

연구보고 KR 2014-3

디지털교과서 활용이 학습자의 뇌기능에 미치는 영향

연구책임자 : 권 용 주(한국교원대학교)

공동연구자 : 양 일 호(한국교원대학교)

권 석 원(한국교원대학교)

이 일 선(한국교원대학교)

변 정 호(한국교원대학교)

과제책임자 : 계 보 경(한국교육학술정보원)



KERIS

한국교육학술정보원

본 연구에서 제시된 정책대안이나 의견 등은 한국교육학술정보원의 공식의견이 아니라 연구진의 견해를 밝힙니다.

요 약

정보통신기술의 발전과 더불어 스마트기기 활용이 생활 주변에 확산되면서 학생들의 스마트기기 활용에 대한 우려의 목소리가 증대되고 있다. 같은 맥락에서 교육현장에서 스마트기기를 매개로하는 디지털교과서 활용이 학생들에 어떤 영향을 미칠지에 대한 검증 요구도 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 디지털교과서 활용이 학습자의 뇌기능에 미치는 영향을 과학적으로 분석함으로써 디지털교과서 활용이 학습자에게 어떠한 영향을 미치는지를 알아보고자 하였다.

이를 위해 먼저 디지털교과서와 서책형 교과서 활용 시 학습자의 두뇌 활성 영역 비교 분석을 위한 실험 연구를 실시하였다. 더불어 디지털교과서 활용 학생과 서책형 교과서 활용 학생의 뇌기능적 연결기반 인지기능을 비교하였다.

연구 결과, 디지털교과서와 서책형 교과서를 활용할 때 뇌 활성 영역 비교 연구에서는 디지털교과서를 활용할 때와 서책형 교과서를 활용할 때 학생들의 두뇌 활성 영역이 다르게 나타나는 것으로 밝혀졌다. 특히 디지털교과서 사용 시에는 보다 다양한 정보와의 상호작용이 두뇌에서 더 광범위하게 일어나는 것으로 관찰되었다.

또한 학생들이 디지털교과서 활용 시에는 예측, 조망, 학습 관련 고차인지 영역의 활성화가 일어나는 것으로 나타나, 일반 디지털콘텐츠 활용 시에는 동기 보상 시스템 관련 영역이 활성화되는 기존 연구 결과와 상반된 결과를 보였다. 이는 디지털교과서 활용이 중독 등을 유발할 수 있는 동기 보상 영역이 아닌 고차적 인지 영역의 활성화를 가져옴을 보여준다.

더불어 1년 이상 디지털교과서를 활용한 학생 집단과 서책형 교과서만을 활용해온 학생 집단의 뇌기능적 연결기반 인지기능을 비교한 결과, 공간지각 과제 수행 시 디지털교과서 활용 집단이 서책형 교과서 활용 집단에 비해 효율적인 뇌기능을 사용하는 것으로 나타났다. 디지털교과서 활용 그룹에서 디지털기기 활용으로 인한 인지능력의 저하나 중독 현상은 나타나지

않았다. 또한 공간지각과제 수행에 있어 디지털교과서 활용 그룹이 서책형 교과서 활용 그룹보다 과제에 대한 스트레스 정도가 낮은 것으로 나타났다.

본 연구는 디지털교과서가 뇌기능에 미치는 영향에 대해 실제 학습자들을 대상으로 과학적인 분석을 실시한 기초 연구이다. 향후, 디지털교과서를 포함한 디지털 콘텐츠가 학생들의 뇌기능에 미치는 효과에 중장기적 추적 연구를 통해 보다 심층적인 연구 결과를 분석해볼 필요가 있다. 또한 디지털교과서의 자료 유형별 학습주의력과 뇌활성 특성 등에 대한 분석을 통해 디지털교과서 개발에서 활용에 이르기까지 다각도의 심도 깊은 연구를 수행할 필요가 있다.

차 례

I. 서론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
가. 연구의 배경	1
나. 연구의 목적	2
2. 선행 연구 분석	2
가. 디지털 세대의 뇌 과학	4
나. 게임	7
다. 인터넷 사용	9
라. 논의	11
3. 연구의 내용 및 범위	13
II. 연구 방법	14
1. 연구 대상	14
가. 자기주도적 학습능력 검사	15
나. 문제해결력 검사	16
2. 연구 절차	16
3. 과제 개발	18
가. 인지행동과제	18
나. 교과서 과제	20
4. 뇌파 측정 패러다임 설계	21

가. 피험자 안정	21
나. 뇌파 측정	22
다. 뇌파 분석	24
 III. 연구 결과	27
1. 디지털교과서와 서책형교과서를 활용할 때 뇌 활성영역 비교	27
가. 디지털교과서 활용시 두뇌 활성 영역	27
나. 서책형교과서 활용시 두뇌 활성 영역	31
다. 두뇌 활성 패턴의 유사점	35
라. 두뇌 활성 패턴의 차이점	36
마. 디지털교과서와 서책형교과서 활용시 관심영역 추출	38
바. 디지털교과서와 서책형교과서 활용시 기능적 두뇌 연결성 패턴	40
2. 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹 간 인지기능 비교	42
가. 뇌파 검사를 통한 그룹 간 인지적 기능 비교	42
나. 인지기능검사를 통한 그룹 간 인지적 기능 비교	46
 IV. 결론 및 제언	50
 참 고 문 헌	51
ABSTRACT	56

표 목 차

<표 1> 서울 구일초등학교 디지털교과서 연구학교 운영 현황	14
<표 2> 자기주도적 학습능력 분석 결과	15
<표 3> 문제해결력 분석 결과	16
<표 4> 뇌파 분석 주파수 대역	25
<표 5> 디지털교과서 활용시 두뇌활성영역(Delta)	28
<표 6> 디지털교과서 활용시 두뇌활성영역(Low gamma)	29
<표 7> 디지털교과서 활용시 두뇌활성영역(High gamma)	30
<표 8> 서책형교과서 활용시 두뇌활성영역(Delta)	32
<표 9> 서책형교과서 활용시 두뇌활성영역(Low gamma)	33
<표 10> 서책형교과서 활용시 두뇌활성영역(High gamma)	34
<표 11> 디지털교과서 및 서책형교과서 활용 시 공통적으로 두뇌 활성이 증가하는 영역	35
<표 12> 서책형교과서 활용에 비해 디지털교과서 활용 두뇌 활성 영역과 기능	38
<표 13> 디지털교과서 사용 그룹의 관심영역(15 ROIs)	39
<표 14> 서책형교과서 사용 그룹의 관심영역(11 ROIs)	40
<표 15> 숫자 똑바로 외우기 과제	43
<표 16> 숫자 거꾸로 외우기 과제	43
<표 17> 작업기억 과제	43
<표 18> 공간인지 과제	44
<표 19> 디지털 및 서책형교과서 활용 그룹간의 인지기능 능력 차이	47

그 립 목 차

[그림 1] 학습패러다임의 변화와 21세기 학습자상	3
[그림 2] 단일과제와 이중과제 간의 통계적 차이	5
[그림 3] 다양한 수준의 기억 과제에서 제시 방법에 따른 알파값	6
[그림 4] 게임 상황에서의 두뇌 활성 영역의 fMRI 및 MEG 결과	8
[그림 5] 인터넷 중독자들의 전두엽 활성	10
[그림 6] 연구 세부 절차	17
[그림 7] 단기기억 과제 예시	18
[그림 8] 작업기억 과제 예시	19
[그림 9] 공간인지 과제 예시	20
[그림 10] 인지행동과제 수행 시 뇌파 측정 모습	20
[그림 11] 교과서과제 수행 시 뇌파 측정 모습	21
[그림 12] 뇌파 측정 절차	23
[그림 13] 디지털교과서 활용 시 두뇌 활성	27
[그림 14] 서책형교과서 활용 시 두뇌 활성	31
[그림 15] 디지털교과서 활용 vs. 서책형교과서 활용 시 두뇌 활성 비교	36
[그림 16] 서책형교과서 활용과 비교한 디지털교과서 활용시의 두뇌 활성 영역	37
[그림 17] 디지털교과서와 서책형교과서 사용 시 두뇌 기능적 연결	40
[그림 18] 공간인지 과제 수행 시 두뇌 활성 영역(Delta)	44
[그림 19] 공간인지 과제 수행 시 그룹간 주의집중도 차이	45
[그림 20] 공간인지 과제 수행 시 그룹간 과제 민감도 차이	46
[그림 21] 정상인과 비교한 약물, 게임, 디지털교과서 사용 시 두뇌 활성 비교	49

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

가. 연구의 배경

협업에 의한 새로운 지식의 창출과 공유가 실시간으로 이루어지는 디지털 중심의 사회 변화와 스마트폰과 태블릿 등의 디지털기기의 보급 확산되면서, 교육현장에서도 디지털매체의 활용이 증대되고 있다. 서책형 교과서의 한계를 극복하고 보다 풍부한 자원과 교류, 지식창출의 경험을 제공할 수 있는 디지털교과서의 개발 및 보급 정책도 지속적으로 추진되고 있다. 디지털 세대인 지금의 학생들의 수준과 흥미를 충족하기 위한 학습자 중심의 교육 방식과 디지털교과서를 이용한 융합교육을 추진함으로써 미래의 창의적이고 융합적인 인재를 양성하고자 하는 것이다.

한편, 교육 현장에서는 디지털교과서 또는 스마트기기를 이용하여 이루어지는 학습에 대한 역기능을 우려하는 목소리도 높다. 아직까지 자기조절 능력이 부족한 학생들이 디지털 콘텐츠를 활용하게 될 경우 게임 중독이나 인터넷 중독 등에 빠질 수 있다는 우려가 그것이다. 그 외에 검색을 통한 정보의 접근이 손쉬워진 탓에 주요한 내용을 기억하려 하지 않는 생활방식에 의해 디지털 치매와 같은 기억력 감퇴가 일어나고 있다는 주장도 제기되고 있다.

이에 현재 교육 현장에서 시행되고 있는 디지털교과서의 개발과 적용에 대한 과학적인 접근을 통한 실제 디지털교과서 활용이 학습자들에게 미치는 영향에 대한 체계적 분석이 필요하다.

그러나 디지털교과서를 활용한 학습의 효과를 주장하는 쪽이나 역기능을 우려하는 쪽이나 양측의 주장들은 주로 전문가의 의견이나 언론 기사 등의 정보에 의존하고 있으며, 과학적인 실험 데이터에 기반한 객관적인 근거를

제시하고 있지 못하다.

이에 본 연구에서는 디지털교과서 활용이 학습자의 뇌기능에 어떠한 영향을 미치는지를 두뇌 영상 기술을 활용한 과학적인 실험 데이터와 체계적인 연구 과정을 통해 검증함으로써 디지털교과서가 학생들에게 미치는 영향을 객관적으로 규명하고자 하였다.

나. 연구의 목적

본 연구에서는 먼저 디지털교과서 활용 시 학습자의 두뇌 활성 영역을 분석하여 디지털교과서를 통한 학습 상황에서의 영향을 알아보고자 하였다. 더불어 디지털교과서를 이용하여 장기간 학습한 학생들과 디지털교과서를 이용한 경험이 없이 서책형 교과서만을 이용하여 학습한 학생들 간의 두뇌 기능적 연결에 기반 한 인지기능을 비교, 분석함으로써 디지털교과서의 장·단기적 영향을 규명하고자 하였다.

2. 선행 연구 분석

‘맵시 있는, 영리한, 활기찬, 고급의’ 등 복합적 의미를 내포하는 ‘SMART’라는 용어가 이 시대를 이끄는 새로운 패러다임으로 자리매김하고 있다. IT 기기를 포함하는 각종 제품과 기술에 ‘SMART’는 핵심 수식어가 되었다. 이는 지식 정보화 사회에서 넘쳐나는 정보를 효과적으로 활용함으로써 최고의 가치를 추구하는 ‘smart-being’에 대한 시대적 요구와 맞물려 나타나는 문화적 진화라 할 수 있다. 국내에서는 2009년을 시작으로 미국 애플사의 iPhone와 iPad가 국내에서 최초로 판매되고 휴대전화가 그 고유의 기능을 능가하는 지능형 기기로 활용될 수 있음을 증명함에 따라 SMART 열풍이 가속화되었다. 이러한 변화는 디지털 제품과 기술 자체에도 영향을 끼쳤을 뿐 아니라, 그들을 사용하고 구현하는 주체인 인적·사회적 인프라

에도 필연적인 선택으로 작용하고 있다(그림 1). 디지털교과서는 기존의 교과서 대신 디지털기기를 통해 접근이 가능한 프로그램 형태의 학습도구이다. 이에 디지털교과서를 활용한 학습은 일반적으로 디지털기기 사용의 장단점을 공유한다.



[그림 1] 학습패러다임의 변화와 21세기 학습자상

디지털 세대의 학습자들은 기존의 전통적인 학습자 양식과 달리 비선형적 사고, 다양한 정보에 대한 주의선택 및 전환, 멀티태스킹을 통한 정보의 활용, 창의적 사고를 통한 문제해결이라는 학습특성을 지니고 있다. 그러나 사회의 급격한 변화와 이에 따른 학습자의 특성 변화의 속도에 비해 교육 현장은 매우 더디게 변화하고 있다. 반면 디지털 세대에 맞춘 상품의 생산과 게임과 같은 소비재의 증가에 따라 게임 중독이나 인터넷 중독과 같은 디지털 기기 사용의 역기능이 나타나고 있다. 교육은 디지털 세대의 특성을 고려하여 교재를 개발하고 이에 따른 교육을 실시함으로써 디지털 기기 사용의 역기능을 순기능으로 전환할 수 있는 책무를 지니고 있다. 따라서 디지털 세대의 두뇌 수준에서의 특성을 확인함과 동시에 실제 개발되고 있는 디지털 디바이스 기반 교재들의 효과를 신경학적으로 확인함으로써 전통적인 관점에서 우려하고 있는 디지털 세대의 역기능과 순기능을 도출하고자 한다. 또한 이를 바탕으로 디지털 교재 개발의 나아갈 방향과 디지털 세대에 적합한 학습 양식을 제시하고자 한다.

가. 디지털 세대의 뇌 과학

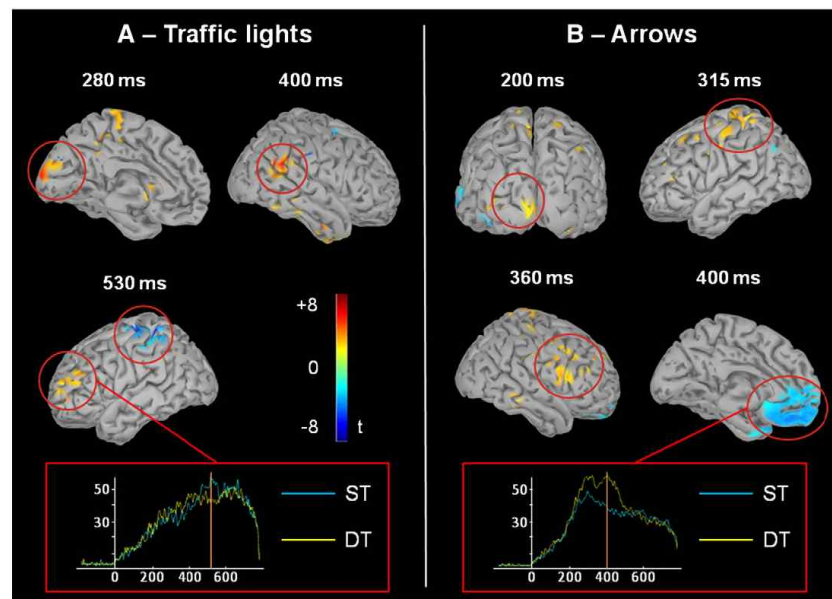
1) 멀티태스킹(multi-tasking)

인간은 일반적으로 두 가지 결정을 동시에 요구하는 상황에서 지속적인 수행 장애를 보이며, 이러한 “멀티태스킹 코스트(multi-tasking costs)”는 감각정보를 운동 반응으로 처리하는 능력의 제한과 관련되어 있다(Pashler, 1994). 이와 같은 감각정보의 운동정보로의 전환을 위한 처리 과정은 반응 선택으로도 알려져 있으며, 감각과 반응의 상대적인 독립성에 기인한다(Dux et al., 2009).

