

길이의 단위 (미터)



'미터는 빛 진공에서 $1/299792458$ 초 동안 진행한 경로의 길이 이다.' (제 17 차 CGPM/1983)
이 정의의 결과로 빛의 속력은 정확히 299792458 m/s 로 고정된 것에 주목하여야 한다. 빛의 속력이 기본 물리 상수의 하나로서 그 값이 일정하고 변하지 않는다는 바탕위에 모든 물리학 법칙이 세워져 있다.

정의의 결과로 빛의 속력은 정확히 299792458 m/s 로 고정된 것에 주목하여야 한다. 빛의 속력이 기본 물리 상수의 하나로서 그 값이 일정하고 변하지 않는다는 바탕 위에 모든 물리학 법칙이 세워져 있다. 그러나 실제 그 값이 얼마인가 하는 것은 측정 단위에 의하여 정해진다. 그러므로 미터와 시간의 단위가 독립적으로 정의되었을 때에는 빛의 속력도 측정에 의해서 그 값이 결정되었으므로 이에 따른 불확도를 가질 수밖에 없었다.

즉 미터의 정의가 바뀌기 전의 빛의 속력은 보통 $299792458(1.2) \text{ m/s}$ 으로 나타내었는데 이때 괄호 속의 숫자는 불확도를 나타내는 것으로 1 (1 표준편차) 값을 나타내었고, 또는 문헌에 따라 신뢰 수준 99 %를 갖는 확장불확도 값으로 4×10^{-9} 으로 표시하기도 했다. 그러나 이제는 빛의 속력이 미터의 정의에서 보이는 값을 갖는 것으로 고정된다는 의미이다. 따라서 불확도가 영(0)인 정확한 값이 되고, 그 대신 미터의 정의가 빛의 속력에 바탕을 두게 된 것이다.

측정기술과 함께 과학·기술이 발달함에 따라 최초로 국제적 미터의 정의로 사용되었던 1889년 제1차 CGPM에서 인가한 원래의 백금-이리듐으로 만들어진 국제미터원기는 인공적으로 만든 물질이므로 물리적 특성이 변할 가능성이 있다는 것과, 또한 이 원기가 예기치 못한 재해로 훼손될 수가 있는데, 이 경우 미터를 원래와 똑같이 복원하는 일이 가능하지 않다는 것에 주목하게 되었다. 이를 극복하기 위하여 물리적 원리에 바탕을 둔, 따라서 실험적으로 복원이 가능한 원기를 개발하려는 노력이 이루어졌고, 이에 따라 백금-이리듐으로 만들어진 국제원기에 기초를 둔 1889년의 미터의 정의는 1960년 제11차 CGPM에서 크립톤 86 원자(86 Kr)의 복사선 파장에 근거를 둔 정의로 바뀌었다. 즉, "미터는 크립톤 86 원자의 $2p_{10}$ 과 $5d_5$ 준위간의 전이에 대응하는 복사선의 진공 중에서의 파장의 1650763.73 배와 같은 길이이다."로 되었다. 즉 최초의 미터의 기준으로 지구의 둘레가 사용되어, 북극에서 적도까지의 자오선의 길이의 1000만분의 1을 미터로 정해 쓰던 것이 미시의 세계인 원자 크기의 영역으로 들어가 특정 원자의 특성에서 나오는 빛을 사용하게 되어, 그 빛의 파장을 약 165만 배로 곱하여 사용하게 된 것이다. 그러나 이 크립톤 램프에서 나오는 빛은 그 세기가 약하여 미터의 정의를 실험적으로 확인하는 정도이며 실용적인 도구로 사용하기에는 어려움이 많았다. 1960년대 광학 기술의 급속한 발전으로 여러 가지 레이저가 개발되고 안정화 기술도 발달함에 따라 레이저는 길이 측정에 필수적인 요소가 되었고, 1983년 제17차 CGPM에서 미터의 정의는 빛의 속력에 근거를 둔 현재의 정의로 바뀌게 된 것이다.

미터법의 바탕이 되었었고 최초의 국제적 미터 정의로 사용되었던 1889년 제1차 CGPM에서 인가한 원래의 국제미터원기는 1889년 당시 지정한 상태 하에 아직도 국제도량형국(BIPM)에 보관되어 있다.

