

각성상태에 따른 생리신호와 반응시간 및 눈깜박임의 상관관계(I)

고 한 우, 김 연 호

한국표준과학연구원

Relationship between biosignal, reaction time, and eye blink depending on arousal level(I)

H. W. Ko, Y. H. Kim

Korea Research Institute of Standards and Science

ABSTRACT

This paper describes the relationship among physiological, behavioral signal, and subjective evaluation depending on arousal level. Nz and reaction time had similar pattern with KSS level, but eyeblink rate was different from these two parameters. Eyeblink rate increased slowly from KSS level 1 to 5, and had high increasing rate at KSS 7. But it showed steep descent at KSS level 9. From the result of reaction time test, since human performance was decreased rapidly above the KSS level 5, it is desirable to give a subject some stimulus such as sound or aroma to rise arousal level above the KSS level 3.

1. 서 론

과학기술의 발달은 생활을 편리하게 만들어 주었으나 편리하고 안락함으로 인한 저각성상태 유발로 안전사고를 일으키는 요인이 되기도 한다[1-4]. 각성도 측정 방법에는 주관적 방법과 객관적 방법이 있다[4-8]. 저자들은 피부전기활동을 이용한 무구속적이고 간편한 각성도 측정 시스템을 개발하여 피부임피던스 변화 신호중 피부임피던스반사(Skin Impedance Response: SIR)와 피부임피던스수준(Skin Impedance Level: SIL)을 측정하여 정량적인 각성단계 평가지표를 결정하였으며[5-8], 초기 각성수준 저하로 인한 평가지표의 보상방법을 연구하였다[9]. 또한 주관적인 의식수준평가법인 KSS(Karolinska Sleepiness Scale)측도 및 작업반응시간과의 상관관계를 측정하여 human performance 관련 한계치를 측정하였다[10]. 이러한 생리신호를 이용한 각성도 측정방법은 심리적 상태에 민감하고 빠르게 반응하는 반면에 구속성이 있는 단점을 가지므로 실차에서 각성도 측정시 잦은 핸들조작이나 전극의 집적불량으로 부정확한 판정결과를 가져올 수 있다. 이러한 단점은 무구속성의 장점을 갖는 행위신호를 이용하여 상호보완할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 먼저 각성상태에 대한 행위신호인 눈깜박임 빈도의 경향분석을 하였고 정량적 분석을 실현하기 위하여 각각의 각성상태에 대한 눈깜박임의 빈도율을 결정하였으며 이때의 생리신호와 human performance와의 상관관계도 비교 분석하였다.

2. 측정 시스템 구성 및 실험방법

본 연구에서는 교류 통전법에 의한 피부임피던스 변화를 측정하여 각성도를 평가하였고 그림 1은 각성도 측정 및 제어 시스템이다. SIC는 10 μ A, 30Hz의 정전류를 피검자의 손바닥에 통전하는 2극법을 이용하여 은전극으로 검출하였고 이 신호는 피부임피던스 수준을 반영하는 느리게 변하는 신호인 SIL과 자율 신경계에 지배되어 빠르게 변하는 SIR 신호로 분리하였으며, SIR 신호를 구형파로 정형화시킨 신호로부터 SIR 발현 간격(Inter SIR Interval: IRI)을 측정할 수 있도록 하였다[1-3].

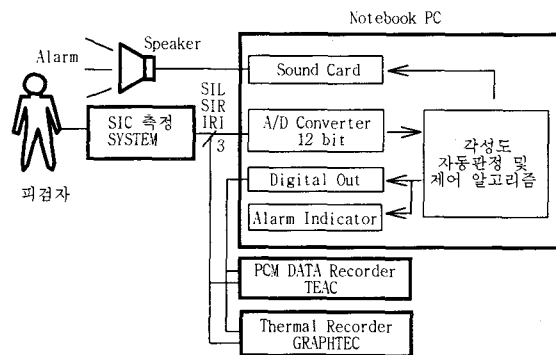


그림 1. 각성도 측정 및 제어 system block 선도.
Fig. 1. Block diagram of arousal measurement and control system.

