

1/f 변동리듬이 수면에 미치는 영향

박혜준* · 박세진* · 김철중*

A Study on Effects of Sleep Efficiency Depending on 1/f Fluctuation of Sound

Hyejun Park*, Se Jin Park*, Chul Jung Kim*

ABSTRACT

In order to verify the effects of sleep efficiency and sleep latency depending on the sound, Polysomnography was carried for the different sound stimulations, such as Sound A(providing R bed Co.), Sound B(1/f fluctuation sound developpe by KRISS), and no sound stimulation. In case of sleep efficiency and WASO(wake after sleep onset) ratio Sound B shows more affirmative effect than no sound stimulation or Sound B. It is the result that the effect is caused because 1/f fluctuation sound has the rule and unexpectation. This research results show the possibility of application and development of the sound for sleep.

Keyword: 1/f fluctuation, Polysomnography, EEG, Sleep latency, Sleep efficiency

1. 서 론

수면이란 단순히 활동을 정지하는 시간이 아니라 고도의 생리기능을 뒷받침해 주는 행동이면서 생체방어기술이다(日本睡眠學會, 1996). 대뇌가 발달된 인간은 질 좋은 수면을 취할 때 비로소 뇌의 고차원적인 처리능력을 발휘할 수 있기 때문에 "숙면(熟眠)/쾌면(快眠)"은 삶의 질을 향상시켜 보다 나은 생활을 영위할 수 있게 하는 중요한 기능이라고 표현할 수 있다(鳥居, 1999).

수면에 영향을 미치는 3대 환경 요소로 침실의 온도, 조명(빛), 소음(음)을 들 수 있다(일본수면학회, 1994). 그 중에서 음과 수면의 관계는 일반적으로 "조용해야 한다"라고 생각할 것이다. 그러나 인간은 무음상태에서는 불안을 느끼며, 조용한 상태라고 할지라도 무슨 소리든지 음이 존재한다는 사실에서 "조용한 것만이 잠을 자기 위한 절대 조건일까?"(長田, 1993)라는 의문을 불러일으키면서, 수면효과를 향상

시키기 위한 방법으로 음의 진정/쾌작용에 관한 관심이 높아지고 있다.

자극적인 음악은 주로 교감신경계를 자극하여 신체 에너지를 증가시켜 운동을 유발하며, 진정적인 음악은 행동을 온화하게 하며 정신을 진정시켜 명상적인 부교감신경계의 반응을 우월하게 하는 것은(日本技術振興財團, 1993) 이미 알려져 있다. 또한 시냇물이나 산새의 노래 소리가 뇌파, 혈압, 맥박, 피부전기저항 등의 생리적 지표를 변화시켜 스트레스 해소 및 긴장완화에 도움이 되는 것(尹賀 등 1993, 손진훈 등, 1998, B. De Coensel, 2003)도 보고 되고 있다. 이러한 자연음이나 클래식에는 공통적으로 주파수 변동이 1/f 변동리듬을 갖는 것(武者, 1977, 渡邊, 1988)으로 알려져 있다.

1/f 변동리듬이란 파워스펙트럼이 주파수 f에 반비례하는 것 같은 변동리듬(fluctuation)을 총칭하는 것으로, 파워스펙트럼의 형상을 log표시하였을 때 나타나는 일정한 기울기를 갖는 직선을 구할 수 있다(三宅 1994). 이때 기울기가 $-0.5 \sim -1.5$ 의 범위인 것을 1/f 변동리듬이라고 한다(小松,

