

기술강좌

計量單位

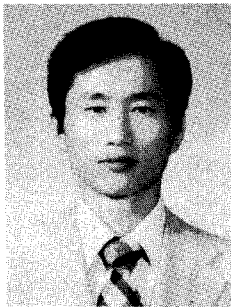
I. 기본단위의 정의

1. 길이의 단위(미터)

길이의 기본단위인 미터는 최근까지 1889년 국제도량형총회(CGPM)에 의해 승인된 국제 미터 원기로서 나타내져 왔다. 즉 미터는 “온도 0°C에서 국제미터원기로서 미터라고 표시된 길이”로 정의되었다.

국제원기는 백금·이리듐 합금(이리듐은 질량비로 10%)으로 만든 표준자이다.

그후 광파간섭에 의한 길이 측정이 활발히 이용되어 비교측정의 정밀도를 10^{-8} ~ 10^{-9} 에 이를 정도로 향상되어 종래의 원기에 의한 미터의 정의가 충분치 못한 것으로 인식되어 1960년의 제 10회 국제도량형총회에서 “미터의 정의변경”이 결정되어 오늘날에는 “미터는 크립톤 86(^{86}Kr)원자의 $2P_{1/2}$ 준위간의 전이에 대응하는 복사선(오렌지색 광선)의 진공중에서 파장(0.60578021 μm)의 1650763.73배와 같은 길이”로서 정의되었으며 현재 과학기술로 가장 정확하게 측정할 수 있는 주파수와 빛의 속도를 이용하여 훨씬 정확하게 길이 측정이 가능하여 1983년 제17회 도량형총회에서 “미터는 빛이 진공에서 299,792,458분의 1초동안 진행한 경로의 길이이다”라고 바꾸어 현



이 창 성

중소기업진흥공단 기술지도원
한국품질관리기사회 전문위원
공업진흥청 기술지도위원
(現) 신일산업기술연구소 소장

재 사용중이다.

2. 질량의 단위(킬로그램)

1889년 제1회 국제도량형총회에서 “국제킬로그램의 질량이 1킬로그램이다”라고 정의 하였다. 국제킬로그램 원기는 백금과 이리듐합금(이리듐은 질량비로 10%)으로 된 원통형(직경과 높이가 똑같이 39cm)이다.

3. 시간의 단위(초)

1967년 국제도량형총회는 국제단위계인 시간의 단위는 “초는 세슘 133원자(¹³³Cs)의 기저상태의 두초미세 준위간의 전이에 대응하는 복사선의 9,192,631,779주기의 지속시간이다.”로 정의하였다.

이초의 정의에 의해 천체운동에 기초한 시각은 금을 대신할 국제원자시눈금(시각눈금)의 설정이 필요하게 되었다. 그래서 1970년 국제도량형 위원회에서 승인된 “국제원자시(TAI)”의 정의는 다음과 같다.

“국제원자시는 국제단위계의 시간의 단위인 초의 정의에 따라 각국의 기관에 의해 운전되고 있는 원자시계의 지시에 근거하여 국제 시보국에 의해서 설정된 참조 시각으로 통일된 것이다.”

4. 전류의 단위(암페어)

전류의 기본단위인 암페어는 다음과 같이 정의 되었다.

“암페어는 무한히 길고 무시하고 있을만큼 작은 원형 단면적을 가진 두개의 평행한 직선도체가 진공중에서 1미터 간격으로 유지될 때, 두도체 사이에 매 미터당 2×10^{-7} 뉴우튼(N)의 힘을 생기게 하는 전류이다.”

5. 열역학적 온도의 단위(켈빈)

1967년 국제도량형총회에서 “기본 온도는 열역학적온도(기호 T)이며 그 단위는 켈빈(기호 K)이다. 켈빈은 물의 삼중점의 열역학적 온도의 $1/273.16$ ”라고 정의하였다.

6. 물질량의 단위(몰)

국제도량형위원회(CIPM)는 1967년 다음과 같이 몰의 정의를 내리고 1969년 확인하였는데 이 정의는 1971년 국제도량형총회의 결의 사항 3에서 채택되었다.

