

## Interpolated EEG신호의 전위경사를 이용한 Source Location 추정

이용희\* · 이응구\* · 김선일\*\* · 이두수\*

=Abstract=

### The Estimation of Source Locations Based on Potential Gradients of Interpolation Polynomials of EEG Records

Yong Hee Lee\*, Eung Gu Lee\*, Sun Il Kim\*\*, Doo Soo Lee\*

In this paper, we present a method to evaluate source locations and distributed region which is specified brain activity, as indicated by locations and strengths of intracranial sources, using potential gradients of interpolation polynomials and topographic mapping of the EEG records. This method can analyze the variance of source temporally or spatially and leads to enable a quantitative evaluation of potential gradients drawing methods which is now being used in the clinic.

In the result, we obtained the overall potentials distribution on the entire scalp and the information of potential source locations from the EEG records of a patient which was known to epilepsy.

### 서 론

광범위하게 나타나 있는 뇌파 활동에 대해서 뇌파의 기원과 전달경로를 파악하는 일은 뇌에 관한 연구의 가장 중요한 분야로 오래전부터 진행된 과제이다. 과거의 연구는 뇌에 직접적인 전기자극을 가해서 나타나는 반응을 연구하거나 뇌조직에 전극을 삽입하여 반응에 따라 나타나는 전위를 분석하는 침습적인(invasive)방법이 주로 행하여졌다. 그러나 이러한 방법들은 뇌에 치명적으로 손상을 줄 가능성이 있기 때문에 동물에 대상으로 한 실험이 대부분이고 사람을 대상으로 한 경우는 뇌조직의 수술이나 치명적인 손상을 치유목적으로 한 경우에 한하여 드물게 사용하고 있다. 오늘날에는 컴퓨터의 발달로 대부분 비침습적

(noninvasive)인 방법에 의해 뇌에서 얻은 정보를 처리하는 연구가 진행 중이다<sup>1, 2)</sup>. 뇌파분석에서 비침습적 방법으로 두피상에 전극을 부착하여 뇌파를 측정하는 EEG(electroencephalogram)신호측정이 보편적으로 임상에서 사용되고 있다. 그러나 한정된 EEG신호로부터 뇌의 광범위한 활동을 분석한다는 것은 거의 불가능하다. 이것은 피질에 나타난 전위가 뇌의 전위 source의 직접적인 반응이라고 볼 수 없기 때문이다. 따라서 EEG신호에 의한 분석은 특정한 문제(EP, spike wave.)에 국한하였을 때 효과적으로 이용할 수 있다<sup>3)</sup>. 즉 특정한 뇌파 활동이 두개상의 어느 부위에 나타나는가를 파악할 수 있고 기원점을 갖는 문제에 이용함으로써 source의 이동을 알 수 있으며 이로부터 정보의 흐름도 파악할 수 있다. 임상적으로는 수술이 필요한 간질환

\* 한양대학교 공과대학 전자공학과

\* Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University

\*\* 한양대학교 의과대학 계량의학교실

\*\* Dept. of Medical Information and Management, Hanyang University

† 본 연구는 한국과학재단 특정 기초연구과제(과제번호:91-01-00-04)의 지원으로 이루어 졌음

통신저자: 이용희, (133-791) 서울특별시 성동구 행당동 17번지, Tel. (02) 290-0358, Fax. (02) 298-1796

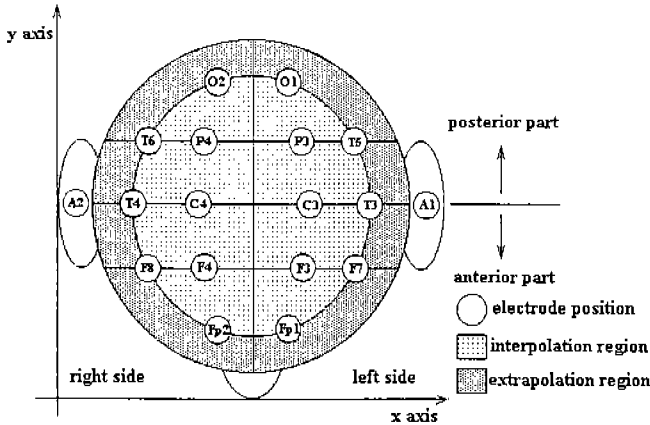


그림 1. Head 모델링과 EEG전극 설정위치  
Fig. 1. Head modeling and EEG electrode configuration