각성도 측정 방법은 전극을 부착 시킨 후 5분간의 안정화 시간을 둔 후 3분간의 SIL 값을 측정하여 평균한 값을 기준 임피던스(basal

Impedance: BI)로 하고, 이후의 측정값을 BI로 정규화 시켜서 SIL지표 $Nz(Nz=SIL/BI)$ 로 하였다. 30인의 피검자(23세-43세)에 대하여 뇌파와 SIC를 동시에 측정하면서 수면실험을 수행한 결과로 IRI와 Nz를 이용한 3단계의 각성도 평가지표를 얻을 수 있었으나 안전을 위해서는 가능한 각성수준 이하의 초기상태를 검출하여 제어하여야 하므로 표 1과 같이 각성과 졸림 영역 사이를 세분화 하였다 [3].

표 1. SIR 간격 및 SIL 지표에 따른 각성도 평가 및 제어 기준.

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

Nz \ IRI(sec)	$1.2 \leq Nz < 1.5$	$1.5 \leq Nz < 2.0$	$2.0 \leq Nz$
$IRI < 60$	Small	Small	Medium
$60 \leq IRI < 90$	Small	Medium	Big
$90 \leq IRI$	Medium	Big	Big

표 1은 실험 초기의 피검자의 각성수준이 정상적인 상태를 기준으로 한 것이며 Small은 졸림초기, Medium은 졸림, Big은 매우 졸린 상태를 나타낸다[5-8].

피부전기활동, 작업반응시간 및 눈깜박임 횟수간의 상관관계를 알아보기 위하여 6명의 피검자(남: 21-25세)를 대상으로 실험하였으며, 실험 시간은 30분 내외로 하되 각성상태에서 시작하여 수면직전 상태까지 도달한 후 재각성상태로 되는 것을 기본으로 하였다.

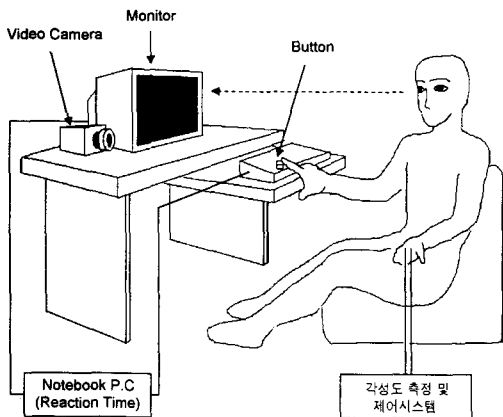


그림 2. 실험 구성도.
Fig. 2. Experimental set up.

그림 2는 실험 시스템 구성도로 각성상태에 따른 1분간의 눈깜박임수(eye blink rate : EBR)와 작업반응 시간 및 생리신호 측정 데이터를 동시에 측정할 수 있도록 구성하였다. 작업반응 시간은 실험전에 피검자에게 0부터 9까지의 숫자 중 자신이 원하는 두 숫자를 선택하도록 한 후 Notebook P.C.로부터 발생된 8개의 random

number를 3초간 monitor에 제시하되 monitor에 제시된 8개의 숫자중 자신이 선택한 두 숫자가 동시에 포함되어 있을 경우 가능한 신속히 button을 누르도록 하였고 이때 숫자가 제시된 시간부터 button을 누를 때까지의 시간을 반응시간 (Reaction Time: RT)이라 하였다. 또한 선택한 두 숫자가 나오지 않았을 경우에 button을 누르게 되면 false data로, 선택한 두 숫자가 포함된 random number가 제시되었을 때 반응하지 못하였을 경우 miss data로 처리 하였다. 눈깜박임은 video camera를 피검자의 눈과 정면에 위치하도록 하여 실험중 피검자의 눈깜박임횟수를 측정할 수 있도록 하여 1분당 깜박임 횟수를 기록하였다. 생리신호는 이미 개발된 각성도 측정 및 제어 시스템을 이용하여 Nz와 IRI 데이터를 notebook P.C.에 저장 하도록 하였고 주관적 평가는 저각성 영역이 3단계(맑음, 졸림, 아주졸림)로 나누었던 Karolinska의 KSS level은 저각성영역에 관하여 자세히 평가할 수 없으므로 본 연구에서는 표 2의 KSS level처럼 5단계로 재 정의하여 실험기간중 이를 기준으로 평가하여 기록하였다[9].

표 2. 주관적상태 - KSS 측도.

Table 2. Subjective state - KSS level.

