

우리나라 대학생들의 운동학 그래프 이해 능력

김태선

노스캐롤라이나주립대학교

Testing undergraduate interpretation of kinematics graphs

Kim, Tae Sun

North Carolina State University

Abstract: Line graphs are powerful tools in conveying complicated relationships and ideas because they show the relationship that exists between two continuous variables. Also, they can show readers the variations in variables and correlate two variables in a two dimensional space, and therefore, line graphs have a significant role in physics, especially kinematics. One of the purposes of the Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K) was to uncover student problems with interpreting kinematics. The TUG-K was given to Korean college students in 2004. To what extent are Korean college students able to understand such important line graphs? Analysis of the results of the TUG-K showed in which objectives students' strengths and weaknesses are found. This study investigates Korean college students' interpretation skills of kinematics graphs and the results of the study will be used to help instructors teach kinematics graphs more effectively.

Key words: kinematics graphs, korean undergraduate student, graphing interpretation

I. 서론

물리학을 배우는 학생들이 운동학을 다루는 수업에서 무엇을 배우는가 알아보기 위한 많은 노력이 있어왔다(Brasell, 1987a; Brasell, 1987b; Wavering, 1989; Beichner, 1990; Brasell & Rowe, 1993; Beichner, 1994). 물리학 중 왜 이 운동학 영역을 다른 영역보다 더 관심을 갖는가에 대한 이유가 명백하지는 않지만, 다른 개념의 기반이 되는 중요성을 지니고 있다고 주로 인식되어 왔다(Beichner, 1994). 또한 MBL (Microcomputer-Based Laboratory)이 시작되면서 운동학 개념을 가르치는 방식을 변화시킬 수 있는 가능성이 열렸기 때문이라고 볼 수도 있다(Mokros & Tinker, 1987; Linn & Layman, 1987; Brasell, 1990; Beichner, 1994). 그동안 운동학 그래프에 관한 학생들의 오개념을 찾는 연구들(Shaw, Padilla & McKenzie, 1983; Barclay, 1986; Shultz, Clement & Mokros, 1986; Linn & Layman, 1987; 문충식·김범기, 1999)은 많았지만, 우리나라 대학생들의 운동학 그래프 해석 능력을 검사하는 연구는 거의 없는 실정이다.

반면, 물리학자나 물리교육자들에게 거의 언어처럼

사용되는 그래프를 학생들이 제대로 이용하지 못하고 있다고 알려지고 있다(McDermott & van Zee 1987; Mokros & Tinker, 1987; Beichner, 1994). 그래프를 작성하고 해석할 줄 아는 능력은 매우 중요한데 그 이유는 과학에서 실험이 필수적인 부분이기 때문이며 (McKenzie & Padilla, 1986), 또한 동일한 자료를 지닌 표로는 쉽게 알아차릴 수 없는 경향을 볼 수 있도록 해주기 때문이다(Mokros & Tinker, 1987). 더욱이 우리나라 대학 입시에서도 그래프 해석과 관련된 자료해석 문항이 자주 출제되고 있다(권성기, 1997).

따라서 본 연구에서는 Beichner가 개발한 TUG-K (The Test of Understand Graphs in Kinematics)를 이용하여 우리나라 대학생들의 운동학 그래프 이해 능력을 조사하여, 그래프를 이용한 운동학 학습에 효과적인 지침으로 삼고자 한다.

II. 연구방법 및 절차

1. 검사도구

본 연구의 검사도구인 TUG-K는 Beichner가 그동안 연구된 많은 그래프 관련 오개념을 파악한 후, 요

*교신저자: 김태선(scienceeducation@hanmail.net)

**2005.6.15(접수) 2005.10.24(1심통과) 2005.12.5(2심통과) 2005.12.12(최종통과)

Table 1
Objectives and No. of items of the TUG-K

Given	The student will	No. of items
1. Position-time graph	Determine velocity	5, 13, 17
2. Velocity-time graph	Determine acceleration	2, 6, 7
3. Velocity-time graph	Determine displacement	4, 20, 18
4. Acceleration-time graph	Determine change in velocity	1, 10, 16
5. A kinematics graph	Select another corresponding graph	11, 14, 15
6. A kinematics graph	Select textual description	3, 8, 21
7. Textual motion description	Select corresponding graph	9, 12, 19

구되는 인지적 처리 수준을 고려하여 개발한 21개의 선다형 검사지이다. TUG-K는 중·고등학생과 대학생의 운동학 그래프 해석 능력을 측정하기 위하여 다음 Table 1과 같은 7가지 목표 기능으로 이루어져있다. 또한 인지적 처리 수준에 관하여 Aubrecht와 Aubrecht (1983)가 분류한 목표 분류 방법을 사용하였다. TUG-K의 특징은 다음 Table 2와 같다.

