

A Study on the Development of a Driver's Drowsiness Prevention System

°정경호*, 김법중*, 김동욱*, 김남균**

전북대학교 대학원 의용생체공학과*
전북대학교 의과대학 의공학교실**

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

Abstracts In this study, we developed the drowsiness prevention system to detect the driver's drowsiness and relieve the driver. A computer vision method was proposed to detect the driver's drowsiness. We extracted the eyes and mouth in the face image and tracked the positions from the image sequences in real time. The eye blink duration and yawning was used as the parameters of drowsiness. When the drowsiness state of a driver is detected, the driver is refreshed by the scent generator and the alarm. Also, the driver's bio-signal is acquired and analysed to measure the vigilance state.

Keywords computer vision, eye blink duration, yawning, scent generator, alarm

1. 서론

최근에 교통사고 사망자수의 증가는 커다란 사회문제가 되고 있으며, 특히 자동차 대형사고의 원인중의 하나가 졸음운전에 해당한다. 졸음운전시에는 운전자의 주의력이 크게 감소하게 되어 운전자의 운전조작 및 방어 조작 능력이 현저하게 저하된다. 운전자가 졸음상태에 직면하게 되면 눈이 감기고 스스로 초점을 잃어버리거나, 머리를 바로세우기 어렵고, 하품이 발생하게 된다. 졸음운전의 주 요인으로는 육체적인 피로와 과도한 시각의 사용이다. 유럽, 호주, 일본등의 자동차 발전국가들에서도 졸음 감지 및 각성장치의 개발에 많은 인력과 연구투자가 이루어 지고 있으나, 아직까지 완벽하게 상업화된 시스템은 없으며, 수년 이내에 실용화를 목적으로 활발한 연구가 이루어지고 있다. 국내에서는 이 분야에 대한 연구개발이 미흡한 실정이다[1][2].

자동차 졸음운전의 감지방법은 다음과 같이 크게 세가지로 나뉜다. 첫째, 운전자의 생리신호 변화를 측정하여 판단하는 방법은 주로 뇌파전위(EEG), 얼굴 근육의 긴장도(EMG), 심장 박동의 변화(ECG), 눈의 움직임(EOG)등을 이용한다[1]. 이 방법은 졸음 판단 여부에 매우 높은 정확성을 갖고 있으나, 전극등을 몸에 부착하는 접촉방식이기 때문에 실차에 적용하기가 매우 어렵다. 둘째, 운전자의 핸들조작 패턴과 핸들에 가해지는 손의 압력변화, 그리고 운전 지속 시간등을 측정하여 판단하는 방법이다. 이 방법은 운전자 마다 매우 다양한 운전 패턴을 가지고 있기 때문에 그 측정치가 매우 불규칙적이며 정확성이 낮아 실차에 적용하기 어렵다[2]. 셋째, 영상처리를 이용하여 운전자의 얼굴을 분석, 판단하는 방법은 비접촉적인 방법으로서 졸음시 나타나는 얼굴의 변화(눈깜박임, 하품, 표정변화등)를 측정하여 판단하는 방식으로서 첫번째 방법보다는 정확성이 떨어지지만, 실제 운전자에게 적용함에 있어서는 매우 유용하여 현재 가장 활발히 연구되고 있다[2][3][4][5][6]. 졸음 감지와 더불어 중요한 사항은 졸음 운전자를 일시적으로 또는 지속적으로 각성시키는 것이다[4]. 졸음을 각성시키는 방법으로는 경보음 발생, 향의 발산, 의자에 진동을 발생, 강제 브레이크 시스템등이 고려되고 있다.

본 연구에서는 영상처리를 이용하여 얼굴 정면 이미지로부

터 일정시간동안 눈 깜박임 시간과 하품을 측정하여 졸음을 감지하였다. 또한 경보음과 각성효과가 뛰어난 페퍼민트향을 이용하여 졸음을 각성하였으며, 생리신호를 측정하여 이를 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

