

기본물리량 어림의 정확성 및 방법에 대한 탐색

송진웅 · 김혜선
(대구대학교)

Exploring the Accuracy and Methods of Estimation on Base Physical Quantities

Jinwoong SONG · Hae-Sun KIM
(Taegu University)

ABSTRACT

This study explored people's accuracy and methods of estimating some base physical quantities, i.e. length, mass, time and temperature. A total of 40 members, ranging from freshmen to professors, of a physics education department of a local university were asked to make two different kinds of estimations, intuitive and operational, on two sets of objects. For intuitive estimation, they were asked to make estimations on four given objects (length - wood chopsticks, mass - rubber eraser, time - electric fan, temperature - water in a cup) as soon as they faced with the objects, usually within a few seconds of seeing. For operational estimation, they were allowed to make estimations on a different set of objects (length - plastic rod, mass - lock, time - simple pendulum, temperature - water in a cup) with enough time and they could apply various available methods (e.g. using pencil to estimate the object's length, counting their own pulse rate to estimate time) for the estimation. The findings of this study can be summarized as follows: ① for length, mass and temperature the intuitive estimations were better performed while for the time estimation the result was the reverse; ② there was no positive relationship between the amount of physics experience and the accuracy of the estimation; ③ in general, people's accuracy of the length estimation was best performed while their mass estimation was worst performed; ④ people used their own various methods for estimation, esp. using nearby objects around them and applying mental units which have convenient values (e.g. 30cm, 50cm, 1kg, 1 Keun, 1 second).

Key Words : intuitive estimation, operational estimation, accuracy, method, length, mass, time, temperature

I. 연구의 배경

“원자핵만을 모은다면 지구의 크기는 얼마나 작아
질까?”, “지구 자전의 선속력과 총알의 속력 중에서

어느 것이 더 빠르나?”, “이 방안에 있는 공기 분자 수는 몇 개나 될까?”, “에베레스트 산 꼭대기에서의 중력가속도는 얼마나 작아질까?” 등의 질문은 우리가 물리학을 공부하면서 흔히 직면하게 되는 종류의 문제이다. 이러한 질문들의 공통된 특징은 각각에 대해 보다 정확한 답을 구하기 위해 그 값을 측정하거나 계산할 수도 있지만, 대개의 경우 각 질문의 답이 되는 어떤 값을 어림(estimation)하는 것만으로 질문의 본질적 목적 대부분을 달성할 수 있는 것이다.

‘어림’의 우리말 뜻은 ‘대강 짐작으로 헤아리는 것’으로서, 예컨대 “적게 어림을 잡아도 백 명은 올 걸세”와 같이 어떤 값에 대해 정확한 계산이나 측정을 거치지 않고 대강의 값을 추정하는 것을 말한다. ‘어림’으로부터 파생된 용어로는 ‘어림셈’, ‘어림수’, ‘어림집작’ 등이 있으며, 우리가 ‘어림없다’라고 말할 때에는 “너무 많거나 커서 어림조차 할 수 없다” 또는 “도저히 될 수 없거나 당할 수 없다”는 것을 의미한다 (김민수 외, 1991). 한편, 어림에 해당하는 영어 단어인 estimate/estimation은, “가용한 증거에 기초하여 그것에 대한 판단을 내리는 것이다” 혹은 “대강의 어림을 한다는 것은 당신이 말하고 있는 것의 양 혹은 총량이 정확하지는 않지만 근사적 계산에 기초하고 있다는 것을 나타낸다” 혹은 “어림은 측정 가능한 어떤 것에 대한 근사적 계산이다”와 같이, ‘측정 가능한 어떤 것에 대해 가용한 증거를 바탕으로 근사적 값을 계산해 내는 것’을 의미한다 (Sinclair, et al., 1987).

어림과 유사한 의미로 사용되는 몇 가지 용어들이 있다. 예컨대 추측(guess), 측정(measurement), 추론(inference), 근사(approximation) 등이 그 예이다. 물론 이러한 각 용어들의 절대적 의미들을 명확하게 구분하고 규정하는 일은 매우 어려운 문제이겠지만, 각 용어들이 갖는 의미의 상대적 비교는 어느 정도 가능할 것이다. 예를 들어, ‘추측’이 상대적으로 ‘근거에 덜 의존하면서 값을 추정’하는 것이고 ‘측정’이 ‘도구를 이용하여 값을 결정’하는 것인 반면에, ‘어림’은 ‘근거를 갖고 측정도구를 사용하지 않은 채 값을 추정’하는 것이라고 할 수 있겠다. 한편, ‘추론’이 ‘논리적 과정을 통한 사고의 진전’이고 ‘근사’는 ‘계

산이나 측정을 통한 보다 정확한 값으로의 접근’인 반면에, ‘어림’은 ‘사고를 통한 미지의 값의 추정’이라 할 수 있겠다.

따라서, 어림은 대체적으로 ‘측정 가능한 어떤 양에 대해 가용한 근거 혹은 증거를 바탕으로 측정 과정을 거치지 않은 채 근사적 값을 구하는 사고과정’이라고 정의할 수 있겠다.

지금까지 어림 활동에 대한 국내·외의 연구는 손꼽을 정도로 매우 제한적으로 이루어져 왔으며, 이 중 대부분은 수에 대한 어림 즉 수학적 어림에 대한 연구였다 (예, Thompson, 1979; Labato, 1993; Micklo, 1999). 과학교육(혹은 물리교육) 분야에서의 어림에 대한 연구는 국내외에서 거의 이루어지지 않았으며, 어림활동의 교육적 중요성이나 어림활동의 개념적 분류에 대한 기초적 논의가 진행되었을 뿐이다 (Bright, 1979; Arons, 1984; Fortgang, 1995). 다행스럽게도 최근 물리개념에 대한 어림능력 및 측정능력의 관계를 보다 체계적으로 조사하는 등 과학 학습과 어림의 문제에 연구의 관심이 주어지기 시작하였다 (예, 서정아, 2000).