디지털기기의 사용에 익숙한 학생들은 단일 타입(single type)의 선형적 주의 집중에 비해 다중 타입(multiple type)의 비선형적 주의 집중에 익숙해져 있다. 이러한 비선형적 주의 집중은 시각적 단기기억에서 정보의 입력이 지연되는 현상을 유발하게 된다(Brisson & Jolicoeur, 2007). 한 가지 과제를 수행하면서 다른 과제를 수행하기 위해서는 일부 뇌신경회로가 잠시 멈추게 되며, 집중대상이 바뀔 때 마다 전두엽의 실행센터는 필요한 다른 신경회로를 활성화 하게 된다(Hesselmann et al., 2011). 그러므로 전혀 다른 뇌의 영역을 사용하는 일을 수행할 때 다중 과제 수행현상이 발생하며, 전전두피질 지역에서 이러한 다중 과제 수행의 추론을 수행한다(Filmer et al., 2013). 예를 들어 음악을 들으면서 손을 사용하는 상황을 떠올려보면, 음악을 청취하는데 관련된 두뇌의 활성화영역과 손을 사용하는 데 관련된 활성화영역은 매우 큰 차이를 지니고 있지만, 동시 수행이 가능하다. 결국 다중 과제의 수행은 과제의 익숙한 정도, 기존의 신경회로의 독립성 유무 등과 관련된다.

디지털교과서의 사용과 관련하여 일반적으로 경험하게 되는 다중 과제 수행과 관련된 최근의 뇌 과학적 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 자기 뇌도 측정법(MEG)을 사용하여 단일과제(single task), 이중과제(dual task)를 수행할 때 시간대별 활성화변화를 확인한 연구에서는 시간대별로 상대적으로 낮은 활성화와 높은 활성화가 나타남을 제시하고 있다(Fort et al., 2010). 단일

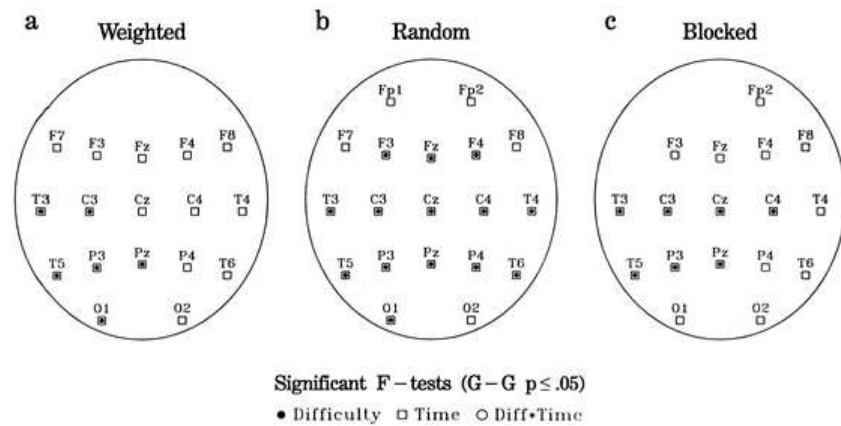
과제(single task)에 비해 이중과제(dual task)를 수행할 때 상대적으로 낮은 활성을 보인 지역은 중간 두정유두 부분(medial occipital area : BA 17, 18)이며, 270~300ms에서 나타난다. 또한 우측 측두엽 연결부(right temporo-parietal junction : BA 39)은 395ms~430ms에서 더 낮은 활성이 나타난다. 좌측 배측면 전전두피질(left DLPFC영역 : BA 10)은 520ms~530ms에서 상대적으로 더 낮은 활성이 나타난다. 반면, 좌측 두정 영역(left parietal area : BA 7)은 520ms~535ms에서 상대적으로 높은 활성이 나타난다(그림 2).



[그림 2] 단일과제와 이중과제간의 통계적 차이(Fort et al., 2010)

수면뇌파(EEG)를 사용하여 다양한 수준의 기억 과제(Multiple level memory task)에서 과제 제시 방법에 따라 활성의 차이가 나타남을 확인한 연구에서는 메모리 과제의 난이도에 따른 활성의 차이와 과제를 접한 시간에 따라 활성 반응의 차이를 확인하였다(Wilson et al., 1999). 특히 무작위적인 수준의 제시에서는 거의 대부분 영역에서의 알파값을 확인할 수 있었

다. 즉, 멀티태스킹을 수행하면서 다양한 수준이나 형태의 과제에 접할 경우 대부분의 두뇌 영역을 활용하고 있음을 의미한다.



[그림 3] 다양한 수준의 기억 과제에서 제시 방법에 따른
알파값(Wilson et al., 1999)

이러한 결과는 다중 과제를 수행하는 것이 정보의 처리 속도를 지연시킬 수 있으며, 작업기억에 더 많은 정보를 유지해야하는 인지적 부담을 유발한다는 것을 알 수 있다. 정보 처리의 지연과 인지적 부담의 증가는 배외측전전두피질에서의 추상적 정보 처리를 감소시키는 결과를 야기할 수도 있다. 그러나 전두엽 전운동피질(PMC) 영역에서의 활성화 증가는 정보의 탐색과 관련된 주의 집중 및 전환의 조절 기능이 증가한다는 것을 의미한다.

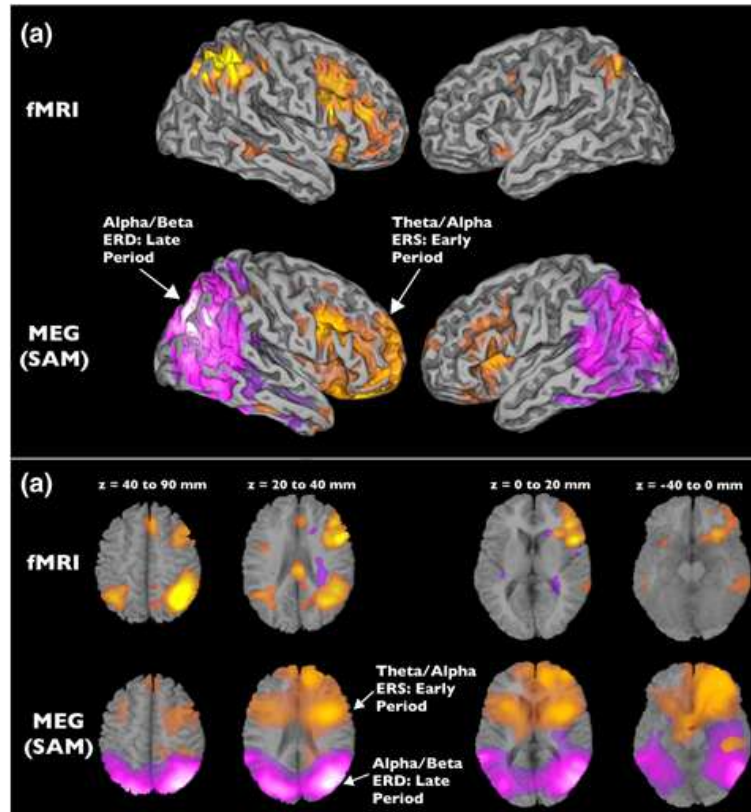
따라서 디지털교과서의 사용과 같은 다중 과제의 경험의 초기에는 정보 처리의 지연이라는 부작용이 나타날 수 있다. 반면 디지털교과서 사용의 숙달은 정보 탐색 능력을 신장시킬 수 있으며, 이로 인해 다중 과제에서 나타나는 정보처리 지연의 부작용이 감소될 수 있을 것이다. 그러나 다중 과제의 숙달은 단일 과제를 지속적으로 수행함으로 인해 나타나는 배외측전전두피질의 주요한 기능인 추상적 사고능력의 감소를 유발할 수 있을 것이다.

나. 게임

디지털 세대의 학생들이 일상에서 경험하는 매우 일반적인 활동 중 하나는 게임이라고 볼 수 있다. 게임은 보상의 기대치와 피드백에 의해 이루어지는 신경학적인 경로의 지속적인 활성을 유발하게 된다. 이러한 신경학적 활성경로의 자극은 도파민에 의해 조절 받게 되며, 보상계의 강화를 유발하게 된다.

반면, 기존의 교육학적 측면에서 바라보는 입장에서는 디지털교과서의 사용이 게임 중독과 같은 부작용을 유발할 수 있다고 우려한다. 그러나 학습의 과정과 게임의 과정은 유사한 측면도 있으나, 보상의 기대 가치나 평가는 다르게 작용할 수밖에 없다. 예를 들면, 게임의 경우 특정 목표수준에 도달할 경우 정해진 보상이 주어지지만, 학습의 경우 눈에 보이는 외적 보상보다는 내적인 보상이 주요한 결과이므로 동일한 과정으로 인식하는 것은 무리가 있다. 그러나 기존의 우려가 막연한 것이라기보다는 게임과 디지털기기 사용의 유사성에 기반을 두고 있기 때문에 디지털기기 사용에 있어 나타나는 긍정적 효과를 확인하기 위해서는 부정적 효과와 어떠한 관련이 있는지 신경학적으로 검증할 필요성이 있다. 이에 따라 게임 중독과 관련된 부정적인 영향(negative activation)과 관련된 최근의 뇌 과학적 연구들을 살펴봄으로써 게임중독과 디지털교과서의 차이를 확인할 수 있을 것이다.

자기 뇌도 측정법(MEG)와 기능성 자기공명영상(fMRI)을 사용하여 게임 상황에서 나타나는 두뇌 활성 연구에 따르면, 게임이 진행되는 동안의 결과에 따라 두뇌 활성이 다르게 나타남을 알 수 있다. 특히 게임에 이기거나 거의 실패할 뻔한 경우에는 유사한 두뇌 영역의 활성이 나타난다(그림 3). 우측 하전두이랑(right IFG) 와 좌측 뇌섬엽(left Insula) 영역에서의 세타파워는 게임의 결과가 좋게 나올수록 증가하였다(Dymond et al., 2014).



[그림 4] 게임 상황에서의 두뇌 활성화 영역의 fMRI 및 MEG 결과(Dymond et al., 2014)

게임 중독자의 경우 일반적인 상황에서도 두뇌 활성화의 차이를 나타내며, 특히 전두엽 중에서도 보상의 기대 가치에 대한 평가와 관련되고 기저핵(basal ganglia)의 도파민 민감성에 영향을 미치는 OFC에서 나타나는 활성화에서 두드러진 차이가 나타난다(Dymond et al., 2014).

뿐만 아니라, EEG를 사용하여 폭력성이 포함된 디지털 게임 상황에서의 두뇌의 전기적 변화를 확인한 연구에서는 상황에 따른 활성화 차이를 제시하고 있다(Salminen & Ravaja, 2008). 특히 상처를 입는 게임 상황에서는 후두엽에서의 높은 세타파 증가를 확인하였고, 폭력을 가하는 상황에서는 기저조건과 마찬가지로 낮은 수준의 알파파를 확인하였다. 이러한 결과는 디

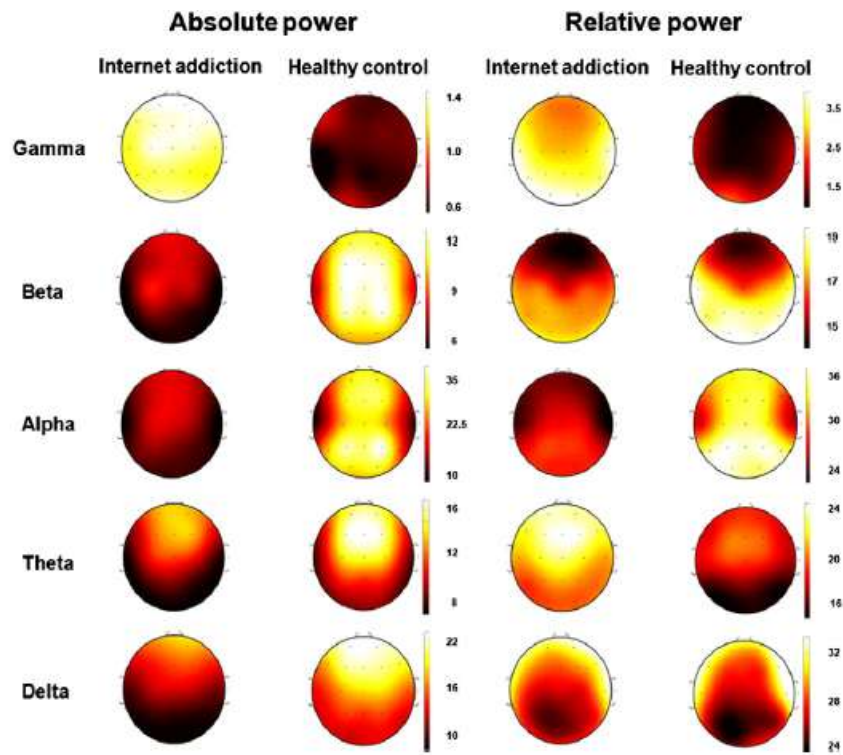
지텔 게임 상황에서 후두엽이 반응하며, 이는 자신에게 어떠한 영향이 미치는가에 따라 활성이 다르게 나타남을 의미한다.

디지털교과서는 게임에 익숙한 세대의 학습자에게 학습을 디지털 상황으로 전환하는 매개 수단으로 작용한다. 이런 측면에서 디지털교과서의 사용이 게임 중독과 같은 부작용을 초래하지 않을지에 대해 많은 우려를 보이는 것이 현실이다. 그러나 게임 중독의 경우는 이미 형성된 도파민 신경회로의 영향으로 인해 게임이 아닌 상황에서도 일반인과의 두뇌활성에서 서로 다른 양상을 보인다. 즉, 디지털교과서는 게임과 달리 학습이라는 일반적인 상황에 해당하므로, 게임중독에서 보이는 전전두피질의 활성 감소보다는 배외측전전두피질의 추상적 정보 처리 기능의 향상을 유발할 수 있을 것이다.

다. 인터넷 사용

인터넷의 사용은 TV와 같이 일방향적인 정보의 수용이 주를 이룬다고 볼 수 있다. 그러나 인터넷에서 자신이 원하는 정보를 찾기 위한 탐색의 과정은 자기조절적이며, 능동적인 정보의 탐색 과정에 해당한다. 또한 자신이 원하는 정보에 대한 선택적인 주의 집중과도 관련된다. 그러므로 디지털교과서를 통한 학습의 과정은 인터넷에서 정보의 수용보다는 자신이 원하는 혹은 얻고자 하는 정보를 선택적이고 능동적으로 탐색하는 과정과 유사할 수 있다. 이를 확인하기 위해서는 신경학적인 측면의 연구가 필수적이다.

