

각성상태에 따른 피부임피던스 신호와 반응시간 및 눈 깜박임의 상관관계(II)

고한우·김연호

= Abstract =

Relationship Between Skin Impedance Signal, Reaction time, and Eye Blink Depending on Arousal Level

H.W. Ko, Y.H. Kim

This paper describes the relationship between skin impedance signal, behavioral signal, and subjective evaluation depending on arousal level. Nz and reaction time had similar trend with mKSS level, but eyeblink rate was different from these two parameters. Eyeblink rate increased slowly from mKSS level 1 to 5, and had high increasing rate at mKSS 7. But it showed steep descent at mKSS level 9. Each subject showed different eye-blink rates, but changing rates of EBR was similar at eachm KSS level. Therefore it suggests that rising rate of EBR can be used arousal level criterion. From the result of reaction time test, human performance was decreased rapidly above the mKSS level 5, and false positive and false negative data was observed above the mKSS level 3. It is desirable to give a subject some stimuli such as sound or aroma to rise arousal level between mKSS level 3 and mKSS level 5.

Key words : Arousal level, Physiological signal, Reaction time, Eye blink, mKSS level

서론

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[4-10]. 저자들은 피부전기활동을 이용한 무구속적이고 간편한 각성도 측정 시스템을 개발하여 피부임피던스변화 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 작업수행능력의 한계치를 측정하였다[10].

특히 최근에 다양한 연구가 이루어지고 있는 눈 깜박임

을 이용한 졸음운전 방지시스템의 개발을 위하여서는 먼저 각성수준의 저하에 따른 각종 생리신호들을 기준으로 눈 깜박임 관련 파라미터 값들을 각성단계별로 지표화 하고, 이를 기초로 졸음운전 검출을 위한 각종 영상처리 기법을 사용하여 졸음을 검출한 후 각종 경고매체에 의한 각성도 향상 또는 유지시키는 방법에 관한 연구가 이루어져야 한다. 그러나 이들 지표에 대한 구체적인 연구 결과는 공개되지 않거나(해외) 미비한 실정이다(국내)[11, 12].

따라서 본 연구에서는 각성상태 변화에 따른 피부임피던스 신호와 작업반응시간 및 눈 깜박임 신호를 동시에 측정하여 이들간의 상관관계를 분석하여 각성도 평가 및 제어 시스템 개발을 위한 기초적인 데이터를 확립하고자 하였다.

한국표준과학연구원

Korea Research Institute of Standards and Science

통신저자 : 고한우, (305-600) 대전시 유성구 도룡동 1 한국표준과학연구원 유성우체국 사서함 102호,

Tel. (042)868-5252, Fax. (042)868-5047

측정 시스템 구성 및 실험방법

본 연구에서는 교류 통전법에 의한 피부임피던스 변화 (Skin Impedance Change : SIC)를 측정하여 각성도를 평가하였다. SIC는 10 μ A, 30Hz의 정전류를 피검자의 손바닥에 통전하는 2극법을 이용하여 온전극으로 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]. 각성도 측정 방법은 전극을 부착시킨 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 저하의 초기상태를 검출하여 제어하여야 하므로 표 1과 같이 각성과 졸림 영역 사이를 세분화하였다[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

IRI(sec)	Nz		
	1.2 ≤ Nz < 1.5	1.5 ≤ Nz < 2.0	2.0 ≤ Nz
IRI < 60	Small	Small	Medium
60 ≤ IRI < 90	Small	Medium	Big
90 ≤ 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 눈 깜박임 수간의 상관관계를 알아보기 위하여 6명의 피검자(남 : 21-25세)를 대상으로 실험하였으며, 실험 시간은 30분 내외로 하되 각성상태에서 시작하여 수면직전 상태까지 도달한 후 재 각성상태로 되는 것을 기본으로 하였다. 그림 1은 실험 시스템 구성도로 각성상태에 따른 1분간의 눈깜박임수 (Eye Blink Rate : EBR)와 작업반응 시간 및 생리신호 측정 데이터를 동시에 측정할 수 있도록 구성하였다. 작업반응시간은 실험전에 피검자에게 0부터 9까지의 숫자 중 자신이 원하는 두 숫자를 선택하도록 한 후 노트북 P.C.로부터 발생된 8개의 임의의 숫자(random number)를 3초간 모니터에 제시하되 모니터에 제시된 8개의 숫자중

