

피부 전기활동을 이용한 휴대형 각성도 측정 및 제어 시스템

고한우, 이완규, 김연호

Portable arousal control system using electrodermal activities

Han-Woo Ko, Woan-Kyu Lee, Youn-Ho Kim

요 약

생리지표로서 각성 수준을 잘 반영하는 피부전기활동 신호로 부터 피부임피던스 수준과 피부임피던스 반사 신호를 분리 검출하고 실시간으로 각성도를 판단 및 제어하는 휴대형 시스템을 구현하였다. 이를 위하여 각성도 평가 지표를 세분화하여 의식 수준을 자동적으로 판단하고 경고신호를 이용하여 각성도를 제어하는 알고리즘을 연구하여 구현된 시스템의 제어효과를 평가하고 유효성을 입증하였다. 구현된 제어 시스템은 각성도 이하의 초기 단계부터 검출하고 판정 및 제어하므로써 각성도를 향상 시킬 수 있었으며, 앞으로 각성도 향상 및 제어를 위한 경보음 등의 효과 평가와 졸음운전 방지 시스템, 수면연구 등에도 활용될 수 있으리라 기대 된다.

Abstract

To control arousal level using physiological index, electrodermal activity signal was detected and separated into skin impedance level and response. Arousal state decision and control algorithm was studied to implement and evaluate real time portable arousal control system. The implemented system can detect and control arousal state from initial drowsy stste. This system will be applicable to the evaluation of the effect of warning signal, driver's drowsy detecting system, and sleep study.

1. 서 론

최근 사람의 각성도를 측정 및 평가하기 위하여 사람의 생리신호나 행위신호를 이용한 다양한 방법들이 연구되고 있으며, 수면계측, 피로나 스트레스의 평가, 졸음운전 방지 등의 일상생활에 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있으나 아직까지 완전한 실용화에까지는 이르지 못하고 있다[1-3]. 이는 움직이는 사람을 구속하지 않으면서 각성도 관련 신호를 정확히 검출할 수 있는 센서 및 적절한 측정방법의 개발이 어렵기 때문이다. 이와 같은 인간의 각성도를 평가하는 방법에는

Stanford 졸림측도나 KSS 측도(Karolinska Sleepiness Scale)를 이용한 주관적인 방법과 뇌파, 심박 변동률, 피부전위나 임피던스 변화 등의 생리 신호와 눈 깜박임, 하품, 핸들조작 등의 인간 행위신호를 이용하는 객관적인 방법이 있다[4-9]. 인간의 각성도를 제어하여 수면을 촉진 또는 억제하기 위하여서는 연속적이고 실시간으로 각성도를 객관적이고 정량적으로 측정 및 평가하여야 한다. 생리신호로 부터 추출된 지표는 인간의 의식 수준 변화에 민감하고 빠르게 반응하나 생리지표가 갖는 비선형성, 개인별, 연령별, 성별에 따른 차이가 있으므로 평가 및 제어가 어렵다. 반면에 눈 깜박임 등의 행위신호로 부터 추출된 지표는 무구속성에는 우수하나 각성도 변화에 따른 정도와 반응성의 문제가 있다.

저자들은 지금까지 위의 두 가지 신호가 갖는 상호 보완적인 성질을 이용하여 운전자의 각성상태를 보다 정확히 측정, 평가 및 제어할 수 있는 종합적인 각성도 모니터링 시스템 개발을 최종 목표로 하여 일련의 연구를 하여왔다[10-12]. 본 연구에서는 생리지표로서 각성 수준을 잘 반영하는 피부전기활동(Electrodermal Activity : EDA)의 일종인 피부임피던스 변화(Skin Impedance Change : SIC) 신호로부터 피부 임피던스 수준(Skin Impedance Level : SIL)과 피부 임피던스 반응(Skin Impedance Response : SIR) 신호를 분리하여 검출하고, 각성 수준 변화에 따른 두 신호의 상관관계로부터 각성도 평가지표를 구하고 이를 이용하여 각성도 저하를 자동적으로 판단하여 제어하는 알고리즘을 연구하여 실시간으로 각성도를 평가 및 제어하는 시스템을 개발하였으며, 이를 실제 피검자의 각성도 측정 및 제어에 적용하고 평가하였다.

2. 피부임피던스와 각성 수준

2.1 피부임피던스 측정 시스템

본 연구에서 구현한 각성도 측정 및 제어 시스템의 구성은 그림 1과 같다. 피부 전기활동에 의한 각성도 측정은 크게 피부 전위 변화에 의한 방법과 피부 임피던스 변화 측정에 의한 방법이 있으며, 전위법은 기준 전위 측정부위의 설정이 번거롭고 또한 기준전위가 변하므로 본 연구에서는 교류 통전법에 의한 피부 임피던스 변화를 측정하였다.

SIC 신호는 $10\mu A$, 30Hz의 정전류를 통전하는 3 전극법을 이용하여 피검자의 손바닥으로부터 검출하였다. 검출된 SIC 신호는 증폭 및 신호 처리하여 피부임피던스 수준을 반영하는 느리게 변하는 신호인 SIL과 자율 신경계에 지배되어 빠르게 변하는 SIR 신호로 분리하였으며, SIR 신호를 구형파로 정형화시킨 IRI(Inter SIR Interval) 신호로부터 SIR 발현 간격을 측정할 수 있도록 하였다[9].