Table 2
Characteristics of the TUG-K

Focusing : only graph interpretation objectives
Number of items : 21(3 items for each objective)
Response Format : Multiple choice, five alternatives
KR-20 : .83
Item discrimination index : .36

2. 연구대상

본 연구는 대학생들의 운동학 그래프 해석 능력을 알아보기 위한 연구로서, 연구대상은 광역시 종합대학 1학년부터 4학년까지의 학생들이다. 이 학생들은 물

리, 화학, 생물이나 지구과학교육을 전공하고 있었으며, 일반물리 수업 등을 통하여 운동학 수업을 수강하고 있거나 이미 수강한 학생들이다. 본 연구의 대상학생들에 관한 자료가 Table 3으로 주어진다.

Table 3
Numbers of subjects by grade

	Grade				Total
	Freshman	Sophomore	Junior	Senior	
Subjects	61	57	34	28	180

III. 결과 및 논의

우리나라 대학생들의 운동학 그래프 해석 능력을 알아보고자 총 180명의 광역시 대학생들을 학년에 따라 조사한 결과는 다음 Table 4와 같다. 투입된 검사지의 신뢰도는 0.75(α값)이며, 학년에 따라 통계적으로 유의미한 차이는 없었다.

따라서 운동학 그래프 해석능력의 7가지 목표 기능별 학생들의 성취도를 알아보고, 각 문항별 학생들의 응답 특성을 분석하였다.

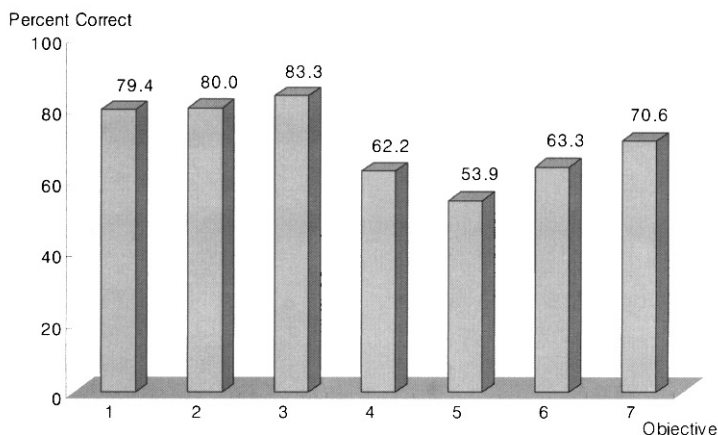


Fig. 1 Percent correct by the objectives of the TUG-K

Table 4
Mean and standard deviation by grade

	Grade				Total
	Freshman	Sophomore	Junior	Senior	
Mean	18.56	18.65	17.94	17.75	18.34
SD	2.44	2.81	2.55	3.31	2.73

Perfect score is 21

1. 목표 기능별 학생들의 해석 능력

주어진 7가지 목표 기능별(Table 1) 학생들의 정답률을 비교한 결과가 Fig. 1로 주어진다. 학생들은 속도-시간 그래프가 주어졌을 때 변위를 결정하는 목표(목표 3)에서 가장 높은 정답률을 얻었으며, 임의의 운동학 그래프가 주어졌을 때(예를 들어 변위-시간 그래프), 이에 대응되는 다른 그래프(예를 들어 속도-시간 그래프나 가속도-시간 그래프)를 찾는 기능(목표 5)이 가장 낮은 정답률을 보이고 있다. 전반적으로 볼 때 학생들은 위치-시간 그래프가 주어지고 속도를 결정하거나(목표 1) 속도-시간 그래프가 주어지고 가속도(목표2)나 변위(목표3)를 결정하는 목표 기능에서는 비교적 다른 목표 기능들에 비하여 높은 정답률을 보였다. 반면, 가속도-시간 그래프가 주어지고 속도의 변화를 결정하는 목표 기능(목표4), 임의의 운동학 그래프가 주어졌을 때 대응되는 운동학 그래프를 선택하거나(목표5) 바르게 그래프를 설명하는 지문을 선택하는 기능(목표6)에서 다른 기능들보다 비교적 낮은 정답률을 보였다.

