

# 단순 지적과업 중 인간과오 관련 심리생리학적 특성의 변화

임 현 교

충북대학교 공과대학 안전공학과  
(2009. 4. 30. 접수 / 2009. 6. 17. 채택)

## Variation of Psychophysiological Characteristics Related with Human Errors during a Simple Pointing Task

Hyeon-Kyo Lim

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received April 30, 2009 / Accepted June 17, 2009)

**Abstract :** During a learning process, a human being is assumed to experience knowledge-based behaviors, rule-based behaviors, and skill-based behaviors sequentially if Rasmussen was right. If any psycho-physiological symptom to those different levels can be obtained, it can be useful as a measure whether a human being is fully trained and has gotten a skill in his work. Therefore, this study aimed to draw relationships between human performance measures and psycho-physiological measures while committing a computer-simulated pointing task by utilizing the power spectrum technique of EEG data, especially with the ratio of relative beta-to-alpha band power. The result showed that, during correct responses, the ratio came to stabilize as all the performance data went stable. However, response time was not a simple linear function of task difficulty level only, but a joint function of task characteristics as well as behavior levels. Comparing relative band power ratios from errors and correct responses, activated states of one's brain could be explained, and characteristics of the task could understood. To tell that of pointing task, correlations around C3, C4, P3, P4 and O1, O2 area were significant and high in correct response cases whereas most correlation coefficients went down in error cases standing for imbalance of psycho-motor functions. Though task difficulty was the only one factor that could influence on relative band power ratio with statistical significance, it should be comprehended to mean a different way of expression indicating task characteristics since at least error-some situation could be explained with the help of relative band power ratio that absolute band power failed.

**Key Words :** human error, psycho-motor activity, pointing task, spectral analysis, EEG, learning effects

### 1. 연구 필요성 및 목적

인간의 행동은 정보처리와 의사결정의 연속이라고 볼 수 있다. Rasmussen은 이 과정을 3수준의 인간 행동 모델, 즉 기술-규칙-지식 모델(Skill-Rule-Knowledge Model; SRK Model)을 도입하여 설명하고자 하였다<sup>1-3)</sup>. 그는 과업의 난이도에 따라 인간의 행동은 서로 다른 인지 수준의 제어 하에 이루어진다고 가정하였는데 그의 주장에 따르면, 기술기반행동(Skill-based Behavior)은 다소 저장된 행동 패턴에 의하여 이루어지는 행위로서, 예를 들면 원자력 발전소 핵연료봉의 삽입이나 제거, 또는 크레인 운전 등과 행위가 해당된다고 한다. 따라서 기술기

반행동의 중요한 특징은 표시장치를 통하여 제시되는 신호의 의미에 대하여 해석할 필요가 없다는 것이다. 그래서, Goodstein<sup>4)</sup>은 기술기반행동이란 빈번히 반복되는 과업에 대하여 전형적인, 고도로 훈련된 '자동화된' 행동의 연속이라고 설명하였다.

한편, 규칙기반행동(Rule-based Behavior)이란 저장된 규칙 속에서 조금 더 의식적인 노력을 요하는 인식-동작 행동을 말하는데, 기계기구의 영점 조정(calibration) 작업을 예로 들 수 있다. Goodstein<sup>4)</sup>은 규칙기반행동에는 일련의 규정된 과업을 의식적으로 제어할 필요가 있는, 친숙하지만 조금 더 복잡한 장시간 작업이 해당된다고 하였다.

끝으로, 지식기반행동(Knowledge-based Behavior)은 당면한 상황이 상당히 친숙하지 않은 경우로서, Goodstein<sup>4)</sup>은 이러한 상황을 타개하기 위해서는 의

식적인 문제해결과정이나 지식기반행동이 요구된다고 설명하였다. 따라서, 이 수준의 행동에서는 당면 상황을 이해하고, 분석하며, 그에 상응하는 의사결정이 요구된다.

인간의 학습 과정을 이 이론에 따라 설명하자면, 학습 과정은 지식기반행동, 규칙기반행동, 기술기반행동의 단계를 차례대로 경험하게 된다는 의미이기도 하다. 본 연구는 이와 같은 점에 착안하여 학습과정 중에 발생하는 과오 특성과 뇌파를 비교하여 분석함으로써, 심리-운동(psycho-motor) 과업 수행시에 경험하게 되는 과오의 심리생리학적 특성을 이해하는 한편, 그 특성들을 가지고 단순 지적과업의 과오 여부를 예측할 수 있는가를 파악할 목적으로 수행되었다.

## 2. 선행 연구 동향

인간과오는 주관적이고 심리적이라는 특성 때문에 일회성(一回性)이라고 간주되어 왔다. 특히 인간의 정보처리과정 중 어느 과정에서 과오가 발생하는지가 본인 이외에는 이해하기 곤란하여 과오에 방을 위한 대책의 수립과 시행에 별다른 효과를 보여주지 못하였다.

