

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/264172329>

# Eye Movement Analysis on Elementary Teachers' Understanding Process of Science Textbook Graphs

Article in *Journal of Korean Elementary Science Education* · January 2012

CITATIONS

7

READS

382

2 authors:



Wonsub Shin

Seoul Sunrin elementary school

15 PUBLICATIONS 53 CITATIONS

SEE PROFILE



Dong-Hoon Shin

Seoul National University of Education

64 PUBLICATIONS 225 CITATIONS

SEE PROFILE

# 초등 교사들의 과학교과서 그래프 이해 과정에 대한 안구 운동 분석

신원섭 · 신동훈

(서울교육대학교)

## Eye Movement Analysis on Elementary Teachers' Understanding Process of Science Textbook Graphs

Shin, Wonsub, · Shin, Dong-hoon

(Seoul National University of Education)

### ABSTRACT

The purpose of this study was to find a way to improve the science textbook graph through analyzing teachers' interpretation process with eye movement tracking when they try to read the science textbook graph. Participants in this project were 10 elementary school teachers while bar graphs, line graphs, pie charts in 2007 revision science textbooks were used as materials. SMI (SensoMotoric Instruments)' iView X TM RED 120 Hz was used in order to collect eye movement data. Although subjects paid attention to the title of the graph at first, the consequence of the eye fixation was changed by the composition of the graph in case of the rest of areas. In particular, the flow of visual attention and fixation time were affected by the form and configuration of the graph. The diversity of graph construction caused confusion in interpreting graphs; the manner of presenting title, the difference of background colors, size of characters, the name of X-axis and Y-axis. Out results showed that the conformation of graphs as well as the presentation of each factor should be composed in accordance with the educational purpose for helping users to easier understanding.

**Key words** : eye movement, fixation, scan path, graph, science textbook

### I. 서 론

초등 수학과 교육과정에는 그래프에 대한 지도 목표가 초등학교 2학년부부터 6학년까지 제시되어 있고, 교육현장에서도 학년별로 그래프를 지도하고 있다. 초등 과학과 교육과정의 경우에는 탐구 능력의 하나인 '자료 변환'을 통해 그래프 작성과 해석 능력을 강조하고 있다(교과부, 2007). 실제로 그래프는 과학에서 중요한 상징체계이며, 상당히 많은 측정값을 요약하여 시각적인 경향성을 나타내고, 정보 전달 방식에 따라 많은 의미를 함축하고 있기 때문에, 그래프를 작성하고 해석하는 능력은 과학자의 기본적인 기능으로 생각하고 있다(김태선과 김범기, 2002; Bowen & Roth, 2005). 하지만 초등 과학 교육

수업에서 그래프를 작성하고 해석하는 능력을 깊이 있게 지도하기란 어려운 실정이다. 왜냐하면 초등 과학과 교육과정에서는 그래프에 대한 지도 목표가 불명확하고, 그래프의 작성과 해석 능력 등에 대한 다양한 연구가 부족하기 때문이다. 현재까지 과학교육에서 이루어진 그래프에 대한 연구 결과를 살펴보면 다음과 같다.

김태선 등(2002)은 중고등학생의 그래프 작성과 해석 능력은 논리적 사고력이 발달한 학생일수록 높았으며, 변인 통제 논리와 비례 논리가 그래프 작성 및 해석 능력과 밀접한 관련이 있다고 하였다. 또한 그들은 그래프 작성 능력이 해석 능력보다 상대적으로 부족한 이유로 교사와 학생 모두 교과서에서 있는 그래프를 주로 해석하고, 그래프로 전달

하는 과학적 개념을 이해하는데 중점을 두었기 때문이라고 하였다. 박은열(2011)은 그래프 작성 활동은 과학 탐구 능력을 발달시키고, 학생들의 인지 수준이 낮을수록 개념 이해에 효과적이기 때문에, 교과서나 교사용 지도서에 그래프 작성 방법을 수록하여 그래프 작성 방법에 대한 체계적인 교육이 이루어져야 한다고 주장하였다. 김진선(2009)은 과학 교과서를 분석하여 3~5학년의 경우, 학년별 1학기에만 그래프 작성과 해석 능력에 관한 내용이 제시되고 있음을 밝혔고, 특히 그래프 작성 능력의 내용 연계가 이루어지지 않아 어려움을 겪고 있다고 하였다. 특히 4학년 과학 교과서에 그래프 작성에 대한 학습 내용을 보충해야 한다고 주장하였다.

김태선과 김범기(2005)는 선 그래프 이해 능력에 따라 과학 관련 선 그래프 문제를 푸는 사고 과정의 유형과 양이 다를 것을 확인하였고, 학습자의 선 그래프 이해 수준과 전달하고자 하는 정보에 따라 선 그래프의 디자인과 구성이 달라져야 한다고 주장하였다. 이성균과 이봉우(2008)는 과학 교과서에 사용된 그래프 유형 연구에서 초등학교에서는 단순 선 그래프만 사용되었고, 다양한 유형이 제시되지 않았다고 하였다. 황현미와 방정숙(2007)은 그래프의 종류에 따라 학습자의 이해력이 차이가 났으며, 꺾은 선 그래프와 줄기와 잎 그림의 성취율이 낮은 이유는 선 그래프가 가장 이해하기 어려운 그래프 유형이기 때문이라고 하였다.

이와 같이 지금까지의 그래프에 관한 선행 연구들은 그래프 작성과 해석에 관련된 결과적 상황에 초점을 맞추고 있었고, 그래프 이해에 대한 과정적 상황에 초점을 맞춘 연구는 거의 이루어지지 않았다. 또한 연구 방법도 설문지나 검사지 등을 이용한 자기보고식 연구 방법에 국한되어 있고, 초등학교를 직접 현장에서 지도하는 초등교사를 대상으로 한 연구도 찾아보기 어려웠다.

일반적으로 자기보고식 측정 방법은 많이 사용하는 연구 방법이지만 하나 피험자가 분명하게 대답할 수 없는 영역이 존재한다(신동훈과 권웅주, 2007; 이시훈 등, 2011). 학습자의 의식적인 영역뿐 아니라 무의식적인 영역에서 일어나는 인지적, 정서적, 행동적 반응을 측정하려면 학습 과학적인 측정 방법이 필요하다. 따라서 이 연구에서는 학습 과학적 측면에서 인간의 눈동자 움직임을 실시간으로 관찰하는 안구 운동 추적(eye tracking) 방법을 사용하고자 한

다. 안구 운동 추적은 시선의 움직임을 포착하여 인지 특성 및 심성 특성을 이용하여 대상에 대한 관심도 및 관심 순위 등을 측정, 데이터화 시키는 방법으로서 의학, 약학, 신경학, 인간공학, 심리학, 광고학 등의 연구 분야에서 활발하게 사용되고 있다(신동훈, 2012). 과학교육학 분야에서는 변정호 등(2011)이 과학 수업 중 교사의 시선 집중도를 분석하여 교수 행동 패턴에 대한 컨설팅 연구에서 안구 운동 추적 방법을 사용하였으며, 김소영 등(2012)은 안구 운동 추적방법이 지필 평가 과정에서 학생들의 사고 과정에 대한 객관적이고 정량적인 정보를 제공하여 문제 해결 과정에 대한 이해 및 진단을 하는데 매우 효과적인 방법이라고 하였다. Liu & Chuang(2011)은 안구 운동 추적 방법을 이용해 멀티미디어 과학 학습에 사용된 문자와 삽화의 집중 정도를 분석하였고, 장식적인 아이콘은 인지 과정에서 집중력을 분산시키는 기능이 있다는 것을 밝혔다.

