

논문 95-4-3-05

피부 임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템

고 한 우, 이 완 규

Arousal monitoring system using the change of skin impedance.

Han-Woo Ko, Woan-Kyu Lee

요 약

교통사고의 가장 큰 원인 중의 하나는 운전자의 각성수준의 저하이다. 적절한 각성수준을 갖는 운전자 만이 자동차를 안전하게 운전하여 목적지에 도착할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 운전자의 각성도를 측정하기 위하여 피부 임피던스를 이용한 측정 시스템을 구성하고 이를 이용하여 6인의 피검자의 피부 임피던스의 변화와 뇌파를 동시에 측정하여 각성수준의 변화에 따른 세 측정 요소간의 상관관계를 검토하고 피부임피던스 지표를 구하였으며 측정에 따른 문제점들을 분석하여 운전자의 각성도 측정 및 평가와 모니터 개발을 위한 기초적인 연구를 하였다.

Abstarct

One of principal causes of car accidents is low arousal level of driver. Drivers arrive their destination under an appropriate arousal level. Basic research was done to develop a portable arousal monitor and to evaluate the arousal level of drivers. An arousal monitor which can simultaneously measure the skin impedance change and EEG was designed and tested. The relationship among three parameters was studied and was used to determine the index of skin impedance level depending on arousal level.

1. 서 론

안전한 장거리 운전의 첫째 요소는 운전자가 항상 각성 상태에서 운전을 할 수 있게 하는 것이다. 사람의 각성도를 평가하는 방법은 수면에 대한 연구를 기본으로 하며, 지금 까지 다양한 연구가 이루어져 왔으나 이를 일상생활에 응용하는데까지는 이르지 못하고 있다. 이것은 움직이는 운전자를 구속하지 않으면서 생리신호를 정확히 검출할 수 있는 센서 및 적절한 측정 시스템의 개발이 어렵기 때문이며, 또한 생리지표가 갖는 비선형성, 개인별, 성별, 연령별 차이가 있으므로 각성수준의 평가와 수면억제를 위한 정량적인 제어가

어렵다는 문제점이 있다. 각성 수준계측을 위한 생리지표로는 뇌파, 눈깜박임 빈도, 피부전위, 발한 등의 생리지표를 이용하여 각성수준을 평가하여 수면을 제어 또는 억제하고자 하였다[1-6].

최근 일본의 도요다와 닛산 자동차는 핸들 조작과 심박수, 눈 깜박임을 이용한 운전자 졸림 방지용 실험차를 발표한 바 있으며, 특히 유럽연합에서는 DRIVE 프로젝트의 하나로 자동차의 파라미터를 이용하여 연속적으로 운전자의 상태를 모니터링하는 기기를 개발하는 DREAM(Driver-Related Evaluation And Monitoring) 프로젝트를 추진하고 있다. 또한 근래에는 생리지표로서 각성수준을 잘 반영하며 또한 측정이 용이한 피부전기활동(Electrodermal Activity : EDA)의 일과성 전기변동 현상인 피부전기반사(Galvanic Skin Response : GSR) 또는 피부전위수준(Skin Potential

Level : SPL)만을 이용하여 각성도 수준을 측정 및 평가하고 수면을 억제하려는 연구가 이루어 지고 있다 [1-8]. 그러나 이들은 사람에 따라서 각성 저하시에도 상반된 현상을 나타내는 경우가 있으므로 미흡하다. 이러한 점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 EDA의 교류성분에 해당하는 피부임피던스 반사(Skin Impedance Response: SIR)와 전체적인 피부임피던스 변화를 나타내는 피부임피던스 수준(Skin Impedance Level: SIL)을 동시에 측정하여 각성상태로부터 수면에 이르는 동안의 특징을 파악하였다. 이를 근거로한 실용적인 운전자의 각성도 모니터 개발이 본 연구의 최종 목표이다. 이를 위해 본 연구에서는 비침습적이며, 무구속적으로 각성도를 모니터링하기 위한 측정 시스템을 구성하고 이를 이용하여 각성수준에 따른 피부 임피던스 변화와 뇌파를 측정하여 이들 신호와 각성도의 상관관계를 검토하고 측정에 따른 문제점들을 분석하여 운전자의 졸림을 방지하기 위한 각성 및 일면시를 평가하여 이를 억제할 수 있는 효과적인 방법 및 실용적인 각성도 모니터 개발을 위한 기초적인 연구를 하였다.