*한국표준과학연구원 생활계측그룹

교신저자: 박혜준

주 소: 305-330 대전광역시 유성구 도룡동 1번지, 전화: 042-868-5456, E-mail: happyjun29@paran.com

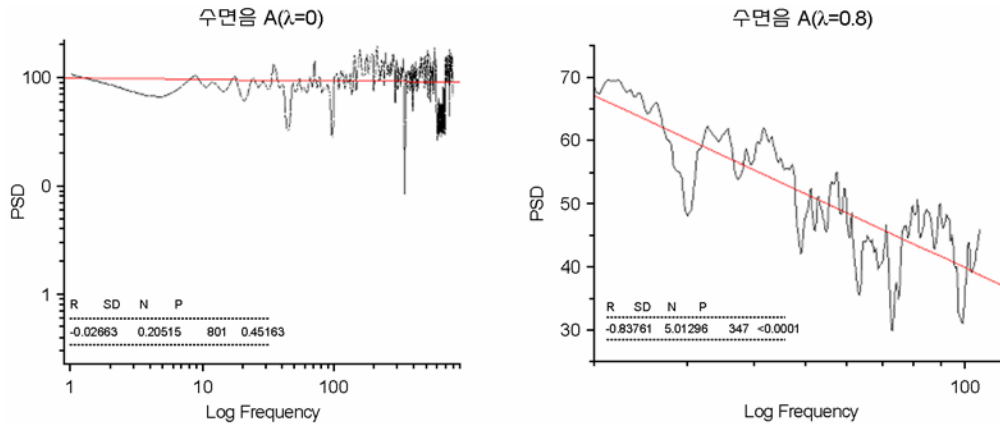


그림 1. 수면음 A와 B의 1/f 변동리듬 기울기

1994). 1/f 변동리듬을 갖는 음은 규칙성과 의외성이 균형 잡혀 있어, 스트레스상태에서 안정상태로의 회복을 촉진(손진훈 등, 1998)시키므로 수면을 방해하는 스트레스와 흥분을 안정시켜 잠에 빠지기 쉬운 조건을 조성할 것으로 추측해 볼 수 있다.

본 연구에서는 1/f 변동리듬 음이 갖는 스트레스 해소 및 긴장완화 작용이 수면에 어떠한 영향을 미치는가를 다원수면검사(Polysomnogram)를 통하여 연구하고자 한다. 본 연구에는 기울기가 서로 다른 1/f 변동리듬을 갖는 수면음 2가지 조건과, 무음 조건에서 수면을 취하면서 다원수면검사를 실시하여, A. Rechtschaffen 등(1968)이 제안한 수면단계기록 국제기준에 따라 수면효율, 입면지연시간 등을 산출한다.

2. 연구방법

2.1 음의 1/f 변동리듬 기울기 추출

음악이나 소리 등이 갖는 변

음악이나 소리 등이 갖는 변동리듬현상은 파워스펙트럼을 통하여 단위주파수당의 에너지밀도로 나타낼 수 있으며, 1/f 변동리듬은 아래의 식1과 같이 표현할 수 있다.

$$P = \frac{1}{f^\lambda} \quad \text{식 1}$$

P는 power의, f는 frequency의 머리글자로 주파수를 표시한다. 1은 1/f의 분모로 1/f는 주파수의 역수이기 때문에 주파수가 배가 되면 power P는 1/2가 되는 관계이다. 그리고 가로축은 frequency, 세로축은 power를 log그래프로 표시하면, λ 는 지수로 1/f는 $1/f^\lambda$ 를 나타낸다. 즉 $f^1 = f$, 이 때는 변동리듬의 성질을 나타내는 중요한 지수로 1/f 변동

리듬의 기울기를 통하여 구할 수 있다(三宅, 1994).

본 연구에서 사용된 2가지 음에 대한 1/f 변동리듬의 기울기 추출은 파워스펙트럼을 통하여 추출하였다. 수면음 A는 시판되고 있는 침대에 부착되어 있는 음(수면음 A)이며, 수면음 B는 자연의 소리(파도소리)와 누구에게나 친숙한 연주음악(로렐라이)을 조합하여 만들어진 음이다. 수면음 A, B가 녹음된 CD에서 20~200Hz의 신호를 25ms간격으로 데이터를 sampling하여 Fourier 분석을 실시하였다. 그리고 이 과정을 구성하는 주파수성분에 대하여 파워스펙트럼으로 표현하여 변동리듬의 기울기를 추출하였다. 그림 1에는 2가지 수면음의 1/f 변동리듬과 각각의 기울기를 나타내고 있다. 수면음 A는 $\lambda=0(1/f^0)$ 이며, 수면음 B는 $\lambda=0.8(1/f^{0.8})$ 로 1/f 변동리듬을 가짐을 알 수 있었다.

2.2 수면실험

2.2.1 실험환경 및 조건

실험은 한국표준과학연구원의 수면실 챔버에서 실시하였다(21±0.5°C, 50±10%). 취침시간은 점심 식사 후 1시간 이상이 경과 후 전극을 부착하고 수면 챔버에 입실하여 약 10분 동안 안정상태를 유지한다. 그리고 무음 또는 수면음을 들으면서 60분 동안 수면을 취하면서 다원수면검사를 실시한다. 피실험자는 동일한 긴소매 T셔츠, 긴바지를 착용하도록 하였다. 음 자극은 Compact component system(JVC, 일본)을 사용하여 들려주었다. 음의 크기는 약 40dB로 일정하게 조절하였으며, 무음 자극 시에는 약 29dB로 나타났다.

피험자들은 실험실에서 3일 동안 연속으로 수면을 취하였다. 3가지의 수면 조건은 랜덤하게 제시하였다.

