

각성-졸림 과도기 생리신호 분석 연구

김 원 식*, 박 세 진* 신 재 우**, 윤 영 로**

* 한국표준과학연구원 인간공학그룹

** 연세대학교 의용전자공학과

ABSTRACT

졸음에 의한 순간적 과오는 자동차운전을 비롯한 각종 산업안전에 인명피해를 포함하는 치명적 손실을 수반한다. 따라서 이 분야에 대한 연구가 국내를 포함한 전세계에서 활발히 진행되어 상업화가 추진 중이다. 그러나 이러한 연구는 실용적 차원에서 주로 피부전기활동(Electrodermal Activity:EDA)과 눈 깜박임 등의 측정방법에 의존하고 있으며 졸음의 첫 지시치로서 중요하고 객관적인 각성-졸음 과도기 뇌파를 포함하는 수면 다원생리신호 측정에 관한 연구는 이 방법이 피험자에게 구속성을 주고 측정 자체가 까다로워서 현실적으로 어려운 실정이다. 본 연구에서는 그 동안 Medilog SAC847 Polysomnography를 이용한 수면에 관련된 종합적 생리신호를 측정·분석 연구해온 경험을 토대로 정상적인 성인의 각성-졸음 과도기 생리신호특징으로서 뇌전도(Electroencephalogram:EEG), 턱 및 다리근전도(Electromyogram:EMG), 심전도(Electrocardiogram:ECG), 안전도(Electrooculogram:EOG) 등을 종합적으로 분석한 결과 졸음상태가 각성상태에 비하여 EEG의 주파수는 감소하고, EMG와 ECG의 진폭은 줄어들고, EOG에서는 느린 안구운동의 특징을 갖는 것을 알 수 있었다.

1. 서 론

정상적인 성인에 요구되는 하룻밤동안의 수면시간은 대략 7.5시간으로 알려져 있으며 1일 수면주기 리듬과 체온리듬을 살펴본 결과 한밤중 0시경과 한낮의 12시경에 체온이 떨어지며 또한 깊은 잠을 잘 수 있는 것으로 나타났다(井上昌次郎, 1989; 미쓰모토, 1993). 수면은 신체적 생리적 에너지와 인지능력을 회복시키는 기능을 갖는다. 그러나 현대인은 문명의 발달로 수면시간이 짧아져서 수면부족상태로 생활하게 되고 이러한 수면부족을 채우기 위하여 각성상태로부터 의식수준이 낮아지거나, 피곤하거나, 지루할 때, 졸음이 찾아올 수 있다(이 현수,1996). 의식수준이 낮아진 졸음상태에서는 지각력이 떨어져서 대형사고를 초래하게 된다. 따라서 졸음으로 인한 대형사고를 미연에 방지하려면 수면연구에 기초를 둔 각성-졸음 과도기 생리신호 연구가 선행되어야 한다.

인간의 각성도를 평가하기 위한 주관적인 방법으로는 Stanford 졸림측도나 KSS측도(Karolinska Sleepiness Scale)를 이용하는 방법이 있고, 객관적인 방법으로는 EEG, EOG, EMG, ECG, 체온, 피부전

위(또는 임피던스) 등의 생리신호와 눈 깜박임, 하품, 핸들조작 등의 인간행위 신호를 이용하는 방법이 있다(고 한우 와 이 완규, 1995; 고 한우 와 김 연호, 1997; 김 남균 등, 1997). 뇌전도를 포함한 각종 생리신호의 측정은 피험자에게 구속성을 주고 측정자체가 까다로워 각성-졸음 과도기 검출의 실용화에 많은 어려움이 있으나, 다른 방법에 비하여 객관적이며 특히 졸음현상의 첫 지시치로서 각성-졸음 과도기 상태의 뇌파변화에 관한 연구는 졸음으로 인한 순간적 사고를 미연에 방지할 수 있으므로 다른 어떤 생리신호 측정보다도 중요하다.

