

도로주행 중 휴대전화 수신시 핸드폰 형태와 대화난이도에 따른 심전도 변화 Heart Rate Variability on Telephone types and IOD of Conversation while Driving

이경태¹†, 장필식², 김기현¹, 임정빈¹, 이동현¹

Kyung-Tae Lee, Phil-Sik Jang, Ki-Hyun Kim, Jung-Bin Im, Dong-Hyun Lee

대불대학교 산업정보공학과

¹Dept. of Industrial Engineering, Daebul University, YoungAm. 526-702

²Dept. of Computer Engineering, Daebul University, YoungAm. 526-702

Abstract

It seems to be dangerous to use a cellular phone while driving since it increases driver's mental stress and makes driver's reaction time slow. This study is to investigate driver's psycho-physiological responses on mobile telephoning while driving. Among the three experimental factors (mobile-phone types, message IODs over mobile-phone, road types), only the message IODs over mobile-phone changed R-R intervals of electrocardiograph significantly. This result suggests that the regulations on the mobile telephoning while driving be changed.

Keyword : mental stress, mobile phone, HRV, ECG, IOD, R-R interval.

1. 서론

휴대전화는 이미 현대인의 필수품이 되었지만 운전시 휴대전화를 사용하는 것은 운전자-자동차-도로 간의 복합적인 상호작용과 전화통화시 운전자에게 가해지는 심리적 부담으로 인적오류가 발생하고 사고로 이어지기도 한다. 휴대전화 사용으로 인한 교통사고는 휴대전화 사용상 나타날 수 있는 여러 가지 인적오류에 대한 객관적인 자료를 효과적으로 측정하기 어렵다는 이유로 이에 관련된 교통안전 대책을 수립하는 데도 많은 어려움이 따른다고 할 수 있다.

운전자-자동차 시스템에서 도로나 자동차의 상태는 인간이 정보처리(Human Information Processor)하는데 영향을 주며 그 결과 반응 속도가 달라진다[12][14].

운전중 운전자의 인적오류를 파악하고 개선하기 위해 많은 연구가 수행되고 있으며 그중 생리신호를 측정, 분석하여 운전자의 정신부하를 예측하고 이를 바탕으로 교통사고를 예방하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1][3][5]. Kecklund(1993) 등은 뇌파 측정을 통해 운전자의 각성, 졸리움과 피로도를 측정하는 연구를 수행하였고, Richter(1998) 등은 운전자의 눈 깜박임이나, 심장박동수가 운전자의 통화에 의한 정신부하, 도로환경, 운전 지속시간 등의 변화에 민감하게 반응하는 것을 밝혔다. 이들 지표 가운데 심박동변이(heart rate variability, 이하 HRV)는 인

간의 신체적 부하정도 뿐만 아니라 정신부하와 깊은 관련이 있는 것으로 보고되고 있다[11][16].

<표 1>은 정신부하와 관계된 HRV를 분석한 주요 연구 결과를 요약한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 인간이 기계와 상호작용을 할 때 시스템 반응 시간(System Response Time, 이하 SRT)은 정신적 스트레스 증감과 관련이 있으며, 시스템의 SRT가 길어질 때는 심박수가 증가하고, 짧은 SRT일 때는 심박수가 감소한다[9][17].

본 연구는 운전자가 실제 운전 중 경험하는 작업부하 요인 가운데 전화형태(hand-held, hand-free), 통화내용에 따른 정신부하량(무통화, 회상통화, 연산통화), 도로종류(시내도로, 고속도로)에 따라 운전자가 받는 정신적 부하량의 차이를 파악하여 안전운전과 사고예방을 위한 기준을 제시하고자 한다.

2. 실험 시스템 구성 및 실험계획

운전중 휴대전화 통화시 피험자의 심전도를 측정하기 위하여 <그림1>과 같이 Biopack사의 MP 100 을 사용하였다. 심전도 신호는 200Hz로 샘플링하였고, 노트북 컴퓨터를 통하여 MP 100을 제어하였다. 이 모든 장비는 차량의 뒷자석에 배치하였으며 실제 차량에 장착된 모습은 <그림 2>와 같다.

총 8명의 피험자가 실험에 참가 하였다. 피험자는 운전 경력이 3년 이상, 1년에 적어도 5000km 이상을 주행하는 운전면허증 소지자로 선정 하였다(나이 24 ~ 26세, 평균 25.13세). 각 피험자들에게 실험을 실시하기 전 실험의 목적을 충분히 설명 하였다.