질량의 단위 (킬로그램)

'킬로그램은 질량의 단위이며 국제킬로그램원기의 질량과 같다.' (제 3 차 CGPM/1901)

1889년 제1차 CGPM에서 백금-이리듐으로 만들어진 국제킬로그램원기를 인가하여, "이제부터는 이 원기를 질량의 단위로 삼는다."라고 선언하였고, CGPM에서 지정한 상태 하에 국제도량형국(BIPM)에 보관하도록 하였다.

제3차 CGPM(1901)에서 위의 정의에서 보는 바와 같이 "질량"의 단위라고 강조한 것은 그간 흔히 "무게(重量)"의 뜻과 혼동되어 사용되어 왔기 때문에, 이 무게라는 단어의 의미가 때로는 질량을, 때로는 역학적 힘을 나타내는데 사용되므로 이러한 모호함을 없애고 질량을 뜻함을 명백히 하기 위한 것이다. "무게"는 우리가 어느 물체를 들 때 느끼는 것, 즉 "힘"과 같은 성질의 양을 나타내는 것으로 한 물체의 무게는 그 질량과 중력가속도를 곱한 것과 같다. 그러나 중력 가속도는 지구상에서 위치에 따라 다르므로 무게도 위치에 따라 달라진다. 편의상 표준 무게를 정의하여 사용할 수 있는데, 한 물체의 표준 무게는 그 질량과 표준 중력가속도의 곱이 된다. 현재 국제적으로 정한 표준 중력가속도는 9.80665 m/s^2 이며 g_n 으로 표시한다.

시간의 단위 (초)

'초는 세슘-133 원자의 바닥상태에 있는 두 초미세 준위 사이의 전이에 대응하는 복사선의 9192631770 주기의 지속시간이다.' (제 13 차 CGPM/1967~1968) '이 정의에서 세슘원자는 온도가 0 K 인 바닥상태에 있는 원자를 가르킨다.' (CIPM/1997)

시간의 단위인 초는 예전에는 평균태양일의 1/86400로 정의되었었다. 여기서 "평균태양일"의 정확한 정의는 천문학 이론에 바탕을 두고 있고, 이렇게 정의된 초를 평균태양초라고 한다. 측정에 의해서 밝혀진 바로는 지구 자전의 불규칙성을 이론적으로 설명할 수 없다는 것과 이 불규칙성으로 인해 이 정의로는 시간의 단위를 우리가 요구하는 정확도로 실현할 수 없다는 것이다.

1956년 CIPM은 시간의 단위를 좀 더 엄밀하게 정의하기 위하여 국제천문학연맹이 태양년을 기초로 하여 만든 정의를 채택하였고, 1960년 제11차 CGPM에서 비준되었는데, 이것이 바로 역표초이며, 그 정의는 "초는 역표시로 1900년 1월 0일 12시에 대한 태양년의 1/31556925.9747 이다." 다시 말해서, 평균태양초는 지구의 자전 주기를 기준으로 하였으나 역표초는 지구의 공전 주기를 기준으로 한 것이다. 위 정의의 표현을 바꾸어 보면, 이렇게 정의된 초로는 1 태양년이 약 31556926 초가 된다는 의미이다. 또한 하루의 길이가 86400 초이므로 1년은 약 365.2422 일이 된다는 것을 알 수 있고, 여기서 365일을 빼고 남은 부분이 윤년의 근원이 되는 것이다.

평균태양초가 자전의 불규칙성으로 인한 불확도 요인을 갖는데 비하여 역표초는 훨씬 불확도가 적은 균일한 시간 척도임은 분명하나 실제 측정에 너무 많은 시간(보통 수년)이 걸려 실용적이지 못한 면이 컸다. 이 무렵에는 이미 원자시계의 가능성이 나타났었다. 즉, 원자나 분자의 두 에너지 준위 사이의 전이에 기초를 둔 원자시간표준이 실현가능하고 훨씬 더 정확하게 재현될 수 있다는 것이 이미 실험결과로 증명되었다. 이에 따라서 1967년 제13차 CGPM은 초의 정확한 정의가 국제단위계에 필요 불가결하다는 점을 고려하여 초의 정의를 현재의 정의로 바꾸었다

전류의 단위 (암페어)