그러나, 최근 대뇌생리학을 비롯한 심리생리학적 분석기법의 비약적 발달은 인간과오의 메커니즘을 파악하는 실마리를 제공하여 왔다.

### 2.1. 인간의 의식수준과 인간과오

뇌파는 주파수 특성에 따라 베타( $\beta$ )파, 알파( $\alpha$ )파, 세타( $\theta$ )파, 방추파(紡錘波), 그리고 델타( $\delta$ )파로 분류되며, 인간 의식수준은 이 변화와 매우 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려져 왔다.

일반적으로 뇌의 흥분상태, 즉 뇌세포가 활발하게 활동하여 풍부한 정신기능을 발휘하고 있는 때에는 전반적으로 13~30Hz의 주파수를 가지는 베타( $\beta$ )파가 우세하다. 또, 알파( $\alpha$ )파는 가장 일반적이고 대표적인 뇌파로서, 뇌 자체가 편안하게 즐기고 있을 때에 나타나는 8~13Hz 정도의 뇌파이다. 세타( $\theta$ )파는 알파파보다도 의식수준이 저하된 뇌파를 나타내는데, 주파수는 5~8Hz의 느린 파형을 주성분으로 하는 것으로, 의식의 몽롱함이 더욱 심해지고 졸림도 더욱 심해져서 결국 과오를 저지르게 쉽다.

한편, 방추파라든가 0~4Hz의 델타( $\delta$ )파는 수면 중에 나타나는 뇌파로서, 이 파형을 통하여 얼마나

깊이 잠들었는지를 알 수 있다. 이처럼 뇌파에 나타나는 파형은 나름대로 의식수준과 밀접한 관계를 가지고 있다.

橋本邦衛<sup>5)</sup>는 뇌파를 근거로 인간행동 특성을 분석하여 의식수준을 다섯 수준으로 나누고, 각 수준에 관련된 인간의 과오 특성을 설명하였다. 즉, 델타( $\delta$ )파나 방추파가 우세하게 관측되며 의식이 없는 상태인 0수준, 의식이 몽롱한 상태에서 세타( $\theta$ )파가 우세하게 관측되는 I수준, 의식이 이완된 상태이지만 수동적이고 내향적인 성격을 띠며 알파( $\alpha$ )파가 우세하게 관측되는 II수준, 의식이 명쾌한 상태로서 능동적이고 전향적인 주의 활동 수준을 보여 주어 베타( $\beta$ )파가 우세하게 관측되는 III수준, 흥분상태로서 주의가 한 곳에 집중되며 사실상 판단이 정지되고 베타( $\beta$ )파나 전간(癲癇)파가 우세하게 관측되는 IV수준으로 구분하였다. 그의 주장에 따르면 인간의 의식수준 IV에서 과오 발생의 확률이 가장 높으며, 그 다음에 차례로 I, II, III수준 순으로 과오 발생률이 높으며 각 수준에서의 과오의 특성도 서로 다르다고 하였다.

### 2.2. P300과 Error Related Negativity

이에 비하여 유럽에서는 주로 인간의 주의(attention)에 관련된 사상유발전위에 관한 연구가 수행되어 왔다. 즉, 입력자극에 대한 인간의 각성수준의 변화는 서서히 변동하는 지속적(tonic) 변화와, 외적자극 등에 의해 급격히 발생하는 일과성(phasic) 변화로 나눌 수 있는데, 최근까지도 일과성 변화 중 유발전위(Evoked Potential) 또는 사상관련전위(Event Related Potential)를 지표로 하는 주의 연구가 급격히 증가하여 왔다.

그 중에서도 인간과오와 관련하여 가장 주목할 만한 것은 P300이었다. 이것은 자극 제시로부터 약 300 msec 후에 사상관련전위에 나타나는 팔복할 만한 양(+) 전위를 말하는데, 이 성분은 작업자의 주의수준이 높아짐에 따라 진폭이 증대하며, 잠재기(latency)는 제시자극의 난이도에 따라 증가하기 때문에 작업의 인지과정을 평가할 수 있는 중요한 단서를 제공한다<sup>6)</sup>고 알려져 있어, 많은 연구자들이 P300을 방법론으로 하여 인간의 인지과정에 대하여 연구해 왔다.

