

작업난이도 변화가 인간과오 관련 뇌파 특성에 미치는 영향

임 현 교

충북대학교 안전공학과

(2010. 4. 24. 접수 / 2010. 6. 18. 채택)

Influence of Work Difficulty Variation on EEG Characteristics Related with Human Errors

Hyeon-Kyo Lim

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received April 24, 2010 / Accepted June 18, 2010)

Abstract : Electroencephalogram(EEG) would be the most objective psychophysiological research technique on human errors though few research has been taken yet. This study aimed to get characteristics of human error while committing simple Odd-Ball tasks by utilizing the power spectrum technique of EEG data. Each experiment was composed of 3 tasks with different rules, and 8 young undergraduate students participated in this study as paid subjects. The result showed in the affirmative that subject and the interaction of subject and task factors were statistically significant on variation of α band power $P_{\alpha(\alpha+\beta+\theta)}$ and β band power $P_{\beta(\alpha+\beta+\theta)}$, and that the former increasing in backward direction to Pz reflects compatibility whereas the latter increasing in forward direction to Fz reflects familiarity. Therefore it was concluded that, since task 2 carried out in the present research requiring decoding process would be more difficult to human beings than the task merely requiring psychological recall process, task 1 and task 3 were classified into a homogenous group excluding task 2, and the ratio α band power to β band power indicated enormous increase of α band power relative to β band power in the cases of contra-lateral errors, especially in task 2.

Key Words : human error, odd-ball task, spectral analysis, EEG, band-power, recall, decoding

1. 서론

대뇌생리학을 비롯한 심리생리학적 분석기법의 발달은 인간과오의 메커니즘을 파악하는 실마리를 제공하여 왔다. 이 중 특히 뇌파는 인간의 심리적 상태를 파악할 수 있는 대표적인 방법으로, 橋本¹⁾에 따르면, 인간의 뇌파는 안정파인 α 파(8~13Hz), 활동파인 β 파(13~30Hz), 그리고 의식 수준의 저하에 따라 θ 파(4~8Hz)와 δ 파(0~4Hz)가 출현한다고 하며, 이에 따라 인간과오의 특성도 다르다.

이 때, 뇌의 한 부분에서 녹취되는 뇌파는 단순히 한 가지 파형만 있는 것이 아니라, 순간 순간 여러 가지 주파수의 파형이 중첩되어 존재한다. 즉, 뇌파는 매우 느리게 진동하는 성분으로부터 아주 빠르게 진동하는 성분에 이르기까지 진동 주파수에 따라 몇 가지 진동 성분들의 합으로 가정될 수 있다. 따라서, 실제로는 측정된 전체 뇌파 파워 변

동 중에서 해당 영역의 파워(band power)가 어느 정도의 변화를 차지하는가를 파악하는 것이 보통이다.

한편, 작업 중에 제시되는 자극을 이해하는 데 있어 디코딩(decoding) 과정이 적을수록, 또 자극과 반응의 양립성이 높을수록 작업의 난이도는 낮아진다고 할 수 있다. 이는 Rasmussen²⁾이 지적한 기술기반 행동, 규칙기반 행동, 지식기반 행동의 변화를 반영하기 때문이다.

본 연구는 뇌파의 밴드 파워를 수단으로 하여, 자극의 친숙성과 자극-반응간의 양립성이라는 두 측면에서 각기 다른 Odd-Ball 직무^{3,4)}를 수행하는 동안 발생하는 뇌파의 변화를 확인하고, 작업 특성 및 인간과오의 특이성에 따른 특성을 파악하고자 수행되었다.

2. 선행 연구 동향

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 주의연구가 급격히 증가하여 왔다.

특히, Haider et al.(1964)은 신호검출상황에서 신호를 검출하였을 때와 신호를 검출하지 못하였을 때(miss)의 유발전위가 다르고, 시간경과에 따라 유발전위의 진폭이 차차 저하한다는 사실을 보고하였다⁵⁾.

이후, 연구자들의 실험 트릭에 의하여 여러 가지 사상관련전위가 발견되었는데, 그 중에서도 인간과오와 관련하여 가장 주목할 만한 것은 P300이었다. 이것은 자극제시로부터 약 300 msec 후에 사상관련전위에 나타나는 팔목할 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(Caccioppo et al., 1990)⁶⁾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^{3,7)}. 이것은 인간이 과오의 검출(detection)과 과오의 억제(inhibition), 즉각적인 보정(correction), 혹은 과오의 보상(compensation)에 관계된 사상관련전위로서, 피실험자가 과오를 범할 때의 뇌파를 자극제시점을 기준으로 위상이 같도록 가산평균(summing average)했을 때 나타나는 음(-)의 전위로서 진폭은 대체로 10 μ V이고, 과오반응에 관련된 근육활동의 시작으로부터 약 150msec 후에 정점에 이른다⁸⁾.

