

관찰 문제에서 초등학생의 과학 학업성취도에 따른 안구운동 분석

신원섭 · 신동훈
(서울교육대학교)

Analysis of Eye Movement by the Science Achievement Level of the Elementary Students on Observation Test

Shin, Won-Sub · Shin, Donghoon
(Seoul National University of Education)

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the difference between eye movements according to science achievement of elementary school students in observation situation. Science achievement was based on the results of national achievement test conducted in 2012, a random sampling of classes. As an assessment tool to check observation test, two observation measure problems from TSPS (Test of Science Process Skill; developed in 1994) suitable for eye tracking system are adopted. The subjects of this study were twenty students of sixth grade who agreed to participate in the research. SMI (SensoMotoric Instruments) iView X™ RED was used to collect eye movement data and Experiment 3.1 and BeGaze 3.1 program were used to plan and analyze experiment. As a result, eye movements in observation test varied greatly in fixation duration, frequency, saccade, saccade velocity and eye blink according to students' science achievement. Based on the result of eye movements analysis, heuristic search eye movement was discussed as an alternative to improve underachievers' science achievement.

Key words : eye movement(fixation, saccade), observation test, science achievement

I. 서 론

관찰은 초등학교 과학에서 가장 필수적이고, 기초적인 탐구 기능이며(박명희 등, 2005; 이봉우와 김희경, 2007; 이해원 등, 2005; 이해정 등, 2010; 한광래, 2003), 과학 탐구 능력 신장이라는 측면에서도 매우 중요하다(이해정 등, 2010; 조현국과 송진웅, 2011). 또한 과학 활동과 과학적 사고과정의 출발점이 관찰이기 때문에 이에 대한 연구는 더욱 중요하다(권용주 등, 2005; 박명희 등, 2005; 신동훈 등, 2006).

관찰에 대한 선행 연구는 초등학교 학생들의 특정 내용 영역에 대한 관찰 능력에 대한 연구(김대성과 홍승호, 2011; 김지혜 등, 2006; 배진호 등, 2005; 한광래, 2003), 관찰의 유형에 대한 연구(박명희 등,

2005; 신동훈 등, 2006), 학생들의 수준에 따른 관찰 능력 비교 연구(김동욱 등, 2006; 김영신 등, 2006; 문병찬 등, 2009), 학습 전략이나 관찰 전략을 적용한 교육적 효과 연구(이혜원 등, 2012; 이해정 등, 2010; 조현국과 송진웅, 2011)들로 크게 구분하여 살펴볼 수 있다. 이러한 연구 결과에 의하면, 학생들의 관찰 능력은 학년이 올라감에 따라 점진적으로 증가하였고(이혜원 등, 2005; 한광래, 2003), 여성 특유의 감성적인 요인으로 여학생이 남학생보다 더 높은 관찰 빈도를 나타낸 경우(김지혜 등, 2006; 한광래 2003)와 남학생이 여학생보다 탐구대상에 대해 높은 관찰수를 보인 경우가 있었다(김대성과 홍승호, 2011). 김지혜 등(2006)은 장독립적인 모듈의 관찰빈도가 장의존적인 모듈보다 유의미하게 높았고, 장독립적인 학생들이 더 분석적이라고

하였다. 또한, 초등 영재학생들은 시각과 촉각 등 적절한 감각기관을 통해 정량적, 정성적 관찰을 할 수 있었고, 관찰의 개념과 적용에 대한 이해가 높았다(문병찬 등, 2009). 관찰 유형은 관찰 방법에 따라 오감의 사용과 조작의 유무, 측정의 유무 등에 따라 구분될 수 있고(박명희 등, 2005), 이러한 관찰 유형에 대한 분석 결과는 학생들의 관찰 능력을 향상시키기 위한 전략을 수립하는데 기여할 수 있다(신동훈 등, 2006).

조한국과 송진웅(2011)은 관찰의 형태를 개선하기 위해 과학적 지식의 구성 방법과 실험의 역할을 지도해야 하고, 보다 정교한 관찰 활동을 위해서는 기초적인 조작법과 과정적 지식이 습득되어야 한다고 주장하였다. 교육 방법 측면에서는 명시적이고 반성적인 과학수업이 관찰 탐구 능력의 향상을 가져왔고(이혜원 등, 2012), 과학적 관찰 전략을 적용한 과학수업에서도 관찰 능력이 향상되었다(이해정 등, 2010).

관찰에 대한 이러한 선행 연구들은 학생들의 관찰 능력과 유형을 현상적으로 판단하여 관찰 능력 향상 방법에 대해 논할 수 있었지만, 실제 학생들이 무엇을 어떻게 보고, 관찰 대상에 대한 정보를 어떻게 얻는 지에 대한 미시적인 측면의 연구는 부족한 편이다. 관찰 상황에서 정보를 받아들이는데 가장 중요한 역할을 하는 것은 시각이다.

한편, 도약(saccade)과 응시(fixation)와 같은 안구운동을 통해 시각적 정보를 받아들이고 안구운동이 주의(attention)와 연관되어 있다는 사실이 여러 실험들에 의해서 밝혀졌다(John *et al.*, 2012; Moore & Fallah, 2001; Robert *et al.*, 2011). 주의가 일어날 때 뇌의 활성화 영역은 양전자단 촬영(PET)실험을 통해 측두엽이라는 것은 알려졌지만(Corbetta *et al.*, 1995), 사람은 여전히 안구운동을 거의 의식하지 못할 뿐 아니라(Robert *et al.*, 2011), 뇌가 어떻게 주의를 특정 공간으로 이끌어가는 지, 또 정확히 어디에서 주위가 시작되는지는 알 수가 없다(Bermúdez, 2012; Robert *et al.*, 2011). 사람의 행동은 사람이 보는 것과 보는 방법에 의해 달라지고, 시각은 눈앞의 상황을 연속적으로 촬영한 일련의 순간적인 사진들이다(Robert *et al.*, 2011). 따라서 관찰을 어떻게 하는가를 시각적 관점에서 알아보기 위해서는 눈의 연속적이고 순간적인 촬영과정과 어디를 촬영할 것인지를 어떻게 선택하는지에 대한 안구운동을

이해해야만 한다(Robert *et al.*, 2011). 이러한 안구운동은 앞으로 주요한 연구 분야가 될 것이고, 관찰 상황에서 안구운동을 기록하고 분석하는 것을 통해 관찰자의 인지적 전략을 추론할 수 있다(신원섭과 신동훈 2012; Slykhuus *et al.*, 2005).

이 연구에서는 관찰 상황에서 초등학생의 안구운동을 기록해 과학학업 성취도에 따른 관찰 특성을 분석하고자 한다. 이를 통해 학력 부진 학생들의 안구운동의 특징을 발견하고 이의 교육적 활용방안에 대해 논의하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

S시 ○○초등학교 6학년 학급 중 2012 국가수준 학업성취도 평가의 표집학급을 대상으로 하였고, 성취도 결과는 우수 5명, 보통 5명, 기초 5명, 부진 5명으로 총 20명이 연구에 자발적으로 참여하였다.