따라서 이 연구의 목적은 안구 운동 추적 방법을 이용해 초등 교사들의 과학 교과서에 제시된 그래프 정보의 이해 과정을 정량적·정성적으로 분석하여 과학교과서에 제시된 그래프의 개선점을 찾는 것이다. 이러한 목적을 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 2007 개정 초등 과학교과서의 그래프 이해 과정에서 초등 교사들의 안구 운동은 어떠한가?

둘째, 그래프 이해 수준이 높은 교사와 낮은 교사의 차이점은 무엇인가?

셋째, 2007년 개정 과학교과서에 제시된 그래프의 개선점은 무엇인가?

## II. 연구 방법

### 1. 연구 참여자

이 연구의 참여자는 서울시 수학·과학 우수 교사 위탁 연수 중인 여교사 10명이었고, 평균 연령은 34세이고, 교육경력은 9.9년이었다. 관심 교과는 과학교과 6명, 수학교과 4명이었고, 연구에 자발적으로 참여하였다.

### 2. 연구 절차

이 연구에서는 2007년 개정 초등 과학교과서의 그래프 정보의 이해 과정을 분석하기 위해 그림 1과 같은 연구 절차를 거쳤다.

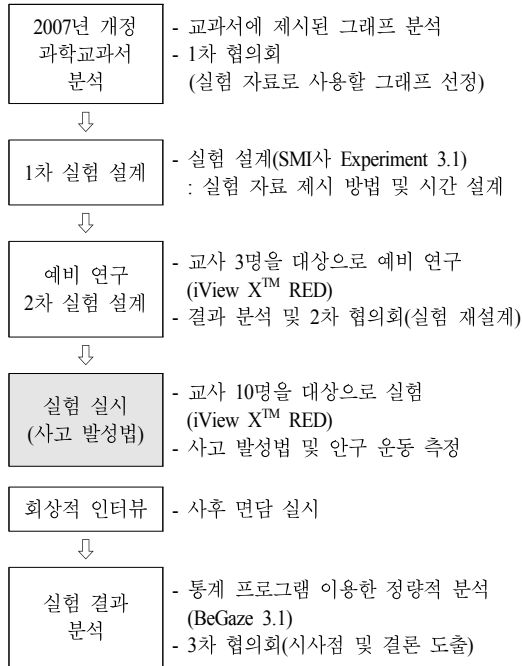


그림 1. 연구 절차

2007년 개정 초등 과학교과서에서 제시된 그래프를 조사하여 전문가 협의 과정을 통해 실험 자료로 활용할 그래프를 선정하였다. 전문가 집단은 과학교육 전문가 2명, 초등 과학교육전공 석사 학위자 2명, 총 4명으로 구성하였다. 독일SMI(SensoMotoric Instruments)사의 Experiment 3.1 프로그램을 이용해 1차 실험을 설계하여 교사 3명을 대상으로 예비 연구를 실시하였다. 안구 운동 추적 연구에서 예비 연구는 본 실험에서의 소프트웨어와 하드웨어의 정상적인 작동과 실험 자료 제시 방법의 적절성 등을 확인할 수 있고, 실험 자료의 획득률을 향상시키기 위해 반드시 필요하다(Holmqvist *et al.*, 2011). 예비 연구 결과를 분석하여 본 실험 자료의 제시 방법과 시간을 재설계하였다. 본 실험은 여교사 10명을 대상으로 SMI사의 iView X™ RED 장비를 사용하였고, 결과 분석은 BeGaze 3.1프로그램에서 AOI(area of interest, 관심 영역)를 설정하여 정량적으로 분석하였다. 정량적인 분석 후 3차 협의 과정을 거쳐 이 연구의 시사점과 결론을 도출하였다.

### 3. 실험 자료

2007 개정 초등 3~4학년 과학교과서에서는 그래프를 찾아볼 수 없었고 5~6학년에서만 그래프가

표 1. 2007 개정 초등 과학교과서 그래프 현황

| 종류 \ 학년 | 5-1 | 5-2 | 6-1 | 6-2 | 합계 |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|
| 막대 그래프  | 1   | 1   | 2   | 1   | 5  |
| 선 그래프   |     | 3   | 3   | 3   | 9  |
| 원 그래프   |     |     |     | 2   | 2  |

제시되어 있었다. 똑같은 그래프를 연속해서 제시한 경우는 1번으로 간주하였고, 6학년 2학기 자료 변환에서 나온 점으로 표현된 그래프는 포함하지 않았다. 2007 개정 초등 과학교과서에 제시된 그래프는 표 1과 같다.

이 실험에서 사용한 실험 자료는 막대그래프, 선 그래프, 원 그래프를 각각 2개씩 사용되었다. 막대 그래프는 5학년 1학기 자료 변환에서 ‘물의 온도에 따른 금붕어의 호흡 회수 변화’와 5학년 2학기 3단원 물체의 속력에서 ‘교통수단별 한 시간 동안의 이동거리’ 그래프이다. 선 그래프는 5학년 2학기 자료 변환에서 ‘물의 온도에 따른 물기둥의 높이 변화’와 6학년 2학기 1단원 날씨의 변화에서 ‘하루 동안의 지면과 수면의 온도 변화’ 그래프이다. 원 그래프는 6학년 2학기 2단원 여러 가지 기체에서 ‘지구 온난화의 원인 기체’와 ‘공기 중에 포함된 여러 가지 기체’ 그래프이다.

### 4. 실험 설계

실험 설계는 그림 2와 같고 실험 순서는 안구 운동 보정(calibration)과 검증(validation) 단계 → 사고 발생 연습 단계(사전 자료 :1, 2) → 실험 자료(그래프 : 1~6) 단계 → 회상적 면접 단계이다.

첫 번째, 보정(calibration) 단계에서 화면의 목표 점(target)을 다섯 곳 지정하여 교사들의 시선 보정을 하였다. 성인의 경우, 안구의 반경이 최대 10% 이상 차이가 나고, 개인별로 서로 다른 모양을 하고 있기

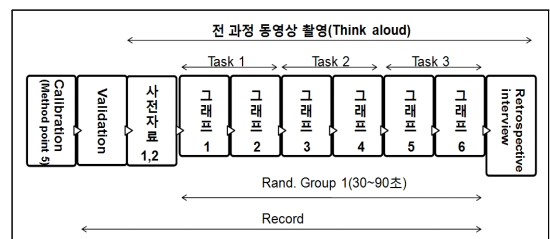


그림 2. 실험 설계

때문에 보정은 안구 운동 추적 실험에서 반드시 필요하다(Holmqvist *et al.*, 2011).