수면의 종류에는 크게 NREM(non-REM) 수면과 REM(rapid eye movement) 수면으로 나눌 수 있고 NREM 수면은 다시 4단계로 나누어진다. EEG 주파수는 대뇌활동도가 높을수록 증가하는데 δ 파는(0.5~3.5 Hz) 혼수상태, 수술시 마취상태, 수면 중에 빈번히 나타나며, 어린아이는 θ 파가(3.5~8 Hz) 잘 나타나고 긴장을 풀 안정상태에서는 α 파가(8~13 Hz) 나타나며 강한 정신활동을 하는 동안에는 β 파가(13~30 Hz) 주로 나타난다. 정신활동 주기동안 파형들은 보통 비동기적으로 발생하기 때문에 대뇌피질의 활동이 활발하게 일어남에도 불구하고 진폭은 감소한다(한 선호, 1991; John G. Webster, 1993). 인간의 수면단계 국제기준에 따르면 제1단계에서는 비교적 낮은 전압($20\sim 100\mu V$)의 3~7 Hz 범위를 갖는 EEG를 나타내고, 제2단계에서는 이러한 낮은 전압의 여러 가지 주파수가 혼합된 EEG를 배경으로 12~14 Hz의 수면 방추파와 K-복합파의 출현이 그 특징을 이루며, 제3단계에서는 0.5~2 Hz의 느린 δ 파가 epoch당 20~50% 나타나며, 제4단계는 이러한 δ 파가 epoch당 50% 이상일 때에 해당되며, 제1, 2, 3, 4 단계를 합하여 NREM 단계라 부른다. 한편, REM 단계에서는 비교적 낮은 전압의 혼합된 주파수를 갖는 EEG가 일시적인 빠른 안구 움직임과 낮은 진폭의 EMG와 함께 나타난다. NREM 수면 제1단계는 대체로 각성상태에서 다른 수면단계로의 과도기에 나타나며 이 단계의 마지막 부분에는 2~7 Hz의 주파수와 $50\sim 75\mu V$ 의 전압을 갖는 돌발적 파형이 불규칙적으로 나타나고 또한 2~7 Hz의 끝이 뾰족한(vertex sharp) 높은 진폭($\sim 200\mu V$)의 파형이 함께 나타나기도 한다. 이때 K-복합파와 수면방추파는 관측되지 않는다. 특별히 각성상태 다음에 이어지는 제1단계 초기에는 몇초간 지속되는 느린 안구의 운동을 수반하며 빠른 안구의 움직임은 없고 각성상태보다는 근육의 긴장도가 조금더 떨어진다. 일반적으로 각성상태에서 졸림 상태로 넘어가는 과도기의 특징으로서 EEG신호가 느려진다. 이 과도기에서의 α 파의 특징은 진폭과 주파수가 낮아지고 α 파의 출현 빈도수도 떨어진다. 낮은 전압의 α 파가 epoch당 50% 이하로 떨어지고 비교적 낮은 전압의 혼합주파수로 바뀌면 제1단계로 기록된다(A.Rechtschaffen and A.Kales, 1968).

본 연구에서는 Polysomnograph를 이용하여 각성상태로 부터 수면초기상태(제2단계)로 변하는 과도기 상태(제1단계: 졸음상태 또는 입면단계)에서 EEG, EOG, EMG, ECG 등의 생리신호에대한 특징을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

각성-졸음 과도기 종합생리신호의 측정은 Oxford Instruments의 Medilog SAC847 시스템을 사용하였다. 이 시스템의 신호수집·증폭·처리 및 분석의 흐름은 다음과 같다(OXFORD, 1993).