2. 측정 시스템의 구성 및 측정법

본 연구에서는 각성상태로부터 수면상태에 이르는 과정에서 각성도의 변화에 따른 생리 신호와의 상관관계를 알아보기 위하여 EDA신호로부터 피부임피던스 수준과 반사 신호를 분리하여 측정하고 이미 확립되어 있는 뇌파를 기준으로한 수면단계 판정법과 비교하기 위하여 뇌파도 동시에 측정 및 기록할 수 있도록 하였다.

EDA의 측정법에는 전위법(피부 자체에서 발생하는 전위변화를 측정)과 통전법(피부에 외부로부터 전류를 흘려서 피부저항 등을 측정)이 있으며, 통전법은 다시 가하는 전류의 종류에 따라서 직류 통전법과 교류 통전법으로 나누어 진다. 직류통전법에 의한 EDA 신호 측정은 전극의 분극이나, 장기적인 통전에 의한 피부에 대한 생리적 영향 및 전기적 특성변화가 일어나는 등의 문제점들이 있고, 전위법은 기준전위의 설정이 번잡하고 또한 기준전위가 변하는 등 측정상의 문제점이 있으므로 교류 통전법을 사용하였으며, 심리적인 스트레스와 EDA의 관계를 조사하기 위하여 CRT를 이용한 시각 테스트도 수행할 수 있도록 하였다. 전체적인 측정시스템의 구성은 그림 1과 같다.

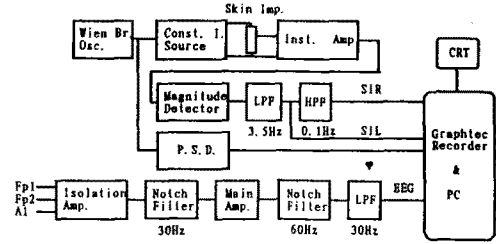


그림 1. 각성도 측정 시스템의 블록선도.

Fig. 1. Block diagram of measuring system

피부 임피던스 변화(SIC:Skin Impedance Change)는 교류통전법에 의하여 피검자의 손바닥으로부터 정전류에 의한 3전극법을 이용하여 검출하였다.

교류 통전법에서 피부에 흘리는 정전류 전원의 측정 주파수는 2-30Hz가 적합하며 임피던스 값의 범위는 20K Ω - 200K Ω 이다. Y. Yamamoto에 의하면 10 μ A/cm², 20Hz의 측정 주파수가 SIC에 대한 감도가 높고 피부의 임피던스 변화값과 측정 값간의 선형성이 좋으며 주파수가 증가할 수록 감도가 떨어진다는 연구 결과가 있으나[12], 본 연구에서는 뇌파와 동시측정을 하여야하므로 이 측정 주파수가 뇌파의 신호대역과 중첩됨을 피하기 위하여 30Hz로 결정하고, 정전류 증폭기는 부동 부하저항형(floating load resistor) 정전류 회로를 설계하여 피부의 측정부위에 10 μ A가 흐르도록 하였다[2].

피부임피던스 변화로 인한 신호는 손바닥에 부착된 3개의 전극에 흐르는 전류에 의한 전위차를 차동 증폭기에 의하여 검출하고, 검출된 신호는 SIC 신호의 주파수 특성을 고려하여 SIL은 3.5Hz 주파수 특성을 갖는 저역통과 필터로 필터링하여 얻고, SIR은 이 신호를 다시 0.1Hz의 고역통과 필터를 통과시켜 측정할 수 있도록 하였으며, 히스테리시스 전압이 ± 0.1 [v], 기준 전압이 0.4[v]인 전압 비교기를 설계하여 SIR의 발현간격을 측정할 수 있도록 하였다. SIR 신호의 1[v] 변화는 1[k Ω]의 임피던스 변화에 대응 한다.