EEG를 사용하여 인터넷 중독자의 두뇌활성에 대해 조사한 연구에서는 측정 과장에 따른 활성의 변화를 제시하고 있다(Choi et al., 2013). 특히 인터넷 중독자들은 뇌의 충동관련 영역, 행동 억제 제어 기능 영역의 활성과 연관이 있음을 제시하고 있다. 인터넷 중독자의 경우 전두엽 영역(frontal region)에서 베타파의 절대 파워가 감소하고, 감마파의 절대 파워가 증가하기 때문으로 판단할 수 있으며, 이러한 결과는 전두엽의 기능이 상대적으로 감소한다는 것을 의미한다(Choi et al., 2013).



[그림 5] 인터넷 중독자들의 전두엽 활성화
(Choi et al., 2013)

일반적으로 중독의 신경학적 메커니즘은 기저핵(basal ganglia)의 일부인 선조체(striatum)이 관련되어 있다고 판단된다. 그러나 기저핵으로 불리는 이러한 영역들은 중독뿐만 아니라 학습에 있어 새로운 학습에 대한 조절에도 관련되어 있다. 특히 선조체(striatum)에서의 도파민 민감성에 대한 조절은 대뇌의 피질과 상호작용 함으로써 감각기로부터 투사된 정보가 대뇌 피질의 어느 부위로 재투사 될 것인지를 조절하는 것으로 알려져 있다 (Seger, 2010).

이와 관련하여 최근에 제시되고 있는 중독의 신경학적 메커니즘을 살펴 보면 비중독자와 중독자의 대뇌 피질과 기저핵의 상호작용은 경로의 차이 라기 보다는 도파민의 민감성 변화와 이에 따른 신경회로의 발달에 기인하

는 것으로 보인다. 즉, 비중독자의 경우 신경회로의 활성이 전전두피질 중 전측대상회(ACC), 전전두피질(PFC), 안와전두피질(OFC)에서 이루어지는 정보의 가치와 예상에 따른 평가의 메커니즘이 관련되어 있다. 반면, 중독자의 경우 내측 안와전두피질(medial OFC)와 기저핵이 신경회로의 조절을 담당하며 이로 인해 도파민 민감성이 전전두피질보다 기저핵에서 증가한다는 것을 알 수 있다(Volkow & Baler, 2014).

결국 인터넷 사용은 특정 정보의 탐색과 같은 목적적 행동에 의해 이루어지는 것인지 아니면 특정 정보의 탐색이 아닌 산발적 정보의 무작위적 탐색 활동인지에 따라 다른 결과를 유발할 수 있을 것이다. 그러나 인터넷을 사용하여 사고를 통해 도출될 수 있는 결론에 좀 더 빨리 도달함으로써 전전두피질의 기능을 최소화하는 방향으로 학습이 이루어질 경우에는 전전두피질 활성에 부정적 영향을 유발할 수도 있을 것이다. 그러므로 디지털 교과서를 활용한 학습은 추상적 개념의 형성을 보조하는 역할로써만 이루어질 때 시간의 절약이나 실패의 확률을 감소시키는 것과 같은 긍정적 효과를 얻어낼 수 있을 것이다.

라. 논의

디지털 세대의 뇌는 멀티태스킹에 대한 거부감이 거의 없으며, 시청각적 자극에 즉각적인 만족감을 가지려는 성향이 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 욕구 충족을 위하여 변연계가 많이 관여하게 되지만, 즉각적인 만족을 조절하는 과정에서 일반적인 중독자와 달리 기저핵에 비해 전두엽과 두정엽이 관련되어 있는 것으로 예상하고 있다. 또한 인터넷 검색에서 요구되는 능동적이고 즉각적인 정보의 선택 및 판단에 전두피질의 다양한 영역이 관련되며, 전통적인 학습과 관련된 신경회로는 퇴화되고 비선형적이고 정보의 즉각적인 판단과 관련된 신경회로는 발달할 것이다.

디지털교과서는 위와 같이 멀티태스킹, 게임적인 요소, 인터넷 사용 빈도의 정도 등 다양한 변인들과 관련되어 있다. 이러한 각각의 요소들에 대한

신경학적 문헌들은 다양한 결과를 제시하고 있으나, 일관된 패턴을 발견할 수도 있다. 이를 실질적인 신경학적 측정도구를 활용하여 분석한다면, 디지털교과서를 통한 교육이 디지털 세대 학습자에게 어떠한 영향을 미치고 있는지 가늠할 수 있을 것이다. 따라서 이상의 문헌 분석결과를 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있으며, 신경학적인 분석결과를 예상해 볼 수 있다.

첫째, 두뇌 활성 영역측면에서 특정 영역 일부의 사용을 증대시킴과 동시에 다른 영역의 기능을 감소시킬 수도 있다. 특히 멀티태스킹적인 요소를 매우 많이 포함하고 있는 디지털교과서의 경우, 어떠한 요소들을 포함하느냐에 따라 두뇌 특정 영역들이 사용할 수 있는 가능성을 지니고 있다. 그러므로 교과서의 각 단원에서의 목표에 맞추어 두뇌의 멀티태스킹 처리 과정을 충분히 이해하고 적용한다면, 단원별 교육 목표달성에 기여할 수 있을 것이다. 또한 일회성의 멀티태스킹에 제한된 사용보다는 지속적인 사용을 통해 정보 처리의 지연을 감소시킴으로써 학습의 효율성을 달성할 수 있을 것이다.

둘째, 디지털교과서의 사용은 두뇌의 전반적인 영역을 사용할 수 있는 가능성뿐만 아니라 각 영역들이 관련된 신경회로의 강화를 유발할 수 있을 것이다. 인터넷 검색, 디지털 게임 등에 대한 신경학적 문헌들의 결과를 보면, 과제에 대한 성취 목표, 성취 결과, 상황에 따라 두뇌의 활성정도가 다르게 나타나고 있다. 또한 중독자와 달리 전문적인 상황에서 이와 같은 작업에 익숙한 사람들은 중독의 신경회로와 달리 전전두피질이 정보의 처리를 관장하는 것으로 나타났다. 그러므로 디지털교과서의 사용은 게임이나 인터넷 중독과 다른 양상의 두뇌 활성 및 신경회로가 형성될 수 있도록 제시되어야 한다. 지나치게 게임적인 요소나 편리성에 의한 인터넷 사용 빈도의 단순한 증가는 학습의 효율성을 오히려 감소시킬 수 있다. 따라서 학습에 적합한 콘텐츠 요소와 인터넷 사용이 조화를 이룰 필요성이 있다.

3. 연구의 내용 및 범위

가. 디지털교과서와 서책형 교과서 활용하는 학습자의 두뇌 활성화 영역 비교 분석

- 1) 스마트기기를 이용한 디지털교과서 활용 시의 뇌파(EEG) 분석을 통한 두뇌 활성화 분석
- 2) 전통적인 서책형 교과서 활용 시의 뇌파 분석을 통한 두뇌 활성화 분석

나. 디지털교과서 활용 그룹과 서책형 교과서 활용 그룹의 인지 기능 비교

- 1) 디지털교과서 활용 그룹과 서책형 교과서 활용 그룹간의 작업기억 및 공간인지 과정에서의 뇌파 기반 두뇌 활성화 비교
- 2) 디지털교과서 활용 그룹과 서책형 교과서 활용 그룹간의 작업기억 및 공간인지 능력 비교 분석

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 1년 이상의 디지털교과서 사용 경험이 있는 학생과 서책형 교과서만을 사용한 학생들을 대상으로 하였다. 이를 위해 전국 디지털교과서 연구학교 중 운영이 잘 되고 있는 서울 구일초등학교를 선정하였다. 서울 구일초등학교는 다년간의 디지털교과서 연구학교 경험을 갖추고 있으며, 디지털교과서와 서책형 교과서 활용반이 서로 나뉘어져 있어 본 연구 수행에 있어 편의성을 제공하였다.

<표 1> 서울 구일초등학교 디지털교과서 연구학교 운영 현황

연구기간	연구주제	대상/시간
2008.3.1. ~ 2009.2.28.	디지털교과서의 현장적합성 연구 (영어과 교수학습모형 적용을 중심으로) : 국어, 사회, 수학, 과학, 영어, 음악	5, 6학년 (각 4개반) /주당 10시간
2009.3.1. ~ 2010.2.28.	디지털교과서의 현장적합성 연구 : 국어, 수학, 사회, 과학, 영어, 음악	5, 6학년 (각 4개반) /주당 10시간
2010.3.1. ~ 2011.2.28.	디지털교과서의 현장적합성 연구 : 사회, 과학, 영어, 음악(5학년) / 사회, 수학, 영어(6학년)	5, 6학년 (각 2개반) /주당 8~9시간
2011.3.1. ~ 2012.2.28.	디지털교과서를 활용한 웹 기반 교수학습 사례 : 사회, 과학 (담임 교사 교환수업)	5, 6학년 (각 2개반) /주당 6시간
2012.3.1. ~ 2013.2.28.	디지털교과서를 활용한 웹 기반 교수학습 사례 : 사회, 과학 (담임 교사 교환수업)	5, 6학년 (각 2개반) /주당 6시간
2013.3.1. ~ 2014.2.28.	디지털교과서와 스마트교육 도구를 활용한 수업 모델 개발 : 사회, 과학	4, 5학년 (각 2개반) /주당 6시간

서울 구일초등학교의 경우 2008년부터 현재까지 교육과학기술부 지정 ‘디지털교과서의 현장적합성 검토 및 수업모델 개발’ 연구학교 운영을 하고 있다. 본 연구 대상자는 구일초등학교 5학년(디지털교과서 1년간 사용) 학생을 대상으로 하여 디지털교과서 활용반 20명(남 10명, 여 10명), 서책형 교과서 활용반 21명(남 11명, 여 10명)을 선발하였다. 각 그룹별 남녀 인원은 동일 인원으로 구성하였다. 손잡이 검사(edinburgh handedness inventory)를 통해 모두 오른손잡이 인원으로 선발하여 손잡이에 따른 변인을 통제하였다.

서울구일초등학교에서는 1년간 디지털교과서를 시행한 학생들의 학습능력 탐색을 통해 디지털교과서의 일반화 가능성을 확인해 보았으며, 2014년 결과 보고서에서 언급한 결과는 다음과 같았다.

가. 자기주도적 학습능력 검사

자기주도적 학습능력검사는 한국교육학술정보원에서 제공한 분석도구를 재구성하여 사용하였으며, 주인의식(효능감), 메타인지, 정보탐색 및 과제해결, 내재적 동기 및 자기 성찰 등 4가지 영역을 다룬다. 연구학급과 비교학급 간의 자기주도적 학습 능력의 평균 차이를 분석한 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 자기주도적 학습능력 분석 결과

학년	집단구분	주인의식	메타인지	정보 탐색 및 과제 해결	내재적 동기 및 자기 성찰
5 학 년	연구학급	3.24	3.18	3.32	3.05
	비교학급	3.28	3.15	3.20	3.09

나. 문제해결력 검사

문제해결력 검사는 한국교육학술정보원에서 제공한 측정도구를 재구성하여 사용하였으며, 문제명료화, 원인분석, 대안개발, 계획과 실행, 수행평가 등의 능력 요소에 대해 검사하였다. 연구학급과 비교학급 간의 문제해결력의 평균 차이를 분석한 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 문제해결력 분석 결과

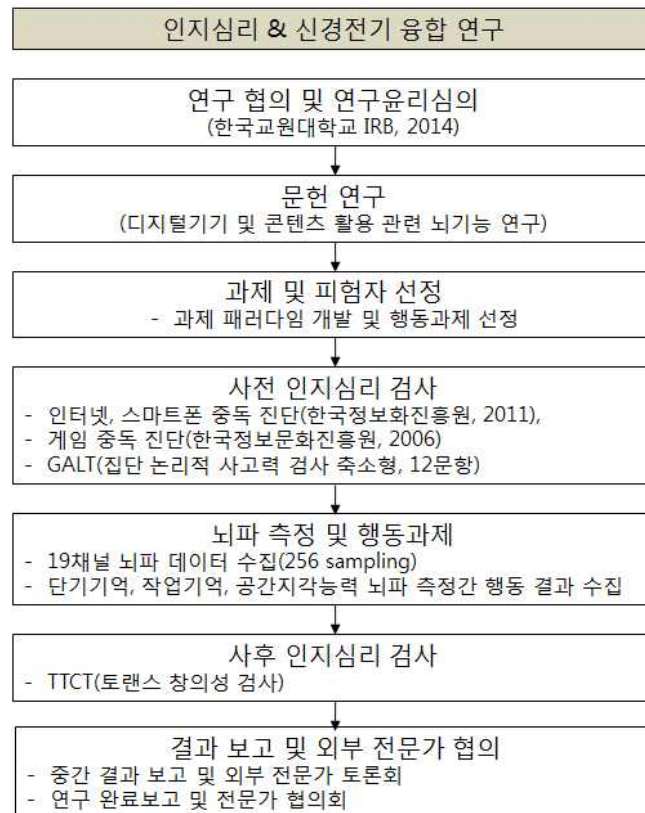
학년	집단구분	문제 명료화	원인분석	대안개발	계획과 실행	수행평가
5 학 년	연구학급	3.19	3.23	3.41	3.38	3.17
	비교학급	3.24	3.28	3.21	3.32	3.08

학교에서 시행한 2013년 결과 보고서에 5학년 연구 및 비교학급간의 유의한 차이는 보이지 않았다고 되어 있다. 디지털교과서의 1년 단기간 사용 결과는 자기주도적 학습능력이나 문제해결력에 큰 영향을 주고 있지 않음을 알 수 있다.

2. 연구 절차

본 연구는 디지털교과서 활용이 뇌기능에 미치는 영향을 알아보는 것으로 인지심리 문헌연구와 생체전기신호 분석의 융합연구 형태를 취하고 있다. 연구 활동은 연구 제반 사항에 대해 한국교원대학교 연구윤리심의 위원회(IRB) 승인후 진행되었다. 피험자 선정 시 인터넷, 스마트폰, 게임 중독 인원을 연구에서 제외하기 위해 중독 진단 검사지를 사전에 투입하여 확인하였다. 이와 함께 집단 논리적 사고력 검사(Group Assessment of Logical Test, GALT)를 투입하였고, 뇌파 측정 후 토랜스 창의성 검사

(Torrance Tests of Creative Thinking, TTCT)를 시행하였다. 본 연구의 세부 절차는 다음과 같다(그림 6).



