

각성도 제어를 위한 평가기준의 설정 및 경고음의 효과분석

고한우·김연호

= Abstract =

Evaluation of the Criteria for the Control of Arousal Level and Effect of Warning Signal

H. W. Ko, Y. H. Kim

This paper describes the development of portable arousal measurement and analysis system. Skin impedance change which responds to the change of arousal level was detected by the three electrode constant current method and separated into two components(SIR, SIL). Relationship between Nz, IRI and arousal level was studied and criteria of arousal level control was decided by the sleep study. Measured data with and without warning signal were compared and analyzed.

Key words : Arousal monitor, Skin impedance, Criteria of arousal level

서론

각성 수준이 저하됨에 따라서 인간은 졸림을 느끼게 되고 하품을 하거나 눈 깜박임의 빈도나 속도가 변하거나 운전자의 핸들 조작 등의 인간 행동에도 변화가 일어난다. 이와 동시에 본인도 모르는 사이에 뇌파, 피부임피던스, 심박동수 등의 생리신호도 변하게 된다. 이러한 각성도 변화는 피로, 스트레스, 수면, 학습능력, 안전운전 등과 밀접한 관련을 가지고 있다. 따라서 각성도 변화에 따른 인간의 심리적, 생리적 및 행동적인 변화를 정량적으로 측정 및 평가하여 인간이 생활을 통해서 필연적으로 발생하는 피로, 졸림 등을 완화 또는 향상시키거나 제어하기 위한 연구들이 활발히 이루어지고 있으나 아직까지 완전한 실용화에까지는 이르지 못하고 있다[1-4].

생리신호로부터 추출된 각성도 평가지표는 인간의 각성수준 변화에 민감하고 빠르게 반응하나 생리지표가 갖는 비선형성과 개인별 차이가 있으므로 평가 및 제어가 어렵고, 눈 깜박임 등의 행위신호로부터 추출된 지표는 무구속성에는 우수하나 각성도 변화에 따른 정도와 반응이 느린 문제가 있다.

저자들은 지금까지 위의 두 가지 신호가 갖는 상호 보완적인 성질을 이용하여 운전자의 각성상태를 보다 정확

히 측정하여, 이를 평가 및 제어할 수 있는 종합적인 각성도 모니터링 시스템 개발을 최종 목표로 하여 일련의 연구를 하여왔으며[5-9], 특히 생리지표로서는 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 구하고자 하였다. 그러나 일회의 수면 실험에 장시간이 소요되며, 다량의 데이터가 발생되므로 이의 수동적인 측정 및 분석이 어렵고 부정확한 문제점이 있었다. 또한 실외의 운전자, 근무자 등을 피검자로 하기 위해서는 측정 시스템의 소형화 및 휴대화가 필요하였다.

따라서 본 연구에서는 위의 문제점들을 해결하기 위하여 휴대형 각성도 측정 시스템을 구성하고 이를 이용하여 피검자의 각성도 변화에 따른 SIL과 SIR 신호를 측정 및 분석하여 각성도를 제어하기 위한 기준을 설정하고, 이 기준에 따라서 각성도를 평가하여 경고음을 줄수 있도록 하였으며, 이를 실제적인 각성도의 측정 및 제어에 적용하여 그 유용성을 확인하였다.

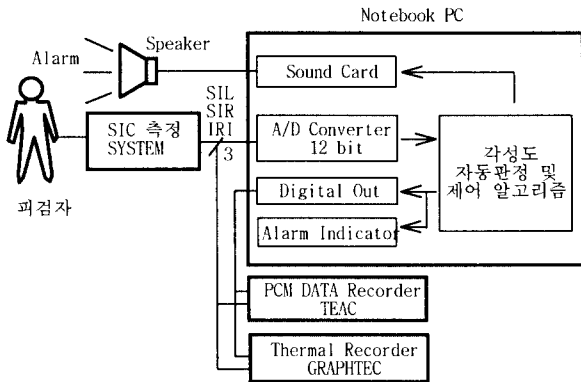


그림 1. 각성도 측정 및 분석 시스템의 블록선도
Fig. 1. Block diagram of arousal measurement and analysis system