- ① 피험자로부터의 EEG, EOG, EMG, ECG 등을 측정한 후 PJB(Patient Junction Box)를 통하여 SRI 본체에 연결한다.
- ② SRI(Sleep/Respiration Interface) 본체에서 피험자로부터의 수면종합생리신호를 증폭하여 SAC847 시스템으로 전송한다.
- ③ SAC847(Sleep Analyzing Computer) 시스템에서 증폭된 신호는 analog로 부터 digital로 바뀌어 신호

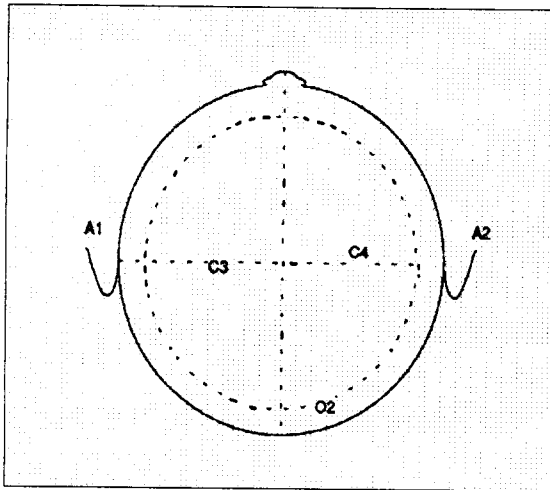
처리된 후 β -, α -, θ -, δ -파 등으로 성분분석이 되어 실시간으로 모니터에 나타난다.

- ④ 20" 모니터에서는 EEG, EOG, EMG, ECG 등의 raw signal을 실시간으로 보여줄 뿐 아니라 전체 신호채널에 대하여 60 Hz에서의 신호를 제거(filtering) 하는 기능을 부여하고 각 신호채널의 국부영역에 대하여 FFT(Fast Fourier Transform), 파형진폭측정(μV)과 수면단계를 탐색하는 기능 등을 부여한다.

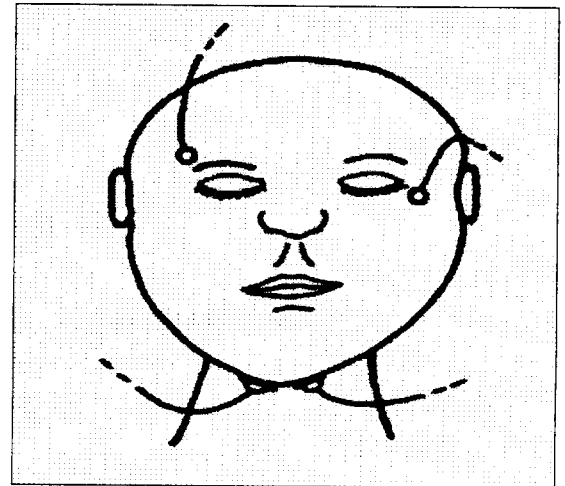
본 연구에 참여한 피험자는 28세의 건강한 한국인 남자(신장 164 cm, 체중 54 kg)이었고, EEG 전극배치는 10-20 EEG 전극배치 시스템을 참고하였다.

표1. SRI PJB의 기록용 Montage

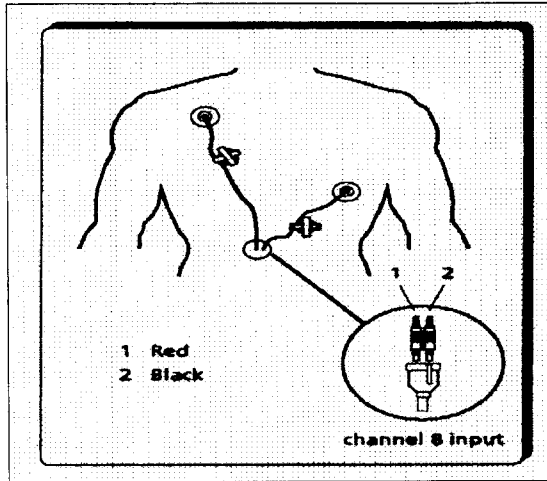
PJB 입력단자	입력극성	전극배치	비고
Patient Ref.	없음	이마 중심 윗부분	reference
Channel 1	+	C3	EEG1
	-	A2	reference
Channel 2	없음	턱 바로 아래 4 cm 간격 2곳	EMG
Channel 3	+	LOC(left outer canthus)	EOG1
	-	A2	reference
Channel 4	+	ROC(Right outer canthus)	EOG2
	-	A1	reference
Channel 5	+	C4	EEG2
	-	A1	reference
Channel 6	+	O2	EEG3
	-	A1	reference
Channel 7	없음	정강이뼈 근육부분 4 cm 간격 두곳	EMG
Channel 8	+	우측 두 번째 늑간의 흉골부위	ECG
	-	좌측 여섯 번째 앞쪽 갈비뼈 부위	reference



