

## 졸음 검출을 위한 EDA신호의 동잡음 제거법(II)

고한우·김연호

한국표준과학연구원

(1999년 2월 28일 접수, 1999년 4월 29일 채택)

### Cancellation of Moving Artifact in EDA Signal to Detect Drowsiness(II)

H.W. Ko, Y.H. Kim

Korea Research Institute of Standards and Science

(Received February 28, 1999, Accepted April 29, 1999)

**요약** : 본 연구에서는 피부전기활동을 이용한 졸음 검출시 발생하는 동잡음 제거법을 제안하였다. 운전 조작시 발생하는 동잡음을 제거할 수 없는 기존의 핸들형 전극의 문제점을 해결하기 위하여 두 종류의 손뼉형 전극을 개발하였으며, 세 종류의 전극을 비교 실험한 결과 type I 전극을 개선한 손뼉형 전극 II가 동잡음 제거에 가장 효과적이었다. 가상 운전 실험을 통하여 동잡음 판별기준( $IRI \leq 10$ 과  $1.1 \leq dNz$ )을 설정하고 이 기준을 동시에 만족하는 경우의 Nz값을 동잡음 발생이전의 Nz값으로 치환하는 동잡음 제거 알고리즘을 개발하였다. 가상 및 도로 주행 실험결과 제안된 알고리즘은 동잡음을 성공적으로 제거할 수 있었으며, 본 연구에서 제안된 알고리즘과 개선된 전극을 이용하여 구현된 시스템은 동잡음의 영향을 받지 않고 각성상태를 정확히 측정할 수 있음을 확인하였다.

**Abstract** : This paper proposed a method for the cancellation of the moving artifact which was produced during the detection of drowsiness using electrodermal activity signal. Two types of wrist electrode were developed to overcome the defect of the steering wheel type electrode which couldn't eliminate the moving artifacts due to driver's movements. Wrist type electrode II which has been modified from electrode type I was most effective for eliminating moving artifacts compared to wheel type electrode and wrist type electrode I. The decision criteria(if  $IRI \leq 10$  and  $1.1 \leq dNz$ ) for detecting moving artifact was determined from the virtual driving experiments. An algorithm which substituted past value of Nz for the current value of Nz whenever an EDA signal satisfied the criteria was developed. The experimental results of virtual driving and road test showed that the proposed algorithm had been successfully removed the most of the error due to the moving artifact. Therefore, the developed system which use electrode type II and the algorithm might be less influenced by moving artifacts and could measure an accurate arousal state.

**Key words** : Electrodermal Activity, Arousal, Drowsiness, Moving-Artifact, Wrist Electrode

## 서론

자동차 기술은 짧은 역사 속에서 많은 발전을 거듭하였으며 최근 자동차의 기술 동향을 살펴보면 지능적인 자동차의 개발이 활발히 진행되고 있으며 미국에서는 IVI(intelligent vehicle initiative)라는 새로운 정책으로 교통사고의 수와 정도를 낮추고

운송효율을 높이는 등의 목적을 가지고 연구중이다[1]. 스마트 카에 대한 연구를 위하여 음성인식 뿐만 아니라 자동항법장치, 자동차 탑재용 정보처리 컴퓨터, 졸음운전방지 시스템 등의 연구도 활발하다. 그 중 운전이 단조로운 고속도로에서 졸음으로 인한 교통사고의 수가 많아짐에 따라 자동차 산업이 발달한 유럽, 일본, 미국뿐만 아니라 국내에서도 졸음운전 방지 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2-4]. 저자들은 생리신호중 피부전기활동(electrodermal activity : EDA)신호를 이용한 각성도 측정 및 평가 시스템을 개발하였으며 이를 졸음운전

통신저자 : 고한우, (305-600) 대전시 유성구 도룡동 한국표준과학연구원 유성우체국 사서함 102호,  
Tel. (042)868-5252, Fax. (042)868-5455