그러나, 이러한 방법들은 모두 조파분석(調波分析, harmonic analysis)의 한 방법이지만, 가산평균법을 활용하지 않으면 원하는 신호를 얻을 수 없는 데, 인간 과오는 매우 드문 사상이기 때문에 엄선된 파형을 보기까지 많은 노력을 요한다는 데 문제가 있다^{9,10)}.

임현교는 이러한 문제점을 극복하고자 순간적인 제시 자극에 따른 개별적 뇌파의 변화보다는, 과오를 유발하기 쉬운 과업 특성과 뇌파 변화 특성과의 관계에 대하여 초점을 맞추어 연구를 수행한 바 있다^{4,11)}.

본 연구는 선행연구를 더욱 확장하여 반응 유형

에 따른 뇌파 파워비의 변화가 과업의 난이도를 반영하는 척도로서 활용될 수 있는지, 실험적으로 확인하고자 하였다.

3. 연구 내용 및 방법

실험 작업은 선행 연구와 마찬가지로⁴⁾ 컴퓨터 화면에 나타난 반응 여부를 지시하는 사각형 안에, 반응 방향을 가키리는 Odd Ball 과업 세 가지를 무작위로 수행토록 하여 인간과오를 단순화시켰다. 이중 과업 1은 직사각형 안에 제시된 화살표의 방향대로 반응하는 직무이었으며, 과업 2는 직사각형 안에 제시된 영문자 J와 F의 상징적 방향에 따라 반응하는 직무, 그리고 과업 3은 직사각형 안에 제시된 화살표의 방향과는 반대로 반응하는 직무이었다. 이 때, 어떤 과업이든 세로로 긴 직사각형은 제시 자극에 반응(Go)하라는 지시를 나타내며, 가로로 긴 직사각형은 제시 자극에 반응하지 말라(No-Go)는 지시이었다. 또한, 자극 사이에는 약 2초간의 간격이 삽입되었으나, 작업 중 별도의 휴식은 없었다.

작업에는 8명의 20대 초반의 남자 대학생이 유급 피실험자로 참여하였다. 각 피실험자는 3가지 과업을 각각 다른 날, 같은 시각에 수행하였으며, 한 가지 과업당 반복횟수는 1,200회, 수행시간은 약 2시간씩 소요되었다.

과업 수행중 작업자의 생리학적 반응은 (주)락파(LAXTHA)의 PolyG 시스템(모델명 PolyG-I)을 이용하여 Fz(前頭部), Cz(正中部), Pz(頭頂部)의 3곳에서 얻어지는 뇌파 신호를 4~50Hz의 band pass filter로 필터링(filtering)하여 수면파와 관계된 δ 파를 제외시키고, θ 파(4~8Hz), α 파(8~13Hz), β 파(13~30Hz), γ 파(30~50Hz) 성분만을 250Hz의 비율로 샘플링하였다.

피실험자의 반응은 과오의 경우 그 수가 절대적으로 적어 모두 분석에 활용하였으며, 올바른 반응의 경우에는 총 수행 시간 2시간을 각각 10분 간격으로 나누어 각 10분당 1회씩 샘플링하여 분석 데이터 수의 균형을 맞추는 한편, 휴식라도 있을 시간 경과에 따른 변화를 반영하고자 하였다.

모든 통계적 분석은 SPSS 12.0 KO for Windows, Release 12.0.1을 이용하였다.

4. 결과 및 분석

4.1. 다변량분석 결과

뇌파 데이터를 파워 스펙트럼(power spectrum)으로 분석하는 경우 각 주파수 대역에 속하는 파워를 절대 파워(Absolute power)라고 부르는 반면, 전체 주파수 영역의 파워에 대한 해당 영역 주파수대 성분 파워의 비를 상대 파워(Relative power)라고 한다. 또한, 필터링된 전체 주파수 영역의 파워에 대한 해당 영역 주파수대 성분 파워의 비를 대역 대비 파워(Band-to-Band Power)라고 한다.

실험 결과의 분석은 각 주파수 대역의 뇌파가 갖는 파워에 초점이 맞춰 진행되었다. 절대 파워에 대한 다변량 분산분석(Multivariate Analysis of Variance; MANOVA) 결과에 따르면 반복 요인을 제외하고 피실험자, 과업 종류, 반응 유형 등 영향 요인의 1차 영향은 물론, 2차 교호작용과 3차 교호작용 모두 유의하였다($p < 0.05$).

