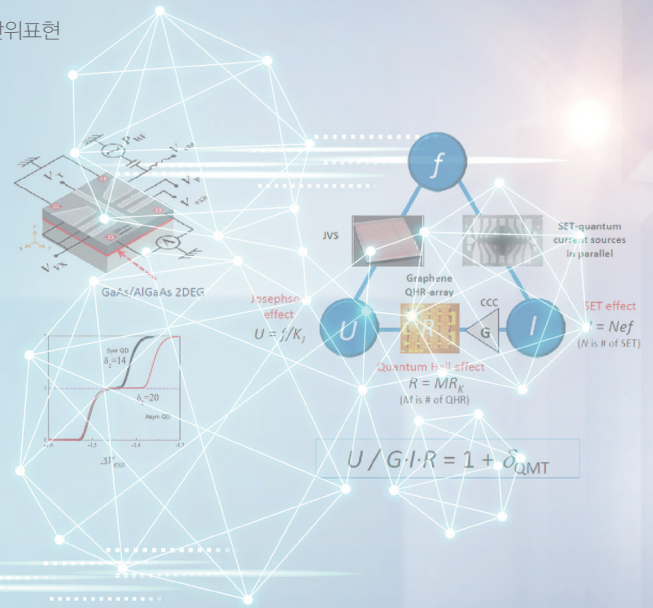


전기표준의 역사와 단위표현(II)



김 규 태 | 한국표준과학연구원 전자기표준센터 책임연구원

앞의 글에서 이미 우리는 지금 SI 표준의 재정의라는 역사적 사건을 코앞에 두고 있음을 언급한 바 있으나 워낙 중요한 사건이니 만큼 전기표준의 변화에 대해서 설명할 필요가 있을 것 같다. 2018년 11월 16일 국제도량형총회(CGPM)의 역사적인 의결사항을 정리하면 m, kg, s, A, K, cd, mole 의 7개의 기본단위를 각각 다음과 표와 같이 7개의 물리상수에 기초해 정의하도록 하며, 그 시행일은 2019년 5월 20일로 한다는 것이다. 참고로 5월 20일은 세계 17개국인 프랑스 파리에서 '미터 협약'을 체결한 것을 기념하는 '세계 측정의 날'이다. 내년 세계 측정의 날을 기해 전 세계적으로 7개 기본단위의 재정의가 실시되는 것이다. 전기 분야의 경우 새 정의에 따르면 암페어는 1.602 176 634 × 10⁻¹⁹ 초 마다 전자를 하나씩 통과시킬 때 나타나는 전류가 된다. 이를 실현하기 위해서 KRISS를 포함하여 세계 여러 국립표준기관에서 단전자터널링 소자라는 나노소자를 제작하여 전류 정확도 1 × 10⁻⁷ 수준에 도달하기 위

해 활발히 연구 중에 있다 (Fig.1). 그러나 이미 대부분의 표준기관에서 조셉슨 전압표준과 양자홀 저항표준을 운용하고 있고 간접적으로 암페어를 정확도 1 × 10⁻⁹ ~ 1 × 10⁻¹⁰ 수준으로 실현하고 있으므로 단전자터널링 소자는 현실적으로는 기초학술 연구용이라 할 수 있겠다. 그럼 내년 5월 이후 전기표준은 어떠한 변화를 맞게 되는가? 결론부터 이야기하면 변화량이 너무 작아 실제 응용 현장에 주는 영향은 거의 없고 조정밀 측정표준을 다루는 KRISS 내부의 표준 값이 약간 변동될 뿐이다. 좀 더 상세히 살펴보면, 조셉슨 전압은 $f/(2e/h)$ (f 는 조셉슨 접합에 쏘여준 마이크로파의 주파수) 로 표현되는 데 새 조셉슨 상수 $2e/h$ 값이 483 597.848 4 GHz/V 로 기존 대비 상대비율로 약 1.0672 × 10⁻⁷ 만큼 감소하며 전압 표현 값은 약간 증가한다. 또 양자홀 저항 표준은 $(h/e^2)/i$ (i 는 양자저항 플래토의 정수번호) 로 표현되는 데 새 양자홀 상수 h/e^2 값이 25 812.807 46 Ω 으로 기존 대비 상대비율로 약 1.78 × 10⁻⁸