검출된 신호는 DAT(digital audio tape) 테이프를 이용한 PCM 기록기(TEAC사)와 열전사기록기에 동시에 기록하면서 12 bit data acquisition system(National Instrument)와 Notebook PC(486, 100MHz)를 이용하여 데이터를 획득하여 개발된 각성도 자동판정 및 제어 알고리즘을 이용하여 각성상태를 판단하고 이를 근거로 피검자에게 경고신호를 주어 각성도를 제어할 수

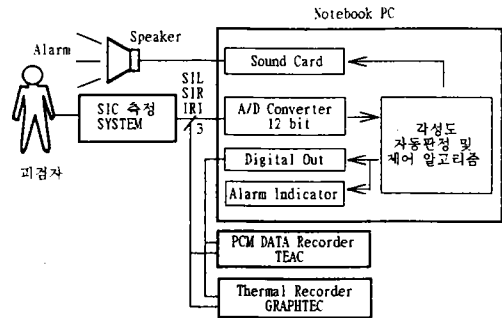


그림 1. 각성도 측정 및 제어 시스템의 블록선도

Fig. 1. Block diagram of arousal measurement control system.

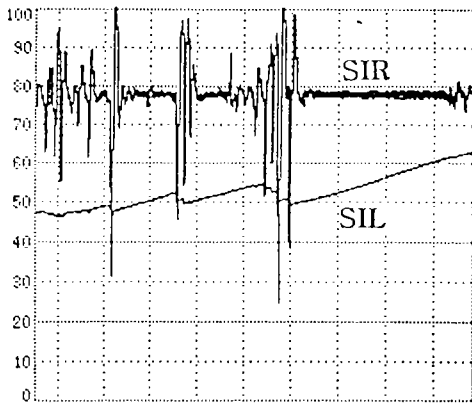
있도록 하였다. 피검자에게 주는 심리 및 신체적 부담을 가능한 줄이면서 무구속적으로 각성도를 실시간으로 측정 및 제어할 수 있도록 하기 위하여 PCMCIA 카드형의 A/D 변환 보드와 sound card가 내장된 Notebook PC를 기반으로 하여 시스템의 소형화를 도모하여 휴대성을 높였다.

신호 검출용 전극은 지금까지 순은전극, ECG용 Ag/AgCl 전극을 사용하였으나 장시간 측정시 측정 부위에서 발생하는 땀으로 인한 부식과 사용하지 않을 때의 대기중의 노출로 인한 산화로 인하여 측정에 영향을 받았으므로 이를 방지하고, 인체 피부에 부작용을 주지 않도록 직경 1mm의 stainless steel 선을 이용하여 재 설계하여 제작하였다. 전극간의 간격과 전극의 피부접촉 부분의 길이는 추후 졸음운전 방지를 위한 실차량 시험시 전극과 손바닥 접촉면의 간격과 길이를 고려하여 각각 9mm와 45mm로 하였다.

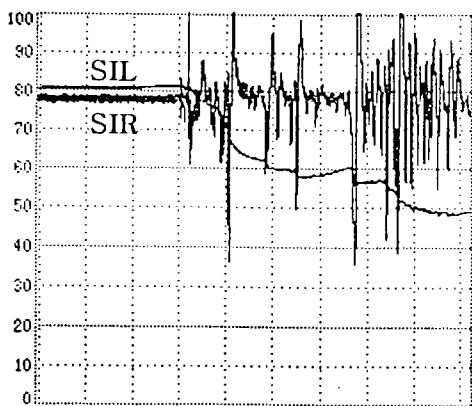
2.2 SIC 데이터의 분석

SIC 신호는 뇌파와 달리 수면단계 구분은 불가능하지만 각성, 졸림 및 수면 등의 과도기에는 특징적인 변화가 나타나므로 이를 이용하여 각성 수준을 평가하고 제어할 수 있는 방법을 연구하였다. 그림 2는 각성 수준이 변하는 경우에 본 연구에서 개발된 각성도 측정 시스템을 이용하여 피검자 K로부터 측정된 SIL과

SIR 신호의 전형적인 변화 모양을 나타낸다. 그림 2(a)에서 각성상태로 부터 의식 수준이 낮아짐에 따라서 SIR 간격(IRI)이 길어지다가 발현이 소실되고, SIL 수준은 서서히 증가함을 볼 수 있다. 한편 그림 2(b)의 수면상태에서 재각성 상태로 돌아오는 경우에는 이와 반대로 소실되었던 SIR은 급격히 나타나기 시작하고, SIL 수준도 급격히 감소하면서 정상적인 각성상태로 돌아옴을 알 수 있다. 그러나 SIR은 상당한 각성상태에서도 사람에게 따라서 나타나지 않는 경우도 있다.



(a) arousal->drowsy



(b) sleeping->rearousal

그림 2. 각성상태에 따른 전형적인 SIR과 SIL 파형의 변화.

Fig. 2. Typical SIR and SIL waveform in the transition of arousal state.

따라서 본 연구에서는 위의 두 가지 SIC 신호의 특징적인 변화를 이용하여 의식 수준 변화에 따른 각성

상태 데이터를 분석하고 평가하여 각성 상태 제어를 위한 각각의 지표를 구하였다. 측정된 SIC 값을 분석하여 평가 지표화하기 위하여 그림 2의 파형에서 피부 임피던스 수준인 SIL 값은 0점으로부터의 변화 값을 SIR 신호 발현시 마다 측정하고, SIR 발현 간격인 IRI 값은 인접 SIR 발현 신호간의 시간 간격을 측정된 값으로 하였다.