피부 임피던스 측정 및 분석 시스템

1. 시스템의 구성 및 측정

SIC 신호는 $10\mu\text{A}$, 30Hz의 정전류를 통전하는 3 전극법을 이용하여 피검자의 손바닥으로부터 검출하였다. 검출된 SIC 신호는 각성도 모니터에서 증폭 및 신호 처리하여 피부임피던스 수준을 반영하는 느리게 변하는 DC 성분의 SIL과 자율 신경계에 지배되어 SIC의 일과성 변동을 나타내는 AC 성분의 SIR로 분리하였으며, SIR 신호를 구형파로 정형화시킨 IRI(Inter SIR Interval) 신호

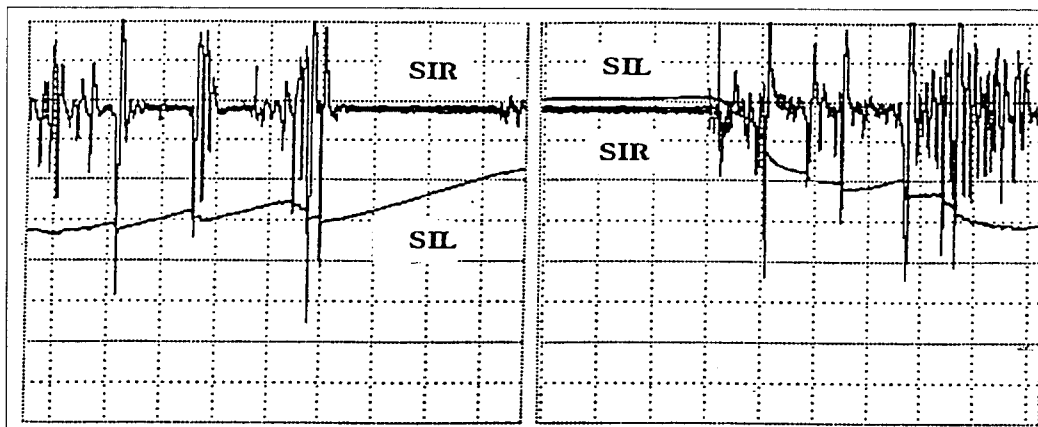
로부터 SIR 발현 간격을 측정할 수 있도록 하였다[5]. 그림 1은 본 연구에서 구성한 각성도 측정 및 분석 시스템의 블록선도이다.

또한 SIR 신호의 변동이 $1K\Omega$ 을 넘을 때 IRI의 구형파가 발생되도록 Schmit trigger 회로를 이용하여 비교기를 설계하였다. 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 획득 및 하드디스크에 ASCII 형식의 파일로 저장하고, 각성수준 변화와 두 측정 요소간의 상관관계를 마이크로 소프트웨어의 스프레드 시트인 Excel에서 분석할 수 있도록 하였다.

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 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 실험시 전극과 손바닥 접촉면의 간격과 길이를 고려하여 각각 9mm와 45mm로 하였다.

2. 측정 데이터의 분석 방법

그림 2는 각성 수준이 변하는 경우에 본 연구에서 개발된 각성도 측정 시스템을 이용하여 피검자 K로부터 측정된 SIL과 SIR 신호의 전형적인 변화 모양을 나타낸다. SIC 신호는 각성도가 현저히 변하는 과도기에는 그림 2와 같은 특징적인 변화가 나타난다. 즉 그림 2(a)와 같



(a) arousal->drowsy

(b) sleeping->rearousal

그림 2. 각성상태에 따른 전형적인 SIR과 SIL 파형의 변화
Fig. 2. Typical SIR and SIL waveforms in the transition of arousal state

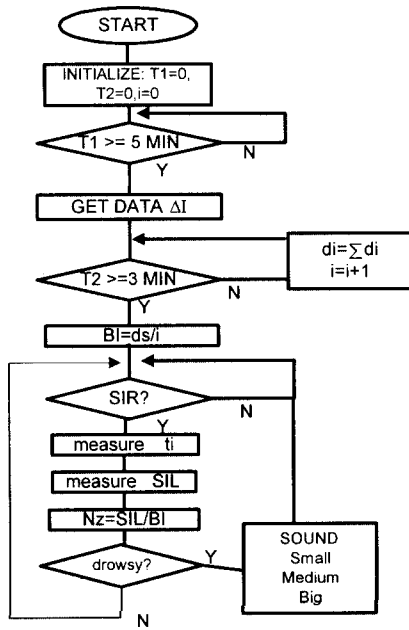


그림 3. 각성도 측정 및 분석과 제어 시스템 흐름선도
 Fig. 3. Flow chart of arousal monitoring and control software

이 각성 수준이 각성상태로 부터 수면 상태로 이행될 때에는 SIR 간격 IRI가 길어지다가 발현이 소실되고, SIL 수준은 서서히 증가함을 볼 수 있다. 한편 그림 2(b)와 같이 수면상태에서 재각성 상태로 이행될 때에는 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.

