

# 초등과학 교육연구에서 시선추적 연구방법의 고찰

신원섭

(서울교육대학교)

## A Review of Eye-tracking Method in Elementary Science Education Research

Shin, Won-Sub

(Seoul National University of Education)

### ABSTRACT

The purpose of this study is a review of previous studies and principles of eye-tracking techniques that are actively applied in recent elementary science education. Also it proposes to utilize the direction of eye tracking techniques in elementary science education research. Recent eye-tracking technology was developed, using the infrared pupil and the corneal reflection can be safely and accurately track the eye movements of the participants. Eye tracking has the advantage of higher temporal resolution, accessibility, convenience, objectivity, stability and safety. Analysis of the previous studies, there was a difference in the study design and analysis. The workshops and seminars are needed for accurate understanding of eye-tracking method in elementary science education research. In conclusion, the eye-tracking can be utilized such as effectiveness analysis of teaching materials and media, behaviors analysis of teachers and students in a real class, cognitive strategies and attention analysis of the student, discriminating tool of various education evaluation, etc.

**Key words** : eye tracking, elementary science education, temporal resolution, accessibility, convenience, objectivity, stability, safety

### I. 서 론

최근 국내외에서 시선추적기법을 활용한 교육 연구(Byeon *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2015; Lee & Park, 2015; Liu & Shen, 2011)들이 활발히 이루어지고 있다(Shin & Shin, 2014b). 시선추적은 실시간으로 안구 움직임을 추적하여 연구 참여자가 무엇을 어떻게 보는가를 분석하는 연구방법을 말한다(Andrew, 2007; Bojko, 2013; Duchowski, 2007; Holmqvist *et al.*, 2011; Shin, 2016). 시선추적기법이 교육연구에서 주목을 받게 된 이유는 첫 번째, 연구방법에 대한 과학성과 객관성에 대한 요구의 반영이다. 즉, 시선추적기법은 연구자의 주관성과 관찰의 한계성(Shin, 2016), 설문, 면담 등의 자기보고식 연구의

단점(Shin & Kwon, 2007)에 대한 대안적인 측면에서 효과적이다(Choi *et al.*, 2014; Shin, 2016; Shin & Shin, 2012; 2013a; 2013b; 2014a). 두 번째, 시선추적기법은 높은 시간적 해상도를 제공하기 때문에 의식적인 안구운동뿐만 아니라, 무의식적 안구운동을 분석할 수 있기 때문에 연구 참여자의 습관화된 행동을 분석할 수 있다(Shin & Shin, 2013a; Shin, 2016). 시선추적 장비의 종류에 따라 차이는 있지만, 현재 1초에 30~1,000번의 안구 움직임을 추적할 수 있다. 인간의 안구운동은 물체의 상을 맺기 위해서 끊임없이 움직이고, 이러한 움직임은 6개의 외안근에 의해 이루어진다(Shin, 2016; Snowden *et al.*, 2012). 세 번째, 시선추적기법은 높은 안전성과 접근성의 특징을 갖고 있다(Shin & Shin, 2013a). 시

선추적은 적외선을 연구대상자의 눈에 조사하여 동공의 중심위치를 추적하기 때문에 비침습적이며(Bojko, 2013; Shin & Shin, 2012; Shin, 2016), 다른 신경과학 연구방법에 비해 높은 안전성을 갖고 있다. 시선추적 장비는 실험실 또는 교육현장 등 어디에서나 사용 가능하며, 안구병력이 없는 유아에서부터 성인까지 모든 연령층에서 사용할 수 있기 때문에, 높은 접근성을 가지고 있다. 네 번째, 시선추적기법은 다른 연구기법과 통합하여 다면적 연구(multimodal research) 혹은 융합적 연구가 가능하다. 높은 시간적 해상도와 안정적인 시스템 구현으로 인해 연구 참여자의 행동 분석 연구, 뇌과학 결합 연구, fMRI에 상황에서 시선추적, 가상현실(virtual reality)에서 시선추적 등과 같이 다양한 인지과학과 신경과학연구방법과의 융합이 가능하다. 마지막으로 학생들의 문제해결과정과 인지과정을 분석하거나, 인지전략을 모델화하기 위해 사고발성법(think aloud)이 적용되고 있지만(Basaraba *et al.*, 2013; Davey, 1983), 자신의 인지과정을 정확히 언어로 표현하지 못하는 영·유아나 초등학생의 경우, 사고발성법을 적용하는 데에는 한계가 있다. 하지만 시선추적을 활용하면 자신의 사고과정을 정확히 표현할 수 없는 연구 참여자의 인지처리과정을 안구운동분석을 통해 간접적으로 추론할 수 있다.

시각은 외부정보를 수집하는 가장 핵심적인 감각기관이고, 외부자극에서 수집한 시각정보를 토대로 표상을 형상화하여 그 표상을 장기기억의 표상과 비교함으로써 대상을 재인할 수 있다(Shin & Shin, 2013b; Shon *et al.*, 2003). 시각 경로는 관찰대상의 ‘무엇(What)’에 해당하는 정보를 탐색하는 망막 → 외측슬상핵 → 1차 시각피질 V1 → 하측부엽의 V4로 연결된 복측경로와, 관찰대상의 ‘어디(Where)’에 해당하는 공간적 위치정보를 탐색하는 망막 → 외측슬상핵 → 1차 시각피질 V1 → 후두정엽의 V5로 연결된 배측경로로 구분할 수 있다(Lee, 2009; Shin & Shin, 2013b; Snowden *et al.*, 2012). 하지만 뇌의 신경세포 하나는 1,000개의 연결망을 가지고 있으며, 뇌세포를 1,000억 개로 가정할 때, 백 조 개 이상의 연결시스템이 있다고 가정할 수 있다. 이는 시각경로를 단순히 두 경로로 이해하는 것은 제한 사항이 있고, 실제로 배측경로 외에 망막 → 상구 → 시상침 → 두정피질로 이르는 시각경로가 존재한다. ‘Where path’의 경우, 물체의 공간적 위치에

대한 정보뿐만 아니라, 인간의 행동에 대한 동작체계를 포함하고 있기 때문에 ‘How path’로 제안되기도 하였다(Milner & Gooddale, 1995). 시선추적을 한다고 해서 연구 참여자의 시각처리과정에 관련된 뇌 영역이나 시각세포수준까지의 정보를 알 수는 없다. 하지만 연구 참여자의 안구운동 분석을 토대로 정보의 어떤 특성이 선택적 주의를 유발하는지, 개인의 인지전략에 의한 정보처리과정, 인지발달과 관찰능력에 따른 주의수준 등을 밝힐 수 있다. 이러한 시각정보처리과정과 수준의 규명은 정상적으로 시각처리를 하지 못하거나 시각정보처리 수준이 낮은 이들을 위한 교육프로그램을 개발하는데 유용한 정보를 제공할 수 있다. 또한 시선추적을 통한 교육, 의료, 운동, 게임, 운전, 제조 등의 다양한 분야에서 활동하는 전문가의 행동분석은 그 분야에서 초보자들이 겪는 문제행동을 수정하기 위한 교육 자료로 활용할 수 있다.

국내외에서 글이나 이미지, 동영상, 웹페이지 등의 실험자극에 대해 연구 참여자가 무엇을 어떻게 보는가에 대한 연구(Choi *et al.*, 2012; 2014; Kim *et al.*, 2015; Lee & Shin, 2012a; 2012b; Liu & Shen, 2011; Jang & Shin, 2013; Jeon & Shin, 2015; Park & Shin, 2015; Shin & Shin, 2012)가 진행되었다. 인간의 시선처리는 카메라와 같이 수동적인 것이 아니라 능동적이며(Bermúdez, 2010; Navalparkkam & Itti, 2002; Shin & Shin, 2013b; Snowden *et al.*, 2012), 인지처리과정을 반영한다는 ‘eye mind’ 가설(Choi, 2003; Jang & Shin, 2013; Jacob & Karn, 2003; Just & Carpenter, 1976; Shin, 2016; Rayner, 1998)하에 시각적 주의과정에 대한 연구(Choi *et al.*, 2004; Itti *et al.*, 1998; Navalpakkam & Itti, 2002; Posner *et al.*, 1980; Shin & Shin, 2013b; Müller & Krummenacher, 2006; Lee, 2009; Treisman & Gelade, 1980; Wolfe & Horowitz, 2004) 등이 이루어졌다. 또한 시선처리로 연구 대상의 인지전략과 문제해결전략에 대한 연구(Kim & Shin, 2014; Shin & Shin, 2013b)와 안구운동 분석을 기반으로 한 교수학습 프로그램(Kim & Shin, 2015; Shin & Shin, 2014b)이 개발되었다. 국내에서도 2000년 초반부터 시선추적기를 활용한 교육 연구가 활발히 이루어지고 있는 것은 유익한 일이지만, 교육 분야뿐만 아니라, 초등과학교육에서 시선추적연구의 적용은 아직 초기 단계이다. 또한 국내 선행연구에서 시선추적을 이용한 연구 설계와 분석, 결과

해석 등에 대한 충분한 논의가 부족한 실정이다. 그 이유는 현재 시중에 시판되고 있는 시선추적기는 대부분 외국에서 개발된 것으로 자세한 한글판 매뉴얼이 없고, 각 회사별 시선추적기의 특징에 대한 정확한 정보를 공개하지 않기 때문이다. 또한 고가의 장비 가격으로 인해 연구가 장비의 대여 등으로 이루어지다보니 연구자의 역량을 충분히 발휘하는 데에도 제한점이 있다. 따라서 시선추적기의 원리와 장단점에 대한 논의와 국내외 선행연구 분석을 통해 앞으로 초등과학 교육연구에서 시선추적을 어떻게 활용할지에 대한 논의가 필요하다.

이 연구에서는 최근 교육연구에 적용되고 있는 시선추적기법의 원리와 선행 연구를 고찰하여 초등과학교육에서 시선추적을 어떻게 활용할 것인가에 대한 앞으로의 전망을 살펴보고자 한다. 이 연구의 문제는 다음과 같다.

첫째, 시선추적시스템의 원리를 고찰하여 시선추적기법의 교육적 적용에 대한 강점과 약점을 분석한다.

