

통계적 뇌파분석(SEEG) 기법

박석윤* · 정기영** · 박래현* · 이낙영* · 이석훈* · 이주호* · 김주한* · 김홍기* · 김종우*
조한석* · 정현용*** · 김재문**** · 한상익***** · 전양환***** · 이민선*****

* 충남대학교 자연과학대학 통계학과

** 선병원 신경과

*** 경기대학교 정보과학대학원

**** 충남대학교 의과대학 신경과

***** 가톨릭대학교 성모자애병원 신경정신과

***** 충남대학교 농과대학 원예학과

A Study on SEEG(Statistical EEG Analysis)

Sukyoon Park* · Kiyoung Jung** · Naehyun Park* · Nakyoung Lee* · Sukhoon Lee* ·
Jooho Lee* · Joohan Kim* · Honggi Kim* · Jongwoo Kim* · Hanseok Cho* ·
Hyunyong Jung*** · Jaemoon Kim**** · Sangick Han***** · Yanghwan Jeon***** · Minsun Lee*****

*Dept. Statistics, College of Natural Sciences, Chungnam National University

**Sun General Hospital

***Graduate School of Information Science, Kyonggi University

****College of Medicine, Chungnam National University

*****Dept. Neuropsychiatry, Our Lady of Mercy Hospital, The Catholic University
of Korea

*****Dept. Horticulture, College of Agriculture, Chungnam National University

Abstract

With the correct equipment, microvolt EEG signals can be recorded from the scalp. Their potential use for diagnosis of physiological and psychiatric diseases and for increasing our understanding of cognitive processes is being realized by current research in many fields.

Our work focuses on the research for good EEG signal representations and on careful analysis classification results using statistical EEG analysis(SEEG).

keyword : EEG, dEEG, qEEG, FFT, TM, CA, DM, NLA, EP, SEEG, SEEG plot

I. 머리말

뇌파(EEG)에 관한 접근법은 정성적 분석법과 정량적 분석법으로 나눌 수 있다. 정성적 분석은 시각적 분석인 dEEG(digital EEG)를 말하며, 1929년 H. Burger에 의해 EEG 자료가 처음 계측된 후 전문가적 판별력과 정확도를 갖춘 전문적 임상자에게 유용한 기법이라고 말할 수 있다. 그러나 전문가적 판별력과 정확도를 갖추려면 많은 노력과 경험 그리고 시간이 요구되며, 전문가라 할지라도 주관적 기준에 의존하기 때문에 편의(bias)가 개입될 소지가 있어서 때로는 유용성이 의문시되기도 한다.

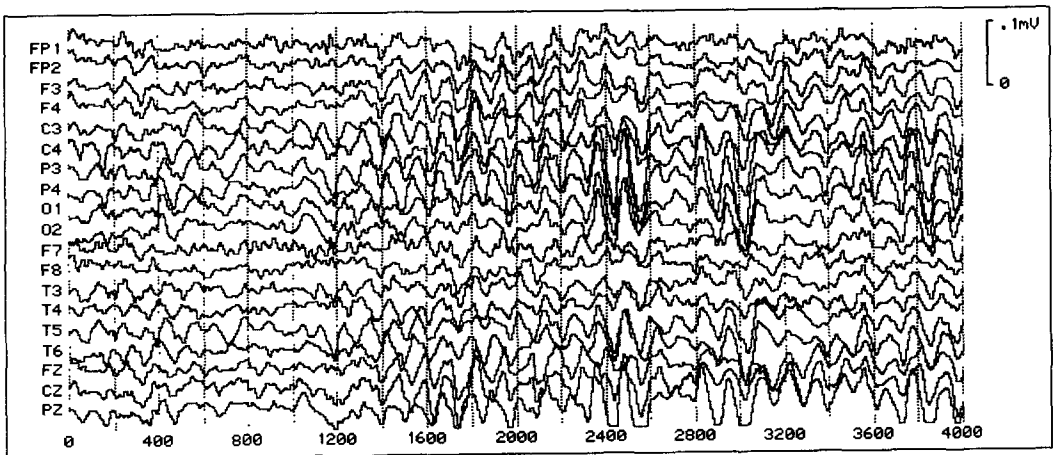
따라서 qEEG(정량적 분석법), 즉 FFT(Fast Fourier Transformation), TM(Topographic Mapping), CA(Coherence Analysis), DM(Dipole Modeling), NLA(Non-linear Analysis), EP(Evoked Potential) 등의 기법들이 도입되는 추세이다.

본고에서는 dEEG와 qEEG를 비교하고 그 한계점을 개선한 통계적 뇌파 분석법(SEEG)를 대안으로 제시하고자 한다. 서론에 이어 II에서는 dEEG와 qEEG를 비교하고, III에서는 SEEG를 논하고, IV에서는 사례분석 결과를 제시하고, V에서는 분석결과를 요약하고 결론을 내린다.

