

비부착형 스마트 수면 모니터링 시스템

고유진*, 임헌국**

A Non-Wearable Smart Sleep Monitoring System

Yujin Ko*, Huhnkuk Lim**

요 약

본 연구에서는 비부착형 스마트 수면 모니터링 시스템을 소개한다. 사용자는 이 시스템을 통해 수면 동안 측정된 수면 모니터링 데이터를 모바일 앱을 통해 전달받는다. 제안 시스템은 기존의 웨어러블 디바이스가 갖는 착용의 불편함, 자세에 따른 측정 편차, 발열 문제 등의 한계를 극복하기 위한 대안으로 제시된다. 제안 시스템은 평상시 시계와 온도습도 기능을 사용하고, 수면 중에는 머리맡에 두어 수면 데이터를 측정한다. 제안 시스템은 내장된 움직임 센서, 온도습도 센서, 소리 센서를 통해 수면 데이터를 수집하며, 수면 분석의 신뢰도를 높이기 위해 미국립수면재단(NSF, National Sleep Foundation)의 수면 질 평가 기준을 적용하였다. 제안 스마트 수면 모니터링 시스템은 기존 시스템들과 비교하여 비부착에 기인한 편안한 수면 환경 제공, 낮은 화상 가능성, 저비용, 낮은 알고리즘 복잡도 등의 장점을 제공한다.

Abstract

This study introduces a non-wearable smart sleep monitoring system. Through this system, users receive sleep monitoring data measured during sleep via the mobile app. It is presented as an alternative to overcome limitations such as the inconvenience of wearing existing wearable devices, measurement deviation according to posture, and heat generation problems. The proposed system usually uses a clock and temperature and humidity function, and during sleep, it measures sleep data by placing it on bedside. Sleep data were collected through built-in temperature and humidity sensors, motion sensors, and sound sensors, and data from the National Sleep Foundation (NSF) was applied as sleep quality evaluation criteria to increase reliability. Users can monitor their sleep data and control the device through the app. The proposed smart sleep monitoring system provides a comfortable sleep environment due to non-wearable, low burn potential, low cost and algorithm complexity, compared to existing systems.

Keywords

non-wearable smart sleep monitoring system, wearable devices, mobile app, sleep data, sleep quality evaluation criteria

* 호서대학교 컴퓨터공학부 학사과정

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5055-4893>

** 호서대학교 컴퓨터공학부 부교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4827-3747>

• Received: Feb. 25, 2025, Revised: Apr. 04, 2025, Accepted: Apr. 09, 2025

• Corresponding Author: Huhnkuk Lim

Dept. of Computer Engineering, Hoseo University, 20, Hoseo-ro 79

beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

Tel.: +82-41-540-5942, Email: hklim@hoseo.edu

I. 서 론

최근 스마트 워치, 스마트 글래스와 같은 웨어러블 디바이스가 대중화되면서 그 활용 범위가 더욱 넓어지고 있다. 하드웨어의 경량화, 디자인 개선, 다양한 기능의 추가 등을 통해 오늘날 웨어러블 디바이스 시장은 빠르게 성장하고 있다[1].

이 중에서도 수면 모니터링 기기 시장은 최근 몇 년간 급격한 성장을 보이며 중요한 웨어러블 디바이스의 한 축으로 자리 잡았다. 이에 따라 수면 모니터링 기기는 개인의 수면 패턴을 분석하고 개선하는 데 중요한 도구로 자리 잡으며, 건강 관리를 위한 필수 기술로 주목받고 있다[2].

그러나 기존 웨어러블 디바이스는 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 먼저 착용 시 불편함이 크다는 점이다. 기기의 압박감, 무게, 크기 등은 특히 수면 중 사용자에게 불편감을 준다. 또한 기기의 발열로 인해 저온 화상이 발생할 가능성이 있으며, 이는 배터리와 전자 부품 설계의 한계에 기인한다[3].