피검자 상태	KSS
정상상태 (정신이 맑다)	1
머리가 맑지도 졸리지도 않은 상태 (약간 피로하다)	3
졸린 상태	5
많이 피로하고 졸리며 하품이 빈번하고 눈꺼풀이 무거움	7
수면 직전의 상태로 졸림과 수면이 반복되는 상태	9

3. 결과 고찰.

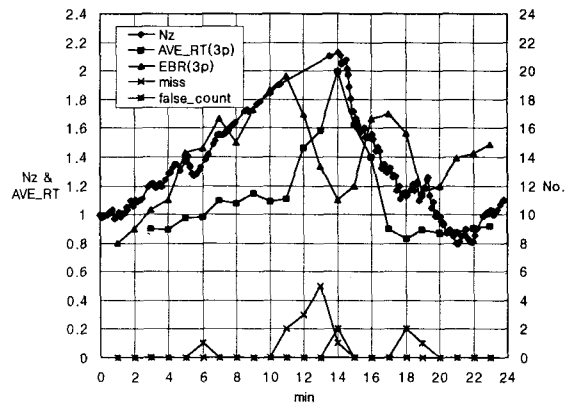


그림 3. Nz와 RT 및 EBR과의 관계(피검자:A).
Fig. 3. Relationship among Nz, RT and EBR.(subject:A).

그림 3은 피검자 A가 각성에서 졸림, 수면 직전, 제각성, 정상상태의 5단계의 각성 변화 동안의 결과로서 시간 축을 기준으로 피부전기활동과 1분당 반응시간 평균값과 1분당 눈깜박임수 (EBR) 및 miss, false 횟수를 나타낸 것이다. 왼쪽 종축은 Nz와 평균 반응시간, 오른쪽 종축은 눈깜박임수 및 miss 와 false 수를 나타낸다. 피검자 A는 KSS 1인 상태에서 실험을 시작하여 2분 20초 경에는 KSS 3, 4분 50초경에는 KSS 5, 7분 30초에서 10분 경에는 KSS 7, 11분 경에서부터 14분 20초경까지는 KSS 9, 16분 20초경에는 KSS 5, 18분 경에는 KSS 3, 20분에서 실험 종료까지는 KSS 1로 실험을 마쳤고 전체적인 경향을 보면 KSS level이 증가 할수록 Nz값과 반응시간이 증가되고 false와 miss의 갯수도 함께 증가하며 특히 false는 KSS 5영역 및 KSS 3영역에서도 발생하나 miss는 KSS 7과 9영역에 밀집되어 나타났다. 눈깜박임횟수는 각성이 저하될수록 증가하다가 KSS 7인 9분 경부터 급격하게 감소하며 제각성상태에서 다시 증가하였다가 서서히 낮아지고 있다.

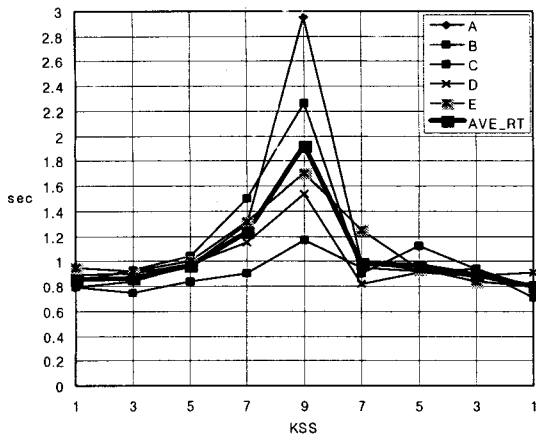


그림 4. KSS level에 대한 RT의 변화.
Fig. 4. Change of RT depend on KSS level

그림 4는 5인의 피검자의 KSS의 변화에 대한 평균 반응시간을 나타내며 굵은 실선은 평균 값을 나타낸다. 전체적으로 KSS가 증가할수록 평균 반응시간이 증가하고 있다. 특히 KSS 5까지는 적어도 평균 반응시간이 1초 미만에서 일어나고 있으나 KSS 7부터는 1초를 넘는 반응시간을 보이고 있으며 이전의 KSS 1, 3, 5의 상승에 대한 반응시간의 증가 추세보다 급격하게 증가하고 KSS 9에서는 정상값 0.84sec(KSS: 1)의 2.7배인 약 2초에 가까운 반응시간을 갖는다. 따라서 human performance는 KSS 5부터 급격히 낮아짐을 알 수 있다.