따라서 본 연구에서는 위의 두 가지 SIC 신호의 특징적인 변화를 이용하여 각성 수준과 SIC 데이터간의 상관관계를 측정 및 분석할 수 있도록 하였다. 측정된 SIC 값으로부터 각성수준과의 상관관계를 구하기 위하여 그림 2(a)와 같이, 피부임피던스 수준인 SIL 값은 SIR 신호 발현시 마다 기준선으로 부터의 변화 값을 측정하고, SIR 발현 간격인 IRI 값은 인접 SIR 발현 신호간의 시간 간격을 측정한 값으로 하였다. 또한 각성 수준이 저하되어 장기간 동안 SIR이 발현되지 않는 경우에도 SIL 신호의 변화를 지속적으로 모니터링 할 수 있도록 매 10초마다 SIL 값을 획득하여 하드디스크에 저장하였다. 그림 3은 SIC 데이터를 획득하여 분석하기 위한 시스템의 흐름선도이다.

피검자의 임피던스수준 SIL은 피검자의 피부 상태(건조 또는 습윤)에 따라 큰 차이가 있으므로 개인간의 차이를 없애고 SIL 평가지표의 일반화를 위하여 피검자에게 전극을 부착시킨 후 5분간의 안정화 시간을 둔후 3분간

표 1. SIR 간격 및 SIL 지표에 따른 각성도 평가 기준(I)
 Table 1. Arousal level criteria depending on IRI and Nz (I)

각성수준	Nz	IRI
각 성	< 1.3	< 1분
졸 립	1.3-2.0	1.5분-3분
수 면	> 2.0	> 3분

의 SIL 값을 측정하여 평균한 값을 기준 임피던스(basal impedance : BI)로 하고, 이후의 측정값을 BI로 정규화 시켜서 SIL 지표 $Nz(Nz=SIL/BI)$ 로 하였다. 지금까지 23세-43세 까지 6인의 피검자에 대하여 뇌파와 SIC를 동시에 측정하면서 수면 실험을 수행한 결과 표 1과 같이 각성수준 변화에 따른 742개의 SIL 지표와 SIR 간격의 상관관계 분석을 통하여 각성수준의 변화를 3 단계로 평가할 수 있음을 확인하였다[6].

수면연구에 의한 데이터 분석결과로 부터 표 1과 같이 각성수준과 SIC에 의한 생리지표간의 관계를 얻었으나 표1은 각성 수준을 단지 3단계로 구분하고 있으므로 안전사고 방지 등을 위해서는 각성상태에서 부터 졸림 상태 사이가 더욱 세분화되어야 한다. 왜냐하면 안전사고 방지, 특히 졸림운전 방자 등을 위하여 실제로 각성도를 제어하기 위해서는 피검자가 수면 상태에 들어가기 전, 각성도 저하의 초기 상태를 검출하여 각성도를 향상시키기 위한 방법을 강구하거나 경고 신호를 주어서 각성수준을 향상 시켜야 하므로 졸리는 단계의 각성수준에 대한 더욱 세밀한 평가 및 분류가 이루어 져야 한다.

표 1의 각성상태 변화에 따른 IRI와 Nz 데이터의 상관관계를 구해보면 그림 4와 같다. 즉 표 1의 3 단계에 대한 평가 기준에 대하여 Nz와 IRI의 두 조건에 대하여 논리적인 AND 연산을 하여 각성수준을 판정하면, 그림 4에서 각성영역은 영역1, 졸림 영역은 영역7, 수면영역은 영역12와 같이된 다. 따라서 표 1의 조건에 따라서 분류된 수면 데이터 평면의 12개 영역중 위의 3개 영역에 대한 각성수준은 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, 그림 4에서 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 2가지 단계의 서로 다른 각성수준에 공통적으로 소속되는 문제점이 있다.

