

뇌파데이터에 기반한 맞춤형 수면유도음향의 실시간제어

위현승[†], 이병문^{**}

Customized Realtime Control of Sleep Induction Sound based on Brain Wave Data

Hyeon Seung Wi[†], Byung Mun Lee^{**}

ABSTRACT

People who have sleep disorders such as insomnia take a long time to get to sleep, namely sleep latency. In order to reduce it, effective stimulations and environments to induce sleep such as ASMR or pink noise are necessary. However these have different effects and preferences for each individual. Therefore customized service and control for the sleep induction will be provide to him/her. In this paper, we proposed SIS control system which provides selectively sound control among various kinds of ASMR and pink noise according to sleep state measured from brain wave data for an individual. In order to verify the effectiveness of the system, we had conducted totally 30 experiments for 5 people, and all EEG data measured from all the people during sleep. An average of 3.7 hours was spent per experiment. In comparison experiments with and without sound control for sleep induction, the latency time was reduced by an average of 8 minutes as well as delta waves and theta waves, which appear only in deep sleep, are increased by 21%.

Key words: EEG, Induction Sleep, Brain Wave, ASMR, Sleep Disorders

1. 서 론

불면증과 같은 수면장애는 사회가 발전할수록 다양한 스트레스로 인해 발생한다. 한국표준 질병분류체계(Korean Standard Classification of Diseases, KCD)에서도 수면장애(sleep disorders)를 질병코드 G47로 분류하고 있다. G47의 소분류에는 불면증관련 질병(G47.0)과 수면각성장애(G47.2)가 있다. 충분한 수면은 사람의 건강과 활력을 회복시킬 뿐만 아니라 여러 가지 인체의 호르몬과 밀접한 관련이 있다. 그래서 수면을 적절히 취하지 못할 경우 일상생활에서의 피로감 무기력감을 느낄 수 있지만 심할 경우에

는 만성피로, 치매, 우울증, 공황장애와 같은 심각한 질병에 노출될 수 있다. 그렇기 때문에 현대인의 수면 장애율이 증가될수록 수면케어의 필요성도 높아지고 있다[1-2].

효과적인 수면케어가 되려면 수면케어 서비스가 접근성이 좋고 심리적 부담이 없어야하며 편안함을 제공하는 사용자 친화적이어야 한다. 현재의 수면케어 서비스에서는 대체적으로 음향, 온열, 빛, 촉각의 요소를 사용하고 있다. 촉각과, 빛, 온열의 요소는 수면의 유도에 효과적이라는 연구가 있지만 자극의 개입이 심하고 자극의 강도가 개인과 맞지 않으면 오히려 수면을 방해한다[3-5]. 그러나 수면유도에 효

* Corresponding Author : Byung Mun Lee, Address: 1342, Seongnam-daero, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea, Gachon University, IT Department 5-16, TEL : +82-31-750-4756, E-mail : bmlee@gachon.ac.kr

Receipt date : Jan. 13, 2020, Approval date : Feb. 11, 2020

[†] Dept. of IT Convergence Engineering, Gachon University (E-mail : yong0407@naver.com)

^{**} Dept. of Computer Engineering, Gachon University

* This work was supported by the Technology development Program(Grants No. S2798371) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea).

과가 있는 음향을 이용한 수면케어는 위의 언급한 사용자에게 심리적 부담이 없고 접근성이 좋으며 편안함을 제공하기에 수면케어의 콘텐츠로서 적합하다.

일반적으로 현재 음향을 이용한 수면케어시스템은 수면케어에 도움이 되는 음향을 일방적으로 제공하는 데에 그치고 있다. 이러한 일방적인 수면케어의 제공은 사용자의 개인별 차이와 효과를 고려하지 않고 있다. 그래서 사용자는 자신에게 편안함을 느끼는 음향의 종류를 직접 찾아야 한다. 이러한 과정은 크게 세 가지 단점이 있다. 첫 번째, 수면관리를 접하는 데 있어 사용자는 어떤 음향이 자신과 적합한지 선택하기 위해 고민하고 집중해야 한다. 이러한 점은 수면관리를 접하는 접근성이 떨어지고 관리를 받기 전까지 시간과 노력이 들기 때문에 심리적 부담을 주어 관리의 지속성이 떨어진다. 두 번째, 사용자의 심리적 성향으로 선택한 음향이 신체적 측면에서도 효과가 있는것인지 신뢰성이 부족하다. 세 번째, 실시간으로 변하는 사용자의 상태에 따라 반응하지 못한다. 예를들어 사용자가 처음 각성된 상태에서 음향을 들었을 때에는 편안함을 느낄 수 있지만 사용자 상태가 이완이 되고 수면에 들기 시작하는 상태가 되면 처음 제공된 음향은 오히려 수면에 방해가 될 수 있다. 따라서 음향을 이용한 수면케어의 제공에 있어 사용자에게 따른 개인 맞춤형 과정은 필수적이라고 하겠다[6].

이를 위해서 본 논문에서는 수면을 유도하기 위한 수면유도음향(Sleep Induction Sound, SIS)를 수면케어의 수단으로 제공하는 모델을 제안하고자 한다. SIS에 적합한 음향으로써 ASMR(Autonomous Sensory Meridian Response), 핑크 노이즈가 있다. ASMR은 인간의 자율신경을 자극하여 사용자 상태를 안정시켜주고 수면유도에도 탁월한 효과가 있다 [7-10]. 핑크 노이즈는 여러가지 노이즈 기법 중 하나로 특히 수면지연 시간을 줄여주는데 효과가 있다 [11-13]. 본 논문에서는 이러한 SIS를 이용하여 수면유도를 지원하는 시스템을 SIS 시스템이라고 정의하고 이것을 제안하고자 한다. SIS 시스템은 뇌파(ElectroEncephaloGraphy, EEG) 데이터를 활용하여 사용자의 개인별 실시간 뇌의 활성화 상태, 적용된 음향의 재생 효과, 사용자의 의도적인 음향 선택 과정을 통해 유추한 개인별 음향 선호도(Preference)를 가지고 개인 맞춤형 서비스를 지원한다.

이 SIS 시스템을 구현하려면 뇌파측정 기기로부터

터 뇌파, 개인인증 데이터가 실시간으로 필요하다. 이 데이터를 가지고 SIS 시스템에서는 사용자의 실시간 상태와 사용자에게 미치는 음향효과를 도출하고 가장 적합하고 효과적인 음향을 판단한다. 따라서 본 논문에서는 SIS 모델을 제안하며 그 과정에서 개인 맞춤형 수면유도음향을 제어하는 시스템을 설계하고 구현하고자 한다.

