

<구연>

## SIC에 의한 각성도 제어를 위한 평가기준의 설정 및 비교

고 한 우, 김연호  
한국표준과학 연구원

### Comparison and The Evaluation of Criteria for Arousal Level Control

H.W. Ko, Y.H. Kim  
Korea Research Institute of Standards and Science

#### ABSTARCT

This paper describes the criterias to evaluate arousal states of subject and these are applied to contorl arousal level. Correction factor was introduced to compensate under or over evaluated Nz due to the different initial basal skin impedance. These criteria and correction factor were worked well to increase the arousal level.

#### 1. 서 론

수면에 대한 연구는 크게 수면장애를 해소하여 쾌적한 수면을 유도하기 위한 것과 이와는 반대로 수면을 억제하기 위한 연구로 나눌 수 있다. 수면억제에 대한 연구는 일찍부터 뇌파, 눈 깜박임, 피부전위, 심박수 등의 생리지표를 이용하여 각성수준을 평가하여 수면을 제어 또는 억제하고자 하였다. 그러나 이들은 생리신호로 부터의 지표화가 어렵고, 피측정자에게 정신적 육체적 부담을 주므로 그 적용 범위는 제한된다. 또한 생리지표가 갖는 비선형성, 개인별, 연령별 차이가 있으므로 수면억제를 위한 정량적인 제어가 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 생리지표를 이용한 각성수준을 제어하기 위해서는 첫째로 간편하면서도 실용적인 측정방법, 둘째로 측정된 량과 각성수준과의 상관관계 평가방법 확립 및 지표화, 셋째로 측정 량에 의한 사람의 특성을 고려한 유연한 제어법의 연구개발 되어야 한다. 더 나아가서는 검출된 저각성 수준을 유지 또는 향상 시키기 위한 효과적인 매체나 방법 등이 연구개발 되어야 한다. 지금까지 다양한 방법들에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 아직 까지 완전한 실용화에까지는 이르지 못하고 있다[1-4].

의식 수준의 변화와 관련하여 나타나는 변화는 각종 생리신호의 변화인 생리적인 변화와 눈 깜박임, 하품 등의 행위적인 변화가 있다. 저자들은

위의 두종류의 신호가 갖는 측정 및 해석상의 상호 보완적인 성질을 이용하여 운전자의 각성상태를 보다 정확히 측정, 평가 및 제어할 수 있는 종합적인 각성도 모니터링 시스템 개발을 목표로 하여 측정방법, 휴대형 시스템의 개발, 데이터 분석방법, 각성단계의 평가기준, 제어방법 등을 연구하여왔다[5-9].

본 연구에서는 이러한 연구를 바탕으로 운전자의 각성도를 측정하여 줄리는 상태를 평가하고 의식수준 저하를 막을 수 있도록 운전자에게 경보음을 주어서 각성도를 제어하기 위한 기준을 설정하고 이를 비교하였으며, 측정 데이터를 분석하여 이 기준의 유용성을 확인 하였다.

#### 2. 각성도 평가기준의 설정 및 제어

본 연구에서는 각성수준 변화를 검출하기 위한 생리적인 신호로서 피부의 전기적인 임피던스 변화(Skin Impedance Change : SIC)를 3전극법을 이용하여 측정하였으며, 이 SIC 신호로부터 피부임피던스 수준(Skin Impedance : SIL)과 피부임피던스 반응(Skin Impedance Response : SIR) 신호를 분리하여 SIL의 정규화된 상대적인 진폭변화 지표 Nz와 SIR의 발현간격 (Inter SIR Interval : IRI)의 변화와 각성 수준과의 상관관계로부터 각성도를 측정, 평가하여 제어할 수 있도록 하였다[9]. Nz는 실험 시작 후 5분간의 안정화 기간을 거친 후 3분간의 SIL 값을 평균한 값을 기저 임피던스(Basal Impedance : BI)로 하고 이후의 측정값을 BI로 나누어서 정규화 시킨 값이며, IRI는 인접 SIR 발현간의 시간 간격이다. 평가결과 줄린 상태로 판정되면 제어 알고리즘에 따라서 Notebook PC에 내장된 소리카드와 스피커를 이용하여 경고음을 줄 수 있도록 하였다. 이러한 과정에서의 모든 측정 데이터(SIL, Nz, IRI, 경고음의 종류)는 실시간으로 측정 및 기록하여 데이터와 각성 수준변화의 상관관계를 추

## SIC에 의한 각성도 제어를 위한 평가기준의 설정 및 비교

후에 분석할 수 있도록 하였다.

