측정과제에서 학습부진아와 학습우수아의 안구운동 비교

최현동 · 신원섭[†] · 신동훈[†]

(서울개명초등학교) · (서울교육대학교)[†]

The Comparison of Eye Movement in Measuring Tasks between the Underachievers and the Overachievers

Choi, Hyun-dong · Shin, Won Sub[†] · Shin, Dong-hoon[†]

(Seoul Kaemyong Elementary School) · (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 on measuring tasks. Science achievement was graded by the results of Korea national achievement test conducted in 2012. As an assessment tool to check measuring task, two measuring measure problems from TSPS(Test of Science Process Skill; developed in 1994) which were suitable for eye tracking system were adopted. The subjects of this study were 3 underachievers and 3 overachievers from 6th grade who agreed to participate in the research. SMI was used to collect EMD (eye movement data). Experiment 3.2 and BeGaze 3.2 programs were used to plan experiment and analyze EMD. As a result, eye movements of participants in measuring task did not show the path to the common gaze by groups. To solve the problem of using specific measuring strategies related to the correct answer. Underachiever who failed in measuring tasks don't have enough measurement capabilities and lack eye movement through the area of interest for cognitive thinking. These results show that elementary school science curriculum dealing with measuring have to reflect a lot of step-by-step learning requires.

Key words : measuring, length measuring, area measuring, eye movement.

I. 서 론

측정은 관찰을 수량화하는 활동이며, 측정 도구의 선택과 사용, 단위 선택, 측정 범위와 구간, 어림셈, 오차와 정확도, 반복 가능성(신뢰성) 등에 대한 이해를 필요로 하는 기능이다(Ministry of Education, Science and Technology, 2011). 일반적으로 과학자들이 실험을 할 때, 양적 관찰인 측정의 단계를 거쳐 자료를 수집하므로(Coelho & Séré, 1998), 측정은 과학 전문가 활동의 중요한 부분으로 어떤 분야에서든지 고려의 대상이다. 과학자들의 활동을 학습하는 학생들은 체계적인 조사와 실험 활동에서

자료 수집을 위한 탐구의 한 방법으로 측정을 하게 된다. 만약 과학 수행 과정에서 학생들이 측정 경험에 부족하면, 잘못된 측정을 통해 잘못된 자료가 수집될 가능성이 많다(Yang & Kim, 2004; Hackling & Garnett, 1995). 따라서 과학적 측정 능력은 매우 중요하다.

Physical Science Study Committee(1996)는 과학적 탐구 활동 중에 자연 현상에 대한 관찰 및 측정은 자연 법칙에 대한 과학자의 개념을 검증하여 진보하게 하는 수단이라고 설명하고 있다. 학생들은 실제 상황에서 측정을 경험함으로써, 과학자들이 연구하는 것과 같은 방법을 익혀 새로운 지식을 밝혀

내고, 미개척 영역에 대한 이해를 확장할 수 있으며, 측정 능력에서 우수성을 보인 학생들이 과학 탐구에서도 우수성을 드러낸다는 연구 결과도 있다(Holmes & Neal, 1991). 그러므로 측정 활동과 관련된 양질의 과학 교육은 학생들의 탐구능력을 향상시킬 수 있는 밑거름이 된다고 평가할 수 있다.

그러나 국제 성취도와 관련된 영역별 문항의 정답률에서 ‘과학적 탐구 및 과학의 본성’ 영역에서 우리나라가 국제 평균 정답률보다 높았던 데 반해, ‘과학적 측정’ 영역에서는 정답률이 낮았다고 보고되었다(Hong, 2002). 이는 우리나라 학생들이 전반적인 탐구 능력이 우수하지만, 측정 능력은 뒤떨어진다는 것을 보여준다. Jung and Kim(1997)의 연구 결과도 우리나라 초등학생들의 측정 능력이 다른 탐구능력에 비해 전반적으로 낮음을 보여주었다.

한편, 현재까지 측정과 관련된 연구들을 살펴보면, Kim(2000)은 측정 훈련을 받은 학생들의 과학 탐구능력이 향상되었다고 보고하였고, Holmes and Neal (1991)도 측정에서 우수성을 보인 학생은 과학 탐구에서도 우수성을 좀 더 잘 드러낸다고 주장하였다. Yang and Cho(2001)와 Yoon(2000)은 측정 능력이 연령에 따라 발달한다고 밝혔으나, Kim(2005)은 측정 능력은 학년에 따라 차이가 없으며, 학생들은 자신의 측정 결과에 부정적이라고 보고하였다. Yang et al.(2008)은 측정 능력은 다양한 측정 경험으로부터 생겨날 수 있다고 제시하였다. 학생들의 측정의 본성에 대한 연구(Coelho & Séré, 1998; Lubben & Millar, 1996)들은 학생들이 측정 결과에 대한 자신의 믿음이 중요하다고 주장하였다.

지금까지 연구들을 살펴보면, 학생들의 측정 능력은 측정 경험과 밀접한 관련이 있으며 측정 결과에 대한 신념과도 관련이 있음을 제시하고 있다. 그러나 학생들이 측정 문제를 해결하기 위해 어떠한 전략적 접근방법을 사용하여 성공과 실패를 획득하게 되는지, 어떠한 정보에 관심을 가지고 지각하여 측정 결과에 신념을 갖는지에 대해서는 자세히 설명하지 못하고 있다. Kim and Lee(2011)에 따르면, 전략과 같은 인지적 과정은 뇌기능에 기반한다고 설명하고 있다. 그러나 뇌기능과 관련된 연구들은 피험자에게 특정한 기구의 신체적 접촉이 필요하기 때문에 접근성이 매우 제한적이다(Jones & Fox, 1992). 이러한 한계를 만회하는 방법으로 아이트래킹 기법이 제안되었으며, 이 기법은 피험자의

동공 반응이라는 생리적인 지표를 사용하여(Lee et al., 2011; Choi et al., 2012), 안구의 움직임을 기준으로 과제를 구성하고 있는 어떤 요소에 피험자가 인지적으로 반응하는가를 알아내는 방법으로 현재 과학교육의 연구방법으로 많이 활용되고 있다. 현재로서는 각 개인의 인지사고처리과정이 어디에서 어떻게 발현되어 진행되는지를 정확히 알 수 없지만, 우리가 지각하지 못하는 속도로 안구운동을 측정하여 분석한다면 개인의 인지사고와 문제해결전략에 대해 유추할 수 있다(Shin & Shin 2012; 2013a; 2013b; Slykhuus et al., 2005). 이 연구에 사용하는 안구운동 측정기는 고정형으로 측정도구의 선택 과정이나 측정할 물체를 나란히 놓는 과정 등에 관한 안구운동은 측정할 수 없으나, 과제에서 측정대상과 도구의 나란한 정도, 눈금을 읽는 과정, 측정단위를 확인하고, 경계선을 중심으로 넓이를 측정하는 과정을 확인할 수 있다. 또한 초등학생을 대상으로 측정 문제의 전략적 접근과 측정 과정의 정보에 대한 지각과 인지를 연구하기에는 아이트래킹 기법이 매우 안전하고 적합하다.

