시청각 학습의 반복 수행에 따른 전두부의 뇌파 활성도 변화

김용진 · 장남기
(동마중학교) · (서울대학교)

Changes of the Prefrontal EEG(Electroencephalogram) Activities according to the Repetition of Audio-Visual Learning

Kim, Yong-Jin · Chang, Nam-Kee
(Dongma Middle School) · (Seoul National University)

ABSTRACT

In the educational study, the measure of EEG(brain waves) can be useful method to study the functioning state of brain during learning behaviour. This study investigated the changes of neuronal response according to four times repetition of audio-visual learning. EEG data at the prefrontal(Fp_1, Fp_2) were obtained from twenty subjects at the 8th grade, and analysed quantitatively using FFT(fast Fourier transform) program. The results were as follows :

1) In the first audio-visual learning, the activities of β_2(20-30Hz) and β_1(14-19Hz) waves increased highly, but the activities of θ(4-7Hz) and α (8-13Hz) waves decreased compared with the base lines. 2). According to the repetitive audio-visual learning, the activities of β_2 and β_1 waves decreased gradually after the 1st repetitive learning. And, the activity of β_2 wave had the higher change than that of β_1 wave. 3). The activity of α wave decreased smoothly according to the repetitive audio-visual learning, and the activity of θ wave decreased radically after twice repetitive learning. 4). β and θ waves together showed high activities in the 2nd audio-visual learning(once repetition), and the learning achievement increased highly after the 2nd learning. 5). The right prefrontal(Fp_2) showed higher activation than the left(Fp_1) in the first audio-visual learning. However, there were not significant differences between the right and the left prefrontal EEG activities in the repetitive audio-visual learning.

Based on these findings, we can conclude that the habituation of neuronal response shows up in the repetitive audio-visual learning and brain hemisphericity can be changed by learning experiences. In addition, it is suggested once repetition of audio-visual learning be effective on the improvement of the learning achievement and on the activation of the brain function.

Key words: audio-visual learning, repetitive learning, EEG(brain waves), habituation, brain hemisphericity, the prefrontal activation, neuronal rhythm.

*200 년 1월 15일 받음.

I. 서 론

1. 연구의 필요성과 목적

인간의 사고 및 행동은 대뇌의 기능에 의해 조절되며 대뇌의 기능은 많은 뇌신경들의 활동에 달려있다. 뇌신경들의 활동은 뇌파(brain waves, electroencephalograms)의 형태로 나타나므로 뇌파 측정은 학습행동이 진행되는 동안 비침습적 방법으로 두뇌의 기능 상태를 실시간으로 조사하는데 유용한 신경과학적 연구 방법이라고 할 수 있다.

뇌파는 정상인이 흥분하거나 특정한 과제에 주의를 집중할 때 대뇌 피질의 세포들이 상호 조화하여 진동하지 않는 비동기화(desynchronization) 현상에 의해 13Hz보다 빠른 주파수의 β파가 활성화되며(Andreassi, 1989; Lozanov, 1982; Luria, 1973), 안정을 취하고 있을 때에는 대뇌 피질의 다수 세포가 거의 동시에 활동하는 동기화(synchronization)현상에 의해 α파(8-13Hz)와 더 느린 주파수를 가지는 θ파, δ파 등의 서파(slow waves)가 우세하게 나타난다(Steriade et al., 1990; 김용진 · 장남기, 2000a). α파의 세기(power)는 정신 활동과 역관계(Shagass, 1972; Larson et al., 1998)에 있으며 θ파는 깊이 내면화되고 조용한 상태의 육체, 감정 및 사고 활동과 관련되고(Hutchison, 1996; Klimesch, 1995; Green & Alyce, 1977), δ파는 두뇌 기능이 완전히 이완된 깊은 수면 상태에서 우세하게 나타나는 것으로 보고되어 왔다(한선호 · 齊藤章二, 1992). 이러한 뇌파의 리듬적 특성들은 학습행동에 대한 두뇌 기능을 객관적으로 연구하는데 있어서 독서능력(Maxwell et al., 1974)이나 지적능력(Lutzenberger et al., 1992) 등을 해석하거나 언어적 과제의 학습 활동에서는 좌반구, 공간적 과제의 학습 활동에서는 우반구의 활성이 우세하게 이루어진다(Galin & Ornstein, 1972; Bogen, 1975; Butler, 1988; Glass, 1991)는 것을 밝히는데 이용되어 왔다. 그러나 아직까지 국내의 교육학 분야에 뇌파 측정을 적용한 학습행동의 연구는 소수에 불과하여 학습 활동의 유형에 따른 우세 뇌파의 연구와 이에 기초한 학습모형의 개발(김용진, 2000), 지능검사의 문제를 해결하는 사고 활동(김용진 등, 2000) 및 과학적 사고 활동(권용주, 2001)에서 θ파의 활성이 우세하게 나타남을 보고한 정도이다.

생물의 학습행동에 대한 신경 작용의 연구는 바다달팽이(Aplysia)에서 잘 이루어졌다. 바다달팽이에 반복적으로 자극을 가하면 감각신경세포에서 운동신경세포로 방출되는 신경전달 물질의 양이 감소하는 시냅스(synapse)의 변화에 의해 아가미 수축 반사가 약해지는 습관화 현상이 나타나며(Carew et al., 1983), 인간에 있어서도 새롭거나 중요한 자극에 주의를 기울이는 지향반응(orienting response)을 나타내고 반복적인 자극에 대하여 점차 습관화(habituation)가 이루어진다(Sokolov, 1963; Thompson & Spencer, 1966). 학습 활동에서의 습관화 현상에 대한 선행 연구로는 원숭이가 운동학습을 할 때 초기 단계에 세포들의 활동이 높았다가 훈련 과정을 통해 약해지며(Llungberg et al., 1992), 사람이 일련의 손가락 운동으로 키보드를 누르는 시행착오의 학습에서 전전두엽(prefrontal lobe) 기능의 습관화 현상(Toni et al., 1998)과 전두엽과 두정엽에서 대뇌의 혈류 흐름에 습관화 현상이 나타난다(Warach et al., 1992)는 보고들이 있다. 따라서 습관화는 하등동물과 고등동물 사이의 공통적 현상으로 볼 수 있으며, 학습자료를 인지하고 내용을 이해하여야 하는 교과수업과 같이 많은 뇌신경들이 복잡하게 작용하는 인간의 학습행동에 있어서도 반복적인 학습 수행에 따라 정신 작용에 습관화 현상이 나타날 수 있다고 여겨진다.

