

졸음 운전자를 위한 졸음 각성 시스템의 개발에 관한 연구

정경호, 김현석, 이정수, 김법중, 김동욱, 김남균*

전북대학교 대학원 의용생체공학과

*전북대학교 의과대학 의공학교실

A Study on the Development of Drowsiness Warning System for a Drowsy Driver

K. H. Chong, H. S. Kim, J. S. Lee, B. J. Kim, D. W. Kim, and N. G. Kim*

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

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

Abstract

We studied the problem of driver's low vigilance state which is related to the one reason of traffic accidents. In this paper, we developed the drowsiness warning system for a drowsy driver. To extract the eyes and mouth from the driver's facial image in real time, a computer vision method was used. The eye blink duration and yawning were used as measurement parameters of drowsiness detection. When the drowsy state of a driver was detected, the driver was refreshed by the scent generator and the alarm. Also, the driver's bio-signal was acquired and analyzed to measure the vigilance state.

서론

자동차 운전자들의 안전과 주의력에 대한 관심이 최근 급증하고 있으며, 특히 자동차 대형 교통사고의 대부분이 운전자의 주의력 감퇴로 인하여 일어난다. 운전자의 주의력이 감퇴되는 원인중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것이 졸음 운전이며, 졸음 운전시에는 운전자의 운전 조작 및 방어 조작 능력이 현저하게 저하된다. 운전자가 졸음 상태에 직면하게 되면 눈이 감기고 스스로 초점을 잃어버리거나, 머리를 바로 세우기 어렵고, 하품이 발생하게 된다. 따라서 이러한 졸음 운전의 요인으로는 육체적인 피로와 과도한 시각의 사용, 단조로운 운전행위, 긴 운전시간, 불충분한 수면시간 및 휴식등이 졸음 운전의 원인에 해당한다. 이 중에서 가장 많이 영향을 미치는 요인은 육체적인 피로와 과도한 시각의 사용이다. 여러 선진국들의 자동차 발전 국가들에서도 졸음 감지 및 각성 장치의 개발에 많은 인력과 연구 투자가 이루어지고 있으나, 국내에서는 이 분야에 대한 연구가 미흡한 실정이다[1][2].

그 동안 연구된 졸음 운전의 감지 방법은 다음과 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 운전자의 생리신호 변화를 측정하여 판단하는 방법은 주로 EEG, EMG, ECG, EOG 등을 이용한다. 이 방법은 졸음 판단 여부에 매우 높은 정확성을 갖고 있으며, 특히 EEG는 실제 운전중의 주의력 변동을 평가할 수 있는 가장 적절한 변수로서 이용된다[1]. 그러나 이 방법은 전극등을 몸에 부착하는 접촉방식이기 때문에 실제 적용함에 있어서는 매우 부적합하다. 둘째, 운전자의 행동변화를 측정하여 판단하는 방법은 주로 핸들 조작 패턴과 핸들에 가해지는 손의 악력변화, 운전 지속시간등을 이용한다. 이 방법은 운전자마다 매우 다양한 운전 패턴을 가지고 있으며, 그 측정치가 매우 불규칙적이기 때문에 실차에 적용하기 어렵다[1][2]. 셋째, 컴퓨터 비전을 이용하여 운전자의 얼굴의 변화(눈 깜박임, 하품, 표정변화등)를 측정하여 판단하는 방법은, 비 접촉적인 방식이기 때문에 실제 운전자에게 적용함에 있어서는 매우 유용하며, 현재 가장 활발히 연구되고 있다[2][3][4][5][6].

졸음 감지와 더불어 중요한 사항은 졸음 운전자를 일시적으로 또는 지속적으로 각성시키는 장치의 개발이다. 졸음 각성 장치는 운전자가 졸음을 느낄 때, 졸음을 바로 해소 시킬 수 있는 순간 각성 장치와 졸음의 해소 상태를 지속적으로 유지시킬 수 있는 지속 각성 장치로 구분된다. 일반적으로 부저나 경보음은 순간 각성 장치에 해당하며, 향은 지속 각성 장치에 해당한다[4]. 현재 연구되고 있는 졸음 각성 장치로서는 부저나 경보음 발생, 향의 발산, 의자에 진동을 발생, 에어컨의 작동, 강제 브레이크 시스템등이 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 비전을 이용하여 얼굴 정면 이미지로부터 눈 깜박임 시간과 하품 시간을 측정하여 실시간으로 졸음을 감지하였다. 또한 졸음이 감지되면 운전자를 각성시킬 수 있도록 경보음과 페퍼민트향을 동시에 이용하여 졸음을 각성시킬 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한 본 개발 시스템을 평가하기 위해 졸음상태와 각성상태에 대해 생체신호를 측정하여 이를 분석하였다.