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 기존 웨어러블 디바이스의 한계를 극복하고, 착용하지 않고도 수면 상태를 측정할 수 있는 스마트 수면 모니터링 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 다양한 센서를 통해 사용자의 수면 상태를 모니터링하고, 모바일 앱과 연동하여 수면 상태 데이터를 실시간으로 확인할 수 있도록 설계되었다[4].

II. 제안 수면 모니터링 시스템

2.1 전체 시스템 구성도

제안 시스템은 그림 1에 보여진 바와 같이 스마트 수면 센싱 시스템의 다양한 센서와 시계 모듈을 활용하여 수면 상태를 분석하고, 액정표시장치(LCD, Liquid Crystal Display) 디스플레이와 모바일 앱을 통해 사용자에게 원격으로 데이터를 제공한다.

예를 들어, 사용자가 수면 중에 코를 골았다고 한다면 소음 센서가 이를 감지하고, 코골이 횟수를 LCD에 출력한다. 이후 사용자는 스마트폰의 앱을 통해 원격으로 데이터를 확인할 수 있다.

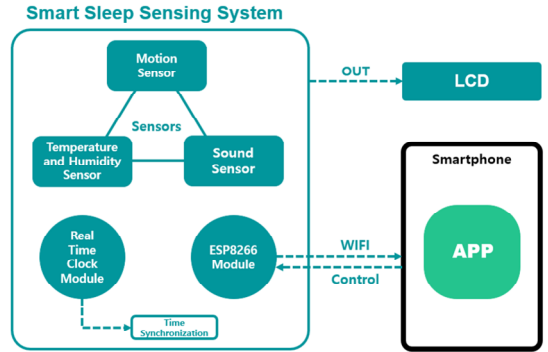


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System configuration

2.2 시스템 구성 요소

센서를 통해 수면 동안 발생한 사용자의 뒤척임, 온도 및 습도, 코골이, 시간을 측정한다. 뒤척임을 측정하는 움직임 감지 센서는 사람의 체온에서 방출되는 열 파장을 통해 적외선 패턴이 변하는 사람의 움직임을 감지하는 모션 센서 HC-SR501로, 오차 범위는 $\pm 5\%$ 이다. 온습도 감지 센서는 저항성 온도 센서와 용량성 습도 센서로 구성되는 DHT11로, 오차 범위는 습도 환경에서 $\pm 5\%$, 온도 환경에서 $\pm 2\%$ 이다. 코골이를 측정하는 소리 감지 센서는 증폭기로 인한 진동판의 떨림을 감지하고 전극판을 이용하여 측정하는 LM393로, 정확도는 90% ~ 95%이다. 각 센서들은 저가형이기 때문에 저비용으로 제안 시스템을 구현할 수 있다.

RTC(RTC, Real Time Clock) 모듈은 시간을 동기화한다. RTC 모듈을 통해 정확한 시간을 알 수 있으며, 측정 시간은 수면 점수 연산에 사용된다. ESP8266 모듈은 스마트 수면 센싱 시스템과 앱을 Wi-Fi로 연결 한다.

LCD 디스플레이는 다양한 정보를 출력한다. 평상시에는 시계, 날짜, 온도와 습도를 표시하며, 수면 후에는 수면 질 측정 결과 값을 출력한다. 사용자는 환경에 맞춰 백라이트를 켜거나 끌 수 있다.

모바일 안드로이드 앱은 사용자가 스마트 수면 센싱 시스템을 원격으로 제어할 수 있는 모바일 앱이다. 구현한 앱을 실행하는 OS는 안드로이드이고, 스마트 센싱 시스템에는 데이터를 처리하는 연산

알고리즘이 코딩되어 내장 되었다. 스마트 수면 센싱 시스템은 Wi-Fi 모듈을 통해 앱으로 수면 상태 데이터를 전송하고, 스마트폰의 앱은 수면 센싱 시스템을 제어하고 수면 데이터를 모니터링 한다.