II. dEEG와 qEEG

(1) dEEG

정성적 접근법인 시각적 뇌파분석(dEEG)은 전통적인 방법으로서 임상적으로 널리 유용하고 실시간으로 사용가능하며, 아무런 처리과정을 거치지 않는 편리함이 있어서 시간과 경비면에서 유리한 측면이 있다. 그리고 인간의 눈에 의존하므로 민감한 변화나 특징 또는 패턴을 식별해 낼 수 있다는 점에서 qEEG보다 월등한 결과를 얻게도 된다.



[Fig-1] dEEG

통계적 뇌파분석(SEEG) 기법

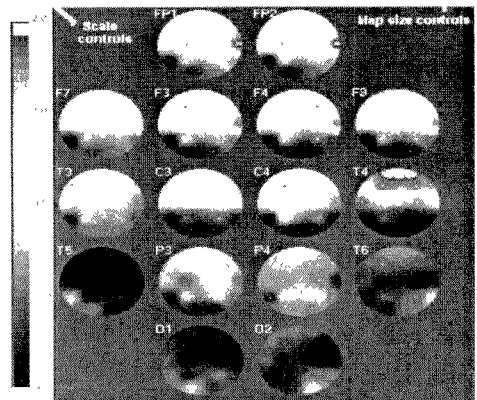
반면에 dEEG는 전문가의 판단에 의존한다는 한계점이 있다. 먼저 전문가의 소양을 갖추려면 많은 경험과 시간이 요구되고 있으며, 많은 시행착오를 거쳐야만 비로소 식별력을 갖게 된다. 또한 현실적으로 유능한 전문가의 수가 부족하다. 그리고 전문가라 하더라도 주관적 판단에 의존하므로 때로는 일시적일 수 있고, 객관성, 일관성, 정확성 및 타당성의 기준에서는 미흡할 수도 있다.

(2) qEEG

정량적 뇌파분석(qEEG)은 기본적으로 dEEG의 연장선상에 있는 셈이다. 즉 dEEG의 대안이라고 할 수는 없다. 임상적으로는 qEEG가 dEEG의 준비단계인 것이다. 인간의 눈은 컴퓨터나 어떠한 기계보다도 뛰어나다고 할 수 있으며, EEG 자료분석에는 더할 나위가 없다. 그럼에도 70년대에서부터 시작되어 80년대 이후 도입된 qEEG는 FFT기법, TM 기법, EP 기법, CA 기법, DM 기법, NLA 기법 등이 도입되어 발전해 가고 있다. qEEG는 정량적 접근법으로서 객관적이며, 임상학적으로는 생체조직검진과 판별함수를 사용한 특수 진단 및 DLM을 통한 특정 질병소스 위치측정 등에 사용된다.

그러나 qEEG는 대체로 많은 계산을 요구하므로 컴퓨터 SW에 의존할 수 밖에 없는데 기존의 SW에는 그 효율성이나 정확도 및 기법의 이론적 한계점이 가로 놓여있는 것이다. 더욱이 EEG 자료 자체의 불명확성과 다양성, 모호성을 접근하기에는 융통성과 유연성이 부족한 수리적 기법이라는 한계점이 qEEG에서 가장 큰 문제점이라 할 수 있다.

	Delta	Theta	Alpha	SMR	Beta1	Beta2
FP1	0.4	0.9	1.0	1.5	0.2	0.7
FP2	-1.1	-0.5	1.1	1.6	0.5	0.8
F7	-0.2	0.7	0.9	0.1	0.5	0.4
F3	-0.4	-0.1	2.2	0.7	-0.9	1.0
F4	0.8	0.1	1.9	1.8	0.9	1.0
F8	-0.5	1.5	1.4	2.1	1.6	0.8
T3	0.2	0.4	0.0	0.1	-0.3	0.5
C3	0.4	-0.4	0.4	0.2	0.7	0.3
C4	-0.6	0.8	0.6	0.9	1.4	0.2
T4	0.1	3.7	1.6	2.0	0.9	0.0
T5	-0.4	-0.3	0.4	0.1	-0.8	1.1
P3	-0.1	0.4	0.7	0.1	-0.8	1.1
P4	-0.5	1.5	0.6	0.8	0.7	0.6
T6	0.7	1.6	0.0	1.1	0.9	0.8
Q1	0.5	0.7	0.9	-0.2	-0.5	0.1
Q2	0.7	1.1	0.7	0.4	0.5	-0.4



[Fig-2] qEEG

III. SEEG

앞에서 살펴본 dEEG와 qEEG는 서로 보완관계적 접근법이 되어야만 한다. 그리고 EEG 분석은 우선적으로 연구가나 분석가들에게 특히 임상의학에게는 해석상의 어려움이 따라서는 그 생명력이 없다고 할 수 있을 것이다. 이런 점에서 본고에서는 통계적 뇌파분석(SEEG)을 제안하고자

한다. SEEG는 우선 전문가의 임상적 소견을 거쳐 dEEG를 하여, 의미있는 DB가 구축된 다음에야 시작되며, 그 해석도 또한 전문가와 같이 해석해 나가는 것이 필수적이다. SEEG는 dEEG를 거친 후, dEEG의 한계점인 복잡한 계산을 하지 않으면서도 EEG의 특징과 패턴을 찾을 수 있는 유연성을 잃지 않는 접근법이라 할 수 있다.