본 논문은 2장의 관련연구에서 뇌파 데이터의 추세과형을 추출하는 방법과 추출된 파형으로 사람의 수면상태를 유추하는 방법을 고찰하였고, SIS 시스템에서 제공되는 수면유도음향의 효과와 특성에 대해 탐구하였다. 3장에서는 SIS 모델을 제안하여 사용자의 뇌파 데이터에 따라 최적화된 개인 맞춤형 수면유도 음향을 제공하는 방법을 제시한다. 4장에서는 이를 기반으로 SIS 시스템이 수면유도와 숙면에 어느 정도의 효과가 있는지 실험을 통해 그 효용성을 확인하고자 한다.

2. 관련연구

2.1 음향제어 시스템에 대한 기존 연구

기존에도 ASMR을 이용한 연구는 활발히 이루어져 왔다. Fig. 1에서 보면 헤드셋(EEG Headset)으로, 집중도(Attention), 명상도(Meditation) 데이터를 측정하여 SVM(Support Vector Machine)으로 사용자의 정신건강상태와 눈 깜빡임에 따라 ASMR 콘텐츠를 제어하는 사례이다.

ASMR 제어 알고리즘의 제어 요소는 SVM 분류기로부터 도출된 사용자의 건강상태와 눈 깜빡임이다. 사용자의 건강상태가 좋다면 ASMR를 제공할 필요가 없고 건강상태가 나쁘다면 ASMR가 사용자에게 필요하다는 판단을 내린다. 또한 사용자의 건강상태가 나쁘다고 판단하여 ASMR이 재생이 진행되고 있는 상태라면 눈 깜빡임에 따라 ASMR 재생을 제어한다. 이 사례의 경우 심리적 안정과 스트레스 감소를 목적으로 ASMR 콘텐츠를 이용하였다. 이 경우에는

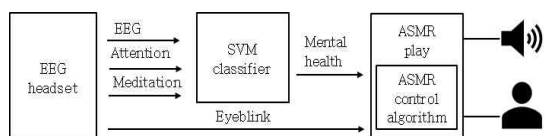


Fig. 1. Control method of ASMR content system.

평상시 휴식시간에 사용자의 안정을 위해 사용되는 사례이다[14].

ASMR 콘텐츠를 제공함에 있어서는 ASMR 별 각기 다른 특징과 효과에 대해 제시하지 않았다. 또한 사용자 EEG에 따른 건강상태 판단을 나쁘고 좋음으로 판단하는 것은 사용자의 상태를 구체적으로 알 수 없다. 이러한 점들은 개인별 다르게 나타나는 ASMR의 효과와 선호도를 고려하지 않았음을 의미하고 다양한 ASMR 콘텐츠를 제공, 제어를 하지 않는다는 것을 뜻한다. 이러한 점을 개선시키기 위해 좀 더 구체적이고 신뢰성있는 기준을 이용한다면 더욱 다양한 제어가 가능할 것이다. 그 기준으로써 뇌의 활성화 정도를 알 수 있는 우세파형을 이용한다면 사용자상태를 더욱 자세히 파악할 수 있다.

2.2 EEG 데이터의 우세파형 추출

뇌파에 있어서 우세파형이란 뇌에 상대적으로 많이 활성화된 파형을 의미하며 뇌의 상태를 구분할 수 있는 지표중의 하나이다. 이러한 우세파형을 추출하기 위해 우선 뇌파 측정 기기를 통해 EEG를 측정해야 한다. 뇌파 측정 기기로 들어온 EEG데이터는 Fig. 2의 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)으로 시간에 의존된 EEG데이터를 주파수 성분으로 분해하기 위한 과정을 거친다. 그러나 FFT는 정현파 진동에 해석에 효과적이나 랜덤 진동에는 불안정하기 때문에 이 점을 개선한 파워 스펙트럼(Power Spectrum Density, PSD) 방식을 많이 사용한다. PSD는 FFT의 각 주파수 빈(Bin)에 복소 공액(complex conjugate)을 곱하여 계산된다. 이를 통해 진폭 값을 주파수 빈 폭으로 정규화 하여 서로 다른 신호 길이를 갖는 임의의 진동 신호를 정확하게 비교할 수 있다. PSD는 뇌파의 우세한 파형을 비교하기 위한 상대 파워 스펙트럼을 구하는 용도 쓰인다. 파워 스펙트럼의 파형별 평균을 구함으로써 상대적인 주파수 파워 비교가 가능하다.

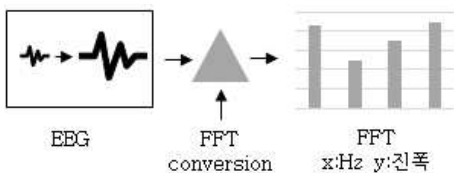


Fig. 2. Functional process of FFT.

상대 파워 스펙트럼은 EEG뇌파를 수치화 하는데 많이 쓰이는 기법으로 뇌파의 Delta(Δ), Theta(Θ), Alpha(α), Beta(β) 주파수 대역별 상대적인 활성도를 파악하기 위한 목적으로 쓰인다[7-8][15-16].

Table 1는 도출된 상대 파워 스펙트럼 대역별 사용자 상태 특징을 정리한 표이다. Beta, Alpha, Theta, Delta 순으로 EEG파형의 주파수가 낮아지고 그에 따라 사용자가 안정 및 수면을 취하는 것을 알 수 있다. Beta파의 경우 집중, 흥분, 긴장, 각성의 경우에 검출되는 파형이다. 이 파형은 사람이 신체적 운동을 하거나 활동 중 이라는 상태라고 해석할 수 있다. Alpha파의 경우 편안한 이완효과를 사람이 느끼는 상태이다. Theta파는 졸음 및 얕은 수면상태에 나타나는 파형이다. Delta파 이하의 느린 EEG 신호를 서파라고 칭하고 깊은 수면 중에 검출되는 뇌파이다 [6-8][10][17-18]. 특히 ASMR과 핑크 노이즈에는 세타파 이하의 느린 서파를 유도하는 효과가 있어 이완뿐만 아니라 수면유도에도 영향을 미친다는 결과가 있다[11-13]. 이러한 이유로 ASMR과 핑크 노이즈는 수면케어에도 적합하다.

2.3 수면유도음향

다양한 ASMR은 자율감각 쾌감반응이라는 뜻으로 인간의 자율신경을 자극하여 각성 상태에서 이완 상태로 사용자를 안정시켜주고 수면유도에도 탁월한 효과가 있다. ASMR음향은 음향마다 각기 다른 효과별 특성을 갖는다. Table 2은 사용자에게 미치는 효과 별 ASMR음향을 정리한 것이다. Table 2에서는 ASMR음향의 효과를 3가지 카테고리(집중, 편안/이완, 숙면유도)로 나눈다[7-9].