이에, 본 연구에서는, 물리(과학) 학습과 어림에 대해 지금까지 연구가 거의 이루어지지 않은 현실을 고려하여, 가장 기초적인 물리량을 중심으로 사람들의 어림 활동의 기본적 측면인 그 정확성과 방법에 대한 탐색적 조사를 실시하였다.

II. 연구 내용 및 과정

본 연구를 통해 탐색하고자 하는 구체적 내용을 나열하면 다음과 같다.

- ① ‘직관적’ 어림과 ‘조작적’ 어림의 정확성에는 차이가 있는가?
- ② 물리학적 지식의 배경이 기본물리량에 대한 어림의 정확성에 영향을 미치는가?
- ③ 기본물리량의 종류에 따라서 사람들의 어림의 정확성이 차이가 있는가?
- ④ 사람들은 주로 어떤 과정들을 통해 어림하는가?

특히, 본 연구는 어림에 대한 가장 기초적인 단계의 연구로서 연구설계의 과정에서 다음과 같은 점들에 주목하였다.

첫째, 상대적으로 어림의 능력을 측정하기 용이한 기본물리량부터 조사한다. 즉, 속력, 가속도, 힘, 에너지, 운동량, 전기장, 자기력, 굴절률 등의 유도량(derived quantities)보다는 길이, 질량, 시간, 온도, 전류, 광도, 물질량 등과 같은 기본량(base quantities)에 대해 살펴보고자 하였다. 그리고 기본물리량 중에서도 그 측정이 상대적으로 용이한 4가지 물리량(즉, 길이, 질량, 시간, 온도)에 대해 집중하였다.

둘째, 분류 기준에 따라서 여러 가지 종류의 어림이 존재하겠지만, 본 연구에서는 어림을 크게 직관적 어림(intuitive estimation)과 조작적 어림(operational estimation) 두 가지로 구분하였다. 여기에서 '직관적 어림'은 '그 대상을 보자마자 어림하는 활동'을 그리고 '조작적 어림'은 '시간을 두고 다양한 방법을 동원하여 어림하는 활동'을 의미한다.

셋째, 각 물리량에 대한 사람들의 어림의 정확성과 그 방법을 살펴보기 위해서 본 연구에서는 물리학습의 다양한 경력을 지닌 대상(즉, 물리교육 전공의 학부생, 대학원생, 교수)을 포함시켰다. 아마도, 물리학습과 활동의 정도가 물리량에 대한 어림의 정확성과 상관관계를 가질 것이라는 추정은 자연스러운 것일 것이다.

연구대상은 1999년 7월 중순 연구자들이 소속된 학과의 건물에서 우연히 마주쳤던 학과 구성원을 어림

활동에 참여시키는 방식으로 이루어졌다. 참여자는 총 40명이었으며, 참여자의 학년별 분포와 물리학습 경험의 정도를 동시에 고려하여 이를 다시 크게 두 집단(즉, 집단 (1) - 22명; 집단 (2) - 18명)으로 나누었다. (Table 1 참조)

어림에 대한 조사는 두 가지 대상물 세트를 대상으로 이루어졌다. 대상물 세트(1)은 직관적 어림을 위한 것으로서 나무젓가락, 지우개, 선풍기, 커피잔물이 각각 길이, 질량, 시간 (선풍기 머리가 한번 왕복하는데 걸리는 시간), 온도 (커피잔 속의 물의 온도) 어림의 대상으로 사용되었다. 직관적 어림에서 각 참여자는 어림 활동과 직접적으로 관련이 있는 활동만을 - 즉, 길이와 시간 어림에서는 눈으로 보면서 그리고 질량과 온도 어림의 경우에는 손을 사용하면서 - 통해서 대상을 직면하는 즉시 각 물리량의 값을 어림하고 그 결과를 응답지에 기록하였다.

대상물 세트(2)는 조작적 어림을 조사하기 위한 것으로서 플라스틱 막대, 자물쇠, 단진자, 커피잔물이 각각 길이, 질량, 시간 (막대, 실, 추로 이루어진 단진자의 주기), 온도 (커피잔 속의 물의 온도) 어림의 대상으로 사용되었다. 이러한 조작적 어림에서 각 참여자는 어림 활동과 관련이 있는 활동을 포함하면서 - 즉, 신체의 일부를 사용하거나 주변의 다른 물체들과 비교해 보는 등 - 충분한 시간과 생각을 갖고서 각 물리량의 값을 어림하고 그 결과 그러한 어림값을 얻게 된 과정(혹은 방법)을 함께 응답지에 기록하였다.

본 연구는 특정 물리교육과 소속의 40명이라는 매우 제한된 연령층의 인원만을 대상으로 하고 있으며

Table 1. Distribution of the participants

Participants		Number (%)	Subtotal
Group (1)	Undergraduate (1st year)	2 (5%)	22 (55%)
	Undergraduate (2nd year)	8 (20%)	
	Undergraduate (3rd year)	12 (30%)	
Group (2)	Undergraduate (4th year)	10 (25%)	18 (45%)
	Postgraduate	5 (12.5%)	
	Professor	3 (7.5%)	
Total		40 (100%)	

어림 활동의 대상이 되는 물리량 또한 4가지의 기초 물리량에 국한되어 있다. 또한 각 물리량의 어림 대상이 되는 물체의 수도 어림의 종류별로 하나씩으로 제한되어 있다. 뿐만 아니라, 각 어림 대상 역시 실제로 우리 주변에서 쉽게 경험할 수 있는 물체들로 국한하여 (예컨대, 우주의 크기, 분자의 질량, 혹은 태양의 온도 등이 아닌) 물리학에서 흔히 언급되는 많은 어림의 대상들이 제외되었다. 따라서, 본 연구의 결과에 대한 일반화는 매우 조심스럽게 이루어져야 할 것이며, 이런 이유에서 본 연구의 초점은 어림 활동 과정의 전반적인 특징과 평균적인 상대적 정확성의 경향성에 대한 탐색에 맞추어져 있다.

