

▣ 연구논문

직선 고속 주행시 운전자의 뇌파가 프랙탈 차원에 미치는
영향: 카오스 이론을 중심으로
- Effects on Fractal Dimension
by Automobile Driver's EEG during Highway Driving
: Based on Chaos Theory -

이돈규*
Lee, Don Gyou
김정룡*
Kim, JungYong

Abstract

In this study, the psycho-physiological response of drivers was investigated in terms of EEG(Electroencephalogram), especially with the fractal dimensions computed by Chaotic algorithm. The Chaotic algorithm is well known to sensitively analyze the non-linear information such as brain waves. An automobile with a fully equipped data acquisition system was used to collect the data. Ten healthy subjects participated in the experiment. EEG data were collected while subjects were driving the car between Won-ju and Shin-gal J.C. on Young-Dong highway.

The results were presented in terms of 3-Dimensional attractor to confirm the chaotic nature of the EEG data. The correlation dimension and fractal dimension were calculated to evaluate the complexity of the brain activity as the driving duration changes. In particular, the fractal dimension indicated a difference between the driving condition and non-driving condition while other spectral variables showed inconsistent results. Based upon the fractal dimension, drivers processed the most information at the beginning of the highway driving and the amount of brain activity gradually decreased and stabilized. No particular decrease of brain activity was observed even after 100 km driving. Considering the sensitivity and consistency of the analysis by Chaotic algorithm, the fractal dimension can be a useful parameter to evaluate the psycho-physiological responses of human brain at various driving conditions.

* 한양대학교 산업공학과

1. 서 론

국내 자동차의 등록대수가 1000만대를 넘었고(1997), 한 해 평균 20만 건이 넘는 교통사고가 발생하고 있다. 또한, 운송수단 사고 사망자 중 자동차 사고 사망률이 93.4%에 이르고 있으며(건교부, 1997), 그 중 고속도로사고 발생 시 사망률이 일반 교통사고 사망률의 2.77배(건교부, 1997)에 달하고 있다. 이에 따라, 교통사고를 줄이기 위해 각계 각층의 다양한 조치가 이루어지고 있으나 근원적인 문제 해결은 미흡한 상태에 있다. 운전수행은 운전자, 자동차와 도로환경에 의해 결정되며, 이 외에도 날씨, 시간과 같은 주위 환경에 의해서도 결정되어 진다. 그리고 운전자의 반응은 주위 차량과 보행자, 운전자의 육체적, 정신적 상태, 날씨 등에 따라 변화하게 된다(이근희, 1985). 그러나 종래의 교통사고 방지 대책은 교통사고 발생원인(운전자, 차량, 도로환경) 중에서 최종 원인자라 할 수 있는 운전자에 대한 관심이 부족하였다고 할 수 있다.

최근 들어 Michon(1985), Brookhuis(1993), M. Helander (1975), 신용균의 4인(1995), 김정룡의 3인(1999) 등은 운전시 운전자의 생리신호를 측정하기 위하여 운전자 행동 및 반응 검지 시스템을 개발하였다. Goran et al(1993)은 장거리 트럭운전 중 야간 운전의 경우 뇌파 분석을 실시하였는데, 시간경과에 따라 alpha파와 theta파가 점차 증가함을 보고하였으며, 장시간의 야간 주행이 졸음운전을 유발할 가능성이 있음을 객관적으로 규명하였다. Michon(1985)은 운전을 하는데 있어 외부자극이 많은 경우에는, 정보를 처리하기 위한 주의 집중력이 요구되고, 그에 따라 각성수준은 증가하게 되며, 이러한 상황은 흔히 교차로에서 일어난다고 하였다. K. A. Brookhuis(1986., 1993.)는 기차나 자동차를 오랜 시간 운전하게 되면, 운전자의 활동은 감소하게 되며, 이것은 뇌파의 스펙트럼 분석에 의해 밝혀진 바와 같이 급속하게 감소하는 경향을 나타낸다고 하였다. 또한, 뇌전도 스펙트럼 theta band 와 alpha band에서 힘의 증가는 자동차를 운전하는 동안 수행능력의 감소와 일치된다고 하였다. 또한, 그는 고속도로 운전시 알코올의 영향에 관한 연구에서 alpha파와 theta파의 합을 beta파로 나눈 상대에너지 변수를 이용해 운전수행도의 감소와 동시에 alpha파와 theta파가 증가한다고 보고하였다. 이처럼 지금까지 운전 상황에서 뇌파에 대한 논의가 있었으나, 주로 주파수 분석에 의한 것이 대부분이었다.

그러나, 주파수 분석은 비선형적인 뇌파신호를 선형으로 근사하여 분석한 결과이기 때문에, 많은 비선형 모수를 포함하고 있는 뇌파를 설명하는 데에는 무리가 있을 수 있다. 그래서 운전자의 부하정도를 정량화 시키는데 있어 주파수 분석보다 민감한 정보를 제공하기 위해서는 뇌파와 같은 비선형 시계열 데이터의 성질을 고려한 비선형 방정식을 사용하는 것이 신호분석의 정확도와 정밀도를 높일 수 있는 방법으로 간주되고 있다.