2. 연구 절차

이 연구에서는 관찰 상황에서 과학학업 성취별 학생들의 안구운동을 분석하기 위해 그림 1과 같은 연구 절차를 거쳤다.

전문가 집단은 과학교육 전문가 2명, 초등 과학 교육진흥공사 학위자 3명으로 총 5명이었고, 과제 선정과 실험 설계, 결과 분석을 위한 4차례의 협의 과정 등에 참여하였다. 독일 SMI(SensoMotoric Instruments)사의 Experiment 3.1프로그램을 이용해 1차 실험을 설계하였고, 본 실험의 적합성과 타당성을 높이기 위해 초등학생 일반학급 10명을 대상으로 예비 연구를 실시하였다(Holmqvist, *et al.* 2011). 예비 연구 결과를 분석하여 실험 자료의 제시 방법과 시간을 재설계하였다. 본 실험은 SMI사의 iView X™ RED 장비를 사용해 실시하였고, 실험 결과 분석 단계를 거쳐 연구의 시사점과 결론을 도출하였다.

3. 실험 자료

관찰 상황을 알아보기 위해 사용한 실험 자료는 권재술과 김범기(1994)가 개발한 TSPS(Test of Science Process Skill)검사의 예비검사를 통해 안구추적 시스템에 적합한 관찰 측정 2문제를 선정하였다(그림 2).

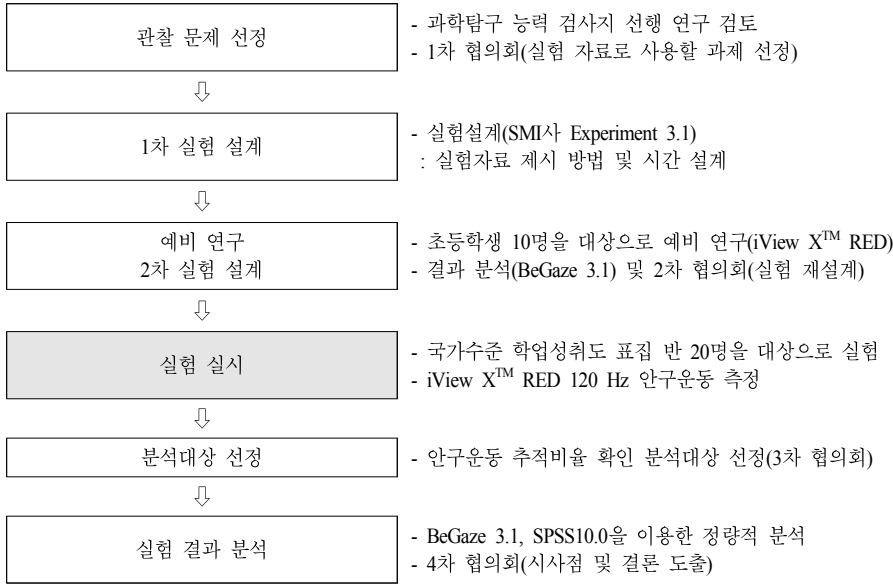
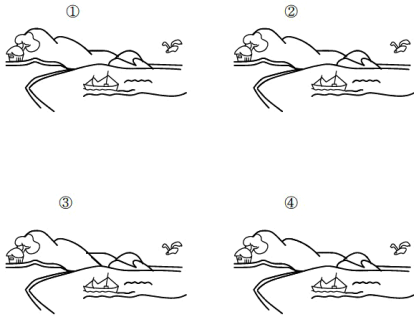


그림 1. 연구 절차

1. 다음 4개의 그림 중 다른 하나를 찾으시오. ----- ()



4. 다음 4개의 도형 중 다른 하나를 찾으시오. ----- ()

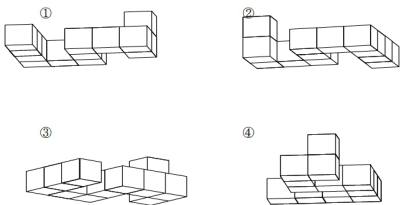


그림 2. 실험 자료

관찰 과제 1번은 평면 자료로, 보기에서 다른 그림을 찾는 것이다. 4번은 Shepard와 Metzler의 1971년 심전 회전 연구에서 사용된 도형과 유사한 형태로 심상을 통해 보기에서 다른 도형을 찾는 것이기

에 1번에 비해 곤란도가 높은 문제였다.

4. 실험 설계

실험 설계는 그림 3과 같고, 실험 순서는 안구 운동 보정(calibration)과 검증(validation) 단계 → 사전 자료단계 → 관찰 1번 → 관찰 4번의 단계이다. 첫 번째, 보정(calibration) 단계에서 화면의 목표 점(target)을 다섯 곳으로 지정해 학생들의 시선을 보정하였다. 안구 반경 모양이 개인별로 다르기 때문에 이 단계는 안구 운동 추적 실험에서 반드시 필요하다(Holmqvist *et al.*, 2011). 두 번째, 보정타당도(validation)단계에서 참여자 동공의 최대 편차(deviation)는 X, Y축 모두 0.5° 이하일 때에만 계속 실험을 진행하였다. 안구운동 추적 연구에서는 동공의 최대 편차 값은 0.5° 이하를 최적의 값으로 요구하고 있기 때문에(Holmqvist *et al.*, 2011) X, Y축

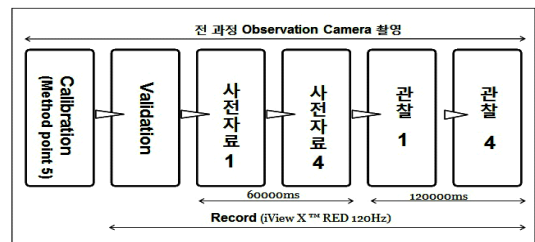


그림 3. 실험 설계

에 대한 동공의 편차가 0.5° 이하가 나올 때까지 보정과 보정타당도 단계를 반복하여 실시하였다. 세 번째, 사전 자료를 60초간 제시하여 참여자가 실험하는 방법을 익히고, 적응할 수 있도록 하였다. 그 이후, 관찰 과제는 예비 검사 결과 최대 2분의 시간이 필요했기 때문에 120,000 ms의 시간을 부여하였고, 곤란도가 낮은 1번을 먼저 제시 한 후에 4번을 제시하였다. 문제 풀이가 끝나면 답을 말하는 동시에 스페이스바를 눌러 다음 과제로 넘어가도록 하였다.

5. 자료 수집 및 분석 방법

1) 안구 운동 추적기

본 연구에 사용한 안구 운동 추적기는 동공의 크기와 위치를 측정할 수 있는 SMI사의 iView X™ RED 120 Hz 장비로, 적외선 조명과 컴퓨터 기반의 이미지 프로세싱을 사용해 동공의 움직임과 동공의 상대적인 크기까지 측정 가능하다. 또한 비침습적인 특징이 있어 참여자의 어떠한 신체적 접촉 없이도 사용할 수 있기 때문에 초등학교생들에게 사용하기 적합하다(신원섭과 신동훈 2012; SMI, 2011a). 안구 추적 모드는 양안이고, 본 연구에 사용한 샘플링 속도는 120 Hz이다(SMI, 2011a).

