The Analysis of Neuro-Fuzzy on External Factors of Sleep and Personal Sleep Arousal

Jeong-Ho Ha[†] · Sun-Tak Choi^{††} · Jun-Ho Kim[†] · We-Duke Cho^{†††}

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the effect of sleep environment on individual sleep and to calculate optimal sleep environment. The input and output data sets are selected and the optimized sleep environment information is calculated using the neuro-fuzzy technique. Provides optimal sleep environment considering sleep duration. The arousal ratio calculated by the proposed method is 12%, which is at least 5% lower than the previous studies.

Keywords: Neuro-Fuzzy System, Sleep Environment Parameter, Sleep Arousal, Parameter Analysis

뉴로-퍼지를 이용한 수면 외적 요인과 개인 수면 각성의 관계 영향 요소 분석

하 정 호[†]·최 선 탁^{††}·김 준 호[†]·조 위 덕^{†††}

요 약

본 논문은 수면 환경이 개인 수면에 미치는 영향 분석과 최적 수면 환경을 산출하는 연구이다. 입출력 데이터 집합을 선정하고 뉴로-퍼지 기법을 이용해 최적화된 수면 환경 정보를 산출한다. 수면 지속 시간을 고려한 최적의 수면 환경을 제공한다. 제안된 방법을 통해 산출된 각성 비율은 12%이며, 기존 연구에 비해 최소 5% 낮은 각성 비율을 얻었다.

키워드: 뉴로-퍼지, 수면환경요인, 수면각성, 요소분석

1. 서 론

일상생활에서 수면은 자연스럽게 반복되며 휴식을 취하는 행위를 말한다. 무의식 상태에서 상대적으로 감각 기관이 활 동을 중단하며 대부분의 신체 활동도 최소화 하는 것이 특징 이다. 자극에 대한 반응이 줄어드는 것으로 수면 중 각성과 구별되며, 쉽게 의식을 되돌릴 수 있다는 점에서 동물의 겨울 잠이나 혼수상태와는 구분된다[1]. 수면의 질에 영향을 미치는 요인은 크게 내적요인과 외적 요인으로 구분지어 설명된다. 내적요인은 수면 중 뇌파, 심박의 변화와 같이 내적으로 발생하는 요인이며, 외적요인은 수면 환경 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 조도 등의 요소가 있다[2-8]. 내적요인을 추적하기 위한 방법들은 대부분 외적요인인 수면 환경의 영향을 받는다[9]. 수면 시 체온은 주변 기온의 영향[10-11]을 받으며 수면 환경이 너무 덥거나 추울 경우혹은 호흡량(산소 섭취량)이 부족할 경우처럼 쾌적하지 못한수면 환경은 각성 상태를 유도하게 된다[12]. 따라서 쾌적한수면 환경은 수면 중 각성을 방지할 수 있으므로 양질의 수면 유도에 중요한 요소이다[13].

이에 따라 수면 중 다양한 환경 제어 방법이 제안되어 왔다. 하지만 이러한 연구는 수면 중 실제 신체 상태를 반영하지 않고 실험 참여자 개인의 수면 만족도[14]에 기반을 두거나 계절에 따른 외부의 기온이나 기타 환경적인 상태 변인만고려하여 최적 수면 환경을 산출하고자 하였다. 이처럼 수면환경 제어 방식은 개인의 수면 환경 선호도나 신체 변화 상대를 반영하지 못하는 한계가 존재한다.

[※] 본 연구는 2017년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [C05661760100476491].

This work was supported by the Technology development Program (C05661760100476491) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea).

[†] 준 회 원:아주대학교 전자공학과 공학석사

^{**} 준 회 원:아주대학교 전자공학과 석·박사통합과정

^{†††} 중신회원: 아주대학교 전자공학과 교수 Manuscript Received: November 23, 2017 First Revision: January 15, 2018 Second Revision: April 11, 2018

Accepted: May 20, 2018

 $^{* \} Corresponding \ Author: We-Duke \ Cho(wedukecho@gmail.com)\\$

^{**} This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/ licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

앞서 설명한 일관적인 수면 환경 제어 방식의 문제를 해결하고자, 본 연구는 수면 상태를 측정할 수 있는 머리띠 형태의 디바이스(Head Mounted Device, HMD)로 수면 단계 중각성 상태를 수집하고 환경 센서를 이용하여 수면 환경을 수집한다. 수집된 두 종류의 신호를 함께 고려하여, 수면 환경에 따른 개인 수면 각성을 산출하고 개인 최적화된 수면 환경을 산출한다. 또한 실시간으로 해당 환경으로 유도할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 관련 연구