그림 5는 6인의 피검자에 대한 KSS level과 EBR의 상관관계를 나타내고 이때 EBR은 normalization 한 값으로 normalization 하기 전 KSS 1, 3, 5, 7, 9에 대하여 각각 15, 16.76, 19.63, 23.6, 11.9의 평균 EBR값을 갖았다. EBR역시 KSS가 증가 할수록 증가하여 KSS 7에서 가장 높

은 EBR값을 갖고 KSS 9로 저각성상태로 변하면서 급격히 감소한다. KSS 7까지 EBR이 증가하는 이유는 피검자가 저각성상태 일수록 눈이 지극히 피로해지고 스스로 각성상태를 유지하기 위하여 눈을 깜박이기 때문이며 각성이 저하될수록 하품 발생횟수는 빈번하게 발생 하였다.

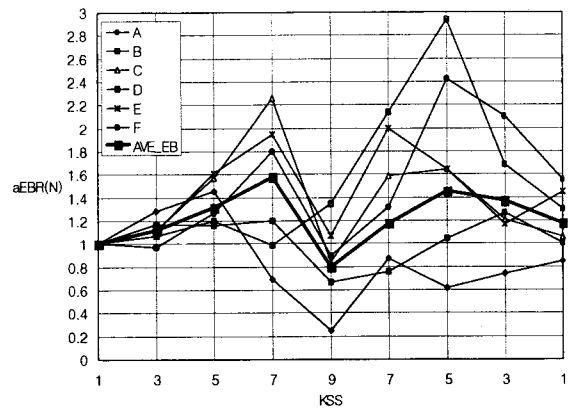


그림 5. KSS level에 대한 EBR의 변화.
Fig. 5. Change of EBR depend on KSS level.

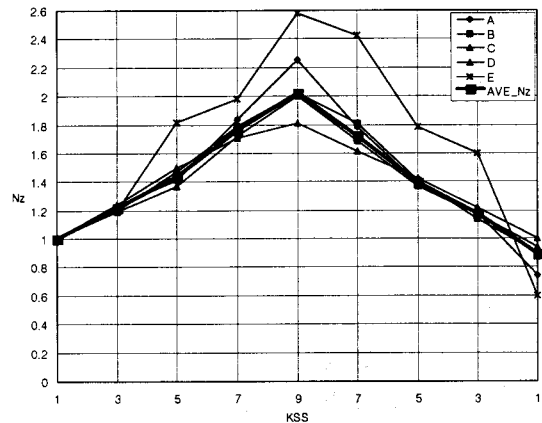


그림 6. KSS level에 대한 Nz 의 변화.
Fig. 6. Change of Nz depend on KSS level.

특히 KSS 7에서 급격히 높아지는 이유는 졸음을 이기고자 하는 의지로 인하여 의도적인 눈깜박임이 많아지기 때문이고 KSS 9에서는 졸음을 이기지 못하므로 눈을 감고 있는 시간이 평상시보다 길어지므로 낮은 EBR을 갖는다. 여기서 KSS 1에서의 평균 EBR(굵은 실선)을 기준으로 각각의 KSS level에 대한 평균 EBR값을 나누어 증가율을 구하면 KSS 3일 때의 EBR증가율은 1.1, KSS 5의 EBR증가율은 1.26, KSS 7에서의 증가율은 1.57, KSS 9는 -1.26의 증가율을 갖게 된다. KSS 7 까지의 증가율은 계속하여 증가하는 반면에 KSS 9에서는 음의 값을 갖는다. 피검자에 따라 1분당 눈깜박임수는 다를 수 있으나

normalization을 한 각각의 KSS level 대한 EBR의 증가율은 몇몇의 예외적인 데이터(피검자 A,B)를 제외하면 전반적으로 일정하다. 따라서 이는 눈깜박임수를 이용한 각성도 판정 지표로써 생리신호와 함께 각성상태 판단 및 제어시 중요한 요소로 사용될 수 있음을 나타낸다.

그림 6은 KSS에대한 평균 Nz값의 변화를 나타낸 것으로 RT와 마찬가지로 KSS의 증감에 대하여 비례적으로 Nz도 증감하며 KSS 1, 3, 5, 7, 9에 대하여 약 1, 1.2, 1.4, 1.8, 2.0의 평균 Nz값을 갖는다. 이는 고한우의 2인이 발표한 초기 각성상태에 따른 보상방법으로 각성상태 판단기 지표로부터 추정하였던 보상상수값과 일치하였다 [7].