- ① 몰은 탄소 12의 0.012킬로그램에 있는 원자의 갯수와 같은 수의 구성요소를 포함한 어떤 계의 물질량이다.
- ② 몰을 사용할 때는 구성요소를 반드시 명시해야 하며 이 구성요소는 원자, 분자, 이온, 전자, 기타 입자 또는 이 입자들의 특정한 집합체가 될 수 있다”라고 정의하였다.

몰의 정의에서 탄소 12는 바닥상태에서 정지해 있으며 속박되어 있지 않은 원자를 가르킨다.

7. 광도의 단위(칸델라)

1979년 제16차 국제도량형총회에서 “칸델라는 주파수 540×10^{12} 헤르쯔인 단색광을 방출하는 광원의 복사도가 어떤 주어진 방향으로 메스테라디안당 1/683와트일때 이 방향에 대한 광도이다”라고 정의하였다.

II. 국제 단위계(SI)

1. 국제단위계 해설

SI란 불어 Le Systeme International d'Unités에서 온 약어로 “국제단위계”를 나타낸다. 이는 현재 세계 대부분의 국가에서 채택하여 국제 공동으로 사용하고 있는 단위계이며 우리가 “미터제”(또는 “미터법”)라고 부르고 사용하여 오던 단위계가 현대화된 것이라고 생각하면 된다. “국제단위계”라는 명칭과 그 약칭 “SI”는 1960년 제11차 국제도량형총회(CGPM)에서 채택 결정된 것이다.

가. SI의 배경 및 발달

고대의 측정단위들은 어떤 계획에 의해서 이루어진 단위 체계가 아니었고 각기 필요에 따라 생긴 것이었으므로 분야에 따라서 사용되는 단위도 자연 다르게 마련이었다.

점차, 인류생활이 복잡해지고 사회가 발전함에 따라 고대단위로 부터 발전되어 체계를 이루게 된 것이 동양에서는 “척관계”이며 서양에서는 “피트·파운드계”(foot-pound system)이다. 이들은 현대 SI가 공식화 되기까지 오랫동안 사용되어 왔고, 아직도 많이 사용되고 있다.

SI의 시초는 1790년경 프랑스에서 발명된 “미터제”이며, 이 미터제는 1875년 17개국 미터협약(Meter Convention)에 조인함으로써 공식화되었다. 이 미터제는 분야에 따라 여러개의 하부단위계를 생기게 하며 이에 따라 많은 단위들이 나타나게 되었는데 그 한 예가 1881년 과학분야에서 사용하기 위해 만든 CGS이며, 이는 센티미터, 그램 및 초에 바탕을 두고 있다.

1900년경에는 실용적인 측정이 미터-킬로그램

-초(MKS)계에 바탕을 두어 행하여지게 되었다. 1901년 Giovanni Giorgi가 전기 기본단위 하나를 새로 도입하면 역학 및 전기단위들이 통합된 일관성 있는 체계를 형성할 수 있다고 제의하였고, 1935년에 국제전기기술위원회(IEC)가 전기단위로 ampere, coulomb, ohm, volt 중 하나를 채택하여 역학의 MKS와 통합할 것을 추천하였는데 뒤에 암페어(ampere)가 선정되어 MKSA를 이루게 되었다. 1954년 제10차 CGPM에서 MKSA 4개의 단위와 온도의 단위 “켈빈도”, 그리고 광도의 단위 “칸델라” 모두 6개의 단위에 바탕을 둔 일관성 있는 단위계를 채택하였고 1060년 제11차 CGPM에서 이 단위계에 공식적인 명칭 “국제단위계”와 그 약칭 “SI”를 모든 언어에서 사용하도록 부여하였다.

1967년 온도의 단위가 켈빈(K)으로 바뀌고 1971년에 7번째의 기본단위인 몰(mole)이 추가되어 현재의 SI의 기초가 되었다.