이러한 문제점이 발생하는 원인 중의 하나(3, 5, 8, 11

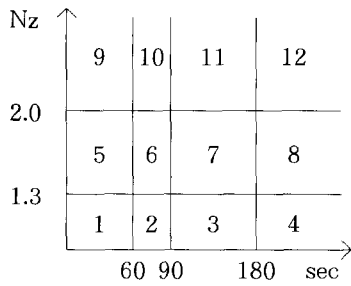


그림 4. Nz-IRI 평면상의 각성 영역도
Fig. 4. Area map of arousal state on the Nz-IRI plane

영역의 발생)는 표 1에서 줄리는 단계는 하나로 구분되어 있으나 실제로는 우리가 졸린다고 한마디로 표현하는 각성수준도 조금 줄리는 단계에서부터 줄려서 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 각성수준 저하와 함께 증가한다. 그러나 SIR은 상당한 각성상태에서도 사람에게 따라서 나타나지 않는 경우도 있으며, 깊은 수면 중에도 일시적으로 다수가 발생하는 경우도 있기 때문이다. 또한 졸림 상태로 부터 재각성상태로 이행될 때와 각성상태로 부터 졸림 상태로 이행될 때에 발생하는 것으로 판단되므로 이에 대한 결과 분석도 하였으며, 이를 근거로 줄리는 초기 단계의 검출 및 제어를 위한 새로운 각성도 판정 기준을 설정하고 3 종류의 경고음을 주고 그 결과를 측정하여 평가하였다.

실험 및 결과 고찰

사진 1은 실험을 위해 구성된 휴대형 실시간 각성도 측정 및 분석 시스템을 나타낸다.

본 연구에서 구성된 휴대형 각성도 측정 및 분석 시스

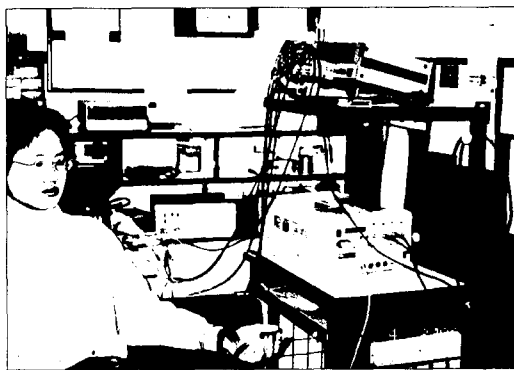


사진 1. 실험장치의 setup
Photo. 1. Experimental setup

템의 유용성을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험 프로토콜로 4인의 피검자의(23세-43세, 남성) 각성도를 측정하고 그 결과를 분석하였다.

** Test protocol

- 1) 최초 20분간 : 좌위(座位), 개안, 대화.
- 2) 좌위 → 폐안 → 안정 → 수면.
- 3) 수면 stage 4 이후 재각성 지시, 또는 자연스러운 각성상태 회복.
- 4) 좌위 → 개안 → 대화.

구성된 실험 시스템으로 위와 같은 프로토콜에 따라서 수면 실험을 행하면서 각성상태로 부터 수면시 까지 또는 졸림을 거쳐 재각성 상태에 이르기까지 SIR 발현시 마다 인접 SIR 발현간의 간격 IRI와 SIL을 측정하고 Nz를 구하여 각성 단계별로 그림5와 같이 Nz-IRI 평면의 각 영역별로 나누어서 측정 데이터와 각성상태의 상관관계를 분석하였다.

그림 5는 4인의 피검자로 얻은 총 945개의 Nz-IRI 데이터 쌍을 표 1의 Nz값을 기준으로 각성, 졸림, 수면으로 나누고, 수면후 재각성시 까지를 재각성 중, 및 재각성 후의 두 영역으로 나누어서 분류한 데이터의 분포도이다.

