

# 운전자 졸음방지 시스템 개발에 관한 연구

김법중, 박상수, 오승곤, 김인영\*\*, 김남균\*  
전북대학교 대학원 의용생체공학과  
\*전북대학교 의과대학 의공학교실  
\*\*삼성생명과학연구소

## A Study on the Driver's Drowsiness Protection System

B. J. Kim, S. S. Park, S. G. Oh, I. Y. Kim\*\*, N. G. Kim\*

Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School, Chonbuk National University

\*Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Chonbuk National University

\*\*Samsung Biomedical Research Institute

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to propose a method to protect the drowsiness of a driver. We measured the physiological signals, response time, and face expression of the subjects in normal and drowsy state. Those data are used to establish the drowsiness index and fuzzy system. We employed the computer vision technology to extract and eye, track eyelids and measure the parameters related to drowsiness. These parameters were fed into the fuzzy system to decide the drowsiness level. When the drowsiness was detected, the fuzzy system generated warning signals which consist of sound and fragrance. Our system was available in decision of the drowsiness level and improvement of subjects' state.

### 1. 서론

졸음 운전은 현재 교통 사고의 주요 요인으로 인식되고 있다. 실제로 외국의 예를 살펴보면 1992년 프랑스와 호주에서 발생한 교통사고중 졸음과 피로로 인한 사고가 각각 25~27%, 43%에 이른다[3][7]. 졸음 운전의 원인으로는 과로, 수면부족, 약물복용, 단조로운 운전등이 있다. 특히, 고속도로 운전이나 교통체증으로 인한 장시간 단순반복 운전은 생리적 긴장완화를 초래하여 졸음을 촉발한다. 졸음 운전은 운전자가 느끼지 못하는 도중에 발생하는 경우가 많다. 또 운전자가 심리적으로 약간의 졸음을 느끼는 상태에서는 바로 휴식을 취하기보다는 계속 주행하는 경향이 많아 사고로 이어지기 쉽다[4]. 기술의 발전으로 도로 환경이 정비되고 차량 성능이 향상됨에 따라 운전자는 보다 쾌적한 주행 상태를 얻을 수 있는 반면 단조로운 주행 환경하에서 운전할 기회가 증가하고 있다[1]. 따라서, 운전자의 주의력 및 각성 수준을 감지하고 향상시킬 수 있는 시스템 개발이 요구된다.

운전자 졸음 감지를 위한 방법으로는 생체신호

의 변화를 측정하여 판단하는 방식, 핸들 조작패턴 분석방식, 소형 카메라를 이용한 눈꺼풀 움직임 추적 방식이 있다. 이중 실시간 영상처리 방법으로 눈꺼풀의 움직임을 추적, 분석하여 졸음을 감지하는 비접촉식 방법의 실용성이 가장 높다.

본 논문에서는 정상상태와 졸음상태의 얼굴 영상과 생체데이터를 비교, 분석하여 졸음의 지표를 작성하였다. 졸음의 각 단계별 특징을 정리하고, 이를 바탕으로 졸음을 정량적으로 검출할 수 있는 퍼지 제어를 설계하였다. 컴퓨터 비전을 이용하여 눈의 깜박임 패턴을 특징지을 수 있는 파라미터를 추출하여 퍼지 제어기의 입력으로 사용하였다. 졸음이 감지되면 경보음과 박하향을 발산하는 각성장치를 작동시켰다. 본 실험에서는 퍼지논리 제어기를 이용한 졸음의 정량적 평가와 함께 Vertical EOG(electro-oculogram), ECG(electrocardiogram), EEG(electro-encephalogram)를 측정하여 퍼지논리 제어기 시스템을 이용한 본 졸음감지 및 각성 시스템의 유용성을 검토하였다.