[그림 6] 연구 세부 절차

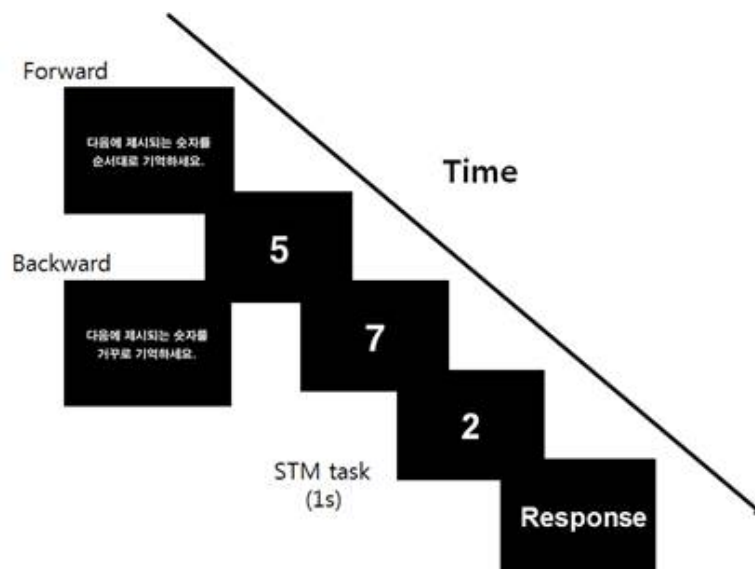
인지심리 및 신경전기 데이터 수집 및 분석에 대한 외부 전문가 토론회 및 전문가 협의회를 진행하여 연구 진행에 필요한 사항을 점검하고, 세부적인 결과 및 방안에 대한 논의를 하였다.

3. 과제 개발

가. 인지행동과제

1) 단기기억과제

단기기억과제는 KWAIS-3에서 사용하고 있는 숫자 똑바로 외우기, 숫자 거꾸로 외우기를 사용하였다. 5~6개의 숫자를 1초에 한 개씩 피험자에게 제시하며, 과제 제시 종료 후부터 회상하여 보고할 때까지의 시간 동안 뇌파를 측정하였다(10초). 또한, 피험자의 구두보고를 통해 정답률을 동시에 확인하여 차후 뇌파측정 간 행동과제로 사용하였다. 단기기억과제 예시는 다음과 같다.

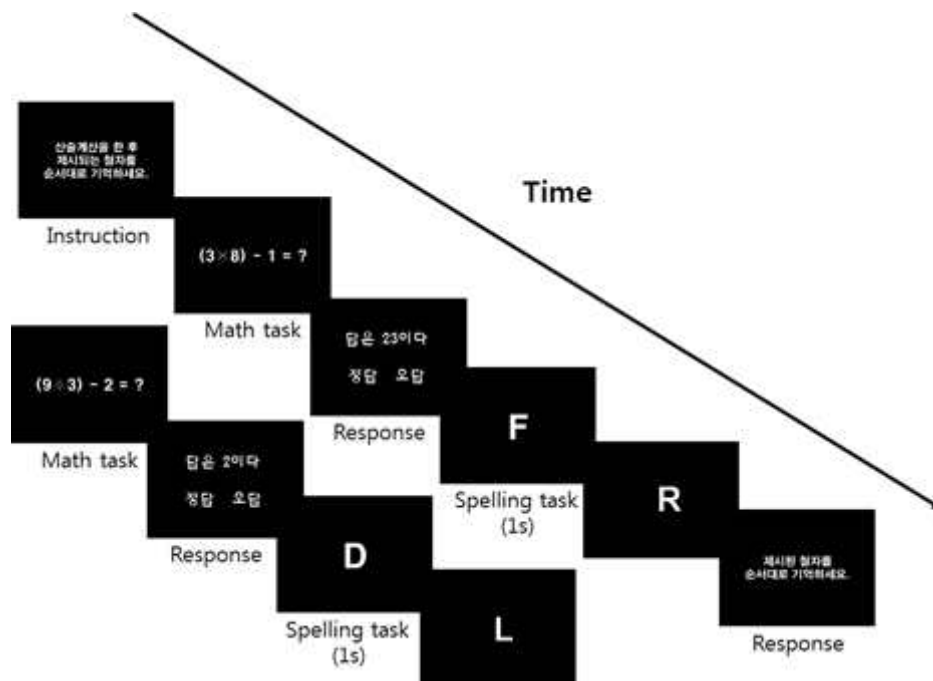


[그림 7] 단기기억 과제 예시

2) 작업기억과제

작업기억과제는 작업기억 구성 요소 중 조작폭 과제(operation span)를 사용하였다. 조작폭 과제는 듀얼 과제 형태로 구성되어 지며, 간단한 산술

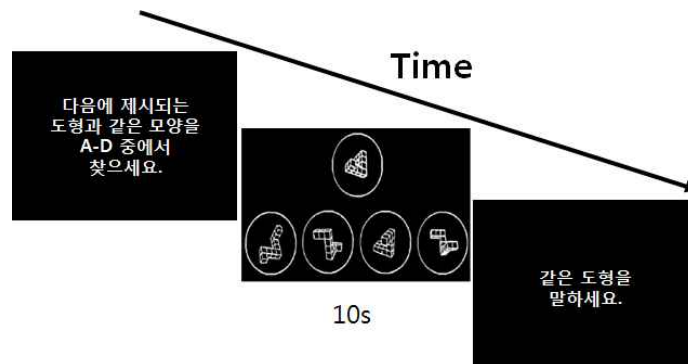
과제 계산 후 영문 철자가 1글자씩 제시되어, 과제 제시 종료부터 영문 철자를 회상하는데까지의 시간 동안 뇌파를 측정하였다(10초). 또한 피험자의 구두보고를 통해 정답률을 동시에 확인하여 차후 뇌파측정 간 행동과제로 사용하였다. 작업기억과제 예시는 다음과 같다.



[그림 8] 작업기억 과제 예시

2) 공간인지과제

공간인지과제는 3차원 심적회전과제(3D mental rotation task)를 사용하였다. 상단에 제시되는 입체 도형을 다양한 각도로 돌렸을 때 나타나는 형태 중 초기 형태와 같은 모양을 4가지 중 선택하는 것으로 과제 제시 후 선택까지의 시간 동안 뇌파를 측정하였다(10초). 또한, 피험자의 구두보고를 통해 정답률을 동시에 확인하여 차후 뇌파측정 간 행동과제로 사용하였다. 공간인지과제 예시는 다음과 같다.



[그림 9] 공간인지 과제 예시



[그림 10] 인지행동과제 수행시 뇌파 측정 모습

나. 교과서 과제

1) 디지털 및 서책형 교과서

디지털교과서는 현재 한국교육학술정보원에서 개발 중인 시험용 디지털 교과서 중 과학 및 영어과 각 1종씩 선정하여 총 2종에 대한 내용 선별 과정을 거쳐 선별하고 아이패드를 통해 제시하였다. 서책형 교과서는 선별된 디지털교과서 내용과 차시 목표가 유사한 현행 2007 개정 교육과정에 따른 과학, 영어과 교과서에서 발췌 제본하여 사용하였다.



[그림 11] 교과서과제 수행시 뇌파 측정 모습

피험자의 시야 각도와 교과서와의 거리를 일정하게 유지하기 위해 디지털 및 서책형 교과서 모두 책받침대를 사용하였다. 디지털교과서와 서책형 교과서의 특성상 학습자가 스스로 학습하기 위해서는 손가락 움직임이 동반되어야 한다. 근육의 움직임은 뇌파 신호의 잡파로 작동할 수 있어 움직임 관련 두뇌 영역(운동과 전운동영역)에 대한 상쇄효과를 보기 위해 모든 피험자에게 오른손 엄지와 검지를 통해 페이지 넘김 등의 행동을 통일 하도록 하였다. 디지털 및 서책형 교과서 과제를 개인별로 자유롭게 학습 하는 동안 뇌파를 측정하여 분석에 사용하였다(60초).

4. 뇌파 측정 패러다임 설계

가. 피험자 안정

1) 과제 설명 및 뇌파 전극 부착

뇌파 측정 대상자에 대해 기본적인 과제 설명을 주지시키고, 디지털 및 서책형 교과서 예제를 통해 자유로운 활동을 진행시켰다. 특히 서책형 교과서 활용반 학생들의 경우 디지털교과서를 처음 보거나, 디지털기기를 다루어 본 적이 없는 학생들이 있어 충분히 활용할 수 있는 시간을 주었다.

과제 설명과 더불어 19채널 뇌파 전극을 뇌파 측정용 페이스트를 통해 부착하였다. 학생들의 일과 시간 동안 모든 측정을 마무리 하고, 피험자에게 측정 시간의 부담을 줄이기 위해 개인당 30분 이내의 측정 시간을 사용하였다. 또한 동일한 임피던스 값을 갖는 뇌파 전극 2세트를 사용하여 전극 부착시간을 단축하였다.

2) 측정 전 안정

안정적 뇌파 측정과 정확한 데이터 수집을 위해서는 피험자의 절대적 안정이 우선되어야 한다. 본 연구진은 학생들의 안정을 위해 학교에 방문하여 측정을 실시하였으며, 학생들의 요일별 시간대를 미리 정하여 공지하였다. 학교라는 특성상 시종 시간의 알림, 쉬는 시간 학생들의 이동, 반별 급식차의 이동 등 수 많은 잡과 요인 변수가 확인되어 해당 시간은 측정시 고려되었다. 또한, 2월이라는 측정 시기는 학년이 마무리되고, 다음 학년을 준비하는 과도기적 시기에 해당되어 피험자가 뇌파 측정 전 체육활동과 다양한 교과 활동으로 인해 과호흡과 발한 등이 나타났다. 또한 동절기 특성에 따라 오한에 따른 근육 경직 등을 보이는 학생에 대해 충분한 안정과 조치를 취하고 측정을 하였다.

나. 뇌파 측정

모든 피험자는 개별 로그파일을 만들어 측정 전, 중, 후에 대한 특이사항 및 인지행동과제에 대한 결과(정답률) 등을 기록하여 개별 데이터 처리에 활용하였다.

1) 안정 상태 측정

뇌파 측정시 안정 상태는 배경뇌파 수집을 위해 필수적인 요소이다. 배경뇌파는 정상범위에 해당되지 않는 인원을 선별하거나, 과제와의 비교를 통해 두뇌 활성 패턴을 파악하는데 사용된다. 본 연구에서는 눈감고 안정,

눈뜨고 안정 상태를 5분 이상 지속하여 가장 안정적 뇌파를 보이는 구간을 선택하여 각 20초간 분석하였다.

2) 인지행동 및 교과서 과제 측정

과제 측정은 인지기억 및 공간인지과제 측정 후 교과서 과제로 진행되었다. 이때, 과제 제시 순서 효과를 배제하기 위해 개인별 과제 제시 순서는 무작위 선별(randomizing)하여 제시하였다.



[그림 12] 뇌파 측정 절차

3) 전극 제거(세척) 및 두피 세척

피험자 측정이 끝나면, 제거된 전극을 미온수에 담가 패이스트를 제거하고, 알코올로 소독하였다. 또한 동절기 감기 예방을 위해 연구진이 직접 온수로 학생들의 두피 세척과 건조를 담당하였다.

다. 뇌파 분석

측정된 뇌파 데이터는 개별 로그 파일 확인과정을 통해 과제별 시간대에 맞추어 나누었다. 이후 전처리과정으로써 독립성분분석(Independent Component Analysis, ICA)을 통해 시각 과제 수행시 흔히 뇌파데이터에서 유입되는 눈깜박임과 기타 노이즈(근전도나 심전도) 등 같은 잡파를 제거하였다. 측정에 관련된 뇌파 기본 사항과 세부 분석 방법은 다음과 같다.

1) 뇌파 측정 기본 사항

- Compumedics system(호주)
- 19개 채널(10-20 system) 사용.
- 샘플링 주파수 : 256Hz
- 뇌파수집대역 : 0.1~70Hz,
- 노치 필터(Notch filter) : 60Hz.
- 개인별 30분 전후 소요.

2) 뇌파 세부 분석 방법

가) 교차 스펙트럼 분석(Cross spectrum analysis, sLORETA)

본 연구에서 사용한 sLORETA(Pascual-Marqui, 2002)는 전체 두뇌를 $5 \times 5 \times 5 \text{mm}$ 크기의 6239개 복셀로 구분한 후 각 복셀에서의 전류밀도값을 추정한다. 본 연구는 뇌파의 시계열 자료를 분석 대상으로 하기에 그룹별로 평균화된 복셀 데이터는 평편화(smoothing) 없이 로그변환을 취하여 선형함수 형태의 추산이 가능하도록 하였다. 그룹별 비교는 독립 t-검정(Independent t-test)시 각 비교 집단의 두뇌 전류밀도 복셀 데이터를 5000번 무작위 비교하여 찾아낸 최대 활성 t값에 대한 임계 확률 역치값(probability threshold values)을 결정하였다($p < 0.001$). 이러한 비모수분석(Statistical NonParametric Mapping; SnPM)방식은 반복측정에 의한 오류를 최소화할 수 있다. 연구에 사용된 세부 뇌파 분석 주파수 대역은 다음

과 같다(표 4).

<표 4> 뇌파 분석 주파수 대역

Frequency	Range	Frequency	Range
Delta	1 ~ 3Hz	Beta-1	13 ~ 20Hz
Theta	3 ~ 8Hz	Beta-2	20 ~ 30Hz
Alpha-1	8 ~ 10.5Hz	Low Gamma	30 ~ 50Hz
Alpha-2	10.5 ~ 13Hz	High Gamma	50 ~ 64Hz

나) 두뇌 연결성 분석(영역간 상호작용 비교)

- 관심영역 간 두뇌 연결성 비교(Lagged coherence connectivity)

: 두뇌 활성 영역 비교 후 각 영역 간 상호작용의 영향을 알아보기 위한 방법으로 일반적인 상관관계 비교와는 달리 시간지연(time delay) 이후에 나타나는 위상의 주파수 대역별 기능적 연결성(functional connectivity)을 파악하는데 효과적인 방법이다(Pascual-Marqui, 2007; Pascual-Marqui et al., 2011). 본 연구에서는 디지털 및 서책형교과서 사용시의 차이점과 각 활용 그룹 내 디지털과 서책형 교과서 타입에 따른 두뇌 연결성을 파악하는데 사용하였다.