한편, Beichner(1994)가 미국 고등학생과 대학생을 대상으로 하여 조사한 운동학 그래프 이해능력에 관한 연구에 의하면, 미국 학생들은 가속도-시간 그래프가 주어질 때 속도의 변화를 결정하는 기능(목표 4)에서 가장 낮은 점수를 보였으며, 위치-시간 그래프가 주어질 때 속도를 결정하는 기능(목표 1)에서 가장 높은 점수를 보였다.

따라서 우리나라 대학생들은 Fig. 1에 의하면 미국 학생들과 달리 임의의 운동학 그래프를 설명하는 지문과 매치하거나 대응되는 다른 그래프로 변환하는 기능이 다른 기능들보다 부족함을 알 수 있다.

2. 각 목표문항별 학생들의 응답 특성

7가지 목표 기능에 해당하는 각 문항에 대하여 학생들의 응답을 분석한 전반적인 결과가 Table 5로 주어진다. Table 5에서 굵게 표시된 숫자는 정답을 의미한다. 문항별로 학생들의 응답을 비교한 Table 5에 따르면 학생들의 정답률이 가장 낮은 문항은 15번(정

답률 66.5%)으로 임의의 운동학 그래프가 주어졌을 때 대응되는 운동학 그래프를 선택하는 목표 5에 해당하는 문항이다. 또한 다른 문항들과 비교하여 정답률이 낮은 문항들은 73.2 %의 정답률을 보인 문항 1(목표4)과 75.0%의 정답률을 보인 문항 9(목표 7)이다.

Table 5
Percentages of students selecting a particular choice for each test item. The correct answers are boldface

Objective	Item	Student's response(%)				
		A	B	C	D	E
1	5	0.6	0.6	96.7	2.2	0.0
	13	0.6	0.6	5.6	91.1	2.2
	17	88.2	7.9	1.1	1.7	1.1
2	2	0.0	2.8	1.1	0.6	95.6
	6	8.3	90.0	1.1	0.6	0.0
3	7	92.2	5.0	2.2	0.6	0.0
	4	0.6	0.0	1.1	88.3	10.1
	18	0.6	95.5	1.4	2.0	0.6
4	20	0.6	0.0	1.1	0.0	98.3
	1	6.1	73.2	0.0	19.6	1.1
	10	79.4	0.6	17.2	2.2	0.6
5	16	0.6	7.3	5.6	85.5	1.1
	11	0.0	18.3	1.1	78.9	1.7
	14	0.6	99.4	0.6	0.0	0.0
6	15	66.5	1.1	0.0	2.2	30.2
	3	0.0	0.0	1.1	98.9	0.0
	8	1.7	10.6	7.2	80.0	0.6
7	21	79.8	20.2	0.0	0.0	0.0
	9	10.0	2.8	11.1	1.1	75.0
	12	0.6	97.8	1.1	0.0	0.6
	19	2.2	0.0	92.7	1.7	3.4

각 목표에 따라 학생들이 응답한 비율을 해당 문항에 비추어서 살펴보고자 한다. 각 목표에 해당하는 문항들 중에서 학생들의 정답률이 가장 적은 문항들을 샘플로 선정하여 살펴본 결과는 다음과 같다.

1) 위치-시간 그래프에서 속도 찾기(목표 1)

위치-시간 그래프가 주어질 때 속도를 파악할 수 있는지에 관한 기능을 분석한 결과가 Fig. 2로 주어진다. Fig. 2는 이 목표 기능에 속하는 문항 17번으로 학생들의 응답률도 같이 표시되어있다. 많은 학생들이 바르게 정답을 찾고 음의 방향임을 알고 있으나 몇몇 학생들이 기울기 값을 바르게 찾지 못하였음을 알 수 있다.