실험 장치 및 방법

1. 실험 장치

운전자 졸음 방지 시스템의 개발을 위한 모의 실험 장치는 그림 1에서와 같이 크게 졸음감지장치, 각성장치, 생체신호 측정장치로 나뉘어 진다.

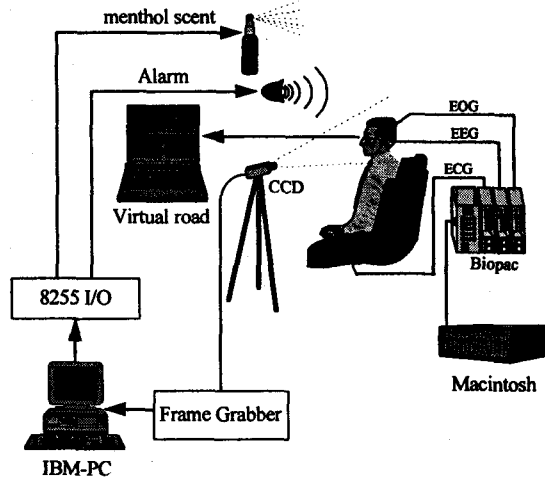


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System configuration

졸음 감지 장치는 방음실 내부에서 행해진다. 피험자 전방에 CCD 카메라(WAT-502A)를 설치하고, 이를 Frame Grabber(DT 3155)가 장착된 PC(Pentium-120)에 연결하여 카메라로부터 피험자의 얼굴 특징을 추출한다. 피험자는 의자에 앉아 가상 도로 주행 시뮬레이션을 보면서 시선이 전방을 주시하도록 하여 실제로 운전하는 느낌을 갖도록 하였으며, 자동차의 회전에 따른 운전자의 좌우 방향의 움직임에도 대응할 수 있도록 고려하였다. 졸음 감지 프로그램은 Microsoft Visual C++과 빠른 속도를 요하는 부분에서는 Inline Assembly를 동시에 이용하였다.

졸음 각성 장치는 영상 처리에 의해 졸음이 판단되면, PC로부터 8255 I/O Card에 신호가 전달되어 자동으로 경보음을 울리거나 향을 발산하도록 하였다.

생체신호 측정은 생체신호 처리장치(Biopac)와 신호 분석 프로그램(AcqKnowledge)을 이용하였으며, EEG, EOG, ECG 신호를 각각 100Hz로 샘플링하여 Macintosh에서 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 영상 처리

2.1.1 얼굴 특징 추출

영상 처리를 이용한 얼굴 인식분야에서 눈이나 코, 입등의 특징점들을 추출하는 연구가 그 동안 많이 행해져 왔다[7][8][9][10].

본 연구에서는 CCD 카메라로부터 입력된 영상을 320*240 크기의 256 Gray level로 받아들여 연속된 이미지를 실시간으로 처리하였으며, 기하학적

특징을 기반으로 한 방법을 이용하여 얼굴 특징을 추출하였다[7]. 먼저 전처리 과정으로 에지를 추출한 후, 적당한 임계값을 주어 이진화하였다. 에지 추출은 비교적 잡음에 강하고 윤곽이 뚜렷하게 나타날 수 있도록 Sobel operator를 이용하였다. 에지를 추출한 후, 머리색이 검다는 정보를 이용하여 얼굴의 위치를 찾아 대략적인 윤곽을 설정하였다. 얼굴은 좌우가 서로 대칭인 특성을 지니고 있기 때문에 얼굴 윤곽 안에서 각 후보점들을 중심으로 좌우를 접어 해당 픽셀값의 차이를 구하여 중심선을 설정하였다[10]. 중심선을 설정한 후 눈의 위치를 찾기 위해 얼굴 영역내에 약 34*12 픽셀의 눈 후보 윈도우를 설정하여 일정한 화소수를 갖는 눈 후보 윈도우를 300-500개 발생하였다. 눈의 추출은 이 후보 윈도우들을 대상으로 눈 아닌 후보들을 제거하는 방법을 이용하였으며[9], 그 절차는 다음과 같다.