두 번째, 검증(validation)단계에서 참여자 동공의 최대 편차(deviation)는 X, Y축 모두 0.5° 이하일 때 실험을 계속 진행하였고, X, Y축 동공의 편차 중 어느 한 쪽이 0.5° 이상일 경우는 0.5° 이하가 나올 때까지 보정하여 실험을 실시하였다. 왜냐하면 안구 운동 추적 연구의 대부분은 최대 편차 값으로 0.5° 이하를 최적의 값으로 요구하고 있기 때문이다(Holmqvist *et al.*, 2011). 세 번째, 사전 자료를 30~90초간 두 가지를 제시하여 참여자가 실험하는 동안 사고 발생법을 익히도록 하였다. 그 이후, 실험 자료 그래프 6개는 그래프 제시 순서에 따른 간접 효과를 배제하기 위해 무작위 방법으로 30~90초간 제시하였고, 그래프 정보에 대한 사고 발생 해석이 끝났을 경우 스페이스바를 클릭하여 다음 실험 자료로 넘어가도록 하였다. 실험이 모두 종료된 이후 회상적 인터뷰를 통해 그래프 정보 해석의 어려움 점과 그래프 전반에 대한 의견을 추가로 수집하였다. 검증 단계에서 마지막 그래프 자료 제시까지 모든 안구 운동 데이터를 기록하였고, 참여자의 사고 발생 과정과 전체 실험 과정은 동영상으로 촬영하였다.

## 5. 자료 수집 및 분석 방법

### 1) 안구 운동 추적기

이 연구에 사용한 안구 운동 추적기는 동공의 크기와 위치를 측정할 수 있는 SMI사의 iView X™ RED 장비이다(SMI, 2011a). 이 실험 장비와 실험하는 동안에 조작자와 참여자의 역할에 대한 구체적인 설명은 그림 3에 제시하였다.

이 안구 운동 추적기는 적외선 조명과 컴퓨터 기반의 이미지 프로세싱을 사용해 동공의 움직임과 동공의 상대적인 크기까지 측정 가능하며, 비침습적인 특징을 갖고 있어 참여자의 어떠한 신체적 접촉 없이 사용할 수 있기 때문에 성인뿐 아니라 초등학생들에게까지 사용이 적합하다(SMI, 2011a). 안구 추적 모드는 양안이고, 본 연구에 사용한 샘플링 속도는 120 Hz이었다(SMI, 2011a). 실험 자극 제시 모니터와 참여자의 거리는 60~70 cm 정도를 유지할 수 있도록 노력하였다. 또한 참여자의 작은 움직임과 눈 깜박임 정도는 기술적으로 제거해서 분석할 수 있지만, 실험하는 동안 참여자의 움직임은 최소화하도록 주의를 기울였다(SMI, 2011a).

### 2) 자료 수집 및 분석 방법

실험하는 동안 참여자의 모든 안구 운동 데이터는 조작자 컴퓨터에 저장하였고, 동사의 BeGaze 3.1 프로그램을 이용해 정량적 분석을 하였다. 참여자의 검증 단계의 X, Y축 최대 편차 결과와 안구 운동 추적 비율은 표 2와 같다. X, Y축에 대한 최대 편차 값은 0.5° 이하였고, Eye-track 비율의 평균값은 89.1%였다. 따라서 모든 참여자의 안구 운동 추적 결과를 분석 대상으로 하였다.

최초 분석 시 기본 설정인 응시 최저 시간(fixation minimum duration)을 80 ms로 지정하여 분석한 결과, 응시의 전체 응시 값과 평균값은 그림 4와 같았다. 평균 응시 값(fixation average)은 220.2 ms였고 응시 최저 시간을 설정하기 위해 전문가 협의 과정을 거쳤다. 실험에 사용된 실험 자료는 그래프로서 제목과 X, Y축 이름에는 언어적 정보가 있고, 자료 영역에는 선이나 막대 등으로 구성된 점과 평균 응시 값이 220 ms를 고려하여 응시 최저 시간을 200 ms

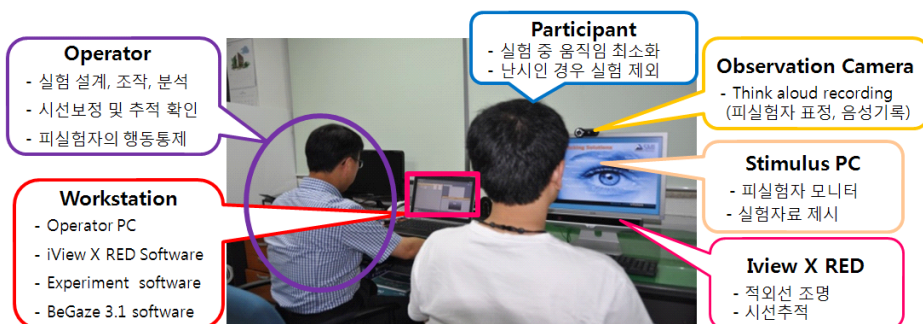


그림 3. Iview X™ RED Eye-tracker

표 2. 참여자의 검증단계의 X, Y축 최대 편차 값과 안구 운동 추적 비율

| 참여자        | p1   |     | p2   |     | p3   |     | p4   |     | p5   |     | p6   |     | p7   |     | p8   |     | p9   |     | p10  |     | 평균   |      |
|------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|
| Validation | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y   | X    | Y    |
| deviation  | 0.4  | 0.3 | 0.5  | 0.4 | 0.3  | 0.2 | 0.4  | 0.5 | 0.3  | 0.3 | 0.5  | 0.5 | 0.4  | 0.3 | 0.2  | 0.5 | 0.4  | 0.5 | 0.3  | 0.5 | 0.37 | 0.42 |
| 추적(%)      | 84.2 |     | 89.3 |     | 92.0 |     | 92.4 |     | 92.0 |     | 90.6 |     | 91.4 |     | 85.8 |     | 83.6 |     | 89.8 |     | 89.1 |      |

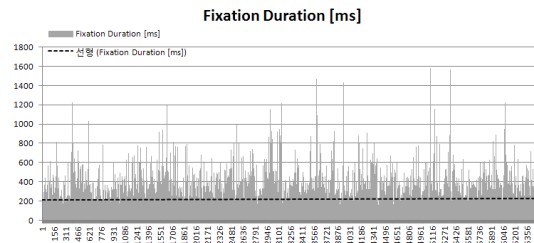


그림 4. 응시 시간의 전체 값과 평균

으로 설정해 분석하였다. 최근의 안구 운동 추적 연구를 살펴보다라도 응시 시간(fixation duration)을 200 ms으로 설정한 경우가 대부분이었다(Tsai *et al.*, 2012; Liu & Shen, 2011; Cook *et al.*, 2008; 2011).