그러나, 생체신호, 특히 뇌파는 불과 10 μ V에 불과한 작은 파형을 다루는 작업이므로, 특정 주파수 대역 뇌파의 변동을 살펴보면 잡음의 영향이 과대평가되기 쉬운 절대값을 가지고 분석하는 것보다는 각 파형이 갖는 특성을 염두에 두고 밴드 파워를 비교하는 것이 편리하다^[12-14]. 본 연구에서도 이 같은 이유로 필터링된 4~50Hz의 뇌파 중 인간의 의식과 관계있는 α 파, β 파, θ 파의 상대 파워를 종속변수로 하여 연구를 진행하였다.

그 결과, Table 1은 종속변수로 제시된 α 파, β 파, θ 파 등의 상대 파워비에 대하여 과업 종류(task), 반응유형(response), 전극 위치(electrode), 피실험자(subject) 등의 독립변수들이 선형적인 영향을 미친다고 볼 수 있는가를 판단하기 위한 다변량 분산 분석을 실시한 결과 중 1차 요인과 2차 요인만을 발췌한 표이다.

Table 1. Multivariate tests of significance - Wilks' λ

Effect	Value	F	Hypoth df	Error df	Sig.
Intercepts	.368	1854.472	6	6494.000	.000*
Subject	.990	1.557	42	30416.108	.012*
Task	.997	1.458	12	12968.000	.132
Response	.994	1.313	30	25938.000	.117
Electrode	.987	7.097	12	12968.000	.000*
Subj×Task	.975	1.954	84	36146.217	.000*
Subj×Resp	.971	.994	192	38334.524	.511
Task×Resp	.992	.919	60	33976.749	.653
Subj×Elec	.986	1.056	84	36146.217	.342
Task×Elec	.994	1.492	24	22621.184	.057
Resp×Elec	.992	.920	60	33976.749	.651

* significant, with significant level $\alpha = 0.05$

이 표에 따르면, 선형 모델의 통상적인 절편을 제외하면 피실험자, 전극 위치의 1차 요인과, 피실험자×과업 종류의 교호작용만이 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$). 이 결과는 선형 연구에 지적되었던 바와 같다⁴⁾.

이 외에 피실험자×과업종류×반응 유형과 피실험자×과업종류×전극위치의 3차 교호작용이 통계적으로 유의하였으나, 이 표에는 표시하지 않았다.

4.2. 사후 분석(Post-Hoc Analysis) 결과

다변량분석 결과에 대하여 종속변수로 제시된 α 파, β 파, θ 파 등의 상대적 비율 척도들이 독립변수들에 의하여 얼마나 잘 선형모형으로 표현될 수 있는가를 알아보기 위하여 개체-간 효과(Between-

Table 2. Test of effects within-cells with corrected model

Factor	Dep. Variable	Type III Sum of Squares	df	MSE	F	Sig.
Corrected Model	$P_{\alpha(\alpha+\beta)}$	33.650	308	.109	2.862	.000*
	$P_{\beta(\alpha+\beta)}$	33.650	308	.109	2.862	.000*
	$P_{\alpha(\alpha+\beta+\theta)}$	16.164	308	.052	2.367	.000*
	$P_{\beta(\alpha+\beta+\theta)}$	33.552	308	.109	3.806	.000*
	$P_{\theta(\alpha+\beta+\theta)}$	174.545	308	.567	5.757	.000*
	$P_{\alpha\beta}$	1304.750	308	4.236	3.210	.000*
	$P_{\beta\theta}$	494128.748	308	1604.314	.969	.637
Subject	$P_{\alpha(\alpha+\beta)}$	.677	7	.097	2.532	.013*
	$P_{\beta(\alpha+\beta)}$	.677	7	.097	2.532	.013*
	$P_{\alpha(\alpha+\beta+\theta)}$	.238	7	.034	1.531	.152
	$P_{\beta(\alpha+\beta+\theta)}$	1.066	7	.152	5.320	.000*
	$P_{\theta(\alpha+\beta+\theta)}$	1.151	7	.164	1.670	.111
	$P_{\alpha\beta}$	16.753	7	2.393	1.814	.080
	$P_{\beta\theta}$	1461.934	7	208.848	.126	.996
Electrode	$P_{\alpha(\alpha+\beta)}$	.154	2	.077	2.023	.132
	$P_{\beta(\alpha+\beta)}$	.154	2	.077	2.023	.132
	$P_{\alpha(\alpha+\beta+\theta)}$	.039	2	.020	.887	.412
	$P_{\beta(\alpha+\beta+\theta)}$	.281	2	.141	4.909	.007*
	$P_{\theta(\alpha+\beta+\theta)}$	5.940	2	2.970	30.172	.000*
	$P_{\alpha\beta}$	23.607	2	11.804	8.944	.000*
	$P_{\beta\theta}$	3314.861	2	1657.431	1.002	.367
Subject×Task	$P_{\alpha(\alpha+\beta)}$	1.354	14	.097	2.533	.001*
	$P_{\beta(\alpha+\beta)}$	1.354	14	.097	2.533	.001*
	$P_{\alpha(\alpha+\beta+\theta)}$	.946	14	.068	3.048	.000*
	$P_{\beta(\alpha+\beta+\theta)}$	.954	14	.068	2.382	.003*
	$P_{\theta(\alpha+\beta+\theta)}$	2.439	14	.174	1.770	.037*
	$P_{\alpha\beta}$	29.246	14	2.089	1.583	.076
	$P_{\beta\theta}$	26777.035	14	1912.645	1.156	.303