비선형 뇌파 신호에 대한 논의는 May(1975)가 deterministic chaos의 개념을 제시하면서 1980년대 이후 활발히 이루어져 왔고, 그 결과, 뇌파가 결정적(deterministic) 비선형 시스템의 카오스(chaos) 신호임이 입증되어 졌다. (Accardo et al., 1997., Fell et al., 1996.). 또한 Accardo et al.(1997)은 뇌파분석 시 프랙탈 차원(Fractal Dimension)을 사용하여, 두 가지 다른 자극 상황에 대한 뇌파의 반응을 쉽게 구분할 수 있었다고 주장하였다. 그들은 raw signal의 noise 제거를 위하여 여러 가지 filtering 방법을 사용하여 분석한 결과를 비교하여 제시하였다. Fell et al.(1996)은 fractal dimension을 포함한 다른 비선형 분석 방법과 함께, 전통적인 주파수 분석을 병행하여 분석하면 시간 영역에서 직접적으로 수집된 뇌파데이터의 다른 상황을 구분하는 능력을 증진시킬 수 있다고 말하였다. Babloyantz(1985, 1986) 등은 각성상태, REM 수면, 수면단계에 있어서 뇌파, 간질환자의 뇌파에 대해서 상관차원에 대한 해석을 실시한 결과, 각성상태, REM 수면에서는 차원의 값이 수렴하지 않는다는 것, 수면단계에서는 각각 5.03, 4.05 차원정도라는 것이 보여졌다. 또, 간질 환자의 뇌파의 상관차원은 값이 낮게 된다고 하는 결과가 얻어졌다. Rapp (1989) 등은 휴식->일->휴식->일->휴식 이라고 하는 상태에서 뇌파를 측정하는 실험을 하였다. 그 결과, 각 단계에 있어서, $3.4 \pm 0.7 \rightarrow 4.8 \pm 0.2 \rightarrow 4.1 \pm 0.9 \rightarrow 4.8 \pm 0.9 \rightarrow 4.3 \pm 0.4$ 로

되어, 일을 부과했을 경우에 상관차원의 값이 증가하는 경향이 나타났다고 보고하였다. Dvorak(1986) 등은 눈을 뜰 때의 안정상태, 감았을 때의 안정상태를 Occipital lobe와 Central lobe에서 채취한 뇌파에 대해서 차원해석을 행했다. 그 결과, Occipital 에서의 뇌파에 대해서 추정된 상관차원은 그 값이 서서히 증가함에 비하여 Central lobe에서의 상관차원은 저하하는 경향이 있다고 보고하였다.

따라서, 본 연구에서는 실제의 정상적인 운전 상황에서 주변 도로 환경에 따른 운전자의 생리적/심리적 상태의 변화를 정량화하기 위하여 뇌파신호를 추출하고, 카오스분석을 실시하여 과연 카오스 분석결과에 따른 프랙탈 차원의 지수 값이 높은 민감도를 가질 수 있는지를 조사하기 위해 실험과 신호분석을 실시하였다.

2. 연구 방법

2.1 귀무가설

본 연구에서는 “비 운전상태, 고속도로 운전의 초반부, 중반부, 후반부 구간에서 뇌파 신호 경향성의 차이가 없다.”는 것을 귀무가설(Null hypothesis)로 설정하였고, 이를 통해 과연 뇌파신호가 운전 상황과 운전 시간에 따른 운전자의 뇌의 활동 상태를 구별해 낼 수 있는지를 조사하였다.

2.2 피실험자

실험은 신체 질환 특히 뇌 질환으로 인해 치료를 받은 적이 없고 색맹, 색약 등이 없는 시각 기능이 정상인 피실험자 10명을 대상으로 하였다. 또한 피실험자는 운전 면허를 취득한 후 실제 차량 운전 경력이 있는 사람을 대상으로 하였으며 그 중, 운전 경력이 1년 이하이거나, 지속적으로 운전을 하지 않은 사람은 제외 시켰다. 실험 당일에는 흡연, 커피나 알코올 복용을 하지 않도록 하였다. 피실험자의 인체측정자료는 표 1과 같다.

그림 1은 실제 주행 실험에서 뇌파 전극을 붙인 피실험자의 측면 모습을 보여준다.

표 1. 피실험자의 인체측정자료

	나이(세)	키(Cm)	몸무게(Kg)
평균	25.63	171.00	60.81
표준편차	1.93	3.54	5.45



그림 1. 피실험자의 뇌파전극 부착 모습

2.3 실험장비

본 연구를 위해 제작된 운전자 행동반응 검지차량(겔로퍼 V6- Gold)을 피실험자가 신갈-원주 고속도로를 직접 운전하여 신호를 추출하였다. 실험에 사용된 차량의 실제 모습을 그림 2에 나타내었다. 실험에 사용된 차량은 여러 장비의 진동에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 방진 설계하였다. 차량의 전후방 상황과 피실험자의 표정반응을 관찰하기 위하여 Panasonic 사의 WV-CP220 기종의 CCTV Camera 3대를 설치하여 기록하였다. 차량내부에 장착되어 있는 생리

신호 추출 시스템(Biopac사의 MP100시스템)을 이용하여 뇌파를 추출하였으며, 신호 추출시 뇌파의 sampling rate는 256Hz로 설정하였으며 뇌파는 각 채널별로 LPF(Low Pass Filter)는 30Hz, HPF(High Pass Filter)는 0.5Hz로 조정하여 신호를 추출하였다.