1. 눈은 타원형이며, 복잡한 모양을 하고 있기 때문에 눈 후보 윈도우의 가운데 부분의 픽셀수의 합이 후보 윈도우 안의 픽셀수의 합보다 1/6 이상이 되면 눈 후보로 선정한다.
2. 다음으로 윈도우 면적이 90%가 되도록 윈도우 크기를 줄인다. 이렇게 하면 한쪽으로 치우친 모양의 윈도우(머리카락, 눈썹등)는 그 크기가 매우 줄어들기 때문에 제거할 수 있다.
3. 위 1, 2 방법을 이용하면 대부분의 후보 윈도우들은 눈썹이나, 눈에 물려있게 된다. 따라서 각 후보들을 Labeling 하여 눈의 좌우 대칭관계, 눈의 Grey 값, 눈의 위치관계등을 이용하여 최종적인 눈의 위치를 찾았다.

눈의 위치를 찾은 다음 입의 위치를 찾기 위해 먼저 코의 위치를 찾았다. 코는 콧구멍 부분의 에지가 비교적 뚜렷하게 나타나므로 눈의 위치로부터 영역을 설정하여 화소수의 합이 가장 많이 나타나면서 중심으로 화소수가 물려있는 부분을 코의 위치로 선정하였다. 입의 위치는 코와 얼굴의 아래 윤곽 사이에 존재하므로, 코의 위치 추출과 동일한 방법으로 찾았다.

2.1.2 눈 깜박임과 하품 측정

눈 깜박임을 측정하기 위해 추출된 눈의 세로축 길이를 측정하였으며, 눈의 뜬 상태와 감은 상태를 정량적으로 측정하기 위해 기준 눈의 세로축 길이보다 작으면서 동시에 윈도우 안의 화소수가 기준 화소수의 일정 비율보다 작게 되면 눈의 감은 상태로 판단하였다. 하품을 측정하기 위해 첫 이미지에서 피험자에게 '아'라는 발성을 지시하여, 그때의 입 크기를 하품 측정 기준값으로 설정하였다. 따라서 하품은 입 모양이 최대가 되면서 일정 시간 동안 지속되는 상태를 말하므로 연속 이미지에서 입의 크기를 구하여 이를 측정하였다.

2.1.3 실시간 위치 추적

눈과 입의 위치를 실시간으로 추적하면서 각각의 크기 변화량을 측정하는 기술은 많은 처리 시간을 요구하게 된다. 본 연구에서는 3-4 frame/sec를 유지하면서 움직이는 영상 데이터에서 눈과 입의 위치를 추적하고 깜박임과 하품을 측정하기 위

해 추적 영역을 제한하였다. 눈의 위치 추적은 초기 이미지에서 얻은 눈의 binary 이미지를 추적 영역에 대해 template matching 방법을 수행하여 눈의 위치를 추적하였다. 다음 수식은 template matching 방법을 나타낸다. 즉, 첫 이미지에서 추출된 eye template 이미지를 추적 영역에 cross correlation 하여 그 값이 최대가 되는 곳을 눈의 위치로 결정하였다[11].

$$e(x, y) = \max_{p, q} \sum_{i, j} t(i, j) s(p+i, q+j)$$

여기에서 p와 q는 눈 위치의 추적 영역이며, i, j는 eye template 이미지의 가로축과 세로축의 길이에 각각 해당한다. t(i, j)는 eye template의 binary 값이며, s(p+i, q+j)는 추적 영역 p, q 안에서 i, j의 위치에 해당하는 binary 값이고, e(x, y)는 추적된 눈의 위치를 나타낸다. 일단 눈의 위치가 결정되면, 초기 이미지에서 얻어진 눈과 코 사이의 길이만큼 더한 영역에서부터 입의 위치를 탐색한다. 입의 위치는 눈의 위치 변화에 따라 동일한 방향성을 가지면서 추적된다. 그림 2는 영상 처리 과정을 나타내고 있다.