* significant, with significant level $\alpha = 0.05$

Subjects Effects) 분석을 실시한 결과가 Table 2이다. 보는 바와 같이 모든 척도들에 대하여 선형 모델이 통계적으로 유의하기는 하였지만($p < 0.05$), 각 척도의 설명력 R^2 이 기대만큼 크지는 않았다. 그림에서 음영으로 처리된 부분은 통계적으로 유의하다고 판단된 척도들을 가리킨다.

또한, 통계적으로 유의하다고 지적된 요인에 대하여 살펴보면 피실험자 요인의 경우에는 특히 β 파가, 그리고 피실험자×과업 종류 교호작용의 경우에는 상대적으로 α 파의 영향이 두드러짐을 알 수 있다. 반면, 전극 위치에 따른 파워의 변화에는 β 파와 θ 파의 영향이 상대적으로 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

Tukey의 방법을 이용하여 사후 검정(Post Hoc Test)을 한 결과도, Table 3에 보는 바와 같이 α 파 위비 $P_{\alpha(\alpha + \beta + \theta)}$ 는 피실험자들을 구분할 수 있는 반응 특성을 검출하지 못하는 반면, β 파위비 $P_{\beta(\alpha + \beta + \theta)}$ 는 피실험자들의 반응 특성에 따라 세 개의 그룹으로 변별할 수 있는 기능을 갖고 있기 때문이다. 여기에서 부분집합(subset)이란, 피실험자들을 반응특성에 따라 집단을 구분한다고 가정하였을 때 나뉘어지는 가상의 집단을 말한다.

이같은 설명은 전극의 위치에 따른 파워비의 변화에도 적용될 수 있었다. 즉, Fig. 1에서 보는 바와

Table 3. Tukey's test on homogeneity among subjects

(a) $P_{\alpha(\alpha + \beta + \theta)}$					
subj	N	Subset			
		1	2	3	4
7	898	.194766			
6	938	.204224	.204224		
2	450	.204711	.204711		
4	882	.206658	.206658		
1	576	.210509	.210509		
8	1016		.218411	.218411	
5	1157			.238144	.238144
3	881				.257255
Sig.		.423	.564	.150	.181

(b) $P_{\beta(\alpha + \beta + \theta)}$					
subj	N	Subset			
		1	2	3	4
6	938	.310490			
3	881	.320546			
1	576	.324059			
4	882		.355088		
2	450		.359927		
5	1157		.368390		
8	1016		.376461		
7	898			.414821	
Sig.		.760	.198	1.000	