'암페어는 무한히 길고 무시할 수 있을 만큼 작은 원형 단면적을 가진 두 개의 평행한 직선 도체가 진공중에서 1 미터의 간격으로 유지될 때, 두 도체 사이에 매 미터당 2×10^{-7} 뉴턴의 힘을 생기게 하는 일정한 전류이다.' (제 9 차 CGPM/1948)

1946년 처음 암페어를 정의할 때는 원문에서 "힘의 MKS 단위"라는 표현을 사용하였었는데, 제9차 CGPM에서 이 단위의 명칭으로 "뉴턴"이 채택되었으므로 위의 정의는 이 새로운 명칭으로 대치시킨 것이다. 이 정의에 따라 진공의 투자율은 정확히 $4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 고정된다는 것을 주목하여야 한다.

전류와 저항에 대한 소위 "국제" 전기단위는 1893년 시카고에서 열린 국제전기협의회(International Electrical Congress)에서 도입되었고, "국제" 암페어와 "국제" 옴의 정의는 1908년 런던국제회의에서 확정되었다.

제8차 CGPM(1933)에서 "국제" 단위를 소위 "절대" 단위로 대치시키자는 만장일치의 요구가 이미 있었지만 이들을 폐기하자는 공식적인 결정은 제9차 CGPM(1948)에서 비로소 취해졌다. 이 회의에서 CIPM(1946)에 의해 제안된 위의 정의에 따라 전류의 단위로 암페어를 채택하였다.

열역학적 온도의 단위 (켈빈)

'열역학적 온도의 단위인 켈빈은 물의 삼중점의 열역학적 온도의 1/273.16 이다.' (제 13 차 CGPM/1967~1968)

열역학적 온도의 단위는 실질적으로 제10차 CGPM (1954)에서 정해졌는데, 여기서 물의 삼중점을 기본 고정점으로 선정하고, 이 고정점의 온도를 정의에 의해서 273.16 K로 정했다. 제13차 CGPM(1967-1968)에서 "켈빈도"(기호 °K) 대신 켈빈(기호 K)이라는 명칭을 사용하기로 채택하였고, 열역학적 온도의 단위를 위와 같이 정의하였다.

온도눈금을 정의해 오던 종래의 방법 때문에, 기호 T 로 표시되는 열역학적 온도를 물의 어는점인 기준온도 $T_0 = 273.15$ K와의 차이로 나타내는 것이 일반 관례로 남아있다. 이 온도차이를 섭씨 온도라고 하며, 기호는 t 로 표시 하고 다음 식으로 정의된다. $t = T - T_0$. 섭씨 온도의 단위는 섭씨도(기호 °C)이며, 정의에 의해 켈빈과 그 크기가 같다. 온도차이 혹은 온도간격은 켈빈이나 섭씨도로 표현할 수 있다. 섭씨도로 표시된 섭씨 온도 t 의 수치는 다음과 같이 주어진다. $t / ^\circ\text{C} = T / \text{K} - 273.15$

켈빈과 섭씨도는 모두 1989년 CIPM 권고사항 5에서 채택된 "국제온도눈금 1990" (ITS-90)의 단위이다. 여기서 주목할 것은 물의 삼중점의 온도와 섭씨 온도의 기준점이다. 원래 섭씨 온도의 정의는 얼음의 녹는 온도가 기준점이었는데 물의 삼중점을 더 정확하게 현시할 수 있기 때문에 이를 기준점으로 삼은 것이다. 위에서 보는 대로 물의 삼중점은 273.16 K가 되고 이 값은 위 식에서 0.01 °C 가 됨을 알 수 있다. 다시 말하면 섭씨 온도의 기준점은 물의 삼중점보다 0.01 °C (또는 0.01 K) 낮은 것을 알 수 있다.

물질량의 단위 (몰)

'몰은 탄소 12의 0.012 킬로그램에 있는 원자의 개수와 같은 수의 구성요소를 포함한 어떤 계의 물질량이다. 그 기호는 'mol' 이다. '몰을 사용할 때에는 구성요소를 반드시 명시해야 하며 이 구성요소는 원자, 분자, 이온, 전자, 기타 입자 또는 이 입자들의 특정한 집합체가 될 수 있다. (제 14 차 CGPM/1971) 이 정의에서 탄소 12는 바닥상태에서 정지해 있으며 속박되어 있지 않은 원자를 가르킨다. (CIPM/1980)