기계적 환경(Case1)과 자연 환경(Case2)에서 실험을 진행한 연구[15]에서는 수면 환경 요인이 미치는 영향은 수면의만족도를 기반으로 측정한다. 실제 실험자의 자연 환경에서의 실험은 실내 온도 27.5℃, 습도 59%~90%, 이산화탄소 농도 500~1100ppm으로 나타났다. 그러나 자연 환경에서는 응답자의 80% 이상이 매우 덥다는 불쾌함을 표현하였으며 외부 날씨에 따라 습도의 영향이 큰 특징이 있다. 기계적 제어를 이용한 실험에서는 20℃의 온도를 유지하도록 실험을 진행하며 실제 측정된 온도는 22℃~25℃이다. 두 방법의 실험을 따르면 환경적 요인은 고려해야 할 점이 많으며 독립적인환경 요소만으로는 수면의 영향 분석을 입증하기는 어렵다.

습도와 온도 노출 환경에서의 수면 단계 및 체온에 대한 수면 영향 분석 연구[16]에서는 수면 환경을 초반과 후반으로 분할하여 환경을 다르게 하는 실험을 진행했다. 초반 3시간 45분 동안 26℃, 50% 환경에서 실시한 후 후반 3시간 45분에는 32℃, 80%로 변경시킨 후 피부 온도와 피 실험자의 수면 단계의 분석을 실시했다. 환경 변화에 따른 수면 단계의 변화를 검출 실험으로 초기 단계의 습한 열 노출은 수면 단계 분포 및 체온 조절에 영향을 미치기 때문에 수면 초기 단계의 공기 조절은 이후 수면 시간대보다 효과적이다.

여름철 야간 수면 실태와 실내온도 조건에 따른 수면 중신체 변화를 연구하여 쾌적 수면을 위한 온열 환경을 제시하는 연구[17]에서는 다양한 수면 환경을 조성하고 변인에 대한 만족도를 통해 결과를 분석한다. 주변 환경에 대한 수면 만족설문 조사 결과 너무 덥거나 습하지 않은 환경에서의 만족도가 가장 높았으나 실제 평균 피부 온도 차이는 0.1℃~1℃정도 차이로 나타났으며 수면 지속 시간에 따른 온도 변화가 필요하다고 한다. Table 1에서 살펴본 바와 같이 기존 연구들은 일관된 온도나 습도 이산화탄소 농도(환기량)와 같이 특정 환경만을 최적 수면 환경으로 선정하여 수면의 지속 시간이나 환경 변화에 따른 신체 상태를 고려하지 못한다. 또한 대부분의 기존 연구에서는 습도나 이산화탄소 농도(환기량) 보다는 온도에 집중되어 있으며, 각각의 환경 요인이 수면의 질에 끼치는 영향을 설명하기에는 한계가 있다. 수면의 원리를 이용하여 수면 지속 시간을 고려하는 연구[11]에서는 온도

변화에 따른 수면 만족도 고려하였지만 이 역시 실시간적인 신체 상태를 반영하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 수집한 환경 정보와 피 실험자의 각성 정보를 이용하여 수면 중 환경 요인이 인체에 미치는 영향을 확인한다. 뿐만 아니라 수면 환경 정보를 이용하여개인 최적화된 수면 요인 산출하고 숙면으로 유도하는 분석방법을 제안한다.

Table 1. Sleep Environment Experiment

Research		Sleep Environment		
		Temperature (°C)	Humidity(%)	Carbon (PPM)
[15]	Case1	20℃	34%~48%	517~1089 ppm
	Case2	27℃~30.5℃	59%~70%	420~557 ppm
[16]	Case3	26℃→ 30℃	50%→ 80%	X
[17]	Case4	30℃	50%	X

3. 본 론

퍼지시스템(Fuzzy System)은 시스템을 정량적으로 분석하여 인간의 추론 능력을 근사시킨 시스템 분석 방법이다. 입력 데이터 집합의 관계가 모호한 특징이어도 경험적으로 알려져 있거나, 정성적으로 연관성이 확인된 시스템에 효과적이다. 퍼지이론은 설정된 소속 함수에 의해 지식이 표현되며, 추론된 IF-THEN 규칙들의 조합에 의한 분석 방법이다. 다양한 입력 변수에 의해 정성적으로 표현된 애매모호한 값을 정량적으로 표현하는데 효과적이다. 그러나 전문가의 제언으로 만들어진 규칙에 기인해야 더욱 효과적인 특징이 있으므로 상대적으로 주관적인 소속 함수를 갖는 단점이 있다.

