

국제단위계

# Le Système international d'unités

The International  
System of Units

한국표준과학연구원  
KOREA RESEARCH INSTITUTE  
OF STANDARDS AND SCIENCE

Bureau  
international  
des poids  
et mesures

제7개정판  
1998

---

Organisation  
intergouvernementale  
de la Convention  
du Mètre

---

Bureau international  
des poids et mesures

국제단위계  
The International  
System of Units  
(SI)

제7개정판 1998

---

Organisation intergouvernementale  
de la Convention du Mètre

## 국제단위계 [제 7 개정판]

## 한글판을 내면서

현대 산업사회는 과학기술을 바탕으로 눈부시게 발전하여 왔으며, 또한 과학기술은 국제협력을 통하여 빠른 속도로 발전할 수가 있었습니다. 이와 같은 과학기술 분야에서의 국제협력이 가능할 수 있었던 것은 전 세계가 모두 한가지로 따를 기준이 되는 국제적 측정표준이 있었기 때문이며, 이러한 측정표준의 바탕이 되는 단위의 표준이 바로 국제단위계(SI: Le Système International d'Unités)입니다.

국제단위계는 흔히 “미터법”이라고 부르던 단위계가 현대화된 측정표준의 현대적 체계로서 과학기술계뿐만 아니라 산업계 및 상거래 등 현대사회의 모든 활동에 있어 기본이 되고 있으므로 이의 올바른 이해와 활용은 과학기술 및 산업 발전에 필수적이라 하겠습니다.

이 국제단위계는 여러 가지 변천과정을 거쳐 국제적 통용을 위한 측정의 실용적 체계를 확립할 목적으로 1960년 국제도량형총회(CGPM)에서 채택하였으며, 현재 모든 산업 선진국을 포함한 세계 대부분의 나라에서 공식적으로 채택하여 준용하고 있고, 우리나라에서도 계량법에 의거 이미 1964년에 국제단위계의 사용을 법적으로 규정하였습니다.

따라서 한국표준과학연구원에서는 국제단위계의 사용을 범국민적으로 확산시킬 필요성을 느껴 1981년부터 “국제단위계 해설”을 발행하여 각종 교육훈련의 교재로 사용하여 왔고, 1983년부터는 측정분야별 관련 전문가를 중심으로 편집위원회를 구성하여 국제도량형국(BIPM)이 발행한 국제 공식 발간물인 “국제단위계” 제 4, 제 5, 제 6 개정판의 한글판을 발간하여 왔습니다.

이번에도 본 연구원에서는 그 동안 내용이 수정, 보완된 “국제단위계 제7개정판”의 한글판을 발간하게 되었습니다. 제7개정판에서 바뀐 주요 내용은,

- 1995년 제 20 차 국제도량형총회에서 보충단위를 삭제하고 국제단위계를 기본단위와 유도단위의 2 부류로만 분류하게 됨에 따라 그 동안 보충단위로 분류되어 왔던 평면각과 입체각의 단위인 rad과 sr을 유도단위에 포함시키게 된 것,
- 그 동안 소수점 기호로 반점(comma)만을 사용하여 왔으나, 이제부터는 국제단위계의 공식 발간물인 불어판에서는 그대로 반점을 사용하지만 다른 지역의 관례도 인정하여 영어판에서는 온점으로 표시할 수 있도록 한 것,
- 부록의 체제를 바꾸어서 단위와 관련하여 그 동안 국제도량형총회 및 국제도량형위원회(CIPM)에서 결정된 주요 결의사항들을 각 단위별로 상세히 수록한 것 등입니다.

이 책자가 과학기술인은 물론 여러 전문분야에 종사하시는 분들과 일반인에게도 많이 활용되어 우리나라를 선진국으로 발전시키는데 도움이 되기를 바랍니다.

1999년 7월

한국표준과학연구원장  
이학박사 정 명 세

## BIPM과 미터협약

국제도량형국(BIPM)은 1875년 5월 20일 파리에서 미터외교회의의 최종회기에 17개국이 서명한 미터협약에 근거하여 설립되었다. 이 협약은 1921년에 개정되었다.

국제도량형국의 본부는 파리 근교에 있는 Pavillon de Breteuil(Parc de Saint-Cloud)에 위치하고 있으며 부지(43 520 m<sup>2</sup>)는 프랑스 정부가 기증한 것이다. 국제도량형국의 유지를 위한 재정은 미터협약 회원국들이 공동으로 부담한다.

국제도량형국의 임무는 물리학적 측정의 세계적인 통일을 확립하는 것으로 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- 주요 물리량 측정을 위한 기본표준과 척도를 확립하고 국제원기를 유지
- 국가 및 국제표준의 비교를 실시
- 측정기술의 동등성을 확립
- 위에 언급한 활동과 연관된 기본 물리상수에 관한 측정결과의 조정

국제도량형국은 국제도량형총회(CGPM)의 지휘하에 있는 국제도량형위원회(CIPM)의 전적인 감독하에 운영되며, 수행한 업무를 CIPM에 보고한다.

현재 매 4년마다 개최되는 총회에는 미터협약의 모든 회원국 대표들이 참석한다. 총회의 기능은 다음과 같다.

- 미터계의 현대형인 국제단위계의 보급과 개선에 필요한 조치를 논의하고 마련
- 새롭고 기본적인 측정학적인 측정결과와 국제적 차원의 다양한 과학적 결의사항을 확인
- 국제도량형국의 재정, 조직 및 발전에 관한 주요 사항을 결정

국제도량형위원회는 각기 다른 국적의 18명의 회원으로 구성되며 현재 매년 개최된다. 이 위원회의 임원단(officers)은 국제도량형국의 행정과 재정에 관한 연례보고서를 미터협약의 회원국 정부에 제출한다. CIPM의 주요업무는 측정단위의 세계적인 통일을 이룩하는 것이며, 이는 CIPM에 의하여 직접 수행되거나 또는 CGPM에 제안서를 제출함으로써 수행된다.

국제도량형국의 활동 범위는 초기에는 길이와 질량의 측정 및 이 양들에 관한 측정학적 연구에 제한되었었는데 전기(1927), 광도 및 복사도(1937), 전리방사선(1960)과 시간 척도(1988)의 측정표준을 포함하도록 점차 확장되었다. 이를 위해 1876~1878년에 건

1997년 12월 31일 현재 다음 48개국이 미터협약의 회원국이다:

남아연방, 네덜란드, 노르웨이, 뉴질랜드, 대한민국, 덴마크, 도미니카, 독일, 루마니아, 멕시코, 미국, 베네수엘라, 벨기에, 북한, 불가리아, 브라질, 러시아, 스웨덴, 스위스, 스페인, 슬로바키아, 아일랜드, 알제틴, 영국, 오스트리아, 우루구아이, 유고슬라비아, 이란, 이스라엘, 이집트, 이탈리아, 인도, 인도네시아, 일본, 중국, 체코, 칠레, 카메룬, 캐나다, 타일랜드, 터어키, 파키스탄, 포르투갈, 폴란드, 프랑스, 핀란드, 헝가리, 호주

설된 최초의 연구실들은 1929년에 확장되었고, 1963~1964년에 전리방사선의 실험실을 위하여, 1984년에 레이저 실험실을 위하여 새 건물이 건설되었으며, 1988년에 도서실과 사무실 용도의 새로운 건물이 개관되었다.

약 45명의 물리학과 기술자들이 국제도량형국(BIPM) 연구실에서 활동하고 있다. 이들은 주로 측정학 연구, 단위 현시결과의 국제비교, 표준의 교정업무를 수행한다. 진행 중인 사업의 세부 내용은 *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures* (CIPM 회의록)으로 발간된 연례보고서에 실린다.

1927년에 국제도량형국에 주어진 업무가 확장됨에 따라 국제도량형위원회는 산하에 여러 자문위원회를 설치하고 여기에 연구와 자문이 필요한 일을 맡겨 정보를 제공하도록 하였다. 이 자문위원회는 특정 과제의 연구를 목적으로 한 임시 또는 상설 작업반을 구성할 수 있으며, 각 분야에서 수행된 국제적인 연구 결과를 조정하고 단위에 관련된 권고사항을 마련하여 국제도량형위원회에 제안한다.

이들 자문위원회는 공동 규정(PV, 1963, 31, 97)을 가지고 있으며 부정기적으로 회의를 갖는다. 각 자문위원회의 위원장은 CIPM이 지명하며, 통상 국제도량형위원회의 위원이다. 자문위원회의 회원은 CIPM의 동의에 의하여 측정표준기관 및 전문분야의 연구기관이 되며, 회원기관은 그들이 선정한 대표로 하여금 자문위원회에 참여하게 한다(자문위원회 회원자격 기준, PV, 1996, 64, 124). 아울러, CIPM이 임명하는 개별적 회원과 국제도량형국의 대표 한 명도 회원으로 참여한다. 현재 아홉 개의 자문위원회가 있다.

1. 전기 및 자기자문위원회(CCEM): 1927년 설치, 전기자문위원회(CCE)로 출발, 1997년에 명칭 변경.
2. 광측정 및 복사측정자문위원회(CCPR): 1933년 설치, 광측정자문위원회(CCP)로 출발, 1971년에 명칭 변경(1930~1933년에는 전기자문위원회(CCE)가 광측정 분야를 담당하였음).
3. 온도측정자문위원회(CCT): 1937년 설치.
4. 길이자문위원회(CCL): 1952년 설치, 미터정의자문위원회(CCDM)로 출발, 1997년에 명칭 변경.
5. 시간 및 주파수자문위원회(CCTF): 1956년 설치, 초정의자문위원회(CCDS)로 출발, 1997년 명칭 변경.
6. 전리방사선자문위원회(CCRI): 1958년 설치, 전리방사선측정표준자문위원회(CCEMRI)로 출발, 1997년 명칭 변경. (1969년 이 위원회는 네 개의 분과를 두었다: 분과 I(X선,  $\gamma$ 선 및 전자의 측정), 분과 II(방사성 핵종의 측정), 분과 III(중성자 측정), 분과 IV( $\alpha$ -에너지 표준); 1975년 분과 IV는 해체되고 분과 II가 이 분야를 담당하게 되었음).
7. 단위자문위원회(CCU): 1964년 설치(이 위원회는 1954년에 CIPM에 의해 설치된

“단위계위원회”를 대체함.

8. 질량 및 관련량자문위원회(CCM) : 1980년 설치.

9. 물질량자문위원회(CCQM) : 1993년 설치.

총회, 국제위원회 및 자문위원회의 회의록은 국제도량형국에 의해 다음 총서로 출판된다.

- *Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CR)* ;
- *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures (PV)* ;
- *Sessions des Comités Consultatifs.*

국제도량형국은 측정학의 특정 주제에 관한 논문집(monographs)도 발간하며, 주기적으로 개정, 발간하는 “국제단위계(SI)”라는 제목의 본 책자에는 단위에 관한 모든 결의 사항과 권고사항들이 수록되어 있다.

*Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (1881~1966년 사이에 22권 발간)와 *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (1966~1988년 사이에 11권 발간)은 국제도량형위원회의 결정에 따라 발간이 중단되었다.

국제도량형국의 과학적 활동은 일반 과학서적에 게재되며 연간 발간물의 목록은 국제도량형위원회 회의록(*Procès-Verbaux of the CIPM*)에 수록되어 있다.

1965년이래 국제도량형위원회의 주관으로 발간되는 국제전문잡지 *Metrologia*는 과학적 측정, 측정방법의 개선, 표준과 단위에 관한 연구 논문들을 게재하며, 아울러 미터협약에 근거한 여러 조직의 활동과 결정사항 및 권고사항에 관한 보고서를 수록한다.

국제단위계(제7개정판) 한글판을 내면서 .....	1
BIPM과 미터협약 .....	2
제7개정판의 머리말 .....	7
1 서 론 .....	9
1.1 역사적 배경 .....	9
1.2 SI 단위의 두 가지 부류 .....	11
1.3 SI 접두어 .....	11
1.4 양(量)의 체계 .....	12
1.5 일반상대성원리의 틀 안에서 SI 단위 .....	12
1.6 단위에 관한 법률 .....	12
2 SI 단위 .....	13
2.1 SI 기본단위 .....	13
2.1.1 정의 .....	13
2.1.1.1 길이의 단위 (미터) .....	13
2.1.1.2 질량의 단위 (킬로그램) .....	14
2.1.1.3 시간의 단위 (초) .....	14
2.1.1.4 전류의 단위 (암페어) .....	14
2.1.1.5 열역학적 온도의 단위 (켈빈) .....	15
2.1.1.6 물질량의 단위 (몰) .....	16
2.1.1.7 광도의 단위 (칸델라) .....	16
2.1.2 기본단위의 기호 .....	17
2.2 SI 유도단위 .....	17
2.2.1 기본단위로 표시된 단위 .....	17
2.2.2 특별한 명칭과 기호를 가진 단위; 특별한 명칭과 기호를 가진 단위들과 조합을 이룬 단위 .....	18
2.2.3 무 차원 양의 단위, 차원 1을 가지는 양 .....	21
3 SI 단위의 십진 배수 및 분수 .....	22
3.1 SI 접두어 .....	22
3.2 킬로그램 .....	22
4 SI 이외의 단위 .....	23
4.1 SI와 함께 사용되는 단위 .....	23
4.2 그 밖의 SI 이외의 단위 .....	26

5	SI 단위 명칭과 기호의 표기 .....	28
5.1	일반 원칙 .....	28
5.2	SI 단위기호 .....	28
5.3	SI 단위기호의 대수학 .....	28
5.4	SI 접두어 사용 규칙 .....	29
부록 1. CGPM과 CIPM의 결정사항 .....		30
1	국제단위계(SI)의 확립에 관한 결정사항 .....	30
1.1	실용 단위계: SI의 확립 .....	30
1.2	SI(국제단위계) .....	31
2	SI 기본단위에 관련된 결정사항 .....	34
2.1	길이 .....	34
2.2	질량 .....	37
2.3	시간 .....	37
2.4	전류 .....	40
2.5	열역학적 온도 .....	41
2.6	물질량 .....	43
2.7	광도 .....	43
3	SI 유도단위와 보충단위에 관한 결정사항 .....	44
3.1	SI 유도단위 .....	44
3.2	SI 보충단위 .....	46
4	SI와 함께 사용되는 단위의 승인과 용어에 관한 결정사항 .....	47
4.1	SI 접두어 .....	47
4.2	단위기호 및 숫자 .....	48
4.3	단위의 명칭 .....	49
4.4	SI와 함께 사용되는 것이 용인된 단위; 예: 리터 .....	49
부록 2. 몇 가지 주요 단위들에 대한 정의의 실제적 현시 .....		52
1	길이 .....	52
2	질량 .....	60
3	시간 .....	60
3.1	시간의 단위 .....	60
3.2	시각 비교, 시간 척도 .....	61
3.3	법정시 .....	62
4	전기의 양 .....	63
5	온도 .....	65
6	물질량 .....	67
7	광측정량 .....	68
색 인 .....		70



## 제7개정판의 머리말

1970년이래, 국제도량형국(BIPM)은 일곱 번째의 국제단위계 개정판을 발간하게 되었다. 여기에는 국제단위계에 관한 국제도량형총회(CGPM)와 국제도량형위원회(CIPM)에서 이루어진 모든 결의사항과 권고사항들이 수록되어 있다. 총회와 국제위원회의 결정사항에 관한 공식 인용문은 계속 발간되는 *Comptes Rendus of the CGPM(CR)*과 *Procès-Verbaux of the CIPM(PV)*에서 찾아볼 수 있으며, 가장 최근의 결정사항의 목록은 *Metrologia*에도 수록되어 있다. SI를 간편하고 실용적으로 사용하는데 도움이 되도록 하기 위하여 이러한 결정사항들에 대한 해설과 아울러 국제표준화기구(ISO)의 국제표준으로부터 관련된 사항을 발췌하여 함께 실었다.

국제도량형위원회(CIPM)의 단위자문위원회(CCU)가 개정판의 초안을 만드는데 기여하였으며 최종안을 승인하였다. 이번의 7차 개정판은 1991년도에 발간된 제6차 개정판의 수정판으로서 1991년 이후의 CGPM과 CIPM에서 이루어진 결정사항들을 고려하여 만들어졌으며, 또한 CCU에 의하여 개정된 내용도 함께 포함하고 있다.

부록 1에는 측정단위들과 국제단위계에 관하여 1889년 이후 CGPM과 CIPM이 공포한 결정사항들(결의사항, 권고사항, 선언사항 등)을 다시 수록하였다.

부록 2에는 원문에 주어진 이론적인 정의와 일치하며 측정 연구실에서 물리학적 단위를 현시하고 최고 수준으로 물질적 표준(material standards)을 교정하기 위하여 행할 수 있는 측정방법들을 요약하였다. 이번 개정판에서는 처음으로 길이와 질량의 두 가지에 대한 정의와 이에 따른 실제 현시방법을 일반상대성원리의 관점에서 고려해 보았다. 불확도에 대해서는 별도로 명시된 경우를 제외하고는 합성표준불확도 또는 상대합성표준불확도의 형태로 주어졌다.