인간은 외부 사물에 대한 감각 정보 중 70% 이상을 눈을 통해서 받아들이므로 시각적 영상자료가 다른 양식의 자극들 보다 강한 주의를 유발한다(Anderson, 1990). 따라서 학교 현장의 교실 수업에서 이루어지는 다양한 학습 활동 중 시청각 자료를 활용한 교수-학습 활동이 학생들의 주의를 집중시키는데 적합하다(Hill, 1986). 그러나 일반적으로 능동적 주의 과정에서 처음 비디오를 이용한 시청각 학습에서는 호기심이 매우 높으나 반복하여 비디오를 시청할 때에는 호기심을 적게 가지는 것으로 알려져 있

다(Hirst, 1986; 조주연, 1995). 이러한 현상을 두뇌 신경의 작용 측면에서 규명한다면 학교 수업에서의 효율적인 시청각 학습의 방안을 마련하고, 개발된 시청각 학습자료의 효용성을 객관적으로 평가하는데 이용될 수 있을 것이다. 또한 선행 연구(김용진, 2000)에서 시청각 학습이 다른 유형의 학습 활동보다 두뇌의 각성 상태와 관련된 뇌신경의 활성 상태가 높게 나타나는 것으로 조사되었으므로 시청각 학습 활동을 반복적으로 수행하는 과정에서 학습자의 뇌신경 반응이 약해지는 습관화 현상의 여부를 조사하기에 적합하다.

인간의 두뇌는 많은 세포들이 서로 네트워크(network)를 이루며 자율적인(self organization) 협동작용을 함으로써 시너지효과(synergy effect)를 나타낸다(Haken, 1996). 따라서 인간의 인지기능 및 행동은 전체 뇌가 자극을 처리하고 적절한 반응을 준비하는 가운데 뇌의 특정 영역이 중심적으로 작용하여 이루어진다. 특히, 두뇌의 앞쪽에 해당하는 전전두엽은 뇌간의 윗 부분, 시상과 대뇌 피질의 다른 영역들에 매우 밀접하게 연결(Luria, 1973)되고 대뇌 피질의 일반적인 각성 상태 및 새로움에 대한 호기심과 주의(attention)를 통제하는 기능을 가지고 있어(Koechlin et al., 1999; Frith & Dolan, 1996), 새로운 시청각 학습자료에 주의를 집중하는 것과 같은 지향반응에 중심 역할을 한다(Daffner et al., 2000). 또한, 전전두엽을 감싸는 전두부(前頭部)는 전극을 부착하기 용이하여 학습 활동 중에 자연스럽게 뇌파를 측정하기에 좋은 부위이다. 따라서, 본 연구에서는 새로운 시청각 자료를 이용하여 반복적으로 시청각 학습을 수행하는 동안 전전두엽 부위에 해당하는 뇌신경 리듬의 활성 변화를 정량적으로 분석하였다. 본 연구의 구체적 연구 문제는 다음과 같다.

1) 시청각 학습이 반복적으로 수행됨에 따라 뇌신경 리듬의 활성 변화에 습관화 현상이 나타나는가?

2) 시청각 학습이 반복적으로 수행됨에 따라 전전두부의 좌·우뇌 기능 상태는 어떠한가?

3) 시청각 학습에서 효율적인 두뇌 기능과 학업성취 향상에 적합한 반복 학습의 횟수는 몇 회인가?

2. 연구의 제한점

본 연구는 두뇌 전체가 아니라 새로움에 대한 주의집중과 사고 기능에 중심 역할을 하는 전전두엽에 해당하는 부위만의 뇌파 측정이 이루어졌으며, 특정 내용의 생물 시청각 학습자료와 한정된 학생들을 대상으로 연구한 제한점이 있다.

III. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 서울특별시 소재의 중학교 2학년(만 13-14세)에 재학중인 학생 20명(남자 12명, 여자 8명)을 대상으로 연구 취지를 설명하고 부모와 피험자의 허락을 받아 실시하였다. 피험자들은 모두 뇌 손상이나 질병 치료를 받은 적이 없는 오른손잡이며, 학업 성적이 보통 이상으로 학습 능력에 장애가 없는 학생들임을 담임교사들로부터 확인하였다.

2. 연구 장소

수업 종료 후 조용한 시간에 연구대상 학교 교실의 중앙에 수업 중의 자세로 의자에 앉아 약 15°상방으로 4m 전방에 위치해 있는 29″모니터의 화면을 보도록 하였다. 비디오에 연결된 모니터 소리의 세기는 모든 피험자에게 명확하게 들리도록 설정하고 일정하게 유지하였다.

3. 연구 방법

1) 기준상태(baseline)

시청각 학습용 비디오 자료를 시청하기 이전에 눈을 감고 안정을 취한 상태에서 생각을 적게 하도록 요구하고 자연스럽게 호흡을 하는 1분 동안의 뇌파를 측정하여 기준상태의 뇌파로 사용하였다.

2) 시청각 학습(audio-visual learning)

피험자인 중학교 2학년 학생들이 과거에 학습했거

나 시청한 적이 없는 교과 내용의 선정을 위해 한국교육방송원(1998)에서 위성 교육 방송용으로 처음 제작한 중학교 3학년 과학(생물) 교과의 '체세포 분열' 단원에 해당하는 내용을 10분간 주의 깊게 시청하여 학습하도록 하였다. 이 중에서 '체세포 분열 과정의 단계'에 대한 내용을 시청하는 3분 동안의 뇌파를 피험자가 의식하지 않도록 자연스럽게 측정하였다.

'체세포 분열 과정의 단계'에 대한 시청각자료의 내용은 체세포 분열의 간기, 전기, 중기, 후기, 말기의 각 단계별 세포 형태 및 염색체의 배열 상태에 대한 동영상 및 그림 화면과 이를 설명하는 교사의 목소리 등으로 구성되어 있다. 피험자들은 모두 '세포'의 기본 구조만 배운 상태이며, '체세포 분열'에 대한 내용을 처음 학습하는 것으로서 세포에 대한 기본 학습이 이루어진 상태에서 새로운 상위 수준의 학습 내용을 공부하는 상태로 볼 수 있다.