2) 자료 수집 및 분석 방법

연구 참여자 중 5명(우수 1명, 보통 2명, 기초 1명, 부진 1명)은 보정타당도 단계(Validation)에서 편차가 오차 범위를 벗어났거나, 안구운동 추적 비율이 80% 이하였기 때문에 결과 분석에서 제외하였다. 분석 대상 15명의 X, Y축에 대한 최대 편차 값은 0.5° 이하였고, 안구운동 추적 비율의 평균값은

89.7%였다(표 1). 과학학업 성취도에 따른 관찰 문제별 정답과 오답 결과는 표 1에 제시하였다.

안구운동의 모든 데이터는 응시 최저 시간(fixation minimum duration)을 임의 지정함으로써 도약운동과 응시운동으로 구분될 수 있다(신원섭과 신동훈 2012; SMI, 2011b). 최근의 안구 운동 추적 연구의 응시 시간(fixation duration)은 200 ms로 설정한 경우가 대부분이지만(최현동 등, 2012; Tsai et al., 2012; Liu & Shen, 2011; Cook et al., 2011), 이 연구에서는 관찰 최초 10초 동안의 효과적인 안구운동(effective eye movement)에 대한 분석을 목적으로 하고 있고, 도약운동은 빠른 시간에 큰 각도로 움직이기 때문에(Robert et al., 2011) 응시 최저 시간(fixation minimum duration)을 80 ms(SMI사의 기본 설정)으로 설정하여 분석하였다. 모든 참여자의 각 과제에 대한 첫 번째 응시는 Robert 등(2011)이 말한 응시의 유사성(similarity)과 근접성(proximity) 규칙을 고려하여 분석에서 제외하였다(Holmqvist et al., 2011). 안구운동에 관한 많은 데이터 중 연구의 목적에 맞는 응시시간, 응시횟수, 단위시간당 응시율, 동공의 크기, 도약시간, 도약횟수, 도약속도, 도약최고속도, 눈 깜빡임 수에 대해 과제 제시 10초 동안의 데이터를 BeGaze 3.1로 분석하였고, SPSS 10.0 통계프로그램을 통해 유의확률을 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 안구운동 데이터

특정한 목표를 찾는 데 걸리는 시간과 관찰자의 도약운동과 응시의 횟수 사이에는 밀접한 관련이 있다(Robert et al., 2011). 관찰하는 동안의 응시 시

표 1. 연구 참여자의 안구운동 추적비율

대상	우1	우2	우3	우4	보1	보2	보3	기1	기2	기3	기4	부1	부2	부3	부4	평균
D. X [°]	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.5	0.4	0.2	0.4	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.32
D. Y [°]	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.2	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2	0.4	0.5	0.5	0.3	0.34
TR [%]	95.8	94.2	88.5	94.2	92.0	92.0	84.7	94.0	89.4	89.8	94.3	85.0	85.9	82.6	83.3	89.7
관찰1	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	○	.
관찰4	○	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×	○	×	×	×	.

* D: Deviation, TR: Tracking Ratio, ○: 맞음, ×: 틀림

간과 응시 횟수의 의미 있는 일치를 살펴보면 어떻게 탐색이 일어나는지를 좀 더 자세히 이해할 수 있다(최현동과 신동훈, 2012; Henderson, 1992; Goldberg & Kotval, 1999; Robert *et al.*, 2011). 관찰 1번과 4번에 대한 10초 동안의 참여자별 전체 응시, 응시횟수, 응시시간, 동공의 크기, 도약시간, 도약횟수에 대한 다변량 분석에 따른 통계결과는 표 2와 같다.

관찰 상황에서 과학학습 성취도와 관찰 문제에 따른 학생들의 전체 응시시간(fixation duration)과 동공 크기(pupil size) 변화, 도약 운동(saccade duration)과 도약 속도(saccade velocity), 도약 최대 속도(velocity peak)는 개체 간 효과 검정에서 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 사후검증 결과 응시시간과 동공의 크기 변화는 과학학습 성취도에 따른 차이가 유의 수준 .05 수준에서 모두 유의미하였다(표 3).

도약시간(saccade duration)과 평균 도약 속도(Velocity Average), 도약 최대 속도(Velocity Peak)에 대한 사후검증 결과는 표 4와 같다.

도약 시간은 우수학력과 부진학력, 기초학력과 부진학력, 도약속도와 도약최대속도는 보통 학력과 기초학력, 기초학력과 부진학력 집단별 유의수준 0.5에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 통계적으로 유의미한 차이가 있는 안구운동에 대한 구체적인 분석 결과는 다음 결과에서 자세히 제시하였다.

표 2. 개체-간 효과 검정

소스	종속변수	자유도	평균제곱	F	유의확률
과학학습 성취도	Fixation_Duration (ms)	3	610,641.898	19.450	.000
	Average Pupil Size X	3	402.035	276.888	.000
	Saccade_Duration (ms)	3	72,672.639	7.854	.000
	Velocity_Average (°/s)	3	39,345.323	4.256	.005
	Velocity_Peak (°/s)	3	600,136.794	7.508	.000
관찰문제	Fixation_Duration (ms)	1	579,396.366	18.454	.000
	Average Pupil Size X	1	35.224	24.260	.000
	Saccade_Duration (ms)	1	25,963.733	2.806	.094
	Velocity_Average (°/s)	1	44,361.085	4.798	.029
	Velocity_Peak (°/s)	1	773,327.897	9.675	.002

2. 응시와 동공 크기에 대한 결과

응시의 지속시간은 개인의 특성과 상황에 따라 다를 수 있지만 보통 200~300 ms이고, 도약 안구운동은 30 ms 정도의 짧은 시간이 걸린다(Robert *et al.*, 2011). 응시는 정보를 얻는 인지적 복잡성을 나타내고(신원섭과 신동훈, 2012; Goldberg & Kotval, 1999; Chang *et al.*, 1985) 한 영역에서의 응시시간과 횟수는 장기 기억(long term memory)으로 전환될 가능성이 높은 지표이며(최현동 등, 2012; Slykhuis *et al.*, 2005), 복잡한 정보에 대한 개인의 인지 사고과정이다(최현동과 신동훈, 2012; Henderson & Hollingsworth, 1998). 그림 4에서 보면 관찰 과제의 곤란도에 따라 우수, 보통, 기초학력 학생들은 AOFD(Average of Fixation Duration; 평균 응시 시간)이 증가한 것으로 나타났다. 과학학습 성취도가 낮을수록 평균 응시시간이 증가한 것으로 보아 과학학습 성취가 낮은 학생이 곤란도가 높은 문제에서 더 많은 어려움을 겪고 있는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 부진아의 경우 관찰문제의 곤란도에 따른 AOFD의 변화가 매우 적다. 이는 부진학력 학생들은 문제의 곤란도와 무관한 안구운동을 하고 있고, 복잡한 인지 사고를 하지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 이에 대한 단서는 부진학생들의 경우 곤란도가 높은 과제에서 오히려 TOFD(Total of Fixation Duration; 전체 응시 시간)가 줄어들었다는 점에서도 찾아볼 수 있다(그림 4).