따라서 이 연구에서는 학습부진아와 학습우수아가 측정과제를 해결할 때, 어떤 문제해결 과정이 이루어지고, 어떤 전략을 사용하는지와 정보를 지각하는 인지적 과정을 알아보는 실증적인 증거를 제시하기 위해 아이트래킹 기법을 사용하였다. 이를 토대로 학습부진아와 학습우수아의 측정 과정을 미시적으로 기술하고, 측정 과정에서 나타나는 두 집단의 인지적 차이를 규명하고자 하였다.

구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 측정문제 해결과정에서 학습부진아와 학습우수아가 사용한 전략은 어떠한가?

둘째, 측정문제 해결과정에서 학습부진아와 학습우수아의 관심영역에는 어떠한 차이가 있는가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구는 서울특별시 ○○초등학교 6학년 학급 중 국가수준 학업성취도 평가의 표집학급에서 본 연구에 자발적으로 지원한 학생 중 학부모가 동의한 학생만을 대상으로 하였다. 최초 연구 참가자는 총 20명이었다(Table 1). 참가자들은 모두 연구에 자발적으로 참여하였고, 안구 병력이 없었다.

Table 1. Research participants

Participants	Underachievers												Overachievers								Total (person)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
Male		1						1	1		1	1	1	1	1			1	1		10
Female	1		1	1	1	1	1			1						1	1			1	10
Length measuring	○	×	○	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○: 15, ×: 5
Area measuring	×	×	○	×	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	○	○	×	○	×	○	○: 7, ×: 13

* ○: Correct answer, ×: Incorrect answer

이 연구는 학습부진아와 학습우수아의 측정 과제 해결과정과 전략을 비교하는 것이 목적이다. 따라서 연구 참여자 중 보통학력 이하이면서 측정 과제로 제시된 두 가지 문제를 모두 틀린 학생들을 학습부진아로, 보통학력 이상이면서 두 가지 문제의 정답을 모두 맞춘 학생들을 학습우수아로 명명하고 연구를 진행하였다. 결국 이 연구에서 최종 선정된 연구 대상자는 학습부진아 3명(B, F, H)과 학습우수아 3명(P, R, T)이다.

2. 연구 절차

이 연구에서는 과학교육 전문가 3명, 초등 과학교육전공 석사 학위자 3명으로 구성된 전문가집단을 구성하였고, 과제 선정과 실험 설계, 실험결과 분석 방법에 대한 타당성과 신뢰도를 높이기 위한 협의과정을 거쳤다. 실험설계는 독일 SMI(Senso Motoric Instruments)사의 Experiment 3.2 프로그램을 이용해

1차 실험을 설계하였고, 본 실험의 적합성과 타당성을 높이기 위해 초등학생 일반학급 4명을 대상으로 사전실험(pilot test)을 실시하였다. 안구 운동 추적 연구에서 예비 연구는 본 실험에서의 하드웨어와 소프트웨어의 정상적인 작동과 실험 자료 제시 방법의 적절성 등을 확인할 수 있고, 실험 자료의 획득률을 향상시킬 수 있으므로 실시하였다(Shin & Shin, 2013a). 사전실험의 결과 분석을 바탕으로 실험 자료의 제시 방법과 시간을 수정하여 2차 실험 설계를 하였다. 이 실험은 SMI사의 iView X™ RED 장비를 사용하였고, 연구 참여자의 안구보정타당도와 안구추적비율을 확인한 후 분석대상을 선정하여 안구운동 데이터를 정량적·정성적으로 분석하였다. 이후 이 연구의 시사점과 결론을 도출하였다.

연구 절차를 간단히 요약하면 Fig. 1과 같다.

3. 과제

Fig. 1. Research process

- Length task**
6. 그림과 같이 막대 자 옆에 연필이 나란하게 있다. 이 연필의 길이를 바르게 나타낸 번호를 말하시오.

- ① 11.0 cm ② 10.7 cm ③ 10.1 cm ④ 9 cm

- Area task**
9. 과수원의 모양이 다음 그림과 같다. 과수원의 넓이로 맞는 번호를 말하시오.

- ① 20 m² ② 17 m² ③ 14 m² ④ 12 m²

Fig. 2. Measuring task

과제로 사용한 실험 자료는 Kwon and Kim(1994)이 개발한 TSPS(test of science process skill) 검사지에서 전문가협의와 사전실험을 거쳐 안구운동추적 시스템에 적합한 2문제를 선정하였다.

이 실험에 사용한 측정과제는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 길이과제는 막대 자를 이용하여 사물을 재는 것이며, 넓이과제는 격자(모눈 종이)를 이용하여 넓이를 계산하는 것이다. 두 과제 모두는 시각정보를 이용하여 측정 문제를 해결하고, 네 개의 선택지 보기에서 정답을 선택하는 문제였다. 길이과제는 측정에 사용된 자의 영점 선택과 측정된 끝지점을 확인하는 곳에서 학생들의 인지부담(cognition load)이 요구되는 과제였고, 넓이과제는 제한된 작업 기억에 계산된 넓이를 기억해야 하고 정확하지 않은 곡선부분에서는 그 넓이를 어렵해야 하기 때문에 길이과제에 비해 인지적 부하가 많아 곤란도가 높은 과제였다.

4. 실험 설계

실험은 안구 보정단계(Calibration, Validation) → Think aloud 연습 단계(사전과제 2) → 실험 과제(2) → 설문지 단계의 순으로 설계하였다(Fig. 3).