그리고 본고에서는 다채널 EEG 자료의 통계적 특징과 패턴을 표현하기 위해 IV에서 볼 수 있는 [Fig-3]~[Fig-8]과 같은 SEEG 그림(SEEG plot)을 제시한다. 이러한 SEEG plot에 의한 SEEG의 특징은 다음과 같다.

첫째, SEEG plot을 통해서 EEG의 특징과 패턴을 한 눈에 파악할 수 있다.

둘째, SEEG plot의 직사각형의 각 방들은 뇌파 측정 전극의 위치에 해당하므로, TM 기법에서의 색깔로 모호하게 표현하는 내용을 객관적 수치들로 표시한 일종의 TM 기법이다.

셋째, 기존의 FFT 분석에서와 같이 대표적 frequency band($\delta, \theta, \alpha, \beta, \gamma$)중 하나로 표현하는 것에서 탈피하여, 각 파들이 섞여서 나타날 때에는 각 파의 구체적인 정확한 Hz 수치도 같이 나타내고, 각 파들의 상대적인 크기를 비교할 수 있도록 ordinate 순으로 배열하여 상대적 크기를 부등호로, 예컨대 2배 이상이면 '<<'로 세 배 이상이면 '<<<'로 나타내고 그 밑에는 ordinate 값을 열거한다.

넷째, DM, NLA기법 등의 계산결과에 대한 해석상의 난해함을 피하기 위해 통계적 모형접근을 하여 AR(p) 모형의 추론 결과의 차수 p값을 제시한다.

이와 같이 qEEG 기법들의 한계점을 개선한 SEEG plot을 통한 SEEG 분석법을 제시한다. SEEG plot의 해석상의 이점으로는 좌우뇌의 대칭성 또는 균형을 정확한 Hz 수치로서 한 눈에 알 수 있으며, 전체적으로 각 파들의 분포상황이 동질적(homogeneous)인가 이질적(heterogeneous)인 가도 나타나며, 특정파, 예컨대 δ 파가 어느 전극 위치에서 가장 두드러지게 나타나는가 하는 것도 알 수 있다.

더 나아가서는 각 사람의 대표적 파형 내지는 대표적 Hz 수도 파악이 되며 각 위치별 Hz들의 산포도까지도 접근이 가능하다.

IV. SEEG 사례분석

(1) 피실험자

정상인 3명과 간질환자 3명, 모두 6명을 대상으로 하였다. 정상인의 경우 임상적 소견과 dEEG 분석 결과 모두 정상인으로 판정된 사례이다. 그리고 간질환자는 임상적의 신경과학적인 검진과 뇌 CT 및 MRI 검사, 간장 및 신장의 정상기능 여부 검사를 거친 환자이다.

(2) EEG 계측

조용한 계측실에 피실험자가 충분히 안정된 상태에서 눈을 감고 계측하였다. DEEG system (Vanguard system, Cleveland Clinic Foundation Health Care Ventures Inc., Ohio, U.S.A)을 사용하였으며, video-EEG system을 통해 피실험자의 행동을 감시하였다.

통계적 뇌파분석(SEEG) 기법

18채널(FP₁, FP₂, F₃, F₄, C₃, C₄, P₃, P₄, O₁, O₂, F₇, F₈, T₇, T₈, P₇, P₈, F_z, C_z)에 수정된 명명법(modified combinatorial nomenclature)에 따라 전극을 부착하였다. 전극의 저항은 5 kilo-ohm 이하로 유지하였다. 기준전극은 P_z로 하고, 최고 frequency filter는 70Hz, 최하 frequency filter는 0.5Hz로 하였다. sampling rate은 200Hz로 하고 20초간 측정후 dEEG를 통해 artifact에 오염되지 않은 부분을 택하였다.

(3) SEEG 분석 결과

6명의 SEEG 분석 결과는 SEEG plot으로 정리하였으며, SEEG plot인 [Fig-3]에서 [Fig-5]까지는 정상인의 분석 결과이고 [Fig-6]에서 [Fig-8]까지는 환자의 분석 결과이다.

① 정상인 HC1M2의 SEEG

SEEG plot [Fig-3]에 나타난 통계적 특성과 패턴은 다음과 같다. ㉔ 전 채널에서 α 파가 주도한다. ㉕ 18채널의 Hz 통계량들을 보면, 평균 $\overline{Hz}=11.916$, 표준편차 SHz=0.575, 범위 RHz=2.5로서 비교적 동질적인 분포를 보인다. ㉖ 좌우 대칭성을 보인다. ㉗ 모형의 차수 p는 T₇, C₄, T₈, P₇에서 높게 나타나며, 평균 $\bar{p}=11.7$ 이다.

