

뇌파 채널 개수 변화에 따른 수면단계 분석 비교

Comparative Analysis of Sleep Stage according to Number of EEG Channels

한혜경*, 이병문**

가천대학교 IT융합학과 컴퓨터공학전공*, 가천대학교 컴퓨터공학과**

Heygyeong Han(gv0mail@gc.gachon.ac.kr)*, Byung Mun Lee(bmlee@gachon.ac.kr)**

요약

다양한 수면검사에서 수면단계를 정확히 판단하기 위해 뇌파를 측정한다. 일반적으로 측정은 센서 채널의 개수가 늘어날수록 정확도가 높아지지만, 뇌파는 측정할 때 피부에 전극을 부착하여 수면을 방해하는 요소로 작용한다. 일상생활에서 자가 수면케어를 할 때는 사용자의 불편함과 측정데이터의 정확도를 모두 고려한 최소한의 뇌파 채널 개수를 선택할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 1개의 채널부터 4개의 채널에 대한 수면 단계 분석 모델을 제작하여 1채널은 82.28%, 2채널은 85.77%, 3채널은 80.33%, 4채널은 68.87%의 정확도를 확인했다. 본 연구 결과는 측정 부위가 제한적이라는 한계가 있지만, 채널 개수에 따른 정확도를 비교하여 뇌파 기반 수면분석에서 채널 개수 선정에 대한 정보를 제공한다.

■ 중심어 : | 수면단계 분석 | 수면케어 | 뇌파측정 | 뇌파 채널 비교 | 머신러닝 |

Abstract

EEG(electroencephalogram) are measured to accurately determine the level of sleep in various sleep examinations. In general, measurements are more accurate as the number of sensor channels increases. EEG can interfere with sleep by attaching electrodes to the skin when measuring. It is necessary for self sleep care to select the minimum number of EEG channels that take into account both the user's discomfort and the accuracy of the measurement data. In this paper, we proposed a sleep stage analysis model based on machine learning and conducted experiments for using from one channel to four channels. We obtained estimation accuracy for sleep stage as following 82.28% for one channel, 85.77% for two channels, 80.33% for three channels and 68.87% for four channels. Although the measurement location is limited, the results of this study compare the accuracy according to the number of channels and provide information on the selection of channel numbers in the EEG sleep analysis.

■ keyword : | Sleep Stage Analysis | Sleep Care | EEG Measurement | EEG Channel Comparison | Machine Learning |

I. 서론

최근 수면케어 기술은 뇌파, 심박, 체온과 같은 생체

정보를 직접 측정하고 분석하여 사용자에게 맞춤형 서비스를 제공하는 방향으로 연구되고 있다[1-4]. 특히 뇌파는 수면단계를 파악하고 수면의 질을 평가하는데

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

접수일자 : 2020년 09월 23일

수정일자 : 2020년 11월 20일

심사완료일 : 2020년 11월 23일

교신저자 : 이병문, e-mail : bmlee@gachon.ac.kr

중요한 요소이다. 수면단계를 REM(Rapid Eye Movements)수면, 1단계, 2단계, 3단계, 4단계, 각성-비수면 상태로 구분한다[5]. 적절한 수면이 사람의 회복과 건강 상태에 영향을 미치기 때문에 수면상태를 이용하여 건강상태를 파악 할 수 있다.

수면 클리닉과 같은 임상에서는 수면다원검사를 통해 EEG를 측정할 때 10개에서 20개에 달하는 전극을 두피에 부착한다. 피부에 부착한 전극의 개수가 늘어나면 정확도는 올라가지만 불편하므로 착용감이 감소하는 문제가 있다. 일상생활에서 사용할 수면케어 시스템은 많은 수의 전극을 부착하는 것이 오히려 사용자의 수면을 방해한다.