시청각 학습내용에 대하여 연구자와 생물 전공 교사 2명의 협의로 주관식 평가 문제 10문항을 개발하였으며, 피험자가 학습을 마치고 5분 후에 학습 내용에 대한 주관식 평가 문제에 답하도록 하였다. 10분간 휴식을 취한 후 1차 시청각 학습에서와 같은 과정을 반복하여 2차, 3차, 4차, 5차의 시청각 학습에 대한 뇌파 측정과 성취도 평가를 실시하였다.

3) 뇌파 측정 및 분석 방법

선행연구(김용진, 2000) 방법에 따라 미국의 IBVA 2-channel EEG system을 이용하여 피험자 좌 · 우뇌의 전전두엽에서 방출되는 뇌전위를 Fp_1(좌뇌), Fp_2(우뇌) 부위에서 측정하고 고속 푸리에 변환(FFT) 프로그램을 이용하여 정량적으로 분석하였다. 분석에 사용된 뇌파의 파장대 영역은 β_2: 20-30Hz, β_1: 14-19Hz, α: 8-13Hz, θ: 4-7Hz로 설정하였으며, 전두부에서 3Hz 이하의 δ파는 안구 운동 등의 영향을 많이 받으므로 결과 분석에서 제외하였다. 기준상태 및 1차, 2차, 3차, 4차, 5차 시청각 학습에서의 뇌파 파장대별 활성도 변화를 조사하고, 각 학습차수 사이의 평균 활성도 차이에 대한 대응비교 검정을 하였으며 Fp_1과 Fp_2의 α 파 활성도를 대응비교 검정하여 좌 · 우뇌의 우세성을 비교하였다.

III. 연구 결과 및 논의

시청각 학습이 반복적으로 이루어짐에 따른 β_2파(20-30Hz)의 변화는 〈Fig. 1〉에 나타냈으며, 각 학습차수 사이의 평균 활성도 차이를 비교하여 검정한 결과는 〈Table 1〉과 같다. 학습 활동 이전의 기준상태에서는 전전두엽의 좌뇌에 해당하는 부위인 Fp_1에서 0.90μV, 우뇌에 해당하는 부위인 Fp_2에서 0.97μV의 낮은 활성도를 보였으나 첫 번째 시청각 학습에서 활성도가 증가하여 Fp_1이 2.07μV, Fp_2가 3.61μV를 나타냈다(Fig. 1). 2차 시청각 학습(1회 반복학습)에 의해 1차 학습 때보다 Fp_2에서 0.16μV의 감소를 보였으나 유의한 변화는 아니었으며, Fp_1에서는 1.5μV의 높은 증가($p<.001$)가 이루어져 Fp_2와 유사한 활성 상태를 보였다(Table 1). 3차 시청각 학습(2회 반복학습)에서는 기준상태보다는 높았지만 2차 시청각 학습에 비하여 β_2파의 활성도가 감소하여 Fp_1이 2.36μV, Fp_2가 2.28μV의 활성도를 보였다. 4차 시청각 학습(3회 반복학습)에 의해서도 3차 시청각 학습에서보다 활성도가 감소하여 Fp_1에서 1.19μV, Fp_2에서 1.11μV의 활성도를 보였으며 5차 시청각 학습(4회 반복학습)에서는 4차 학습 및 기준상태와 유사한 활성도를 나타냈다. 따라서, β_2파의 활성도는 처음 시청각 학습이 이루어질 때는 크게 증가하였다가 동일한 학습이 반복됨에 따라 점차 감소하여 학습 이전의 기준상태에 근접하게 되는 변화를 보인다는 것을 알 수 있었다.

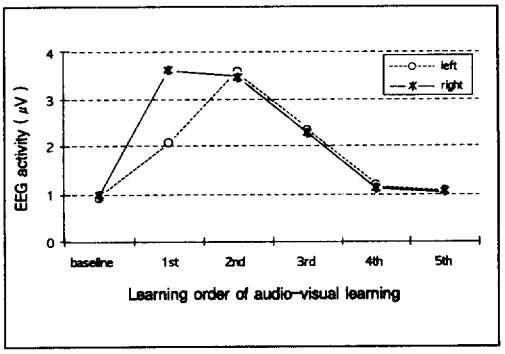

Fig. 1. Changes of β_2 activity according to the repetition of audio-visual learning

Table 1. Mean differences(I-J) of β_2 activity between the orders of audio-visual learning

Learning Order I \ J		Left prefrontal(Fp_1)					Right prefrontal(Fp_2)				
		Baseline	1st	2nd	3rd	4th	Baseline	1st	2nd	3rd	4th
1st	MD	1.17*					2.64*				
	(SD)	(.33)					(.67)				
2nd	MD	2.67*	1.50*				2.48*	-.16			
	(SD)	(.35)	(.48)				(.46)	(.88)			
3rd	M.D.	1.46*	.29*	-1.21*			1.31*	-1.33*	-1.17*		
	(SD)	(.39)	(.51)	(.49)			(.36)	(.67)	(.50)		
4th	MD	.29*	-.88*	-2.38*	-1.17*		.14	-2.50*	-2.34*	-1.17*	
	(SD)	(.28)	(.46)	(.36)	(.31)		(.29)	(.74)	(.48)	(.34)	
5th	MD	.16	-1.02*	-2.52*	-1.30*	-.13	.06	-2.57*	-2.42*	-1.24*	-.07
	(SD)	(.27)	(.37)	(.43)	(.27)	(.33)	(.31)	(.74)	(.45)	(.31)	(.33)

* $p<.05$, SD : Standard Deviation on Mean difference(MD) in EEG activity

반복 시청각 학습에 따른 β_1파(14-19Hz)의 변화는 〈Fig. 2〉와 같으며, 각 반복 차수간의 활성도 차이에 대하여 비교 검정한 결과는 〈Table 2〉에 나타내었다. 시청각 학습에서 β_1파(Fig. 2)의 활성도가 β_2파(Fig. 1)보다 낮았고 변화의 폭도 작게 나타났다. 이는 새로운 물체를 처음 인식하는 영아(infants)에 있어서 20-30Hz의 뇌신경 리듬이 14-19Hz의 리듬보다 민감하게 작용한다는 선행 연구(김용진 · 장남기, 2000b) 결과에 비추어 볼 때, 새로운 시청각 학습에 대한 각성 활동에 있어서도 20Hz 이상의 높은 주파수에 해당하는 뇌신경 리듬이 우세하게 작용한다는 것을 의미한다.