실험 자료의 첫 번째 응시 값은 바로 전에 제시된 자료를 마지막으로 본 곳과의 연관성을 배제할 수 없기 때문에 자료 분석 시 모든 첫 응시 값은 분석에서 제외하였다(Holmqvist *et al.* 2011). 그래프를 해석하는 동안 시선의 흐름과 그래프 요소별 응시 정도를 분석하기 위해 BeGaze 3.1의 Scan Path(시선 경로)와 Heat Map(열지도) 프로그램을 사용하였다. 시선 경로를 통해 그래프 요소별로 첫 응시가 일어난 곳을 정량적으로 분석하였고, 열지도를 통해 그래프의 요소 중 어디에서 많은 응시가 집중되었는지를 파악하였다. 그래프 요소별 응시 값을 분석하기 위해 각 그래프마다 AOI 영역을 제목, X축 이름, X축 범위, Y축 이름, Y축 범위, 자료 영역으로 지정하여 그림 5와 같이 설정하였다. AOI는 실험자가 분석하고자 하는 부분을 설정하는 것으로 설정한 영역에 대한 최초 응시 시간, 응시 횟수, 응시 비율 등을 분석할 수 있다(SMI, 2011c).

그래프의 각 요소 AOI에 대한 안구 운동 자료는 BeGaze 3.1의 K.P.I.(Key Performance Indicator) 프로그램을 이용해 분석하였고, Event Statistics를 이용해 모든 안구 운동 데이터를 수집하여 분석하였다. AOI에 시간대별로 응시한 순서를 분석하기 위해서 순서도(sequence chart)를 사용하였고, 시간대별 AOI

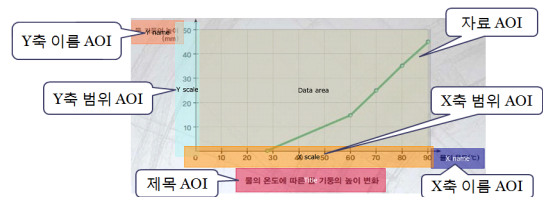


그림 5. AOI(관심 영역) 설정

의 체류 시간(dwell time; fixation+saccade)은 %로 나타낸 점유도(binning chart)를 이용해 나타낼 수 있었다(SMI, 2011c).

그래프에 대한 해석 과정은 사고 발생법을 통해 수집된 자료를 참고로 하였으며, 이러한 모든 분석 과정은 전문가 협의회를 통해서 수행되었으며, 이견이 있을 시에는 일치될 때까지 토론하여 분석하였다.

### III. 연구 결과 및 논의

#### 1. 초등 과학교과서의 그래프 이해 과정에서 초등 교사의 안구 운동

이 연구에서는 그래프 각 요소에서 발생한 응시(fixation)를 참여자가 그래프의 정보를 해석하기 위한 인지 사고 과정으로 간주하고 그래프의 해석 과정에서 그래프 요소에 더 많은 응시가 일어난 경우를 복잡한 인지 사고 과정이 일어나는 것으로 판단하였다. 왜냐하면 Henderson(1992), Goldberg & Kotval (1999), Chang 등(1985)은 응시(fixation)가 핵심적이고 중요하거나 관심과 흥미가 있는 경우에 일어난다고 판단하였고, 응시 시간(fixation duration)을 복잡한 정보에 대한 개인의 인지 사고 과정으로 보고 있기 때문이다(Henderson & Hollingsworth, 1998). 또한 Rayner & Pollatsek(1989)는 가벼운 소설의 경우 200 ms 정도의 평균 응시 시간이 나타나지만, 물리학과 생물학의 텍스트의 경우 260 ms 정도의 평균 응시 시간이 나타난다고 주장하였기 때문이다.



평균 응시 시간은 AOI에 나타난 모든 참여자의 응시값 합을 모든 참여자의 수로 나눈 값이다(SMI, 2011c). 참여자 10명의 그래프 요소별 평균 응시 시간은 표 3 및 그림 6과 같다.

막대 그래프 1번과 2번에 대한 시선 흐름은 그래프 요소별 응시 진입 시간(fixation entry time)의 평균값을 분석해서 그림 7에 나타내었다. 응시 진입 시간은 관심 영역으로 AOI를 설정한 곳에 처음으로 응시가 발생한 시간을 의미한다(SMI, 2011c).

5학년 2학기 ‘교통수단별 한 시간 동안의 이동 거리’ 그래프의 시선 흐름은 자료 → 제목 → X축 범위 → Y축 범위 → Y축 이름 → X축 이름순이었고, 5학년 1학기 ‘물의 온도에 따른 금붕어의 호흡회수 변화’ 그래프의 시선 흐름은 X축 범위 → 제목 → X축 이름 → 자료 → Y축 이름 → Y축 범위 순이었다. 그래프를 해석할 때 그래프의 제목을 제일 먼저 응시할 것으로 예상했지만, 교사들에 따라 처음 응시한 곳은 차이가 있었으며, 그 원인은 그래프에 제시된 그림 자료나 X축에 따른 Y축 값에 해당하는 막대의 유무 등이 교사들의 시선 흐름에 영향을 준

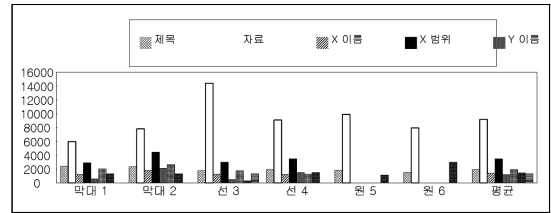


그림 6. 그래프 요소별 평균 응시 시간 그래프

것으로 판단된다. 또한 그래프 해석에서 X축과 Y축에 대한 함축적 의미를 갖고 있는 제목의 정확한 이해가 우선이라는 인식이 교사마다 다르거나, 그래프의 형태와 디자인에 따라 무의식적으로 자신이 선호하는 곳에 처음 응시가 일어난 것으로 판단된다. 실제로 응시가 일어나는 지점에서의 사고발성 내용을 분석하면 더욱 그렇다.

선 그래프 3번과 4번에 대한 시선 흐름도 응시 진입 시간의 평균값을 정리하여 그림 8에 나타내었다.

6학년 2학기 ‘하루 동안의 지면과 수면의 온도 변화’ 그래프의 시선 흐름은 제목 → 자료 → X축 범위 → 범례 → X축 이름 → Y축 범위 → Y축 이름순

표 3. 그래프 요소별 평균 응시 시간(ms)

| 그래프  | 요소 | 제목      | 자료       | X 이름    | X 범위    | Y 이름    | Y 범위    | White space | 범례      |
|------|----|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------|
| 막대 1 |    | 2,403.2 | 5,956.4  | 1,232.8 | 2,913.6 | 583.0   | 2,046.2 | 1,317.0     |         |
| 막대 2 |    | 2,317.2 | 7,794.9  | 1,807.6 | 4,469.4 | 2,097.8 | 2,629.9 | 1,317.0     |         |
| 선 3  |    | 1,770.9 | 14,385.2 | 1,294.6 | 2,995.4 | 486.3   | 1,768.4 | 323.6       | 1,303.0 |
| 선 4  |    | 1,931.9 | 9,087.7  | 1,236.1 | 3,471.6 | 1,517.3 | 1,289.6 | 1,487.9     |         |
| 원 5  |    | 1,805.1 | 9,891.9  |         |         |         |         | 1,137.7     |         |
| 원 6  |    | 1,473.9 | 7,946.8  |         |         |         |         | 3,001.2     |         |
| 평균   |    | 1,950.3 | 9,177.2  | 1,392.7 | 3,462.5 | 1,171.1 | 1,933.5 | 1,430.7     | 1,303.0 |