2.2.2 피실험자

피실험자는 건강한 성인 남녀를 10명을 대상으로 하였다.

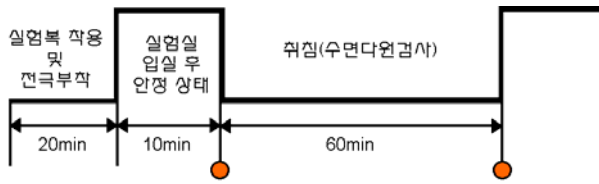


그림 2. 실험 프로토콜

피실험자는 불면증 등의 수면장애 질환이나 병력이 없으며, 실험 기간 동안 평소 생활과 같이 행동하면서 음주, 카페인 섭취, 과격한 운동, 낮잠, 약 복용, 철야는 금지하였다. 피실험자의 성별 및 연령은 표 1에 나타내었다.

표 1. 피실험자의 특성

	연령			합계
	20대	30대	40대	
남	1			1
여	5	2	2	9
합계	6	2	2	10

2.2.3 다원수면검사(Polysomnogram)

다원수면검사는 Brain Quick system 2(Micromed사, Italy)를 사용하여 측정하였다. 수면 중의 턱의 근전도(EMG), 몸의 위치(Body position), 심전도(ECG), 안전도(EOG) 그리고 수면뇌파(EEG) 등을 동시에 기록하여 수면을 평가한다. 각각의 측정부위는 다음과 같다.

- 근전도: 양입꼬리점에서 1.5cm 하단에서 측정
- 심전도: 윗가슴 중앙 부위와 오른쪽 6번째 갈비뼈 부위에서 측정
- 안전도: 오른쪽 눈꼬리점에서 1cm 하단, 왼쪽 눈꼬리점에서 1cm 상단에서 측정
- 수면뇌파: 국제전극배치법에 의한 A1, A2, C3, C4, O2 부위에서 측정.

수면평가는 A. Rechtschaffen 등이(1968) 제안한 수면 단계기록 국제기준에 따라, 수면 사이클을 구성하는 각성(Wake), REM수면(Rapid Eye movement), 수면단계 1~4(Stage 1~4)로 이루어진다.

2.3 통계처리

무음 조건과 각각의 수면음 또는 수면음 간의 평균값의 차이에 대하여 Paired-sample t-test를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

무음 조건, 수면음 A 그리고 수면음 B조건 하에서 10명의 피실험자를 대상으로 약 60분의 수면 중에 다원수면검사를 실시하여, 수면효율(Sleep Efficiency), 중도각성(Wake After sleep onset), REM수면(Rapid Eye movement), 입면지연시간(Sleep Latency), 수면단계2까지 이르는 지연시간(Sleep Latency to stage 2), 수면효율(Sleep Efficiency)을 산출하였다.

3.1 수면 조건에 따른 수면효율

각성, REM수면, 수면단계 1~4로 이루어진 수면 사이클이 일주하기 위해서는 최소한 90분~120분의 수면시간이 요구된다(Dement, W, et. al., 1957). 그러나 본 연구의 60분간의 수면에서는 깊은 수면을 나타내는 수면단계 3, 4의 출현이 매우 짧거나 나타나지 않는 피실험자가 대부분이었다. 따라서 수면 조건에 따른 수면의 질을 잠자리에 있는 시간에 대한 총수면시간의 비율을 나타내는 수면효율(Sleep Efficiency)과 수면 중의 각성시간의 총합(Wake After sleep onset)율을 이용하여 수면의 효율 및 질에 대한 경향을 살펴보았다.

그림 3은 피실험자 전체의 수면 조건별 수면효율과 각성시간의 비율을 나타낸 것으로, 수면효율은 수면음 B, 수면음 A, 무음 조건의 순으로 높게 나타났다. 2가지 조건 간의 차이를 t-test를 통하여 통계적 유의차를 살펴본 결과, 무음과 수면음 A($p < 0.01$), 수면음 A와 수면음 B($p < 0.01$)에서 유의차가 인정되었다. 그리고 각성시간의 비율은 수면음 B에서 가장 짧은 것으로 나타났으며, 통계적으로는 수면음 A와 수면음 B($p < 0.05$)에서만 유의한 차이를 나타내었다. 이는 수면 시의 음 자극이 수면에 방해가 되거나 조용한 것만이 잠을 자기위한 절대조건이라는 견해와는 달리, 1/f 변동리듬을 갖는 수면음 B와 같은 적절한 음 자극이 수면효율에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

