

중학생의 물리량에 대한 차수 어림 능력 분석

서정아 · 조광희 · 박승재
(동마중학교) · (서울대학교) · (과학문화교육연구소)

Analysis of Middle School Students' Ability in Estimating Order of Magnitude for Physical Quantities

Jungah Suh · Kwanghee Jo · Sungjae Pak
(Dongma middle school) · (Seoul National University) ·
(Science Culture Education Research Institute)

ABSTRACT

In this study, we investigated middle school students' ability in estimating order of magnitude of physical quantities. Participants were 448 students of seventh graders and ninth graders in Seoul area. A multiple-choice typed questionnaire was designed for estimating five physical quantities such as length, mass, speed, volume, and density. The answers were analyzed through dimension of quantity, size of object, students' grade and their gender. In the results, more than two thirds of all participants chose the right order of magnitude in estimating length, but only around a quarter of them did so in estimating density. They had a tendency to show lower ability when they estimated order of magnitude of more complex dimensioned quantity. Moreover, students' answers had relatively wide distribution in estimating smaller sized objects. Though there was no big difference between seventh graders and ninth graders in estimation, male students were better in estimating base quantities, especially in length. However, more than half of participants did not choose the right order of magnitude in total and it showed their lack of qualitative understanding about these physical quantities and meaningless usage of units in measuring.

Key words: estimation, order of magnitude, physical quantity, middle school student

I. 서 론

측정은 기본적인 탐구 기능의 하나로서 과학 교육과정에서 전통적으로 중요하게 다루어지고 있으며(Klopfer, 1971; AAAS, 1974; APU, 1989), 국내에서도 측정의 기능적인 측면을 구체적으로 다룬 연구들이 이루어졌다. 예를 들어 우종욱 등(1992)은 측정치를 바르게 읽기, 측정도구의 선택, 측정단위의 결정, 측정방법의 선택, 정밀도 수준

의 결정, 측정의 간격과 구간의 결정, 유효숫자 결정 등을 측정 기능의 항목에 포함시켰다. 권재술과 김범기(1994)는 계측기의 올바른 사용, 막대자를 이용한 사물 재기, 격자를 이용한 넓이 계산 등을 측정기능 평가를 위한 하위요소로 제시하였다. 또한 측정 도구에 나타난 측정치를 바르게 읽고, 적절한 측정 단위를 쓸 수 있다는 점을 측정 기능 평가의 세부 항목으로 정한 연구도 있었다(김미경 등, 1996).

그러나 측정이 기초적인 과학 탐구 기능의 하나로서 효과적으로 활용되기 위해서는 기능적인 측면뿐만 아니라 정성적인 어림 능력이 필요하다. 예를 들어 사과와 부피를 측정하려면 어떤 메스실린더를 사용할 것인지를 결정해야 하는데, 이 경우에 사과와 부피에 대한 대략적인 어림은 측정을 쉽게 할 수 있도록 도와준다. 또한 어림은 측정을 한 후에 측정자가 오류를 파악할 수 있도록 근거를 제공한다. 나무의 밀도가 물의 밀도보다 작다는 사실을 아는 학생이 나무의 질량과 부피를 측정한 후 밀도를 $200\text{g}/\text{cm}^3$ 로 구했다면, 측정과정에서 오류가 있었음을 쉽게 발견하게 될 것이다. 셰필드(Schofield, 1989)도 측정의 기능에 있어서 '어림하기'의 중요성을 강조하였는데, 측정의 도구를 선택할 때에 어림 능력이 필요할 뿐 아니라 측정치에 대한 어림 능력은 학생들의 이해정도를 보여주는 것이라고 주장하였다.

그런데 정작 측정교육이 이루어지는 초·중등 교육과정에서 어림교육은 거의 다루어지지 않고 있다(서정아, 2000). 제6차 교육과정을 살펴보면, 초등학교와 중학교의 자연, 과학, 수학 교과 등에서 측정에 대한 개념과 기능을 소개하고 있으며, 연습과 실험 등을 하면서 학습할 수 있도록 구성되어 있다. 초등학교 교육과정은 주로 길이, 시간 등과 같은 기본량(base quantity)을 제시하고 있고, 중학교의 경우는 밀도, 속력 등과 같은 유도량(derived quantity)¹⁾을 학습하면서 이를 측정하는 활동이 함께 포함되어 있다. 그러나 어림 활동은 극히 적어서 초등학교 과정에서는 물리량의 어림, 무게 비교 활동 등을 다루고, 중학교는 2학년 과정에서 원자와 분자의 크기 비유, 저항과 전력값의 비교 등을 소개하는 정도에 불과하다. 이러한 경향은 제7차 교육과정의 경우에도 크게 다르지 않다.

어림에 관하여 국내외에서 선행된 연구들은 그다지 많지 않으며, 현재 국내 중등 과학교육에 대한 직접적인 자료를 제공하기에는 연구 대상이나 조사 영역이 제한적이다. 송진웅과 김혜선(2001)은 기본 물리량(base physical quantity)에 대한 어림의 정확성과 어림하는 방법을 조사하였는데, 물리를 전공으로 하는 대학생과 대학원생을 주 대상으로 하였다. 영국의 APU(1989)는 기초적인 물리량에 대한 어림 능력을 포함하고 있으나, 밀도나 속력 등의

유도량에 대한 어림 능력은 연구에서 제외하였다.