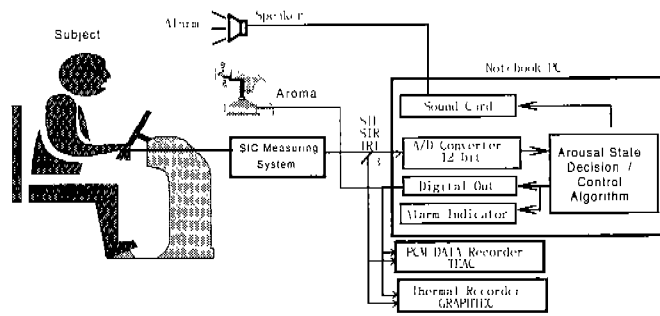


그림 1. 각성도 모니터링 시스템의 블록선도  
 Fig. 1. Block diagram of arousal monitoring system

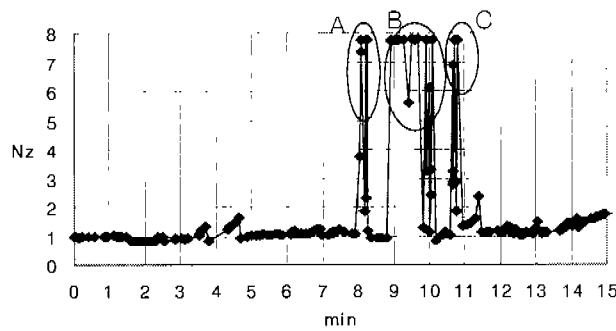


그림 2. 고속도로 주행 실험 결과  
 Fig. 2. Result of h/way driving test

방지 시스템 개발에 대한 적용 가능성을 확인하기 위하여 핸들형 전극을 이용한 실차 실험을 한 결과 각성상태를 정량적으로 측정 할 수 있음을 확인한바 있다[5-8]. 그러나 실차 실험시 운전행위에 의하여 일시적으로 전극과 피부간의 접촉 임피던스가 변화하여 발생하는 동잡음은 각성도 판정시 오류를 발생시키고 핸들전극을 잡지 않을 경우 각성상태를 측정할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 손목전극을 이용하여 EDA측정 위치를 핸들에서 손목으로 변경한 각성상태 측정법을 제안한바 있다[9]. 그러나 선행 연구에서 제안된 손목전극은 전극이 시계에 직접 부착되어 있으므로 손목의 움직임이나 시계에 외부로부터 충격이 가해질 경우 동잡음이 쉽게 발생하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 선행연구에서 개발된 손목전극의 문제점을 보완하고, 세 종류의 전극(핸들전극, 손목전극, 개량된 손목전극)에 대한 동잡음 제거 효과를 비교 분석하여 운전중의 각성상태 측정에 적합한 전극을 결정하였다. 또한 모의 운전실험 결과를 분석하여 동잡음 판정 범위를 설정하였으며 이를 바탕으로 동잡음 제거 알고리즘을 제안하고 이를 실제 운전중인 운전자의 각성도 측정에 적용하여 선정된 전극과 제안된 알고리즘에 의한 동잡음 제거 효과를 확인하였다.

### 각성도 모니터링 시스템과 동잡음

그림 1과 같이 구성된 측정시스템으로 피부임피던스변화를 측정하여 각성도를 평가하였으며 측정 요소로는 Nz와 IRI를 이용하였다[4]. Nz는 식 (1)과 같이 개인간의 차이를 없애기 위하여 피검자에게 전극을 부착시킨 후 5분간의 안정화 시간을 둔 후 3분간 피부 임피던스 수준인 SIL(skin impedance level)을 평균한 값을 기저 임피던스(basal impedance : BI)로 하고, 이를 기준으로 측정되어지는 SIL값을 BI로 나누어 정규화 시킨 값이며, IRI(inter-SIR interval : IRI)는 식 (2)와 같이 인접 SIR(skin impedance response)간의 발현 간격이다[4-6].

$$Nz = \frac{SIL_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SIL_i} \quad (n: 3분동안의 IRI 발생횟수) \quad (1)$$

$$IRI = SIR_n - SIR_{n-1} [\text{sec}] \quad (2)$$

개발된 각성도 모니터링 시스템은 각성상태를 정량적으로 측정하여 평가된 결과에 따라 적절한 자극을 발생시켜 피검자의 각성저하를 방지 할 수 있었다[5,8]. 그러나 졸음운전 방지 시스