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

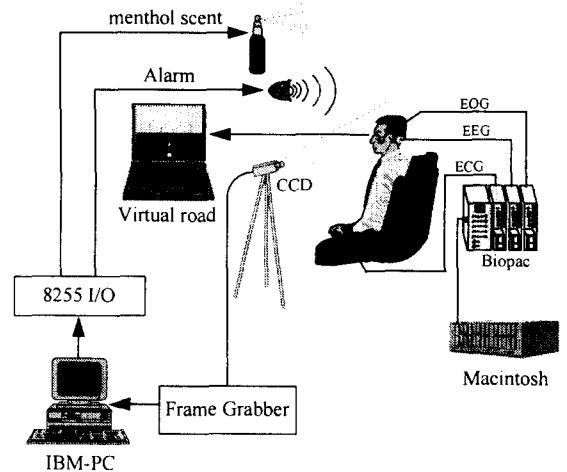


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System configuration

졸음감지 장치는 피험자 전방에 CCD(WAT-502A) 카메라를 설치하고, 이를 Frame Grabber(DT 3155)가 장착된 PC(Pentium-120)에 연결하여 피험자의 얼굴특징을 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. 줄음 감지 프로그램은 Microsoft Visual C++과 빠른 속도를 요하는 부분에서는 Inline Assembly 를 동시에 이용하여 영상 데이터를 실시간으로 처리하였다.

줄음감성 장치는 영상처리에 의해 줄음이 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.

2.2 실험방법

2.2.1 영상처리

얼굴 특징 추출

얼굴 측정을 추출하는 방법은 템플릿 매칭방법, 기하학적 위치 특징을 이용하는 방법, 얼굴의 대칭성을 이용하여 투영하는 방법등 여러 가지가 있다[7][8].

본 연구에서는 CCD 카메라로부터 입력된 영상을 320*240 크기의 256 Gray level로 받아들여 연속된 이미지를 PC에서 실시간으로 처리하였다. 먼저 각각의 피험자에 대해 눈크기와 입크기를 설정하기 위해 첫 이미지에서 눈과 코, 입의 위치를 추출하였다. 얼굴 특징들을 추출하기 위한 방법으로 기하학적인 위치특성을 이용하기 위해 선처리과정으로 비교적 잡음에 강한 Sobel 연산자를 이용하여 에지를 추출하였다. 에지를 추출한 후, 머리색이 검다는 정보를 이용하여 얼굴의 위치를 찾아 대략적인 얼굴의 윤곽을 설정하였다. 얼굴은 좌우가 서로 대칭인 특성을 지니고 있기 때문에 얼굴 윤곽안에서 각 후보점들을 중심으로 좌우를 접어 해당 픽셀값의 차이를 구하여 중심선을 설정하였다. 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 제거하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

1. 눈의 이미지는 타원형이며 복잡한 모양을 하고 있기 때문에 눈 후보 윈도우의 가운데 부분의 픽셀들의 합이 윈도우안의 픽셀수의 합보다 1/6 이상이 되면 눈 후보로 선정하였다.

2. 다음으로 윈도우 면적의 90%가 되도록 윈도우 크기를 줄였다. 이렇게 하면 한쪽으로 치우친 모양의 윈도우는 그 크기가 매우 줄어들기 때문에 제거할 수 있다.

3. 이렇게 제거하고 나면 후보 윈도우들은 거의 눈 부분이나 눈썹, 또는 머리카락 부분에 몰려있게 된다. 따라서 후보들을 Labeling 하여 좌우 대칭관계, 눈의 Grey 값, 그리고 눈썹아래에 눈이 있다는 특징등을 이용하여 최종적인 눈의 위치를 찾았다.

눈 깜박임 측정은 눈의 세로축 길이만을 고려하게 되면 얼굴을 약간만 기울이더라도 대각선 모양이 되어 눈의 세로축 길이가 줄어들지 않기 때문에, 기존 눈의 세로축 길이보다 작으면서 동시에 윈도우 안의 화소수가 기존 화소수보다 작게 되면 눈의 감은 상태로 판단하였다. 눈의 위치를 찾은 다음 입의 위치를 찾기 위해 코를 찾았다. 코는 콧구멍 부분의 에지가 뚜렷하게 나타나므로 눈의 위치로부터 영역을 설정하여 화소수의 합이 가장 많은 부분을 택하였다. 입의 위치는 코의 위치로부터 얼굴의 아래 윤곽까지 윈도우를 설정하여 화소수의 합을 이용하여 찾은 뒤, 기준 입모양을 설정하기 위해 상하로 윈도우 크기를 줄였다. 하품은 입의 크기를 계산한 후, 하품할 때에는 입모양이 최대가 되므로 각 피험자가 보통으로 말할때의 입크기를 넘어서면서 일정시간을 초과하면 하품으로 판단하였다.