### 2. 모의 주행 실험

실차 운전중에 생기는 진동, 차내 전자장치의 노이즈, 운전자에게 주는 구속감 등으로 인해 실제 주행중에 생체신호를 측정하는데는 어려움이 많다. 또한 실차 주행중에 운전자의 졸음을 유도하여 생체신호를 측정하는데 따르는 위험성으로 실차에서의 실험은 한계가 있다. 따라서, 본 실험에서는 암실내에 간단한 주행 환경을 만들고, 정상상태에서 졸음상태로 진행되는 과정의 피검자의 생체신호, 얼굴영상, 반응시간을 함께 측정, 기록한 후에 비교, 분석하였다. 실험은 운전경험이 있는 20~30대의 남자 7명을 대상으로 40분간 실시하였다.

#### 2.1 실험 장치 구성

그림 1은 모의 실험의 구성도이다. 투사기(projector)를 이용해 피검자에게 주행영상과 주행 중에 생기는 소음을 재생시켜 주어 실제 운전하는 느낌을 갖도록 하였다. 피검자 얼굴영상을 CCD카메라로 획득하고, 8mm 비디오 테이프에 저장하였다.

보다 정확하고 안정된 영상처리를 위해 적외선 광원을 설치하여 빛의 변화로 인한 노이즈를 줄였다.

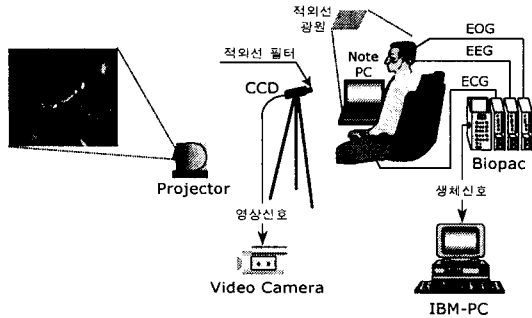


그림 1. 모의 주행실험 구성도

피검자의 EOG, ECG, EEG를 생체신호 획득장비 (Biopac)를 이용하여 측정한 뒤 200Hz로 샘플링하여 PC에 저장하였다. 졸음에 따른 반응시간의 변화를 측정하기 위해, 반응시간 측정 프로그램을 작성하여 Notebook에 저장하였다. 이 프로그램은 20~50초 사이의 무작위 간격으로 음성신호를 내보낸 후 피검자가 음성신호에 대한 반응으로 피검자 우측에 놓여 있는 Notebook의 스페이스바를 누르기까지의 시간을 1/50sec단위로 측정한다.

### 2.2 영상 처리

8mm 비디오 테이프에 기록된 피검자 얼굴 영상은 그림 2와 같은 영상처리 과정을 통해 분석된다. 그림 2 (a)는 암실에서 적외선 필터가 부착된 CCD 카메라와 적외선 광원을 이용하여 획득한 피검자 영상이다. 연속된 두 이미지의 얼굴영역이 다름을 이용하여 얼굴영역을 추출한 후(그림 2 (b)), sobel 연산과 thinning 처리를 사용하여 경계선을 검출한다(그림 2 (c)).

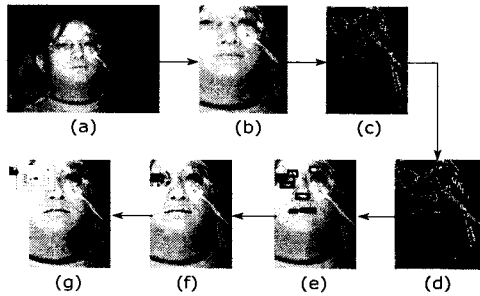


그림 2. 영상 처리 과정

(a) 원 이미지 (b) 얼굴영역 검출 (c) 경계선 검출 (d) 눈 후보 추출 (e) graylevel 조사 (f) 눈 검출 (g) 추적 장면

thinning 처리는 sobel 연산과 이진화로 검출한 여러 개의 경계선 픽셀들을 하나의 경계선 픽셀로 줄여준다. 일반적인 눈의 화소수가 55~70개인 점을 이용하여 눈 후보를 검출한 후 모양 검증등을 통해 후보수를 줄여나간다(그림 2 (d)). 눈은 눈동자와 결막의 독특한 graylevel 분포를 보인다. 이러한 사실에 기초하여 눈 후보들의 수평 graylevel 분포를 조사한 후(그림 2 (e)), 눈의 graylevel 분포 특성에 가장 맞는 후보를 선택한다(그림 2 (f)).