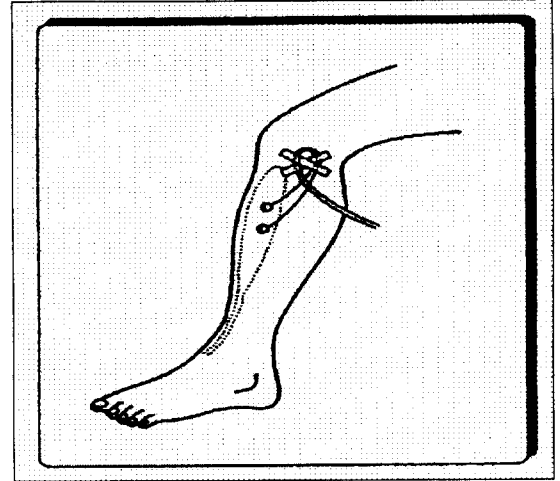
(a) EEG



(b) EOG(LOC, ROC) 및 EMG(chin)



(c) ECG

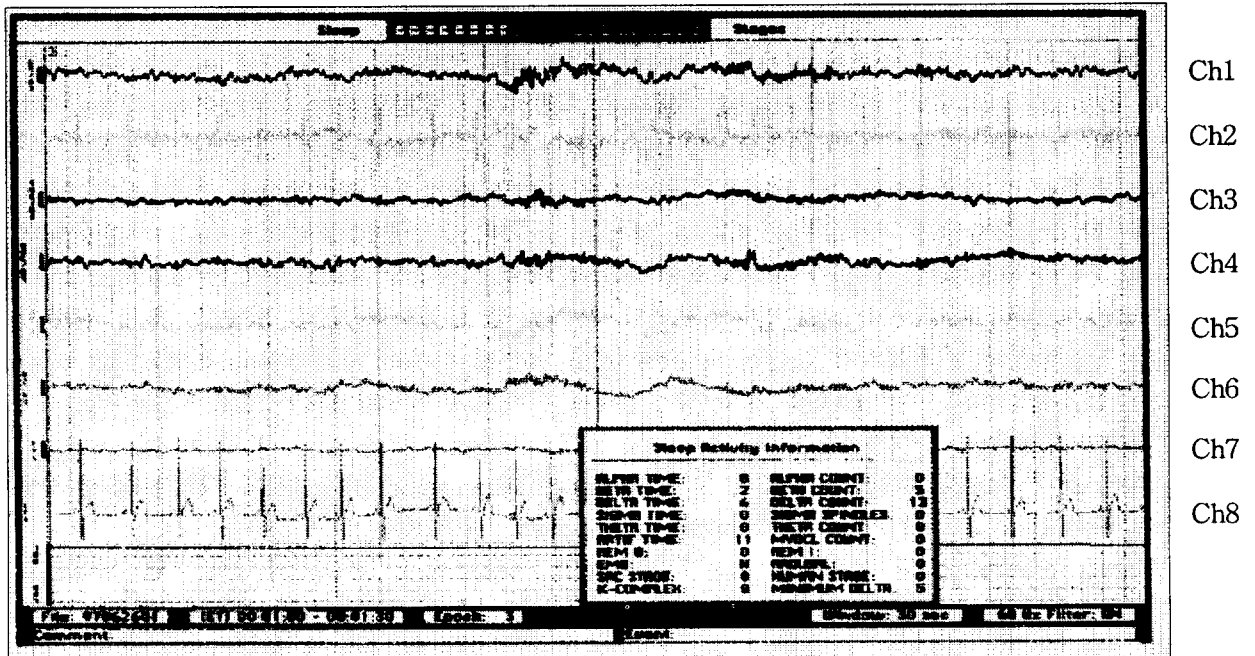


(d) EMG(leg)