표 1. 2019.5.20.부터 적용될 새 SI 기본단위들을 정의하는 7 개 물리상수 값

단위의 명칭과 기호	관련 물리상수 기호	물리상수 값	물리상수 단위
초 (s)	$\Delta \eta \mu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
미터 (m)	c	299 792 458	m/s
킬로그램 (kg)	h	6.626 070 15 × 10 ⁻³⁴	Js
암페어 (A)	e	1.602 176 634 × 10 ⁻¹⁹	C
켈빈 (K)	k	1.380 649 × 10 ⁻²³	J/K
몰 (mol)	N_A	6.022 140 76 × 10 ²³	mol ⁻¹
칸델라 (cd)	K_{cd}	683	lm/W

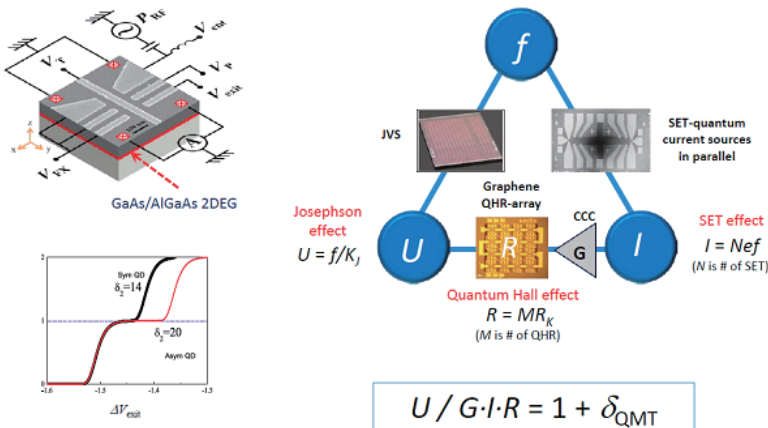


그림 1. 조셉슨 전압, 양자홀 저항, 단전자터널 전류간 관계도. 출처: KRISS

단위계”(2007) 등 많은 문헌에서 상세히 설명하고 있다. 본 글에서는 기존 자료와는 다른 형식의 자료로 과거 미국립표준기술원(NIST) 홈페이지에 소개되었던 점검표를 소개하고자 한다. 이 점검표는 “NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty”에 게시되었던 것으로 논문 투고시 흔히 발견되는 단위사용의 오류를 총 22개 항목으로 압축하여 예와 함께 소개하고 있다. 그 내용은 다음과 같다.



그림 2. 새 국제 단위계 로고. 출처: BIPM

만큼 증가하며 저항 표현 값도 약간 증가한다. 따라서 전압 나누기 저항으로 표현되는 전류는 기존 대비 상대비율로 약 8.89×10^{-8} 만큼 증가할 뿐이다.

이렇듯 변화량이 작다는 것은 기존의 국제단위계가 연속성을 보장할 만큼 충분히 신뢰성 있었다는 것과 정확한 과학적 합리성을 기초로 하여 만들어졌음을 방증하는 것이라고 하겠다.

이야기가 너무 딱딱해진 것 같은데, 이제 실용적인 측면에서 국제단위를 실생활과 업무에 어떻게 활용해야 하는지에 관해 살펴보기로 하자. 사실 이에 관해서는 “ISO 31 Quantities and Units” 과 같은 국제표준 문서를 비롯하여 “정낙삼, ‘단위의 표시 방법’, 새물리, 38 (4), pp. 314~319 (1998)”, BIPM SI Brochure 8-th edition (2006) 및 그 KRISS 번역서 “국제

#1. 일반사항: SI 단위 또는 SI 단위와 함께 사용하도록 인 정된 단위들 만 사용해야 한다.

#2. 약자: sec, cc, mps 와 같은 약자 사용을 피한다. 표준화 된 단위 기호, 접두어 기호, 단위 명칭 및 접두어 명칭만 을 사용해야 한다.

- 바른 표기: s 또는 초(second), cm³ 또는 입방센티미터 (cubic centimeter), m/s 또는 초당 미터 (meter per second)

- 잘못된 표기: sec, cc, mps

#3. 복수: 단위 기호는 복수에서도 변형되지 않는다.

- 바른 표기: 1 = 75 cm

- 잘못된 표기: 1 = 75 cms

#4. 구두점: 단위 기호에는 문장의 끝에 올 때를 제외하고는 마침표를 쓰지 않는다.