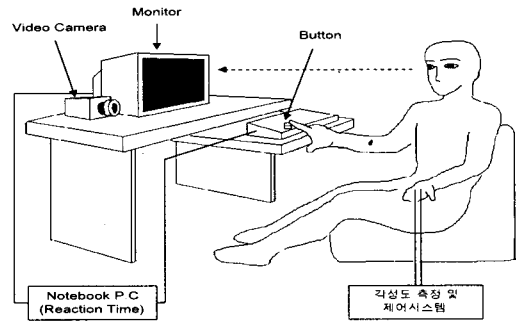


그림 1. 실험 구성도
Fig. 1. Experimental set up

표 2. 주관적 상태-mKSS 측정
Table 2. Subjective state-mKSS level

접자 상태	mKSS
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

자신이 선택한 두 숫자가 동시에 포함되어 있을 경우 가능한 신속히 버튼을 누르도록 하였고 이때 숫자가 제시된 시간부터 버튼을 누를 때까지의 시간을 반응시간(Reaction Time : RT)이라 하였다. 또한 선택한 두 숫자가 나오지 않았을 경우에 버튼을 누르게 되면 false positive data로, 선택한 두 숫자가 포함된 임의의 숫자가 제시되었을 때 반응하지 못하였을 경우 false negative data로 처리하였다. 눈 깜박임은 비디오 카메라를 피검자의 눈과 정면에 위치하도록 하여 실험중 피검자의 눈 깜박임 횟수를 측정할 수 있도록 하여 1분당 눈 깜박임 수를 기록하였다. 피부임피던스 신호는 이미 개발된 각성도 측정 및 제어 시스템을 이용하여 Nz와 IRI 데이터를 노트북 P.C.에 저장하도록 하였고 주관적 평가는 저각성영역이 3단계(맑음, 졸림, 아주졸림)로 나누었던 Karolinska의 KSS level은 저각성영역에 관하여 자세히 평가할 수 없으므로 본 연구에서는 표 2의 mKSS level처럼 5단계로 재 정의하여 실험기간중 이를 기준으로 평가하여 기록하였다[9].

결과 및 고찰

그림 2는 6인의 피검자에 대하여 각성도 실험을 하였을 때 모두 동일한 경향의 실험결과를 얻었으며 그중 피

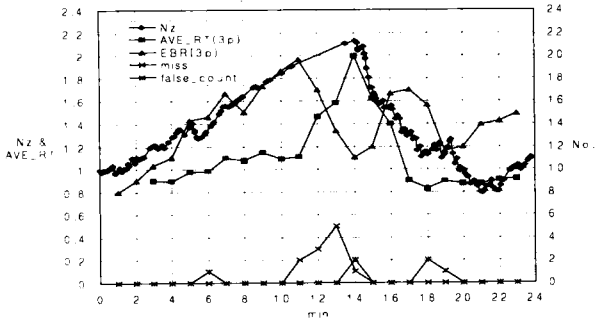


그림 2. Nz와 RT 및 EBR과의 관계(피검자 : C)
Fig. 2. Relationship between Nz, RT and EBR(Subject : C)

검자 C에 대한 각성도 실험 결과이다. 피검자 C가 각성에서 졸림, 수면 직전, 재각성, 정상상태의 5단계의 각성 변화 동안의 결과로서 시간축을 기준으로 피부전기활동과 1분당 반응시간 평균값과 1분당 눈깜박임수 및 false positive, false negative의 수를 나타내었다. 왼쪽 종축은 Nz와 평균 반응시간, 오른쪽 종축은 매 1분간의 눈 깜박임수 및 false positive와 false negative 수이다. 피검자 C는 mKSS 1인 상태에서 실험을 시작하여 2분 20초경에는 mKSS 3, 4분 50초경에는 mKSS 5, 7분 30초에서 10분 경에는 mKSS 7, 11분 경에서부터 14분 20초경까지는 mKSS 9, 16분 20초경에는 mKSS 5, 18분 경에는 mKSS 3, 20분에서 실험 종료까지는 mKSS 1로 실험을 마쳤고 전체적인 경향을 보면 mKSS level이 증가할수록 Nz 값과 반응시간이 증가되고 false positive와 false negative의 회수도 함께 증가하며 특히 false positive는 mKSS 5 및 mKSS 3에서도 발생하나 false negative는 mKSS 7과 9영역에 밀집되어 나타났다. 눈 깜박임 횟수는 각성이 저하될수록 증가하다가 mKSS 7인 9분 경부터 급격하게 감소하며 재각성상태에서 다시 증가하였다가 서서히 낮아지고 있다.

