※ The footnotes are written only in Korean.

※ A table of contents is available in the PDF or DOCX file.

※ PDF나 DOCX 파일에서 목차를 사용하실 수 있습니다.

SECTION LEARNING OBJECTIVES / 학습 목표

By the end of this section, you will be able to do the following:

이 절을 마치면 다음을 할 수 있습니다.

Associate physical quantities with their International System of Units (SI)and[1] perform conversions among SI units using scientific notation

물리량을 국제단위계(Le Systeme Intenational d' Unites, SI)를 사용해 표기하고, 과학적 표기법을 활용해 SI 단위 간에 단위 변환하기

Relate measurement uncertainty to significant figures and apply the rules for using significant figures in calculations

측정 불확도를 유효 숫자를 활용해 나타내고, 유효 숫자로 계산할 때 필요한 규칙 적용하기

Correctly create, label[2], and identify relationships in graphs using mathematical relationships (e.g., slope, *y*-intercept, inverse, quadratic and logarithmic)

수학적 관계(예: 기울기, y절편, 음의 관계, 이차 및 로그 관계)를 활용해 그래프에서 올바르게 관계를 생성하고, 필요 사항을 기입하고, 그 관계를 파악하기

Section Key Terms / 주요 용어

accuracy 정확도	ampere 암페어	constant 상수	conversion factor 환산 인자	dependent variable 독립변수
derived units 유도단위	English units 영국 단위	exponential relationship 지수 관계	fundamental physical units 기본단위	independent variable 종속변수

[1] "(SI)"와 "and"를 띄어서 써야 할 것 같습니다.

[2] [Graphing in Physics] 부분을 보면 "label"은 두 가지 상황에서 쓰입니다. 첫 번째는 각 축에 이름을 붙이는 것이고, 두 번째는 눈금을 적는 것입니다. 그래서 두 의미를 다 아우를 수 있게 '필요 사항 기입'이라는 표현을 썼습니다.

inverse relationship 음의 관계	inversely proportional 반비례인	kilogram 킬로그램	linear relationship 선형 관계	logarithmic (log) scale 로그 스케일
log–log plot 로그–로그 그래프	meter 미터	method of adding percents 백분율 더하기 방식	order of magnitude 크기 정도	precision 정밀도
quadratic relationship 이차 관계	scientific notation 과학적 표기법	second 초	semi–log plot 세미로그 그래프	SI units SI 단위
significant figures 유효 숫자	slope 기울기	uncertainty 불확도	variable 변수	*y*–intercept y절편

The Role of Units / 단위의 역할

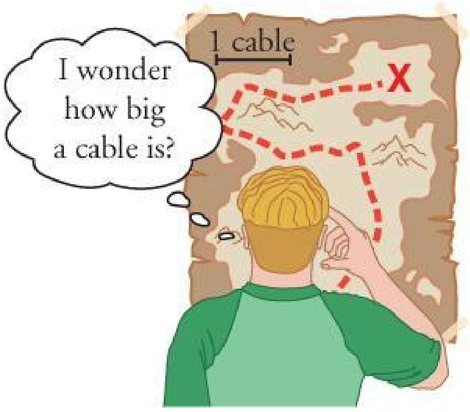
Physicists, like other scientists, make observations and ask basic questions. For example, how big is an[3] object? How much mass does it have? How far did it travel? To answer these questions, they make measurements with various instruments (e.g., meter stick, balance, stopwatch, etc.).

물리학자는 다른 과학자와 마찬가지로 관찰을 하고 기본적인 질문을 던집니다. 예로 "물체가 얼마나 크지?", "이것의 질량이 얼마이지?", "이것이 얼마나 멀리 이동했지?"를 들 수 있습니다. 물리학자는 이 질문들에 답하려고 미터자, 저울, 스톱워치 등 다양한 도구로 측정을 합니다.

The measurements of physical quantities are expressed in terms of units, which are standardized values. For example, the length of a race, which is a physical quantity, can be expressed in meters (for sprinters) or kilometers (for long distance runners). Without standardized units, it would be extremely difficult for scientists to express and compare measured values in a meaningful way (Figure 1.13).

물리량 측정값은 표준화된 값인 단위를 활용해 표기됩니다. 예를 들어 경주 거리는 물리량으로서 단거리 주자 입장에서는 미터로, 장거리 주자 입장에서는 킬로미터로 표기될 수 있습니다. 표준화된 단위가 없으면 측정된 값을 의미 있는 방향으로 표기하고 비교하는 것이 과학자에게 매우 어려울 것입니다 (그림 1.13).

[3] 어떠한 물체인지에 따라 크기가 달라지므로 "an"보다는 "the"가 더 적절하다고 생각합니다. 하지만 일단은 지시 관형사("이", "그" 등)를 쓰지 않았습니다.



(말풍선 내용: “케이블이 얼마나 긴지 궁금한데?”)[4]

Figure 1.13 Distances given in unknown units are maddeningly useless.

그림 1.13 모르는 단위가 적힌 거리는 정말 쓸모없습니다.

All physical quantities in the International System of Units (SI) are expressed in terms of combinations of seven **fundamental physical** units[5], which are units for: length, mass, time, electric current, temperature, amount of a substance, and luminous intensity.

국제단위계(Le Systeme Intenational d’ Unites, SI)에 있는 모든 물리량은 길이, 질량, 시간, 전류, 온도, 물질량, 광도를 나타내는 7가지 **기본단위**가 조합되어서 표기됩니다.

SI Units: Fundamental and Derived Units / SI 단위: 기본단위와 유도단위

In any system of units, the units for some physical quantities must be defined through a measurement process. These are called the **base quantities** for that system and their units are the system’s **base units**.[6] All other physical quantities can then be expressed as algebraic combinations of the base quantities. Each of these physical quantities is then known as a **derived quantity** and each unit is called a **derived unit**. The choice of base quantities is somewhat arbitrary, as long as they are independent of each other and all other quantities can be derived from them. Typically, the goal is to choose physical quantities that can be measured

[4] 1. 케이블마다 길이가 다를 수 있으므로 “a”보다는 “the”가 더 적절하다고 생각합니다. 하지만 일단은 지시 관형사(“이”, “그” 등)를 쓰지 않았습니다. / 2. 평서문인데 물음표가 쓰이는 오타가 있습니다.

[5] “기본단위를 조합해서”라는 표현을 원래 썼는데, 이렇게 되면 갑자기 사람이 주체인 의미가 들어가서 “기본단위가 조합되어서”로 바꿨습니다.

[6] “base unit”에 대해 이야기할 때도 “called”를 붙이면 문장의 일관성이 더 살아날 텐데 그렇지 않아 아쉽습니다. 번역도 그냥 “이다”라고 했습니다.

accurately to a high precision as the base quantities. The reason for this is simple. Since the derived units can be expressed as algebraic combinations of the base units, they can only be as accurate and precise as the base units from which they are derived.

어떠한 단위계에서든 일부 물리량 단위는 반드시 측정을 거쳐서 정의되어야 합니다. 이 물리량들은 해당 단위계의 **기본량**이라고 하고, 이 물리량들의 단위들은 해당 단위계의 **기본단위**입니다. 그러면 다른 모든 물리량은 기본량을 대수적으로 조합해서 표기할 수 있습니다. 이 물리량 각각은 그래서 **유도량**이라고 하고, 이 단위 각각은 **유도단위**라고 합니다. 기본량끼리는 서로 독립적이고 다른 모든 물리량이 기본량에서 유도될 수 있는 상황인 이상, 무엇을 기본량으로 할지를 선택하는 것은 다소 임의적이라고 할 수 있습니다. 일반적으로 높은 정밀도로 정확하게 측정될 수 있는 물리량을 기본량으로 하는 것을 목표로 합니다. 이렇게 하는 이유는 간단합니다. 유도단위는 기본단위가 대수적으로 조합되어서 표기될 수 있으므로, 기반하는 기본단위가 정확하고 정밀한 만큼만 정확하고 정밀할 수 있습니다.

Based on such considerations, the International Standards Organization recommends using seven base quantities, which form the International System of Quantities (ISQ).[7] These are the base quantities used to define the SI base units. (Table 1.1) lists these seven ISQ base quantities and the corresponding SI base units.

이러한 사항들을 고려해서 국제표준화기구는 7가지 기본량들을 사용하는 것을 권장하고, 이 기본량들은 국제양체계(International System of Quantities, ISQ)의 근간이 됩니다. 이 기본량들은 SI 기본단위를 정의하기 위해 사용되는 기본량들입니다. (표 1.1)에는 이 7가지 ISQ 기본량들과, 이들에 상응하는 SI 기본단위들이 정리되어 있습니다.

Quantity **양**	Name **명칭**	Symbol **기호**
Length 길이	Meter 미터	m
Mass 질량	Kilogram 킬로그램	kg
Time 시간	Second 초	s
Electric current 전류	Ampere 암페어	A

[7] "7가지 기본량"에 "들"을 붙인 이유는 뒤에 "이러한 기본량들"이 나와서 일관성을 맞추기 위해서입니다.

Temperature 온도	Kelvin 켈빈	K
Amount of substance 물질량	Mole 몰	mol
Luminous intensity 광도	Candela 칸델라	cd

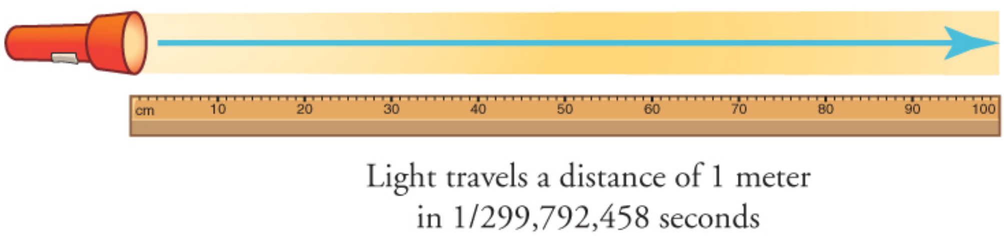
Table 1.1 SI Base Units

표 1.1 SI 기본단위

The Meter / 미터

The SI unit for length is the **meter** (m). The definition of the meter has changed over time to become more accurate and precise. The meter was first defined in 1791 as 1/10,000,000 of the distance from the equator to the North Pole. This measurement was improved in 1889 by redefining the meter to be the distance between two engraved lines on a platinum-iridium bar. (The bar is now housed at the International Bureau of Weights and Measures, near Paris). By 1960, some distances could be measured more precisely by comparing them to wavelengths of light. The meter was redefined as 1,650,763.73 wavelengths of orange light emitted by krypton atoms. In 1983, the meter was given its present definition as the distance light travels in a vacuum in 1/ 299,792,458 of a second (Figure 1.14).

길이에 대한 SI 단위는 **미터**(m)입니다. 미터를 더 정확하고 정밀하게 정의하기 위해서 미터의 정의는 시간이 지나면서 변해왔습니다. 1791년에 미터가 처음으로 정의되었는데, 적도에서 북극까지의 거리의 1/10,000,000이었습니다. 1889년에는 미터를 백금-이리듐 막대에 새겨진 두 선 사이의 거리로 다시 정의하여 이 측정을 개선하였습니다(현재 막대는 파리 근처에 있는 국제도량형국에 보관되어 있습니다). 1960년 이전에 일부 거리를 빛의 파장과 비교해서 더 정확하게 측정할 수 있었는데요. 미터는 크립톤 원자가 방출하는 주황빛 파장의 1,650,763.73배로 다시 정의되었습니다. 1983년에 미터는 지금의 정의로 정의되었는데, 빛이 진공에서 1/299,792,458초 동안 이동하는 거리입니다(그림 1.14).



(그림 문구: 빛은 1/299,792,458초 동안 1미터를 이동합니다.)

Figure 1.14 The meter is defined to be the distance light travels in 1/299,792,458 of a second through a vacuum. Distance traveled is speed multiplied by time.

그림 1.14 미터는 빛이 1/299,792,458초 동안 진공에서 이동한 거리로 정의됩니다. 이동 거리는 속력과 시간을 곱한 것입니다.

The Kilogram / 킬로그램

The SI unit for mass is the **kilogram** (abbreviated kg); it was previously defined to be the mass of a platinum-iridium cylinder kept with the old meter standard at the International Bureau of Weights and Measures near Paris. Exact replicas of the previously defined kilogram are also kept at the United States' National Institute of Standards and Technology, or NIST, located in Gaithersburg, Maryland outside of Washington D.C., and at other locations around the world. The determination of all other masses could be ultimately traced to a comparison with the standard mass. Even though the platinum-iridium cylinder was resistant to corrosion, airborne contaminants were able to adhere to its surface, slightly changing its mass over time. In May 2019, the scientific community adopted a more stable definition of the kilogram. The kilogram is now defined in terms of the second, the meter, and Planck's constant, h (a quantum mechanical value that relates a photon's energy to its frequency[8]).

질량에 대한 SI 단위는 **킬로그램**(줄여서 kg)입니다. 킬로그램은 기존에는 어떤 백금-이리듐 원기둥의 질량으로 정의되었는데, 그 원기둥은 파리 근처에 있는 국제도량형국에 예전 미터원기와 함께 있습니다. 이전에 킬로그램을 정의하기 위해 사용된 정확한 원기 복제품들은 워싱턴 D.C. 밖에 있는 메릴랜드주의 게이더스버그에 있는 미국국립표준기술연구소(the United States' National Institute of Standards and Technology, NIST)에도 있고, 세계 다른 곳에도 있습니다. 다른 모든 질량 측정은 결국에는 표준 질량과의 비교로 귀결될 수 있습니다. 백금-이리듐 원기둥이 부식에 강했다고 하더라도 공기 오염물질이 표면에 붙을 수 있었고, 붙는다면 질량이 시간이 지나면서 약간 변합니다. 2019년 5월, 과학계는 더 안정적인 킬로그램 정의를 채택했습니다. 이제 킬로그램은 초, 미터, 플랑크 상수 h를 활용해 정의됩니다. (h는 양자역학에서 사용되는 값으로 광자의 에너지가 그것의 주파수를 연관시킵니다.)

The Second / 초

The SI unit for time, the **second** (s) also has a long history. For many years it was defined as 1/86,400 of an average solar day. However, the average solar day is actually very gradually

---

[8] E=nhv를 가리키는 것 같습니다.

getting longer due to gradual slowing of Earth's rotation. Accuracy in the fundamental units is essential, since all other measurements are derived from them. Therefore, a new standard was adopted to define the second in terms of a non-varying, or constant, physical phenomenon. One constant phenomenon is the very steady vibration of Cesium atoms, which can be observed and counted. This vibration forms the basis of the cesium atomic clock. In 1967, the second was redefined as the time required for 9,192,631,770 Cesium atom vibrations (Figure 1.15).

시간에 대한 SI 단위인 초(s)도 역사가 깁니다. 오랫동안 초는 평균태양일의 1/86,400로 정의되었습니다. 하지만 실제로 매우 점진적으로 평균태양일이 늘어나고 있는데, 이는 지구의 자전이 점진적으로 느려지고 있기 때문입니다. 기본단위는 다른 모든 측정의 기반이 되므로 정확해야 합니다. 따라서 변하지 않는, 즉 일정한, 물리 현상을 활용한 새로운 기준이 초를 정의하기 위해 채택되었습니다. 일정한 물리현상 중 하나로 세슘 원자의 매우 안정적인 진동이 있고, 이 진동은 관찰되고 측정될 수 있습니다. 이 진동은 세슘 원자시계의 기반이 됩니다. 1967년에 초는 세슘 원자가 9,192,631,770번 진동하는 데 걸리는 시간으로 다시 정의되었습니다. (그림 1.15)

Figure 1.15 An atomic clock such as this one uses the vibrations of cesium atoms to keep time to a precision of one microsecond per year. The fundamental unit of time, the second, is based on such clocks. This image is looking down from the top of an atomic clock. (Steve Jurvetson/Flickr)

그림 1.15 이와 같은 원자시계는 세슘 원자의 진동을 활용해 오차가 1년에 1 마이크로초를 넘지 않게 합니다. 시간의 기본단위인 초는 이러한 시계에 기반하고 있습니다. 해당 이미지는 원자시계 꼭대기에서 내려다보는 모습입니다. (Steve Jurvetson/Flickr)

The Ampere / 암페어

Electric current is measured in the **ampere** (A), named after Andre Ampere. You have probably heard of amperes, or *amps*, when people discuss electrical currents or electrical devices. Understanding an ampere requires a basic understanding of electricity and magnetism, something that will be explored in depth in later chapters of this book. Basically, two parallel wires with an electric current running through them will produce an attractive force on each other. One ampere is defined as the amount of electric current that will produce an attractive force of 2.7×10^{-7} newton per meter of separation between the two wires (the newton is the derived unit of force).[9]

전류는 앙드레 마리 앙페르의 이름을 딴 **암페어**(A)로 측정됩니다. 아마 전류나 전자기기에 관한 이야기가 나올 때 암페어를 들어 보셨을 것입니다. 암페어를 이해하려면 전기와 자기에 대한 기본적인 지식이 있어야 합니다. 전기와 자기는 이 책의 뒤에 있는 장에서 깊이 다룰 예정입니다. 기본적으로 전류가 흐르는 직선 도체 두 개가 평행하게 있으면 두 직선 도체 사이에 인력이 발생합니다. 1 암페어는 그 분리된 두 직선 도체 사이에서 미터당 2.7×10^{-7} 뉴턴의 인력을 생성하는 전류의 양으로 정의됩니다. (뉴턴은 힘의 유도단위입니다.)

