

# 수학학습의 추상적 개념발달에 대한 뇌신경학적 역동학습 연구

권형규

경성대학교 교육학과

## 요 약

본 연구는 인지적 발달단계에 대한 신경학적 역동 발달주기를 규명하기 위하여 추상적 발달단계인 추상적 맵핑, 추상적 체계, 단일원리의 각 학습단계별 뇌파의 변화와 역동적 학습발달 간의 관계를 규명하였다. 컴퓨터 수학학습에서 일어나는 자발적 학습은 수학과제를 수행할 때 적은 학습지원 으로 나타나는 학습효과에 중점을 두었으며 이해적 학습은 적절한 학습지원을 통해 나타내는 학습효과를 중심으로 인지적 변화와 뇌파와의 관계성을 통해 뇌와 뇌신경의 발달관점에서 파악한 것이다. 연구 결과, 추상적 맵핑과 추상적 시스템 단계에서 지원을 통한 이해적 학습이 두정엽과 전두엽에서 의미 있는 뇌 활동성을 가져왔으며 추상적 개념학습의 마지막 단계인 단일원리에서는 피험자의 발달단계가 적정나이보다 작아 오히려 지원을 통한 이해적 학습이 더 적은 뇌 활동성을 가져왔다.

키워드 : 뇌파, 역동학습, 추상적맵핑, 추상적 체계, 단일원리

## Neurological Dynamic Development Cycles of Abstractions in Math Learning

Hyungkyu Kwon

Dept. of Education, Kyungsung University

### ABSTRACT

This is to understand the neurological dynamic cognitive processes of math learning based on the abstract mappings(level A2), abstract systems(level A3), and single principles(level A4), which are principles of Fischer's cognitive development theory. Math learning requires flexibility to adapt existing brain function in selecting new neuro-physiological activities to learn desired knowledge. This study suggests a general statistical framework for the identification of neurological patterns in different abstract learning change with optimal support. We expected that functional brain networks derived from a simple math learning would change dynamically during the supportive learning associated with different abstract levels. Task based patterns of the brain structure and function on representations of underlying connectivity suggests the possible prediction for the success of the supportive learning.

Keywords : Brainwave, Dynamic Learning, Abstract Mappings, Abstract Systems, Single Principles

---

이 논문은 2014학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

논문투고 : 2014-11-09

논문심사 : 2014-11-12

심사완료 : 2014-12-06

## 1. 서론

### 1.1 연구의 필요성 및 목적

본 연구는 피셔[1]의 인지적 발달이론 원리에 대한 신경학적 역동 발달주기를 규명하기 위하여 추상적 발달단계인 추상적 매핑, 추상적 체계, 그리고 추상적 시스템 체계의 각 학습단계별 뇌파의 변화와 역동적 학습 발달간의 관계를 규명하였다. 컴퓨터 수학학습에서 추상개념의 발달단계는 수학 4칙 연산인 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 그리고 나눗셈을 조합하여 만든 문제로 학습단계를 규명하게 되는데 역동적 학습성장 모형이란 뇌의 성장, 인지적 발달, 그리고 학습 발달의 주기가 서로 연계하는 변화과정이다[2]. 컴퓨터 수학학습은 원하는 지식을 얻기 위해 새로운 뇌의 활동을 선택해나가는 과정에서 기존에 만들어져있는 뇌의 패턴에 적응해 나가는 유연성을 요구한다. 유연성이 적용되기 위해서는 학습자의 수준에 따라 빠르고 자동적인 학습이 이루어는 과정에 뇌파의 변화를 측정함으로써 수학학습의 숙련도가 뇌파의 변화로 나타났다. 이를 통해 개인별 신경학적 발달 주기에 따라 수학학습의 숙련 정도가 결정된다는 설명이 가능해지는 것이다. 이에 따라 뇌의 구조와 활동성에 따른 역동적인 패턴의 변화를 정량뇌파 분석결과로 제시하여 추상적 개념의 발달 단계를 규명하는 신경학적 패턴의 변화를 조사하였다. 뇌의 신경학적 변화가 나타내는 뇌파의 활동성과 인지적 수행의 순환 주기는 적절한 수준의 수학학습을 개인별 신경학적 주기에 맞추어 제공함으로써 최적의 결과를 가져오는 근거가 마련된다. 인간 뇌의 발달은 나이에 따른 지속적인 변화를 따르므로[3] 일생을 통한 학습자가 인지적 기능을 최대한 활용할 수 있도록 신경생리학적 시점을 파악하는 것은 학습자의 수학학습 수행을 지원하여 최적의 학습결과를 기대할 수 있는 객관적인 기준을 제시해준다. 3개로 나눈 추상개념 발달은 각각 자발적 학습과 이해적 학습의 형태로 제공되는데 자발적 학습은 매우 적은 학습지원을 통해 학습이 진행되고 이해적 학습은 교수자의 적절한 학습지원을 통해 진행된다. 수학학습은 암기 수업과 다르게 기존에 존재하는 뇌의 성장과 인지적 발달과 연계하여 새로운 지식을 배워야 하는 신경학적인 적응활동을 선택해야 하는 복잡하고 상관된 변화를