다) 과제 간 주의집중도 및 민감도 분석

- 주의집중도 분석(Attention state ratio)

: 과제에 대한 주의집중도는 흔히 깨어있는 상태나 주의 환기시 보고되는 알파 2대역과 의식, 준비, 각성시 나타나는 베타 1대역 뇌파의 절대 파워의 비율로 확인이 가능하며, 다음 도식과 같다.

$$ASR = \frac{\text{target absolute power's sum } (\alpha 2, \beta 1)}{\text{total absolute power's sum } (\alpha, \beta)}$$

- 리아프노프 지수 분석(Lyapunov exponent ,L1)

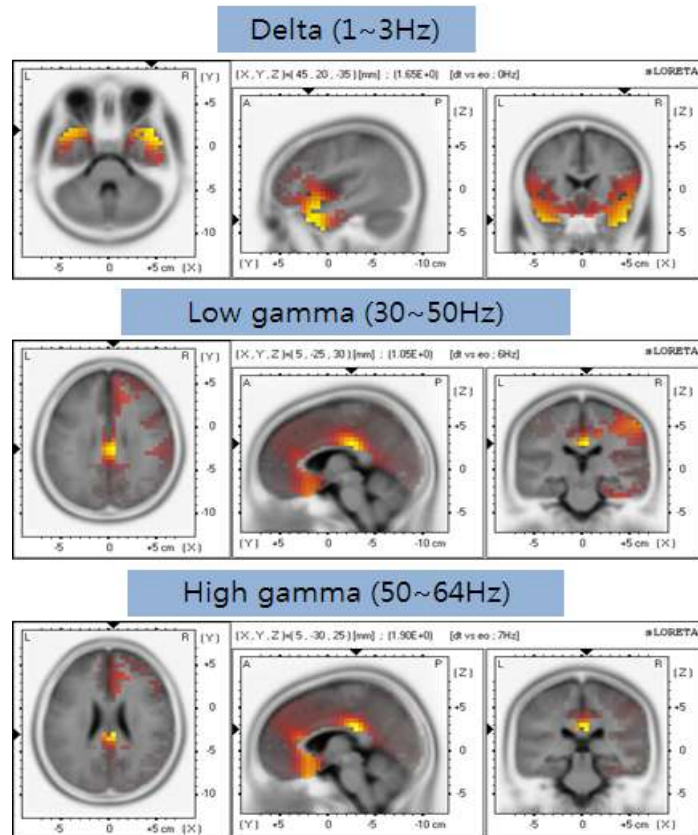
: 리아프노프 지수는 비선형분석 방법으로 주어진 계의 초기값에 비해 나중값이 얼마나 변하는지 그 비율을 알아보는 것으로 피험자의 초기상태가 과제를 통해 얼마나 많은 차이를 보이는지 확인하여 시스템의 다름을 확인할 수 있다. 특히, 지수값이 높을수록 초기상태에 비해 민감도가 증가해, 스트레스 강도가 높다는 것을 의미한다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 디지털교과서와 서책형교과서를 활용할 때 뇌 활성영역 비교

가. 디지털교과서 활용시 두뇌 활성 영역

연구 결과 안정 상태에 비해 디지털교과서 활용시 델타대역과 감마대역 전반에 걸쳐 두뇌 활성이 증가하는 것이 나타났다(그림 13). 디지털교과서 활용시 양쪽 전두엽과 측두엽, 머리 전두와 후두를 가로지르는 형태로 대상이랑을 포함하는 뇌섬엽 등의 영역 활성 패턴이 관찰되었다.



[그림 13] 디지털교과서 활용시 두뇌 활성

두뇌 활성이 증가된 주파수별 세부 영역은 다음과 같다(표 5, 6, 7).

<표 5> 디지털교과서 활용시 두뇌활성영역 (*Delta, corrected, p < 0.01*)

최대 활성 영역	브로드만 영역과 반구	복셀 수	MNI 좌표값			복셀값
			X	Y	Z	
전두엽(Frontal Lobe)						
하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 R (11,13,45,46)	117	40	15	-15	1.62292
	47 L (11,13,45)	88	-40	20	-20	1.60058
변연엽(Limbic Lobe)						
갈고리이랑(Uncus)	38 L (20,28)	10	-25	5	45	1.57728
피질하(Sub-lobar)						
뇌섬엽(Insula)	13 L	19	-45	10	-5	1.56793
측두엽(Temporal Lobe)						
상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 L (22)	84	-40	15	-40	1.64659
중측두이랑(Middle Temporal Gyrus)	21 L	31	-45	10	-40	1.63335
하측두이랑(Inferior Temporal Gyrus)	20 L	10	-40	0	-45	1.56642
방추이랑(Fusiform Gyrus)	20 L	2	-55	-5	-30	1.51853

<표 6> 디지털교과서 활용시 두뇌활성영역(*Low gamma, corrected, p < 0.01*)

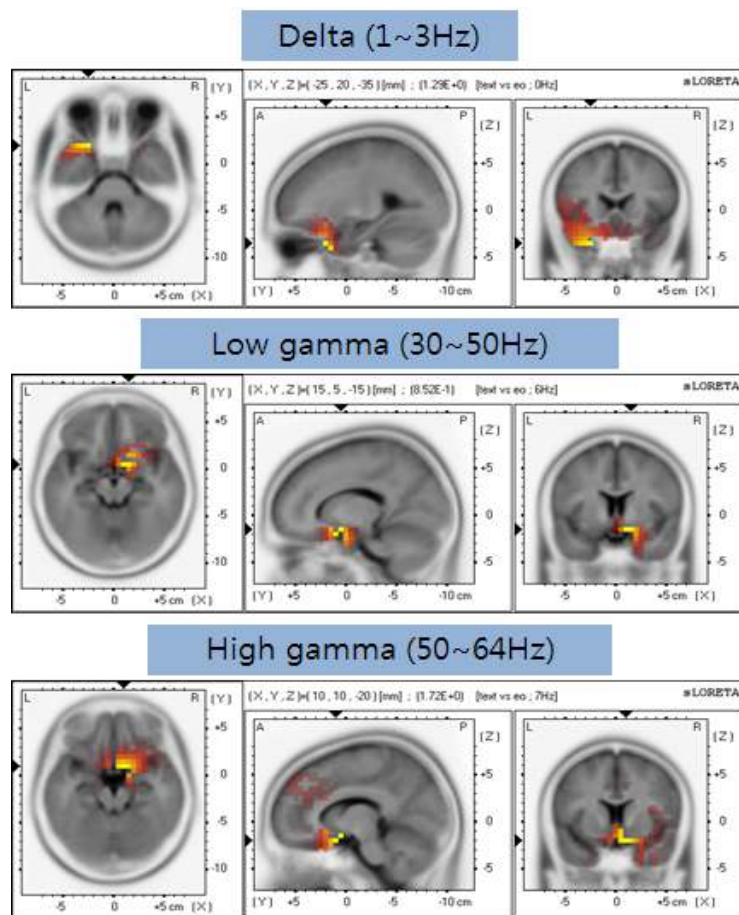
최대 활성 영역	브로드만 영역과 반구	복셀 수	MNI 좌표값			복셀값
			X	Y	Z	
전두엽(Frontal Lobe)						
하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 R	12	20	10	-20	1.024
중전두이랑(Medial Frontal Gyrus)	25 R	6	15	15	-20	1.01913
중심전이랑(Precentral Gyrus)	4 R (6)	16	50	-10	55	1.01901
곧은이랑(Rectal Gyrus)	11 R	8	10	15	-25	1.01373
뇌랑밑이랑(Subcallosal Gyrus)	13 R (34)	4	15	15	-15	1.0175
변연엽(Limbic Lobe)						
대상이랑(Cingulate Gyrus)	23 R	16	5	-25	30	1.05461
	23 L	3	-5	-25	30	1.01948
해마옆이랑(Parahippocampal Gyrus)	34 R	3	25	5	-20	1.02015
갈고리이랑(Uncus)	28 R (20,36,38)	23	25	5	-30	1.03266
피질하(Sub-lobar)						
뇌섬엽(Insula)	13 L	19	-45	10	-5	1.56793
두정엽(Parietal Lobe)						
중심후이랑(Postcentral Gyrus)	3 R (1, 2)	14	50	-15	55	1.02079
측두엽(Temporal Lobe)						
상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 R	4	25	10	-25	1.02292
하측두이랑(Inferior Temporal Gyrus)	20 R	3	35	-5	-40	1.01697

<표 7> 디지털교과서 활용시 두뇌활성영역(High gamma, corrected, $p < 0.01$)

최대 활성 영역	브로드만 영역과 반구	복셀수	MNI 좌표값			복셀값
			X	Y	Z	
전두엽(Frontal Lobe)						
상전두이랑(Superior Frontal Gyrus)	8 R	71	25	30	55	1.79012
중전두이랑(Middle Frontal Gyrus)	25 R	157	15	15	-20	1.86854
	25 L	14	-5	20	-20	1.8196
하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 R	84	15	15	-25	1.86753
	47 L	11	-15	20	-25	1.75951
곧은이랑(Rectal Gyrus)	11 R	18	5	20	-30	1.87134
	11 L	16	-5	20	-25	1.83509
중심전이랑(Precentral Gyrus)	9 R	12	35	20	40	1.74502
중심옆소엽(Paracentral Lobule)	31 R	4	5	-25	45	1.70219
안와이랑(Orbital Gyrus)	47 R	8	15	25	-30	1.82609
	47 L	4	-15	25	-30	1.78465
뇌량밑이랑(Subcallosal Gyrus)	13 R	15	15	15	-15	1.86776
	25 L	7	-5	20	-15	1.8069
변연엽(Limbic Lobe)						
전대상이랑(Anterior Cingulate Gyrus)	25 R	60	5	20	-5	1.86155
	32 L	15	-5	20	-10	1.79428
후대상이랑(Posterior Cingulate Gyrus)	23 R	15	5	-30	25	1.90052
	23 L	17	-5	-30	25	1.86251
갈고리이랑(Uncus)	38 R	30	20	5	-30	1.87433
	38 L	7	-20	5	-40	1.76018
해마옆이랑(Parahippocampal Gyrus)	34 R	23	20	5	-20	1.85644
두정엽(Parietal Lobe)						
중심후이랑(Postcentral Gyrus)	3 R	9	55	-15	50	1.71966
피질하(Sub-lobar)						
뇌섬엽(Insula)	13 R	21	30	15	-10	1.79677
측두엽(Temporal Lobe)						
상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 R	65	25	10	-25	1.85524
	38 L	5	-20	10	-35	1.75647
중측두이랑(Middle Temporal Gyrus)	21 R	31	40	-5	-35	1.80425
하측두이랑(Inferior Temporal Gyrus)	20 R	30	35	-5	-40	1.83225
방추이랑(Fusiform Gyrus)	20 R	12	40	-10	-30	1.78342

나. 서책형교과서 활용시 두뇌 활성 영역

안정 상태에 비해 서책형교과서 활용시 디지털교과서 활용시와 유사하게 델타대역과 감마대역 전반에 걸쳐 두뇌 활성이 증가하는 것이 나타났다(그림 14).



[그림 14] 서책형교과서 활용시 두뇌 활성

서책형교과서 활용시 두뇌 활성이 증가된 주파수별 세부 영역은 다음과 같다(표 8, 9, 10).

<표 8> 서책형교과서 활용시 두뇌활성영역 (*Delta, corrected, p < 0.01*)

최대 활성 영역	브로드만 영역과 반구	복셀수	MNI 좌표값			복셀값
			X	Y	Z	
전두엽(Frontal Lobe)						
중전두이랑(Middle Frontal Gyrus)	11 L (25)	8	-25	30	-20	1.2322
하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 L	91	-30	20	-25	1.27447
중심전이랑(Precentral Gyrus)	44 L	16	-60	15	10	1.20443
곧은이랑(Rectal Gyrus)	11 R	8	5	20	-25	1.22263
	11 L	11	-10	20	-30	1.25367
안와이랑(Orbital Gyrus)	47 L	5	-15	25	-30	1.25481
뇌랑밑이랑(Subcallosal Gyrus)	13 L	3	-20	15	-15	1.22028
변연엽(Limbic Lobe)						
갈고리이랑(Uncus)	38 L	2	-25	10	-35	1.22286
피질하(Sub-lobar)						
뇌섬엽(Insula)	13 L	14	-35	15	-10	1.23893
측두엽(Temporal Lobe)						
상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 L (22)	69	-25	20	-35	1.29387
중측두이랑(Middle Temporal Gyrus)	21 L (38)	16	-45	10	-40	1.25098
하측두이랑(Inferior Temporal Gyrus)	13 L	1	-35	10	-15	1.21727

<표 9> 서책형교과서 활용시 두뇌활성영역 (*Low gamma, corrected, p < 0.01*)

최대 활성 영역	브로드만 영역과 반구	복셀수	MNI 좌표값			복셀값
			X	Y	Z	

전두엽(Frontal Lobe)

하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 R	30	20	10	-20	0.844399
중전두이랑(Medial Frontal Gyrus)	25 R	8	15	10	-20	0.85085
곧은이랑(Rectal Gyrus)	11 R	9	10	15	-20	0.836849
뇌량밑이랑(Subcallosal Gyrus)	34 R (13, 25)	12	15	5	-15	1.0175

변연엽(Limbic Lobe)

전대상이랑(Anterior Cingulate Gyrus)	25 R	3	5	5	-5	0.82233
해마옆이랑(Parahippocampal Gyrus)	34 R (28)	12	15	0	-20	0.844816
갈고리이랑(Uncus)	34 R (28, 36, 38)	16	15	0	-25	0.844627

피질하(Sub-lobar)

뇌섬엽(Insula)	13 R	12	30	25	5	0.824852
-------------	------	----	----	----	---	----------

측두엽(Temporal Lobe)

상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 R	5	25	10	-25	0.82551
--------------------------------	------	---	----	----	-----	---------

<표 10> 서책형교과서 활용시 두뇌활성영역(*High gamma, corrected, p < 0.01*)

최대 활성 영역	브로드만 영역과 반구	복셀수	MNI 좌표값			복셀값
			X	Y	Z	
전두엽(Frontal Lobe)						
중전두이랑(Middle Frontal Gyrus)	25 R	8	10	10	-20	1.71546
	25 L	1	-5	10	-20	1.66968
하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 R (13, 45)	22	20	10	-20	1.69724
곧은이랑(Rectal Gyrus)	11 R	10	10	15	-20	1.70355
	11 L	3	-5	15	-25	1.66932
뇌량밑이랑(Subcallosal Gyrus)	34 R	13	10	5	-15	1.71489
	25 L	2	-5	10	-15	1.65978
변연엽(Limbic Lobe)						
전대상이랑(Anterior Cingulate Gyrus)	25 R (32)	10	5	5	-5	1.69969
해마옆이랑(Parahippocampal Gyrus)	34 R (28)	7	15	0	-20	1.6966
갈고리이랑(Uncus)	34 R (28, 36)	11	15	0	-25	1.69702
피질하(Sub-lobar)						
뇌섬엽(Insula)	13 R	11	30	20	15	1.68129
측두엽(Temporal Lobe)						
상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 R	3	25	10	-25	1.6705

다. 두뇌 활성화 패턴의 유사점

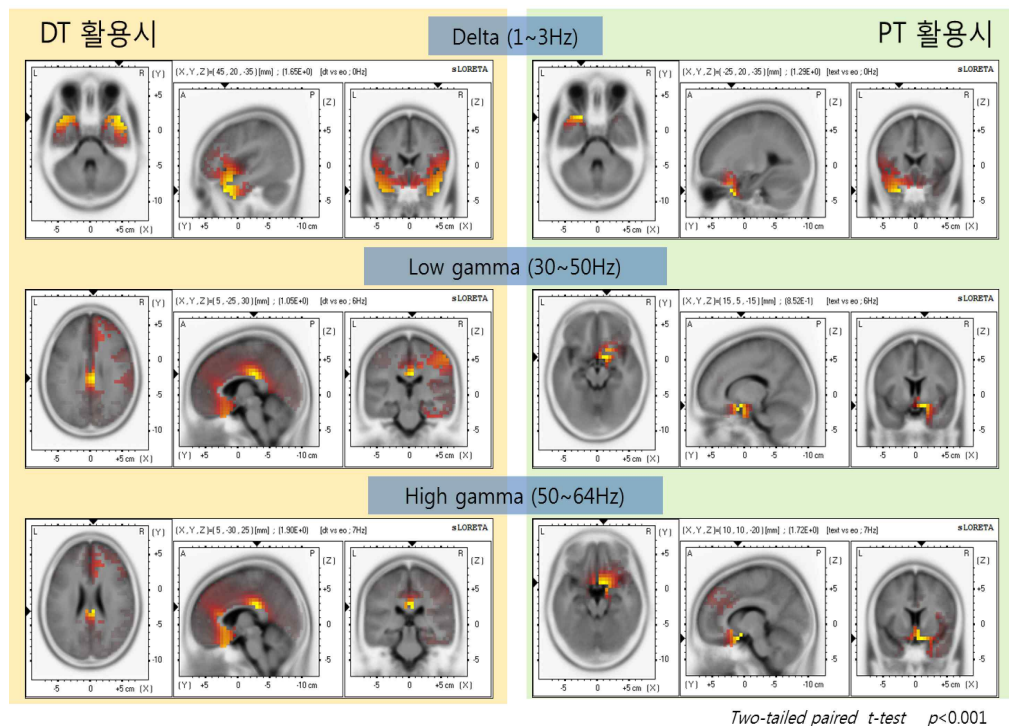
디지털교과서와 서책형교과서를 활용할 때 뇌 활성화는 일부 유사한 패턴을 보이고 있다. 두가지 교과서 종류 모두 시각적 탐색을 통해 언어적으로 읽는 과정이 포함되어 있는 것을 반영하여 후두엽에서 측두엽이나 두정엽으로, 다시 전두엽으로 이어지는 활성화 패턴이 관찰되었다. 또한, 피질하영역 중 뇌섬엽과 변연엽의 대상이랑과 갈고리이랑의 활성화가 확인되었는데 이는 교과서가 지니고 있는 일반적 특성 중 ‘학습’이라는 측면에 비추어 볼 때, 교과서 자극이 정서와 인지의 융합된 두뇌 반응으로 나타난 결과로 볼 수 있다(표 11).