이러한 연구 성과 중 인간과오와 관련된 것으로는 사상관련전위 중 ERN(error-related negativity) 또는 NE(error negativity)라 불리는 현상을 들 수 있다.<sup>7,8)</sup> 이것은 인간의 과오 검출(detection), 과오 억

제(inhibition), 즉각적인 보정(correction), 혹은 과오 보상(compensation)에 관계된 사상관련전위로서, 피 실험자가 과오를 범할 때의 뇌파반응을 같은 위상 으로 가산평균했을 때 나타나는 음(-)의 전위로서 진폭은 대체로 10 $\mu$ V이고, 과오반응에 관련된 EMG 활동의 시작으로부터 약 150msec 후에 정점에 이 른다<sup>9)</sup>.

그러나, 이러한 방법들은 모두 가산평균법(summing average)을 활용하지 않으면 신호를 볼 수 없 는데, 인간의 과오는 매우 드문 사상이기 때문에 업선된 파형을 보기까지 많은 노력을 요하며, 결과 적으로 인간과오를 연구하는 데에는 효율적인 방 법이라고 하기 곤란하다<sup>10,11)</sup>.

저자는 이러한 문제점을 극복하고자 순간적인 제시 자극에 따른 개별적 뇌파의 변화보다는, 과오 를 유발하기 쉬운 과업 특성과 뇌파 변화 특성과 의 관계에 대하여 초점을 맞추어 연구를 수행한 바 있다<sup>12)</sup>. 그 결과에 따르면 뇌파의 밴드 파워비에 영 향을 미치는 요인으로 피실험자 요인과 피실험자 $\times$  과업의 교호작용 요인이 제기되었으며 전자는  $\beta$ 파 워비에, 그리고 후자는  $\alpha$ 파워비에 더 영향을 미치 는 것으로 파악되었다. 과업에 따른 뇌파 파워비의 변화는 통계적으로 유의할 만큼 크지는 않았으나, 과업의 특성에 따라 각각 다른 패턴을 보였으며, 영 문자를 디코딩(decoding)하는 작업이, 반응 규칙을 상기하여야 하지만 화살표를 이용하는 작업보다 더 낮설어 이질적인 반응을 초래하였다는 사실을 확 인할 수 있었다. 따라서, 결과적으로 반응 유형에 따른 뇌파 파워비의 변화에는 과업의 난이도가 반 영된다고 판단되었다.

본 연구에서는 과업을 지적 행위로 단순화하는 대신 과업의 난이도를 조절하여, 동일한 특성의 과 업을 반복적으로 수행하는 동안에 발생하는 학습 과정에서의 과업 수행 결과와 뇌파 변화를 비교함 으로써 Rasmussen이 주장하는 지식기반행동, 규칙 기반행동, 기술기반행동의 변화를 객관적으로 파악 할 수 있는가를 확인하고자 하였다.

### 3. 연구 방법

연구에 이용된 방법은 컴퓨터와 마우스를 이용 한 단순작업 수행실험이었으며, 주요 내용은 다음 과 같다.

#### 3.1. 과업 및 과업 수행도

피실험자에게 요구된 과업은 Fig. 1에서 보는 바 와 같이, 컴퓨터 화면상의 특정 위치에 놓인 카드 형상의 대상물을 마우스로 클릭하여 지정된 위치 로 이동시키는 단순 지적(pointing) 과업으로 하여, 과업의 특성을 최소한으로 단순화시켰다.

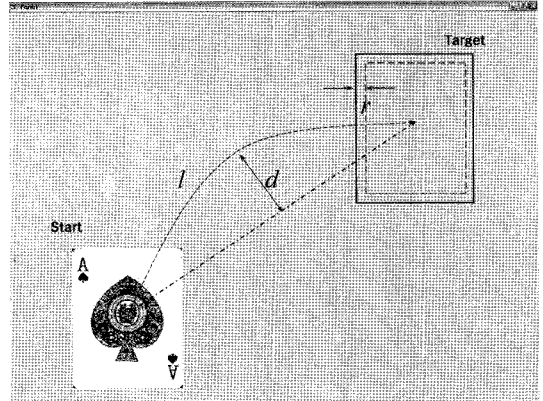


Fig. 1. Simulated screen layout for the experimental task.

이 때 목표의 크기는 7.4 $\times$ 9.9cm(282 $\times$ 376pixels) 의 크기로 일정한 반면 카드 모양 커서의 크기를 변화시켜, 목표(target) 면적에 대한 카드 모양 커서 면적의 비를 각각 60, 70, 80, 90%가 되도록 설정 하여 난이도로 간주하였다.

한 가지 과업은 1인당 소요시간 약 2시간 정도 에 걸쳐 1,200회씩 반복되었고, 분석시에는 총 실험시간 120분을 각 1분씩 120개의 구간으로 나누어, 각 구간마다 1회의 정상적 반응에 대한 관련 자료를 추출하는 한편, 각 구간마다 관측된 과오 관련 자료를 1회씩 샘플링하여 뇌파와 비교, 분석하였다. 이러한 실험을 각 실험자마다 매일 같은 시간대에 1일당 한 가지 과업씩 총 4일에 걸쳐 무작위순으로 4개의 난이도 수준에 대하여 반복토록 하였다.