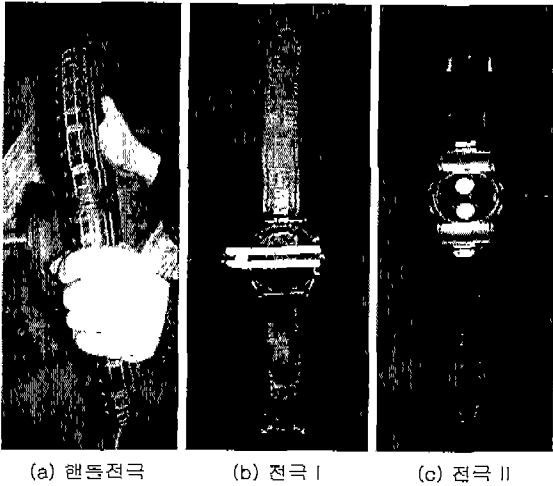


그림 3. 세 가지 종류의 EDA 전극  
Fig. 3. Three types of EDA electrode

냄에 적용하는 경우 음식인에 의한 동잡음의 발생으로 잘못된 각성상태 판정결과를 가져올 수 있다.

그림 2는 핸들의 놓자이 비교적 적은 고속도로에서 핸들에 부착한 전극을 사용하여 실험한 결과로써 약 2시간 동안 평균시속 100 km/h로 주행 실험한 결과에서 움직임에 의한 노이즈가 발생된 부분중의 일부이다. 그림 2에서 A는 방향등 작동 및 차선 변경시 이고, B와 C는 핸들로부터 손을 떼는 상태이다. 따라서 실험 시작부터 8분 직전까지는 각성변화에 따른 EDA의 변화가 잘 나타나지만 핸들을 움직이는 8분 이후의 A, B, C의 경우에는 동잡음이 발생하였다.

본 시스템에서는 IRI와 Nz를 각성상태 측정 파라미터로 이용하므로 운전 동작으로 인한 동잡음에 의하여 이 두 신호가 잘못 측정되어질 경우 정확한 각성상태 판정이 어렵다. 또한 핸들을 잡지 않은 B와 C의 경우 Nz는 1분 이상 포화된 값을 갖는다. 이러한 경우 본 시스템에서는 높은 Nz값의 영향으로 극도의 저각성상태로 판정하게 되어 이에 해당하는 경고음과 향기가 발생하게 된다[10]. 이는 오히려 각성상태로 운전중인 운전자를 놀라게 하거나 극도의 불쾌한 상황을 초래 할 수 있어 정상적인 운전을 방해하는 요인이 될 수 있다. 또한 핸들 조작이 적은 고속도로임을 감안했을 때 그림 2의 변화는 상대적으로 큰 오차이므로 운전동작이 크고 조작이 빈번한 일반국도 운전 중의 EDA 신호는 운전동작에 상당히 민감하게 변화하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위한 방법이 필요하다.

졸음운전 방지 시스템 개발을 위한 동잡음 제거

1. 전극의 개선과 특성 비교

그림 3(a)는 핸들전극이고 그림 3(b)는 핸들을 잡지 않을 경우에 EDA를 측정 할 수 없는 핸들전극의 단점을 보완하고자

표 1. 모의 운전실험 동작

Table 1. Motion patterns for driving simulation test

동작의 종류	운전동작의 내용
A 동작	좌, 우 90° 회전.
B 동작	U_turn 동작
C 동작	핸들에서 손을 떼는 상태
D 동작	연속된 좌우 15° 회전