동공은 빛의 양에 의해 수축하거나 확장되기도

표 3. 응시시간과 동공 크기 변화에 대한 사후검증 다중 비교

종속변수	참여자 (I)	참여자 (J)	평균 차 (I-J)	표준오차	유의확률	
Fixation_ Duration (ms)	Tukey HSD	보통 학력	56.1105(°)	15.95946	.003	
		우수학력	기초학력	-38.5778	15.85221	.072
		부진학력	59.1549(°)	15.18914	.001	
		우수학력	-56.1105(°)	15.95946	.003	
		보통 학력	기초학력	-94.6883(°)	16.34759	.000
		부진학력	3.0444	15.70545	.997	
	Tukey HSD	우수학력	38.5778	15.85221	.072	
		기초학력	보통 학력	94.6883(°)	16.34759	.000
		부진학력	97.7327(°)	15.59646	.000	
		우수학력	-59.1549(°)	15.18914	.001	
		부진학력	보통 학력	-3.0444	15.70545	.997
		기초학력	-97.7327(°)	15.59646	.000	
Average Pupil Size X	Tukey HSD	보통 학력	1.3570(°)	.10853	.000	
		우수학력	기초학력	2.9892(°)	.10780	.000
		부진학력	2.0876(°)	.10329	.000	
		우수학력	-1.3570(°)	.10853	.000	
		보통 학력	기초학력	1.6321(°)	.11117	.000
		부진학력	.7305(°)	.10681	.000	
	Tukey HSD	우수학력	-2.9892(°)	.10780	.000	
		기초학력	보통 학력	-1.6321(°)	.11117	.000
		부진학력	-.9016(°)	.10606	.000	
		우수학력	-2.0876(°)	.10329	.000	
		부진학력	보통 학력	-.7305(°)	.10681	.000
		기초학력	.9016(°)	.10606	.000	

* .05 수준에서 평균 차는 유의합니다.

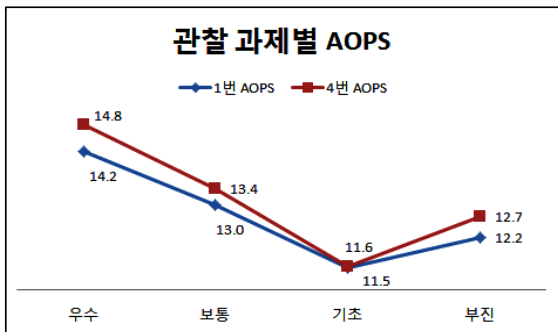
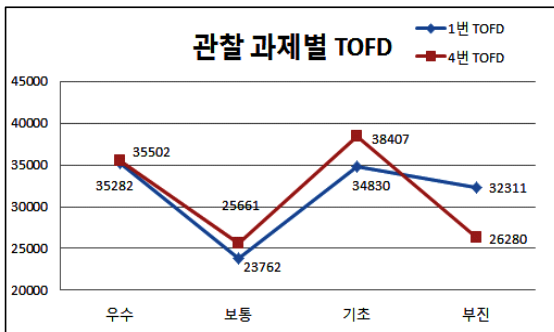
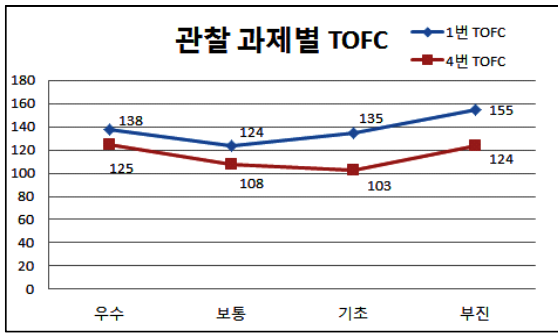
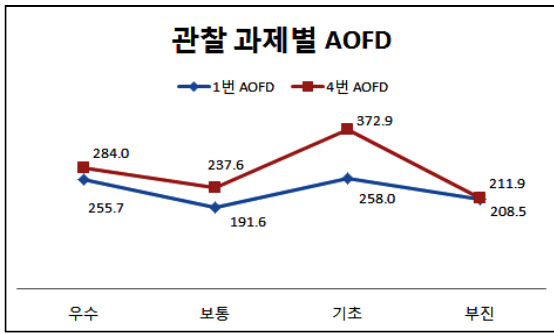
하지만, 흥분한 상황에서 확장되고 불쾌한 상황에서 수축한다(Hess & Polt, 1960; Hess, 1965). 또한 동공 확장은 흥분된 마음을 숨길 때에 나타나며(Lubow & Fein, 1996), 수학 문제 해결과 같은 정신 활동을 할 때도 동공이 확장한다(Hess, 1965; Hess & Polt, 1960). 동공의 주요 수축은 문제를 해결한 후 답을 말할 때 나타난다(Hess, 1965; Daniel &

Jackson, 1966). Daniel & Jackson(1966)은 작업이 어려울수록 동공이 확장한다는 것과 조절에 중재되지 않는다는 것에 대한 Hess와 Polt (1960)의 연구 결과를 재확인했다. 또한 문제 수행에 대한 반복 효과는 동공의 반응을 현저하게 감소시킨다고 주장하였다. 결국 동공의 직경 변화는 정신 상태에 대한 유용한 지표이고(Hess & Polt, 1960; Daniel &

표 4. 도약시간과 도약속도, 도약최대속도에 대한 사후검증 다중비교

종속변수	참여자 (I)	참여자 (J)	평균 차 (I-J)	표준오차	유의확률
Saccade _Duration (ms)	우수학력	보통 학력	-12.2963	8.59150	.480
		기초학력	4.1190	8.53377	.963
		부진학력	-29.3957(*)	8.11488	.002
	보통 학력	우수학력	12.2963	8.59150	.480
		기초학력	16.4153	8.83729	.247
		부진학력	-17.0994	8.43349	.178
	기초학력	우수학력	-4.1190	8.53377	.963
		보통 학력	-16.4153	8.83729	.247
		부진학력	-33.5146(*)	8.37467	.000
	부진학력	우수학력	29.3957(*)	8.11488	.002
		보통 학력	17.0994	8.43349	.178
		기초학력	33.5146(*)	8.37467	.000
Velocity _ Average (°/s)	우수학력	보통 학력	13.9039	8.58788	.368
		기초학력	12.5987	8.53018	.452
		부진학력	-10.7122	8.11146	.550
	보통 학력	우수학력	-13.9039	8.58788	.368
		기초학력	-1.3052	8.83357	.999
		부진학력	-24.6161(*)	8.42993	.019
	기초학력	우수학력	-12.5987	8.53018	.452
		보통 학력	1.3052	8.83357	.999
		부진학력	-23.3109(*)	8.37114	.028
	부진학력	우수학력	10.7122	8.11146	.550
		보통 학력	24.6161(*)	8.42993	.019
		기초학력	23.3109(*)	8.37114	.028
Velocity _ Peak (°/s)	우수학력	보통 학력	10.6525	25.25105	.975
		기초학력	48.7819	25.08139	.210
		부진학력	-59.0407	23.85023	.064
	보통 학력	우수학력	-10.6525	25.25105	.975
		기초학력	38.1294	25.97345	.457
		부진학력	-69.6932(*)	24.78664	.026
	기초학력	우수학력	-48.7819	25.08139	.210
		보통 학력	-38.1294	25.97345	.457
		부진학력	-107.8226(*)	24.61378	.000
	부진학력	우수학력	59.0407	23.85023	.064
		보통 학력	69.6932(*)	24.78664	.026
		기초학력	107.8226(*)	24.61378	.000

* .05 수준에서 평균차는 유의합니다.