실시간 위치 추적

눈과 입의 위치를 실시간으로 추적하면서 각각의 크기 변화량을 측정하는 기술은 많은 처리시간을 요구하게 된다. 본 연구에서는 3-4 frame/sec를 유지하면서 움직이는 영상 데이터에서 눈과 입의 위치를 추적하기 위해 추적 영역을 제한하였다. 눈의 위치 추적은 초기 이미지에서 얻은 눈의 binary 이미지를 예측영역에 대해 binary template를 수행하여 눈의 위치를 추적하였다. 다음 수식은 binary template 방법을 나타낸다. 즉, 추적 영역에 eye template image를 cross correlation하여 그 값이 최대가 되는 곳을 눈의 위치로 결정한다.

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

p, q is a eye tracking area

i, j is a eye template window size

$t(i, j)$ is a binary value in the eye template

$s(p+i, q+j)$ is a binary value in the target eye image

$e(x, y)$ is a point in the tracked eye image

일단 눈의 위치가 결정되면, 초기 이미지에서 얻어진 눈과 코사이의 길이만큼 더한 영역에서부터 입의 위치를 탐색한다. 입의 위치는 눈의 위치에 따라 추적 영역이 변하게 된다. 눈과 입의 위치가 결정되면 각각의 윈도우 안에서 세로축 길이를 줄임으로써 잡음이 발생할시에도 각각의 길이를 찾을 수 있도록 하였다.

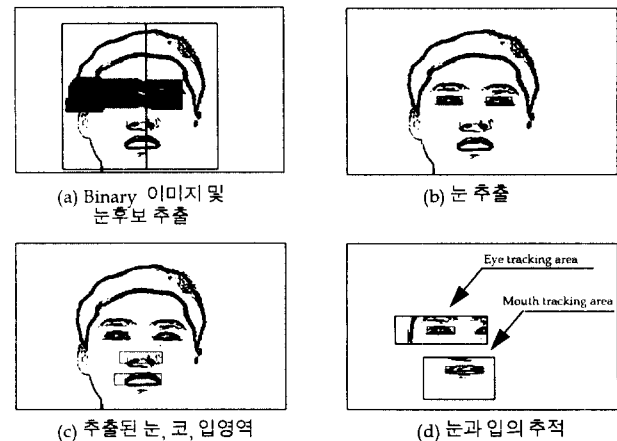


그림 2. 영상 처리 과정

Fig. 2. Image processing

2.2.2 줄음 감지와 각성 시스템

줄음 감지는 눈의 깜박임 시간과 줄음의 전단계에서 흔히 발생하는 하품을 측정 파라미터로 설정하였다. 그림 3은 줄음 감지의 흐름도를 나타내고 있으며, 피험자마다 눈, 입의 크기와 일정시간 동안 깜박임 시간이 다르기 때문에 정상상태에서 눈과 입크기를 얻은 다음, 눈 깜박임 시간을 얻기 위해 30초씩 3번 측정하여 평균값을 기준치로 설정하였다. 줄음시에는 눈 깜박임 시간이 길어지기 때문에 Kaneda[3]의 연구를 토대로 하여 하품은 미약한 주의력 저하상태(각성단계 1), 정상상태의 경우보다 2배 이상이 되면 약한 주의력 저하상태(각성단계 2), 4배 이상이 되면 강한 주의력 저하상태(각성단계 3)로 설정하였다. 운전자의 주의력이 저하될 경우, 즉 눈 깜박임 시간이 증가하거나 하품이 발생할 경우, 이를 각성하기 위해서 주의력 저하 상태에 따라 경보음을 내면서 동시에 향을 발산하였다. 경보음은 약 85dB로 발생하며, 향은 1회에 40-50mg의 양이 분사되어 주의력 기하 상태에 따라 분사횟수를 조절하였다. 경보음은 각

성 효과의 지속시간이 짧은 반면에 향은 지속적인 각성효과를 나타낸다[4]. 따라서 향과 경보음을 단독으로 사용하는 것보다 혼용하여 각성 지속효과를 높이도록 하였다. 향의 종류로서는 일반적으로 진정작용을 하는 라벤더, 레몬등이 있고, 흥분작용을 하는 자스민, 페퍼민트, 로즈메리등이 있다. 그 중에서 가장 각성효과가 좋은 페퍼민트향을 사용하였으며, 페퍼민트향은 두뇌활동을 촉진시키고 사무능률을 향상시키며, 실수 및 졸음을 방지하는 효과를 가지고 있다.