피검자의 각성수준 SIL은 피검자의 피부 상태(건조 또는 습윤)에 따라 큰 차이가 있으며, 동일한 피검자 일지라도 측정 초기의 의식수준에 따라서도 다르다. 따라서 각성도 신호를 측정하여 정량화된 각성도 제어 입력으로 사용하기 위해서는 평가지표가 일반화되어야 한다. 즉 개인차에 따른 차이를 없애고 SIL 평가지표의 일반화를 위하여 피검자에게 전극을 부착시킨 후 5분간의 안정화 시간을 둔후 3분간의 SIL 값을 측정하여 평균한 값을 가지 임피던스(basal impedance : BI)로 하고, 이후의 측정값을 BI로 정규화 시켜서 SIL 지표 N_z ($N_z = SIL/BI$)로 하였다. 지금까지 23세-43세 까지 6인의 피검자에 대하여 뇌파와 SIC를 동시에 측정하면서 수면 실험을 수행한 결과 표 1과 같이 의식레벨 변화에 따른 742개의 SIL 지표와 SIR 간격의 상관관계 분석을 통하여 의식레벨의 변화를 3 단계로 평가할 수 있음을 확인하였다 [10].

표 1. SIR 간격 및 SIL 지표에 따른 각성도 평가 기준(I)

Table 1. Arousal level criteria depending on SIR interval and SIL index (I)

각성수준	SIL index	SIR 간격
각 성	< 1.3	< 1분
졸 립	1.3 - 2.0	1.5분 - 3분
수 면	> 2.0	> 3분

3. 각성수준의 판정 및 제어

수면연구에 의한 데이터 분석결과로부터 표 1과 같이 각성수준과 SIC에 의한 생리지표간의 관계를 얻었으나 이를 그대로 제어입력으로 사용할 수는 없다. 왜냐하면 표1은 각성 수준을 단지 3단계로 구분하고 있으므로 이 기준에 의하여 피검자 H의 IRI와 N_z 데이터의 상관관계를 구해 보면 그림 3과 같다. 즉 표 1의 3 단계에 대한 평가 기준에 대하여 N_z 와 IRI의 두

조건에 대하여 논리적인 AND 연산을 하여 각성수준을 판정하고, 각각 각성(A), 졸림(D), 수면(S)라 하면 그림 3과 같이된다. 따라서 표 1의 조건에 따라서 분류된 수면 데이터 평면의 12개 영역중 3개 영역(1, 7, 12 영역)에 대한 각성 수준은 결정되나 나머지 9개 영역에 대해서는 각성수준의 평가를 할 수 없게되는 문제점이 있고, 특히 그 중 3개 영역(2, 6, 10)은 정의되지 않은 영역으로 남게되는 문제점이 있다. 한편 표 1의 두 조건을 논리적 OR 연산을 하여 각성수준을 평가하면 각성단계는 6개 영역(1-4, 5, 9), 졸림 단계는 6개 영역(3, 5-8, 11), 수면단계는 6개 영역(4, 8, 9-12)으로 되어 3, 5 영역은 각성과 졸림의 2 단계에 함께 속하게 되고, 8, 11 영역은 졸림과 수면 영역에 공통되며, 4, 9 영역은 각성과 수면의 2 가지 단계의 서로 상반된 경우로 함께 분류되는 문제점이 있다.

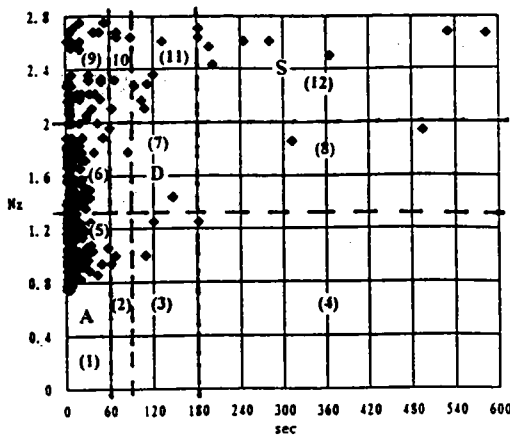


그림 3. SIL 지표와 SIR 발현간격 분포.
Fig. 3. Distribution of SIL and SIR interval.

이러한 문제점이 발생하는 원인 중의 하나(3, 5, 8, 11 영역의 발생)는 표 1에서 졸리는 단계는 하나로 구분되어 있으나 실제로는 우리가 졸린다고 한마디로 표현하는 각성수준도 조금 졸리는 단계에서부터 졸려서 못 견디는 단계까지 졸린 정도의 차이로 인한 언어의 애매성과 각성수준 변화의 연속성 때문이다. 또 다른 원인의(4, 9 영역 발생) 하나는 SIC 신호는 각성수준이 저하함에 따라서 SIR의 발현빈도가 저하하여 소실되며, SIL은 각성 수준 저하와 함께 증가한다. 그러나 SIR은 상당한 각성상태에서도 사람에 따라서 나타나지 않는 경우도 있으며, 깊은 수면 중에도 일시적으로 1-2

회의 발생되는 경우도 있기 때문이다. 또한 졸림상태로부터 재각성상태로 이행될 때와 각성상태로부터 졸림상태로 이행될 때에 발생하는 것으로 판단되나 이의 분류에 대해서는 추후 더 많은 실험을 통한 결과 분석이 필요하다.

따라서 안전사고 방지나 졸림 운전 방지 등을 위하여 실제로 각성도를 제어하기 위해서는 피검자가 수면 상태에 들어가기 전 의식저하의 초기 상태를 검출하여 각성도를 향상시키기 위한 방법을 강구하거나 경고 신호를 주어서 의식 수준을 향상 시켜야 하므로 졸리는 단계의 각성 수준에 대한 더욱 세밀한 평가 및 분류가 이루어 져야 한다.