심전도 신호는 3점식 표준유도 Lead I 방식을 이용하였다. 그리고 뒷 자석에는 뒤에는 실험자가 탑승하여 실험의 시작이나 종료 등 실험 진행을 하도록 하였다.

본 실험에서 운전 중 운전자에게 가해지는 정신부하의 요인은 3가지를 고려하였다. 즉, 전화형태(hand-held, hand-free), 통화내용에 따른 정신부하량(무통화, 회상통화, 연산통화), 도로종류(시내도로, 고속도로)이다.

첫 번째 요인은 운전자가 사용하는 전화기의 종류에 따라 운전자가 받는 정신부하의 크기가 달라질 수 있다는 전제하에 휴대전화 종류로 하였으며 그 수준은 Hand-held형과 Hands-free형을 고려하였다. Hand-held 형식은 일반 폴더형이며 Hands-free 형식은 이어폰을 귀에 착용하는 형태이다.

두 번째 요인으로는 전화통화시 통화 내용의 난이도에

† 연락 저자 : 이 경태 교수, 526-702, 전라남도 영암군 삼호읍 대불대학교 산업정보공학과, 061-469-1242 -1242, Fax: 061-469-1253, e-mail: ktlee@mail.daebul.ac

따라 운전자의 정신부하 크기가 달라질 수 있다는 전제하에 통화 난이도를 고려하였다. 수준은 통화를 하지 않은 경우, 이미 알고 있는 사실을 단순히 기억하여 답변하는 단순회상 통화, “두 자리수 + 두 자리수” 산술계산의 답을 응답하는 연산통화 3가지로 설정하였다. 이 연산은 그 결과가 3자리 수가 되도록 구성하였으며 이 연산시간은 1.5초 ~ 3.0가 소요되었다.

세 번째 요인으로는 도로 상황에 따라 운전자에게 가해지는 정신 부하의 크기가 달라질 것이라는 전제하에 고속도로와 시내도로를 포함시켰다. 고속도로는 하루 통행량 5,000대 이하의 비교적 한가한 4차선 고속도로로 선정하였다. 주행거리는 30km이며 평균 주행시간은 20분이다. 시내도로는 인구 25만의 중소 도시의 번화가에 위치한 4차선 도로를 점심시간대에 주행하도록 설정하였으며, 주행거리는 총 15km이고 주행시간은 평균 25분이다.

중속변수는 심전도이다. 인간-기계 상호작용에서 정신적 스트레스가 높은 Long SRT일 때는 심박수가 증가하고, 정신적 스트레스가 낮은 Short SRT일 때는 심박수가 감소한다[9][17]. 따라서 본 연구에서는 운전중 휴대전화 사용시 운전자에게 가해지는 스트레스 수준을 심전도의 여러 지표를 통해 해석하고자 한다

실험절차는 <표 2>와 같다. 하루에 한명의 피험자를 실험하였고, 날씨의 영향을 배제하기 위해 모두 맑은 날을 택하여 실험하였다. 각 시행은 총 4개의 구간으로 나누어 각 구간별로 90초의 전화통화와 150초의 무통화의 운전으로 실험하였다. 각 구간에서 전화내용 시나리오를 무작위하게 시행하였다.

표 1. HRV와 정신부하와의 관계

(VLF:Very Low Frequency, LF:Low Frequency, HF:High Frequency)

| Author of Study | Variables | Range(Hz) | 주요 결과 |
|-----------------------------|-----------|-------------|---------------------------------------|
| Hopman et.al. (1993) | VLF | 0.00 ~ 0.04 | 낮은 수준 정신부하 LF ↓ 높은 수준 정신부하 LF ↑ |
| | LF | 0.04 ~ 0.15 | |
| | HF | 0.15 ~ 0.4 | |
| Tattersall et.al.(1995) | VLF | 0.00 ~ 0.04 | 수준있는 문제 풀때의 주파수 범위 0.07 ~ 0.14 Hz. |
| | LF | 0.04 ~ 0.15 | |
| | HF | 0.15 ~ 0.4 | |
| Tonhajzero va et.al. (2000) | VLF | 0.01 ~ 0.05 | 스트레스를 받았을 때 LF, HF ↓ ; VLF ↑ |
| | LF | 0.05 ~ 0.15 | |
| | HF | 0.15 ~ 0.5 | |