가지는 역동적 발달을 요구한다[2]. 수학학습에서 일어나는 자발적 학습은 수학과제를 수행할 때 학습지원 없이 나타나는 학습효과에 중점을 두고 이해적 학습은 적절한 학습지원을 통해 나타내는 학습효과를 중심으로 인지적 변화와의 관계성을 보았다. 뇌파의 활성도는 수학 학습의 제공과 평가에서 학습지원이 거의 없는 자발적 학습과 학습지원을 제공하는 이해적 학습에서 학습 발달 정도에 따라 느리거나 빠른 흐름이 반복되어 나타난다. 이러한 학습의 역동성은 학습내용 숙지에 대한 자동적 인식 정도에 따라 새로운 학습내용을 수렴하는 이해와 시간의 관점에서 역동적으로 일어나게 된다. 이러한 학습의 역동성을 보기위해 학습발달 단계 중 추상적 개념 정립을 중심으로 뇌신경학적인 경향성이 역동적인 학습패턴에 어떤 의미를 가지는 지를 보는 것이 필요하다. 본 연구는 뇌의 역동적 변화를 규명하기 위하여 뇌파의 활동성을 조사한 것으로 뇌파는 일반적으로 주파수에 따라 0.5~4Hz 대역을 델타파, 4~8Hz 대역을 세타파, 8~12Hz 대역을 알파파, 그리고 12~15 대역을 감각운동리듬(SMR)파, 13~30Hz 대역을 베타파, 그리고 30Hz 이상인 대역을 감마파로 구분한다. 본 논문에서는 학습의 정서적 상태를 나타내는 알파, 학습 준비상태를 보여주는 SMR파[4], 그리고 학습 집중도를 나타내는 베타파를 중심으로 분석하였다. 알파파는 안정된 정신적 상태를 잘 나타내는데 알파파의 정서적 표현은 학습에 미치는 긍정적인 영향을 알 수 있다. SMR 파는 지속적인 학습준비 유지가 가능한 최적의 긴장 상태를 나타내며 베타파는 집중적인 정신활동을 수행할 때 일어난다[5]. 본 연구는 뇌 영역별로 뇌파의 활동에 따른 인지적 학습수행이 구별되는 구조와 기능을 알아내어 학습자에게 가장 적절한 학습지원을 할 수 있는 이론적 근거를 마련하는 데 있다. 여러 가지 인지적이고 감성적인 요인이 동시에 영향을 미쳐 가져오는 뇌의 변화는 개인별 수준 및 발달에 따라 다르게 나타난다. 이 연구는 뇌의 신경학적인 변화의 규칙적인 패턴을 분석하여 역동학습 주기를 규명하는 것이다. 인간의 학습이란 존재하는 뇌의 기능에 적응하는 유연성과 학습하기 위해 시도하는 새로운 신경생리학적 활동을 선택하는 작업이 요구된다[6]. 개인별로 잘 적응되도록 적절한 학습 지원을 해주기 위해서는 다양한 형태의 추상적 개념 학습에 따라 신경학적 패턴을 연계하는 통계적인 기

준을 제시해 주는 것이 필요하다. 학습에 따른 뇌의 패턴 구조 및 기능은 우리가 언제 성공적으로 학습지원을 수행해야 하는 지를 예측하게 해준다. 전통적으로 인터뷰 및 설문을 통하여 학습자의 학습단계를 파악하는 것은 교수자와 진단내용 및 학습환경 요인에 따라 변화가 심하므로 뇌 영역별 뇌파의 활동성을 분석하여 수학학습에 따른 뇌신경학적 변화를 역동적 학습발달 단계에 따른 상호관련성을 규명한 연구이다.