* 평균 응시시간(AOFD: Average of Fixation Duration), 전체응시횟수(TOFC: Total of Fixation Count), 전체응시시간(TOFD: Total of Fixation Duration), 평균동공 크기(AOPS: Average of Pupil Size).

그림 4. 관찰 과제별 AOFD, TOFC, TOFD, AOPS

Jackson, 1966), 동공의 직경은 단기 기억을 하는 동안 정보처리 중인 자료의 양을 측정하는 한 방법일 수 있다. 그러므로 동공의 변화율은 작업의 곤란도와 관련 있다(Daniel & Jackson, 1966). 과학학업 성취도에 따른 AOPS (Average of Pupil Size; 평균 동공 크기)를 보면 과제의 곤란도가 증가하면 동공의 크기가 확장한다는 선행 연구들의 결과를 확인할 수 있었다. 과학학업 성취도에 따라 AOPS가 통계적으로 유의미한 차이를 보인 것에 대해서는 개인의 신체적 차이에 의해 동공의 크기가 차이가 나는지, 아니면 학업성취 수준에 따라 동공의 크기가 차이가 나는지에 대한 추가적인 연구를 통해 밝혀야 한다. 또한 AOFD와 TOFD, AOPS 등의 안구운동의 결과로 과학학업 성취도에 따른 차이는 밝혀 수 있었지만, 앞으로 안구운동 추적 시스템에 적합한 검사 도구를 개발하여 학습 부진 학생들이 어떤 어려움을 겪는지에 대한 추가적인 후속 연구도 필요하다.

3. 단위시간당 응시율에 대한 결과

초등학교 학년에 따른 문제 해결 과정에서의 응

시시간은 차이가 있었다(Liu & Shen, 2011). 객관식 과학 문제 해결을 하는 동안 정답자의 시각주의 순서는 무관요인→관련요인으로, 오답자는 관련요인→무관요인으로 주의가 일어났다(Tsai, et al., 2012). 영재학생들은 일반학생보다 문제의 핵심을 빠르게 파악하는 능력이 있다(최현동 등, 2012). 주의(attention)의 과정은 첫째, 한 장면에서 단순한 특징(색, 위치, 기울기, 방향 등)들을 찾는 단계인 전주의적 처리(pre-attentive process)과정의 단계와 둘째, 이 특징들을 구조화하는 초점주의(focal attention) 단계를 거친다고 할 수 있다(Robert et al., 2011). 이를 Treisman(1986)는 특징 통합 이론(feature integration theory)으로 설명했고, Wolfe와 Horowitz(2004)는 안내된 탐색(guide search) 이론으로 설명했지만, 결국 주의가 단계적으로 일어난다는 것에 대해서는 동의하고 있다.

그림 5의 AOFD(Average of Fixation Rate; 평균 응시율)를 보면 과제를 제시한 후, 1초 이내의 응시의 발화가 일어나는 것을 확인할 수 있고, 1번 과제에서는 과학학업 성취도에 따라 단위시간당 평균 응시율이 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 하

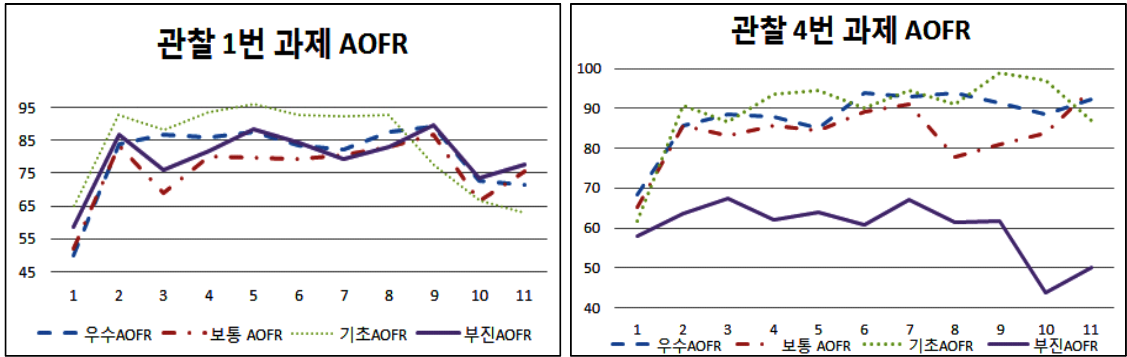


그림 5. 과학학업 성취도별 단위시간당(1초) AOFR

지만 4번 과제에서 부진학생들의 응시율이 세 집단에 비해 현저하게 떨어지는 것으로 나타났다. 응시는 인지 사고과정을 나타내는 지표라 할 수 있는데, AOFR이 낮다는 것은 인지 사고를 하는 시간이 그만큼 적다는 것을 의미하고, 이는 부진학생이 어려운 과제를 해결할 복잡한 인지 사고과정을 겪지 않는다는 안구운동의 한 패턴으로 판단할 수 있다.