과업 수행도는 목표의 가장자리에 카드 형상 커 서가 닿은 것은 모두 과오로 간주하였으며, 정상적 인 반응의 경우에는 이동 시점 중점부터 종점 중 점까지의 실제 이동 궤적 길이(trace)  $l$ , 시점 중심 과 종점 중심간 최단 직선으로부터의 편차(deviation)  $d$ 를 근거로 비교하였다.

#### 3.2. 생리학 척도 및 자료 처리

작업자의 심리생리학적 반응은 (주)락싸(LAXTHA) 의 PolyG 시스템(모델 PolyG-I)을 이용하여 뇌파 (Electroencephalogram, EEG)를 측정하였는데, 기준

(reference) 전극은 오른쪽 귓볼(earlobe)로 하였으며, 접지(ground) 전극은 이마 정중앙에 위치시켰다. 분석에 이용된 신호는 국제적 기준인 10/20 시스템의 원칙에 따라 F3(左前頭部), F4(右前頭部), C3(左中心部), C4(右中心部), P3(左頭頂部), P4(右頭頂部), O1(左後頭部), O2(右後頭部) 등 8곳에 장착된 Ag/AgCl 전극으로부터 얻어진 뇌파를 250Hz의 주파수로 샘플링하였으며, 이후 4~50Hz의 band pass filter로 필터링(filtering)하여 수면파와 관계된  $\delta$ 파를 제외시키고, 스펙트럼(spectrum)을 구하여  $\theta$ 파(4~8 Hz),  $\alpha$ 파(8~13Hz),  $\beta$ 파(13~30Hz),  $\gamma$ 파(30~50Hz)의 파워 성분만을 추출하였다.

피실험자의 반응은 총 수행 시간 120분을 각 1분간으로 구간을 구분하여 파워 스펙트럼을 구한 후, 그 결과를 과업 수행도와 비교하였다.

### 3.3. 피실험자

실험에는 평균 연령 24.3±5.8세의 20대 남자 대학생 3명이 유급 피실험자로 참여하였으며, 그들의 교정 시력은 모두 1.0 이상으로 과업 수행에는 지장이 없었다. 피실험자는 컴퓨터 화면으로부터 1m 떨어진 의자에 앉아 과업을 수행하였다.

각 피실험자는 각기 다른 날에 난이도가 다른 과업을 수행하게 하였는데, 작업 전후 약 5분간의 휴식을 사이에 두고 과업당 순수 지속시간은 2시간으로 하였다.

## 4. 분석 및 고찰

실험 결과를 분석함에 있어서 초점이 맞춰진 것은 각 주파수 대역의 뇌파가 갖는 파워이었다. 뇌파 분석에는 절대파워(absolute power)의 변화가 인간과오 관련 뇌파의 분석에는 적절치 못하다고 판단되었으므로<sup>10-12)</sup>, 관련 주파수 밴드의 변화가 가장 두드러지게 반영되는 알파 밴드 파워에 대한 베타 밴드 파워의 비(이하, 밴드파워 비)를 이용하였다.

### 4.1. 정상적인 반응

정상적인 반응에 대해서 과업 수행도를 분석한 결과에 따르면, 피실험자의 반응시간에 대하여 분산분석을 실시한 Table 1에서 보는 바와 같이 반응시간은 피실험자(subject) 요인과 난이도(difficulty) 요인, 그리고 피실험자×난이도(subject×difficulty) 교호작용에 의하여 통계적으로 유의한 영향을 받고 있음이 확인되었다( $p < 0.05$ ).

Table 1. ANOVA result on response time

Factors	SSE	d.f.	MSE	F	sig. level
subject	1.996	2	.998	28.894	.000
difficulty	43.871	3	14.624	438.997	.000
repetition	4.500	119	.038	1.155	.223
subject×difficulty	3.476	6	.579	16.497	.000
subject×repetition	8.222	238	.035	.984	.555
difficulty×repetition	11.892	357	.033	.949	.714
subject×difficulty×repetition	25.075	714	.035	.	.

Note) SSE ; Sum of Squared Errors  
 d.f. ; degree of freedom  
 MES ; Mean Squared Errors  
 F ; F statistic value  
 sig.level ; significance level

이와 같은 성향은 이동 시점 중점부터 종점 중점까지의 실제 이동 궤적거리  $l$ , 시점 중심과 종점 중심간 최단 직선으로부터의 거리  $d$ , 거리  $d$ 의 표준편차  $s_d$ , 그리고 거리  $d$ 의 최대값  $d_{max}$ 에서도 확인할 수 있었으나( $p < 0.05$ ), 다만  $s_d$ 의 경우 피실험자×난이도(subject×difficulty) 교호작용은 통계적으로 유의하지 않았다( $p = 0.547$ ).