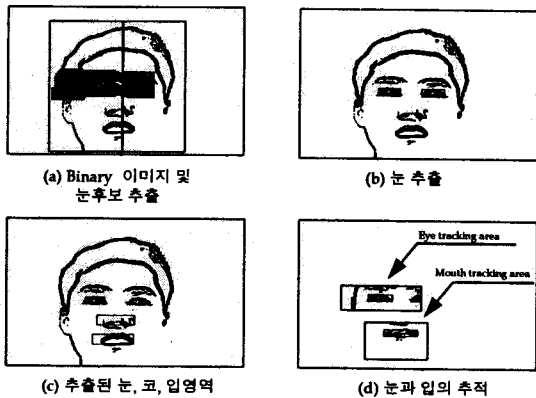


그림 2. 영상 처리 과정
Fig. 2. Image processing

2.2 졸음 감지와 각성 시스템

졸음 감지는 눈의 깜박임 시간과 졸음의 진단 계에서 흔히 발생하는 하품을 측정 파라미터로 설정하였다. 그림 3은 졸음 감지의 흐름도를 나타내고 있으며, 피험자마다 눈, 입의 크기와 일정시간 동안 깜박임 시간이 다르기 때문에 정상상태에서 눈과 입 크기를 얻은 다음, 눈 깜박임 시간을 얻기 위해 30초씩 3번 측정하여 평균값을 기준치로 설정하였다. 졸음시에는 눈 깜박임 시간이 길어지기 때문에 Kaneda[3]의 연구를 토대로 하여 눈 깜박임 시간이 정상 상태의 경우보다 2배 이상이 되면 약한 주의력 저하상태(각성 단계 2), 4배 이상이 되면 강한 주의력 저하상태(각성단계 3), 그리고 하품은 미약한 주의력 저하상태(각성단계 1)로 설정하였다. 따라서 운전자의 주의력이 저하될 경우, 주의력 저하상태에 따라 경보음을 내면서 동시에 향을 발산하도록 하였다. 경보음은 약 85dB로 발생하며, 향은 1회에 40-50mg의 양이 분사되어 주의력 저하 상태에 따라 분사 횟수를 각각 1회, 2

회, 4회로 조절하였다.

향의 종류로서는 일반적으로 진정작용을 하는 라벤더, 레몬 등이 있으며, 흥분작용을 하는 자스민, 페퍼민트, 로즈메리등이 있다. 이 중에서 가장 각성효과가 좋은 페퍼민트향을 사용하였으며, 페퍼민트향은 두뇌활동을 촉진시키고 사무 능률을 향상시키며, 실수 및 졸음을 방지하는 효과를 가지고 있다[4].