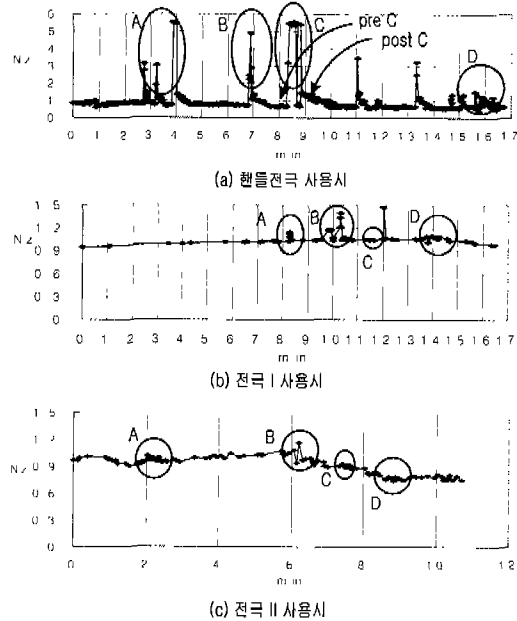


그림 4. 네 가지 운전동작에 따른 EDA 신호 변화  
Fig. 4. EDA signals for four driving motions

개발한 손목전극(전극 I)으로써 시계에 전극을 일정한 간격으로 부착시킨 것이다. 그러나 전극 I은 손목의 움직임이나 시계에 가해지는 충격에 동잡음이 쉽게 발생하므로 이를 보완하기 위하여 그림 3(c)와 같이 전극 I을 개선시킨 손목전극(전극 II)을 개발하였다. 전극 II는 전극의 모양을 작은 원형(직경 10mm)으로 만들어 손목의 굴곡에 의한 비접촉의 영향을 줄일 수 있도록 하였고 시계와 전극간에 얇은 스펀지를 삽입하여 전극과 피부사이에 적절한 압력이 걸리도록 하여 운전동작과 손목의 움직임 및 외부의 충격으로 인한 동잡음을 줄일 수 있도록 하였다.

먼저 동잡음 발생이 적은 전극 선정과 동잡음 판정기준 설정을 위하여 그림 3의 세 종류의 전극에 대하여 가상의 자동차 운전이 가능한 모형 자동차를 갖춘 실험실에서 반복적인 모의 운전실험 동안 측정된 EDA신호의 동잡음 신호의 특징적인 신호 패턴을 비교분석 하였다.

피검자는 운전경력이 2년 이상인 신체 건강한 20대의 남자 4명과 여자 2명을 대상으로 하였고 약 15분에서 30분간 실험하였다. 피검자는 평상시 운전 습관대로 핸들을 조작하되 운전동

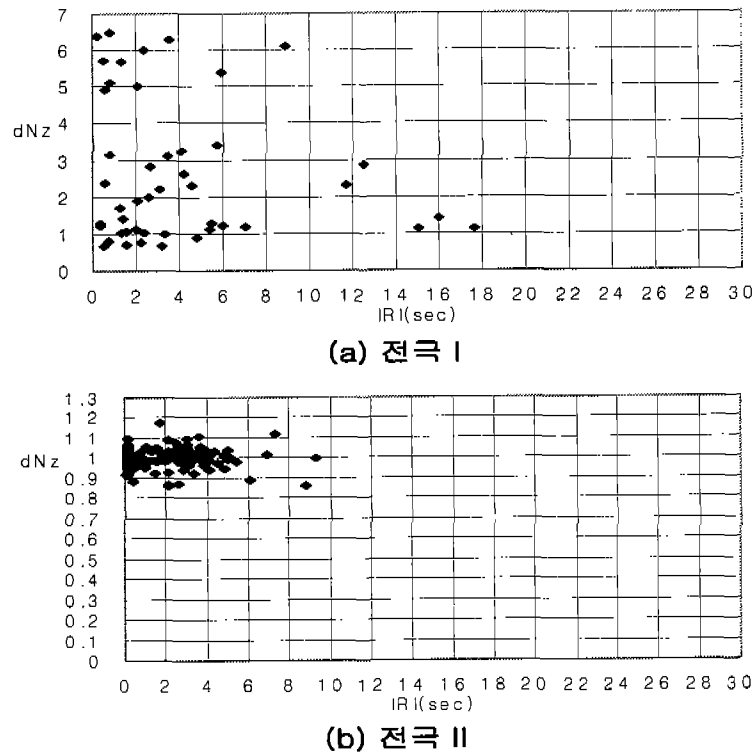


그림 5. 전극 종류에 따른 동잡음 발생시의 dNz-IRI도  
 Fig. 5. dNz-IRI map of moving artifacts depend on electrode type

작에 따른 EDA의 동잡음 형태를 자세히 분석하기 위하여 표 1과 같이 4가지 운전동작으로 한정하여 모의 운전을 하도록 하였다.