Kelvins / 켈빈

The SI unit of temperature is the **kelvin** (or kelvins, but not degrees kelvin). This scale is named after physicist William Thomson, Lord Kelvin, who was the first to call for an absolute temperature scale. The Kelvin scale is based on absolute zero. This is the point at which all thermal energy has been removed from all atoms or molecules in a system. This temperature, 0 K, is equal to −273.15 ° C and −459.67 ° F. Conveniently, the Kelvin scale actually changes in the same way as the Celsius scale. For example, the freezing point (0 ° C) and boiling points of water (100 ° C) are 100 degrees apart on the Celsius scale. These two temperatures are also 100 kelvins apart (freezing point = 273.15 K; boiling point = 373.15 K).

온도에 대한 SI 단위는 **켈빈**입니다("켈빈 몇 도"라고 표현하지 않고 "몇 켈빈"이라고 표현합니다). 이 눈금명은 절대 온도 눈금을 처음으로 제안한 물리학자 윌리엄 톰슨, 켈빈 경의 이름을 따서 만들어졌습니다. 켈빈 온도 눈금은 절대 영도에 기반합니다. 이 온도는 어떠한 계에 있는 모든 원자나 분자의 모든 열에너지가 제거된 상태입니다. 이 온도, 즉 0 K는 −273.15 ° C와 −459.67 ° F와 동일합니다. 편리하게도, 실제로 켈빈 온도 눈금은 섭씨 온도 눈금이 변하는 양상과 같은 양상으로 변합니다. 예를 들어 물의 어는점(0 ° C)과 끓는점(100 ° C)의 차이는 섭씨 온도 눈금에서 100 도입니다. 이 두 온도의 차이는 또한 100 켈빈입니다(어는점: 273.15 K, 끓는점: 373.15 K).

Metric Prefixes / 미터법 접두어

Physical objects or phenomena may vary widely. For example, the size of objects varies from

---

[9] 1. 한국표준과학연구원에 따르면(링크) 예전의 암페어 정의를 가리키는 것 같습니다. 한국표준과학연구원에서는 "wire"에 관해 "전선" 대신 "직선 도체"라는 표현을 썼으므로 여기서도 "직선 도체"라는 표현을 썼습니다. // 2. 내용을 이해하기 위해 참고한 자료는 다음과 같습니다. (자료 1: 링크, 자료 2: 링크) // 3. 책에서는 2.7이라고 나왔지만, 다른 자료들을 찾아보면 2가 맞는 것 같습니다. 따라서 2로 고쳤습니다. (자료 1: 링크, 자료 2: 링크)

something very small (like an atom) to something very large (like a star). Yet the standard metric unit of length is the meter. So, the metric system includes many prefixes that can be attached to a unit. Each prefix is based on factors of 10 (10, 100, 1,000, etc., as well as 0.1, 0.01, 0.001, etc.). Table 1.2 gives the metric prefixes and symbols used to denote the different various factors of 10 in the metric system.

물리적 물체나 현상은 매우 다양할 수 있습니다. 예를 들어 물체의 크기는 원자처럼 아주 작기도 하고 별처럼 아주 크기도 합니다. 그런데 길이에 대한 표준 미터법 단위는 미터뿐입니다. 그래서 미터법에는 단위 앞에 붙을 수 있는 접두어가 많습니다. 각 접두어는 10의 거듭제곱을 바탕으로 이루어져 있습니다(0.1, 0.01, 0.001 등과 더불어 10, 100, 1,000 등). 표 1.2에는 미터법에서 서로 다른 다양한 10의 거듭제곱을 나타내는 데 사용되는 미터법 접두어와 기호가 있습니다.

Prefix **접두어**	Symbol **기호**	Value **값**	Example name **예시 이름**	Example Symbol **예시 기호**	Example Value **예시 값**	Example Description **예시 설명**
exa 엑사	E	10^{18}	Exameter 엑사미터	Em	10^{18} m	Distance light travels in a century 100 년 동안 빛이 이동하는 거리
peta 페타	P	10^{15}	Petasecond 페타초	Ps	10^{15} s	30 million years 3000만 년
tera 테라	T	10^{12}	Terawatt 테라와트	TW	10^{12} W	Powerful laser output 강한 레이저 출력
giga 기가	G	10^{9}	Gigahertz 기가헤르츠	GHz	10^{9} Hz	A microwave frequency 마이크로파의 주파수
mega 메가	M	10^{6}	Megacurie 메가퀴리	MCi	10^{6} Ci	High radioactivity 고방사능
kilo 킬로	k	10^{3}	Kilometer 킬로미터	km	10^{3} m	About 6/10 mile 약 0.6 마일
hecto 헥토	h	10^{2}	Hectoliter 헥토리터	hL	10^{2} L	26 gallons 26 갤런
deka 데카	da	10^{1}	Dekagram 데카그램	dag	10^{1} g	Teaspoon of butter 버터 1 티스푼
		10^{0} (=1)				
deci 데시	d	10^{-1}	Deciliter 데시리터	dL	10^{-1} L	Less than half a soda 소다의 절반보다 더 적은 양

centi 센티	c	10^{-2}	Centimeter 센티미터	cm	10^{-2} m	Fingertip thickness 손가락 끝의 두께
milli 밀리	m	10^{-3}	Milimeter 밀리미터	mm	10^{-3} m	Flea at its shoulder[10]
micro 마이크로	µ	10^{-6}	Micrometer 마이크로미터	µm	10^{-6} m	Detail in microscope 현미경으로 관찰하는 크기
nano 나노	n	10^{-9}	Nanogram 나노그램	ng	10^{-9} g	Small speck of dust 작은 먼지 입자
pico 피코	p	10^{-12}	Picofarad 피코패럿	pF	10^{-12} F	Small capacitor in radio 라디오에 있는 작은 축전기
femto 펨토	f	10^{-15}	Femtometer 펨토미터	fm	10^{-15} m	Size of a proton 양성자의 크기
atto 아토	a	10^{-18}	Attosecond 아토초	as	10^{-18} s	Time light takes to cross an atom 빛이 원자를 가로지르는 데 걸리는 시간

Table 1.2 Metric Prefixes for Powers of 10 and Their Symbols Note—Some examples are approximate.

표 1.2 10의 거듭제곱을 나타내는 미터법 접두어와 그 접두어의 기호 (※ 일부 예시는 근사치입니다.)

The metric system is convenient because conversions between metric units can be done simply by moving the decimal place of a number. This is because the metric prefixes are sequential powers of 10. There are 100 centimeters in a meter, 1000 meters in a kilometer, and so on. In nonmetric systems, such as U.S. customary units, the relationships are less simple—there are 12 inches in a foot, 5,280 feet in a mile, 4 quarts in a gallon, and so on. Another advantage of the metric system is that the same unit can be used over extremely large ranges of values simply by switching to the most-appropriate metric prefix. For example, distances in meters are suitable for building construction, but kilometers are used to describe road construction. Therefore, with the metric system, there is no need to invent new units when measuring very small or very large objects—you just have to move the decimal point (and use the appropriate prefix).

미터법 단위끼리는 그저 숫자의 소수점을 움직여서 단위를 변환할 수 있으므로 미터법은 편리합니다. 이는 미터법 접두어가 10의 순차적인 거듭제곱으로 이루어져 있기 때문입니다. 100

[10] its를 flea라고 간주하면 '자기 어깨에 있는 벼룩'이라고 해야 하는데, 한 생물이 자기 어깨에 있는 것은 말이 안 되는 상황인 것 같아서 번역하지 못했습니다.

센티미터는 1 미터이고, 1000 미터는 1 킬로미터인 식으로 이어집니다. 미국 관습 단위계 같은 미터법이 아닌 단위계에서는 이 관계가 더 복잡합니다. 12 인치는 1 피트이고, 5,280 피트는 1 마일이고, 4 쿼트는 1 갤런인 식으로 이어집니다. 미터법의 또 다른 장점은 매우 넓은 범위에 있는 값을 한 단위로도 표현할 수 있다는 것입니다. 그저 그 값에 가장 적절한 미터법 접두어로 바꾸면 됩니다. 예를 들어 빌딩을 건축할 때는 미터로 된 거리가 적절하지만, 도로 건설을 설명할 때는 킬로미터가 사용됩니다. 따라서 미터법에서는 매우 작은 대상이나 매우 큰 대상을 측정할 때 새로운 단위를 만들 필요가 없습니다. 그저 소수점을 옮기기만 하면 됩니다(그리고 적절한 접두사를 사용하면 됩니다).

Known Ranges of Length, Mass, and Time / 잘 알려진 길이, 질량, 시간의 범위

Table 1.3 lists known lengths, masses, and time measurements. You can see that scientists use a range of measurement units. This wide range demonstrates the vastness and complexity of the universe, as well as the breadth of phenomena physicists study. As you examine this table, note how the metric system allows us to discuss and compare an enormous range of phenomena, using one system of measurement (Figure 1.16 and Figure 1.17).

표 1.3에는 잘 알려진 길이, 질량, 시간 측정값이 있습니다. 표를 보면 과학자들이 여러 측정 단위를 사용함을 알 수 있습니다. 이렇게 범위가 넓다는 사실을 통해 물리학자들이 정말 다양한 현상을 연구함을 알 수 있고, 이와 더불어 우주가 정말 광활하고 복잡함을 알 수 있습니다. 이 표를 살펴볼 때 어떻게 미터법 덕분에 하나의 측정 시스템으로 엄청나게 큰 범위의 현상들을 논의하고 비교할 수 있는지를 주목해 보세요. (그림 1.16과 그림 1.17)

Length (m) **길이 (m)**	Phenomenon Measured **측정된 현상**	Mass (Kg) **질량** (Kg)	Phenomenon Measured[1] **측정된 현상**[1]	Time (s) **시간** (s)	Phenomenon Measured[1] **측정된 현상**[1]
10^{-18}	Present experimental limit to smallest observable detail 현재 실험상 관측할 수 있는 가장 작은 크기	10^{-30}	Mass of an electron (9.11×10^{-31} kg) 전자의 질량 (9.11×10^{-31} kg)	10^{-23}	Time for light to cross a proton 빛이 양성자를 가로지르는 데 걸리는 시간
10^{-15}	Diameter of a proton 양성자의 지름	10^{-27}	Mass of a hydrogen atom (1.67×10^{-27} kg)	10^{-22}	Mean life of an extremely unstable nucleus

			수소 원자의 질량 (1.67×10^{-27} kg)		매우 불안정한 핵의 평균 수명
10^{-14}	Diameter of a uranium nucleus 우라늄 핵의 지름	10^{-15}	Mass of a bacterium 박테리아의 질량	10^{-15}	Time for one oscillation of a visible light 가시광선이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간
10^{-10}	Diameter of a hydrogen atom 수소 원자의 지름	10^{-5}	Mass of a mosquito 모기의 질량	10^{-13}	Time for one vibration of an atom in a solid[11] 고체 물질 속 원자가 한 번 진동하는 데 걸리는 시간
10^{-8}	Thickness of membranes in cell of living organism 생물체의 세포막의 두께	10^{-2}	Mass of a hummingbird 벌새의 질량	10^{-8}	Time for one oscillation of an FM radio wave FM 전파가 한 번 진동하는 데 걸리는 시간
10^{-6}	Wavelength of visible light 가시광선의 파장	1	Mass of a liter of water (about a quart) 물 1 리터의 질량 (약 1 쿼트)	10^{-3}	Duration of a nerve impulse 신경 자극의 지속 시간
10^{-3}	Size of a grain of sand 모래 알갱이의 크기	10^{2}	Mass of a person 사람의 질량	1	Time for one heartbeat 심장이 한 번 박동하는 데 걸리는 시간

[11] 다음 자료들을 참고하여 “고체 물질 속 원자”라고 번역했습니다. (자료 1: 링크 / 자료 2: 링크)

1	Height of a 4-year-old child 4살 아이의 키	10^{3}	Mass of a car 차의 질량	10^{5}	One day (8.64×10^{4} s) 하루의 길이 (8.64×10^{4} s)
10^{2}	Length of a football field 미식축구 경기장의 길이	10^{8}	Mass of a large ship 큰 배의 질량	10^{7}	One year (3.16×10^{7} s) 일 년의 길이 (3.16×10^{7} s)
10^{4}	Greatest ocean depth 가장 깊은 바다 수심	10^{12}	Mass of a large iceberg 큰 빙산의 질량	10^{9}	About half the life expectancy of a human 사람 기대 수명의 약 절반
10^{7}	Diameter of Earth 지구의 지름	10^{15}	Mass of the nucleus of a comet 혜성의 핵의 질량	10^{11}	Recorded history[12]
10^{11}	Distance from Earth to the sun 지구와 태양 사이의 거리	10^{23}	Mass of the moon (7.35×10^{22} kg) 달의 질량 (7.35×10^{22} kg)	10^{17}	Age of Earth 지구의 나이
10^{16}	Distance traveled by light in 1 year (a light year) 빛이 1 년 동안 이동하는 거리 (1 광년)	10^{25}	Mass of Earth (5.97×10^{24} kg) 지구의 질량 (5.97×10^{24} kg)	10^{18}	Age of the universe 우주의 나이
10^{21}	Diameter of the Milky Way Galaxy 우리은하의 지름	10^{30}	Mass of the Sun (1.99×10^{30} kg) 태양의 질량 (1.99		

[12] 구체적으로 무엇에 대한 기록인지를 몰라서 번역하지 못했습니다.

			$\times 10^{30}$ kg)		
10^{22}	Distance from Earth to the nearest large galaxy (Andromeda) 지구와 지구에서 가장 가까운 대규모 은하(안드로메다)와의 거리	10^{42}	Mass of the Milky Way galaxy (current upper limit) 우리은하의 질량 (현재의 상한)		
10^{26}	Distance from Earth to the edges of the known universe 지구에서부터 관측 가능한 우주의 끝까지의 거리	10^{53}	Mass of the known universe (current upper limit) 관측 가능한 우주의 질량 (현재의 상한)		

Table 1.3 Approximate Values of Length, Mass, and Time [1] More precise values are in parentheses.

표 1.3 길이, 질량, 시간의 근삿값 [1] 괄호 안에 더 정밀한 값이 있습니다.

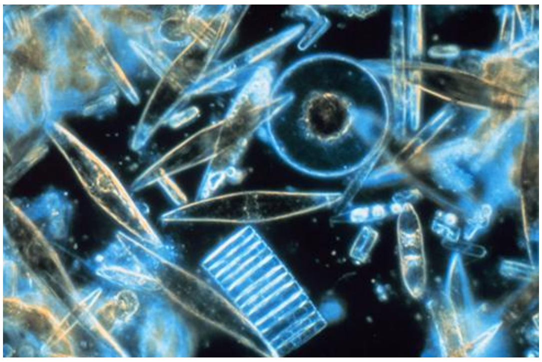


Figure 1.16 Tiny phytoplankton float among crystals of ice in the Antarctic Sea. They range from a few micrometers to as much as 2 millimeters in length. (Prof. Gordon T. Taylor, Stony Brook University; NOAA Corps Collections)

그림 1.16 남극해에서는 작은 식물플랑크톤이 얼음 결정들 사이로 부유합니다. 그 크기는 몇 마이크로미터에서부터 최대 2 밀리미터까지입니다. (Prof. Gordon T. Taylor, Stony Brook University; NOAA Corps Collections)

Figure 1.17 Galaxies collide 2.4 billion light years away from Earth. The tremendous range of observable phenomena in nature challenges the imagination. (NASA/CXC/UVic./A. Mahdavi et al. Optical/lensing: CFHT/UVic./H. Hoekstra et al.)

그림 1.17 지구에서 24억 광년 떨어진 곳에서 은하들이 충돌하는 모습. 자연에서 벌어지는 엄청나게 큰 범위의 관측 가능한 현상들은 상상력을 자극합니다. (NASA/CXC/UVic./A. Mahdavi et al. Optical/lensing: CFHT/UVic./H. Hoekstra et al.)

Using Scientific Notation with Physical Measurements / 과학적 표기법을 사용해서 물리량 측정하기

Scientific notation is a way of writing numbers that are too large or small to be conveniently written as a decimal. For example, consider the number 840,000,000,000,000. It's a rather large number to write out. The scientific notation for this number is 8.40×10^{14}. Scientific notation follows this general format

과학적 표기법은 너무 크거나 작은 숫자를 편하게 소수로 표기하는 방식입니다. 예를 들어 840,000,000,000,000라는 숫자를 떠올려 보세요. 적기에 꽤 큰 숫자입니다. 이 숫자를 과학적 표기법으로 표기하면 8.40×10^{14}입니다. 과학적 표기법은 일반적으로 이 형식을 따릅니다.

$$x \times 10^{y}.$$

In this format x is the value of the measurement with all placeholder zeros removed. In the example above, x is 8.4. The x is multiplied by a factor, 10^{y}, which indicates the number of placeholder zeros in the measurement. Placeholder zeros are those at the end of a number that is 10 or greater, and at the beginning of a decimal number that is less than 1. In the example above, the factor is 10^{14}. This tells you that you should move the decimal point 14 positions to the right, filling in placeholder zeros as you go. In this case, moving the decimal point 14 places creates only 13 placeholder zeros, indicating that the actual measurement value is 840,000,000,000,000.