각각의 전극으로부터 검출된 신호는 증폭 및 신호처리를 한 후 4채널 DAT(Digital Audio Tape) 리코드, Graphtec사의 열전사 기록기에 녹음 및 기록하면서 PC에서 동시에 데이터를 획득할 수 있도록 하였다.

피부 임피던스 측정용 전극은 덴마크의 Medicotest사의 심전도 기록용 일회용전극(Type R-00-S)을 전극의 면적이 40mm²(4mm x 10mm)가 되도록 개조하여

사용하였으며, 전극은 손바닥에서 GSR 기록시 추천 부분인 소지의 아래부분과 손목 사이에서 각각 1cm 간격으로 3개의 전극을 부착 하였다. 또한 뇌파 기록용 전극은 운전 상태에서도 운전이 지장을 가능한 적게 주도록 두개의 전극을 벨크 스트랩에 6cm의 간격으로 고정시키고, 측정의 편이와 앞으로의 실용성 등을 고려하여 전극은 전두부(Fp1, Fp2)에 부착 하여 측정하였으며, 귓볼에 부착하는 기준전극은 집게에 접촉시키고 스트랩에 고정 시켜서 측정시 머리띠 처럼 고정 시킬 수 있도록 하였다. 검출된 뇌파, SIR 및 SIL 신호는 DAT 레코드에 녹음하고, 열전사 기록기에 기록하면서 피검자 상태 및 주위 환경변화를 기록함과 동시에 개인용 컴퓨터와 12bit A/D 변환기를 이용하여 각각 512 개의 데이터를 획득한 다음 FFT를 취하여 그 주파수 스펙트럼을 분석하였다. 기록기의 기록속도는 2mm/sec 또는 25mm/sec로 하였으며, A/D 변환기의 샘플링 주파수는 뇌파는 200Hz, SIR과 SIL은 20Hz로 하였다.

3. 실험 및 결과고찰

본 연구에서는 다양한 심리 및 생리적 변화에 대한 SIC 변화를 구성된 측정 시스템을 이용하여 검출할 수 있음을 확인하기 위하여 각성 상태로 부터 수면 그리고 재각성 상태에 이르는 동안의 6인의 피검자(21 - 42세 남성)의 뇌파, SIR 및 SIL 데이터를 기록하여 의식레벨과 뇌파 및 SIC의 관계를 검토하고 SIL 지표를 구하였다. 피검자에게는 실험의 목적을 설명하고 졸릴 때는 자도록 하였다.

의식수준 관련 실험은 피검자가 안락의자에 앉은 상태에서 각성 및 개안 - 안정 및 회화 - 폐안 및 졸림 - 수면 - 재각성의 순서로 피검자의 수면시간에 따라서 1 시간 30분 - 2시간 동안 수행 되었다.

3.1 각성 수준과 피부 임피던스 변화.

그림 2는 본 연구에서 개발된 각성도 모니터링 시스템으로 측정된 피검자 C의 피부전기활동으로서, 의식 수준이 급격히 변하는 전형적인 경우의 SIR 및 SIL의 변화 상태를 나타낸다. 복잡한 변화를 나타내는 AC 성분의 신호가 SIR이며, 느리게 변하는 DC 성분의 신호가 전체적인 피부의 임피던스 변화를 나타내는 SIL 신호이다. 그림 2(a)는 각성상태로 부터 졸리는 상태로

변하는 기간의 두 신호의 변화 상태로서, 의식 수준이 낮아 짐에 따라서 SIR 발현 간격이 길어지고 발현 빈도가 감소함에 따라서 SIL은 서서히 증가하다가 SIR의 발현이 중지하면서 SIL은 급격히 증가하는 모양을 나타낸다. 또한 SIL 값이 증가 중에도 SIR이 재 발현하면 즉시 SIL은 감소함을 알 수 있다. 그림 2(b)는 수면상태로 부터 각성상태로 이행하는 동안의 두 신호의 변화 상태이며 수면상태에서 최고 수준 까지 증가하여 거의 일정한 수준을 유지하던 SIL은 강제각성으로 급격히 감소하다가 파상적인 증감을 반복한다. 이는 피검자의 의식 상태가 재각성시 순간적으로 완전한 각성상태로 회복되지 못하고 각성상태로의 이행과 줄리는 상태로의 복귀를 되풀이 하고 있기 때문으로 판단된다. 한편 이 때의 SIR은 발현이 전연 없는 상태로 부터 급격히 발현이 증가하며 SIL 값의 증감에 따라서 SIR 발현 간격 및 빈도도 증감을 되풀이 하면서 정상적인 SIR 발현 간격 및 빈도 상태로 회복 된다. 이상에서 보는 바와 같이 개발된 시스템은 각성도의 변화에 따른 피부전기활동 변화를 효과적으로 검출할 수 있음을 확인 할 수 있다.