이와 같은 성향을 그림으로 확인한 것이 Fig. 2이다. 이 그림에 따르면 Table 1에서 본 바와 같이 통계적으로 유의하지는 않다고 하더라도( $p = 0.223$ ), 시간이 경과함에 따라 즉 반복횟수가 증가함에 따라 반응시간의 감소 경향을 확인할 수 있었다. 다시 말해, 실험 과업에 대한 학습효과가 나타나고 있는 셈이다.

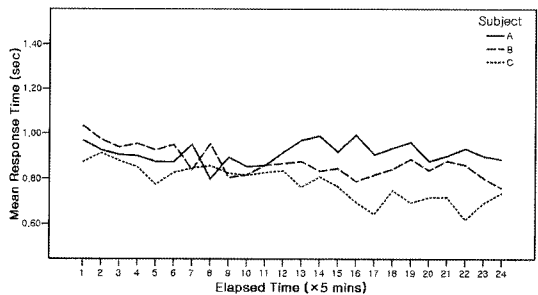


Fig. 2. Variation of mean response time by subject.

이와 같은 경향은 특히 난이도가 높은 과업에서 두드러진다고 볼 수 있는데, Fig. 3에서 보는 바와 같이 겹치는 면적이 70%와 80%의 작업에서는 반응시간의 변화가 크게 나타나지 않지만, 60%와 90%의 과업에서는 과업의 수행이 반복됨에 따라 반응시간이 현저히 감소함을 확인할 수 있다. 이는 반응시간이 과업 난이도의 선형적 함수가 아님을 시사한다.

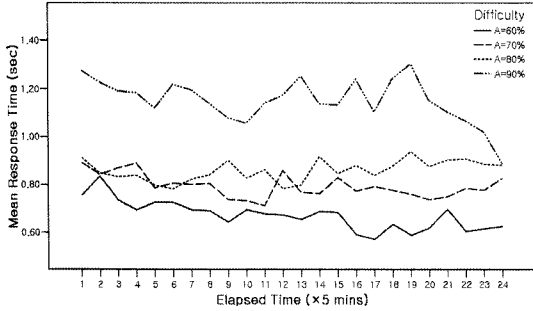


Fig. 3. Variation of mean response time by difficulty level.

즉, Norman(1981)<sup>13)</sup>과 Reason(1984)<sup>14)</sup>은 Rasmussen의 이론에 대응하여 각 행동수준에 있어 성격이 다른 인간과오가 혼재되어 있다고 주장한 것이다. 그들의 이론에 따르면, 기술기반행동시에는 slips, lapses, small mistakes가, 규칙기반행동시에는 slips, lapses, mistakes가, 그리고 지식기반행동시에는 lapses, mistakes가 혼재되어 있다는 것이다. 그러므로, 과업의 난이도 변화에 따라 반응시간은 선형적으로 증감하는 것이 아니라, 다른 패턴의 변화가 불가피하게 나타난다고 설명될 수 있다.

한편, 이동 궤적의 길이는 피실험자에 따라 통계적으로도 유의한 차이를 보였다( $F=110.051, p=0.000<0.01$ ). 즉, Fig. 4에서 보는 바와 같이 피실험자에 따라서도 명백한 차이를 보이는 한편, 과업의 난이도에 따라서도 확연한 차이를 보였다( $F=494.422, p=0.000<0.01$ ). 여기에서 흥미로운 것은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 목표와 커서의 겹치는 면적이 60% 일 때와 그보다 넓은 때의 차이가 현저한 차이를 보이는 것으로, 물리적으로는 단순한 면적의 차이에 불과하지만 피실험자가 느끼기에 두 그룹간에는 비교할 수 없을 만큼의 난이도 차이가 있다고 인식되고 있음을 의미한다.

이에 비하여, 이동 직선으로부터 이동 궤적까지 편차의 최대값  $d_{max}$ 는 통계적으로 반복횟수에 의한

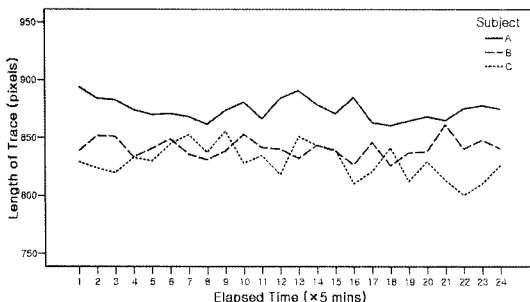


Fig. 4. Variation of traced length by subject.