둘째, 과학교육분야에 시선추적기를 적용한 선행연구를 고찰하여 시선추적기법의 교육적 활용실태를 분석한다.

셋째, 앞으로 초등과학 교육연구에서 시선추적기법의 다양한 활용 방안을 알아본다.

## II. 연구 방법

이 연구는 최신 시선추적기법의 원리와 국내 교육연구에서 시선추적기를 활용한 선행연구를 분석하여 실제 초등과학 교육연구를 위해 시선추적기법이 어떻게 활용될 수 있는지에 대한 방향을 제시하는 이론적 연구이다. 연구의 수행절차는 Fig. 1과

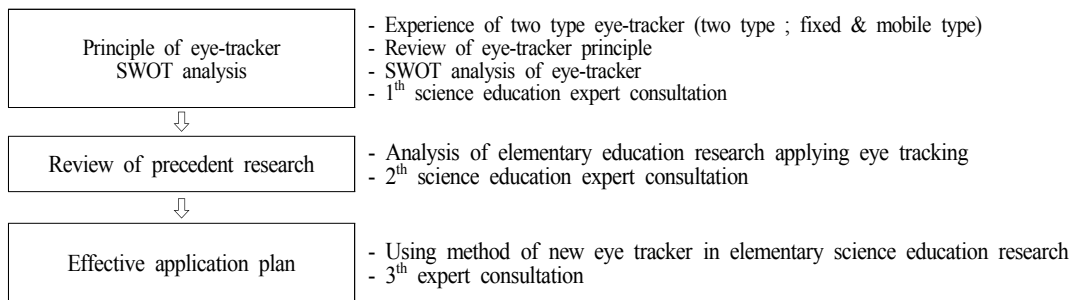


Fig. 1. Research procedure

같다. 이 연구는 시선추적시스템 원리와 교육적 적용의 SWOT 분석, 국내외 선행연구의 분석, 초등과학교육에서의 활용 방안 모색의 세 단계로 진행되었고, 각 단계별로 과학교육 전문가 협의과정을 통해 연구내용을 정교화 하였다. 초등과학교육에서의 활용 방안은 선행연구의 분석과 최신의 시선추적기를 직접 활용하여 다양한 실험설계와 예비실험과정을 통해 도출하였다.

## III. 결과 및 논의

### 1. 시선추적기법의 원리

과거의 시선추적기법은 연구 참여자의 눈 주위에 코일을 삽입하거나 턱을 고정하는 등 매우 위험하고 불편한 방법을 사용하였다. 현재는 Fig. 2와 같이 적외선을 연구 참여자의 두 눈에 조사한 후, 동공과 각막의 반사를 이용하여 동공의 위치를 정확히 추적하게 되었다. 또한 실험자극과 시간의 변화에 따른 동공크기의 변화를 측정할 수 있고, 시선추적오차와 시선추적비율이 과거에 비해 많이 향상되었다(Bojko, 2013).

인간의 안구운동은 응시(fixation), 도약(saccade), 미세도약(micro-saccade), 추적(pursuit), 아주 빠른

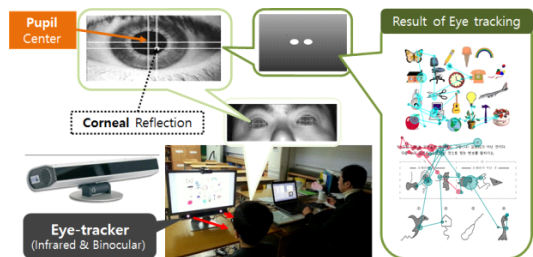


Fig. 2. Principle of eye-tracker

떨림(tremors), 느린 떨림(drifts) 등으로 구분할 수 있으며, 망막에 상을 맺기 위해 하루에 약 20만 번 이상 계속해서 움직인다(Bojko, 2013; Holmqvist *et al.*, 2011; Snowden *et al.*, 2011). 시선추적기로 측정된 안구운동은 응시와 도약운동으로 구분하여 분석하는데, 이는 최저응시시간(minimum fixation duration)을 설정함으로써 가능하다. 최저응시시간 설정 이상의 안구운동은 응시로, 그 미만의 안구운동은 도약으로 분석된다(Andrew, 2007; Shin & Shin, 2012). 최저응시시간은 과제곤란도가 유사한 선행연구의 결과, 실제 추적한 안구운동의 평균응시시간 등을 근거로 하여 연구자가 직접 설정할 수 있다. 응시운동은 시선을 한 위치에 고정한 상태를 말하며, 보통 200~300 ms 이상 지속되기 때문에 시각정보에 대한 인지처리과정으로 분석한다(Andrew, 2007; Bojko, 2013; Duchowski, 2007; Holmqvist *et al.*, 2011; Shin & Shin, 2013a; Snowden *et al.*, 2011). 도약운동은 응시와 응시사이에 발생하는 30~40 ms의 빠른 안구운동이며, 정상적인 환경에서 1초에 3~4회 발생한다(Shin, 2016; Snowden *et al.*, 2011). 응시운동은 유사성(similarity)과 근접성(proximity)의 특성을 갖고 있기 때문에(Holmqvist *et al.*, 2011; Shin & Shin, 2013a; Snowden *et al.*, 2011), 실험자극의 응시를 분석할 때 첫 응시를 기계적으로 제외하거나, 실험설계에 따라 첫 응시시간을 근거로 시각정보에 대한 인지부하 정도를 분석하기도 한다(Duchowski, 2007; Holmqvist *et al.*, 2011). 대부분의 시선추적분석은 연구문제와 관련된 영역을 관심영역(area of interest)으로 설정하고, 이곳에 발생하는 응시횟수와 시간, 도약횟수와 시간, 도약 속도와 가속도, 시선점유율(도약+응시 혹은 응시시간 총합), 응시전환, 동공의 직경 변화율 등을 분석하여 유의미한 해석을 하게 된다.

시선추적기는 실험실 상황에서 사용할 수 있는 고정형(fixed)과 실제 교육현장에서 사용할 수 있는 이동형(mobile)이 있다(Shin, 2016). 고정형 시선추적기는 이미지, 텍스트, PDF, 웹페이지, 동영상 등을 실험 자극으로 사용할 수 있으며, 실험실 환경에서 많은 수의 학생을 대상으로 안정적으로 연구하는데 적합하다. 이동형 시선추적기는 Fig. 3과 같이 과학관 관람, 교수행동, 학습행동, 신체적 활동, 교사·학생의 상호작용, 체육활동 등과 같이 실제 현장교육 연구에 적합하다. 시선추적기에 따라 분

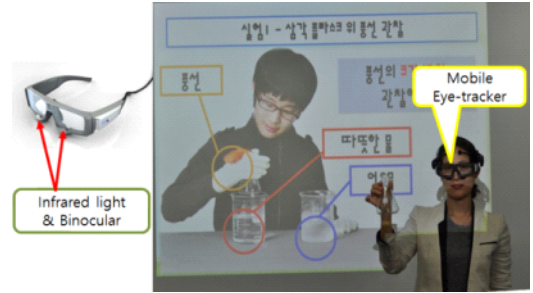


Fig. 3. Mobile eye-tracker

석 프로그램과 방법의 차이가 있으며, 이동형 시선추적의 경우, 연구 참여자의 움직임에 따라 보는 장면이 달라지기 때문에, 고정형 시선추적보다 안구운동을 분석하는데 더 많은 시간과 노력이 필요하다. 그 이유는 분석하고자하는 관심영역이 연구 대상자가 보고 있는 장면에 따라 그 위치가 계속 변경되기 때문에, 실시간으로 관심영역을 재설정해야 하기 때문이다.

## 2. 시선추적기법의 SWOT 분석

SWOT 분석은 마케팅전략의 일환으로 기업이 처한 내외적 환경을 강점(strength), 약점(weakness), 기회(opportunity), 위협(threat)의 4요소로 분석하는 것을 말한다. 본 연구에서는 시선추적기법의 내적인 강점과 약점, 외부환경의 기회와 위협에 대해 Fig. 4와 같이 분석하였다.

시선추적기법의 장점 측면에서 첫 번째, 50~1,000 Hz의 높은 시간적 해상도를 갖고 있다는 점이다. 하루에 20만 번 이상 일어나는 안구운동은 거의 무의적으로 일어나는 것이 대부분이고, 이런 높은 시간적 해상도는 연구 참여자의 인지사고전략을 유

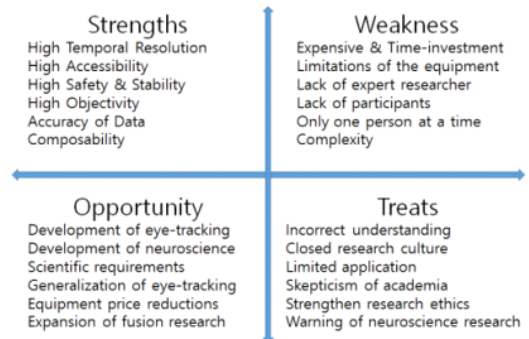


Fig. 4. SWOT analysis of eye-tracking

추하는데 근거가 된다(Jacob & Kam, 2003; Just & Carpenter, 1976; Rayner, 1998). 두 번째, 높은 접근성과 안전성의 보장이다. 신경과학기술의 발달로 최첨단의 기계들이 개발되었지만, 실제 초등교육연구에 이러한 장비를 사용하기 위해서는 고가의 연구 장비구입, 연구센터 구축, 연구시설의 대여 등이 필수적이지만, 국내 연구 환경에서는 쉽지 않다. 하지만 시선추적기의 경우, 연구실 구축과 장비대여, 출장 연구 등이 다른 신경과학적 연구에 비해 용이하고, 유아에서 성인까지 모든 연령이 연구 참여자로 참여할 수 있기 때문에, 접근성이 매우 높은 편이다. 또한 연구대상에게 직접적인 침습행위가 없으며, 별도의 실험 장비를 착용하거나, 폐쇄적인 실험실을 필요로 하지 않기 때문에 안전성을 확보할 수 있다. 세 번째, 측정데이터에 대한 정확성과 객관성의 확보이다. 시선추적의 경우, 시선보정만 정확하게 이루어진다면 90~100%의 정확한 안구운동 데이터를 수집할 수 있으며, 연구자나 연구 참여자의 주관적인 의견이 반영되지 않기 때문에 자료의 객관성을 보장받는다. 마지막으로 인지과학연구나 다른 신경과학연구와 결합하여 다면적 연구가 가능하다. 시선추적기술과 같이 높은 시간적 해상도를 갖춘 신경과학연구방법과 통합적 연구 설계와 분석이 가능할 뿐 아니라, 기존의 인지과학연구에서 밝히지 못한 영역에 대한 추가적인 연구방법으로서의 가치가 있다.