이 책자는 25년이 넘는 기간 동안 많은 나라와 기구 및 과학 단체에서 지침서로 쓰여져 왔다. 1985년에 CIPM은 보다 많은 사람들이 이 내용을 쉽게 접할 수 있도록 하기 위하여 제5차 개정판부터 원문(불어)과 영어판을 함께 신기로 결정하였으며 이것은 이번 제7차 개정판에서도 동일하다. 첫 영어판 발간 작업 시에 BIPM은 영국의 국가표준기관인 NPL(Teddington 소재)과 미국의 국가표준기관인 NIST(Gaithersburg 소재, 당시 기관명은 NBS)와 긴밀히 협조하여 불어 원문에 충실한 영어판을 만들기 위해 노력하였다. 이번 제7차 개정판의 불어 원문과 영어 번역판은 BIPM이 단위자문위원회(CCU)와 협조하여 만들었다. 1997년에 CIPM은 영어판에서의 소수점 기호를 숫자 선상에 온점(dot)으로 표기하도록 결정하였고, 이를 불어의 소수점 기호인 반점(comma)에 대한 변환으로 간주하도록 하였다. 이 결정이 영어 이외의 다른 언어에서도 소수점 기호를 변환하는 것을 의미하지는 않는다. 한 가지 주목할 점은 영어 사용국들의 용어에서 나타나는 경미한 철자법의 차이점이다(예로, “metre”와 “meter”, “litre”와 “liter”). 이에 대하여 영어판에서는 국제표준 ISO 31 “양과 단위(*Quantities and units*, 1992)”에 주어진 바에 따라 표기하였다. 하지만 공식 기록문서는 항상 불어판이라는 사실을 독자들은 주지하여야 하고, 따라서 공식적인 인용이 요구될 경우나 본문을 해석하는데 의문이 있을 경우에는 불어판을 사용하여야 한다.

1997년 11월

국제도량형국장  
T. J. QUINN단위자문위원회위원장  
I. M. MILLS

# 1 서론

## 1.1 역사적 배경

1948년 제9차 국제도량형총회(CGPM)는 결의사항 6(CR, 64)으로 국제도량형위원회(CIPM)에

- 측정단위들에 대한 완전한 규칙을 확립하기 위한 연구를 수행하고,
- 이를 위하여 과학, 기술, 교육계의 일반적인 의견을 세계 모든 나라에 공식적으로 조사하여 확인하고,
- 미터협약에 가입한 모든 나라가 채택하기에 적합한 실용 측정 단위계를 확립하기 위한 권고사항들을 마련할 것을 지시하였다.

CGPM의 결정사항은 총회 회의록(*Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*)에 기록되며 여기서는 문자 CR로 표시된다.

이 총회는 또한 결의사항 7(CR, 70)에서 단위기호의 표기법에 대한 일반원칙을 정하고 특별한 명칭을 가진 단위의 목록을 마련하였다.

제10차 CGPM(1954, 결의사항 6; CR, 80)과 제14차 CGPM(1971, 결의사항 3; CR, 78 및 *Metrologia*, 1972, 8, 36)은 일곱 가지 양의 단위를 실용 단위계의 기본단위로 채택하였는데, 길이, 질량, 시간, 전류, 열역학적 온도, 물질량, 광도가 그것이다.

제11차 CGPM(1960, 결의사항 12; CR, 87)은 이 실용 단위계의 명칭으로 국제단위계를 SI라는 국제약칭과 함께 채택하고 접두어, 유도단위 및 이전의 보충단위와 그 밖의 다른 사항들에 대한 규칙을 정하여 측정단위에 대한 전반적인 세부 사항을 마련하였다. 이후에 정기적으로 열린 CGPM과 CIPM 회의에서 과학의 발전과 사용자들의 요구사항을 고려하여 필요한 사항들을 수정하거나 SI의 원래 구조에 추가해 오고 있다.

이와 같이 중요한 CGPM의 결정사항들을 얻기까지의 역사적 과정은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 프랑스 혁명 시기의 십진 미터계 탄생과 그 후 1799년 6월 22일에 미터와 킬로그램의 두 가지 백금 표준기가 프랑스 공화국의 고문서 보관소에 공탁된 것이 현재 국제단위계를 향한 발전의 첫 걸음으로 볼 수 있다.
- 1832년 Gauss는 천문학에 근거하여 정의된 초(second)와 함께 물리학을 위한 일관성 있는 단위계로서 미터계의 활용을 크게 촉진시켰다. Gauss는 길이, 질량, 시간 세 가지의 양에 대한 각각의 역학적 단위인 밀리미터, 그램, 초를 기반으로 한 십진법에 의한 방법으로 지구자장의 절대측정을 실시한 최초의 인물이었다. 이후에

Gauss와 Weber는 여기서 나아가 이것을 전기적 현상의 측정에까지 확장하였다.

- 1860년대에 들어서는 Maxwell과 Thomson의 활발한 주도로 영국과학발전회(BAAS)를 통하여 전기와 자기 분야에서의 활용이 더욱 발전되었다. 그들은 기본 단위와 유도단위로 구성된 일관성 있는 단위계의 요건을 체계화하였다. 1874년 BAAS는 세 개의 역학적 단위인 센티미터, 그램, 초에 근거한 삼차원의 일관성 있는 단위계인 CGS계를 도입하였고, 마이크로(micro)에서 메가(mega)까지 접두어를 사용하여 십진 분수와 배수를 표현하게 되었다. 이 CGS계는 이후 실험과학으로서의 물리학이 발전하는데 기초가 되었다.
- 일관성 있는 CGS 단위는 그 크기가 전기와 자기분야에서 활용하기에는 불편하다는 사실이 입증됨에 따라 1880년대 이르러 BAAS는 현재 국제전기기술위원회(IEC)의 전신인 국제전기회의와 함께 상호 일관성 있는 일련의 실용단위를 승인하였다. 여기에는 전기저항에 대한 옴(ohm), 기전력에 대한 볼트(volt), 그리고 전류에 대한 암페어(ampere)가 포함되었다.
- 1875년 5월 20일 미터협약이 체결된 후 국제도량형위원회(CIPM)는 미터와 킬로그램을 길이와 질량의 기본단위로 삼아 새로운 원기의 제작에 열중하였다. 1889년에 개최된 제1차 국제도량형총회(CGPM)에서 미터와 킬로그램에 대한 국제원기를 인준하였다. 이 단위들은 시간의 단위인 천문학적 초(second)와 더불어 CGS계와 유사한 미터, 킬로그램, 초를 기본단위로 하는 3차원의 역학적 단위계인 MKS계를 형성하게 되었다.
- 1901년 Giorgi는 이 미터-킬로그램-초 체계(MKS계)를 실용적인 전기단위와 결합하여 단일의 일관성 있는 4차원 체계를 형성할 수 있다는 사실을 보여 주었다. 이것은 이 세 개의 기본단위에 암페어나 옴과 같은 제4의 전기적 성질의 단위를 추가하고 또한 전자기(electromagnetism) 분야에서 발생하는 방정식을 소위 유리식 형태(rationalized form)로 다시 세움으로써 가능하였다. Giorgi의 제안은 많은 발전을 이루는 첫 장을 열었다.
- 1921년 제6차 CGPM에서 미터협약이 개정된 후 BIPM의 활동 영역과 임무가 물리학의 다른 분야로까지 확장되었고, 이어 1927년 제7차 CGPM에서 전기자문위원회(CCE)가 설치되었다. 이후 Giorgi의 제안은 IEC와 IUPAP 그리고 기타 국제기구들을 통하여 면밀히 검토되었다. 그 결과 1939년에 전기자문위원회는 미터, 킬로그램, 초, 암페어에 근거한 4차원 체계인 MKSA계의 채택을 제안하였고 이 제안은 1946년 국제도량형위원회(CIPM)에 의해 승인되었다.
- 1948년 BIPM은 전 세계에 걸쳐 이에 대한 의견조사를 시작하였고, 그 결과 마침내 1954년 제10차 CGPM은 전류, 열역학적 온도, 광도에 대한 각각의 기본단위로서 암페어, 켈빈, 칸델라를 도입하는 것을 승인하였다. 1960년 제11차 CGPM에서 여기에 국제단위계(SI)라는 명칭이 붙여졌다. 1971년 제14차 CGPM에서 물질량에 대한 기본단위로 몰(mole)을 추가함으로써 총 7개의 기본단위를 포함하는 현재의 SI가 완성되었다.

## 1.2 SI 단위의 두 가지 부류

SI 단위는 다음의 두 가지로 분류된다:

- 기본 단위,
- 유도 단위.

과학적인 관점에서 볼 때 SI 단위를 이와 같이 두 부류로 나누는 것은 어느 정도 임의적이다. 왜냐하면 그러한 분류가 물리학적으로 꼭 필요한 것은 아니기 때문이다. 그럼에도 불구하고 CGPM은 국제관계, 교육 및 과학적 연구활동에 있어 실용적이고 범세계적인 단일 단위체계가 갖는 이점을 고려하여, 독립된 차원을 가지는 것으로 간주되는 일곱 개의 명확하게 정의된 단위들을 선택하여 국제단위계의 바탕을 삼기로 결정하였다. 즉, 미터, 킬로그램, 초, 암페어, 켈빈, 몰, 칸델라의 7개 단위가 그것이다(p.13, 2.1 참조). 이 SI 단위를 기본단위라고 부른다.

SI 단위의 두 번째 부류는 유도단위이다. 즉 이들은 관련된 양들을 연결시키는 대수관계에 따라 여러 기본단위들이 조합하여 형성되는 단위이다. 이렇게 기본단위로 형성된 어떤 단위의 명칭과 기호는 특별한 명칭과 기호로 대체될 수 있고 이들은 또한 다른 유도단위의 표현과 기호를 형성하는데 사용될 수 있다(p.17, 2.2 참조).

이 두 부류의 SI 단위들은 일관성 있는 단위의 집합을 형성한다. 즉 1이 아닌 어떠한 수치적 인자 없이 순전히 곱하기와 나누기의 규칙에 의하여 서로 연관되는 단위의 체계라는 특별한 의미로서 “일관성”이란 표현이 사용된다. CIPM의 권고사항 1(1969; PV, 37, 30-31 과 *Metrologia*, 1970, 6, 66)에 의하여 이렇게 일관성 있게 구성된 집합의 단위들을 SI 단위라고 명명하였다.

여기서 중요하게 강조되어야 할 사실은 하나의 SI 단위가 몇 가지 다른 형태로 표기될 수는 있어도 각각의 물리량은 단 하나의 SI 단위만을 가진다는 것이다. 하지만, 그 역은 성립하지 않는다. 즉, 어떤 경우에는 동일한 SI 단위가 몇 개의 다른 양의 값을 표현하는데 사용될 수 있다(p.20 참조).

제11차 CGPM(1960, 결의사항 12; CR, 87)은 평면각과 입체각의 단위로 라디안과 스테라디안을 별도 부류인 SI 보충단위로 인정해 왔으나, 제20차 CGPM(1995, 결의사항 8; CR, 223 및 *Metrologia*, 1996, 33, 83)은 보충단위를 SI의 별도 부류로 존속시키는 것을 폐지하고, 라디안과 스테라디안을 유도단위에 포함시키기로 하였다.

CIPM 권고사항은 CIPM 의사록 (*Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures*)에 기록되며 여기서는 문자 PV로 표시됨.

## 1.3 SI 접두어

국제도량형총회는 SI 단위의 십진 배수 및 분수를 만드는데 사용하는 일련의 접두어를 채택하였다(p. 22, 3.1, 3.2 참조). CIPM 권고사항 1(1969)에 따라 이 접두어의 집합을 SI 접두어라고 명명하였다.

SI 단위, 즉 SI 기본단위와 유도단위는 일관성 있는 하나의 집합인 SI 단위의 집합을 형성한다. 접두어와 결합하여 만들어진 SI 단위의 배수 및 분수는 SI 단위의 십진 배수와 분수라는 온전한 명칭으로 불리어진다. SI 단위의 십진배수와 분수는 SI 단위 자체와 일관성을 갖는 것은 아니다.

한 가지 예외로 킬로그램의 배수와 분수의 경우에는 단위 명칭 “그램”에 접두어를 붙이고 단위 기호 “g”에 접두어 기호를 붙여 표현한다.

#### 1.4 양(量)의 체계

SI 단위와 함께 사용되는 양의 체계는 국제표준화기구의 기술위원회 12(ISO/TC 12)의 소관 임무이므로 여기서는 다루지 않는다. ISO/TC 12는 1955년이래 양과 그 단위에 관한 일련의 국제 표준을 발행하여 왔으며 국제단위계의 사용을 적극 권고하고 있다.

ISO는 이 국제 표준에서 길이, 질량, 시간, 전류, 열역학적 온도, 물질량, 광도의 일곱 개 기본단위에 해당하는 일곱 개의 기본량을 바탕으로 한 물리량의 체계를 채택하였다. 그 외의 양들, 즉 유도된 양들은 이들 일곱 개의 기본량들에 의하여 정의되며, 이들 유도된 양과 기본량과의 관계는 한 체계를 이룬 방정식들로 표현된다. 이 양들과 방정식들의 체계가 SI 단위와 함께 적절하게 사용된다.

SI 단위와 함께 사용되는 양의 체계에 대한 보다 상세한 해설은 ISO 31, *Quantities and Units* (ISO Standards Handbook, 3rd edition, ISO, Geneva, 1993) 참조

#### 1.5 일반상대성원리의 틀 안에서 SI 단위

SI 기본단위의 정의는 상대론적 효과를 전혀 고려하지 않은 관점에서 받아들여진 것이다. 이러한 경우에는 정의를 현시하는 표준기와 함께 운동하는 작은 공간적 영역에서만 그 정의가 적용될 수 있다는 점은 분명하다. 그러므로 이 단위들은 고유(proper) 단위이다. 즉, 그 단위들은 특수상대론적 효과를 고려하여야 하는 동일 기준틀에서의 국소적인 실험을 통하여 현시된다. 물리학에서 사용하는 상수들은 그 값이 고유단위로 표현되는 국소적인 양이다.

고유단위에 대한 문제는 1991년 국제천문학연맹(IAU)의 제21차 총회에서 채택된 결의사항 A4와 일반상대성원리의 측정학에의 활용에 관한 CCDS 작업반의 보고서에 기술되어 있다(*Metrologia*, 1997, **34**, 261-290).

여러 가지 표준기를 이용한 단위의 현시는 대개 국소적으로 비교를 하게 된다. 하지만, 주파수 표준의 경우에는 원거리에서 전자기적 신호를 이용하여 비교하는 것이 가능하므로 그 결과를 해석하기 위해서는 일반상대성원리가 요구된다. 왜냐하면 무엇보다도 표준기 사이의 주파수 변동이 지표에서 고도 1 미터 차이 당 약  $1 \times 10^{-16}$  정도로 예측되는데, 이 정도 크기의 영향은 주어진 주파수의 주기적 신호에 근거한 미터나 초를 현시하는 표준기의 불확도와 거의 비슷한 수준이 될 수 있기 때문이다.

#### 1.6 단위에 관한 법률

각 국가들은 일반적인 용도나 상업, 보건, 공공의 안전 및 교육 등과 같은 특수분야를 위하여 국가적 차원에서 단위의 사용에 관한 규칙을 법제화하였다. 그리고 거의 모든 나라에서 단위 사용에 관한 법률은 국제단위계의 사용을 바탕으로 하고 있다.

1955년에 설립된 국제법정계량기구(OIML)는 이러한 법률을 국제적으로 통일시키기 위한 임무를 가지고 있다.

## 2 SI 단위

### 2.1 SI 기본단위

모든 SI 기본단위들에 대한 공식적인 정의는 CGPM이 승인한다. 1889에 그러한 정의를 첫 번째로 승인하였으며, 가장 최근에는 1983년에 승인한 바 있다. 이러한 정의들은 측정기술이 발전함에 따라 때때로 수정되어 그 기본단위를 더욱 정확하게 현시할 수 있도록 한다.

#### 2.1.1 정의

본 책자에는 기본단위에 대한 현재의 정의를 각 CGPM의 회의록(*Comptes Rendus*; CR)으로부터 인용하여 중고딕체로 들여 쓰기 하여 수록하였다. 또한 공식적인 문구는 아니지만 이들 정의를 확실하게 하기 위하여 관련되는 결정사항들을 각 CGPM의 회의록과 CIPM의 의사록(*Procès-Verbaux*; PV)으로부터 인용하여 세고딕체로 들여 쓰기 하여 수록하였다. 아울러 그들 단위를 정의하는 문구는 아니지만 이해를 돕기 위한 역사적인 주석이나 설명문을 추가하였다.

##### 2.1.1.1 길이의 단위 (미터)

백금-이리듐의 국제원기에 기초를 둔 1889년의 미터의 정의는 제11차 CGPM(1960)에서 크립톤 86 원자( $^{86}\text{Kr}$ )의 복사선 파장에 근거를 둔 정의로 대체되었다. 이 정의는 미터 현시의 정확도를 향상시키기 위하여 채택되었다. 이 정의는 1983년의 제17차 CGPM(결의사항 1; CR, 97 및 *Metrologia*, 1984, **20**, 25)에서 다시 다음과 같이 대체되었다.

미터는 빛이 진공에서 1/299 792 458 초 동안 진행한 경로의 길이이다.

이 정의에 따라 빛의 속력은 정확히  $299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 고정된다는 것을 주목하여야 한다. 1889년 제1차 CGPM(CR, 34-38)에서 합법화된 본래의 국제미터원기는 1889년에 지정한 상태 하에 아직 국제도량형국(BIPM)에 보관되어 있다.

## 2.1.1.2 질량의 단위 (킬로그램)

백금-이리듐으로 만들어진 국제원기는 1889년 제1차 CGPM(CR, 34-38)에서 지정한 상태 하에 국제도량형국에 보관되어 있으며 당시 CGPM은 국제원기를 인가하고 다음과 같이 선언하였다.