나. SI의 특징

전 세계가 공통으로 사용할 수 있기 위한 단위계를 형성하도록 시작되었고 국제적인 공동 노력으로 이루어진 이 SI는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 각 속성(또는 물리량)에 대하여 한가지 단위만 사용한다. 예로서 길이에 대하여는 미터만 사용하며, 자(尺) 또는 피트(foot)같은 단위를 사용하지 않기 때문에 전체적으로 불필요한 단위의 수가 대폭 감소되는 것이다.
- ② 모든 활동 분야에 적용된다.

과학이나 기술 또는 상업 등 모든 분야에 적용할 뿐만 아니라 전 세계가 같은 방법으로 이용하여 상호 교류나 이해를 쉽

게 하게 된다.

③ 일관성 있는 체계이다.

몇가지 기본단위를 바탕으로 하여 이들의 곱이나 비의 형식으로 모든 물리량을 나타내는 일관성있는 체계를 형성하므로 다른 체계와의 혼합에서 오는 공식내의 인자들이 없어지게 된다.

④ 배우기와 사용하기가 쉽다.

위에서 설명한 특징을 갖고 있기 때문에 일정한 규칙만 알고 그에 따라 적용하면 배우기와 사용하기가 용이하다.

이와같은 특징 때문에 오늘날 세계 대부분의 국가에서 SI를 채택하여 사용하고 있으며, 종래의 단위계에 너무 오래 익숙하여 즉시 바꿀수 없는 나라에서는 장기 계획을 세워서 점차적으로 바꾸고 있는 중이다.

한마디로 SI는 그 명칭이 뜻하는대로 “국제단위계”이다.

2. SI의 구조

국제단위계(SI)는

- 기본단위
- 유도단위
- 보충단위

의 3가지 부류의 단위로 형성되어 있다.

과학적인 관점에서 볼때 SI단위를 이와같이 세 부류로 나누는 것은 어느정도 임의적이라 할 수 있다. 왜냐하면 이들이 물리학적인 필수성에서 나타난 것은 아니고, 다만, 국제관계, 교육 및 과학적인 연구활동 등에 있어서 실용적이며 범세계적인 단일체제의 이점을 고려한 면이 크기 때문이다. 이를 위하여 관례상 독립된 차원을 가지는

것으로 간주되는, 명확하게 정의된 단위들을 선택하여 SI의 바탕이 되게 하였는데 이들이 기본 단위이며 미터, 킬로그램, 초, 암페어, 켈빈, 몰, 그리고 칸델라의 7개 단위가 이들이다.

보충단위에 속하는 단위는 라디안과 스테라디안의 2개이며, 평면각과 입체각을 나타내는 단위이다. 유도단위는 관련된 양들을 연결시키는 대수관계에 따라 기본단위, 보충단위 또는 다른유도단위들을 조합하여 이루어지는 단위이다.

위에서 설명한 세 부류의 SI단위들이 문자 그대로 “일관성”있는 단위의 집합을 형성한다. 즉, 아무 수치적 인자없이 순전히 곱하기와 나누기에 의하여 이루어진 단위의 체계이다. 여기서 한가지 강조할 것은 한 SI단위가 몇가지 다른 형태로 표기될 수는 있어도 한 물리량은 단 하나의 SI단위만을 갖는 점이다. 그러나 그 역은 사실이 아니다. 즉 동일한 SI단위가 몇 개의 다른 양에 해당될 수 있다.

3. SI기본단위 및 SI보충단위

가. SI기본단위

기본단위는 SI의 가장 기본이 되는 7개의 단위로 독립적인 차원을 갖도록 정의되어 있으며 표 3-1에 이들의 명칭 및 기호가 나타나 있다.

〈표 3-1 SI기본단위〉

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

현재는 이들중 질량의 단위인 킬로그램(kg)만 인공적으로 만든 국제원기에 의하여 정의되어 있으며 나머지 6개는 모두 물리적인 실험에 의하여 정의되어 있다.

이 정의들은 과학·기술의 발달에 따라 바뀌어 왔고 CGPM에 의해서 결정되는데 각 기본단위의 현재의 정의를 살펴보면 다음과 같다.