눈의 가로크기, 화소분포, graylevel등의 추출한 데이터를 기초로 눈의 움직임을 13~14frame/sec의 속도로 추적한다(그림 2 (g))[2]. 추적 과정에서 눈의 세로축 크기를 조사하여 초기 눈 크기의 절반 이하이면 깜박임 프레임으로 간주하였다. 30초동안 깜박임 프레임 수를 적산한 값(깜박임 프레임수)과 깜박임 프레임 수를 눈을 감고 뜬 횟수로 나눈 값(깜박임 시간)을 퍼지 제어기의 입력으로 사용하였다.

### 2.3 실험 결과

피검자의 얼굴영상에서 표정의 변화와 EOG의 깜박임 패턴을 근거로 표 1과 같은 졸음지표를 작성하였다. 표 1을 바탕으로 각 피검자의 40분간의 실험을 30초 간격으로 나눠 각 구간의 비디오 영상과 EOG 신호를 관찰하며 피검자의 졸음 단계를 평가하였다.

표 1. 졸음의 각 단계별 깜박임과 표정의 특징

졸음 단계	특징
1 정상상태, 약간의 피로함	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 빠르고 날카로운 깜박임</li> <li>• 눈꺼풀의 처짐이 없음</li> <li>• 간혹 duration이 긴 깜박임이 섞임</li> <li>• 긴장된 표정</li> </ul>
2 졸음 초기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 눈꺼풀이 내려와 있음(때로 실눈)</li> <li>• duration이 긴 깜박임이 다수 보임</li> <li>• 빠르고 잦은 깜박임도 관찰됨</li> <li>• 졸음을 쫓으려는 의지를 얼굴 근육의 움직임이나 몸짓으로 볼 수 있음</li> <li>• 눈꺼풀의 속도가 느려짐</li> </ul>
3 졸음	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실눈이나 눈을 감고있는 상태의 반복</li> <li>• 약간의 머리 흔들림</li> <li>• 순간적으로 눈을 크게 뜨고 실험에 임하지만 곧 눈을 감고 졸음</li> </ul>
4 sleep stage 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계속 눈을 감고 있음</li> <li>• 좌우, 앞뒤로 꾸벅임</li> <li>• 때로 머리가 한쪽으로 치우침</li> </ul>

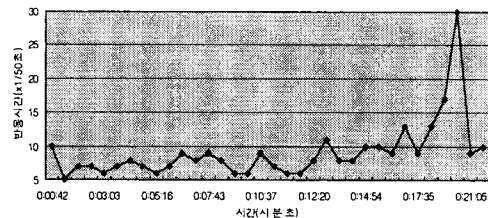


그림 3. 피검자 A의 반응시간

그림 3은 오후 5시부터 40분간 실시된, 피검자 A에 대한 모의 주행실험에서 23분간의 시간대별 반응시간을 보여준다. 실험시작 후 12분경부터 피검자의 반응시간이 점진적으로 상승하여 21분경에 가장 높은 반응시간을 보였다.

그림 4는 피검자 A에 대한 각 시간대(30초간격)의  $\alpha$ 파 면적과 심박수를 보여준다. 뇌파의 8~13Hz에 해당하는  $\alpha$ 파는 주의력 저하나 각성지표로 많이 사용되고 있는데,  $\alpha$ 파의 정상적인 평가를 위해 뇌파를 30초 간격으로 나눠 각 구간의  $\alpha$ 파 대역(8~13Hz)의 스펙트럼 면적을 구했다. 심박수도  $\alpha$ 파와 같이 30초 간격으로 구간을 나눠 각 구간의 심박수를 평균하여 그 값을 그림 4에 나타냈다.

14~21분 사이에서  $\alpha$ 파가 많이 출현하였고, 낮은 심박수를 관찰할 수 있었다.