지금까지의 연구결과 각성상태로 부터 수면에 이르기까지를 Nz와 IRI의 관계를 이용하여 표 1과 같이 3단계로 평가할 수 있었다[6].

표 1. IRI 및 Nz 값에 따른 각성도 평가기준(I)  
Table 1. Arousal level criteria depending on IRI and Nz.

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

그러나 본 연구의 최종 목적인 안전사고 방지 특히 졸음운전 방지를 위하여서는 각성도 저하의 초기단계부터 검출하여 제어하여야만이 각성도를 향상 또는 유지시킬 수 있는 대책을 강구할 수 있으므로 각성상태와 졸리는 상태간의 의식 수준에 대한 더 자세한 분류가 이루어져야 한다. 지금까지 표 1의 기준을 적용하여 각 단계별로 측정된 데이터를 각성영역도상의 12개 영역간의 관계를 분석하여 표2 및 그림 2와 같은 새로운 기준을 설정하였다.

표 2. 각성도 제어기준

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

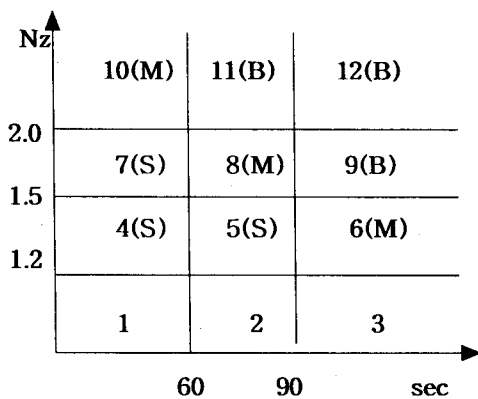


그림 2. Nz-IRI 평면상 각성 영역도.

Fig. 2. Area map of arousal state on Nz-IRI plane.

즉 표 1의 졸림 판정의 SIL 지표인 Nz 값의 범위(1.3 - 2.0) 중 하한 값을 1.2로 낮추고, 1.2 -

2.0 사이의 범위를 1.2 - 1.5와 1.5-2.0으로 둘로 나누어서 각성과 졸림 사이의 중간의식 부분에 해당하는 부분을 조기에 검출할 수 있도록 하였다 또한 수면의 실험결과 각성상태에서 졸림으로 이행하는 초기에는 Nz 값은 1.2 이상이나 IRI가 60초 이하인 경우가 발생하므로 이를 고려하여 IRI의 기준도 표 2와 같이 수정 하였다.

그림 2는 각성도 측정 및 제어 시스템의 흐름선도이다. 졸림의 판정은 표 2의 기준을 적용하여 각성도를 자동적으로 판정하여 각성도를 제어하는 경고음을 주면서 데이터를 PC에 저장하여 그 결과를 분석 한다. 한편 경고음은 표 2 및 그림2의 조건이 만족되면 Notebook PC에 내장된 소리카드를 이용하여 외부 스피커를 통하여 발생 시킨다.

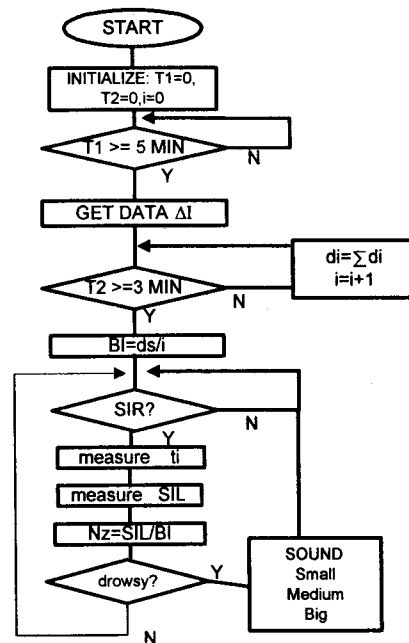


그림 2. 각성도 측정 및 제어시스템의 흐름선도.

Fig. 3. Flow chart of arousal measurement and control system.