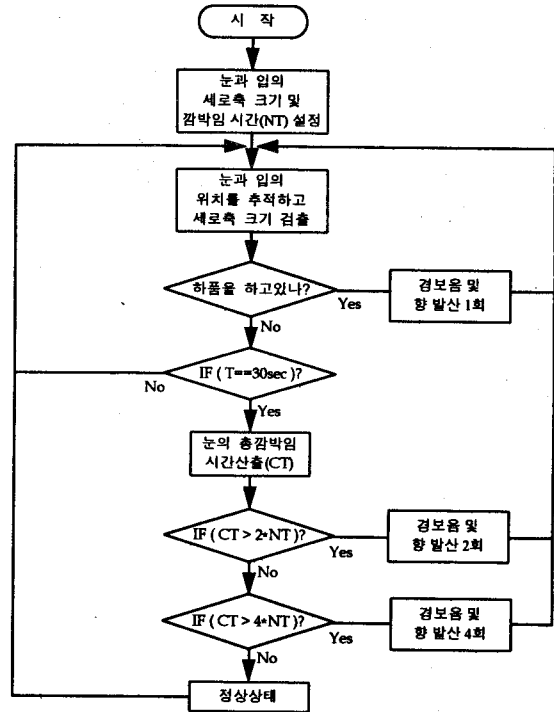


그림 3. 졸음 감지 흐름도
Fig. 3. The flow chart of a drowsiness detection

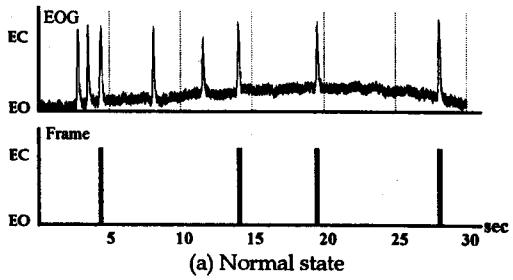
2.3 생체신호처리

졸음 상태 및 각성시에 나타나는 뇌파 변화량(EEG)을 측정하기 위해 머리의 후두부(Occipital)에 Ag-AgCl 전극을 부착하였다. 뇌파전위는 주의력 측정에 가장 유용한 생리학적 지표이며 θ파가 증가하거나, α파의 증가를 주의력 저하상태로 보고하고 있다[1][4][12]. 또한 심장 박동의 변화(ECG)를 측정하기 위해 양팔과 다리에 전극을 부착하였으며, 눈 깜박임의 변화량(EOC)측정을 위해 왼쪽 눈의 위 아래에 전극을 부착하였다.

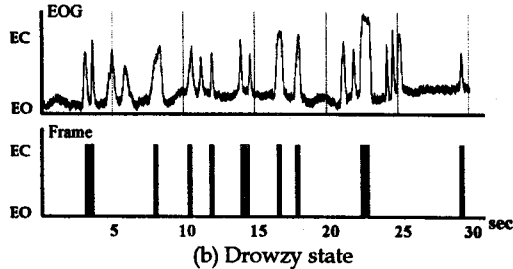
실험 결과 및 고찰

본 실험은 24-26세의 남자 4명(안경 1명)을 대상으로 각각 30분씩 실시하였다. 각 피험자에 대해 불충분한 휴식과 부족한 수면상태에서 실험을 실시하였다.

그림 4는 경보음과 향을 발산하여 피험자를 각성시키는 과정의 전후에서 각각 정상상태와 졸음 상태에 대해 EOG 신호와 영상 프레임 수를 비교하고 있다.



(a) Normal state



(b) Drowsy state

EO : eye open, EC : eye close

그림 4. 영상 프레임과 EOG 신호
Fig. 4. EOG signal and image frame

그림 4(a)는 정상상태에서의 결과를 나타낸다. 정상상태에서는 눈 깜박임의 폭이 작으며, 움직임이 매우 불규칙적으로 이루어진다. 그러나 그림 4(b)의 졸음 상태에서는 눈꺼풀이 무거워지면서 진폭이 긴 눈의 깜박임을 나타낸다. 본 연구에서는 3-4 frame/sec의 속도로 영상을 처리하였기 때문에 피험자의 눈 깜박임을 모두 인식하지 못한 결과를 나타냈으나, 졸음 감지의 측정 파라미터를 눈 깜박임의 수보다는 일정시간동안(30초)의 눈 깜박임 시간으로 설정하였기 때문에 상대적인 차이값을 얻어 졸음을 감지할 수 있었다.

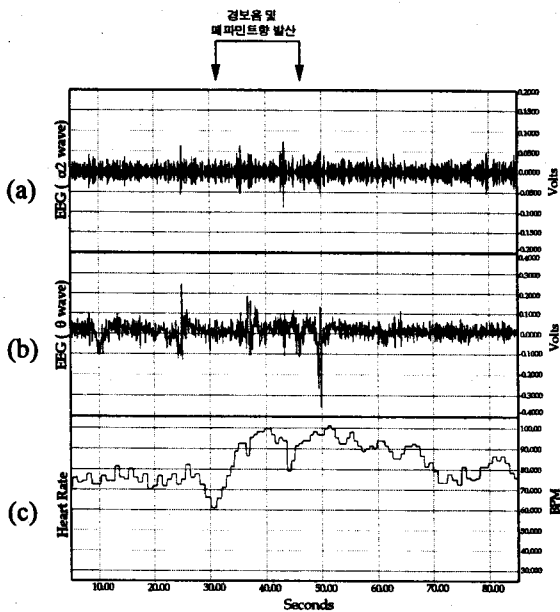
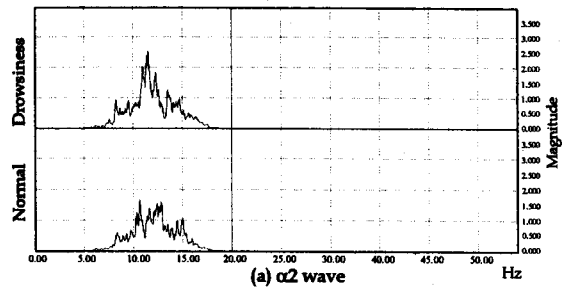