시선추적기법의 약점 측면에서 첫 번째, 장비를 구입하기 위해 많은 연구비용이 필요하고, 연구의 설계와 실행 및 분석을 위해 많은 시간을 투자해야 한다는 단점이 있다. 시선추적기는 현재 30여 개의 회사에서 생산하고 있으며, 추적사양과 분석소프트웨어의 제곱에 따라 1,000~6,000만 원까지 다양한 가격대를 형성하고 있다. 또한 실제 실험의 경우, 하나의 시선추적기에서 한 명만 실험에 참여할 수 있기 때문에, 실험과 결과분석에 많은 시간이 소요된다. 두 번째 연구 장비의 제한사항이나 연구 참여자의 특정한 병변으로 인해 연구에 참여할 수 없는 경우가 발생한다. 예를 들면, 고도의 난시를 가지고 있거나, 과거의 안구병력이 있는 연구 참여자는 시선보정이 이루어지지 않아, 연구에 참여할 수 없다. 세 번째, 연구를 실제 실행하고 분석할 수 있는 전문연구인력이 부족하다. 초등과학 교육연구에서 전문연구인력을 양성하거나 전문연구인력을 고

용할 수 있는 연구센터가 없고, 학위논문이나 학술지 논문 등을 작성하기 위해 일부 연구자에 의해서만 사용되기 때문에 현실적으로 전문연구원을 양성하는데 어려움이 있다. 마지막으로 시선추적기술이 발달하고, 분석 소프트웨어가 발달하였지만, 여전히 기존의 인지과학적인 연구방법에 비해 연구의 설계와 실행, 분석에 있어 복잡하다는 약점이 있다.

시선추적기법의 기회 측면에서 첫 번째, 시선추적에 대한 하드웨어와 소프트웨어의 개발로 인해 시선추적의 정확도, 실험 설계와 분석의 용이성 등이 향상되고 있다. 기존의 시선추적의 경우, 80% 미만의 낮은 시선추적비율과 분석 소프트웨어의 부재로 인해 결과분석과 해석이 어려웠지만, 현재의 경우 90% 이상의 안정적인 시선추적이 가능하고, 분석 또한 실험설계와 연구자에 따라 차이가 있지만, 1~7일 내에 모든 분석이 가능하다. 두 번째, 사회적으로 교육연구의 과학화와 신경과학적 연구방법의 교육적 적용에 대한 요구와 기대감이 증가하였다. 특히 신경과학의 발달로 인해 기존의 인지과학연구에서 설명하지 못했던 영역에 대한 해석이 가능해지면서 국내외적으로 교육연구에 신경과학적 연구방법의 적용이 증가하고 있다. 마지막으로 시선추적기를 생산하는 회사들의 가격경쟁과 기술의 발달로 인해 시선추적기의 가격이 인하되고 있어, 교육연구에 활용하는데 비용적인 부담이 많이 줄어들었다.

시선추적기법의 위협 측면에서 첫 번째, 시선추적에 대한 이해부족과 회사별 시선추적 장비의 제한적 공개로 인해 장비의 구입과 연구에 어려움을 겪고 있다. 예를 들어, 대부분의 시선추적기의 경우, 한국판 매뉴얼이 없고, 각 제품별 시선추적의 제한점 등을 공개하지 않고 있다. 또한 국내 시판업체의 경우, 한 회사의 제품만을 독점판매하고 있기 때문에, 연구자가 실제적으로 여러 장비를 비교하여 연구영역에 적합한 최적의 장비를 선택하는데 어려움이 있다. 두 번째, 국내의 폐쇄적 연구 문화로 인해 시선추적연구의 발전에 한계가 있다. 실제적으로 시선추적연구의 발전을 위해서는 시선추적을 활용한 다양한 연구 설계와 분석 및 결과에 대한 공유와 발전적인 논의과정이 필요하지만, 다양한 이유로 인해 이러한 기회가 제공되지 않고 있다. 세 번째, 학계에서 시선추적연구에 대한 회의적

인 반응 또한 시선추적의 연구에 걸림돌이 될 수 있다. 시선추적연구에 대한 적절한 비판과 발전적 제안은 필요하지만, 시선추적연구의 잘못된 이해와 견해로 인한 비수용적인 입장은 시선추적연구의 위협으로 작용한다. 마지막으로 연구윤리강화, 연구윤리위원회 심의 등과 같은 연구절차의 복잡성은 실제 교육연구에서 시선추적뿐만 아니라, 신경과학적 연구의 적용에 많은 제한점으로 작용할 수 있다. 연구 참여자를 보호하기 위해 절차는 필요하지만, 과도한 연구심의 과정은 오히려 연구자의 연구의지와 실천을 저해할 수 있다.

시선추적기법의 SWOT 분석을 통해 내적인 장점과 약점, 외적인 기회와 위협을 알 수 있다. 초등과학 교육연구에 시선추적기법을 적용하기 위해서는 내적인 장점을 토대로 외적인 기회를 확대·적용하는 전략이 필요하다.

### 3. 시선추적을 활용한 선행연구의 고찰

#### 1) 국내 선행연구 동향

국내 선행연구 분석은 시선추적을 활용한 연구 중 최근 10년 동안(2005~2016년) 국내 학술지논문에게재된 교육관련 논문만을 대상으로 하였다. 국내에서 시선추적과 관련된 선행연구를 검색하기 위해서 학술연구정보서비스(http://www.riss.kr)에서 ‘시선추적’, ‘안구운동’ 주요 키워드로 하여 1차 검색하였고, 검색결과에 대해 교육 관련된 논문을 재검색하였다. 이 연구에서 분석 대상은 총 45편이었고, Fig. 5에서 알 수 있듯이, 2012년부터 시선추적을 활용한 교육연구가 증가하는 추세를 알 수 있다.

45편의 논문의 연구영역을 살펴보면, 국어교육에 관련된 연구가 13편(Choi, 2014; 2015; Choi &

Koh, 2014; Jeong & Kang, 2015; Kim, 2015; Koh & Yoon, 2007; Koh *et al.*, 2010; Lee & Yong, 2009; Lee, 2009; Lee & Shin, 2012a; 2012b; Lee & Suh, 2013; Lee, 2014; Lee & Park, 2015; Lee & Kang, 2015; Yoon & Koh, 2009), 수학교육에 관련된 연구가 1편(Lee & Lee, 2015), 과학교육에 관련된 연구가 23편(Byeon *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2012; 2014; Choi & Shin, 2012; Han *et al.*, 2015; Jang & Shin, 2013; Jeon & Shin, 2015; Jeong & Lee, 2016; Kim *et al.*, 2012; 2013; Kim & Shin, 2014; 2015; Ko *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2013; Park & Shin, 2015; Shin & Choi, 2013; Shin *et al.*, 2013a; 2013b; Shin & Shin, 2012; 2013a; 2013b; 2014a; 2014b), 교육심리에 관련된 연구가 1편(Ryu & Moon, 2013), 유아교육에 관련된 연구가 1편(Kwon *et al.*, 2016)이었다(Fig. 6). 2012년 이후 국어교육과 과학교육에서 시선추적연구가 활발히 이루어지고 있고, 과학교육의 경우, 전체 시선추적연구의 57.8%였다.

연구내용 측면에서 교수자료에 대한 연구가 17편(37.8%), 교수학습에 대한 연구가 12편(26.7%), 학습자의 특성에 대한 연구가 6편(13.3%), 문제해결 과정에 대한 연구가 4편(8.9%), 읽기과정에 대한 연구가 2편(4.4%), 교육 프로그램의 효과에 대한 연구가 2편(2.2%), 문제해결과정에 대한 연구가 2편(2.2%)

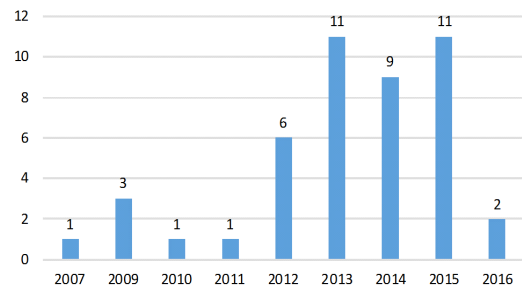


Fig. 5. Annual number of paper

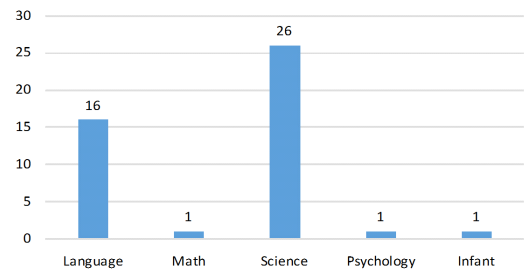


Fig. 6. Research areas

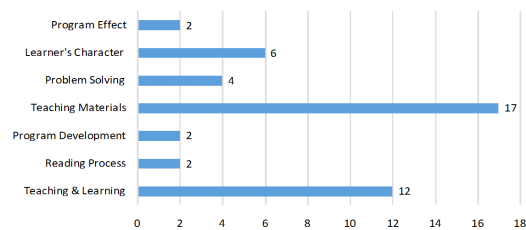


Fig. 7. Research contents

이었다(Fig. 7). 과학교육에서 시선추적을 통한 초기 연구들은 전문가와 비전문가, 과학학업성취도가 높은 학생과 낮은 학생, 영재교육 대상자와 일반학생 등 주로 비교연구형태가 많았고, 최근에는 시선추적결과를 근거로 학생들의 주의모형, 수업분석틀, 교수학습 프로그램을 개발하는 방향으로 발전하고 있다.