Ⅲ. 조사 결과 및 논의

각 어림 활동에 대한 조사 결과는 크게 어림의 정확성과 방법으로 나누어 제시하고, 각 경우에서는 조사된 기초물리량의 종류에 따라 제시할 것이다.

Ⅲ-1. 어림의 정확성에 대한 조사 결과 및 논의

이미 언급한 바와 같이, 본 연구에 참여한 피험자의 수가 매우 제한적이었으며 또한 본 연구의 목적이 어림 활동에 대한 일반적인 특징을 탐색해 보는 데 있었다. 따라서, 본 연구에서는 엄밀한 자료수집 과정과 이에 대한 철저한 통계적 검증을 수행하는 형태보다는 정량적 자료의 탐색적 분석(exploratory data analysis)과 정성적 자료의 경향성 파악을 중심으로 하는 형태로 진행되었다.

어림의 정확성에 대한 정량적 자료의 탐색적 분석을 위해, 다음에 제시되는 조사결과들에서는 각 어림 대상에 대한 측정값(measured value), 어림값 평균(mean of estimation), 어림값-측정값 차이 평균(mean of the difference between estimation and measured value), 차이백분율 평균(mean of percentile difference), 차이백분율 표준편차(SD of percentile difference) 등이 제시되어 있다. 여기에서, 어림-측정 차이 평균은 각 참여자가 제시한 어림값과 실제로 측정된 측정값 사이의 차이들에 대한 집

단별 (혹은 전체 집단의) 평균을 의미한다. 따라서, 이 경우 양(+)의 값은 측정값보다 어림값이 더 큰 경우를 그리고 음(-)의 값은 더 작은 경우를 나타낸다.

하지만, 이러한 차이값의 평균은 어림의 대상이 되는 물체의 절대적 크기에 따라 그 상대적 정확성이 달라질 수 있기 때문에, 그것의 차이백분율을 함께 구하였다. 예컨대, 직관적 길이 어림에서와 같이 차이백분율이 - 5.1%라는 것은 사람들이 어림 대상이 되는 물체의 길이에 대해서 실제 측정값에 비해 5.1% 정도의 작은 값으로 평균적으로 어림하였다는 것을 뜻한다.

그러나 이러한 차이백분율은 여전히 어림값과 측정값 사이의 차이의 평균만을 의미하는 것으로서 각 조사 대상들이 얼마나 정확하게 어림을 하였는가에 대한 충분한 정보를 제공하지는 못한다. 이는 양(+)의 차이와 음(-)의 차이가 서로 상쇄될 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 어림값과 측정값 사이의 차이가 서로 상쇄되지 않는 차이백분율 SD를 함께 구하였다.

(길이 어림)

두 종류의 길이 어림에서 두 집단 모두 실제의 측정값보다 작게 어림하였다 (즉, 직관적 어림에서는 - 5.1%, 조작적 어림에서는 - 7.5%). 차이백분율의 평균 측면에서 볼 때, 두 종류의 어림에서 모두 집단 1(즉, 물리학습의 경험이 상대적으로 적은 집단)이 집단 2보다 상대적으로 더 정확했던 것으로 나타났다. 한편, 차이백분율 SD의 측면에서 볼 때, 집단 2가 오히려 집단 1보다 두 종류의 어림에서 모두 앞선 것으로 나타났다. 그리고 차이백분율의 평균 측면에서 볼 때 직관적 어림이 더 나왔으나, 차이백분율의 SD에서 볼 때에는 조작적 어림이 상대적으로 더 정확했던 것으로 나타났다. (Table 2 참조)

요약하자면, 길이 어림의 경우, 집단에 따른 혹은 어림 종류에 따른 일관된 차이를 발견할 수는 없었다. 즉, 길이 어림의 경우 물리학습의 경험이나 어림에서의 조작적 활동의 여부가 어림의 정확성에 일관된 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 2. Results of Length Estimation

Kinds of estimation	Comparison values	Group 1	Group 2	Total
(Wood Chopstick)	Mean of estimation	17.2cm	16.9cm	17.1cm
Intuitive Length Estimation (measured value = 18.0cm)	Mean of difference between estimation and measured value	- 0.8	- 1.1	- 0.9
	Mean of percentile difference(%)	- 4.3	- 6.2	- 5.1
	SD of percentile difference	24.8	17.6	21.6
(Plastic Rod)	Mean of estimation	35.4cm	33.8cm	34.7cm
Operational Length Estimation (measured value = 37.5cm)	Mean of difference between estimation and measured value	- 2.1	- 3.7	- 2.8
	Mean of percentile difference(%)	- 5.6	- 9.8	- 7.5
	SD of percentile difference	14.8	11.1	13.3