이러한 문제점들을 보완하기 위하여 지금까지의 측정결과 데이터를 분석하여 표1의 3 단계 평가기준을 표 2와 같이 졸린 상태에서부터 수면까지의 각성 수준에 따라서 SIL 지표 Nz와 SIR 발현간격 IRI의 범위를 정의하여 16개 영역으로 세분화하여 의식 수준 변화에 따라서 9개 영역을 졸림 이상의 영역으로 결정하고, 표 2의 기준에 따라서 Nz와 IRI에 AND 연산을 적용한 제어규칙(I)에 따라서 각성도를 제어 할 수 있도록 하였다. 여기서 S(small), M(medium), B(big)는 각성도를 제어하기 위한 500, 1000, 3000Hz의 정현파 경고신호이다.

표 2. SIR 간격 및 SIL 지표에 따른 각성도 판정 기준(II).

Table 2. Arousal level criteria depending on SIR interval and SIL index (II).

		Nz(SIL/BI)		
		1.3 ≤ S < 1.6	1.6 ≤ M < 2.0	2.0 ≤ B
IRI sec	60 ≤ S < 90	Small	Small	Medium
	90 ≤ M < 120	Small	Medium	Medium
	120 ≤ B	Medium	Big	Big

< 제어규칙 I >

- L1 : IF 60 ≤ IRI < 90 AND 1.3 ≤ Nz < 1.6
THEN OUT=S
- L2 : IF 60 ≤ IRI < 90 AND 1.6 ≤ Nz < 2.0
THEN OUT=S
- L3 : IF 60 ≤ IRI < 90 AND 2.0 < Nz
THEN OUT=M
- L4 : IF 90 ≤ IRI < 120 AND 1.3 ≤ Nz < 1.6
THEN OUT=S

L5 : IF $90 \leq IRI < 120$ AND $1.6 \leq Nz < 2.0$
 THEN OUT=M
 L6 : IF $90 \leq IRI < 120$ AND $2.0 < Nz$
 THEN OUT=M
 L7 : IF $120 \leq IRI$ AND $1.3 \leq Nz < 1.6$
 THEN OUT=M
 L8 : IF $120 \leq IRI$ AND $1.6 \leq Nz < 2.0$
 THEN OUT=B
 L9 : IF $120 \leq IRI$ AND $2.0 \leq Nz$
 THEN OUT=B

경고신호는 Notebook PC에 내장된 소리카드를 이용하여 외부 스피커를 통하여 제어알고리즘에 따라서 피검자에 경고신호를 줄 수 있도록 하였다.

위의 제어규칙(I)을 적용하여 수면실험을 한 결과 수면 또는 심하게 졸리는 상태로 부터 경고신호에 의하여 재각성상태로 돌아오는 도중 또는 졸지 않기 위하여 피검자가 졸음과 싸우는 경우에는 IRI가 60초 미만이면서 Nz가 1.3 이상인 상태가 존재하게 되므로 이때에도 신속한 의식수준 회복을 위하여서는 적절한 경고신호를 줄 수 있어야 하나 위의 알고리즘에서는 이것이 불가능하였다. 즉 IRI가 60초 이하에서는 Nz 값의 고저 여부에 무관하게 각성상태로 인식하여 제어가 불가능하였다. 또한 각성 저하시 경고신호에 의하여 의식 수준이 향상되는 도중 완전히 정상상태로 회복되지 않았을 때의 IRI 값이 90 - 120초 사이에 분포하는 경우가 다수 발생되므로 IRI의 구분 범위도 조정하였다. 이러한 분석 결과를 고려하여 표 3과 같이 Nz, IRI에 대한 새로운 평가 기준을 설정하고, 이 기준에 따라서 논리 AND 연산을 적용한 제어규칙(II)에 의하여 각성도를 제어하였다. 또한 의식 수준이 저하되어 장기간 동안 SIR이 발현되지 않는 경우에 발생하는 각성수준 판정의 지연을 막기 위하여 매 10초마다 SIL 값을 읽어서 저장 및 제어하였다. 그림 4는 위의 제어알고리즘을 구현하는 각성도 측정 및 제어 시스템의 신호 흐름 선도이다.

4. 실험 및 결과 고찰

사진 1은 실험을 위해 구성된 휴대형 실시간 각성도 측정 및 제어 시스템을 이용한 실험 모습이다. 본 연구에서 제안된 각성도 자동 판정 및 제어 알고리즘의

표 3. SIR 간격 및 SIL 지표에 따른 각성도 판정 (평가) 기준(III).

Table 3. Arousal level criteria depending on SIR interval and SIL index (III).

		Nz(SIL/BI)		
		$1.2 \leq Nz < 1.5$	$1.5 \leq Nz < 2.0$	$2.0 \leq Nz$
IRI	S<60	Small	Small	Medium
	$60 \leq M < 90$	Small	Medium	Big
sec	$90 \leq B$	Medium	Big	Big

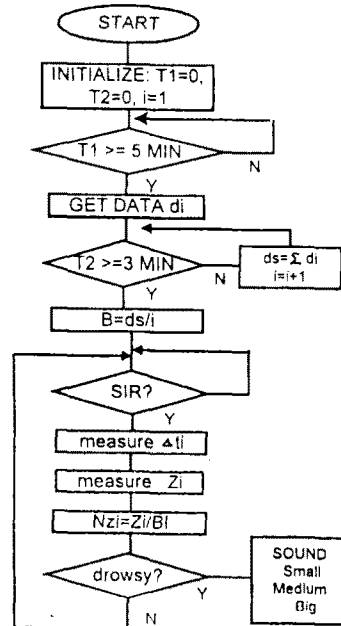


그림 4. 각성도 모니터링 및 제어 알고리즘의 흐름선도.
 Fig. 4. Flow chart of arousal monitoring and control algorithm.