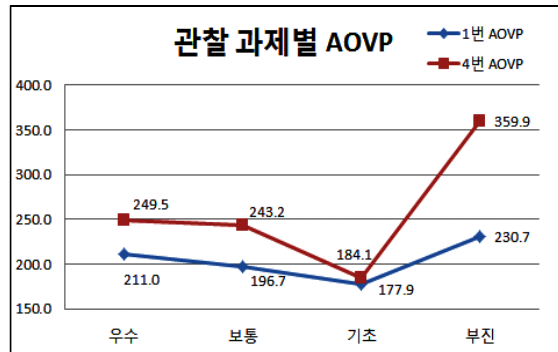
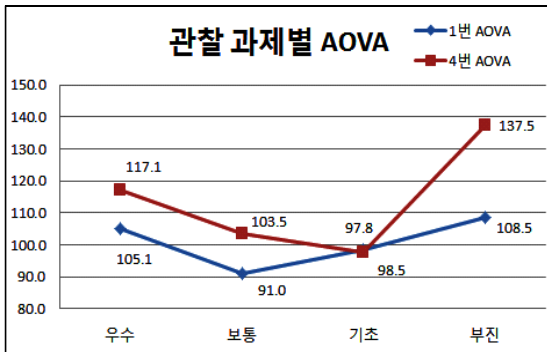
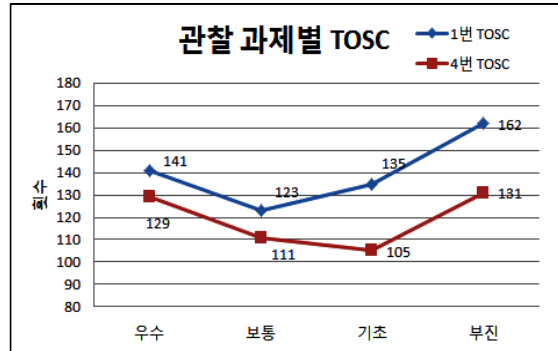
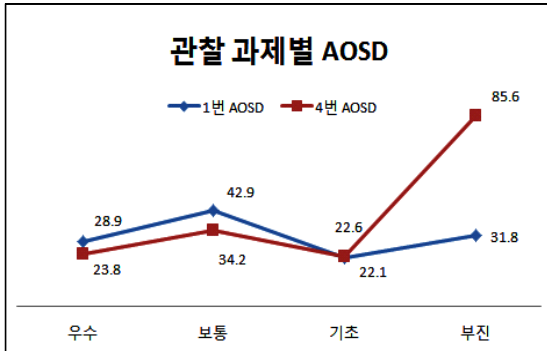
주의는 단서의 유무에 따라 첫째, 주의 이동이 자동적이며 관찰자가 스스로 탐색하지 않고 단순히 자극을 보기만 할 때 100 ms 정도에서 나타나는 외생적 주의(exogenous attention)와 둘째, 관찰자의 의식적인 노력을 요구하고, 단서의 의미를 추출하는데 수백 ms의 시간을 요구하는 내생적 주의(endogenous attention)로 구분될 수 있다(Robert et al., 2011). 외생적 주의를 빠르게 일어나지만 일시적이며 자동적이어서 상당한 시간이 흐른 뒤에 단서에 대한 효과가 줄어드는 반면, 내생적 주의를 속도가 느리지만 지속적이고 단서에 대한 효과가 오래 지속된다(Robert et al., 2011). 따라서 곤란도가 높은 문제일수록 내생적 단서가 존재하고, 관찰자의 내생적 주의를 필요로 한다. 위의 연구 결과를 토대로 볼 때, 부진학력의 학생의 경우 내생적 주의로 이끌 수 있는 AOFR이 낮기 때문에 과제에 대한 정확한 정보를 찾는데 어려움을 겪고 있는 것으로 판단된다. 또한 부진학력 학생들에게는 외생적 주의와 관련된 상황보다는 내생적 주의를 경험할 수 있는 교육적인 기회를 더 많이 부여해야 한다.

4. 안구운동 중 도약에 대한 결과

그림 6은 효과적인 도약(effective saccade)을 분석하기 위해 평균도약시간, 전체도약횟수, 평균도약

속도, 평균도약최고속도를 나타낸 것이다. 응시에서 다음 응시, 도약에서 도약 등과 같이 고정되지 않은 안구운동이 도약운동이고, 한 도약 운동에서 다음 도약 운동으로 이동할 때 많은 정보를 갖지는 않는다(Liu & Chuang, 2011; Robert et al., 2011). Robert 등(2011)은 시각을 방해하는 예 중 하나가 도약운동이라고 했다. 도약운동 후에 도약이나 응시가 일어나지만, 선행 연구들에서 밝혀진 응시의 근접성(proximity) 규칙을 따른다면 효과적인 도약운동(effective saccade)이 무엇인지 제한할 수 있을 것이다. 응시의 유사성의 규칙은 목표물과 비슷해 보이는 것에 응시하려는 경향을 말하고, 근접성은 응시했던 지점에 아주 가까운 곳을 응시하려는 경향을 말한다(Robert et al., 2011). 그림 6은 효과적인 도약(effective saccade)을 분석하기 위해 평균 도약시간, 전체 도약 횟수, 평균 도약 속도, 평균 도약 최고 속도를 나타낸 것이다.

부진학력을 제외한 세 집단은 곤란도가 높은 관찰 과제에서 AOSD가 낮아지거나 비슷하였으나, 부진학력 학생은 최대치로 높아지는 것을 확인할 수 있다. 도약운동을 관찰자가 주의하기 위해 응시할 곳을 찾는 운동이라고 한다면, AOSD가 높은 부진학력의 학생들의 도약운동은 비효율적인 도약운동(ineffective saccade)이라고 할 수 있다. 목적적이고 자발적인 도약은 내생적 이동과 아주 닮았다고(Robert et al., 2011), 학생이 문제를 해결하는데 도움이 되는 도약과 도움이 되지 않은 도약이 있다(Cook et al., 2011). 결국 부진학력 학생들에게는 내생적 주의(endogenous attention)와 관련된 효과적인 도약운동(effective saccade)이 일어나도록 하는 교육 프로그램이 필요하다는 것을 추론할 수 있다.



* 평균도약시간(AOSD: Average of Saccade Duration), 전체도약회수(TOSC: Total of Saccade Count)
 평균도약속도(AOVA: Average of Velocity Average[°/s]), 평균도약최고속도(AOVP: Average of Velocity Peak [°/s])

그림 6. 관찰 과제별 AOSD, TOSC, AOVA, AOVP

안구운동의 최대 속도는 100 %이상으로 빠를 수 있고(Robert *et al.*, 2011), 안구운동의 속도는 얼마나 멀리 이동하느냐를 말한다. 도약운동은 정상적인 조건에서 1초에 3~4번 정도 일어나고, 위의 연구 결과에서 확인할 수 있듯이 20~80 ms 정도의 시간을 갖는 매우 빠른 운동이며, 상당한 각도로 이동한다(Robert *et al.*, 2011). 부진학력 학생들의 AOVA(Average of Velocity Average; 평균 도약 속도)는 137.5이고, AOVP(Average of Velocity Peak; 평균 도약 최고 속도)는 359.9로 다른 세 집단보다 월등히 높다. 하지만 도약이 응시를 위한 전단계의 운동이라면 응시의 유사성과 근접성의 원리를 기준으로 볼 때 부진학생들의 도약 중에는 정상적인 범위에서 벗어난 도약이 많은 것으로 판단된다. AOVP는 부진학생들의 안구운동을 특징짓는 한 분류기준이 될 수 있고, 앞으로 이를 입증하기 위한 도약속도에 대한 후속 연구가 필요하다.