2. 관련연구

2.1 인지발달 단계

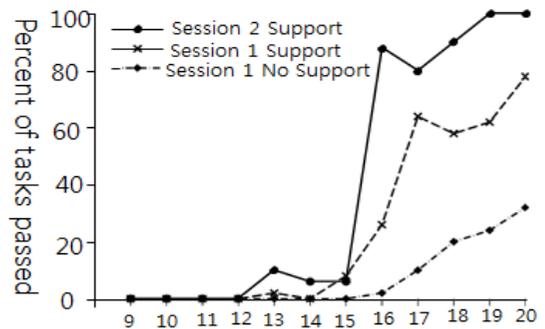
인지발달과 뇌 발달에 대한 연구가 뇌 발달을 중심으로 보고되었지만[7][8] 피셔의 연구에서는 인지발달주기에 대하여 아래 <Table 1>과 같이 나누어서 단순한 상태에서 복잡한 상태까지 특정한 나이에 일어나는 급격한 급등과 하락을 중심으로 나누어 설명하고 있다[2]. 여기서 최적의 나이라는 것은 해당하는 수준이 학습지원과 함께 제공되었을 때 최고의 급등을 가져올 수 있는 나이를 의미한다. 기능적 나이란 일반적으로 경험하는 각 수준별 나이 대를 제시하고 있다.

<Table 1> Developmental levels during the school years: optimal & functional[2]

Level	Optimal	Functional
Rp1: Single Representations	2	2~5
Rp2: Representational Mappings	4	4~8
Rp3: Representational Systems	6	7~12
Rp4/ab1: Single Abstractions	10	12~20
Ab2: Abstract Mappings	15	17~30
Ab3: Abstract Systems	20	23~40, never
Ab4: Single Principles	25	30~45, never

2.2 뇌 급등 발달 주기

뇌 발달영역에서 본 뇌의 활동성의 변화에 대한 연구는 많지만[9][10] 뇌의 활동에 대한 방향성을 제시한 유일한 연구로 피셔의 연구결과를 보면 먼저 오른쪽 뇌로 활동성이 움직이는 것을 알 수 있다. 먼저 오른쪽 전두엽과 후두엽의 응집이 강하게 일어나고 이것은 전두엽과 측두엽으로 이동하게 된다. 이후 좌뇌로 이동하는데 좌뇌에서는 먼저 좌뇌의 측두엽과 후두엽에서 강한 응집이 일어나고 이것은 좌뇌의 전두엽과 후두엽으로 이동하게 된다. 이러한 연구[2]는 뇌의 발달과 관계하여 순환주기를 제시하고 있지만 본 연구에서는 우선 각 학습단계별 급등과 하락의 주기를 중심으로 제시하였다. 아래의 그림은 추상적 맵핑 단계에 있는 학습자를 대상으로 최적의 수행을 보이는 나이인 15세 정도에 학습지원(support 1)을 통해 이해학습을 한 경우 학습 성취 정도가 급등한 것을 알 수 있다. 여기서 다시 2주 동안 이 문제를 더 생각할 기회를 준 경우 학습 성취가 더욱 더 급등한 것을 보이고 있다(support 2).

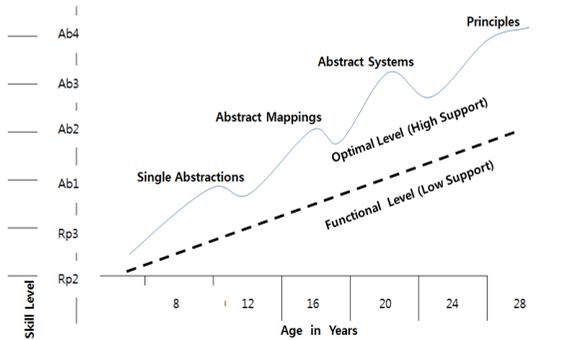


(Fig. 1) Spurts for mappings of arithmetic operations[2]

2.3 뇌 급등 발달 주기

전 생애의 순환적 급등 위에 제시한 발달단계는 기능적 나이로 학습지원 없이 진행된 경우 별다른 학습향상 없이 진행되는 것을 보이고 있으며(Functional level: low support), 반면에 적절한 나이에 학습지원이 이루어지는 경우 갑작스런 급등을 포함하여 주기적으로 변화하고 있는 것을 알 수 있다(Optimal Level: high sup-

port). 이러한 변화는 뇌파 등 뇌의 활성도를 중심으로 한 뇌 실험을 중심으로 뇌의 활동성이 재 조직화되는 과정을 보이고 있다[11][12].