17 The velocity at the 3 second point is about:

- (A) -3.3 m/s
- (B) -2.0 m/s
- (C) -.67 m/s
- (D) 5.0 m/s
- (E) 7.0 m/s

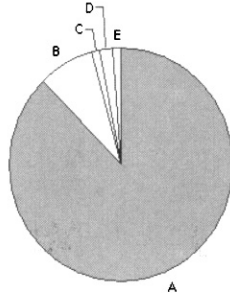
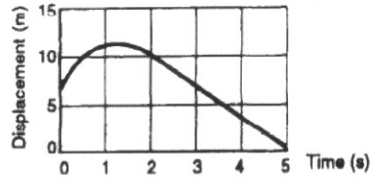


Fig. 2 Response to Item 17

2) 속도-시간 그래프에서 가속도 찾기(목표2)

Fig. 3은 속도-시간 그래프에서 가속도를 찾는 문항들 중의 하나이다. 이 목표 기능은 종속변인만 다를 뿐 위치-시간 그래프에서 속도를 찾는 기능과 유사하다. 학생들이 응답한 정답률을 비교하여 볼 때 Fig. 2의 정답률과 Fig. 3의 정답률이 유사함을 볼 수 있다. 특히 각 목표에 따라 비교한 Fig. 1을 보면 두 목표 기능의 정답률이 거의 같음을 알 수 있다.

3) 속도-시간 그래프에서 변위 찾기(목표 3)

Fig. 4는 속도-시간 그래프에서 변위를 찾는 목표에 해당하는 문항 4와 학생들의 응답률을 보여준다.

문항 4에 대한 학생들의 응답률을 보면 대부분의 학생들이 바르게 응답하였으나 몇몇 학생들이 속도-시간 그래프로부터 변위를 찾는데 단지 속도와 시간을 곱하여 그 값을 선택하였음을 알 수 있다. 그러나 Fig. 1의 결과와 같이 그 결과를 비교하여 볼 때 대체로 목표 3 기능에 가장 바르게 응답하고 있음을 알 수 있다.

4) 가속도-시간 그래프에서 속도 변화 찾기(목표 4)

속도-시간 그래프에서 속도 변화를 찾는 목표의 경우, 다른 문항들과 비교하여 볼 때 바르게 응답한 비율이 세 문항 모두에서 적음을 알 수 있다. 특히 Fig.

6 This graph shows velocity as a function of time for a car of mass 1.5×10^3 kg. What was the acceleration at the end of 90 s ?

- (A) 0.22 m/s²
- (B) 0.33 m/s²
- (C) 1.0 m/s²
- (D) 9.8 m/s²
- (E) 20 m/s²

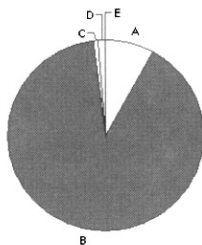
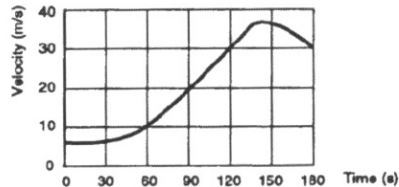


Fig. 3 Response to Item 6

4 An elevator moves from the basement to the tenth floor of a building. The mass of the elevator is 1000 kg and it moves as shown in the velocity-time graph below. How far does it move during the first three seconds of motion?

- (A) 0.75 m
- (B) 1.33 m
- (C) 4.0 m
- (D) 6.0 m
- (E) 12.0 m

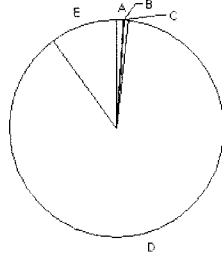
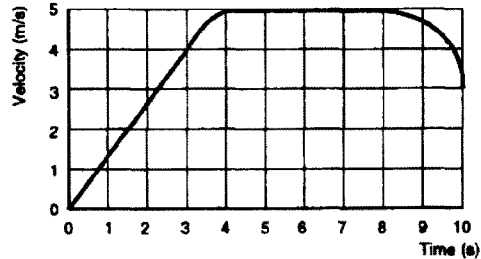


Fig. 4 Response to Item 4

5로 주어진 문항 1번의 경우 학생들의 응답률을 보면 약 20%에 해당하는 학생들이 답지 D로 오도되었음을 알 수 있다.

이 목표 기능은 속도-시간 그래프에서 변위를 찾는 목표와 종속 변인이 다를 뿐 유사한 기능에 관하여 묻고 있다. 그러나 앞에서 보았던 목표 1과 목표 2의 관계와 달리, 학생들은 목표 3만큼 좋은 정답률을 보여주지 못하고 있다.