Hz	10.5	12	12.5	13
빈도수	2	14*	1	1

[표-1] Hz의 분포

P	4	5	6	7	8	11*	13*	15*	17*
빈도수	1	5*	2	5*	1	1	1	1	1

[표-2] AR 차수의 분포

② 정상인 HC4M2의 SEEG

SEEG plot [Fig-4]에 의하면 통계적 특성과 패턴이 위와 유사하다. ㉔ 전 채널에서 α 파가 주도하고 있다. ㉕ 18채널의 통계량을 살펴보면 $\overline{Hz}=10.5$, SHz=0.618, RHz=2로서 비교적 동질적이다. ㉖ 좌우 대칭성을 나타낸다. ㉗ 모형의 차수는 FP₁, FP₂, F₈, T₇, C₄, P₃에서 높은 차수를 보이며, $\bar{p}=8.0$ 이다.

Hz	9	10	11
빈도수	1	7	10*

[표-3] Hz의 분포

P	3	4	6	7	8	9	10*	11*	15*	21*
빈도수	1	4*	4*	1	1	1	2	2	1	1

[표-4] AR 차수의 분포

③ 정상인 HC9M4의 SEEG

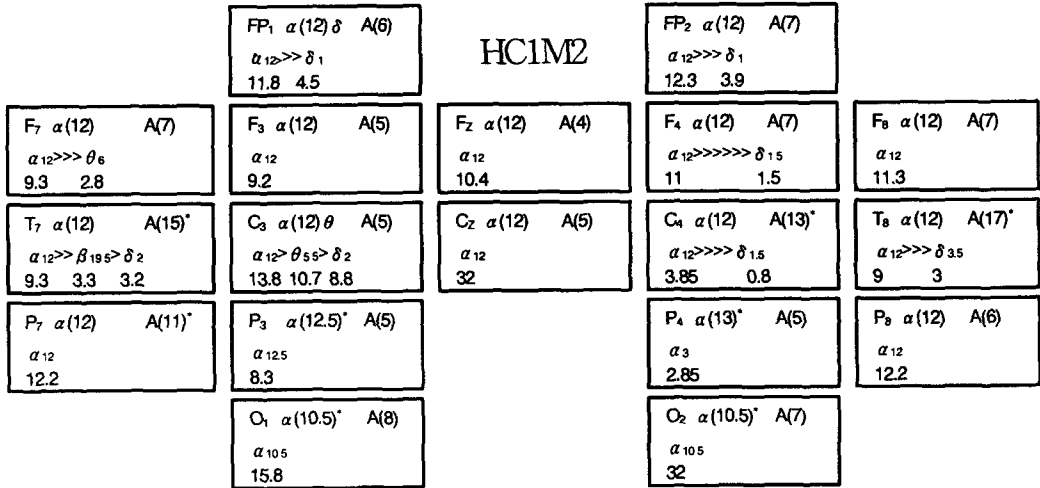
SEEG plot [Fig-5]를 보면 특성과 패턴 역시 위와 유사하다. ㉔ 전 채널에서 α 파가 주도함을 알 수 있다. ㉕ 통계량을 살펴보면, $\overline{Hz}=10.777$, SHz=0.427, RHz=1로서 정상인 3명 중 가장 동질적인 분포를 한다. ㉖ 좌우 대칭성을 표시한다. ㉗ 모형의 차수는 FP₁에서 높게 나타나며, $\bar{p}=6.0$ 이다.