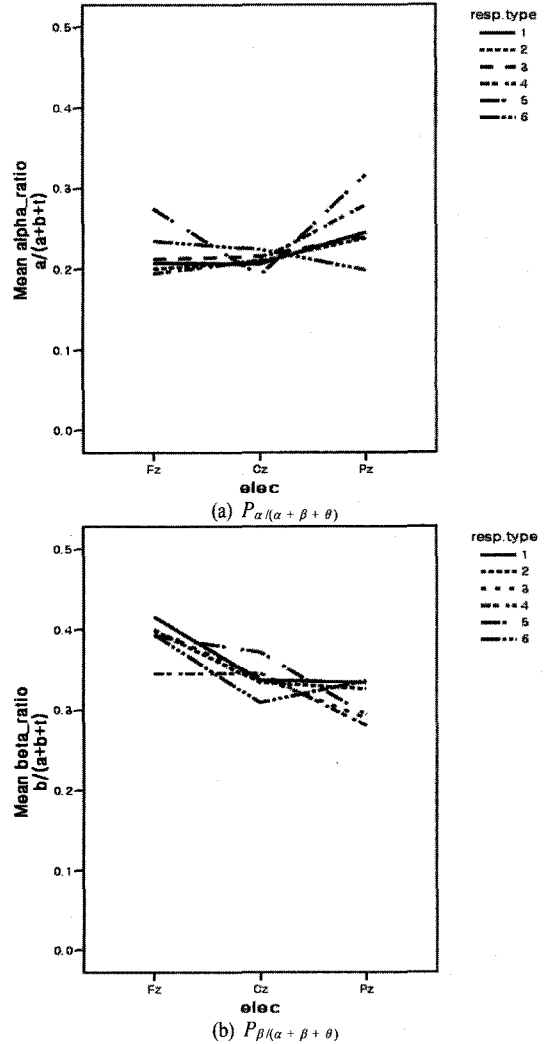


Fig. 1. Variation of Estimated Marginal Mean Band Power Ratio for Electrode X Response.

같이 반응 유형에 따라 나타나는 미묘한 변화도 Table 4에서 보는 바와 같이 β 파위비 $P_{\beta(\alpha + \beta + \theta)}$ 와 θ 파위비 $P_{\theta(\alpha + \beta + \theta)}$ 에 의해서 검출될 수 있었기 때문이다.

그림에서 반응 유형 1)은 반응해야 할 때 올바른 방향으로 반응한 정반응(correct hit response), 2) 유형 2는 반응하지 말아야 할 때 반응하지 않은 정반응(correct no response), 3) 유형 3은 반응해야 할 때 반응하지 않은 과오(miss), 4) 유형 4는 반응하지 않아야 할 때 바른 방향으로 반응한 과오(ipsilateral false alarm), 5) 유형 5는 반응하지 않아야 할 때 반대 방향으로 반응한 과오(contra-lateral false alarm), 그리고 6) 유형 6은 반응해야 할 때 반대 방

Table 4. Tukey's test on homogeneity among electrodes

(a) $P_{\alpha(\alpha+\beta+\theta)}$				
elec	N	Subset		
		1	2	3
Fz	2266	.204747		
Cz	2267	.208536		
Pz	2265		.242595	
Sig.		.668	1.000	

(b) $P_{\beta(\alpha+\beta+\theta)}$				
elec	N	Subset		
		1	2	3
Pz	2265	.326126		
Cz	2267	.335752		
Fz	2266		.404611	
Sig.		.134	1.000	

(c) $P_{\theta(\alpha+\beta+\theta)}$				
elec	N	Subset		
		1	2	3
Pz	2265	.175500		
Cz	2267		.200672	
Fz	2266			.440578
Sig.		1.000	1.000	1.000

향으로 반응한 과오(contra-lateral hit error)를 나타낸다.

주목할 만한 것은, 뇌파 밴드파워의 변화를 검출하지 못하는 α 밴드파워비에 따르면 Fz와 Cz, 즉 전두부와 정중부의 변화 차이를 감지하지 못하고 하나의 그룹으로 인식하게 되는 반면, 통계적으로 유의하다고 판단되는 척도로서의 β 밴드파워비와 θ 밴드파워비를 이용하면 이 차이를 인식하고 오히려 Cz와 Pz, 즉 정중부와 두정부의 변화를 하나의 그룹으로 인식하게 된다는 점이다.

Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이, α 밴드파워비는 두정부 Pz에 가까워질수록 증가하는 성향을 나타내는 반면, Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 β 밴드파워비는 감소하는 성향을 나타낸다. 특히 이러한 성향은 반응유형 1,2,3,4에 두드러진다. 다시 말해 본 연구에서 주어진 과업을 올바르게 수행하는 데에는 두정부 Pz 부근에서는 α 파가 많이 관찰되는 반면, 전두부 Fz에서는 β 파가 많이 관찰되었음을 간접적으로 확인할 수 있다.

반응유형 5,6은 다른 유형에 비하여 적극적인 행동이 수반되는 과오 형태로서, 다른 성향에 비하여 뇌파 밴드파워비의 변화 성향이 매우 다른 형태를 보이고 있어, 피실험자들이 반응을 선택하는

데 혼란을 겪었음을 알 수 있다.

한편, 피실험자×과업종류의 교호작용은 Table 1에서 보는 바와 같이 일반적으로 쉽게 생각될 수 있는 모든 α 밴드파워비와 β 밴드파워비가 통계적으로 유의하여, 뇌파의 변화를 쉽게 검출할 수 있음을 알 수 있다.