예를 들어 부직포 긁는 소리(Non-woven scraping)는 집중에 효과가 있으며 장작타는 소리(Firewood burning)는 수면유도에 효과가 있다[7-8]. 그 이유를 분석해보면 집중 카테고리의 소리들이 수면

Table 1. Characteristics of EEG frequency bands

Band type	Frequency band	Characteristics
Delta(Θ)	0-4Hz	deep sleep
Theta(Θ)	4-8Hz	drowsiness, shallow sleep
Alpha(α)	8-13Hz	relaxation, comfort
Beta(β)	13-30Hz	concentration, awakening

Table 2. Feature of ASMR table for effect

Concentration	Comfort/Relax	Sleep induction
Non-woven scraping	Wood knocking	Firewood burning
Soap scraping	Bottle knocking	Pink noise
Scrubber crumpling	Hair cutting	
Vinyl crumpling	Raining	
Men whisper	Women whisper	

유도 카테고리의 소리들에 비해 알과파와 베타파의 비율이 높다. 이런 경우에 적합한 사용자는 극도로 흥분되어 있는 사람에게는 적합하지만 베타파나 서파가 우세파형인 사람에게는 수면을 유도하기 위한 목적으로는 적절치 않는다. 그러므로 뇌파를 이루는 성분을 추정하면 개인의 수면 상태를 알 수 있으며 적절한 음향(소리)제어로 수면유도가 가능한 개인 맞춤형 수면유도음향 제어시스템을 제안하고자 한다.

3. 개인맞춤형 수면유도음향(SIS) 제어시스템

3.1 서비스 개요

SIS 제어시스템 모델로 사용자의 뇌파데이터를 이용하여, SIS 시스템을 통해 개인에게 최적화된 수면유도음향을 제어하도록 제안한다. Fig. 3에서 보듯이 SIS 시스템은 뇌파측정 기기(Brain wave measurement device)로부터 실시간으로 사용자의 뇌파 특성 데이터와 개인인증(Personal Authentication)을 수신한다. 데이터 값에 따라 SIS 제어시스템은 음향이 개인에 미치는 효과(effect)와 선호도(preference)를 고려할 뿐만 아니라 수면입면의 최단 시간이 걸리는 방법을 찾기 위해 목표 지연시간(latency)을 파악하여 음향 제어의 기준으로 설정한다. 그렇게 함으로서 사용자가 안정을 찾고 최단의 입면시간을 유도하는 음향을 제공한다. 이와 같은 과정은 Fig. 4에 있다.

Fig. 4의 경우 만약 사용자가 각성된 상태라면 가벼운 집중에 도움이 되는 ASMR을 제공하여 사용자

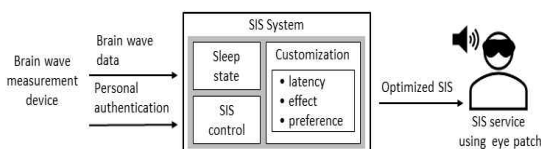


Fig. 3. SIS system model.

의 각성된 상태에서 진정된 상태로의 변환을 목표로 한다. 만약 사용자가 약한 이완된 상태라면 좀 더 깊은 이완 상태가 되도록 유도하는 ASMR을 제공한다. 그리고 사용자가 깊은 이완의 상태가 되면 입면 준비가 되었다고 판단하여 입면시간의 단축에 효과가 있는 핑크 노이즈를 제공 한다. 여기서 핑크 노이즈는 입면 후 깊은수면 상태인 NREM(Non Rapid Eye Movement) 이 되면 음향 재생을 멈춘다. 그 이유는 깊은 수면 상태에서는 외부의 자극이 오히려 수면에 방해가 될 수 있기 때문이다. 이러한 동작을 하려면 사용자 상태를 판단할 수 있어야 하며 그에 상응하는 개인맞춤화 과정이 필요하고 이 모든 과정을 제어하는 제어과정이 필요하다. 이런 과정을 수행하기 위해 SIS 시스템을 설계하였다.

3.2 SIS 시스템 구성

제안한 시스템이 정확히 동작하기 위해 SIS 시스템을 Fig. 5와 같이 구성되도록 설계한다. 우선, 뇌파 측정 기기에서 측정한 뇌파 데이터를 수신하여 데이터파일을 JSON(JavaScript Object Notation) 형태로 변환하여 사용자의 상태를 판단하는 입력 데이터로 사용한다. 이후 수면상태 분석모듈(Sleep state) 모듈에서는 수신된 뇌파 데이터를 재가공하여 사용자의 상태를 판단함과 동시에 사용자에게 현재 필요한 음향의 카테고리를 결정한다.

음향의 카테고리는 관련연구에서 제시한 ASMR

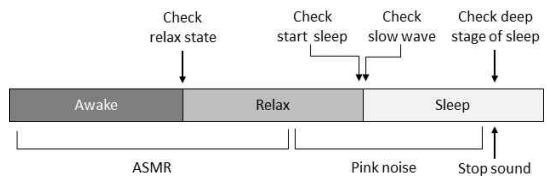


Fig. 4. Service scenario for three states between awake and sleep.

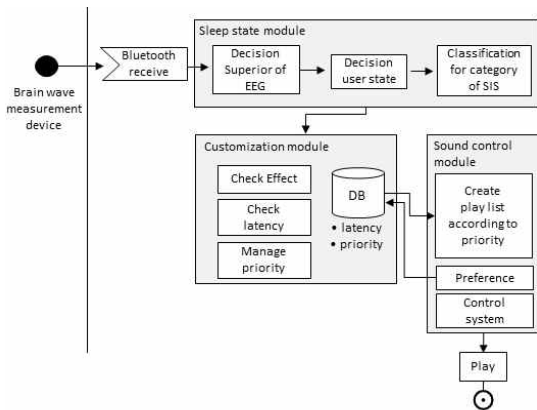


Fig. 5. Tree modules configuration for SIS system.

별 효과와 특징을 기준으로 정한다. 그 후 개인 맞춤형 모듈(Customization)에서 사용자 상태를 모니터링하면서 음향에 대한 latency 측정과 효과의 판단하고 마지막으로 음향제어모듈(Sound control)을 통해 선호도의 반영과 함께 그에 따른 음향을 제어하도록 한다. 다음 절에서 각 모듈별로 상세하게 정의한다.

3.3 수면상태 분석모듈

Fig. 6은 수면상태 분석모듈에서 수행할 처리과정이다. 우선 블루투스수신(Bluetooth receive)과정은 블루투스 통신을 통해 뇌파측정기로부터 측정된

뇌파데이터를 처리한다. 수신된 데이터는 개인 인증된 사용자 ID와 사용자의 EEG 데이터로 구성되고 JSON 포맷으로 재가공한다.