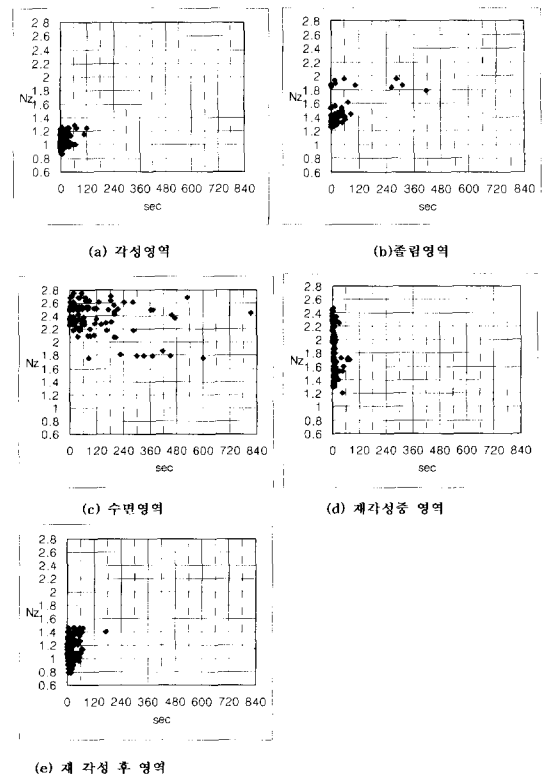


그림 5. 각성 단계에 따른 영역별 Nz와 IRI의 상관 분포도
Fig. 5. Distribution map of Nz-IRI depending on arousal state area(no warning)

재각성중 기간은 수면상태로 부터 각성상태로 돌아올 때 Nz 값이 최초로 1.3 이하로 감소하는 시점까지이며, 재각성 후 기간은 Nz 값이 최초 1.3으로 감소된 이후 정상 각성시 까지의 기간으로 하였다. 그림 5의 (a), (b), (c), (d), (e)는 각각 각성, 졸림, 수면, 재각성 중 및 재 각성 후의 각 영역별 Nz와 IRI의 상관관계를 나타낸다. 그림 4의 각성 영역도와 표 1의 기준 및 그림5의 데이터간의 관계를 정리하면, 각성영역은 그림 4의 영역 1-4, 졸림영역은 1 영역 일부와 5-8 영역, 수면영역은 5-8 영역의 일부 및 9-12 영역, 재각성중 영역은 1, 5, 6, 9, 10 영역의 일부, 재각성후 영역은 1, 2 영역의 일부와 5, 6, 7 영역이다.

그림 5(a)에서는 각성상태 영역임에도 불구하고 1분 이상인 IRI가 발현하고 있으며, 이는 앞의 그림 4의 영역 2 및 3에 해당된다. 그림 5(b)와 5(c)의 졸림과 수면영역데이터는 그림 4의 5-8 영역에 함께 분포하고 있으며, 수면 중에도 많은 SIR이 발현하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 5(d)의 재각성중인 영역에서는 1, 5, 6 영역에 해당하는 데이터가 혼재하고 있다. 이는 수면 상태에서 재각성 상태로 돌아오는 동안에는 Nz는 높으나 IRI가 짧은 신호가 발생되기 때문이다. 그림 5(e)의 재각성 후 영역에서는 각성수준이 한 번에 수면 상태에서부터 완전한 각성상태로 돌아오지 못하고 의식의 저하와 상승이 반복되면서 각성상태로 돌아오기 때문에 5, 6, 7 영역의 데이터가 함께 나타나는 것으로 판단된다.

따라서 지금까지의 실험결과로 부터 표 1의 각성단계 평가기준은 안전사고 방지 등을 위한 각성도 제어를 위한 기준으로는 미흡하므로 이를 다음 표 2와 같이 각성과 졸림 영역 사이의 비 정의 영역을 포함하여 세분하고, 안전을 위해서는 가능한 각성수준 저하의 초기상태를 검출하여 제어하여야 하므로 앞의 그림 4의 12영역 중 1-4 영역의 아래부분을 제외한 9개의 영역을 졸림 이상의 영역으로 분류하여, 졸림 초기 및 중기 영역에 해당하는 그림 4의 5-8 영역을 Nz 축을 기준으로 둘로 나누어 졸림 초기상태를 검출할 수 있도록 Nz와 IRI 값의 범위를 조정하였다. 즉 표 1의 졸림 판정의 SIL 지표 범위(1.3-2.0)를 둘로 나누어 각성과 졸림 간의 중간 의식수준에 해당하는 부분을 조기에 검출할 수 있도록 하한 값은 1.3에서 1.2로, 상한 값은 2.0에서 1.5로 변경하고, 그 다음 수준의 SIL 지표 범위를 1.5-2.0으로 하였다. 또한 SIR 발현간격은 졸림 초기는 60초 이하, 중기는 60-90초, 말기 및 그 이상 수면 단계까지는 90초 이상으로 변경하여 그림 4의 영역기준과 위의 의식수준에 따른 영역분류로 부터 판정 영역 및 기준을 정한 것이 그림 6 및 표 2이다.