β_1파의 활성도 변화 역시 β_2파와 유사하게 1차와 2차 시청각 학습에서 증가하였다가 3차, 4차, 5차의 반복학습에 따라 점차 감소하는 변화 양상을 보였다(Fig. 2). 이와 같이 시청각 학습의 반복에 따라 β_2와 β_1파의 활성도가 초기에 증가했다가 점차 감소하는 변화는 자극이 새롭고 신기한 것으로 지각되면 뇌신경의 β파 리듬이 높게 나타나지만 자극에 습관화되거나 문제가 해결되면 β파가 약해진다는 보고(Sokolov, 1963; Thompson & Spencer, 1966)와 일치하는 것으로 고등동물의 학습행동에서도 습관화 현상이 나타난다는 선행 보고들(Warach et al., 1992; Llungberg et al., 1992; Toni et al., 1998)의 연구결과를 지지하는 것이다. 또한, 교실에서 행해질 수 있는 인간의 교과학습 활동에 있어서 뇌신경 반응에 습관화 현상이 나타난다는 것을 제시하며 시청각 학습이 학생들에게 인지적 자극이 되기 위해서는 새로운 것이어야 한다(Hirst, 1986; 조주연, 1995)는 전통적인 관점을 두뇌 신경의 작용 측면에서 증명한 것으로 볼 수 있다.

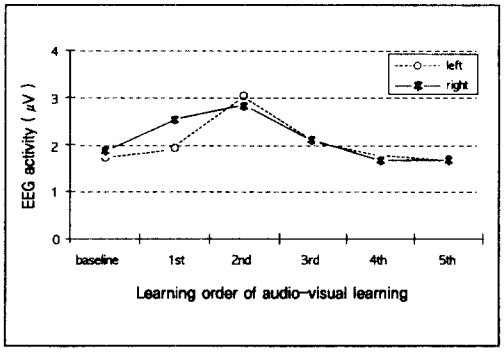

Fig. 2. Changes of β_1 activity according to the repetition of audio-visual learning

Table 2. Mean differences(I-J) of β1 activity between the orders of audio-visual learning

Learning Order I \ J		Left prefrontal(Fp_1)					Right prefrontal(Fp_2)				
		Baseline	1st	2nd	3rd	4th	Baseline	1st	2nd	3rd	4th
1st	MD	.19*					.66*				
	(SD)	(.33)					(.47)				
2nd	MD	1.31*	1.12*				.95*	.29*			
	(SD)	(.46)	(.37)				(.34)	(.59)			
3rd	MD	.36*	.18*	-.95*			.22*	-.44*	-.73*		
	(SD)	(.46)	(.37)	(.41)			(.35)	(.61)	(.23)		
4th	MD	.05	-.14	-1.27*	-.32*		-.20	-.86*	-1.15*	-.42*	
	(SD)	(.31)	(.33)	(.36)	(.29)		(.46)	(.70)	(.35)	(.36)	
5th	MD	.03	-.22*	-1.34*	-.40*	-.08	-.20*	-.85*	-1.15*	-.42*	-.01
	(SD)	(.37)	(.30)	(.37)	(.20)	(.23)	(.32)	(.65)	(.23)	(.26)	(.31)

* p< .05, SD : Standard Deviation on Mean difference(MD) in EEG activity

반복 시청각 학습에 따른 θ파(4-7Hz)의 활성도 변화는 〈Fig. 3〉에 나타냈으며 각 학습 차수 사이의 평균 활성도 차이에 대한 비교 검정 결과는 〈Table 3〉과 같다. 기준상태에서 θ파의 활성도는 Fp_1에서 4.89㎶, Fp_2에서 4.69㎶로 비교적 높은 활성을 나타냈으나 1차 시청각 학습에 의해 각각 4.36㎶, 3.90㎶로 감소하였다(Fig. 3). 그러나 2차 시청각 학습에서는 Fp_1에서 5.56㎶, Fp2에서 5.99㎶로 높게 증가하였고 3차 시청각 학습에서는 Fp_1과 Fp_2 모두 2차 학습에서의 활성도와 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3). 4차 시청각 학습에서는 θ파의 활성도가 크게 감소하여 Fp_1에서 3.90㎶, Fp_2에서 4.16㎶의 활성을 나타냈으며 5차 시청각 학습에서는 4차 학습에서와 유사한 활성을 보였다. 따라서 θ파의 활성도는 처음 이루어지는 시청각 학습에 의해 학습 이전의 기준상태에서 보다 감소하지만 1회의 반복학습에서 활성 증가가 이루어지고 2회의 반복학습(3차 학습) 후에 다시 감소하는 변화를 보인다는 것을 알 수 있었다.

인간의 뇌신경 리듬은 외부 정보에 주의 집중(external attention)시에는 β파가 우세하고 내적 경험에 주의를 집중(internal attention)하여 사고하는 경우에는 θ파를 우세하게 나타내는 것으로 알려져 있다(Hutchison, 1996; Stroebel, 1982; 김용진, 2000). 이러한 뇌파의 특성을 고려할 때, 기준상태에 비하여 1차 시청각 학습에서 β파의 활성은 높게 증가한 반면 θ파의 활성이 감소한 현상은 학습 내용에 대한 사고 활동보다 새로운 학습자료에 대한 정보에 주의를 집중하는 활동이 우세하게 작용한 것으로 볼 수 있다. 또한, 2차 학습에서 β파와 θ파의 활성이 모두 높게 나타난 것은 외부 정보를 받아들이면서 사고 활동도 함께 높이 이루어졌으며, 3차 시청각 학습에서 β파의 활성이 이전 학습에서 보다 감소하였지만 θ파는 여전히 높은 활성을 유지한 현상은 학습자료에 대한 새로움의 인지활동은 감소했지만 학습 내용에 대한 사고 활동은 계속 높게 이루어졌음을 의미한다. 4차 학습부터 β파와 θ파의 활성이 모두 낮은 활성을 보인 것은 학습자료와 내용에 익숙해짐에 따라 정보를 받아들이는 인지활동과 사고활동이 모두 뇌신경의 활성을 많이 요구하지 않은 것으로 해석할 수 있으며, 이러한 뇌신경의 습관화 현상은 두뇌가 계속적으로 정확한 정보를 받아들이면서도 반응 활동을 감소시키는 경제적 적응 행동이라고 여겨진다.