그러므로 의료용이 아니라 일상생활 가정에서 수면케어용으로 사용하려면 채널의 개수가 적어야 한다. 그래서 연구 사례들을 살펴보면 단일채널에서 정확도를 높이기 위해 다양한 기법이 도입되고 있다[6][7]. 측정 전극이 1개인 단일채널은 두피에 1개의 전극을 부착하므로 덜 불편하지만 부착위치에서 조금만 벗어나도 측정과 수면분석이 어려워지는 단점이 있다. 또 측정 위치에 따라 뇌파의 파형이 달라지기 때문에 단일채널보다 다중채널에서 더 다양한 정보를 획득할 수 있다[8].

스마트 홈 헬스케어 환경이 고도화되면서 가정 환경에서 다량의 의료 데이터를 처리할 수 있다[9]. 하지만 수면케어용 뇌파측정 시스템을 실용화하기 위해서는 사용자의 수면 방해 요소인 채널 개수를 최소화하면서 정확도에 대한 고려가 필요하다. 뇌파 채널을 1개부터 최대 4개까지 사용하여 수면단계를 분석하고 정확도를 비교하면, 가장 적합한 채널 개수를 선택하는데 도움이 된다. 또 다양한 위치에서 측정한 뇌파의 정확도를 비교하면 뇌파분석 기반 수면케어 장치 설계에 활용할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 채널에 따른 수면단계 분석을 위해 Physionet의 공개된 뇌파 데이터와 랜덤 포레스트 알고리즘을 이용한 수면단계 분석 모델을 제시한다. 수면단계 분석 모델은 파이프라인 방식을 채택하여 전처리 과정을 포함한 방식으로 1채널부터 4채널까지 하나씩 채널을 추가하는 실험을 하나의 모델로 분석한다. 직접 뇌파를 측정하며 뇌파 채널의 부착위치를 수면다원검사에서 사용하는 전극의 부착위치와 비슷하게 선

택한다. 실험의 결과로 수면케어 시스템에 적합한 뇌파 채널 개수를 확인하고자 한다.

본 연구에서는 뇌파 전극의 채널 개수와 부착 위치에 따른 수면단계 분석 정확도를 비교한다. 따라서 2장의 연구방법에서는 수면뇌파의 특성에 대해 살펴보고, 1채널부터 4채널까지 뇌파를 측정하는 방법과 실험방법을 제안한다. 제3장에서는 실험한 결과로 수면단계를 분석할 때 각 채널별로 실험결과를 비교한다. 제4장에서는 실험결과를 해석하고 평가하여 최적의 수면분석용 채널개수를 확인하며, 제5장에서는 결론을 맺는다.

II. 연구방법

1. 분석대상

뇌파는 뇌가 활성화되면 신경세포의 미세전류에서 보강간섭으로 인해 측정되는 생체 정보이다. 한 위치에서 연속적인 데이터를 측정하며 파동의 특징인 진폭과 주파수, 파형을 가지고 있다. 뇌파는 신경세포의 활성화 상태에서 다른 특징을 보이기 때문에 뇌파를 이용하여 뇌의 활동성을 측정할 수 있다. 그래서 수면다원검사에서는 뇌파를 이용하여 수면의 깊이를 평가한다[10].

사람은 수면상태에서 무의식으로 신체활동이 감소하기 때문에 수면상태에서 측정한 수면뇌파는 각성(비수면)상태에서 측정한 뇌파와 다른 특징을 보인다. 수면 뇌파의 특징을 이용하여 수면의 깊이인 수면단계를 구분하기 위해 수면기록 매뉴얼(Rechtschaffen&Kales sleep scoring manual)에서 정의된 수면단계를 이용한다. 이 수면단계 기준은 수면다원검사를 포함하여 다양한 연구 분야에서 사용되고 있으며 [표 1]과 같다.

각성단계(Wake)는 비수면상태로 알파파(8-12Hz)가 활성화되며 움직임과 심박에 의한 노이즈가 발생한다. 1단계 수면은 2-7Hz의 혼합된 뇌파가 측정되며 K복합체와 수면방추파가 검출되지 않는다. K복합체는 일시적으로 나타나는 높은 진폭의 양성 방향 파형을 의미하고 수면방추파는 K복합체 뒤에 짧게 측정되는 12-14 Hz의 복합파이다. 2단계 수면에서는 K복합체와 수면방추파가 측정되고 2Hz 이하의 느린 파형이 20% 이하로 구성된다.