2.3 수면 질 측정

표 1은 미국립수면재단(NSF)의 수면 질 측정 지표를 보여 준다. 움직임 센서는 민감도를 조절할 수 있어 작은 움직임에는 반응하지 않되, 뒤척임 수를 측정한다. 온습도 센서는 10분마다 값을 측정하고 평균값을 최종 측정값으로 얻는다. 소리 센서 80dB 이상의 소리를 감지하여 코골이 횟수를 측정한다. 측정값이 NSF의 어떤 수면 질 측정 점수에 보다 부합하는지를 비교하는 방식으로 결과를 도출한다.

표 1. 수면 질 측정 지표 및 점수

Table 1. Sleep quality measurement indicator and score

Sleep score	0	1	2
Sleep time	3 hours or less or 13 hours or more adaptive	The remaining range	7 hours or more and 9 hours or less
Temperature	9 degrees or less or 26 degrees or more	The remaining range	16 degrees or more and 20 degrees or less
Humidity	19% or less or 80% or more	The remaining range	40% or more and 60% or less
Snore	81 times or more	The remaining range	60 times or less
Motion detection	10 times or more	The remaining range	5 times or less

수면 질의 각 항목은 2점 만점으로 평가하고 총 다섯 개 항목을 합산하여 10점 만점으로 평가한다. 이를 통해 사용자는 축적된 데이터를 분석하여 장기적인 수면 질 패턴을 모니터링 할 수 있다[5].

III. 제안시스템 수면 점수 측정 결과

3.1 수면 점수 측정 절차

그림 2는 수면 질 점수 측정 절차를 보여준다. 사용자 모바일 앱 화면의 Mode 버튼을 통해 수면을 시작하면 수면 센싱 시스템의 각 센서를 활성화하고, 수면을 종료하면 각 센서가 비활성화 된다. 모바일 앱의 PAGE 버튼을 통해 수면 시간 점수, 온습도 점수, 코골이와 움직임 점수 순으로 확인할 수 있다. Page 버튼을 통해 최종적으로 각 수면 데이터 요소들의 평균을 종합 점수로 확인한다. 그림 3은 실제 구현한 제안 수면 모니터링 시스템을 보여준다.

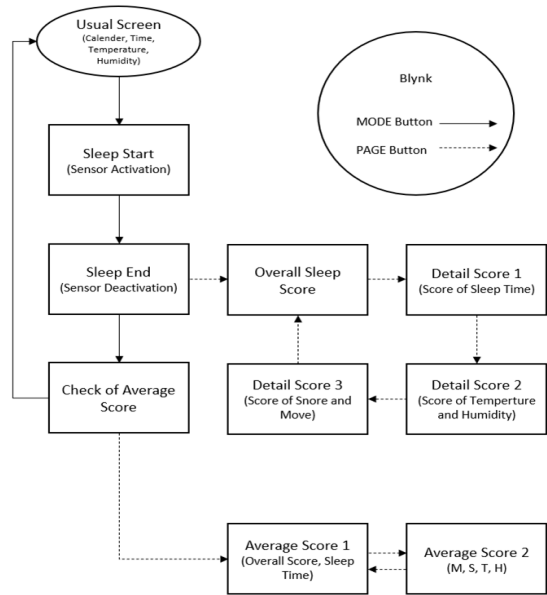


그림 2. 수면 점수 측정 절차

Fig. 2. Sleep score measurement procedure



그림 3. 제안 수면 모니터링 시스템

Fig. 3. Proposed sleep monitoring system

3.2 모바일 앱 실행 및 LCD 화면

그림 4의 개발된 앱을 통해 수면 센싱 시스템을 제어한다. 앱은 향후 사용자 경험의 편의성을 강화하기 위해 향상될 예정이다. Light 버튼은 LCD 백라이트를 끄고 켤 수 있다. Mode 버튼은 평상시 모드, 수면 시작 모드, 수면 종료 모드로 전환 시 사용된다. 수면 종료 모드로 전환 후 수면 질 점수를 Page 버튼을 이용하여 앱 내에서 확인할 수 있다.