① 길이의 단위(m)

“미터(meter)는 진공에서 빛이 1/299,792,458초 동안 진행한 경로의 길이이다.”

② 질량의 단위(kg)

“킬로그램(kilogram)은 질량의 단위이며, 국제 킬로그램원기의 질량과 같다.”

③ 시간의 단위(s)

초(second)는 세슘 133원자(¹³³Cs)의 바닥 상태에 있는 두 초미세준위간의 전이에 대응하는 복사선의 9,192,631,770 주기의 지속시간이다.”

④ 전류의 단위(A)

“암페어(ampere)는 무한히 길고 무시할 수 있을 만큼 작은 원형 단면적을 가진 두개의 평행한 직선 도체가 진공중에서 1미터 간격으로 유지될 때 두 도체 사이에 매 미터당 2×10^{-7} 뉴우튼(N)의 힘을 생기게 하는 일정한 전류이다.”

⑤ 열역학적 온도의 단위(K)

“켈빈(kelvin)은 열역학적 온도의 1 / 273.16 이다.”(1967년 제 13차 CGPM)이에 부가하여 다음식으로 정의된 섭씨(기호 t, 단위 °C)도 사용한다.

$$t = T - T_0$$

여기서 $T_0 = 273.15K$ 로 정의되었음.

⑥ 질량의 단위(mol)

- 몰은 탄소 12의 0.012킬로그램에 있는 원자의 갯수와 같은 구성요소를 포함한 어떤 계의 물질량이다.
- 몰을 사용할 때에는 구성요소를 반드시 명시해야 하며 그 구성요소는 원자, 분자, 이온, 전자, 기타 입자 또는 이 입자들의 특정한 집합체가 될 수 있다.

몰의 정의에서 탄소 12는 바닥상태에서 정지해 있으며 속박되어 있지 않은 원자를 가리킨다. 또한 이 정의는 몰의 단위를 가진 양의 특성을 부여하는 점에서 주의하여야 한다.

⑦ 광도의 단위(cd)

“칸델라(candela)는 주파수 540×10^{12} 헤르쯔인 단색광을 방출하는 광원의 복사도가 주어진 방향으로 매스테라디안 당 1/683와트일 때 이 방향에 대한 광도이다.”

나. SI보충단위

현재 순전히 기하학적으로만 정의된 2개의 단위가 보충단위로 인정되어 있고 표 3-2에 나타나 있다.

〈표 3-2 SI보충단위〉

양	SI 단 위	
	명 칭	기 호
평 면 각	라 디 안	rad
입 체 각	스 테 라 디 안	sr

① 라디안(rad)

“라디안(radian)은 한 원의 원둘레에서 그 원의 반지름과 같은 길이의 호를 자르는 두 반지름사이의 평면각이다.”

다시 말해서 원의 반지름과 같은 길이의 원 둘레에 대한 중심각이다. 예를 들어 직각은 $\pi/2\text{rad}$ 가 되는데, 왜냐하면 원의 둘레가 반지름의 2π 배이기 때문이다.

② 스테라디안(sr)

“스테라디안(steradian)은 한 공의 표면에서 그 공의 반지름의 제곱과 같은 넓이의 표면을 자르고 그 꼭지점이 공의 중심에 있는 입체각이다.”

즉, 공의 반경의 제곱과 같은 넓이를 가진 공의 표면에 대한 중심 입체각이다. 따라서 공의 전 표면적은 반지름 제곱의 4π 배이므로 전체 공의 입체각은 4π sr이 된다. 1960년 국제단위계를 도입할 당시에는 이들 보충단위의 특성에 대한 문제는 미결상태로 두었었는데 뒤에 평면각은 일반적으로 두 길이의 비로 입체각은 면적과 길이의 제곱과의 비로 표현된다는 것을 고려하여 이들이 무차원 유도단위로 간주되어야 한다고 결정하였다. 그러므로 보충단위인 라디안과 스테라디안은 유도단위의 표현에 사용할 수도, 생략할 수도 있는 무차원 유도단위로 간주된다.