5) 대응되는 운동학 그래프 찾기(목표 5)

Fig. 6은 대응되는 운동학 그래프를 찾는 목표 기능에 속하는 문항 15와 그에 대한 학생들의 응답률을 보여준다. 약 30%의 학생들이 정답 A 대신 E를 선택

했음을 알 수 있다. Fig. 6을 보면 답지 E의 경우 4초와 5초 사이에 일어나는 변화가 주어진 가속도-시간 그래프와 다르다. 많은 학생들이 임의의 운동학 그래프를 대응되는 다른 그래프로 변환할 때 스케일에 주목하지 못하였음을 보여주고 있다.

6) 대응되는 바른 서술문 찾기(목표 6)

Fig. 7은 임의의 운동학 그래프가 주어질 때 이 그래프를 바르게 설명하는 서술문을 찾는 목표 기능에 속하는 문항과 학생들의 응답률을 보여준다. 약 20%의 학생들이 답지 B로 오도되었다. Fig. 7에서 볼 수 있는 이러한 경향은 속도-시간 그래프를 보고 서술문을 찾을 때 종속변인인 속도를 가속도와 동일하게 생

1 Acceleration versus time graphs for five objects are shown below. All axes have the same scale. Which object had the greatest change in velocity during the interval?

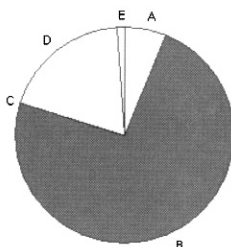
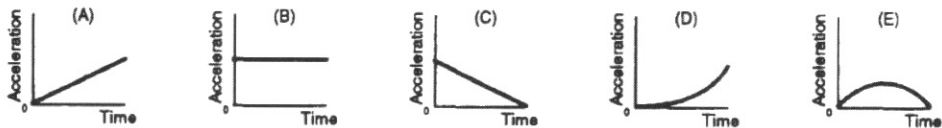


Fig. 5 Response to Item 1

15 The following represents an acceleration graph for an object during a 5 s time interval.



Which one of the following graphs of velocity versus time would best represent the object's motion during the same time interval?

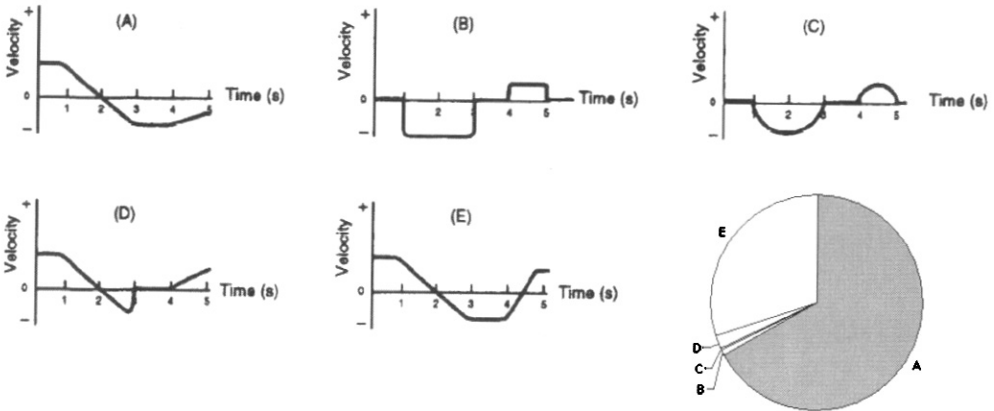


Fig. 6 Response to Item 15

각하는 오개념에서 기인한 것이다. 그래프 해석에서 나타나는 이러한 오개념에 대한 연구는 많은 연구자들에 의하여 연구된 결과와 일치한다(Shaw 등 1983; Barclay, 1986; Shultz 등 1986; Linn & Layman, 1987; 문충식·김범기, 1999)

7) 주어진 서술문에 대응되는 그래프 찾기(목표 7)

Fig. 8은 물체의 운동에 대한 설명을 읽고 대응되는 그래프를 찾는 목표 기능을 알아보는 항목을 나타

내고 있다. 이 문항에 대한 학생들의 응답률을 보면 약 10%의 학생들이 답지 A를, 약 11%의 학생들이 답지 C를 선택하였음을 알 수 있다. 학생들이 주어진 서술문을 읽고 물체가 운동하는 상황을 표현한 그래프를 찾는 기능이 높은 편이 아님을 알 수 있다. Fig. 8의 경우 주어진 서술문은 가속도에 대한 것이다. 반면 답지로 주어진 그래프는 위치-시간 그래프이다. 위치-시간 그래프로부터 속도를 찾거나(목표 1), 속도-시간 그래프로부터 가속도를 찾는(목표 2) 경우와 달리