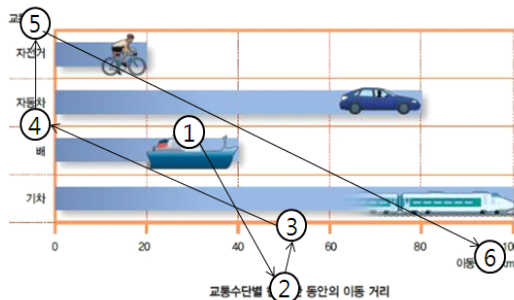
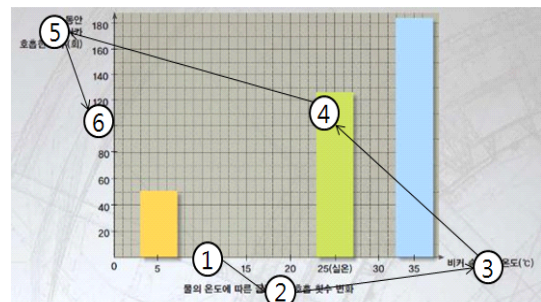


그림 7. 막대 그래프 1번(좌)과 2번(우)의 시선 흐름



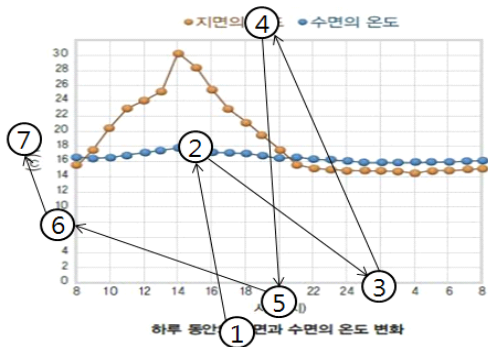


그림 8. 선 그래프 3번(좌)과 4번(우)의 시선 흐름

이었다. 5학년 2학기 ‘물의 온도에 따른 물기둥의 높이 변화’ 그래프의 시선 흐름은 제목 → X축 범위 → 자료 → Y축 이름 → X축 이름 → Y축 범위 순이었다. 3번 그래프는 유일하게 범례가 있는 그래프이고, X축과 Y축의 이름이 축의 가운데 위치한다. 범례가 그래프의 위쪽 부분에 제시되다보니 일부 교사는 범례를 제일 먼저 응시한 경우도 있었고, 응시 시간도 그래프 제목의 응시 시간과 유사하게 나타났다. 막대그래프와 선 그래프의 시선 흐름을 종합하면 교사들은 그래프의 제목 영역에 처음 응시가 일어난다고 할 수 있고, 나머지 영역에 대한 시선 흐름은 그래프의 구성에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

같은 방법을 사용하여 원 그래프 5번과 6번에 대한 시선 흐름을 그림 9에 나타내었다. 6학년 2학기 ‘지구 온난화의 원인 기체’ 그래프의 시선 흐름은 제목 → 자료 순이었고, ‘공기 중에 포함된 여러 가지 기체’ 그래프의 시선 흐름은 자료 → 제목순이었다. ‘공기 중의 포함된 여러 가지 기체’ 그래프의 경우, 위쪽으로 모양을 달리한 부분과 언어 정보에 더 먼저 응시가 생겼고, 이유는 원 그래프의 형태가 영향을 미친 것으로 판단된다.

표 4. 그래프 이해 수준의 기준

| 그래프 해석 수준의 기준                      | 높은 교사 | 낮은 교사 |
|------------------------------------|-------|-------|
| 내삽 + 외삽 : 자료를 바탕으로 예상이나 추정 여부      | ○     |       |
| 그래프에 제시된 정보를 현실에 적용하여 설명 여부        | ○     |       |
| 동일한 종속 변인과 다른 변인과의 상호 관련성을 설명 여부   | ○     |       |
| 주어진 변인 간의 관계를 파악하여 기울기나 변화량의 설명 여부 | ○     |       |
| 그래프가 제시된 정보에 대해 과학 용어를 사용한 설명 여부   | ○     |       |

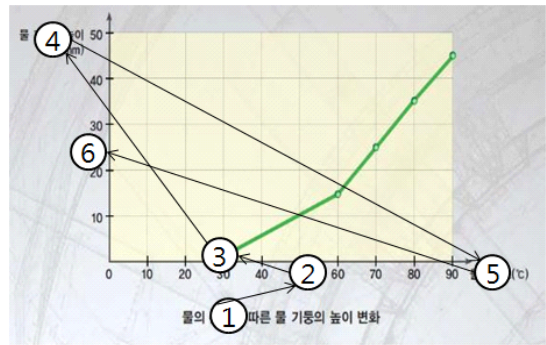


그림 9. 원 그래프의 시선 흐름 순서

## 2. 그래프 이해 수준이 높은 교사와 낮은 교사의 차이점

그래프 이해 과정에서 참여자들의 해석 능력은 교사 개인별로 차이가 있었다. 그래프 이해 수준이 높은 교사와 낮은 교사의 차이점을 분석하기 위해 선행 연구 분석을 통해 표 4와 같은 기준을 만들었다. 이 기준을 충족하는 교사는 이해 수준이 높은 교사로 선정하였다. 각 피험자들의 사고 발생 내용을 분석하여 이해 수준이 높은 교사와 낮은 교사를 선별하였고, 안구 운동 추적 비율에서 차이가 없는 참여자를 각각 한 명씩 선정하였다. 왜냐하면 안구 운동 추적 연구에서는 추적 비율과 실험 조건의 통제



가 중요하기 때문이다(Holmqvist *et al.*, 2011; SMI, 2011c).

이해 수준이 높은 교사의 시선 추적 비율은 89.9%였고, 낮은 교사의 시선 추적 비율은 89.3%였다. 본 실험에서는 그래프 해석이 종료되면 참여자가 직접 다음 단계로 진행되게 되어 있어 참여자별 실험 시간은 차이가 있었다. 이 조건을 통제하기 위해 두 참여자 중 먼저 실험이 종료된 참여자의 시간을 기준으로 실험 종료 시간을 통제하였다.

분석 프로그램을 이용하여 두 참여자의 순서도와 점유도를 그림 10에 나타내었다.

순서도를 보면 이해 수준이 높은 교사는 그래프 해석 초기에 제목에 대한 응시 시간이 많았고 집중 한 반면, 이해 수준이 낮은 교사는 초기에 제목을 응시하는 시간이 적었고, 그래프 해석 중에 제목을 다시 보는 경우가 나타났다. 또한 이해 수준이 낮은 교사가 그래프에서 해석에 필요하지 않은 부분을 보는 경우가 많았고, 시간대별로 AOI에 응시하는 비율이 낮은 것으로 분석되었다. 두 참여자의 그래프별 각 요소에 대한 평균 응시 시간과 그래프 이해 수준과의 관계를 알아보기 위해 SPSS 10.0 통계 프로그램을 이용해 *t* 검정을 하여 표 5에 나타내었다.