그 후 우세파형 판단(Decision superior of EEG) 과정을 통해 EEG의 우세파형을 판단한다. 뇌파의 우세파형을 통해 우선적으로 사용자의 수면 상태(Check sleep state)를 판단한다. 예를들어 깊은 수면상태에서 포착되는 델타파와 세타파가 우세하다면 사용자가 수면 중이라고 판단한다. 만약 수면 중으로 판단되면 SIS음향을 선택하지 않고 재생을 멈춘다. 수면 중이 아니라면 사용자의 현재 상태에 맞는 음향 카테고리를 결정한다.

현재 사용자의 상태판단(Check user state)은 우세파형의 조합으로 완전이완(Perfect Relax), 보통이완(Normal Relax), 보통각성(Normal Awake), 완전각성(Perfect Awake) 4가지 형태로 나눈다. 완전이완은 주로 델타파, 알파파, 세타파의 파형이 지배적이고 베타파가 없는 형태이다. 이 형태는 사용자가 수면이 들기 직전의 상태를 의미한다. 보통 이완 상태는 세타파 이하의 서파량이 우세하지만 베타파도 검출되는 파형이다. 이 상태는 사용자가 휴식을 취하는 상태를 나타낸다. 보통각성은 알파파가 지배적인 파형으로 약간의 어떤 일에 집중하거나 명상을 하는 상태를 나타낸다. 완전각성의 경우 베타파가 지배적

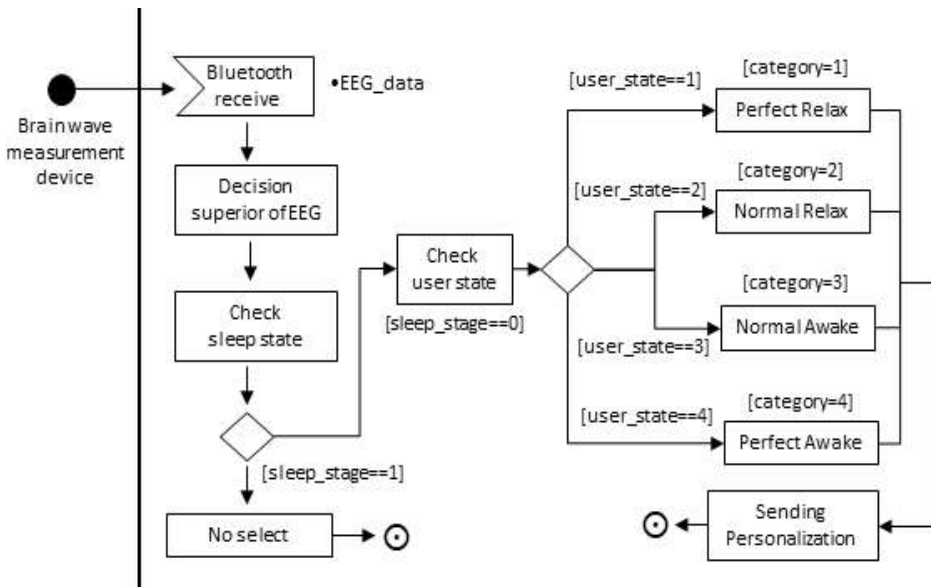


Fig. 6. Functional process of sleep state module.

인 파형으로 운동을 하거나 신체적 활동을 하는 상태를 나타낸다. 이후 카테고리 선택을 하게 되는데, 앞서 판단된 사용자의 상태에 도움이 되는 음향의 종류들을 선택하는 과정이다. 수면유도음향의 카테고리는 Comfort, Relax, Sleep Induction 3가지 카테고리로 분류하고 중 사용자 상태에 맞는 카테고리를 선택한다. 그 후 선택된 카테고리 정보를 개인맞춤형 모듈로 전달한다.

3.4 개인맞춤형 모듈

Fig. 7의 개인맞춤형 모듈은 수면상태 분석모듈을 통해 선택된 카테고리의 음향들에 효과성과 효율성을 기준으로 우선순위(Priority)를 부여하여 개인에게 최적화된 음향을 판단한다.

우선, 선택된 카테고리 음향의 정보에 latency 값이 아직 측정되지 않았다면 null값을 채운다. null값이 존재하는 음향을 우선적으로 랜덤 재생한다. 이는 아직 사용자가 느끼는 효과와 반응을 판단하기 어렵기 때문에 테스트 측면에서 음향의 효과성과 효율성을 판단하기 위해 재생하는 것이다.

음향이 재생하게 되면 현재 사용자의 상태에 따른 목표를 세운다. 예를 들어 사용자 상태가 현재 완전 각성중인 상태라면 목표는 보통각성의 상태 혹은 그

이하의 이완된 상태로 변하는 것을 목표로 한다. 즉 현재 사용자 상태보다 더욱 이완되는 상태를 목표의 기준을 세운다. 목표달성을 체크하기 위해 사용자 상태와 의미가 상통하는 앞서 판단된 카테고리 정보를 실시간으로 카운팅한다. 카운팅 된 카테고리 카운팅 숫자가 우세한 카테고리가 현재 사용자 상태 및 현재 필요한 음향의 카테고리를 의미한다. 만약 사용자의 상태가 이전보다 더 이완되었다면 카운팅 하던 중 상태가 목표 상태로 도달한 시점의 시간을 DB에 latency값으로 저장한다. 즉 latency 값은 선택된 음향으로 목표 상태에 도달한 시간을 의미한다. 만약 카운팅 도중 변화가 없을 경우 효과 없음을 판단하고 재생 곡의 우선순위를 감소시키고 같은 카테고리 내의 다른 곡을 선택한다. 만약 사용자 상태가 기존보다 더 각성되었다면 효과 악화라는 판단을 하고 현재 재생 곡의 우선순위를 효과 감소시키며 각성된 상태의 카테고리 중 우선순위가 높은 음향을 재생한다. 이로 인해 수면유도 음향이 개인에 미치는 효과성의 검증과정으로 우선순위를 부여하고 효율성의 측면에 있어 목표 상태에 도달했다라도 목표에 도달하는 시간인 latency를 비교하여 최단시간으로 사용자가 이완상태가 되고 수면이 유도되도록 한다. 이렇게 사용자의 상태와 효과, 효율성 측면을 반영하여 선택된