표 1. 수면단계 특징

단계	주파수 특징	기타 특징
각성(wake)	알파파(8-13Hz) 우세	움직임과 심박으로 인한 노이즈 발생
1	혼합파(2-7Hz) 우세, 알파파 50% 이하	K-복합체와 수면빙추파 없음
2	서파(0-2Hz)가 20% 이하	K-복합체와 수면빙추파 측정됨
3	서파가 20%에서 50% 측정됨	-
4	서파가 50% 이상 측정됨	-
REM	혼합파 우세	안구 움직임으로 인한 노이즈 발생

3단계 수면은 2Hz 이하의 느린 뇌파가 20%에서 50%로 측정되면 3단계로 구분된다. 4단계 수면은 2Hz 이하의 느린 뇌파가 50% 이상 포함된다. REM수면은 1단계 수면과 비슷하지만 안구 움직임으로 인한 노이즈가 같이 측정된다.

이와 같은 파형들은 두피에 전극을 부착하여 측정될 수 있다. [그림 1]은 국제적으로 통용되는 부착될 전극의 위치를 표준화한 모델이다[11]. 이 모델은 [그림 1]의 (B)에서처럼 전두엽에서 후두엽 방향으로 10% 또는 20%의 거리인 지점을 기준으로 (A)처럼 구분하여 전극을 부착하는 방식이다. 귀에 부착한 전극(A₁과 A₂)을 신체의 접지와 기준전극으로 사용하여 두피의 각 위치에 부착한 전극에서 뇌파인 미세전류를 측정한다.

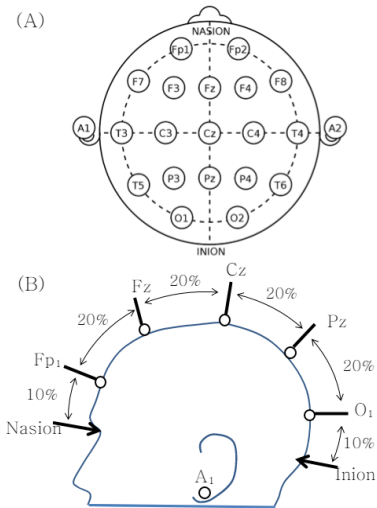


그림 1. 국제 10-20 전극 배치법의 평면도(A)와 단면도(B)

수면다원검사는 10개 이상의 전극을 F₃, F₄, F_z, C_z, C₃, C₄, O₁, O₂, A₁, A₂에 부착한다. [그림 1]의 10-20

전극법 기준으로 볼 때 F_{p1}와 F_z는 전두엽의 뇌파를 T₃과 T₄는 측두엽, P_z는 두정엽, C_z는 정수리 부근, O₁과 O₂는 후두엽에서 뇌파가 측정된다. 다중채널 뇌파를 측정하는 수면다원검사는 F_z 또는 C_z를 표준 뇌파로 참조한다. F_{p1}에서는 전전두엽으로 구분되는 코뿌리에 가까운 부근에 전극을 부착하기 때문에 안구 움직임이 같이 측정된다.

연구대상인 뇌파를 측정하기 위해 [그림 2]와 같은 위치에 전극을 부착한다. [표 1]을 보면 수면뇌파를 이용하여 수면단계를 판단하기 위해서 안구 움직임 데이터가 함께 측정되는 것이 유리하다[12]. 따라서 단일채널을 측정할 때는 F_{pz}에서 측정하여 전전두엽의 뇌파와 안구움직임을 측정한다. 2개의 채널을 측정할 때는 [그림 2]의 2채널과 같이 수면다원검사서 측정하는 F₃, F₄와 가까운 위치인 F_{p1}, F_{p2}를 측정한다. 3채널과 4채널은 2채널과 같이 F_{p1}, F_{p2}를 측정하는데 남은 채널로 각기 다른 부위의 뇌파를 측정하여 다양한 상황의 참고 자료로 활용될 수 있도록 한다. 따라서 3채널은 F_{p1}, F_{p2}, O_z에서 뇌파를 측정하여 수면다원검사의 F₃, F₄, O_z과 비슷한 위치이며 10-20 배치법의 기준점을 측정한다. 4채널은 F_{p1}, F_{p2}, T₃, T₄에 부착하여 수면다원검사의 F₃, F₄, C₃, C₄와 비슷한 곳을 측정한다.