<표 11> 디지털교과서 및 서책형교과서 활용시 공통적으로 두뇌 활성화가 증가하는 영역

영역 (브로드만 영역)	기능
전두엽 (BA 11, 45, 46, 47)	인지 조절과 실행 기능을 담당(안와전두), 언어의 의미론적 처리 및 통사적 실행 담당.
두정엽 (BA 1, 2, 3)	체성감각 기능 담당 (책장 넘김 효과: 손가락 사용에 기인).
측두엽 (BA 20, 21, 22, 38)	고차원적 대상의 표현, 언어의 이해 및 처리, 기억 및 감성 영역.
후두엽 (BA 17, 18, 19)	시각적 탐색의 과정.
피질하영역	신체감각 및 정서 지각, 예상, 주의 등을 담당(뇌섬엽)
변연계 (BA 23, 25, 32)	편도체, 해마, 안와전두 등과 연결되어 감성 시스템과 의사 결정과정 담당

이러한 결과를 통해 디지털교과서와 서책형 교과서 모두 정보의 탐색과 확인, 인지·감성 시스템의 조절 등이 관여되어 나타남을 확인할 수 있다.

또한 디지털교과서 활용시 서책형 교과서 활용에 비해 넓은 두뇌 활성 영역과 높은 활성 강도가 나타났다(그림 15).



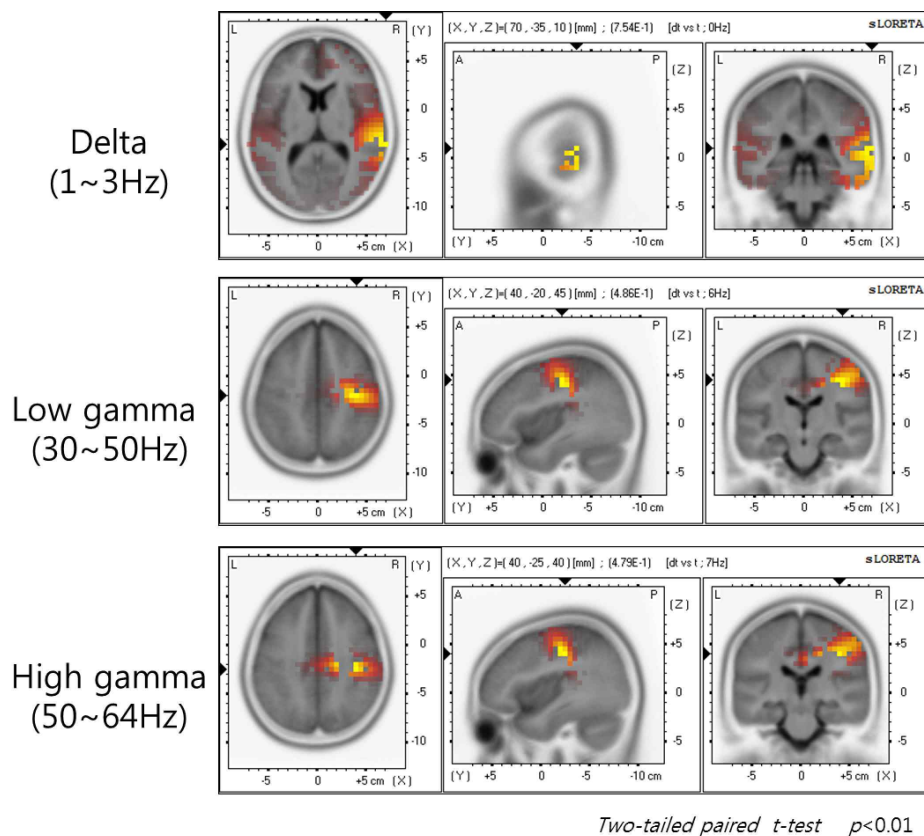
[그림 15] 디지털교과서 활용 vs. 서책형교과서 활용시 두뇌 활성 비교

라. 두뇌 활성 패턴의 차이점

디지털교과서 사용시 서책형 사용에 비해 우측 전두엽, 두정엽, 피질하 일부 영역과 변연계 중 뇌섬엽에서 유의하게 두뇌 활성 범위 및 강도가 높게 나타났다(그림 16과 표 12).

전두엽에서 두정엽으로 이어지는 경로의 경우 거울뉴런시스템(mirror neuron system)의 활성화와 유사하며, 이는 다양한 자극에 대해서 학습할 때 주로 활성이 높게 나타난다. 또한, 전두엽에서 대상이랑으로 연결되는 경로는 마음이론(Theory of Mind, ToM)회로와 디폴트모드네트워크(DMN)을

담당하는 네트워크와 유사한 패턴을 보이고 있다. 이러한 결과는 서책형교과서 활용에 비해 디지털교과서 활용시 미래에 대한 예측, 조망과 더불어 고차인지 담당 영역의 활성화 강도가 높게 나타나 학습에 있어 효율성을 주고 있음을 알 수 있다(Bucker & Carroll, 2006). 이러한 차이점은 주로 델타와 감마 대역 전반에 걸쳐 나타나고 있다.



[그림 16] 서책형교과서 활용에 비교한 디지털교과서 활용 시 두뇌 활성화 영역

<표 12> 서책형교과서 활용에 비해 디지털교과서 활용시 두뇌 활성 영역과 기능

영역 (반구/브로드만 영역)	세부 영역 및 기능
전두엽 (R/BA 4, 6)	<ul style="list-style-type: none"> - 중전두이랑(Middle frontal gyrus) : 입력 정보에 대한 판단 및 실행 - 중심전이랑(Precentral gyrus) : 운동에 대한 계획과 실행
두정엽 (R/BA 1, 2, 3, 40)	<ul style="list-style-type: none"> - 대상이랑(Cingulate gyrus) : 공간기억, 디폴트모드네트워크와 관련
피질하영역	<ul style="list-style-type: none"> - 중심후이랑(postcentral gyrus) - 하두정이랑(inferior parietal gyrus) : 움직이는 대상 인지 및 변별
변연계 (R/BA 23, 24, 31)	<ul style="list-style-type: none"> - 뇌섬엽(insula) : 외부 현상의 인식과 주관적 판단, 미래 예상.

마. 디지털교과서와 서책형교과서 활용시 관심영역 추출

두뇌 활성 분석 결과를 바탕으로 디지털교과서와 서책형교과서 활용시 주로 활성이 나타나는 관심영역 설정하였다(표 13). 해당 영역들은 주로 전두엽과 측두엽, 변연엽으로 구성되어지며, 15mm 반경 수준 내에 있는 모든 복셀(1개 복셀당 5×5×5mm)을 그 대상으로 하였다. 이를 통해 각 교과서 형태에 따른 두뇌의 기능적 연결성(functional connectivity) 차이를 확인하고자 하였다.

디지털교과서 활용시 추출된 15개의 주요 관심영역과 서책형교과서 활용시 추출된 11개의 주요 관심영역은 다음과 같다(표 13, 14).

설정된 관심영역에서 특이한 점은 디지털교과서 사용 그룹의 경우 상전두이랑(BA 8)이 포함되어 있지만, 서책형교과서 그룹의 경우는 그렇지 않다는 것이다(표 14). 브로드만 영역 8번의 경우 배외측전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC) 영역에 해당하는 것으로 이는 과제의 조작과 관

런된 조건에서 활성이 증가하고, 복외측전전두피질(ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC)의 경우 탐색하는 과제에 대해 유지하거나 목표를 추적하는 것과 관련이 깊다(Collette et al., 1999; D'Esposito et al., 1999). 이는 서책형 교과서 사용 그룹의 경우 일방적으로 교과서에 제시된 정보를 따라 가는 것과 같은 행동에 초점이 맞춰진 것을 의미하며, 디지털교과서 사용 그룹의 경우는 스스로 받아들여진 교과서 정보를 다양하게 조작하려는 활동의 경향이 나타난 것이라 볼 수 있다. 즉 VLPFC가 받아들인 정보에 대한 탐색 활동을 정리하면, DLPFC가 이를 조작하는 기능을 담당한다는 것이다(Cabeza and Nyberg, 2000).

<표 13> 디지털교과서 사용 그룹의 관심영역(15 ROIs)

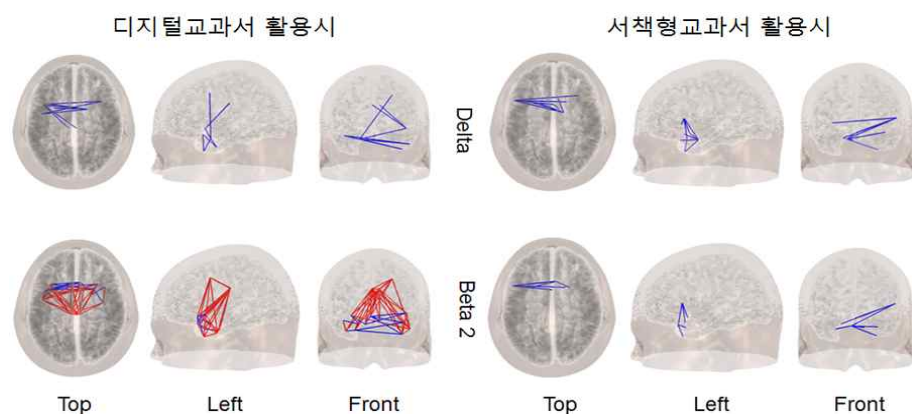
관심 영역	브로드만 영역과 반구	MNI 좌표값		
		X	Y	Z
상전두이랑(Superior Frontal Gyrus)	8 R	15	15	-20
하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 R	40	15	-15
	47 L	-40	20	-20
전대상이랑(Anterior Cingulate)	25 R	5	20	-5
	32 L	-5	20	-10
대상이랑(Cingulate Gyrus)	23 R	5	-25	30
	23 L	-5	-25	30
해마옆이랑(Parahippocampal Gyrus)	34 R	25	5	-20
갈고리이랑(Uncus)	38 L	-25	5	45
뇌섬엽(Insula)	13 R	30	15	-10
	13 L	-45	10	-5
상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 R	25	10	-25
	38 L	-40	15	-40
방추이랑(Fusiform gyrus)	20 R	40	-10	-30
	20 L	-55	-5	-30

<표 14> 서책형교과서 사용 그룹의 관심영역(11 ROIs)

관심 영역	브로드만 영역과 반구	MNI 좌표값		
		X	Y	Z
하전두이랑(Inferior Frontal Gyrus)	47 R	20	10	-20
	47 L	-30	20	-25
중심전이랑(Precentral Gyrus)	44 L	-60	15	10
곧은이랑(Rectal Gyrus)	11 R	5	20	-25
	11 L	-10	20	-30
전대상이랑(Anterior Cingulate)	25 R	5	5	-5
해마옆이랑(Parahippocampal Gyrus)	34 R	15	0	-20
뇌섬엽(Insula)	13 R	30	25	5
	13 L	-35	15	-10
상측두이랑(Superior Temporal Gyrus)	38 R	25	10	-25
	38 L	-25	20	-35

바. 디지털교과서와 서책형교과서 활용시 기능적 두뇌 연결성 패턴

디지털교과서 활용 시 추출된 15개의 관심영역과 서책형교과서 활용 시 추출된 11개의 관심영역을 통해 디지털교과서 활용과 서책형교과서 활용 시 나타나는 기능적 두뇌 연결성 패턴을 구성하였다(그림 17).



[그림 17] 디지털교과서와 서책형교과서 사용시 두뇌의 기능적 연결

(Delta & Beta 2, $p < 0.001$)

디지털 및 서책형교과서 활용시 델타 대역과 베타 2대역에서 서로 다른 연결성 패턴이 확인되었다. 디지털 및 서책형교과서 활용 모두 델타 대역에서 낮은 두뇌 연결성이 관찰되었고, 높은 두뇌 연결성은 디지털교과서 활용에서만 베타 2대역에서의 높은 두뇌 연결성이 관찰되었다.

디지털교과서 활용시 델타와 베타 2대역에서는 두정엽에서 시상으로 이어지는 경로(thalamo-cortico path)의 연결이 나타난 것에 비해, 서책형교과서 활용 시는 측두엽에서 시상으로 이어지는 경로 연결이 나타났다. 두정엽에서 시상으로 이어지는 경로 연결은 정밀한 움직임에 대한 인식과 판단에 대한 학습이득과 관련되어 있다(Matsuda et al., 2004; Ribary, 2005; Schulz et al., 2014). 또한, 측두엽에서 시상으로 이어지는 경로 연결은 주로 고정된 형태의 시각 탐색과 인식을 담당하는 것으로 알려져 있다(Ribary, 2005). 따라서, 서책형교과서 활용에 비해 디지털교과서 활용이 다양한 공간인지와 감각 자극 경험을 두뇌에 주고 있다고 판단할 수 있다.

델타 대역 연결성은 디지털 및 서책형교과서 활용 모두 낮은 신경세포 진동이 일어나고 있지만, 베타 2대역 연결성은 디지털교과서 활용시에서만 높고, 낮은 신경세포 진동 패턴이 관찰되었다. 최근 연구 결과에 따르면 과제 수행 능력이 낮은 학생에 비해 과제수행 능력이 높은 학생들의 델타 대역 두뇌 연결성이 낮게 나타난다고 보고되었다(Bell & Fox, 1996; Aftanas & Golocheikine, 2001). 또한, 델타 연결성의 진동은 기본적인 항상성과 동기 처리와 관련되어 있다 보고되고 있으며, 두뇌 활성화와는 반대의 경향을 보인다 보고되고 있다(Gennady, 2012). 델타 대역 연결은 청각이나 시각 자극에 대한 선택적 주의 집중에 대한 핵심적 기능을 수행한다(Lakatos et al., 2008). 이러한 연구 결과에 미루어 볼 때, 서책형교과서 활용에 비해 디지털교과서 활용시 보다 낮은 연결성이 나타나는 것은 디지털교과서 활용이 과제수행 능력과 주의 집중도 향상에 도움을 주고 있음을 알 수 있다.