실험을 전반적으로 통제할 수 있도록 고안된 모니터링 시스템은 그림 3에 나타내었고, 뇌파 신호 추출 시스템의 모습은 그림 4에 나타내었다. 뇌파의 전극은 그림 5와 같이 10-20 국제 전극 배치법에 맞추어 설계된 Biopac사의 Cap Electrode를 사용하였으며, 전극 부착 부위는 Left Frontal(F3-F7), Right Frontal(F4-F8), Central(Cz-C3), Parietal(Pz-P3), Occipital(O1-O2), Left Temporal(T3-T4), Right Temporal(T4-T6) Lobe 등의 7개 채널을 사용하였다.



그림 2. 실험차량의 외관



그림 3. 실험차량의 모니터링 시스템

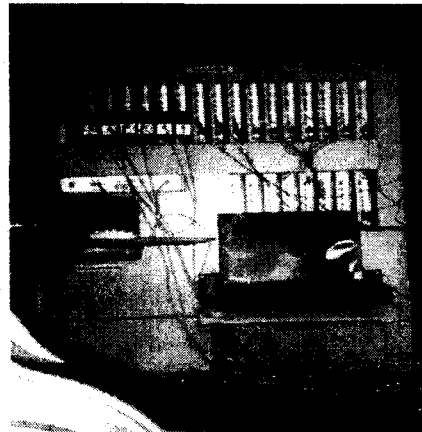


그림 4. 뇌파 데이터 추출 시스템

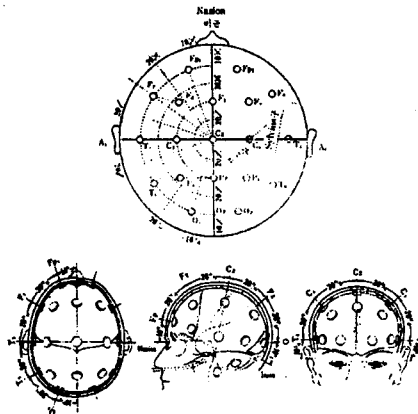


그림 5. 10-20 국제 전극 부착법

2.4 실험계획

고속도로 운전상황을 기준으로 데이터 분석 구간으로 설정한 휴식상태(비운전상태), 초반부 직선구간(4km구간), 중반부 직선구간(42km), 후반부 직선구간(92km)을 요인으로 하는 Within-subject design으로 설계하였다. 독립변수로는 각 분석구간이 사용되었고, 종속변수로는 각 구간에서 도출되는 프랙탈 차원의 지수 값으로 하였다.

2.5 실험절차

실험하기 전에 편안한 복장을 하게 하고 피실험자에게 실험의 목적과 주의 사항을 전달하였다. 신호추출을 위한 뇌파의 전극부착을 마친 후, 피실험자가 전극 부착상태에 익숙해지도록 하기 위하여 시운전을 30분간 실시한 뒤, 본 실험에 들어가게 되며 휴식상태의 생리 신호를 2분간 기록한 후 피실험자가 직접 신갈 ~ 원주간 영동고속도로를 운행하도록 하였다. 데이터의 수집 구간 내에서는 차선의 변경을 금지시켰으며, 속력은 약 100km/h 정도의 속도를 유지하며 정상주행을 요구하였다. 교통 소통량 등의 환경적 조건을 일정하게 하기 위하여, 실험시간은 평일 2시에 출발하도록 조정하였으며 비가 오지 않는 맑은 날에만 실험을 실시하였다. 실험이 끝나면, 다시 운전을 중지하고 안정상태의 뇌파를 측정하여 처음 측정한 뇌파신호와의 비교를 통해 뇌파의 안정성을 확인하였다.

2.6 데이터분석

처음 안정상태, 운전상황(초반부 직선구간, 중반부 직선구간, 후반부 직선구간), 운전상황이 끝난 후의 안정상태의 뇌파를 분석하였다.

실험에 의하여 추출된 뇌파 데이터는 1차원적인 시계열 데이터이므로 실제 뇌파의 특징이 왜곡(distortion)되어 보일 수 있으므로, 뇌파가 n 차원이라는 가정하에 Takens(1981)의 매립정리(embedding theorem)에 의하여 <식 2> 와 같이 n 차원 벡터열을 재구성하였다.

$$Raw\ signal = [X(1), X(2), X(3), \dots, X(M)] \dots\dots\dots <식1>$$

$$X_m = (x_m, x_{m+T}, \dots, x_{m+(n-1)T}) \dots\dots\dots <식2>$$

재구성된 벡터열은 상관 적분하여 매립된 점들간의 거리가 임의의 반경 r 내에 들어오는 개수를 세어 반경을 x축 점의 수를 y축으로 하는 Log-Log Plotting을 하였다. 위의 결과를 최소자승법에 따라 기울기를 구하여 상관차원을 구하였으며, 한 구간의 신호에 대하여 상관 차원 지수 값이 수렴할 때까지 벡터의 차원을 증가 시켰다.