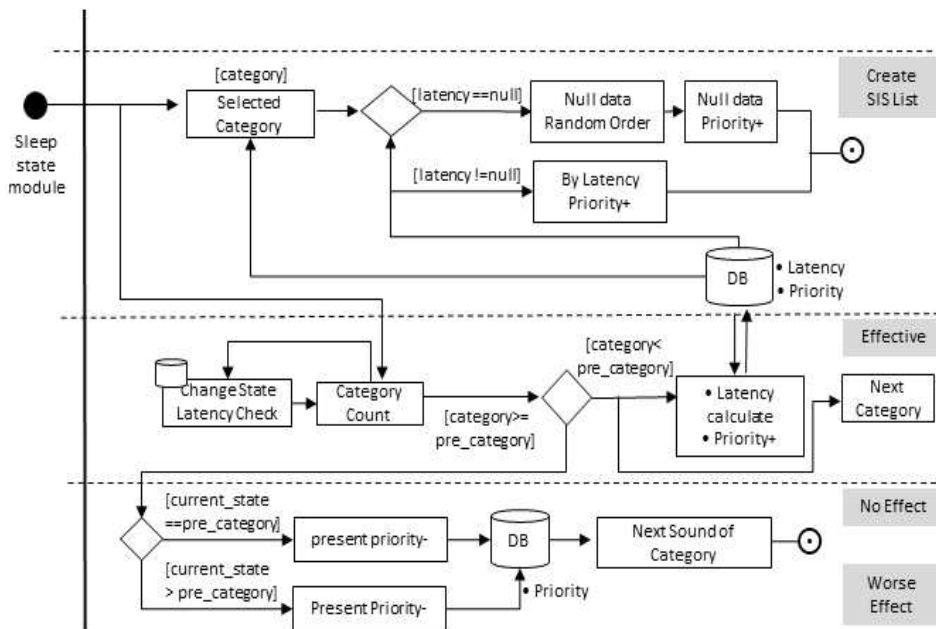


Fig. 7. Functional process of customization module.

음향정보는 음향제어 모듈로 넘어간다.

3.5 음향제어 모듈

음향제어 모듈은 개인맞춤형모듈에서 선택된 음향을 제어하는 모듈이다. Fig. 8를 보면 선택된 음향은 DB의 디렉토리 정보로 파일을 읽어서 카테고리별 재생 목록(Play List)를 만든다. 이 리스트는 사용자가 버튼을 통해 다음 곡으로 넘기거나 개인맞춤형 과정을 통해 다른 곡을 선택하게 될 경우를 위해 우선순위 별로 리스트를 만든다.

SIS 시스템은 버튼이 두 개의 버튼으로 시스템을 제어한다. 버튼은 버튼1과 버튼2로 구성되어있는데, 버튼1 또는 2를 동시에 3초 이상 누를 경우 전원 on/off를 하고 버튼1과 2를 동시에 3초 이상 누른다면 환경설정 파일을 통해 시스템 리셋을 한다. 그리고 버튼1 또는 버튼2를 2초 이하로 한번 씩 누르면 현재 재생중인 음향의 볼륨을 조정한다.

버튼1 또는 버튼2를 2초 이하의 시간동안 터치 카운트 2번이면 현재 선택된 카테고리 내에 다른 곡으로 변경한다. 이 과정은 사용자가 선호하는 음향을 스스로 찾는 과정으로 사용자가 개인별 음향에 느끼는 선호도를 측정할 수 있는 과정이다. 예를들어 버튼을 통해 사용자가 카테고리 내에 다른 음향으로 변경하면 10초가 지난 후 변경한 음향이 변경이 되었

는지 유지가 되었는지 확인을 한다. 만약 유지가 되었다면 현재 유지된 음향은 사용자의 의지로 선택한 음향이라고 판단하여 사용자가 선호하는 음향이라고 판단할 수 있다. 그 후 사용자가 선택한 음향의 우선순위를 증가하여 DB에 저장한다. 만약 음향이 변경되었을 경우에는 이벤트를 무시한다. 이 과정을 통하여 수면유도음향 제공에 있어 사용자의 선호도를 반영하였다.

SIS 시스템은 위에 언급한 모듈간의 데이터 처리 과정을 통해 실시간 개인 맞춤형 음향제어를 제공한다. Fig. 9은 모듈간의 데이터 처리과정과 데이터 흐름을 나타낸다.

Fig. 9을 보면 사용자가 착용한 뇌파측정 기기로부터 뇌파 데이터와 사용자 아이디가 SIS 시스템의 음향제어모듈로 전달한다. 음향제어모듈에서는 뇌파데이터의 우세파형을 분류한다. 분류한 우세파형은 수면상태분석모듈을 통해 사용자가 현재 어떤 상태인지 판단한다. 이를 통해 사용자가 어떤 카테고리의 음향이 필요한지 판단하게 되고 깊은 수면중으로 판단되면 음향 재생을 멈춘다. 깊은 수면중이 아니라면 판단된 카테고리는 개인맞춤형모듈에서 음향의 개인차에 따른 효과와 효율성 측정하기 위해 latency를 체크하고 음향이 효과성을 체크한다. 이를 기반으로 음향이 선택되고 latency와 priority를 DB에 저장

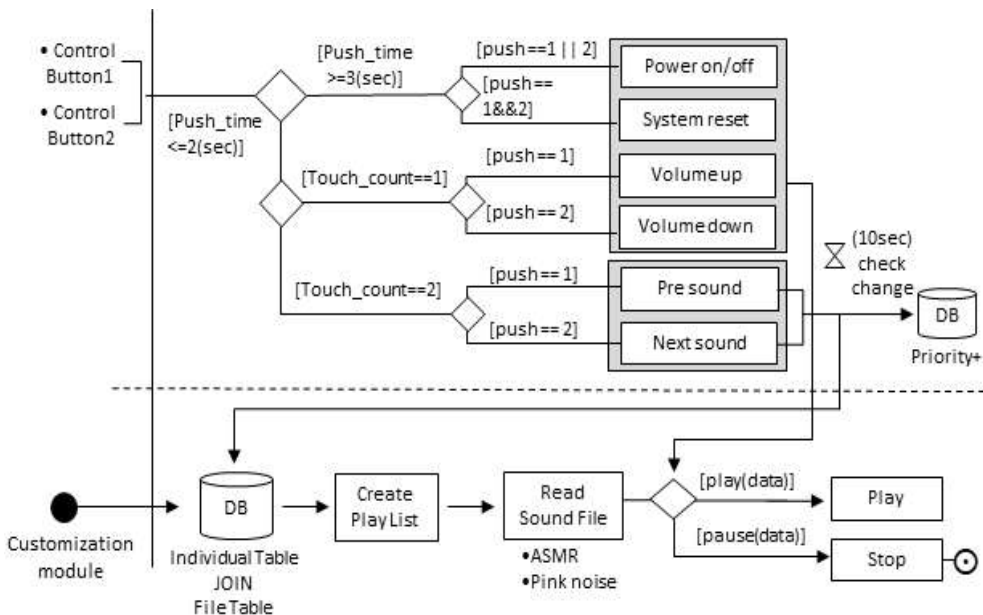


Fig. 8. Functional process of sound control module.