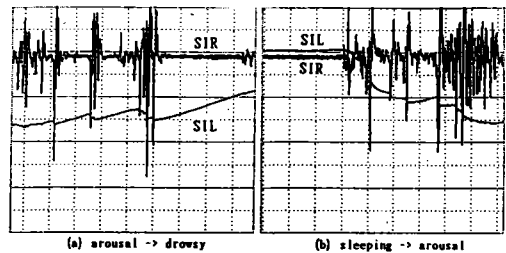


그림 2. 각성상태 변화시의 SIR 및 SIL의 변화 기록속도 25mm/sec

Fig. 2. SIR and SIL at the transition of arousal level

1 시간 16분(오후 3시44분-5시15분) 동안 측정된 각성 - 졸림 - 수면 - 재 각성으로 이루어진 의식레벨 변화 기간중 수면 후 강제각성 직후 까지 1시간 9분 동안의 피검자 K의 SIC 데이터를 분석하여 각성도와 관련시켜 지표화 하기 위하여 인접 SIR간의 시간 즉 출현간격(Δt)을 측정하고 측정시작 시각 부터 6초 마다의 발현수와 단위 시간당의 평균 SIR 발현 수를 계산하였다. 그림 3은 매 6초 간의 SIR 발현 분포를 나타낸다. 전체적으로 SIL 값은 의식 수준이 높은 각성 상태에서는 낮은 값을 나타내며 의식 수준이 낮아

짐에 따라서 서서히 증가하여 수면 중에는 거의 일정한 값을 유지 하였다.

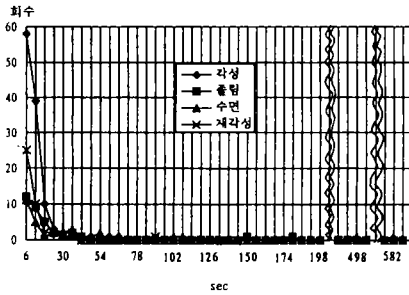


그림 3. 피검자 K의 SIR 발현 간격 분포.
Fig. 3. SIR interval distribution of subject K.

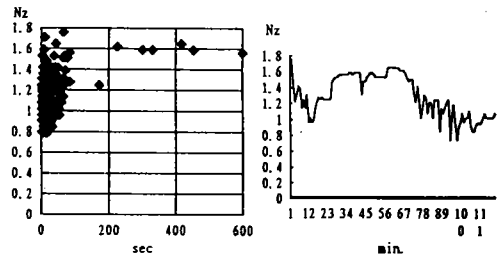
그림 3에서 각성상태(-◆- 18분간)에서는 총 116회의 발현이 있었으며, 평균 발현회수는 6.4회/min. 이었다. 또한 각성 상태에서의 SIR 발현은 12초 이내가 97회로서 전체의 83.6%, 1분 이내는 115회로서 전체의 99.1%, 저의식 상태인 졸리는 동안(-■- 15분간)에는 총 32회의 발현과 평균 2.13회/min.의 발현이 있었으며, 총 SIR 발현수 중 12초이내가 21회(65.6%), 1분 이내가 30회(93.5%)이며 2분 - 3분간 사이에도 2회(6%)가 나타났다. 또한 수면 상태(-▲- 30분간)에서는 SIR의 발현이 총 33회, 평균 1.1회/min.의 발현이 있고, 12초 이내에는 16회(48.5%), 1분 이내가 28회(84.8%) 그러나 수면 기간 동안에는 발현간격이 5분 - 10분인 것도 2회(6%)가 있었으며, 수면상태에서 강제 각성시킨 직후 6분간(-×-)에는 총 44회, 평균 7.33회/min.의 발현이 있으며, 12초 이내에는 35회(79.5%), 1분 이내는 43회(97.7%)의 발현이 있었다. 전체적으로는 의식수준에 관계없이 1분이내에 총 SIR 발현수의 80% 이상이 발현되나 의식 수준이 높을 수록 단위시간당 발현빈도가 높고 SIR의 발현은 2분 이내에 일어나며, 저의식 수준의 졸리는 상태에서는 2 - 3 분으로 길어지며 수면 상태에서는 5분 이상에서도 발생 하였다. 또한 의식수준이 각성 --> 졸림 --> 수면 --> 각성회복 --> 완전 재각성 으로 변함에 따라 SIR의 평균적 발현 빈도는 6.4회/min. --> 2.13회/min. --> 1.1회/min. --> 7.33회/min. --> 6.68회/min.으로 변화하였다.