<식 3>은 상관적분의 계산식을 나타낸다.

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (f(r - |X_i - X_j|)) \dots\dots\dots <식3>$$

이 때 수렴하는 상관차원 지수 값을 프랙탈 (fractal) 차원 지수로 하였고, 이러한 각각의 결과는 해당 데이터 추출 구간의 프랙탈 차원 지수의 범위를 알아보기 위하여 평균과 편차를 구하여 제시하였다.

3. 연구 결과

본 연구에서는 프랙탈 차원의 분석에 앞서 실험결과 얻어진 뇌파신호가 random한 신호가 아니라, 카오스계의 신호임을 보이기 위한 목적으로 끌개(attractor)를 3차원적으로 재구성하여 제시하였다. 그림 6은 운전자의 Occipital lobe에서 비운전 상황의 3 차원 끌개를 구현한 모습이며 그림 7은 동일한 lobe에서 운전 상황의 3차원 끌개를 구현한 모습이다.

그림 6과 그림 7은 지연시간을 4로 하였을 때의 끌개이며 비운전 상황에서의 끌개는 운전 상황의 끌개에 비하여 넓은 구간에 분포하고 있으며, 운전상황의 끌개는 비교적 조밀한 영역을 차지하고 있는 것을 볼 수 있었다. 또한 시작점을 중심으로 일정한 패도로 점들이 끌어당겨 지는 것으로 보아 본 연구의 실험에서 얻어진 데이터가 카오스적 성질을 보임을 확인할 수 있었다.

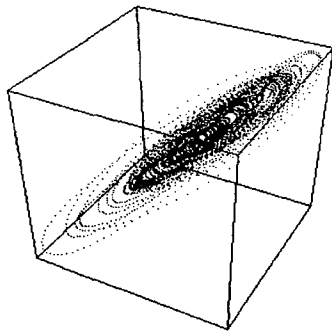


그림 6. Occipital Lobe의 비운전 상황의 3차원 끌개(attractor)

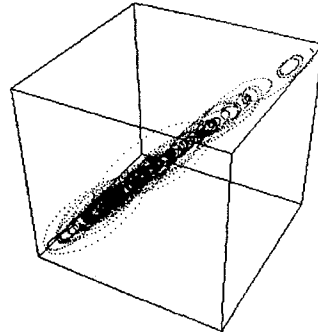


그림 7. Occipital Lobe의 운전 상황의 3차원 끌개(attractor)

3.1 상관차원(Correlation Dimension) 지수

상관차원은 뇌파가 몇 개의 결합 비선형 미분방정식(coupled nonlinear differential equation)으로 표현된다고 할때, 미분방정식에 필요한 변수의 개수를 의미한다. 물리적으로 뇌의 상태가 바뀔때마다 신호끼리의 유기적 결합의 정도가 달라지고, 이것이 상관차원의 값으로 표현되므로, 높은 상관지수가 요구될 때, 뇌파 신호간의 유기적 결합의 복잡성이 높다고 간주할 수 있다.

본 연구에서는 청각 영역을 담당하는 Temporal lobe와 시각 영역을 담당하는 Occipital lobe의 뇌파에 대해 상관지수를 구하였다. Temporal lobe에 있어서는 운전상황에서 9차원, 10차원에서 포화(saturation;상관지수값이 증가추세가 급격히 감소)되고 있음을 관찰할 수 있었으며, 특히 11차원 이상에서는 상관지수의 값이 더 이상 증가하지 않는 것을 볼 수 있었다(표 2, 그림 8). 또한 대체적으로 비운전 구간의 상관지수 값이 낮은 값을 갖는 것으로 나타났으며, 운전 구간에서는 운전 초반에 가장 높은 상관지수 값을 갖는 것을 알 수 있었다.

Occipital lobe의 경우 일반적으로 인간의 시각영역을 담당하는 것으로 알려져 있으며, 11차원 이상에서 더 이상 상관지수가 증가하지 않는 것을 볼 수 있었으며, 표 3에는 13차원까지만 나타내었다. 그림 9에서는 temporal lobe와 마찬가지로 비 운전상황에서 대체로 낮은 상관지수 값을 갖는 것을 볼 수 있었다. 운전의 초반부로 갈수록 높은 상관지수 값을 갖는 것을 볼 수 있었다.