반면에 신경망 시스템(Artificial Neuro System)은 실험이나 경험에 의해 생성된 정보를 학습하여 데이터들의 상호 관계를 스스로 확인 할 때 효과적이다. 이러한 두 방법을 결합하는 연구에서는 인공신경망의 가중치 값에 의한 분산으로지식이 표현된다. 뉴런들의 특성을 추출하고, 역전파와 같은 최적화 기능을 활용한 다중합 연산을 통해 학습된다. 특정 환경에서의 실험이나 반복적으로 발생하는 경험으로부터 수집된 데이터를 학습하여 그들의 상관관계를 스스로 정립할 수있으며 객관적인 분석이 가능하다. 더불어 전문가 지식 기반의 제언을 따르며 객관적인 규칙 설계를 통해 유용성이 강화될 수 있다.

뉴로-퍼지 시스템(Neuro-Fuzzy System)[18]은 신경망 시스템의 학습 기법을 이용하여 퍼지시스템에 적용한 방법으로, 인간의 사고 작용과 같이 학습하고 인식하는 기능을 하는 지 능적인 시스템을 만드는 것을 목표로 하는 모델이다. Fig. 1과

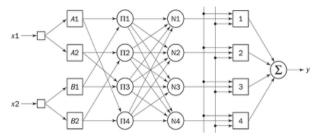


Fig. 1. Generic Architecture of the Neuro-Fuzzy Network

같이 크게 총 4단계로 구분되어진다. 인공신경망을 사용함으 로써 퍼지시스템 규칙을 자동적으로 알맞게 결정한다. 입력받 은 정보를 이용하여 규칙을 생성하고 규칙들로부터 얻어진 출 력 결과 값을 합하여 입력된 정보에 의한 출력 기대 값으로 산출된다. 전문성을 위해 경험적인 정보를 추가하며 규칙을 생성하는데, 입력 정보가 경험적으로 알려져 있으며, 보다 전 문적인 정보일수록 뉴로-퍼지시스템의 유용성은 강화된다.

3.1 파라미터 추출

실험이 진행되는 동안 수집한 수면 외적 요인인 환경 정보 로부터 파라미터를 추출한다. 파라미터는 실험이 진행되는 동안 수집한 온도, 습도, 이산화탄소 농도이며, 실제 수면에 미치는 영향은 각성으로 확인한다. HMD형태의 1채널 뇌파 밴드인 Sleep Zeo를 착용하고 실험을 실시한다. 분 당 2 Sample의 분해능을 갖으며 수집된 데이터 중 수면의 각성 상 태로 출력된 정보를 사용한다.

실제 수면이 시작한 순간부터 1시간 동안의 수면 외적 요 인인 환경 정보와 수면 단계를 함께 수집한다. 수면 외적 요 인이 실제 수면에 미치는 영향을 확인하기 위해 수집된 온 도, 습도, 이산화탄소 농도(환기량)의 정보를 특징 값으로 산 출한다. 선정된 특징 값은 1시간 동안의 평균값이다. 대조군 으로 사용할 수면 단계는 Sleep Zeo로 부터 수집한다. 수집된 수면 단계는 Deep Sleep, Light Sleep, REM(Rapid Eyes Movement, REM), Wake 총 4단계로 구성되어 있으며, 사용 자가 환경에 영향을 받아 각성하는 Wake단계를 한 시간 내 발생한 비율로 계산하여 표현한다. 입력변수 x_1 은 온도의 평 균값이며 x_2 는 습도 x_3 는 이산화탄소 농도이다. 출력변수 y은 해당 시간에서의 각성 비율이다. 10일 동안 5시간 씩 수집 된 수면 환경 정보는 입력변수마다 전체 50개의 정보를 갖게 된다. 입력변수 x_1, x_2, x_3 하루 5시간 씩 10일 동안 수집되 어 전체 50개의 정보를 갖으며 이 때 출력변수 u은 해당 환경 에서의 각성 비율이다. 수집 된 한 시간 단위의 수면 외적 요 인의 특징 값 과 수면 단계 중 각성의 비율은 각각 뉴로-퍼지 시스템의 입력 데이터 집합과 출력 데이터 집합으로 사용한다.