(Fig. 2) Cyclical spurts for cognitive development under optimal conditions[2]

### 3. 연구방법

피험자는 24명의 대학교 학생으로 19세에서 24세까지 각 나이별 2명 남자, 2명 여자인 4명으로 구성되어 있다. 실험참여자는 자발적으로 참여하였으며 실험에 대한 보상으로 학습과 뇌에 대한 자신의 실험결과에 대하여 컨설팅 할 수 있는 기회를 부여하였다.

컴퓨터를 통한 수학 연산 개념 학습에서 대학생들은 학습지원이 거의 없는 학습형태와 학습지원을 통한 이해력 증진 학습형태를 세 가지 수준의 추상적 개념 학습 상황인 추상적 맵핑, 추상적 시스템, 그리고 추상적 시스템 체계의 상황에서 컴퓨터 기반 학습으로 실험이 진행되었다[13]. 추상적 개념 수준에 따른 연산의 조합을 통하여 반복적으로 이루어지는 정량뇌파를 측정하였다. 정량뇌파란 뇌의 19개 영역(Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, O1, O2)으로 나누어 각 영역별로 알파파, SMR파, 베타파에 대하여 분석하였다. 정량뇌파의 활동을 나누 추상적 맵핑(A2)은 덧셈과 뺄셈, 곱셈과 나눗셈, 곱셈과 덧셈, 나눗셈과 뺄셈의 조합으로 구성되었다. 추상적시스템(A3)은 덧셈과 나눗셈, 뺄셈과 곱셈, 뺄셈을 통한 덧셈과 나눗셈, 덧셈을 통한 뺄셈과 곱셈의 조합으로 구성되어있

다. 추상적체계의 시스템(A4)은 원리라고도 하는데 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 그리고 나눗셈의 관계성을 통합적으로 제시하였다. 여기서 덧셈과 뺄셈은 반대의 관계에 있으며 덧셈과 곱셈 그리고 뺄셈과 나눗셈은 파생적 관계에 있고 덧셈과 나눗셈, 뺄셈과 곱셈은 먼 관계에 있다고 한다. 뇌파측정 기기는 러시아의 Mitsar에서 만든 21채널로 좌우뇌 귀에 참조전극을 연결한 양식을 적용하여 분석하였다. 이를 위한 소프트웨어는 Mitsar 201과 연계된 WinEEG 프로그램과 한국의 Laxtha 회사에서 개발한 Complexity와 Batch 프로그램을 사용하였다. E뇌파측정 위치는 국제전극배치법인 10-20 시스템으로 19개의 채널과 참조 전극을 장착하였다. Sampling rate는 250Hz이고 최고 pass filter는 1Hz, 최저 pass filter는 70Hz에서 측정되었다.

### 4. 연구결과

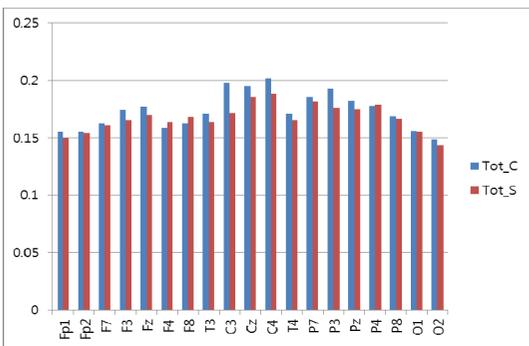
#### 4.1 추상적 맵핑

<Table 2> A2 level Comprehension and Spontaneous learning(19~24yrs)

Region	Variable	Paired Samples Test		Paired Differences		
		Mean	SD	t	Sig.	CI
Alpha_C3	A2C_RA_C3	0.197	0.072	2.425	0.024	0.004 0.049
	A2S_RA_C3	0.171	0.068			
Alpha_P3	A2C_RA_P3	0.193	0.049	2.327	0.029	0.002 0.032
	A2S_RA_P3	0.176	0.061			
SMR_P3	A2C_RLB_P3	0.083	0.025	2.207	0.038	0.001 0.016
	A2S_RLB_P3	0.075	0.032			