반복 시청각 학습에 따른 α파(8-13Hz)의 활성도 변화는 〈Fig. 4〉에 나타냈으며 각 학습 차수 사이의 평

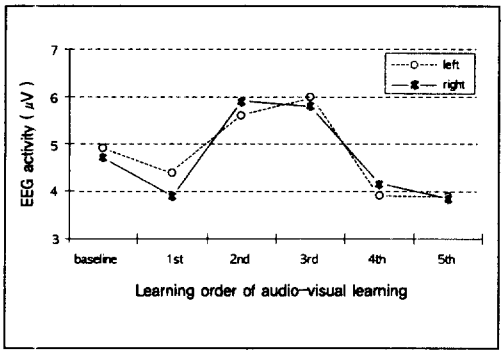

Fig. 3. Changes of θ activity according to the repetition of audio-visual learning

균 활성도 차이에 대한 비교 검정 결과는 〈Table 4〉와 같다. θ파와 유사하게 처음 시청각 학습이 이루어질 때 α파의 활성도가 유의하게 감소하였다($p<.001$). α파의 활성은 두뇌의 기능이 이완되고 안정적일 때 높아지므로(Larson et al., 1998; Banquet, 1973; Shagass, 1972), 1차 시청각 학습에서 α파의 활성 감소는 새로운 학습자료의 인식활동으로 두뇌 기능이 활발히 작용하였다는 것을 의미한다. 2차 학습에서는 1차 학습에서보다 Fp_2에서 .57μV의 유의한 증가($p<.01$)를 나타냈지만 Fp_1에서의 증가는 유의하지 않았다($p=.63$). 3차와 5차 학습에서는 각각 이전 차수의 α파 활성도 보다 통계적으로 유의한 감소를 보이지 않았지만, 4차 학습에서는 3차 학습에서보다 유의한 감소를 보였다($p<.001$). 따라서 전체적으로 시청각 학습이 반복됨에 따라 α파의 활성도는 기준상태에서보다 낮게 유지되면서 점차 감소하는 경향을 보였으며, 이는 계속적인 반복학습에서 두뇌가 안정을 취하지 못하고 학습 활동을 위해 계속 기능하고 있음을 반영한다고 해석할 수 있다.

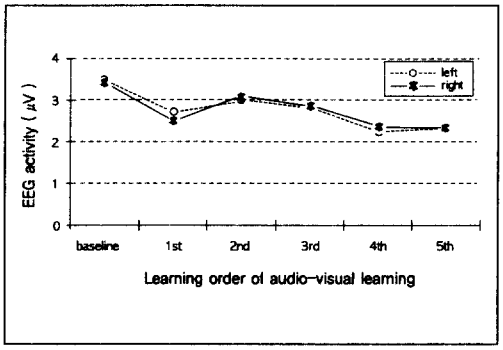

Fig. 4. Changes of α activity according to the repetition of audio-visual learning

Table 3. Mean differences(I-J) of θ activity between the orders of audio-visual learning

Learning Order		Left prefrontal(Fp_1)					Right prefrontal(Fp_2)				
I \ J		Baseline	1st	2nd	3rd	4th	Baseline	1st	2nd	3rd	4th
1st	MD	-.52*					-.79*				
	(SD)	(.95)					(.97)				
2nd	MD	.67*	1.20*				1.30*	2.09*			
	(SD)	(1.28)	(1.31)				(1.32)	(1.11)			
3rd	MD	1.08*	1.60*	.40			1.11*	1.90*	-.19		
	(SD)	(1.12)	(.90)	(1.29)			(1.01)	(.79)	(.94)		
4th	MD	-.99*	-.46*	-1.66*	-2.06*		-.54*	.25	-1.84*	-1.65*	
	(SD)	(.94)	(.98)	(1.05)	(1.10)		(.94)	(1.14)	(.95)	(1.02)	
5th	MD	-.98*	-.46*	1.66*	-2.06*	.00	-.88*	-.09	-2.18*	-1.99*	-.34
	(SD)	(.88)	(.40)	(1.14)	(.92)	(.71)	(.92)	(.54)	(1.13)	(.84)	(1.07)

* $p<.05$, SD : Standard Deviation on Mean difference(MD) in EEG activity

Table 4. Mean differences(I-J) of α activity between the orders of audio-visual learning

Learning Order I \ J		Left prefrontal(Fp_1)					Right prefrontal(Fp_2)				
		Baseline	1st	2nd	3rd	4th	Baseline	1st	2nd	3rd	4th
1st	MD	-.77*					-.90*				
	(SD)	(.72)					(.91)				
2nd	MD	-.49*	.28				-.33	.57*			
	(SD)	(.82)	(.63)				(.89)	(.49)			
3rd	MD	-.63*	.13	-.15			-.54*	.35*	-.22		
	(SD)	(.84)	(.57)	(.54)			(.93)	(.35)	(.57)		
4th	MD	-1.24*	-.48*	-.75*	-.61*		-1.06*	-.17	-.74*	-.52*	
	(SD)	(.73)	(.54)	(.36)	(.44)		(.96)	(.64)	(.56)	(.64)	
5th	MD	-1.14*	-.37*	-.65*	-.50*	.11	-1.08*	-.19*	-.75*	-.54*	-.02
	(SD)	(.62)	(.59)	(.41)	(.54)	(.43)	(.91)	(.34)	(.57)	(.40)	(.58)

* $p<.05$, SD : Standard Deviation on Mean difference(MD) in EEG activity

인간의 인지기능에 있어서 좌뇌는 언어적이고 분석적이며 우뇌는 시각적이고 공간적이라는 두뇌 반구의 특성은 다양한 교수-학습 활동에서 두뇌 기능을 고려하는데 적용되어 왔으며(Bogen, 1975), 신경과학적으로 두뇌 반구성의 평가는 두뇌의 휴식과 안정 상태를 나타내는 α파의 활성도(Larson et al., 1998)를 이용하여 이루어져 왔다(Glass, 1991; Butler, 1988; Galin & Ornstein, 1972). 따라서 전전두엽의 좌뇌에 해당하는 Fp_1과 우뇌에 해당하는 Fp_2에서 α파의 평균 활성도 차이를 통계적으로 비교 검정하였다(Table 5). 그 결과, 시청각 학습 이전의 기준상태에서는 Fp_1과 Fp_2의 α파 활성도 사이에 유의한 차이가 없었으나($p=.585$), 첫 번째 시청각 학습에서는 Fp_1이 Fp_2보다 유의하게 높은 활성을 나타내었다($p<.01$). 그러나 반복학습에 해당하는 2차, 3차, 4차, 5차의 시청각 학습에서는 모두 Fp_1과 Fp_2에서의 α파 활성도 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다.