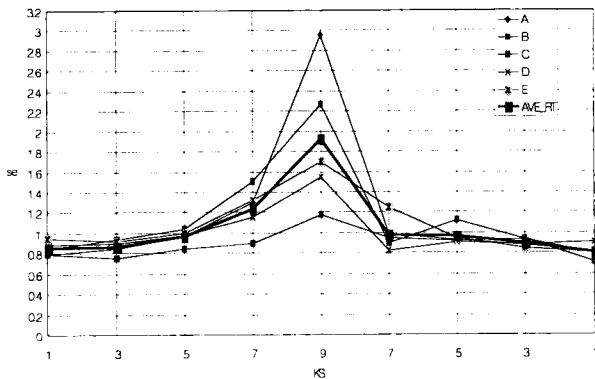


그림 3. mKSS level에 대한 RT의 변화
Fig. 3. Change of RT depend on mKSS level

피검자 6명 모두 그림 2와 같이 mKSS level이 증가할수록 Nz와 RT는 증가하나 EBR은 저각성상태로 갈수록 Nz, RT와 같이 증가하다가 mKSS level 7(약 13분 경)에서부터 EBR이 급격히 감소하여 mKSS 9(16분-23분 경)에선 최저의 EBR값을 갖는 동일한 경향을 보였다.

그림 3은 6인의 각성도 실험결과중 RT의 결과가 매우 다른 패턴을 갖는 F피검자를 제외한 5인의 피검자(A-E)의 mKSS의 변화에 대한 평균 반응시간(AVE-RT)을 나타내며 굵은 실선은 평균값을 나타낸다. mKSS level에 대한 평균 RT와 표준편차는 mKSS level 1, 3, 5, 7, 9에 대하여 각각 0.85 ± 0.068 , 0.87 ± 0.075 , 0.97 ± 0.075 , 1.22 ± 0.22 , 1.93 ± 0.69 이었다. 따라서 전체적으로 mKSS level 값이 증가할수록 평균 반응시간은 증가하고, 특히 mKSS 5까지는 평균 반응시간이 1초 미만이고 mKSS 7부터는 반응시간이 1초를 넘어서 급격하게 증가하며 mKSS 9에서는 정상값 0.84sec (mKSS: 1)의 2.7배인 약 2초의 반응시간을 갖는다. 따라서 작업수행능력은 mKSS 7부터 급격히 낮아짐을 알 수 있다.

그림 4는 6인의 피검자(A-F) 6명에 대한 mKSS level과 EBR의 상관관계를 나타내고 이때 굵은 실선은 mKSS level 1일 때의 평균 EBR을 기준으로 정규화한 결과이며 정규화하기 전 mKSS 1, 3, 5, 7, 9에 대한 평균 EBR값(AVE(C-F))은 각각 15, 16.76, 19.63, 23.6, 11.9 이었다. 단, 피검자 A와 B는 실험중 정상적인 실험상태를 유지하지 못하였으므로(실험중 외부 자극이 있음 → 불규칙한 눈깜박임 발생)평균시 제외하였다. EBR 역시 mKSS가 증가할수록 증가하여 mKSS 7에서 가장 높은 EBR값을 갖고 mKSS 9로 변하면서 급격히 감소한다. mKSS 7까지 피검자의 각성상태가 점점 낮아지므로 스스로 각성상태를 유지하기 위하여 눈을 빈번하게 깜박이기 때문에 EBR은 증가하고 각성이 저하될수록 하품도 빈번히 발생하였다. 특히 mKSS 9에서는 졸음을 이기지