4. SI유도단위

유도단위는 기본단위나 보충단위를 간단히 물리적법칙에 의해 대수적인 관계식으로 결합하여 표 4-1과 같이 나타내는 것이다.

〈표 4-1 SI유도단위의 예〉

량	단위명칭	단위기호	기본단위 및 타단위의 관계
넓이	제곱미터	m ²	m ²
부피	세제곱미터	m ³	m ³
속도	미터 퍼 초	m/s	m·s ⁻¹
가속도	미터 퍼 초 퍼 초	m/s ²	m·s ⁻²
波數	每미터	m ⁻¹	m ⁻¹
밀도	킬로그램 퍼 세제곱미터	kg/m ³	m ⁻³ ·kg
전류 밀도	암페어 퍼 세제곱미터	A/m ²	m ⁻² ·A
자장의 세기	암페어 퍼 미터	A/m	m ⁻¹ ·A
(物質量的)濃度	몰 퍼 세제곱미터	mol/m ³	m ⁻³ ·mol
比 부피	세제곱미터 퍼 킬로그램	m ³ /Kg	m ³ ·kg ⁻¹
輝度	칸데라 퍼 세제곱미터	cd/m ²	m ⁻² ·cd
粘度	파스칼 퍼 초	Pa·s	m ⁻¹ ·kg·s ⁻¹
힘의모우먼트	뉴우턴 미터	Nm	m ² ·kg·s ⁻¹
표면장력	뉴우턴 퍼 미터	N/m	kg·s ⁻²
熱流密度放射照度	와트 퍼 세제곱미터	W/m ²	kg·s ⁻²
열용량엔트로피	쥬울 퍼 켈빈	J/K	m ² ·kg·s ⁻² ·k ⁻¹
열전도율	와트 퍼 미터 퍼 켈빈	W/(mK)	m·kg·s ⁻³ ·k ⁻¹
電場의 세기	볼트 퍼 미터	V/m	m·kg ⁻¹ ·s ⁴ ·A ⁻¹
誘電率	패럿 퍼 미터	F/m	m ⁻³ ·kg ⁻¹ ·s ⁴ ·A ²
透磁率	헨리 퍼 미터	H/m	m·kg·kg ² ·A ⁻²
角速度	라디안 퍼 초	rad/s	s ⁻¹ ·rad
放射強度	와트 퍼 스테라디안	W/sr	m ² ·kg·s ⁻³ ·sr ⁻¹

이 유도단위의 표현에는 기본단위나 보충단위의 다른 인자가 나타나지 않으며, 이 때문에 SI단위가 일관성을 갖게 되고 또한 계산할 때 다른 환산인자를 필요로 하지 않는 것이다. 이 유도단위 중에서 19개는 편의상 특별한 명칭과 기

호가 주어졌는데 이들이 표 4-2에 나타나 있다.

〈표 4-2 특별한 명칭을 가진 SI유도단위〉

량	명칭	기호	다른단위로 표시	SI기본단위로 표시
주파수	헤르쯔	Hz		s ⁻¹
힘	뉴우톤	N		mkgs ⁻²
압력, 응력	파스칼	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg ⁻²
에너지, 일, 열량	줄	J	Nm	m ² kg ⁻²
일률, 복사속	와트	W	J/s	m ² kg ⁻³
전하, 전기량	쿨롱	C		sA
전위, 전위차, 기전력	볼트	V	W/A	m ² kg ⁻² A ⁻¹
전기용량	패럿	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
전기저항	오움	Ω	V/A	m ² kg ⁻³ A ⁻²
전기전도도	지멘스	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
자력선속	웨버	Wb	Vs	m ² kg ⁻² A ⁻¹
인덕턴스	헨리	H	Wb/A	m ² kg ⁻² A ⁻²
섭씨온도	섭씨도	°C		K
광속	루오멘	lm		cdsr
조도	럭스	lx	lm/m ²	m ⁻² cdsr
(방사선해중의) 방사능 흡수선량비부여에너지	베크렐	Bq		s ⁻¹
커마, 흡수선량지스	그레이	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
선량당량선량당량지수	시버트	Sv	J/kg	m ² s ⁻²

5. 보조단위의 접두기호

국제단위계는 단위의 명칭앞에 붙여서 각단위의 사용을 편하게 하기 위한 보조단위가 있다. 이를 SI접두어라고 하며 우리나라의 계량법에서는 10의 정수승을 곱한 보조계량단위라고 하며 다음 표 5-1와 같다.