Hz	9.5 10 11
빈도수	1 4 13*

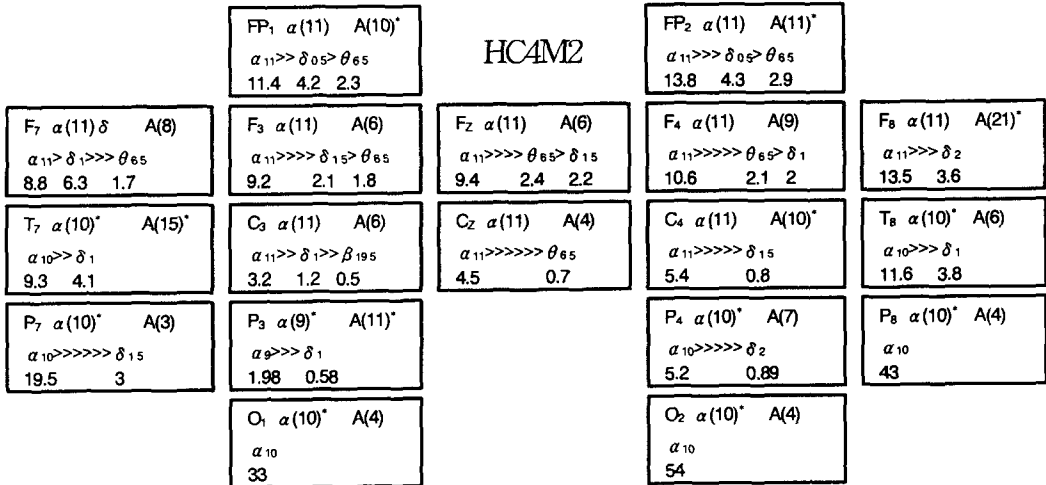
[표-5] Hz의 분포

P	4 5 6 9 13*
빈도수	2 8* 5 2 1

[표-6] AR 차수의 분포

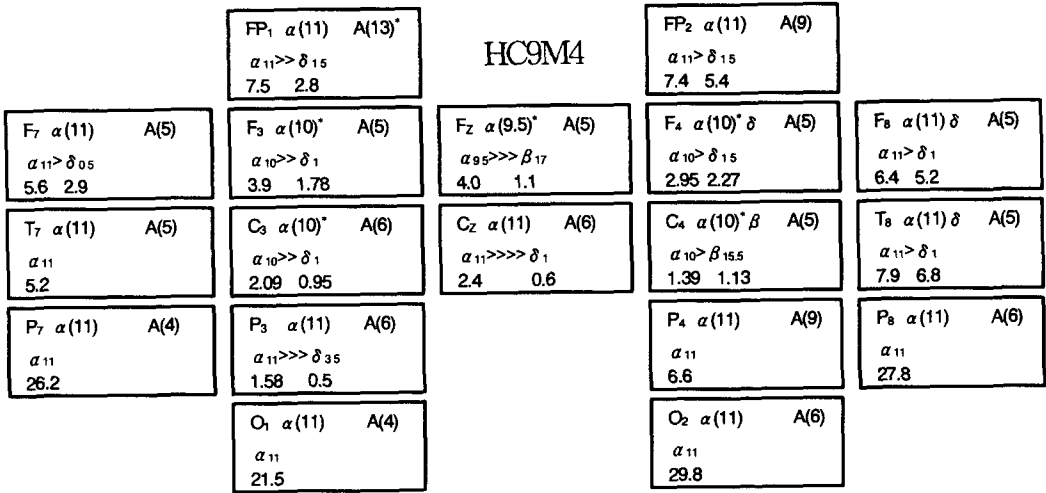


[Fig-3] SEEG plot(정상인-1)



[Fig-4] SEEG plot(정상인-2)

통계적 뇌파분석(SEEG) 기법



[Fig-5] SEEG plot(정상인-3)

④ 환자 XC8F1의 SEEG

SEEG plot [Fig-6]을 잘 살펴보면 독특한 통계적 특성과 패턴이 찾아진다. ㉓ 12채널에서 1H z~3.5Hz 사이의 δ 파가 주도하고, 6채널에서 7.5Hz의 θ 파가 주도한다. ㉔ 18채널 Hz의 통계량을 보면, $\overline{Hz}=4.111$, $SHz=2.604$, $RHz=6.5$ 로 나타나서 정상인에 비해 평균 Hz는 떨어지나, 변동폭이 상대적으로 커져서 이질적인 분포를 보인다. ㉕ 좌우 대칭성도 P_3 와 P_4 에서 깨진다(3.5 Hz의 δ 파와 7.5 Hz의 θ 파). ㉖ 모형의 차수는 T_7 에서만 높게 나타나며, $\bar{p}=6.8$ 이다.

Hz	1	1.5	2	2.5	3.5	4	7.5
빈도수	2	2	1	3	3	1	6*

[표-7] Hz의 분포

P	4	5	6	7	8	9	14*
빈도수	1	5*	3	4	3	1	1

[표-8] AR 차수의 분포

⑤ 환자 XC5M1의 SEEG

SEEG plot [Fig-7]을 검토해 보면, 역시 이 환자의 통계적 특성과 패턴이 발견된다. ㉓ 4채널에서 1.5Hz~3Hz 사이의 δ 파가 주도하고, 14채널에서 10Hz의 α 파가 주도한다. ㉔ 18채널 Hz의 통계량은 $\overline{Hz}=8.277$, $SHz=3.396$, $RHz=9$ 로서 정상인에 비해 더욱 이질적인 분포를 보인다. ㉕ 좌우 대칭성 역시 F_7 와 F_8 에서 깨진다(3Hz의 δ 파와 1.5Hz의 δ 파로 2배의 차이가 난다). 그리고 P_3 와 P_4 의 ordinate 차이가 크다(7과 13.6으로 2배 가깝다). ㉖ 모형의 차수는 P_7 에서 높게 나타나며, $\bar{p}=7.2$ 이다.