3.2 뉴로-퍼지 시스템의 소속 변수 선정

뉴로-퍼지 시스템을 사용하기 위해 입력 데이터 집합과

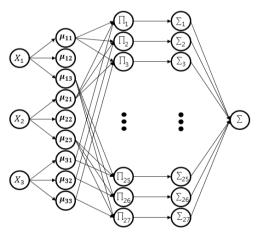
출력 데이터 집합으로 구성된 훈련 데이터 집합이 필요하다. 뉴로-퍼지 모델에서 입력 벡터와 출력 벡터가 주어질 때 단 일 퍼지화와 규칙 생성, 중간 평균 디퍼지화를 사용하여 결과 를 추론한다.

입력 데이터 집합은 실제 수면 실험 동안 수집한 수면 외적 요인인 환경 정보에서 온도, 습도, 이산화탄소 농도를 사용한 다. 각 환경 정보는 입면 시작으로부터 한 시간 단위로 구분하 며 각 시각 내 입력 데이터의 평균값을 입력 값으로 선정한다.

출력 데이터 집합은 실제 수면 동안 수집한 수면 단계 중 각성 단계를 이용한다. 수면 중 각성 단계를 검출하며 한 시 간 대비 각성 단계의 비율을 결과 값으로 선정한다.

3.3 퍼지 추론 시스템의 생성

구축한 퍼지 시스템은 입력 데이터 집합 기반으로 독립적 인 변수 3개의 소속 함수와 출력 데이터 집합 기반의 변수 1 개를 갖도록 설정한다. 뉴로-퍼지 시스템에서 소속 함수는 미분 가능한 형태의 연속성을 가져야 한다. 소속 함수는 다양 한 분포 중 가우시안 분포를 선정하였으며, 입력 데이터 값의 특징을 고려하여 한 입력 변수 당 3개의 가우시안 분포를 설 정하며 가우시안 함수의 중간 값과 표준편차를 설정한다.



L₁: Input Layer L₂: Membership L₃:Rule Layer L4: Output Layer function Layer

Fig. 2. Architecture of the Neuro-Fuzzy Network

생성할 뉴로-퍼지 모델은 4층 구조이다. 첫 번째 층은 L_1 로 표기하며 입력 층이다. 입력 층에서는 입력 데이터 집합이 입력되는 층이다. 각 시각대 별로 뉴로-퍼지를 구성하여 온 $도(x_1)$, 습도 (x_2) , 이산화탄소 농도 (x_3) 가 입력된다. 각각 두 번째 층 L_2 는 퍼지 변수층으로써 입력 집합 x에 대한 소속 정도를 계산한다. 이 층에는 입력 개수만큼 총 3개의 그룹으 로 이루어져 있으며 각 그룹은 3개의 퍼지 규칙 수 만큼 이 루어진다. $m \in L_2$ 번째 그룹, 각 규칙의 뉴런 출력은 가우스 소속 함수의 출력으로 Equation (1)과 같다. 이 때 한 입력변 수 당 가우스 함수의 정보는 3개이다. 따라서 L_2 에서 생성된 전체 소속 함수는 9개가 생성된다.

$$\mu = \exp(-\frac{(x^2 - w)^2}{\sigma^2}) \tag{1}$$

이 때 L_1 와 L_2 사이에서 선정되는 가중치 w와 σ 는 퍼지소속 함수 가우시안의 중앙값과 폭이다.

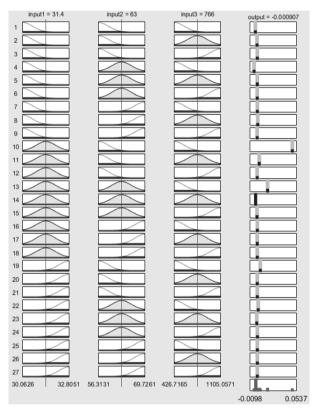


Fig. 3. Generated Fuzzy Rule

세 번째 총 L_3 은 다중 곱셈 연산에 의해 규칙이 Fig. 3과 같이 생성되는 총이다. 퍼지 분석에 사용하는 데이터만을 이용하여 규칙을 생성하기 때문에 각 입력 소속 함수의 데이터 범주 내에서 분석이 이루어진다. 이 총에서 생성된 뉴런은 퍼지 규칙의 수와 같으며 뉴런의 출력은 Equation (2)와 같다.

$$\mu(x) = \prod_{27 \in L_2} \mu x \tag{2}$$

 L_2 층에서 생성된 소속 함수의 특징과 입력 소속 함수의 값이 IF-THEN 규칙으로 생성된다. 규칙을 통해 생성된 각각의 영향을 분석하여 네 번째 층 L_4 에서 최종 출력 값을 표현한다. 입력 벡터 x에 대하여 뉴런의 출력은 Equation (3) 이며, ν 는 총 27개의 규칙 뉴런과 출력 뉴런을 연결하는 가