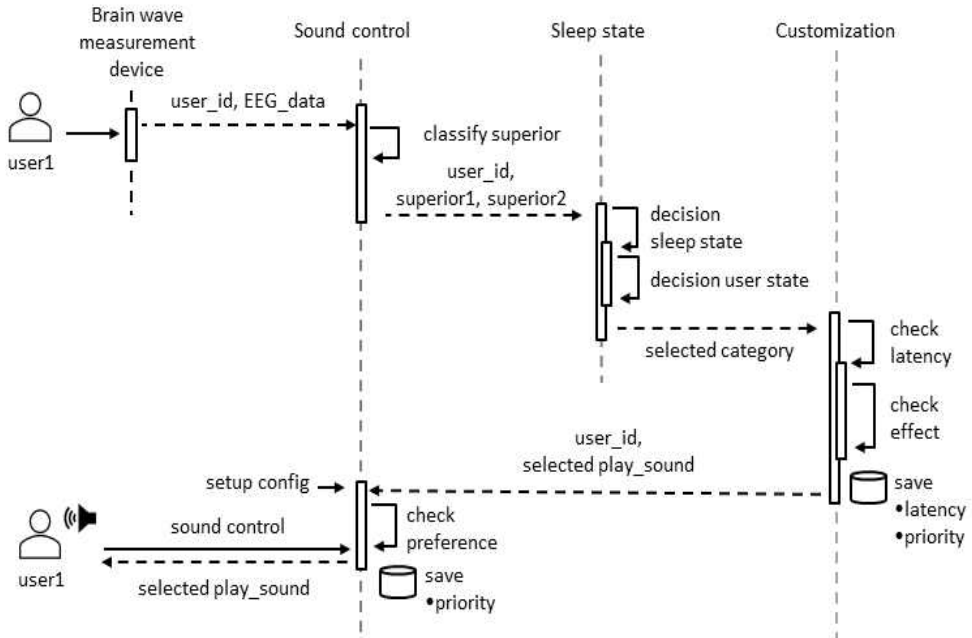


Fig. 9. Sequence control between device and three modules in SIS system.

한다. 그 후 음향제어모듈을 통해 사용자 조작에 따른 선호도를 참조한다. 사용자의 선호도 또한 음향의 priority에 반영하여 DB에 저장한다. 그 결과 선택된 음향은 스피커를 통해 출력한다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험환경

본 논문에서 제안한 시스템의 효용성을 평가하기 위해 SIS 시스템이 개인의 수면에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 수치 값을 측정하였다. Fig. 10에서 보듯이 뇌파측정전극(4)을 뇌파측정기기(1)에 연결하여 전두엽 부분인 이마에 부착하였다. 실험에 사용한 뇌파측정기기는 오픈소스 개발툴킷인 OpenBCI에서 제공하는 Ganglion 보드를 이용하였다. Ganglion 보드는 블루투스로 측정된 EEG 데이터를 60 Hz 간격으로 PC(2)로 전송한다. PC는 EEG 데이터에서 상대파워 스펙트럼 값을 추출하여 2초 간격으로 웹기반의 전송모듈을 개발하여 Raspberry pi 보드(3)로 전송하도록 하였다. 본 논문에서 구현한 SIS 시스템이 바로 (3)에서 구동되며 이것을 이용하여 SIS 시스템 동작하도록 하여 분석된 뇌파데이터를 이용하여 수면유도 음향이 스피커(5)로 출력될 수 있

도록 실시간 제어를 하도록 하였다. 또한 SIS 시스템을 적용한 이후 사용자의 실시간으로 변화하는 뇌파값을 측정하여 얼마만큼의 유의미한 효과를 보였는지 실험을 하였다.

실험에 사용한 Ganglion board와 Raspberry pi의 하드웨어 환경과 소프트웨어 환경은 Table 3과 같다. Ganglion 는 3.3V to 12V의 전력이 필요하며, 블루투

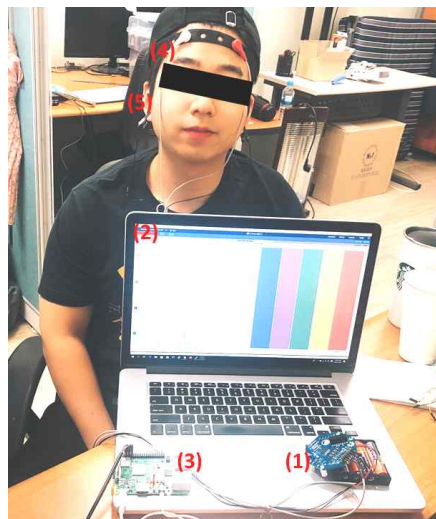


Fig. 10. Experiment environments for SIS system.

Table 3. Experiment environments details

Hardware environments			Software environments		
Item	Hardware environments		Item	Software environments	
Model	Ganglion Board	Raspberry Pi	Model	PC	Raspberry pi
Dimensions	2.41" × 2.41"	82" × 56" × 19.5"	OS	Window 10	Raspbian v-4.19
Power	3.3V to 12V	3.3V to 12V	program	Node v-12.13.1	Node v-12.13.1
BLE	Simblee BLE Radio module	Bluetooth 4.2		Java v-13.0.1	

스4.2는 Simblee BLE Radio module 방식을 제공하고 있다. Raspberry pi내에 구현된 SIS시스템은 Node.js 12.13.1을 사용하였다.

Fig. 11는 PC의 화면이다. 오른쪽 그래프는 Ganglion으로 측정된 뇌파데이터의 주파수별 파워를 가시적으로 보여주는 OpenBCI 프로그램이다. 왼쪽 상단의 콘솔창의 경우 Ganglion을 통해 전송된 EEG 데이터를 JSON형식으로 PC의 저장하는 과정이다.

왼쪽 가운데에 위치한 콘솔창의 경우 Ganglion에서 PC로 전송된 EEG 데이터를 HTTP을 이용해 통해 Raspberry pi에 전송하는 과정이다. 왼쪽 하단의 콘솔창의 경우 SSH 통신을 통해 라즈베리파이에 접속 중인상태이고 PC에서 송신한 EEG 데이터를 실시간으로 수신 받는다. Raspberry pi은 수신 받은 EEG 데이터로 SIS 시스템은 작동한다.

실험에는 20대 남자 3명(user1~user3), 50대 남자

1명(user4) 50대 여성 1명(user5)이 참여하였다. 각 사용자마다 SIS 시스템을 이용하여 수면이 들고 수면에 깰 때 까지 3번 반복 측정 하였고 비교 실험을 위해 SIS 시스템을 이용하지 않고 수면에 들고 수면에 깰 때 까지 3번 반복 측정하였다. 그리하여 총 실험 횟수는 30회이고 1회 실험당 평균 3.7시간이 소요되었다. 그 후 누적된 측정값의 평균을 계산하여 수치화하였다.