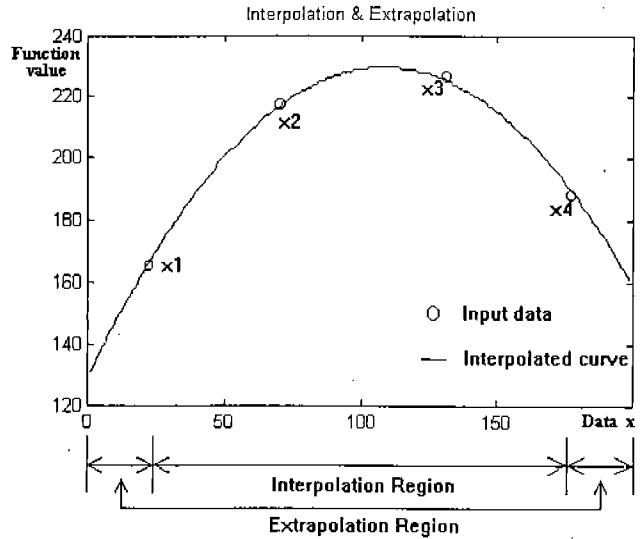


그림 2. Polynomial 보간 곡선  
Fig. 2. Polynomial interpolation curve

자의 수술부위를 찾는 데 도움을 주며 유발성전위 뇌파 (Evoked Potential)를 연구하는 분야에서는 유발전위 source의 위치를 찾는으로서 뇌의 기능에 대한 위치 정보와 이상유무를 판독하는데 이용되고 있다. 현재 EEG신호에 의한 source의 범위와 위치에 대한 정보는 신호의 분석과 전위경사법을 이용한 수동적인 작도법에 기초하거나 한정된 전극으로부터 얻은 EEG신호를 보간법을 이용하여 전체의 표면 전위분포를 구함으로써 source의 우세부분을 관측에 의해 판독하여 얻는 방법이 있다<sup>4, 5, 6</sup>. 표면전위분포는 한정된 전극으로부터의 EEG신호를 두피 전체에 대해 보간법을 이용함으로써 임의의 좌표에서의 값을 얻을 수 있고 전체적인 뇌의 활동을 전문적 식견이 없이도 파악할 수 있다는 장점이 있으나 전위분포를 이용한 source의 위치정보에 대한 정량적 해석은 이루어지지 못했다.

제안한 방법에서는 두피상에서의 EEG신호를 보간법을 이용하여 전체의 전위분포를 구하고 전체 전위분포로부터 전위 source의 위치정보를 얻는 방법을 보이며 이를 이용해 시간적, 공간적 전위분포 및 전위 source의 전달 경로를 파악할 수 있게 된다.

### 2차원 보간법을 이용한 표면 전위분포의 추정

보간을 취하기 위해서는 보간 영역을 설정해야 하며 두피상에서 보간을 취할 경우 두피의 형태가 보간 영역이 된다. 두피의 형태는 사람마다 뇌의 용적 및 형태가 각기 다르므로 각각의 경우에 대해 모델링한다는 것은 불가능하다. 따라서 수학적으로 다루기 쉬운 구형 (spherical model)으로 표현한다. 그림 1은 Head 모델과 EEG전극의 설정위

치를 보여주고 있다. 여기서 좌표축은 보간을 취할 때의 가로와 세로축을 의미하며 EEG신호를 얻기 위해 사용하는 전극은 16 channel 기준전극 도출법을 나타냈다.