중치이다. 다중합 연산을 통해 해당 시각대 별로 각성에 영향을 미치는 입력 요인을 확인 할 수 있다.

$$y(x) = \frac{\sum_{27 \in L_3} \mu xw}{\sum_{27 \in L_3} \mu x}$$
(3)

3.4 퍼지 추론 시스템의 훈련

퍼지 시스템의 파라미터를 최적화하기 위해 역전파 알고리즘을 사용한다. 시스템에 훈련 입력과 출력 정보가 들어오면 이미 계산된 시스템의 출력 값을 다시 훈련하여 퍼지 규칙을 재정의하는 방법이다. 특징벡터의 값이 입력 층으로 들어가면 연결강도가 곱해져 모든 합을 구한 후 은닉 층의 활성화 함수로 전달된다. 이와 은닉 층의 계산 결과 값은 같은 방법으로 다시 출력 층으로 전달되어 신경망의 출력 값으로 계산된다. 따라서 원하는 목표 출력 값에 대한 신경망의 출력 값 오차는 Equation (4)와 같이 정의된다.

$$E_n = \frac{1}{2} \sum_{k} (y_n - t_n)^2 \tag{4}$$

이 평균오차를 최소화하기 위해 다음식과 같이 연결강도를 변화시키는 식을 사용한다. 역전파 알고리즘을 적용하여모든 훈련 데이터 오차의 합으로 사용하면 된다. 오차의 가중치에 대한 값을 계산하기 위해 Equation (5)를 사용한다. Equation (6)은 입력에 대한 출력의 지역적 민감도(local sensitivity)를 측정하는 용도로 사용 가능하다.

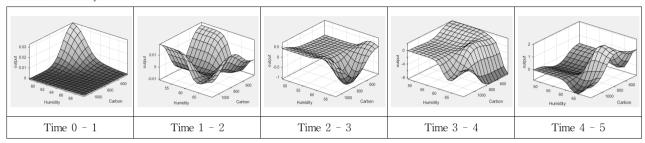
$$V(n+1) = V(n) - \alpha(n) \nabla J(V(n))$$
 (5)

$$\nabla J(V) = \left[\frac{\partial J(V)}{\partial V_1}, \dots, \frac{\partial J(V)}{\partial V_{27}} \right]^T \tag{6}$$

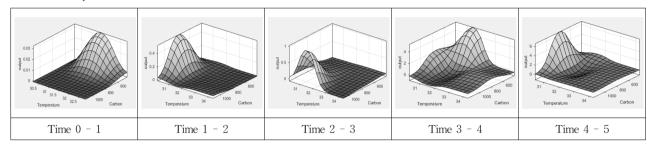
위의 과정은 오차가 원하는 수렴 조건에 만족될 때까지 반복되면서 최종적으로 얻은 학습 결과는 연결 강도에 저장되어 새로운 정보에 대한 판단에 적용된다. 이는 훈련을 중단하는 기준으로 이용한다. 시스템의 훈련은 허용 오차율과 세대의 반복을 설정하여, 입력 소속 함수들이 지정된 허용 오차내에 들어간 후 중지된다. 훈련 오차는 훈련 데이터의 출력 값과 같은 훈련 데이터 입력에 대응되는 퍼지 시스템의 출력간 차이를 뜻한다.

3.5 퍼지 시스템의 테스팅

생성된 뉴로-퍼지 시스템은 각각 한 시간 단위로 생성된 시스템이다. 입면으로부터 한 시간 간격으로 생성된 뉴로-퍼지 시스템은 하나의 상태를 갖는다. 수면 시간 동안 수면 외적 환



Carbon - Temperature



Humidity - Temperature

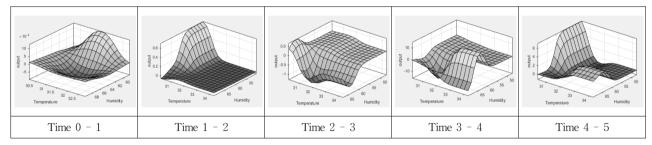


Fig. 4. Neuro-Fuzzy System Output Result

경 요인은 시간에 따라 자연스럽게 변화하는 특징이 있다. 따라서 수집된 입력, 출력 데이터 셋을 이용한 뉴로-퍼지 시스템은 매 시간마다의 수면에 대한 각성 비율을 파악할 수 있다.