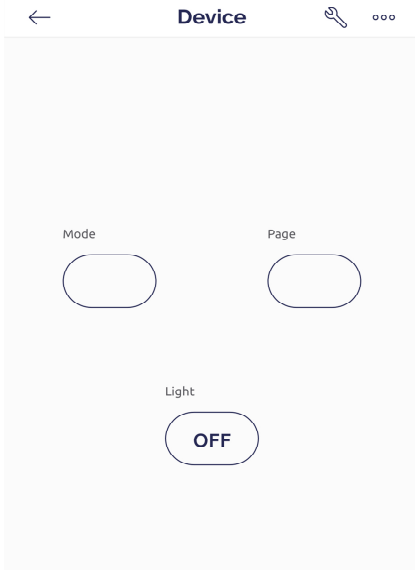


그림 4. 모바일 앱 화면
Fig. 4. Mobile app screen

스마트 센싱 시스템 내부의 RTC 모듈과 온습도 센서가 상시 구동되므로 잠을 자지 않는 평상시에 LCD는 날짜, 시계, 실내 온습도를 확인하는 용도로 사용된다(그림 5(a)). 앱의 Mode 버튼을 눌러, 수면 시작 모드로 전환하면 수면 측정을 시작한다. 이때 LCD 디스플레이 화면은 그림 5(b)와 같다. 수면 환경에 따라 Light 버튼을 눌러 LCD의 백라이트를 끄거나 켤 수 있다. 수면이 끝나면 앱의 Mode 버튼으로 측정을 종료하고 수면 종료 모드로 들어간다. 이때 LCD 화면은 그림 5(c)와 같다.

수면 종료 모드에서 모바일 앱의 Page 버튼으로 수면 질 점수를 확인한다. 이때 LCD 디스플레이를 통해서도 수면 후 수면 질 점수에 대한 세부 항목별 점수를 확인할 수 있다. 수면시간, 평균 온도, 평

균 습도, 코골이 횟수, 움직임 횟수가 표시되고 각 항목에 대한 점수(0~2점)가 표시된다(그림 5(d) ~ 그림 5(f)).

LCD 화면에서 역시 최종 수면 질 측정 결과를 확인할 수 있다. 그림 5(g)는 평균 수면 점수, 평균 수면 시간을 보여주며 그림 5(h)는 평균 움직임 횟수, 코골이 횟수, 온도, 습도를 보여준다. 스마트 센싱 시스템에서 측정된 수면 질 점수와 세부 항목들은 모바일 앱에서도 확인이 가능하다.



(a) 평상시 LCD 화면 (a) Usual LCD screen
(b) 수면 시작 시 LCD 화면 (b) Sleep start LCD screen
(c) 수면 종료 시 LCD 화면 (c) Sleep end LCD screen
(d) 수면 점수 LCD 화면 (d) Sleep score LCD screen
(e) 온도, 습도 LCD 화면 (e) Temperature, humidity LCD screen
(f) 코골이, 뒤척임 LCD 화면 (f) Snoring, movement LCD screen
(g) 평균 점수, 평균 수면시간 LCD 화면 (g) Average score, sleep duration LCD screen
(h) 평균 온도, 습도, 코골이, 뒤척임 LCD 화면 (h) Average temperature, humidity, snoring, movement LCD screen