Hz	1.5	2	3	10	10.5
빈도수	1	2	1	13*	1

[표-9] Hz의 분포

P	4	5	6	7	8	10*	11*	12*	13*
빈도수	3	1	6*	1	3	1	1	1	1

[표-10] AR 차수의 분포

㉔ 환자 XC2F5의 SEEG

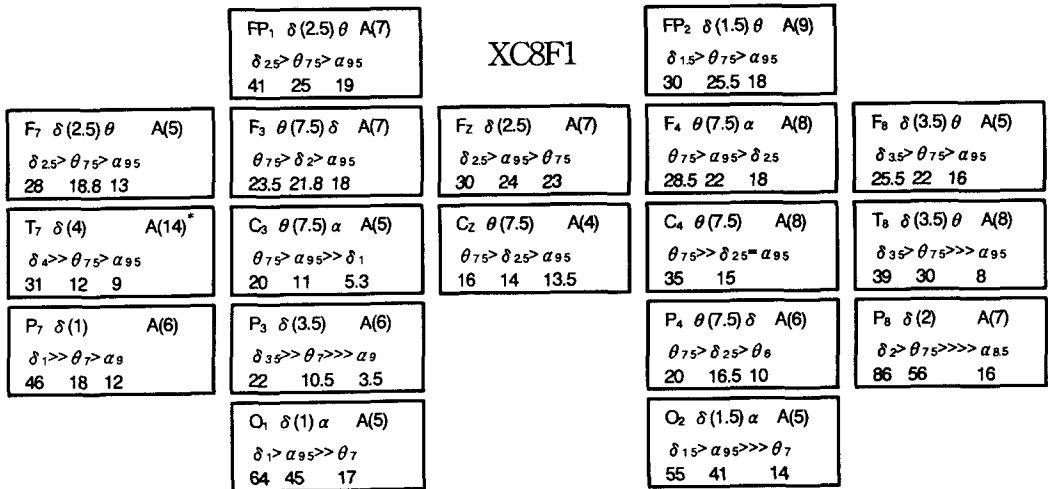
SEEG plot [Fig-8]을 주목해 보면, 역시 통계적 특성과 패턴을 보게 된다. ㉔ 5채널에서 1Hz~1.5Hz 사이의 δ 파가 나타나고, 6채널에서 13.5Hz~23Hz 사이의 β 파, 나머지 7채널에서 8.5Hz~13Hz 사이의 α 파가 주도한다. ㉔ 18채널 Hz의 통계량은 $\overline{Hz}=10.833$, $SHz=7.483$, $RHz=22$ 로 정상인에 비해 평균 Hz는 차이가 없으나, 변동폭이 매우 커져서 더욱 더 이질적임을 알 수 있다. ㉔ 특히 이 환자의 경우 좌우 대칭성은 전 영역에서 깨진다. F₇과 F₈, F₃과 F₄, T₇과 T₈, C₃와 C₄, P₇과 P₈, P₃와 P₄에서 대칭성이 깨지며, FP₁과 FP₂, O₁과 O₂의 ordinate 차가 크게 나타난다. ㉔ 모형의 차수는 O₁과 O₂에서만 높은 값을 보인다.

Hz	1	1.5	8.5	9	10.5	11	12.5	13	13.5	19	21	22	23
빈도수	4*	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1