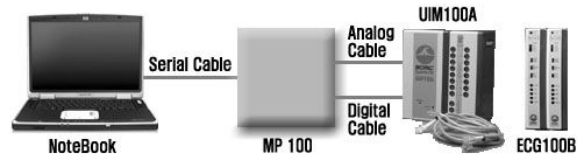


그림 1. 시스템 구성도



그림 2. 실험차량 내 측정 시스템 배치

표 2. 실험 진행 순서

| 날짜 | 1일 | | 2일 | | 3일 | | 4일 | |
|---------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| 피험자 | A | | B | | C | | D | |
| (10:00) | 고속 도로 | Handheld | | | | | 고속 도로 | Hands-free |
| | | Hands-free | | | | | | Handheld |
| (12:00) | 시내 도로 | Hands-free | 시내 도로 | Handheld | 시내 도로 | Hands-free | 시내 도로 | Handheld |
| | | Handheld | | Hands-free | | Handheld | | Hands-free |
| (14:00) | | | 고속 도로 | Hands-free | 고속 도로 | Handheld | | |
| | | | | Handheld | | Hands-free | | |
| 날짜 | 5일 | | 6일 | | 7일 | | 8일 | |
| 피험자 | E | | F | | G | | H | |
| (10:00) | 고속 도로 | Handheld | | | | | 고속 도로 | Hands-free |
| | | Hands-free | | | | | | Handheld |
| (12:00) | 시내 도로 | Hands-free | 시내 도로 | Handheld | 시내 도로 | Hands-free | 시내 도로 | Handheld |
| | | Handheld | | Hands-free | | Handheld | | Hands-free |
| (14:00) | | | 고속 도로 | Hands-free | 고속 도로 | Handheld | | |
| | | | | Handheld | | Hands-free | | |

3. 실험결과 및 분석

본 실험을 통해 측정된 심전도 신호는 시간 영역과 스펙트럼 영역으로 나누어 분석하였다.

(1) 시간영역 분석

피험자, 휴대전화 통화 방법, 대화난이도, 도로 의 일차적 요인과 각각의 실험상황이 각 피험자 심전도의 R-R 간격에 영향을 미치는가를 알아보기 위한 분산분석표는 <표 3>과 같다. 이 결과에 따르면 피험자와 대화난이도만이 R-R Interval에 영향을 주었다.(p < 0.05).

표 3. 분산 분석표

| Source | SS | DF | MS | F-Value | p-Value |
|-----------|--------|----|--------|---------|---------|
| Model | 0.9244 | 11 | 0.0840 | 28.08 | 0.0001* |
| Subject | 0.8903 | 7 | 0.1272 | 42.50 | 0.0001* |
| Road | 0.0007 | 1 | 0.0007 | 0.22 | 0.6418 |
| Telephone | 0.0001 | 1 | 0.0001 | 0.00 | 0.9914 |
| Task | 0.0263 | 2 | 0.0131 | 4.39 | 0.0155* |
| Error | 0.2424 | 81 | 0.0030 | | |
| Total | 1.1668 | 92 | | | |

분산분석표에서 피험자와 질문 난이도에 따라 피험자의

R-R Interval의 차이가 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있으므로 실험요인의 각 수준에 따른 R-R Interval의 평균과 그에 따른 심박수(Heart rate)를 계산하면 <표 4>과 같다.

시내도로의 Hands-free일 때를 제외하고 각 도로상황에서 전화 통화할 때가 그렇지 않을 때보다 R-R간격이 짧다는 것을 알 수 있으며, 표준편차의 범위가 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 전화 통화하지 않을 때는 스트레스 수준이 낮다는 것을 의미한다.

본 연구 시작 전 휴대전화를 받는 방법에 따라 많은 차이가 있을 것이라고 예상하였지만 R-R 간격과 Heart Rate, HRV에서는 통계적으로 유의할만한 차이가 나타나지 않았다. 오히려 대화난이도에 따라 R-R Interval 값이 통계적으로 유의한 차이를 보였다.(p < 0.05).

휴대전화 받는 방법에 따른 질문 난이도별 R-R Interval을 비교하여 보면 <그림 4>와 같다. Handheld에서는 무통화, 회상통화, 연산통화 순으로 R-R 간격이 줄어들었다. 이는 다른 실험 상황보다 연산질문으로 전화할 때 피험자에게 더 많은 심적 부담을 가하여졌다는 것을 의미하며 이는 그만큼 긴 SRT를 야기하고 결과적으로 운전운을 하는데 방해가 된다는 것을 의미한다.