먼저 보정(calibration) 단계에서는 화면의 목표점을 다섯 곳으로 지정해, 학생들의 시선을 보정하였다. 안구 반경 모양이 개인별로 다르기 때문에, 이 단계는 안구 운동 추적 실험에서 반드시 필요하다(Shin & Choi, 2013; Shin & Shin, 2013a; 2013b). 다음으로 보정타당도단계에서는 목표점과 참여자 동공의 최대 편차(deviation)는 X, Y축에 대하여 모두 0.5° 이하일 때에만 계속 실험을 진행하였다(Shin

Fig. 3. Experiment design

& Shin, 2013a). 안구운동 추적 연구에서는 동공의 최대 편차 값은 0.5° 이하를 최적의 값으로 만들기 위하여 X, Y축에 대한 동공의 편차가 0.5° 이하가 나올 때까지 보정과 보정타당도 단계를 반복하였다(Shin & Shin, 2013b).

사전과제는 60초간 제시하여 참여자가 실험과 자료를 제시하는 방법을 익히고, 적응할 수 있는 시간을 부여하였다. 실험 과제는 사전실험 결과, 과제를 해결하는데 최대 2분의 시간이 소요되었기 때문에, 본 실험에서도 20,000 ms 동안 시간을 주었다. 과제는 곤란도가 낮은 길이과제를 먼저 제시한 후에 넓이과제를 제시하였고, 문제 풀이가 끝나면 답을 말하는 동시에 스페이스바를 눌러 다음 과제로 넘어가도록 하였다. 보정 단계에서 마지막 실험과제까지 모든 안구 운동 데이터를 기록하였고, 참여자의 표정은 관찰 카메라로 기록하였다. 실험이 끝난 후, 연구자들은 학생들에게 설문지에 컴퓨터 모니터 화면과 동일한 문제를 프린트하여 제시하였고, 실험 상황에서 자신이 선택한 답을 체크하도록

하여 측정과제 해결의 성공 유무를 판단하였다.

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 장비로, 적외선 조명과 컴퓨터 기반의 이미지 프로세싱을 사용해 동공의 움직임을 측정할 수 있다(Shin & Choi, 2013; Shin & Shin, 2013a; 2013b). 또한 이 연구에 사용된 기기는 비침습적인 특징이 있어 참여자의 어떠한 신체적 접촉 없이도 사용할 수 있기 때문에 초등학교생들에게 사용하기 적합하다(Shin & Shin, 2012; 2013a; 2013b). 이 연구에서 사용한 샘플링 속도는 120 Hz이었으며, 안구 추적 모드는 양안이었다. 실험 자료는 1,680 px(pixel)×1,050 px(가로×세로)의 화면으로 제시되었으며, 자극 제시 모니터와 피험자의 거리는 70cm 정도를 유지하였다. 이 연구에 사용된 기기는 피험자의 작은 움직임과 눈 깜박임 정도는 기술적으로 제거해서 분석할 수 있지만, 실험하는 동안 피험자의 움직임은 최소화 되도록 주의를 기울였다.

2) 자료 수집 및 분석 방법

연구 대상 6명의 보정타당도는 X, Y축에 대하여 최대 편차 값은 0.5° 이하였고, 안구운동추적비율(tracking ratio)의 평균값은 91.57%였다(Table 2). 학생들의 보정타당도와 안구운동추적비율이 분석대상으로 적합하였다.

안구운동의 모든 데이터는 응시 최저 시간(fixation minimum duration)을 임의 지정함으로써 도약운동과 응시운동으로 구분될 수 있다(Shin & Shin, 2012; 2013a). 최근의 안구 운동 추적 연구의 응시 시간(fixation duration)은 200ms로 설정한 경우가 대부분

이지만(Choi *et al.*, 2012; Liu & Shen, 2011), 이 연구에서의 실험 자료는 시각적 정보가 복잡하지 않기 때문에 과제를 해결하는 동안의 인지전략을 정확히 파악하기 위해서는 짧은 응시시간과 정확한 응시위치를 파악하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 응시 최저 시간(fixation minimum duration)을 100ms로 설정하였고 최대 분산(maximum dispersion)은 50 px(pixel)로 설정하여 분석하였다. 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. 측정과제를 해결하는 동안 시선의 흐름과 응시 정도를 분석하기 위해 BeGaze 3.2의 Scan Path(시선 경로) 프로그램을 사용하였다(Fig. 4).

사고과정과 인지적 양상을 분석하기 위해 실험 자료가 제시된 화면을 16×16으로 분할하였다(Fig. 5). 분할된 영역은 각각 행과 열에 문자와 숫자 코드의 순서쌍으로 좌표가 생성되며, 생성된 좌표에 해당하는 관심영역에 대한 응시 정도를 알 수 있다.

다음 동물을 특징에 따라 분류하고자 한다. 분류 기준을 세워 분류 과정을 살펴 보시오.

Fig. 4. Scan path(Shin & Choi, 2013)

Fig. 5. Division of experiment stimulus' screen

Table 2. Eye-tracking ratio of subjects

Subjects	Underachievers			Overachievers			Average
	B	E	G	P	R	T	
D. X [°]	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.35
D. Y [°]	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.33
TR[%]	89.9	91.5	90.1	94.2	91.7	92	91.57

* D: Deviation, TR: Tracking ratio

이처럼 분할 영역을 사용하여 각 좌표를 관심영역으로 설정한 후, 시선희름(scan-path)을 정성적, 정량적으로 분석할 수 있었다. 모든 안구운동 데이터는 BeGaze 3.2 프로그램을 이용해 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 측정문제 해결과정과 전략

학생들의 측정문제 해결과정과 전략을 알아보기 위해 먼저 학생들의 응시경로를 분석하였다. 응시경로는 논의 빠른 도약과 응시 및 고정 등 안구운동의 동작 순서를 말한다. 이러한 응시 경로를 분석하기 위해, 시선희름(scan-path)과 실험 자료를 제시된 화면에서 16×16으로 분할하여 각 영역에 대한 좌표를 정성적으로 분석하였다. 응시경로 분석 결과는 Table 4, 5와 같다. 이 연구에서는 피험자들이 측정과제를 해결하면서 나타난 안구운동을 압축된 시선희름으로 좌표로 연결하고, 이러한 문제해결 과정이 상향식주의와 하향식주의 중 어떤 문제해결 전략에 의한 것인지를 추론하였다. Table 3, 4의 경로 요약에서 하나의 시각적 요소를 계속적으로 주의한 것 중에서 측정을 시도한 것은 진한 음영으로 표시하였고, 해답을 살핀 것은 약한 음영으로 표시하였다. 그리고 질문을 살핀 것에는 음영을 표시

하지 않았다.