격자망 (mesh grid) 형태가 아닌 공간적으로 분포되어 있는 전극으로부터 2차원 평면상에 연속적인 보간전위를 얻기 위해서는 일차적으로 x축 또는 y축상의 EEG전극을 기준으로 하여 얻은 신호를 보간하고 이 테이타와 수직으로 분포된 y축 또는 x축상에 존재하는 EEG신호와와의 접하는 위치로부터 2차원 평면상에 보간을 수행한다. EEG신호의 보간은 각 전극의 경계 내부에서는 interpolation을 수행하고 외부 전극과 head 모델 평면상에서는 extrapolation을 수행한다. 그림.1에서는 보간영역을 구분하여 보여주고 있다. 그러나 실제의 과정은 interpolation과 extrapolation을 구분하지 않고 보간식의 연속적인 구간으로 보고 보간을 취한다. 그림.2는 polynomial 보간법을 이용하여 임의의  $x_1$ 에서  $x_4$ 까지 네개 data의 보간한 곡선을 보여 준다.

polynomial 보간법은 N개의 data가 주어졌을 때 N개의 data를 지나는 N-1차의 다항식을 구하는 과정으로서 이때의 다항식은 Lagrange 계산식을 이용하여 구하게 된다. 식 (1)은 N개의 data  $y_1=f(x_1), y_2=f(x_2), \dots, y_N=f(x_N)$ 에 대한 Lagrange 계산식을 나타낸 것이다.

$$P(x) = \frac{(x-x_2)(x-x_3)\dots(x-x_N)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)\dots(x_1-x_N)} + \frac{(x-x_1)(x-x_3)\dots(x-x_N)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)\dots(x_2-x_N)} y_2$$

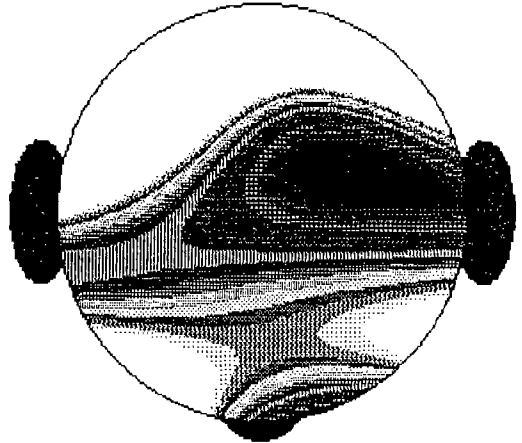
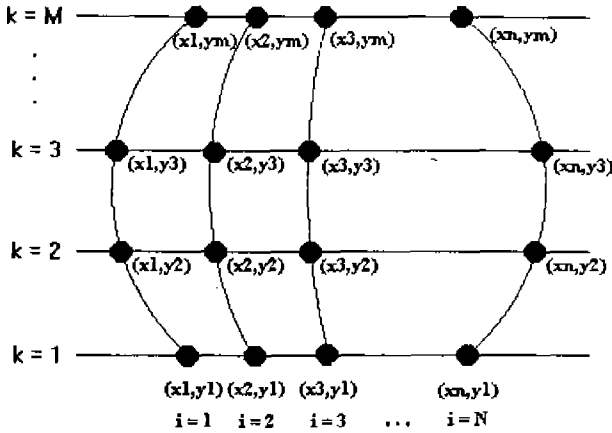


그림 3. 2차원 보간 data의 구성

Fig. 3. Two-Dimensional configuration of interpolation data

그림 4. 보간된 전체 표면 전위분포

Fig. 4. The interpolation potentials distribution on the entire scalp

$$\begin{aligned}
 & + \dots + \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{N-1})}{(x_N-x_1)(x_N-x_2)\dots(x_N-x_{N-1})} y_N \\
 & = \sum_{i=1}^N \left( \prod_{k=1, k \neq i}^N \frac{(x-x_k)}{(x_i-x_k)} \right) y_i \quad (\text{단, } i \neq j \text{인 경우}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

EEG전극은 3차원 두피공간상에 위치해 있으나 실제의 보간은 2차원 평면으로 투영하여 이루어 진다. 두피 전체의 전위분포를 얻기 위해 사용되는 보간법은 유한개의 좌표점에서의 자료로 임의의 좌표에서의 값을 얻기 위해 사용되며 한정된 data를 지나는 연속적인 곡선을 얻을 수 있고 interpolation과 extrapolation을 수행할 수 있어야 한다. 그림 3과 같이 2차원 평면상에 분포된 data를 보간하기 위해서 일차원 보간식을 2차원으로 확장하여 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V(x,y) = \sum_{k=1}^M \left( \prod_{i=1}^M \frac{(y-y_i)}{(y_k-y_i)} \right) P_k(x) \quad (\text{단, } k \neq 1 \text{인 경우}) \quad (2)$$

그림 4는 가상의 source위치를 가정한 16 channel 입력에 대해 polynomial 보간법을 이용하여 보간을 취한 결과로 x와 y축에 대해 보간식을 적용한 전체 표면 전위 분포를 보여 준다.