이 SI접두어를 단위기호에 붙여서 사용하면 그 단위의 배수 또는 분수로서 길이에 있어 52,000m

라고 부르는 대신에 52km라고 하면 부르기 편하며 철판의 두께가 0.002m를 접두어 밀리m를 붙여서 2mm라고 하면 매우 편리하다.

〈표 5-1 SI 접두어〉

배수 및 분수	접두어	기호
1,000,000,000,000,000,000=10 ¹⁸	exa(엑사)	E
1,000,000,000,000,000=10 ¹⁵	peta(페타)	P
1,000,000,000,000=10 ¹²	tera(테라)	T
1,000,000,000=10 ⁹	giga(기가)	G
1,000,000=10 ⁶	mega(메가)	M
1,000=10 ³	kilo(킬로)	K
100=10 ²	hecto(헥토)	h
10=10 ¹	deca(데카)	da
1=10 ⁰		
0.1=10 ⁻¹	deci(데시)	d
0.01=10 ⁻²	centi(센티)	c
0.001=10 ⁻³	milli(밀리)	m
0.000,001=10 ⁻⁶	micro(마이크로)	μ
0.000,000,001=10 ⁻⁹	nano(나노)	n
0.000,000,000,001=10 ⁻¹²	pico(피코)	p
0.000,000,000,000,001=10 ⁻¹⁵	femto(페토)	f
0.000,000,000,000,000,001=10 ⁻¹⁸	atto(아토)	a

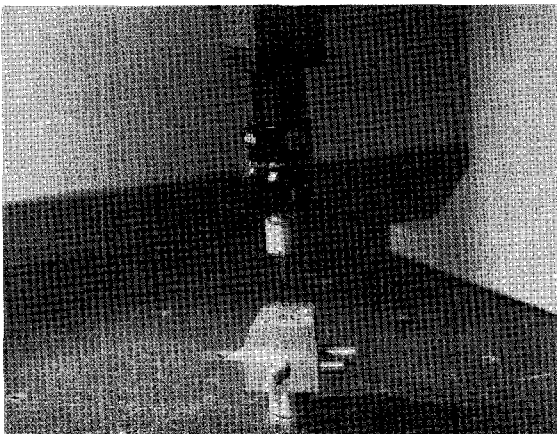
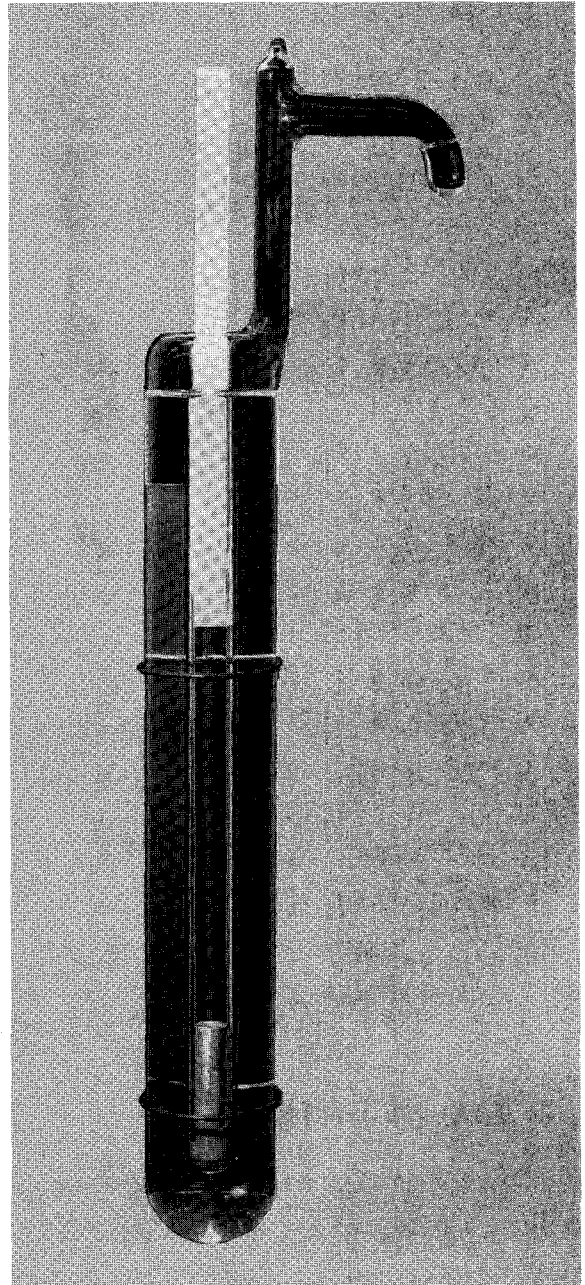
6. SI단위기호의 표시방법