4.3. 과업 특성 및 난이도에 따른 변화

Fig. 2는 과업의 종류에 따라 각 피실험자의 밴드파워비가 어떻게 변화하였는가를 보여주는 그림으로서, 과업 자체의 영향이 통계적으로 유의할 만한 정도까지는 아니라고 하였으나, 과업에 따라 변

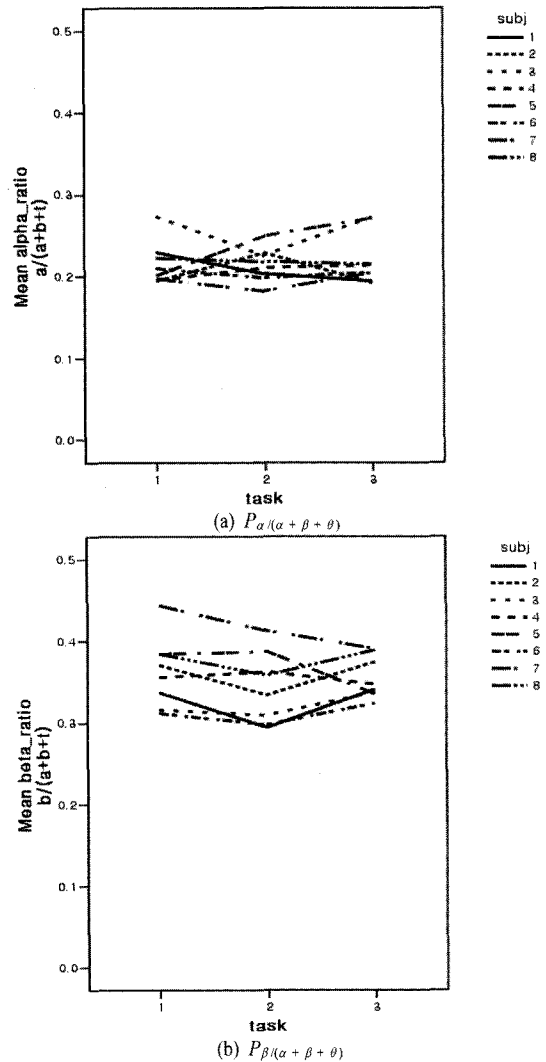


Fig. 2. Variation of Estimated Marginal Mean Band Power Ratio for Subject X Task.

드 파워비가 변화하는 것을 알 수 있다. 즉, Fig. 2 (a)를 보면 α 밴드파워비는 변동폭에 큰 변화가 없지만, Fig. 2(b)의 β 밴드파워비는 과업의 변화에 따라 점차 일정한 값에 수렴되는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Rasmussen 주장에 따라 설명하자면²⁾, 과업 1은 단순한 화살표의 방향을 따라 반응할 것인가 반응하지 않을 것인가만을 결정하면 되는 기술기반 과업(skill-based work), 과업 3은 화살표의 방향과 반대 방향으로 반응해야 한다는 반응 규칙을 심리학적으로 상기(recall)해 내는 과정이 추가된 규칙기반 과업(rule-based work), 그리고 과업 2는 단일 영문자 'F'와 'J'가 갖는 상징성에 따라 반응 방향을 판단해야 하는 디코딩 과정이 내재되어야 하는, 과업 3보다는 좀 더 어려운 규칙기반 과업이라고 할 수 있다.

따라서 뇌파 밴드파워비의 변화는 과업의 난이도에 따른 변화라고 이해되어야 한다고 주장된 바 있다⁴⁾. 즉, 반응 규칙을 상기하여야 하는 과업의 특성이, 영문자의 의미를 디코딩하는 작업보다는 더 낫설기 때문에, 피실험자에게 친숙한 화살표에 의하여 반응방향이 제시된 경우보다 뇌파 밴드파워비의 변화가 커진다는 것이다. 그러므로, Fig. 2(b)의 경우에는 자극과 반응의 방향이 반대라는 양립성 위배가 피실험자로 하여금 더 각성수준을 높게 만든 결과라고 이해될 수 있을 것이다.