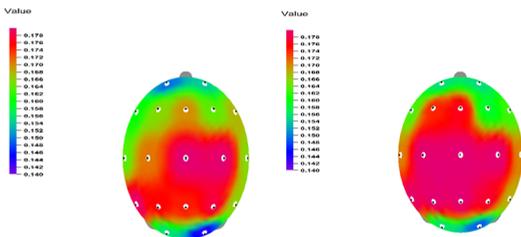
최근의 첨단 신경생리나 신경영상 연구에 의하면 연산기능에 대한 인간의 능력은 감지되는 뇌 기질을 가지는데 두정엽이 모든 연산관련 작업에서 활성화 된다고 하였다. 또한 뇌의 전두엽 및 중심앞 영역이 정신적인 계산에 활성화된다고 하였다[14]. 본 실험결과인 <Table 2>에서 보면 두정엽(P3)과 중심 앞(C3) 영역에서 의미있는 결과를 가져왔는데 중심앞 영역은 알파파에서 지원을 통한 이해적 학습(A2C\_RA\_C3)이 지원이 적은 자발적 학습(A2S\_RA\_C3)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활동성을 가져왔다(p<0.05). 두정엽(P3)은 알파

파에서 지원을 통한 이해적 학습(A2C\_RA\_P3)가 지원이 적은 자발적 학습(A2S\_RA\_P3)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활동성을 가져왔다( $p < 0.05$ ). 감각운동리듬(SMR)파는 지원을 통한 이해적 학습(A2C\_RLB\_P3)이 지원이 적은 자발적 학습(A2S\_RLB\_P3)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활동성을 가져왔다( $p < 0.05$ ). 본 단계(A2)는 추상적 맵핑 단계로 17세에서 30세 사이에 주로 나타난다[1].



(Fig. 3) A2 Alpha Comparison in 19 brain locations(age 19~24) between comprehension learning(Tot\_C) and spontaneous learning(Tot\_S)

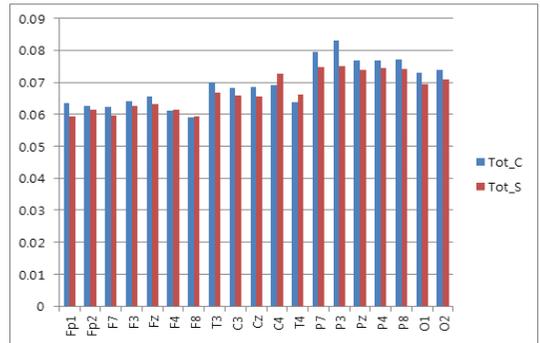
위의 그림은 추상적 맵핑 단계에서 알파파에 대하여 뇌의 각 영역별로 자발적 학습(낮은 학습지원)과 이해적 학습(높은 학습지원)을 비교하여 제시하였다. 위의 유의미한 결과 이외에 다른 파에 대한 전체적인 비교가 가능하다(Fig. 3).



(Fig. 4) A2 Alpha: Spontaneous and Comprehensive learning(19~24yrs)

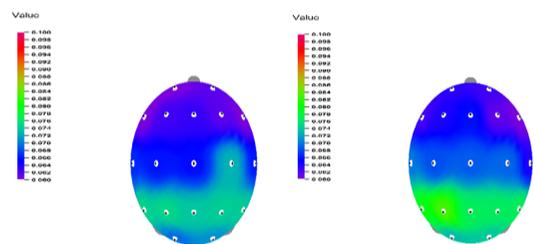
뇌의 활동성을 보여주는 뇌 사진은 대략적인 뇌의 연결성을 보여준다. 구체적인 뇌의 연결성을 통해 뇌의 구조와 기능을 분석하기 위해서는 뇌의 각 영역간의 연

결 점을 설정하고 그러한 점들의 관계가 어떻게 연계되어 있는지를 계속 연결해나가면 응집된 정도를 그래프로 보여줄 수 있다[15]. 위의 그림과 같이 이해적 학습의 경우 좌뇌 전두엽 부분이 자발적 학습보다 더 활성화되어 있는 모습을 볼 수 있다(Fig. 4).



(Fig. 5) A2 SMR Comparison in 19 brain locations(age 19~24) between comprehension learning(Tot\_C) and spontaneous learning(Tot\_S)

위의 그림은 추상적 맵핑 단계에서 SMR파에 대하여 뇌의 각 영역별로 자발적 학습(낮은 학습지원)과 이해적 학습(높은 학습지원)을 비교하여 제시하였다. 위의 유의미한 결과이외에 다른 파에 대한 전체적인 비교가 가능하다(Fig. 5).