또한 수면기간 동안의 SIR 간격이 1분 이내의 것이 84.8%로 높은 것은 수면기간 동안 전화벨 소리가

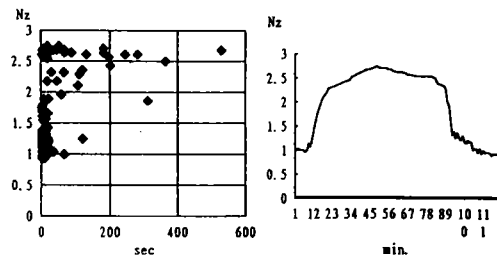
나거나 피검자가 가려워서 깨는 경우 등의 외란이 있는 경우에 집중적으로 나타난 SIR(총 28회중 19회)이 포함 되어 있기 때문이며 나머지 9회가 순수하게 수면 중 나타난 SIR이다. 이 때에는 SIL의 변화는 거의 나타나지 않았으며 이는 다음 그림 4에서 SIR 간격과 SIL 지표의 상관관계로 부터도 알 수 있다. 또한 6명의 피검자 모두 수면중에도 적지만 SIR의 발현을 관찰할 수 있었다. 따라서 기존의 SIR 발현 유무 만으로 각성수준을 결정하는 것은 불완전함을 알 수 있다.

3.2 각성 수준 변화에 따른 SIR 발현 간격과 SIL 지표

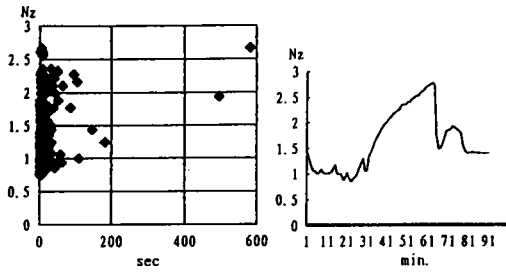
기록된 데이터로 부터 실험 시작 시각으로 부터 SIR 발현시 마다 인접 SIR 간의 발현 간격과 SIR 발현시점에서의 SIL 값을 측정하여 두 파라미터간의 상관관계를 조사하였다. SIL은 피검자 피부상태 차이(건조 또는 다습피부)에 따른 개인간의 차이를 없애고 생리지표로서 일반화 시키기 위하여 실험 시작 5분 후 3분간의 SIL의 평균값을 basal impedance(BD)로 정의하고 측정 값을 이 값으로 정규화 시켜 SIL 지표(Nz)로 하였다. 이 평균 값 결정에 필요한 시간은 6명의 피검자에 대한 반복적인 실험결과로 부터 결정 하였다. 그림 4는 3명의 피검자에 대한 결과를 나타낸다.



(a) subject H



(b) subject W



(c) subject K

그림 4. 각성 수준에 따른 SIR 발현 간격과 SIL 지표의 상관관계.

Fig. 4. Relationship between SIR interval and SIL index depending on arousal level.

그림 4(a)는 피부가 건조한 22세 남성(H), 4(b)는 피부가 다습한 42세 남성(W), 4(c)는 피부가 건조한 26세 남성(K) 데이터의 분석 결과이다.