Table 3. Results of Mass Estimation

Kinds of estimation	Comparison values	Group 1	Group 2	Total
(Rubber Eraser)	Mean of estimation	46.0g	21.5g	35.0g
Intuitive Mass Estimation (measured value = 30g)	Mean of difference between estimation and measured value	16.0	- 8.5	5.0
	Mean of percentile difference(%)	53.2	- 28.3	16.5
	SD of percentile difference	351.2	91.8	269.9
(Lock)	Mean of estimation	197.2g	255.6g	222.6g
Operational Mass Estimation (measured value = 90g)	Mean of difference between estimation and measured value	107.2	151.4	127.1
	Mean of percentile difference(%)	119.1	168.2	141.2
	SD of percentile difference	331.7	550.4	438.1

(질량 어림)

두 종류의 질량 어림에서 전체적으로 두 집단 모두 실제의 측정값보다 크게 어림하였으며, 특히 그 정도가 조작적 어림에서 매우 크게 나타났다 (즉, 직관적 어림에서는 16.5%, 조작적 어림에서는 141.2%). 차이백분율의 평균 측면에서 볼 때, 직관적 어림에서는 집단 1이 조작적 어림에서는 집단 2가 상대적으로 더 정확한 어림을 하였다. 반면에, 차이백분율 SD의 측면에서 볼 때는, 직관적 어림에서는 집단 2가 그리고

조작적 어림에서는 집단 1이 상대적으로 더 정확한 어림을 하였던 것으로 나타났다. (Table 3 참조)

요약하자면, 질량 어림의 경우, 집단별로 일관된 차이를 나타나지 않았으나, 직관적 어림이 조작적 어림보다 상대적으로 훨씬 더 정확한 것으로 나타났다. 즉, 질량에 대한 어림의 경우, 충분한 생각과 조작적 행동을 동반한 조작적 어림이 오히려 훨씬 더 큰 오차를 보였던 것이다.

(시간 어림)

두 종류의 시간 어림에서 두 집단 모두 실제의 측정값보다 크게 어림하였으며, 그 정도는 직관적 어림에서 더욱 크게 나타났다 (즉, 직관적 어림에서 57.0%, 조작적 어림에서 18.7%). 차이백분율의 평균 측면에서 볼 때, 직관적 어림에서는 집단 1이 조작적 어림에서는 집단 2가 상대적으로 더 정확한 어림을 하였다. 그리고 차이백분율 SD의 측면에서도 동일한 경향이 나타났다. (Table 4 참조)

요약하자면, 시간 어림의 경우, 직관적 어림은 집단 1이 그리고 조작적 어림은 집단 2가 더 정확한 어림을 하는 것으로 나타났다. 그리고 전체적으로 조작적 어림이 더 정확한 것으로 나타났다.

(온도 어림)

두 종류의 온도 어림에서 두 집단 모두 실제의 측정값보다 작게 어림하였으며, 그 정도는 조작적 어림에서 더 크게 나타났다 (즉, 직관적 어림에서 - 30.6%, 조작적 어림에서 - 46.9%). 차이백분율의 평균 측면에서 볼 때, 두 종류의 어림에서 모두 집단 2가 집단 1보다 상대적으로 더 정확한 어림을 한 것으로 나타났다. 한편, 차이백분율 SD의 측면에서 볼 때, 집단 1이 오히려 집단 2보다 두 종류의 어림에서 모두 앞선 것으로 나타났다. (Table 5 참조 - 모든 계산 값들은 °C 단위의 어림값을 기초로 한 것들이다.)

요약하자면, 온도 어림의 경우, 집단별로는 집단 1이 상대적으로 더 정확한 어림을 하였으며, 어림 종류별

Table 4. Results of Time Estimation

Kinds of estimation	Comparison values	Group 1	Group 2	Total
(Electric Fan) Intuitive Time Estimation (measured value = 7.9s)	Mean of estimation	11.9s	13.0s	12.4s
	Mean of difference between estimation and measured value	4.0	5.1	4.5
	Mean of percentile difference(%)	50.8	64.5	57.0
	SD of percentile difference	96.3	158.2	126.3
(Simple Pendulum) Operational Ttime Estimation (measured value = 1.23s)	Mean of estimation	1.7s	1.3s	1.5s
	Mean of difference between estimation and measured value	0.4	0.0	0.2
	Mean of percentile difference(%)	31.9	2.4	18.7
	SD of percentile difference	62.8	37.9	54.5

Table 5. Results of Temperature Estimation

Kinds of Estimation	Comparison values	Group 1	Group 2	Total
(Water in Coffee Cup) Intuitive Temperature Estimation	Mean of difference between estimation and measured value	- 13.3	- 7.4	- 10.8
	Mean of percentile difference(%)	- 37.8	- 21.3	- 30.6
	SD of percentile difference	29.4	40.9	35.4
(Water in Coffee Cup) Operational Temperature Estimation	Mean of difference between estimation and measured value	- 13.7	- 9.9	- 12.0
	Mean of percentile difference(%)	- 52.7	- 39.9	- 46.9
	SD of percentile difference	22.0	41.7	32.5

로는 주목할만한 차이가 나타나지 않았다.

III-2 어림의 방법에 대한 조사 결과 및 논의

이미 언급한 바와 같이, 어림의 방법에 대한 조사는 조작적 어림의 경우에만 이루어졌다. 즉, 조사 참여자들은 조작적 어림의 대상이 되는 4가지 대상물에 대해 각 물리량에 대한 어림값을 구하고, 그러한 값을 어떻게 얻게되었는지에 대해 응답지에 서술식으로 응답하였다. 여기에서는 이러한 어림 방법에 대한 응답들을 그 특징과 내용에 따라 분류하고 그 상대적 빈도와 특징 등을 중심으로 논의하였다.