이 연구에서는 아이트래커를 이용하여 교사와 학생들의 이해 과정에 대한 안구 운동을 연구한 Choi and Shin(2012), Shin and Choi(2013)에 기초하여, 피험자들의 측정과제를 해결하면서 나타나는 문제해결 과정을 분석하였다. 또한 문제해결 전략을 평가하기 위해 질문을 먼저 살펴보고, 이후 측정과정을 거쳐 해답을 살폈다면 목적지향적인 하향식 주의 전략으로 평가하였고, 측정 대상이나 해답영역을 먼저 살펴보는 경우는 상향식 주의 전략으로 평가하였다.

Table 3에서 응시 경로를 분석한 결과, 길이 과제에 대하여 학습부진아 B는 ‘측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답’의 문제해결 과정을 나타냈고, 학습부진아 F는 ‘질문 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답’의 문제해결 과정을 나타냈으며, 학습부진아 H는 ‘질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답’의 문제해결 과정을 나타냈다. 학습부진아들의 길이 문제해결 과정에서 나타난 공통된 경로는 없었다. 이를 문제해결 전략으로 설명하면, 학습부진아 F와 H는 하향식 주의 전략으로 접근하였고, B는 처음에는 상향식 주의 전략으로 접근하다가 하향식 주의 전략으로 바꾸었다. 결과적으로 세 명

Table 3. Length task solving process analysis

	Compressed scan-path string	Task solving process	Strategy
Under-achievers	B G6-E4-E4-D2-E3-E2-F3-G3-G2-F2-G3-H3-I3-K2-K3-L2-D3-D4-F4-I8-J7-J10-K10-K13-I13-K13-H13-G13-J10-J11-K10-J8-J7-J7-K10-K7-J7-F13-G13-J8-J10-J7-K10-K13-I13-F13-K12-L13	측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답	Bottom-up ⇒ Top-down
	F F3-D3-I3-G3-F3-E3J2-K3-L3-M3-E4-F4-K10-K13-K10-J7-J5-F6-F8-F7-F10-F9-I12-K13-K12-F10-K8-K9-J7-K6-J6-J8-J9-J7-I12-H12-F13-K12-K9-J7-J6-F7-G9-F10-H11-I12-G12-F9-J9-K9-J7-K9-J8-J6-K7-K6-G12-I12-K12-F13-F12-H12-J8-J7-J10-J11-K13-I12	질문 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답	Top-down
	H F3-E3-G3-H3-I3-I4-J3-I4-L3-I9-H10-G13-F13-H13-J14-I14-I13-K14-K13-I10-H14-H10-F7-H13	질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답	Top-down
	P G6-D3-F3-H3-I3-K3-J7-K10-K13-J9-K10-E10-E9-F6-F10-K10-J10-J9-J12-G12-H12-J9-J10-K9-J7-F7-F10-J9-E8-F9-J9-J10-K10-K9-I12-H12-G12-I3-I4-H13-H12	측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 질문 → 해답	Bottom-up ⇒ Top-down
Over-achievers	R E4-E8-F9-F8-E12-E13-F13-J10-J8-J7-J10-E9-E7-E9-E9-E6-F7-E7-E9-F8-J8-J10-J8-J13-G12-J9-E9-E8-E9-E8-E7-E8-E9-F7-E7-E9-E8-E7	질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정	Top-down
	T I6-F3-H3-I3-K4-K3-K3-J3-E6-G11-J10-E9-F10-F7-I8-J10-K10-K10-J8-J9-J10-J9-J7-J13-J10-F9-F7-F10-F9-F7-F13-G10-J10-J8-F8-I11-H13-J10-F10-F8-F7-J10-J9-J10-J8-J7-J10-J6-J7-J10-J7-F10-F9-J13-K13-F13-H13-G13-G12-I10	측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정	Bottom-up ⇒ Top-down

의 학습부진아들은 서로 다른 문제해결 전략은 모두 정답을 찾는데 실패한 것으로 판단된다.

길이 과제에 대하여 학습우수아 P는 ‘측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 질문 → 해답’의 문제해결 과정을 나타냈고, 학습우수아 R은 ‘질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정’의 문제해결 과정을 나타냈으며, 학습우수아 T는 ‘측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정’의 문제해결 과정을 나타냈다. 학습우수아들의 길이 과제의 문제해결 과정에서도 측정과제를 성공적으로 해결하기 위한 공통된 경로는 나타나지 않았다. 학습우수아 P와 T는 상향식 주의 전략에서 시작했다가 하향식 주의 전략으로 바꾸어서 접근하였고, R은 하향식 주의 전략으로 문제해결에 접근하였다. 학습우수아들도 학습부진아들과 마찬가지로 서로 다른 문제해결 전략으로 측정과제의 정답을 찾은 것으로 판단된다.

결국 길이 과제를 성공하기 위해서는 이러한 문제해결 경로를 통하여 이러한 문제해결 전략으로 해결해야 한다는 표준 지침 경로(critical path way)는 찾지 못하였다. 이러한 양상은 넓이 과제에서도 비슷하게 나타났다(Table 4). Table 4를 살펴보면,

학습부진아들이 넓이 과제의 문제해결 경로나 전략에서 드러난 특별한 공통점은 없었으며, 학습우수아들도 서로 다른 문제해결 경로와 문제해결 전략으로 측정과제에서 정답을 찾았다. 따라서 이 연구에서 학생들이 사용한 측정 과제의 문제해결 경로 또는 전략은 학습의 실패 또는 성공과는 관련이 적다는 것을 시사하고, 학습우수아와 부진아 모두 문제를 해결하기 위한 주의 경향성이 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 학교교육에서 측정 문제를 해결하기 위해 측정도구에 대한 선언적 지식(declarative knowledge)과 측정과정에 대한 절차적 지식(procedural knowledge)에 대한 교육의 부재와 더불어 측정능력을 향상하기 위한 교육의 필요성을 반증한다.

시각메커니즘에 대한 연구는 선택적 주의(selective attention)에 기초하여 크게 상향식 주의(bottom-up attention)와 하향식 주의(top-down attention)에 대한 연구가 주를 이루고 있다(Shin & Shin, 2013b; Müller *et al.*, 2006). 주위 자극에 의해 시선 주의가 이끌어지는 것이 상향식 주의이고, 지각자 본인에 의해 유발되는 것이 하향식 주의이다(Kim *et al.*, 2011).