그림 4는 각 전극별로 표 1의 동작을 행한 피검자 K의 모의 실험결과로써 다른 5명의 실험결과와 데이터 모두 동잡음에 대한 신호 패턴이 같은 결과를 보였다. 먼저 핸들전극을 이용한 그림 4(a)에서는 표 1의 A, B, C, D 동작시 마다 동잡음이 많이 발생하였고 post C 이후의 두 개의 peak는 운전작업시 핸들로부터 손이 슬라이딩하여 나타난 동잡음으로써 발생한 동잡음 모두 신호의 진폭이 크다. 특히 운전 동작전의 Nz의 기저선(pre C)보다 동작후의 Nz의 기저선(post C)이 더 높았고 수 분이 지난 후에야 다시 운전 동작 이전의 Nz의 기저선 값을 갖게 된다. 이는 움직임에 의한 전극과 피부의 위치변화가 임피던스의 변화를 발생시키고 핸들을 손으로 잡고 있는 동안 손바닥에 있었던 수분이 움직임에 의하여 손과 전극이 분리되면서 증발되었기 때문에 동작 이전의 Nz의 기저선 값을 가지려면 수분의 안정화 시간이 필요하다. 따라서 핸들 전극을 사용할 경우에는 생리신호 측정위치가 손바닥이기 때문에 신호검출이 용이하긴 하나 동잡음이 많이 발생되고 동잡음 발생이후에 수분간 안정화 시간이 필요하므로 실제 운전 시에는 적용하기 어려움을 알 수 있다. 그림 4(b)는 전극 I을 이용한 경우의 실험결과로써 움직임이 심한 A와 B의 동작에서는 동잡음이 발생되었으나 C와 D동작에

서는 동잡음이 발생되지 않았다. 그림 4(c)는 전극 II를 이용하였을 경우의 실험 결과로써 B의 동작에 의하여 Nz값의 변화가 있기는 하지만 변화폭이 크지 않고 나머지 A, C, D동작에서는 움직임에 의한 Nz값의 변화가 나타나지 않았다. 그림 4(b)와 (c)의 결과를 통하여 전극 I과 전극 II를 이용할 경우 C의 운전 동작에 동잡음이 발생하지 않으므로 핸들전극을 사용할 때 운전자가 항상 핸들을 잡아야하는 운전자에 대한 구속성의 문제를 해결할 수 있고 D의 운전동작에도 동잡음이 발생하지 않으므로 움직임이 크지 않은 도로에서는 전극 I로도 각성제어가 가능하나, 동작이 크고 빈번한 도로에서는 전극 II를 사용하여 각성상태를 측정하는 것이 적합함을 알 수 있다.

2. 동잡음 신호특성 분석과 동잡음 제거 알고리즘

동잡음 판정을 위하여 Nz의 절대값을 이용할 경우 각성상태를 반영한 Nz와 동잡음시 발생된 Nz의 구별이 어려우므로 인접된 Nz의 비를 이용한 상대적인 값을 이용할 경우 무잡음시에는 적은 변화를 가지며 동잡음시 큰 값을 가지게 되므로 식 (3)과 같이 정의된 Nz의 변화율 dNz를 동잡음 판별 파라미터로 설정하였다.

$$dNz = Nz_{(n)} / Nz_{(n-1)} \tag{3}$$

그림 5는 전극별 동잡음의 감소효과를 분석하기 위하여 전극

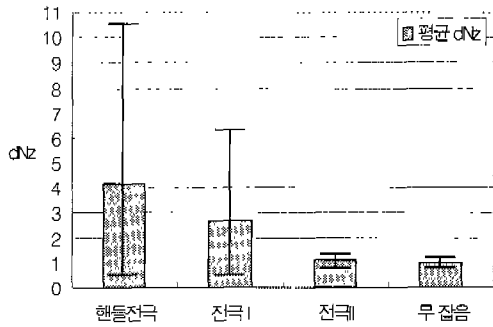


그림 6. 전극 종류별 dNz 데이터  
Fig. 6. dNz data depend on electrode type

I과 전극 II를 사용한 6명의 실험 데이터에서 운전동작 수행시 발생한 동잠을 데이터의 IRI와 인접된 Nz의 변화를 dNz에 대한 분포도이다.

전극 I을 사용한 그림 5(a)의 결과에서 IRI는 20초 이하에서 발생하고, 10초 이하에서 발생된 데이터가 89%로 낮은 값에 밀집되어 분포하며 동잠을 발생시 Nz값이 갑작스럽게 증가하므로 dNz값의 폭이 1부터 약 6.5까지의 넓은 분포를 가진 반면에, 전극 II를 사용한 그림 5(b)에서는 동잠을 발생시 IRI가 10초 이내에서 모두 발생하고 dNz는 0.85-1.2의 적은 변동범위를 가진다.