3.6 퍼지 시스템의 훈련

한 시간 동안의 수면 환경 정보를 이용한 뉴로-퍼지 시스템은 Fig. 4와 같이 출력된다. X축 입력 값과 Y축 입력 값의 영향을 분석하여 출력된 뉴로-퍼지 시스템이다. 3차원 평면에서 푸른색을 나타내는 영역은 낮은 출력 값을 표현하며, 노란색으로 나타나는 영역은 높은 출력 값을 표현한다. 출력 값이 낮을수록 각성의 비율이 낮은 환경이다. 각 시간마다 피 실험자가 각성하는 환경과 해당 요소를 분석하여, 개인최적화된 숙면 환경인 푸른색 영역으로 유도하는 환경 요소를 산출한다.

4. 결 과

본 논문은 수면 외적 요인인 환경 요소의 정보와 사용자의 수면 각성 시간 정보를 이용하여 개인 최적화된 수면 환경 제어 요소를 분석하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 여름철 수면 환경에서 실험을 시행한다. 실험 대상자의 평소 수면 만족은 외부 환경 변화에 큰 영향이 없는 실험자로서 극단적인 환경이 아닌 환경(온도 29℃, 습도 50%, 이산화탄소 농도 700pp)에서 무리 없이 수면을 한다. 수집된 10일의 수면데이터를 활용하여 제안하는 방법을 적용한 결과 특정 사용자의 사용자 환경에 맞는 환경 정보를 판단할 수 있었다.

수집된 수면 데이터를 입면 시각 기준으로 Fig. 4와 같이한 시간 간격으로 절삭하여 해당 시간에 대한 입력 데이터 집합과 출력 데이터 집합을 선정하였다. 시간의 연속성을 고려해 첫 시간을 제외한 나머지 시간의 데이터에서는 이전 시간의 입력 데이터 집합과 출력 데이터 집합을 함께 고려하여 이전 시간의 환경 요소에 대한 영향을 함께 고려했다. 기존 연구에서 제안하는 환경 제어와 비교 했을 때 수면 중 환경이 각성에 미치는 영향 요소는 온도, 습도, 이산화탄소 농도(환기량)가 고려되었으며 연구에 따라 고려하지 않은 요소도 존재했다. 입면으로부터 기상 직전까지 매 시간마다 수면 환경 요인인 온도, 습도, 이산화탄소 농도를 입력

Rese	orah	Arousal by Sleep Environment Factor		
Tiese	aicii	Temperature	Humidity	Carbon Dioxide
My Proposed	Case5	0.125191	0	0
[15]	Case1	0.184651	0.050847	0
	Case2	0.184651	0.383842	0.177131
[16]	Case3	0.408183	0.016807	X
[17]	Case4	0.075046	0.101239	X

Table 2. Sleep Test Result Analysis Comparison Chart

데이터 집합으로 선정하고 그 때의 각성상태를 출력 데이터 집합으로 선정한다. 뉴로-퍼지를 적용하여 출력된 결과는 Fig. 4이며 이산화탄소-습도, 이산화탄소-온도, 습도-온도의 환경 에서 사용자의 각성비율을 표현한다. 3차원 그래프에서 높은 영역으로 표시될수록 각성의 비율이 높은 환경을 출력하는 것 이며 그 순간의 환경정보를 확인 할 수 있다. 데이터가 부족한 경우에서는 그렇지 않은 경우보다 정확도가 감소할 수 있지만 뉴로-퍼지의 학습 기반의 정보 분석을 통해 그래프의 연장된 추세를 바탕으로 예측하여 결과를 추론할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 Case5 환경에서는 Table 2와 같이 온도에 대한 영향요인으로 각성비율 약 12%가 발생하였다. 그러나 습도, 이산화탄소 농도에 대한 각성비율은 발생하지 않았다. 본 연구에서 제안하는 뉴로-퍼지를 통해 추론된 결 과에서 실험자의 각성은 발생하였으나, 습도나 이산화탄소 농도의 요인을 통한 각성은 발생하지 않았다. 이는 뉴로-퍼 지 연구에서 개인마다 가장 최적의 결과를 출력해주는데 본 실험에서는 각성이 발현하지 않는 영역으로 추론해주었기 문 이다. 기존 연구 중 모든 영향 요인을 고려한 두 실험 중 Case1에서는 온도 18%, 습도 5% 이산화탄소 농도 0%정도의 각성을 유발하는 요인이 있었고 Case2에서는 온도 18%, 습 도 38%, 이산화탄소 농도 17%의 각성 비율로 출력되었다. 기 존 연구에서 제안하는 환경 중 가장 낮은 각성 비율 출력한 연구 Case 4는 이산화탄소 농도(환기량)를 고려하지 않았으 며 전체 수면에서 온도는 본 연구보다 5%정도 낮았지만 습 도에서는 10%정도 높은 각성 비율을 유발하는 것으로 나타 났다. 본 논문에서 제안하는 환경 Case5에 비해 이산화탄소 농도(환기량)을 고려하지 않았음에도 약 5% 많은 수치이다.