<그림 5>는 도로별 통화난이도에 따른 R-R Interval을 보여준다. 이를 살펴보면 고속도로보다 시내도로에서 피험자가 외부 스트레스를 더 받는다는 것을 의미한다. 고속도로에서는 통화난이도에 따라 R-R 간격치가 더욱 현격히 나타난다.

표 4. 실험 상황별 R-R 간격

| | | | R-R Interval | | | SubTotal | Heart Rate(회/min) | | | SubTotal |
|----------|------------|------|--------------|-------|-------|----------|-------------------|-------|-------|----------|
| | | | 무통화 | 회상질문 | 연산질문 | | 무통화 | 회상질문 | 연산질문 | |
| 시내 도로 | Handheld | Mean | 0.750 | 0.745 | 0.729 | 0.746 | 81.91 | 82.61 | 84.39 | 82.55 |
| | | S.D. | 0.040 | 0.050 | 0.046 | 0.040 | 4.50 | 5.95 | 5.65 | 4.51 |
| | Hands-free | Mean | | 0.754 | 0.706 | 0.736 | | 81.19 | 86.55 | 83.19 |
| | | S.D. | | 0.044 | 0.044 | 0.040 | | 5.30 | 5.79 | 4.79 |
| SubTotal | | Mean | 0.750 | 0.750 | 0.717 | 0.741 | 81.91 | 81.86 | 85.45 | 82.86 |
| | | S.D. | 0.040 | 0.044 | 0.040 | 0.039 | 4.50 | 5.19 | 5.12 | 4.47 |
| 고속 도로 | Handheld | Mean | 0.779 | 0.739 | 0.714 | 0.749 | 78.43 | 81.98 | 85.05 | 81.37 |
| | | S.D. | 0.039 | 0.035 | 0.035 | 0.036 | 4.05 | 4.16 | 4.38 | 4.09 |
| | Hands-free | Mean | | 0.770 | 0.723 | 0.803 | | 79.2 | 84.53 | 76.37 |
| | | S.D. | | 0.042 | 0.046 | 0.048 | | 4.74 | 5.87 | 5.20 |
| SubTotal | | Mean | 0.779 | 0.754 | 0.718 | 0.758 | 78.43 | 80.58 | 84.80 | 80.58 |
| | | S.D. | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 4.05 | 4.47 | 4.93 | 4.31 |

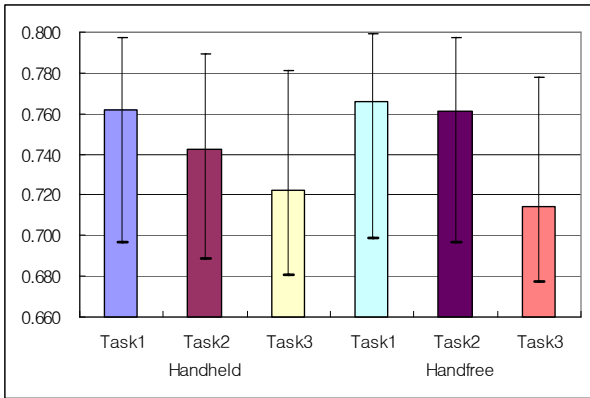


그림 3. 휴대전화 받는 방법에 따른 질문 난이도의 R-R 간격(실선은 최소, 최대값)

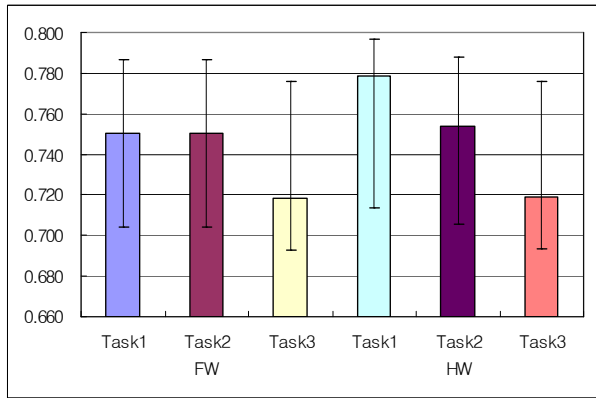


그림 4. 도로에 따른 질문 난이도의 R-R 간격 (실선은 최소, 최대값)