(길이 어림)

주어진 플라스틱 막대의 길이를 어림하기 위해서, 총 40명의 참여자 중 18명이 자신의 손을 이용하였으

며, 3명은 주변의 물체들과 비교하였고, 16명은 일종의 자신의 마음 속에 있는 자와 비교하였다. (Table 6 참조)

손을 이용한 경우 중, 절대 다수(13명)는 자신의 한 뼘을 기준으로 어림하였으며, 손바닥을 기준으로 어림한 경우는 2명이었다. 주변의 물체와 비교한 경우는 플라스틱 막대가 놓여 있던 책상보의 체크무늬의 간격, A4 용지의 크기 그리고 담배갑 등을 기준으로 길이를 어림하였다.

16명은 자신의 마음 속에 있는 나름대로 기준인 자를 상상하면서 그것을 기준으로 조사물의 길이를 어림하였다. 이중 10명은 평소 자신이 경험하였던 30cm 자를 마음 속으로 그려서 그것을 기준으로 삼았으며, 2명은 50cm자를 기준으로 삼았고, 나머지는 다양한 길이의 마음 속 자를 기준으로 어림하였다.

Table 6. Results of the analysis of the methods for Length Estimation (plastic rod)

Estimation method	Response examples	frequency(%)
Using hands (18)	span • <i>The length of my hand span is 24cm, but it's slightly longer.</i>	13*(32.5)
	palm • <i>my palm = about 25, remaining length = about 15cm</i>	2 (5.0)
	others • <i>by measuring with hands</i> • <i>I tried out the interval with my hand for 1cm.</i>	3 (7.5)
Comparison of table with things around (3)	patterns • <i>The check pattern of the table cover is estimated about 2cm per each line, and there are 17 lines. Thus I guess it would be about 2×17=34cm.</i>	1 (2.5)
	A4 paper • <i>with the comparison with A4 paper</i> cigarette • <i>I estimated through the comparison with the length of cigarette case.</i>	1 (2.5)
Comparison with the ruler in mind (16)	30cm • <i>I imagined the ruler of 30cm, and compared with it.</i>	10*(25.0)
	50cm • <i>It seems little bit shorter than a 50cm ruler in my home.</i>	2 (5.0)
	others • <i>Looks the same with the length of ordinary ruler.</i> • <i>based on my experience with drawing rulers</i> • <i>I estimated roughly the length of 5cm, and used it as a unit.</i>	4 (10.0)
Just guessing (3)	• <i>roughly by felling...</i>	2 (5.0)
Unclear (1)	• <i>10cm estimation by the eye</i>	1 (2.5)
Others (1)	• <i>compared with Set 1</i>	1 (2.5)
Total		40 (100)

* including double responses

(질량 어림)

주어진 자물쇠의 질량을 어림하기 위해서, 총 11명이 마음 속의 저울과 비교하였다. 질량 어림에서는 자신의 신체 일부를 사용하거나 (물체를 들어보는 것 이외의) 주변의 물체와 비교하는 경우는 없었다. 물론 이는 질량이라는 물리량을 신체의 일부와 비교해 볼 수 있는 방법이 실제로 거의 없는 현실을 반영하는 것이라 할 수 있다. (Table 7 참조)

마음 속의 저울을 기준으로 어림한 경우에 있어서, 5명은 실험실에서 경험하였던 추(예를 들어, 1kg짜리

추)를 그리고 4명은 고기 1근(600g)을 기준으로 어림하였다. 여기에서는 단순 짐작으로 어림한 경우가 유난히 많았는데 (19명), 이는 질량 어림의 경우 마음 속의 저울 이외에는 어림의 기준으로 사용할 만한 것이 거의 없었던 점을 반영하는 것으로 추측된다.

(시간 어림)

주어진 단진자의 주기에 해당하는 시간을 어림하기 위해서, 21명이 마음 속의 시계를 기준으로 이용하였으며, 4명은 맥박이나 발구름과 같은 신체를 사용하

Table 7. Results of the analysis of the methods for Mass Estimation (lock)

Estimation method	Response examples	frequency(%)
Comparison with things around (1)	• compared with the mass of watch	1 (2.4)
weights in lab.	• It was about 2 times of the weight of 1kg weight which I lifted at lab. • I compared with the weights of weights during experiments	5* (12.2)
Comparison with the balance in mind (11)	• Because I lifted it, I compared with 600g of meat. • when I guessed with the standard of 1 Geun of meat	4 (.8)
others	• about a half of the weight of 200cc water glass • according to my experience (weight(book)) • I lifted it and it seemed to be lighter than 1kg.	3* (7.3)
Just guessing (19)	• mainly by guessing • Just according to my feeling, it seems 300g. • I thought it would be 130g through my insight. • I guessed. • hand estimation	19 (46.3)
Unclear (2)	• steal ... • known by general analogy	2 (4.9)
Others (7)	• (compared with Set 1) hand feeling, compared with the mass of the previous rubber • (difficulty with g units) feeling, never lifted something of g units • (don't know) too difficult to answer	2 (4.9) 2 (4.9) 3 (7.3)
Total		41 (100)

* including double responses

Table 8. Results of the analysis of the methods for Time Estimation (simple pendulum)

Estimation method		Response examples	frequency(%)
Using body (4)	pulse	• pulse rate	1 (2.5)
	feet	• feet stamping	2 (5.0)
	eye	• by blinking eye	1 (2.5)

Comparison with things around (1)	table clock	• sound intervals of a second hand	1 (2.5)

Comparison with the watch in mind (21)	second hand	• with the conception of a second in my mind • by feeling, I used everyday experience of the time interval of second hand • in mind, counted 1s, 2s ... fathomed	9 (22.5)
	sense of time	• I counted in my mind. • I counted with my eyes.	12 (30.0)

Estimation with physics (3)	simple pendulum	• I considered it a simple pendulum motion, and thought the period was 1 second.	3 (7.5)
		• $T = 2\pi(1/g)1/2 = 6.28(0.3/10)1/2 \approx 1$, I used the formula and roughly guessed.	