[표-11] Hz의 분포

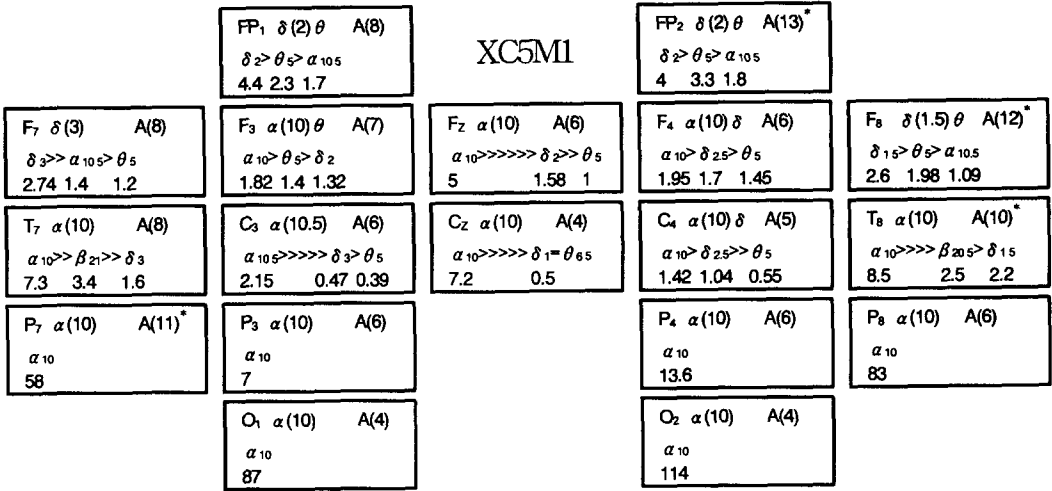
P	5	6	7	8	11*	13*
빈도수	2	3	4	7*	1	1

[표-12] AR 차수의 분포

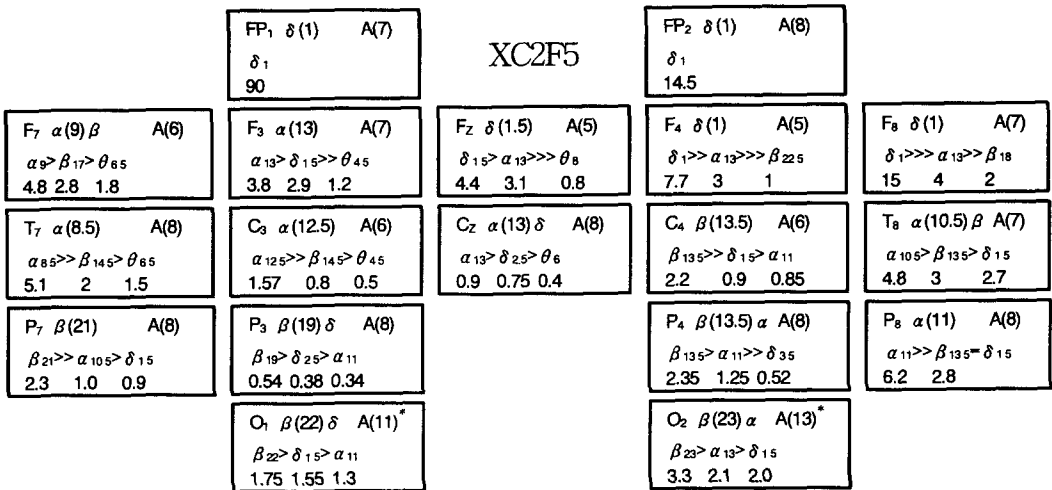


[Fig-6] SEEG plot(환자-1)

통계적 뇌파분석(SEEG) 기법



[Fig-7] SEEG plot(환자-2)



[Fig-8] SEEG plot(환자-3)

V. 맺음말

SEEG를 통한 SEEG plot에서 찾은 위의 결과로 EEG에 대해 좀 더 이해를 할 수 있게 되었다. 즉 자료에서 SEEG를 통하여 좀 더 많은 정보를 얻게 되었고, SEEG plot을 살펴봄으로써 EEG에 관한 좀 더 많은 사실을 알게 되었다. 그런데 모형을 통한 접근은 그다지 명확한 결론에 도달하기에는 미흡하였으며, 모형중심에서 패턴중심으로 논문이 서술되게 되었다. 자료분석의 측면에서 자

료의 이해 측면으로 서술의 중심이 바뀐 셈이다. 이러한 관점은 SEEG plot의 효율성에 기인한 것이다.

본고에서 제시한 통계적 뇌파분석기법으로 정상인 3명과 환자 3명의 SEEG를 한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 정상인의 경우 11Hz에서 12Hz의 α 파가 전 채널에서 주도적으로 나타난다. 그러나 환자의 경우는 δ 파가 나타나고 때로는 θ 파와 β 파도 α 파와 섞여서 나온다.

둘째, 정상인의 경우 좌우대칭성을 보인다. 그러나 환자의 경우 정도의 차이는 있으나 대칭성이 깨진다.

셋째, 정상인의 경우 Hz 수치 통계량들의 분포를 보면 표준편차(S)도 상대적으로 작으며(0.575, 0.618, 0.427) 범위(R)도 상대적으로 작게 나타나서(2.5, 2, 1) 비교적 동질적(homogeneous)이다. 그러나 환자의 경우 S가 상대적으로 크며(2.604, 3.396, 7.483), R도 상대적으로 매우 커져서(6.5, 9, 22), 매우 이질적(heterogeneous)인 특성을 보인다.

넷째, 모형 차수(p)는 정상인과 환자에서 큰 차이를 나타내지는 않는다. 그런데 Anderson-Stolz[2]는 AR차수 p가 6이라는 결과를 발표하였고, 또한 Franaszczuk-Blinows-k-Kowalczyk[7]와 Gersch-Yonemoto[8]도 같은 결론을 내리고 있으며, Tsoi-So-Sergejew[22]는 8이라고 한 바가 있다. 그러나 본 연구 결과에 의하면 대표적 차수가 그러한 값(6~8)에 가까우나 각 채널 별로 매우 다양한 패턴을 보인다. 정상인의 경우에 AR 차수가 4~17, 3~21, 4~13으로 폭넓게 분포하고, 환자의 경우도 4~14, 4~13, 5~13으로 비슷한 패턴을 나타내고 있다.

앞으로 좀 더 다양한 대상의 DB를 구축하여 여러 유형의 증상들(자폐증, 과다행동장애, 난독증, 수면장애, 치매, 파킨스씨병)이 갖는 패턴을 판별하고 치료 효과 및 진행상태의 변화를 연구해 보 고자 한다.