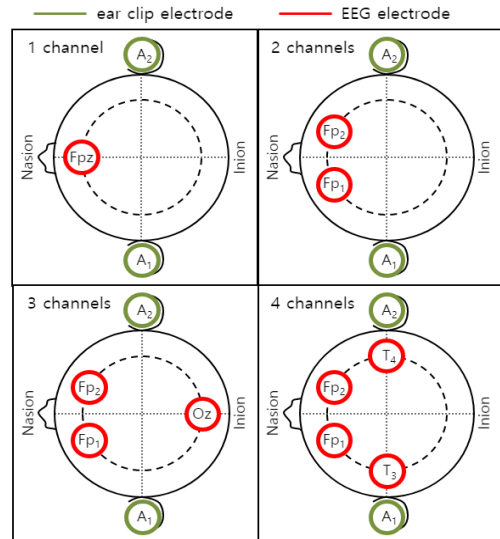


그림 2. 채널 개수에 따른 측정 위치

최근 수면뇌파 분석은 전문가의 수동 분석 방식을 벗어나 컴퓨터를 이용한 자동 수면단계 분석을 위한 연구가 활발하게 진행되었다. 랜덤 포레스트는 학습 데이터를 이용하여 다수의 결정 트리를 만들고 일반화하는 방식으로 분류에 적합한 머신러닝 알고리즘이다. [표 1]에서 정리된 수면뇌파의 주파수적 특징을 가지고 효과적으로 수면단계를 분류한 사례가 있다[13][14]. 본 연구에서는 이번 장에서 설명한 뇌파의 특징과 선행 연구된 컴퓨터 분석 방법을 적용하여 뇌파 채널에 따른 정확도를 비교한다.

2. 분석방법

뇌파 채널에 따른 수면단계 분석 정확도를 비교하기 위해서 수면단계를 분류하는 모델을 학습하고 정확도를 비교하기 위한 실험 방법이 필요하다. 본 논문에서는 수면단계를 분류하기 위해서 [그림 3]와 같은 수면 분석 모델을 제안한다.

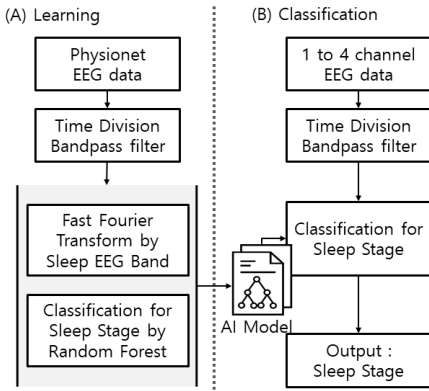


그림 3. 수면단계 분석을 위한 머신러닝 모델

Physionet Sleep EEG data[15]는 6시간 이상의 뇌파 신호 데이터와 전문가의 수면 6단계 주석을 포함하고 있다. 뇌파 데이터에서 1Hz 이하의 느린 주파수도 의미가 있는 파형을 가질 수 있도록 30초로 하나의 데이터로 분할한다. 수면 뇌파는 20Hz 이하의 파형이 우세하기 때문에 40Hz 이하의 주파수가 통과하는 저주파 통과 필터를 이용하여 노이즈를 제거한다. 학습과 테스트에 사용할 수면뇌파 데이터는 다음 [표 2]와 같다. 학습에 사용하는 데이터와 테스트에 사용하는 데이터는

약 1대 1의 비율로 데이터의 개수를 임의로 변경하면 전체 정확도가 떨어지고, 사람의 수면에서 수면 단계의 비율이 원래 일정하지 않기 때문에 측정된 날의 전체 데이터를 사용한다.