21 To the right is a graph of an object's motion. Which sentence is the best interpretation?

- (A) The object is moving with a constant acceleration.
- (B) The object is moving with a uniformly decreasing acceleration.
- (C) The object is moving with a uniformly increasing velocity.
- (D) The object is moving at a constant velocity.
- (E) The object does not move.

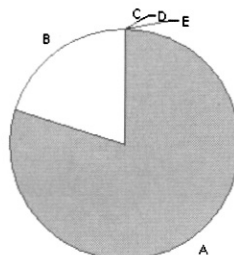


Fig. 7 Response to Item 21

9 An object starts from rest and undergoes a positive, constant acceleration for ten seconds. It then continues on with constant velocity. Which of the following graphs correctly describes this situation?

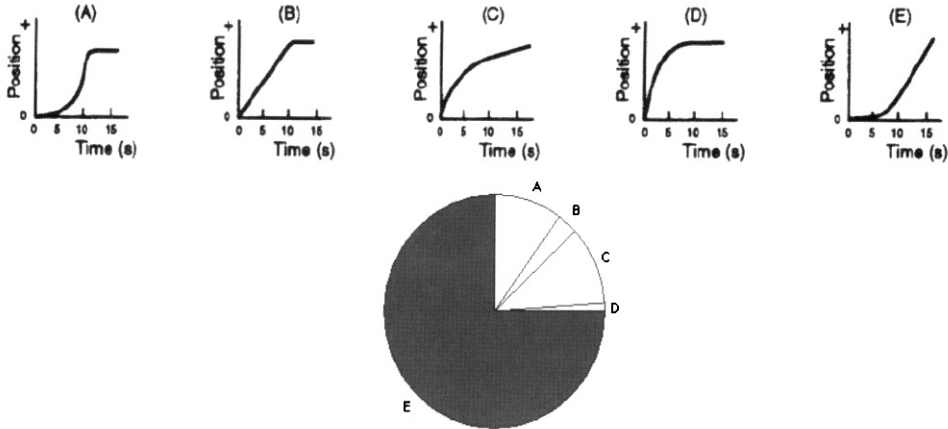


Fig. 8 Response to Item 9

가속도에 대한 서술문으로부터 위치-시간 그래프를 찾는 기능에서는 어려움을 겪고 있음을 알 수 있다.

V. 결론 및 제언

운동학 그래프에 관한 학생들의 오개념을 찾는 연구들이 그동안 많이 수행되었다. 그 후 이러한 운동학 그래프 관련 오개념을 고려하여 학생들이 운동학 그래프를 어느 정도 이해하고 있는지 알아볼 수 있는 운동학 그래프 해석 능력 검사 도구가 Beichner에 의하여 개발되었다. Beichner가 TUG-K를 개발한 목적은 두 가지로, 하나는 운동학 그래프를 해석하는데 나타난 학생들의 문제점을, 운동학 그래프 관련 연구에서 보고된 오개념과 관련하여 분석하는 것이며, 다른 하나는 진단도구로 사용될 수 있는 선다형 검사지를 개발하는데 있었다. 약 900명의 고등학교 및 대학생들로부터 얻은 자료들을 토대로 하여 표준화 검사지로 개발되었다(Beichner, 1994). 따라서 Beichner의 운동학 그래프 해석 능력 검사 도구를 사용하여 우리나라 대학생들의 운동학 그래프 해석 능력이 어느 정도인지 조사하였다.

운동학 그래프 해석 능력을 총 7가지 하위 목표 기능으로 나누어 분석한 결과, 학생들은 속도-시간 그래프가 주어졌을 때 변위를 결정하도록 하는 기능에서 가장 높은 정답률을 얻었으며, 임의의 운동학 그래프가 주어졌을 때, 이에 대응되는 다른 그래프를 찾는 기능에서 가장 낮은 정답률을 보였다.