**전위 분포로부터 전위 source 위치의 추정**

xy평면상에서 구한 표면 전위분포로부터 source의 위치 정보를 얻기 위해 전위 경사법 (gradient method)을 이용한

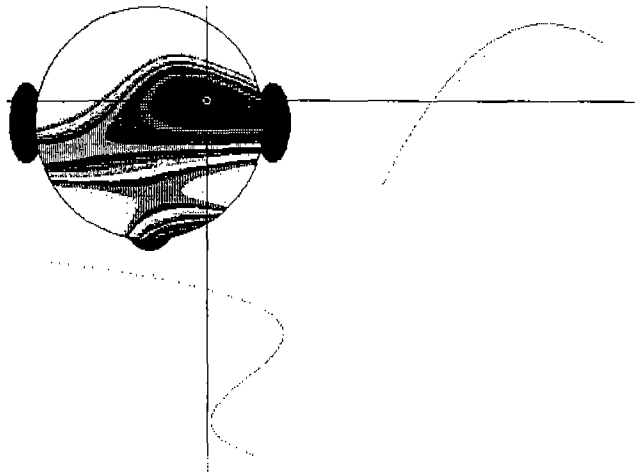


그림 5. Source 위치 추정과 보간 곡선

Fig. 5. The estimation of source location and interpolation curve

다. source가 위치한 곳의 두피상 전위분포는 source의 강도에 비례하여 나타내므로 source가 위치한 곳은 지배적인 전위분포를 나타내며 보간전위의 절정을 갖게 된다. 따라서 두피상에서 보간된 전위 분포를 기초로 source가 있다고 예상되는 위치를 찾는 방법은 전위분포 다항식에서 전위 경사가 영인 부분을 찾는 과정이 된다.