본 연구에서의 결과에 대하여 Tukey's Studentized Range(HSD) 검증한 결과인 Table 5에 따르면, α 밴드파워비에 근거할 때 과업 1과 2는 같은 그룹에 속하는 반면 과업 3은 다른 그룹에 속한다고 할 수 있다. 또한, β 밴드파워비를 근거로 할 때 과업 1과

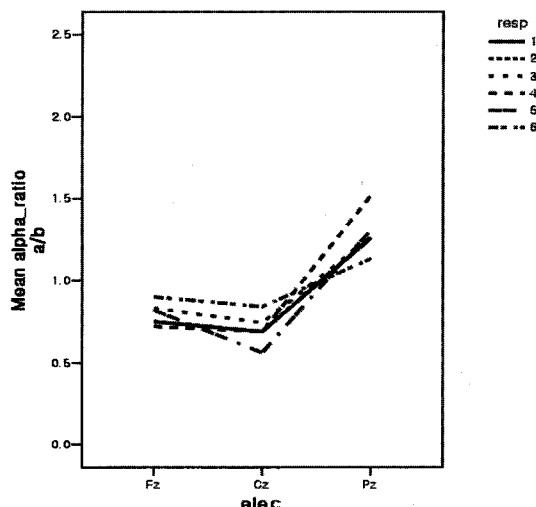


Fig. 3. Estimated Marginal Mean Band-to-Band Power Ratio for Resp.Type×Electrode.

과업 2는 확실하게 다른 성격을 지닌 과업인 반면, 과업 3은 어느 과업과도 비슷한 점을 갖고 지니고 있다고 할 수 있다.

반응유형과 전극 위치에 따른 β 파 파워에 대한 α 파 파워의 비를 검토해 보면 Fig. 3에 보는 바와 같이 전두부에서 두정부로 갈수록 β 파의 파워에 비하여 α 파의 파워가 증가함을 확인할 수 있다.

정리하자면, 과업 1과 3은 눈에 익은 화살표를 이용하여 자극 방향을 제시한다는 점에서 같고, 과업 1과 2는 자극이 제시하는 방향대로 반응하면 된다는 점에서 유사하다.

그런데, 뇌파 분석 결과에 따르면 α 밴드파워비를 근거로 할 때 과업 2와 3은 다른 그룹이며 오히려 과업 1과 2는 유사한 그룹이라고 할 수 있다. 따라서 α 밴드파워비는 자극과 반응의 양립성 수준에 따라 변화하는 특성을 반영하고 있다고 볼 수 있다. 반면 β 밴드파워비를 기준으로 볼 때 과업 1과 2는 다른 그룹이며 오히려 과업 1과 3이 같은 그룹으로 분류된다. 따라서, β 밴드파워비는 자극이 화살표인가 문자인가에 따라 요구되는 디코딩 정도에 따라 변화하는 특성을 반영하고 있다고 판단되었다.

Fig. 4는 이러한 특성을 과업 종류와 반응유형에 대하여 α 밴드파워와 β 밴드파워를 직접 비교해 본 그림인데, 과업 1과 3은 같은 경향의 변화를 보이고 있어 두 밴드파워의 상대적 비율이 비교적 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 즉, 반응 방향은 다르다 할지라도, 과업에 임하는 피실험자에게 과업 특

Table 5. Tukey's Studentized Range(HSD) Test on Tasks

Dep. Var.	(I) task	(J) task	Mean Diff. (I-J)	Std. Error	Sig.	95% CI	
						Lower	Upper
$P_{\alpha(\alpha+\beta+\theta)}$	1	2	.001290	.0044104	.954	-.009049	.011629
		3	-.010718	.0044228	.041*	-.021086	-.000350
	2	1	-.001290	.0044104	.954	-.011629	.009049
		3	-.012008	.0044377	.019*	-.022411	-.001605
	3	1	.010718	.0044228	.041*	.000350	.021086
		2	.012008	.0044377	.019*	.001605	.022411
$P_{\beta(\alpha+\beta+\theta)}$	1	2	-.016146	.0050112	.004*	-.004398	.027893
		3	.010271	.0050253	.102	-.001509	.022052
	2	1	-.016146	.0050112	.004*	-.027893	-.004398
		3	-.005875	.0050423	.474	-.017695	.005946
	3	1	-.010271	.0050253	.102	-.022052	.001509
		2	.005875	.0050423	.474	-.005946	.017695

(*) significant at $\alpha = 0.05$

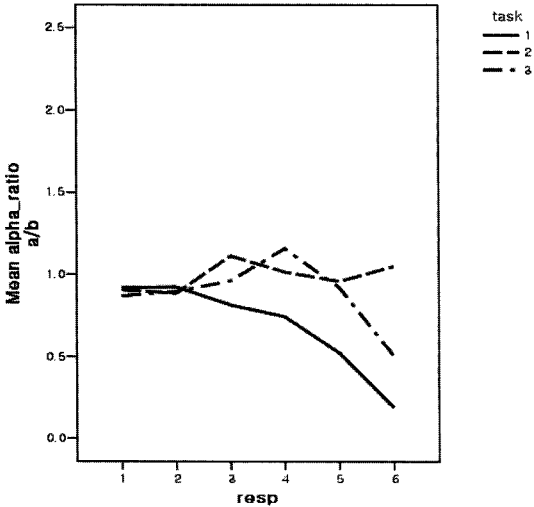


Fig. 4. Estimated Marginal Means for ResponseXTask.

