 5  
ECG 기반 차량 내 위험 분석 기술 탐색 연구  
후원 기관: NGV-현대기아자동차
6. 연구 보조(실험 설계 및 분석) 2015. 11 – 2016. 4  
굴삭기 주요 부품의 인간공학적 평가 및  
개선안 제안  
후원 기관: 현대중공업