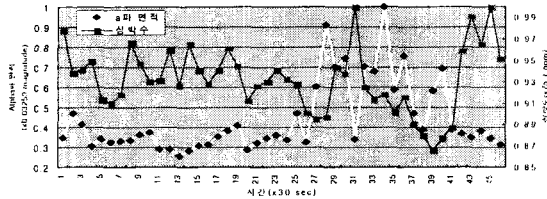


그림 4. 피검자 A의 alpha파, 심박수 변화

심박수는 전체적으로 감소하는 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 주의력 저하의 지표인  $\alpha$ 파가 많이 보일 때 심박수가 저하함을 볼 수 있고, 반대로  $\alpha$ 파가 적은 시간대역에서 높은 심박수를 볼 수 있다. 그러나, 이외 피검자를 대상으로 한 실험에서 반응시간 측정을 위해 내보낸 음성신호등에 의해 심박수가 영향을 받아 줄음과 뇌기능 저하와는 관계없이 변화함을 볼 수 있었다

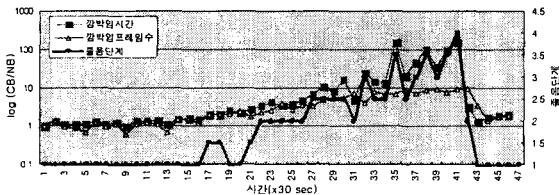


그림 5. 피검자 A의 졸음단계와 깜박임 파라미터

그림 5는 피검자 A의 실험시작 후 23분간의 깜박임 파라미터(깜박임 시간, 깜박임 프레임수)의 변화와 피검자 얼굴영상, EOG, 그리고 표 1에 근거하여 산출한 졸음단계의 변화를 보여준다. 깜박임 시간과 프레임수는 CCD카메라를 통해 획득한 피검자의 얼굴영상을 프레임 그래버를 통해 디지털화한 후 영상처리 과정을 거쳐 추출하였다. 정상상태와 졸음상태 각각의 깜박임 시간과 깜박임 프레임수가 피검자마다 다를 수 고려하여 실험 초기 정상상태의 깜박임 시간과 프레임수로 각 구간의 깜박임 시간과 프레임수를 나누었다. 왼쪽 세로축의 CB(Blinking parameter of Current state)는 각 구간의 깜박임 파라미터 값이고, NB(Blinking parameter of Normal state)는 정상상태의 깜박임 파라미터 값을 의미한다. 11분경부터 졸음단계가 상승하여 21분까지 졸음단계 2 이상이 계속되었다. 졸음단계가 높은 이 시간대에 반응시간이 증가하고,  $\alpha$ 파가 많이 출현함을 그림 3과 4에서 확인할 수 있다.

### 3. 퍼지 제어기 설계

30초 간격으로 구간을 나눠 깜박임 시간과 깜박임 프레임수를 측정하고, 그값을 정상상태의 깜박임 시간과 깜박임 프레임 수로 각각 나누어 퍼지 입력으로 사용하였다.

그림 6은 입·출력 변수의 언어값과 소속함수를 보여준다. 그림 6 (a)는 깜박임 시간 입력에 대한 언어값과 소속함수를 보여준다. 그림 6 (b)은 깜박임 프레임수 입력에 대한 언어값과 소속함수를 보

여준다. 그림 6 (c)은 퍼지 출력 변수의 언어값과 소속함수를 보여준다.

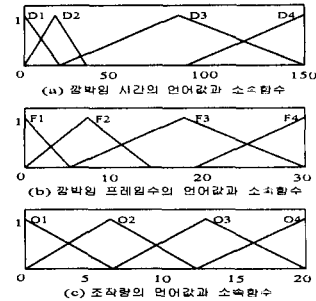


그림 6. 입·출력 변수의 언어값과 소속함수

표 2는 본 퍼지논리 제어기의 제어규칙이다. In1은 깜박임 시간이고, In2는 깜박임 프레임 수이다. 그림 5와 같은 실험데이터를 토대로 깜박임 시간과 깜박임 프레임수에 따른 졸음단계 변화를 아래 표 2와 같은 규칙으로 정의했다.