SI이외에 尺貫法이나, 야아드파운드법의 단위는 당연히 국제단위로서 사용할 수 없을 뿐 아니라 우리나라의 계측법에서도 비 법정단위라 하여 그 사용을 금하고 있다.

다만, SI단위는 아니지만 다음 표 6-1과 같은 단위는 SI와 병용하거나 잠정적으로 사용하는 것은 허용하고 있다.

〈표 6-1 SI와 병용하는 단위〉

명칭	기호	량의종류	SI와 관계
分	min	시간	60s
時	h	시간	60min=3600s
日	d	시간	24h=1440min=86,400s
度	o	평면각	$(\pi/180)\text{rad}$
分	'	평면각	$(1/60)^\circ = (\pi/10800)\text{rad}$
秒	"	평면각	$(1/60)'\text{rad} = (\pi/648,000)\text{rad}$
리터	L	부피	$1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
톤	t	질량	10^3kg
해리		길이	1,852m
노트		속도	$(1852/3600)\text{m/s}$
옹그스트롱	A	길이	$0.1\text{nm} = 10^{-10}\text{m}$
알	a	넓이	$1\text{dam}^2 = 10^2\text{m}^2$
헥타알	ha	넓이	$1\text{hm}^2 = 10^4\text{m}^2$
바안	b	넓이	$100\text{fm}^2 = 10^{-2}\text{m}^2$
바알	bar	압력	$0.1\text{MPa} = 10^5\text{Pa}$
표준대기압	atm	압력	101325Pa
갈	Gal	가속도	$1\text{cm/s}^2 = 10^{-2}\text{m/s}^2$
큐우리	Ci	방사선량	$3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$
렌트겐	R	放射線量	$2.58 \times 10^{-4}\text{C/kg}$



▲ 프로브

▲

물의 삼중점 셀 한국표준과학연구원 온도연구실에서 보유하고 있는 물의 삼중점 셀로서 삼중점 실현 상태에서는 얼음, 물, 수증기가 밀봉된 유리 셀 내에 공존하며, 이때의 온도는 국제 온도눈금 -90에서 273.16 K으로 정의되어 있다. 표준백금저항온도계 등 표준기급 온도계의 일차교정에서 가장 중요한 고정점으로 사용되며 재현성은 0.1 mK 이내이다.



전기출력으로 교정된 복사조도계 한국표준과학연구원 광
 학연구실에서 1986년
 에 제작한 복사조도계로서 복사출력(radiant power)을 전기출력(electric power)으로
 비교함으로써 복사출력을 결정하는 원리를 사용하며 사용범위는 $1\mu\text{W}\sim 0.2\text{W}$ 이고 측정
 불확도는 $100\mu\text{W}$ 수준에서 $\pm 0.2\%$ 이다.

이 ECR과 CIE 표준관측자 시감효율과 같도록 자체 개발한 $V(\lambda)$ 필터와 같이 사용
 함으로 광도(cd), 조명도(lx)의 표준도 측정불확도 $\pm 0.3\%$ 로 확립하였다.