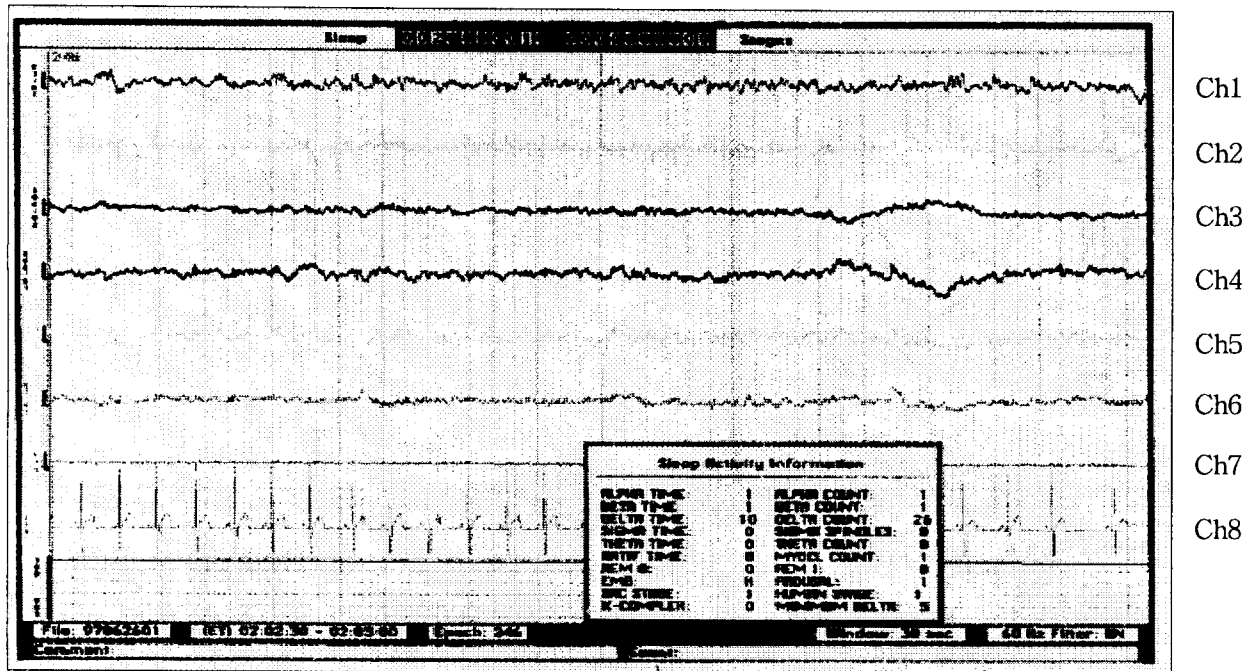
그림1. 각성-졸림 과도기 생리신호 측정을 위한 전극 배치도

표1에 SRI PJB의 각 채널에 상응하는 기록용 Montage를 나타내었고 그림1에는 각성-졸음 생리신호를 측정하기 위하여 피험자에게 부착한 전극배치도를 나타내었다. 각성-졸음 단계 기록은 A. Rechtschaffen and A. Kales의 “인간 수면단계 기록 기준”에 근거하였다.