위치-시간 그래프가 주어지고 속도를 결정하거나 속도-시간 그래프가 주어지고 가속도나 변위를 결정하

는 기능은 비교적 다른 기능들보다 높은 정답률을 보였다. 반면, 가속도-시간 그래프가 주어지고 속도의 변화를 결정하는 기능, 임의의 운동학 그래프가 주어졌을 때 대응되는 운동학 그래프를 선택하거나 바르게 그래프를 설명하는 지문을 선택하는 기능에서 다른 기능들보다 비교적 낮은 정답률을 보였다.

따라서 우리나라 대학생들은 임의의 운동학 그래프를 설명하는 지문과 매치되거나 대응되는 다른 그래프로 변환하는 기능이 다른 기능들보다 부족함을 알 수 있다. 즉, 그래프를 통하여 운동학을 가르치는 경우, 그래프의 기술이나 면적과 관련된 미적분의 기능을 사용하여 그래프를 해석하는 상황에서는, 비교적 운동학 그래프를 잘 해석하였으나, 하나의 주어진 운동학 그래프를 다른 그래프와 연결하거나 기술된 다른 설명문과 연결하는 상황에서는, 비교적 어려움을 느끼고 있음을 알 수 있다.

이러한 어려움은 지금까지 운동학 그래프에서 학생들이 겪는 어려움이나 오개념을 넘어서는 기능 요소에 대한 학습이 필요함을 제시한다. 또한 교사가 학생들에게 가르칠 때 칠판이나 지면에 그리는 그래프 공간이 학생들이 그 그래프를 보면서 마음속에 그리는 그래프 공간과 다를 수도 있음을 인식하여야 할 것이다. 여기서 그래프 공간이란, 그림이나 사진과 같이 학습자가 일상 경험을 통해 알고 있는 일상 공간과 구별되는 것으로, 그래프는 이차원 지면 내에 새로운 공간을 창조한다(Roth 등, 1999; Roth 등, 1999b; Bertin, 1983). 즉 다시 말해서 지면에 그려진 속도-시간 그래프 공간을 보면서 거리-시간 그래프 공간으로 인식하는 경우(목표1과 목표2), 가속도-시간 그래

프 공간을 속도-시간 그래프 공간으로 인식하는 경우(목표3과 목표4)로 인한 오도요인들로부터 그 근거를 찾을 수 있다.

이러한 여러 가지 사실들은 그래프 해석을 탐구과정의 한 요소인 자료해석의 차원에서만 볼 것이 아니라, 정보 전달의 도구, 정신적 표상의 도구로서 그래픽(graphics)의 한 요소로서 보아야할 필요가 있음을 시사해준다.

국문 요약

그래프는 물리학자들이나 물리교육자들에게는 좋은 의사소통 도구가 되며, 실험세계를 그래프로 보여줄 수 있는 정보전달의 기능을 수행하는 것으로 여겨졌다. 따라서 그래프를 작성하고 해석할 줄 아는 능력은 매우 중요하다. 본 연구에서는 운동학 그래프 해석 능력 검사 도구를 이용하여 우리나라 광역시 180명 대학생들의 운동학 그래프 이해 능력을 조사하였다.

우리나라 대학생들은 위치-시간 그래프에서 속도를 결정하거나, 속도-시간 그래프에서 가속도나 변위를 결정하는 기능에서 높은 정답률을 보였으며, 위치-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 변환하거나 가속도-시간 그래프로 변환하는 기능에서 가장 낮은 정답률을 보였다. 또한 그래프와 관련된 지문을 연결하는 기능도 다른 기능들에 비하여 비교적 낮은 정답률을 보였다.