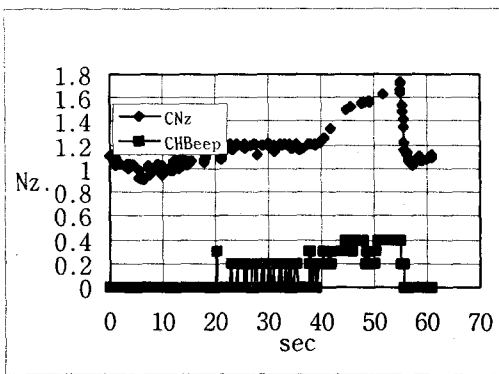
## 3. 실험 및 결과 고찰

본 연구에서 설정한 각성도 평가 기준의 유효성을 평가하기 위하여 3인의 피검자(20 - 45세 남성)의 각성도를 졸림이 오기 쉬운 점심시간 후 및 수면을 취하지 않은 날의 오전 3시경에 실험을 실시하고 그 결과를 분석하였다.

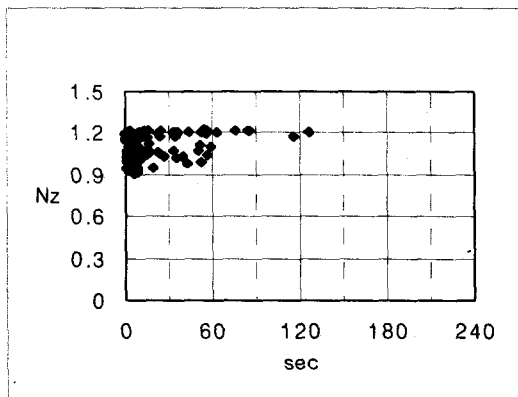
피검자는 의자에 앉은 상태에서 실험을 하였으며, 표 2의 기준에 따라서 피검자가 졸림 상태로 판정되면 의식수준에 따라서 S, M, B의 3종류의 경고음을 10초간씩 주며, S(small), M(medium), B(big)는 각각 500, 1000, 3000 Hz의 정현파 신호를 나타낸다.

한편 피검자는 경고음을 들었을 때는 각성상태를 회복하고자하는 의식을 갖도록 하였다. 또한 경고음의 효과와 피검자가 각성상태를 유지하려는 의지 유무에 대한 영향을 알아보기 위하여 실험 도중에 경고음이 들리더라도 계속적으로 졸고자하는 의지를 갖도록 하여 이 결과도 비교 분석 하였다.

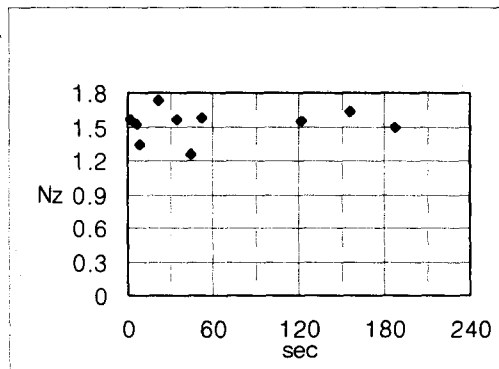
그림 3은 오후 2시경에 실시한 피검자 Y에 대한 실험 결과이다, 그림 3(a)는 30분간의 실험시간 동안 의식 수준 변화에 따른 Nz와 IRI(데이터 점간의 시간 간격)의 변화와 각성도 판정에 따른 경고음의 발생 시간 및 경고음의 종류를 나타낸다. 경고음의 종류가 S, M, B인 경우 그림에서는 각각 0.2, 0.3, 0.4로 표기하였으며 0은 경고음이 없는 정상적인 각성상태이다.



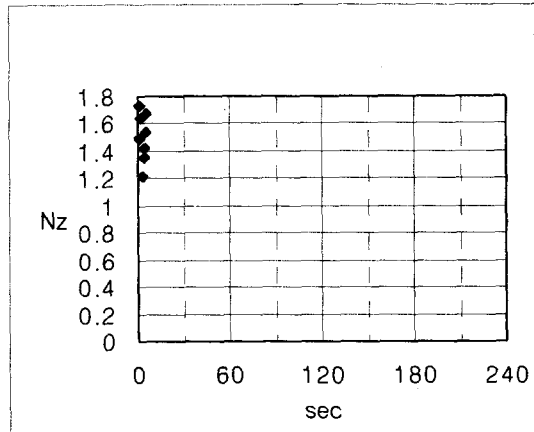
(a) Nz-IRI의 변화 및 경고음 발생



(b) 각성 및 경고신호 발생 중의



(c) 경고음 발생 중 계속 자려고할 때



(d) 경고음 종료후 재각성 중

그림 3. 각성도 제어 실험 결과 1 ( 피검자 Y).  
Fig. 3. Results 1 of arousal control(subject Y).