그림 6은 전극에 따른 동잠을 발생의 특성 비교를 위하여 전극 I과 전극 II, 핸들전극 사용시와 무잡음시의 평균 dNz와 최고·최소값을 구한 결과이다. 먼저 전극별로 평균값은 핸들전극, 전극 I, 전극 II, 무잡음시의 순으로 각각 4.12, 2.69, 1.12, 1.02의 값을 가지며 무잡음시의 값을 기준으로 비를 구하여 보면 핸들전극 사용시 무잡음을 일 때 보다 4.04배, 전극 I 사용시 2.64배, 전극 II 사용시 1.1의 값을 가지므로 전극 II가 가장 안정된 값을 갖는다. dNz값의 변동범위 역시 핸들전극은 0.516-10.8, 전극 I은 0.65-6.49, 전극 II는 0.86-1.17로 현저히 줄어든다. 따라서 전극 II를 움직임이 많은 도로에서 사용할 경우에 움직임이 없을 때와 같은 안정된 신호를 얻을 수 있다.

동잠을 발생이 적은 전극 II를 사용한 각성도 모니터링 시스템을 실제 차량에 적용할 경우 각성제어에 효과적이기는 하지만 그림 4(c)의 B와 같이 움직임이 심한 경우에는 동잠음이 발생하게 된다. 동잠음에 의한 각성상태 판정의 오차는 운전자에게 잘못된 자극을 제시 할 수 있으므로 제거하여야 한다.

선행연구에서 개발된 각성도 모니터링 시스템은 IRI가 발생하지 않을 경우에는 10초마다 Nz값을 읽게 프로그램 되어 있으므로 IRI가 발생되지 않을 경우에 대비할 수 있으나 운전동작에 의한 갑작스러운 Nz값의 변화에 대하여는 보완 할 수 없게 되어 있다[5,6,9]. 따라서 전극 II를 사용한 가상운전 실험의 EDA 신호를 분석하여 동잠을 판정기준을 설정하고 설정된 동잠음 판정기준을 이용한 동잠음 제거 알고리즘을 개발하였다.

그림 7은 전극 II를 사용한 6명의 모의 운전 실험결과중 동잠

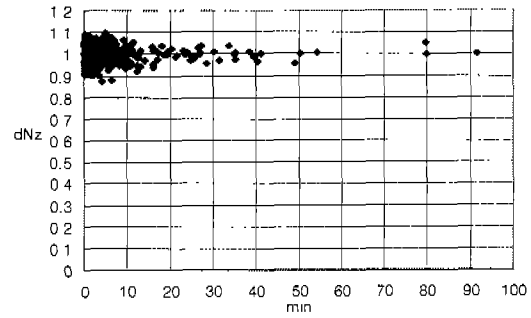


그림 7. 모의 운전실험시 발생된 무잡음시의 IRI-dNz도(전극 II)  
Fig. 7. IRI-dNz map without moving artifacts in driving simulation(electrode II)

음이 없는 데이터를 IRI와 dNz로 나타낸 실험 결과로써 동잠음이 없는 경우에 IRI는 90% 이상이 20sec 이하에서 발생되며 50sec 이상의 값도 약 3%정도이고 최대 92 sec의 값을 가지므로 그림 5(b)의 동잠을 발생시 보다 IRI가 넓게 분포함을 알 수 있다. 반면에 dNz는 그림 5(b)의 운전동작시 1.2 이하의 값을 가지며 무잡음시에는 1.1 이하의 값을 가지므로 운전동작시 dNz의 범위가 무잡음시 보다 크음을 알 수 있다. 여기서 동잠을 발생 영역을 구하기 위하여 동잠을 발생시의 IRI의 범위인 10sec 미만인 결과와 동잠을 발생시의 dNz 영역에서 무잡음시의 dNz의 영역을 제외하여 얻은  $1.1 \leq dNz$ 의 범위가 동잠음 영역이 된다. 따라서 동잠음 판정 범위는 식 (4), (5)의 조건을 동시에 만족시키는 영역이다.