이 형식에서 x는 자리표시자 0들이 모두 제거된 측정값입니다. 위 예시에서 x는 8.4입니다. x는 측정에서 자리표시자 0의 개수를 가리키는 요소 10^y와 곱해집니다. 자리표시자 0은 10 이상의 수에서는 마지막에 있는 0들이며, 1 미만의 소수에서는 처음에 있는 0들입니다. 위의 예시에서 해당 요소는 10^{14}입니다. 이는 소수점을 오른쪽으로 14번 옮겨야 하고, 옮기면서 자리표시자 0을 채워야 함을 뜻합니다. 이 경우 소수점을 14번 옮겨도 자리표시자 0은 13개만 생성되므로 실제 측정값은 840,000,000,000,000임을 알 수 있습니다.

Numbers that are fractions can be indicated by scientific notation as well. Consider the number 0.0000045. Its scientific notation is 4.5×10^{-6}. Its scientific notation has the same format

분수인 수도 과학적 표기법으로 표기될 수 있습니다. 0.0000045라는 숫자를 떠올려 보세요. 이 수를 과학적 표기법으로 표기하면 4.5×10^{-6}입니다. 이 과학적 표기법도 위와 동일한 형식을 지닙니다.

$$x \times 10^y.$$

Here, x is 4.5. However, the value of y in the 10^y factor is negative, which indicates that the measurement is a fraction of 1. Therefore, we move the decimal place to the left, for a negative y. In our example of 4.5×10^{-6}, the decimal point would be moved to the left six times to yield the original number, which would be 0.0000045.

여기서 x는 4.5입니다. 그러나 10^y 요소에 있는 y의 값은 음수여서 측정값이 1의 일부라는 것을 알 수 있습니다. 따라서 음수인 y를 반영해서 소수점을 왼쪽으로 움직여야 합니다. 수가 4.5×10^{-6}인 이 예시에서는 원래 수를 도출하기 위해 소수점을 왼쪽으로 6번 움직여야 하고, 그 값은 0.0000045입니다.

The term **order of magnitude** refers to the power of 10 when numbers are expressed in scientific notation. Quantities that have the same power of 10 when expressed in scientific notation, or come close to it, are said to be of the same order of magnitude. For example, the number 800 can be written as 8×10^2, and the number 450 can be written as 4.5×10^2. Both numbers have the same value for y. Therefore, 800 and 450 are of the same order of magnitude. Similarly, 101 and 99 would be regarded as the same order of magnitude, 10^2. Order of magnitude can be thought of as a ballpark estimate for the scale of a value. The diameter of an atom is on the order of $10^{-9}\,m$, while the diameter of the sun is on the order of $10^9\,m$. These two values are 18 orders of magnitude apart.

크기 정도라는 용어는 숫자가 과학적 표기법으로 표기될 때 10의 거듭제곱 부분을 가리킵니다. 과학적 표기법으로 표기될 때 10의 거듭제곱 부분이 같거나 비슷한 수준의 물리량들은 서로 크기 정도가 같다고 볼 수 있습니다. 예를 들어 숫자 800은 8×10^2으로 표기될 수 있고, 450은 4.5×10^2으로 표기될 수 있습니다. 두 수 모두 y값이 동일합니다. 그러므로 800과 450은 크기 정도가

동일합니다. 이와 유사하게 101과 99도 크기 정도가 10^2으로 동일하다고 간주할 수 있습니다. 크기 정도는 값의 크기에 대한 대략적인 추정치라고 볼 수 있습니다. 원자의 지름의 크기 정도는 $10^{-9}\,m$인 반면, 태양의 지름의 크기 정도는 $10^{9}\,m$입니다. 이 두 값의 크기 정도의 차이는 18입니다.

Scientists make frequent use of scientific notation because of the vast range of physical measurements possible in the universe, such as the distance from Earth to the moon (Figure 1.18), or to the nearest star.

과학자들은 우주에서 측정할 수 있는 물리량의 범위가 방대하므로 과학적 표기법을 자주 사용합니다. 예를 들어 지구와 달 사이의 거리(그림 1.18)나 지구와 가장 가까운 항성 사이의 거리가 있습니다.

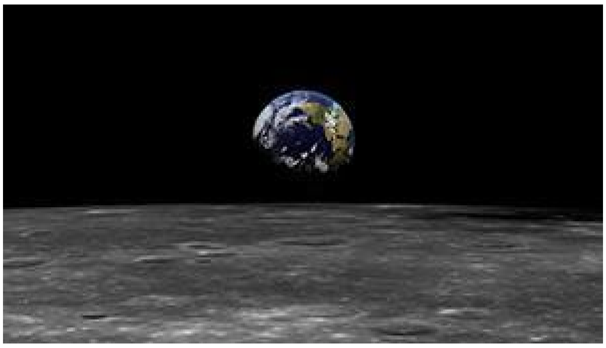


Figure 1.18 The distance from Earth to the moon may seem immense, but it is just a tiny fraction of the distance from Earth to our closest neighboring star. (NASA)

그림 1.18 지구에서 달까지의 거리는 거대해 보이지만, 가장 가깝게 이웃하는 항성까지의 거리에 비하면 그저 작은 부분일 뿐입니다. (NASA)

Unit Conversion and Dimensional Analysis / 단위 변환

It is often necessary to convert from one type of unit to another. For example, if you are reading a European cookbook in the United States, some quantities may be expressed in liters and you need to convert them to cups. A Canadian tourist driving through the United States might want to convert miles to kilometers, to have a sense of how far away his next destination is. A doctor in the United States might convert a patient's weight in pounds to kilograms.

어떤 유형의 단위를 다른 유형의 단위로 바꿔야 하는 경우가 많습니다. 예를 들어 유럽의 요리책을 미국에서 읽는다면 몇몇 양은 리터로 표기되어 있을 텐데, 이 경우 리터를 컵(단위)으로 바꿔야 합니다. 캐나다 관광객이 미국에서 운전을 하면 다음 목적지까지 얼마나 걸리는지에 대한 감을 잡으려고 마일을 킬로미터로 바꾸고 싶을 것입니다. 미국에 있는 의사는 파운드로 된 환자의 몸무게를 킬로그램으로 바꿀 것입니다.

Let's consider a simple example of how to convert units within the metric system. How can we convert 1 hour to seconds?

미터법 내에서 단위를 어떻게 변환하는지 간단한 예시로 알아봅시다. 어떻게 1 시간을 초로 변환할 수 있을까요?

First, we need to determine a conversion factor. A **conversion factor** is a ratio expressing how many of one unit are equal to another unit. A conversion factor is simply a fraction which equals 1. You can multiply any number by 1 and get the same value. When you multiply a number by a conversion factor, you are simply multiplying it by one. For example, the following are conversion factors: (1 foot)/(12 inches) = 1 to convert inches to feet, (1 meter)/(100 centimeters) = 1 to convert centimeters to meters, (1 minute)/(60 seconds) = 1 to convert seconds to minutes.

먼저, 환산 인자를 구해야 합니다. **환산 인자**는 한 단위가 어느 정도 있어야 다른 단위가 될 수 있는지를 나타내는 비율입니다. 환산 인자는 값이 1인 분수일 뿐입니다. 어떠한 수에도 1을 곱할 수 있고, 곱하면 그 값이 그대로 나옵니다. 어떠한 수에 환산 인자를 곱하면 그냥 그 수에 1을 곱한 것이라고 볼 수 있습니다. 예를 들어 환산 인자들은 다음과 같습니다.

- 1 피트 / 12 인치 = 1 (인치를 피트로 변환합니다.)

- 1 미터 / 100 센티미터 = 1 (센티미터를 미터로 변환합니다.)

- 1 분 / 60 초 = 1 (초를 분으로 변환합니다.)

Now we can set up our unit conversion. We will write the units that we have and then multiply them by the conversion factor (1 km/1,000m) = 1, so we are simply multiplying 80m[13] by 1:

이제 단위를 변환할 준비를 할 수 있습니다. 주어진 단위들을 적고, 그다음에 이 단위들에 환산 인자(1 km / 1,000 m = 1)를 곱할 것입니다. 결론적으로 그냥 80 m에 1을 곱한 셈입니다.

$$1\,h \times \frac{60\,min}{1\,h} \times \frac{60\,s}{1\,min} = 3600\,s \;=\; 3.6 \times 10^{3}\,s \cdots (1.1)$$

When there is a unit in the original number, and a unit in the denominator (bottom) of the conversion factor, the units cancel. In this case, hours and minutes cancel and the value in seconds remains.

원래 숫자에 단위가 있고 환산 인자의 분모에 단위가 있으면 그 단위는 지워집니다. 이 경우에는 시간과 분이 지워지고 초로 된 값이 남게 됩니다.

You can use this method to convert between any types of unit, including between the U.S.

[13] "80 m"와 "1000 m"의 띄어쓰기가 틀린 것 같습니다. 처음에는 "m"만 붙여 쓰는 줄 알았지만, 다른 부분에서도 띄어 쓴 것으로 보아 띄어 쓰는 것이 옳다고 생각합니다.

customary system and metric system. Notice also that, although you can multiply and divide units algebraically, you cannot add or subtract different units. An expression like $10\ km + 5kg$ makes no sense. Even adding two lengths in different units, such as $10\ km + 20\ m$ does not make sense. You express both lengths in the same unit.[14] See Reference Tables for a more complete list of conversion factors.

이 방식은 미국 관습 단위계와 미터법 사이의 단위 변환을 포함해서 모든 종류의 단위 변환에 쓰일 수 있습니다. 또한 단위를 대수적으로 곱하고 나눌 수는 있다고 하더라도 서로 다른 단위를 더하고 뺄 수는 없다는 것도 유념해 주세요. 10 km + 5 kg과 같은 표현은 말이 되지 않습니다. 심지어 10 km + 20 m와 같이 다른 단위의 두 길이를 더해도 말이 안 됩니다. 그 두 길이 모두 같은 단위로 표기해야 합니다. 더 많은 환산 인자를 보고 싶으시면 참고표 모음 부분을 참고하세요.

WORKED EXAMPLE / 예제

Unit Conversions: A Short Drive Home **단위 변환 — 운전해서 가는 짧은 귀갓길**
Suppose that you drive the 10.0 km from your university to home in 20.0 min. Calculate your average speed (a) in kilometers per hour (km/h) and (b) in meters per second (m/s). (Note—Average speed is distance traveled divided by time of travel.) 대학교에서 집까지 10.0 km를 20 분 동안 운전해서 간다고 생각해 보세요. 평균 속력을 (a) 시간당 몇 킬로미터(km/h)인지와 (b) 초당 몇 미터(m/s)인지로 계산하세요. (※ 평균 속력은 이동한 거리를 이동한 시간으로 나눈 것입니다.)
STRATEGY **전략**
First we calculate the average speed using the given units. Then we can get the average speed into the desired units by picking the correct conversion factor and multiplying by it. The correct conversion factor is the one that cancels the unwanted unit and leaves the desired unit in its place. 먼저 평균 속력을 주어진 단위로 계산합니다. 그러면 올바른 환산 인자를 골라서 주어진 평균 속력에 곱하면 원하는 단위로 된 평균 속력을 구할 수 있습니다. 올바른 환산 인자를 쓰면 원치 않는 단위는 없어지고 원하는 단위는 그 자리에 남습니다.
Solution for (a)

[14] “You”와 “express” 사이에 “should”가 생략된 것 같습니다. “should”가 있다고 생각하고 번역했습니다.

(a)에 대한 풀이

1. Calculate average speed. Average speed is distance traveled divided by time of travel. (Take this definition as a given for now—average speed and other motion concepts will be covered in a later module.) In equation form,

1. 평균 속력을 계산해 보세요. 평균 속력은 이동한 거리를 이동한 시간으로 나눈 것입니다(지금은 이 정의를 주어진 것으로 간주해 주세요. 평균 속력 및 기타 운동과 관련된 개념들은 뒤에서 다루겠습니다). 식으로 표현하면 다음과 같습니다.

$$average\ speed\ (\text{평균 속력}) = \frac{distance\ (\text{거리})}{time\ (\text{시간})}.$$

2. Substitute the given values for distance and time.

2. 거리와 시간 자리에 주어진 거리와 시간 값을 넣으세요.

$$average\ speed\ (\text{평균 속력}) = \frac{10.0\ km}{20.0\ min} = 0.500\ \frac{km}{min}$$

3. Convert km/min to km/h: multiply by the conversion factor that will cancel minutes and leave hours. That conversion factor is $\frac{60\ min}{1\ h}$. Thus,

3. 분을 지우고 시간을 남기는 환산 인자를 곱해서 km/min을 km/h로 변환해 보세요. 여기에서 알맞은 환산 인자는 $\frac{60\ min}{1\ h}$입니다. 따라서 결과는 다음과 같습니다.

$$average\ speed\ (\text{평균 속력}) = 0.500\frac{km}{min} \times \frac{60\ min}{1\ h} = 30.0\frac{km}{h}.$$

Discussion for (a)

(a)에 대한 토의

To check your answer, consider the following:

정답을 확인하려면 다음을 고려해 주세요.

1. Be sure that you have properly cancelled the units in the unit conversion. If you have written the unit conversion factor upside down, the units will not cancel properly in the equation. If you accidentally get the ratio upside down, then the units will not cancel; rather, they will give you the wrong units as follows

1. 단위 변환 시 적절히 단위를 지웠는지 확인해 주세요. 단위 환산 인자를 거꾸로 썼으면 식에서 단위가 적절히 지워지지 않을 것입니다. 실수로 그 비율을 거꾸로 쓰면, 단위들이 지워지기는커녕 다음과 같이 잘못된 단위가 만들어집니다.

$$\frac{km}{min} \times \frac{1\ hr}{60\ min} = \frac{1}{60}\frac{km \cdot h}{min^2},$$

which are obviously not the desired units of km/h.

바라던 km/h 단위가 명백히 아닙니다.

2. Check that the units of the final answer are the desired units. The problem asked us to solve for average speed in units of km/h and we have indeed obtained these units.

2. 최종 답의 단위가 바라던 단위인지 확인해 주세요. 문제는 평균 속력을 km/h 단위로 구하기를 요구했고, 실제로 이 단위를 도출했습니다.

3. Check the significant figures. Because each of the values given in the problem has three significant figures, the answer should also have three significant figures. The answer 30.0 km/h does indeed have three significant figures, so this is appropriate. Note that the significant figures in the conversion factor are not relevant because an hour is *defined* to be 60 min, so the precision of the conversion factor is perfect.

3. 유효 숫자를 확인해 주세요. 문제에서 주어진 각 값의 유효 숫자가 3개이므로, 정답 또한 유효 숫자가 3개이어야 합니다. 정답인 30.0 km/h도 실제로 유효 숫자가 3개이므로 적절합니다. 환산 인자의 유효 숫자가 정답의 유효 숫자 개수에 영향을 미치지 않음을 유념해 주세요. 이는 1시간이 60분으로 *정의되어서* 환산 인자의 정밀도가 완벽하기 때문입니다.

4. Next, check whether the answer is reasonable. Let us consider some information from the problem—if you travel 10 km in a third of an hour (20 min), you would travel three times that far in an hour. The answer does seem reasonable.

4. 그다음, 정답이 합리적인지 확인해 보세요. 문제에서 주어진 일부 정보에 대해 생각해 봅시다. 만약 1 시간의 1/3 (20 분) 동안 10 km를 이동한다면 1 시간 동안에는 그것의 3배를 이동할 것입니다. 따라서 정답이 합리적으로 보입니다.

Solution for (b)[15]

(b)에 대한 풀이

There are several ways to convert the average speed into meters per second.

평균 속력을 미터 매 초로 변환할 몇 가지 방법이 있습니다.

1. Start with the answer to (a) and convert km/h to m/s. Two conversion factors are needed—one to convert hours to seconds, and another to convert kilometers to meters.

1. (a)의 정답을 활용해 km/h를 m/s로 변환하면 됩니다. 환산 인자 두 개가 필요합니다. 하나는 시간을 초로 바꾸는 것이고, 다른 하나는 킬로미터를 미터로 바꾸는 것입니다.

2. Multiplying by these yields

2. 이 환산 인자들을 곱하면 다음이 나옵니다.

[15] 위의 "Solution for (a)"나 밑의 "Discussion for (b)" 둘 다에 "for"가 있는 것을 보아 "for"가 빠진 것 같습니다. 따라서 "for"를 넣어서 번역했습니다.

$$Average\ speed\ (평균\ 속력) = 30.0\frac{km}{h} \times \frac{1h}{3{,}600s} \times \frac{1{,}000m}{1km}$$

$$Average\ speed\ (평균\ 속력) = 8.33\frac{m}{s}$$

Discussion for (b)

(b)에 대한 토의

If we had started with 0.500 km/min, we would have needed different conversion factors, but the answer would have been the same: 8.33 m/s.

0.500 km/min으로 시작했으면 다른 환산 인자가 필요했을 것입니다. 하지만 답은 8.33 m/s로 같았을 것입니다.