그림 5. 생체 신호처리
Fig. 5. Bio-signal processing

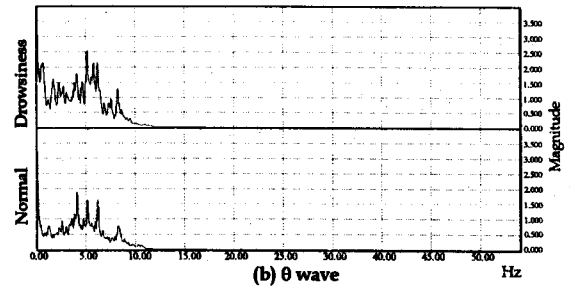
그림 5는 이 기간중에 피험자의 생체신호를 측정된 결과를 나타내고 있다. 피험자는 졸음 상태를

유지하다가 경과시간 후 약 30초 정도에서 강한 주의력 저하상태(단계 3)로 판단하여 경보음이 울리고, 곧이어 3초 간격으로 향이 4회 발산하면서 피험자가 각성 상태로 변하고 있음을 알 수 있다.

그림 5(a)는 뇌파 신호를 나타낸 것이다. 측정된 뇌파 신호중에 α 파와 비교적 수면파에 가까운 θ 파를 중점적으로 살펴보았으며, α 파중에서도 고주파(11-13Hz)부분에 해당하는 α_2 파를 살펴보았다. 그림으로부터 알 수 있듯이 졸음상태에서는 진폭이 큰 α_2 파와 θ 파가 다수 출현함을 알 수 있다. 그러나 경보음과 향의 발산 후 이들 파의 진폭이 점차적으로 줄어들면서 피험자는 각성 상태로 전이되고 있음을 알 수 있다. 그림 5(c)는 ECG 신호를 측정하여 심박율을 나타낸 것이다. 피험자는 졸음 상태에서 70-80bpm의 심박율을 유지하다가 경보음에 의하여 순간적으로 심박율이 90-100bpm으로 급격히 증가하였으며, 향의 반복적인 발산 후 각성 상태를 계속 유지하고 있음을 알 수 있다.



(a) α_2 wave



(b) θ wave

그림 6. α_2 파와 θ 파의 FFT
Fig. 6. The FFT of α_2 and θ wave

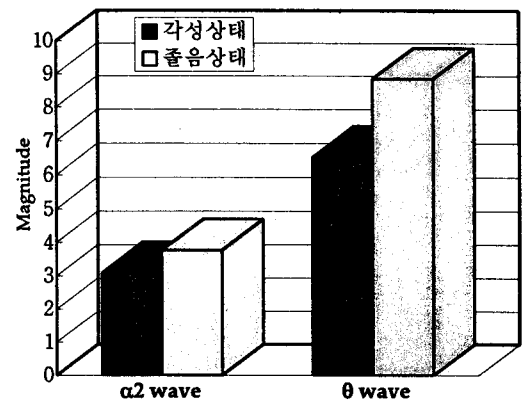


그림 7. α_2 파와 θ 파의 FFT 면적
Fig. 7. The FFT Area of α_2 and θ wave

그림 6은 측정기간동안 졸음 상태에서 각성 상

태로 전이될 때, 각각의 상태에 대해 $\alpha 2$ 파와 θ 파를 FFT 결과를 나타내고 있다. 졸음 상태에서는 진폭이 크고 불규칙적인 파가 나타나기 때문에 $\alpha 2$ 파와 θ 파의 피크치와 평균적인 크기가 정상상태에 비해 크게 나타났다. 그림 7은 그림 6의 FFT의 결과에 대해 주파수 영역내의 면적을 도식화한 것으로서 졸음상태에서 크게 나타났다.