Choi and Shin(2013)의 연구에서 목적 지향적 탐색 즉, 하향식 주의 전략을 가진 교사들이 삽화를

Table 4. Area task solving process analysis

		Compressed scan-path string	Task solving process	Strategy
Under-achievers	B	E2-F2-F3-G2-G3-I2-I2-K2-I10-F13-I10-J10-J7-J8-J7-J7K8-J8-J9-J10-J11-K11-I10-J10-J9-J8-I9-I8-I10-H10-H9-G10-H11-J12-K14-I10-K13-I13-H13-I10-K10	질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정	Top-down
	F	J12-I10-F6-G5-H3-J2-L2-L2-F3-E3-H2-I9-K13-G5-F5-J7-J7-I8-G11-J3-J2-I7-J6-F5-I3-I2-J2-I6-F5-J12-K13-L14-I7-J8-I8-J9-H10-H9-G10-H10-H13-J13-K13-G13-I9-J7	측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 질문 → 측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정	Bottom-up ⇒ Top-down
	H	H10-E5-D4-E4-F4-F3-F4-G4-H3-G4-H4-I4-I3-L4-K4-L3-M3-D3-F7-F10-F7-E10-F8-F7-F8-J10-K10-J7-K7-J10-J11-J12-K13-I13-H12-F13-I13-G5-D5	측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정	Bottom-up ⇒ Top-down
Over-achievers	P	F5-E2-G2-I2-K2-I9-J7-K9-K10-K11-J7-K8-J7-K8-K9-J9-K7-J6-I9-I8-J7-J8-K9-K8-K7-J8-K9-J9-K10-K8-K7-J7-K8-J8-K9-J7-K8-K7-K10-K9-J6-I9-J9-J14-I14	측정 → 질문 → 측정 → 해답	Bottom-up ⇒ Top-down
	R	E3-D3-E4-G4-I10-J8-J7-H3-I3-H4-J4-K4-K3-I9-I9-I7-G10-K5-K4-F13-I9-I10-J8-J7-E5-H9-J7-K9-J9-K10-J6-J7-K7-G10-G9-G8-H8-G5-F4-K4-J4-E5-J14-J13-H13-J8-J7-K13-K14-J8-I13-K13-J6-J7-J3-I4-H3-K3-J7-K9-J9-J8-J7-J10-K8-J8-K9-K10-J7-J6-J7-K7-I13-H12-K13-I12-I4-J4	질문 → 측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 질문 → 측정 → 해답	Top-down
	T	H9-G4-G3-J3-J7-H11-H10-J8-J6-J9-J10-K10-J13-J14-I9-G4-I3-I8-I14-J14-I8-J7-H9-H10-G10-G11-I9-J7-J8-G9-G8-G7-H10-G10-I11-I8-J7-I14-G14-F14-H14-J14-I8-H9-J10-K11-J7-J6-I10-I8-J7-J14-I14-H14-I5	측정 → 질문 → 측정 → 해답 → 질문 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정 → 해답 → 측정	Bottom-up ⇒ Top-down

더 잘 해석할 수 있다고 주장하였다. 본 연구에서 시도한 측정과제의 문제해결 과정이나 전략에서 학습우수아들이 공통적으로 학습의 성공으로 나아가는 특별한 표준 경로(critical path way)를 보여주지 못하였다. 따라서 측정과제의 문제해결 과정이나 전략이 학습의 실패 또는 성공에 미치는 영향은 거의 없다고 평가할 수 있다. 또한 학습에 실패한 학습부진아들도 문제해결 과정에서 상향식 주의 전략이나 하향식 주의 전략이 모두 나타났고, 따라서 어떤 한 가지 주의 전략이 정답을 찾는 데 효과적이었다고 주장하기는 어렵다.

이전의 연구들(Choi *et al.*, 2012)은 인간이 문제를 해결하는 전략들이 상향식이나 하향식으로 이분법적인 전략을 가지고 있으며, 어떤 전략적 접근이 문제를 해결하는데 우세할 것이라고 많이 논의하였다. 그러나 Shin and Shin(2013b)의 연구에서는 인간은 외부 자극에 의해 상향식 주의가 발생하여 응시(fixation)와 도약(saccade) 안구운동이 일정한 순서가 없이 발생하고, 이후 목표지향적인 의도적이고 능동적인 하향식 주의가 발화되어 안구운동을 이끌어 간다는 모델을 제시하였다. 즉, 최종적으로 하향식 주의로 발현된다는 것이다. 이 연구에서는 Shin and Shin(2013b)의 연구를 지지하는 결과가 나타났다. 그것은 이 연구에서 제시된 문제의 형태가 그들의 연구와 유사하기 때문인 것으로 판단된다.

2. 관심영역 분석 결과

1) 길이 측정 과제

제시된 길이 과제의 길이 측정의 경우는 자의 원점과 측정 대상의 시작 부분을 정확히 맞추는 것이 중요하다. 또한 물체의 마지막 지점을 자의 눈금에

서 정확히 읽는 노력과 사고가 뒷받침되어야 한다.

이 연구에서는 먼저 길이 과제의 시각정보에서 자의 원점을 확인하는 F7과 E10 영역과 물체의 마지막 지점을 자의 눈금에 일치하는 J7과 J9 영역에서 학습부진아와 학습우수아의 응시시간(fixation time)을 정량적으로 분석하여 학생들의 측정 능력을 판단하였다. 다음으로 학습우수아들의 관심영역에 대한 응시경로(scan pass)를 분석하여 그들이 최초 주경로(critical path method)를 가지게 되는 결정적 시기(critical period)를 찾아보았다. 이 연구에서 길이 측정 과제에서 관심 영역으로 설정한 부분은 Fig. 6과 같다.

길이 측정 과제에서 관심영역(F7, E10, J7, J9)에 대한 학습부진아와 학습우수아의 응시시간은 Table 5와 같다.