표 2. Temporal lobe의 상관지수추이
(left lobe의 경우)

측두엽	비운전	초반 운전	중반 운전	후반 운전
5	2.4544	2.0962	2.728	2.9076
7	3.2518	3.3042	3.9189	4.3116
9	3.6526	4.4225	4.8361	5.0255
10	3.9115	4.9402	5.0076	5.0481
11	4.3383	5.390	4.9948	5.0481
12	4.3383	5.390	4.9948	5.0481
13	4.3383	5.390	4.9948	5.0481

표 3. Occipital lobe의 상관지수
추이

후두엽	비운전	초반 운전	중반 운전	후반 운전
5	1.8490	2.6646	2.2446	2.7921
7	2.7372	4.0963	3.3378	4.0568
9	3.7289	5.4079	4.4284	5.0501
10	4.2532	5.8382	4.8864	5.1835
11	4.7395	6.0667	5.2606	5.1835
12	4.7395	6.0667	5.2606	5.1835
13	4.7395	6.0667	5.2606	5.1835

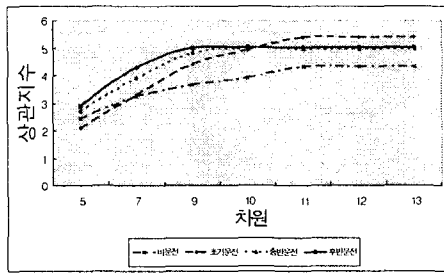


그림 8. temporal lobe의 상관지수
추이(left lobe의 경우)

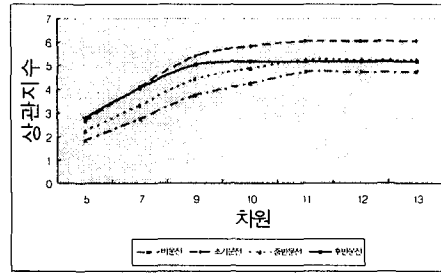


그림 9. Occipital lobe의 상관지수 추이

3.2 프랙탈 차원(Fractal Dimension) 지수

각 분석구간에서의 상관지수의 수렴 값을 fractal 차원 지수로 하였으며, 해당 데이터 추출 구간의 프랙탈 차원 지수의 범위를 알아보기 위하여 평균과 편차를 구한 결과가 표4와 표 5에 나타내었다. 표4와 그림 10을 보면, Temporal lobe 에서는 대체적으로 비운전 상황이 운전 상황에 비하여 낮은 값을 가지고 있으나, 중반부 운전이 비운전 상황 보다 낮은 프랙탈 차원 지수 값을 갖는 것을 볼 수 있었다.

또한, 표 5와 그림 11을 보면, Occipital Lobe에서 초반부 운전 구간에서 가장 높은 fractal 차원 값을 가지고 있으며, 비 운전상황에서 가장 낮은 프랙탈 차원 지수 값을 갖는 것을 볼 수 있었다.

표 4와 표 5에 나타난 fractal 차원 지수 값은 각 lobe 및 데이터 추출 구간에서 해당되는 뇌파만이 갖는 차원 값을 의미하고, 그 값이 높을수록 뇌에서 처리되는 정보처리의 복잡성이 커짐을 의미한다. 본 연구의 결과에서는 비운전 상황과 운전상황의 복잡성이 확연하게 나타났으며, 특히 초기 운전 상황에서 높은 프랙탈 차원 지수 값을 갖는 것으로 나타났다.

표 4. Temporal lobe의 각 상황별 프랙탈 차원 지수(left lobe의 경우)

운전상황	프랙탈 차원 지수
비운전	3.834794±0.157915
초반운전	4.557308±0.459861
중반운전	3.504745±0.09345
후반운전	3.99925±0.389066

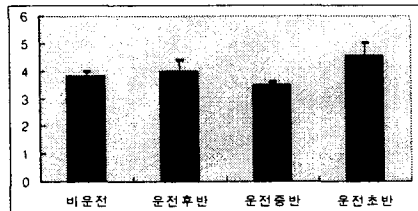


그림 10. Temporal lobe의 상황별 프랙탈 차원 지수(left lobe의 경우)

표 5. Occipital lobe의 각 상황별 프랙탈 차원 지수

운전상황	프랙탈 차원 지수
비운전	3.97965±0.312616
초반운전	5.099129±0.405779
중반운전	4.767729±0.218908
후반운전	4.491109±0.416541

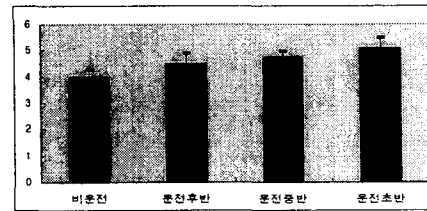


그림 11. Occipital lobe의 상황별 프랙탈 차원 지수

3.3 주파수 분석과의 비교

본 연구에서는 기존의 뇌파 분석시 사용되어온 주파수 분석의 결과와 프랙탈 차원 지수의 분석 결과를 비교하였다. 그림 12는 본 연구의 결과 도출된 Occipital lobe 와 Temporal lobe의 프랙탈 차원 지수를 동시에 나타낸 것이며, 그림 13은 주파수 분석 결과 도출되는 alpha 파와 beta 파의 비로써 운전 상황의 각성정도를 나타낸 그림이다(김정룡 등, 1999). 그림13에서 보는 바와 같이 Occipital lobe의 경우는 비운전상황과 운전상황의 확연한 구분을 찾을 수 있다. 그러나 Temporal lobe의 경우에는 비운전상황이 중반부 운전 상황에 비하여 높은 각성정도를 보이는 것으로 나타난다. 이는 주파수 분석에 의한 결과의 해석이 상식적으로 받아들이기 어려운 경우가 발생하고 이는 주파수 분석의 변이도의 크기에 기인하는 현상의 예라고 할 수 있다.