2) 국내 선행연구의 시선추적 분석방법

시선추적연구는 연구 참여자의 장비에 대한 적응과 정교한 실험설계를 위해서는 사전검사(pilot test)와 본 실험에서의 예비과제 등이 필요하다(Shin & Shin, 2012). 국내 선행연구 45편의 시선추적연구의 설계와 안구운동 분석방법을 중심으로 분석하였다. 주요 분석 관점은 사전검사 여부, 본 실험 예비과제 여부, 시선추적비율, 최저응시시간의 설정, 첫 번째 응시시간의 제외, 결과 분석에 사용한 데이터 등이다.

첫째, 연구 절차단계에서 사전검사를 실시한 연구는 24편(53.3%)이고, 사전검사에 대한 기술이 없는 경우는 21편(46.7%)이다(Fig. 8). 본 실험에서 연구 참여자의 본 과제 제시 전 예비과제를 제시한 연구는 25편(55.6%), 예비과제에 대한 기술이 없는 경우는 20편(44.4%)이다. 시선추적연구는 다른 신경과학적 연구방법과 동일하게 연구 참여자가 실험장비에 적응하는 시간이 필요하다. 국내 선행연구 분석결과, 시선추적연구 설계단계에서 정교한 실험을 위한 예비연구와 연구 참여자가 실험장비에 적응할 수 있는 시간 확보가 충분하지 않은 것으로 판단된다.

둘째, 최저응시시간 설정을 제시한 연구는 25편(55.6%)이고, 기술이 없는 경우는 20편(44.4%)이다(Fig. 8). 국어교육에 관련된 연구의 경우, 최저응시

시간에 대한 기술이 대부분 없었고, 분석프로그램에 설정된 값을 그대로 사용한 것으로 보인다. 또한 국어교육의 읽기 연구에 사용된 시선추적기는 500Hz로 2ms 간격으로 안구데이터를 수집하였고, 30ms 미만과 800ms를 초과하는 응시시간은 제외하고 분석하는 경우가 대부분이었다. 안구운동분석이 최저응시시간을 설정함으로써 도약과 응시운동으로 분석할 수 있는데, 이 최저응시시간에 대한 근거나 설정을 기술하지 않는 것은 연구결과 논의에 대한 신뢰성과 타당성에 문제가 될 수 있다.

셋째, 최저응시시간 값을 500ms로 설정한 논문은 1편(Lim et al., 2013), 200ms로 설정한 논문은 11편(Lee & Yong, 2009; Byeon et al., 2011; Choi et al., 2012; Shin & Shin, 2012; Lee & Shin, 2012a; 2012b; Kim et al., 2013; Shin & Choi, 2013; Jang & Shin, 2013; Shin et al., 2013; Jeong & Lee, 2016), 100ms로 설정한 논문이 8편(Choi & Shin, 2012; Lim et al., 2013; Shin & Shin, 2013; Ko et al., 2014; Shin & Shin, 2014; Choi, 2014; Choi et al., 2014; Shin & Shin, 2014), 80ms로 설정한 논문은 2편(Lee, 2009; Shin & Shin, 2013), 30ms로 설정한 논문은 3편(Koh & Yoon, 2007; Yoon & Koh, 2009; Kim & Shin, 2015)이었다(Fig. 9). 분석대상 연구의 대부분은 관련된 선행연구의 최저응시시간을 기준으로 설정한 경우와 연구 참여자의 평균 응시시간을 분석하여 최저응시시간을 설정한 경우도 있었다. 앞으로 실험자극의 특성과 학생들의 특성에 따라 적절한 최저응시시간 설정의 근거를 제시하기 위한 후속연구가 필요하다.

넷째, 첫 번째 응시시간을 제외한 연구는 6편(13.3%)이고, 첫 번째 응시에 대한 기술이 없는 경우는 39편(86.7%)이다(Fig. 8). 응시운동은 이전에 발생한 응시대상에 대한 유사성(similarity)과 근접

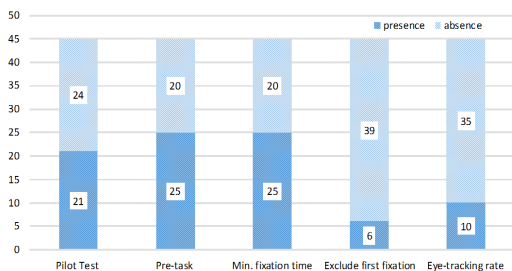


Fig. 8. Research design & analysis

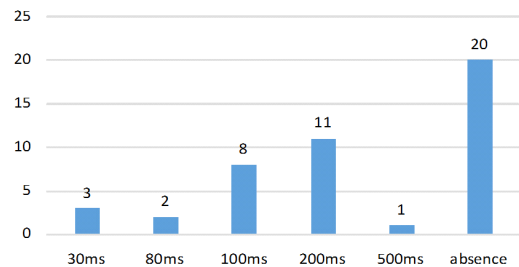


Fig. 9. Minimum fixation duration set

성(proximity)의 원리에 의해 나타나고(Shin & Shin, 2013a, Snowden *et al.*, 2011), 실험 설계에서 실험 자극을 연속적으로 제시할 때 과제와 과제사이에 중립과제가 필요하다. 이러한 중립과제가 없을 경우, 첫 번째 응시는 이전 과제의 마지막 응시에 영향을 받는다. 선행연구 분석결과, 연구 설계와 결과 논의에서 첫 번째 응시시간의 처리에 대한 논의가 필요해 보인다.

다섯째, 시선추적비율을 제시한 연구는 10편(22.2%)이고, 시선추적비율을 공개하지 않은 논문은 35편(77.8%)이다(Fig. 10). 시선추적연구는 연구 참여자의 정확한 시선추적에 기초하고, 시선추적연구는 정확한 시선추적에 근거한 연구이므로, 연구 참여자의 시선추적비율을 공개하는 것이 바람직하다. 시선추적비율을 공개한 논문에서 시선추적의 성공으로 보는 비율 또한 달랐다.

시선추적비율을 공개한 논문 중 시선추적비율이 80% 미만인 논문이 3편(Jeong & Kang, 2015; Kwon *et al.*, 2016; Lee & Lee, 2015), 80~90%인 논문이 5편(Kim *et al.*, 2015; Lee & Shin, 2012; Park & Shin, 2015; Shin & Shin, 2013a; 2014b), 90% 이상인 논문은 2편(Choi *et al.*, 2014; Shin & Shin, 2013b)이었다(Fig. 10). 선행연구에서 구체적인 연구 설계와 결과의 기술은 앞으로 연구자들이 연구 참여자, 실험 장비, 실험 자극 등의 연구 설계를 위해 유용한 정보를 제공할 수 있다. 이러한 점에서 시선추적비율에 대한 공개가 필요하다.

여섯째, 실제 안구운동 분석프로그램에서는 도약, 응시안구운동에 대한 여러 가지 속성(시간, 횟수, 최대, 최저, 속도 등)이 분석되고, 관심영역에 대한 최초응시시간, 회귀, 시간에 따른 동공의 크기 변화, 시선 흐름 등을 분석할 수 있다. 하지만 연구

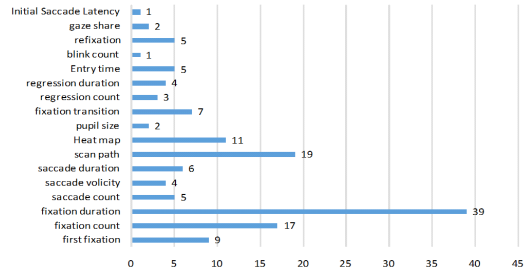


Fig. 11. Data analysis

목적과 연구자의 분석수준에 따라 시선추적의 유의미한 일부분의 분석만 공개되는 경우가 많았다. 선행연구들에 사용한 데이터는 응시시간이 39편(86.7%), 시선흐름이 19편(42.2%), 응시횟수가 17편(37.8) 등이었다(Fig. 11). 연구주제와 연구내용에 따라 각기 다른 안구데이터를 사용할 수 있지만, 시선추적으로 분석할 수 있는 여러 가지 데이터를 모두 분석하는 것이 연구의 질과 연구자의 연구역량을 높일 수 있을 것이다.

### 3) 국외 선행연구의 시선추적 분석방법

국외 선행연구의 검색은 구글스칼라(<https://scholar.google.co.kr>)를 사용하였고, 고급검색에서 eye tracking (단어 모두 포함), science education(문구 정확히 포함), 다음 단어 제외(language, arts, mathematics, game, music, infant, disorders)를 이용하여 2016년(6월까지) 과학교육관련 시선추적 연구를 검색하였다. 과학교육과 관련된 시선추적 연구는 총 114편이 있었고, 이들 연구에서 초등과학교육과 관련된 논문 23편을 대상으로 연구내용을 Fig. 12와 같이 분석하였다.

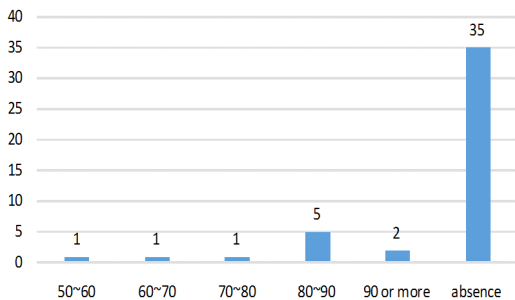


Fig. 10. Eye-tracking rate

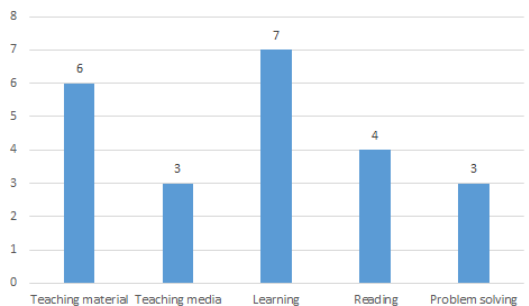


Fig. 12. Research contents



교수자료 효과성에 대한 연구는 4편(Herrlinger *et al.*, 2016; Tippett, 2016; Tshchida & Matsuura, 2016; Vaz-Rebello *et al.*, 2016)이고, 교과서에 대한 연구 2 편(Guo & Chiu, 2016; Kim *et al.*, 2016)이었다. 특히, Tsuchida and Matsuura(2016)의 가상현실에 대한 연구는 실험안전을 이유로 초등과학에서 다루어지고 있지 않은 과학실험에 대한 가상환경에서의 대체실험의 가능성을 확인할 수 있었다. 또한 실제 과학실험실 안전대책을 마련하기 위해서는 가상환경에서의 시뮬레이션을 통한 안전대책을 마련할 수 있을 것으로 판단된다. 교수매체에 대한 연구에는 온라인 환경에 대한 연구(Taricani, 2016), 현미경에 대한 연구(Berg & Penzes, 2016), 과학개념학습에 시뮬레이션이 미치는 효과에 대한 연구(Jones *et al.*, 2016)가 있었다.