(Fig. 6) A2 SMR: Spontaneous and Comprehensive learning(19~24yrs)

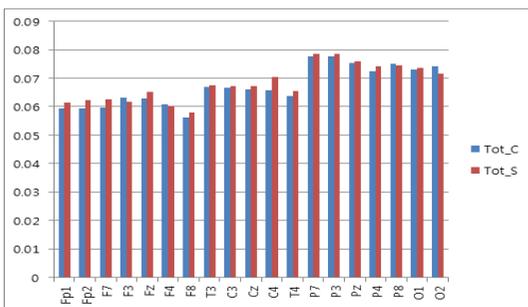
위의 그림은 추상적 맵핑의 SMR파에서 자발적 학습과 이해적 학습을 비교한 것으로 이해적 학습의 경우 자발적 학습의 경우보다 두정엽 뒤쪽이 더 활성화되고 있는 것을 볼 수 있다. 특히 좌뇌가 우뇌보다 더 활성화되었다(Fig. 6).

4.2 추상적 시스템

<Table 3> A3 level Comprehension and Spontaneous learning(19~24yrs)

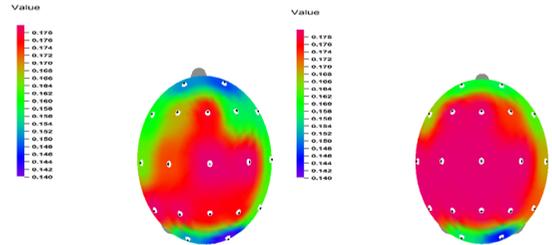
Region	Variable	Paired Samples Test		Paired Differences		
		Mean	SD	t	Sig.	CI
Alpha	A3C_RA_Fp2	0.157	0.041	2.108	0.046	0.000
	_Fp2	A3S_RA_Fp2	0.148			
Alpha	A3C_RA_F4	0.173	0.049	2.564	0.017	0.003
	_F4	A3S_RA_F4	0.157			
Alpha	A3C_RA_T3	0.186	0.067	2.905	0.008	0.006
	_T3	A3S_RA_T3	0.164			
Alpha	A3C_RA_Pz	0.199	0.059	3.375	0.003	0.009
	_Pz	A3S_RA_Pz	0.176			

본 실험결과인 <Table 3>에서는 두정엽(Pz)과 전두엽(Fp2, F4), 그리고 측두엽(T3) 영역에서 자발적 학습과 이해적 학습 간에 의미 있는 결과를 가져왔다. 알파파의 전두엽에서는 지원을 통한 이해적 학습(A3C\_RA\_Fp2)이 지원이 적은 자발적 학습(A3S\_RA\_Fp2)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활성성을 가져왔다(p<0.05). 또한 지원을 통한 이해적 학습(A3C\_RA\_F4)이 지원이 적은 자발적 학습(A3S\_RA\_F4)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활성성을 가져왔다(p<0.05). 두정엽(Pz)은 알파파에서 지원을 통한 이해적 학습(A3C\_RA\_Pz)가 지원이 적은 자발적 학습(A3S\_RA\_Pz)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활성성을 가져왔다(p<0.05). 측두엽에서의 알파파는 지원을 통한 이해적 학습(A3C\_RA\_T3)이 지원이 적은 자발적 학습(A3S\_RA\_T3)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활성성을 가져왔다(p<0.05).



(Fig. 7) A3 Alpha Comparison in 19 brain locations(19~24yrs) between comprehension learning(Tot\_C) and spontaneous learning(Tot\_S)

위의 그림은 추상적 시스템 단계에서 알파파에 대하여 뇌의 각 영역별로 자발적 학습(낮은 학습지원)과 이해적 학습(높은 학습지원)을 비교하여 제시하였다. 위의 유의미한 결과 이외에 다른 파에 대한 전체적인 비교가 가능하다(Fig. 7).



(Fig. 8) A3 Alpha: Spontaneous and Comprehensive learning(19~24yrs)

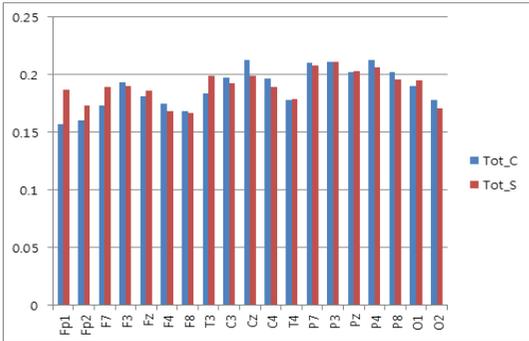
위의 그림은 추상적 시스템의 SMR파에서 자발적 학습과 이해적 학습을 비교한 것으로 이해적 학습의 경우 자발적 학습의 경우보다 뇌가 전반적으로 더 활성화되고 있는 것을 볼 수 있다. 특히 좌뇌가 우뇌보다 더 활성화되었다(Fig. 8).