그러나 기존 연구를 재현하는 실험에서 본 논문이 제안하 는 환경과 완벽하게 동일한 환경으로 통제하지 못했다. 특히 실험 환경이 여름철 수면 환경으로 한정적이다. 뿐만 아니라 기존 연구에서 실험한 피 실험자와 본 연구에서 실험한 피 실험자의 대상이 서로 다른 신체적 특성을 가졌기 때문에 기 존 연구에서 제안한 방법에 대한 신체적 변화가 기존 연구에 서의 결과와는 차이가 있을 수 있었다. 하지만 기존 연구 재 현 실험과 본 논문에서 제안하는 실험대상자는 동일인물 이 었으며 신체적 특성에 대한 차이는 크기 않았다.

5. 결 론

본 논문에서 제안하는 방법은 기존의 환경 제어를 제안하 는 방법에 비해 개인 최적화된 서비스를 제공할 수 있었다. 수면 중 각성을 유발하는 환경 요인을 온도, 습도, 이산화탄 소 농도(환기량)에 대해 복합적으로 고려했으며 각성의 비율 을 고려한 추천 수면 환경이 하나에만 국한되는 것이 아니라 산출된 출력 그래프를 이용하여 다양한 환경으로 유도할 수 있다는 장점이 있다. 전체 시간에 대한 특징 값 산출은 전체 수면 양상에 대한 통합적인 값만 확인 할 수 있다. 그러나 개 인마다 수면 환경이 미치는 영향은 상이하며, 실제 수면 환경 은 지속적으로 변화한다. 따라서 수면 환경 요인에 대한 영향 을 전체 시간으로 분석하기에는 정밀하지 않았으나 제안된 분석 방법을 통해 이전 상황의 환경 요인도 고려할 수 있다. 또한 수면 상태의 입력 정보가 부족한 환경에서도 개인 최적 의 수면 환경 정보를 예측하여 출력 할 수 있었다.

그러나 다양한 계절에서 나타나는 양상을 분석하기에는 정보가 부족하다는 단점이 있다. 차후 연구에서는 다양한 계 절에서의 신체에 미치는 영향을 분석할 예정이다. 환경적 요 인이 신체 변화에 미치는 복합적 요인을 고려하여 분석과 최 적화된 수면 환경을 유도 할 수 있는 방법을 제안할 것이다.

References

- [1] Sheldon SH. Introduction to pediatric sleep medicine. In: Sheldon SH, Ferber R, Kryger MH, editors. Principles and practice of pediatric sleep medicine. 1st ed. Philadelphia: Elsevier Saunders Co, 2005: 1-12.
- [2] Muzet, A., J-P. Libert, and V. Candas, "Ambient temperature and human sleep," Experientia, Vol.40, No.5, pp.425-429, 1984.
- [3] Okamoto-Mizuno, Kazue, and Koh Mizuno, "Effects of thermal environment on sleep and circadian rhythm," Journal of Physiological Anthropology, Vol.31, No.1, pp.14, 2012.
- [4] K. Okamoto-Mizuno, K. Tsuzuki, K. Mizuno, and T. Iwaki, "Effects of partial humid heat exposure during different segments of sleep on human sleep stages and body