*t* 검정 결과, 그래프 요소 중 제목의 평균 응시 시간은 해석 능력 수준에 따라  $p < 0.01$  수준에서 통계

적으로 유의미한 차이가 있었다( $t=3.64$ ,  $df=10$ ,  $p=.0046$ ). 그래프 해석에서 제목을 정확히 파악하는 것이 해석 수준에 미치는 영향이 높은 것으로 판단된다. 자료의 평균 응시 시간과 X축과 Y축의 정보의 평균 응시 시간은 통계적으로 유의미한 차이가 없었지만, 그래프 해석 수준과 정적인 관계가 있었다. 하지만 그래프를 해석하는 동안 그래프의 요소와 관련 없는 곳인 여백에 대한 평균 응시 시간은 그래프 해석 수준과 부적인 관계가 있었다.

### 3. 2007년 개정 과학교과서에 제시된 그래프의 개선점

안구 운동 자료와 실험 후 회상적 인터뷰를 통해 2007 개정 과학교과서 그래프 제시 방법에 대한 개선점을 고찰하였다. 특히 표 3에 의하면 실험 자료로 사용된 그래프의 형태에 따라 각 그래프 요소의 평균 응시 시간은 차이가 있었고, BeGaze 3.1 Heat Map으로 통계 처리하였다. 그래프별 열지도와 회상적 인터뷰 결과를 바탕으로 표 6과 같이 제시하였다.

표 6에 의하면, 초등 과학교과서 그래프에서 개선할 점은 그래프의 제목을 제시할 때의 방법을 일정하게 할 필요가 있으며, 제목은 그래프가 담고 있는 모든 사항을 포함해야 한다는 것이다. 대부분의 그래프는 X축에 따른 Y축 값의 변화를 나타낸 것

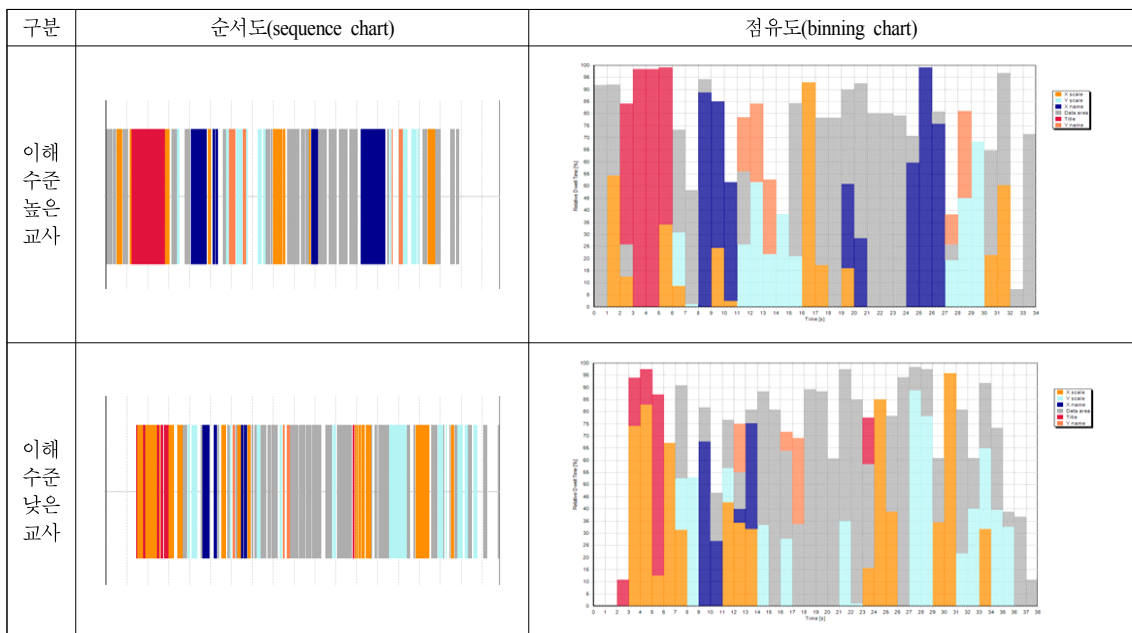


그림 10. 이해수준에 따른 점유도와 순서도

표 5. 평균 응시 시간과 그래프 해석 수준  $t$  검정 결과

| 종속 변수             | 집단    | 응시(ms)    | 표준 편차    | 사례 수 | $t$      | $p$    |
|-------------------|-------|-----------|----------|------|----------|--------|
| 제목<br>평균 응시 시간    | 높은 교사 | 5,516.83  | 1,539.05 | 6    | 3.6355** | 0.0046 |
|                   | 낮은 교사 | 2,946.83  | 793.50   | 6    |          |        |
| 자료<br>평균 응시 시간    | 높은 교사 | 10,070.33 | 3,488.60 | 6    | 0.8833   | 0.3978 |
|                   | 낮은 교사 | 8,319.50  | 3,376.49 | 6    |          |        |
| X축 이름<br>평균 응시 시간 | 높은 교사 | 2,482.60  | 1,825.37 | 5    | 1.1058   | 0.3010 |
|                   | 낮은 교사 | 1,536.40  | 573.60   | 5    |          |        |
| X축 범위<br>평균 응시 시간 | 높은 교사 | 3,408.00  | 1,083.57 | 4    | 0.6476   | 0.5412 |
|                   | 낮은 교사 | 2,996.25  | 665.54   | 4    |          |        |
| Y축 이름<br>평균 응시 시간 | 높은 교사 | 834.25    | 1,161.93 | 4    | 0.3413   | 0.7445 |
|                   | 낮은 교사 | 623.50    | 418.27   | 4    |          |        |
| Y축 범위<br>평균 응시 시간 | 높은 교사 | 2,757.00  | 1,048.53 | 4    | 1.1133   | 0.3082 |
|                   | 낮은 교사 | 1,714.00  | 1,552.92 | 4    |          |        |
| 여백<br>평균 응시 시간    | 높은 교사 | 1,333.33  | 1,404.71 | 6    | -0.9649  | 0.3574 |
|                   | 낮은 교사 | 2,507.83  | 2,629.96 | 6    |          |        |

\*\*  $p < 0.01$ 

이고, 제목은 X축에 대한 Y축의 변화량으로 표현한다. 그러나 실험 자료에서 쓰인 그래프에는 Y축에 대한 X축의 변화량으로 표현된 경우도 있어 시선 흐름에 혼란을 주었고, 따라서 응시가 많이 발생하였다.

‘교통수단별 한 시간 동안의 이동거리’에서는 막대와 교통수단의 그림과 함께 이중적으로 제시하였다. 열지도 분석 결과, 교통수단 그림에 많은 응시가 발생하였음을 알 수 있었다. 이는 그래프에서 자료의 변화량을 나타낼 때 두 가지 이상의 표현을 동시에 나타내어 인지 부하가 발생하여 그래프 해석에 어려움을 준 것으로 판단된다.