4.3 단일원리

<Table 4> A4 level Comprehension and Spontaneous learning(19~24yrs)

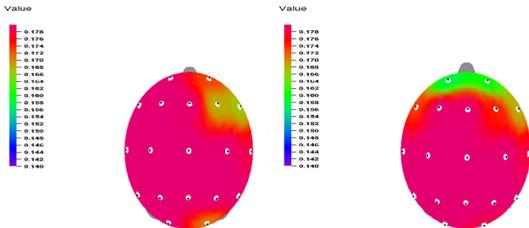
Region	Variable	Paired Samples Test		Paired Differences		
		Mean	SD	t	Sig.	CI
Alpha	A4C_RA_Fp1	0.157	0.052	-2.514	0.019	-0.054
_Fp1	A4S_RA_Fp1	0.187	0.068			

본 실험결과인 <Table 4>에서 보면 단일원리 단계에서는 좌뇌 전두엽 영역(Fp1)의 알파파에서 지원을 통한 이해적 학습(A4C\_RA\_Fp1)이 지원이 적은 자발적 학습(A4S\_RA\_Fp1)보다 통계적으로 유의미한 뇌의 활성성을 가져왔다(p<0.05). 하지만 다른 단계와 틀리게 자발적 단계에서 오히려 더 강한 뇌 활성도를 나타내었다. 이것은 실험군이 최적 나이인 25살에 도달하지 않은 상태에서 추상적 단계 중 가장 높은 단계에 대한 학습을 수행하였으므로 이에 대한 이해부족이 오히려 뇌의 활성도를 의미 있게 떨어뜨린 결과를 가져왔다고 할 수 있다.



(Fig. 9) A4 Alpha Comparison in 19 brain locations(19~24yrs) between comprehension learning(Tot\_C) and spontaneous learning(Tot\_S)

위의 그림(Fig. 9)은 단일원리 단계의 알파파에서 뇌의 각 영역별로 자발적 학습(낮은 학습지원)과 이해적 학습(높은 학습지원)을 비교하여 제시하였다. 위의 유의미한 결과 이외에 다른 파에 대한 전체적인 비교가 가능하다.



(Fig. 10) A4 Alpha: Spontaneous and Comprehensive learning(19~24yrs)

위의 그림은 단일원리 단계의 알파파에서 자발적 학습이 이해적 학습보다 오히려 뇌가 전반적으로 더 활성화되고 있는 것을 볼 수 있다. 특히 좌뇌가 우뇌보다 약간 더 활성화되었다(Fig. 10).

5. 결론 및 제언

본 연구는 피셔의 역동학습 발달단계를 신경생리학적 역동발달 주기로 증명하기 위하여 정량뇌파를 측정하여 추상적 학습발달 단계에 대한 알파, SMR파, 그리고 베타파의 변화를 제시한 것이다. 피셔의 역동학습