You may have noted that the answers in the worked example just covered were given to three digits. Why? When do you need to be concerned about the number of digits in something you calculate? Why not write down all the digits your calculator produces?

방금 다룬 예제에 있는 정답들의 숫자가 세 개임을 아마 눈치채셨을 것입니다. 왜 그럴까요? 언제 계산하는 대상의 숫자의 개수를 고려해야 할까요? 왜 계산기에 나타나는 숫자를 전부 적으면 안 될까요?

WORKED EXAMPLE / 예제

Using Physics to Evaluate Promotional Materials

물리학을 활용해 홍보용 제품 평가하기

A commemorative coin that is 2″ in diameter is advertised to be plated with 15 mg of gold. If the density of gold is 19.3 g/cc, and the amount of gold around the edge of the coin can be ignored, what is the thickness of the gold on the top and bottom faces of the coin?

지름이 2 인치인 기념주화가 15 mg의 금으로 도금되었다고 홍보되고 있습니다. 금의 밀도가 19.3 g/cc이고 가장자리에 있는 금의 양은 무시할 수 있으면 윗면과 아랫면에 도금된 금의 두께는 얼마입니까?

STRATEGY

전략

To solve this problem, the volume of the gold needs to be determined using the gold's mass and density. Half of that volume is distributed on each face of the coin, and, for each face, the gold can be represented as a cylinder that is 2″ in diameter with a height equal to the thickness. Use the volume formula for a cylinder to determine the thickness.

이 문제를 풀려면 금의 질량과 밀도를 통해 금의 부피를 알아내야 합니다. 주화의 각 면에 부피가 절반씩 분배되어 있고, 각 면에 있는 금은 지름이 2 인치이고 높이가 구하고자 하는 두께인 원기둥이라고 볼 수 있습니다. 원기둥의 부피를 구하는 공식을 사용해 두께를 구해 보세요.

Solution

풀이

The mass of the gold is given by the formula

금의 질량은 다음 공식을 통해 구할 수 있습니다.

$$m = \rho V = 15 \times 10^{-3}\ g,$$

where

밀도는 다음과 같습니다.

$$\rho = 19.3\ g/cc$$

and V is the volume. Solving for the volume gives

그리고 V는 부피입니다. 부피를 구하면 다음과 같습니다.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{15\times10^{-3}\ g}{19.3\ g/cc} \cong 7.8\times10^{-4}\ cc.$$

If t is the thickness, the volume corresponding to half the gold is

t를 두께라 하면 금 절반의 부피는 다음과 같습니다.

$$\frac{1}{2}\left(7.8\times10^{-4}\right) = \pi r^2 t = \pi(2.54)^2 t,$$

where the 1″ radius has been converted to cm. Solving for the thickness gives

위에서 반지름 1 인치는 cm로 변환되었습니다. 두께를 구하면 다음과 같습니다.

$$t = \frac{(3.9\times10^{-4})}{\pi(2.54)^2} \cong 1.9\times10^{-5}\ cm = 0.00019\ mm.$$

Discussion

토의

The amount of gold used is stated to be 15 mg, which is equivalent to a thickness of about 0.00019 mm. The mass figure may make the amount of gold sound larger, both because the number is much bigger (15 versus 0.00019), and because people may have a more intuitive feel for how much a millimeter is than for how much a milligram is. A simple analysis of this sort can clarify the significance of claims made by advertisers.

금이 15 mg 사용되었다고 나와 있고, 이는 약 0.00019 mm 두께와 동일합니다. 질량으로 나타내면 금의 양이 더 많아 보일 것입니다. 그 이유는 숫자가 훨씬 더 크기도 하고 (15 대

0.00019), 사람들은 밀리그램이 어느 정도인지보다 밀리미터가 어느 정도인지를 직관적으로 아마 더 잘 파악할 것이기 때문입니다. 이러한 간단한 분석을 통해 광고주의 주장이 의미하는 바를 명확히 할 수 있습니다.

Accuracy, Precision and Significant Figures / 정확도, 정밀도, 유효 숫자

Science is based on experimentation that requires good measurements. The validity of a measurement can be described in terms of its accuracy and its precision (see Figure 1.19 and Figure 1.20). **Accuracy** is how close a measurement is to the correct value for that measurement. For example, let us say that you are measuring the length of standard piece of printer paper. The packaging in which you purchased the paper states that it is 11 inches long, and suppose this stated value is correct. You measure the length of the paper three times and obtain the following measurements: 11.1 inches, 11.2 inches, and 10.9 inches. These measurements are quite accurate because they are very close to the correct value of 11.0 inches. In contrast, if you had obtained a measurement of 12 inches, your measurement would not be very accurate. This is why measuring instruments are calibrated based on a known measurement. If the instrument consistently returns the correct value of the known measurement, it is safe for use in finding unknown values.

과학은 측정이 정확히 이뤄져야 하는 실험에 기반합니다. 측정의 타당도는 정확도와 정밀도로 나타낼 수 있습니다(그림 1.19 및 그림 1.20 참고). **정확도**는 측정값이 측정으로 구하고자 하는 참값에 얼마나 가까운지입니다. 예를 들어 표준 프린터 용지의 길이를 측정한다고 해보겠습니다. 구매한 용지의 포장지에 길이가 11 인치라고 적혀 있고, 그 적힌 값이 맞다고 해보겠습니다. 용지의 길이를 세 번 측정해서 나온 측정값이 11.1 인치, 11.2 인치, 10.9 인치라고 해보겠습니다. 이 측정값들은 참값인 11.0 인치에 매우 가까우므로 꽤 정확합니다. 반면에 측정해서 12 인치가 나왔다면 측정값이 매우 정확하다고는 볼 수 없습니다. 이러한 이유로 측정 도구에 눈금을 매길 때 알려진 측정값을 바탕으로 합니다. 만약 그 도구를 써서 알려진 측정값을 꾸준히 정확하게 측정할 수 있으면 그 도구를 모르는 값을 찾는 데 써도 괜찮습니다.

Figure 1.19 A double-pan mechanical balance is used to compare different masses. Usually an object with unknown mass is placed in one pan and objects of known mass are placed in the other pan. When the bar that

connects the two pans is horizontal, then the masses in both pans are equal. The known masses are typically metal cylinders of standard mass[16] such as 1 gram, 10 grams, and 100 grams. (Serge Melki)

그림 1.19 기계식 윗접시 저울은 서로 다른 질량을 비교하기 위해 사용됩니다. 보통 한 쪽 접시에는 질량을 모르는 물체가 놓이고, 다른 쪽 접시에는 질량을 아는 물체들이 놓입니다. 두 접시를 연결하는 막대가 수평이면 두 접시에 담긴 질량은 같습니다. 질량을 아는 물체로 보통 1 그램, 10 그램, 100 그램 같은 표준 질량의 금속 원기둥 물체를 사용합니다. (Serge Melki)

Figure 1.20 Whereas a mechanical balance may only read the mass of an object to the nearest tenth of a gram, some digital scales can measure the mass of an object up to the nearest thousandth of a gram. As in other measuring devices, the precision of a scale is limited to the last measured figures. This is the hundredths place in the scale pictured here. (Splarka, Wikimedia Commons)

그림 1.20 기계식 저울을 쓰면 물체의 질량을 1/10 그램 지점까지만 알 수 있다면, 몇몇 전자 저울을 쓰면 물체의 질량을 1/1000 그램 지점까지 측정할 수 있습니다. 다른 측정 장치와 마찬가지로 저울의 정밀도는 그 저울로 어느 자리까지 측정할 수 있는지에 따라 결정됩니다. 이 사진은 저울에 소수점 아래 둘째 자리까지 나온 것을 찍은 것입니다. (Splarka, Wikimedia Commons)

Precision states how well repeated measurements of something generate the same or similar results. Therefore, the precision of measurements refers to how close together the measurements are when you measure the same thing several times. One way to analyze the precision of measurements would be to determine the range, or difference between the lowest and the highest measured values. In the case of the printer paper measurements, the lowest value was 10.9 inches and the highest value was 11.2 inches. Thus, the measured values deviated from each other by, at most, 0.3 inches. These measurements were reasonably precise because they varied by only a fraction of an inch. However, if the measured values had been 10.9 inches, 11.1 inches, and 11.9 inches, then the measurements would not be very precise because there is a lot of variation[17] from one measurement to another.

정밀도는 어떠한 것을 반복해서 측정할 때 같거나 비슷한 결과를 얼마나 잘 내는지를 나타냅니다. 따라서 측정의 정밀도는 같은 것을 여러 번 측정할 때 측정값들이 얼마나 가까운지를 나타냅니다. 측정의 정밀도를 분석하는 방법 중 하나는 범위, 즉 가장 낮은 측정값과 가장 높은 측정값 사이의 차이를 구하는 것입니다. 위의 프린터 용지 측정 예시에서는 가장 낮은 값은 10.9 인치였고, 가장

[16] 이것이 무엇을 의미하는지 잘 모르겠습니다. 일단은 '표준 질량'이라고 번역했습니다.

[17] "a lot of"가 수량이 많다는 뜻이지만 맥락을 고려해 "차이가 크다"로 번역했습니다.

높은 값은 11.2 인치였습니다. 따라서 측정값들은 기껏해야 0.3 인치 차이로 분포되어 있습니다. 1 인치도 안 되는 부분 안에서 측정값들이 분포되어 있으므로 측정이 상당히 정밀하다고 볼 수 있습니다. 하지만 측정값들이 10.9 인치, 11.1 인치, 11.9 인치였다면 측정값들끼리의 차이가 꽤 크기 때문에 측정들이 그리 정밀하지 않다고 볼 수 있습니다.

The measurements in the paper example are both accurate and precise, but in some cases, measurements are accurate but not precise, or they are precise but not accurate. Let us consider a GPS system that is attempting to locate the position of a restaurant in a city. Think of the restaurant location as existing at the center of a bull's-eye target. Then think of each GPS attempt to locate the restaurant as a black dot on the bull's eye.

위의 프린터 용지 측정 예시에서 측정값들은 정확하기도 하고 정밀하기도 합니다. 하지만 일부 사례에서는 측정이 정확하지만 정밀하지 않기도 하고, 정밀하지만 정확하지 않기도 합니다. GPS가 한 도시 내에서 한 식당의 위치를 찾으려 한다고 가정해 봅시다. 식당이 과녁의 중앙에 있다고 생각해 보세요. 그런 다음 각 GPS가 식당을 찾으려고 하는 것을 과녁에 검은 점을 찍는 것처럼 생각해 보세요.

In Figure 1.21, you can see that the GPS measurements are spread far apart from each other, but they are all relatively close to the actual location of the restaurant at the center of the target. This indicates a low precision, high accuracy measuring system. However, in Figure 1.22, the GPS measurements are concentrated quite closely to one another, but they are far away from the target location. This indicates a high precision, low accuracy measuring system. Finally[18], in Figure 1.23, the GPS is both precise and accurate, allowing the restaurant to be located.

그림 1.21을 보면 GPS 측정값들이 서로 멀리 떨어져 있지만 모두 과녁의 중심에 있는 실제 식당 위치와 비교적 가까이 있음을 확인할 수 있습니다. 이는 측정 시스템이 정밀도는 낮고 정확도는 높음을 암시합니다. 그러나, 그림 1.22에서는 GPS 측정값들이 서로 꽤 가깝게 몰려 있지만 목표 지점에서는 멀리 있습니다. 이는 측정 시스템이 정밀도가 높고 정확도가 낮음을 암시합니다. 마침내 그림 1.23에서는 GPS가 정밀하기도 하고 정확하기도 해서 식당을 찾을 수 있게 됩니다.

[18] 사전을 보면 "마지막으로"도 되고 "마침내"도 되는데, 그림 1.21과 1.22에서 좋지 않은 결과가 언급되었기도 하고, "allow"라는 표현이 있어서 "마침내"로 번역했습니다.

Figure 1.21 A GPS system attempts to locate a restaurant at the center of the bull's-eye. The black dots represent each attempt to pinpoint the location of the restaurant. The dots are spread out quite far apart from one another, indicating low precision, but they are each rather close to the actual location of the restaurant, indicating high accuracy. (Dark Evil)

그림 1.21 GPS가 과녁의 중앙에 있는 식당을 찾으려고 합니다. 검은 점들은 식당의 위치를 정확히 지정하려고 했던 각각의 시도를 나타냅니다. 점들이 서로 꽤 멀리 떨어져 분포되어 있어서 정밀도가 낮음을 확인할 수 있습니다. 그러나 각 점이 실제 식당의 위치와는 상당히 가까이 있어서 정확도는 높음을 확인할 수 있습니다. (Dark Evil)

Figure 1.22 In this figure, the dots are concentrated close to one another, indicating high precision, but they are rather far away from the actual location of the restaurant, indicating low accuracy. (Dark Evil)

그림 1.22 이 그림에서는 점들이 서로 가까이 몰려 있어서 정밀도가 높음을 확인할 수 있습니다. 하지만 점들이 실제 식당의 위치에서는 상당히 멀리 떨어져 있어서 정확도가 낮음을 확인할 수 있습니다. (Dark Evil)

Figure 1.23 In this figure, the dots are concentrated close to one another, indicating high precision, and they are very close to the actual location of the restaurant, indicating high accuracy. (Dark Evil)

그림 1.23 이 그림에서는 점들이 서로 가까이 몰려 있어서 정밀도가 높음을 확인할 수 있습니다. 그리고 점들이 실제 식당의 위치와 매우 가까이 있어서 정확도도 높음을 확인할 수 있습니다. (Dark Evil)

Uncertainty / 불확도

The accuracy and precision of a measuring system determine the **uncertainty** of its measurements. Uncertainty is a way to describe your confidence in your measured value, or the range of values that would be consistent with the data. If your measurements are not very accurate or precise, then the uncertainty of your values will be very high. In more general[19] terms, uncertainty can be thought of as a disclaimer for your measured values. For example, if someone asked you to provide the mileage on your car, you might say that it is 45,000 miles, plus or minus 500 miles. The plus or minus amount is the uncertainty in your value. That is, you are indicating that the actual mileage of your car might be as low as 44,500 miles or as high as 45,500 miles, or anywhere in between. All measurements contain some amount of uncertainty. In our example of measuring the length of the paper, we might say that the length of the paper is 11 inches plus or minus 0.2 inches or 11.0 ± 0.2 inches. The uncertainty in a measurement, A, is often denoted as δA("delta A"). The actual value of the object may not be within the range given by the measurement and its uncertainty. In our paper length example above, a new set of measurements[20] might produce a length of 14.0 ± 0.2 inches, with the uncertainty based on the accuracy or our reading or repeated measurements. We would also, however, conclude that either one of our measurement sets is incorrect due to an offset[21] in the measurement process in that set, or our measurement correctly identifies that we are measuring different papers. In the former case, the discrepancy between the measured value and the actual value is called a systematic error.

측정 시스템의 정확도와 정밀도에 따라 해당 측정의 **불확도**가 정해집니다. 불확도는 측정값의 신뢰도나 데이터에 부합하는 값의 범위를 나타내는 방법입니다. 만약 측정이 매우 정확하거나 정밀하지 않으면 측정값들의 불확도는 매우 높을 것입니다. 더 쉽게 말하면 불확도는 측정값에 대한 면책 조항이라고 볼 수 있습니다. 예를 들어 차의 주행거리 정보를 요청받았다면 45,000 마일 플러스마이너스 500 마일이라고 하는 것입니다. 이 플러스마이너스 뒤에 붙은 양이 주어진 값의 불확도입니다. 즉, 차의 실제 주행거리가 44,500 마일만큼 낮을 수도 있고, 45,500 마일만큼 높을 수도 있고, 그 중간에 있는 아무 값도 될 수도 있다고 말하는 것입니다. 모든 측정에는 어느 정도의 불확도가 있습니다. 용지의 길이를 측정했던 위 예시에서 용지의 길이는 11 인치 플러스마이너스 0.2 인치 또는 11.0 ± 0.2 인치라고 할 수 있습니다. 측정 시 발생하는 불확도 A는 δA(델타 A)로 자주 표기됩니다. 대상의 실제값은 측정값과 불확도로 도출된 범위 밖에 있을 수도 있습니다. 위의 용지 길이를 측정하는 예시에서 새로운 측정 세트에서는 길이가 14.0 ± 0.2 인치로 나올 수 있습니다. 이때 불확도는 정확도나 측정할 때 읽은 값이나 반복된 측정을 바탕으로 산출됩니다. 또한, 그러나, 측정 과정의 오프셋 때문에 측정 세트 중 하나가 틀렸다고 결론을 내릴 수도 있고, 측정은 정확한데 다른 용지를 측정해서 결과가 다름을 확인하는 방향으로 결론을 내릴 수도 있습니다. 전자의 경우 측정값과 실제값의 차이를 계통 오차라고 부릅니다.

The factors contributing to uncertainty in a measurement include the following:

---

[19] 문맥을 보면 이해하기 어려운 내용을 흔히 접할 수 있는 상황에 비유해서 설명한 것이므로 "일반적"이라는 표현보다는 "쉽다"는 표현을 사용했습니다.

[20] 이에 해당하는 표현은 없는 것 같아서 "측정 세트"라고 번역했습니다.