Just guessing (7)		• insight • by feeling • just guessed	7 (17.5)

Unclear (1)		• because I could count the time	1 (2.5)

Others (2)		• don't know	2 (5.0)

No response (1)			1 (2.5)
Total			40 (100)

였고, 실내의 구석에 있던 탁상시계의 초시계 바늘 소리를 기준으로 삼은 경우도 1명 있었다. 한편, 주어진 대상이 단진자임을 파악하고 단진자의 물리적 특성을 기준으로 주기에 해당하는 시간에 대해 어렵한 경우는 모두 3명이었다. 특히, 이중 1명은 단진자의 길이를 대충 어렵하고 이를 단진자의 주기 공식에 대입하여 그 대강의 값을 추정하기도 하였다 (이 사람은 교수였음). (Table 8 참조) 마음 속의 시계를 기준으로 어렵한 경우에는, 참여자들의 응답이 항상 분명한 것이 아니어서 그 정확한 과정을 명쾌하게 알아 볼 수는 없었지만, 많은 경우 1초 단위를 기준으로 그 시간을 추정한 것으로 보인다.

(온도 어렵)

주어진 커피잔 속의 물의 온도를 어렵하기 위해서, 12명은 체온을 기준으로 판단하였으며, 7명은 실내온도나 기온 등의 주변 온도를 기준으로 어렵하였고, 9명은 마음 속의 온도계를 기준으로 어렵한 것으로 나타났다. 물리학적 의미에서 응답한 경우는 1명으로서 열적 평형상태의 개념을 사용하였다. (Table 9 참조) 마음 속의 온도계를 기준으로 어렵한 경우에서, 7명은 물의 온도를 기준으로 판단하였으며, 1명은 맥주의 온도를 기준으로 (당시 유행하던 맥주 광고의 영향을 받았음), 그리고 나머지 1명은 자판기의 커피 온도를 기준으로 판단하였다.

Table 9. Results of the analysis of the methods for Temperature Estimation (water)

Estimation method	Response examples	frequency(%)
Using body (12)	body temperature <ul style="list-style-type: none"> • because it was cooler than my hand • much cooler than body temperature • compared with my body temperature • My hand is cool thus lower than 30°C, but it felt very cold. 	12* (29.3)
Comparison with surroundings (7)	room temperature <ul style="list-style-type: none"> • about the half of the room temperature • Because I touched it and it was higher than room temperature but lower than body. 	4* (9.8)
	atmospheric temperature <ul style="list-style-type: none"> • seems to be similar to weather • slightly lower temperature than summer atmospheric temperature(30°C) 	3 (7.3)
Comparison with the thermometer in mind (9)	(tap)water <ul style="list-style-type: none"> • temperature of tap water(everyday experience, compared with cold water in refrigerator) • because near to stream water at this temperature • thought it would be 7°C because looks like they brought water on hot day 	7* (17.1)
	beer <ul style="list-style-type: none"> • Because beer feels cool at 7°C. 	1 (2.4)
	coffee <ul style="list-style-type: none"> • considered the temperatures of hot coffee and cold coffee 	1 (2.4)
Estimation with physics (1)	thermal equilibrium <ul style="list-style-type: none"> • same as previous (being at thermal equilibrium) 	1 (2.4)
Just guessing (8)	<ul style="list-style-type: none"> • intuition • by feeling 	8 (19.5)
Others (3)	<ul style="list-style-type: none"> • too difficult to answer • based on the experience with Set (1) • Based on the experience up to now, temperature span seems like that. 	3 (7.3)
No response (1)		1 (2.4)
Total		41 (100)

* including double responses

IV. 결 론

본 연구는 물리교육을 전공하는 학과의 학부생, 대학원생, 교수 등 총 40명을 대상으로 실제적 검사기 상대적으로 용이한 길이, 질량, 시간, 온도의 4가지 기초물리량에 대한 사람들의 어림의 정확성과 방법에 대해 조사하였다. 어림 활동은 어림 대상을 직면하는

즉시 신체적 정신적 조작 없이 즉각적으로 어림을 하는 '직관적 어림'과 어림 대상에 대해 충분한 시간을 갖고 자신의 신체나 주변의 각종 사물들을 활용하면서 어림을 하는 '조작적 어림' 두 가지로 구분하여 조사하였다. 각 기초물리량의 어림에 대한 대상물로는 나무젓가락과 플라스틱 막대 (길이), 지우개와 자물쇠 (질량), 선풍기와 단전자 (시간), 그리고 커피잔

속의 물 (온도) 등이 사용되었다.

직관적 어림에서는 조사 참여자들이 각각 각 물리량에 대해 어림한 값을 응답지에 기입하였으며, 조작적 어림에서는 각 물리량에 대한 어림값과 함께 그러한 어림값을 얻게된 과정을 응답지에 서술식으로 기록하였다. 본 연구의 결과를 간단히 요약하면 다음과 같다.