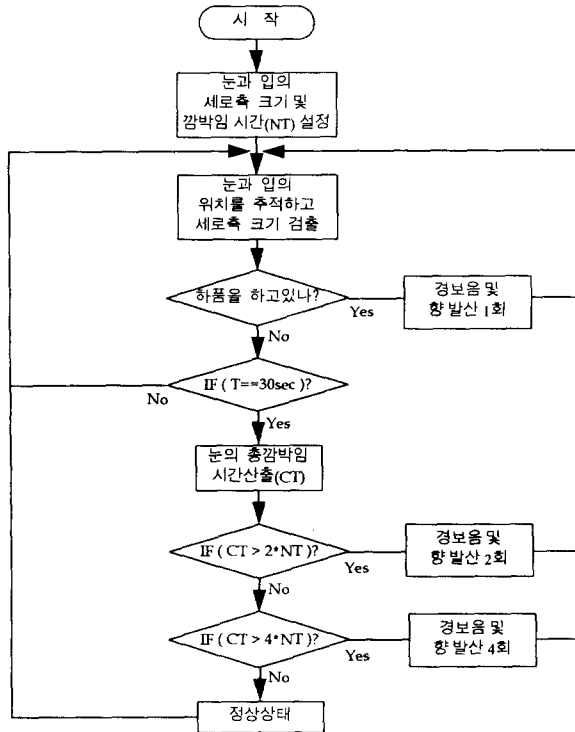


그림 3. 졸음 감지 흐름도
Fig. 3. The flow chart of a drowsiness detection

2.2.3 생체 신호 측정

졸음 상태 및 각성시에 나타나는 뇌파 변화량(EEG)을 측정하기 위해 머리의 후두부(Occipital)에 Ag-AgCl 전극을 부착하였다. 뇌파는 Ag-AgCl 전극의 위치나 뇌파의 상태에 따라 특정한 리듬(파)으로 구분되는데 이는 각각 α 파(8-13Hz), β 파(14-30Hz), θ 파(4-7Hz), δ 파(0-3Hz)에 해당한다. 뇌파전위는 주의력 측정에 가장 유용한 생리학적인 지표이며 θ 파가 증가하거나, α 파의 증가를 주의력 저하상태로 보고하고 있다[1][4]. 또한 심장박동의 변화(ECG)를 측정하기 위해 양팔과 다리에 전극을 부착하였으며, 눈 깜박임의 변화량(EOC)측정을 위해 왼쪽 눈의 위 아래에 전극을 부착하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 24-26세의 남자 4명(안경 1명)을 대상으로 각각 30분씩 실시하였다. 각 피험자에 대해 불충분한 휴식과 수면이 부족한 상태에서 실험을 실시하였으며, 측정 시간동안 졸음상태와 각성상태를 반복하고 있음을 알 수 있었다. 그림 4는 졸음상태에서 경보음과 향을 발산하여 피험자를 각성시키는 과정의 전후에서 각각 졸음상태와 각성상태에 대한 EOG 신호와 영상 프레임 수를 비교하고 있다.

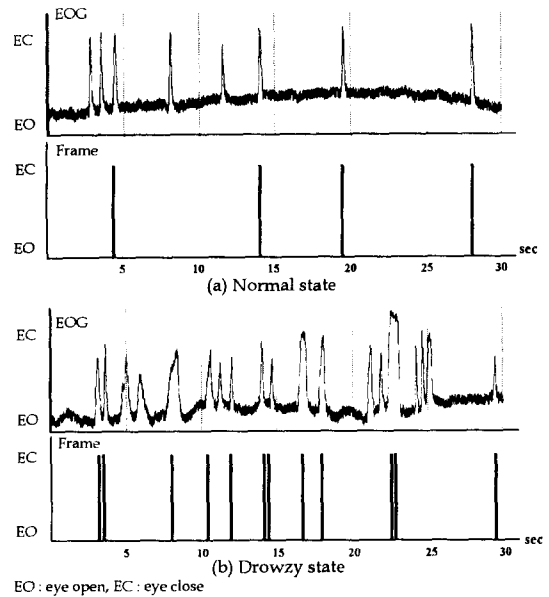


그림 4. 영상 프레임과 EOG 신호
Fig. 4. EOG signal and image frame

그림 4(a)는 정상상태에서의 결과를 나타낸다. 정상상태에서는 눈 깜박임의 폭이 좁으며, 움직임이 매우 불규칙적으로 이루어진다. 그림 4(b)의 졸음상태에서는 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 일정시간(30초) 동안의 눈 깜박임 시간으로 설정하였기 때문에 상대적인 차이값을 얻어 졸음을 감지할 수 있었다.