표 2. 퍼지제어규칙

In2 \ In1	D1	D2	D3	D4
F1	O1	O2	O2	O2
F2	O1	O2	O3	O3
F3	O2	O3	O3	O4
F4	O2	O3	O4	O4

추론법으로는 Mamdani의 추론법을, 비퍼지화 방법으로는 SCOG방법(Simplified Center Of Gravity method)[8]을 채택하였다. SCOG방법으로 비퍼지화 하여 나온 결과값은 0~20 사이의 값인데, 0에 가까울수록 정상상태에 가깝고, 20에 가까운 값일수록 졸음에 가깝다. 실험 결과 0~4 사이는 졸음단계 1, 4~9사이는 졸음단계 2, 9~14사이는 졸음단계 3, 14에서 20사이는 졸음단계 4에 해당하였다.

### 4. 졸음 감지 및 각성 실험

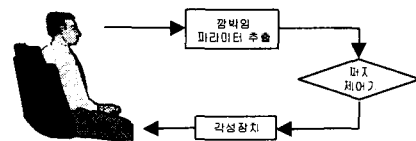


그림 7. 졸음감지 시스템 개략도

그림 7은 본 시스템의 개략도이다. 피검자의 깜박임 파라미터를 컴퓨터 비전 방식을 이용하여 비접촉적으로 검출한 후 퍼지 제어기의 입력으로 보낸다. 퍼지 제어기는 이 깜박임 파라미터를 퍼지화 한 후 추론과 비퍼지화 과정을 거쳐 실수값으로 졸음단계를 정량화한다. 퍼지 출력값에 따라 각성장치의 출력을 조정하여 피검자가 정상상태를 유지할 수 있도록 보조한다.

그림 8은 피검자 B에 대해 오후 10시에 40분간 실시한 졸음감지 및 각성 실험에서 측정된, 20분간의 시간대별 퍼지 출력값과 퍼지 입력 파라미터들을 보여준다. 깜박임 시간과 깜박임 프레임수의 변화에 따라 졸음의 정량적 평가결과인 퍼지 출력값

이 다르게 나타남을 볼 수 있다.

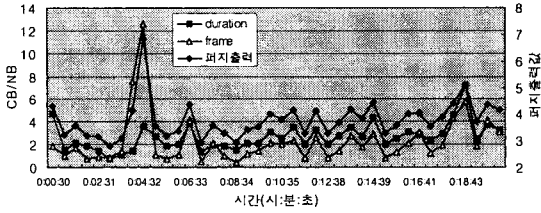


그림 8. 피검자 B의 깜박임 파라미터 입력과 피지 출력  
피지출력값이 졸음단계 2에 해당하는 4이상이 되면 각성장치를 작동시켜 피검자가 졸음단계를 낮출 수 있도록 도왔다.

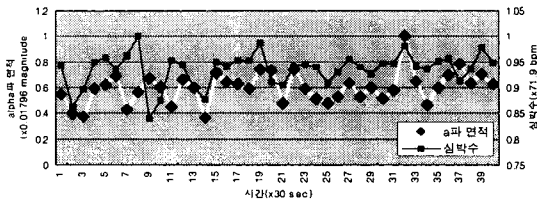


그림 9. 피검자 B의 alpha파와 심박수

그림 9는 피검자 B의 시간대별  $\alpha$  파와 심박수가이다. 피검자 A와는 달리  $\alpha$  파가 많이 나타나는 시간대에 심박수의 저하현상은 볼 수 없다.

피지 출력값과 주의력 저하의 지표인  $\alpha$  파와의 관련성을 살피기 위해 그림 10에 각 시간대별 피지 출력값과  $\alpha$  파값을 나타내었다. 그림 10에 나타낸  $\alpha$  파 값은 각 구간별  $\alpha$  파값을 20분간의  $\alpha$  파 면적의 평균으로 나눈 것이다. 졸음단계 2에 상당하는 피지 출력값 4이상의 대부분 시점에서  $\alpha$  파가 평균 이상으로 나타남을 볼 수 있다.