α파보다 더 느린 주파수를 가지는 θ파(Fig. 3)에 있어서도 α파와 유사하게 1차 시청각 학습에서 Fp_1이 Fp_2보다 유의하게 높은 활성을 나타내었으며 [$t(19)=2.66$, $p<.05$], 2차 시청각 학습부터는 Fp_1과 Fp_2의 활성도 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한, α파의 활성과 역관계를 보이면서 두뇌의 각성상태와 밀접한 관련이 있는 β파(Larson et al., 1998; Andreassi, 1989; Luria, 1973)의 경우에 1차 시청각 학습에서 β_2파(Fig. 1)는 $t(19)=7.20$, $p<.001$로 나타났으며, β_1파(Fig. 2)는 $t(19)=4.46$, $p<.001$로 나타나서 모두 Fp_2의 활성도가 Fp_1보다 유의하게 높았으나 2차 시청각 학습부터는 Fp_1과 Fp_2의 활성도 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 시청각 학습이 처음 이루어질 때에는 전전두엽의 우뇌(Fp_2)가 좌뇌(Fp_1)보다 우세하게 작용하지만 반복 학습에서는 전전두엽의 좌뇌와 우뇌 기능이 고루 작용한다는 것을 의미한다.

이러한 결과는 전전두엽의 우 반구가 공간 인식이나 형태 식별과 같은 기능에 관여하고 정보의 부호화(encoding)는 좌 반구의 전전두엽 피질을 활성화시킨다는 연구들(Marks & Isaacs, 1995; McCarthy et al., 1994)에 비추어 볼 때, 1차 시청각 학습에서는 화면의 정보를 받아들이는 기능이 우세하게 작용하였으며 반복학습에서는 화면의 정보를 받아들이면서 학습 내용에 대한 언어적 인지활동이 함께 작용한 것으로 해석된다. 또한, 반복학습에서 전전두엽 좌뇌와 우뇌의 우세성이 구별되지 않은 것은 학습 경험에 의해

좌·우 반구의 우세성이 변화할 수도 있음을 의미한다. 이는 일반인에게 우 반구성으로 나타나는 음악 활동이 숙련된 음악가의 경우에는 분석적으로 좌 반구에서 처리하는 것처럼 동일한 과제에 대해 많은 훈련을 받으면 뇌 활동이 변할 수도 있다는 보고(Davidson & Schwartz, 1977)와 일치하는 것이다.

시청각 학습에 따른 학업 성취도 평가 결과의 변화는 〈Fig. 5〉에 나타내었다. 1차 시청각 학습에 대한 평가 점수는 10점 만점에 평균 3.70점(표준편차 .66)으로 나타났으나 1회 반복한 2차 시청각 학습 후에는 평균 8.30점(표준편차 1.03)으로 크게 향상되어 높은 학업 성취를 이루었으며, 2회의 반복학습에 해당하는 3차 시청각 학습에 의해 거의 완전한 학업 성취가 이루어졌다(평균 9.8점). 이러한 결과는 반복학습으로 학업 성취도가 향상될 수 있다는 일반적인 사실을 보여준다.

성취도의 점수와 두뇌 기능 상태를 관련지어 보면 β파의 활성만 증가한 1차 학습에서보다 β파와 θ파의 활성이 함께 높이 이루어지면서 좌·우뇌의 기능이 함께 작용한 2차 시청각 학습(1회 반복)이 80% 이상의 학업 성취를 이루게 한 것으로 해석할 수 있다. 또한, 3차 학습에서부터 β파의 활성이 감소하고 2차와 3차의 시청각 학습 후의 학업 성취도 사이에 큰 차이가 없으며 4차 학습부터는 θ파의 활성 역시 β파의 활성과 함께 감소한 점들을 고려할 때, 뇌신경 리듬의 효율적인 활성을 통해 높은 학업 성취를 이룰 수 있는 시청각 학습의 횟수는 2회(1회 반복학습)가 적합하다고 할 수 있다.

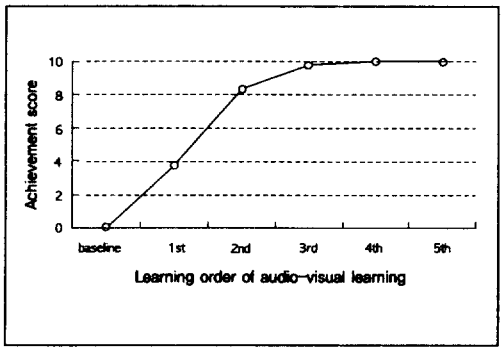

Fig. 5. Changes of achievement score according to the repetition of audio-visual learning

Table 5. Paired samples test on the EEG α activity in the Fp1 and Fp2 according to the repetition of audio-visual learning

Learning Order	Region	Mean activity	SD	Paired difference (Fp_1-Fp_2)			df	t	Sig. (2-tailed)
				Mean	SD	SE			
Baseline	Fp_1	3.47	.68	.07	.55	.12	19	.555	.585
	Fp_2	3.40	.83						
1st	Fp_1	2.70	.49	.20	.30	.07	19	2.950	.008
	Fp_2	2.50	.32						
2nd	Fp_1	2.98	.31	-.09	.27	.06	19	-1.447	.164
	Fp_2	3.07	.40						
3rd	Fp_1	2.84	.47	-.02	.17	.04	19	-.528	.603
	Fp_2	2.86	.38						
4th	Fp_1	2.23	.27	-.11	.47	.11	19	-1.016	.322
	Fp_2	2.34	.45						
5th	Fp_1	2.33	.26	.01	.46	.10	19	.159	.875
	Fp_2	2.32	.35						