학생들의 인지과정과 학습전략에 대한 연구는 4 편(Jian, 2016; Law *et al.*, 2016; Lustigova & Novotna, 2016; Zheng & Wang, 2016)이고, 주의력 통제한 대한 학습전략에 대한 연구(Jian, 2016)가 있었다. 과학 읽기에 대한 연구는 4편(Ariasi *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2016)이고, Lin *et al.*(2016)은 학습자의 중심의 그리기와 상상력의 효과성을 분석하였다. 과학학습에 컴퓨터 기반 개념지도, 논박 글, 설명적 글이 미치는 효과에 대한 연구(Adesope *et al.*, 2016)와 지구과학에서 교수자료와 자료의 시각화 등에서 전문가와 초보자의 시각적 주의를 분석한 연구(Kastens *et al.*, 2016)가 있었다. 과학 문제해결과정에 대한 연구는 3편(Ha *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2016; Tang *et al.*, 2016)이고, 빛과 그림자의 문제해결과정에 초등학생의 안구 분석(Ha *et al.*, 2016)과 관찰활동에 학생개인의 감성이 미치는 영향에 대한 연구(Park *et al.*, 2016)가 있었다.

과학교육과 관련하여 2016년 상반기까지 국외 저널에 게재된 시선추적 연구는 총 114편이었고, 본 연구에서 초등과학교육과 관련한 23편의 선행연구를 분석한 결과, 시선추적기는 교수자료와 매체, 학습, 읽기, 문제해결과정 등에 적용되었고, 초등과학 교육에서 한 연구방법으로서 자리매김하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 초등과학 교육연구에서 시선추적기법 활용 방안

초등 과학교육에서 기존의 인지심리학적 연구 방법뿐만 아니라, EEG, MEG, fMRI 등의 신경과학적인 연구방법을 융합한 연구의 필요성은 여러 선행연구(Ansari & Coch, 2006; Shin & Kwon, 2006; 2007; Shin & Shin, 2012; Choi *et al.*, 2013)에서 언급되어 왔다. 하지만 일반 교육연구자가 높은 가격과 연구 장소가 제한적인 신경과학적 연구에 쉽게 접근하기란 어려운 일이다. 또한 연구 장비를 사용할 수 있는 기반이 마련되었더라도 장비에 대한 이해, 프로그램을 이용한 실험 설계·분석 또한 어느 것 하나 쉽지 않다. 시선추적연구도 실험 장비를 처음 접하는 연구자에게는 체계적인 실험설계와 분석이 어려울 수 있고, 연구를 위해 대여하거나 구입하기에는 고가의 장비비에 틀림없다. 하지만 국내 선행연구에서 알 수 있듯이, 시선추적의 기반이 잘 갖추어진 연구실뿐 아니라, 그렇지 않은 연구 환경에서도 많은 시선추적연구들이 이루어지고 있다. 이런 점을 감안하여 이 연구에서는 시선추적의 기초적 원리와 SWOT 분석, 국내 선행연구의 분석을 통해 초등과학교육에서의 시선추적기의 활용방안에 대해 논의하고자 한다. 시선추적은 다른 신경과학적 연구방법에 비해 높은 접근성, 안전성, 편의성을 갖추고 있어, 초등과학 교육연구에 적용하기에 가장 적합한 신경과학적 연구방법 중 하나이다. 초등과학 교육연구에서 시선추적의 적용방안을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 시선추적은 다양한 과학교수자료와 교수매체에 대한 효과성의 분석에 활용할 수 있다. 이는 기존의 설문조사나 면담 등의 자기보고식 연구의 경우, 선호에 대한 근거를 제시하지 못하였지만, 시선추적기를 활용한다면 시선점유율, 시선흐름, 첫 응시시간, 동공의 크기 등을 분석하여 선호도에 대한 과학적 근거를 제시할 수 있는 장점이 있다. 시선추적을 활용한 과학교과서의 레이아웃에 대한 연구(Shin & Shin, 2014a), 삽화(Jang & Shin, 2013; Jeong & Lee, 2016; Kim *et al.*, 2015; Ko *et al.*, 2014; Shin & Shin, 2012; Shin & Choi, 2013)와 글(Jeong *et al.*, 2015; Koh *et al.*, 2007; Park & Shin, 2015; Ryu & Moon, 2013; Yoon *et al.*, 2009)에 대한 연구, 교수매체에 대한 연구(Shin, 2016) 등의 선행연구에서 시선추적연구의 효과성과 가능성을 입증하였다. 하지만 과학교과서 레이아웃에 대한 선행연구(Kim *et al.*, 2016; Shin & Shin, 2014a)에서 교과서를 PDF나

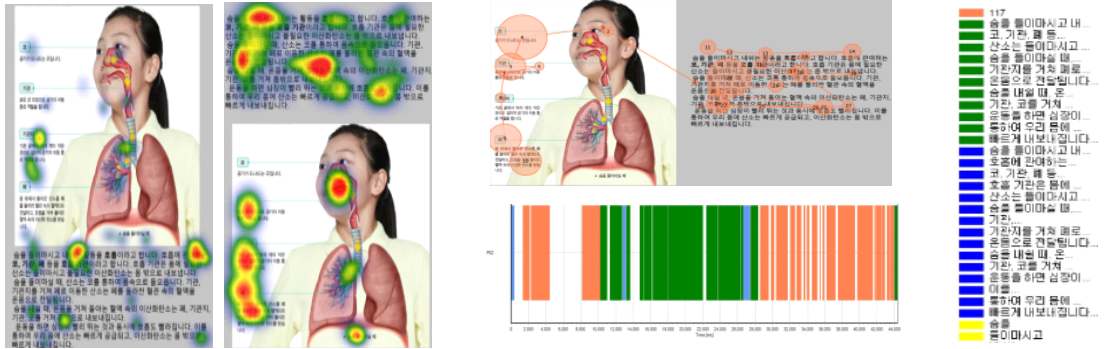


Fig. 13. Analysis composite design & analysis of text and image

사진의 실험 자극으로 제시하여 글에 대한 관심영역 설정과 안구운동의 구체적인 분석에 제한점이 있었다. Fig. 13과 같이 최신 소프트웨어를 이용하면, 과학교과서의 글과 이미지가 혼합된 레이아웃을 손쉽게 편집하여 실험 자극으로 활용할 수 있다. 이로 인해 과학교과서의 글에 대한 이해과정에 대한 안구운동분석과 실제 과학교과서에 대한 UI(user interface) 연구가 가능해졌다.

또한 최신소프트웨어를 사용하면 과학 교과서에 제시된 글의 음절, 단어, 문장, 문단 단위까지 관심영역으로 설정할 수 있기 때문에 초등학생의 인지 발달과 주의수준, 읽기 수준에 따른 곤란도를 시선추적으로 분석하여 글의 양과 용어수준에 대한 발전적인 방안을 제안할 수 있다. Fig. 13은 혼합자극에 대한 시선점유도와 시선 흐름, 각 문장에 대한 응시 순서와 응시의 정도를 시선흐름도와 그래프로 나타낸 예이다. 글과 그림의 레이아웃에 따라 연구 참여자의 시선점유도와 시선흐름이 달라지는 것을 알 수 있다. 이는 과학교과서, PPT 등과 같은 교수자료에서 과학개념을 제시하거나 설명할 때 효과적인 레이아웃에 대한 연구가 필요하다는 것을 의미한다. 특히, 과학교과서의 시안을 개발할 때, 레이아웃에 따른 학생과 교사의 시각적 주의나 정보처리과정 등을 시선추적을 통해 분석한다면 효과적인 교과서 디자인 구성안을 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

교과서뿐만 아니라, 다중표상을 활용한 문제, 교육자료 등의 효과적인 디자인 구성에 대한 연구도 가능하다. 과학교육의 경우, 실제 물체와 모형, 이미지 등이 학생의 태도와 학습에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 특히, 생명과학의 경우, 실제 생물,

동영상, 교과서의 사진 등의 교수자료가 학생들의 시각적 주의와 감성에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구에도 시선추적기법을 활용할 수 있다. 또한 시선추적연구는 최근의 다양한 교육용 자료의 UI 구성에 대한 교육적 효과성에 대한 연구에 활용될 수 있고(Shin *et al.*, 2013), 프로젝션 TV, 칠판, 동영상 등의 교수매체에 대한 효과성 등을 검증하여 효율적인 교실환경 구성에 발전적인 방안을 제시할 수 있다(Shin, 2016).

둘째, 시선추적을 활용하여 실제 수업에서 교사의 교수행동, 학생의 학습행동, 교사-학생 또는 학생 간 상호작용을 분석하여 효과적인 교수·학습 전략, 상호작용 전략 등을 연구할 수 있다. 기존의 영상기록이나 녹음 등과 같은 방법에서는 실제 상호작용에서 연구 참여자의 태도, 자신감 등과 같은 정의적 요소를 평가하는데 제한적이었지만, 시선추적기를 활용한다면 연구 참여자의 초점주의 분석을 통해 시각적 주의의 경향성뿐만 아니라, 이를 토대로 상호작용에 임하는 정의적 영역을 평가할 수 있다. 실제 수업에서의 이동형 시선추적기를 활용한 교수행동에 대한 연구(Byeon *et al.*, 2011)와 학생행동에 대한 연구(Shin, 2016), 교사의 평가활동연구(Lee & Park, 2015)에서 알 수 있듯이, 실제 교육현장연구에 시선추적기를 활용할 수 있음을 알 수 있다. 교사의 발달 단계는 초보(novice), 진보된 초급(advanced beginner), 유능(competent), 숙달(proficient), 숙련(expert)의 다섯 단계로 구분할 수 있다(Berliner, 1991). 교사의 발달단계에 따른 교수행동의 특성을 시선추적을 통해 규명한다면 ‘초등 예비교사 양성’, ‘초보교사 교사연수’, ‘수업방법 개선 교사’ 등의 분야에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

다. 또한 시선추적을 통해 학생의 학습행동과 상호 작용 수준을 인지발달과 주의수준에 따라 유형화 할 수 있고, 이는 학생들의 진단과 효과적인 교수 학습 프로그램을 개발하는데 기초자료로 활용할 수 있다.