한편 졸림 판정의 두 파라미터 Nz와 IRI의 상관관계로 부터 졸리는 정도를 3단계로 분류하여 이 기준을 기초로

하여 그림 3과 같이 각성도를 자동적으로 판정 및 경고음을 주면서 데이터를 획득하여 결과를 분석하였다. 표 2 및 그림 6에서 S(small), M(medium), B(Big)는 졸리는 정도에 따라서 각성도를 제어하기 위한 500, 1000, 3000Hz의 정현파 경고신호이다. 경고신호는 notebook PC에 내장된 소리카드를 이용하여 외부 스피커를 통하여 각성도 판정 결과에 따라서 경고신호를 줄 수 있도록 하였다.

표2의 제어기준을 적용한 각성도 제어결과가 Nz-IRI의 상관 분포도에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 실시간으로 각성도를 측정 및 판정하여 경고음을 주면서 측정된 데이터를 분석하였다.

그림7은 표2의 기준을 적용한 5인의 각성도 제어결과

표 2. 각성도 제어 기준

Table 2. Criteria of arousal level control

IRI	Nz	Nz(SIL/BI)		
		$1.2 \leq Nz < 1.5$	$1.5 \leq Nz < 2.0$	$2.0 \leq Nz$
$IRI < 60$		small	small	medium
$60 \leq IRI < 90$		small	medium	big
$90 \leq IRI$		medium	big	big

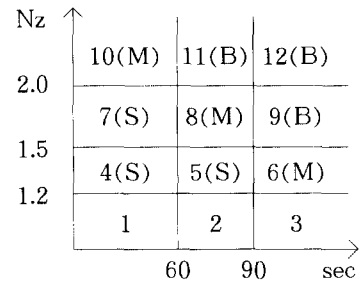


그림 6. 새로운 Nz-IRI 평면상의 각성 영역도

Fig. 6. New area map of arousal state on the Nz-IRI plane

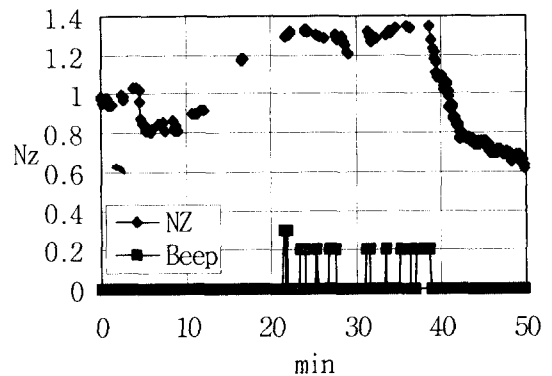


그림 7. 각성도 측정 및 제어결과

Fig. 7. Results of arousal measurement and control

중 피검자 Y의 측정 데이터를 기록한 것이며, 그림 8은 그림 7의 데이터를 각성 단계별로 분석한 것이다. 그림 8(a)는 실험초기의 각성상태의 데이터이며, 8(b)는 각성상태로부터 졸리는 상태로 이행되어 표2의 기준에 따른 경고신호 발생중의 데이터를, 8(c)는 경고음에 의한 재각성중인 동안(경고음 없음)의 데이터를, 8(d)는 재각성후의 데이터를 나타낸다. 그림 7에서 발생된 경고음(Beep)의 종류, 즉 경고음 S, M, B은 그래프상에서 수직축의 크기를 각각 0.1, 0.2, 0.3으로 구분하였다.

그림 8과 그림 5를 비교해 보면, 경보음에 의한 각성도 제어에 의하여 그림 8(a)의 각성상태에서는 Nz 값은 모두 1.2 이하이며, 그림 8(b)의 졸리는 기간 중에도 비록 IRI의 간격은 2분 이상인 경우도 있으나 Nz 값은 모두 1.3이하를 유지하면서 IRI 값도 모두 150초 이내의 각성상태가 높은 범위(그림 4의 영역 1-3)에 분포하고 있다. 그러나 경고음을 주지 않는 그림5(b) 경우는 각성도의 저하로 Nz와 IRI가 넓은 범위(그림4의 영역 1-8)에 분포하고 있으며 둘 사이의 현저한 차이를 나타내고 있다. 또한 그림 8(c), 8(d)와 그림 5(d), 5(e)를 비교해보아도 동일한 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 나머지 피검자에 대해서도 동일하였다. 따라서 설정된 각성도 판정 기준이 각성도의 향상에 효과적임을 알 수 있었다.