본 연구의 결과들을 종합하면 시청각 학습이 반복됨에 따라 뇌신경 반응에 습관화 현상이 나타나며 처음 이루어지는 시청각 학습에서는 좌뇌보다 우뇌의 활성이 우세하게 작용하지만 반복학습에서는 좌·우뇌의 우세성이 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한, 시청각 학습에서 두뇌 신경의 효율적 활용을 통한 학업 성취를 이루기 위해서는 1회의 반복학습이 적합하다고 제시할 수 있다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 교육학 분야의 연구에서 학습 활동의 정신 작용을 객관화하기 위하여 신경과학적 연구 방법을 적용한 것에 의의가 있다고 할 수 있다. 연구 결과, 새로운 내용의 시청각 학습이 처음 이루어지는 동안에는 기준상태에서보다 뇌신경의 속파 리듬인 β_2파(20-30Hz)와 β_1파(13-20Hz)의 활성이 증가하였으며, 서파 리듬인 θ파(4-7Hz)와 α 파(8-13Hz)의 활성은 감소하였다. 이러한 현상을 뇌파의 특성과 관련지어 볼 때 처음 이루어지는 시청각 학습은 두뇌의 사고 기능 활성보다는 새로움에 대한 주의 집중을 잘 유도하는 것으로 해석할 수 있다. 동일한 내용의 시청각 학습자료에 대하여 반복적인 학습이 이루어짐에 따라 β_2파와 β_1파의 활성은 1회의 반복학습 후에 점차로 감소하였으며, θ파의 활성은 1, 2회의 반복학습에서 높게 나타난 후에 3회 째의 반복학습부터 다시 감소하였다. 이는 인간의 교과학습 행동과 같은 고차원적인 두뇌 기능에 있어서도 뇌신경의 반응에 습관화 현상이 나타난다는 것을 밝힌 것이다.

처음 시청각 학습이 이루어질 때는 전전두부의 우뇌(Fp_2)가 좌뇌(Fp_1)보다 우세한 활성을 보였지만 반복적인 학습에서 우세성이 나타나지 않은 것은 학습 경험에 의해 두뇌 반구의 우세성이 변화할 수도 있음을 제시하는 것이다. 아울러, 높은 학업 성취도를 이룬 2차의 시청각 학습(1회 반복학습)에서 β파와 θ파의 활성이 함께 높게 나타난 것은 속파와 서파의 뇌신경 리듬이 고루 활성화될 때 학습 내용에 대한 이해가 높아지는 것을 의미한다. 따라서 시청각 학습에 있어서 1회의 반복학습이 효율적인 두뇌 기능과 학업 성취를 이루는데 적합하다고 결론지을 수 있다.

본 연구의 결과는 학교 현장에서 두뇌 기능을 고려한 시청각 학습의 효율적인 활용 방안을 위한 과학적 기초로 활용될 수 있을 것이다. 후속 연구로 다양한 학습자료와 많은 학생들을 대상으로 두뇌 전체에 대한 뇌파 분석이 이루어져야 할 것이며, 이와 같은 연구 방법이 교육학 분야의 학습행동 연구에 적극 활용될 수 있기를 기대한다.

적 요

학습행동에서의 뇌파 측정은 실시간으로 두뇌 기능 상태를 연구하는데 유용한 연구 방법이며, 대뇌의 부위 중 전전두엽은 새로움에 대한 지향반응과 사고 활동에 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 중학교 2학년 학생 20명에게 새로운 시청각 학습자료를 제시하고 4회의 반복학습이 이루어지는 과정에서 전전두부(Fp_1, Fp_2)의 뇌파를 측정하고 고속푸리에 변환(FFT)을 하여 정량적으로 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 새로운 내용의 첫번째 시청각 학습으로 기준상태에서보다 뇌신경의 속파 리듬인 β_2파(20-30Hz)와 β_1파(13-20Hz)의 활성은 증가하였으며, 서파 리듬인 θ파(4-7Hz)와 α 파(8-13Hz)의 활성은 감소하였다.

2) β_2파와 β_1파의 활성은 1회의 반복학습 이후에 점차로 감소하였으며, β_2파가 β_1파보다 반복학습에 따른 활성도의 변화가 크게 이루어졌다.

3) 반복적인 시청각 학습이 이루어짐에 따라 α 파의 활성도는 기준상태에서보다 낮은 상태에서 완만하게 감소하였으며, θ파의 활성은 2회의 반복학습 후에 감소하였다.

4) β와 θ파의 활성이 함께 높은 2차 시청각 학습(1회 반복학습)에서 높은 학업 성취도의 향상을 보였다.

5) 처음 시청각 학습이 이루어질 때에는 전전두엽의 우뇌(Fp_2)가 좌뇌(Fp_1)보다 우세한 기능을 보였지만 반복적인 시청각 학습에서는 좌·우 뇌의 우세성이 구별되지 않았다.

따라서 교과학습과 관련된 인간의 정신행동에 있어

서 뇌신경 반응의 습관화 현상이 나타나며, 학습 경험에 의해 두뇌 반구의 우세성이 변화할 수도 있음을 제시한다. 또한 시청각 학습에 있어서 두뇌 기능의 효율적 활용을 통한 학업 성취도 향상을 위해서는 1회의 반복 학습이 적합하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

권용주(2001). 과학적 사고 과정의 신경인지학적 해석. 한국생물교육학회 2001년 동계학술대회 심포지움 자료, 8-11.

김용진(2000). 학습 활동의 뇌파 분석에 기초한 두뇌 순환 학습 모형의 개발과 과학 학습에의 적용. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

김용진, 장남기(2000a). 정신 활동의 수준에 따른 우세 뇌파의 분포. 한국행동생물학회지, 9(1), 51-60.

김용진, 장남기(2000b). 새로운 물체를 인식하는 영아의 전두부 뇌파 분석. 한국행동생물학회지, 9(1), 61-70.

김용진, 김학현, 박재근, 채희경, 강경미, 조선희, 민윤기, 장남기(2000). 문제풀이 활동에서 뇌파 측정에 의한 두뇌 기능 상태의 평가. 한국생물교육학회지, 28(3), 291-301.