이러한 선행연구들의 특성을 감안하여 이 연구에서는 기본량과 유도량에 대한 중학생의 어림 능력을 알아보고자 하였다. 선행 연구와 교육과정 분석을 기초로 하여 연구자는 어림(estimation) 능력을 측정도구 없이 물리량의 크기를 대략적으로 알아내는 능력으로 정의하였다(Bright, 1979; Schofield, 1989; Fortgang, 1995; Micklo, 1999; 서정아, 2000). 이 연구는 어림 능력에 대한 기초적인 조사 연구로서, 실물을 보지 않고 물리량의 차수를 어림하는 능력을 집중적으로 다루었다. 본 연구의 구체적인 목표는 다음과 같다.

첫째, 물리량에 따른 중학생의 차수 어림 능력을 조사하여 특징을 분석한다.

둘째, 중학생의 차수 어림 능력을 학년과 성별에 따라 비교하여 분석한다.

II. 이론적 배경

1. 어림의 분류와 정확도

선행연구들을 살펴보면 어림의 대상이 무엇인지에 따라, 혹은 어림하는 방법에 따라 어림을 세분화하고 있다. 톰슨(Thompson, 1979)은 모여있는 것의 개수를 어림하기, 계산 결과를 대략적으로 어림하기, 측정값을 어림하기로 어림을 구분하였다. 브라이트(Bright, 1979)는 어림의 영역을 측정값의 명시 여부에 따라, 단위의 제공 여부에 따라, 그리고 실물을 보고 어림하는지의 여부에 따라 총 8개 영역(=2×2×2)으로 구분하였다. 또한 대상과 결과에 따라서 구분하면, 실물을 보고 측정값을 어림하는 경우가 있고, 반대로 측정값을 보고 그 값의 크기를 표현하는 경우가 있다. APU(1989)는 전자를 '어림(estimation)', 후자를 '되돌리기(roundabout)'로 구별하여 어림 능력을 평가하였다.

위의 선행 연구들을 근거로 하여 본 연구에서는 실물을 보지 않고 물리량의 크기를 대략적으로 알아내는 어림 능력을 알아보고자 하였다. 이는 톰슨(Tompson)의 분류 중에서 측정값 어림에 해당하며, 브라이트(Bright)의 분류

1) 한국표준과학연구원(<http://www.kriss.re.kr>)은 base quantity와 derived quantity를 각각 기본량과 유도량으로 표기하고 있으므로, 이 글에서는 이 용어들을 사용하였다. 참고로 한국물리학회에서 발간한 물리화용어집(1995)에는 base quantity가 포함되지 않았으나 base를 '바탕'으로 번역하고 있고 물리화용어집을 중심으로 편찬된 최신물리화용어사전(1997)은 base quantity를 '바탕양'으로 표기하고 있다. 또한 편수자료(1994)는 이 용어를 다루고 있지 않아서 용어 선정에 대한 추후 논의가 필요하다.

중에서 측정값을 알려 주지 않고 단위가 제공되지 않은 상황에서 실물을 보지 않고 하는 어림에 해당한다. 어림에 대한 국내 연구는 탐색적인 수준에서 이루어지고 있으므로, 본 연구는 어림에 관한 기초 연구의 하나로서 이와 같이 설정하였다.

어림의 정확도에 대한 논의는 어림의 분류에 대한 논의와 함께 어림 연구를 위하여 필요한 기초적인 토대에 해당한다. 정확도에 대한 연구는 측정 분야에서 중요하게 다루어지고 있는데, 측정 결과의 신뢰성을 나타내기 위하여 오차, 정확도, 정밀도, 불확도 등의 개념이 사용되고 있으며, 측정값이 참값에 가까울수록 타당하며 신뢰성이 있다고 표현한다(한국표준과학연구원, 1998). 그러나 이와 반대로 어림은 실제로 정확한 값을 구하기가 어렵거나 무의미한 경우에 사용할 수 있다. 예를 들어 “사람 몸의 세포의 개수는?” 이라고 묻는 문제가 있다고 하자. 이에 대하여 정확하게 측정값을 구하는 것은 현재의 과학기술능력으로 불가능하다. “우주의 크기가 얼마일까?”, “원자의 부피는 얼마일까?” 등의 문제들도 마찬가지이다. 이 경우에 정확한 값보다 대략적으로 차수를 어림한 값이 오히려 생물학, 우주론, 고체 물리학, 입자물리 등의 분야에서 유용하게 사용되고 있다. 이처럼 각 학문분야의 목적과 필요에 따라 어림의 정확도에 대하여 요구하는 바가 다르다.

이처럼 어림의 정확도에 대한 기준은 연구의 대상과 목적에 따라 다를 수 있으나, 어림 연구를 위하여 어림의 정확도에 대한 실제적 기준이 필요하다. 따라서 어림 활동의 한 예로서 차수 어림 활동을 제시하였던 선행연구들을 참고하여(Crane, 1969; Memory & Jenkins, 1977), 이 연구에서 사용할 기준을 조작적으로 정의하였다. 이 연구에서는 어림의 정확도를 평가할 때 차수를 옳게 어림한다면 어림을 정확하게 한 것으로 판단하고, 이를 바탕으로 평가 문항을 구성하였다.

2. 과학의 발전 과정에서 측정과 어림의 역할

18, 19세기에 과학은 정량화의 과정을 도입하여 이론을 더욱 정교하게 만들면서 급격히 발달하였다. 측정은 이론을 검증하기 위하여 고안된 실험이나 물리학 상수를 결정하는 실험 등에서 필수적으로 활용되었고, 이렇게 검증된 이론과 법칙은 패러다임을 더욱 확고하게 하였던 것이다(Kuhn, 1962).