이제부터는 이 원기를 질량의 단위로 삼는다.

제3차 CGPM(1901; CR, 70)은 흔히 사용되고 있는 “무게(重量)”라는 단어가 갖는 뜻의 모호함을 없애기 위한 선언에서 다음과 같이 확인하였다.

킬로그램은 질량의 단위이며, 국제킬로그램원기의 질량과 같다.

전체 선언문은 p. 37에 있다.

## 2.1.1.3 시간의 단위 (초)

시간의 단위인 초는 예전에 평균 태양일의 1/86 400로 정의되었었다. “평균태양일”의 엄밀한 정의는 천문학 이론에 바탕을 두고 있다. 그러나, 지구의 자전이 불규칙하다는 것은 이론적으로 설명될 수 없고, 또한 그 불규칙성 때문에 이 정의를 우리가 요구하는 정확도로 실현할 수 없다는 것이 측정에 의해 밝혀졌다. 제11차 CGPM(1960; CR, 86)은 시간의 단위를 좀 더 명확하게 정의하기 위하여 국제천문학연맹이 태양년을 기초로 하여 만든 정의를 채택하였다. 그렇지만 원자나 분자의 두 에너지 준위 사이의 전이에 기초를 둔 원자시간표준이 실현가능하고 훨씬 더 정밀하게 재현될 수 있다는 것이 이미 실험결과로 증명되었다. 제13차 CGPM(1967-1968, 결의사항 1; CR, 103 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43)은 초의 정확한 정의가 국제단위계에 필요 불가결하다는 점을 고려하여 다음과 같이 초의 정의를 바꾸었다.

초는 세슘-133 원자( $^{133}\text{Cs}$ )의 바닥상태에 있는 두 초미세 준위 사이의 전이에 대응하는 복사선의 9 192 631 770 주기의 지속시간이다.

CIPM은 1997년 회의에서 이 정의에 대하여 다음 사항을 명시하였다.

이 정의는 0 K의 온도에서 바닥상태에 있는 세슘 원자에 적용된다.

## 2.1.1.4 전류의 단위 (암페어)

전류와 저항에 대한 소위 “국제” 전기단위는 1893년 시카고에서 열린 국제전기협회에서 도입되었고, “국제” 암페어와 “국제” 옴의 정의는 1908년 런던국제회의에서 확정되었다. 제8차 CGPM(1933)에서 “국제” 단위를 소위 “절대” 단위로 대치시키자는 만



장일치의 요구가 이미 있었지만 비로소 제9차 CGPM(1948)에서 이들을 폐기할 것을 공식적으로 결정하였다. 이 회의에서는 CIPM(1946, 결의사항 2; PV, 20, 129-137)에 의해 제안된 다음과 같은 정의에 따라 전류의 단위로 암페어를 채택하였다.

암페어는 무한히 길고 무시할 수 있을 만큼 작은 원형 단면적을 가진 두 개의 평행한 직선 도체가 진공 중에서 1 미터의 간격으로 유지될 때, 두 도체 사이에 매 미터 당  $2 \times 10^{-7}$  뉴턴(N)의 힘을 생기게 하는 일정한 전류이다

이 정의에서는 1946년의 원문에서 사용한 “힘의 MKS 단위”라는 표현을 제9차 CGPM(1948, 결의사항 7; CR, 70)에서 이 단위의 이름으로 채택된 “뉴턴”으로 대체시켰다. 이 정의에 따라 진공의 투자율은 정확히  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 고정된다는 것을 주목하여야 한다.

#### 2.1.1.5 열역학적 온도의 단위 (켈빈)

열역학적 온도의 단위는 실질적으로 제10차 CGPM(1954, 결의사항 3; CR, 79)에서 정해졌는데, 여기서 물의 삼중점을 기본 고정점으로 선정하고 이 고정점의 온도를 정의에 의해서 273.16 K로 정했다. 제13차 CGPM(1967-1968, 결의사항 3; CR 104 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43)에서 “켈빈도”(기호 °K) 대신 켈빈(기호 K)이라는 명칭을 사용하기로 채택하였고, 열역학적 온도의 단위를 아래와 같이 정의하였다(결의사항 4; CR, 104 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43).

열역학적 온도의 단위인 켈빈은 물의 삼중점에 해당하는 열역학적 온도의  $1/273.16$  이다.

온도눈금이 정의된 방법 때문에 기호  $T$ 로 표시되는 열역학적 온도를 물의 어는점인 기준온도  $T_0 = 273.15 \text{ K}$ 와의 차이로 나타내는 것이 관례로 남아있다. 이 온도차이를 섭씨 온도라 하며, 기호는  $t$ 로 표시하고 다음 식으로 정의된다.

$$t = T - T_0$$

섭씨 온도의 단위는 섭씨도(기호 °C)이며, 정의에 의해 켈빈과 그 크기가 같다. 온도 차이 혹은 온도간격은 켈빈이나 섭씨도로 표현할 수 있다(제13차 CGPM, 1967-1968, 결의사항 3). 섭씨도로 표시된 섭씨 온도  $t$ 의 값은 다음과 같이 주어진다.

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15$$

켈빈과 섭씨도는 모두 1989년 CIPM 권고사항 5(CI-1989)에서 채택된 국제온도눈금 1990(ITS-90)의 단위이다(PV, 57, 115 및 *Metrologia*, 1990, 27, 13).

## 2.1.1.6 물질량의 단위 (몰)

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 16이란 값을 부여한 반면 화학자는 자연에 존재하는 원소인 산소 동위원소 16, 17, 18의 혼합물(약간 조성이 다를 수도 있지만)에 16이란 값을 부여하였다. 마침내 1959년과 1960년 사이에 국제순수응용물리학연맹(IUPAP)과 국제순수응용화학연맹(IUPAC) 사이의 합의에 의하여 이 이중기준을 종결지었다. 그 후 물리학자와 화학자는 질량수 12인 탄소 동위원소(탄소 12,  $^{12}\text{C}$ )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(기호 mol)로 정해졌다.

IUPAP, IUPAC, ISO의 제안에 따라 CIPM은 1967년에 몰의 정의를 내리고, 이를 1969년에 재확인하였는데, 제14차 CGPM(1971, 결의사항 3; CR, 78 및 *Metrologia*, 1972, 8, 36)에서 이 정의를 채택하였다.

1. 몰은 탄소 12의 0.012 킬로그램에 있는 원자의 개수와 같은 수의 구성요소를 포함한 어떤 계의 물질량이다. 그 기호는 “mol”이다.
2. 몰을 사용할 때에는 구성요소를 반드시 명시해야 하며 이 구성요소는 원자, 분자, 이온, 전자, 기타 입자 또는 이 입자들의 특정한 집합체가 될 수 있다.

1980년에 CIPM은 다음과 같이 명시한 CCU(1980)의 보고를 승인하였다.

이 정의에서의 탄소 12는 정지상태에 있고, 바닥상태에 있으며, 속박되어 있지 않은 원자를 말한다.

몰의 정의를 인용할 때에는 통상 이 주의사항도 포함된다.

## 2.1.1.7 광도의 단위 (칸델라)

1948년 이전에 여러 나라에서 사용되었던 불꽃이나 백열 필라멘트 표준에 기초를 둔 광도의 단위는 처음에는 백금 응고점에 유지된 플랑크 복사체(흑체)의 휘도에 기초를 둔 “신축광(新燭光)”으로 대체되었다. 이러한 내용은 1937년 이전에 이미 국제조명위원회(CIE)와 CIPM에 의해 마련되어 1946년에 CIPM에 의해 공포되었다. 그후 1948년에 제9차 CGPM에서 비준되었는데 이때에 광도단위에 대한 새로운 국제명칭 칸델라(기호 cd)가 채택되었다. 그리고 1967년 제13차 CGPM(결의사항 5; CR, 104 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43-44)은 1946년의 정의를 수정하였다.

고온에서 플랑크 복사체를 현시하기에는 실험적으로 어려움이 많고 또한 광 복사출력을 측정하는 복사측정법에 의한 새로운 가능성으로, 1979년에 제16차 CGPM(1979, 결의사항 3; CR, 100 및 *Metrologia*, 1980, 16, 56)은 다음과 같은 칸델라에 대한 새로운 정의를 채택하였다.

칸델라는 진동수  $540 \times 10^{12}$  헤르츠인 단색광을 방출하는 광원의 복사도가 어떤 주어진 방향으로 매 스테라디안 당 1/683 와트일 때 이 방향에 대한 광도이다.

## 2.1.2 기본단위의 기호

국제단위계의 기본단위가 그 명칭 및 기호와 함께 표 1에 수록되어 있다[제10차 CGPM(1954, 결의사항 6; CR, 80); 제11차 CGPM(1960, 결의사항 12; CR, 87); 제13차 CGPM(1967-1968, 결의사항 3; CR, 104 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43); 제14차 CGPM(1971, 결의사항 3; CR, 78 및 *Metrologia*, 1972, 8, 36)].

표 1. SI 기본단위

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

## 2.2 SI 유도단위

유도단위는 기본단위들을 곱하기와 나누기의 수학적 기호로 연결하여 표현되는 단위이다. 어떤 유도단위에는 특별한 명칭과 기호가 주어져 있고, 이 특별한 명칭과 기호는 또한 그 자체가 기본단위나 다른 유도단위와 조합하여 다른 양의 단위를 표시하는데 사용되기도 한다.

### 2.2.1 기본단위로 표시된 단위

표 2에 직접적으로 기본단위들에 의해 표시된 유도단위의 몇 가지 예를 들었다. 이 유도단위는 기본단위들의 곱이나 나누기에 의해 얻어진다.

표 2. 기본단위로 표시된 SI 유도단위의 예

유 도 량	SI 유 도 단 위	
	명 칭	기 호
넓이	제곱미터	$m^2$
부피	세제곱미터	$m^3$
속력, 속도	미터 매 초	$m/s$
가속도	미터 매 초 제곱	$m/s^2$
파동수	역 미터	$m^{-1}$
밀도, 질량밀도	킬로그램 매 세제곱미터	$kg/m^3$
비(比) 부피	세제곱미터 매 킬로그램	$m^3/kg$
전류밀도	암페어 매 제곱미터	$A/m^2$
자기장의 세기	암페어 매 미터	$A/m$
(물질량의) 농도	몰 매 세제곱미터	$mol/m^3$
휘도	칸델라 매 제곱미터	$cd/m^2$
굴절률	하나(숫자)	$1^{(가)}$

(가) 기호 “1”이 숫자와 조합될 때에는 일반적으로 생략된다.

## 2.2.2 특별한 명칭과 기호를 가진 단위; 특별한 명칭과 기호를 가진 단위들과 조합을 이룬 단위

표 3에 열거되어 있는 어떤 유도단위들은 편의상 특별한 명칭과 기호가 주어져 있다. 이 명칭과 기호는 그 자체가 다른 유도단위를 표시하는데 사용되기도 한다. 표 4에 몇 가지 그러한 예를 보이고 있다. 이 특별한 명칭과 기호는 자주 사용되는 단위를 표시하기 위하여 간략한 형태로 되어 있다.

이러한 명칭과 기호 중에서 표 3의 마지막 3개의 단위는 특별히 인간의 보건을 위하여 제15차 CGPM(1975, 결의사항 8 및 9; CR, 105와 *Metrologia*, 1975, 11, 180)과 제16차 CGPM(1979, 결의사항 5; CR, 100 및 *Metrologia*, 1980, 16, 56)에서 승인된 양이다.

표 3과 4의 마지막 칸은 그 유도단위가 어떻게 SI 기본단위에 의하여 표시되고 있는가를 보여주고 있다. 이 칸에서 그 값이 1인  $m^0$ ,  $kg^0$  ... 와 같은 인자들은 생략되었다.

표 3. 특별한 명칭과 기호를 가진 SI 유도단위

유 도 량	S I 유 도 단 위			
	명 칭	기호	다 른 SI 단위로 표 시	SI 기본단위로 표시
평면각	라디안 <sup>(가)</sup>	rad		$m \cdot m^{-1} = 1$ <sup>(나)</sup>
입체각	스테라디안 <sup>(가)</sup>	sr <sup>(다)</sup>		$m^2 \cdot m^{-2} = 1$ <sup>(나)</sup>
진동수, 주파수	헤르츠	Hz		$s^{-1}$
힘	뉴턴	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
압력, 응력	파스칼	Pa	$N/m^2$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
에너지, 일, 열량	줄	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
일률, 전력, 복사선속	와트	W	$J/s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
전하량, 전기량	쿨롱	C		$s \cdot A$
전위차, 기전력	볼트	V	$W/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
전기용량	패럿	F	$C/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
전기저항	옴	$\Omega$	$V/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
전기전도도	지멘스	S	$A/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
자기선속	웨버	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
자기선속밀도	테슬라	T	$Wb/m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
인덕턴스	헨리	H	$Wb/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
섭씨온도	섭씨도 <sup>(라)</sup>	$^{\circ}C$		K
광선속	루멘	lm	$cd \cdot sr$ <sup>(다)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
조명도	럭스	lx	$lm/m^2$	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd = m^{-2} \cdot cd$
(방사성 핵종의) 방사능	베크렐	Bq		$s^{-1}$
흡수선량, 비(부여)에너지, 커마	그레이	Gy	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$
선량당량, 주변선량당량, 방향선량당량, 개인선량당 량, 장기(臟器)등가선량	시버트	Sv	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$

(가) 라디안과 스테라디안은, 서로 다른 성질을 가지나 같은 차원을 가진 양들을 구별하기 위하여 유도단위를 표시하는데 유용하게 쓰일 수 있다. 유도단위를 구성하는데 이들을 사용한 몇 가지 예가 표 4에 있다.

(나) 실제로 기호 rad와 sr은 필요한 곳에 쓰이나, 유도단위 “1”은 일반적으로 숫자와 조합하여 쓰일 때 생략된다.

(다) 광도측정에서는 스테라디안(기호 sr)이 단위의 표시에 자주 사용된다.

(라) 이 단위는 SI 접두어와 조합하여 사용될 수 있다. 그 한 예가 밀리섭씨도,  $m^{\circ}C$ 이다.

표 4. 명칭과 기호에 특별한 명칭과 기호를 가진 SI 유도단위가 포함되어 있는 SI 유도단위의 예

유 도 량	SI 유 도 단 위		
	명 칭	기 호	SI 기본단위로 표시
점성도	파스칼 초	Pa · s	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
힘의 모멘트	뉴턴 미터	N · m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
표면장력	뉴턴 매 미터	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
각속도	라디안 매 초	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
각가속도	라디안 매 초 제곱	rad/s <sup>2</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
열속밀도, 복사조도	와트 매 제곱미터	W/m <sup>2</sup>	$kg \cdot s^{-3}$
열용량, 엔트로피	줄 매 켈빈	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
비열용량, 비엔트로피	줄 매 킬로그램 켈빈	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
비에너지	줄 매 킬로그램	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
열전도도	와트 매 미터 켈빈	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
에너지 밀도	줄 매 세제곱미터	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
전기장의 세기	볼트 매 미터	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
전하밀도	쿨롱 매 세제곱미터	C/m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
전기선속밀도	쿨롱 매 제곱미터	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
유전율	패럿 매 미터	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
투자율	헨리 매 미터	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
몰에너지	줄 매 몰	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
몰엔트로피, 몰열용량	줄 매 몰 켈빈	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
(X선 및 $\gamma$ 선의) 조사선량	쿨롱 매 킬로그램	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
흡수선량률	그레이 매 초	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
복사도	와트 매 스테라디안	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$ $= m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
복사휘도	와트 매 제곱미터 스테라디안	W/(m <sup>2</sup> · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}$ $= kg \cdot s^{-3}$

1.2절(p. 11)에서 언급한 바와 같이 하나의 SI 단위가 몇 개의 다른 물리량에 대응할 수 있다. 그에 대한 몇 가지 예가 표 4에 나와 있는데 여기에 있는 양들이 그 전부는 아니다. 줄 매 켈빈(J/K)은 엔트로피뿐만 아니라 열용량의 SI 단위이며, 또한 암페어(A)는 유도 물리량인 기저력뿐만 아니라 기본량인 전류의 SI 단위이기도 하다. 그러므로 어떤 양을 명시하기 위하여 그 단위만을 사용해서는 아니 된다. 이러한 규칙은 비단 과학기술 서적뿐만 아니라 예를 들자면, 측정장비에도 적용된다(즉, 측정장비는 단위와 측정된 양을 모두 표시하여야 한다).

유도단위는 기본단위의 명칭과 유도단위의 특별한 명칭을 조합하여 여러 가지 다른 방법으로 표현될 수 있다. 그러나 이것은 일반 물리적인 개념을 고려하여 대수학적으로 자유롭게 표현할 수 있다. 예를 들어 줄 대신에 뉴턴 미터 혹은 킬로그램 미터 제곱 매 초 제곱이 사용될 수도 있다. 그러나 어떤 경우에는 특정한 표현식이 다른 것들보다 더 유용할 수도 있다.

실제로는 같은 단위를 갖는 양들의 구별을 용이하게 하기 위하여, 어떤 양들에 대해서는 어떤 특별한 단위명 혹은 단위의 조합을 선호하여 사용한다. 예를 들면, 주파수의 SI 단위로 역초 대신에 헤르츠가 명칭으로 지정되어 있고, 각속도의 SI 단위도 역초 보다는 라디안 매 초가 지정되어 있다(이 경우 라디안이란 단어를 그대로 사용하는 이유는 각속도가  $2\pi$  와 회전 주파수의 곱이라는 것을 강조하기 위함이다). 이와 유사하게, 힘의 모멘트에 대한 SI 단위로는 줄 대신에 뉴턴 미터가 지정되어 있다.