조주연(1995). 주의 집중과 유지. 수업기술의 이론과 실제. 교단지원 자료 95-13. (pp.120-156). 서울특별시교육연구원.

한국교육방송원(1998). EBS 위성중학강좌, 중3과학. 서울: 지학사.

한선호, 齊藤 章二(1992). 臨床腦波 (pp. 1-76). 서울: 일조각.

Anderson, J. R.(1990). *Cognitive psychology and its implications* (3rd ed.). New York: Freeman & Company.

Andreassi, J. L.(1989). *Psychophysiology : Human behavior and physiological response.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Barquet, J. P.(1973). Spectral analysis of the EEG in meditation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 35*(2), 143-151.

Bogen, J. E.(1975). Some educational aspects of hemispheric specialization. *UCLA Educator, 17*(1), 24-32.

Butler, S.(1988). Alpha asymmetry, hemispheric specialization and the problem of cognitive dynamics. In D. Giannitrapani & L. Murri (Eds.), *The EEG of Mental Activities*, 75-93. Baser, Karger.

Carew, T. J., Hawkins, R. D., & Kandel, E. R. (1983). Differential classical conditioning of a defensive withdrawal reflex in *Aplysia Californica. Science, 219*, 397-400.

Daffner, K. R., Mesulam, M. M., Scinto, L. F., Acar, D., Calvo, V., Faust, R., Chabrerie, A., Kennedy, B., & Holcomb, P.(2000). The central role of the prefrontal cortex in directing attention to novel events. *Brain, a journal of neurobiology, 123*(Pt 5), 927-939.

Davidson, R. J., & Schwartz, G. E.(1977). The influence of musical training on patterns of EEG asymmetry during musical and non-musical self-generation tasks. *Psychophysiology, 14*(1), 58-63.

Frith, C., & Dolan, R.(1996). The role of the prefrontal cortex in higher cognitive functions. *Brain research Cognitive, 5*(3), 175-181.

Galin, K., & Ornstein, R.(1972). Lateral specialization of cognitive mode : An EEG study. *Psychophysiology, 9*(4), 412-418.

Glass, A.(1991). Significance of EEG alpha asymmetries in cerebral dominance. *International Journal of Psychophysiology, 11*(1), 32-33.

Green, E., & Alyce, G.(1977). *Beyond Biofeedback.* New York: Delacorte.

Haken, H.(1996). *Principles of Brain*

Functioning : A Synergetic Approach to Brain Activity, Behavior and Cognition (pp. 7-30). Berlin: Springer.

Hill, C. H.(1986). Using visualization and relaxation in learning basic skills. paper presented at the annual meeting of the Southwest regional Conference of the International reading association. *Eric Document No., ED*, 268521.

Hirst, W.(1986). The Psychology of attention. In J. LeDoux and W. Hirst (Eds.), *Mind and Brain: Dialogues in cognitive neuroscience* (pp. 105-141). Cambridge, England: Cambridge Univ. Press.

Hutchison, M.(1996). *Megabrain : New tools and techniques for brain growth and mind expansion* (2nd ed.). New York: Ballantine books.

Klimesch, W.(1995). Memory processes described as brain oscillations in the EEG-alpha and theta bands. *Psychology, 11*(2), 134-143.

Koechlin, E., Basso, G., Pietrini, P., Panzer, S., & Grafman, J.(1999). The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature, 399*(6732), 148-151.

Larson, C. L., Davidson, R. J., Abercrombie, H. C., Ward, R. T., Schaefer, S. M., Jackson, D. C., Holden, J. E., & Perlman, S. B. (1998). Relations between PET-derived measures of thalamic glucose metabolism and EEG alpha power. *Psychophysiology, 35*(2), 162-169.

Llungberg, T., Apicella, P., and Schultz, W. (1992). Responses of monkey dopamine neurons during learning of behavioral reactions. *Journal of Neurophysiology, 67*(2), 145-163.

Lozanov, G.(1982). *Suggestology and Outlines of Suggestopedy*. New York: Gordon and Breach.

Luria, A. R.(1973). The Working Brain : *An Introduction to Neuropsychology*. New York: Basic Books.

Lutzenberger, W., Birbaumer, N., Flor, H., Rockstroh, B., & Elbert, T.(1992). Dimensional analysis of the human EEG and intelligence. *Neuroscience letters, 143*(1), 10-14.

Marks, D. F. & Isaacs, A. R.(1995). Topographic distribution of EEG activity accompanying visual and motor imagery in vivid and non-vivid imagers. *The British Journal of Psychology, 86*(2), 271-282.

Maxwell, A. E., Fenwick, P. B., Fenton, G. W., & Dollimore, J.(1974). Reading ability and brain function : A simple statistical model. *Psychological Medicine, 4*(2), 274-280.

McCarthy, G., Blamire, A. M., Puce, A., Nobre, A. C., Bloch, G., Hyder, F., Goldman-Rakic, P., & Shulman, R. G.(1994). Functional magnetic resonance imaging of human prefrontal cortex activation during a spatial working memory task. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 91*(18), 8690-8694.

Shagass, C.(1972). Electrical activity of the brain. In N.S. Greenfield and R.A. Sternbach (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 263-328). New York: Holt, Rinehart, and Winston.

Sokolov, E. N.(1963). Higher nervous functions : The orienting reflex. *Annual Review of Physiology, 25*, 545-580.

Steriade, M., Edward G. J., Rodolfo, R. L. (1990). *Thalamic oscillations and signaling* (pp. 132-153). John Wiley and Sons, Inc.

Stroebel, C. F.(1982). *QR: The Quieting Reflex*. New York: Putnam.

Thompson, R. F., & Spencer, W. A.(1966). Habituation : a model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. *Psychological Review, 41*, 447-451.

Toni, I., Krams, M., Turner, R., and Passingham, R. E.(1998). The time course of changes during motor sequence learning: a whole-brain fMRI study. *NeuroImage, 8*(1), 50-61.

Warach, S., Gur, R. C., Gur, R. E., Skolnick, B. E., Obrist, W. D., & Reivich, M.(1992). Decreases in frontal and parietal lobe regional cerebral blood flow related to habituation. *Journal of cerebral blood flow and metabolism., 12*(3), 546-553.