그런데 이런 과정에서 어림은 측정값의 물리적 의미를 판단하는 기준으로 사용되어, 이론의 형성에 결정적인 기여를 하곤 하였다. 예를 들어 휴즈(Hughes, 1959)는 중성자의 발견과정을 다음과 같이 적었다:

분명히 이 신기한 방사선이 수소 원자의 양성자를 이온화 장치쪽으로 빠르게 떠밀고 있는 것이다. 관찰된 빠른 속도에서 양성자들을 스크린으로부터 튀어나오게 하기 위해서는 γ 선이 약 5000만 볼트를 가져야 하는데 이것은 핵에서 나온 어떤 알려진 γ 선보다 높은 값이기 때문에 γ 선은 아님이 분명하였다(Hughes, 1959, p. 27).

즉 과학자들은 현상을 일으킬 수 있는선의 에너지를 대략적으로 알고 있었으며, 이로 인하여 그 방사선의 정체성을 쉽게 예측할 수가 있었던 것이다. 그 외에도 물리학자들은 전자나 양성자의 드브로이 파장에 대한 대략적인 차수를 비교하여, 원자내의 현상을 예측하기도 하였다(PSSC, 1965). 이처럼 정확하지만 복잡한 계산보다 대략적인 어림이 오히려 물리적인 의미를 쉽게 파악하고 효율적으로 실험을 하도록 도와줄 수 있다.

3. 어림 교육의 필요성과 학생의 어림 능력

클레멘트(Clement, 1982)는 학생들이 정작 실험하고 있는 내용을 이해하는 데 측정을 포함하는 정량적인 실험이 오히려 방해가 될 수 있다고 하였다. 이런 문제는 실험실에서 측정을 할 때 학생들이 어림을 하지 않고 눈금만 읽어서 기록하는 경우에 생긴다. 실제 과학 학습에서 측정 기능의 향상은 필수적이지만, 어림 과정이 없는 측정은 단순히 기계적인 기능이 될 가능성이 높다.

반면에 측정값에 대한 어림은 측정 도구를 선택하는 준비 과정, 측정 중 자신의 측정값에 대한 점검, 반성과정 등에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 이런 측면을 강조하는 과학자와 과학교육자들은 물리를 배우는 학생들에게 어림하기를 가르쳐야 한다고 주장하고 있다. 예를 들어 로저스(Rogers, 1960)와 슈펠드(Schofield, 1989)는 어림이 측정하고자 하는 범위에 적절한 눈금의 선택, 측정 도구의 선택, 측정값 평가 등과 같이 측정을 효율적으로 계획하여 수행하는 활동에 기여할 수 있다고 강조하였다. 모리슨(Morrison, 1963)은 어림능력의 향상을 통하여 학생들이 자신감과 직감을 가지고 실험에 임할 수 있다고 제안

하였으며, 쿤즈(Kunz, 1971)는 어림 활동을 하면서 학생들이 물리량의 값을 경험적으로 이해하고 물리적 감각을 기를 수 있다고 지적하였다. 송진웅과 김혜선(2001)은 물리 학습에서 어림은 과학세계와 실세계를 연결해주는 역할을 할뿐만 아니라, 물리적인 사고의 본질적인 측면과 관련이 있으며, 구성주의에 기초한 물리학습의 전형적인 형태라고 주장하였다.

그러나 선행 연구들을 살펴보면, 실제로 학생들은 기본적인 물리량에 대한 어림조차 제대로 하지 못하는 것으로 나타났다. 스티(Steen, 1997)은 학생들이 광년, 시간, 마이크로 등의 단위들을 배우기는 하지만, 관련된 상황에서 그 단위들을 적절히 사용할 수 있는지의 여부는 알 수 없다고 지적하였다. 또한 메모리와 젠킨스(Memory & Jenkins, 1977)는 물리를 배우려는 대학 신입생뿐만 아니라 대학원생조차도 차수를 어림하는 능력이 부족함을 밝혔다. 포트강(Fortgang, 1995)은 학생들이 수학 시간에 계산 과정을 배우면 물리에서도 당연히 적용할 수 있을 것이라는 일선 교사들의 가정을 언급하면서, 이는 매우 잘못된 가정이라고 비판하였다. 실제로 영국에서 기본적인 물리량에 대한 학생들의 어림능력을 조사한 셰필드(Schofield, 1989)도 중등 학생이 매우 큰 오차 범위로 어림을 하고 있다는 결과를 발표하였다.

III. 연구 방법

1. 연구 대상과 연구 시기

차수 어림 능력 조사는 중학교 1학년 227명(남 129명, 여 98명)과 중학교 3학년 221명(남 107명, 여 114명)을 대상으로 2월에 실시되었다. 이 학생들은 서울에서 중간 수준의 사회·경제적 환경에 해당하는 지역의 한 학교를 다니고 있었다. 총 대상 학생수는 448명이지만 각 문항별로 응답을 하지 않은 학생을 제외하였기 때문에, 분석 대상 학생수가 문항마다 조금씩 달랐다. 이 학생들은 문항에서 다루는 개념을 모두 학습한 상태였으며, 시험 등에 의한 일시적인 학습효과를 최대한 줄이기 위하여 모든 정기고사가 끝난 학년말에 조사를 하였다.

2. 연구 도구와 분석 방법

학생들의 어림 능력을 조사하기 위하여 연구자들이 어

림 능력 평가 문항을 제작하고, 6명의 과학교육 연구자로부터 내용타당도를 검증받았다. 차수 어림 능력 조사는 학생들이 실물을 보지 않고 일상적인 경험에 근거하여 물체의 물리량을 어림한 후에, 참값에 가장 근사한 값을 고르는 방식으로 실시하였다. 길이, 질량, 속력, 부피, 밀도에 대하여 세 문항씩 질문하여 총 15문항으로 검사지를 구성하였고, 여섯 보기 중에서 하나를 고르는 형태로 제작하였다.