주기에 따라 지원학습이 있는 이해적 학습인 경우 뇌의 활성화를 가져왔는데 특히 수학학습과 관련이 있는 두정엽과 전두엽 등에서 의미 있는 뇌 활성화의 차이를 가져왔다. 하지만 마지막 추상적 발달단계에서는 오히려 뇌의 활성화가 감소하는 결과를 가져왔다. 이것은 피셔의 이론[2]에 따라 마지막 추상적 학습 단계에 대한 발달단계가 아직 이르지 못했으므로 과도한 부담이 오히려 뇌의 활성화를 떨어뜨리는 결과를 가져왔다고 할 수 있다. 본 연구는 학습자의 생리적 학습리듬을 과학적으로 규명하여 적절한 학습지원을 제공할 수 있는 바이오마커를 규명할 수 있는 기반을 제공해 준다고 할 수 있다. 학습은 단지 학습 성취뿐만 아니라 기억, 적응, 주의집중, 그리고 정서와 같은 여러 요인이 영향을 미치게 되지만 본 연구를 바탕으로 다른 요인이 가지는 발달주기를 같이 고려하여 개인별 학습 발달단계를 알 수 있는 과학적 기반을 제공할 수 있을 것이다. 수학학습에서 이루어진 다양한 연산영역 문제해결 방향에 따라 신경학적으로 어떻게 구분되는지도 추가적으로 볼 수 있는 연구결과이다. 또한 뇌파의 파별로 수학학습과 연계된 뇌기능을 치료 및 향상시키는 연구와도 접목시키는 것이 본 논문의 주제를 적용 및 활용 할 수 있는 부분이라고 할 수 있다. 학교 교과수업에서도 계산사고를 하는 것이 중요하지만[16] 사고과정을 과학적으로 측정할 수 없으므로 뇌파를 통하여 역동적인 변화과정을 추적하는 것도 가능할 것이다. 비록 본 연구에서는 정량뇌파의 접근을 통해서만 제시되었지만 각 영역별 상호관계에 기반한 응집성이나 사건유발전위와 같은 뇌 연구결과와 함께 제시가 된다면 학습에 대한 더욱 구체적이고 설득력 있는 뇌신경학적 관점의 역동적인 컴퓨터 수학학습 단계를 제공하게 될 것이다.

참고문헌

[1] K. W. Fischer and S.P. Rose(1994). Dynamic development of coordination of components in brain and behavior: A framework for theory and research.  
 [2] K. W. Fischer(2008). Dynamic cycles of cognitive and brain development: Measuring growth in mind, brain, and education. *The Educated Brain*, 127-150.

[3] C. J. Chu-Shore, M. A. Kramer, M. T. Bianchi, V. S. Caviness and S. S. (2011). Cash. Network analysis: applications for the developing brain. *J. Child Neurol.*, 26, 488-500, Apr. 2011.

[4] T. Egner and J. H. Gruzelier(2001). Learned self-regulation of EEG frequency components affects attention and event-related brain potentials in humans. *Neuroreport*, 12, 4155-4159.

[5] A. R. Clarke, R. J. Barry, R. McCarthy, M. Selikowitz, D. C. Clarke and R. J. Croft(2003). Effects of stimulant medications on children with attention-deficit/hyperactivity disorder and excessive beta activity in their EEG. *Clinical Neurophysiology*, 114, 1729-1737.

[6] D. S. Bassett, N. F. Wymbs, M. A. Porter, P. J. Mucha, J. M. Carlson and S. T. Grafton(2011). Dynamic reconfiguration of human brain networks during learning. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 108, 7641-7646. May 3.

[7] B. Casey, J. N. Giedd and K. M. Thomas(2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biol. Psychol.*, 54, 241-257.

[8] M. H. Johnson and Y. Munakata(2005). Processes of change in brain and cognitive development. *Trends Cogn. Sci.(Regul.Ed.)*, 9, 152-158.

[9] T. Paus(2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends Cogn. Sci.(Regul.Ed.)*, 9, 60-68.

[10] M. A. Bell and N. A. Fox(1992). The relations between frontal brain electrical activity and cognitive development during infancy. *Child Dev.*, 63, 1142-1163.

[11] R. W. Thatcher(1996). Developmental neuroimaging: Mapping the development of brain and behavior. Academic Press.

[12] R. W. Thatcher(1992). Cyclic cortical reorganization during early childhood. *Brain Cogn.*, 20, 24-50.

[13] K. W. Fischer, S. L. Kenny and S. L. Pipp(1990). How cognitive processes and environmental con-

ditions organize discontinuities in the development of abstractions.

[14] S. Dehaene, N. Molko, L. Cohen and A. J. Wilson(2004). Arithmetic and the brain. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 14, 218-224.

[15] E. Bullmore and O. Sporns(2009). Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 186-198.

[16] Kapsu Kim(2013). A development of computational thinking education model for elementary students. *Journal of Korea Association of Information education*, 17, 73-81.

저자소개

권형규



1987 한국외국어대학교 영어과 졸업  
 1995 University of Southern California 교육심리 및 공학과 석사 및 박사(Ph.D.)  
 1996~1998 삼성 SDS 정보기술연구소 선임연구원  
 2010~2012 미국 하버드대학교 Mind, Brain, and Education 과 Visiting Scholar  
 1998~현재 경성대학교 교육학과 교수  
 2007~현재 영재 뇌교육연구소 소장  
 관심분야: 뇌교육심리 및 뇌 기반 교육공학, 뇌학습  
 e-mail: alexhkwon@gmail.com