수면단계 분석을 위한 머신러닝 모델은 뇌파의 주파수적 특징을 분리하는 푸리에 변환(Fourier transform) 모듈과 랜덤 포레스트 알고리즘을 이용한 분류기로 구성된다. 특징추출과 분류를 통합하여 처리하는 파이프라인 방식으로 모델을 학습하여 분류과정을 간소화한다. 파이프라인 모델은 특징 추출과 분류를 학습 과정에서 지정한 방식으로 수행하며 교차검증을 포함한 다양한 데이터 처리 방식에 확장성을 제공한다. 전문가가 분석한 이용하여 [표 1]의 수면6단계를 구분하는 모델을 만들고 뇌파 측정 채널에 따른 정확도를 비교한다.

표 2. Physionet 수면뇌파 데이터

수면단계 \ 용도	학습 데이터	테스트 데이터
각성	1,954	1,857
1	121	66
2	400	407
3	107	83
4	49	79
REM	179	228
총계	2,810	2,720

직접 측정된 뇌파 데이터는 전문가의 주석이 없기 때문에 정확도를 판단하는데 어려움이 있다. Physionet의 뇌파 데이터로 제작한 머신러닝 모델로 측정된 뇌파 데이터를 분석하고, 분석한 결과를 학습하여 만든 모델의 정확도로 채널 수에 따른 정확도를 평가하는 방식을 제안한다. 따라서 본 논문에서는 직접 측정된 뇌파신호 채널 별로 분석 모델을 만들어 같은 테스트 데이터로 분석하여 정확도를 비교한다.

[그림 3]의 (A) 과정에서 생성된 머신러닝 학습모델(AI Model)은 [표 3]과 같은 정확도를 보였다. 정밀도(precision)는 모델이 해당 단계라고 분류한 결과 중에 실제로 그 단계인 비율이고 재현율(recall)은 전체 테스트 데이터 중에서 맞게 예측한 비율이다. f1-score는 정밀도와 재현율의 조화평균으로 전체 데이터에 대한 분류 정확도는 88.79%이다. 정확도는 모든 수면단계에 대해 옳게 판단한 데이터의 개수를 전체 데이터 개수로

나누어서 계산한다.

표 3. 제작한 수면단계 분석 모델의 성능

평가지표 수면단계	precision	recall	f1-score	테스트 개수
각성	0.96	0.98	0.97	1,857
1	0.10	0.06	0.07	66
2	0.83	0.87	0.85	407
3	0.51	0.51	0.51	83
4	0.74	0.65	0.69	79
REM	0.72	0.60	0.65	228

[표 3]과 같은 성능을 보이는 수면단계 분류기를 이용하여 측정된 뇌파의 수면단계를 분류한다. 그리고 분류한 데이터로 학습한 모델로 원본 데이터를 다시 분류하는 테스트 과정으로 채널 별 정확도를 비교한다.

III. 연구 및 실험결과

실험에서는 [그림 2]에서 지정한 부착위치에 전극을 부착하고 Ganglion 보드를 이용하여 200Hz의 샘플링 비율로 수면뇌파 데이터를 측정하여 저장한다. 채널 개수에 따라 1회 수면을 측정하고 측정 위치와 측정 시간은 [표 4]와 같다. 정규화된 데이터 수는 뇌파 데이터를 15초 간격으로 분할한 다음 수면 중 뒤척임으로 인해 데이터의 끊김이나 심각한 잡음이 측정된 데이터를 제거한 개수이다.

표 4. 채널 별 측정 위치와 측정 데이터

측정정보 채널 개수	측정위치	측정시간	정규화된 데이터 수
1채널	Fpz	6시간 29분	1,468
2채널	Fp1, Fp2	6시간 11분	1,427
3채널	Fp1, Fp2, Oz	5시간 57분	1,389
4채널	Fp1, Fp2, T1, T2	6시간 27분	1,439

각 채널 별로 약 6시간의 수면뇌파 데이터를 측정하였으며 [그림 4]는 약 3시간 뒤에 측정된 채널 별 뇌파 데이터이다. [그림 4]의 y축은 EEG 신호이며 단위는 마이크로볼트이다. x축은 1초를 200Hz로 샘플링한 시간이다. 뇌파 채널 부착위치에 따라서 파형과 진폭이 크게 다른 것을 [그림 4]로 확인할 수 있다.