이 연구에서 조사한 물리량은 다섯 가지로서 초등학교와 중학교의 교육과정에 자주 나오는 물리량 중에서 눈으로 관찰이 가능한 물리량을 대상으로 하였다. 길이와 질량은 대표적인 기본량이고 속력, 부피, 밀도는 유도량으로서 각 물리량의 차원은 순서대로 $[L/T]$, $[L^3]$, $[M/L^3]$ 이다. 물리량별로 어림 능력을 비교하기 위한 방법으로 한 물리량에 대하여 세 문항을 질문한 후에 평균값을 구하였다. 또한 물리량의 크기에 따른 어림 능력의 차이를 알아보기 위하여 세 문항에서 다루는 물리량의 크기를 소, 중, 대로 나누고 적어도 다섯 배 이상씩 차이가 나도록 하였다. 그러나 계속적으로 이렇게 문항이 배치될 경우에 학생들이 경향성을 파악하여 답을 선택할 수도 있으므로, 실제 검사지의 문항순서는 크기에 관계없이 무작위로 배치하였다.

또한 물리적으로 무의미한 근거를 바탕으로 학생들이 어림값을 선택하는 경우를 줄이기 위하여, 검사지를 작성하면서 다양한 방법을 사용하였다. 정답의 첫 숫자는 1, 2, 5중에서 실제 참값에 가까운 것으로 정하였고, 나머지 보기의 첫 숫자도 1, 2, 5중에서 하나로 배치하였으며, 정답들이 고르게 분포하도록 조정하였다. 그리고 보기의 차수는 1번 문항의 차수를 가장 크게, 6번 문항의 차수를 가장 작게 구성하였다. Fig. 1은 실제 검사 문항의 보기이다.

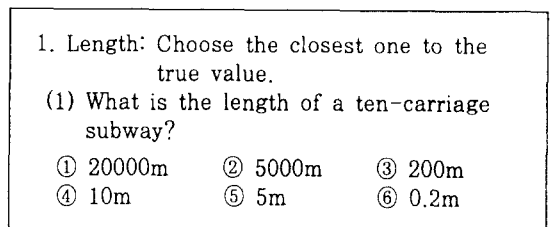


Fig. 1. An example of the questionnaire

그리고 어림 능력의 차이를 명확히 구분하기 위하여 배점에 차등을 두었다. 예를 들어 Fig. 1에서 서울지하철 10

량의 길이²가 약 195m²이므로 정답은 ③번 200m이다. 이 때 정답을 선택하면 5점, 다른 것보다 상대적으로 정답에 가까운 ②, ④의 답을 선택하면 2점, 그 다음으로 ①, ⑤에 대해서는 1점을 주었으며, 가장 차이가 큰 ⑥을 선택한 경우에는 점수를 주지 않았다.

위와 같은 방식으로 평가하여 얻은 점수를 토대로 물리량의 차원과 크기에 따른 차이를 정량적으로 분석하였다. 연구의 성격상 전체적인 경향성을 파악하고자 주로 서술통계를 사용하였으며, 학년과 성별에 따른 차이를 비교하기 위하여 양방향적 t검정을 실시하였는데 기초적인 자료조사 연구이므로 유의수준은 .05로 설정하였고, 통계처리를 위하여 SPSS for windows 7.0을 사용하였다.

IV. 연구 결과

1. 물리량에 따른 중학생의 차수 어렵 능력

도구를 사용하지 않고 물리량을 어렵하여 대략적인 차수를 추측하는 어렵 능력에 대한 실태를 조사한 결과를 Table 1에 제시하였다. 먼저 물리량별 차수 어렵능력 평균을 비교하여 보면 물리량에 따라서 어렵 능력에 차이가 있음을 볼 수 있다. 평균적으로 길이 어렵을 제일 잘 하였는데 5점 만점에 평균이 4점 이상이었다. 반면에 밀도 어렵 능력은 2.48로 다섯 가지 물리량 중에서 가장 낮았다. 길이나 질량과 같은 기본량은 5점을 기준으로 평균값이 4점 안팎이었으나, 유도량의 경우는 평균값이 2.5에서 3사이 에 있었다.

전체 학생 중에서 정답을 선택한 학생 수의 비에 해당하는 정답률(Table 1)에서 5점에 해당을 비교해 보아도 길이의 경우에는 세 문항에서 모두 70%가량이 정답을 택하였다. 그러나 밀도의 경우는 세 문항에서 모두 30% 미만이 정답을 선택하였는데, 밀도를 배웠음에도 불구하고 제대로 어렵하는 학생 수가 적음을 알 수 있다. 15문항에 대한 전체 대상 학생의 정답률은 48.7%로 절반에 못 미치는 것으로 나타났다.

또한 모든 문항에서 적어도 25%의 학생들은 물리량의 차수를 제대로 파악하지 못함을 볼 수 있다. 예를 들어 정답률이 두 번째로 높은 지하철의 길이를 묻는 문항에서 ②번 5000m나 ④번 10m라고 응답한 학생(Table 1)에서

2점이 전체의 20%를 넘었다. 그리고 참값과 차수가 많이 차이가 나서 0점이나 1점을 얻은 학생들의 비율을 비교해 보면, 기본량에 해당하는 길이나 질량의 경우는 전체의 10%안팎으로 부피나 밀도와 같은 유도량에 비하여 그 비율이 작았다. 특히 수박의 부피를 어렵하는 문항의 경우에 참값과 차수가 크게 달랐던 ② 1000L나 ③ 500L (Table 1에서 1점)를 선택한 학생이 반수를 넘었다.