Table 5를 살펴보면, 학습부진아들이 왜 길이 측정에 실패하였고, 학습우수아들이 왜 길이 측정에 성공하였는지에 대한 일부를 추론할 수 있다. 예를 들어, 학습부진아 B의 경우는 물체의 처음 지점(E6+E7+F6+F7)과 자의 원점(E9+E10)을 확인하려는

Fig. 6. Length task's AOI(area of interest)

Table 5. Fixation time of length task's AOI

(Unit: ms)

AOI	Underachievers			Overachievers		
	B	F	H	P	R	T
E6+E7+F6+F7	0	4,153	775	758	1,784	1,116
E9+E10	0	0	2,327	333	3,704	258
Subtotal	0	4,153	3,102	1,091	5,488	1,374
J6+J7+K6+K7	2,243	5,350	292	792	483	1,759
J9+J10+K9+K10	0	9,560	235	7,348	1,292	8,307
Subtotal	2,243	14,910	527	8,140	1,775	10,066
Total	2,243	19,063	3,629	9,231	7,263	11,440

관심영역에 대한 응시시간이 전혀 없었다. 그러므로 물체의 마지막 지점(J6+J7+K6+K7)과 그에 해당하는 자의 눈금(J9+J10+K9+K10)을 응시하면서 자의 눈금을 정확하게 읽는 사고가 이루어졌더라도 물체의 길이를 정확히 측정할 수 없었던 것이다. 학습부진아 F의 경우는 물체의 처음 지점에 대한 응시시간이 4,153(ms)이었지만, 관심영역 자의 원점에 대한 응시시간이 전혀 없었다. 그러므로 다른 관심영역에 19,063(ms)을 투자하면서도 정답을 찾을 수 없었던 것이다. 학습부진아 H의 경우는 관심영역에 대한 응시시간이 다른 학생들보다 상대적으로 적었다. 따라서 측정을 위한 인지적 작용이 적었기 때문에 정답을 찾을 수 없었던 것으로 판단된다.

이처럼 학습부진아들의 경우, 물체의 처음 지점과 자의 원점을 확인하려는 관심영역에 대한 응시시간이 없거나 응시시간이 학습우수아들에 비해 적고, 물체의 마지막 지점(J6+J7+K6+K7)과 그에 해당하는 자의 눈금(J9+J10+K9+K10)을 정확하게 확인하는 관심영역에 대한 응시시간이 없거나, 응시

시간이 학습우수아들에 비해 적었다. 학습부진아들과 달리, 학습우수아들은 자의 원점을 확인하는 F7과 E10 영역과 물체의 마지막 지점을 자의 눈금에 일치하는 J7과 J9 영역에 대한 안구운동이 분명하게 나타났다.

길이 측정 과제에서 물체의 길이를 정확하게 측정하지 못하는 이유는 측정의 원리를 정확하게 파악하지 못하고 있기 때문으로 정리할 수 있다. 즉, 물체의 길이 측정을 잘하기 위해서는 측정 대상의 첫 부분과 자의 원점을 잘 일치시켜야 하며, 물체의 마지막 부분과 자를 정확하게 일치시켜 눈금을 읽어야 한다(Kim, 2005).

그렇다면 학습우수아들은 어떻게 길이 측정에 성공할 수 있었을까? 이러한 물음에 답하기 위해, 길이 과제의 각 관심영역에 대한 처음 응시(0~5초 구간)와 나중 응시(15~20초 구간)를 비교하여 학생들 사고의 임계점(critical point)을 파악하고자 하였다. 이러한 시도는 Choi *et al.* (2012)의 연구에서도 시도된 적이 있다. 그들은 첫 번째로 보는 것은 이

Table 6. Overachievers' scan-path for each section & total time

Subject	0~5 second	15~20 second	Total time[ms]
P			27,505
R			29,989
T			25,181

전 경험에 의해 안내된 결과이며, 다음으로 과제에 가장 적합한 요소로 학습자들의 주의가 옮겨간다고 주장하였다.

이 연구에서 학습우수아들이 처음 응시한 것과 나중 응시한 것의 응시경로(scan pass)와 전체 문제 해결 시간은 Table 6과 같다.

Table 6을 살펴보면, 학습우수아들은 길이 과제를 해결하는데 평균적으로 약 27초의 시간이 걸렸다는 것을 알 수 있다. 학습우수아들은 처음 0~5초 동안은 관심 영역을 찾는 단계로 길이 과제의 질문, 측정, 해답 영역을 탐색하고 있는 모습이 공통적으로 나타나고 있다. 다음으로 15~20초 동안의 학생 별로 다소 차이를 나타낸다. 학습우수아 P의 경우는 측정에서 물체의 처음 위치와 자의 원점을 확인하는 단계가 나타나고, 학습우수아 R의 경우는 측정에서 물체의 처음 위치와 자의 원점을 확인하는 단계를 마치고, 물체의 마지막 지점과 자의 눈금을 정확하게 읽는 단계로 나아가고 있으며, 학습우수아 T의 경우는 물체의 마지막 지점과 자의 눈금을 정확하게 읽는 단계에 진입하고 있다.

학습우수아들이 모두 길이측정 문제의 정답을 찾을 수 있었던 요인으로 앞서 자의 원점을 확인하는 1차 사고의 임계 영역(critical section)이 있고, 물체의 마지막 지점을 자의 눈금에 일치하는 2차 사고의 임계 영역이 있었다. 따라서 학습우수아들이 측정 과제를 해결함에 있어 사고의 임계점(critical point)은 1차 임계 영역과 2차 임계 영역으로 나누어서 설명할 수 있다. Table 7을 다시 살펴보면, 학습우수아들은 측정 문제를 해결하기 위해 먼저 1차 임계점을 점검하고, 이어서 2차 임계점을 확인하는 안구운동이 이루어진다는 것을 알 수 있다. 또한 길이 과제의 1차 임계 영역에서 약 5초 동안의 안

구운동이 나타나고, 1차와 2차 임계 영역 사이에서 다시 5초가 소요되며, 마지막으로 2차 임계 영역에서 5초간 안구운동이 활성화됨을 알 수 있다.

2) 넓이 측정 과제

제시된 넓이 과제의 넓이 측정의 경우는 격자(모눈종이)를 이용하여 넓이를 계산하는 것으로, 특히 넓이를 파악하기 어려운 부분에서 작업 기억에 인지부하가 많이 걸린 것으로 예상되었다. 먼저 넓이를 파악하기 어려운 J6, J7, J8, J9, J10, J11 영역과 K6, K7, K8, K9, K10, K11 영역에 대하여 학습부진아와 학습우수아의 응시시간(fixation time)을 정량적으로 분석하여 학생들의 측정 능력을 판단하였다. 본 연구에서 넓이 측정 과제에서 관심 영역으로 설정한 부분은 Fig. 7과 같다.

넓이 측정 과제에서 관심영역인 J7, J8과 J9에 대한 학습부진아와 학습우수아의 응시시간은 Table 7과 같다.