전리방사선분야에서도 이와 비슷하게 방사능의 SI 단위로 역초보다는 베크렐을, 흡수선량과 선량당량의 SI 단위로 줄 매 킬로그램보다는 각각 그레이나 시버트가 사용된다. 특별한 명칭인 베크렐, 그레이, 시버트는 역초나 줄 매 킬로그램의 단위를 사용함으로써 일어날 수 있는 과오로 인한 사람의 건강에 대한 위험도 때문에 특별히 도입된 양들이다.

CIPM은 사람의 건강에 관련된 단위에 대하여 특별히 그 중요성을 인식하고 이 책자 제5개정판에 시버트에 대한 상세한 내용을 수록하는데 동의하였다: p. 46, CIPM (PV, 1984, 52, 31 및 *Metrologia*, 1985, 21, 90)에 의하여 채택된 결의사항 1(CI-1984) 참조.

### 2.2.3 무 차원 양의 단위, 차원 1을 가지는 양

일부 물리량은 같은 종류의 두 물리량의 비로써 정의되며 따라서 숫자 1로 표현되는 차원을 가지게 된다. 이러한 물리량의 단위는 필연적으로 다른 SI 단위들과 일관성을 갖는 유도단위가 된다. 그리고 두 동일한 SI 단위의 비로 구성되기 때문에 이 단위도 숫자 1로 표시될 수 있다. 따라서 차원적으로 곱한 결과가 1로 주어지는 모든 물리량의 SI 단위는 숫자 1이다. 굴절률, 상대 투자율, 마찰계수 등이 이러한 물리량의 예이다. 단위 1을 가지는 다른 물리량에는 프란틀(Prandtl) 숫자  $\eta c_p / \lambda$  같은 “특성숫자”와 분자수나 축퇴(에너지 준위의 수), 통계역학의 분배함수와 같이 계수를 나타내는 숫자 등이 있다. 이런 모든 물리량은 무 차원 또는 차원 1인 것으로 기술되며 SI 단위는 1이다. 이런 물리량들의 값은 단지 숫자로 주어지며 일반적으로 단위 1은 구체적으로 표시되지 않는다. 그러나 몇 가지의 경우에는 이런 단위에 특별한 명칭이 주어지는데 이는 주로 일부의 복합 유도단위 사이의 혼란을 피하기 위해서이다. 이에 해당되는 것으로는 라디안, 스테라디안, 네퍼가 있다.

### 3 SI 단위의 십진 배수 및 분수

#### 3.1 SI 접두어

제11차 CGPM(1960, 결의 사항 12; CR, 87)은 SI 단위의 십진 배수와 십진 분수에 대한 명칭과 기호를 구성하기 위하여 일차로  $10^{12}$ 부터  $10^{-12}$  범위에 대하여 일련의 접두어와 그 기호들을 채택하였다. 제12차 CGPM(1964, 결의사항 8; CR, 94)에서  $10^{-15}$ 과  $10^{-18}$ 에 대한 접두어가 추가되었고, 제15차 CGPM(1975, 결의사항 10; CR, 106 및 *Metrologia*, 1975, 11. 180-181)에서  $10^{15}$ 과  $10^{18}$ 에 대한 접두어가, 그리고 제19차 CGPM(1991, 결의사항 4; CR, 185 및 *Metrologia*, 1992, 29, 3)에서는  $10^{21}$ ,  $10^{24}$ ,  $10^{-21}$ ,  $10^{-24}$ 에 대한 접두어가 추가되었다. 현재까지 승인된 모든 접두어와 기호를 표 5에 열거하였다.

이들 SI 접두어는 엄격히 10의 지수를 가리킨다. 이들이 2의 지수를 나타내기 위하여 사용되어서는 아니 된다(예를들어 1 킬로비트(kilobit)는 1024 비트가 아닌 1000 비트를 표시한다).

표 5. SI 접두어

인 자	접 두 어	기 호	인 자	접 두 어	기 호
$10^{24}$	요 타	Y	$10^{-1}$	데 시	d
$10^{21}$	제 타	Z	$10^{-2}$	센 티	c
$10^{18}$	엑 사	E	$10^{-3}$	밀 리	m
$10^{15}$	페 타	P	$10^{-6}$	마이크로	$\mu$
$10^{12}$	테 라	T	$10^{-9}$	나 노	n
$10^9$	기 가	G	$10^{-12}$	피 코	p
$10^6$	메 가	M	$10^{-15}$	펨 토	f
$10^3$	킬 로	k	$10^{-18}$	아 토	a
$10^2$	헥 토	h	$10^{-21}$	젍 토	z
$10^1$	데 카	da	$10^{-24}$	욕 토	y

#### 3.2 킬로그램

국제단위계의 기본단위 가운데 질량의 단위만이 역사적인 이유로 그 명칭이 접두어를 포함하고 있다. 질량단위의 십진 배수 및 분수에 대한 명칭 및 기호는 단위 명칭 “그램”에 접두어 명칭을 붙이고 단위기호 “g”에 접두어 기호를 붙여서 사용된다(CIPM, 1967, 권고사항 2; PV, 35, 29 및 *Metrologia*, 1968, 4, 45).

보기:  $10^{-6}$  kg = 1 mg (1 밀리그램)이며 1  $\mu$ kg (1 마이크로킬로그램)이 아님.



## 4 SI 이외의 단위

SI 단위는 과학, 기술, 상업 등의 전반에 걸쳐 사용되도록 권고되고 있다. 이 단위는 CGPM에 의하여 국제적으로 인정되었으며 현재 이를 기준으로 그 밖의 모든 단위들이 정의되고 있다. SI 기본단위와 특별한 명칭을 가진 것들을 포함한 SI 유도단위는 물리량 항을 갖는 방정식에서 그 항에 특정값을 대입할 때 단위 환산이 필요치 않은 일관된 틀을 형성한다는 중요한 장점을 가지고 있다.

그럼에도 불구하고 몇몇 SI 이외의 단위들이 아직도 과학, 기술, 상업에 관련된 문헌에서 광범위하게 나타나고 있고 그 몇 가지는 아마 여러 해 동안 계속 사용될 것으로 보인다. 시간의 단위와 같은 몇몇 SI 이외의 단위들은 일상생활에서 매우 넓게 사용되고 있고, 인류의 역사와 문화에 아주 깊이 새겨져 있어서 이들은 당분간 계속 사용될 것 같다. 따라서 SI 이외의 단위 가운데 중요한 몇 가지 단위들을 다음의 표에 열거하였다.

이 책에 SI 이외의 단위의 표를 실는 것이 SI 이외의 단위를 사용하는 것을 권장한다는 뜻은 아니다. 다음에 검토되는 몇 개의 예외는 있지만 SI 단위는 SI 이외의 단위보다 항상 우선되어야 한다. SI 단위와 SI 이외의 단위를 결합하는 것은 되도록 피하는 것이 바람직하다. 특히 복합단위를 형성하기 위하여 SI 단위와 SI 이외의 단위를 결합하는 것은 SI 단위의 사용으로 얻을 수 있는 일관성의 장점이 보전되도록 특별한 경우에 한해서 허용되어야 한다.

### 4.1 SI와 함께 사용되는 단위

CIPM(1969)은 SI의 사용자들이 SI에 속하지는 않지만 중요하고 널리 사용되는 몇 가지의 단위를 쓰고 싶어한다는 것을 인정하여 SI 이외의 단위를 3가지로 분류하여 열거하였다. 즉, 유지되어야 할 단위, 잠정적으로 묵인되어야 할 단위, 사용하지 말아야 할 단위들이 그것이다. 이 분류를 재검토하면서 CIPM(1996)은 SI 이외의 단위를 새로운 항목으로 분류하는데 동의하였다. 이들은 SI와 함께 사용되는 것이 용인된 표 6의 단위, 그 값이 실험적으로 얻어지며 SI와 함께 사용되는 것이 용인된 표 7의 단위, 특별한 용도의 필요성을 만족시키기 위하여 SI와 함께 사용되는 것이 현재 용인된 표 8의 단위들이다.

SI와 함께 사용되는 것이 용인된 SI 이외의 단위들이 표 6에 열거되어 있다. 계속해서 매일 사용하는 단위, 특히 시간과 각에 대한 전통적인 단위 및 기술적으로 중요성을 가진 그 밖의 몇 가지 단위들이 표에 포함되어 있다.

표 6. 국제단위계와 함께 사용되는 것이 용인된 SI 이외의 단위

명 칭	기 호	SI 단위로 나타낸 값
분	min	1 min = 60 s
시간 <sup>(가)</sup>	h	1 h = 60 min = 3600 s
일	d	1 d = 24 h = 86 400 s
도 <sup>(나)</sup>	°	1° = ( $\pi/180$ ) rad
분	'	1' = (1/60)° = ( $\pi/10\ 800$ ) rad
초	"	1" = (1/60)' = ( $\pi/648\ 000$ ) rad
리터 <sup>(다)</sup>	l, L	1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
톤 <sup>(라,마)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
네페 <sup>(바,아)</sup>	Np	1 Np = 1
벨 <sup>(사,야)</sup>	B	1 B = (1/2) ln 10 (Np) <sup>(자)</sup>

(가) 이 단위의 기호는 제9차 CGPM(1948; CR, 70)의 결의사항 7에 포함되어 있다.

(나) ISO 31은 분과 초를 사용하는 대신에 도를 십진분수의 형태로 사용할 것을 권고한다.

(다) 이 단위와 그 기호 l은 1879년 CIPM(PV, 1879, 41)에서 채택되었다. 또 다른 기호 L은 제16차 CGPM(1979, 결의사항 6; CR, 101 및 *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57)에서 글자 "l"과 숫자 "1"과의 혼동을 피하기 위해 채택되었다. 리터의 현재 정의는 제12차 CGPM(1964; CR, 93)의 결의사항 6에 주어지 있다.

(라) 이 단위와 그 기호는 1879년 CIPM(PV, 1879, 41)에서 채택되었다.

(마) 몇몇 영어사용국가에서 이 단위는 "메트릭톤"이라 불린다.

(바) 네페는 마당 준위, 일률 준위, 음압 준위, 로그적 감소 같은 로그양의 값을 표현하는데 사용된다. 네페로 표현된 양의 값을 얻기 위하여 자연로그가 사용된다. 네페는 SI와 일관성을 갖지만 아직 CGPM에서 SI 단위로 채택되지 아니 하였다. 자세한 내용은 국제 표준 ISO 31 참조.

(사) 벨은 마당 준위, 일률 준위, 음압 준위, 감쇠 같은 로그양의 값을 표현하는데 사용된다. 벨로 표현된 양의 값을 얻기 위하여 밑수가 10인 로그가 사용된다. 보통은 분수인 데시벨, dB가 사용된다. 자세한 내용은 국제 표준 ISO 31 참조.

(아) 이 단위를 사용할 때 양을 명시하는 것이 특히 중요하다. 단위가 양을 의미하기 위하여 사용되어서는 아니 된다.

(자) 네페가 SI와 일관성은 있지만 아직 CGPM에서 채택되지 아니 하였기 때문에 Np에는 괄호를 하였다.

표 7에는 SI와 함께 사용되는 것이 용인된 SI 이외의 단위 3개를 열거하였으며, SI 단위로 표현된 그 값들은 실험적으로 얻어져야 하므로 정확히 알려져 있지 않다. 그 값들은 합성 표준불확도(포함인자  $k=1$ )와 함께 주어지는데, 그 불확도는 마지막 두 자리 수에 적용되며 괄호 속에 나타내었다. 이 단위들은 어떤 특정한 분야에서 흔히 사용된다.

표 7. 국제단위계와 함께 사용되는 것이 용인된 SI 이외의 단위. SI 단위로 표현된 그 값들은 실험적으로 얻어진다

명 칭	기 호	정 의	SI 단위로 나타낸 값
전자볼트 <sup>(가)</sup>	eV	(나)	1 eV = 1.602 177 33 (49) × 10 <sup>-19</sup> J
통일 원자질량 단위 <sup>(가)</sup>	u	(다)	1 u = 1.660 540 2 (10) × 10 <sup>-27</sup> kg
천문단위 <sup>(가)</sup>	ua	(라)	1 ua = 1.495 978 706 91 (30) × 10 <sup>11</sup> m

(가) 전자볼트와 통일 원자질량 단위에 대한 값은 *CODATA Bulletin*, 1986, No. 63에서 인용되었다. 천문단위로 주어진 값은 *IERS Conventions(1996)*, D.D. McCarthy ed., *IERS Technical Note 21*, Observatoire de Paris, July 1996 에서 인용된 것이다.

(나) 전자볼트는 하나의 전자가 진공 중에서 1 볼트의 전위차를 지날 때 얻게 되는 운동에너지이다.

(다) 통일 원자질량 단위는 정지상태에 있으며 바닥상태에 있는 속박되지 않은 <sup>12</sup>C 핵종 원자질량의 1/12과 같다. 생화학 분야에서 통일 원자질량 단위는 또한 달톤(기호 Da)으로 불린다.

(라) 천문단위는 지구-태양의 평균 거리와 거의 같은 길이의 단위이다. 이 값이 태양계에서 물체의 운동을 표현하는데 사용될 때, 태양중심 중력상수는 (0.017 202 098 95)<sup>2</sup> ua<sup>3</sup> · d<sup>-2</sup>이 된다.

표 8에는 상업, 법률 및 전문 과학적 용도에서의 필요성을 만족시키기 위하여 SI와 함께 사용되는 것이 현재 용인된 SI 이외의 단위 가운데 몇 개가 열거되어 있다. 이 단위들이 사용되는 모든 문서에는 SI와 관련하여 그 단위가 정의되어야 하며, 이들의 사용을 권장하지는 아니한다.

표 8. 현재 국제단위계와 함께 사용되는 것이 용인된 SI 이외의 단위

명 칭	기 호	SI 단위로 나타낸 값
해리 <sup>(가)</sup>		1 해리 = 1852 m
노트		1 해리 매 시간 = (1852/3600) m/s
아르 <sup>(나)</sup>	a	1 a = 1 dam <sup>2</sup> = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
헥타아르 <sup>(나)</sup>	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
바아 <sup>(다)</sup>	bar	1 bar = 0.1 MPa = 100 kPa = 1000 hPa = 10 <sup>5</sup> Pa
옹스트롬	Å	1 Å = 0.1 nm = 10 <sup>-10</sup> m
비안 <sup>(라)</sup>	b	1 b = 100 fm <sup>2</sup> = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

(가) 해리는 항해나 항공의 거리를 나타내는데 쓰이는 특수 단위이다. 위에 주어진 관계적인 값은 1929년 모나코의 제1차 국제 특수수로학회(International Extraordinary Hydrographic Conference)에서 “국제해리”라는 이름으로 채택되었다. 아직 국제적으로 합의된 기호는 없다. 이 단위가 원래 선택된 이유는 지구 표면의 1 해리는 대략 지구 중심에서 각도 1 분에 상응하는 거리이기 때문이다.

(나) 이 단위와 기호는 1879년 CIPM(PV, 1879, 41)에서 채택되었으며 토지면적을 표현하는데 사용되고 있다.

(다) 바아와 그 기호는 제9차 CGPM(1948; CR, 70)의 결의사항 7에 포함되어 있다.

(라) 비안은 핵물리학에서 유효 단면적을 나타내기 위하여 사용되는 특수 단위이다.

## 4.2 그 밖의 SI 이외의 단위

그 밖의 SI 이외의 단위 가운데 어떤 것들은 아직도 가끔 사용되고 있다. 그중 몇 가지는 예전의 과학 문헌을 이해하는데 중요하다. 이들이 표 9와 10에 열거되었지만 그 사용을 권장하지는 않는다.

표 9에는 CGS 단위와 SI 단위와의 관계 및 특별한 이름이 지정된 CGS 단위를 열거하였다. 역학 분야에서 CGS 단위계는 3개의 양에 기초하였으며 그에 해당하는 기본 단위는 센티미터, 그램, 초이다. 전기와 자기분야에서 단위는 이들 세 개의 기본단위로 표현되었다. 이는 다른 방법으로 표현될 수 있기 때문에 이로부터 몇 가지의 다른 체계가 이루어졌다. 예를 들면 CGS 정전계, CGS 전자기계, 그리고 CGS 가우스계가 이들이다. 이들 세 개의 단위계에서는 양의 체계와 그에 대응하는 방정식의 체계가 SI 단위를 사용한 체계와 다르다.

표 9. 특별한 명칭을 가진 유도 CGS 단위

명 칭	기 호	SI 단위로 나타낸 값
에르그 <sup>(가)</sup>	erg	1 erg = $10^{-7}$ J
다인 <sup>(가)</sup>	dyn	1 dyn = $10^{-5}$ N
포아즈 <sup>(가)</sup>	P	1 P = 1 dyn · s/cm <sup>2</sup> = 0.1 Pa · s
스토크스	St	1 St = 1 cm <sup>2</sup> /s = $10^{-4}$ m <sup>2</sup> /s
가우스 <sup>(나)</sup>	G	1 G $\hat{=}$ $10^{-4}$ T
에르스텝 <sup>(나)</sup>	Oe	1 Oe $\hat{=}$ (1000/4 $\pi$ ) A/m
맥스웰 <sup>(나)</sup>	Mx	1 Mx $\hat{=}$ $10^{-8}$ Wb
스틸브 <sup>(가)</sup>	sb	1 sb = 1 cd/cm <sup>2</sup> = $10^4$ cd/m <sup>2</sup>
포트	ph	1 ph = $10^4$ lx
갈 <sup>(다)</sup>	Gal	1 Gal = 1 cm/s <sup>2</sup> = $10^{-2}$ m/s <sup>2</sup>

(가) 이 단위와 그 기호는 제9차 CGPM(1948; CR, 70)의 결의사항 7에 있다.