그림 3과 4 및 5로부터 EBR은 KSS level 1에서 7까지는 Nz와 함께 증가하나 KSS level 9영역에서는 급격히 감소하고 재각성 영역에서 다시 증가하여 정상상태의 값을 유지하였다. 반응시간 결과로 KSS level 7부터 human performance가 급격히 저하되므로 효과적인 각성상태제어를 위하여 level 5이전에 각성을 유발시킬 수 있는 자극을 제시해야 한다.

4. 결 론

본 논문은 각성상태에대한 생리신호와 반응 시간 및 행위신호인 눈깜박임수를 동시 측정하여 각 데이터간의 상관관계를 분석하였다. 전체적인 경향은 KSS level의 증감에 대하여 Nz, 반응시간은 비례적인 관계로 변화였고 EBR은 KSS level 1에서 7까지는 증가하는 추세이나 KSS level 9로 변하면서 눈깜박임횟수가 급격하게 저하되었으며 KSS level이 7, 5, 3, 1로 재각성 되면서 다시 증가하여 나중에는 정상상태의 값을 갖는다. 이는 6명의 피검자에 대하여 동일하게 나왔고 이러한 추세로부터 각성상태변화를 세밀히 관찰 할 수 있었다. 먼저 각성상태에의한 반응시간의 변화로 KSS level 5부터 human performance가 낮아 지므로 효과적인 각성상태를 유지 및 제어하기 위하여 level 5이전의 각성상태에서 경고음과 그 밖의 각성효과가 있는 자극을 주어야 함을 알 수 있었고 행위신호로 1분당 눈깜박임수를 측정하였으며 이에 대한 결과로 KSS level 1, 3, 5, 7, 9에 대하여 각각 1.1, 1.26, 1.57, -1.26의 눈깜박임 증가율을 가졌고 피검자에 따라 1분당 눈깜박임횟수는 다르나 눈깜박임 증가율은 전반적으로 근사한 값을 가지므로 각성상태 판단 지표로 이용할 수 있다.

앞으로 더 많은 피검자를 대상으로 실험하여 눈깜박임의 증가율을 각성상태 판정에 있어 더욱 신뢰성 있는 지표로 사용할 수 있도록 해야 하며 눈깜박임 횟수에 관한 연구와 더불어 눈깜박임 경과 시간과 각성상태와의 상관관계에 대하여 연구할 예정이다.

참고문헌

1. Y. Yamamoto, T. Yamamoto, "The characteristics of galvanic skin reflex in low awake level and their application to

- measurement of sleep", T. IEE Japan, vol. 108-c-7, pp. 457-463, 1988.
2. T. Funai, Y. Yamamoto, "Relationship between impedance parameters and other evaluating parameters of electrodermal activity", Technical Report of IEICE, MBE94-48, pp.69-76, 1994.
3. Nimi, y, Watanabe, T. and Hori, T., "Skin potential activities as a function of stages of sleep", J. Physiol. Soc. Japan, 30, 231-244, 1968.
4. 이상국, "운전자 감시 제어와 교통안전도 향상 연구동향", 제어.자동화.시스템공학 학회지, vol. 2-1, pp. 37-44, 1996.
5. 고한우, 이완규, 김연호, "피부 전기활동을 이용한 휴대형 각성도 측정 및 제어 시스템", 센서학회지, vol. 5-3, pp. 55-64, 1996.
6. 고한우, 이완, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(I) -생리신호 측정에 의한 측정 및 분석-", 자동차공학회 추계학술대회, vol. (I), pp. 474-480, 1995.
7. 고한우, 이완규, "피부 임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템", 센서학회지, vol. 4-3, pp. 30-36, 1995.
8. 고한우, 이완규, 이진기, "피부전기 활동 변화에 의한 각성도의 측정(I)", 대한 의용생체 공학회 춘계 학술대회, vol. 17, no. 1, pp. 195-199, 1995.
9. 고한우, 김연호, 이진기, "각성도 평가기준 보상법에 대한 연구", 대한 의용생체 공학회 추계 학술대회, vol. 18, no. 2, pp. 86-89, 1996.
10. 고한우, 김연호, "각성도 평가를 위한 생리신호와 반응시간과 주관적 평가와의 관계", 대한인간공학회 춘계 학술대회, pp. 159-164, 1997.