셋째, 시선추적기법은 동기유발, 작성, 감성, 과학태도 등의 정의적 요소를 측정하는데 사용할 수 있다. 실제 사람의 행동은 감정에 지배를 받고 다양한 원인에 의하여 유발된다. 시선추적에서 동공의 크기 변화를 측정할 수 있기 때문에 정의적 영역의 평가에 활용할 수 있다. 하지만 동공크기는 흥분, 동기, 인지와 같은 내적인 요인과 빛, 피로, 반복, 약물, 나이 등의 외적인 요인에 의해 많은 영향을 받기 때문에, 동공의 크기만을 지표로 삼기에는 제한점이 있다. Fig. 14와 같이 시선추적기와 EEG를 결합한 2E(eye tracker & EEG) 시스템을 활용한다면 시선추적연구의 단점을 보완할 수 있다. 시선추적기와 EEG는 모두 높은 시간적 해상도를 가진 연구방법이고, 동일한 시간적 해상도를 가진 시선추적기와 EEG는 결합하여 연구에 사용할 수 있다.

Fig. 15는 EEG 분석을 기반으로 실제 학생의 수업참여시간 동안 감정변화를 실시간으로 그래프로 나타낸 것이다. 본 연구자가 체험한 2E 시스템에서는 동기화, 무기력, 안정화, 단기 흥분, 장기 흥분 등의 감정지표를 분석할 수 있었다. 시선추적에 의한 시각적 주의, 동공크기의 변화와 EEG 측정을 통한 감정지표를 통합한다면 연구 참여자의 감성을 분석하는데 효과적일 것으로 판단된다.

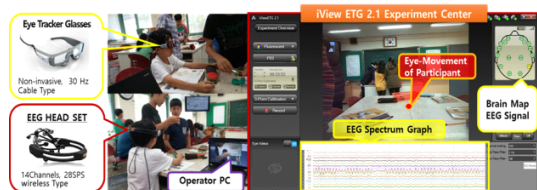


Fig. 14. Application of 2E(eye tracker & EEG) system



Fig. 15. Five kinds of indicators and their meanings

시선추적연구에서 감정요소에 대한 추가적인 융합연구방법은 Face-Reader와 결합을 제안할 수 있다. Face-Reader는 연구 참여자의 눈썹, 이마, 입, 턱 등의 움직임에 근거하여 얼굴표정을 인식하여 행복, 슬픔, 화남, 놀람, 두려움, 혐오 등의 감정을 분석하는 프로그램이다(Fig. 16). 시선추적연구 설계에서 캠이나 비디오카메라를 이용해 연구 참여자의 얼굴을 촬영할 수 있기 때문에, 시선추적과 함께 얼굴표정 기반 감정지표를 함께 분석할 수 있다. 이는 행동통합분석 프로그램을 이용하면 연구 참여자의 시선추적결과와 동시에 얼굴표정변화를 통합하여 실험 자극에 따른 연구 참여자의 감정 변화를 분석할 수 있다. 물론 시선추적과 Face-Reader를 함께 분석할 수 있는 별도의 행동통합분석 소프트웨어를 구입해야하는 단점이 있다.

Face-Reader의 얼굴표정 분석은 첫째, 연구 참여자의 얼굴표정을 산출할 수 있는 얼굴의 중요 부분의 정확한 위치 파악, 둘째, 연구 참여자의 얼굴표정 모델링, 셋째, 얼굴표정 주요지표의 변화에 따른 감정을 산출함으로써 가능하다. 또한 얼굴표정 연구는 각 지역과 연령에 따른 빅 데이터를 기반으로 하여 표준 인식 매커니즘이 개발되어 있기 때문에, 활용하는데 큰 문제가 없다. 또한 심박동수를 함께 분석할 수 있기 때문에 감정 데이터에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다. 따라서, 시선추적의 시선점유율과 동공의 크기 변화율, Face-Reader의 감정지표와 심박동수 등을 통합한다면 별도의 설문지나 면담 등의 자기보고 없이도 감정에 대한 산출식을 개발할 수 있으며, 연구 참여자의 감정 상태를 과학적으로 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

넷째, 선행연구(Choi *et al.*, 2012; 2014; Kim & Shin, 2014; Kim *et al.*, 2013; Shin & Shin, 2013a; 2014b)에서 알 수 있듯이, 시선추적은 과학영재선발, 과학탐구능력, 과학창의력 등의 평가도구로서

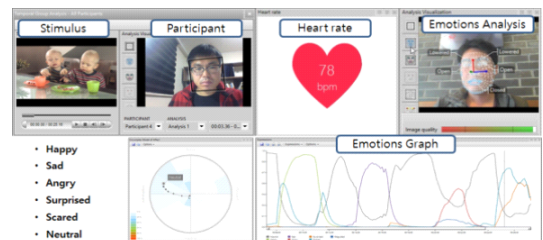


Fig. 16. Analysis of six emotions using face-reader

활용 가능하다. 기존의 영재선발방법은 지필검사 위주의 검사에서 관찰추천제와 지필검사를 융합한 방법으로 실행되고 있다(You *et al.*, 2011; Lee & Han, 2009; Siegle & Powell, 2004). 교사들은 교사추천을 선호하지만(Davis & Rimm, 2003), 교사추천의 근거가 되는 관찰방법을 높이 평가하지 않으며(Balchin, 2008; Schroth & Helfer, 2008), 관찰 평정척도의 측정학적 문제가 제기되고 있다(Chung & Park, 2011). 여전히 과학영재 선발제도 자체의 타당성과 신뢰성에 대한 논의와 학교 현장에서는 선발 절차의 간소화를 요구하고 있다(Van Tassel-Baska *et al.*, 2002). 시선추적을 활용한 초등과학영재와 일반학생을 연구한 선행연구(Choi *et al.*, 2012; Jeon & Shin, 2015; Han *et al.*, 2015)와 시선추적기반 과학영재 판별도구 개발(Kim *et al.*, 2013) 등에서 시각적주의 패턴을 분석하여 과제집착력과 인지전략 등을 과학영재선발의 객관적인 지표로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 기존의 관찰추천이 교사의 주관을 배제할 수 없고, 지필검사 또한 학생들의 사전지식과 문제해결 경험 등을 배제할 수 없기 때문에 시선추적을 통한 객관적인 지표를 산출하는 것은 현재의 선발방법의 간소화와 선발의 객관성을 확보하는데 효과적일 수 있다. 여기에 앞서 현재의 영재교육대상자들의 과학탐구과정, 문제해결과정 등에 대한 시각적 주의를 체계적으로 규명하는 연구를 통해 영재교육대상자들의 경향성을 분석할 수 있는 빅 데이터를 수집하는 것이 선행되어야 할 것이다.

다섯째, 과학탐구과정이나 문제해결과정에서 시선추적을 활용한 안구운동분석을 통해 학생들의 인지발달에 따른 시각적주의 특성, 주의 수준, 인지전략 등을 규명할 수 있다. 과학탐구과정에 대한 선행연구(Choi *et al.*, 2012; 2014; Kim & Shin, 2014; Lim *et al.*, 2013; Shin & Shin, 2013a; 2013b; 2014b)와 문제해결에 대한 선행연구(Han *et al.*, 2015; Jeon & Shin, 2015; Kim *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2013)에서 과학성취도, 인지양식, 영재교육대상자와 일반학생에 대한 안구운동의 차이를 밝혔다. 따라서 시선추적은 과학탐구과정과 문제해결과정에서 학생들의 주의와 인지과정의 수준, 문제해결전략, 인지전략, 사전지식이 미치는 영향 등을 규명하는데 활용할 수 있으며, 효과적인 교수·학습 프로그램을 개발하는데 기초연구로서 활용할 수 있다.

## IV. 결론 및 제언

이 연구는 국내외에서 시선추적을 활용한 교육연구가 증가하고 있고 특히, 국내 과학교육에서 시선추적에 대한 관심이 확대되고 있는 점을 고려하여 초등과학 교육연구에서 시선추적연구의 적용가능성을 검토하였다. 먼저 현재 국내에서 최신의 시선추적기를 직접 경험해 봄으로써 시선추적기의 원리와 다면적 연구의 가능성, 교육적 활용방안을 검토하였다. 이는 아직 국내에서는 시선추적을 이용한 연구 설계와 분석에 대한 충분한 논의가 부족하고, 연구자의 시선추적에 대한 이해 또한 부족하기 때문이다. 시선추적을 활용한 국내외 선행연구의 동향, 실험 설계와 분석방법에 대해 검토하여 지금까지 이루어진 연구의 시사점을 밝혔다. 마지막으로 초등과학 교육연구에서 시선추적의 활용방안에 대해 논의하였다.

현재의 시선추적기술은 적외선의 동공과 각막반사를 이용하여 연구 참여자의 시선을 안전하고 정확하게 추적할 수 있다. 시선추적은 높은 시간적 해상도를 바탕으로 하고 있어, EEG, MEG, fMRI, Face-Reader 등과 같은 다른 신경과학적 연구방법과 융합연구가 가능하다. 선행연구에서는 시선추적 연구만으로는 연구의 타당성과 신뢰성을 갖추기 어려웠기 때문에, 설문지, 면담, 사고 발생 등의 자기보고 연구를 병행할 수밖에 없다. 이로 인해 시선추적연구가 오히려 기존의 연구방법보다 더 어렵고 복잡하다는 인식이 있다. 하지만 시선추적의 장점 중 하나는 연구자의 주관을 배제한 객관성 높은 데이터의 획득에 있다. 현재는 다른 신경과학적 연구방법과의 결합을 통해 기존 인지심리학의 자기보고에 의존하지 않고서도 연구 결과의 타당성과 신뢰성을 갖출 수 있게 되었고, 인지영역뿐만 아니라 감성영역까지 측정이 가능해졌다. 시선추적기술은 계속 발전하고 있으며, 융합적인 실험설계와 분석프로그램 또한 사용자의 편의성을 반영하고 있다. 초등과학 교육연구에서의 시선추적연구의 적용을 위해서는 시선추적연구에 대한 전문연구인력의 양성과 기초적 연구의 빅 데이터를 축적할 필요가 있다.