결 론

각성도 측정을 위한 데이터의 효과적인 수집 및 분석용 휴대형 각성도 측정 및 분석 시스템을 개발하고 실험을

통하여 이 시스템의 유용성을 확인하였으며, 이를 이용하여 각성도 평가 및 제어를 위한 기준을 설정하였다. 이 기준을 적용하여 각성도를 자동적으로 판단하여 경고음을 준 결과 각성도의 유지 및 향상에 유효함을 확인하였다. 그러나 피검자에 따라서는 졸리는 초기에 Nz는 1.2 이하이나 IRI가 90초 이상인 경우(앞의 그림6의 3영역에서 데이터가 발생)가 있으므로 이러한 경우를 고려하고 추가적인 실험을 통하여 각성도 판단기준을 재설정 또는 변경하여야할 것으로 판단되며, 이에 대한 실험은 현재 수행 중에 있다.

앞으로 본 연구에서 개발된 시스템과 기준을 이용하여 각성도의 자동 판정과 제어 방법 및 각성상태를 향상 및 유지 시키기 위한 효과적인 방법 등의 연구에 활용할 계획이며, 수면심도 연구, 피로나 스트레스 등의 연구에도 활용할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. 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, no. 4, pp. 277-285, 1995.
2. 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, no. c-7, pp. 457-463, 1988.
3. S. Kodama, et al., "A new ambulatory arousal level monitor utilizing the skin potential level", SAE SP-916, pp.53-61, 1992.
4. 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.
5. 고향우, 이완규, 이진기, "피부임피던스 활동 변화에 의한 각성도의 측정(I)", 의용생체공학회 춘계학술대회, vol. 17, no. 1, pp. 195-199, 1995.
6. 고향우, 이완규, "피부임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템", 센서학회지, vol. 4, no. 3, pp. 30-36, 1995.
7. 고향우, 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.
8. 이완규, 고향우, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(II)-눈깜박임 속도의 검출-", 자동차공학회 추계학술대회, vol. (I), pp. 481-486,

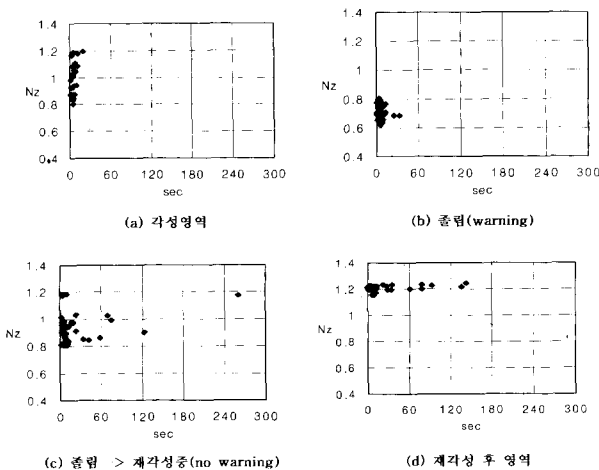


그림 8. 경고음을 준 경우의 각성 단계에 따른 영역별 Nz, IRI의 분포도
 Fig. 8. Distribution area map of Nz-IRI depending on arousal state(warning sound)

1995.
9. 고한우, 이완규, 김철중, 이진기, “휴대형 각성도 측

정 및 분석 시스템”, 대한 의용생체공학회 춘계학술
대회 논문집, vol. 18, no. 1, pp. 60-64,1996.

=국문초록=

본 연구에서는 각성도의 실외측정 및 데이터 분석시의 문제점을 해결하기 위하여 시스템을 소형화 시키고, 측정 데이터의 분석을 자동화시킨 휴대형 각성도 측정 시스템을 구성하였다. 측정 데이터를 분석하여 Nz와 IRI의 관계로부터 각성도 저하시 경고음을 주어 각성도를 제어할 수 있는 평가기준을 설정하고, 이를 실시간 각성도 측정에 적용하여 경고음의 유무에 따른 측정 데이터를 비교 분석하였다.