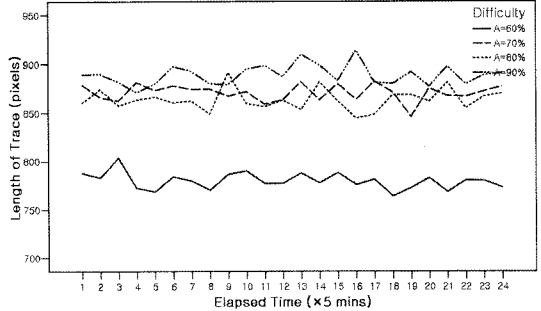


Fig. 5. Variation of traced length by difficulty level.

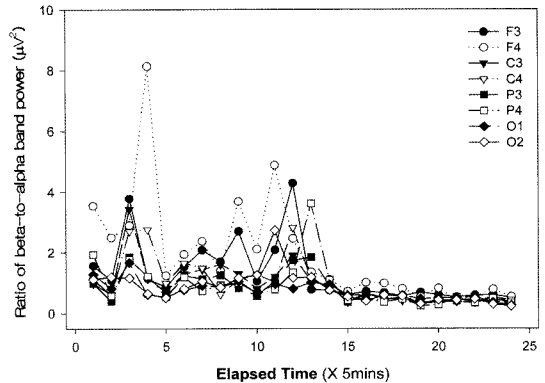


Fig. 6. Variation of beta-to-alpha band power ratio over time (correct response case, A=90%).

유의한 영향은 없었고( $p=0.748$ ), 단지 난이도의 증가에 따른 증가 성향만을 나타냈다.

정상적인 반응시의 뇌파 밴드 파워비를 경과시간에 따라 분산분석한 결과에 따르면, 통계적으로 유의할 만한 효과가 나타난 채널은 없었지만, Fig. 6에서 보는 바와 같이 시간이 지남에 따라 밴드파워가 안정적이 되고 있음을 볼 수 있다. 이는 추후에 실험시간을 더 늘려 과업을 반복 수행하게 하거나, 피실험자의 수를 더 늘려 데이터의 수를 증가시키면 유의한 효과를 기대할 수도 있으리라 예상된다.

정상 반응시에 관측되는 뇌파 밴드파워간의 상관관계를 분석한 결과를 정리한 것이 Table 2이다. 여러 부분의 전극 사이에서 상관계수가 유의한 것으로 확인되었는데 특히 중심부와 두정부 중심으로 하는 중앙부에 위치하는 C3, C4, P3, P4간의 상관성이 높게 나타났으며, 후두부 O1과 O2간의 상관계수도 상대적으로 높았고, 중앙부와 후두부 사이에도 상관관계가 존재함을 보여 주었다. Table에서 음영으로 처리된 부분은 상관계수가 0.5를 상회함을 나타낸다.

Table 2. Pearson correlation coefficients between beta-to-alpha ratios for correct response (N=480)

	F3	F4	C3	C4	P3	P4	O1	O2
F3	coeff.	-	.294 (**)	.341 (**)	.254 (**)	.167 (**)	.141 (**)	.119 (**)
	s.level		.000	.000	.000	.000	.002	.009
F4	coeff.		-	.233 (**)	.163 (**)	.073	.056	.121 (**)
	s.level			.000	.000	.110	.219	.008
C3	coeff.			-	.607 (**)	.534 (**)	.305 (**)	.433 (**)
	s.level				.000	.000	.000	.000
C4	coeff.				-	.531 (**)	.597 (**)	.275 (**)
	s.level					.000	.000	.000
P3	coeff.					-	.245 (**)	.283 (**)
	s.level						.000	.000
P4	coeff.						-	.307 (**)
	s.level							.000
O1	coeff.							-
	s.level							.522 (**)
O2	coeff.							-
	s.level							.000

\*\* significant at significance level p=0.01(2-tailed).

### 4.2. 과오 반응

과오 반응시의 반응시간에 대하여 분산분석을 실시한 결과에 따르면, 어느 요인도 통계적으로 유의하지 않았다. 이와 같은 성향은 이동 시점 중점부터 종점 중점까지의 실제 이동거리  $l$ , 시점 중심과 종점 중심간 최단 직선으로부터의 거리  $d$ , 거리  $d$ 의 표준편차  $s_d$ 에서도 마찬가지이었으나, 다만 거리  $d$ 의 최대값  $d_{max}$ 의 경우에는 반복횟수 요인이 통계적으로 유의하였으나, 그 유의성은 매우 약하다고 판단되었다( $p=0.048 < 0.05$ ).