사진 1. 실험장치의 setup.
 Photo 1. Experimental setup.

유용성을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험 프로토콜로 피검자의 각성도를 측정하고 판정된 각성 수준에 따라서 Notebook PC에 내장된 sound card를 이용하여 3 종류의 정현파 신호를 경고음으로 사용하여 각성도를 제어하였다. 경고신호는 $S=500\text{Hz}$, $M=1000\text{Hz}$, $B=3000\text{Hz}$ 의 정현파 신호를 경고음 발생시 마다 피검자로부터 1.5m 떨어진 스피커를 8초씩 울리도록 하였다.

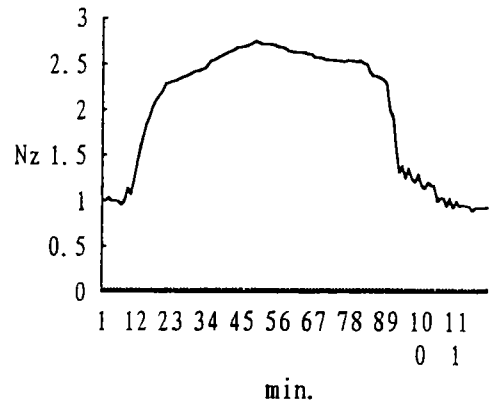
** TEST protocol

- 1). 최초 20분간 : 좌위(座位), 개안, 회화.
- 2). 좌위 -> 폐안 -> 안정 -> 수면(resting).
- 3). 수면 stage 4 이후 재각성 지시,
또는 경고신호에 의하여 정상 각성수준에 도달하도록 제어.
- 4). 좌위 -> 개안 -> 회화.

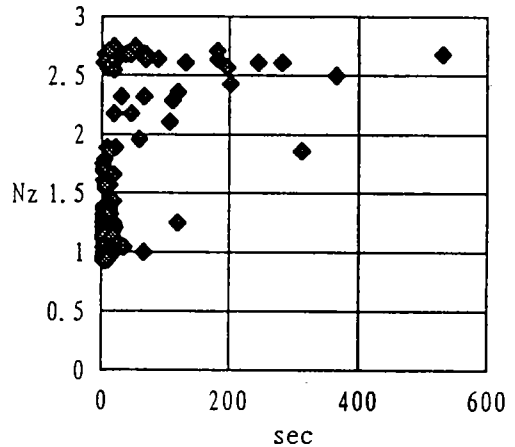
구성된 실험 시스템으로 위와 같은 프로토콜에 따라서 수면 실험을 행하면서 각성상태로부터 수면시 까지 또는 졸림을 거쳐 재각성 상태에 이르기까지 SIR 발현시 마다 인접 SIR 발현간의 간격 IRI와 SIL을 측정하고 Nz를 구하여 위의 각성도 자동 판정 및 제어 알고리즘(I), (II)에 따라서 경고 신호를 주면서 각성상태를 모니터링하고, SIL, Nz, IRI, 경고신호의 종류를 하드디스크에 저장하여 결과를 분석하고 제어할 수 있도록 하였다.

그림 5는 피검자 K에게 경보음을 주지 않으면서 위의 실험 프로토콜에 따라서 완전한 수면 단계에 들어간 후 자연스럽게 각성상태로 돌아온 경우의 결과 데이터이다.

그림 5(a)는 시간에 따른 Nz의 변화를 나타내며, 피부 임피던스 수준 Nz는 시작 후 12분 경부터 각성 수준 저하와 함께 급격히 증가하기 시작하여 수면 상태에 들어간 23분 경부터는 서서히 증가하여 50분경 최대치에 도달된 후 다시 감소하여 85분 경부터는 약 5분간 급격히 감소된 후 서서히 감소하여 정상 값으로 되돌아 왔으며 재각성기의 변화도 거의 없었다. 그러나 수면 도중 강제 각성시킨 경우에는 재각성 후 완전히 각성 상태로 돌아오기까지 피실험자와 대화하는 동안에도 의식 수준의 상승과 하강이 반복되므로 Nz의 변동이 심하였다. 이러한 회복기의 변동 현상은 얇은 수면을 취하는 경우에는 거의 나타나지 않거나 변동의 진폭도 감소하였으며, 이는 강제 각성시키지 않고 피검자



(a) Nz vs. time



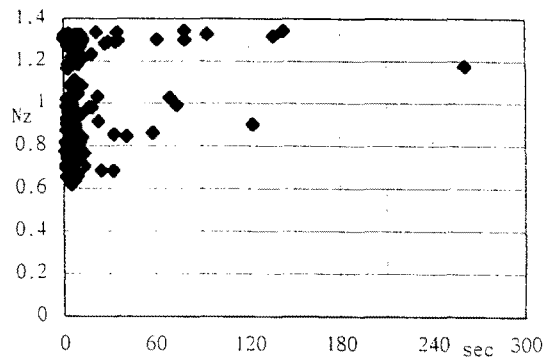
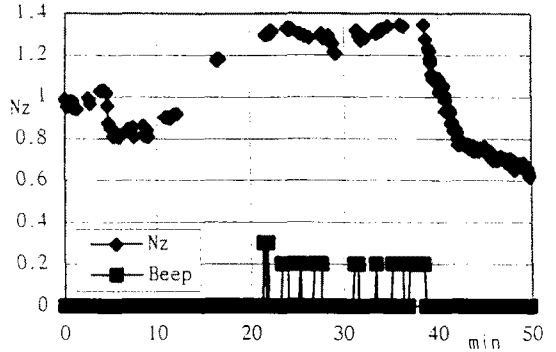
(b) Nz vs. IRI

그림 5. 실내 수면실험 결과(경고음 없음, 피검자 K).
Fig. 5. Results of sleep experiment at room(no warning signal, subject K).