그림 14의 경우도 각 운전 상황별 beta파를 보여주고 있으나, 이 경우 비 운전상황과 운전 상황을 비교할 때 어느 lobe를 선택하는가에 따라 상이한 결과를 보여주고 있다.

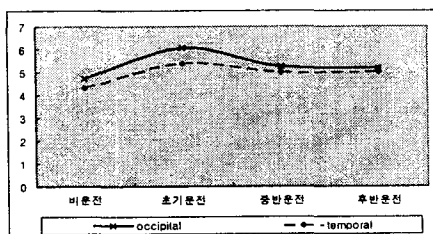


그림 12. 각 상황별 뇌 부위별 프랙탈 차원 지수

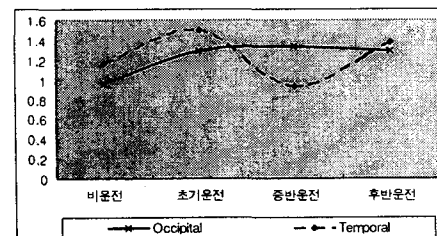


그림 13. 각 상황별 beta/alpha 분석

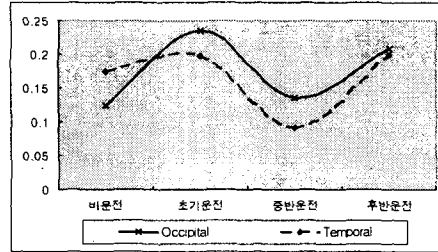


그림 14. 각 상황별 beta파 분석

4. 토 의

본 연구에서는 제시되는 도로 환경에 따라서 운전자의 각성정도를 알아보기 위하여 뇌파 신호를 추출하였으며, 결정적 카오스(deterministic chaos)를 나타내는 비선형 시계열 신호인 뇌파를 분석하기 위하여 프랙탈 차원의 지수를 구하였다. 그 결과 일정하게 비 운전상태의 프랙탈 차원 지수가 운전상태의 프랙탈 차원 지수보다 낮은 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 이를 설명하면, 운전상황에서, 소위 매립공간(embedding space)에서 주어진 반경 내에 들어가는 데이터들의 수가 많아지게 되고 이는 다시말해 뇌에서의 정보처리량이 많아지거나 혹은 감성활동이 활발해지는 등, 뇌 활동의 복잡성(Complexity)이 늘어 나는 것으로 판단할 수 있다. 한편, 운전상황과 비 운전상황간의 fractal 차원 값을 해석하기는 비교적 용이하지만 각 운전상황별 차이는 보다 조심스러운 해석이 필요하다. 즉, 본 연구의 결과에서 Occipital Lobe와 Temporal Lobe에서 모두 운전의 초반부에서 가장 높은 fractal 차원 값을 가지고 상대적으로 비 운전상황에서는 프랙탈 차원 지수 값이 낮은 경향을 보였다. 이를 해석해 보면, Occipital Lobe는 주로 시각반응과 관련이 있으므로, 운전의 초반부에 운전자의 뇌에서 시각적으로 많은 정보처리를 요구한다고 생각할 수 있겠고, Temporal Lobe는 주로 청각 반응과 관련이 있으므로, 운전자가 실험의 초반부에 청각적으로 더 많은 영향을 받았다고 볼 수 있다. 단, Occipital lobe에 비하여 Temporal lobe에서 비 운전 상황의 프랙탈 차원 지수가 비교적 높은 값을 갖는 것을 볼 수 있었는데, 이는 비운전 뇌파 측정시 눈을 감고 측정하였으므로 청각자극이 시각자극에 비해 상대적으로 높은 영향을 준 것으로 사료된다.

시계열 데이터의 프랙탈 차원(fractal dimension)의 계산은 방대한 계산량을 요구한다. 즉, n 차원에서 상관차원을 구하려면 데이터 수가 $10^{\frac{n}{2}}$ 개 이하에서는 오차를 피하기 어려워진다 (Eckmann et al., 1992). 본 연구에서는 sampling rate를 256Hz로 정하여 데이터를 추출하였고, 현실적으로 Eckmann의 주장에 맞는 데이터를 분석에 적용하기는 무리가 있었다. 만일 Eckmann의 주장대로라면, 10차원 상관지수를 구할 경우 최소한 10만개의 데이터가 필요하게 된다. 이는 실제 실험상황에서는 256Hz에서 약 7분 가량의 뇌파 데이터 분량과 맞먹는다. 그러므로 더욱 정확한 결과를 얻기 위해서는 이러한 데이터수의 문제를 해결하는 연구가 필요하다.