(나) 이 단위는 소위 “전자기” 3차원 CGS계의 한 부분이며 역학과 전기량만이 관련될 때에는 4차원을 가지는 국제단위계의 해당 단위와는 엄밀한 의미에서 비교할 수 없다. 따라서 이 단위는 “대응된다”는 의미의 수학 기호( $\hat{=}$ )를 사용하여 SI 단위와 연관지어진다.

(다) 같은 측지학과 지구물리학에서 중력가속도를 나타내는데 사용되는 특수단위이다.

표 10에는 예전의 문헌에 흔히 나오는 단위들을 열거하였다. 현재의 문헌에서 이들 단위가 사용된다면 SI의 장점이 손실된다는 점에 유의하여야 한다. 이들 단위와 SI와의 관계는 이를 사용하는 모든 문서에 명시되어야 한다.

표 10. 그 밖의 SI 이외의 단위의 예

명 칭	기 호	SI 단위로 나타낸 값
퀴리 <sup>(가)</sup>	Ci	1 Ci = $3.7 \times 10^{10}$ Bq
뢴트겐 <sup>(나)</sup>	R	1 R = $2.58 \times 10^{-4}$ C/kg
라드 <sup>(다,바)</sup>	rad	1 rad = 1 cGy = $10^{-2}$ Gy
렘 <sup>(라,바)</sup>	rem	1 rem = 1 cSv = $10^{-2}$ Sv
X 단위 <sup>(마)</sup>		1 X 단위 $\approx 1.002 \times 10^{-4}$ nm
감마 <sup>(마)</sup>	$\gamma$	1 $\gamma$ = 1 nT = $10^{-9}$ T
젬스키	Jy	1 Jy = $10^{-26}$ W · m <sup>-2</sup> · Hz <sup>-1</sup>
페르미 <sup>(마)</sup>		1 페르미 = 1 fm = $10^{-15}$ m
메트릭 카라트 <sup>(자)</sup>		1 메트릭 카라트 = 200 mg = $2 \times 10^{-4}$ kg
토오르	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
표준기압	atm <sup>(아)</sup>	1 atm = 101 325 Pa
칼로리	cal	(자)
마이크론 <sup>(마)</sup>	$\mu$ <sup>(차)</sup>	1 $\mu$ = 1 $\mu$ m = $10^{-6}$ m

(가) 퀴리는 방사성 핵종의 방사능을 나타내기 위해 핵물리학에서 사용하는 특수단위이다(제12차 CGPM, 1964, 결의사항 7; CR, 94).

(나) 뢰트겐은 X선 및  $\gamma$ 선의 조사선량을 나타내는데 쓰이는 특수단위이다.

(다) 라드는 전리방사선의 흡수선량을 나타내는데 쓰이는 특수단위이다. 라디안의 기호와 혼동될 염려가 있을 때는 rd가 라드의 기호로 쓰일 수 있다.

(라) 렘은 방사선 방호에서 선량당량을 표현하기 위해 쓰이는 특수단위이다.

(마) 이 특수단위는 X-선의 파장을 나타내기 위하여 사용되었다. SI 단위와의 관계는 근사값이다.

(바) 이 SI 이외의 단위는 적당한 십진 분수 접두어를 사용하여 SI 단위와 완전히 동등하게 되는 것을 주목하라.

(사) 메트릭 카라트는 1907년 제4차 CGPM(CR, 89-91)에서 다이아몬드, 진주, 보석의 상거래용으로 채택되었다.

(아) 제10차 CGPM(1954, CR, 79)의 결의사항 4. 101 325 Pa의 기준압력을 “표준기압”이라고 지칭하는 것은 아직 허용되고 있다.

(자) 몇 가지의 “칼로리”가 사용되어 왔다.

- “15 °C에서”라고 명시된 칼로리: 1 cal<sub>15</sub> = 4.1855 J (1950년 CIPM에서 채택된 값; PV, 1950, 22, 79-80),
- “IT(국제 표)”라고 명시된 칼로리: 1 cal<sub>T</sub> = 4.1868 J (제5차 수증기 특성에 관한 국제회의, 런던, 1956),
- “열화학적”이라 명시된 칼로리: 1 cal<sub>th</sub> = 4.184 J.

(차) 마이크론과 그 기호는 1879년 CIPM(PV, 1879, 41)에서 채택되었고, 제9차 CGPM(1948; CR, 70)의 결의사항 7에서 다시 채택되었으나 제13차 CGPM(1967-1968, 결의사항 7; CR, 105 및 *Metrologia*, 1968, 4, 44)에서 폐기되었다.

## 5 SI 단위 명칭과 기호의 표기

### 5.1 일반 원칙

단위기호의 표기에 관한 일반 원칙은 제9차 CGPM(1948, 결의사항 7)에서 처음으로 제안되었다. 그후 채택되어 ISO/TC 12 (ISO 31, 양과 단위)에 상세히 수록되었다.

### 5.2 SI 단위기호

SI 단위기호(많은 SI 이외의 단위기호도 포함)는 다음과 같이 표기한다.

1. 단위기호는 일반적으로 로마체(직립체)를 쓴다. 일반적으로 단위기호는 소문자로 표기하지만 단위의 명칭이 사람의 이름에서 유래하였으면 그 기호의 첫 글자는 대문자로 쓴다. 단위 명칭의 철자를 모두 써야 할 경우에는 문장의 첫 글자 또는 섭씨도(degree Celsius)를 제외하고는 항상 소문자로 표기한다.
2. 단위기호는 복수의 경우에도 변하지 않는다.
3. 문장 끝의 마침표를 제외하고는 단위기호 뒤에 온점을 찍지 않는다.

### 5.3 SI 단위기호의 대수학

CIPM은 ISO/TC 12 (ISO 31)에서 채택한 일반원칙에 따라서 SI 단위기호를 사용하는 대수학적 표현은 표준화된 형태로 쓰도록 권고하고 있다.

1. 두 개 이상의 단위의 곱으로 표시되는 유도단위는 가운데점을 찍거나 한 칸을 띄어 쓴다.

보기:  $N \cdot m$  또는  $N m$

2. 두 개의 단위의 나누기로 표시되는 유도단위를 나타내기 위하여 사선(비스듬히 그은 선 /), 횡선 또는 음의 지수를 사용한다.

보기:  $m/s$  또는  $\frac{m}{s}$  또는  $m \cdot s^{-1}$

3. 괄호로 모호함을 없애지 않는 한, 사선은 곱하기 기호나 나누기 기호와 같은 줄에 사용할 수 없다. 복잡한 경우에는 혼동을 피하기 위하여 음의 지수나 괄호를 사용한다.

보기:  $m/s^2$  또는  $m \cdot s^{-2}$  이며  $m/s/s$  가 아님.  
 $m \cdot kg/(s^3 \cdot A)$  또는  $m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$  이며  $m \cdot kg/s^3/A$  도 아니고,  
 $m \cdot kg/s^3 \cdot A$  도 아님.

#### 5.4 SI 접두어 사용 규칙

CIPM은 ISO(ISO 31)에서 채택된 일반원칙에 따라 다음의 접두어 사용규칙을 지킬 것을 권고하고 있다.

1. 접두어 기호는 로마체(직립체)로 하며 접두어 기호와 단위기호 사이에 칸을 띄우지 않는다.
2. 단위기호에 접두어 기호를 붙여 만들어진 기호는 분리할 수 없는 새로운(해당 단위의 배수 또는 분수의) 단위기호를 형성하며, 양이나 음의 지수형태로 표시할 수도 있고 다른 단위기호와 함께 복합 단위기호를 형성할 수도 있다.

보기:  $1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$   
 $1 \text{ } \mu\text{s}^{-1} = (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 10^6 \text{ s}^{-1}$   
 $1 \text{ V/cm} = (1 \text{ V}) / (10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m}$   
 $1 \text{ cm}^{-1} = (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1}$

3. 복합접두어, 즉 두 개 이상의 접두어를 나란히 붙여 만든 접두어는 쓸 수 없다.

보기:  $1 \text{ nm}$  이며  $1 \text{ m}\mu\text{m}$  가 아님.

4. 접두어는 결코 홀로 사용될 수 없다.

보기:  $10^6/m^3$  이며  $M/m^3$  이 아님.

## 부록 1. CGPM과 CIPM의 결정사항

이 부록은 SI 단위의 정의, SI의 일부로서 사용되도록 정의된 접두어, 단위기호와 숫자를 표기하는 관례 등과 직접적으로 관련된 CGPM과 CIPM의 결정사항들을 열거한 것이다. 이 부록은 CIPM과 CGPM의 결정사항들 모두를 수록한 완전한 목록은 아니다. 완전한 목록은 연속적으로 출판되어온 *Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures(CR)*과 *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures(PV)*를 참고하기 바람이며 좀더 최근의 결정사항은 *Metrologia*를 참고하기 바란다.

SI는 정제되어 있는 관습이 아니라, 측정과학의 발달에 따라 어떤 결정사항은 폐기되기도 하고 수정되기도 하며 추가함으로써 명확하게 하는 등 진보되고 있다. 이러한 변화의 대상이 되었던 결정사항들은 별표(\*)로 표시하여 그 수정 결정에 대한 설명문과 연계시켰다.

각 결정사항의 원문(또는 이들의 번역문)은 고딕체로 써서 주문장과 구별하였다. 별표와 설명문은 문장의 이해를 돕기 위하여 BIPM이 추가한 것이며 원문의 일부는 아니다.

### 1 국제단위계(SI)의 확립에 관한 결정사항

#### 1.1 실용 단위계 : SI의 확립

##### ■ 제9차 CGPM, 1948년, 결의사항 6(CR, 64): 실용 측정 단위계의 확립을 위한 제안

국제도량형총회(CGPM)는

- 국제도량형위원회(CIPM)가 국제물리학연맹(International Union of Physics)으로부터 국제적으로 통용될 실용 국제단위계를 채택할 것을 요청받았으며, 또한 국제물리학연맹은 MKS계와 절대 실용 단위계 중 한 개의 전기단위를 추천하지만 물리학자들이 CGS계를 사용하지 말도록 권고하는 것은 아니라는 것과,
- CGPM이 측정단위의 완벽한 명세를 확립하기 위한 토의의 기초자료로 사용될 초안과 함께 보내온 유사한 요구사항을 프랑스 정부로부터 접수한 것을

고려하여

다음사항을 CIPM에 지시하였다.



- 열의를 가지고 능동적으로 각국의 과학, 기술, 교육계에 공식적인 요청을 하여 의견을 조사할 것(그들에게 프랑스 정부의 문서를 기초자료로 제공함으로써),
- 답신을 회수하고 연구할 것,
- 미터협약에 가입한 모든 국가가 채택하기에 적합한 단일의 실용 측정 단위계를 추천할 것.

#### ■ 제10차 CGPM, 1954, 결의사항 6(CR, 80): 실용 단위계\*

국제적으로 사용될 실용 측정 단위계의 확립에 관하여 제9차 국제도량형총회(CGPM)의 결의사항 6에서 제시된 요청에 따라 제10차 CGPM은 다음단위들을 기본단위로 채택하기로 결정한다.

\* “켈빈도”의 단위 명칭은 1967년에 “켈빈”으로 바뀌었다 (제13차 CGPM, 결의사항 3, p. 42 참조).

길이 ..... 미터  
 질량 ..... 킬로그램  
 시간 ..... 초  
 전류 ..... 암페어  
 열역학적 온도 ..... 켈빈도  
 광도 ..... 칸델라

## 1.2 SI (국제단위계)

#### ■ CIPM, 1956, 결의사항 3(PV, 25, 83): 국제단위계

국제도량형위원회는

- 미터협약을 따르는 모든 나라에서 채택하기에 적당한 실용 측정 단위계의 확립에 관하여 제9차 국제도량형총회의 결의사항 6에 의하여 맡겨진 과제와
- 제9차 CGPM에 의해 요청된 질문에 응하여 21개국으로부터 받은 답변서와
- 확립될 단위계의 기본단위를 결정하는 제10차 CGPM의 결의사항 6을 고려하여

다음과 같이 권고한다.

1. 제10차 CGPM에서 채택된 기본단위를 바탕으로 이루어진 단위계에 “국제단위계”라는 명칭을 붙일 것, 즉:  
 [여기에 제11차 CGPM(1960)의 결의사항 12에 재록된 여섯 개 기본단위의 목록이 그들의 기호와 함께 실렸음]
2. 추후에 추가될지도 모르는 다른 단위들도 배제하지 말고 아래 표에 실린 단위들을 사용할 것:  
 [여기에 제11차 CGPM(1960) 결의사항 12의 제4항에 재록된 단위의 표가 실렸음]

■ 제11차 CGPM, 1960, 결의사항 12(CR, 87): 국제단위계\*

제11차 국제도량형총회(CGPM)는

- 국제적으로 사용될 실용 측정 단위계를 확립하기 위하여 아래 6개의 기본 단위를 채택한 제10차 CGPM의 결의사항 6 :

길이 .....	미터	m
질량 .....	킬로그램	kg
시간 .....	초	s
전류 .....	암페어	A
열역학적 온도 .....	켈빈도	°K
광도 .....	칸델라	cd

\* CGPM은 후에 결정사항 중 몇 가지를 폐기하고 접두어의 목록을 확장하였다. 다음의 주석 참조.

열역학적 온도의 단위 명칭과 기호는 제13차 CGPM에서 수정되었다.(1967-1968, 결의사항 3, p. 42 참조)

- 1956년 국제도량형위원회(CIPM)가 채택한 결의사항 3과
- 단위계의 명칭에 대한 약칭과 단위의 배수 및 분수를 형성하기 위한 접두어에 관하여 1958년 CIPM에서 채택된 권고사항을 고려하여 다음 사항을 결정한다.

1. 상기 6개의 기본단위를 바탕으로 이루어진 단위계를 “국제단위계”라 부른다.
2. 이 단위계 명칭의 국제적인 약칭은 SI이다.
3. 단위의 배수와 분수의 명칭은 다음의 접두어로 구성된다.

7번째 기본단위인 몰은 제14차 CGPM에서 채택되었다.(1971, 결의사항 3, p. 43 참조)

곱 할 인 자	접 두 어	기 호
1 000 000 000 000 = 10 <sup>12</sup>	테 라	T
1 000 000 000 = 10 <sup>9</sup>	기 가	G
1 000 000 = 10 <sup>6</sup>	메 가	M
1 000 = 10 <sup>3</sup>	킬 로	k
100 = 10 <sup>2</sup>	헥 토	h
10 = 10 <sup>1</sup>	데 카	da
0.1 = 10 <sup>-1</sup>	데 시	d
0.01 = 10 <sup>-2</sup>	센 티	c
0.001 = 10 <sup>-3</sup>	밀 리	m
0.000 001 = 10 <sup>-6</sup>	마이크로	μ
0.000 000 001 = 10 <sup>-9</sup>	나 노	n
0.000 000 000 001 = 10 <sup>-12</sup>	피 코	p

제12차 CGPM(1964, 결의사항 8, p. 47 참조), 제15차 CGPM(1975, 결의사항 10, p. 47), 제19차 CGPM(1991, 결의사항 4, p. 48)에서 새로운 접두어가 채택되었다.

4. 추후에 추가될지도 모르는 다른 단위들도 배제하지 말고 아래 기재된 단위들은 이 단위계에서 사용된다.

보충단위

평면각 .....	라디안	rad
입체각 .....	스테라디안	sr

제20차 CGPM은 SI의 보충단위 부류를 폐기하였다.(1995, 결의사항 8, p. 47 참조) 현재는 이들은 유도단위로 간주된다.

유도단위

넓이 .....	제곱미터	$m^2$	
부피 .....	세제곱미터	$m^3$	
진동수, 주파수 .....	헤르츠	Hz	1 / s
질량밀도 (밀도) .....	킬로그램 매 세제곱미터	$kg / m^3$	
속력, 속도 .....	미터 매 초	m / s	
각속도 .....	라디안 매 초	rad / s	
가속도 .....	미터 매 초 제곱	$m / s^2$	
각가속도 .....	라디안 매 초 제곱	$rad / s^2$	
힘 .....	뉴턴	N	$kg \cdot m / s^2$
압력 (역학적 응력) .....	뉴턴 매 제곱미터	$N / m^2$	
동적 점성도 .....	제곱미터 매 초	$m^2 / s$	
점성도 .....	뉴턴-초 매 제곱미터	$N \cdot s / m^2$	
일, 에너지, 열량 .....	줄	J	N · m
일률, 전력 .....	와트	W	J / s
전기량 .....	쿨롱	C	A · s
전압, 전위차, 기전력 .....	볼트	V	W/A
전기장의 세기 .....	볼트 매 미터	V/m	
전기저항 .....	옴	$\Omega$	V/A
전기용량 .....	패럿	F	A · s / V
자기선속 .....	웨버	Wb	V · s
인덕턴스 .....	헨리	H	V · s / A
자기선속밀도 .....	테슬라	T	$Wb / m^2$
자기장의 세기 .....	암페어 매 미터	A/m	
기자력 .....	암페어	A	
광선속 .....	루멘	lm	cd · sr
휘도 .....	칸델라 매 제곱미터	$cd / m^2$	
조명도 .....	럭스	lx	$lm / m^2$

제13차 CGPM (1967-1968, 결의사항 6, p. 45 참조)은 이 목록에 추가되어야 할 다른 단위들을 명시하였다. 원칙적으로 유도단위의 목록에는 제한이 없다.