본 논문에서는 졸음 운전을 방지하기 위하여 운전자의 졸음을 감지하고, 졸음 운전시 이를 각성 시킬 수 있는 시스템 개발에 대해 연구하였다. 측정 파라미터를 눈 깜박임 속도로 설정하려면 15 frame/sec의 속도로 처리해야 하며, 이 경우 시스템이 복잡해지고 고성능화와 많은 비용을 요구하게 된다. 그러나 본 연구에서는 측정 파라미터를 깜박임 시간으로 설정하여 3-4 frame/sec로 처리하여 졸음 감지가 가능하였으며, 시스템 구현시 비교적 간단해지고 비용을 절감할 수 있는 잇점을 가지고 있다. 실제 차량의 실험에서는 빛의 변화가 매우 심하며, 이를 해결하기 위해서는 근 적외선 LED와 적외선 카메라를 이용하여, 가시광선 영역이 아닌 적외선 영역을 영상을 이용하여야 한다. 또한 적외선 카메라를 이용하면 낮 뿐만 아니라 밤에도 졸음 감지가 가능하게 된다. 졸음 방지 시스템의 개발에 있어서 졸음을 각성하는 일은 졸음을 감지하는 일보다 훨씬 중요하며, 이는 대부분의 운전자가 졸음을 느끼면서도 이렇다 할 조치를 취하지 못하고 있기 때문이다. 따라서 각성 시스템의 동작은 자동으로 수행될 뿐만 아니라 수동으로도 운전자가 졸음을 느낄 때 동작시킬 수 있어야 할 것이다.

결론

본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 3-4 frame/sec로 영상 처리하여 눈과 입을 추출하고 이를 실시간으로 처리하였으며, 졸음 유무를 판단하기 위해 일정시간 동안 눈의 깜박임 시간과 하품을 이용하여 졸음을 정량적으로 측정, 평가하였다.
2. 졸음 각성 시스템으로서 경보음과 페퍼민트향을 동시에 이용하였으며, 생체신호 측정을 통하여 졸음 상태와 각성 상태를 분석, 비교하였다.

참고문헌

- [1] 이 상국, B. Decoux, R. Debrie, M. Hubin, "Traffic security and detection of the driver's low vigilance state", 제 6회 센서기술학술대회 논문집, 10/11 Nov. 1995, Korea, pp. 54-62.
- [2] Masayuki Kaneda. et al., "Development of a Drowsiness Warning System", 日本 日産技報 Vol. 34, No. 12, 1993, pp. 85-91.
- [3] Yasuo Sakaguchi. et al., "Measurement of Visibility of Display during Vehicle Driving", T. IEE Japan, Vol. 116-C, No. 1, 1996, pp. 8-15
- [4] Machiko Hiramatsu. et al., "A Study on the

- Effects of Odor and Sound on Relieving Drowsiness", 日本 日産技報 Vol. 33, No. 6, 1993, pp. 57-63.
- [5] 정경호, 김법중, 김동욱, 김남균, "졸음방지시스템 개발을 위한 졸음 감지에 관한 연구", 의용생체공학회 춘계학술대회, Vol. 18-1, 1996, pp. 56-59.
- [6] 이완규, 고한우, 김창호, "졸음 운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(II)", 자동차공학회 추계학술대회, Vol. (I), 1995, pp. 481-486.
- [7] R. Brunelli and T. Poggio, "Face recognition: Feature versus Templates", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, NO. 10, 1993, pp. 1042-1052
- [8] A. L. Yuille, P. W. Hallinan, and D. S. Cohen, "Feature extraction from faces using deformable templates", International Journal of Computer Vision, Vol. 8, No. 2, 1992, pp. 99-111.
- [9] 소정, 윤호섭, "다중 모드 인터페이스에서 시선 활용을 위한 눈 위치 추출", HCI 학술대회, 1996, pp. 198-204
- [10] 유태용, 오일석, "컬러 정면 얼굴 영상으로부터 얼굴 영역 및 특징 추출", HCI 학술대회, 1996, pp. 181-186.
- [11] Dana H. Ballard and Christopher M. Brown, Computer Vision, Prentice-Hall, 1982, pp. 65-68
- [12] 한선호, 臨床腦波, 일조각, 1987, pp. 55-76