4.2 실험과정

실험은 SIS 시스템이 사용자에게 미치는 효과의 신뢰성을 증명하였다. 측정한 사용자 뇌파데이터의 변화양상을 모니터링하여 SIS 시스템의 사용자에게 미치는 효과와 영향력을 증명하였다. 실험은 두 가지 실험으로 분류하여 진행하였다. 첫 번째 실험은 무음 대비 수면 입면시간 비교 실험이고 두 번째 실험은

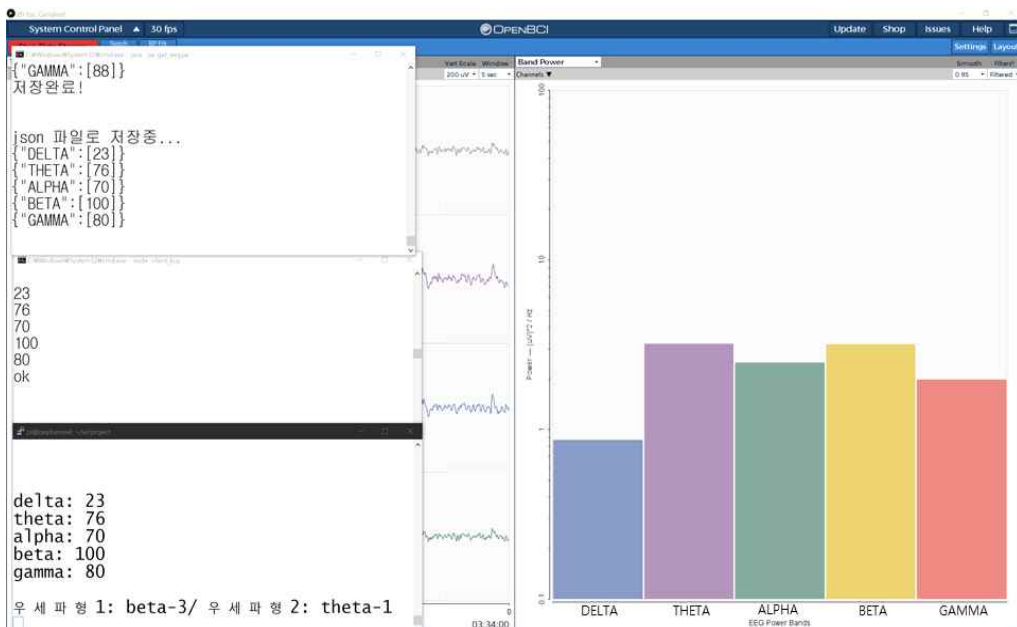


Fig. 11. Operating SIS system.

무음 대비 EEG 서파량 비교 실험이다. 첫 번째 실험은 무음대비 수면 입면시간 비교실험에서는 사용자가 깊은 잠들 때 우세하게 나오는 파형인 델타파 세타파의 비율에 따라 수면 입면의 시점을 측정하여 SIS 시스템을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 수면 입면시간의 단축 효과를 평가하는 실험이다. 두 번째 실험인 무음 대비 EEG 서파량 비교 실험은 뇌파의 서파인 세타파 이하의 느린 파형의 뇌파의 양을 측정하는 하여 비교하는 실험이다. 서파량이 증가한다는 의미는 깊은 숙면에 취했다는 의미를 내포하고 또한 각성된 상태라면 서파량의 증가는 뇌의 휴식 및 이완을 의미한다. 그래서 SIS 시스템이 사용자의 이완과 깊은 숙면에 도움이 되는지 측정하는 실험이다.

4.3 실험결과 및 평가

Fig. 12를 보면 실험 시나리오에 따라 제안된 첫 번째 실험인 SIS 시스템을 이용한 무음 대비 수면 입면시간 비교 실험의 결과이다.

가로축의 exp(-) SIS 시스템을 적용하지 않은 대조군이고 exp(+)는 SIS 시스템을 적용한 실험군이다. 세로축의 Sleep latency는 분(min)단위로 수면에 입면에 걸리는 시간을 측정하였다. user4의 경우 입면시간이 15분 단축이 되어 가장 효과가 좋았다. 반대로 user2의 경우 시스템 적용 전과후의 입면단축시간이 1분 미만으로 제일 효과가 미비했다. 총 5명의 실험자중 4명이 수면 입면시간 단축에 효과를 보

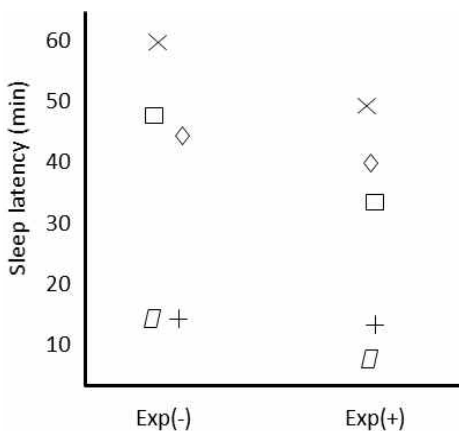


Fig. 12. Sleep latency time compared exp(-) to exp(+) in case of user1 □, user2 +, user3 ×, user4 □, user 5 ◇.

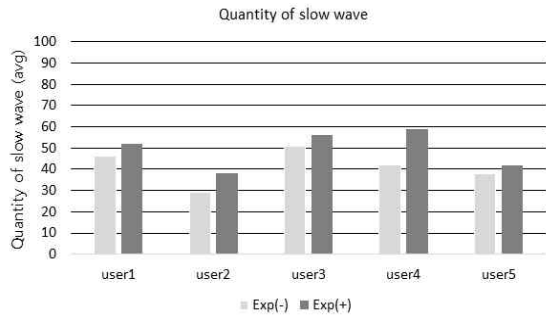


Fig. 13. Quantity of slow wave compared exp (-) to exp (+).

였고 실험군은 대조군에 비해 수면 입면시간이 평균 8분 단축되었다. 이는 SIS 시스템은 수면유도와 숙면 입면시간 단축에 효과가 있다는 것을 증명한다.