■ CIPM, 1969, 권고사항 1(PV, 37, 30 및 *Metrologia*, 1970, 6, 66): 국제단위계, 제 11차 CGPM(1960)의 결의사항 12의 적용에 관한 규칙\*

국제도량형위원회는

국제단위계에 관한 제11차 국제도량형총회(1960)의 결의사항 12가 어떤 면에서는 논의점을 야기시켰다는 것을 고려하여 다음과 같이 선언한다.

\* 제20차 CGPM은 SI의 보충단위 부류를 폐기하기로 결정하였다.(1995, 결의사항 8, p. 47 참조)

1. 일관성 있는 집합을 형성하는 국제단위계의 기본단위, 보충단위 및 유도단위들을 “SI 단위”라고 명명한다.
2. SI 단위의 십진 배수 및 분수를 형성하기 위하여 CGPM이 채택한 접두어를 “SI 접두어”라고 부른다.

그리고 다음과 같이 권고한다.

3. SI 단위들과 SI 접두어에 의해서 그 명칭이 형성된 SI 단위의 십진 배수 및 분수들을 사용할 것.

주: 제11차 CGPM의 결의사항 12(또한 본 권고사항)에 나타난 “보충단위”라는 명칭은 총회에서 기본단위인지 유도단위인지가 분명히 밝혀지지 않은 SI 단위에 대하여 주어졌다.

## 2 SI 기본단위에 관련된 결정사항

### 2.1 길이

#### ■ 제1차 CGPM, 1889(CR, 34-38): 미터와 킬로그램에 대한 국제원기의 인준\*

국제도량형총회는

- 국제미터위원회 프랑스분과와 국제도량형위원회의 공동연구에 의하여 현재 과학수준이 허용하는 최고의 정확성과 신뢰성을 가지고 미터와 킬로그램의 국제 및 국가원기에 대한 기본측정이 이루어졌음을 설명한 “국제도량형위원장의 회의록”과 “CIPM 보고서”와
- 미터와 킬로그램의 국제 및 국가원기가 오차 0.0001 이내에서 10 퍼센트의 이리듬을 함유한 백금의 합금으로 만들어졌다는 것과
- 국제 미터의 길이와 국제 킬로그램의 질량이 프랑스 문서보관국에 소장되어 있는 미터의 길이와 킬로그램의 질량과 동일하다는 것과
- 국가 미터들과 국제 미터 사이의 길이 차이가 0.01 밀리미터 이내이며 이 차이는 동일 조건이 보장되면 수소의 안정성 때문에 언제나 재현할 수 있는 수소온도계 눈금에 기초를 두고 있다는 것과
- 국가 킬로그램들과 국제 킬로그램 사이의 질량 차이가 1 밀리그램 이내라는 것과
- 국제 미터와 킬로그램 그리고 국가 미터들과 킬로그램들이 미터협약의 요구조건을 만족한다는 것을

고려하여

다음 사항들을 인준한다.

가. 국제원기에 대하여:

1. CIPM이 선정한 미터원기  
이제부터 이 원기는 얼음이 녹는 온도에서 길이의 미터단위를 나타낸다.
2. CIPM이 채택한 킬로그램원기  
이제부터 이 원기는 질량의 단위로 간주된다.
3. 미터원기의 방정식을 확립하는데 사용된 수소온도계의 백분눈금

나. 국가원기들에 대하여:

• • • • •

\* 이 미터정의는 1960년에 폐기되었음 (제11차 CGPM, 결의사항 6, 아래 참조).

■ 제7차 CGPM, 1927(CR, 49): 국제원기에 의한 미터의 정의\*

길이의 단위는 미터이며 이는 국제도량형국에 소장되어 있는 백금-이리듐 막대가 0° 일 때 그 위에 표시되어 있는 두 중앙선의 축 사이의 거리로 정의되며 제1차 국제도량형총회에서 미터원기로 선언되었고, 이 막대는 표준기압에서 서로 571 mm 떨어져서 동일 수평면 위에 대칭으로 위치해 있는 최소한 직경이 1 센티미터인 두 원통 위에 놓여져야 한다.

\* 이 미터정의는 1960년에 폐기되었음 (제11차 CGPM, 결의사항 6, 아래 참조).

■ 제11차 CGPM, 1960, 결의사항 6(CR, 85): 미터의 정의\*

제11차 국제도량형총회(CGPM)는

- 국제원기가 현재 측정과학에서 필요로 하는 정도의 충분한 정확도로 미터를 정의하지 못한다는 것과,
- 자연현상을 이용한 불변의 표준을 채택하는 것이 더 바람직하다는 것을 고려하여

다음 사항을 결정한다.

1. 미터는 크립톤 86 원자의  $2p_{10}$ 과  $5d_5$  준위간의 전이에 대응하는 복사선의 진공 중에서의 1 650 763.73 파장과 같은 길이이다.
2. 1889년이래 유효하였던, 백금-이리듐 국제원기에 기초를 둔 미터의 정의는 폐기한다.
3. 1889년 제1차 CGPM에서 인준된 국제미터원기는 1889년에 지정한 조건하에 BIPM에 보존한다.

\* 이 정의는 1983년에 폐기되었음 (제17차 CGPM, 결의사항 1, 아래 참조)

■ 제15차 CGPM, 1975, 결의사항 2(CR, 103 및 *Metrologia*, 1975, 11, 179-180): 빛의 속력에 대한 권고값

제15차 국제도량형총회는

가시광선 혹은 적외선 영역에서 하나의 분자 흡수선에 안정화된 레이저 복사선들의 파장 측정결과들이 미터 현시의 불확도인  $\pm 4 \times 10^{-9}$  정도로 서로 매우 잘 일치함을 고려하고,

또한 몇 가지 복사선들의 주파수 측정결과들이 잘 일치함을 고려하여,

진공에서 전자파의 진행 속력으로 그 결과값  $c = 299\,792\,458$  미터 매 초를 사용할 것을 권고한다.

여기에 주어진 상대 불확도는 고려된 데이터의 3 표준편차에 상당하는 것으로 간주된다.

■ 제17차 CGPM, 1983, 결의사항 1(CR, 97 및 *Metrologia*, 1984, 20, 25): 미터의 정의

제17차 국제도량형총회(CGPM)는

- 현재의 정의로는 모든 요구에 부응하는 충분히 정확한 미터의 실현이 불가능하며,
- 레이저 안정화의 발전으로 인하여 크립톤 86 램프로부터 방출되는 표준 복사선보다 더 재현성 있고 사용하기 쉬운 복사선을 얻을 수 있고,

- 이러한 복사선에 대한 주파수와 파장 측정의 진보로, 현재의 미터 정의의 현시에 의하여 주로 그 정확도가 제한되고 있는 빛의 속력에 대하여 현재의 빛의 속력에 일치하는 측정값들을 얻게 되었고,
- 주파수의 측정과 주어진 빛의 속력값으로부터 구한 파장이 크립톤 86 표준 복사선의 파장과 비교하여 얻을 수 있는 파장보다 월등한 재현성을 가지고 있고,
- 1975년 제15차 CGPM 결의사항 2에 권고되었던 빛의 속력값( $c = 299\,792\,458$  m/s)을 변화시키지 않고 유지하는 것이 특히 천문학과 측지학에 이점이 있으며,
- 권고된 값과 동일하고 정확한 빛의 속력값을 얻기 위한 새로운 미터의 정의가 다양한 방법으로 시도되었으며, 또한 현재의 미터 정의에서 최선의 현시값이 상대 불확도  $\pm 4 \times 10^{-9}$  인 것을 고려할 때 이는 길이의 단위에 어떤 인지할 만한 불일치를 초래하지 않으며,
- 특정 시간간격 동안 빛이 진행한 경로나 혹은 측정되었거나 명시된 주파수를 가진 복사선의 파장을 기준으로 하는 이런 여러 방법들이 자문과 진지한 논의의 대상이 되어 왔으며, 동등한 것으로 인정되었고, 그 중 첫 번째 것을 선호하는 의견의 일치에 이루어졌으며,
- 그러한 정의의 실제적인 현시를 위하여 이제 미터정의 자문위원회(CCDM)는 지금까지 표준으로 사용되어 왔던 크립톤 86의 오렌지 복사선의 사용을 포함할 수 있으며, 적당한 절차에 따라 확장하거나 개정할 수 있는 지침을 제공할 위치에 있다는 것을

여기에 주어진 상대불확도는 고려된 데이터의 3 표준편차에 해당한다.

고려하여

다음 사항을 결정한다.

1. 미터는 빛이 진공에서  $1 / 299\,792\,458$  초 동안 진행한 경로의 길이이다.
2. 1960년 이래로 시행되어 왔던 크립톤 86 원자의  $2p_{10}$ 과  $5d_5$  준위 사이의 전이에 기초한 미터의 정의는 폐기된다.

■ 제17차 CGPM, 1983, 결의사항 2(CR, 98 및 *Metrologia*, 1984, 20, 25-26): 미터 정의의 현시에 대하여

미터 정의의 실제적 현시의 개정에 관한 CIPM의 권고사항 1 (CI-1997) 참조 (부록 2, p. 52).

제17차 국제도량형총회는

- 미터의 새로운 정의의 실제적 현시를 위한 지침사항을 작성하고,
- 간섭계를 이용한 길이 측정을 위하여 표준파장으로 권고될 수 있는 복사선들을 선택하고, 그것들의 사용을 위한 지침사항을 작성할 것과,
- 이 표준들을 개선하기 위하여 부여된 연구를 수행할 것을 국제도량형위원회에게 위촉한다.

## 2.2 질량

- 제1차 CGPM, 1889(CR, 34-38): 미터와 킬로그램에 대한 국제원기의 인준  
(p. 34 참조)

- 제3차 CGPM, 1901(CR, 70): 질량의 단위와 무게의 정의에 관한 선언 ;  $g_n$ 의 협정 값

킬로그램을 질량의 단위로 정의한 1887년 10월 15일 국제도량형위원회의 결정을 고려하고,

1889년 9월 26일 국제도량형총회에서 만장일치로 승인된 미터계의 원기에 대한 인준에 포함된 결정사항을 고려하고,

무게라는 단어의 의미가 때로는 질량을, 때로는 역학적 힘을 나타내는데 사용되는 모호함을 종식시킬 필요성을 고려하여 총회는 다음 사항을 선언한다.

1. 킬로그램은 질량의 단위이며, 국제킬로그램원기의 질량과 같다;
2. “무게”라는 단어는 “힘”과 같은 성질의 양을 나타낸다: 한 물체의 무게는 그 질량과 중력가속도의 곱이며, 특히 한 물체의 표준 무게는 그 질량과 표준 중력가속도의 곱이다.
3. 국제도량형 지원본부에서 채택된 표준 중력가속도의 값은  $980.665 \text{ cm/s}^2$ 이고, 이 값은 이미 몇 나라의 법에 명기되어 있다.

이  $g_n$  값은 현재는 폐기된 단위인 킬로그램중을 계산하기 위한 협정 기준값이었다.

- CIPM, 1967, 권고사항 2(PV, 35, 29 및 *Metrologia*, 1968, 4, 45): 질량단위의 십진 배수 및 분수

국제도량형위원회는

제11차 국제도량형총회(1960)의 결의사항 12, 제3 항에 있는 단위의 십진 배수 및 분수의 명칭을 형성하는 규칙이 질량의 단위에 적용될 때는 다르게 해석될 수 있다는 것을 고려하여

제11차 CGPM 결의사항 12의 규칙이 킬로그램에는 다음 방법으로 적용됨을 선언한다: 질량단위의 십진 배수 및 분수의 명칭은 “그램”이란 단어에 접두어를 붙여서 형성된다.

## 2.3 시간

- CIPM, 1956, 결의사항 1(PV, 25, 77): 시간 단위의 정의 (초)\*

국제도량형위원회는 제10차 국제도량형총회의 결의사항 5에 의하여 그 권한을 위임받아,

1. 제9차 국제천문학연맹 총회(더블린, 1955)가 초를 태양년에 연관시키는데 찬성한 다고 선언한 것과

\* 이 정의는 1967년에 폐기되었음(제13차 CGPM 결의사항 1, 아래 참조).

2. 제8차 국제천문학연맹 총회(로마, 1952)의 결정사항에 따라 역표시(ET)의 초가 1900년 1월 0일 12시 ET에 대한 태양년의

$$\frac{12\ 960\ 276\ 813}{408\ 986\ 496} \times 10^{-9} \text{ 이라는 것을}$$

고려하여

“초는 역표시로 1900년 1월 0일 12시에 대한 태양년의  $1/31\ 556\ 925.9747$  이다”라고 결정한다.

■ 제11차 CGPM, 1960, 결의사항 9(CR, 86) : 시간 단위의 정의 (초)\*

제11차 국제도량형총회(CGPM)는

- 제10차 CGPM이 시간의 기본단위를 정의하도록 국제도량형위원회(CIPM)에 부여한 권한과
- 1956년 CIPM이 취한 결정사항을

고려하여,

다음 정의를 비준한다.

“초는 역표시로 1900년 1월 0일 12시에 대한 태양년의  $1/31\ 556\ 925.9747$  이다.”

\*이 정의는 1967년에 폐기되었음(제13차 CGPM, 결의사항 1, 아래 참조)

■ 제12차 CGPM, 1964, 결의사항 5(CR, 93) : 원자 주파수 표준

제12차 국제도량형총회(CGPM)는

- 제11차 CGPM이 결의사항 10에서 정확한 측정학을 위하여 원자나 분자 시간 표준을 시급히 채택해야할 것을 언급한 것과
- 세슘 원자 주파수표준기를 이용하여 이미 결과를 얻었지만 현재 진행중인 연구로부터 새롭고도 주목할 만한 개선이 얻어질 것으로 예상되어 아직은 CGPM이 국제단위계의 기본단위인 초의 새 정의를 채택할 시기가 아니라는 것을 고려하고,

또한, 물리학에서의 시간측정이 원자나 분자 주파수표준에 기초를 둘 때까지 지연시키는 것이 바람직하지 못하다는 것을

고려하여,

당분간 사용할 원자나 분자 주파수표준을 지정할 권한을 국제도량형위원회에 부여하며, 이 분야에 능력이 있는 기관이나 연구소에 초의 새로운 정의와 관계 있는 연구를 계속할 것을 요청한다.

■ CIPM의 선언사항, 1964(PV, 32, 26 및 CR, 93)

국제도량형위원회는

제12차 국제도량형총회의 결의사항 5에 의하여 물리학에서 시간측정에 임시로 사용할 원자나 분자 주파수표준을 지정할 권한을 위임받아,

앞으로 사용할 표준은 외부 장(external field)에 의하여 섭동받지 않은 세슘 133 원자의 바닥상태  $^2S_{1/2}$ 의 초미세 준위  $F=4, M=0$ 와  $F=3, M=0$  간의 전이로 하며, 이 전이의 주파수를 9 192 631 770 헤르츠로 할 것을 선언한다.



■ 제13차 CGPM, 1967-1968, 결의사항 1(CR, 103 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43): 시간의 SI 단위 (초)

제13차 국제도량형총회(CGPM)는

- 1956년 국제도량형위원회(결의사항 1)에서 채택되어, 제11차 CGPM(1960)의 결의사항 9에 의해서 비준되고 그 후 제12차 CGPM(1964)의 결의사항 5에 의해서 지지받은 초의 정의가 현재 측정학의 요구에는 적합하지 못하다는 것과,
- 제12차 CGPM(1964)의 결의사항 5에 의해서 권한을 위임받은 국제도량형위원회(CIPM)가 이 요구를 충족시키기 위하여 1964년 회의 시에 세슘 원자 주파수표준을 잠정적으로 사용하도록 권고한 것과,
- 충분한 시험을 거쳐 이 주파수표준이 현재의 요구를 충족시킬 초의 정의를 제공하기에 충분히 정확하다고 증명된 것과,
- 현재 국제단위계의 시간의 단위로 사용중인 정의를 이제는 원자 표준에 바탕을 둔 원자 정의로 대체할 때가 되었다는 것을

고려하여

다음 사항을 결정한다.

1. 시간의 SI 단위는 다음과 같이 정의된 초이다.  
“초는 세슘 133 원자의 바닥상태에 있는 두 초미세 준위간의 전이에 대응하는 복사선의 9 192 631 770 주기의 지속시간이다.”
2. CIPM이 1956년 회의에서 채택한 결의사항 1과 제11차 CGPM의 결의사항 9는 이제 폐기한다.

1997년 CIPM 회의에서 이 정의는 열역학적 온도 0 K에서 바닥상태에 있는 세슘 원자에 적용된다는 것을 확실히 하였다.