기존 국내학술지 선행연구의 분석결과, 연구설계와 분석수준에서 많은 차이가 있었다. 학술지논문의 경우, 제한된 페이지로 인해 연구절차를 구체

적으로 기술하지 않을 수 있지만, 선행연구 분석결과, 시선추적연구에 대한 정확한 이해와 적용방안에 대한 심도 있는 논의가 필요한 것으로 판단된다. 이를 위해서는 과학교육관련 학회 중심의 워크숍과 시선추적연구실간 교류를 통해 연구 설계와 분석에 대한 정보교환과 정교화 과정이 필요하다. 선행연구의 안구운동 분석내용을 살펴보면 연구목적과 필요에 따라 시선추적 결과의 유의미한 일부 데이터를 사용하는 경우가 대부분이었다. 시선추적이 초등과학 교육연구에서 효과적인 연구 방법으로 자리매김하기 위해서는 시선추적의 올바른 이해를 바탕으로 체계적인 연구 설계와 분석결과에 대한 공개가 필요하다.

시선추적은 높은 시간적 해상도, 접근성, 편의성, 객관성, 안전성 등의 장점을 갖고 있다. 이를 바탕으로 초등과학 교육연구에서 교수자료와 매체의 효과분석, 실제수업에서 교사와 학생의 행동분석, 학생들의 인지전략과 주의 수준 분석, 다양한 평가의 판별도구 등에 대한 활용 방안을 제시하였다. 시선추적은 연구 참여자의 정확한 동공의 중심위치를 근거로 선택적 시각주의를 분석할 수 있기 때문에, 연구자의 주관적 해석을 배제할 수 있는 장점을 갖고 있다. 시선추적은 초등과학 교육연구의 과학화뿐만 아니라, 교수전략과 교수행동을 포함한 교수·학습프로그램의 개발 등에 활용될 수 있고, 초등과학교육과 연구역량의 발전에 기여할 것으로 판단된다.

초등과학교육과 더불어 다른 교과영역에서도 연구방법의 과학화와 신경과학의 융합은 필수적이다. 초등과학교육의 발전을 위해서는 다양한 연구방법이 존중되어야 하고, 이에 대한 연구역량을 확보하기 위한 노력이 필요하다. 앞으로 시선추적연구가 초등과학교육의 발전에 기여하고, 효과적인 연구방법으로서 정착하기를 기대한다.

## 참고문헌

- Adesope, O. O., Cavagnetto, A., Hunsu, N. J., Anguiano, C. & Lloyd, J. (2016). Comparative effects of computer-based concept maps, refutational texts, and expository texts on science learning. *Journal of Educational Computing Research*, 1(1), 1-24.
- Andrew, D. (2007). Eye tracking methodology: theory and practice. New York: Springer-Verlag.
- Ansari, D. & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognition Science*, 10(4), 146-151.
- Ariasi, N., Hyönä, J., Kaakinen, J. K. & Mason, L. (2016). An eye movement analysis of the refutation effect in reading science text. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24, 1-20.
- Balchin, T. (2007). Teacher nominations of giftedness: Investigating the beliefs of British G&T coordinators. *Journal for the Education of the Gifted*, 32(1), 34-45.
- Basaraba, D., Zannou, Y., Woods, D. & Ketterlin-Geller, L. (2013). Exploring the utility of student-think alouds for providing insights into students' metacognitive and problem-solving processes during assessment development. SREE Fall 2013 Conference.
- Berg, J., Jäkel, L. & Penzes, A. (2016). Digital and conventional microscopy-Learning effects detected through eye tracking and the use of interactive whiteboards. *Universal Journal of Education Research*, 4(6), 1319-1331.
- Berliner, D. C. (1991). Educational psychology and pedagogical expertise: New findings and new opportunities for thinking about training. *Educational Psychologist*, 26(2), 145-155.
- Bermúdez, J. L. (2010). Cognitive science: An introduction to the science of the mind. Cambridge University Press.
- Bojko, A. (2013). Eye tracking the user experience - A practical guide to research. New York: Rosenfeld Media Brooklyn.
- Byeon, J., Lee, I. & Kwon, Y. (2011). A study on consulting of teaching behavior patterns of gaze fixation by using eye tracker: The case study. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 11(4), 173-199.
- Byeon, J., Lee, I. & Kwon, Y. (2011). A study on consulting of teaching behavior patterns of gaze fixation by using eye tracker: The case study. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 11(4), 173-199.
- Choi, H. & Shin, D. (2012). Eye-tracking on inservice elementary teachers' interpreting of science textbook tables. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(3), 358-371.
- Choi, H., Shin, W. & Shin, D. (2014). The comparison of eye movement in measuring tasks between the underachievers and the overachievers. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(1), 181-194.

- Choi, H., Shin, W. & Shin, D.(2012). Differences in eye movement pattern during the classification between the gifted and general students in elementary schools. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(4), 501-512.
- Choi, M. (2003). A study on the method of eye tracking analysis based on the properties in visual perception of user -With emphasis on the development of analysis -framework for product design-. *Journal of Korean Society of Design Science*, 16(4), 197-206.
- Choi, S. (2014). Exploring gender difference in reading comprehension process using eye tracking technology. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 14(11), 573-597.
- Choi, S. (2015). The characteristics of eye movement in Korean elementary students: Landing position and word frequency effects. *The Korean Journal of Learning Disabilities*, 12(3), 1-18.
- Choi, S., Ban S. & Lee, M. (2004). Human-like selective attention model with reinforcement and inhibition mechanism. N.R. Pal et al. (Eds.): *ICONIP 2004*, LNCS 3316, 694-699.
- Chung, J. & Park, J. (2011). An analysis of the selection process of elementary science gifted students by teacher's recommendation focused on analysis of teacher's recommendation letters. *Journal Teacher Education*, 50(3), 1-12.
- Davey, B. (1983). Think aloud: Modeling the cognitive processes of reading comprehension. *Journal of Reading*, 27(1), 44-47.
- Davis, G. A. & Rimm, S. B. (2003). Education of the gifted and talented. Massachusetts: Allyn & Bacon. pp. 46-158.
- Duchowski, A. (2007). Eye tracking methodology: theory and practice. New York: Springer-Verlag.
- Guo, C. J. & Chiu, M. H. (2016). Opportunities and challenges for science education in Asia: Perspectives based on the Taiwan experience. In *Science education research and practice in Asia*, Springer Singapore, pp. 175-196.
- Ha, B. G., Kim, E. A., Kim, S. U. & Yang, I. H. (2016). An analysis of elementary school student's eye movement in solving process of light and shadow tasks. *Advanced Science and Technology Letters*, 122, 27-33.
- Han, M., Kwon, S. & Kwon, Y. (2015). Analysis of eye-tracking features during visual search task between the gifted and general students in elementary schools. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 15(8), 67-81.
- Herrlinger, S., Höffler, T. N., Opfermann, M. & Leutner, D. (2016). When do pictures help learning from expository text? Multimedia and modality effects in primary schools. *Research in Science Education*, 26, 1-20.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Anderson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. New York: Oxford University Press.
- Itti, L., Koch, C. & Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell.* 20(11), 1254-1259.
- Jacob, R. J. & Karn, K. S. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. *Mind*, 2(3), 573-605
- Jang, K. & Shin, D. (2013). An analysis of understanding and eye movement of elementary school students according to the types of science textbook illustration. *The Journal of Korea Elementary Education*, 24(4), 127-146.
- Jeon, Y. & Shin, D. (2015). Comparative analysis of eye movement on performing biology classification task between the scientifically gifted and general elementary students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 34(1), 142-152.
- Jeong, A. & Lee, K. (2016). Analysis of processes in understanding about illustrated science text for high science achievers and low science achievers with types of biological knowledge using eye-tracking. *Biology Education*, 44(1), 155-166.
- Jeong, S. & Kang, C. (2015). A study on textbook reading style of the first grade students in elementary school through the eye-tracking. *Journal of Curriculum Integration*, 9(1), 69-88.
- Jian, Y. C. (2016). Fourth graders' cognitive processes and learning strategies for reading illustrated biology texts: Eye movement measurements. *Reading Research Quarterly*, 51(1), 93-109.
- Jones, M. G., Childers, G., Emig, B., Chevrier, J., Stevens, V. & Tan, H. (2016). The efficacy of visuohaptic simulations in teaching concepts of thermal energy, pressure, and random motion. In *Insights from research in science teaching and learning* (pp 73-86). Springer International Publishing.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8, 441-480.