스스로 자연스러운 재각성 상태로 돌아올 때의 신호패턴과의 비교 연구와 실험후 피검자에게 수면 중 외부 잡음의 인식 여부와 수면심도에 대한 질문을 통해서도 확인할 수 있었다[9]. 그림 5(b)는 실험기간중의 Nz와 IRI의 상관관계를 나타내는 분포도이다. 표 1에서 분류된 것과 같이 각성상태에 속하는 영역뿐만 아니라 수면상태에 속하는 영역에도 많은 데이터가 분포하고 있음을 볼 수 있으며, 깊은 수면으로 인하여 Nz도 높고 IRI도 3분 이상인 영역에도 많은 데이터가 분포

하고 있다. 또한 6인의 피검자에 대한 전체 SIR 발현 수와 각성 영역에 속하는 발현수의 비를 분석한 결과 깊은 수면을 취한 사람들의 약 44% 보다 얇은 수면을 취한 사람들이 65%로 높았다. 따라서 이 비가 낮을수록 깊은 수면을 취하였으며, 높을수록 얇은 수면을 취하였거나, 각성 상태를 장시간 유지하였다고 판단된다. 그러므로 앞으로 이를 이용한다면 각성도 향상 및 제어 위한 경보음 등의 각종 방법의 효과를 평가할 수 있음은 물론 수면의 양부를 판단하는 수면 연구 등에도 활용할 수 있으리라 기대 되며 이를 위해서는 더 많은 피검자에 대한 실험을 필요로 한다.

그림 6은 표 2의 평가 기준에 따라서 각성도를 평가하여 피검자에게 경보음을 준 경우의 결과이며 (a)의 위 그래프는 Nz , 아래는 경보음이 울린 순간을 나타낸다. 피검자는 경보음을 들을 때는 깨고자하는 의식을 갖도록 하였다. 그림 6(a)에서 Nz 의 변화상태에 따른 경보 유무 및 종류를 구분하기 위하여 각성도 판정결과 경보음이 S인 경우는 0.2, M인 경우는 0.3, B인 경우는 0.4로 표시하였다. 그림6(a)에서 실험 시작 후 22분 경부터 Nz 가 1.3을 초과하고 IRI가 120초 이상이므로 경보음 M이 출력되면서 소실되었던 SIR이 다시 수회 발현된 후 다시 소실되며 23분 경에 다시 경보신호(S)가 출력 된 후 Nz 의 증감과 IRI의 변화에 따라서 경보음이 출력되면서 SIL은 거의 일정 한 수준을 유지한 후 35분경 부터 집중적인 경보음에 의하여 피검자는 급속히 각성상태로 돌아오는 현상을 볼 수 있다. 또한 피검자의 각성을 향상시키기 위하여 경보음을 주었으므로 그림6(b)의 Nz 와 IRI의 상관관계 분포도는 앞의 그림 5(b)와는 큰 차이가 있음을 볼 수 있다. 즉 경보음이 없는 그림 5(b)의 경우는 $Nz < 1.3$ 이고 $IRI < 60$ 초인 각성 영역에 전체 SIR 발현수 268회의 약 46%가 분포하고 있으며 $Nz > 2.0$ 이고 $IRI > 3$ 분 이상인 영역에도 상당수가 분포하고 있는 데 반하여 경고신호에 의하여 각성 수준의 저하가 감소된 그림 6(b)에서는 Nz 가 1.3 이상이고 IRI가 60초 이상인 영역에 전체 발현수 171회의 약 61%가 집중적으로 분포하고 있으므로 경보신호가 없는 경우에 비하여 상당히 개선된 결과를 보여 주고 있다. 그러나 이 알고리즘에서는 졸림상태로부터 경고신호에 의하여 의식 수준이 향상되는 동안에 나타나는 현상 즉 평가지표 Nz 가 1.3 이상이고 IRI가 60초 미만인 인 경우에는 경고신호를 줄 수 없으므로 각성 수준의 신속한 회복이 지연되어 이 영역에도 데이터가 다수 분포하는 문제점이 있었다.



(b) Nz vs. IRI

그림 6. 실내 수면실험 결과 (경고음 발생, 제어규칙 (I), 피검자 K).

Fig. 6. Results of sleep experiment at room(with warning signal, control law (I), subject K).

그림 7 및 8은 표 2의 기준에 의한 문제점을 보완하여 IRI는 60초 이하이나 Nz 값이 큰 의식수준 회복기에도 경보음을 주어 각성수준 판정의 지연을 막고 신속한 의식 수준 회복을 촉진하기 위하여 매 10초마다 SIL 값을 읽어서 판정 및 제어할 수 있도록 표3과 같이 평가 기준을 보완하여 실험한 결과이다.