■ 제14차 CGPM, 1971, 결의사항 1(CR, 77 및 *Metrologia*, 1972, 8, 35): 국제원자시, CIPM의 기능

제14차 국제도량형총회(CGPM)는

- 국제단위계에서 시간의 단위인 초가 1967년이래 자연의 원자 주파수로 정의되어 왔으며, 더 이상 천체운동에 의한 시간척도로 정의되지 않는다는 것과,
- 국제원자시(TAI) 척도의 필요성은 초의 원자적인 정의에 따른 결과라는 것과,
- 몇 개의 국제기구가 천체운동에 기초를 둔 시간척도의 확립을 보증해 왔고 아직도 성공적으로 보증하고 있으며, 특히 국제시보국(BIH)의 지속적인 지원에 감사하며,
- 특성을 인정받고 유용성이 증명된 원자시간 척도를 국제시보국이 확립하기 시작한 것과,
- 초를 실현하는 원자 주파수표준이 자문위원회의 도움을 받아 국제도량형위원회(CIPM)에 의해서 고려되었으며 또 계속 고려되어야 하고, 원자시간 척도의 단위 간격이 원자적 정의에 따라 실현되는 초라는 것과,
- 이 분야에서 활동하는 모든 능력 있는 국제 과학기구와 국립연구소가 CIPM과 CGPM이 국제원자시의 정의를 내려 주고, 국제원자시의 척도 확립에 기여해 주기를 희망한다는 의사를 표시한 것과,
- 국제원자시의 유용성은 천체운동에 바탕을 둔 시간척도와 긴밀한 조정을 필요로 한

다는 것을  
고려하여  
다음 사항을 CIPM에 요청한다.

1. 국제원자시의 정의를 내릴 것,
2. 관련 국제기구의 동의를 얻어 필요한 절차를 통하여, 현재 있는 모든 과학 능력과 설비를 국제원자시간 척도를 실현하는데 최선의 방법으로 사용하고, 국제원자시 사용자의 요구를 충족시킬 것.

국제원자시의 정의에 관한 CIPM과 CCDS (현재의 CCTF)의 권고안은 부록 2, p. 61 참조.

■ 제15차 CGPM, 1975, 결의사항 5(CR, 104 및 *Metrologia*, 1975, 11, 180): 세계협정시(UTC)

제15차 국제도량형총회는

“세계협정시”(UTC)라고 불리는 체계는 널리 사용되고 있고, 또한 대부분의 시간신호 방송을 통하여 전송되고 있으므로, 이와 같은 보편적인 보급은 주파수표준 뿐 아니라 국제원자시와 세계시(또는 평균태양시)의 근사값으로서 많은 사용자들이 이용이 가능한 것을 고려하고,

세계협정시가 일반인들을 위한 시간의 기반을 제공하고, 이를 사용하는 것이 대부분의 국가에서 합법적이라는 것을 주목하여,

이것의 사용을 강력히 추천할 수 있다고 판단한다.

2.4 전류

■ CIPM, 1946, 결의사항 2(PV, 20, 129-137): 전기단위의 정의

. . . . .

4. (가) 전기단위 정의의 구성요소가 되는 역학단위의 정의 :

힘의 단위 - 힘의 단위는 [MKS(미터, 킬로그램, 초)계에서] 1 킬로그램의 질량에 1 미터 매 초 제곱의 가속도를 주는 힘이다.

줄(에너지 혹은 일의 단위) - 줄은 힘의 1 MKS 단위[뉴턴]의 작용점이 힘의 방향으로 1 미터의 거리를 움직일 때 한 일이다.

와트(일률의 단위) - 와트는 1 초간에 1 줄의 에너지를 일으키는 일률이다.

(나) 전기단위의 정의. 국제도량형위원회(CIPM)는 전기단위의 이론치를 정의하는 다음과 같은 제의를 수락한다:

암페어(전류의 단위) - 암페어는 무한히 길고 무시할 수 있을 만큼 작은 원형 단면적을 가진 두 개의 평행한 직선 도체가 진공 중에서 1 미터 떨어져 있을 때 두 도체 사이에 매 미터 당  $2 \times 10^{-7}$  힘의 MKS 단위[뉴턴]의 힘을 생기게 하는 일정한 전류이다.

볼트(전위차 및 기전력의 단위) - 볼트는 1 암페어의 일정한 전류가 흐르는 도선의 두 점 사이에서 소모되는 일률이 1 와트일 때 그 두 점 사이의 전위차이다.

옴(전기저항의 단위) - 옴은 기전력이 존재하지 않는 도체의 두 점 사이에 1 볼트의 일정한 전위차가 가해져서 1 암페어의 전류를 도체에 생기게 할 때 이 도체의 두

이 결의사항에 포함된 정의는 제9차 CGPM, 1948 (CR, 49)에서 재가를 얻었으며, 또한 힘의 MKS 단위로서 뉴턴(결의사항 7)이라는 명칭을 채택하였다.

점 사이의 저항이다

쿨롱(전기량의 단위) - 쿨롱은 1 암페어의 전류에 의해 1 초 동안에 운반되는 전기량이다.

패럿(전기 용량의 단위) - 패럿은 1 쿨롱의 전기량이 충전될 때 두 판 사이에 1 볼트의 전위차가 나타나는 축전기의 전기 용량이다.

헨리(전기 인덕턴스의 단위) - 헨리는 전류가 1 암페어 매 초의 비율로 일정하게 변할 때 1 볼트의 기전력이 생성되는 폐회로의 인덕턴스이다.

웨버(자기선속의 단위) - 웨버는 1회 감긴 폐회로 속의 자기선속이 일정한 비율로 1초 동안에 소멸될 때에 그 회로에서 1 볼트의 기전력을 만드는 자기선속이다.

■ 제14차 CGPM, 1971(CR, 78): 파스칼, 지멘스

제14차 국제도량형위원회는 뉴턴 매 제곱 미터의 SI 단위로서 “파스칼”(기호 Pa)을, 전기전도도[옴의 역수]의 SI 단위로서 “지멘스”(기호 S)를 채택하였다.

## 2.5 열역학적 온도

■ 제9차 CGPM, 1948, 결의사항 3(CR, 55 및 63): 물의 3중점; 단일 고정점을 가진 열역학적 눈금; 열량의 단위 (줄)

1. 현재의 기술로 물의 3중점은 얼음의 녹는점보다 더 정확한 온도 기준점이 될 수 있다. 따라서 온도측정 및 열량측정자문위원회(CCTC)는 백분법에 의한 열역학적 눈금의 영점은 순수한 물의 3중점보다 0.0100 도 낮은 온도로 정의되어야 한다고 생각한다.
2. CCTC는 현재 순수한 물의 3중점을 단일 기본 고정점으로 하는 절대 열역학적 눈금의 원칙을 수락한다. 그 고정점의 절대온도는 후에 정할 것이다. 이 새로운 눈금의 도입은 실용눈금으로 권고되어 있는 국제눈금을 사용하는데는 전혀 영향을 주지 않는다.
3. 열량 단위는 줄(joule)이다.

주 : 열량측정 실험의 결과는 가능한 한 줄로 표시하도록 한다. 열량측정 실험이 물의 온도상승과 비교함으로써 행해진다면(그리고 어떤 이유가 있어 칼로리를 사용하지 않을 수 없을 때에는) 줄로 환산하는데 필요한 정보를 반드시 제공하여야 한다. CIPM은 CCTC의 자문을 받아서 물의 비열에 관한 실험에서 얻을 수 있는 가장 정확한 값을 줄 매 도로 나타낸 표를 제공하여야 한다.

이 요청에 의하여 작성된 표는 1950년에 CIPM에서 승인되고, 발간되었다(PV, 22, 92).

■ CIPM, 1948(PV, 21, 88) 및 제9차 CGPM(CR, 64) : “섭씨도”의 채택

온도를 나타내기 위하여 제안된 세 가지 명칭(“백분도”, “백분법도”, “섭씨도”) 중에서 CIPM은 “섭씨도”를 선택하였다 (PV, 21, 88).

이 명칭은 제9차 CGPM에서도 채택되었다 (CR, 64).

■ 제10차 CGPM, 1954, 결의사항 3(CR, 79) : 열역학적 온도눈금의 정의\*

제10차 국제도량형총회는 물의 3중점을 기본 고정점으로 선정하고, 그 온도를 정확히 273.16 켈빈도로 하는 열역학적 온도눈금을 정의하기로 결정한다.

\* 13차 CGPM (1967-1968, 결의사항 4, 아래 참조)은 켈빈을 명확하게 정의하였다.

■ 제10차 CGPM, 1954, 결의사항 4(CR, 79) : 표준기압의 정의

제10차 국제도량형총회(CGPM)는 제9차 CGPM에서 사용된 표준기압의 정의가 국제 온도눈금을 정의하는 과정에서 일부 물리학자들에게 표준기압이 정확한 온도측정 작업에서만 유효하다고 믿게끔 만든다는 것에 주목하여 일반적으로 사용하도록 다음의 정의를 채택한다고 선언하였다.

1 표준기압 = 1 013 250 다인 매 제곱 센티미터  
즉, 101 325 뉴턴 매 제곱 미터

■ 제13차 CGPM, 1967-1968, 결의사항 3(CR, 104 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43): 열역학적 온도의 SI 단위(켈빈)\*

제13차 국제도량형총회(CGPM)는

- 제9차 CGPM(1948)의 결의사항 7과 제11차 CGPM(1960)의 결의사항 12 및 1962년에 국제도량형위원회에서 채택된 결정사항(PV, 30, 27)에 주어진 명칭 “켈빈도”와 “도”, 기호 “°K”와 “deg” 및 이들의 사용에 관한 규칙과,
- 열역학적 온도의 단위와 온도구간의 단위가 하나이고, 단일명칭과 단일기호로 표시해야 하는 동일 단위라는 것을

고려하여

다음 사항을 결정한다.

1. 열역학적 온도의 단위를 “켈빈”이란 명칭으로 나타내고, 그 기호는 “K”이며,
2. 온도구간을 표시하는데 동일한 명칭과 기호를 사용하며,
3. 온도구간은 섭씨도로도 표시할 수 있고,
4. 서두에서 언급한 열역학적 온도단위의 명칭 및 온도구간이나 온도차를 나타내는 단위의 기호 및 그 지정에 관한 결정은 폐기하나 이 결정들에 따른 사용은 당분간 허용한다.

\* 1980년 회의에서 CIPM은 기호 “K” 및 “deg”의 사용을 더 이상 허용하지 않아야 된다는 CCU의 7차 회의 보고서를 승인하였다.

■ 제13차 CGPM, 1967-1968, 결의사항 4(CR, 104 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43): 열역학적 온도의 SI 단위(켈빈)의 정의\*

제13차 국제도량형총회(CGPM)는

제10차 CGPM(1954)의 결의사항 3에 있는 열역학적 온도 단위의 정의를 보다 명확하게 공식화하는 것이 유용하다는 점을 고려하여,  
이 정의를 다음과 같이 표현하기로 결정한다.

“열역학적 온도의 단위인 켈빈은 물의 3중점의 열역학적 온도의 1/273.16이다.”

\* 1990년의 국제온도눈금에 대한 CIPM의 권고사항 5 (CI-1989)를 참조 (부록 2, p. 66).

2.6 물질량

■ 제14차 CGPM, 1971, 결의사항 3(CR, 78 및 *Metrologia*, 1972. 8. 36): 물질량의 SI 단위(몰)\*

제14차 국제도량형총회(CGPM)는, 물질량의 단위를 정의할 필요성에 관한 국제순수응용물리학연맹, 국제순수응용화학연맹과 국제표준화기구의 조언을 고려하여 다음과 같이 결정한다.

1. 몰은 탄소 12의 0.012 킬로그램에 있는 원자의 개수와 같은 수의 구성요소를 포함하는 계의 물질량이고, 그 기호는 “mol”이다.
2. 몰을 사용할 때에는 구성요소가 무엇인가를 명확히 밝혀야 한다. 그리고 이 구성요소는 원자, 분자, 이온, 전자, 기타 입자 또는 이들의 집단이 될 수 있다.
3. 몰은 국제단위계의 기본단위이다.

\* CIPM은 1980년 회의에서 “이 정의에서 탄소 12는 정지상태이며 바닥상태에 있는 속박되어 있지 않은 원자를 가리킨다”고 명시한 CCU (1980)의 제7차 회의 보고서를 승인하였다.

2.7 광도

■ CIPM, 1946, 결의사항(PV, 20, 119-122): 광측정 단위의 정의\*

.....

4. 광측정 단위는 다음과 같이 정의된다.

신축광 (광도의 단위) - 신축광은 백금 응고점에서 완전 복사체의 밝기가 60 신축광 매 제곱 센티미터가 되는 값이다.

신루멘 (광선속의 단위) - 신루멘은 1 신축광의 광도를 가지는 등방성 점 광원에 의하여 단위 입체각 (스테라디안)으로 방출되는 광선속이다.

5. ....

■ 제13차 CGPM, 1967 - 1968, 결의사항 5(CR, 104 및 *Metrologia*, 1968, 4, 43-44): 광도의 SI 단위 (칸델라)\*

제13차 국제도량형총회(CGPM)는

- 제9차 CGPM(1948)에서 비준되었고, 제8차 CGPM(1933)로부터 위임받은 권한으로 1946년 국제도량형위원회(PV, 20, 119)가 채택한 “광측정 단위 변경에 관한 결의사항”에 담겨진 광도 단위의 정의와
- 그 정의가 광도의 단위를 확고히 함에 있어서 만족스러우나, 그 문구가 비평의 여지가 있다는 것을

고려하여,

칸델라의 정의를 다음과 같이 표현하기로 결정한다.

“칸델라는 101 325 뉴턴 매 제곱 미터의 압력 하에서 백금 응고점에 유지된 흑체의 표면 1/600 000 제곱 미터의 수직방향에 대한 광도이다.”

\* 이 결의사항에 포함된 두 가지 정의는 제9차 CGPM(1948)에서 비준되었으며, 여기서 “신축광”에 주어진 명칭 칸델라를 승인하였다(CR. 54). 루멘의 경우, 수식어 “신”은 후에 폐기하였다. 이 정의는 제13차 CGPM에서 수정되었다 (1967-1968, 결의사항 5, 아래 참조).

\* 이 정의는 제16차 CGPM에서 폐기되었다(1979, 결의사항 3, 아래 참조)

■ 제16차 CGPM, 1979, 결의사항 3(CR, 100 및 *Metrologia*, 1980, 16, 56): 광도의 SI 단위 (칸델라)

제16차 국제도량형총회(CGPM)는

- 몇 연구소의 탁월한 노력에도 불구하고 현재의 흑체 원기에 기초를 둔 칸델라의 현시결과들 사이에 너무 큰 차이가 여전히 존재하는 것과,
- 복사측정기술이 빠르게 발전하고 있어서, 이미 광측정기술에서와 동등한 정밀도를 얻을 수 있으며, 그러한 기술이 흑체를 제작하지 않고도 칸델라를 실현할 수 있는 방법으로 각 국립연구소에서 이미 사용되고 있는 것과,
- 광측정에서의 광량과 복사측정량 사이의 관계, 즉 주파수  $540 \times 10^{12}$  헤르츠 단색 광의 분광시각 효능에 대해 683 루멘 매 와트라는 값이 1977년에 국제도량형위원회(CIPM)에서 채택된 것과,
- 이 값은 밝은 빛 시감량에 대해 충분히 정확하다고 받아들여지고 있으며 어두운 빛 시감량에 대해서도 단지 3 % 정도의 변경만을 의미하기 때문에 만족스런 연속성 유지를 가능하게 한다는 것과,
- 광도표준 현시의 용이성과 정밀도를 개선할 수 있도록 하기 위해, 또한 밝은 빛 시감측정과 어두운 빛 시감측정 양편에 모두 적용할 수 있고 앞으로 정의되어야 할 희미한 빛 시감측정 분야에도 적용할 수 있도록 하기 위한 칸델라의 새로운 정의를 내릴 시기가 된 것을

고려하여,

다음 사항을 결정한다.

1. 칸델라는 진동수  $540 \times 10^{12}$  헤르츠인 단색광을 방출하는 광원의 복사도가 어떤 주어진 방향으로 매 스테라디안 당 1/683 와트(W)일 때 이 방향에 대한 광도이다.
2. 1933년 제8차 CGPM의 위임을 받아 1946년에 CIPM에서 채택되었고, 1948년 제9차 CGPM에서 비준되고, 1967년 제13차 CGPM에서 수정된 칸델라(그 당시 신축광으로 불림)의 정의는 폐기한다.

### 3 SI 유도단위와 보충단위에 관한 결정사항

#### 3.1 SI 유도단위

■ 제12차 CGPM, 1964, 결의사항 7(CR, 94): 퀴리\*

제12차 국제도량형 총회는

퀴리가 방사성 핵종에 대한 방사능의 단위로서 여러 나라에서 오랫동안 사용되어 오고 있음을 고려하고,

국제단위계에서 이 방사능의 단위는 초에 음의 1제곱( $s^{-1}$ )한 것임을 인정하여,

퀴리는  $3.7 \times 10^{10} s^{-1}$ 의 값을 갖는 방사능의 단위로서 국제단위계 이외에 병용단위로 아직 사용함을 허용한다. 이 단위의 기호는 Ci이다.

\*명칭 “베크렐”(Bq)이 제15차 CGPM 회의(1975, 결의사항 8, 아래 참조)에서 방사능의 SI 단위로 채택되었다:  
1 Ci =  $3.7 \times 10^{10}$  Bq.