2) 주파수 영역 분석

연속적인 심전도 신호를 일차 미분한 후 영점교차방법(Zero-crossing)을 이용하여 R 점을 검출하고, 검출한 R파 군으로부터 R-R 간격을 계산하여 다시 이 자료를 연속적인 시계열로 변환하였다. 이를 다시 FFT(Fast Fourier Transformation)를 수행하여 주파수에 따른 파워 스펙트럼을 구하였다[2]. LF의 크기는 교감신경계를 반영하고 있으며[10], HF는 부교감신경계를 나타내는 지수로 사용될 수 있다. 또, LF/HF는 자율신경계의 복합적인 지표로 사용되고 있다[7].

본 연구에서 고려한 심전도의 주파수 분석과 관련된 변수는 <표 5>과 같다. 여기에서 Var, VLF, LF, HF는 절

대변수군이며 LF%, HF%, LF/HF는 상대변수군이다.

LF%는 HRV에서 교감신경의 영향을 검출하기 위하여 VLF를 제외한 총 변동(total power - VLF)에 의해 정규화한 변수이고, HF는 부교감신경의 영향을 검출하기 위한 변수이다. 이들 지표들에 대해 Pearson's 상관 계수를 구하였다<표 6>. 절대변수 중 R-R Interval과 가장 약한 상호관계를 가지고 있는 변수는 VLF%(r=0.32) 이고, 가장 강한 상호관계를 가지고 있는 변수는 Var이었다. 반면에 상대변수에서는 HF% (r=0.26)가 약한 상호관계를 지니고, LF%(r=-0.32) 와 LF/HF(r=-0.29)의 상호관계는 음의 관계를 지니고 있다.

표 5. HRV의 측정변수에 대한 정의와 주파수 대역.

| Variable | Units | Definition | Frequency Range |
|----------|-----------------|--|-----------------|
| Var | ms ² | Variance of RR Interval. | |
| VLF | ms ² | Power in VLF range. | 0.01 ~ 0.04 Hz |
| LF | ms ² | Power in LF range. | 0.04 ~ 0.15 Hz |
| HF | ms ² | Power in HF range. | 0.15 ~ 0.40 Hz |
| LF % | nu | LF power in normalized units. | |
| HF % | nu | HF power in normalized units. | |
| LF/HF | ratio | LF(ms ²)/HF(ms ²). | |

즉, R-R 간격이 길어지면 HF가 길어지기 때문에 부교감 신경이 활성화 된다는 의미이다. 또 절대변수들 간에는 높은 연관성을 가지며($r^2 \geq 0.50$), 특히 VLF, LF, HF는 Var와 높은 상호관계를 가진다($r^2 \geq 0.75$). 이는 R-R Interval의 분산이 커질수록 이들 값이 커진다는 의미이다. HF를 제외하고 절대변수들과 상대변수간의 상호관계는 낮은 설명력을 지닌다.

<표 7>은 요인들의 수준에 따른 HRV의 절대변수와 상대변수들의 평균을 나타내었다. 도로요인에서 피험자에게 정신부하를 가하기 위해 차량통행이 많은 낮 시간대에 시

내도로를 주행하도록 하여 고속도로 주행시와는 많은 차이를 유발하도록 실험계획을 잡았으나, T-Test를 실시한 결과 도로요인의 수준별 평균의 통계적 차이가 검증되지 않았다.

휴대전화 형태에 따른 수준별 T-Test는 R-R 간격의 평균이 0.74 ± 0.10 과 0.75 ± 0.09 일 때 LF와 HF의 평균이 차이가 있는 것으로 분석되었고($p < 0.05$), 다른 변수들은 통계적으로 유의한 차이가 보이지 않았다. 대화난이도에서는 HF, LF%, HF%, LF/HF의 상대변수들 평균에 차이가 있는 것으로 분석되었다($p < 0.05$).