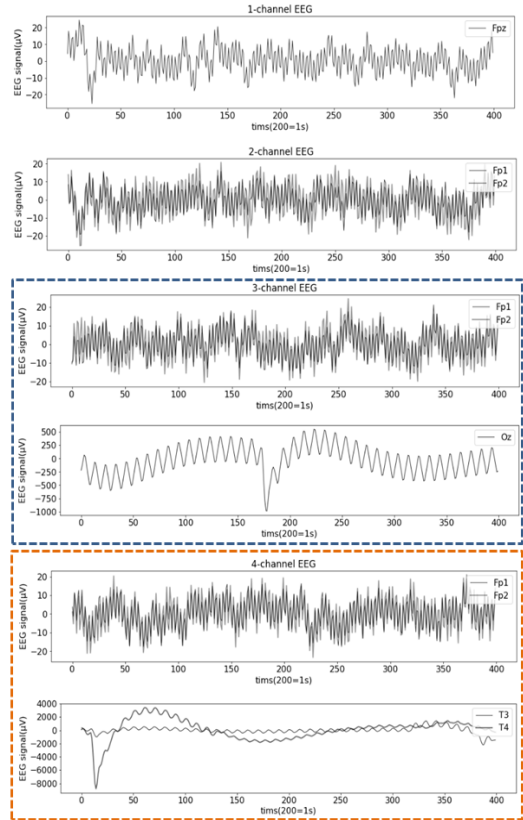


그림 4. 채널별 측정 데이터

뇌파 채널 개수에 따른 수면단계 분석 정확도를 비교한 결과, 채널수에 따라서 유의미한 정확도 차이를 발견할 수 있었다. 제안한 채널에 대한 분석모델의 성능(테스트 정확도)을 확인하여 [표 5], [표 6], [표 7], [표 8]와 같이 비교지표결과를 얻었다. [표 5]의 1채널 분석 모델의 경우를 살펴보면, 1,857개의 각성단계 데이터를 각성으로 분류한 경우가 1,843개이며, 각성이 아닌 다른 단계 데이터를 각성단계로 분류한 경우가 346개이었다. 따라서 재현율(recall, 예, 각성단계의 데이터를 각성단계로 분류한 비율)이 0.99로 제일 높았다.

또한 분류한 데이터 중에서 실제 단계의 비율을 평가하는 정밀도(precision)는 0.84로 상대적으로 떨어진다. 결국 1채널 분석모델은 2,720개의 테스트 데이터 중에서 정확하게 분류한 데이터(재현율)를 2,238개로 얻었으므로 산출한 정확도는 82.28%이다. 이와 같은 방식으로 정확도를 산출한 결과, 2채널은 85.77%, 3채

널은 80.33%, 4채널은 68.87%로 2채널에서 가장 우수한 정확도를 얻을 수 있었다.

직접 측정된 데이터로 제작한 머신러닝 모델을 테스트한 결과 1채널과 2채널 모델을 제외하고 3단계와 4단계 수면을 분류하지 못했다. 1채널 분석모델은 3단계 수면을 83개의 데이터 중에서 1회 분류하는 것에 성공하였고 4단계는 분석하지 못했다.

표 5. 1채널 수면데이터를 이용한 분석모델의 성능

평가지표 수면단계	precision	recall	f1-score	테스트 개수
각성	0.84	0.99	0.91	1,857
1	0.00	0.00	0.00	66
2	0.78	0.86	0.81	407
3	0.50	0.01	0.02	83
4	0.00	0.00	0.00	79
REM	0.61	0.20	0.30	228

표 6. 2채널 수면데이터를 이용한 분석모델의 성능

평가지표 수면단계	precision	recall	f1-score	테스트 개수
각성	0.92	0.98	0.95	1,857
1	0.00	0.00	0.00	66
2	0.75	0.93	0.83	407
3	0.42	0.48	0.45	83
4	0.85	0.22	0.34	79
REM	0.66	0.30	0.42	228