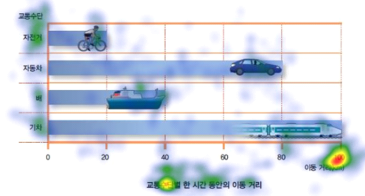
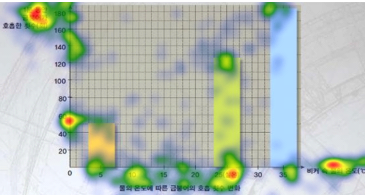
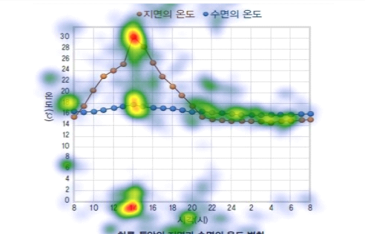
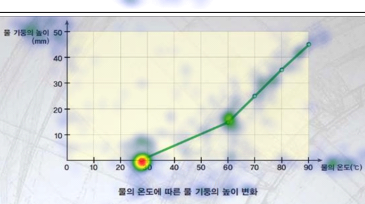
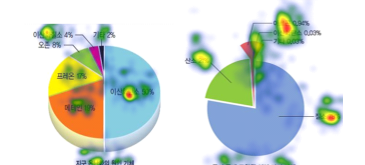
‘물의 온도에 따른 금붕어의 호흡 횟수 변화’에서 Y축 이름은 ‘1분 동안 호흡 횟수의 변화’로 나타내었고, Y축 이름에 많은 응시가 일어났다. 그래프의 X축의 배경 눈금은  $1^{\circ}\text{C}$ 이지만, 막대의 가로 폭은  $4^{\circ}\text{C}$ 의 폭을 가지고 있다. 교사들은 막대그래프의 가로 폭이  $4\sim 7^{\circ}\text{C}$ 의 온도의 범위를 말하는지 가운데  $5^{\circ}\text{C}$ 를 말하는지 의문을 제기했다. 또한  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ 에 대한 금붕어의 호흡 횟수가 나타나 있지 않아, 연속되지 않은 자료에 대해 응시가 집중되기도 하였다. ‘물의 온도에 따른 물기둥의 높이 변화’ 그

래프에서도 같은 문제점을 확인할 수 있었다.

‘하루 동안의 지면과 수면의 온도 변화’ 그래프는 한 그래프에 두 가지 정보를 함께 나타내다 보니 해석하는 데에 가장 많은 시간이 걸렸다. 범례의 경우 그래프의 위쪽 중간에 제시되었고, 제목의 글씨보다 크게 제시되어 응시가 많이 일어났다. 또한 참여자에 따라 제목보다 먼저 범례를 응시하는 등의 시선 흐름 순서에도 영향을 주었다. Y축의 간격은  $2^{\circ}\text{C}$ 인데, X축에 비해 폭이 좁고 대응점의 크기가 크게 표현되어 수면의 온도 변화를 해석하는데 어려움이 있었다. 원 그래프의 경우 그래프의 언어적 정보에 많은 응시가 일어났고, 그래프의 지시선, 모양 등의 형태가 응시에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다.

초등 과학교과서에 제시되는 그래프는 교육적 자료로 활용되는 경우이므로 그래프의 형태와 각 요소들의 제시 방법은 교육적 목적에 맞게 구성되어야 한다. 또한 그래프를 나타낼 때 임의적으로 요소별 배치와 디자인을 달리하여 미적인 측면을 강조하는 것은 오히려 학습자의 그래프 해석에 어려움을 줄 수 있고, 이는 그래프를 작성할 때에도 오개념을 형성할 수 있다는 점을 고려해야 한다.

표 6. 그래프별 열지도와 그래프별 안구 운동과 인터뷰 결과

| Heat map(열지도)   | 안구 운동과 인터뷰 결과  |
|---|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-막대 끝이 교통수단 그림과 이중으로 제시되어 많은 응시가 생기고 인지 부하(cognitive load) 생성.</li> <li>-제목은 대부분 X축→Y축 순이나, Y축→X축 순으로 제시되어 어색함(인터뷰).</li> </ul>   |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-가로축 범위에 따라 Y축 값이 연속적이지 않은 응시 발생 및 호흡 회수가 없는 지 의문(인터뷰).</li> <li>-세로축명이 길고 1분이라는 조건과 함께 제시되어 많은 응시가 일어남.</li> <li>-그래프 배경 눈금과 막대의 폭이 달라 해석이 난해함.</li> <li>-막대그래프의 색깔은 무엇을 의미하는지 의문 제기.</li> </ul>     |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-그래프의 범례가 상단 중간에 제시되다보니 응시 순서에 영향을 미쳤고 제목만 큼의 응시가 일어남.</li> <li>-세로 범위 폭과 가로 범위 폭이 다르고, 그래프 하나에 두 개의 자료가 제시되어 자료 해석에 많은 응시</li> <li>-수면의 온도 변화를 해석하기에는 세로 범위가 크게 설정되었고, 대응점 크기 조절 필요(인터뷰).</li> </ul> |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-물의 온도에 따른 물 높이의 변화량은 있으나, 처음의 물높이를 알 수 없어서 해석에 어려움(인터뷰).</li> <li>-그래프의 시작점이 가로축 중간에서 시작해서 많은 응시가 발생. 데이터 값 연속적으로 제시할 필요.</li> <li>-세로축 명을 제목에서 말한 '물기둥의 높이 변화'를 제시하지 않아, 물기둥 전체 높이로 착각.</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-언어적 정보에 더 많은 응시가 나타남.</li> <li>-원 그래프의 형태와 언어적 정보를 제시하는 방법에 따라 시선 흐름 순서와 응시 영향을 미침.</li> </ul>   |

#### IV. 결론 및 교육적 적용

이 연구의 목적은 안구 운동 추적기(Eye-tracker)를 이용해 초등 교사들의 그래프 이해 과정을 분석하여 과학 교과서의 그래프에 대한 개선점을 찾는 것이다. 실험 데이터 수집은 SMI(SensoMotoric Instruments)사의 iView X RED 장비로 했으며, 예비 실험을 통해 본 실험에서 발생할 오류를 수정·보완하였고, 실험이 끝난 직후 회상적 인터뷰를 통해 사후 보정 과정을 거쳤다. 안구 운동 추적 데이터는 동사의 BeGaze 3.1 프로그램을 이용해 시선 흐름과 평균 응시 시간을 통계 처리하였고, SPSS 10.0을 이

용해 t 검증을 실시하였다. 이 연구의 결론은 다음과 같으며, 현재 진행되고 있는 과학 교과서 개발에 그래프 제시에 대한 시사점을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

첫째, 초등 교사들은 그래프를 해석하는 과정에서 그래프 요소 중 제목을 먼저 응시하는 경우가 많았다. 하지만 초등 교사에 따라 각 그래프 요소별로 응시 순서와 응시 시간은 차이가 있었고, 특히 그래프의 형태가 응시 순서와 시간에 미치는 영향이 많은 것으로 분석되었다. 그러므로 그래프 작성과 해석을 지도할 때 그래프의 형태와 각 요소들에 대한 정확한 기초 지식을 지도해야 할 것이다.