첫째, 전체적으로 길이, 질량, 온도에 대해서는 직관적 어림의 값이 보다 정확하였으며, 시간에 대해서는 조작적 어림의 값이 더 정확하였다. 그리고 차이백분을 평균이나 차이백분율에 따라서 그리고 집단에 따라서 부분적인 차이들이 나타났다. 따라서, 전체적으로 시간을 충분히 갖고 다양한 정신적 신체적 조작을 통해서 어림을 하더라도 기초물리량에 대해서는 보다 정확한 어림을 얻지 못하였으며, 오히려 직관적 어림이 더 나은 경우가 많았다. 이는 아마도 본 연구에서 조사한 기초물리량 자체가 물리학적 지식이나 개념과는 상당히 무관한 매우 기초적인 물리량이며 동시에 그 대상물 또한 물리적 사고보다는 일상적 경험의 대상이 되는 물체이었기 때문인 것으로 추측된다.

둘째, 물리학습의 경험 정도가 기초물리량의 어림에 대한 능력과 무관한 것으로 나타났다. 상대적으로 더 많은 물리학습의 경험을 지닌 집단2와 그와 대비되는 집단1 사이에 직관적 및 조작적 어림의 정확성에 있어서 일관된 결과를 찾을 수 없었다. 이것 또한 어림의 대상이 되었던 물리량들이 상대적으로 물리학적 지식과 이해와 비교적 독립적인 것이었기 때문인 것으로 추정된다.

셋째, 물리량의 종류에 따라 어림 능력이 차이가 난다. 예컨대, 차이백분율 평균 측면에서 판단할 때, 각 물리량에 대한 직관적 어림과 조작적 어림 능력의 순서는 길이(5.1%, 7.5%) > 시간(57.0%, 18.7%) > 온도(30.6%, 46.9%) > 질량(16.5%, 141.2%)이었다. 물론, 여기에서 주목할 점은 이러한 전체적인 차이에도 불구하고 직관적 어림과 조작적 어림에 따라서 상당히 부분적인 차이가 있었다.

넷째, 조작적 어림의 과정에서 참여자들은 다양한 방법을 동원하여 어림값을 얻은 것으로 나타났다. 특히, 사람들은 마음 속의 다양한 기준을 각 물리량에

따라서 사용하는 것으로 나타났다. 예컨대, 길이의 경우 30cm 및 50cm 자를, 질량의 경우 1kg의 추와 고기 1근을, 시간의 경우 1초에 해당하는 마음 속의 시계, 온도의 경우 수돗물 온도 등을 어림 판단의 기준으로 사용하는 것으로 나타났다. 특히 이러한 마음 속의 기준을 활용할 경우, 기준이 되는 특정 값은 대개 편리한 수를 기준으로 사용하였던 것이다 (예컨대, 30cm, 50cm, 1kg, 1근, 1초 등). 뿐만 아니라, 참여자들은 필요한 경우 주변에 있는 다양한 물체나 상태를 어림의 기준으로 삼아 활용하기도 하였다.

기본적으로 과학 활동은 실세계와 과학세계 사이의 상호작용이라 할 수 있다 (박종원 외, 1998). 그리고, 과학적 어림 활동은 정량적 과학 개념에 대해 과학적 사고과정을 통해 그 값을 추정하는 것이며, 이런 이유에서 학습자로 하여금 자신과 자신을 둘러싸고 있는 세계와의 상호작용을 촉진해 준다.

따라서, 물리(과학)학습에 있어서 '어림'은 다음과 같은 의미에서 그 중요성을 갖는다고 할 수 있겠다. 첫째, 어림은 과학세계와 실세계를 연결시켜준다. 즉, 학습자의 사고 안에 있는 개념적 이해(conceptual understanding)와 그것이 적용되어야 할 대상이 되는 물리적 현상(physical phenomena) 사이의 활발한 상호작용을 돕는다. 둘째, 어림은 물리적(혹은 과학적) 사고의 본질적 측면이다. 예컨대, 근사는 보다 수학적 계산을 포함하고, 측정에는 도구의 사용을 포함하는 보다 기술적(technical or skill) 특성을 포함하며, 추론은 논리적 사고의 전개를 포함하는 것임에 비해서, 어림은 물리적 이해와 물리적 현상 사이의 상호작용적 관계를 의미한다. 셋째, 어림은 구성주의에 기초한 물리학습의 전형적 형태이다. 즉, 자연과학의 정성적 이해(qualitative understanding)를 강조하는 구성주의(constructivism)적 경향과 정량적 값(quantitative values)의 결정을 전통적으로 강조하는 대표적인 정밀과학(exact science)인 물리학의 만남인 것이다.

그렇다면, 이러한 중요성에도 불구하고, 왜 지금까지 어림은 물리교육(또는 과학교육) 분야에서 국내외 연구자들의 관심의 대상이 되지 못하였는가? 이는 기본적으로 지난 20세기 동안의 물리교육 및 과학교육

의 역사적 변천 양상과 그 맥을 같이 한다고 할 수 있겠다. 19세기 이후 정밀과학의 전형으로 간주되었던 물리학은 자연스럽게 정확한 값의 산출에 모든 관심을 쏟았으며 이러한 분위기는 과학(물리)학습에서 보다 정확한 측정 활동을 강조하게 되었다. 한편, 20세기 초반 동안의 실증주의적(positivistic) 과학철학의 전통과 이를 기본 이념으로 받아들였던 1960년대 이후의 과학탐구의 전통 또한 가설검증식 탐구의 과정과 기능으로서의 측정 활동을 강조하였던 것이다.

앞에서 이미 지적한 바와 같이, 본 연구에서는 매우 기초적인 그리고 일상적 경험 범위내의 기본물리량에 대한 어림 활동의 측면만을 소수의 피험자를 대상으로 살펴보았다. 그리고 어림 활동을 '직관적 어림'과 '조작적 어림' 두 가지로 간략히 구분하였다.