표 7. 3채널 수면데이터를 이용한 분석모델의 성능

평가지표 수면단계	precision	recall	f1-score	테스트 개수
각성	0.81	1.00	0.89	1,857
1	0.05	0.03	0.04	66
2	0.90	0.70	0.79	407
3	0.00	0.00	0.00	83
4	0.00	0.00	0.00	79
REM	0.67	0.22	0.33	228

표 8. 4채널 수면데이터를 이용한 분석모델의 성능

평가지표 수면단계	precision	recall	f1-score	테스트 개수
각성	0.69	0.99	0.82	1,857
1	0.00	0.00	0.00	66
2	0.00	0.00	0.00	407
3	0.00	0.00	0.00	83
4	0.00	0.00	0.00	79
REM	0.49	0.14	0.22	228

4채널 분석모델은 모든 데이터를 각성 단계로 분류하여 분석모델의 기능을 거의 수행하지 못했다. 1채널에서 2채널로 증가할 때는 정확도가 증가했지만 3채널, 4

채널에서는 정확도가 감소하는 양상을 보였다.

[그림 5]는 채널 별 학습 모델의 기준값에 대한 인식률과 오인식률 그래프이다. Physionet 데이터를 이용하여 학습한 모델(origin)이 가장 높은 성능을 보였고 그 다음으로 2채널과 1채널 데이터를 이용한 학습 모델이 상대적으로 높은 성능을 보였다. 채널 개수와 위치를 제외한 변인을 통제하고 실험을 진행했을 때 유의미한 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. Physionet 데이터를 이용한 모델의 분석 결과를 이용하여 학습에 사용하고 Physionet의 다른 데이터를 이용하여 정확도를 분석했기 때문에, 기존 모델에서 분석 정확도가 낮은 단계는 분류하지 못했다.

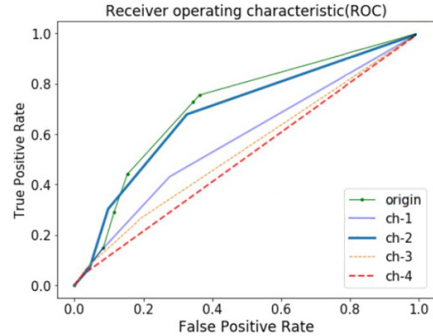


그림 5. 채널 별 인식률과 오인식률의 변화 그래프

IV. 분석 및 평가

연구 결과에서 살펴본 바와 같이, 1채널은 82.28%, 2채널은 85.77%, 3채널은 80.33%, 4채널은 68.87%로 전체 채널 평균 79.31%의 정확도를 보였다. 수면단계 중 1단계와 3단계, 4단계는 기존 모델의 정확도가 [표 3]과 같이 떨어져서 다른 분석 모델에서도 전체적으로 분석 결과가 저조하다는 한계가 있다. 기존 모델의 정확도가 떨어지는 이유는 [표 1]에서 1단계와 2단계, 3단계와 4단계 수면의 주파수적 차이가 적기 때문으로 추측된다. 또 [표 2]의 학습 데이터 중에서 각성 단계의 데이터가 가장 많기 때문에 전체 정확도를 높이기 위해 다른 단계가 떨어지는 현상으로 판단된다. 이러한 문제는 수면케어 시스템에서 다른 생체 정보를 추가로 측정

하거나 사용자의 수면 정보로 재학습하는 방식으로 해결할 수 있을 것이다.

채널의 개수가 늘어날수록 정확도가 높아질 것이라는 예상대로 1채널에서 2채널로 채널의 개수가 증가하면 정확도가 올라갔지만 3채널과 4채널에서는 오히려 떨어지는 결과를 보였다. 1채널에서 2채널로 채널의 개수가 늘어날 때는 [그림 2]와 같이 전두엽에서 측정된 뇌파 채널이 늘어난다. 그러나 3채널과 4채널에서 늘어난 전극은 후두엽과 측두엽에 건식 전극을 부착하여 데이터를 측정하였다. 정확도가 떨어진 원인이 부착 위치인지 채널의 개수인지 명확하게 하기 위해서는 Fp위치에 4개의 전극을 부착하여 진행하는 실험이 필요하다. 하지만 추가적인 실험 없이도 전두엽의 Fp1과 Fp2에서 데이터를 측정할 2채널 분석 모델의 경우 [그림 5]와 같이 기존 모델과 비슷한 성능을 보여 적합한 데이터를 얻을 수 있다는 사실을 확인했다.