3. 결과 및 논의



(a) 각성상태



(b) 졸음상태(NREM 제1단계)

그림2. 각성상태와 졸음상태(NREM 제1단계)에서의 생리신호들; Ch1(EEG: C3/A2), Ch2(EMG: chin), Ch3(EOG: LOC), Ch4(EOG: ROC), Ch5(EEG: C4/A1), Ch6(EEG: O2/A1), Ch7(EMG: leg), Ch8(ECG).

그림2의 (a)에는 각성상태의 (b)에는 졸음상태(NREM 제1단계)의 각종 생리신호를 동시에 나타내고 있으며 가로축의 한 칸은 0.6초를 나타내고 세로축은 각 생리신호들의 왼쪽 끝에 표시한 수직선의 단위길이가 $50\mu V$ 를 나타낸다. 전반적으로 졸음상태의 모든 수면생리신호들의 직류성분이 각성상태에 비하여 안정되어 있고 진폭도 더 작음을 알 수 있다. ECG의 R파 피크 값이 각성상태에서는 EMG(leg)의 직류성분 위로 치솟으며 졸음상태에서는 직류성분 까지 미치지 못함을 관측할 수 있다. EOG의 경우 각성상태에서는 직류성분의 움직임 외에는 안구의 움직임이 뚜렷하지 않으나 졸음상태에서는 EOG 후반부에 LOC와 ROC가 대칭적으로 느리게 서로의 바깥방향으로 완만한 돌출곡선을 나타내고 있는데 이것은 제1단계의 느린 안구움직임의 특성을 잘 반영하고 있다. EMG의 경우 각성상태에 비하여 졸음상태의 진폭크기가 더 작음을 관찰할 수 있는데 이것은 수면상태로 진행되면서 근육의 긴장도가 떨어짐을 나타낸다. EEG의 경우 각성상태에 비하여 졸음상태에서는 진폭이 좀더 낮으며 고르고 주파수가 감소함을 관측할 수 있다.

EEG에 대한 보다 자세한 정보는 그림2의 Sleep Activity Information 상자로부터 각성에서 졸음상태로 변함에 따라 Beta count는 감소하는 반면에 Delta count는 증가함을 알 수 있다.

본 연구는 Polysomnograph를 이용하여 객관적이고 정확한 각성-졸음 과도기의 종합적인 생리신호 특징을 분석하였으며 피험자에게 구속성을 주는 측정장치의 어려움으로 정성적인 분석의 한계를 넘지 못하였으나 계속되는 연구에서는 정량적인 분석 연구가 수행될 것이다. 이러한 연구결과는 현재 실용적 차원에서 활발하게 연구되고 있는 EDA 와 눈 깜박임 검출 등을 이용한 각성-졸음 연구를 보완하는 기초적 자료로 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 고 한우, 이 완규, “피부임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템”, 센서학회지, 4(3), 30-36, 1995.
- [2] 고 한우, 김 연호, “각성도 제어를 위한 평가기준의 설정 및 경고음의 효과분석”, 의공학회지, 18(1), 79-85, 1997.
- [3] 김 남균 등, “졸음운전의 자동검출 및 각성 시스템 개발에 관한 연구”, 의공학회지, 18(3), 315-324, 1997.
- [4] 이 현수, 단잠이 건강을 낳는다, 학지사, 서울, 1996.
- [5] 한 선호 등, 臨床腦波, 일조각, 서울, 1991.
- [6] 미쓰모토 지음, 오 영근 옮김, 잠이란 무엇인가, 전파과학사 B14, 서울, 1993.
- [7] 井上昌次郎 지음, 이 영호 옮김, 睡眠과 腦, 대한교과서 주식회사, 서울, 1993.
- [8] Allen Rechtschaffen and Anthony Kales, A manual of standardized technology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, Brain Information Service/ Brain research Institute, Univ. of California, California, 1968.
- [9] John G. Webster 원저, 의용공학교육연구회 역편, 의용계측공학, 麗文閣, 서울, 1993.
- [10] OXFORD, Medilog SAC847 System Sleep Analysing Computer's Manual, Oxford Instruments Limited, England, 1993.