베타 2대역 연결성의 경우, 높은 수준의 과제 집중을 반영한다(Budzynski et al., 2009). 본 연구에서 디지털교과서 활용시 두정엽에서 시상으로 이어지는 경로의 연결이 높은 연결성을 보이는 것은 디지털교과서

활용이 서책형교과서 활용에 비해 높은 수준의 과제 집중이 두뇌에서 나타나도록 자극한다고 할 수 있다. 특히, 베타 2대역 연결성이 시상에서 측두엽으로의 연결은 낮고, 두정엽으로의 연결이 높게 나타나는 것은 디지털교과서 교재가 움직임을 포함하는 다양한 자극과 서책형과 유사한 고정형 자극이 함께 제시되는 교과서 구성 특성을 반영한 것으로 보여진다.

추가적인 연구 결과로, 디지털교과서 활용과 서책형교과서 활용시 기능적 연결성에서의 차이는 확인되지 않았다. 이는 디지털 및 서책형교과서의 활용이라는 교과서 매체의 특성 차이는 짧은 사용 시간으로도 두뇌 활성화 패턴의 차이로 나타날 수 있지만, 연결성에서는 1년 정도의 활용기간으로는 통계적 차이를 확인하기는 어려운 것으로 판단된다. 이런 측면에서 이에 대한 차후 추가적 연구가 필요하다고 할 수 있다.

2. 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹 간 인지기능 비교

디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹간 뇌파 검사와 지필 검사를 통한 인지기능 비교를 실시하였고, 후속 연구에 대한 필요성을 제시하였다.

가. 뇌파 검사를 통한 그룹 간 인지적 기능 비교

1) 단기기억과제 수행시 뇌파 결과

연구 결과 단기기억과제 수행시 디지털 및 서책형교과서 활용 그룹간 두뇌 활성화에서 통계적으로 유의미한 차이는 발견되지 않았다(forward; $p=0.0908$, backward; $p=0.0584$). 다음은 단기기억과제로 사용된 숫자 똑바로 외우기와 숫자 거꾸로 외우기 과제 수행간의 뇌파 분석 결과이다(표 15, 16). 각 단기기억과제 별 양측검정의 최대 유의수준값은 0.0908과

0.0584로 0.05보다 크게 나타나고 있어 유의한 차이를 보이지 않고 있다. 본 연구에서는 양측검정을 통해 p값이 0.05 이하로 결과가 산출되는 것만을 통계적 유의성에 포함시켰다.

<표 15> 숫자 똑바로 외우기 과제

검정 방향		유의수준 별 threshold(t)			최대 유의수준 (ExtremeP)
		0.01	0.05	0.10	
Two-Tailed	(A<>B)	0.885	0.763	0.693	0.0908

<표 16> 숫자 거꾸로 외우기 과제

검정 방향		유의수준 별 threshold(t)			최대 유의수준 (ExtremeP)
		0.01	0.05	0.10	
Two-Tailed	(A<>B)	0.748	0.669	0.63	0.0584

2) 작업기억과제 수행시 뇌파 결과

연구 결과 작업기억과제 수행시 디지털 및 서책형교과서 활용 그룹간 두뇌 활성에서 통계적으로 유의미한 차이는 발견되지 않았다($p=0.507$). 다음은 작업기억과제 수행간의 뇌파 분석 결과이다(표 17). 작업기억과제의 양측검정 최대 유의수준값은 0.507로 디지털 및 서책형교과서 활용 그룹간 작업기억과제 수행시 유의한 차이를 보이지 않고 있다.

<표 17> 작업기억과제

검정 방향		유의수준 별 threshold(t)			최대 유의수준 (ExtremeP)
		0.01	0.05	0.10	
Two-Tailed	(A<>B)	0.844	0.746	0.697	0.507

3) 공간인지 과제 수행시 뇌파 결과

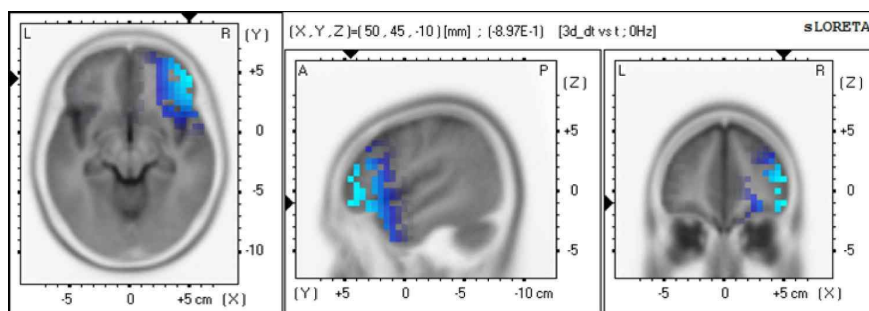
디지털교과서 활용 그룹이 서책형교과서 활용 그룹에 비해 공간인지 과제 수행시 우측 전두엽 인근에서 델타 대역의 낮은 두뇌 활성이 관찰되었

다($p=0.0004$). 이러한 결과는 특정 분야 전문가의 두뇌 사용은 일반인에 비해 낮은 두뇌 활성을 보인다는 신경 효율성(neural efficiency) 가설과 일치하는 결과이다. 전두엽은 주로 입력된 정보에 대한 판단 및 실행을 담당하는 영역으로 해당 영역활성이 낮다는 것은 낮은 활성만으로도 기능을 수행할 수 있음을 의미하여, 적은 에너지로도 효율적인 인지 기능 처리의 가능성을 말해주는 것이다.

<표 18> 공간인지 과제

검정 방향		유의수준 별 threshold(t)			최대 유의수준 (ExtremeP)
		0.01	0.05	0.10	
Two-Tailed	(A<>B)	0.708	0.627	0.585	0.0004

즉, 공간인지 과제 수행시, 디지털교과서를 1년간 활용해 온 그룹이 서책형교과서를 활용해온 그룹보다 낮은 두뇌 활성만으로도 효율적으로 뇌기능을 수행한다고 볼 수 있다.

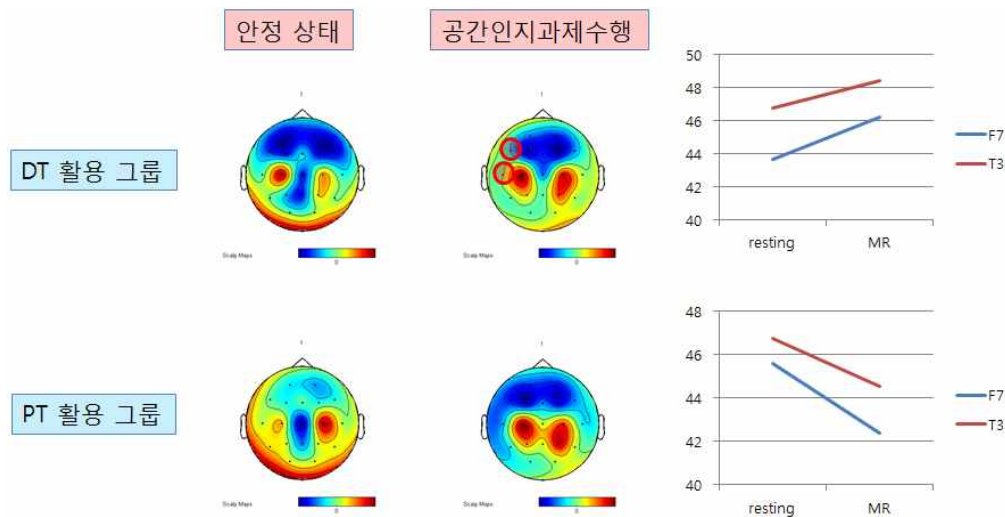


[그림 18] 공간인지 과제 수행시 두뇌 활성 영역(Delta)

4) 공간인지 과제 수행간 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹간 주의집중도와 민감도 비교

가) 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹 간 주의집중도 차이 분석 결과 서책형교과서 활용 그룹에 비해 디지털교과서 활용 그룹의 주

의집중도가 좌측 전두엽(F7; $p=0.077$)과 측두엽(T3; $p=0.097$)영역에서 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(그림 19).

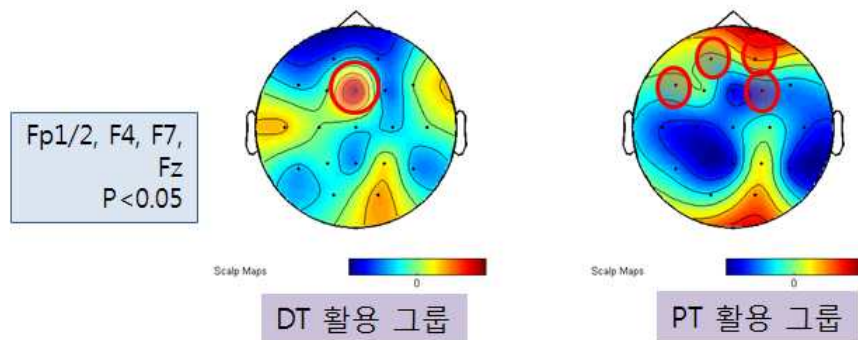


[그림 19] 공간인지 과제 수행시 그룹간 주의집중도 차이

좌측 전두엽은 주로 계획의 실행 기능을 담당하며, 좌측 측두엽은 관찰 대상물과 선언적 지식과의 비교를 담당하는 영역으로 알려져 있다. 공간인지과제 수행시 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹의 주의집중도를 각 그룹의 안정상태와 비교해 보면, 디지털교과서 활용 그룹은 안정상태에 비해 공간지각 과제 수행시 주의집중도가 높아지고, 서책형교과서 활용 그룹은 낮아지는 것을 확인할 수 있었다(그림 19). 이러한 결과는 디지털교과서 활용 그룹의 평상시 디지털교과서 활용학습이 결과적으로 공간인지 과제에 대한 주의집중도를 높이는 효과를 가져온 것으로 보인다.

나) 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹간 민감도 차이
과제 민감도 확인을 위해 실시한 과제 민감도 분석 결과 디지털교과서 활용 그룹에 비해 서책형교과서 활용 그룹이 공간인지 과제 수행시 전두엽(Fp1/2, F4, F7)을 중심으로 공간인지 과제 수행시 민감도가 높게 나타남

을 확인할 수 있었다(그림 20).



[그림 20] 공간인지 과제 수행 시 그룹 간 과제 민감도 차이

전두엽은 입력된 정보에 대한 판단 및 실행을 담당하는 영역으로 민감도가 높게 나타날수록, 과제에 대한 높은 스트레스가 나타나고 있다고 판단할 수 있다. 또한, 디지털교과서 활용 그룹의 전두엽 영역 중 전운동영역(Fz) 영역의 민감도가 서책형교과서 활용 그룹에 비해 높게 나타났다(그림 20). 이는 디지털교과서 활용 그룹의 경우 공간인지 과제를 직접적인 손으로 수행하지 않더라도 과제 수행 시 공간적 움직임, 이동에 대한 구체적인 계획을 서책형교과서 활용 그룹에 비해 깊이 고민하고 있음으로 판단할 수 있다.

나. 인지기능검사를 통한 그룹 간 인지적 기능 비교

1) 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹간의 인지능력 비교

뇌파 측정 전 실시한 집단논리적사고력검사($p=0.000$)와 작업기억 과제 수행($p=0.038$)에 대한 행동과제 분석 결과, 서책형교과서 활용 그룹이 디지털교과서 활용 그룹에 비해 통계적으로 유의하게 높은 것이 확인되었다(표 19).

<표 19> 디지털 및 서책형교과서 활용 그룹간의 인지기능 능력 차이

과제 \ 그룹	디지털교과서		서책형교과서		t	prob.
	ave1	sd1	ave1	sd2		
GALT	4.85	1.531253	6.523809	1.030488	-4.125	0.000
forward	2.95	0.223607	2.761905	0.538958	1.446	0.156
backward	2.7	0.470162	2.809524	0.402374	-0.803	0.427
WM	1.5	0.82717	2.047619	0.804748	-2.149	0.038
MR	2.1	0.552506	2.142857	0.727029	-0.212	0.833

또한, 뇌파 측정 간 행동과제로 시행한 인지기능과제 중 단기기억과제 (숫자 똑바로 외우기; $p=0.0.156$, 숫자 거꾸로 외우기; $p=0.427$)와 공간인지 과제 수행 시 그룹별 차이는 관찰되지 않았다($p=0.833$).

이러한 연구 결과는 구일초등학교에서 1년 간 연구학교 수행 후 자체적으로 실시한 자기주도적 학습능력과 문제해결력 분석 결과 차이가 없었던 는 보고와 일부 유사점과 차이점을 보인다. 이처럼 두 연구팀에서 실시한 인지심리검사에서 차이를 보이는 것은 디지털교과서 활용 그룹과 서책형교과서 활용 그룹 선정시 동형 그룹 선정에 따른 문제이거나, 단기적 시행으로 유의한 변화가 관찰되지 않은 것으로 볼 수 있다. 특히, 해당 연구과제 수행시 동형 그룹을 위한 피험자 선정에 큰 어려움이 있었다는 것은 연구의 제한점이 될 수 있다¹⁾. 다만, 본 연구를 통해 1년여 단기간의 디지털교과서 활용이 인지기억 저하에 영향을 준다는 뇌과학적 근거는 찾을 수가 없었다.

1) 연구학교에서 디지털교과서 활용 대상이 2학급이었으며, 서책형교과서 활용 대상이 6학급이었다는 사실은 초기 디지털 및 서책형교과서 집단 구성 시부터 동질 집단으로의 구성을 어렵게 하는 요소였다. 모집단의 크기가 다른 상태뿐만 아니라, 미성숙 학생이기에 학부모의 연구 참여 동의를 받아 제한된 인원에서 실시해야 하는 인지검사에는 많은 제약이 있다. 따라서 본 연구진이 뇌파측정검사 대상자 선별을 위해 사전에 실시한 집단은 리적사고력검사(Group Assessment of Logical Test, GALT)와 작업기억과제 등의 인지심리검사 결과보다, 안정상태에서 측정된 피험자 그룹 간 유의미한 차이가 없었다는 신경생리적 결과가 본 연구에서 디지털교과서 및 서책형교과서 활용 그룹 선정 시 동질그룹으로 형성되었으며, 이를 통한 뇌파 결과 분석이 초기 안정상태에 비해 차이가 있었다는 것이 연구의 타당도와 신뢰도를 높여주고 있다.

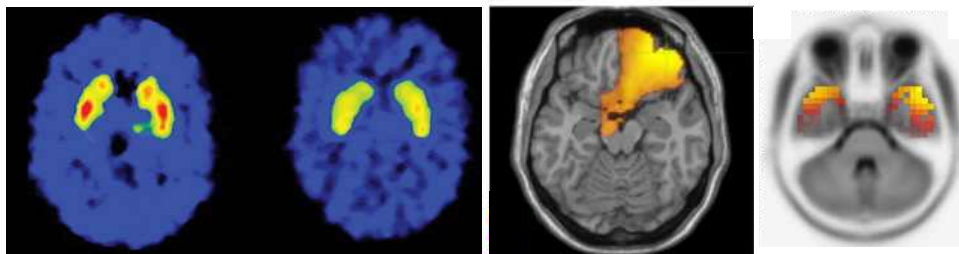
2) 디지털교과서 활용 그룹과 약물 및 게임 중독 뇌활성 비교

최근 디지털교과서 활용에 대한 사회적 불안은 인터넷 게임이나 스마트폰 중독에 대한 연구로 나타나고 있다. 이에 본 연구 결과를 통해 얻어진 디지털교과서 활용시 두뇌 활성 영역과 약물중독, 디지털 게임 중독과의 비교를 문헌연구를 통해 진행하였다.