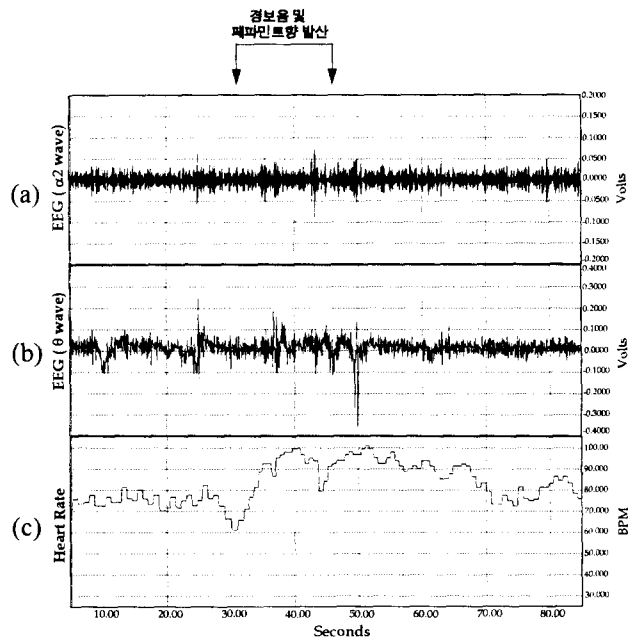


그림 5. 생체 신호처리
Fig. 5. Bio-signal processing

그림 5는 이 기간중에 피험자의 생체신호를 측정된 결과를 나타내고 있다. 실험 개시후 졸음상태를 유지하다가 경과시간 후 약 30초 정도에서 단계 3의 졸음을 감지하여 경보음과 향을 발산하였다.

리고, 3 초 간격으로 향이 4 회 발산하면서 피험자가 졸음상태에서 각성상태로 변하고 있음을 알 수 있다. 그림 5(a)와 그림 5(b)는 이 기간동안의 뇌파신호를 나타낸 것이다. 졸음과 각성에 관한 해석을 위해 수면과 졸음중에 큰 진폭을 나타내며 자주 출현하는 α 파와 θ 파를 중점적으로 살펴보았으며, α 파중에서도 고주파(11-13Hz)부분에 해당하는 $\alpha 2$ 파를 살펴보았다. 그림으로 부터 알 수 있듯이 경보음과 향을 발산하기 전에는 진폭이 큰 $\alpha 2$ 파와 수면파에 해당하는 θ 파가 나타나지만 각성 후에는 이들 파의 진폭이 점차적으로 줄어들면서 각성상태로 전이되고 있음을 알 수 있다. 따라서 그림 5(c)에서 심박을 살펴보면 졸음상태에서 70-80 bpm 의 심박을 유지하다가 각성 시도에 의하여 심박율이 90-100 bpm 으로 급격히 증가하였으며, 향의 반복적인 발산 후 각성상태를 계속 유지하고 있음을 알 수 있다.