- temperature," Physiology & Behavior, Vol.83, No.5, pp.759-765, 2005.
- [5] K. Tsuzuki, K. Okamoto-Mizuno, K. Mizuno, and T. Iwaki, "Effects of airflow on body temperatures and sleep stages in a warm humid climate," International Journal of Biometeorology, Vol.52, No.4, pp.261-270, 2008.
- [6] M. S. Badr, J. E. Grossman, and S. A. Weber, "Treatment of refractory sleep apnea with supplemental carbon dioxide," American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol.150, No.2, pp.561-564, 1994.
- [7] A. M. Luks, H. Van Melick, R. R. Batarse, F. L. Powell, I. Grant, and J. B. West, "Room oxygen enrichment improves sleep and subsequent day-time performance at high altitude," Respiration Physiology, Vol.113, No.3, pp.247-258, 1998.
- [8] S. C. Sekhar, "Space temperature difference, cooling coil and fan - energy and indoor air quality issues revisited. Energy and Buildings, Vol.37, No.1, pp.49-54, 2005.
- [9] Minhee Kim, Chungyoon Chun, and Jinkyu Han, "A study on bedroom environment and sleep quality in Korea," Indoor and Built Environment, Vol.19, No.1, pp.123-128, 2010.
- [10] Ogino, Hiroyuki, et al. "The effects of ambient temperature upon sleep (part 2)," Report: The 11th symposium of Human-Environment System, No.3. 1987.
- [11] K. Okamoto-Mizuno, K. Tsuzuki, K. Mizuno, and T. Iwaki, "Effects of partial humid heat exposure during different segments of sleep on human sleep stages and body temperature," Physiology & Behavior, Vol.83, No.5, pp.759-765, 2005.
- [12] S. Takada, H. Kobayashi, and T. Matsushita, "Thermal model of human body fitted with individual characteristics of body temperature regulation," Building and Environment, Vol.44, No.3, pp.463-470, 2009.
- [13] J. P. Libert, J. Di Nisi, H. Fukuda, A. Muzet, J. Ehrhart, and C. Amoros, "Effect of continuous heat exposure on sleep stages in humans," Sleep, Vol.11, No.2, pp.195-209, 1988.
- [14] T. Mollaveva, P. Thurairajah, K. Burton, S. Mollaveva, C. M. Shapiro, and A. Colantonio, "The Pittsburgh sleep quality index as a screening tool for sleep dysfunction in clinical and non-clinical samples: A systematic review and metaanalysis," Sleep Medicine Reviews, Vol.25, pp.52-73, 2016.
- [15] S. C. Sekhar, and S. E. Goh, "Thermal comfort and IAQ characteristics of naturally/mechanically ventilated and air-conditioned bedrooms in a hot and humid climate," Building and Environment, Vol.46, No.10, pp.1905-1916,
- [16] A. Hinz, H. Glaesmer, E. Brahler, et al., "Sleep quality in the general population: psychometric properties of the pittsburgh sleep quality index, derived from a german

- community sample of 9284 people," Sleep Medicine, Vol.30, pp.57-63, 2017.
- [17] Lim, E, S, et al. "The Thermal Environment on Sleep in Summer," Korea Institute of Machinery and Materials, Conference Proceedings, (2000): 571-575.
- [18] J-SR. Jang and C. T. Sun, "Neuro-fuzzy modeling and control," Proceedings of the IEEE, Vol.83, No.3, pp.378-406, 1995.



하 정 호 https://orcid.org/0000-0002-6757-8101 e-mail: hjh5470569@gmail.com 2016년 아주대학교 전자공학과(공학사) 2018년 아주대학교 전자공학과(공학석사) 관심분야: Machine Learning, Artificial Intelligence, Fuzzy, Vehicle Component, Infotainment

System



최 선 탁 https://orcid.org/0000-0003-2648-1757 e-mail: suntaag62@gmail.com 2011년 아주대학교 전자공학과(공학사) 2011년~현 재 아주대학교 전자공학과 석·박사통합과정 관심분야: Smart IoT Device, Mobile Context Aware Computing, Human Activity Sensing/Recognition



김 준 호 https://orcid.org/0000-0002-2169-8116 e-mail: junhokim218@gmail.com 2016년 아주대학교 전자공학과(공학사) 2018년 아주대학교 전자공학과(공학석사) 관심분야: Pattern Recognition, Deep Learning



조 위 덕

https://orcid.org/0000-0002-2895-0791

e-mail: wedukecho@gmail.com

1977년~1981년 서강대학교(공학사)

1981년~1983년 한국과학기술원(공학석사)

1983년~1987년 한국과학기술원(공학박사)

1983년~1990년 금성전기(주), 기술연구소

신호처리연구실장

1990년~1991년 KAITECH 수석연구원

1990년~2003년 전자부품연구원 수석연구원, 시스템연구본부장

1995년~1995년 UK TTP/Cambridge 연구원

1995년~1996년 USA TCSI/Berkelev 연구원

2003년~2013년 (재)유비쿼터스컴퓨팅사업단 사업단장

2010년~2014년 Sonybrook Univ. Electrical Engineering 겸임교수

2004년~현 재 아주대학교 전자공학과 교수,

라이프케어사이언스랩, 랩디렉터

관심분야: Smart IoT Device, Well-ness System/Index, Lifelog bio data, Healing Care Device/Service