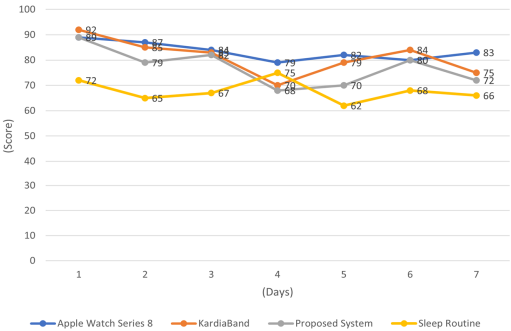
그림 5. LCD 화면

Fig. 5. LCD screen

3.3 수면 질 측정 결과

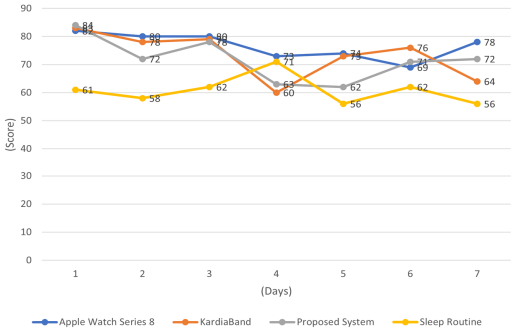
기존 시스템에 준하는 수면 질 측정 결과의 신뢰성이 보장되어야만 제안 수면 모니터링 시스템이 효과적으로 대체될 수 있다. 이러한 신뢰성을 입증하기 위해, 상용화된 웨어러블 디바이스들과 개발한 기기 간의 수면 질 측정 결과를 비교하였다.

그림 6은 제안 시스템과 상용화된 제품인 애플워치 시리즈 8, Alivecor 사의 카르디아 밴드, 슬립 루틴의 수면 질 측정 결과를 비교한 것이다.



(a) 15세에서 39세 사이의 청년층 그룹

(a) Young people (15-39 years old) overall sleep score



(b) 40세에서 64세의 중년층 그룹

(b) Old people (40-64 years old) overall sleep score

그림 6. 수면 점수 비교 분석 결과

Fig. 6. Result of overall sleep score comparison analysis

15세에서 39세 사이의 청년층 그룹 그림 6(a)와 40세에서 64세의 중년층 그룹 그림 6(b)로 구성된 각 사용자 그룹에 대해 실험하였다. 일주일 수면 점수 측정치들의 평균을 택하여 계산한 값으로, 장기 사용에 따른 데이터의 분산을 포괄한 결과이다.

부착형 시스템이 비부착형 시스템보다 상대적으로 높은 정확성을 보장한다고 가정하고, 애플워치 시리즈 8과 카르디아 밴드의 수면 점수를 합하여 평균값을 계산했다. 평균 수면 점수인 78.5를 기준으로 기존 시스템과 제안 시스템의 수면 점수 편차 값을 산출하고, 표 2에 수면 점수 편차를 산출하였다. 이러한 편차 값은 기존 시스템과 제안 시스템의 수면 점수 신뢰도를 정량적으로 비교한 하나의 지표로 볼 수 있을 것이다.

표 2에서 기존 시스템들과 제안 시스템을 비교하였다. 비교 항목은 착용 여부, 화상 가능성, 앱 지원 여부, 비용, 수면 점수 편차, 그리고 알고리즘 복잡도이다.

표 2. 스마트 수면 모니터링 시스템 비교

Table 2. Comparison between the smart sleep monitoring systems

Feature\System	Wearable/non-wearable	Burn potential	App control	Cost	Sleep score deviation	Algorithm complexity
Apple watch series 8	Wearable	Yes	Yes	High	+1.3	High
Kardia band	Wearable	Yes	Yes	High	-1.3	High
Sleep routine	Non-wearable	No	Yes	High	-14.1	High
Proposed system	Non-wearable	No	Yes	Low	-4.1	Low

제안 시스템은 사용자가 착용할 필요 없이 편안하게 수면을 효과적으로 모니터링할 수 있는 장점이 있다. 웨어러블 기기인 애플 워치 시리즈 8와 카르디아 밴드는 피부와의 지속적인 접촉이 필요하여 장시간 착용 시 화상 가능성이 존재하지만[3], 비부착형 시스템인 제안 시스템과 슬립 루틴은 피부 접촉이 없으므로 화상 위험이 없다. 또한 모든 시스템에서 애플리케이션을 통한 조작이 가능하여 사용자 편의성이 보장된다.

애플워치 시리즈 8은 가속도계를 통해 사용자의 움직임을 감지하고, 심박 센서를 이용해 심박수의 변화를 측정하여 수면 상태를 추정한다[6]. 카르디아 밴드는 심전도를 분석하여 수면 상태를 파악한다[7]. 슬립 루틴은 호흡 소리를 뇌과학 기반 인공지능 기술로 분석하여 수면 상태를 평가한다[8]. 이러한 기존 시스템들은 알고리즘 복잡도를 높이고 고성능 하드웨어 및 전력 소비 증가를 필요로 한다.