- 바른 표기: 그 바의 길이는 75 cm 이다. The length of the bar is 75 cm.

- 잘못된 표기: 그 바의 길이는 75 cm. 이다.

#5. 곱하기와 나누기: 단위의 곱을 나타내기 위해 공백이나 중간점을 사용한다. 빗금이나 가로줄 또는 음의 지수가 단위의 나누기를 나타내는 데 사용된다.

- 바른 표기: 음속이 약 $344 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (meters per second) 이다. 세슘 133의 감쇠율은 약 21 ms^{-1} (reciprocal

milliseconds) 이다.

$m/s, m \cdot s^{-2}, m \cdot kg/(s^3 \cdot A), m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$

- 잘못된 표기: 음속이 약 344 ms^{-1} 이다.

세슘 133의 감쇠율은 약 $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

#6. 글자체: 변수와 양의 기호는 이탤릭체로 쓴다. 단위 기호는 직립체(로마체)로 쓴다. 숫자는 일반적으로 로마체로 쓴다. 주변 활자체에 관계없이 이 규칙을 적용해야 한다.

- 바른 표기: 그녀가 소리쳤다. “저 개는 무게가 10 kg 이라구!”

$t = 3 \text{ s}$, 여기서 t 는 시간이고 s 는 초이다.

$T = 22 \text{ K}$, 여기서 T 는 열역학 온도이고 K 는 켈빈이다.

- 잘못된 표기: 그녀가 소리쳤다. “저 개는 무게가 10 kg 이 라구!”

$t = 3 \text{ s}$, 여기서 t 는 시간이고 s 는 초이다.

$T = 22 \text{ K}$, 여기서 T 는 열역학 온도이고 K 는 켈빈이다.

#7. 글자체(2): 윗첨자와 아래첨자는 변수나 양일 경우 이탤릭체, 그렇지 않은 서술일 경우 로마체로 쓴다.

- 변수나 양일 경우: 일정 압력하의 비열, c_p ,

- 서술일 경우: 양성자의 질량, m_p

#8. 약자(2): 글자의 조합인 “ppm”, “ppb”, “ppt” 와 “part per million”, “part per billion”, “part per trillion” 과 같은 용어를 사용하지 않는다.

- 바른 표기: $20.0 \mu\text{L/L}, 2.0 \times 10^{-6} V$, 여기서 V 는 부피.

$4.3 \text{ nm/m}, 4.3 \times 10^{-9} l$, 여기서 l 은 길이.

$7 \text{ ps/s}, 7 \times 10^{-12} t$, 여기서 t 는 시간.

- 잘못된 표기: 그 “ppm”, “ppb”, “ppt” 와 “part per million”, “part per billion”, “part per trillion” 과 같은 용어

#9. 단위의 변형: 단위 기호와 명칭은 아래첨자 또는 다른 방식을 추가하여 변형시키지 않는다.

- 바른 표기: $V_{\text{max}} = 1000 V$

질량 백분율이 10 %

- 잘못된 표기: $V = 1000 V_{\text{max}}$

10 %(m/m) or 10 %(by weight)

#10. 퍼센트: 기호 % 는 단순히 숫자 0.01을 나타내기 위해 쓴다.

- 바른 표기: $l_1 = l_2(1 + 0.2 \%)$ 또는

$D=0.2 \%$, 여기서 $D=(l_2 - l_1) / l_2$

- 잘못된 표기: 길이 l_1 은 l_2 보다 0.2 % 만큼 더 크다.

#11. 정보와 단위: 전달하고자하는 정보와 단위 기호 또는 명칭을 섞어 쓰지 않는다.

- 바른 표기: 수분함량이 20 mL/kg 이다.

- 잘못된 표기: 20 mL H₂O/kg

20 mL of water/kg

#12. 수학적: 숫자가 어느 단위 기호에 속하는지 수학연산자가 어떤 양의 값에 적용되는지 명확해야 한다.