다음은 정상인과 약물 중독 환자(Kalivas & Volkow, 2005), 디지털 게임 중독 시(Dymond et al., 2014) 나타나는 두뇌 활성화 연구 결과를 본 연구진의 디지털교과서 활용 시 두뇌 활성 양상과 비교한 것이다(그림 21). (A)와 (B)의 경우 양전자단층촬영(PET) 결과로 붉거나 노란색으로 나타나고 있는 활성 영역은 선조체(Striatum)에 해당된다. 결과에서 보듯 활성 지역은 유사하지만, 강도에서 차이가 확인되고 있다. 일반적으로 중독의 신경학적 메커니즘은 기저핵(Basal ganglia)의 일부인 선조체와 관련되어 있다. 선조체는 도파민 민감성에 대한 조절을 담당하며, 대뇌 피질과 상호작용함으로써 정보를 조절하는 것으로 알려져 있다(Seger, 2010). 따라서 정상인은 선조체 부근 활성이 약물에 대한 조절을 가능하도록 높게 나타나고 있지만, 약물 중독 환자의 경우 선조체 활성이 약해 약물에 대한 조절 능력이 떨어지게 된다. (C)의 경우 디지털 게임의 중독성은 주로 뇌섬엽(Insula)과 안와전두피질(Orbitofrontal cortex)에서 활성이 나타나는 것을 보여주고 있다. 특히, 전두엽 중에서도 보상의 기대 가치에 대한 평가와 기저핵의 도파민 민감성에 영향을 미치는 안와전두피질에서 나타나는 활성에서 두드러진 차이가 나타난다(Dymond et al., 2014). (D)는 본 연구진의 연구 결과 중 디지털교과서 활용시 델타 대역 활성화를 나타내고 있는 것으로 현재 좌우측 상·중측두이랑 활성을 나타내고 있다. 본 연구결과에서 단기적 디지털교과서 활용시 나타나는 패턴을 장기적 중독 증세와 절대적으로 비교한다는 것이 일부 제한이 있을 수 있으나, 약물 중독 또는 게임 중독과 비교해 볼 때 디지털교과서 활용 시 선조체나 안와전두 활성을 통한 중독의 양상은 관찰되지 않는다. 이는 물론 차후 장기적인 연구 설계를 통한 확인 필요성이 존재하지만, 디지털교과서의 교육적 사용과 일반적인

중독에서의 뇌활성 양상은 동일하지 않음을 확인할 수 있다.

따라서, 학습자의 디지털교과서 활용과 일반적인 디지털 콘텐츠 경험은 두뇌 활성화 수준에 차이가 있다. 즉, 일반 디지털콘텐츠 과도한 사용은 동기보상 시스템의 활성화에 의한 중독을 유발하지만, 수업시간에 디지털교과서를 활용하는 것은 인지기능, 예측, 조망과 학습 등과 관련된 고차인지 영역의 활성화와 대부분 관련되어 있다.



(A) 정상인 (B) 약물 중독 (C) 디지털 게임시 (D) 디지털교과서 활용시

[그림 21] 정상인과 비교한 약물, 게임, 디지털교과서 사용시 두뇌 활성 비교

IV. 결론 및 제언

디지털교과서 활용 집단과 일반 서책형 교과서 활용 집단의 수면뇌파검사(EEG) 데이터를 비교하였을 때, 인지 기능에 있어 두 집단간 차이는 나타나지 않았다. 오히려 디지털교과서를 사용한 피험자 집단의 공간 지각 능력, 사회성과 연결된 네트워크망의 활성화 강도가 높게 나타나 이 부분은 디지털교과서의 교육적 성과가 기대되는 부분이다. 향후 다음과 같은 연구를 통하여 본 연구의 기초 결과가 다각도에서 검토되고 확장될 필요가 있다.

첫째, 장기적인 추적 연구를 통하여 디지털 환경에 노출되지 않은 학습자와 노출된 학습자의 차이, 디지털교과서 활용 연차별 증독 및 학습 효과, 실제 생활과 연계된 디지털 콘텐츠를 이용한 연구 등을 깊이 탐색함으로써 디지털기기 활용에 관한 불안을 해소할 수 있는 객관적인 데이터를 제공할 필요가 있다.

둘째, 정적인 디지털 콘텐츠에 대한 내용에서 벗어나, 실제 디지털기기가 가진 역동성이나 색감과 같은 다양한 변수 등을 고려하여 실제 생활과 연계된 디지털교과서 콘텐츠 유형별 주의집중도와 뇌기능에 미치는 영향과 관련된 연구를 장기적으로 수행할 필요가 있다.

셋째, 학습자의 피로감을 최소화하고 최적의 내용을 전달할 수 있는 디지털교과서를 만들기 위하여, 효과적인 학습을 위한 색감, 질, 지표적 참조물 제시 등의 인지심리학적 연구 결과를 반영하여 디지털교과서 제작의 가이드라인과 모델에 대한 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

넷째, 학습자의 주의력 및 수업 효과에 가장 큰 영향을 미치는 교사 변인을 함께 고려한 연구가 이루어져야 하며, 이를 바탕으로 교사에게 디지털교과서 활용에 대한 명확한 가이드라인을 제시해야 한다.

다섯째, 현재 이루어지고 있는 연구는 디지털기기의 효과보다, 역기능 및 우려 불식에 더 초점이 맞추어져 있다. 이보다는 이스라엘의 사례와 같이 디지털기기가 교사를 대체하는 것이 아니라, 반대로 교사가 디지털기기를 활용하여 학습자를 효율적으로 안내하는 것과 같은 긍정적인 방향의 디지털교과서 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Aftanas, L. I., & Golocheikine, S. A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: highresolution EEG investigation of meditation. *Neuroscience Letter*, 310, 57-60.
- Bell, M. A., & Fox, N. A. (1996). Crawling experience is related to changes in cortical organization during infancy: Evidence from EEG coherence. *Developmental Psychobiology*, 29, 551 - 561.
- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2007). A psychological refractory period in access to visual short-term memory and the deployment of visual - spatial attention: multitasking processing deficits revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 44, 323 - 333.
- Buckner, R. L., & Carroll, D. C. (2006). Self-projection and the brain. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 11(2), 49-57.
- Budzynski, T. H., Budzynski, H. K., Evans, J. R., & Abarbanel, A., (2009). *Introduction to quantitative eeg and neurofeedback*. Burlington, Ma. Elsevier Inc.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1-47.
- Choi, J., Park, S. M., Lee, J., Hwang, J. Y., Jung, H. Y., Choi, S., Kim, D. J., Oh, S., & Lee, J. (2013). Resting-state beta and gamma activity in Internet addiction. *International Journal of Psychophysiology*, 89, 328-333.
- Collette, F., Salmon, E., Van der Linden M., Chicherio, C., Belleville, S., & Degueldre, C. (1999). Regional brain activity during tasks devoted to the central executive of working memory. *Brain*

- Research. *Cognitive Brain Research*, 7, 411–417.
- D’Esposito, M., Postle, B. R., Ballard, D. & Lease, J. (1999) Maintenance versus manipulation of information held in working memory: an event-related fMRI study. *Brain and Cognition*, 41, 66–86.
- Deprez, S., Vandenbulcke, M., Peeters, R., Emsell, L., Amant, F., & Sunaert, S. (2013). The functional neuroanatomy of multitasking: Combining dual tasking with a short term memory task. *Neuropsychologia*, 51, 2251–2260.
- Dong, G., DeVito, E. E., Du, X., & Cui, Z. (2012). Impaired inhibitory control in ‘internet addiction disorder’: A functional magnetic resonance imaging study. *Psychiatry research: Neuroimaging*, 203, 153–158.
- Dong, G., Hu, Y., Lin, X., & Lu, Q. (2013). What makes internet addicts continue playing online even when faced by severe negative consequences? Possible explanations from an fMRI study. *Biological psychology*, 94, 282–289.
- Dong, G., Lin, X., Zhou, H., & Lu, Q. (2014). Cognitive flexibility in internet addicts: fMRI evidence from difficult-to-easy and easy-to-difficult switching situations. *Addictive behaviors*, 39, 677–683.
- Dux, P. E., Tombu, M. N., Harrison, S., Rogers, B. P., Tong, F., & Marois, R. (2009). Training improves multitasking performance by increasing the speed of information processing in human prefrontal cortex. *Neuron*, 63, 127–138.
- Dymond, S., Lawrence, N. S., Dunkley, B. T., Yuen, K. S., Hinton, E. C., Dixon, M. R., Cox, W. M., Hoon, A. E., & Munnelly, A. (2014). Almost winning: Induced MEG theta power in insula and orbitofrontal cortex increases during gambling near-misses and is associated with BOLD signal and gambling severity. *Neuroimage*.

in publishing.

- Filmer, H. L., mattingley, J. B., Dux, P. E. (2013). Improved multitasking following prefrontal tDGS. *Cortex*, 49, 2845-2852.
- Fort, A., Martin, R., Jacquet-Andrieu, A., Combe-Pangaud, C, Foliot, G., Daligault, S., & Delpuech, C. (2010). Attentional demand and processing of relevant visual information during simulated driving: A MEG study. *Brain research*, 1363, 117-127.
- Gennady G. Knyazev. (2012). EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36, 677 - 695.
- Han, D. H., Bolo, N., Daniels, M. A., Arenella, L., Lyoo, I. K., & Renshaw, P. F. (2011). Brain activity and desire for internet video game play. *Comprehensive Psychiatry*, 52, 88-95.
- Han, D. H., Lyoo, I. K., & Renshaw, P. F. (2012). Differential regional gray matter volumes in patients with on-line game addiction and professional gamers. *Journal of psychiatric research*, 46, 507-515.
- Hesselmann, G., Flandin, G., & Dehaene, S. (2011). Probing the cortical network underlying the psychological refractory period: a combined EEGfMRI study. *NeuroImage*, 56(3), 1608e1621.
- Kalivas, P. W., & Volkow N. D. (2005). The Neural Basis of Addiction: A Pathology of Motivation and Choice. *The American Journal of Psychiatry*, 162(8), 1403-1413.
- Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A. D., Ulbert, I., & Schroeder, C. E., (2008). Entrainment of Neuronal Oscillations as a Mechanism of Attentional Selection. *Science*, 320, 110-113.
- Matsuda, T., Matsuura, M., Ohkubo, T., Ohkubo, H., Matsushima, E., Inoue, K., Taira, M., & Kojima, T. (2004). Functional MRI mapping of brain activation during visually guided saccades and antisaccades: cortical and subcortical networks. *Psychiatry*

- Research, 131(2), 147–155.
- Pascual-Marqui, R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details, Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology, 24D, 5–12.
- Pascual-Marqui, R. D., (2007). Instantaneous and lagged measurements of linear and nonlinear dependence between groups of multivariate time series: frequency decomposition:arXiv:0711.1455v1.
- Pascual-Marqui, R. D., Lehmann, D., Koukkou, M., Kochi, K., Anderer, P., Saletu, B., Tanaka, H., Hirata, K., John, E. R., Prichep, L., Biscay-Lirio, R., Kinoshita, T., (2011). Assessing interactions in the brain with exact low resolution electromagnetic tomography(eLORETA). Philosophical Transactions of the Royal Society A, 369, 3768 - 3784.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. Psychological Bulletin, 116(2), 220.
- Polosan, M., Baci, M., Cousin, E., Perrone, M., Pichat, C., & Bougerol, T. (2011). An fMRI study of the social competition in healthy subjects. Brain and Cognition, 77, 401–411.
- Ribary, U. (2005). Dynamics of thalamo-cortical network oscillations and human perception, Progress in Brain Research, 150, 127–142.
- Salminen, M., & Ravaja, N. (2008). Increased oscillatory theta activation evoked by violent digital game events. Neuroscience Letters, 435, 69 - 72.
- Schulz, R., Wessel, M. J., Zimmerman, M., Timmerman, J., Gerloff, C., & Hummel, F. C. (2014). White Matter Integrity of Specific Dentato-Thalamo-Cortical Pathways is Associated with Learning Gains in Precise Movement Timing. Cerebral Cortex, April, 1–8.
- Sun, Y., Ying, H., Seetohul, R. M., Xuemei, W., Ya, Z., Qian, L.,

- Guoqing, X., & Ye, S. (2012). Brain fMRI study of crave induced by cue pictures in online game addicts(male adolescents). *Behavioural brain research*, 233, 563-576.
- Tsiaras, V., Simos, P. G., Rezaie, R., Sheth, B. R., Grayfallidis, E., Castillo, E. M., & Papanicolaou, A. C. (2011). Extracting biomarkers of autism from MEG resting-state functional connectivity networks. *Computers in biology and medicine*, 41, 1166-1177.
- Volkow, N. D., & Baler, R. D. (2014). Addiction science: Uncovering neurobiological complexity. *Neuropharmacology*, 76, 235-249.
- Wilson, G. F., Swain, C. R., & Ullsperger, P. (1999). EEG power changes during a multiple level memory retention task. *International Journal of Psychophysiology*, 32(2), 107-118.

ABSTRACT

Research on the effect of brain function using digital textbook

This study was to investigate the effect of brain function using digital textbooks and suggest an application method to ensure safe and proper utilization of digital textbook. EEG was applied to analyze the effect of student's brain function using digital textbooks. To analyze the effect of brain function, we investigated subject's brain activation and network during their using digital and paper textbook. In addition, we compared digital subject's brain connectivity to paper subject's. All of subjects used digital textbook and paper textbook in science and social science for 1 year, respectively. Furthermore, we had a discussion session with professional researchers to propose a utilization for the customized digital textbook.

Results of this study was shown some different regions of brain activation between students' using digital textbook and paper textbook. Specifically, middle frontal gyrus, precentral gyrus, cingulate gyrus, postcentral gyrus, inferior parietal gyrus, and insula was identified as higher activation regions in using digital textbook. Also, using digital textbook was shown a significant brain connectivity in thalamo-cortico path of beta 2. In cognitive function, there was no significant difference of brain function between digital textbook and paper textbook groups in working memory tasks. However, when the digital textbook group performed space perception tasks, they utilized more efficiently the brain function than the paper textbook group. Furthermore, using digital

textbook for one year was not shown the similar activation region comparing to game addiction.

Although this study was shown some effects of digital textbook student' brain function, it should be performed a longitudinal follow-up study about student's brain function using digital textbook. Also, this study was to propose a research-based public explanation for smart education using digital textbook.

연구보고 KR 2014-3

디지털교과서 활용이 학습자의
뇌기능에 미치는 영향

발행	2014년 2월 일
발행인	임 승 빈
발행처	한국교육학술정보원 (www.keris.or.kr)
주 소	☎701-310 대구 동구 동내로 64 전화: (053)714-0114 팩스: (053)714-0193
등 록	제22-1584호(1999년 7월 3일)
인쇄처	신성인쇄상사 전화: (02)2272-0345

본 내용의 무단 복제를 금함. <비매품>

* 에듀넷 : www.edunet.net

* 학술연구정보서비스 : www.riss.kr

* 교육행정정보서비스 : www.neis.go.kr