Table 7을 살펴보면, 학습부진아들이 왜 넓이 측정에 실패하였는지에 대한 일부를 추론할 수 있다. 학습부진아들의 관심영역에 대한 응시시간은 학습우수아들의 응시시간보다 현저히 낮음을 알 수 있

Fig. 7. Area task's AOI(area of interest)

Table 7. Fixation time of area task's AOI

(Unit: ms)

AOI	Underachievers			Overachievers		
	B	F	H	P	R	T
J6+K6	0	2,801	0	800	3,935	692
J7+K7	2,516	5,272	0	7,372	11,121	5,638
J8+K8	1,117	1,102	0	2,402	6,048	5,446
J9+K9	500	1,284	0	2,452	6,189	834
J10+K10	2,684	592	0	6,940	4,438	5,722
J11+K11	1,380	0	0	1,376	216	842
Total	8,197	11,051	0	21,342	31,947	19,174

다. 즉, 학습부진아들은 넓이 측정에서 관심영역에서 충분한 인지사고가 학습우수아보다 적었다. 또한, 학습부진아들은 꼭 확인해야 할 관심영역에 대한 안구 운동이 나타나지 않았다. 예를 들어, 학습부진아 B의 경우는 관심 영역 J6과 K6에 대한 응시 시간이 없으며, 학습부진아 F의 경우는 관심 영역 J11과 K11에 대한 응시시간이 없었다. 특히, 학습부진아 H의 경우는 관심영역에 대한 응시시간이 거의 없었다. 한편, Shin and Shin(2013a, 2013b)은 과제를 해결하는 것과 관련 없는 영역에 대한 안구 운동을 나타내는 학생들이 기초학력 이하에서 많다고 보고하였는데, 학습부진아 H가 그들이 명명한 혼란 주의(aflunter attention)를 가지는 학생이었다. 이러한 학생은 넓이 과제의 곤란 정도가 높기 때문에 문제해결을 포기한 것으로 판단된다.

이 연구에서는 넓이 과제 해결에 성공한 학습우수아와 실패한 학습부진아의 원인을 추가적으로 살펴보기 위해, 학생들이 처음 응시한 것과 전체 시간에 응시한 것, 그리고 전체 문제해결 시간을 비교하

였다(Table 8). Table 8에서 전체 문제해결시간(total time)을 살펴보면, 학습부진아 B(19,764ms), F(34,523ms), H(10,969ms)와 학습우수아 P(57,524ms), R(79,038ms), T(43575ms)는 많은 차이를 드러내었다. 즉, 넓이 과제 해결에 있어서 학습우수아들은 과제에 집중하여 끝까지 문제를 해결하려고 노력하였으나 학습부진아들은 과제에 대한 집중도가 낮았다고 평가할 수 있다.

학습우수아들은 처음 0~5초 구간 동안 빠르게 관심 영역으로 진입하는 양상을 드러내었으나, 학습부진아들은 질문, 측정, 해당 영역을 탐색하는데 시간을 보내고 있었다. 즉, 학습우수아들은 빠르게 문제를 이해하고 해결하기 위한 하향적 주의 전략을 나타내었지만, 학습부진아들은 상향적 주의 전략을 나타내었다. 그리고 전체 구간 동안에 학습우수아들은 관심영역에 대한 안구 운동이 빈번하게 나타났으나, 학습부진아들은 전체 시간 동안에 관심 영역에 대한 안구 운동이 상대적으로 적거나, 일부 관심영역에 대한 안구운동이 나타나지 않았다. 즉, 학

Table 8. Area task's scan-path for each section & total time

Subject	0~5 second	0~task solution time	Total time[ms]
B			19,764
F			34,523
H			10,969

Table 8. Continued

Subject	0~5 second	0~task solution time	Total time[ms]
P	<p>9. 과수원의 모양이 다른 그림과 같다. 과수원의 넓이를 찾는 방법을 말하십시오.</p> <p>① 12㎡ ② 36㎡ ③ 17㎡ ④ 20㎡</p>	<p>9. 과수원의 모양이 다른 그림과 같다. 과수원의 넓이를 찾는 방법을 말하십시오.</p> <p>① 12㎡ ② 36㎡ ③ 17㎡ ④ 20㎡</p>	57,524
Over-achievers R	<p>9. 과수원의 모양이 다른 그림과 같다. 과수원의 넓이를 찾는 방법을 말하십시오.</p> <p>① 12㎡ ② 36㎡ ③ 17㎡ ④ 20㎡</p>	<p>9. 과수원의 모양이 다른 그림과 같다. 과수원의 넓이를 찾는 방법을 말하십시오.</p> <p>① 12㎡ ② 36㎡ ③ 17㎡ ④ 20㎡</p>	79,038
T	<p>9. 과수원의 모양이 다른 그림과 같다. 과수원의 넓이를 찾는 방법을 말하십시오.</p> <p>① 12㎡ ② 36㎡ ③ 17㎡ ④ 20㎡</p>	<p>9. 과수원의 모양이 다른 그림과 같다. 과수원의 넓이를 찾는 방법을 말하십시오.</p> <p>① 12㎡ ② 36㎡ ③ 17㎡ ④ 20㎡</p>	43,575

습우수아들은 관심영역에 대한 안구운동을 통한 인지적 사고가 충분히 이루어졌지만, 학습부진아들은 관심영역을 충분히 살피는 안구운동이 적으므로 인지적 사고가 충분히 이루어질 수 없었다. 이는 넓이 과제가 길이 과제보다 측정요소에 대한 측정이 많이 필요한 것은 아니었지만, 상대적으로 정보의 복잡성이 높아서 작업 기억에 인지적 부담이 많기 가중되었기 때문으로 판단된다.

결국 학습부진아들의 넓이 과제에서의 실패 요인은 관심영역을 모두 살피지 않는 것과 시각적인 정보의 복잡성에 따라 인지적 부담이 가중되어 문제해결을 포기한 것으로 요약할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 초등학생들이 길이 측정 과제와 넓이 측정 과제를 해결하는 동안의 안구운동을 분석하여, 학습부진아와 학습우수아들의 시각정보에 따른 응시경로와 관심영역을 분석하였다. 연구 결

론은 다음과 같다.

첫째, 학습부진아와 학습우수아들은 과제 해결 과정에서 집단별로 공통적인 응시경로와 문제해결 전략을 나타내지 않았다. 또한 학습우수아들이 어떤 문제해결 과정과 전략 때문에 측정과제 해결에 성공했는지를 판단할 수 있는 표준 지침 경로를 얻을 수 없었다. 따라서 측정 문제를 해결하는데 있어서 특정 전략의 사용은 정답을 찾는 것과는 관련성이 낮다.