본 연구에서 제안하는 시스템은 상대적으로 단순한 알고리즘을 채택하여 구현 비용 및 알고리즘 복잡도를 낮추는 데 효과적이다. 이는 저전력 환경에서도 안정적인 성능을 유지할 수 있다는 장점을 제공한다. 상대적으로 저비용으로 구현된 제안 시스템은 낮은 알고리즘 복잡도에도 불구하고 기존 상용 시스템들과 유사한 수준의 신뢰도를 보였다.

IV. 결 론

기존 웨어러블 기반 수면 모니터링 시스템은 착용의 불편함, 발열 문제, 복잡한 연산 알고리즘으로 인한 전력 소비 증가와 처리 속도 저하 등 여러 한계를 가졌다. 반면, 제안 비부착형 수면 모니터링 시스템은 사용자가 별도로 착용할 필요 없이 수면 상태를 효과적으로 모니터링할 수 있다. 제안 시스템은 다양한 센서를 통해 수면 상태를 분석하고, 사용자에게 수면 질 점수를 제공함으로써 개인 맞춤형 수면 관리가 가능하다. 또한 단순한 알고리즘을 기반으로 구현되어 알고리즘 복잡도를 낮추고, 저전력 환경에서도 안정적인 성능을 유지할 수 있다. 구현 비용이 낮으면서도 기존 상용 시스템과 유사한 수준의 수면 분석 신뢰도를 제공한다. 이러한 점에서 제안 시스템은 비용 효율적이면서도 신뢰할 수 있는 헬스케어 솔루션으로서의 가능성을 보여준다.

References

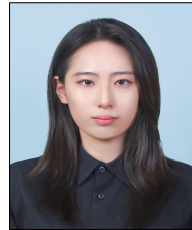
- [1] J. S. Yang, and J. Y. Kim, "A Case Study on the Wearable Device in the New Media Age -Focused on the Portable Device-", Journal of the Korean Society of Design Culture, Vol. 20, No. 2, pp. 354-363, Jun. 2014.
- [2] R. Patil and A. Shivarka, "Sleep Monitoring Devices Market Size, Share, and Trends 2024 to 2034", Precedence Research, Sep. 2024.
- [3] Y. Y. Choi, "Low temperature burns protection technology based on heat radiation analysis for wearable smart devices", Yonsei University, 2019.
- [4] Y. H. Jo, et. al., "IoT(Internet of Things)-based Smart Office Using Bluetooth", Proc. of KIIT Conference, Jeju, Korea, pp. 564-567, Jun. 2021.
- [5] M. Ohayon, et al., "National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary", Sleep Health, Vol. 1, No. 1, pp. 40-43, Mar. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.010>.
- [6] O. Walch, et al., "Sleep stage prediction with raw

acceleration and photoplethysmography heart rate data derived from a consumer wearable device", Sleep, Vol. 42, No. 12, Dec. 2019. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsz180>.

- [7] J. L. Selder, et al., "Assessment of a standalone photoplethysmography (PPG) algorithm for detection of atrial fibrillation on wristband-derived data", Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 197, pp. 105753, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105753>.
- [8] T. Lee, et al., "Evaluation of a sound-based, deep-learning model with polysomnography in a patient with obstructive sleep apnea using positive airway pressure therapy", Vol. 164, No. 4, pp. A6346-A6347, Oct. 2023.

저자소개

고 유 진 (Yujin Ko)



2021년 3월 ~ 현재 : 호서대학교
컴퓨터공학부 학사과정
관심분야 : 인공지능, 머신러닝,
지능형 시스템 설계

임 헌 국 (Huhnuk Lim)



2021년 2월 : 광주과학기술원
컴퓨터공학(박사)
2006년 3월 ~ 2020 2월 :
한국과학기술정보연구원
책임연구원
2013년 3월 ~ 2014년 3월 :
캘리포니아 공과대학교 연구학자
2020년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 컴퓨터공학부 부교수
관심분야 : IoT, 에지 컴퓨팅, AI, VNDN