$$\frac{\partial V(x,y)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

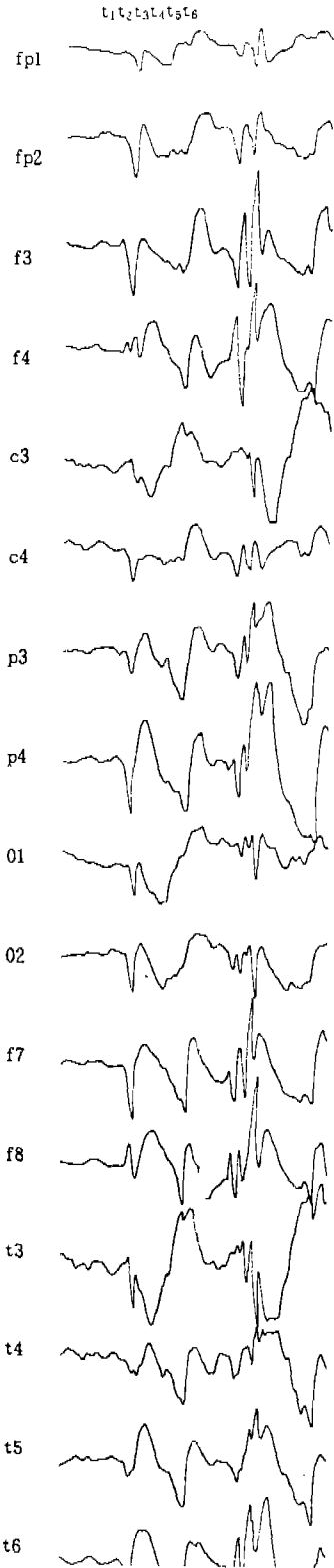


그림 6(a). 16 channel EEG 신호  
Fig. 6(a). 16 channel EEG signals

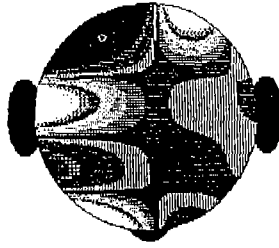


그림 6(b)-1.  $t_1$ 에서의 전위분포 및 source 위치

Fig. 6(b)-1. The potentials distribution & source locations at  $t_1$

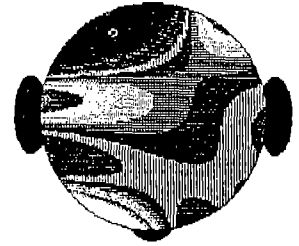


그림 6(b)-2.  $t_2$ 에서의 전위분포 및 source 위치

Fig. 6(b)-2. The potentials distribution & source locations at  $t_2$

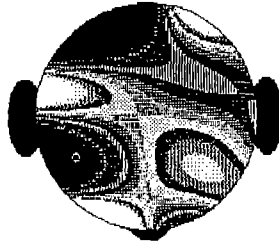


그림 6(b)-3.  $t_3$ 에서의 전위분포 및 source 위치

Fig. 6(b)-3. The potentials distribution & source locations at  $t_3$

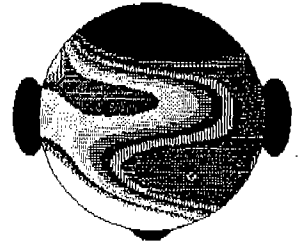


그림 6(b)-4.  $t_4$ 에서의 전위분포 및 source 위치

Fig. 6(b)-4. The potentials distribution & source locations at  $t_4$

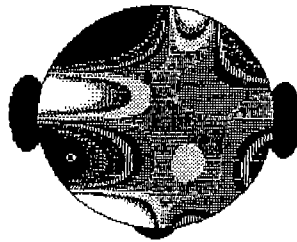


그림 6(b)-5.  $t_5$ 에서의 전위분포 및 source 위치

Fig. 6(b)-5. The potentials distribution & source locations at  $t_5$

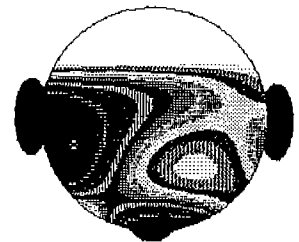


그림 6(b)-6.  $t_6$ 에서의 전위분포 및 source 위치

Fig. 6(b)-6. The potentials distribution & source locations at  $t_6$

그림 6(b). 전체 전위분포 및 source 위치

Fig. 6(b). The overall potentials distribution and source locations

$$\frac{\partial V(x, y)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서  $V(x, y)$ 는  $x$ 와  $y$ 축의 두피상 평면에 서 전위분포를 나타낸 보간다항식이며 식 (3)은  $x$ 축 보간 다항식의 gradient를 나타내고 식 (4)는  $y$ 축의 보간다항식의 gradient를 나타낸다. 두피전체에 대해 구하는 과정에서 절정(peak)와 골(valley)을 찾게 되며 식 (3)과 식 (4)을 만족하는 좌표  $x, y$  중에서 식 (5)에서와 같이 최대 절정을 갖는 좌표를 택함으로써 우세한 영역의 초점을 찾게 된다.

$$\max_{(x, y)} \left( \frac{\partial V(x, y)}{\partial y} = 0 \text{ 이며 } \frac{\partial V(x, y)}{\partial x} = 0 \text{ 인 경우} \right) \quad (5)$$

그림 5는 그림 4의 전위 분포에 대한 source 위치를 보여 주고 있다. 검은 표면이 우세부분이다. 그림에서 우측의 수평선축은  $x$ 축에서의 전위경사가 영인위치에서의 보간 곡선을 나타내며 수직선에 나타난 곡선은  $y$ 축에서의 전위 경사가 영인위치에서의 보간곡선을 나타낸다. 보간 다항 식은 polynomial 보간법을 사용하여 연속적이며 smooth하게 나타난다. 두피 내부의 수평선과 수직선이 교차되는 부분이 source로 추정되는 위치이다.