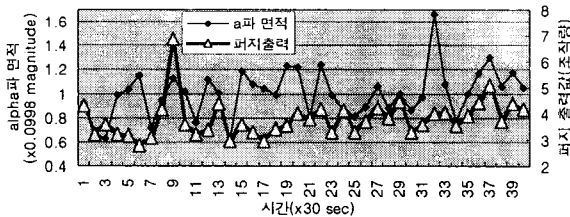


그림 10. 피검자 B의 alpha파와 피지 출력

### 5. 고찰

눈을 추출하고 추적할 수 있는 영상처리 알고리즘을 구현하여 최고 속도 14frame/sec로 눈을 추적하면서 깜박임을 검출 하였다. 실제 깜박임의 85~95%를 본 영상처리 알고리즘을 이용하여 검출할 수 있었다. 졸음상태를 정량화할 수 있는 피지 제어기를 설계하여 졸음 감지 실험에 적용하였고, 그 결과치를 생체신호와 비교·분석하여 기초적인 평가를 실시했다. 본 시스템을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 이외의 다른 방법을 개발할 필요가 있었다. 향후 다양한 연령층의 피검자를 대상으로 하는 실험과 분석을 통해 본 시스템의 보완과 실차 적용능력을 평가할 필요가 있다.

### 6. 결론

모의 주행실험을 통해 졸음상태에서  $\alpha$  파가 많이 나타나고, 심박수가 저하됨을 알 수 있었다. 피검자의 상태가 정상상태에서 졸음상태로 변환에 따라 깜박임 시간이 길어지고 깜박임 속도가 저하되었다. 또한 잦은 깜박임으로 인해 정상상태보다 불규칙한 깜박임 패턴이 나타났다. 이러한 깜박임 패턴 및 속도와 시간의 변화를 나타낼 수 있는 두 개의 깜박임 파라미터, 깜박임 시간과 깜박임 프레임 수를 컴퓨터 비전방식으로 추출하여 피지 제어기의 입력으로 사용하였다. 얼굴영상과 EOG 신호에 기초하여 작성한 졸음지표를 이용하여 두 개의 깜박임 파라미터와 졸음단계의 관계를 조사하여 피지규칙을 작성하였다. 피지 제어기를 이용한 본 시스템의 평가를 위해 피지제어기의 출력과  $\alpha$  파를 비교·분석한 결과, 피지 결과값이 높을 때 주의력 저하의 지표인  $\alpha$  파가 높게 나타남을 알 수 있었다. 이를 통해 본시스템의 졸음감지와 감시의 가능성을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] John H. Richardson, "The development of a driver alertness monitoring system", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, pp.219-229, 1995
- [2] Xangdong Xie. et al., "Real-Time Eye Feature Tracking from a Video Image Sequence Using Kalman Filter", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 25, NO. 12, pp. 1568-1577, December 1995
- [3] Dallas Fell, "The road to fatigue: circumstances leading to fatigue accidents", *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, pp.97-105, 1995
- [4] Masayuki Kaneda. et al, "Development of a Drowsiness Warning System", *Nissan Technical Report*, Vol.34, pp. 85-91, No. 12, 1993
- [5] Yasuo Sakaguchi. et al., "Measurement of Visibility of Display during Vehicle Driving", *T. IEEE Japan*, Vol. 116-C, pp. 8-15, No. 1, 1996
- [6] 한선희, 濟藤章二, "臨床腦波", pp. 50-62, 一潮閣, 1987
- [7] 이 상국, B. Decoux, R. Debrie, M. Hubin, "Traffic security and detection of the driver's low vigilance state", 제 6회 센서기술학술 대회 논문집, pp. 54-62, 10/11 Nov. 1995, Korea
- [8] 채석, 오영석 "피지이론과 제어", pp. 249-251, 1995