따라서, 본 연구에서 해결되지 못한 많은 문제들이 여전히 남아 있으며, 이는 대부분 향후 연구과제로 보다 철저하게 조사·분석될 필요가 있겠다. 예컨대, '어림과 과학적 어림은 다른가?', '만약 그렇다면, 과학적 어림의 조건은 무엇인가?', '어림에는 근사에서와 같은 계산과정이 포함되지 않는가? 아니면 근사와는 다른 종류의 계산이 포함되는가?' 등의 문제는 앞으로 해결되어야 할 어림에 대한 개념적 문제에 해당한다.

한편, "이 방안에 있는 공기 분자 수는 몇 개나 될까?" 혹은 "에베레스트 산 꼭대기에서의 중력가속도는 얼마나 작아질까?" 등과 같은 어림은 본 연구에서 살펴본 기본물리량에 대한 어림과는 그 성격에 있어서 본질적으로 차이가 난다. 예컨대, 이 질문들은 기체 분자 운동론이나 중력과 같은 개념적 이해를 기초로 할 경우에만 과학적으로 의미있는 어림으로 이어질 것이다. 또한 동일한 종류의 기본물리량을 묻더라도 그 스케일이 다르면 요구되는 어림 활동의 성격도 달라질 것이다. 예컨대, '이 막대의 길이는 얼마나 될까?'와 '헬리 헬성의 공전 장반경은 얼마나 될까?'는 전혀 다른 종류의 어림을 요구하는 것이다. 과학자가 수행하는 그리고 과학교육에서 필요로 하는 어림도 이러한 종류의 어림일 것이다. 이러한 의미에서 본 연구에서 '직관적 어림'으로 불렸던 어림활동은 과학적 혹은 과학적으로 의미있는 어림이라고 보기 어려

울 수 있겠다. 따라서 앞으로는 보다 과학적으로 의미있는 어림 또는 보다 고차적인 과학적 이해를 필요로 하는 어림에 대한 연구가 뒤따라야 할 것이다.

또한, 본 연구에서는 어림 활동의 과정을 알아보기 위해 질문에 서술형으로 응답하는 형태를 취하였다. 물론 어림을 하는 정신적 과정은 당연히 이러한 서술형 응답으로 보여질 수 없는 많은 복잡한 과정을 함께 포함할 것이다. 따라서, 보다 정확한 어림의 과정을 알아보기 위해서는 면담이나 발성사고법 등의 방법을 사용하여 어림의 결과와 연계하여 조사할 필요가 있겠다.

결론적으로, 본 연구는 과학학습과 관련하여 어림 활동에 대한 매우 기초적인 측면만을 살펴볼 수 있었으며, 어림에 대한 보다 체계적이고 종합적인 연구의 출발점으로서 더 많은 연구문제를 제기한 것에 불과하다. 앞으로 과학학습과 어림의 개념적, 실험적, 질적, 처방적 측면에 대한 보다 많은 연구들이 계속 이어지길 기대한다.

적 요

본 연구는 길이, 질량, 시간, 온도와 같은 일부 기본물리량에 대한 사람들의 어림의 정확성과 방법에 대해 탐색하였다. 대학 물리교육과의 구성원(학부 1학년부터 교수까지) 중 임의로 선정된 총 40명이 2종류의 대상물 세트에 대해 직관적 어림과 조작적 어림 활동을 수행하였다. 직관적 어림에서는 참여자들이 각 대상물을 직면하자마자 해당 물리량의 값을 어림하였으며, 조작적 어림에서는 별도의 대상물에 대해서 충분한 시간을 두고 다양한 가용한 방법들을 (예컨대, 길이를 어림하기 위해 연필을 활용하거나 시간을 어림하기 위해 맥박을 세거나) 동원하여 어림하였다. 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있겠다: ① 길이, 질량, 온도에 대해서는 직관적 어림이 더 정확하였으나 시간에 대해서는 조작적 어림이 더 정확하였다. ② 물리학에 대한 경험의 정도와 어림의 정확성 사이에는 정적인 상관관계가 존재하지 않았다. ③ 일반적으로 길이에 대한 어림이 가장 정확하였으며 질량에 대한 어림은 가장 부정확하였다. ④ 사람들은

조작적 어려움을 위해서 스스로의 다양한 방법을 사용하였는데, 예컨대 대상물 주변의 각종 사물들을 활용하거나 특정한 값을 갖는 마음 속의 측정 단위(즉, 30cm, 50cm, 1kg, 1근, 1초 등)들을 적용하였다.

참 고 문 헌

- 김민수 외 3인 (1991). 금성판 국어대사전. 금성출판사: 서울.
- 박종원, 정병훈, 권성기, 송진웅 (1998). 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해 조사 I - 이상화의 의미와 특성을 중심으로 -. 한국과학교육학회지, 18(2), 209-219.
- 서정아 (2000). 정량적 물리개념에 대한 어림활동과 측정활동이 문제해결 과정에 미치는 영향. 서울대학교 교육학 박사학위논문.
- Arons, A. (1984). Student patterns of thinking and reasoning. *The Physics Teacher*, 21-26 (January).
- Bright, G. W. (1979). Estimating Physical Measurements. *School Science and Mathematics*, 79, 581-586.
- Fortgang, A. (1995). The Triangle of Science. *The Science Teacher*, 32-36 (January).
- Labato, J. E. (1993). Making Connections with Estimation. *Arithmetic Teacher*, 347-351 (February).
- Micklo, S. (1999). Estimation: it's more than a guess. *Childhood Education*, 75(3), 1-4.
- Sinclair, J. et al. (1987). *Collins Cobuild English Language Dictionary*. Collins: London.
- Thompson, A. G. (1979). Estimating and Approximating. *School Science and Mathematics*, 79, 575-579.