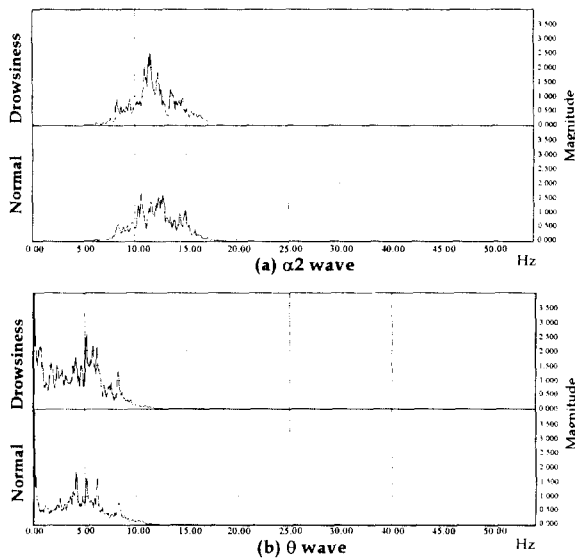


그림 6. $\alpha 2$ 파와 θ 파의 FFT
Fig. 6. The FFT of $\alpha 2$ and θ wave

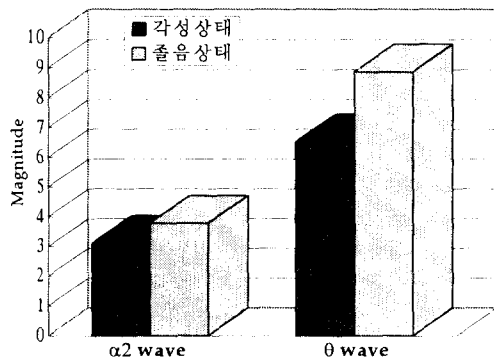


그림 7. $\alpha 2$ 파와 θ 파의 FFT 면적
Fig. 7. The FFT Area of $\alpha 2$ and θ wave

그림 6 은 그림 5 의 측정기간동안 졸음상태에서 각성상태로 전이될 때, 각각의 상태에 대해 $\alpha 2$ 파와 θ 파에 대한 FFT 수행 결과이다. 졸음상태에서는 진폭이 크고 불규칙적인 파가 나타나기 때문에 주파수 상에서 피크치와 평균적인 크기가 정상상태에 비해 크게 나타났다. 또한 θ 파에서도 졸음상태에서 진폭이 크게 나타났다. 그림 7 은 위 FFT 의 결과에 대해 주파수 영역내의 면적을 도식화한 것으로서 $\alpha 2$ 파와 θ 파의 면적이 졸음상태에서 크게 나타났다.

본 논문에서는 졸음 운전을 방지하기 위하여 운전자의 졸음을 감지하고, 졸음 운전시 이를 각성 시킬 수 있는 시스템 개발에 대해 연구하였다. 영상처리기법을 사용한 졸음감지에 관한 연구 동향으로써는 눈의 깜박임 속도를 이용하는 연구가 수행되어져 왔다[6]. 눈의 깜박임 속도를 정확히 검출하기 위해서는 15 frame/sec 정도의 영상처리 속도가 필요하며, 시스템이 복잡해지고 고성능화와 많은 비용이 소요되어 실용화에 있어서는 어려움이 따르게 된다. 그러나 본 연구에서는 졸음의 감지를 위한 측정 파라미터를 깜박임 속도가 아닌 깜박임 시간으로 설정함으로써, 영상 처리 속도가 3-4 frame/sec 정도로도 졸음 감지가 가능하였다. 이는 실용화에 있어서 비용을 절감시킬 수 있는 장점을 가질 수 있다고 생각 된다. 실제 차량의 실험에서는 빛의 변화가 매우 심하며 영상의 에지추출시 임계치의 설정이 어렵게된다. 이를 해결하기 위해서는 근 적외선 LED와 적외선 카메라를 이용하여, 가시광선 영역이 아닌 적외선 영역을 영상 입력으로 받아들임으로써 주간뿐만 아니라 야간에도 졸음 감지가 가능할 수 있다. 졸음 방지 시스템의 개발에 있어서 졸음을 각성하는 일은 졸음을 감지하는 일보다 훨씬 중요하며, 이는 대부분의 운전자가 졸음을 느끼면서도 이러한 조치를 취하지 못하고 있기 때문이다. 따라서 각성 시스템의 동작은 졸음감지에 의하여 자동으로 수행될 뿐만 아니라, 운전자가 스스로가 졸음을 느꼈을 때 수동으로도 동작시킬 수 있도록 개량하고자 한다.

4. 결론

본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 3-4 frame/sec 로 영상 처리하여 눈과 입을 추출하고 이를 실시간으로 처리하였으며, 졸음 유무를 판단하기 위해 일정시간 동안 눈의 깜박임 시간과 하품을 이용하여 졸음을 정량적으로 측정, 평가가 가능하였다.
2. 졸음 각성 시스템으로서 경보음과 페퍼민트향을 동시에 이용하였으며, 생체신호 측정을 통하여 졸음상태와 각성상태를 검토했던 결과, 각성시스템의 유효성을 입증할 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] 이 상국, B. Decoux, R. Debrie, M. Hubin, "Traffic security and detection of the driver's low vigilance state", 제 6 회 센서기술포럼대회 논문집, 10/11 Nov. 1995, Korea, pp. 54-62.
- [2] Masayuki Kaneda. et al., "Development of a Drowsiness Warning System", *Nissan Technical Report*, 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", *Nissan Technical Report*, Vol. 33, No. 6, 1993, pp. 57-63.
- [5] 정경호, 김범중, 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)", -눈 깜박임 속도검출- 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] 소정, 윤호섭, "다중 모드 인터페이스에서 시선 활용을 위한 눈 위치 추출", HCI 학술대회, 1996, pp. 198-204