- Kastens, K. A., Shipley, T. F., Boone, A. P. & Straccia, F. (2016). What geoscience experts and novices look at, and what they see, when viewing data visualizations. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education*, 3(1), 27-58.
- Kim, H. (2015). Research for analysis of Korean reading process using eye-tracking technology - For intermediate and advanced readers among foreign Korean learners. The International Association for Korean Language Education, 479-497.
- Kim, S. U., Lim, S. M., Kim, E. A. & Yang, I. H. (2016). An analysis of eye movement and cognitive load about the editorial design in elementary science textbook. *Universal Journal of Educational Research*, 4(3), 570-575.
- Kim, S., Byeon, J., Lee, I. & Kwon, Y. (2012). An eye tracking study on test-item solving of science scholastic achievement focused in elementary school students. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 12(1), 65-78.
- Kim, S., Byeon, J., Lee, I. & Kwon, Y. (2013). Development of an instrument to measure task commitment using eye-tracking for identifying science gifted student. *Biology Education*, 41(3), 421-434.
- Kim, Y. & Shin, D. (2015). Development of observing and classifying process skill enhancement program using scientific thinking strategy model for elementary school students. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 26(2), 195-214.
- Kim, Y. & Shin, D. (2014). Analysis on cognitive strategies of scientific predicting according to 6th graders' predicting skills based on eye movement. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(4), 751-761.
- Kim, Y., Kwon, S. & Kwom, Y. (2015) Analysis of high school students' visual attention at digital contents on biological science. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 15(12), 91-110.
- Kim, Y., Kwon, S. & Kwon, Y. (2015). Analysis of high school students' visual attention at digital contents on biological science. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 15(12), 91-110.
- Ko, M., Yang, I., Kim, O. & Lim, S. (2014). The differences in eye movement of pre-service teachers and elementary school students in SBF question about a visual material of the change on the lunar phases. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(2), 273-285.
- Koh, S. & Yoon, N. (2007). The characteristics of eye-movement in Korean sentence reading: Cluster length, word frequency, and landing position effects. *Korean Journal of Cognitive Science*, 18(4), 325-350.
- Koh, S., Yoon, S., Min, C., Choi, K., Ko, S. & Hwang, M. (2010). The characteristics of eye-movement during children read Korean texts. *Korean Journal of Cognitive Science*, 21(4), 481-503.
- Kwon, S., Lee, Y., Kim, Y., Eom, J. & Kang, M. (2016). Visual attention of preschool children on popular characters in animation: An eye-tracking study. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 16(3), 105-124.
- Law, D. D., Meyer, S. & Fall, L. (2016). Using family science concept maps to gain higher order student learning outcomes. *Family Science Review*, 21(2), 116-134.
- Lee, D., Kim, S. & Jeong, M. (2014). Influence of perceptual information of previewing stimulus on the target search process -An eye-tracking study-. *Korean Journal of Cognitive Science*, 25(3), 211-232.
- Lee, I. & Han, K. (2009). The analysis of teacher's recommendation usefulness in selecting scientific gifted students. *Journal of Gifted and Talented Education*, 19(2), 381-404.
- Lee, J. & Shin, D. (2012b). The unit-introduction development of Korean textbook in the elementary school through the eye tracking method II: Focusing on the introductory question and speech-bubbles. *The Journal of Korea Elementary Education*, 23(3), 89-109.
- Lee, J. & Park, Y. (2015). Investigating rater's cognitive processes in the writing assessment. *Korean Language Education Research*, 50, 396-424.
- Lee, J. & Shin, D. (2012a). The unit-introduction development of Korean textbook in the elementary school through the yet tracking method. *Journal of Elementary Korean Education*, 49, 133-159.
- Lee, K. & Kang, D. (2015). A study on writing research method for analysis of writer's cognitive process. *Journal of CheongRam Korean Language Education*, 56, 173-199.
- Lee, M. (2009). Selective attention concentration artificial vision system. *The Journal of Korea Institute of Electronics Engineers*, 36(11), 52-65.
- Lee, M. & Lee, H. (2015). Elementary students' formation of relational thinking about equation - Centered for web-based balance. *School Mathematics*, 17(3), 391-405.
- Lee, M. & Yong, N. (2009). Processing of syntactic dependency in Korean relative clauses: Evidence from an

- eye-tracking study. *Korean Journal of Cognitive Science*, 20(4), 507-533.
- Lee, S. (2014). A research on traits of adolescents' reading and eye movement in internet reading. *Korean Language Education Research*, 49, 417-444.
- Lee, S. & Suh, H. (2013). The current status and perspectives of research on reading process using eye-tracker. *Korean Language Education Research*, 46, 479-503.
- Lee, Y. (2009). Understanding the syntactic ambiguity resolution processes of Korean garden-path sentences: An eye-tracking study. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 11(6), 3089-3104.
- Lim, S., Choi, H., Yang, I. & Jeong, M. (2013). An analysis of eye movement in observation according to university students' cognitive style. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(4), 778-793.
- Lim, S., Park, S. & Yang, I. (2013). Investigation of eye movement on the observation of elementary school students with different motivation system on science learning. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 33(6), 1154-1169.
- Lin, L., Lee, C. H., Kalyuga, S., Wang, Y., Guan, S. & Wu, H. (2016). The effect of learner-generated drawing and imagination in comprehending a science text. *The Journal of Experimental Education*, 1(1), 1-13.
- 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.
- Lustigova, Z. & Novotna, V. (2016, June). Cognitive strategies of students in virtual laboratories (eye tracking based case study). In Conference proceedings. The future of education (pp. 131-136). *libreriauniversitaria. it Edizioni*.
- Milner, A. D. & Gooddale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford; Oxford University Press.
- Müller, H. J. & Krummenacher, J. (2006). Visual search and selective attention. *Visual Cognition*, 14(4-8), 389-410.
- Navalpakkam, V. & Itti, L. (2002) A goal oriented attention guidance model. *Biologically Motivated Computer Vision Lecture Notes in Computer Science*, 2525, 453-461.
- Park, H. & Shin, D. (2015). Analysis of processes in reading about 'science stories' in 6th grade science textbook using eye-tracking. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(3), 383-393.
- Park, Y., Kim, E. & Yang, I. (2016). Analysis of eye movements according to emotions during elementary students' observation activities. *Advanced Science and Technology Letters*, 127, 217-221.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R. & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Roebbers, C. M., Schmid, C. & Roderer, T. (2010). Encoding strategies in primary school children: Insights from an eye-tracking approach and the role of individual differences in attentional control. *The Journal of Genetic Psychology*, 171(1), 1-21.
- Ryu, J. & Moon, J. (2013). The effects of line length and information seeking in e-book for learning on eye-fixation time, cognitive load, and comprehension. *The Korea Educational Review*, 19(3), 293-313.
- Schroth, S. T. & Helfer, J. A. (2008). Identifying gifted students: Educator beliefs regarding various policies, processes, and procedures. *Journal for the Education of the Gifted*, 32, 155-179.
- Shin, D. & Choi, H. (2013). Differences in eye movement between elementary school teachers and students during understanding textbook illustrations. *Biology Education*, 41(2), 198-210.
- Shin, D. & Kwon, Y. (2007). A review on brain study methods in elementary science education -A focus on the fMRI method-. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 26(1), 49-62.
- Shin, W. (2016). The development of science knowledge generative learning WEDO model through cognitive-neuroscientific analysis on elementary science class. Graduate School of Education SNU, Doctorate thesis.
- Shin, W. & Shin, D. (2012). Eye movement analysis on elementary teachers' understanding process of science textbook graphs. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(3), 386-397.
- Shin, W. & Shin, D. (2013a). Analysis of eye movement by the science achievement level of the elementary students on observation test. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(2), 185-197.
- Shin, W. & Shin, D. (2013b). Development of the heuristic attention model based on analysis of eye movement of elementary school students on discrimination task. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 33(7), 1471-1485.
- Shin, W. & Shin, D. (2014a). Analysis of eye movement of pre-service elementary teacher about "life cycle of plant" external representation in 2007, 2009 reform



- science textbook. *Biology Education*, 42(2), 115-131.
- Shin, W. & Shin, D. (2014b). The development of intervention program for enhancing elementary science-poor students' basic science process skills - Focus on eye movement analysis -. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(8), 797-808.
- Shin, W., Kim, M. & Shin, D. (2013a). Analysis of elementary students' eye movement in science problems solving process applying multiple representation. *Biology Education*, 41(4), 544-555.
- Shin, W., Shin, D. & Jhun, Y. (2013b). The educational games' UI study from the point of view of UX by eye-tracking. *Journal of the Korean Association of Information Education*, 17(2), 211-224.
- Shon, Y. S., Lee, H. K., Ok, A. N. & Kim, M. S. (2003). The effect of selective attention and perspective changes on the recognition of meaningless figure. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 15(2), 259-274.
- Siegle, D. & Powell, T. (2004). Exploring teacher biases when nominating students for gifted programs. *Gifted Child Quarterly*, 48, 21-29.
- Snowden, R., Tnompson, P. & Troscianko, T. (2012). Basic vision: An introduction to visual perception. New York: Oxford University Press.
- Tang, H., Day, E., Kendhammer, L., Moore, J. N., Brown, S. A. & Pienta, N. J. (2016). Eye movement patterns in solving science ordering problems. *Journal of Eye Movement Research*, 9(3), 1-13.
- Taricani, E. (2016). Collaborative knowledge in online learning environments. In *EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology*, 1, 733-737.
- Tippett, C. D. (2016). What recent research on diagrams suggests about learning with rather than learning from visual representations in science. *International Journal of Science Education*, 38(5), 725-746.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Tsuchida, S. & Matsuura, S. (2016, July). A role of augmented reality in educational contents: Intermediating between reality and virtual reality. In International conference on virtual, augmented and mixed reality (pp. 736-745). Springer International Publishing.
- Van Tassel-Baska, J., Johnson, D. & Avery, L. (2002). Using performance tasks in the identification of economically disadvantaged and minority gifted learners: Findings from Project STAR. *Gifted Child Quarterly*, 46, 110-123.
- Vaz-Rebello, P., Fernandes, P., Morgado, J., Monteiro, A. & Otero, J. (2016). Students' conscious unknowns about artefacts and natural objects. *Educational Psychology*, 36(1), 176-190.
- Wolfe, J. M. & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Review: Neuroscience*, 5(6), 495-501.
- Yang, F. Y., Chang, C. C., Chen, L. L. & Chen, Y. C. (2016). Exploring learners' beliefs about science reading and scientific epistemic beliefs, and their relations with science text understanding. *International Journal of Science Education*, 38(10), 1-15.
- Yang, F. Y., Huang, R. T. & Tsai, I. J. (2016). The effects of epistemic beliefs in science and gender difference on university students' science-text reading: An eye-tracking study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(3), 473-498.
- Yoon, N. & Koh, S. (2009). Eye-movements in reading easy and difficult texts. *Korean Journal of Cognitive Science*, 20(3), 291-307.
- You, M., Kang, Y. & Yeh, H. (2011). Analysis identification results of gifted students by class observations and nominations in the science-gifted education center at university. *Journal of Science Education for the Gifted*, 3(2), 27-38.
- Zheng, R. & Wang, Y. (2016). Optimizing students' information processing in science learning: A knowledge visualization approach. In Knowledge visualization and visual literacy in science education (pp 307-329). IGI Global.