[21] 무엇을 뜻하는지 몰라서 일단은 "오프셋"으로 번역했습니다.

측정 시 불확도를 증가시키는 요인은 다음과 같습니다.

1. Limitations of the measuring device
1. 측정 장치의 한계
2. The skill of the person making the measurement
2. 측정하는 사람의 숙련도
3. Irregularities in the object being measured
3. 측정하는 대상의 불규칙성
4. Any other factors that affect the outcome (highly dependent on the situation)
4. 결과에 영향을 주는 다른 모든 요소 (상황에 크게 좌우됨)

In the printer paper example uncertainty could be caused by: the fact that the smallest division on the ruler is 0.1 inches, the person using the ruler has bad eyesight, or uncertainty caused by the paper cutting machine (e.g., one side of the paper is slightly longer than the other.) It is good practice to carefully consider all possible sources of uncertainty in a measurement and reduce or eliminate them.

위의 프린터 용지 예시에서 불확도는 다음과 같은 이유로 발생할 수 있습니다.

- 자가 소수점 아래 첫째 자리까지만 표시함
- 자를 사용한 사람의 시력이 안 좋을 경우
- 재단기로 인한 불확도 (예: 종이의 한 부분이 다른 부분보다 살짝 더 긴 경우)

측정 시 불확도를 발생시킬 수 있는 모든 원인을 꼼꼼히 살펴봐서 그 원인을 줄이거나 제거하는 습관을 들이면 좋습니다.

Percent Uncertainty / 백분율 불확도

One method of expressing uncertainty is as a percent of the measured value. If a measurement, A, is expressed with uncertainty, δA the percent uncertainty is

불확도를 표현하는 방법 중 하나는 측정값의 백분율로 나타내는 것입니다. 만약 A라는 측정값의 불확도를 δA라 하면 백분율 불확도는 다음과 같습니다.

$$\% \, uncertainty \text{ (백분율 불확도) } = \frac{\delta A}{A} \times 100\%.$$

WORKED EXAMPLE / 예제

Calculating Percent Uncertainty: A Bag of Apples **백분율 불확도 계산하기: 사과 한 봉지**
A grocery store sells 5-lb bags of apples. You purchase four bags over the course of a month and weigh the apples each time. You obtain the following measurements: - Week 1 weight: 4.8 lb - Week 2 weight: 5.3 lb - Week 3 weight: 4.9 lb - Week 4 weight: 5.4 lb 마트에서 사과 5 파운드를 봉지에 담아 팔고 있습니다. 한 달 동안 4 봉지를 구매해서 매번 사과의 무게를 잿습니다. 그렇게 잰 결과는 다음과 같습니다. - 1주 차 무게: 4.8 파운드 - 2주 차 무게: 5.3 파운드 - 3주 차 무게: 4.9 파운드 - 4주 차 무게: 5.4 파운드 You determine that the expected weight of a 5 lb bag has an uncertainty of ±0.4 lb. What is the percent uncertainty of the bag's weight? 무게의 기댓값이 5 파운드인 봉지의 불확도가 ±0.4 파운드라고 결론을 내렸습니다. 봉지 무게의 백분율 불확도는 얼마인가요?
STRATEGY **전략**
First, observe that the expected value of the bag's weight, A, is 5 lb. The uncertainty in this value, δA, is 0.4 lb. We can use the following equation to determine the percent uncertainty of the weight 먼저 봉지 무게의 기댓값 A가 5 파운드임을 확인해 주세요. 이 값의 불확도인 δA는 0.4 파운드입니다. 무게의 백분율 불확도를 구하기 위해 다음 식을 활용할 수 있습니다. $\%\, uncertainty\,(\text{백분율 불확도}) = \frac{\delta A}{A} \times 100\%.$
Solution

풀이
Plug the known values into the equation 주어진 값을 해당 식에 대입해 보겠습니다. (* 'lb'는 '파운드'를 뜻합니다.) $$\% \, uncertainty \text{ (백분율 불확도)} = \frac{0.4 \, lb}{5 \, lb} \times 100\% = 8\%.$$
Discussion 토의
We can conclude that the weight of the apple bag is 5 lb ± 8 percent. Consider how this percent uncertainty would change if the bag of apples were half as heavy, but the uncertainty in the weight remained the same. Hint for future calculations: when calculating percent uncertainty, always remember that you must multiply the fraction by 100 percent. If you do not do this, you will have a decimal quantity, not a percent value. 사과 봉지의 무게가 5 파운드 ± 8 퍼센트라고 결론을 내릴 수 있습니다. 만약 사과 봉지의 무게는 절반으로 줄고 무게의 불확도는 그대로라면 이 백분율 불확도가 어떻게 변할지를 생각해 보세요. 나중에 계산하는 것을 대비해 힌트를 드리자면 백분율 불확도를 계산할 때는 주어진 비율에 100을 곱해야 함을 항상 기억해 주세요. 만약 이 작업을 하지 않으면 백분율로 된 값이 아닌 소수로 된 값이 나올 것입니다.

Uncertainty in Calculations / 계산 시 불확도 고려하기

There is an uncertainty in anything calculated from measured quantities. For example, the area of a floor calculated from measurements of its length and width has an uncertainty because the both the length and width have uncertainties. How big is the uncertainty in something you calculate by multiplication or division? If the measurements in the calculation have small uncertainties (a few percent or less), then the **method of adding percents** can be used. This method says that the percent uncertainty in a quantity calculated by multiplication or division is the sum of the percent uncertainties in the items used to make the calculation. For example, if a floor has a length of 4.00 m and a width of 3.00 m, with uncertainties of 2 percent and 1 percent, respectively, then the area of the floor is 12.0 m^2 and has an uncertainty of 3 percent (expressed as an area this is 0.36 m^2, which we round to 0.4 m^2 since the area of the floor is given to a tenth of a square meter).

측정한 양으로 계산한 값에는 항상 불확도가 있습니다. 예를 들어 바닥의 면적을 계산할 때 측정한 가로와 세로의 길이를 활용하면, 가로와 세로 길이 둘 다에 불확도가 있으므로 면적에도 불확도가

있습니다. 곱하거나 나눠서 생기는 값은 불확도가 얼마나 될까요? 만약 계산할 때 사용된 측정값들의 불확도가 작다면 (몇 퍼센트 안 되거나 그보다 작다면) **백분율 더하기 방식**이 사용될 수 있습니다. 이 방식에서는 곱셈이나 나눗셈으로 나온 값의 백분율 불확도는 계산에 사용된 요소들의 백분율 불확도를 모두 합한 것입니다. 예를 들어 바닥의 가로가 4.00 m이고 세로가 3.00 m이며 각각의 불확도가 2 퍼센트와 1 퍼센트라고 하면 바닥의 면적은 12.0 m^2이고 불확도는 3 퍼센트입니다. (면적 단위로 하면 0.36 m^2이고 바닥의 면적이 제곱미터 기준으로 소수점 아래 첫째 자리까지만 표기되어야 하므로 반올림해서 0.4 m^2입니다.)

For more information on the accuracy, precision, and uncertainty of measurements based upon the units of measurement[22], visit this website.

측정 단위에 따른 측정의 정확도, 정밀도, 불확도에 대해 더 알고 싶으시면 이 웹사이트를 방문해 보세요.

Precision of Measuring Tools and Significant Figures / 측정 도구의 정밀도와 유효 숫자

An important factor in the accuracy and precision of measurements is the precision of the measuring tool. In general, a precise measuring tool is one that can measure values in very small increments. For example, consider measuring the thickness of a coin. A standard ruler can measure thickness to the nearest millimeter, while a micrometer can measure the thickness to the nearest 0.005 millimeter. The micrometer is a more precise measuring tool because it can measure extremely small differences in thickness. The more precise the measuring tool, the more precise and accurate the measurements can be.

측정의 정확도와 정밀도 측면에서 중요한 요소 중 하나는 측정 도구의 정밀도입니다. 일반적으로 정밀한 측정 도구는 매우 미세하게 증가한 값도 측정할 수 있는 도구를 말합니다. 예를 들어 동전의 두께를 재는 것을 생각해 보세요. 일반적인 자는 두께를 밀리미터 단위까지 측정할 수 있는 반면, 마이크로미터는 두께를 0.005 밀리미터 단위까지 측정할 수 있습니다. 마이크로미터가 극도로 작은 두께 차이도 측정할 수 있으므로 더 정밀한 측정 도구라고 볼 수 있습니다. 측정 도구가 정밀할수록 더 정밀하고 정확하게 측정할 수 있습니다.

When we express measured values, we can only list as many digits as we initially measured with our measuring tool (such as the rulers shown in Figure 1.24). For example, if you use a standard ruler to measure the length of a stick, you may measure it with a decimeter[23] ruler as

[22] "of measurements"와 "based upon the units of measurement" 둘 다 "accuracy", "precision", "uncertainty" 모두를 수식하는 것으로 번역했습니다.

[23] "decimeter"가 아니라 "centimeter"인 것 같습니다. 따라서 "centimeter"라고 간주하고 번역했습니다.

3.6 cm. You could not express this value as 3.65 cm because your measuring tool was not precise enough to measure a hundredth of a centimeter. It should be noted that the last digit in a measured value has been estimated in some way by the person performing the measurement. For example, the person measuring the length of a stick with a ruler notices that the stick length seems to be somewhere in between 36 mm and 37 mm. He or she must estimate the value of the last digit. The rule is that the last digit written down in a measurement is the first digit with some uncertainty. For example, the last measured value 36.5 mm has three digits, or three significant figures. The number of **significant figures** in a measurement indicates the precision of the measuring tool. The more precise a measuring tool is, the greater the number of significant figures it can report.

측정값을 표기할 때, 그림 1.24에 있는 자와 같은 측정 도구로 초기에 측정한 만큼의 숫자만 표기할 수 있습니다. 예를 들어 일반적인 자로 막대의 길이를 재면 센티미터 자를 활용해 3.6 cm라고 잴 것입니다. 이 값을 3.65 cm라고 표기할 수 없었는데, 이는 측정 도구가 1/100 센티미터 단위를 측정할 정도로 정밀하지 않았기 때문입니다. 주목해야 할 점은 측정값의 마지막 숫자는 측정을 수행하는 사람이 특정한 방식으로 추정한 값입니다. 예를 들어 자로 막대의 길이를 측정하는 사람이 막대의 길이가 36 mm에서 37 mm 사이인 것 같음을 발견했다고 해보겠습니다. 그 사람은 마지막 자리에 들어갈 숫자를 추측해야 합니다. 여기서 규칙은 측정값의 마지막 자리에 적힌 숫자는 어느 정도 불확도가 있는 첫 번째 숫자라는 것입니다. 예를 들어 마지막 측정값인 36.5 mm는 숫자가 3개, 또는 유효 숫자가 3개입니다. 측정값의 **유효 숫자** 개수가 측정 도구의 정밀도를 나타냅니다. 측정 도구가 정밀할수록 더 많은 유효 숫자를 표기할 수 있습니다.

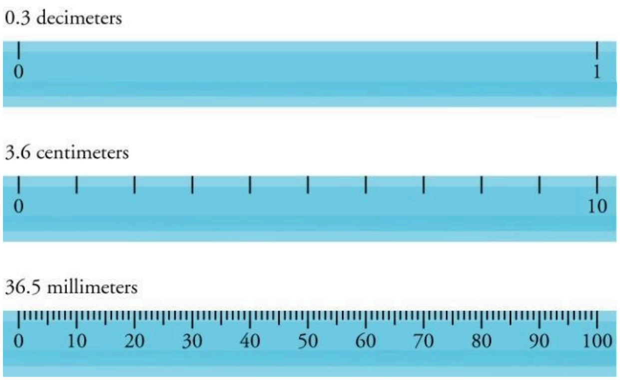


Figure 1.24 Three metric rulers are shown. The first ruler is in decimeters and can measure point three decimeters. The second ruler is in centimeters long[24] and can measure three point six centimeters. The last ruler is in millimeters and can measure thirty-six point five millimeters.

그림 1.24 미터법 자 세 개가 그림에 있습니다. 첫 번째 자는 데시미터 단위로 되어 있고 0.3 데시미터라고 측정할 수 있습니다. 두 번째 자는 센티미터 단위로 되어 있고 3.6 센티미터라고 측정할 수 있습니다. 마지막 자는 밀리미터 단위로 되어 있고 36.5 밀리미터라고 측정할 수 있습니다.

[24] 길이를 나타내는 것이 아니므로 "long"을 빼야 할 것 같습니다. 다른 부분에서는 빠져 있습니다.

Zeros / 숫자 0

Special consideration is given to zeros when counting significant figures. For example, the zeros in 0.053 are not significant because they are only placeholders that locate the decimal point. There are two significant figures in 0.053—the 5 and the 3. However, if the zero occurs between other significant figures, the zeros are significant. For example, both zeros in 10.053 are significant, as these zeros were actually measured. Therefore, the 10.053 placeholder has five significant figures. The zeros in 1300 may or may not be significant, depending on the style of writing numbers. They could mean the number is known to the last zero, or the zeros could be placeholders. So 1300 could have two, three, or four significant figures. To avoid this ambiguity, write 1300 in scientific notation as 1.3×10^{3}. Only significant figures are given in the x factor for a number in scientific notation (in the form $x\times10^{y}$). Therefore, we know that 1 and 3 are the only significant digits in this number. In summary, zeros are significant except when they serve only as placeholders. Table 1.4 provides examples of the number of significant figures in various numbers.

유효 숫자를 셀 때 0은 특별히 주의해서 살펴보아야 합니다. 예를 들어 0.053에 있는 0들은 소수점의 위치를 지정하기 위한 자리표시자일 뿐이므로 유효하지 않습니다. 0.053에는 5와 3, 두 개의 유효 숫자가 있습니다. 그러나, 0이 다른 유효 숫자 사이에 있으면 그 0은 유효합니다. 예를 들어 10.053에 있는 0 둘 다 실제로 측정되었으므로 유효합니다. 따라서 10.053의 자리표시자는 유효 숫자가 5개입니다. 1300에 있는 0들은 숫자를 적는 방식에 따라 유효할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있습니다. 마지막 0까지 모든 숫자가 측정된 것일 수도 있고, 아니면 0들이 자리표시자일 수도 있습니다. 따라서 1300은 유효숫자가 2개일 수도, 3개일 수도, 4개일 수도 있습니다. 이러한 모호함을 없애기 위해 1300을 과학적 표기법을 활용해서 1.3×10^{3}로 적어 보세요. $x\times10^{y}$ 형태의 과학적 표기법으로 표기된 숫자에서 x 요소에는 유효 숫자만 들어갈 수 있습니다. 따라서 1과 3만이 이 수에서 유효 숫자라는 것을 알 수 있습니다. 요약하자면 0은 자리표시자로만 쓰이지 않는다면 유효합니다. 표 1.4는 다양한 숫자의 유효 숫자 개수 예시를 나열한 것입니다.

Number 숫자	Significant Figures 유효 숫자	Rationale 근거
1.657	4	There are no zeros and all non-zero numbers are always significant. 0이 없는데, 0이 아닌 모든 숫자는 항상 유효합니다.
0.4578	4	The first zero is only a placeholder for the decimal point. 첫 번째 0은 소수점을 위한 자리표시자일 뿐입니다.
0.000458	3	The first four zeros are placeholders needed to report the data to the ten-thoudsandths place.

		첫 네 개의 0은 10,000분의 1 자리에서 데이터를 표시하기 위한 자리표시자입니다.
2000.56	6	The three zeros are significant here because they occur between other significant figures. 여기서 세 개의 0은 다른 유효 숫자 사이에 있어서 유효합니다.
45,600	3	With no underlines or scientific notation, we assume that the last two zeros are placeholders and are not significant. 밑줄이나 과학적 표기법이 적용되지 않았으면 마지막 0 두 개는 자리표시자이고 유효하지 않다고 가정합니다.
$15895\underline{00}0$	7	The two underlined zeros are significant, while the last zero is not, as it is not underlined. 밑줄이 그어져 있는 0 두 개는 유효합니다. 반면 마지막 0은 밑줄이 안 그어져 있어 유효하지 않습니다.
5.457×10^{13}	4	In scientific notation, all numbers reported in front of the multiplication sign are significant 과학적 표기법에서 곱셈 기호 앞의 모든 숫자는 유효합니다.
6.520×10^{-23}	4	In scientific notation, all numbers reported in front of the multiplication sign are significant, including zeros. 과학적 표기법에서 곱셈 기호 앞의 모든 숫자는 유효합니다. 0도 포함됩니다.

Table 1.4

표 1.4

Significant Figures in Calculations / 계산 시 유효 숫자 고려하기

When combining measurements with different degrees of accuracy and precision, the number of significant digits in the final answer can be no greater than the number of significant digits in the least precise measured value. There are two different rules, one for multiplication and division and another rule for addition and subtraction, as discussed below.

서로 다른 정도의 정확도와 정밀도를 가진 측정값들을 결합할 때, 최종 결과의 유효 숫자 개수는 가장 정밀도가 낮은 측정값의 유효 숫자 개수보다 많을 수 없습니다. 두 가지 서로 다른 규칙이 있습니다. 하나는 곱셈과 나눗셈에 관한 것이고 다른 하나는 덧셈과 뺄셈에 관한 것입니다. 아래에서 이 둘을 설명하겠습니다.