또한 연속된 동잠음이 발생하거나 동잠음 발생 후 회복기 까지는 비정상적인 Nz값을 가지게 되어 평가결과가 틀리게 되므로 이를 해결하기 위하여 동잠음 판정기준을 적용하여 동잠음이 검출되었을 경우에 식 (6)과 같이 Nz값을 동잠음 발생 이전의 Nz값으로 치환함으로써 동잠음 발생시 일시적인 Nz값의 급격한 증가 현상을 방지 할 수 있도록 하였다.

$$IRI \leq 10 \text{ sec} \tag{4}$$

$$1.1 \leq dNz \tag{5}$$

$$\text{If } (IRI \leq 10 \text{ and } 1.1 \leq dNz) \text{ then } Nz_{(n)} = Nz_{(n-1)} \tag{6}$$

**동잠음 제거 알고리즘의 구현 및 실험 결과**

식(4)부터 식(6)의, 동잠음 제거알고리즘을 구현하고 그 유효성을 확인하기 위하여 모의운전 실험과 주행실험을 하고 그 결과를 분석하였다.

실험은 6명의 20대의 피검자(남 : 4, 여 : 2)를 대상으로 모의 운전이 가능한 실험실에서 약 30분간 모의운전 실험을 수행하였으며 피검자는 평소의 운전 습관대로 자연스럽게 운전을 하도록 하였다.

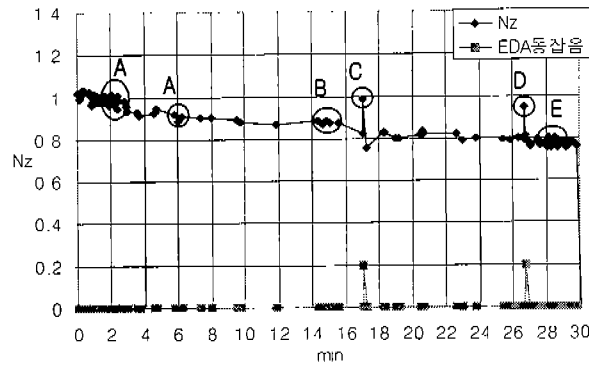


그림 8. 동잡음 검출 실험결과(피검자 Y)  
 Fig. 8. Result of moving artifacts detection test(subject Y)

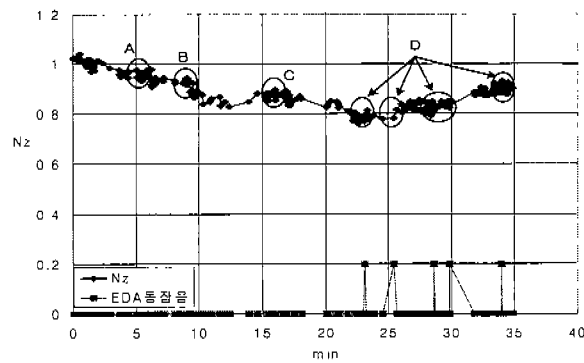


그림 9. 동잡음 제거 알고리즘을 적용한 실차실험 결과  
 Fig. 9. Result of road test using the algorithm for cancellation of moving artifacts

그림 8은 피검자 Y의 모의운전 실험 결과이고 그림에서  $\blacklozenge$ 는  $N_z$ ,  $\blacksquare$ 는 설정된 동잡음 제거 알고리즘에 의해 검출된 동잡음 신호 발생시점이며 피검자 Y는 A에서 급격한 좌 우회전 동작을 취하였고 B에서는 U 턴, E에서는 작은 각도의 좌 우회전을 반복하여 수행하였으나 움직임에 의한 동잡음이 발생되지 않았다. 반면에 운전동작중 전극이 부착된 시계를 건드린 C와 동작이 큰 U턴을 한 D에서는 동잡음이 발생하였으므로 그림 7에서 결정된 동잡음 판정 기준에 따라 동잡음( $\blacksquare$ )으로 검출하였다. 그림 8에서 검출된 동잡음 신호 그래프( $\blacksquare$ )로부터 결정된 동잡음 제거알고리즘이 유효함을 알 수 있고 동일한 방법으로 피험자 6인에게 모의 운전실험을 한 결과 동잡음에 대한 검출 확률은 약 97.7% 이었다. 따라서 그림 8의 실험 결과로부터 전극 II 사용시 정상적인 운전조작이 있는 경우 대부분 동잡음이 발생하지 않으나 심한 움직임이나 그밖에 알 수 없는 원인으로 인하여 잡음이 발생하였을 경우 설정된 동잡음 판정기준을 적용하여 잡음을 효과적으로 검출 할 수 있음을 알 수 있었다.