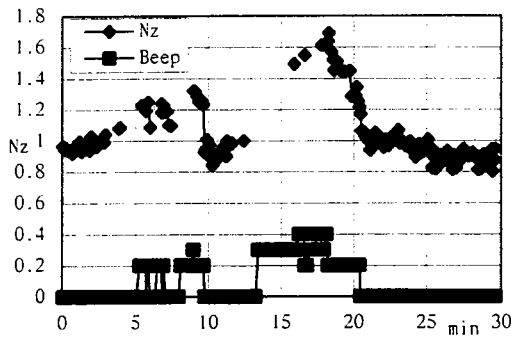
그림 7(a)에서 의식 수준 저하로 SIL 레벨이 증가하여 표 3의 기준에 합치됨에 따라서 경고음(S)이 발생하면 SIL 레벨은 다시 감소되며, 경고 음에도 불구하고 SIL의 증가가 계속되면 경고음 발생 빈도가 증가하고, 또한 경고음의 주파수도 증가하며, 의식수준이 향상되기 시작하여 SIL 레벨이 감소하면 IRI가 60초 이하일지라도 Nz 가 1.2로 이하 떨어질 때까지 계속 경

고음을 주어 의식수준 회복이 촉진되고 있음을 볼 수 있다. 그림의 중앙 부분에서 경고음 발생에도 불구하고 SIR의 발현이 소실되고 SIL 값이 계속적으로 증가하는 것은 경고음 효과와 경고음에 대한 피검자의 의식간의 관계를 알아보기 위하여 경고음이 들리는 경우에도 의식적으로 계속 잠들고자하는 의식을 갖도록 하였기 때문이라 판단된다. 또한 그림 6(b)와 7(b)의 분포도를 비교하면, 경고음에 의한 각성효과와 제어규칙의 변경에 의하여 Nz가 1.2 이하이고 IRI가 60초 이하인 각성영역의 SIR 발현은 61%에서 69%로 개선되었으며, Nz=1 부근에 집중적으로 분포하고 있었다.

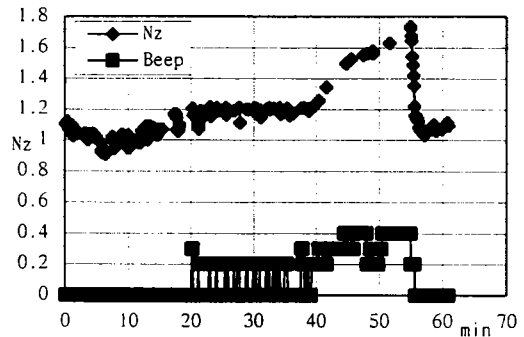
그림 8에는 그림 7의 실험 결과, 즉 각성도에 대한 경고음의 세기 차이에 따른 영향과, 피검자의 의도적인 의식 회복 거부로 인한 영향에 대한 실험 결과이다. 이

를 위해 경고음은 스피커 대신 헤드폰을 이용하여 피검자에게 직접 경고음을 가하였으며, 의도적인 의식 회복 거부중 소리의 세기를 변화 시켜 결과를 비교하였다. 피검자는 실험 시작시 상당히 졸린 상태에서 실험을 시작하였다.

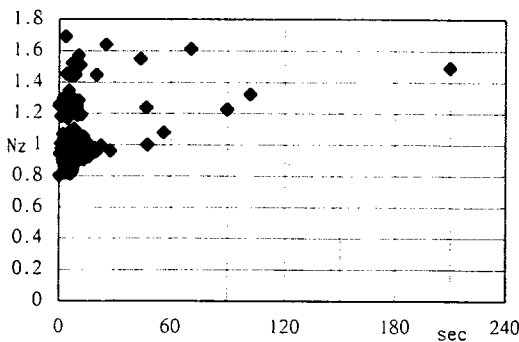
그림 8(a)에서 실험 시작 후 약 10분 경부터 의식수준이 저하하기 시작하여 20분 경 Nz가 1.2 이상이고 IRI가 90초 이상이 되어 크기 "M"의 첫 경보음이 발생된 후 Nz 값의 상승과 이에 따른 크기 "S"의 경보음의 발생으로 다시 의식 수준 상승으로 인한 Nz 값의 하강이 반복되면서 약 39분 경까지 Nz 값은 1.2의 거의 일정한 수준을 유지한다. 따라서 동일한 경보음이라도 이어폰 사용으로 인한 경보음이 큰 것이 효과적임을 나타낸다고 볼 수 있다. 또한 39분 후 부터는



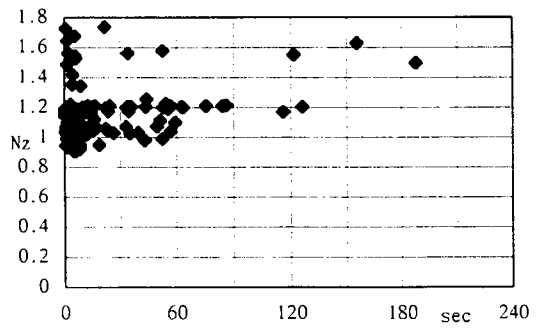
(a) Nz vs. time, warning signal



(a) Nz vs. time, warning signal



(b) Nz vs. IRI



(b) Nz vs. IRI

그림 7. 실내 수면실험 결과 (경고음 발생, 제어규칙 (II), 피검자 K).

Fig. 7. Results of sleep experiment at room(with warning signal, control law (II), subject K).

그림 8. 실내 수면실험 결과 (경고음 발생, 제어규칙 (II), 피검자 Y)

Fig. 8. Results of sleep experiment at room(with warning signal, control law (II), subject Y).