화학의 기본법칙이 발견된 이래 "그램-원자", "그램-분자"와 같은 물질량의 단위들이 화학원소나 화합물의 양을 표시하는데 사용되어 왔다. 이들 단위는 실제 상대적 질량인 "원자량" 또는 "분자량"과 직접적인 관계가 있었다. 처음에는 "원자량"을 그 당시 일반적으로 16으로 합의된 산소의 원자량을 기준으로 정해졌었다. 그러나 물리학자가 질량분석기로 산소의 동위원소를 분리하여 그중 하나에 16 이란 값을 부여했다. 반면 화학자는 자연적으로 존재하는 산소 원소, 즉 산소 동위원소 16, 17, 18의 혼합물(약간 조성이 다를 수도 있지만)에 16이란 값을 부여하였다. 마침내 1959-1960년에 국제순수및응용물리학연맹(IUPAP) 과 국제순수및응용화학연맹(IUPAC) 사이의 합의에 의하여 이러한 이중성을 종결시키기로 하였다. 그 후 물리학과 화학자는 질량수 12인 탄소 동위원소(탄소 12, 12 C)에 상대원자량 12라는 값을 부여하는데 합의하였다. 이제 남은 일은 탄소 12에 상당하는 질량을 정하여 물질량의 단위를 정의하는 것이다. 이 질량은 국제적인 합의에 의하여 0.012 kg으로 정해졌고 "물질량"이란 양의 단위의 명칭은 몰(mole, 기호 mol)로 정해졌다.

IUPAP, IUPAC, ISO의 제안에 따라 CIPM은 1967년에 몰의 정의를 내리고, 이를 1969년에 재확인하였는데, 1971년 제14차 CGPM에서 이 정의를 채택하였다.

광도의 단위 (칸델라)

'칸델라는 진동수 540×10^{12} 헤르츠인 단색광을 방출하는 광원의 복사도가 어떤 주어진 방향으로 매 스테라디안 당 1/683 와트일 때 이 방향에 대한 광도이다.' (제 16 차 CGPM/1979)

이전에 여러 나라에서 사용되었던 불꽃이나 백열 필라멘트 표준에 기초를 둔 광도의 단위는 1948년 백금 응고점에서 유지된 플랑크 복사체(흑체)의 광휘도에 기초를 둔 "신촉광(新燭光)"으로 대체되었다. 이러한 내용은 이미 1937년 이전에 국제조명위원회(CIE)와 CIPM에 의해 마련되어 1946년 CIPM에 의해 공포되고, 이어서 1948년 제9차 CGPM에서 비준되었다. 이때에 광도단위에 대한 새로운 국제명칭 칸델라(기호 cd)가 채택되었다. 1946년에 공포된 이 칸델라의 정의는 1967년 제13차 CGPM에서 수정되었다. 즉, "칸델라는 101325 뉴턴 매 제곱 미터의 압력 하에서 백금 응고점에 유지된 흑체의 표면 1/600000 제곱 미터의 수직방향에 대한 광도이다."로 되었다.

그러나 고온에서 플랑크 복사체를 현시하는데는 실험적으로 어려움이 많고 또한 광 복사출력을 측정하는 복사측정방법(radiometry)에 의해 제공된 새로운 가능성 때문에 1979년 제16차 CGPM은 위와 같이 칸델라에 대한 새로운 정의를 채택하였다.

기본단위의 기호

현재 사용되고 있는 7개 SI 기본단위의 명칭과 기호가 표 1에 수록되어 있으며, 이들 기본단위와 연관된 기본량이 또한 나타나 있다.

SI기본단위의 기본량, 명칭, 기호

기본량	SI기본단위	
	명칭	기호
길이	미터	m
질량	킬로그램	kg
시간	초	s
전류	암페어	A
열역학적 온도	켈빈	K
물질량	몰	mol
광도	칸델라	cd

제10차 CGPM(1954)에서 처음 6개의 기본단위가 선정되었고, 제11차 CGPM(1960)에서는 이를 바탕으로 하는 단위계에 국제단위계(SI)라는 공식 명칭을 부여하였다. 제13차 CGPM(1967-1968)에서 열역학적 온도의 단위를 "°K"에서 "K"로 바꾸었고, 제14차 CGPM(1971)에서 물질량의 단위 몰(기호: mol)이 추가되어 현재에 이르고 있다.