과오 반응시의 뇌파 밴드파워 비를 경과시간에 따라 분산분석한 결과 역시 어떤 요인도 통계적 유의성을 보이지 않았다( $p>0.05$ ). 이는 충분히 예상되었던 것으로 Fig. 7에서 보는 바와 같이, 시간이 경과해도 과오 반응시의 뇌파는 안정적이지 못하기 때문이다. 특히 좌전두부 F3의 뇌파가 불안정하다는 것은 과업을 수행함에 있어서 중요한 역할을 하는 전두엽의 기능이 불안정하다는 의미이며, 결과적으로 사고 및 판단에 혼란이 있음을 의미한다.

과오 반응시에 관측되는 뇌파 밴드파워간의 상관관계를 분석한 결과를 정리한 것이 Table 3이인데, 음영으로 처리된 부분은 역시 상관계수가 0.5를 상회함을 나타낸다. 정상반응시에 C3, C4, P3, P4

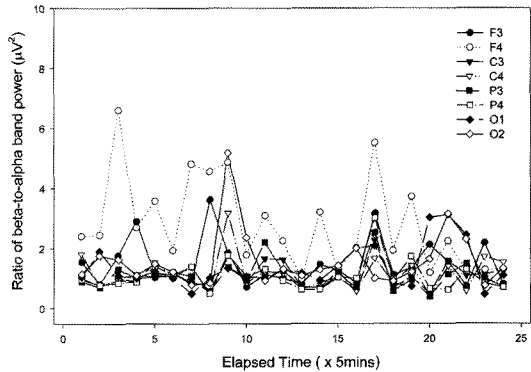


Fig. 7. Variation of beta-to-alpha band power ratio over time (error response case, A=90%).

간의 상관과, O1과 O2의 상관관계가 매우 유의( $p < 0.01$ )한 것으로 파악되었던 것에 비하여, 과오 반응시에는 통계적으로 유의하다고는 하나, 상관계수가 대부분 감소한 것을 확인할 수 있으며, 특히 C4와 P3, 그리고 C3와 P4의 상관계수의 감소가 두드러졌고, 중앙부와 후두부의 상관관계는 사실상 무의미하다고 할 만큼 감소한 점이 눈에 띄었다.

이것은 시각과 운동기능을 동시에 활용하여야 하는 심리-운동(psycho-motor activity) 과업의 특성상, 사고 및 판단의 기능을 주로 하는 전두부 F3, F4와

Table 3. Pearson correlation coefficients between beta-to-alpha ratios for error response (N=238)

	F3	F4	C3	C4	P3	P4	O1	O2
F3	coeff.	-	.422 (**)	.195 (**)	.134 (*)	.145 (*)	.073	.001
	s.level		.000	.002	.039	.026	.260	.993
F4	coeff.		-	.180 (**)	.217 (**)	.149 (*)	.154 (*)	-.019
	s.level			.005	.001	.021	.017	.771
C3	coeff.			-	.551 (**)	.532 (**)	.472 (**)	.140 (*)
	s.level				.000	.000	.000	.031
C4	coeff.				-	.394 (**)	.630 (**)	.186 (**)
	s.level					.000	.000	.004
P3	coeff.					-	.496 (**)	.183 (**)
	s.level						.000	.005
P4	coeff.						-	.186 (**)
	s.level							.004
O1	coeff.							-
	s.level							.437 (**)
O2	coeff.							-
	s.level							.000

\*\* significant at significance level p=0.01(2-tailed).

\* significant at significance level p=0.05(2-tailed).

시각적 기능을 담당하는 후두부 O1, O2 사이의 정보교환, 체성감각(kinesthetic sensation)과 운동기능을 담당하는 두정부 C3, C4 등과 판단을 담당하는 전두부 F3, F4 등과의 조화, 시각적 기능을 담당하는 후두부 O1, O2 등과 체성감각을 담당하는 두정부 C3, C4, P3, P4 사이 연계 등의 제반 기능이 안정시에 비하여 순간 순간 현저히 감퇴되거나 불안정해짐으로써 과오의 발생 가능성이 증대되었을 것이라고 판단할 수 있는 객관적 증거이다.

한편, 각 채널의 밴드파워 비에 대하여 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 과업 요인에 대하여 다변량분석의 개체간 효과분석을 통하여 확인된 바에 따르면, 뇌파 밴드파워 비에 대하여 유의한 요인은 과업의 난이도뿐이었으며( $p < 0.05$ ), 그 효과는 모든 채널에 걸쳐 유의하였다.

본 연구를 통하여 반복횟수 혹은 경과시간이 밴드파워 비에 유의하다고 확인되지는 않았으므로, 저자가 사전에 의도하였던 지식기반행동, 규칙기반행동, 기술기반행동의 변화를 파악할 수 있는 객관적인 지표를 확인하지는 못하였다. 그러나, 과업의 난이도가 뇌파의 밴드파워 비에 결정적인 영향을 주는 변수라는 사실은 확인되었으며, 적어도 뇌파의 절대파워로는 설명하지 못했던 과오 반응시의 특성을 상대적인 밴드파워로는 설명할 수 있으며, 만약 과업이 달라진다면 뇌파 밴드파워는 얼마든지 그 변화를 설명할 수 있는 기능을 지니고 있음을 확인하였다.