3.2 수면 조건에 따른 입면지연시간

입면지연시간은 잠자리에 들어서 입면(Sleep onset)에 이르기까지 소요되는 시간을 나타내는 것으로, 입면촉진효과를 파악할 수 있는 지표로 주로 사용된다(北堂, 2003). 입면지연시간의 평균은 수면음 A, 수면음 B) 그리고 무음의 순으로 나타났다. 그러나 입면지연시간을 산출하는 입면시점(Sleep onset)은 외관상으로는 자고 있는 것 같으나 주관적으로는 "깨어 있는 상태"라고 평가되는 반각성 반수면 상태(A. Re-

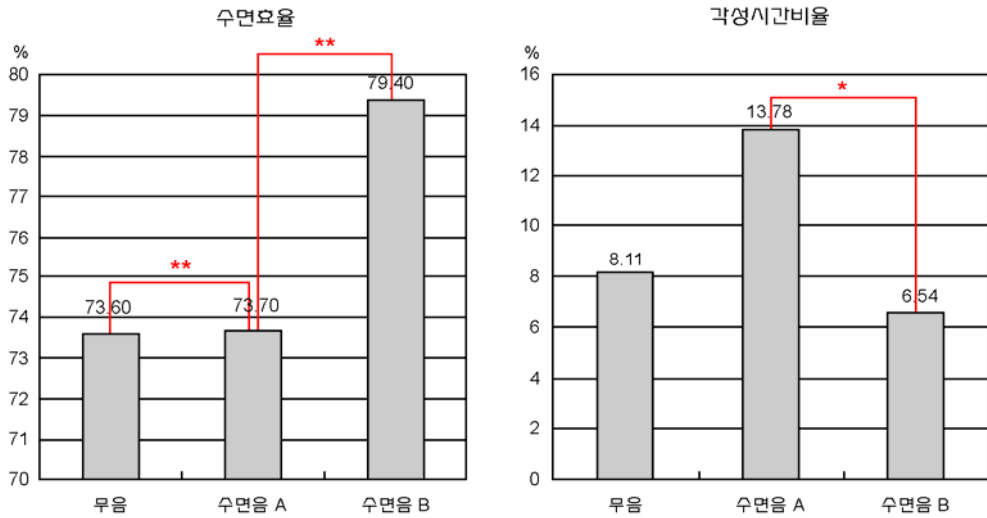


그림 3. 수면 조건별 수면효율 및 각성시간비율

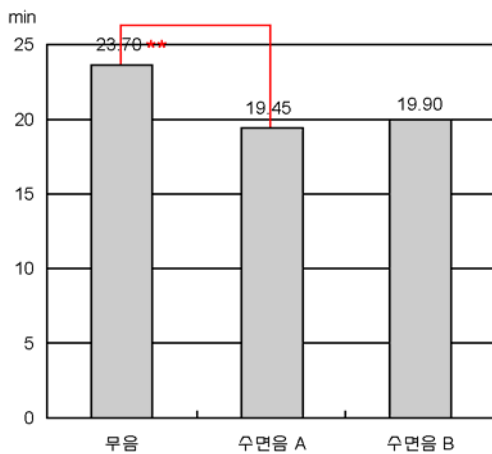


그림 4. 수면 조건별 수면단계 2에 이르는 입면지연시간

chtschaffen 등, 1968)이다. 따라서 피실험자의 주관적인 평가에서 "자고 있었다"라고 평가되는 수면단계 2에 이르기 까지 소요되는 시간을 산출하여 입면지연을 평가하였다.

그림 4는 피실험자 전체의 수면 조건별 수면단계 2에 이르는 입면지연시간을 나타낸 것으로, 수면음 A와 B 조건에서는 시간차이가 줄어 두 조건모두에서 약19분, 무음 조건에서는 약 23분이 소요되는 것으로 나타났다. 또한 무음과 수면음 A의 입면지연시간은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 따라서 무음과 비교하여 2가지의 수면음 조건에서 입면지연시간이 짧음을 알 수 있었다.

이상에서 무음 조건과 비교하여 1/f 변동리듬을 갖는 수면음 B가 수면의 질적인 측면에서 효율이 뛰어나고, 각성시간 비율은 짧음을 알 수 있었다. 그리고 입면촉진을 나타내는

입면지연시간은 무음 조건과 비교하여 수면음 A와 B 모두에서 긍정적인 효과를 나타내었다. 이러한 결과는 1/f 변동리듬을 갖는 수면음 B의 경우, 저음에서 고음까지 적당하게 흩어져 있기 때문에, 음의 구성이 단조롭지도 복잡하지도 않고 규칙성과 의외성이 균형 잡힌 소리로 적당한 상관성과 적당한 변화가 균형을 이루어 각성상태에서 가장 정신의 안정을 얻을 수 있는 상태를 유발(小松, 1994)하여 수면의 질과 입면에 긍정적인 영향을 미친 것으로 생각된다.