참고 문헌

- 권성기 (1987). 대학생의 운동학 그래프 작성에 대한 역학 개념의 효과. 한국과학교육학회지, 17(4), 383-393.
- 김태선 (1998). 고등학생들의 과학 관련 그래프 해석 능력. 한국교원대학교 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 발성사고 과정 분석. 한국과학교육학회지, 25(2).
- 김태선, 배덕진, 김범기 (2002). 중학생의 그래프 능력과 논리적 사고력 및 과학 탐구 능력의 관계. 한국과학교육학회지, 22(4), 725-739.
- 문충식, 김범기 (1998). 선 그래프 해석과 이해의 지각·인지 과정에 관한 모형-힘과 운동 관련 선 그래프를 중심으로. 물리교육, 16(2), 72-82.
- Aubrecht G. U., & Aubrecht, U. (1983). Constructing objective tests. American Journal of Physics, 51, 613-620.
- Barclay, W. L. (1986). Graphing misconceptions and possible remedies using microcomputer-based labs. Paper presented at the 1986 National Educational Computing Conference, San Diego, CA.
- Beichner, R. J. (1990). The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. Journal of Research in Science Teaching, 27(8), 803-815
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. American Journal of Physics, 62(8), 750-762
- Bertin, J. (1983). Semiology of graphics: diagrams, networks, maps (W.J. Berg, Trans.). Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Brasell, H. M. (1987). Effectiveness of a microcomputer-based laboratory in learning distance and velocity graphs. Doctoral dissertation, University of Florida.
- Brasell, H. M. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. Journal of research in Science Teaching, 24(4), 385-395.
- Brasell, H. M. (1990). Graphs, Graphing, and Graphers. In M. B. Rowe(Ed.), What Research Says to the Science Teacher, 6, 69-85. Washington, D.C: National Science Teachers Association.
- Brasell, H. M., & Rowe, M. B. (1993). Graphing skills among high school physics students. School Science and Mathematics, 93(2), 63-70.
- Fisher, M. A. (1992). Categorization, or schema selection in graph comprehension. A Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA.
- Kim, T., & Kim, B. (2005). Analysis of interpretation processes through readers' thinking aloud in science-related line graphs. Journal of Korean Association of Science Education, 25(2).
- Kim, T., & Beichner, R. J. (2005). Cognitive processes in interpretation of kinematics graphs. Paper presented at the American Association of Physics Teachers (130th).
- Kim, Tae Sun & Kim, Beom-Ki. (2002). Posing students cognitive processes for the line graph. An oral presented at the American Association of Physics Teachers(125th).
- Kim, Tae Sun & Kim, Beom-Ki. (2005). Number and type of spontaneous sentences as high-school students interpret line graphs representing physics information. Journal of the Korean Physical Society 47(6).
- Kim, Tae Sun & Kim, Beom-Ki. (2002). Secondary students cognitive processes for the line graph from graph

components. Paper presented at the Physics Education Research of American Association of Physics Teachers(125th).

Kim, Tae Sun, Kim, Eun-Mi, & Kim, Beom-Ki. (2002). Students' reading order and viewing time in the line graph. Proceedings of selected research papers presented at the International Conference on Physics Education in Cultural Contexts.

Kim, Tae Sun, Jina, & Kim, Beom-Ki. (2005). Interpretation abilities of american and korean students in kinematics graphs. *Journal of Korean Association of Science Education*, 25(6), 671-677.

Linn, M. C., & Layman, J. W. (1987). Cognitive consequences of microcomputer-based laboratories: Graphing skills development. *Contemporary Educational Psychology* 12, 244-253.

Lohse, G. L. (1993). A cognitive model for understanding graphical perception. *Human - Computer Interaction* 8, 353-388.

McDermott, L. C., & van Zee, E. H. (1987). Investigation of student difficulties with graphical representations in physics. Paper presented at the Second International Seminar in Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Ithaca, NY.

McKenzie, D. L., & Padilla, M. J. (1986). The construction and validation of the test of graphing in science (TOGS). *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 571-580.

Mokros, J. R., & Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputer - based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4),

369-383.

Pinker, S. (1983). Pattern Perception and the Comprehension of Graphs, National Institute of Education Rept. 1-46.

Pinker, S. (1991). Rules of language. *Science*, 253, 530-535.

Roth, W.-M., Bowen, G. M, & McGinn, M. K. (1999). Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 977-1019.

Roth, W.-M., & Bowen, G. M. (1999b). Digitising lizards or the topology of vision in ecological fieldwork. *Social Studies of Science*, 29.

Schnotz, W., & Kulhary, R. W. (1994) Comprehension of Graphics. North-Holland Elsevier Science B. V. The Netherlands.

Schultz, K., Clement, J., & Mokros, J. (1986). Adolescents' graphing skills: A descriptive analysis. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA.

Shah, P. (1995). Cognitive processes in graph comprehension. Doctoral dissertation, Carnegie - mellon university (UMI Dissertation services NO. 9622441).

Shaw, E. L., Padilla, M. J., & McKenzie, D. L. (1983). An examination of the graphing abilities of students in grades seven through twelve. Paper presented at the meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas.

Wavering, M. J. (1989). Logical reasoning necessary to make line graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(5), 373-379.