표 6. HRV의 관련변수와 RR 간격 상관관계

| | RR | ln(Var) | ln(VLF) | ln(LF) | ln(HF) | ln(LF/HF) | LF % | HF % |
|-----------|------|---------|---------|--------|--------|-----------|---------|---------|
| RR | 1.00 | 0.62** | 0.32** | 0.51** | 0.57** | -0.29** | -0.32** | 0.26* |
| ln(Var) | | 1.00 | 0.77** | 0.84** | 0.83** | -0.33** | -0.32** | 0.32** |
| ln(VLF) | | | 1.00 | 0.56** | 0.51** | -0.17 | -0.16 | 0.16 |
| ln(LF) | | | | 1.00 | 0.64** | 0.06 | 0.07 | -0.06 |
| ln(HF) | | | | | 1.00 | -0.73** | -0.71** | 0.72** |
| ln(LF/HF) | | | | | | 1.00 | 0.98** | -0.99** |
| LF % | | | | | | | 1.00 | -0.95** |
| HF % | | | | | | | | 1.00 |

* P < 0.05, ** P < 0.01

표 7. 요인별 변수 평균 비교(회색 영역은 p < 0.05)

| Factor | RR | ln(Var) | ln(VLF) | ln(LF) | ln(HF) | LF % | HF % | ln(LF/HF) | |
|--------|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| 도로 | 시내도로 | 0.74±0.11 | -6.7±0.64 | 4.4±1.02 | 5.2±0.59 | 4.7±0.80 | 61±11.75 | 39±11.75 | 0.5±0.53 |
| | 고속도로 | 0.75±0.09 | -6.8±0.52 | 4.5±0.88 | 5.0±0.43 | 4.6±0.72 | 59±14.57 | 41±14.57 | 0.4±0.65 |
| 휴대전화 | Handheld | 0.74±0.10 | -6.8±0.62 | 4.4±0.99 | 5.0±0.55 | 4.5±0.77 | 62±13.16 | 38±13.16 | 0.5±0.59 |
| | Hands-free | 0.75±0.09 | -6.6±0.50 | 4.5±0.89 | 5.2±0.44 | 4.9±0.68 | 58±13.08 | 42±13.08 | 0.4±0.57 |
| 대화난이도 | 무통화 | 0.77±0.12 | -7.0±0.69 | 4.5±0.79 | 5.0±0.47 | 4.2±0.86 | 68±13.28 | 32±13.28 | 0.8±0.60 |
| | 회상통화 | 0.76±0.09 | -6.7±0.62 | 4.4±1.11 | 5.2±0.59 | 4.9±0.67 | 56±12.53 | 44±12.53 | 0.3±0.54 |
| | 연상통화 | 0.72±0.09 | -6.7±0.48 | 4.5±0.87 | 5.1±0.48 | 4.7±0.68 | 61±12.09 | 39±12.09 | 0.5±0.55 |

5. 결론

본 연구는 운전중 휴대전화 사용시 운전자의 ECG 신호를 지표로 운전조건에 따라 인체에 가해지는 스트레스 수

준을 비교분석하였다.

휴대전화 형태와 도로종류에 따른 심전도 변화는 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았으나, 통화 난이도에서는 피험자의 R-R 간격의 차이가 통계적으로 유의하였

다. 휴대전화 종류(Hand-held와 Hands-free)에 따른 피험자의 R-R Interval이 다르지 않다는 것은 Haigney & Westerman(2001)의 결과와도 동일하다. 즉, 휴대전화 Handheld형태와 Hands-free형태의 차이에 의한 운전자의 심리적 부담의 차이가 있다고 할 수 없다.

물론 hand-held형과 hand-free형은 전화를 받는 손동작이 다르며 hand-held형 경우는 한손으로 전화기를 들고 있어야 한다. 그러나 만일 한손으로 들고 있다는 이유 때문에 운전 중 hand-held형 사용을 제제한다면 이는 운전 중 한쪽 팔을 차창에 기대고 운전하는 운전자도 제제하여야 할 것이다. 본 연구의 결론은 hand-held형 사용을 허용하는 주장은 아니다 다만, hand-held형과 hand-free형을 차별적으로 제제하는 것에 근거가 미약하다는 점이다.

본 연구결과는 오히려 통화내용의 난이도에 따라 운전자의 정신적 부담의 정도가 달라지는 것을 보여준다. 즉, 전화기 형태에 의한 차이에 의해 나타나는 운전자의 정신적 부담보다는 전화내용에 따라 운전자에게 미치는 정신적 부담의 정도가 크게 달라질 수 있다고 할 수 있다. 이는 스피커폰을 사용하는 경우도 마찬가지라고 할 수 있다.