Fig. 13는 두 번째 실험인 무음 대비 EEG 서파량 비교 실험의 결과이다. 가로축의 exp(-) SIS 시스템을 적용하지 않은 대조군이고 exp(+)는 SIS 시스템을 적용한 실험군이다. 세로축은 누적된 서파량에 평균구하여 수차화한 것이다. 실험 결과를 보면 user4의 경우 시스템 적용 전과 후의 서파량이 38% 증가하여 효과가 가장 좋았다. 반면 user5의 경우 시스템 적용 전과 후의 서파량이 10% 증가로 제일 효과가 미비했다. 실험군은 대조군보다 평균 21%의 서파량 증가를 보였다. 이는 SIS 시스템이 뇌파의 서파를 유도하여 뇌의 휴식과 깊은 숙면에 효과가 있다는 것을 증명하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 수면유도음향을 이용하여 뇌파데이터 기반 실시간 개인 맞춤형 SIS 시스템을 제안하였다. 기존의 일괄적이고 일방적인 수면케어와 달리 사용자의 상태를 실시간으로 반영하여 사용자에게 적합한 수면유도음향을 제공하였다. 그 결과 SIS 시스템은 사용자의 숙면과 수면 입면시간을 단축하고 개인마다의 각기 다른 효과에 구애받지 않고 누구나 최적의 효과를 받을 수 있도록 한다.

제안한 시스템은 사용자에게 미치는 효과의 유효성을 확인하기 위해 라즈베리파이 기반의 SIS 시스템을 구현하였으며 구현된 환경에서 무음 대비 수면 입면시간 비교 실험과 무음 대비 EEG 서파량 비교 실험을 시행하였다. 무음 대비 수면 입면시간 비교

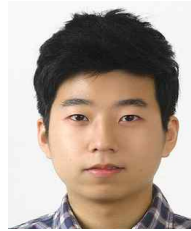
실험에서는 5 사용자중 4명이 수면 입면시간에 단축이 되었고 단축된 시간은 평균 8분의 단축효과가 있었다. 무음 대비 EEG 서파량 비교 실험에서는 SIS 시스템을 사용했을 때 사용자의 서파가 5명중 5명이 서파량이 증진되었고 실험군은 대조군대비 평균 21%가 증가하였다. 이는 SIS 시스템이 수면관리에 도움이 된다고 판단할 수 있다. 향후 수면유도음향에 대한 활발한 연구로 더욱 다양한 수면유도음향의 효과가 입증된다면 사용자에게 더욱 세밀하고 효과적인 SIS 시스템 제공할 수 있음을 기대한다.

REFERENCE

- [1] Y. Baek, J. Yoo, S. Lee, and H. Jin, "Domestic Trends of Research and Patent for Sleep Disorder," *Life Sciences*, Vol. 13, No. 6, pp. 309-317, 2013.
- [2] B.M. Lee and H.J. Hwang, "Virtual Sleep Sensor with PSQI for Sleep Therapy Service," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 18, No. 12, pp. 1538-1546, 2015.
- [3] Y. Toutitou, A. Reinberg, and D. Toutitou, "Shift Work and Cancer Risk: Potential Mechanistic Roles of Circadian Disruption, Light at Night, and Sleep Deprivation," *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 173, No. 4, pp. 94-106, 2017.
- [4] R.J. Raymann, D.F. Swaab, and E.J.W.V. Someren, "Skin Deep: Enhanced Sleep Depth by Cutaneous Temperature Manipulation," *Brain*, Vol. 131, No. 2, pp. 500-513, 2008.
- [5] F. Paul, M. Schädlich, and D. Erlacher, "Lucid Dream Induction by Visual and Tactile Stimulation: An Exploratory Sleep Laboratory Study," *International Journal of Dream Research*, Vol. 7, No. 1, pp. 61-66, 2014.
- [6] B. Chung and H. Park, "Effects of Non-pharmacological Interventions for Adults with Insomnia in Korea: A Meta-analysis," *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 95-106, 2017.
- [7] J. Lee, *EEG and Subjective Analysis of Individual Characteristics of ASMR Sound*, Master's Thesis of Hanyang-University, 2019.
- [8] J. Lee and J. Kim, "Analysis of The Relaxing Effect of ASMR Sound Contents," *The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 56, No. 3, pp. 139-145, 2019.
- [9] B. Fredborg, J. Clark, and S.D. Smith, "An Examination of Personality Traits Associated with Autonomous Sensory Meridian Response (ASMR)," *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, No. 247, pp. 1-9, 2017.
- [10] D.H. Moon, "The Effect on Human Body by the Stimuli of Musics and Acoustic Vibrations," *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 59-64, 2008.
- [11] T. Kawada and S. Suzuki, "Sleep Induction Effects of Steady 60 dB (A) Pink Noise," *Industrial Health*, Vol. 31, No. 1, pp. 35-38, 1993.
- [12] U. Will and E. Berg, "Brain Wave Synchronization and Entrainment to Periodic Acoustic Stimuli," *Neuroscience Letters*, Vol. 424, No. 1, pp. 55-60, 2007.
- [13] B. Kim and M. Whang, "The Effect of White Noise and Pink Noise on the Brain Activity," *The Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 17, No. 5, pp. 491-498, 2017.
- [14] M. Kim and J. Seo, "A Control Method of ASMR Contents through Attention and Meditation Detection Based on Internet of Things," *Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 9, pp. 1819-1824, 2018.
- [15] T. Inouye, K. Shinosaki, H. Sakamoto, S. Toi, S. Ukai, A. Iyama, et al., "Quantification of EEG Irregularity by Use of the Entropy of the Power Spectrum," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 79, No. 3, pp. 204-210, 1991.
- [16] W.R.W. Omar, R. Jailani, M.N. Taib, R.M. Isa, and Z. Sharif, "Assessment of Acute Ischemic Stroke Brainwave Using Relative Power

Ratio,” *Proceeding of IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, pp. 310-313, 2013.

- [17] O. Benoit, A. Daurat, and J. Prado, “Slow (0.7 - 2 Hz) and Fast (2 - 4 Hz) Delta Components are Differently Correlated to Theta, Alpha and Beta Frequency Bands during NREM Sleep,” *Clinical Neurophysiology*, Vol. 111, No. 12, pp. 2103-2106, 2000.
- [18] D. Petit, J.F. Gagnon, M.L. Fantini, L. Ferini-Strambi, and J. Montplaisir, “Sleep and Quantitative EEG in Neurodegenerative Disorders,” *Journal of Psychosomatic Research*, Vol. 56, No. 5, pp. 487-496, 2004.



위 현 승

2017년~2019년 가천대학교 IT 대학 컴퓨터공학과 학사
 2019년~현재 가천대학교 일반대학원 IT융합공학과 석사 과정
 관심분야 : 스마트헬스, 사물인터넷(IoT), 센서네트워크, 지능형서비스



이 병 문

1988년 2월 동국대학교 전자계산학과 학사
 1990년 2월 서강대학교 전자계산학과 석사
 2008년 2월 인천대학교 컴퓨터공학과 박사

1990년~1997년 LG전자 중앙연구소 네트워크 연구실 선임연구원
 1998년 3월~현재 가천대학교 IT융합대학 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : 스마트헬스, 사물인터넷(IoT), 센서네트워크, 지능형서비스