실험 시작 후 서서히 증가하던 Nz 값과 IRI 값은 약 5분 후 그림 2의 영역 4에 해당되어 S의 경고음이 발생되기 시작함에 따라서 Nz와 IRI의 값은 증감을 반복하며 그림 2의 영역 1-3으로 각성수준은 회복되며, 이후에도 IRI는 60초 이하일지라도 Nz가 1.2 이하로 떨어질 때 까지 반복적으로 경고음이 주어져서 의식 수준의 회복이 촉진되고 있음을 볼 수 있다. 그러나 9분경 다시 두 값이 증가하여 그림 2의 영역 6에 해당됨에 따라서 M 수준의 경고음이 발생됨에 따라서 Nz 값은 급격히 감소한다. 그림의 약 15분 경 후부터 경고음의 수준이 S에서 M으로 증가됨에도 불구하고 Nz와 IRI 값이 계속적으로 증가하는 것은 경고음에 반응하는 피검자의 의식과 경고음의 세기와의 상관관계와 적정성을 알아보기 위하여, 피검자에게 경고음이 들리더라도 계속적으로 자려고하는 의식을 갖도록 하였기 때문이다. 이러한 변화는 그림 3(b) - (d)에서 자세히 볼 수 있다.

그림 (b), (c), (d)는 각각 각성상태 및 경고음 발생중의 졸리는 상태, 경고음이 발생중인 졸리는 상태이나 피검자가 계속하여 자려고 하는 의식을 갖는 경우 및 경고음 발생으로 Nz 값이 최고치에 도달한 후 감소하기 시작하여 경고음이 더 이상 발생되지 않을 때까지의 재각성중인 기간의 Nz-IRI의 상관관계 분포도이다. 그림 (b) - (d)를 비교해보면 각성상태 및 경고음 발생에 따라 정상적인 반응을 하는 기간에 비하여 경고음 발생에도 불구하고 계속적으로 자려고 하는 의식을 갖는 경우의 데이터는 Nz 값도 높고, SIR 발현간격도 넓음을 볼 수 있다.

또한 실험 초기의 의식 수준이 아주 낮은 경우의 경고음으로 인한 각성유지 효과를 확인하기 위하여 피검자는 경고음이 울리면 각성상태를 유지하고자하는 의식을 갖도록 요구하고 심야 (오전 2시

## SIC에 의한 각성도 제어를 위한 평가기준의 설정 및 비교

경)에 실험을 실시하였다. 그림 4는 피검자 K에 대한 실험 결과 데이터이다. 또한 본 실험에서는 실험 초기의 각성 수준차이로 인해 초기에 설정된 BI 값의 과소평가에 의한 영향을 보상하기 위하여 실험 전에 피검자의 주관적인 판단에 따른 주관적 졸림측도인 KSS 척도에 따라서 측정된 BI 값에 지금까지의 실험결과를 기준으로 보상상수(1.4)를 곱하여 보정된 BI 값을 기준으로 Nz 값을 결정하여 이 방법의

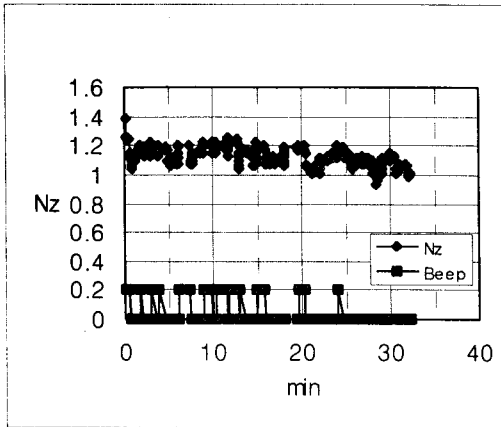
가능성을 확인하고, 추후 KSS 척도에 따른 보상상수 결정을 위한 기초자료를 수집하고자 하였다. 피검자는 심야에 실험하였으므로 실험초기에 대단히 졸리는 상태이었다.