5. 눈 깜빡임

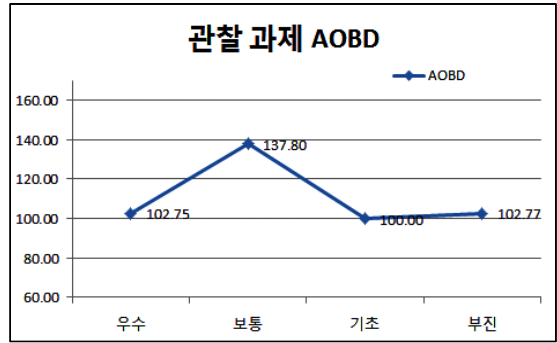
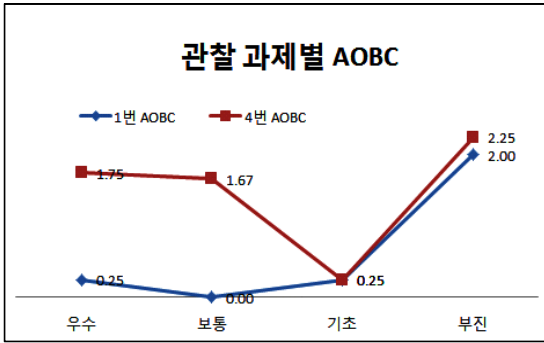
먼저, 눈 깜빡임 수를 분석한 결과, 우수와 보통

학력의 학생들은 문제의 곤란도가 높아질수록 AOBC (Average of Blink Count; 평균 눈 깜빡임 수)의 수가 증가하는 것으로 나타났으나, 기초와 부진학력의 학생들은 곤란도에 따른 눈 깜빡임의 수는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. AOBD(Average of Blink Duration; 평균 눈 깜빡임 시간)은 과학학업 성취도에 따라 큰 차이 없이, 100~140 ms 정도의 시간을 갖는 것으로 나타났다(그림 7). 후속 연구가 더 필요하겠지만, 과제를 해결하는 동안 눈 깜빡임 수를 분석한다면 과제에 대한 곤란도나 학생들의 학업 성취 정도를 나타내는 지표로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 교육적 적용

이 연구는 안구운동 추적기(Eye-tracker)를 이용해 관찰 상황에서 과학학업 성취도에 따른 초등학생의 안구운동을 분석하였다. 분석 결과에 따른 연구 결론은 다음과 같다.

첫째, 관찰 상황에서 과학학업 성취도와 관찰 문



* 평균 눈 깜빡임 수(AOBC: Average of Blink Count), 평균 눈 깜빡임 시간(AOBD: Average of Blink Duration [ms])

그림 7. 관찰 과제별 AOBC와 AOBD

제에 따른 학생들의 안구운동(전체 응시시간과 동공의 크기 변화, 도약 운동과 도약 속도, 도약 최대 속도 등)은 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 이는 관찰 상황에서 안구운동을 통해 과학학업 성취도를 구별할 수 있는 가능성을 제한할 수 있고, 또한 효과적인 안구운동의 패턴(effective eye movement pattern)이 있음을 반증한다.

둘째, 관찰 과제의 곤란도에 따라 우수, 보통, 기초학력 학생들은 AOFD(평균 응시시간)이 증가한 것으로 나타났고, 과학학업 성취도가 낮을수록 평균 응시시간이 증가한 것으로 보아 과학학업성취가 낮은 학생은 곤란도가 높은 문제에서 어려움을 더 크게 겪고 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 부진학력 학생들은 문제의 곤란도와 무관한 안구운동을 보였고, 복잡한 인지 사고를 하지 않았다. 동공의 크기 분석을 통해 문제의 곤란도에 따라 동공의 크기가 변한다는 선행 연구의 결과를 확인하였으며, 과학학업 성취 수준에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다. 하지만 이러한 결과의 원인을 명확히 규명하기 위해서는 안구운동 추적 시스템에 적합한 검사 도구를 개발하여 객관적이고 정량적인 양적 연구와 정성적인 질적 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

셋째, 곤란도가 높은 관찰문제에서 부진 학력 학생들의 AOFR(평균응시비율)이 다른 세 집단보다 현저히 낮았고, 그만큼 낮은 인지 사고과정을 하고 있다는 것을 알 수 있었다. 부진학력 학생들에게는 외생적 주의보다는 내생적 주의를 경험할 수 있는 교육적인 기회가 실제 교육현장에서 많이 적용되어야 한다.

넷째, 부진학력 학생들의 경우 곤란도가 높은 관찰 과제에서 AOSD(평균 도약 시간)가 최대치로 높아졌고, AOVA(평균 도약 속도)와 AOVP(평균 도약 최고 속도)는 다른 세 집단보다 월등히 높았다. 이는 응시의 규칙(유사성과 근접성)을 기준으로 볼 때 부진학생들의 도약 중에는 정상적인 범위에서 벗어난 도약이 많다는 것을 알 수 있다. AOVP는 부진학생들의 안구운동을 특징짓는 한 분류기준이 될 수 있으며, 앞으로 여기에 대한 추가 연구가 필요하다. 결국 부진학력 학생들에게 내생적 주의(endogenous attention)와 관련된 효과적인 도약운동(effective saccade)을 할 수 있도록 도와주는 교육 프로그램이 개발되어야 한다.

다섯째, 과학학업 성취도 우수와 보통 학력의 학생들은 문제의 곤란도가 높아질수록 AOBC(평균 눈 깜빡임 수)가 증가하였고, 기초와 부진학력의 학생들의 경우에는 큰 차이가 없었다. 앞으로 과제를 해결하는 전체 시간동안 눈 깜빡임 수를 분석하는 후속 연구를 통해 눈 깜빡임 운동에 대한 명확한 해석이 필요하다.

마지막으로 안구운동을 추적함으로써 뇌에서 일어나는 인지 사고과정을 확인할 수는 없지만, 안구운동 분석은 높은 시간 해상도(temporal resolution)의 장점을 갖고 있다. 특히, 초등학교 학생들을 대상으로 적용하는데 안전성과 편의성, 접근성 면에서 다른 신경과학적인 연구보다 뛰어나다. John 등(2013)은 효과적인 학습방법이라고 알려진 10가지 학습 기술을 인지심리학과 교육 심리학의 측면에서 분석한 결과, 시험 연습(Practice testing)과 분산 연습(Distributed practice)이 효과적인 학습기술이라고 결

론 내렸다. 이 두 가지 학습법의 특징은 학습할 내용에 대해 자기 평가 및 연습 평가를 하는 것과 전 반적인 공부 활동에 대한 연습 계획을 세워 지속적으로 수행하는 것이다. 학습 기술뿐 아니라 관찰 상황에서도 효과적인 안구운동의 패턴이 존재하므로 이런 안구운동 패턴에 대한 분석이 필요하다. 어떤 목적이나 문제 해결 방안을 찾기 위해서는 효율적이고 능동적인 시각운동이라고 할 수 있는 발견적 탐색 안구운동(heuristic search eye movement)에 대한 고찰이 필요할 것이다. 이 연구의 결과에서 알 수 있듯이 관찰 상황에서 비효율적이고 목적 없는 안구운동은 중요한 정보를 획득하는데 많은 시간을 낭비하고 유의미한 목적을 달성하는데 어려움을 초래한다. 사람의 시각은 카메라와 같이 수동적으로 작동하는 것이 아니라, 어떤 상황에 대한 목적을 정하고, 그 목적에 따라 어떤 정보를 수집할 지를 결정하기 때문이다(Robert *et al.*, 2011). 앞으로 과학학습 성취도 부진학생에 대한 안구운동 분석을 통해 부진학생들이 교육적 상황이나 문제 해결 상황에서 그들의 잘못된 전략과 태도와 관련된 지속적인 연구가 이루어져야 한다. 더불어 발견적 탐색 안구운동(heuristic search eye movement)을 규명해 교육적으로 활용할 것을 제안한다.