앞서 제시한 전체 결과 중에서 물리량의 크기별로 어렵 능력 평균을 비교하여 그래프로 나타낸 것이 Fig. 2인데, 물리량이 클수록 대체로 차수 어렵을 잘하는 경향을 볼 수 있다. 구체적으로 살펴보면, 길이의 경우에 연필보다 교실이나 지하철의 어렵 능력 평균이 높았고, 질량의 경우도 자동차, 의자, 신발의 순서대로 어렵을 잘하였다. 특히 속력과 부피의 경우는 물리량의 크기에 따라서 차이가 상대적으로 크게 나타났는데, 개미의 속력을 제외한 나머지 두 개의 물리량은 평균 3을 넘었다. 또한 부피 어렵에서 가장 작은 참값을 가졌던 수박은 평균이 1.87로, 조사한 물리량 중에서 가장 낮았으나, 나머지 두 물체의 부피는 평균 3점을 넘었다. 밀도의 경우도 밀도값이 가장 작은 스티로폼의 어렵 능력 평균이 셋 중에서 가장 낮았다.

2. 학년과 성별에 따른 차수 어렵 능력

Table 2는 학년에 따른 차수 어렵 능력을 비교한 결과인데, 전체적으로 뚜렷하게 학년별 차이가 나타나지는 않았다. 통계적으로 유의미한 차이가 나타난 문항은 자동차의 질량과 수박의 부피에 관한 문항으로서 3학년이 1학년보다 잘 하였다($p < .05$). 그 외의 문항에서는 통계적인 차이가 나타나지 않았지만 평균값을 비교해 보면 길이, 질량, 속력, 부피의 경우는 3학년이 1학년보다 높았으나, 밀도의 경우는 오히려 1학년의 평균값이 3학년보다 조금 높게 나타났다.

성별에 따른 차수 어렵 능력을 비교하여 Table 3에 제시하였다. 전체적인 평균값은 남학생이 여학생보다 높게 나타났는데, 특히 길이 어렵에 관한 모든 문항에서 남학생과 여학생의 차수 어렵 능력은 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 질량, 속력, 부피의 평균을 비교해 보면 질량과 속력의 경우는 남학생이 높았고, 부피의 경우는 여학생이 조금 더 높았다. 그러나 굴의 밀도를 어렵하는 문

Table 1. Results of order estimation

Quantity [Dimension]	Objects	Size of quantity	students	Distribution of students' choices					Mean score	S.D.	Average of one physical quantity
				Farthest from the right answer (0 point)	Far from the right answer (1 point)	Close to the right answer (2 point)	Closest to the right answer (5 point)				
Length [L]	Pencil	Small	438	0 (0.0)*	43 (9.8)	90 (20.6)	305 (69.6)	3.99	1.55	4.12	
	Classroom	Middle	431	0 (0.0)	11 (2.6)	99 (23.0)	321 (74.5)	4.21	1.36		
	Subway	Large	444	0 (0.0)	19 (4.3)	97 (21.9)	328 (73.9)	4.17	1.40		
Mass [M]	Shoe	Small	444	5 (1.1)	43 (9.7)	112 (25.2)	284 (64.0)	3.80	1.63	3.91	
	Chair	Middle	437	4 (0.9)	17 (3.9)	138 (31.6)	278 (63.6)	3.85	1.45		
	Car	Large	442	1 (0.2)	17 (3.9)	112 (25.3)	312 (70.6)	4.07	1.45		
Speed [L/T]	Ants	Small	424	10 (2.4)	51 (12.0)	249 (58.7)	114 (26.9)	2.64	1.49	3.05	
	Walking man	Middle	430	3 (0.7)	52 (12.1)	179 (41.6)	196 (45.6)	3.23	1.65		
	Subway	Large	416	6 (1.4)	39 (9.4)	176 (42.3)	195 (46.9)	3.28	1.65		
Volume [L3]	Watermelon	Small	435	10 (2.3)	245 (56.3)	111 (25.5)	69 (15.9)	1.87	1.44	2.82	
	Garbage bag	Middle	429	16 (3.7)	66 (15.4)	147 (34.3)	200 (46.6)	3.17	1.77		
	Bus	Large	426	1 (0.2)	25 (5.9)	185 (43.4)	215 (50.5)	3.45	1.58		
Density [M/L3]	Styrofoam	Small	433	12 (2.8)	130 (30.0)	194 (44.8)	97 (22.4)	2.32	1.53	2.48	
	Orange	Middle	433	11 (2.5)	92 (21.2)	206 (47.6)	124 (28.6)	2.60	1.59		
	Iron nail	Large	437	10 (2.3)	118 (27.0)	185 (42.3)	124 (28.4)	2.54	1.62		
Total		Small	2174	37 (1.7)	512 (23.6)	756 (34.8)	869 (40.0)	2.92	1.53		
		Middle	2160	34 (1.6)	238 (11.0)	769 (35.6)	1119 (51.8)	3.41	1.56		
		Large	2165	18 (0.8)	218 (10.1)	755 (34.9)	1174 (54.2)	3.50	1.54		
		Sum	6499	89 (1.4)	968 (14.9)	2280 (35.0)	3162 (48.7)	3.28	1.54		

*Number of students(%)

항에서는 여학생이 남학생보다 평균값이 더 높았다 ($p < .05$). 전체적으로 볼 때 기본량과 단순한 유도량인 속력의 경우는 남학생이, 3차원 이상의 유도량인 부피와 밀도의 경우는 여학생이 차수 어려움을 잘 하는 경향이 있으나, 모든 개별 문항에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타난 것은 아니었다.