그림 4(a)는 32분간의 실험시간 동안 의식 수준 변화에 따른 Nz와 IRI(데이터 점간의 시간 간격)의 변화와 각성도 판정에 따른 경고음의 발생 시간 및 경고음의 종류를 나타낸다. 실험 시작시 피검자는 상당히 졸리는 상태이었으므로 1.4의 Nz 값을 가지므로 BI 값을 구한 후 즉시 S의 경고음을 울리게되므로 피검자의 주의를 환기 시켜서 각성도가 향상 되므로 Nz 값이 급격히 감소함을 볼 수 있다. 그러나 만약 BI 값을 보정하지 않았다면 상당기간동안 피검자가 실제적으로 졸림에도 불구하고 경고음을 울릴 수 없게되므로 운전자는 위험한 상황에 도달할 수 있게된다. 이후 전체적인 실험기간동안 Nz 값은 경고음에의하여 1.2 이하의 낮은 값을 유지하고 있으므로 BI 값을 보정하는 것이 졸림을 조기에 검출할 수 있는 좋은 방법임을 확인할 수 있었다. 또한 실험 시작 약 24분 후에는 의식 수준이 상당히 회복되어 경고음이 없어도 상당한 각성상태를 유지하고 있음을 볼 수 있다.

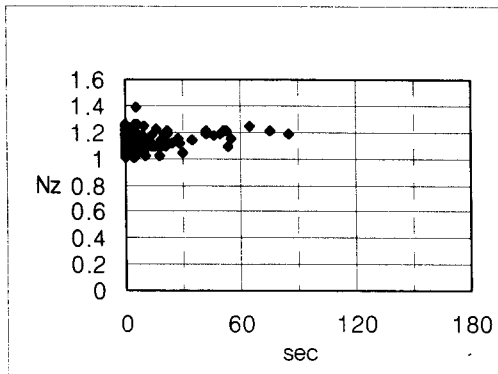
그림 4(b)와 (c)는 (a)의 데이터를 실험 시작 시간부터 경고음이 울리는 기간(0-24분) 동안 및 그후 경고음이 울리지 않는 재각성 후 동안의 데이터에 대한 Nz - IRI의 분포도이다. 전체적으로 대부분의 데이터는 앞의 그림 2의 영역 1, 2, 4, 5 영역에 분포하고 있으므로 상당히 효과적인 방법임을 알 수 있다.

## 5. 결론

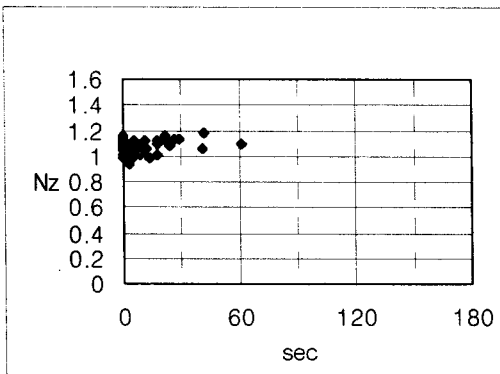
본 연구에서는 각성도 제어를 위한 기준을 설정하고 실시간으로 각성도를 평가하여 3 종류의 경고음을 줌으로서 의식 수준 저하를 방지할 수 있음과 이 기준의 적합성을 확인 하였다. 또한 초기 각성수준의 차이로 인한 기저임피던스의 과소평가로 의식저하의 적절한 시기에 경고음을 줄 수 없는 문제점을 해결하기 위하여 기저임피던스에 대한 보상상수를 도입함으로써 경고음을 적기에 줄 수 있다는 가능성을 확인 하였다. 따라서 앞으로 각 의식 수준 별로 최적의 보상상수의 결정과 경고음의 종류와 세기 및 기타 경고음과 동시에 각성도를 향상 시킬 수 있는 적절한 매체에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서 개발된 방법들은 이러한 문제점들을 해결하는 데 큰 도움이 되리라 판단된다.



(a) Nz-IRI 변화 및 경고음 발생



(b) 경고음 발생 중의 Nz-IRI 분포도



(c) 경고음 발생 후의 Nz-IRI 분포도

그림 4. 각성도 제어실험 결과 2(피검자 K).  
Fig. 4. Results 2 of arousal control(subject K).

참고문헌

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. 고한우, 이완규, 이건기, "피부임피던스 활동 변화에 의한 각성도의 측정(I)", 의용생체공학회춘계 학술대회, vol. 17, no. 1, pp. 195-199, 1995.
6. 고한우, 이완규, "피부임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템", 센서학회지, vol. 4, no. 3, pp. 30-36, 1995.
7. 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.
8. 이완규, 고한우, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(II) -눈깜박임 속도의 검출-", 자동차공학회 추계학술대회, vol. (I), pp. 481-486, 1995.
9. 고한우, 이완규, 김철중, 이건기, "휴대형 각성도 측정 및 분석 시스템", 대한 의용생체공학회 춘계학술대회 논문집, vol. 18, no. 1, pp. 60-64, 1996.