그림 4의 (a), (b), (c)에서 왼쪽 그림은 각 피검자의 SIL 지표 Nz와 SIR 발현 간격의 상관관계를 나타내며 오른쪽 그림은 실험시작 시각 부터 재각성 후 SIR 발현 상태와 SIL 값이 정상적인 Nz 값으로 회복될 때 까지 매 1분 마다의 SIL 지표 변화를 나타낸다.

그림 4(a)의 피검자 H는 실험 시작시 이미 다소 졸리는 상태였으며 실험 시작 후 15분경 부터 SIR 발현 간격과 SIL 값은 서서히 증가하기 시작하여 21분 후에는 피검자는 눈을 감았으며, 22분 후에는 SIR 발현은 사라지고 SIL 지표는 1.3으로 증가 하면서 경수면에 들어 갔다. 약 41분 후의 SIL 지표의 급격한 감소는 이때 피검자가 입 속의 껌을 빨는 동안에 의식 수준이 다시 상승 하였기 때문이며, 이와 동시에 발현 간격이 짧은(15초 이내) 4회의 SIR이 발현 되었으며 이후 다시 수면 상태로 들어 갔으며, 수면 중에도 앞의 4회 이외에도 발현 간격이 3분 이상인 6회의 SIR 발현이 나타났다. 약 67분 후 전화 벨 소리로 인하여 잠이 깨면서 의식 수준이 상승하여 SIR의 발현이 다시 시작 되면서 SIL 지표는 과상적인 감소와 증가를 반복하면서 서서히 감소 하였다. 이는 재각성 기간 동안 빠른 각성상태를 회복 하도록 계속적으로 피검자에게 반복적으로 주지 시켰기 때문이라고 생각된다. 수면 상태에서 부터 재각성되는 기간에는 SIL 지표는 1.3 이상으로 높으나 SIR 발현 간격은 모두 80 sec 이하 이었다.

전체적으로 3인의 피검자 중 제일 작은 188회의 SIR 발현이 있었으며, SIL 지표 역시 피검자 중 제일 낮은 값을 나타내었다. 이는 피검자의 피부가 건조하며, 의식 상태가 다소 낮은 졸리는 상태에서 실험을 시작 하였으므로 SIR 발현 빈도가 낮고, BI 값이 높으며 깊은 수면을 취하지 않았기 때문이라 생각된다.

그림 4(b)의 피검자 W는 피부가 다습하고 양호한 각성 상태에서 시험을 시작하여 실험 도중 외란의 영향이 전연 없었으며 강제 각성 시키지 않고 스스로 자연스러운 재각성 상태로 돌아온 경우의 데이터이며 총 268회의 SIR 발현이 있었다. 따라서 SIL 지표는 전체적으로 부드러운 곡선을 나타내고 있으며 재각성 기에도 SIL 지표의 변화는 (a)의 경우 보다 작다. 반면에 수면 기간 동안에 발현간격이 3분 이상이고 SIL 지표도 2 이상인 경우가 대부분이며, 재각성시에는 서서히 각성상태로 회복 되었으므로 SIL 지표는 2 이상으로 높으나 발현간격이 1분 이내인 SIR이 많이 발현 하였다. 따라서 SIL 값 만을 기준으로 그 값이 일정 수준 이상인 경우를 수면상태로 판정할 수 없음을 알 수 있다. 실험기간 동안 전화벨 소리 등의 외란이 있었으나 실험 후 확인한 결과 피검자는 전연 듣지 못하였을 정도로 완전한 숙면 상태에 까지 도달 하였다가 각성상태로 회복 되었다. 따라서 각성상태로 부터 수면을 거쳐서 재 각성되기 까지의 완전한 수면 사이클 동안의 두 파라미터간의 관계를 잘 나타내고 있다고 할 수 있다.