V. 결론과 시사점

이 연구는 중학생들이 도구를 활용하지 않고서 일상적인 경험을 근거로 하여 물리량의 차수를 어렵히는 능력을 조사한 것이다. 길이, 질량, 속력, 부피, 밀도에 대하여 어렵한 결과를 살펴보면, 전체적으로 반 이상의 학생들은 차수 어려움을 잘 하지 못하고 있었는데, 가장 정답률이 높은 문항에서도 25%이상의 학생들은 참값보다 10배 이상

크거나 작게 어림을 하고 있었다. 또한 속력, 부피, 밀도의 일부 문항에서는 정답률이 30%가 되지 못하는 문항도 있었는데, 과학 시간에 길이나 부피를 배우고 측정을 하지만, 상당수의 중학생들이 1m, 1L가 어느 정도인지를 모르는 채로 과학 시간에 길이와 부피 계산을 하거나 해당

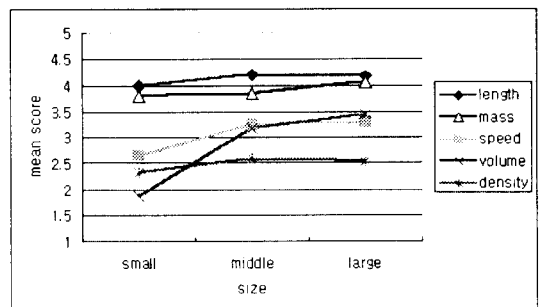


Fig. 2. Mean scores by size of quantity

Table 2. Comparison of order estimation by grade

Quantity [Dimension]	Objects	Size of quantity	Grade	Students	Mean score	S.D.	t Value	Average of one physical quantity
Length [L]	Pencil	Small	7	221	3.95	1.60	-0.55	Grade 7 : 4.11 Grade 9 : 4.14
			9	217	4.03	1.50		
	Classroom	Middle	7	217	4.22	1.35		
			9	214	4.20	1.38		
	Subway	Large	7	224	4.17	1.41		
			9	220	4.18	1.40		
Mass [M]	Shoe	Small	7	225	3.79	1.66	-0.17	Grade 7 : 3.86 Grade 9 : 3.96
			9	219	3.81	1.61		
	Chair	Middle	7	224	3.89	1.55		
			9	213	3.81	1.54		
	Car	Large	7	225	3.90	1.53		
			9	217	4.25	1.34		
Speed [L/T]	Ants	Small	7	219	2.63	1.56	-0.06	Grade 7 : 3.01 Grade 9 : 3.09
			9	205	2.64	1.42		
	Walking man	Middle	7	223	3.26	1.68		
			9	207	3.20	1.63		
	Subway	Large	7	212	3.15	1.65		
			9	204	3.43	1.64		
Volume [L3]	Watermelon	Small	7	217	1.70	1.35	-2.42*	Grade 7 : 2.77 Grade 9 : 2.89
			9	218	2.03	1.51		
	Garbage bag	Middle	7	213	3.13	1.80		
			9	216	3.21	1.74		
	Bus	Large	7	216	3.48	1.59		
			9	210	3.42	1.59		
Density [M/L3]	Styrofoam	Small	7	217	2.31	1.55	-0.10	Grade 7 : 2.50 Grade 9 : 2.47
			9	216	2.32	1.51		
	Orange	Middle	7	218	2.50	1.57		
			9	215	2.70	1.61		
	Iron nail	Large	7	221	2.68	1.65		
			9	216	2.38	1.59		
Total			7	3292	3.25	1.57	-1.72	
			9	3207	3.31	1.53		

* p < .05

단위를 사용함을 보여 준다.

이렇게 물리량을 어림할 때에 차수가 다르게 어림을 하는 학생의 수가 많다는 사실은 어림 교육이 시급함을 보여 준다. 예를 들어 정육점에서 고기 300g을 사려는 학생이 이를 30g이나 3kg과 혼동한다면, 설사 학교 시험에서 질량의 개념을 알고 질량의 단위를 옳게 선택할 수 있다

고 하여도 질량에 대한 교육이 제대로 이루어졌다고 단정 지을 수 없다. 지금까지 학습자는 질량에 대한 개념 학습과 양팔저울로 측정하는 실험을 통하여, 질량에 대한 이론적 측면을 알고 측정하는 방법도 배웠다. 그러나 이것만으로 질량에 대한 과학 학습이 제대로 이루어졌다고 보기에는 한계가 있다. 그런데 어림 능력은 물리량에 대한