Fractal Dimension 분석에서 고려할 사항 중에 지연시간(delay time)이 있다. 많은 연구자들이 최적 지연시간을 구하기 위하여 다양한 노력을 들여 왔다. 그 대표적인 방법으로 y축에 $d(\log[C(r)]/\log C(r))$ 값을 x축에 $\log C(r)$ 값을 놓아서 그때의 국소 기울기의 평원을 최대로 할 때의 지연시간을 사용하는 방법을 들 수 있다. 일반적으로 지연시간이 5이상이면 위의 식에 해당하는 그래프에서 계곡이 생겨 평원이 점차 사라지게 되어 상관지수를 과소 평가하게 되고, n이 너무 작으면 국소 기울기에서 평원을 찾아 볼 수가 없어 상관지수를 과대 평가 하게 된다(류창수 외, 1998). 그래서 상관차원의 계산에 앞서 몇 번의 시행착오 끝에 최적 지연시간을 구한 뒤 프랙탈 분석을 하게 된다. 본 연구에서는 지연시간을 4로 하여 분석하였으며, 그 때의 국소 기울

기 그림의 예를 아래와 같이 나타내었다.

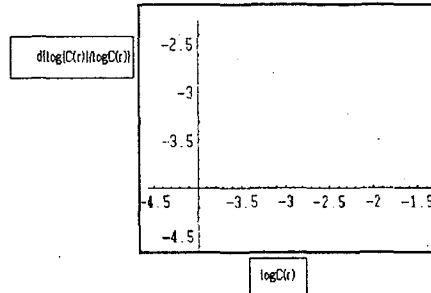


그림 20. 국소 기울기 그래프의 예

뇌파의 카오스 분석은 뇌파신호가 과연 결정적 카오스 신호인지 여부를 우선적으로 고려해야 한다. 만일 뇌파신호가 random한 신호라면 데이터들간의 correlation이 전혀 없으므로 모델링(modeling) 하려면 무한대의 변수가 필요하게 된다. 그러나 뇌파가 결정적 카오스 시스템에서 만들어진 신호라는 사실은 뇌파가 몇 개의 쌍으로 이루어진 비선형 방정식으로 표현할 수 있다는 것을 의미한다. 이때 correlation dimension은 미분 방정식에 필요한 변수의 개수를 의미한다. 또한 뇌의 상태가 바뀔 때마다 correlation dimension의 값이 바뀌는 것을 통해 뇌의 상태가 변할 때마다 coupling의 정도가 달라진다는 것을 알 수 있다. 따라서 뇌가 정보를 처리하거나 여러 가지 기능들을 수행할 때 몇 가지 요소들이 서로 유기적으로 결합하고 coupling 되어 처리함을 알 수 있고, 각각의 뉴런들의 이러한 일관성(coherency)이 뇌의 기능을 연구하는데 중요한 요소임을 알 수 있다(포항공과대학교 뇌연구센터, 1998). 그러므로, 본 연구의 결과에서처럼 비 운전상황이 운전 상황보다 낮은 상관차원의 값을 갖는다는 것은 뇌를 미분 방정식으로 표현할 때, 필요한 변수의 개수가 적다는 것을 의미하고, 높은 상관차원의 값을 갖는다는 것은 필요한 변수의 개수가 많다는 것을 의미한다. 따라서 운전상태에서 뇌의 정보처리가 휴식상태의 정보처리보다 더 복잡한(complex) 정보처리 과정을 갖는다는 사실을 정량적으로 보여준다고 할 수 있다. 그러나, 운전 상황간의 상관차원의 값의 차이가 비운전상황과의 차이만큼 확연한 결과를 볼 수는 없었다. 이는 추출된 구간이 모두 직선구간이기 때문에 큰 차이를 볼 수 없었던 것으로 생각할 수 있다. 만일, 서로 판이하게 다른 운전상황이나 도로 환경 하에서 상관지수의 비교를 실시한다면, 차이가 명확히 구분될 것으로 예상된다.