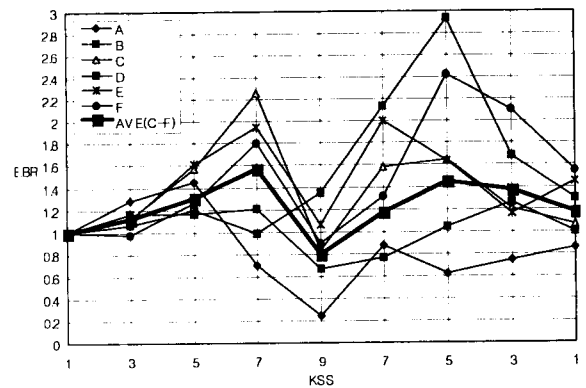


그림 4. mKSS level에 대한 EBR의 변화
Fig. 4. Change of EBR depend on mKSS level

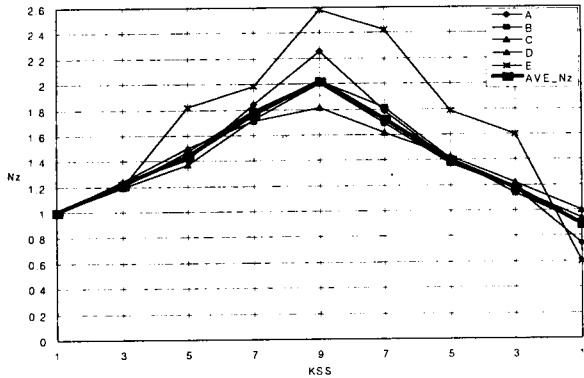


그림 5. mKSS level에 대한 Nz 의 변화
Fig. 5. Change of Nz depend on mKSS level

못하고 눈을 감고 있는 시간이 평상시보다 길어지므로 낮은 EBR을 갖는다. 여기서 mKSS 1의 평균 EBR(굵은 실선)을 기준으로 각각의 mKSS level에대한 평균 EBR 값을 나누어 EBR의 변화율과 이때의 표준 편차를 구하면 mKSS 3은 1.2 ± 0.08 , mKSS 5는 1.31 ± 0.22 , mKSS 7은 1.8 ± 0.44 , mKSS 9는 -1.26 ± 0.16 이다. EBR의 변화율은 mKSS level 7까지의 계속하여 증가하는 반면에 mKSS 9에서는 음의 값을 가지며 표준편차 역시 mKSS level 7까지 증가하다가 mKSS 9에서 다시 감소한다. 표준편차가 mKSS level 7까지 증가하는 것은 저 각성상태가 될수록 개인간의 눈 깜박임 횟수의 변화 범위가 크기 때문이라 생각된다. 1분당 눈 깜박임 수는 다를 수 있으나 정규화한 각각의 mKSS level에대한 EBR의 변화율은 예외적인 데이터(피검자 A,B)를 제외하면 전반적으로 비슷한 변화의 추세를 나타내었다.

그림 5는 피검자 6인의 mKSS 변화에 대한 평균 Nz값의 변화를 나타낸 것으로 그림 3의 RT와 같이 mKSS의 증·감에 대하여 Nz도 증·감하는 동일한 경향을 나타내며, mKSS수준 1, 3, 5, 7, 9에 대하여 $1, 1.22 \pm 0.06, 1.42 \pm 0.16, 1.79 \pm 0.09, 2.1 \pm 0.22$ 의 평균 Nz값과 표준편차를 갖는다. 이는 고한우 등이 발표한 초기 각성상태에 따른 보상방법으로 각성상태 판단 기준표로부터 추정하였던 보상상수 값(KSS level 1, 3, 5, 7, 9에 대하여 각각 1, 1.2, 1.4, 1.8, 2.0의 보상상수를 가짐)과 유사하였다 [9].