Table 3. Comparison of order estimation by gender

Quantity [Dimension]	Objects	Size of quantity	Grade	Students	Mean score	S. D.	t Value	Average of one physical quantity
Length [L]	Pencil	Small	M	232	4.20	1.43	3.06**	M : 4.32 F : 3.90
			F	206	3.75	1.64		
	Classroom	Middle	M	229	4.42	1.22	3.46**	
			F	202	3.97	1.48		
	Subway	Large	M	234	4.35	1.29	2.83**	
			F	210	3.98	1.50		
Mass [M]	Shoe	Small	M	235	3.84	1.64	0.53	M : 3.97 F : 3.84
			F	209	3.76	1.62		
	Chair	Middle	M	234	3.92	1.51	1.05	
			F	203	3.77	1.57		
	Car	Large	M	234	4.16	1.42	1.28	
			F	208	3.98	1.48		
Speed [L/T]	Ants	Small	M	221	2.73	1.50	1.29	M : 3.11 F : 2.99
			F	203	2.54	1.48		
	Walking man	Middle	M	225	3.30	1.65	0.91	
			F	205	3.16	1.66		
	Subway	Large	M	216	3.30	1.61	0.16	
			F	200	3.27	1.70		
Volume [L3]	Watermelon	Small	M	228	1.85	1.41	-0.31	M : 2.79 F : 2.87
			F	207	1.89	1.47		
	Garbage bag	Middle	M	225	3.14	1.81	-0.34	
			F	204	3.20	1.73		
	Bus	Large	M	223	3.38	1.60	-1.01	
			F	203	3.53	1.57		
Density [M/L3]	Styrofoam	Small	M	231	2.29	1.55	-0.38	M : 2.45 F : 2.52
			F	202	2.35	1.51		
	Orange	Middle	M	229	2.44	1.49	-2.21*	
			F	204	2.77	1.69		
	Iron nail	Large	M	230	2.61	1.64	0.99	
			F	207	2.45	1.61		
Total			M	3426	3.33	1.52	-3.19**	
			F	3073	3.22	1.58		

* p < .05 ; ** p < .01

개념적인 이해와 실제 실험과정에서 얻어지는 결과를 연결하는 과정이므로, 앞서 언급한 문제점들을 해결하는 대안이 될 수 있다.

구체적으로 분석한 결과에 따르면 속력, 부피, 밀도 등에 대한 어려움보다 길이, 질량에 대한 어려움을 평균적으로 더 잘 하는 것으로 나타났다. 몇 개의 독립적인 차원이 결합된 유도량에 대한 어려움보다 1차원에 해당하는 길이나

질량과 같은 기본량에 대한 어려움을 학생들이 비교적 잘 하는데, 이는 물리량이 복잡해질수록 관련된 변수가 많아져서 어렵하기도 쉽지 않기 때문이라고 생각된다. 또한 학생들이 유도량의 단위나 차원에 대한 기본적인 지식이나 유도량의 개념 등이 정립되지 않았던 것도 원인으로 여겨진다. 서정아(2000)는 학생들이 밀도의 단위를 g이나 cm³ 등으로 생각하고, 밀도를 어렵할 때 물체의 크기가 크

면 밀도도 크게 어렵하는 경향이 있음을 밝혔다. 이는 밀도 단위에 대한 이해 부족, 혹은 밀도에 대한 선개념 등이 어렵에 영향을 끼칠 수 있음을 보여준다.

또한 전체적으로 물리량이 클수록 차수 어림의 정답률이 높게 나타나는 경향이 있었다. 비록 물리량의 종류는 다르더라도, 대중소로 나누었을 때에 세 물체 중에서 가장 물리량이 작은 경우에 상대적으로 차수 어림을 제대로 하지 못하였다. 본 연구에서 그 원인을 명확하게 밝힐 수는 없으나, 교과서에서 다루는 단위나 값의 범위가 매우 제한적이라는 점을 한 원인으로 들 수 있다. 예컨대 제6차 교육과정에 따른 과학교과서의 속력 개념에서 10m/s ~ 20m/s 나 50km/h ~ 100km/h 범위의 값이 주로 나타난다(서정아, 2000). 따라서 개미가 기어가는 것과 같이 속력이 상대적으로 작은 경우에 학생들은 참값과 다르게 차수 어림을 하였을 것으로 생각된다. 또 다른 원인으로 소수점 이하 자릿수에 대한 어려움도 들 수 있다. 예를 들어 밀도 어림의 경우 학생들이 스티로폼의 밀도와 같이 소수점 이하의 숫자가 나타나는 경우에 크기를 짐작하기 어려웠을 것이다. 이유가 명확하게 드러난 것은 아니지만, 물리량의 크기가 실제로 어렵하는 데 영향을 미치는 요인의 하나로서 영향을 줄 수 있다는 시사점을 이 연구 결과에서 얻을 수 있으므로, 변인이 통제된 상황에서 구체적인 연구를 계속하는 것이 필요하다.

차수 어림을 할 때에 학년에 따른 차이는 크게 나타나지 않았다. 몇 문항에서 중학교 3학년 학생들이 1학년 학생보다 통계적으로 유의미하게 차이가 날 정도로 높았으나, 다른 문항에서는 오히려 3학년의 차수 어림 능력 평균값이 1학년보다 낮은 경우도 있었으므로 이 연구의 결과만으로 경향성을 단정짓기는 어렵다. 그러나 조사한 물리량들이 대부분 초·중학교 과학 학습에서 반복적으로 다루어지는 물리량이라는 점을 고려하면, 중학교 교육과정에서 어림 교육이 이루어지지 않기 때문에 학년별로도 어림 능력에서 차이가 나지 않는 것으로 여겨진다.

성별에 따른 차이를 분석한 결과에 따르면 차수 어림 능력은 성별에 따라서 차이가 있었다. 통계적으로 유의미한 차이는 길이와 밀도에서만 나타났지만 전체적으로 길이, 질량, 속력에서는 남학생이 차수 어림을 더 잘 하였고, 부피와 밀도의 경우는 여학생의 평균값이 조금 더 높은 경향이 있었다. 이와 같은 결과들을 토대로 볼 때에 기본량이나 차원이 간단한 유도량은 남학생이, 차원이 복잡한 유도량은 여학생이 어림을 더 잘하는 것으로 보이나,

더욱 구체적인 해석을 위하여 후속 연구가 이어져야 할 것이다.