1. **For multiplication and division:** The answer should have the same number of significant figures as the starting value with the fewest significant figures. For example, the area of a circle can be calculated from its radius using $A = \pi r^2$. Let us see how many significant

figures the area will have if the radius has only two significant figures, for example, $r = 2.0\,m$. Then, using a calculator that keeps eight significant figures, you would get

1. **곱셈과 나눗셈의 경우:** 결과의 유효 숫자 개수는 유효 숫자 개수가 가장 적은 처음 값의 유효 숫자 개수와 같아야 합니다. 예를 들어 원의 넓이는 반지름을 알면 $A = \pi r^2$ 공식을 활용해서 구할 수 있습니다. $r = 2.0\,m$ 같이 반지름의 유효 숫자가 2개뿐이라면 넓이의 유효 숫자가 얼마나 많을지 알아봅시다. 그렇다면 유효 숫자를 8개 표시할 수 있는 계산기를 사용하면 다음의 값이 나옵니다.

$$A = \pi r^2 = (3.1415927...) \times (2.0\,m)^2 = 12.5663708\,m^2.$$

But because the radius has only two significant figures, the area calculated is meaningful only to two significant figures or

그러나 해당 반지름의 경우 유효 숫자가 오직 두 개이므로 계산한 넓이도 숫자 두 개만 유효합니다. 또는 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$A = 13m^2$$

even though the value of π is meaningful to at least eight digits.

비록 π 값의 유효 숫자 개수가 최소 8개이더라도요.

2. **For addition and subtraction:** The answer should have the same number places (e.g. tens place, ones place, tenths place, etc.) as the least-precise starting value. Suppose that you buy 7.56 kg of potatoes in a grocery store as measured with a scale having a precision of 0.01 kg. Then you drop off 6.052 kg of potatoes at your laboratory as measured by a scale with a precision of 0.001 kg. Finally, you go home and add 13.7 kg of potatoes as measured by a bathroom scale with a precision of 0.1 kg. How many kilograms of potatoes do you now have, and how many significant figures are appropriate in the answer? The mass is found by simple addition and subtraction:

2. **덧셈과 뺄셈의 경우:** 결과의 자릿수(예: 십의 자리, 일의 자리, 소수점 아래 첫째 자리 등)가 가장 정밀도가 낮은 처음 값의 자릿수와 같아야 합니다. 마트에서 정밀도가 0.01 kg인 저울로 재서 7.56 kg의 감자를 샀다고 해봅시다. 그런 다음 정밀도가 0.001 kg인 저울로 재서 6.052 kg의 감자를 실험실에 두고 왔다고 해봅시다. 마지막으로 집에 가서 정밀도가 0.1 kg인 화장실 저울로 재서 13.7 kg의 감자를 추가했다고 해봅시다. 이제 몇 킬로그램의 감자가 있고 결과의 유효 숫자 개수는 얼마가 적절할까요? 간단한 덧셈과 뺄셈으로 질량을 구할 수 있습니다.

$$7.56\,kg - 6.052\,kg + 13.7\,kg = 15.208\,kg$$

The least precise measurement is 13.7 kg. This measurement is expressed to the 0.1 decimal place, so our final answer must also be expressed to the 0.1 decimal place. Thus, the answer should be rounded to the tenths place, giving 15.2 kg. The same is true for non-decimal numbers. For example,

가장 정밀도가 낮은 측정값은 13.7 kg입니다. 이 측정값은 소수점 아래 첫째 자리까지 있으므로 최종 결과도 소수점 아래 첫째 자리까지만 있어야 합니다. 따라서 제대로 된 결과를 얻으려면 소수점 둘째 자리에서 반올림해야 하고, 그러면 15.2 kg이 나옵니다. 이는 정수도 마찬가지입니다. 예를 들면 다음과 같습니다.

$$6527.23 + 2 = 6529.23 = 6529.$$

We cannot report the decimal places in the answer because 2 has no decimal places that would be significant. Therefore, we can only report to the ones place.

2에는 유효할 만한 소수 숫자가 없으므로 결과에도 소수점 아래에 숫자를 표기할 수 없습니다. 따라서 일의 자리까지만 표기할 수 있습니다.

It is a good idea to keep extra significant figures while calculating, and to round off to the correct number of significant figures only in the final answers. The reason is that small errors from rounding while calculating can sometimes produce significant errors in the final answer. As an example, try calculating $5,098 - (5.000)\times(1,010)$ to obtain a final answer to only two significant figures. Keeping all significant during the calculation gives 48. Rounding to two significant figures in the middle of the calculation changes it to $5,100 - (5.000) \times (1,000) = 100$, which is way off. You would similarly avoid rounding in the middle of the calculation in counting and in doing accounting, where many small numbers need to be added and subtracted accurately to give possibly much larger final numbers.

계산할 때는 남는 유효 숫자를 고려하고, 최종 결과에서만 정확한 유효 숫자 개수를 벗어나는 숫자를 버리는 것이 좋습니다. 이렇게 하는 이유는 계산 과정에서 반올림해서 발생하는 작은 오차로 인해 가끔 최종 결과에서 눈에 띄는 오차가 발생할 수 있기 때문입니다. 예를 들어 $5,098 - (5.000)\times(1,010)$을 계산해서 유효 숫자가 두 개만 있는 최종 결과를 구해 보세요. 계산 과정에서 모든 유효 숫자를 고려하면 48이 나옵니다. 계산 중에 반올림해서 유효 숫자를 2개로 만들면 $5,100 - (5.000) \times (1,000) = 100$으로 변합니다. 이는 크게 벗어난 값이죠. 비슷하게, 많은 작은 숫자들을 정확하게 더하거나 빼야 하는, 그래서 아마 훨씬 더 큰 최종 숫자를 도출하는, 집계나 회계 업무를 할 때는 사람들이 계산 도중에 반올림을 피할 것입니다.

Significant Figures in this Text / 본 교재에서의 유효 숫자

In this textbook, most numbers are assumed to have three significant figures. Furthermore, consistent numbers of significant figures are used in all worked examples. You will note that an answer given to three digits is based on input good to at least three digits. If the input has fewer significant figures, the answer will also have fewer significant figures. Care is also taken that the number of significant figures is reasonable for the situation posed. In some topics, such as optics, more than three significant figures will be used. Finally, if a number is exact, such as the 2 in the formula, $c = 2\pi r$, it does not affect the number of significant figures in a calculation.

이 교재에서는 대부분의 숫자가 세 개의 유효 숫자를 지니는 것으로 간주합니다. 더 나아가, 모든 예제 내에서 유효 숫자 개수는 일관성을 지닙니다. 정답의 숫자가 세 개이면 그 정답은 유효 숫자가 최소 세 개인 입력값을 바탕으로 산출되었음을 알게 될 것입니다. 만약 입력값의 유효 숫자 개수가 더 적다면, 답의 유효 숫자 개수도 더 적을 것입니다. 또한 상황에 따라 유효 숫자 개수가 적절하도록 주의를 기울였습니다. 광학과 같은 일부 주제에서는 네 개 이상의 유효 숫자가 사용될 예정입니다. 마지막으로 $c = 2\pi r$ 공식의 2처럼 정확한 수는 계산 시 유효 숫자 개수에 영향을 미치지 않습니다.

WORKED EXAMPLE / 예제

Approximating Vast Numbers: a Trillion Dollars **거대한 숫자 추정하기 — 1조 달러**
The U.S. federal deficit in the 2008 fiscal year was a little greater than $10 trillion. Most of us do not have any concept of how much even one trillion actually is. Suppose that you were given a trillion dollars in $100 bills. If you made 100-bill stacks, like that shown in Figure 1.25, and used them to evenly cover a football field (between the end zones), make an approximation of how high the money pile would become. (We will use feet/inches rather than meters here because football fields are measured in yards.) One of your friends says 3 in., while another says 10 ft. What do you think? 2008년 회계연도 기준 미국 재정 적자는 10조 달러를 조금 넘었습니다. 우리 대부분은 1조조차도 실제로 얼마나 큰지 감을 못 잡습니다. 1조 달러를 100 달러 지폐로 받는다고 가정해 보세요. 그림 1.25에서 보이는 것과 같이 100 달러 지폐로 다발을 만든 후, 그 다발로 미식축구 경기장(엔드존 사이)을 고르게 덮는다면, 돈더미가 얼마나 높을지를 가늠해 보세요. (미식축구 경기장은 야드로 측정되므로 여기서는 미터 대신 피트/인치를 사용하겠습니다.) 한 친구는 3 인치라고 하는 반면, 다른 친구는 10 피트라고 합니다. 여러분은 어떻게 생각하시나요?

Figure 1.25 A bank stack contains one hundred $100 bills, and is worth $10,000. How many bank stacks make up a trillion dollars? (Andrew Magill)
그림 1.25 은행에 있는 돈다발은 100 달러 지폐가 백 개 있는 것이고, 그 가치는 10,000 달러입니다. 얼마나 많은 은행에 있는 돈다발이 1조 달러를 만들기 위해 필요할까요? (Andrew Magill)

STRATEGY
전략

When you imagine the situation, you probably envision thousands of small stacks of 100 wrapped $100 bills, such as you might see in movies or at a bank. Since this is an easy-to-approximate quantity, let us start there. We can find the volume of a stack of 100 bills, find out how many stacks make up one trillion dollars, and then set this volume equal to the area of the football field multiplied by the unknown height.
어떠한 상황인지 상상해 보면 영화나 은행에서 볼 수 있는 것처럼 100 달러 지폐 100 장이 묶인 작은 다발 수천 개가 아마 떠오를 것입니다. 이 양은 가늠하기 쉬우므로 여기서 시작해 봅시다. 100 달러 지폐 다발의 부피를 구할 수 있고, 얼마나 많은 다발이 1조 달러를 만들기 위해 필요한지를 구할 수 있고, 그런 다음 이 부피가 미식축구 경기장 면적과 구하고자 하는 높이가 곱해진 값과 동일하다고 놓으면 됩니다.

Solution
풀이

(* ‘in.’은 ‘인치’를, ‘yd’는 ‘야드’를, ‘ft’와 ‘foot’는 ‘피트’를 뜻합니다.)

1. Calculate the volume of a stack of 100 bills. The dimensions of a single bill are approximately 3 in. by 6 in. A stack of 100 of these is about 0.5 in. thick. So the total volume of a stack of 100 bills is
1. 100 달러 지폐 다발의 부피를 계산해 보세요. 지폐의 한 장의 크기는 대략 3 인치 × 6 인치입니다. 이 지폐를 100 장 쌓으면 두께가 약 0.5 인치입니다. 따라서 100 달러 지폐 다발 하나의 총부피는 다음과 같습니다.

$$volume\ of\ stack\ (\text{다발의 부피}) = length\ (\text{가로}) \times width\ (\text{세로}) \times height\ (\text{높이}),$$
$$volume\ of\ stack\ (\text{다발의 부피}) = 6\ in. \times 3\ in. \times 0.5\ in.,$$

$$volume\ of\ stack\ (\text{다발의 부피}) = 9\ in.^3.$$

2. Calculate the number of stacks. Note that a trillion dollars is equal to $\$1\times10^{12}$, and a stack of one-hundred \$100 bills is equal to \$10,000, or $\$1\times10^{4}$. The number of stacks you will have is

2. 다발의 개수를 계산해 보세요. 1조 달러는 1×10^{12} 달러와 동일하고, 100 달러 지폐가 100 개 있는 다발은 10,000 달러, 또는 1×10^{4} 달러와 동일함을 기억해 주세요. 갖게 될 돈다발의 개수는 다음과 같습니다.

$$\frac{\$1\times10^{12}(a\ trillion\ dollars)(\text{1조 달러})}{\$1\times10^{4}\ per\ stack\ (\text{다발당})} = 1\times10^{8}\ stacks\ (\text{다발}). \cdots(1.3)$$

3. Calculate the area of a football field in square inches. The area of a football field is $100yd\times50yd$, which gives $5,000yd^2$. Because we are working in inches, we need to convert square yards to square inches

3. 미식축구 경기장의 면적을 제곱인치 단위로 계산해 보세요. 미식축구 경기장의 면적은 $100\ yd\times50\ yd$로 $5,000\ yd^2$입니다. 인치 단위로 작업을 하고 있으므로 제곱야드를 제곱인치로 바꿔야 합니다.

$$Area\ (\text{면적}) = 5,000yd^2\times\frac{3ft}{1yd}\times\frac{3ft}{1yd}\times\frac{12\ in.}{1foot}\times\frac{12in.}{1foot} = 6,480,000in.^2,$$

$$Area\ (\text{면적})\approx6\times10^{6}in.^2.$$

This conversion gives us $6\times10^{6}in.^2$ for the area of the field. (Note that we are using only one significant figure in these calculations.)

변환하면 경기장 면적이 $6\times10^{6}in^2$으로 나옵니다. (이 계산에서는 하나의 유효 숫자만 사용하고 있음을 주의해 주세요.)

4. Calculate the total volume of the bills. The volume of all the \$100-bill stacks is

4. 지폐의 총부피를 계산해 보세요. 100 달러 지폐 다발 전체의 부피는 다음과 같습니다.

$$\frac{9\ in.^3}{stack}\ (\text{다발})\times10^{8}\ stacks\ (\text{다발}) = 9\times10^{8}\ in.^3$$

5. Calculate the height. To determine the height of the bills, use the following equation

5. 높이를 계산해 보세요. 지폐의 높이를 구하기 위해서 다음 식을 사용해 보세요.

$$volume\ of\ bills\ (\text{지폐의 부피}) = area\ of\ field\ (\text{경기장 면적})\times height\ of\ money\ (\text{돈의 높이})$$

$$Height\ of\ money\ (\text{돈의 높이}) = \frac{volume\ of\ bills\ (\text{지폐의 부피})}{area\ of\ field\ (\text{경기장 면적})}$$

$$Height\ of\ money\ (\text{돈의 높이}) = \frac{9\times10^{8}\ in.^3}{6\times10^{6}\ in.^2} = 1.33\times10^{2}in.$$

$$Height\ of\ money\ (\text{돈의 높이}) = 1\times10^{2}\ in. = 100\ in.$$

The height of the money will be about 100 in. high. Converting this value to feet gives

돈의 높이는 약 100 인치일 것입니다. 이 값을 피트로 변환하면 다음과 같습니다.

$$100\ in.\times\frac{1ft}{12in.} = 8.33\ ft\approx8\ ft.$$

Discussion

토의

The final approximate value is much higher than the early estimate of 3 in., but the other early estimate of 10 ft (120 in.) was roughly correct. How did the approximation measure

up to your first guess? What can this exercise tell you in terms of rough *guesstimates* versus carefully calculated approximations?
최종 근삿값은 초기 추정값인 3 인치보다 훨씬 크지만, 다른 초기 추정값인 10 피트(120 인치)는 대략 맞았습니다. 근삿값이 여러분이 처음에 예측한 값에 어떻게 부합하였나요? 이 예제를 통해 대충 추정한 값과 신경을 써서 계산한 근삿값을 비교하면 무엇을 알 수 있나요?

In the example above, the final approximate value is much higher than the first friend's early estimate of 3 in. However, the other friend's early estimate of 10 ft. (120 in.) was roughly correct. How did the approximation measure up to your first guess? What can this exercise suggest about the value of rough *guesstimates* versus carefully calculated approximations?

위 예제에서 최종 근삿값은 첫 번째 친구의 초기 예측값인 3 인치보다는 훨씬 큽니다. 그러나 다른 친구의 초기 예측값인 10 피트(120 인치)는 대략 맞았습니다. 근삿값이 여러분이 처음에 예측한 값에 어떻게 부합하였나요? 이 예제를 통해 대충 추정한 값과 신경을 써서 계산한 근삿값의 차이에 대해 무엇을 생각해 볼 수 있을까요?

Graphing in Physics / 물리학에서 그래프 그리기

Most results in science are presented in scientific journal articles using graphs. Graphs present data in a way that is easy to visualize for humans in general, especially someone unfamiliar with what is being studied. They are also useful for presenting large amounts of data or data with complicated trends in an easily-readable way.

대부분의 과학 분야 결과들은 과학 학술지 논문에서 그래프를 통해 표현됩니다. 그래프를 활용하면 데이터를 일반인, 특히 연구 대상을 잘 모르는 사람을 위해 쉽게 시각화하는 방향으로 표현할 수 있습니다. 그래프는 또한 대용량 데이터나 추세가 복잡한 데이터를 쉽게 파악할 수 있게 보여주는 데 유용합니다.

One commonly-used graph in physics and other sciences is the line graph, probably because it is the best graph for showing how one quantity changes in response to the other. Let's build a line graph based on the data in Table 1.5, which shows the measured distance that a train travels from its station versus time. Our two **variables**, or things that change along the graph, are time in minutes, and distance from the station, in kilometers. Remember that measured data may not have perfect accuracy.