실차 주행실험은 대전에 위치한 대덕연구단지 내의 일반도로에서 승용차를 이용하여 실험 하였고 가능한 60 km의 일정한 속도를 유지하도록 하였으며 시간은 약 35분 동안 실험하였다.

그림 9는 동잡음 제거 알고리즘을 적용한 피검자 K의 4번의 반복된 실차 실험 결과중 하나로서 4번의 실험결과 모두 같은 경향으로 나타났다. 피검자는 A일 때 좌회전, B일 때 차선변경, C일 때 U턴을 하였으나 동잡음이 발생하지 않았고 동잡음이 검출된 D일 때는 동잡음 제거 알고리즘에 의하여 이전의  $N_z$ 값으로 치환되므로 운전동작에 의한 동잡음의 영향을 효과적으로 제거 할 수 있음을 알 수 있다. 그림 9의 실험 결과로부터 개발된 각성도 모니터링 시스템에 개선된 전극 II와 동잡음 제거 알고리즘의 적용으로 실제 운전중인 운전자의 동작 및 그 외의 잡음에 의한 영향을 제거할 수 있고 각성상태의 변화를 효과적으로 판단 및 제어 할 수 있음을 알 수 있었다.

### 결 론

본 연구에서는 운전시 발생하는 동잡음을 제거하기 위하여 선행연구에서 연구되어진 손목전극을 재개선 하였으며 3 종류의 전극에대한 모의운전 실험 결과, 운전중의 동잡음 제거에 적합한 전극을 선정하였다. 또한 전극 II를 사용하여 동잡음의 판정 범위를 설정하고 이를 이용한 동잡음 제거 알고리즘을 개발하고

이를 구현하여 실차실험을 수행한 결과 움직임에 대한 동잡음의 영향이 획기적으로 감소되었으며 소수의 동잡음이 발생된 경우에도 동잡음 제거 알고리즘에 의하여 동잡음을 제거 할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 개발된 전극과 동잡음 제거 알고리즘을 졸음운전방지 시스템에 적용할 경우 전극에 의한 구속감을 줄일 수 있고 운전자의 동잡음으로인한 각성상태측정 오차를 방지할 수 있으므로 운전시의 정확한 졸음검출이 가능하리라 판단되며, 기존의 영상처리에 의한 검출기법과 병용한다면 더 정확한 시스템 개발이 이루어지리라 기대된다.

참 고 문 헌

1. NIKKEI ELECTRONICS ASIA, "Computer Makers Drive Smart Cars", September, pp. 41-44, 1998.
2. Nimi, y, Watanabe, T. and Hori, T., "Skin potential activities as a function of stage of sleep", *J. Physiol. Soc. Japan*, 30, 231-244, 1968.
3. 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, no.

- 7, pp. 457-463, 1988.
4. 이상국, "운전자 감시 제어와 교통안전도 향상연구동향", *제어.자동화.시스템공학 학회지*, vol. 2, no. 1, pp. 37-44, 1996.
5. 고한우, 이완규, 김연호, "피부 전기활동을 이용한 휴대형 각성도 측정 및 제어 시스템", *센서학회지*, vol. 5, no. 3, pp. 55-64, 1996.
6. 고한우, 김연호, "각성도 세어를 위한 평가기준의 설정 및 경고음의 효과 분석", *의공학회지*, vol. 18, no. 1, pp. 79-85, 1997.
7. 고한우, 이완규, "피부 임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템", *센서학회지*, vol. 4, no. 3, pp. 30-36, 1995.
8. 고한우, 이완규, 김창호, "졸음운전방지블 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(I)", *한국자동차공학 회추계학술대회논문집*, vol. (I), pp. 474-480, 1995.
9. 김연호, 고한우, 유준, "졸음 검출을 위한 EDA 신호의 동잡음 제거법", *추계한국자동차공학회 학술대회 논문집*, vol. 13, no. 2, pp. 1405-1408, 1998.
10. 김연호, 고한우, "EDA를 이용한 경고음과 향기 자극의 각성 효과 분석", *대한의용생체공학회 추계학술대회논문집*, vol. 19, no. 2, pp. 19-22, 1997