참고문헌

- 권용주, 정진수, 강민정, 박윤복(2005). 생명현상에 대한 초·중등 과학교사의 관찰에서 나타난 과학적 관찰의 유형. *한국과학교육학회지*, 25(3), 431-439.
- 김대성, 홍승호(2011). 서귀포 화성층에 대한 초등학생들의 남녀간 관찰, 예상, 추리 능력 비교 분석. *한국초등과학교육학회지*, 30(2), 129-140.
- 김동욱, 원정애, 백성혜(2005). 초등학교 과학 영재아들의 탐구 능력에 대한 분석. *한국과학교육학회지*, 15(1), 60-72.
- 김영신, 정지숙, 윤기영(2006). 초등학교 과학 영재아와 일반 학생의 관찰 방법과 행동 비교 연구. *한국생물교육학회지*, 34(4), 432-438.
- 김지혜, 김동렬, 김신숙, 문두호(2006). 초등학생의 성별 및 인지양식에 따른 협동학습에서 나타나는 생물 관찰 특성. *한국과학교육학회지*, 33, 73-98.
- 문병찬, 이경학, 김해경(2009). 지층에 대한 탐구 활동에서 초등영재 학생들의 관찰 및 추리 특성. *한국초등과학교육학회지*, 28(4), 476-486.
- 박명희, 박윤복, 권용주(2005). 초등학생들의 어항 관찰 활동에서 나타난 관찰의 유형과 그 변화. *한국초등과학교육학회지*, 24(4), 345-350.
- 배진호, 김진수, 윤봉희(2005). 식물을 활용한 탐구활동이 초등학생의 과학탐구 능력과 과학적 태도 및 관찰 능력에 미치는 영향. *한국과학교육학회지*, 30, 37-68.
- 신동훈, 신정주, 권용주(2006). 생명 현상에 관한 초등학교 관찰 수업 과정과 관찰 유형 분석. *한국초등과학교육학회지*, 25(4), 339-351.
- 신원섭, 신동훈(2012). 초등 교사들의 과학교과서 그래프 이해 과정에 대한 안구 운동 분석. *한국초등과학교육학회지*, 31(3), 386-397.
- 이봉우, 김희경(2007). 외국 과학교육과정의 관찰과 측정 기준 분석. *한국초등과학교육학회지*, 26(1), 87-96.
- 이혜원, 민병미, 손연아(2012). 초등학생의 과학탐구 기 능 향상을 위한 명시적이고 반성적인 교수, 학습전략 개발 및 적용 -관찰과 분류를 중심으로-. *한국과학교육학회지*, 32(1), 95-112.
- 이혜원, 양일호, 조현준(2005). 초·중학생의 관찰, 예상, 가설의 이해. *한국초등과학교육학회지*, 24(3), 236-241.
- 이혜정, 이근경, 권용주(2010). 과학적 관찰 전략을 적용한 과학수업에서 초등학교 6학년 학생들의 관찰지식 생성에 대한 연구. *한국과학교육학회지*, 30(1), 13-26.
- 조현국, 송진웅(2011). 불일치 상황에서 나타나는 초등학생들의 관찰 유형과 학습자의 과학의 관점이 관찰 활동에 미치는 효과 분석. *한국초등과학교육학회지*, 30(4), 405-414.
- 최현동, 신동훈(2012). 과학 교과서의 표를 해석하는 초등 교사들의 안구 운동 추적. *한국초등과학교육학회지*, 31(3), 358-371.
- 최현동, 신원섭, 신동훈(2012). 초등과학영재와 일반 아동의 분류 과정에서 나타나는 안구 운동 패턴의 차이. *한국초등과학교육학회지*, 31(4), 501-512.
- 한광래(2003). 메뚜기를 이용한 초등학교 학생들의 관찰 능력 조사. *한국초등과학교육학회지*, 22(1), 121-129.
- Bermúdez, José Luis (2012). *Cognitive science: An introduction to the science of the mind*. 신현정 역, 도서출판 박학사, 2012.
- Chang, K. T., Antes, J. & Lenzen, T. (1985) The effect of experience on reading topographic relief information: Analyses of performance and eye movements. *Cartographic Journal*, 22(2), 88-94.
- Cook, M., Wiebe, E. N. & Carter, G. (2011). Comparing visual representation of DNA in two multimedia presentations. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 20(1), 21-42.
- Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M. & Petersen, S. E. (1995), Superior cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science* 270, 802-805.

- Daniel K. & Jackson B. (1966). Pupil diameter and load on memory. *Science*, 154, 1583-1585.
- Goldberg, J. H. & Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6), 631-645.
- Henderson, J. M. & Hollingsworth, A. (1998). Eye movements during scene viewing: an overview. In: Underwood G (ed) *Eye guidance in reading and scene perception*. Elsevier, Oxford, pp 269-294.
- Henderson, J. M. (1992). Visual attention and eye movement control during reading and picture viewing. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: scene perception and reading* (pp. 260-283). New York: Springer-Verlag.
- Hess, E. H. & Polt, J. M. (1960). Pupil size as related to interest value of visual stimuli. *Science*, 132, 349.
- Hess, E. H. & Polt, J. M. (1964). Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. *Science*, 140, 1190.
- Hess, E. H. (1965). Attitude and pupil size. *Scientific American*, 212(2), 46-54.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Anderson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking : A comprehensive guide to methods and measures*, pp. 9-144. Oxford University Press.
- John, D., Katherine A. Rawson, Elizabeth J. Marsh, Mitchell J. Nathan & Daniel, T. W. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science*, 14(1) 4-58.
- John, F. R., Christian T. Seubert, Pierre S. & Marco, R. F. (2012). Eyes as windows to the soul: Gazing behavior is related to personality. *Journal of Research in Personality*, 46, 147-156.
- Liu, C. J. & Shen, M. H. (2011). The influence of different representations on solving concentration problems at elementary school. *Journal of Science Education and Technology*, 20, 621-629.
- Liu, H. C., Lai, M. L. & Chuang, H. H. (2011). Using eye-tracking technology to investigate the redundant effect of multimedia web pages on viewers' cognitive processes. *Computers in Human Behavior*, 27, 2410-2417.
- Lubow, R. E. & Fein, O. (1996). Pupillary size in response to a visual guilty knowledge test: new technique for the detection of deception. *Journal of Experimental Psychology. Applied* 2(2), 164-177.
- Moore, T. & Fallah, M. (2001). Control of eye movements and visual attention. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA*. 98, 1273-1276.
- Tsai, M. J., Hou, H. T., Lai, M. L., Liu, W. Y. & Yang, F. Y. (2012). Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. *Computer & Education*, 58, 375-385.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. & Davidson, B. J. (1980). Attention and detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.
- Robert, S., Peter, T. & Tom, T. (2011). *Basic vision : An introduction to visual perception*. 오성주 역, 학지사, 2013.
- Senso Motoric Instruments (2011b). *iView XTM Manual*.
- Senso Motoric Instruments (2011a). *BeGaze Manual version 3.1*.
- Slykhuis, D. A., Wiebe, E. N. & Annetta, L. A. (2005). Eye-tracking students' attention to powerpoint photographs in science education. *Journal of Science Education and Technology*, 14(6), 509-520.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American* 255, November, 106-115.
- Wolfe, J. M. & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Reviews: Neuroscience*, 5(6), 495-501.