성은 비슷하게 인지됨을 나타내지만, 과업 2의 경우에는 밴드파워비의 변화가 다른 경향을 보여, 자극의 친숙성 여부가 두 밴드파워의 상대적 변화를 야기함을 알 수 있었다. 특히 Fig. 1에서는 β 밴드 파워비가 항상 α 밴드파워비에 비하여 더 컸다는 점에 비교해 볼 때, 과업 2의 경우에는 문자의 디코딩으로 인한 혼란이 α 밴드파워를 감소시키는 한편, β 밴드파워를 급증시켰다고 할 수 있다.

5. 결론

Rasmussen의 주장과 같이 인간의 과업 수행은 기술기반, 규칙기반, 그리고 지식기반 행동으로 분류될 수 있다. 그러나, 실제로 본인이 그 과업을 수행함에 있어서 어느 수준에서 수행하고 있는가는 본인밖에 알 수 없으므로, 과업의 난이도를 객관적으로 평가하는 방법은 없다. 본 연구 결과는 인간의 심리생리학적 반응을 근거로 적절한 척도를 찾아내고, 궁극적으로 과업의 난이도를 객관적으로 평가하는 방법을 찾기 위하여 수행된 연구의 일부이다.

과업을 수행하는 피실험자들의 뇌파와 작업 수행 결과를 비교한 본 연구의 결과를 정리하면, 뇌파의 밴드 파워비에 영향을 미치는 요인으로는 피실험자 요인과 피실험자x과업의 교호작용 요인이 통계적으로 유의함을 다시 확인할 수 있었다.

또한, 과업에 따른 뇌파 파워비의 변화는 통계적으로 유의할 만큼 크지는 않았으나, 과업의 특성에 따라 각각 다른 패턴을 보였는데, 과업의 특성

상 α 밴드파워비는 자극과 반응의 양립성 수준에 따라 변화하는 특성을 보인 반면, β 밴드파워비는 자극의 친숙성 여부에 따라 변화하는 특성을 반영한다고 판단되었다.

본 연구에서 뇌파의 변화는, 지역적으로 볼 때 전두부 쪽으로 갈수록 β 밴드파워비가, 두정부쪽으로 갈수록 α 밴드파워비가 증가함을 보였으나, 이는 단순히 전후 방향의 변화만을 가리키는 한계를 갖고 있으므로, 제시자극의 다양화에 따른 변화와 아울러 평면적인 뇌파의 분포를 이해해야 하는 추후과제가 남아 있다.

감사의 글 : 이 논문은 2008학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2008).

참고문헌

- 1) 橋本邦衛, 安全人間工学, 中央勞働災害防止協會, 1984.
- 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) Sheffers, M. K., Coles, M. G., Bernstein, P., Gehring, W. J., 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.
- 4) 임현교, "인간과오 유발 상황에서 뇌파 상대파워 특성의 변화", 한국안전학회지, 제23권, 제3호, pp. 65~70, 2008.
- 5) Haider, M., Spong, P., and Lindsley, D. B., "Attention, vigilance, and cortical evoked-potentials in humans", Science, Vol. 145, pp. 180~182, 1964.
- 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., 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) Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., 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.
- 9) 임현교, “인간과오의 심리생리적 징후와 작업 수행도”, 한국산업안전학회 춘계 학술논문발표회, pp. 260~263, 2000.
 - 10) 임현교, “계수작업시 사상관련전위 및 작업 성능에 미치는 조명조건의 영향”, 한국산업안전학회지, 제15권, 제1호, pp. 167~175, 2000.
 - 11) 임현교, “단순 지적과업 중 인간과오 관련 심리생리학적 특성의 변화”, 한국안전학회지, 제24권, 제3호, pp. 71~78, 2009.
 - 12) Cerutti, S., Fortis, G., Liberati, D., Baselli, G., Civardi, S., “Power spectrum analysis of heart rate variability during a mental arithmetic task”, *Journal of Ambulatory Monitoring*, Vol. 1, No. 3, pp. 241~250, 1988.
 - 13) Malliani, A., Lombardi, F., Pagani, “Power spectrum analysis of heart rate variability: a tool to explore neural regulatory mechanisms”, *British Heart Journal*, Vol. 71, pp. 1~2, 1994.
 - 14) Kay, S. M., Marple, Jr., S. L., “Spectrum analysis - A modern perspective”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 69, No. 11, pp. 1380~1419, 1981.