본 연구의 결과 중 frontal lobe의 결과는 일반적인 카오스 계에서 나타나는 성질을 보이지 못했다. 그 이유로써 frontal lobe의 전극 부착 위치가 눈과 가깝기 때문에 추출된 뇌파 신호가 순수한 뇌파신호가 아니라, 눈감박임으로 인한 noise가 포함되어 있기 때문으로 생각 할 수 있다. 그러므로 보다 정확한 뇌파의 영향을 알아보기 위해서는 뇌파 분석에 앞서 반드시 기계적인 필터링과 함께 이상신호를 software 적으로 제거해서 분석하는 것을 고려해야 한다. 본 연구의 결과를 기초로 하여 더 많은 피실험자와 다양한 운전상황에 대한 실험 및 분석이 이루어진다면 다양한 구간에 대한 프랙탈 차원 지수의 데이터 베이스를 통하여 해당 주행환경에 반응하는 운전자의 뇌 활동도에 대한 정보를 구할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 운전자의 심리 생리 반응과 외부 환경 정보를 정량적으로 측정할 수 있는 차량 및 부대 장비를 이용하여 주행 상황에 따른 운전자의 심리 생리적 변화를 분석하였고, 특히 추출된 뇌파 분석의 민감도를 높이기 위해 프랙탈 차원 지수를 모수(parameter)로 사용하여 운전자 뇌파의 복잡성(complexity) 정도를 평가하였다. 이러한 시도는 안전 주행 상태 시 정상 운전자의 생리 신호 특성에 관한 data base를 구축하는데 사용되어질 수 있을 것으로 기대되고, 나아가 도로 기하 구조 및 외부 환경으로부터 유발되는 운전자의 심리 생리적 반응을 수리, 통계적인 모델로써 정량화 할 수 있는 방법으로 사용될 수도 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 교통사고 조사자료, <http://www.kaais.or.kr>, 1997.
- 김정룡, 이돈규, 광종선, 윤상영, "고속도로 직선구간별 운전자 생리 반응 분석", 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, pp 7-10, 1999.
- 류창수, 김승환, 박선희, 황민철, "청각 자극에 의한 감성상태의 뇌파에 대한 상관차원 추정", 정보과학회 논문지(B) 제 25권 제 2호, pp408-416, 1998.
- 신용균, 오애령, 이진호, 강수철, 이순철, "여행시간과 속도가 운전자 운전부하에 미치는 영향", 도로교통안전협회, 1995.
- 장명순, 김정룡, 윤상영, 광종선, 이돈규, 김창모, 고종대, "자동차 주행 환경에 따른 운전자 심리 생리 반응 검지 차량 구축", 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, pp 82-85, 1999.
- 이근희, "교통안전", 창지사, 1985.
- 포항공과대학교 뇌연구센터, "Brain school 강의록", pp36-44, 1998.
- Accardo, A., Affinito, M., Carrozzì, M., and Bouquet, F. "Use of the Fractal Dimension for the Analysis of Electroencephalographic Time Series", Biological Cybernetics, vol 77., pp339-350, 1997.
- Babloyantz, A., Salazar, J.M., and Nicolis, C., "Evidence of Chaotic Dynamics of Brain Activity During the Sleep Cycle.", Phys. Lett., 111 a, 3, pp152-156., 1985.
- Babloyantz, A. and Destexhe, A., "Low-Dimensional Chaos in an Instance of epilepsy.", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 83, pp 3513-3517, 1986.
- Brookhuis, K. A., De Waard, D., and Mudler, L.J.M., "Measuring Driving Performance by Car-Following in Traffic", Ergonomics, 1993.
- Cooper, R. Osselton, J.W., and Shaw, J.C., "EEG Technology", Butterworths, 1980.
- Cristie, B., Delafield, G., Lucas, B., Winwood, M., and Gale, A., "Stimulus Complexity and the Electroencephalogram: Differential Effects of the Number and the Variety of Display Elements", Canadian Journal of Psychology, vol. 26, pp155-170, 1972.
- Dvorak, I. and Siska, J. , "On Some Problems Encountered in the Estimation of the Correlation Dimension of the EEG", Physical Letters A, 118, 2, 63-66., 1986.
- Eckmann, J. P. and Ruelle, D., "Fundamental Limitations for Estimating Dimensions and Lyapunov Exponents in Dynamical Systems.", Physical Letters A 145, pp 225-231, 1990.
- Fell, I., Roschke, J., Mann, K., Schaffner, C., "Discrimination of Sleep Stages : a Comparison Between Spectral and Nonlinear EEG Measures.", Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., vol. 98. pp 401-410. 1996.

- Grassberger, P. and Procaccia, I., "Measuring Strangeness of Strange Attractors", Physica D 9, pp 189-208, 1983.
- Goran Kecklund and Torbjorn Akerstedt, "Sleepiness in Long Distance Truck Driving: an Ambulatory EEG Study of Night Driving", Ergonomics, vol. 36, No. 9, 1993.
- Louwerens J. W., Brookhuis K. A. & O'Hanlon, J. F., "The Relationship Between Drivers' Blood Alcohol Concentration & Actual Driving Performance During High Speed Travel", Alcohol, Drugs & Traffic Safety, 1987.
- May, R., "Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics, Nature, p 261., pp 459-467, 1976.
- Michon, J. A., "A Critical View of Driver Behavior Models ", Human Behavior and Traffic Safety, pp 485-524, 1985
- Rapp, P. E. , Bashore, T. R. , Martinerie, J. M. , Albano, A. M. , Zimmerman, I. D., and Mees, A. I., " Dynamics of Brain Electrical Activity.", Brain Topography, 2, 1 & 2, pp 99-118, 1989.
- Takens, F., "Detecting Strange Attractors in Turbulence.", in Lecture Notes in Mathematics, vol.898 edited by Rand, D. A. and Young L. S., pp 366-381, Springer, Berlin, 1981.