참 고 문 헌

1. 박석윤, 박래현, 이석훈, 정현용, 한상익, 전양환, 김재문, 정기영. 정량적 뇌파분석에 관하여, 충남과학연구지 제 25권 제 2호, (1998), 10-18.
2. Anderson, C. W., Stolz, E. A., Multivariate autoregressive models for classification of spontaneous electroencephalogram during mental tasks, IEEE transaction on Biomedical Engineering Vol. 45, No. 3, (1998), 277-286.
3. Duffy, F.H., Clinical decision making in quantified electroencephalographic analysis. In D. Samson-Dollfus, J. Gotman, J.D. Guieu and P. Etevenon (Eds.), Statistics and Topography in Quantitative EEG, Elsevier, Paris, (1988), pp. 9-26.
4. Ebersole, J.S. and Wade, P.B., Spike voltage topography and equivalent dipole localization in complex partial epilepsy, Brain Topogr., 3 (1990) 21-34.
5. Ebersole, J.S. and Wade, P.B., Spike voltage topography identifies two types of frontotemporal epileptic foci, Neurology, 41 (1991) 1425-1433.
6. Faux, S.F., Shenton, M.E., McCarley, R.W., Nestor, P.G., Marcy, B. and Ludwig, A.,

통계적 뇌파분석(SEEG) 기법

- Preservation of P300 event-related potential topographic asymmetries in schizophrenia with use of either linked-ear or nose reference sites, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 75 (1990) 378-391.
7. Franaszczuk P. J., Blinowska K. J., and Kowalczyk M., The application of parametric multichannel spectral estimates in the study of electrical brain activity. *Biological Cybernetics*, 51:239-247, 1985.
 8. Gersch W., Yonemoto J., Parametric time series models for multivariate eeg analysis. *computers and Biomedical Research*, 10:113-125, 1977.
 9. Harris, C. M., The Fourier analysis of biological transients. *J Neurosci Methods* 1998;83:15-34.
 10. Herkes, G. K., Lagerlund, T. D., Sharbrough, F. W., Eadie, M. J., Effects of antiepileptic drug treatment on the background frequency of EEGs in epileptic patients. *J Clin Neurophysiol* 1993;10(2):210-6.
 11. Hughes, J. R. and Robbins, L. D., Brain mapping in migraine, *Clin. Electroencephalogr.*, 21 (1990) 14-24.
 12. John, E.R., Prichep, L.S., Fridman, J. and Easton, P., Neurometrics: Computer-assisted differential diagnosis of brain dysfunctions, *Science*, 239 (1988) 162-169.
 13. Keirn, Z. A., Aunon, J. I., A new mode of communication between man and his surroundings. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, 37(12):1209-1214, December 1990.
 14. Konishi T, Naganuma Y, Hongou K, Murakami M, Yamatani M, Okada T. Effects of antiepileptic drugs on EEG background activity in children with epilepsy: initial phase of therapy. *Clin Electroencephalogr* 1995;26(2):113-9.
 15. Lehmann, D., Spatial analysis of EEG and Evoked Potential data. In F.H. Duffy (Ed.), *Topographic Mapping of Brain Electrical Activity*, Butterworths, Boston, (1986), pp. 29-62.
 16. Miyauchi T., Endo, K., Yamaguchi T., Hagimoto H., Computerized analysis of EEG background activity in epileptic patients. *Epilepsia* 1991;32(6):870-881.
 17. Muthuswamy J, Thakor N. V.. Spectral analysis methods for neurological signals. *J Neurosci Methods* 1998;83:1-14.
 18. Oken, B.S., Chiappa, K.H. and Salinsky, M., Computerized EEG frequency analysis: Sensitivity and specificity in patients with focal lesions, *Neurology*, 39 (1989) 1281-1287.
 19. Oken, B.S. and H., C.K., Statistical issues concerning computerized analysis of brainwave topography, *Ann. Neurol.*, 19 (1986) 493-494.
 20. Salinsky, M.C., Oken, B.S., Kramer, R.E. and Morehead, L., A comparison of quantitative EEG frequency analysis and conventional EEG in patients with focal brain lesions, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 83 (1992) 358-366.
 21. Schaul N., The fundamental neural mechanisms of electroencephalography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1998;106:101-107.

22. Scherg, M., Ebersole, J.S., Brain source imaging of focal and multifocal epileptiform EEG activity, *Neurophysiol. Clinique*, 24 (1994) 51-60.
23. Tsoi, A. C., So, D. S. C., and Sergejew, A., Classification of electroencephalogram using artificial neural networks. In Jack D. Cowan, Gerald Tesauro, and Joshua Alspector, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 6*, 1151-1158. Morgan Kaufmann, 1994.
24. Van der Meij, W., Van Huffelen, A.C., Wieneke, G.H. and Willemse, J., Sequential EEG mapping may differentiate "epileptic" from "non-epileptic" rolandic spikes, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 82 (1992) 408-414.
25. Wong, P.K., The importance of source behavior in distinguishing populations of epileptic foci, *J. Clin. Neurophysiol.*, 10 (1991) 314-322.
26. Wu, X., Ma J. J., Sodium valproate: quantitative EEG and serum levels in volunteers and epileptics, *Clin Electroencephalogr* 1993;24(2):93-9.
27. Wu, X., Xiao C. H., Quantitative pharmaco-EEG of Carbamazepine in volunteers and epileptics, *Clin Electroencephalogr* 1996;27(1):40-45.
28. Wu, X., Xiao, C. H., Quantitative pharmaco-EEG of sustained release valproate in epileptics. *Clin Electroencephalogr* 1997;28(2):117-20.