물리학과 다른 과학 분야에서 흔히 사용되는 그래프 중 하나는 선 그래프입니다. 아마 어떤 수량이 다른 수량에 따라 어떻게 변하는지를 제일 잘 나타내는 그래프라서 그런 것 같습니다. 표 1.5에 있는 데이터는 기차가 역에서 움직인 거리를 시간별로 측정한 것입니다. 이를 바탕으로 선 그래프를 그려봅시다. 두 **변수**는, 다르게 말하면 그래프에 따라 변하는 것은, 분으로 표시된 시간과 킬로미터로 표시된 역에서 움직인 거리입니다. 측정된 데이터의 정확도가 완벽하지 않을

수 있음을 유념해 주세요.

Time (min) 시간 (분)	Distance from Station (km) 역에서 움직인 거리 (km)
0	0
10	24
20	36
30	60
40	84
50	97
60	116
70	140

Table 1.5

표 1.5

1. Draw the two axes. The horizontal axis, or x-axis, shows the **independent variable**, which is the variable that is controlled or manipulated. The vertical axis, or y-axis, shows the **dependent variable**, the non-manipulated variable that changes with (or is dependent on[25]) the value of the independent variable. In the data above, time is the independent variable and should be plotted on the x-axis. Distance from the station is the dependent variable and should be plotted on the y-axis.

1. 두 축을 그리세요. 가로축, 혹은 x축은 **독립변수**를 나타내는데, 이는 조절되거나 조작되는 변수입니다. 세로축, 혹은 y축은 **종속변수**를 나타내는데, 이는 조작되지 않는 변수로 독립변수의 값에 따라 변합니다. 위 데이터에서 시간은 독립변수로 x축에 표시되어야 하고, 역에서 움직인 거리는 종속변수로 y축에 표시되어야 합니다.

2. Label each axes on the graph with the name of each variable, followed by the symbol for its units in parentheses. Be sure to leave room so that you can number each axis. In this example, use *Time (min)* as the label for the x-axis.

2. 그래프의 각 축에 각 변수의 이름을 적은 후, 그 옆에 소괄호를 치고 그 안에 해당하는 단위를 나타내는 기호를 적으세요. 각 축에 숫자를 기입할 수 있게 여백을 꼭 남겨두세요. 이 예시에서는 '시간 (분)'을 x축에 적으세요.

3. Next, you must determine the best scale to use for numbering each axis. Because the time values on the x-axis are taken every 10 minutes, we could easily number the x-axis from 0 to 70 minutes with a tick mark every 10 minutes. Likewise, the y-axis scale should start low enough and continue high enough to include all of the distance from station values. A scale

[25] "의존적이다"라는 표현이 공식적으로 쓰이는 사례를 찾지 못해서 일단은 생략했습니다.

from 0 km to 160 km should suffice, perhaps with a tick mark every 10 km.

3. 그다음에는 각 축에 숫자를 기입할 때 가장 적절한 스케일을 정해야 합니다. x축이 나타내는 시간은 10분 간격으로 측정되었으므로 x축에는 그냥 0분에서 70분까지 10분 간격으로 눈금을 표시하면 됩니다. 마찬가지로 y축 스케일은 충분히 낮은 지점부터 충분히 높은 지점까지 설정되어 역에서 움직인 거리 전부가 포함되어야 합니다. 0 km부터 160 km까지의 스케일이면 충분하고, 눈금은 아마 10 km마다 그리면 될 것입니다.

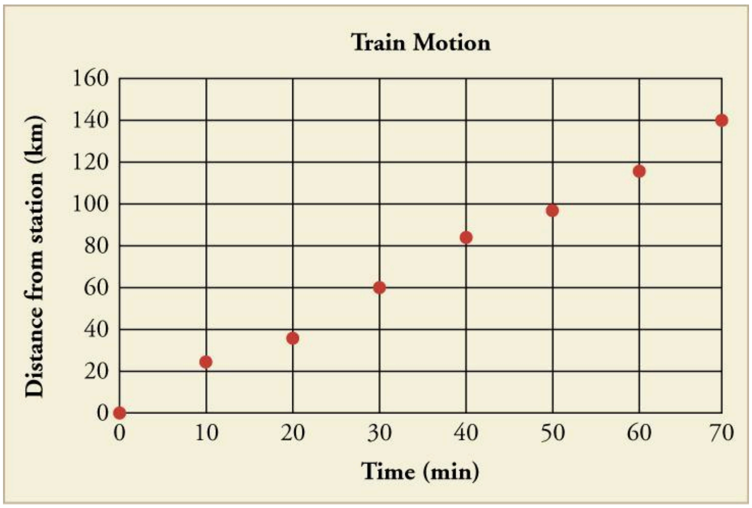
In general, you want to pick a scale for both axes that 1) shows all of your data, and 2) makes it easy to identify trends in your data. If you make your scale too large, it will be harder to see how your data change. Likewise, the smaller and more fine you make your scale, the more space you will need to make the graph. The number of significant figures in the axis values should be coarser than the number of significant figures in the measurements.[26]

일반적으로 1) 모든 데이터가 나오고 2) 데이터의 추세를 쉽게 파악할 수 있게 두 축의 스케일을 고르는 것이 좋습니다. 스케일을 너무 크게 하면 데이터가 어떻게 변하는지를 파악하기 어려워질 것입니다. 마찬가지로 스케일을 더 작고 미세하게 만들면 그래프를 그릴 공간이 더 많이 필요해질 것입니다. 축에 표기된 값이 측정값보다 덜 정밀해야 하므로 축에 표시된 값의 유효 숫자 개수가 측정값의 유효 숫자 개수보다 적어야 합니다.

4. Now that your axes are ready, you can begin plotting your data. For the first data point, count along the *x*-axis until you find the 10 min tick mark. Then, count up from that point to the 10 km tick mark on the *y*-axis, and approximate where 22 km is along the *y*-axis. Place a dot at this location. Repeat for the other six data points (Figure 1.26).

4. 이제 축에 대한 작업이 끝났다면 데이터 입력을 시작하면 됩니다. 첫 번째 데이터 포인트를 찍기 위해 x축을 따라 10 분을 가리키는 눈금이 나타날 때까지 움직입니다. 그다음, 그 점에서 10 km 간격으로 눈금이 그려진 y축을 따라 올라가서 22 km 지점을 추정해 보세요. 그 지점에 점을 찍으세요. 나머지 6 개의 데이터 포인트도 동일한 방식으로 찍으세요. (그림 1.26)

[26] 개수가 덜 정밀하다고 나왔는데, 이는 옳지 않은 것 같습니다. 값이 덜 정밀하다고 표현하는 것이 맞는 것 같습니다. 따라서 값이 덜 정밀하다고 번역했고, 그 뒤에 개수가 더 적다고 표현했습니다.



('Train Motion'은 '기차의 이동', 'Distance from station (km)'은 '역에서 움직인 거리 (km)', 'Time (min)'은 '시간 (분)'을 나타냅니다.)

Figure 1.26 The graph of the train's distance from the station versus time from the exercise above.

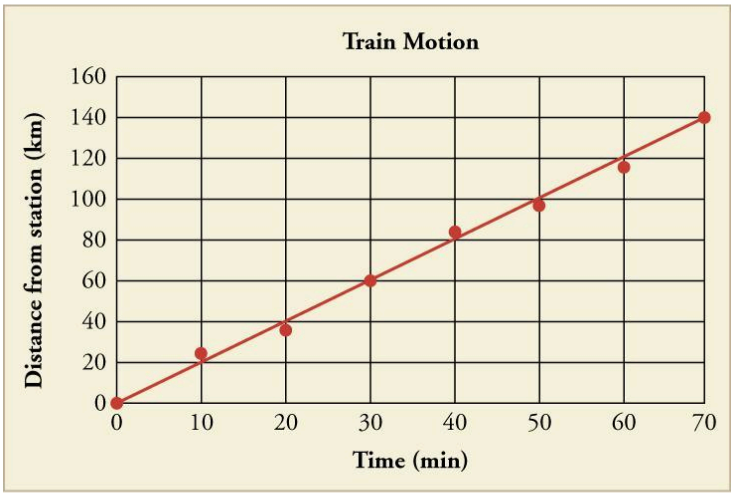
그림 1.26 위 예제를 바탕으로 시간에 따라 기차가 역에서 움직인 거리를 나타낸 그래프

5. Add a title to the top of the graph to state what the graph is describing, such as the *y*-axis parameter vs. the *x*-axis parameter. In the graph shown here, the title is *train motion*. It could also be titled distance of the train from the station vs. time.

5. 그래프가 무엇을 나타내는지 알려주기 위해 'y축 변수 대 x축 변수'와 같은 제목을 그래프 상단에 추가하세요. 여기 보이는 그래프는 제목이 '기차의 이동'입니다. 이 제목을 '기차가 역에서 움직인 거리 대 시간'으로도 지을 수 있습니다.

6. Finally, with data points now on the graph, you should draw a trend line (Figure 1.27). The trend line represents the dependence you think the graph represents, so that the person who looks at your graph can see how close it is to the real data. In the present case, since the data points look like they ought to fall on a straight line, you would draw a straight line as the trend line. Draw it to come closest to all the points. Real data may have some inaccuracies, and the plotted points may not all fall on the trend line. In some cases, none of the data points fall exactly on the trend line.

6. 마지막으로, 이제 그래프에 데이터 포인트들이 있으므로 추세선을 그려야 합니다. (그림 1.27) 추세선은 본인이 생각하는 그래프상의 변수들의 종속관계를 보여줍니다. 이를 바탕으로 그래프를 보는 사람은 그 종속관계가 실제 데이터를 얼마나 잘 반영하는지를 파악할 수 있습니다. 현재 사례에서는 데이터 포인트들이 직선 위에 있는 것처럼 보이기 때문에 직선으로 추세선을 그리면 됩니다. 모든 점과 가장 가깝게 위치하도록 그려 보세요. 실제 데이터가 어느 정도 부정확할 수도 있고, 표시된 점들이 모두 추세선 위에 있지 않을 수도 있습니다. 어떠한 데이터 포인트도 정확히 추세선 위에 없는 경우도 일부 있습니다.



(* 영어 표현에 대한 해석은 그림 1.26을 참고하시기 바랍니다.)

Figure 1.27 The completed graph with the trend line included.

그림 1.27 추세선이 포함된 완성된 그래프

Analyzing a Graph Using Its Equation / 식으로 그래프 분석하기

One way to get a quick snapshot of a dataset is to look at the equation of its trend line. If the graph produces a straight line, the equation of the trend line takes the form

데이터세트를 빠르게 파악하는 방법 중 하나는 추세선의 식을 확인하는 것입니다. 그래프의 추세선이 직선이면 그 식의 형태는 다음과 같습니다.

$$y = mx + b.$$

The b in the equation is the y-intercept while the m in the equation is the **slope**. The y-intercept tells you at what y value the line intersects the y-axis. In the case of the graph above, the y-intercept occurs at 0, at the very beginning of the graph. The y-intercept, therefore, lets you know immediately where on the y-axis the plot line begins.

위 식에 있는 b는 y절편이고, 위 식에 있는 m은 **기울기**입니다. y절편은 해당 선이 무슨 y값에서 y축과 교차하는지를 나타냅니다. 위 그래프의 경우 y절편이 0으로 그래프의 맨 첫 부분에 있습니다. y절편을 보면, 그래서, y축 어느 부분에서 선이 시작하는지를 바로 알 수 있습니다.

The m in the equation is the slope. This value describes how much the line on the graph moves up or down on the y-axis along the line's length. The slope is found using the following equation

해당 식에서 m은 기울기입니다. 이 값은 선의 길이에 따라 그래프에 있는 선이 y축 방향으로 얼마나 위아래로 움직이는지를 보여줍니다. 기울기는 다음 식을 통해 구합니다.

$$M = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}.$$

In order to solve this equation, you need to pick two points on the line (preferably far apart on the line so the slope you calculate describes the line accurately). The quantities Y_2 and Y_1 represent the y−values from the two points on the line (not data points) that you picked, while X_2 and X_1 represent the two x−values of the those points.

이 식을 풀려면 선 위에서 두 점을 골라야 합니다(이왕이면 선 위에서 멀리 떨어진 점들을 골라서, 계산한 기울기가 선을 정확히 반영하게 하는 것이 좋습니다). 물리량 Y_2와 Y_1은 여러분이 고른 선 위의 두 점(데이터 포인트가 아닙니다.)의 y값을 나타내고, X_2와 X_1은 그 두 점의 x값을 나타냅니다.

What can the slope value tell you about the graph? The slope of a perfectly horizontal line will equal zero, while the slope of a perfectly vertical line will be undefined because you cannot divide by zero. A positive slope indicates that the line moves up the y−axis as the x−value increases while a negative slope means that the line moves down the y−axis. The more negative or positive the slope is, the steeper the line moves up or down, respectively. The slope of our graph in Figure 1.26 is calculated below based on the two endpoints of the line

기울기를 알면 그래프에 대해 무엇을 알 수 있을까요? 완전히 수평인 선은 기울기가 0인 반면, 완전히 수직인 선은 0으로 나누는 것이 불가능하므로 기울기를 지정할 수 없습니다. 기울기가 양이면 x값이 증가할 때 선이 y축 방향으로 위로 가는 반면, 기울기가 음이면 x값이 증가할 때 선이 y축 방향으로 아래로 갑니다. 기울기가 양일 때 클수록, 그리고 음일 때 작을수록 각각 선이 더 가파르게 위로 가거나 아래로 갑니다. 그림 1.26에 있는 그래프의 기울기를 해당 선분의 두 종점을 바탕으로 계산한 것은 다음과 같습니다.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}, m = \frac{(80\ km) - (20\ km)}{(40\ min - 10\ min)}, m = \frac{60\ km}{30\ min}, m = \frac{2.0\ km}{min}.$$

Equation of line (해당 선의 식): $y = \frac{(2.0\ km}{min)}x + 0$

Because the x axis is time in minutes, we would actually be more likely to use the time t as the independent (x−axis) variable and write the equation as

x축은 분 단위의 시간이므로 시간(time)을 나타내는 t를 독립변수(x축)로 하여 식을 다음과 같이 쓰는 경우가 실제로는 더 많을 것입니다.

$$y = \frac{(2.0\ km}{min)}t + 0.$$

The formula $y = mx + b$ only applies to **linear relationships**, or ones that produce a straight line. Another common type of line in physics is the **quadratic relationship**, which occurs when one of the variables is squared. One quadratic relationship in physics is the relation between the speed of an object and[27] its centripetal acceleration, which is used to determine the force needed to keep an object moving in a circle.[28] Another common relationship in physics is the **inverse relationship**, in which one variable decreases whenever the other variable increases. An example in physics is Coulomb's law. As the distance between two charged objects increases, the electrical force between the two charged objects decreases. **Inverse proportionality**, such the relation between x and y in the equation

$y = mx + b$ 공식은 **선형 관계**, 즉 직선이 나오는 관계에만 적용될 수 있습니다. 또 다른 물리학에서 흔한 선의 유형은 변수 중 하나를 제곱하는 **이차 관계**입니다. 물리학에 있는 이차 관계 중 하나는 물체의 속력과 그 물체의 구심 가속도의 관계로, 어떠한 물체의 원운동을 유지하기 위한 힘을 계산할 때 사용됩니다. 물리학에 흔히 나타나는 또 다른 관계는 **음의 관계**로 다른 변수가 증가할 때마다 해당 변수는 감소합니다. 물리학에서는 쿨롱의 법칙을 예시로 들 수 있습니다. 두 대전체 사이가 멀수록 그 두 대전체 사이의 전기력은 감소합니다. 다음 식의 x와 y의 관계 같은 **반비례 관계**는

$$y = \frac{k}{x},$$

for some number k, is one particular kind of inverse relationship. A third commonly-seen relationship is the **exponential relationship**, in which a change in the independent variable produces a proportional change in the dependent variable. As the value of the dependent variable gets larger, its rate of growth also increases. For example, bacteria often reproduce at an exponential rate when grown under ideal conditions. As each generation passes, there are more and more bacteria to reproduce. As a result, the growth rate of the bacterial population increases every generation (Figure 1.28).

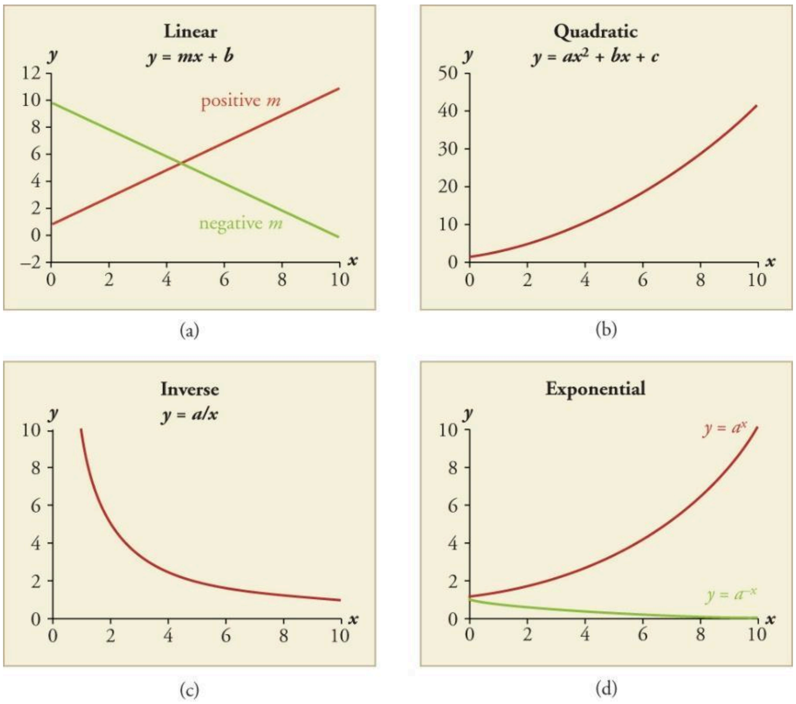
(k는 상수입니다.) 음의 관계의 특정한 종류 중 하나입니다. 흔히 볼 수 있는 관계 세 번째는 **지수 관계**로, 독립변수의 변화에 따라 종속변수가 비례적인 비율[29]로 변합니다. 종속변수의 값이 커질수록 성장 속도도 증가합니다. 예를 들어 박테리아는 이상적인 환경에서 자라면 자주 지수적 속도로 번식합니다. 각 세대를 거치면서 번식할 박테리아가 점점 더 많아집니다. 그 결과 박테리아 개체군의 성장 속도는 매 세대 증가합니다. (그림 1.28)

---

[27] "and"가 빠진 것 같아 넣었습니다.