특히 전화를 건 사람은 전화를 받은 사람의 상태를 고려하지 않고 통화를 하기 마련이다. 또한 전화통화는 짧은 시간에 중요한 내용을 주고받는 경우가 대부분이다. 운전자와 조수석에 앉은 두 사람이 주고받는 일상적인 대화와는 달리 운전 시 전화통화 내용은 운전자에게 심리적 부담의 정도가 크다고 할 수 있다. 이런 심리적 부담은 운전자의 SRT를 길게 하기 때문에 사고에 노출될 가능성이 커진다고 할 수 있다.

결론적으로 운전 중 통화 내용에 따른 정신적 부담의 정도를 운전자가 제어할 수 없으므로 운전 중 통화의 위험성을 운전자에게 충분히 주지시킬 필요가 있으며 현재의 휴대전화 형태에 따라 차별적으로 제제하고 있는 관련 법규는 시급히 개선해야 할 것이다.

참고문헌

[1] 한국도로공사 도로연구소, 운전자행동 및 반응검지차량 개발(1), 도로연구소 연구보고서 : 도로연구 97-59-4, 1997.
 [2] Berger Rd. and Akselrod S., "An efficient algorithm for spectral analysis of heart rate variability", IEEE Trans BME, Vol.33(1986), pp.900-904.
 [3] Brookhuis, K. A. and Waard, D., "The Use of psychophysiology to assess driver status", Ergonomics, 36, 1099-1110, 1993.
 [4] Haigney, D. and Westerman, S. J., "Mobile (cellular) phone use and driving : a critical review of research methodology", Ergonomics, Vol.44, No.2(2001), pp.132-143.
 [5] Helander, M. G., "Physiological reactions of drivers as indicators of road traffic demand", Transportation Research Record, 530, 1-17, 1975.
 [6] Hopman, J. C. W., Kollee, L. A. A., Stoelinga, G. B. A., van Geijn, H. P., and Van Ravenswaaij-Arts, C. M. A., "Heart Rate Variability". Annals of Internal Medicine, Vol. 118(1993), pp.436-447.
 [7] Ito, H., Nozaki, M., Maruyama, T., Kaji, Y. and Tsuda, Y., "Shift work modifies the circadian patterns of heart rate variability in nurses". International Journal of Cardiology, Vol.79(2001), pp.231-236.
 [8] Kecklund, G. and Akerstedt, T., "Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving", Ergonomics, Vol.36, No.9(1993), 1007-1017.
 [9] Kohlish, O. and Schaefer, F., "Physiological changes

during computer task: responses to mental load or to motor demands", Ergonomics, Vol.39, No.2(1996), pp.213-224.
 [10] Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F., and Cerutti, S., "Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain", Circulation, Vol.84(1991), pp.1482-1492.
 [11] McCraty R, Atkinson M, Tiller WA, Rein G and Watkins AD., "The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability", AM J Cardiol, pp.1089-1093, 1995.
 [12] Ponds, R.W.M., Brouwer, W.H., and Wolffelaar, P.C., "Age differences in divided attention in a simulated driving task", Journal of Gerontology, Vol.43, No.6(1988), pp.151-156.
 [13] Richter, P., Wagner, T., Heger, R., and Weise, G., "Psycho-physiological analysis of mental load during driving on rural roads-a quasi-experimental field study", Ergonomics, 41, 593-609.
 [14] Stelmach, G.E. and Nahom, A., "The effects of age on driving skill cognitive-motor capabilities", in Peacock, B., Karwowski, W., Automotive Ergonomics, pp. 219-235, 1993.
 [15] Tattersall, Jordan, Belyavin, Bunting and Jones, "Dimensions of operator workload: Final report", Unclassified DRA Report: DRA / AS / MMI / CR95098 / 1, 1995.
 [16] Terry B. J. Kuo, Tsann Lin, Cheryl C. H. Yang, Chia-Lin Li, Chieh-Fu Chen, and Pesus Chou "Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate", Vol.277, No.6(1999), pp. 2233-2239.
 [17] Thum, M., Boucsein, W. and Kuhmann, W., "Standardized task strain and system response times in human-computer interaction", Egronomics, Vol.38, No.7(1995), pp.1342-1351.
 [18] Tonhajzerova Ingrid, Javorka Kamil and Petraskova Maria, "Changes in the Heart Rate Variability during Mental Stress", Ceskoslov. Pediatr. Vol.55, No.9(2000), pp562-567.