한편 1/f 변동리듬 기울기 0을 갖는 수면음 A는 수면의 질적인 측면에서 중도각성시간 비율이 가장 크게 나타났다. 이는 1/f 변동리듬의 기울기가 0에 가까워질수록 자극이 강한 소리가 되며, 긴장과 흥분을 발생시키는 정동(情動)반사를 유발하는 성질(손진훈, 1998)을 가지고 있어 수면의 중의 각성을 유발하여 수면효율에 부정적인 영향을 미치는 것으로 생각된다. 또한 입면지연시간에서 1/f 변동리듬의 기울기가 다른 수면음 A와 B에서 비슷한 시간이 소요된 점에 관해서는 입면촉진에 대한 다양한 음에 대한 연구가 필요함을 시사하였다.

4. 결 론

1/f 변동리듬 음이 갖는 스트레스 해소 및 긴장완화 작용이 수면에 어떠한 영향을 미치는가를 다원수면검사(Poly-somnogram)를 통하여 연구하였다.

무음 조건과 비교하여 1/f 변동리듬 기울기 -1에 가까운 수면음이 수면 중의 각성시간이 짧으면서 수면효율이 뛰어나

나고 입면지연시간이 짧았다. 이는 1/f 변동리듬을 갖는 수면음의 단조롭지도 복잡하지도 않고 규칙성과 의외성이 정신의 안정을 얻을 수 있는 상태를 유발하였음을 알 수 있었다. 따라서 수면 시의 적절한 음 자극이 수면효율 및 입면지연에 긍정적인 영향을 미칠 가능성을 시사하였다.

Dement, W. and Kleitman, N., "Cyclic variation in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility and dreaming", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1957.
 Rechtschaffen, A. and Kales, A., "A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects", Public Health Service, U. S. Government Printing Office, 1968.

참고 문헌

손진훈 외 4인, "1/f 음악이 스트레스에 따른 정서생리반응에 미치는 영향". *한국감성과학회*, 1998.
 渡邊茂夫 "ストレスと豫防醫學のための應用音樂療法", 學藝書林, 1988.
 武者利光, "1/f ゆらぎ" 應用物理, 1977.
 北堂眞子 et. al., エア式ストレッチマットによる就寝前ストレッチングの入眠促進効果, *松下電工技報*, August, 2003.
 三宅晋司, "快適工學", 泉文堂, 1994.
 小松 明, "音/音樂と眠り-體性音響振動と誘眠効果への考察", 睡眠と環境2, 日本睡眠環境學會, 1994.
 尹賀富宋, 小林信三, 音樂刺戟による生理的影響-SPL及びEEFに関する検討, *日本バイオミエジック學會雜誌*, 1993.
 日本技術振興財團, "人體と音のコミュニケーションに関する調査研究報告書", 1993.
 日本睡眠學會 偏執, "睡眠學ハンドブック", 朝倉書店, 1994.
 日本睡眠學會 編著, [睡眠科學醫療專門研修]セミナー初心者のための睡眠の基礎と臨床, 1996.
 長田 泰公, "音環境と睡眠-睡眠と環境", 日本睡眠環境學會, 1993.
 鳥居鎮夫, 睡眠環境學, 朝倉書店, 1999.
 B. De Coensel, D. Botteldooren, T. De Muer, 1/f Noise in rural and urban soundscapes, *Acta Acustica United with Acustica*, 89(pp. 287-295), 2003.

○ 저자 소개 ○

❖ 박 해 준 ❖
 현재 한국표준과학연구원 생활계측팀에 재직 중이다.
 일본신슈대학교 감성공학과에서 박사학위를 취득하였다.
 주요관심분야는 의복감성공학, 생체신호처리, 의복 쾌적성 등이다.

❖ 박 세 진 ❖
 현재 한국표준과학연구원 생활계측팀에 책임연구원으로 재직 중이다.
 고려대학교 산업공학과를 졸업하고 동 대학원에서 박사학위를 취득하였다.
 주요관심분야는 인간공학이다.

❖ 김 철 중 ❖
 현재 한국표준과학연구원 생활계측팀에 책임연구원으로 재직 중이다.
 서울대학교 금속공학과를 졸업했으며, 미국 Northwestern University에서 재료공학전공 공학박사를 취득하였다.
 주요관심분야는 인간공학, 감성공학 등이다.

논문 접수 일 (Date Received) : 2004년 10월 29일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2005년 05월 20일