그림 4(c)에서는 총 286회의 SIR 발현이 있었으며, 수면 도중에 강제 각성 시킨 경우의 데이터 이다. 실험 시작 후 SIL 값의 변화가 많은 것은 외부 자극에 대한 영향을 분석하기 위하여 실험 시작 후 초기에 피검자에게 이야기를 시키거나 좋아하는 음악을 들려 주는 등의 자극을 주었기 때문이다. 실험 시작 약 1시간 후 SIL 지표의 급격한 감소는 수면 중 강제 각성 시켰기 때문이며, 이 후 재 각성을 요구하지 않은 결과 SIL 지표는 다시 증가하였으며 약 70분 후에 재 각성을 요구한 결과 SIL 지표는 다시 감소하여 약 1.5의 값을 갖는 안정 상태를 유지 하였다. 재각성 후 SIL 지표가 정상적인 BI 값 보다 높은 것은 전극과 피부 간에 땀이 축적되었기 때문으로 판단된다. 또한 SIR 발현 간격이 3분 이상은 수면 중에 2회 발생 하였으며 발현 간격이 3분 이내이고 SIL 지표가 2이상인 영역에 데이터가 많이 분포하고 있는 것은 저의식 수준에서 이야기 등의 자극에 의한 SIR 발현이 나타났기 때문이다.

의식레벨에 따른 피부전기활동과 뇌파신호를 비교하기 위하여 두 신호를 동시에 측정 하였으며, 뇌파는 각성 단계별로 200Hz로 샘플링하여 512개의 데이터를 획득하여, 주파수 스펙트럼을 분석하였다[2].

6명의 피검자 모두 SIR의 발생빈도가 높고 SIL 레벨이 낮은 각성 개안시에는 β 파 대역의 주파수가 나타나고, 다소 졸려서 눈을 감은 상태에서는 α 파의 저주파 성분이 강하게 나타났다. 또한 임편기에서는 α 파가 소실되고 θ 파 대역의 저주파 신호가 나타나고, 중등도의 수면상태에서는 δ 파 및 θ 파 대역의 신호와 함께 방추파가 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 앞의 SIR 및 SIL의 측정 결과와 함께 의식 레벨의 변화에 따른 생체신호의 변화하는 양상을 잘 나타내고 있으며 SIC의 변화로 부터 각성상태를 판단할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 뇌파, SIR 및 SIL을 동일 시간축상에서 비교한 결과 더욱 잘 알 수 있었다 [2].

지금까지의 실험 결과로 측정된 피부 임피던스 변화 신호로 부터 피검자의 의식레벨을 각성수준이 양호한 상태로 부터 졸림을 지나서 수면 상태에 이르는 3 단계로 구분할 수 있었으며, 이에 따른 SIR 및 SIL의 변화는 각성이 양호할 때는 SIL 지표가 1.3 미만이고, SIR 발생 간격이 1분 이내이며, relax 및 졸리는 상태에서는 SIL 지표는 1.3 - 2 이고 SIR 발생 간격은 1.5 - 3분 이며 수면 상태에서는 SIL 지표가 2 이상이며 SIR 발생 간격은 3분 이상인 상태로 구분할 수 있다. 그러나 위의 파라미터 값의 범위가 정의된 의식상태와 상충되는 중간 의식상태가 있으므로 이를 고려하기 위하여 SIR 발현간격과 SIL index를 3 단계로 구분하여 이들의 상호조합에 의한 의식 수준의 더욱 세밀한 단계화에 대한 연구는 현재 진행 중에 있다.

지금까지 측정된 SIC 데이터를 피검자의 의식수준과 뇌파변화를 기초로 분석한 결과 각성 수준에 따른 각 파라미터의 범위는 표 1과 같다.

표 1. 각성 수준과 SIR 빈도 및 SIL 지표

Table 1. SIR frequency and SIL index depending on arousal levels.

각성수준	SIR 빈도	SIL Index	SIR 간격
각 성	>6회/분	<1.3	< 1분
졸 립	1-3회/분	1.3-2	1.5-3분
수 면	<1회/분	>2	> 3분

4. 결 론

각성수준에 따른 피부 임피던스 변화와 뇌파 측정용 휴대형 시스템을 구성하고 이를 이용하여 6인의 피검자로 부터 측정된 신호와 각성도의 상관관계를 검토하고 측정에 따른 문제점들을 분석하여 각성도의 측정 및 평가와 모니터 개발을 위한 기초적인 연구를 하였다.