둘째, 길이 측정 과제에서 학습부진아들은 학습우수아들에 비해 물체의 처음 지점과 자의 원점을 확인하려는 관심영역에 대한 응시시간이 없거나 응시시간이 적었고, 물체의 마지막 지점과 그에 해당하는 자의 눈금을 정확하게 확인하는 관심영역에 대한 응시시간이 없거나 응시시간이 적었다. 넓이 측정 과제에서 학습부진아들은 학습우수아들에 비해 관심영역에 대한 응시시간이 현저히 낮았고, 관심영역에 대한 안구운동이 전혀 없거나 일부만을 살폈다.

따라서 학습부진아들이 측정 과제를 해결하는데 실패한 원인은 측정 능력이 부족하거나, 중요한 관심영역에 대한 안구 운동을 통한 인지적 사고가 충분하지 못하기 때문이었다. 반대로 학습우수아들이 측정 과제를 해결하는데 성공한 원동력은 측정의 원리를 충분히 이해하고 있으며, 과제 해결을 위한 중요한 관심영역에 충분한 안구운동을 통한 인지적 사고가 있었기 때문이라고 평가할 수 있다.

이 연구의 결과는 측정 과제 해결의 성공은 측정 원리를 정확하게 이해하고, 중요한 관심영역에 대한 충분한 안구운동을 통한 인지적 사고가 뒷받침이 되어야 한다는 것을 보여준다. 이것은 과학교육의 실제에서 과학적 측정지도와 측정능력 향상을 위한 교수-학습 전략 수립과 평가의 측면에서 다음과 같은 시사점을 준다.

첫째, 과학적 측정지도에서 측정의 원리를 주의 집중 전략으로 개발하여 단계적으로 지도할 필요성이 있다. 예를 들어, 길이 측정지도에서는 물체의 처음 지점과 자의 원점을 꼭 확인하도록 하는 안내가 필요하며, 이어서 물체의 마지막 지점과 그에 해당하는 자의 눈금을 정확하게 확인하도록 지도하여야 한다. 이를 위해 과학 교과 과정에 필요한 측정 지도를 단계별로 많이 학습할 수 있도록 반영할 필요가 있다.

둘째, 측정능력의 향상을 위해 학습자에게 요구되는 인지적 부담이 적은 측정 과제부터 인지적 부담이 많은 측정과제를 점진적으로 학습하도록 하는 교수-학습 전략이 필요하다. 예를 들어, 이 연구에서 밝혀진 것처럼 인지적 부담이 많은 측정과제에서 쉽게 포기하는 학생들이 있으므로 그들이 부족한 사고를 점진적으로 향상시킬 수 있도록 교수-학습 전략이 계획되어야 한다.

참고문헌

Choi, H. D. & Shin, D. H. (2012). Eye-tracking on in-service elementary teachers' interpreting of science textbook tables. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(3), 358-371.

Choi, H. D., Shin, W. & Shin, D. H. (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.

Coelho, S. & Séré, M-G. (1998). Pupil's reasoning and practice during hands-on activities in the measurement phase. *Research in Science & Technological Education*, 16(1), 79-96.

Hackling, M. W. & Garnett, P. J. (1995). The development of expertise in science investigation skills. *Australian Science Teachers Journal*, 41(4), 80-86.

Holmes & Neal, J. (1991). Teach measurement in elementary school science. Washington, DC: NSTA.

Holmqvist, K., Nyström, M., Anderson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & van de Weijer, J. (2011). Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. Oxford University Press. pp. 9-144.

Hong, M. (2002). An analysis of Korean middle school students' achievement of scientific inquiry and the nature of science in TIMSS-R. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 22(2), 336-344.

Jones, N. A. & Fox, N. A. (1992). Electroencephalogram asymmetry during emotionally evocative films and its relation to positive and negative affectivity. *Brain Cognition*, 20(2), 280-299.

Jung, G. & Kim, B. (1997). Performance assessment of elementary school children's measuring skills. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 17(2), 127-137.

Kim, H. (2005). Assessment of measuring ability and analysis of confidence about measuring result in elementary school high graders. Korea National University of Education Master degree thesis.

Kim, K., Choi, K. & Park, G. (2011). Effective research of game user interface through eye movement. *Journal of the Korean Society of Basic Design & Art*, 12(5), 57-63.

Kim, S. (2000). The effect of observation · classification · measurement training elementary school students' science process skills and attitude. Korea National University of Education Master degree thesis.

Kim, Y. J. & Lee, J. (2011). An analysis of brain functional differences between the gifted and non-gifted. *The Korean Journal of Educational Psychology*, 25(1), 111-130.

Kwon, J. & Kim, B. (1994). The development of an instrument for the measurement of science process skills of the Korean elementary and middle school students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 14(3), 251-264.

- Lee, M. (2009). Selective attention concentration artificial vision system [선택적 주의집중 인공시각 시스템]. *Magazine of the IEEK*, 36(11), 52-65.
- Lee, S., Lee, H. & Shin, M. (2011). Exploring the virtual advertising effects using eye tracking. *The Korean Journal of Advertising*, 22(5), 99-125.
- 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.
- Lubben, F. & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18(8), 791-806.
- Ministry of Education, Science and Technology (2011). Elementary guidebook for teacher Science Textbook 6-1, Seoul: Kumsung publishing company.
- Müller, H. J. & Krummenacher, J. (2006). Visual search and selective attention. *Visual Cognition*, 14(4/5/ 6/7/8), 389-410.
- PSSC (1996). Physical science study committee physics, USA[PSSC 물리, 탐구당]. pp. 189-198.
- Shin, D. H. & Choi, H. (2012) Differences in eye movement between elementary school teachers and students during understanding textbook illustrations. *Biology Education*, 41(2), 198-210.
- Shin, W. & Shin, D. H. (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. H. (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. H. (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.
- Yang, I. H. & Kim, H. (2004). Analysis of elementary students' confidence about measuring results. *Science Education Research Institute Korea National University of Education* [과학교육논문집], 14(1), 149-169.
- Yang, I., Song, J., Lim, S. & Lim, J. (2008). An analysis on elementary students' measuring abilities by using a microgenetic method. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 27(4), 341-355.
- Yang, S. & Cho, I. (2001). A study of correlations among measurement abilities, mathematical concept and problem-solving abilities on young children. *The Journal of Korea Open Association for Early Childhood Education*, 5(3), 103-122.
- Yoon, H. (2000). An analysis on the measurement sense of the elementary students. Korea National University of Education Master degree thesis.