## 5. 결론

본 연구는 단순 지적과업시의 반응 결과와 뇌파를 비교하여 학습이 진행됨에 따라 반응시간, 반응의 편차 등 과업 성과 지수들이 안정적으로 변화하며, 정상 반응시의 뇌파도 이와 같은 패턴을 유지함을 확인하였다. 단, 반응시간은 과업 난이도의 선형적인 함수가 아니며, 과업의 특성과 행동 수준의 특성에 따라 패턴이 달라짐을 알 수 있었다.

한편, 정상 반응시의 뇌파 밴드파워 값들과 과오 반응시의 뇌파 밴드파워 값들을 비교한 결과에 따르면, 밴드파워 간의 상관계수의 변화를 통하여 과오가 발생할 때의 뇌의 활성 현상을 설명할 수 있었고, 아울러 과업의 특성을 이해할 수 있었다. 즉, 지적작업 중 정상 반응시에는 중앙부와 후두부의 상관계수가 높았으나, 과오 반응시에는 상관계수가 현저히 감소하여 과업에 필요한 뇌 활동 부위간의

조화가 감퇴함을 확인하였다.

본 연구를 통하여 뇌파 밴드파워에 직접적으로 유의한 영향을 미친다고 확인된 요인은 과업의 난이도뿐이었지만, 이는 단순한 난이도가 아니라 과업의 특성이라고 이해되는 것이 마땅하다고 판단되었다. 왜냐하면 단순 지적과업의 뇌파 밴드파워는 지식기반행동, 규칙기반행동, 기술기반행동의 수준 변화를 보여주지는 못했지만, 적어도 본 연구를 통하여 뇌파의 절대파워가 설명할 수 없었던 과오의 원인 상황을 상대적 밴드파워로는 설명가능하다는 점을 확인하였기 때문이다.

**감사의 글 :** 이 논문은 2007학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2007).

## 참고문헌

- 1) Rasmussen, J., "What can we be learned from human error reports?", in *Changes in Working Life*, edited by Duncan, K., Gruneberg, M., and Wallis, D., John Wiley, 1981.
- 2) Rasmussen, J., "Skills, Rules, Knowledge, Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-12, pp. 257~266, 1984.
- 3) Rasmussen, J., Duncan, K., and Leplat, J., *New Technology and Human Error*, John Wiley & Sons, New York, 1987.
- 4) Goodstein, L.P., "Discriminative display support for process operations", in *Detection and Diagnosis of System Failures* edited by Rasmussen, J., and Rouse, W.B., New York, Plenum Press, pp. 433~449, 1981.
- 5) 橋本邦衛, 安全人間工学, 中央労働災害防止協会, 1984.
- 6) Cacioppo, J.T., and Tassinary, L.G., *Principles of Psychophysiology : Physical, Social, and Inferential Elements*, Cambridge University, 1990.
- 7) Hohnsbein, J., Falkenstein, M., Hoormann, J., and Blanke, L., "Effects of crossmodal divided attention on late ERP components I. Simple and choice reaction tasks", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 78, pp. 438~446, 1991.
- 8) Sheffers, M.K., Coles, M.G., Bernstein, P., Gehring, W.J., and Donchin, E., "Event-related brain potentials

- and error-related processing : An analysis of incorrect responses to go and no-go stimuli”, *Psychophysiology*, Vol. 33, pp. 42 ~53, 1996.
- 9) Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., and Blanke, L., “Effects of crossmodal divided attention on late ERP components II. Error processing in choice reaction tasks”, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 78, pp.447 ~455, 1991.
  - 10) 임현교, “인간과오의 심리생리적 징후와 작업수행도”, 한국산업안전학회 춘계 학술논문 발표회, pp. 260 ~263, 2000.
  - 11) 임현교, “계수작업시 사상관련전위 및 작업성능에 미치는 조명조건의 영향”, 한국 산업안전학회지, 제15권, 제1호, pp. 167 ~175, 2000.
  - 12) 임현교, “인간과오 유발상황에서 뇌파 상대파워 특성의 변화”, 한국안전학회지, 제23권, 제3호, pp. 65 ~70, 2008.
  - 13) Norman, D.A., “Categorization of Action Slips”, *Psychological Review*, Vol. 88, pp. 1 ~15, 1981.
  - 14) Reason, J., “Lapses of Attention”, in *Varieties of Attention* edited by Parasuraman R. and Davies D., New York, NY, Academic Press, 1984.