본 연구에서 설계된 각성도 측정 시스템을 이용하여 피부 전기활동으로 인한 SIC 변화를 측정하여 지표화 함으로서 각성, 졸림, 수면의 3 단계 각성 수준 변화를 구분 할 수 있었다. 또한 이러한 3단계 각성 수준의 변화에 따라서 각성도가 높을 때의 SIL 지표는 1 이하이고 SIR 발현 간격은 1분 이내이며, 저의식 수준인 졸리는 상태의 SIL 지표는 1.3 - 2, SIR 발현 간격은 1-2분, 수면 상태의 SIL 지표는 2 이상, SIR 발현 간격은 3분 이상 이었다. 그러나 수면 상태에서도 SIR은 완전히 소멸되지 않고 간헐적으로 나타났으므로 기존의 SIL 또는 SIR 만을 이용한 수면상태 판정은 불완전하며 두 요소를 동시에 측정하여야 더욱 정확히 각성상태를 판정할 수 있다.

앞으로 더욱 정확하고 정량적인 각성단계 평가를 위해서는 각성단계에 따른 SIL 수준 SIR 빈도수의 더욱 자세한 평가기준 결정을 위한 더 많은 피검자에 대한 실험과 장기간 사용시 땀으로 인한 전극의 부식이나 인체의 적합성 등을 고려한 기록용 전극의 구조와 재질에 대한 연구가 필요하다. 또한 현재 수행 중인 실차 환경하에서의 실험결과는 추후 발표할 예정이며, 수면 억제에 위한 효과적인 방법에 대한 연구도 수행할 예정이다.

* 본 연구는 과학기술처의 특정연구개발 사업에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

- [1] M. Suzuki et al, "Development of portable skin impedance monitor and its evaluation," Japan Soc. of MBE, vol. 32, p. 277, 1994.
- [2] 고한우, 이완규, 이건기, "피부전기활동 변화에 의한 각성도의 측정 (I)," 대한 의용 생체공학학회 춘계 학술대회, vol. 17, no. 1, pp.195-199, 1995.

- [3] K.A.Brookhuis, D. De Waard, "The use of psychophysiology to assess driver status," *Ergonomics*, vol. 36, no.9, pp. 1099-1110, 1993.
- [4] J. Aasman, G. Mulder, L.J.M. Mulder, "Operator effort and measurement of heart-rate variability," *Human Factors*, vol. 29, no. 1, pp. 161-170, 1987.
- [5] G. Kecklund, T. Akerstedt, "Sleeping in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving," *Ergonomics*, vol. 36, no. 9, pp. 1007-1017, 1993.
- [6] N. Galley, "The evaluation of the electrooculogram as a psychophysiological measuring instrument in the driver study of driver behavior," *Ergonomics*, vol. 36, no. 9, pp.1063-1070, 1993.
- [7] 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.
- [8] T. Kamei et al, "A new Ambulatory arousal level monitor utilizing the skin potential level," *SAE SP-916*, pp. 53-61, 1992.
- [9] Y. Yamamoto, T. Yamamoto, "Dynamic system for the measurement of electrical skin impedance," *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, vol. 17, pp. 135-137, 1979.
- [10] L. C. Johnson, A. Lubin, "Spontaneous electrodermal activity during waking and sleeping." *Psychophysiology*, vol. 3, no. 1, pp. 8-17, 1966.
- [11] A. J. R. Koumans et al, "Electrodermal levels and fluctuations during normal sleep," *ibid.* vol. 5, no. 3, pp. 300-306, 1968.
- [12] 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.

————— 著 者 紹 介 —————

高 漢 雨

「센서학회지 제3권 제2호」 논문 94-3-2-08, p. 64 참조.
 현재 한국표준과학연구원 계측공학 연구 그룹



李 完 揆

1952년 8월 11일 생. 1978년 한양대학교 정밀기계과 졸업(공학사).
 1981년 한양 대학교 대학원 정밀기계과 졸업(공학석사). 1988년 일본 고베대학 생산공학과 졸업(공학박사). 현재 한국표준과학

연구원 계측공학 연구그룹. 주관심분야 : 시스템 공학, 센서퓨전 등.