V. 결론

자가 수면케어 시스템에서 수면단계를 분석하여 맞춤형 서비스를 제공하기 위해서 수면뇌파의 측정이 필요하지만 측정을 위해 부착하는 전극이 오히려 사용자의 수면을 방해할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 뇌파 채널과 측정 위치를 고려하여 수면단계 분석 정확도 비교실험을 진행하였다. 1개에서 최대 4개의 채널을 사용하여 일상적인 수면 상태에서 뇌파를 측정하였고, 2개 채널이 가장 효율적인 개수라는 실험결과를 확인할 수 있었다.

본 연구는 선정한 채널수와 측정 가능한 위치에 대해 모든 경우의 수를 진행하지 못했다는 한계가 있다. 그렇지만 뇌파 채널 개수에 따른 정확도를 상대적으로 비교하였고 비교 결과를 수면단계 분석 시스템에서 뇌파 채널 선정 기준으로 사용하거나 직접 측정된 뇌파 데이터를 분석하기 위한 방법을 제안했다는 것에 의의가 있다. 또 전두엽에서 2채널 뇌파 데이터를 측정하였을 때, 전문가 분석한 데이터와 비슷한 수준의 데이터를 측정하여 수면단계 분석에 사용할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 위현승, 이병문, "뇌파데이터에 기반한 맞춤형 수면유도음향의 실시간제어," 멀티미디어학회논문지, 제23권, 제2호, pp.204-215, 2020.
- [2] 변종길, 진경수, 박병우, "생체신호를 이용한 새로운 형태의 기계 제어 인터페이스 구현방법," 한국콘텐츠학회논문지, 제5권, 제1호, pp.19-26, 2005.
- [3] 김영옥, 김재생, "웨어러블 디바이스와 헬스케어 산업의 동향," 한국콘텐츠학회지, 제16권, 제4호, pp.14-19, 2018.
- [4] 조에스터, 김승민, "임산부를 위한 수면관리 모바일 앱 UI 디자인 연구," 한국콘텐츠학회논문지, 제18권, 제2호, pp.378-387, 2018.
- [5] D. Aeschbach and A. A. Borbely, "All-night dynamics of the human sleep EEG," J. Sleep Res, Vol.2, pp.70-81, 1993.
- [6] A. Sors, S. Bonnet, and S. Mirek, "A convolutional neural network for sleep stage scoring from raw single-channel EEG," Biomedical Signal Processing and Control, Vol.42, pp.107-114, 2018.
- [7] 고한규, 조진만, 최대선, "실용적 뇌파 기반 사용자 인증을 위한 단일 채널 EEG 측정 장비를 통해 수집된 EEG 샘플의 점진적 제거 방법," 정보보호학회논문지, 제27권, 제2호, pp.383-395, 2017.
- [8] K. Šušmáková, "Human Sleep and Sleep EEG," MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, Vol.4, pp.59-74, 2004.
- [9] J. Ahn and B. M. Lee, "Smart Edge Broker for Location-Based Transfer between Services and Distributed Data in IoT Smart Services," Mobile Information Systems, Vol.2020, Article ID.8896252, pp.1-12, 2020.
- [10] 이일근, "수면다원 검사," 대한임상신경생리학회지, 제1권, 제2호, pp.230-235, 1999.
- [11] M. Sazgar and M. G. Young, *Absolute Epilepsy and EEG Rotation Review*, Springer, 2019.
- [12] 홍기현, 이병문, 박양재, "맞춤형 수면케어 서비스를 위한 EOG 기반의 실시간 개인식별 알고리즘," 융합정보논문지, 제9권, 제12호, pp.8-16, 2019.
- [13] T. L. T. Silveira, A. J. Kozakevicius, and C. R. Rodrigues, "Single-channel EEG sleep stage