- 바른 표기: 35 cm × 48 cm

1 MHz ~ 10 MHz 또는 (1 ~ 10)MHz

20 °C ~ 30 °C 또는 (20 ~ 30) °C

123 g ± 2 g 또는 (123 ± 2)g

70 % ± 5 % 또는 (70 ± 5) %

240 × (1 ± 10 %) V

- 잘못된 표기: 35 × 48 cm

1 MHz - 10 MHz 또는 1 ~ 10 MHz

20 °C - 30 °C 또는 20 ~ 30 °C

123 ± 2 g

70 ± 5 %

240 V ± 10 %

#13. 단위 기호와 명칭: 단위 기호와 명칭을 섞어 쓰거나 수학연산자를 단위 명칭에 적용해서는 안 된다.

- 바른 표기: $\text{kg/m}^3, \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 또는 입방미터 당 킬로그램 (kilogram per cubic meter)

- 잘못된 표기: kilogram/m³, kg/cubic meter, 킬로그램/입방미터, kg per m³ 또는 킬로그램/미터³

#14. 숫자와 단위 기호: 양의 값은 수용가능 단위에 아리비아 숫자와 단위 기호를 사용해 표현한다.

- 바른 표기: $m = 5 \text{ kg}$

전류는 15 A 이었다.

- 잘못된 표기: $m = \text{five kilograms}$

$m = \text{five kg}$

전류는 15 amperes 이었다.

#15. 단위 빈칸: 숫자와 단위 사이는 수식으로 사용될 때를 포함해서 항상 한 칸을 띄운다. 단 평면각을 나타내는 위첨자 단위들의 경우는 예외이다.

- 바른 표기: 25 kg 구 (a 25 kg sphere)

각도 $2^\circ 3' 4''$

- 잘못된 표기: a 25-kg 구 (a 25-kg sphere)

각도 $2^\circ 3' 4''$

만일 단위 명칭을 스펠링으로 풀어 적을 때는 “a roll of 35-millimeter film” 과 같이 영문법에 따른다.

#16. 자리수 간격: 숫자의 자리수가 소수점의 좌 우 어느쪽에 대해 4 자리를 초과할 경우 세자리씩 묶어 좁은 빈칸으로 구분한다. 콤마는 세 자리씩 구분하는데 사용하지 않는다.

- 바른 표기: 15 739.012 53

- 잘못된 표기: 15739.01253

15,739.012 53

#17. 방정식: 숫자의 수식은 양의 수식으로 바꾸어 표현한다. 숫자를 나타내는 기호는 해당 양을 나타내는 기호와 달라야 한다.

- 바른 표기: $(l/m) = 3.6^{-1} [v/(\text{km/h})](t/s)$

- 잘못된 표기: $l = 3.6^{-1} vt$ “ l 은 미터, v 는 초당 킬로미터, t 는 초”

#18. 표준화된 기호: 표준화된 양의 기호와 수학기호를 사용한다. 특히 “log”는 $\log_a x$, $\text{lb}x$ ($\log 2x$), $\ln x$ ($\log ex$), $\lg x$ ($\log 10x$)를 구분하여 사용한다.

- 바른 표기: $\tan x$

R , 저항

Ar , 상대 원자질량

- 잘못된 표기: $\text{tg } x$,

그 외 단어, 두문자어(Acronym), 이상한 문자그룹 등

#19. 무게와 질량: 무게라는 단어를 사용할 때 그 의도한 의미를 명확히 해야 한다. 과학에서는 무게는 힘으로 SI 단위 뉴턴을 사용하는 양이며, 상업이나 일상생활에서는 SI 단위 킬로그램을 쓰는 질량과 동의어로 쓰기도 하기 때문이다.

#20. 계수: 계수 양은 정의대로 정확하게 써야한다.

단위 사용의 규칙은 국제적으로 문화와 배경이 서로 다른 국가나 민족 간에도 단위와 양의 표현을 통일하기 위해 만들어진 것이기 때문에 너무 엄밀하게 규정된 것이라는 생각이 들 법도하다. 실제로 필자 자신도 과거의 습관 때문에 이직도 ppm 과 같은 단위를 무의식적으로 사용하는 실수를 저지르기도 한다. 그러나 국제화시대에 세계와 소통하자면 불편하더라도 정해진 표준을 따라야 할 것이고, 특히 엄밀성과 정확성을 생명으로 하는 공인 측정기관에서는 발행하는 공인 문서에 소소한 표현의 실수를 범하여 오랫동안 공들여 쌓아온 신뢰성을 떨어뜨리지 않도록 노력해야 할 것이다. 