이 연구를 통하여 물리량의 차원과 크기에 따라서 차수를 어림하는 능력에 차이가 있으며, 학년에 따른 차이는 크지 않았으나 성별에 따라서 어림을 하는 경향이 다르다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 전체적으로 물리량의 차수를 참값과 다르게 어림하는 학생수가 많다는 점은 물리량과 그 기본 단위에 대한 개념에 대하여 이해가 부족함을 보여주었다. 또한 이는 기능적인 측면을 강조하는 측정 교육이 가지는 한계점을 지적한 것으로도 볼 수 있다.

국 문 요 약

일상적인 경험을 바탕으로 중학생들이 도구를 사용하지 않고 물리량의 차수를 어림하는 능력을 조사하였다. 이를 위하여 연구자들은 기본량에 해당하는 길이와 질량, 유도량에 해당하는 속력, 부피, 밀도에 대한 차수 어림 능력을 묻는 선택형 문항을 개발하였고, 서울지역 중학교 1학년과 3학년 학생 448명이 조사에 참가하였다. 전체적으로 반 이상의 학생들이 물리량의 차수를 참값과 다르게 어림하고 있었는데, 차원이 복잡한 유도량이거나 크기가 작을수록 차수 어림 능력이 낮아졌다. 학년에 따른 차이는 크지 않았으나 성별에 따라서 차수 어림 능력에 차이가 있었고 상대적으로 남학생이 길이 어림을 잘 하였다. 결론적으로 반수 이상의 학생들이 물리량이 차수를 제대로 어림하지 못한다는 점은 물리량과 단위에 대한 정성적인 이해가 부족함을 나타내며, 기능적인 측면을 강조하는 측정 교육이 가지는 한계점을 보여주었다. 따라서 실제 측정을 통하여 구한 물리량의 정성적인 의미를 이해할 수 있도록 하기 위하여 어림 교육이 필요함을 시사하고 있다.

참 고 문 헌

교육부(1994). 편수자료 Ⅲ - 기초과학. 서울: 대한교과서 주식회사.
권재술, 김범기(1994). 초·중학생들의 과학탐구능력 측정 도구의 개발. 한국과학교육학회지, 14(3), 251-264.
김미경, 오희균, 박종원(1996). 물리 탐구 실험의 평가를 위한 도구의 개발과 분석. 한국과학교육학회지, 16(1), 51-60.
김인목, 엄정인, 최준곤(1997). 최신물리학용어사전. 서울

- : 탐구당.
- 서정아(2000). 정량적 물리개념에 대한 어림활동과 측정활동이 문제해결과정에 미치는 영향. 서울대학교 박사 학위 논문.
- 송진웅, 김혜선(2001). 기본 물리량 어림의 정확성 및 방법에 대한 탐색. 한국과학교육학회지, 21(1), 76-88.
- 우종욱, 이항로, 이경훈(1992). 대학 수학 능력 시험의 자연과학 탐구 능력 평가를 위한 행동 요소의 추출과 평가 목표의 상세화 연구 II. 한국과학교육학회지, 12(2), 81-95.
- 한국물리학회(1995). 물리학용어집. 서울: 청문각.
- 한국표준과학연구원(1998). 측정불확도 표현 지침. 대전: 한국표준과학연구원.
- American Association for the Advancement of Science(AAAS)(1974). *Science-A Process Approach*. Washington: AAAS.
- APU(1989). *Science in Schools*. Age 15: Report No.1. Center for Studies in Science Education. University of Leeds.
- Bright, G. W.(1979). Estimating physical measurement. *School Science and Mathematics*. 79(8), 581-586.
- Clement, J.(1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, Vol. 50, 66-71.
- Crane, H. R.(1969) Problems for introductory physics. *The Physics Teacher*, Vol. 7(7), 371-378.
- Fortgang, A.(1995). The triangle of science. *Science Teacher*, 62(1), 32-36.
- Hughes, D. J.(1959). *The Neutron story*. 김영덕(역). 서울: 현대과학신서 27.
- Klopfer, L. E.(1971). Evaluation of learning in science. In Bloom, Hastings, & Madaus (Eds). *Handbook of Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. New York: McGraw-Hill.
- Kuhn, T. S.(1962). *The Structure of scientific revolution*. 김명자(역). 서울: 동아출판사.
- Kunz, K. S.(1971). Visualizing large numbers. *American Journal of Physics*, Vol. 39, 452.
- Memory, J. D. & Jenkins, A. W.(1977). Estimating orders of magnitude. *The Physics Teacher*, Vol. 15, 43.
- Micklo, S.(1999). Estimation: it's more than a guess (teaching estimation to grade school students). *Childhood Education*, 64(2), 203-211.
- Morrison, P.(1963). Fermi questions. *American Journal of Physics*, Vol. 31, 626.
- Physical Science Study Committee(1965). *PSSC Physics*. PSSC 번역위원회 옮김. 서울: 탐구당.
- Rogers, E. M.(1960). *Physics for the inquiring mind: the methods, nature, and philosophy of physical science*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Schofield, B.(1989). Use of apparatus and measuring instruments. *Assessment of Performance Unit. Science at Age 13: A Review of APU Survey findings 1980-84*. 55-71. London: Her Majesty's Stationary Office.
- Steen, L. A.(1997). The new literacy. In L. A. Steen (Eds). *Why numbers count. Quantitative Literacy for Tomorrow's America*. The College Board.
- Thompson, A. G.(1979). Estimating and Approximating. *School Science and Mathematics*, 79(8), 575-580.