둘째, 그래프 해석 수준이 높은 교사와 낮은 교사를 비교한 결과, 그래프의 제목을 응시하는 시간이 해석하는 수준에 미치는 영향이 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 이는 그래프의 모든 정보를 축약하고 있는 그래프의 제목을 정확히 이해하고 그래프를 해석해야 함을 의미한다. 따라서 초등학생들에게 그래프를 지도할 때 그래프 제목이 뜻하는 바를 정확히 이해하고 자료를 해석하는 방법을 지도할 필요가 있다.

셋째, 그래프 각 요소의 평균 응시 시간을 분석한 결과 그래프 형태와 제시 방법에 대한 개선점을 찾을 수 있었다. ① 그래프의 제목을 제시하는 방법을 일반화할 필요가 있다. 연구 결과에서 보듯이 그래프 제목을 X축에 따른 Y축 값의 변화로 표현한 경우와 Y축에 대한 X축의 변화로 나타낸 경우가 혼합되어 있었다. 또한 실험의 조건이 Y축 이름에 함께 제시되어 많은 응시가 발생했다. 초등교육은 기초기 본 교육임을 감안할 때 그래프 제목은 일관성 있는 방법으로 제시해야 하고, X축과 Y축의 이름은 최대한 간단히 표현해야 할 필요가 있다. ② 그래프에서 Y축 변화량을 나타낼 때 그림과 막대 등을 함께 제시하여 많은 응시가 발생하였고, 이것은 그래프를 해석하는 데에 도움이 되는 것이 아니라, 오히려 인지 부하의 역할만 한 것으로 판단된다. 그래프의 자료는 최대한 간단히 막대, 선, 점 등 하나의 방법으로 표현할 필요가 있다. ③ 그래프의 배경선이 X축과 Y축의 범위와 막대그래프의 가로 폭을 고려하지 않고 제시되다보니 그래프 해석에 혼란을 주었다. 또한 막대그래프의 경우, 막대의 배경색을 다르게 한 그래프가 있었는데 자료의 내용과 상관없이 색깔을 달리하여 교사들이 의문을 갖기도 하였다. 배경선과 배경색은 그래프 각 축의 범위와 자료의 특성을 고려하여 표현해야 하고, 교육적 목적 없이 미적 효과를 기대하고 임의로 지정하는 것은 바람직하지 않다. ④ 그래프에서 범례와 원그래프의 언어적 정보 경우 그 위치와 크기, 지시선 등에 따라 응시가 다르게 나타났다. 범례와 언어적 정보는 그래프 각 요소와의 중요도 관계와 형태에 적절한 조화를 이룰 필요가 있다. 종합하면 초등과학 교과서에 제시되는 그래프는 교육적 의도를 가지고 자료로 제시되는 경우이므로 그래프의 형태와 각 요소들의 제시 방법은 교육적 목적에 맞게 구성되어야 한다.

마지막으로 이 실험에서는 초등학교 교사를 대상으로 그래프 해석과정을 분석하였으나, 초등학생들을 대상으로 한 후속 연구를 통해 초등학생들 발달 수준에 따른 올바른 그래프 지도방법을 마련해야 할 것이다. 또한 안구 운동 추적 방법은 결과에 바탕을 둔 상황적 설명보다는 과정에 바탕을 둔 인과적 설명을 가능하게 하므로, 초등 과학 연구의 여러 분야에서 활용하기를 제안한다.

## 참고문헌

- 교육과학기술부(2011). 초등학교 과학 교과서 5-1, 5-2, 6-1, 6-2. 금성출판사.
- 김소영, 변정호, 이일선, 권용주(2012). 과학 학업성취도 문항 풀이에서 초등학생의 시선추적 연구. 학습자중심교과교육연구, 12(1), 65-78.
- 김진선(2009). 초등학교 5학년 학생들의 그래프 작성 및 해석 능력과 논리적 사고력과의 관계. 청주교육대학교 석사학위논문.
- 김태선, 고수경, 김범기(2005). 고등학생들의 그래프 능력과 과학 탐구 능력 및 과학 학업 성취도의 관계. 한국과학교육학회지, 25(5), 624-633.
- 김태선, 김범기(2002). 중고등학생들의 과학 그래프 작성 및 해석 능력. 한국과학교육학회지, 22(4), 768-778.
- 김태선, 김범기(2005). 과학관련 선 그래프를 해석하는 고등학생들의 발생 사고 과정 분석. 한국과학교육학회지, 25(2), 122-132.
- 김태선, 배덕진, 김범기(2002). 중학생의 그래프 능력과 논리적 사고력 및 과학 탐구 능력의 관계. 한국과학교육학회지, 22(4), 725-739.
- 박은열(2011). 초등과학 탐구실험에서 그래프 작성 활동이 학생들의 개념 이해와 탐구 능력에 미치는 영향. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 변정호, 이일선, 권용주(2011). 시선추적기(Eye-Tracker)를 활용한 시선집중 및 배분 교수행동 패턴의 컨설팅 사례연구. 학습자중심교과교육연구, 11(4), 173-199.
- 신동훈, 권용주(2007). 초등 과학 교육에서 두뇌 연구 방법의 고찰-fMRI 활용법을 중심으로-. 초등과학교육, 26(1), 49-62.
- 이성균, 이봉우(2008). 과학교과서에 사용된 그래프의 유형 및 특징 분석. 국제과학영재학회지, 2, 123-128.
- 이시훈, 정일형, 안주아, 김광협(2011). 아이트래커를 활용한 성적 소구 광고의 소비자 시선 이동과 광고효과. 광고연구, 91, 432-457.
- 황현미, 방정숙(2007). 초등학교 6학년 학생들의 그래프 이해 능력 실태 조사. 대한수학교육학회지, 9(1), 45-64.
- Bowen, G. M. & Roth, W. M. (2005). Data and graph in-

- terpretation preservice science teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(10), 1-26.
- Chang, K. T., Antes, J. & Lenzen, T. (1985) The effect of experience on reading topographic relief information: analyses of performance and eye movements. *Cartogr J*, 22, 88-94.
- Cook, M., Wiebe, E. N. & Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education*, 92(5), 848-867.
- Cook, M., Wiebe, E. N. & Carter, G. (2011). Comparing visual representation of DNA in two multimedia presentations. *J of Educational Multimedia and Hypermedia*, 20(1), 21-42.
- 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.
- 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.
- Liu, C. J. & Shen, M. H. (2011). The influence of different representations on solving concentration problems at elementary school. *Journal of Science Education Technology*, 20, 621-629.
- Liu, H. & Chuang, H. (2011). An examination of cognitive processing of multimedia information based on viewers' eye movements. *Interactive Learning Environments*, 19(5), 503-517, EJ 947215.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K. & Pollatsek, A. (1989a). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- SensoMotoric Instruments. (2011a). iView X™ Manual.
- SensoMotoric Instruments. (2011b). Experiment center Manual version 3.1.
- SensoMotoric Instruments. (2011c). BeGaze Manual version 3.1.
- Tsai, M. J., Hou, H. T., Lai, M. L., Liu, W. I. & Yang, F. Y. (2012). Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. *Computer & Education*, 58, 375-385.