의도적으로 경보음을 무시하고 수면을 취하려고 하자 Nz는 증가하여 경보음은 크기 "S"에서 "M"으로 바뀌지만 큰 영향을 미치지 못하고, 다시 44분 경 경보음의 크기가 "B"으로 바뀔때 따라 Nz의 상승 경향은 둔화된다. 50분경 크기 "B"인 경보음의 크기를 60% 정도로 줄인 결과 Nz는 다시 가파르게 증가하는 현상을 보였다. 위 세 구간의 Nz의 기울기를 비교한 결과 각각 0.056, 0.022, 0.039 이었다. 55분 경 다시 경보음에 따라 의식 수준을 향상시키려 하자 Nz 값은 급격히 감소하여 약 2분 후 정상적인 값으로 돌아옴을 볼 수 있었다. 그림 8(b)의 분포도를 앞의 그림 6(b)와 비교하면 각성 영역에 속하는 SIR 발현 비율은 76.5%로 15% 이상 높았다. 따라서 각성 수준의 향상을 위해서는 경고 신호와 함께 피검자가 경고음을 듣고 각성수준을 향상 시키고자하는 의식도 큰 영향을 미치며, 효과적인 각성도 향상을 위하여 단일 주파수의 신호의 강약의 변화는 물론 다양한 소리 또는 매체에 의한 각성도 향상 방법이 연구되어야함을 알 수 있었다. 이에 대한 자세한 종합적인 데이터 분석 결과는 추후 발표할 예정이다.

5. 결 론

본 연구에서는 종합적인 휴대형 각성도 모니터를 구현하기 위한 중간 단계로서 피부임피던스 변화를 이용한 휴대형 각성도 측정 및 제어 시스템을 구성하고 지금까지의 실험결과 얻어진 각성도의 3단계 구분 지표를 바탕으로 이를 더욱 세분화하고 각성도를 자동적으로 평가 및 판단하여 3 종류의 경보신호로 각성도를 제어하는 알고리즘을 연구하여 이를 실시간으로 구현하고 평가하였다. 구현된 각성도 제어 시스템을 이용하여 각성도를 의식 저하의 초기 단계부터 검출하고 판정할 수 있었으며, 이를 근거로 6인의 피검자를 제어한 결과 경고 신호를 사용하지 않는 경우에 비하여 각성영역에 속하는 SIR의 발현 비율을 평균 12%이상 증가시킬 수 있었으며, 경고신호의 강약에 따른 각성도의 영향도 비교할 수 있었다. 따라서 앞으로 이를 이용한다면 각성도 향상 및 제어를 위한 경보음 등의 각종 방법의 효과를 평가할 수 있음은 물론 수면의 양부를 판단하는 수면 연구, 졸음운전 방지 시스템 등에도 활용할 수 있으리라 기대 된다. 그러나 피부의 기저 임피던스 수준을 결정하고 이를 이용하여 SIL 값을 정규화 함으로서 개인간의 차이로 인한 판정의 오류는

제거할 수 있었으나, 앞으로 동일한 피검자의 측정 초기의 의식 수준 차이에 따른 초기 기저 임피던스 추정 오차를 줄여서 SIL 평가 지표의 일반화를 위한 방법 및 제어알고리즘과 효과적인 각성도 향상을 위한 매체 및 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] A. J. R. Koumans, B. Tursky, and P. Solomon, "Electrodermal levels and fluctuations during normal sleep", *Psychophysiology*, vol. 5-3, pp. 300-306, 1968.
- [2] C. Lee, T. Katsuura, H. Harada, and Y. Kikuchi, "Inference of perceived fatigue with physiological indices using neural network", *The Japanese J. of Ergonomics*, vol. 31-4, pp. 277-285, 1995.
- [3] J. B. Riemersma, P. W. Biesta, and C. Wildervanck, "Fatigue and stress due to prolonged driving and changing task demands", *SAE-770134*, pp.542-557, 1978.
- [4] G. Kecklund, and T. Akerstedt, "Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving", *Ergonomics*, vol. 36-9, pp.1007-1017, 1993.
- [5] Y. Yamamoto, T.Yamamoto, "The characteristics of galvanic skin reflex in low awaked level and their application to measurement of sleep", *T. IEE Japan*, vol. 108 -c-7, pp. 457-463, 1988.
- [6] T. Kamei et al., "A new ambulatory arousal level monitor utilizing the skin potential level", *SAE SP-916*, pp. 53-61, 1992.
- [7] N. Galley, "The evaluation of the electrooculogram as a psychophysiological measuring instrument in the driver study of driver behaviour", *Ergonomics*, vol. 36-9, pp. 1063-1070, 1993.
- [8] T. Daimon et al., "Automatic detection of driver's eye motion using video image sequence analysis", *The Japanese J. of Ergonomics*, vol. 31-1, pp. 39-50, 1995.
- [9] 고한우, 이완규, 이건기, "피부임피던스 활동 변화에 의한 각성도의 측정(I)", *의용생체공학회 춘계 학술대회*, vol. 17-1, pp. 195-199, 1995.

- [10] 고한우, 이완규, "피부임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템", 센서학회지, vol. 4-3, pp. 30-36, 1995.
- [11] 고한우, 이완규, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(I) -생리신호 측정에 의한 측정 및 분석-" 자동차공학회 추계학술대회, vol. (I), pp. 474-480, 1995.
- [12] 이완규, 고한우, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(II) -눈감박임 속도의 검출-", 자동차공학회 추계학술대회, vol. (I), pp. 481-486, 1995.

著 者 紹 介

高 漢 雨

『센서학회지 제4권 제3호』 논문95-4-3-05, p.36 참조.

李 完 揆

『센서학회지 제4권 제3호』 논문95-4-3-05, p.36 참조.



金 淵 皓

1973년 3월 14일 생, 1996년 인제대학교 의용공학과 졸업(공학사), 1996년 3월 - 현재 충남대학교 대학원 전자공학과 석사과정, 1996년 3월 - 현재 한국표준과학연구원 연구생, 주관심 분야 : 생체계측 및 제어.