그림 6은 6인의 피검자로부터 측정된 mKSS level에 대한 평균 Nz와 평균 RT 및 Nz 값이 1일 때의 값을 기준으로 정규화한 평균 EBR과 false positive, false negative를 나타낸 것으로 각성상태에 대한 상관관계를 알 수 있다. 그림 6으로부터 mKSS level 1에서부터 9까지 각성이 저하될수록 Nz, RT, false positive, false negative는 증가하나 EBR은 mKSS level 7까지는 증가하고 level

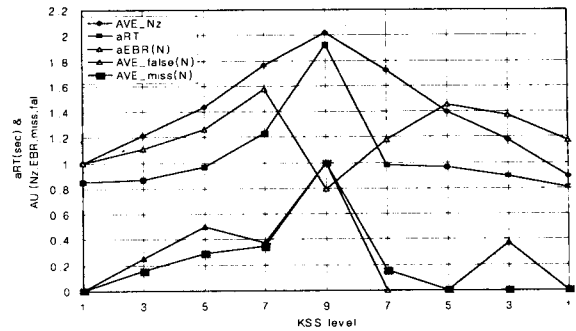


그림 6. mKSS level에 대한 Nz와 EBR 및 RT의 상관관계
Fig. 6. Relationship among Nz, EBR and RT depending on mKSS level

9에서는 급격히 감소하는 경향을 가진다. mKSS level변화에 따른 Nz에대한 RT와 false positive 및 false negative의 상관계수를 구하면 0.82, 0.63, 0.8 이었다. Nz와 false positive의 상관계수가 다른 두 상관계수(Nz-RT, Nz-false negative)보다 상대적으로 작은 이유는 false positive data는 실험중 각성저하로 인하여 발생하기도 하지만 각성상태에서도 가능한 빨리 반응을 하려는 데에서 오는 실수로 인하여 발생되기도 하기 때문이다. EBR은 mKSS level 1에서 7까지는 Nz와 함께 증가하나 mKSS level 9영역에서는 급격히 감소하고 재각성 영역에서 다시 증가하여 정상상태의 값을 유지하였으며 EBR은 피검자마다 다르나 EBR의 변화율은 비슷한 패턴으로 변화하므로 눈 깜박임 수를 이용한 각성도 판정 지표로서 생리신호와 함께 각성상태 판단 및 제어시 중요한 요소로 사용될 수 있음을 나타낸다. False positive와 false negative는 6인의 평균값을 구한 후 가장 큰 값으로 나누어 정규화한 결과로서(동일한 그래프에 함께 표시하기 위함) false positive는 mKSS level 1을 제외한 전 영역에서 나타나며 특히 mKSS 9에서 가장 큰 값을 갖는다. RT에 대한 false positive와 false negative의 각각의 상관계수를 구해보면 0.84, 0.96으로 높은 상관성을 갖는다. False negative는 mKSS level 1에서는 없었고 mKSS level 3에서는 6인으로부터 2번, mKSS 5에서는 5번, mKSS 7에서는 6번, mKSS 9에서는 33번의 false negative가 발생되었다.

그림 3과 그림 6의 반응시간 결과로부터 mKSS level 7부터 작업수행능력이 급격히 저하되므로 효과적인 각성상태제어를 위하여 mKSS level 5이전에 미리 각성을 유발시킬 수 있는 자극을 주어야 하고 mKSS level 3부터 false positive와 false negative가 발생하는 것으로 보아 mKSS level 3의 상태에서도 적은 발생 확률이지만 특정 작업시 오류를 범할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 적어도 mKSS level 3부터 주의력을 유지하기 위한 적절한

자극이 필요하다. 또한 실제 차량이나 공장 등에서 작업을 하는 경우 주관적 평가를 통한 각성상태 판별방법은 번거로우며 연속하여 측정이 불가능하므로 본 실험에서 얻은 mKSS level에 대한 Nz와 EBR의 값을 역으로 이용하여 피검자의 상태를 판정 할 수 있을 것이다.