[28] ac=v2r를 가리키는 것 같습니다.

[29] 그냥 비례적으로 변한다고 하면 선형 관계나 이차 관계를 나타낼 수 있으므로 "비례적인 비율"이라는 표현을 썼습니다.



(※ 그래프 제목에 대한 번역은 아래 설명에 있습니다.)

Figure 1.28 Examples of (a) linear, (b) quadratic, (c) inverse, and (d) exponential relationship graphs.

그림 1.28 (a) 선형 관계, (b) 이차 관계, (c) 음의 관계, (d) 지수 관계 그래프의 예시

Using Logarithmic Scales in Graphing / 그래프에 로그 스케일 적용하기

Sometimes a variable can have a very large range of values. This presents a problem when you're trying to figure out the best scale to use for your graph's axes. One option is to use a **logarithmic (log) scale**. In a logarithmic scale, the value each mark labels is the previous mark's value multiplied by some constant. For a log base 10 scale, each mark labels a value that is 10 times the value of the mark before it. Therefore, a base 10 logarithmic scale would be numbered: 0, 10, 100, 1,000, etc. You can see how the logarithmic scale covers a much larger range of values than the corresponding linear scale, in which the marks would label the values 0, 10, 20, 30, and so on.

가끔 변수의 값의 범위가 매우 넓을 수 있습니다. 이는 그래프의 축에 사용할 가장 알맞은 스케일을 찾으려고 할 때 문제가 됩니다. 한 가지 방안은 **로그 스케일**을 사용하는 것입니다. 로그 스케일에서 각 눈금에 적힌 값은 이전 눈금의 값에 특정 상수를 곱한 것입니다. 밑이 10인 로그 스케일의 경우 각 눈금의 값은 앞에 있는 눈금의 값의 10배입니다. 그 결과 밑이 10인 로그 스케일의 경우 0, 10, 100, 1000 등의 순으로 눈금이 매겨집니다. 어떻게 로그 스케일이 눈금의 값이 0, 10, 20, 30 등의 순으로 진행될 수 있는 상응하는 선형 스케일보다 훨씬 더 넓은 범위의 값을 포함하는지를 확인하실 수 있을 것입니다.

If you use a logarithmic scale on one axis of the graph and a linear scale on the other axis, you are using a **semi-log plot**. The Richter scale, which measures the strength of earthquakes, uses a semi-log plot. The degree of ground movement is plotted on a logarithmic scale against the assigned intensity level of the earthquake, which ranges linearly from 1-10 (Figure 1.29 (a)).

그래프가 한 축은 로그 스케일이고 다른 축은 선형 스케일이면 **세미로그 그래프**라고 불립니다. 지진의 강도를 나타내는 리히터 규모를 그릴 때는 세미로그 그래프가 사용됩니다. 지반이 움직인 정도는 로그 스케일상에서 표시되는데, 그 로그 스케일은 선형으로 1에서 10까지가 범위로 지정된 지진의 강도에 대응합니다. (그림 1.29 (a))

If a graph has both axes in a logarithmic scale, then it is referred to as a **log-log plot**. The relationship between the wavelength and frequency of electromagnetic radiation such as light is usually shown as a log-log plot (Figure 1.29 (b)). Log-log plots are also commonly used to describe exponential functions, such as radioactive decay.

그래프의 두 축 모두가 로그 스케일이면 해당 그래프는 **로그-로그 그래프**로 불립니다. 빛 같은 전자기 복사의 파장과 주파수의 관계는 주로 로그-로그 그래프를 사용해 그립니다. (그림 1.29 (b)) 로그-로그 그래프는 방사성 붕괴와 같은 지수 함수를 나타내는 데도 흔히 쓰입니다.

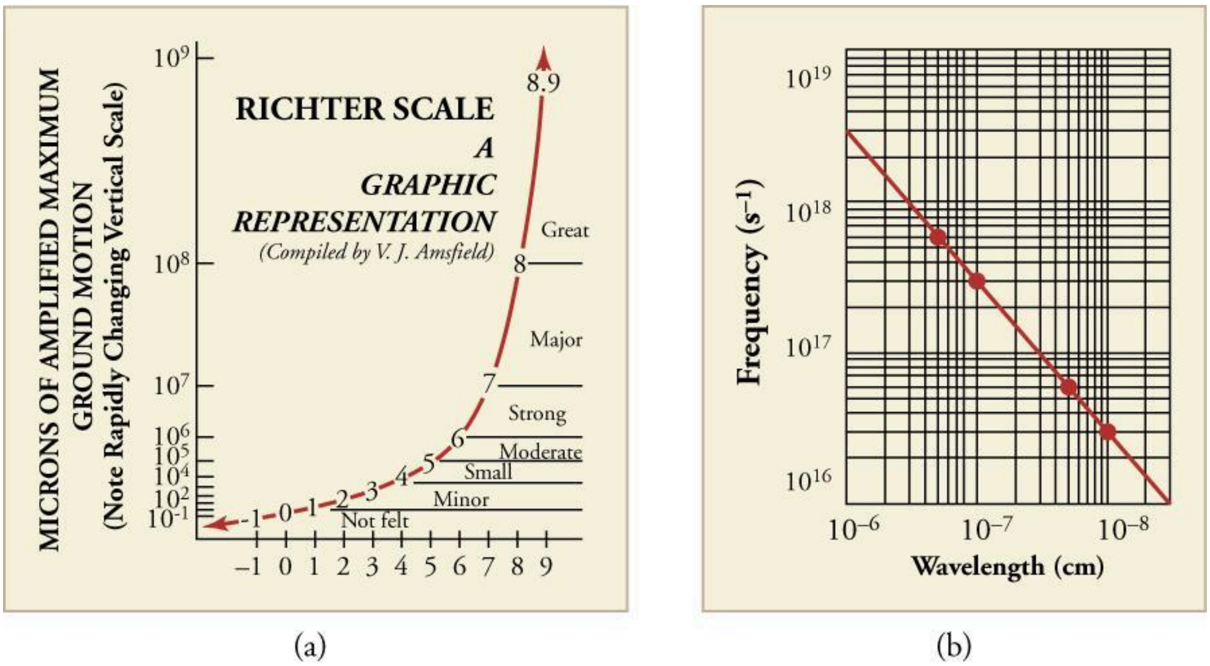


Figure 1.29 (a) The Richter scale uses a log base 10 scale on its *y-axis* (microns of amplified maximum ground motion). (b) The relationship between the frequency and wavelength of electromagnetic radiation can be plotted as a straight line if a log-log plot is used.

그림 1.29 (a) 리히터 규모에서는 밑이 10인 로그 스케일을 y축에 적용합니다(최대 지반 운동을 증폭한 값을 마이크로미터 단위로 표현). (b) 전자기 복사의 주파수와 파장 사이의 관계는 로그-로그 그래프를 활용하면 직선으로 표현할 수 있습니다.

WORKED EXAMPLE / 예제

Method of Adding Percents: Shingling Your Roof **백분율 더하기 방식 — 지붕널 쌓기**
A series of shingles are used to protect the roof of a home. Using a measuring tape, you measure one shingle and find its dimensions to be 44 cm by 100 cm. Knowing that your measurements are not perfect, you estimate an uncertainty of ±0.5 cm. Following the method of adding percents, what is the area of the shingle, including uncertainty? 지붕널은 집 지붕을 보호하기 위해 이어 붙여져서 사용됩니다. 줄자를 사용해서 측정한 지붕널의 크기가 44 cm × 100 cm라고 해보겠습니다. 측정이 완벽하지 않다는 가정 아래 불확도를 ±0.5 cm로 추정하겠습니다. 백분율 더하기 방식을 사용하면 지붕널의 면적은 불확도를 포함해서 얼마인가요?
STRATEGY **전략**
While calculating the area of the shingle is straightforward ($44\ cm \times 100\ cm = 4400\ cm^2$), determining the percent uncertainty is more challenging. In order to use the method of adding percents, you must first calculate the percent uncertainty of each measurement. 지붕널의 면적을 구하는 것은 간단하지만 ($44\ cm \times 100\ cm = 4400\ cm^2$), 백분율 불확도를 구하는 것은 더 까다롭습니다. 백분율 더하기 방식을 쓰기 위해서는 각 측정값의 백분율 불확도를 먼저 계산해야 합니다.
Solution **풀이**
Length % Uncertainty (세로 백분율 불확도): $\frac{\delta A}{A}\times 100\% = \frac{0.5}{44}\times 100\% = 1.1\%$ Width % Uncertainty (가로 백분율 불확도): $\frac{\delta A}{A}\times 100\% = \frac{0.5}{100}\times 100\% = 0.5\%$ Adding Percents (백분율 더하기): $1.1\% + 0.5\% = 1.6\%\ uncertainty$(백분율 불확도) Area of the Shingle (지붕널의 넓이): $4400\ cm^2 \pm 1.6\%$ Note that this uncertainty can also be expressed in metric terms. 이 불확도가 미터법 단위로도 표기될 수 있음을 기억해 주세요. $1.6\% \times 4400\ cm^2 = 70.4\ cm^2$

Area of the Shingle (지붕널의 면적): $4400 \pm 70.4\ cm^2$
Discussion **토의**
Knowing the percent uncertainty of a shingle can help a contractor determine the number of shingles needed, and therefore the cost, of roofing a new home. Consider how using smaller shingles would affect this uncertainty, and what role this would play in the cost estimation process. 지붕널의 백분율 불확도를 아는 것은 계약자가 필요한 지붕널의 수를 파악하는 데 도움이 될 수 있고, 이에 따라 새집의 지붕을 짓는 데 드는 비용을 파악하는 데도 도움이 될 수 있습니다. 더 작은 지붕널을 쓰면 이 불확도가 어떻게 될지, 그리고 비용 추산 시 무엇이 영향을 받을지를 생각해 보세요.

VIRTUAL PHYSICS / 가상 물리학

Graphing Lines **그래프에 선 그리기**
In this simulation you will examine how changing the slope and *y*-intercept of an equation changes the appearance of a plotted line. Select slope-intercept form and drag the blue circles along the line to change the line's characteristics. Then, play the line game and see if you can determine the slope or *y*-intercept of a given line.[30] 이 시뮬레이션에서는 식의 기울기와 y절편를 변경하면 그려지는 선의 모습이 어떻게 변할지를 알아볼 것입니다. 〈slope-intercept〉 부분을 선택한 뒤, 파란 원들을 선을 따라 드래그해서 선의 특성을 변화시켜 보세요. 그 후, 〈line game〉을 플레이해서 주어진 선의 기울기나 y절편을 구할 수 있는지 알아보세요. 〈〈〈The program is here.〉〉〉 〈〈〈여기에 프로그램이 있습니다.〉〉〉
Grasp Check **확인 문제**
How would the following changes affect a line that is neither horizontal nor vertical and has

[30] 프로그램에서 〈slope-intercept〉와 〈line game〉은 한국어가 아닌 영어로 되어 있으므로 번역하지 않고 영어를 그대로 썼습니다.

a positive slope?

다음과 같은 변화는 수평이지도 않고 수직이지도 않고 기울기가 양인 선을 어떻게 변화시킵니까?

1. increase the slope but keeping the *y*-intercept constant

1. 기울기는 증가시키지만 y절편은 그대로 두기

2. increase the *y*-intercept but keeping the slope constant

2. y절편을 증가시키지만 기울기는 그대로 두기

a. Increasing the slope will cause the line to rotate clockwise around[31] the *y*-intercept. Increasing the *y*-intercept will cause the line to move vertically up on the graph without changing the line's slope.

a. 기울기를 증가시키면 선이 y절편을 기준으로 시계 방향으로 돌 것입니다. y절편을 증가시키면 선이 그래프상에서 기울기가 변하지 않은 채 수직 방향으로 위로 올라갈 것입니다.

b. Increasing the slope will cause the line to rotate counter-clockwise around the *y*-intercept. Increasing the *y*-intercept will cause the line to move vertically up on the graph without changing the line's slope.

b. 기울기를 증가시키면 선이 y절편을 기준으로 반시계 방향으로 돌 것입니다. y절편을 증가시키면 선이 그래프상에서 기울기가 변하지 않은 채 수직 방향으로 위로 올라갈 것입니다.

c. Increasing the slope will cause the line to rotate clockwise around the *y*-intercept. Increasing the *y*-intercept will cause the line to move horizontally right on the graph without changing the line's slope.

c. 기울기를 증가시키면 선이 y절편을 기준으로 시계 방향으로 돌 것입니다. y절편을 증가시키면 선이 그래프상에서 기울기가 변하지 않은 채 수평 방향으로 오른쪽으로 이동할 것입니다.

d. Increasing the slope will cause the line to rotate counter-clockwise around the *y*-intercept. Increasing the *y*-intercept will cause the line to move horizontally right on the graph without changing the line's slope.

d. 기울기를 증가시키면 선이 y절편을 기준으로 반시계 방향으로 돌 것입니다. y절편을 증가시키면 선이 그래프상에서 기울기가 변하지 않은 채 수평 방향으로 오른쪽으로 이동할

[31] "around"에는 "~을 기준으로 하다"라는 뜻이 없지만 현재 맥락에서는 이렇게 번역하는 것이 좋은 것 같습니다.

것입니다.

Check Your Understanding / 확인 문제

12. Identify some advantages of metric units.

12. 미터법 단위의 몇 가지 장점을 고르세요.

a. Conversion between units is easier in metric units.

a. 단위 간 변환은 미터법 단위가 더 쉽습니다.

b. Comparison of physical quantities is easy in metric units.

b. 미터법 단위로 물리량을 비교하면 쉽습니다.

c. Metric units are more modern than English units.

c. 미터법 단위가 영국 단위보다 더 현대적입니다.

d. Metric units are based on powers of 2.

d. 미터법 단위는 2의 거듭제곱에 기반합니다.

13. The length of an American football field is 100 yd, excluding the end zones. How long is the field in meters? Round to the nearest 0.1 m.

13. 미식축구 경기장의 길이는 엔드존을 제외하면 100 야드입니다. 해당 경기장의 길이가 미터로 얼마인지를 구하세요. 소수 둘째 자리에서 반올림하세요.

a. 10.2 m

b. 91.4 m

c. 109.4 m

d. 328.1 m

14. The speed limit on some interstate highways is roughly 100 km/h. How many miles per hour is this if 1.0 mile is about 1.609 km?

14. 일부 주간 고속도로의 제한 속도는 약 100 km/h입니다. 1.0 마일이 약 1.609 km라고 가정하면 이는 시속 몇 마일인지를 구하세요.

a. 0.1 mi/h

b. 27.8 mi/h

c. 62 mi/h

d. 160 mi/h

15. Briefly describe the target patterns[32] for accuracy and precision and explain the differences between the two.

15. 정확도와 정밀도가 목푯값을 찾는 과정에서 어떠한 특징이 있는지를 간단히 기술하고, 두 성질의 차이를 설명하세요.

a. Precision states how much repeated measurements generate the same or closely similar results, while accuracy states how close a measurement is to the true value of the measurement.

a. 정밀도는 반복해서 측정할 때 값들이 얼마나 같거나 비슷한지를 나타내는 반면, 정확도는 측정값이 측정의 참값에 얼마나 가까운지를 나타냅니다.

b. Precision states how close a measurement is to the true value of the measurement, while accuracy states how much repeated measurements generate the same or closely similar result[33].

b. 정밀도는 측정값이 측정의 참값에 얼마나 가까운지를 나타내는 반면, 정확도는 반복해서 측정할 때 값들이 얼마나 같거나 비슷한지를 나타냅니다.

c. Precision and accuracy are the same thing. They state how much repeated measurements generate the same or closely similar results.

c. 정밀도와 정확도는 같은 개념으로, 반복해서 측정할 때 값들이 얼마나 같거나 비슷한지를 나타냅니다.

d. Precision and accuracy are the same thing. They state how close a measurement is to the true value of the measurement.

d. 정밀도와 정확도는 같은 개념으로, 측정값이 측정의 참값에 얼마나 가까운지를 나타냅니다.

---

[32] 합의된 표현이 아니라 저자가 임의로 만든 표현 같습니다.

[33] 단수가 아니라 복수인 것 같습니다.