### 실험 및 고찰

임상에의 적용을 위해 본 연구에서 간질(epilepsy)진단을 받은 14세 남자환자의 발작시 EEG신호를 채집하여 적용하였다. 보간 다항식은 polynomial 보간식을 사용하였으며 그림 6a는 16 channel EEG신호이며 기준전극 도출법에 의해 얻은 파형이다. 그림에서 짙은 부분이 우세한 전위를 나타내는 곳이며 그림 6(b)는 그림 6a의 t1에서 t2까지의 시간에 따라 구한 전체 전위분포와 source의 위치 정보이다.

EEG전위가 높은 부분은 짙게 나타나 있다. 제시한 방법을 이용해 구한 source의 위치는 두상 내부에 작은 원으로서 나타났다. 피질에서의 우세한 source의 위치가 하나일 경우에는 쉽게 판독과 위치 추정이 가능하나(그림 6(b)-1과 6(b)-2, 그리고 6(b)-6의 경우) 여러개의 source로 추정되는 부분에서는 dipole 상호간의 작용등에 의해 피질에는 실제의 source moment의 영향이 직접적으로 나타나지 않고 상호 작용에 의한 결과적인 전위가 나타나기 때문에 쉽게 찾을 수가 없거나 다른 곳을 찾는 경우가 생긴다(그림 6(b)-3과 6(b)-4, 그리고 6(b)-5의 경우). 이것은 실제의 EEG파형에서도 전위가 큰 spike wave의 영향이 나타나지

않는 부분이다.

### 결 론

본 연구에서는 EEG신호로부터 보간된 전위분포로 source의 위치 정보를 얻는 방법을 보였다. 두피상의 전체 전위분포를 기초로 source의 위치 정보를 얻기 때문에 전문적인 식견이 없이도 뇌에서의 전기적 활동을 파악할 수 있고 또한 알고리즘을 쉽게 구현할 수 있으므로 임상적으로도 적용이 가능하며 다양한 뇌의 활동에 대해 정량적으로 접근할 수 있는 가능성도 볼 수 있었다. 뇌의 활동에 기여한 source가 지배적으로 우세한 전위를 갖고 나타나는 경우는 source의 위치를 쉽게 판독할 수 있으나 한 개가 아닌 다양하게 나타나는 경우에 대해서는 쉽게 파악할 수 없게 된다. 이 부분에 대해서는 여러개의 source를 가정하고 source의 위치를 추정하는 연구가 필요하다고 보며 DSP를 이용한 실-시간 분석, 그리고 다양한 뇌파신호(VEP, SEP, AEP, ...)와의 시스템 구성에 관한 연구도 임상적 적용을 위해서 요구된다.

### References

1. Seunghun Park, Jose C.P rincipe, Jack R. Smith, and Steven A. Reid. *TDAT-Time Domain Analysis Tool for EEG Analysis*. IEEE Transaction ON Biomedical Engineering, vol 37, No 8, August 1990.
2. G.Sitzer and H. Altenburg. *The Diagnostic Value of the Source Derivations in Comparison with Standard Unipolar and Bipolar EEG Derivations in Circumscribed Lesions of the Brain*. Electromedica, March 1981
3. G.W.Thickbroom, F.L. Mastaglia. W.M. Carroll and H.D.Davies. *Source Derivation: Application to Topographic Mapping of Visual Evoked Potentials*. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, vol 59, pp. 279-285, 1984
4. Frank H. Duffy, MD, James L. Burchfiel, PhD, and Cesare T. Lombroso, MD. *Brain Electrical Activity Mapping (BEAM): A Method for Extending the Clinical Utility of EEG and Evoked Potential Data*. Annals of Neurology, Vol 5 No 4, April 1979
5. Frank H. Duffy, MD, Martha B. Denckla, MD, Peter H. Bartels, PhD, and Giulio Sandini, Phd. *Dyslexia: Regional Differences in Brain Electrical Activity by Topographic Mapping*. Annals of Neurology, Vol 7 No 5, May 1980
6. F. Perrin, J. Pernier, O. Bertrand, M.H. Giard and J.F. Echallier. *Mapping of scalp potentials by surface spline interpolation*. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, vol 66, pp. 75-81, 1987
7. William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery. *Numerical Recipes in C*. Cambridge Univ. PRESS, pp. 105-123, 1992