결 론

본 논문은 각성상태에 대한 생리신호와 반응시간 및 행위신호인 눈 깜박임 수를 동시 측정하여 각 데이터간의 상관관계를 분석하였다. 전체적인 경향은 mKSS level의 증·감에 대하여 Nz와 반응시간은 비례적인 관계로 변하였으나 EBR은 mKSS level 1에서 7까지는 증가하는 추세이나 mKSS level 9로 변하면서 눈 깜박임 수가 급격하게 저하되었고 mKSS level 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 각성상태에 따른 반응시간의 변화는 mKSS level 5부터 작업 수행능력이 급격히 낮아 가는데 반하여 false positive와 false negative는 mKSS 3영역부터 발생하였다. 따라서 효과적인 각성상태를 유지 및 제어하기 위하여 최소한 mKSS 3영역부터는 주의력 저하를 막을 수 있는 자극이 필요함을 알 수 있었다. 눈 깜박임 변화율은 mKSS level 1, 3, 5, 7, 9 에 대하여 각각 1, 1.2 ± 0.08 , 1.31 ± 0.22 , 1.8 ± 0.44 , -1.26 ± 0.16 이었으며 피검자에 따라 1분당 눈 깜박임 횟수는 다르나 눈 깜박임 변화율은 근사한 패턴으로 변화하였으므로 각성상태 판단 지표로의 이용가능성을 확인 할 수 있었다. 또한 mKSS level 1, 3, 5, 7, 9 에 대하여 각각 1, 1.22 0.06, 1.42 0.16, 1.79 0.09, 2.1 0.22의 평균 Nz값과 표준편차를 가졌다. 이는 초기 각성상태에 따른 보상방법에서 사용한 보상상수와 일치하였다.

앞으로 각성상태 판정을 위한 더욱 신뢰성 있는 지표를 설정하기 위해서는 더많은 피검자를 대상으로한 실험을 필요로 하며 눈 깜박임 횟수에 관한 연구와 더불어 눈 깜박임시간 등과 각성상태와의 상관관계에 대한 연구도 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

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. 9-76, 1994.
3. Nimi, y, Watanabe, T. and Hori, T., "Skin potential activities as a function of stages of sleep", J. Physiol. Soc. Japan, 30, pp. 231-244, 1968.
4. 이상국, "운전자 감시 제어와 교통안전도 향상 연구 동향", 제어.자동화.시스템공학회지, 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, 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.
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)", 대한의용생체 공학회 춘계 학술대회, vol. 17, no. 1, pp. 195-199, 1995.
9. 고한우, 김연호, 이진기, "각성도 평가기준 보상법에 대한 연구", 대한 의용생체공학회 추계 학술대회, vol. 18, no. 2, pp. 86-89, 1996.
10. 고한우, 김연호, "각성도 평가를 위한 생리신호와 반응시간과 주관적 평가와의 관계", 대한인간 공학회 춘계 학술대회, pp. 159-164, 1997.
11. 이완규, 고한우, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(II)-눈깜박임 속도의 검출", 자동차공학회 추계학술대회, vol. (I), pp. 481-486, 1995.
12. Benoit DECOUX, Sang-Goog LEE, Jalal SABOR, Michel HUBIN, Mohamed KETATA, "Localization of the eyes in images by a neural network which learns invariant features of heads and eyes: application to the detection of the driver's low vigilance states", vol 7, no. 1, pp. 463-470. 1996.

= 국문초록 =

본 논문은 각성상태에 따른 생리신호와 행위신호 및 주관적 평가의 상관관계에 대하여 나타내었다. Nz와 반응시간은 mKSS level의 변화와 동일한 경향을 나타내는데 반하여 1분당 눈 깜박임 수는 앞의 두가지 변수와 다른 경향을 나타내었다. 1분당 눈깜박임 수는 mKSS level 1에서 5까지는 낮은 변화율을 갖고 mKSS level 7에서는 높은 변화율을 갖는 반면에 mKSS level 9에서는 이와 반대로 변화율이 급격히 감소한다. 피검자들은 서로다른 1분당 눈깜박임 수(EBR)를 가지나 EBR의 변화율은 비슷하였다. 그러므로 EBR의 변화율을 각성판정지표로 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 반응시간 실험 결과로부터 mKSS level 5이상부터 작업수행능력이 낮아짐을 알 수 있었고 false positive 와 false negative가 mKSS level 3부터 관찰되었으므로 효과적으로 각성제어를 위하여 mKSS level 3과 5사이에 각성상태를 향상시키기 위한 소리나 향기 등의 자극을 주어야 함을 알 수 있었다.