■ 제13차 CGPM, 1967-1968, 결의사항 6(CR, 105 및 *Metrologia*, 1968, 4, 44): SI 유도단위\*

제13차 국제도량형총회(CGPM)는 제11차 CGPM(1960)의 결의사항 12, 제4항의 목록에 몇 개의 유도단위를 추가하는 것이 유용하다는 것을 고려하여 다음을 추가하기로 결정한다:

파동수 .....	1 매 미터	$m^{-1}$
엔트로피 .....	줄 매 켈빈	$J / K$
비열용량 .....	줄 매 킬로그램 켈빈	$J / (kg \cdot K)$
열전도도 .....	와트 매 미터 켈빈	$W / (m \cdot K)$
복사도 .....	와트 매 스테라디안	$W / sr$
(방사성 선원의) 방사능 .....	1 매 초	$s^{-1}$

\* 방사능의 단위에는 제15차 CGPM 회의에서 특별한 명칭과 기호가 주어졌다(1975, 결의사항 8, 아래 참조).

■ 제15차 CGPM, 1975, 결의사항 8과 9(CR, 105 및 *Metrologia*, 1975, 11, 180): 전리 방사선에 대한 SI 단위 (베크렐, 그레이)\*

제15차 국제도량형총회는 방사선 연구 및 응용에 국제단위계의 사용을 확대하기 위하여 국제방사선 단위 및 측정위원회(ICRU)에 의해서 표현된 절실한 요구와 또한 비전문가들에게 방사선 단위의 사용을 가급적 쉽게 하기 위한 필요성 때문에

\* CIPM은 1976년 회의에서 ICRU의 권유에 따라 그레이가 비부여 에너지, 커마, 흡수선량의 표시에도 사용될 수 있음을 명시하며 제5차 CCU(1976) 회의의 보고서를 승인하였다.

방사선 치료작업 중 범할 수 있는 중대 과오의 위험을 고려하여 방사능의 SI 단위에 대한 다음의 특수명칭을 채택한다:

기호가 Bq인 베크렐은 1 역 초와 같다(결의사항 8).

전리방사선분야의 SI 단위에 대한 다음의 특별한 명칭을 채택한다.:

기호가 Gy인 그레이는 1 줄 매 킬로그램과 같다(결의사항 9).

주: 그레이는 흡수선량의 SI 단위이다. 또한 전리방사선 분야에서 그레이는 줄 매 킬로그램으로 표시된 다른 물리량들과 함께 사용될 수 있다. 단위자문위원회는 유능한 국제기구들과 협력하여 이러한 문제를 연구할 책임을 진다.

■ 제16차 CGPM, 1979, 결의사항 5(CR, 100 및 *Metrologia*, 1980, 16, 56): 선량당량의 SI 단위에 대한 특별한 명칭(시버트)\*

제16차 국제도량형총회는

- 전리방사선 분야에 SI 단위를 도입하려고 경주한 노력과,
- 과소 평가된 방사선량의 인간에 대한 위험성과 흡수선량과 선량당량 사이의 혼동으로 일어날 수 있는 위험성과,
- 특별한 명칭의 증가가 국제단위계에 대한 일종의 위험을 의미하며 따라서 모든 가능한 방법을 동원하여 피하여야 하나, 인간의 건강에 대한 안전의 문제인 경우에는 이 원칙이 깨질 수도 있다는 것을

고려하여

\* CIPM(1984, 권고사항 1)은 이 결의사항에 아래에 주어진 설명을 추가하기로 결정하였다.

방사선방호 분야에서 선량당량에 대한 SI 단위로서 기호가 Sv인 특별한 명칭 시버트를 채택한다. 시버트는 줄 매 킬로그램과 같다.

■ CIPM, 1984, 권고사항 1(PV, 52, 31 및 *Metrologia*, 1985, 21, 90): 시버트에 관하여

국제도량형위원회는

제16차 국제도량형총회(1979)에서 승인된 결의사항 5의 주제에 있어 여전히 혼동이 존재한다는 것을 고려하여

“국제단위계(SI)” 책자에 다음의 설명을 도입하기로 결정한다:

선량당량  $H$ 라는 양은 전리방사선에 대한 흡수선량  $D$ 와 무차원 인자  $Q$ (선질계수)와 국제 방사선방호위원회에 의하여 규정된  $N$ (기타 다른 계수들의 곱)의 곱이다:

$$H = Q \cdot N \cdot D$$

따라서 주어진 방사선에 대하여 줄 매 킬로그램의 단위로 주어지는  $H$ 의 수학적 값은  $Q$ 나  $N$ 의 값에 따라 역시 줄 매 킬로그램의 단위로 주어지는  $D$ 와는 다를 수도 있다. 그러므로 흡수선량  $D$ 와 선량당량  $H$  사이의 혼동으로 인한 모든 위험을 피하기 위하여 각각의 단위를 위한 특별한 명칭이 사용되어야 한다. 즉, 흡수선량  $D$ 의 단위로는 줄 매 킬로그램 대신에 그레이가, 선량당량  $H$ 의 단위로는 줄 매 킬로그램 대신에 시버트가 사용되어야 한다.

### 3.2 SI 보충단위

■ CIPM, 1980, 권고사항 1(PV, 48, 24 및 *Metrologia*, 1981, 17, 72): SI 보충단위 (라디안과 스테라디안)\*

국제도량형위원회(CGPM)는

1978년 ISO/TC 12에 의하여 채택된 결의사항 3과 제7차 단위자문위원회(CCU)에서 채택한 권고사항 U 1 (1980)을 고려하고,

- 스테라디안이 다른 양에 대응되는 단위를 구별하는데 중요한 역할을 하는 광도측정에서와 같이 명확한 구별이 필요할 때 단위에 대한 표현으로 라디안과 스테라디안이란 단위가 보통 도입된다는 것과,
- 방정식에서 일반적으로 평면각은 두 길이의 비로써, 입체각은 면적과 길이의 제곱 사이의 비로써 표현되어지므로, 이 두 개의 양은 무차원 양으로 취급된다는 것과,
- 과학분야에서 사용되는 공식들을 조사하여 보면 일관성과 편리성을 동시에 만족할 수 없으며, 평면각이나 입체각을 기본량으로 생각할 수 있는 분야도 존재하지 않음을 알게 된다는 것을

고려하고, 또한

- 1960년 제11차 국제도량형총회(CGPM)의 결의사항 12에서 도입되었던 보충단위 부류에 대하여 1969년 CIPM에 의해 내려진 해석은 라디안과 스테라디안을 SI 기본단위로 취급할 수 있는 자율성을 허용하였고,

\* SI 보충단위 부류는 제20차 CGPM의 결정(아래에 주어진 1995년 결의사항 8 참조)에 의하여 폐기되었다.



- 그러한 가능성은 단지 7개의 기본단위를 근거로 한 SI의 내부적 일관성을 절충한  
다는 것을

고려하여

SI 유도단위를 표현하는데 있어 CGPM이 사용의 가부에 관한 자율성을 허용한 국제  
단위계의 보충단위 부류를 무 차원 유도단위 부류로 해석하기로 결정한다.

■ 제20차 CGPM, 1995, 결의사항 8(CR, 223 및 *Metrologia*, 1996, 33, 83) : SI에서 보  
충단위 부류의 삭제

제20차 국제도량형총회(CGPM)는

- 1960년의 제11차 총회가 국제단위계를 확립할 때, 결의사항 12에서 기본단위, 유  
도단위와 보충단위의 세 가지 부류로 SI 단위를 구분하였고 라디안과 스테라디안을  
조합하여 보충단위를 구성하였다는 것과,
- 기본단위, 유도단위와의 관계에서 보충단위의 상태가 논란의 원인이 되었다는 것과,
- 1980년 국제도량형위원회는 보충단위의 모호한 상태가 SI의 내부적 일관성을 절  
충하고 있다는 것을 관찰하고, 권고사항 1(CI-1980)에서 보충단위를 SI에서 무  
차원 유도단위로 해석하였다는 것을

고려하고, 1980년 국제위원회에 의하여 내려진 해석을 승인하며

다음 사항을 결정한다.

- SI에서 보충단위, 즉 라디안과 스테라디안을 무 차원의 유도단위로 해석하고, 이  
보충단위의 명칭과 기호는 필수적이지는 않으나 편의에 따라 다른 유도단위에 대한  
표현으로 사용할 수 있도록 한다,
- 그리하여 결과적으로 SI의 한 독립된 부류로서의 보충단위 부류를 삭제한다.

#### 4 SI와 함께 사용되는 단위의 승인과 용어에 관한 결정사항

##### 4.1 SI 접두어

■ 제12차 CGPM, 1964, 결의사항 8(CR, 94) : SI 접두어 펨토와 아토\*

제12차 국제도량형총회(CGPM)는 제11차 CGPM, 결의사항 12, 제3항에서 채택된 단  
위의 배수 및 분수에 대한 명칭을 구성하기 위한 접두어의 목록에 다음 두개의 새 접  
두어들을 추가하기로 결정한다:

곱할인자	접두어	기호
$10^{-15}$	펨토	f
$10^{-18}$	아토	a

\* 제15차 CGPM(1975, 결의사항 10, 아래 참조)에서 새로운 접두어가 추가되었다.

■ 제15차 CGPM, 1975, 결의사항 10(CR, 106 및 *Metrologia*, 1975, 11, 180-181) : SI  
접두어 페타와 엑사\*

제15차 국제도량형총회(CGPM)는

제11차 CGPM, 결의사항 12, 제3항에 의하여 채택된 배수에 사용되는 SI 접두어 목

\* 제19차 CGPM(1991, 결의사항 4, 아래 참조)에서 새로운 접두어가 추가되었다.

록에 다음 두 개의 접두어들을 추가하기로 결정한다:

곱할인자	접두어	기호
$10^{15}$	페타	P
$10^{18}$	엑사	E

■ 제19차 CGPM, 1991, 결의사항 4(CR, 185 및 *Metrologia*, 1992, 29, 3): SI 접두어 제타, 켈토, 요타, 옥토

제19차 국제도량형총회(CGPM)는 제11차 CGPM, 결의사항 12, 제3항, 제12차 CGPM, 결의사항 8과 제15차 CGPM, 결의사항 10에서 채택된 단위의 배수 및 분수에 사용되는 SI 접두어 목록에 다음의 접두어들을 추가하기로 결정한다:

곱할인자	접두어	기호
$10^{21}$	제타	Z
$10^{-21}$	켈토	z
$10^{24}$	요타	Y
$10^{-24}$	옥토	y

명칭 켈토와 제타는 숫자 7 ( $10^3$ 의 7승)을 의미하는 쉐토에서 유래하였으며 문자 “z”는 문자 “s”가 기호로서 중복되어 사용되는 것을 피하기 위하여 “s” 대신 쓰이고 있다. 명칭 옥토와 요타는 숫자 8 ( $10^3$ 의 8승)을 의미하는 옥토에서 유래하였으며 문자 “y”는 문자 “o”가 기호로 쓰이는 것을 피하기 위하여 추가되었는데 그 이유는 문자 “o”가 숫자 0과 혼동될 우려가 있기 때문이다.

## 4.2 단위기호 및 숫자

■ 제9차 CGPM, 1948, 결의사항 7(CR, 70): 단위기호와 숫자의 표기 및 인쇄\*

### 원 칩

일반적으로 로마체(직립체) 소문자를 단위의 기호로 사용한다. 그러나 기호가 고유명사로부터 유래된 것이면 로마체 대문자를 사용한다. 이들 기호 다음에는 마침표를 찍지 않는다.

숫자에서 반점(프랑스식)이나 온점(영국식)은 숫자의 정수부분과 소수부분을 나누는데만 쓰인다. 숫자는 읽기에 편리하게 세 자리씩 묶어 써도 무방하지만 각 묶음 사이의 띄어 쓴 자리에 온점이나 반점을 사용해서는 아니 된다.

\* CGPM은 단위와 용어에 대한 일부의 결정사항을 폐지하였는데, 특히 제13차 CGPM(1967-1968, 결의사항 7과 3, 아래와 p. 42 참조)에서의 마이크로, 절대도 및 용어 “degree”와 “deg”와 제16차 CGPM(1979, 결의사항 6, p. 50 참조)에서의 리터 등이 그것이다.

단 위	기 호	단 위	기 호
· 미터	m	암페어	A
· 제곱미터	m <sup>2</sup>	볼트	V
· 세제곱미터	m <sup>3</sup>	와트	W
· 마이크로	μ	옴	Ω
· 리터	l	쿨롱	C
· 그램	g	패럿	F
· 톤	t	헨리	H
초	s	헤르츠	Hz
에르그	erg	포아즈	P
다인	dyn	뉴턴	N
섭씨도	°C	· 칸델라(신축광)	cd
· 절대도	°K	럭스	lx
칼로리	cal	루멘	lm
바아	bar	스틸브	sb
시간	h		

주

1. 단위의 명칭 앞에 접미어 있는 기호는 이미 CIPM의 결정에 따라 채택된 것이다.
2. 빨나무의 부피를 나타내는 단위인 스테르의 기호는 “st”이며 종전에 CIPM이 정했던 “s”가 아니다.
3. 어떤 한 온도가 아니고 온도구간이나 온도차이를 나타낼 때는 단어 “degree”를 모두 쓰거나 또는 약자인 “deg”를 사용하여야 한다.

#### 4.3 단위의 명칭

■ 제13차 CGPM, 1967-1968, 결의사항 7(CR, 105 및 *Metrologia*, 1968, 4, 44): 기존 결정의 폐기(마이크론, 신축광)

제13차 국제도량형총회(CGPM)는 국제단위계에 관한 총회의 새로운 결정들이 제9차 CGPM(1948)의 결의사항 7의 일부와는 호환성이 없음을 고려하여

제9차 총회의 결의사항 7로부터 다음 사항을 삭제하기로 결정한다:

1. 단위명칭이 “마이크론”이고 그 단위에 주어졌다가 이제는 접두어가 된 “μ”,
2. 단위명칭 “신축광”.

#### 4.4 SI와 함께 사용되는 것이 용인된 단위; 예: 리터

■ 제3차 CGPM, 1901(CR, 38-39): 리터의 정의에 관한 선언\*

.....

총회는 다음 사항을 선언한다.

\* 이 정의는 제12차 CGPM (1964, 결의사항 6, 아래 참조)에서 폐기되었다.

1. 부피의 단위는 정확도를 높이기 위하여 질량 1 킬로그램의 순수한 물이 최대밀도와 표준기압에서 차지하는 부피로 한다. 이 부피를 “리터”라 한다.
2. . . . .

■ 제11차 CGPM, 1960, 결의사항 13(CR, 88): 세제곱 데시미터와 리터

제11차 국제도량형총회(CGPM)는

- 세제곱 데시미터와 리터가 동일하지 않으며 약  $10^6$  분의 28만쯤 차이가 있다는 것과,
- 부피측정과 관련된 물리량의 결정이 더욱 정확하게 이루어짐에 따라 세제곱 데시미터와 리터 사이에 혼동의 위험성이 증가되고 있다는 것을

고려하여

국제도량형위원회가 이 문제점을 연구 검토하여 그 결과를 제12차 CGPM에 제출하여 줄 것을 요청한다.

■ CIPM, 1961, 권고사항(PV, 29, 34): 세제곱 데시미터와 리터

국제도량형위원회는 부피의 정확한 측정결과를 리터가 아니고 국제단위계의 단위로 표시할 것을 권고한다.

■ 제12차 CGPM, 1964, 결의사항 6(CR, 93): 리터

제12차 국제도량형총회(CGPM)는

1960년 제11차 CGPM에서 채택된 결의사항 13과 1961년 국제도량형위원회에서 채택된 권고사항을 고려하여

1. 1901년에 제3차 CGPM에 의하여 주어진 리터의 정의를 폐기한다.
2. “리터”라는 단어가 세제곱 데시미터의 특별한 명칭으로 사용될 수 있음을 선언한다.
3. 리터라는 명칭을 정확도가 높은 부피측정에 대한 결과를 표시하는데는 사용하지 말 것을 권고한다.

■ 제16차 CGPM, 1979, 결의사항 6(CR, 101 및 *Metrologia*, 1980, 16, 56-57): 리터에 대한 기호

제16차 국제도량형총회(CGPM)는

제9차 CGPM(1948)의 결의사항 7에서 단위기호 표기에 관하여 채택된 일반 원칙을 인정하고,

리터 단위에 대한 기호 l 이 1879년 국제도량형위원회(CIPM)에 의해 채택되어 1948년의 동일 결의사항에서 확인되었음을 고려하고,

문자 l 과 숫자 1의 혼동의 위험성을 피하기 위하여 여러 국가에서는 리터 단위에 1 대신 L을 채택하였음도 고려하며,

리터라는 명칭은 국제단위계에 포함되어 있지는 않으나 이 단위계와 함께 일반적인

사용이 허용되어야 한다는 것을 고려하여

예외로, 리터 단위에 사용할 기호로 두 기호 l 과 L을 채택하기로 결정한다.

또한 장래에는 두 기호 중 하나만을 사용하여야 함을 고려하여

이 두 기호가 사용되는 추세를 보아서 제18차 CGPM에 그 중 하나를 폐기할 수 있는 가능성에 대한 의견을 제시하도록 CIPM에 요청한다.

1990년에 CIPM은 리터에 대한 기호로 하나만을 선택하는 것이 아직 너무 이르다고 생각하였다.

## 부록 2. 몇 가지 주요 단위들에 대한 정의의 실제적 현시

이 부록은 SI의 몇 가지 주요 단위들에 대한 정의의 실제 현시방법에 관한 내용을 담고 있다. 즉, 본 부록에는 각 기본단위들의 최신 현시방법과 관련된 CGPM과 CIPM의 결정사항을 수록하였으며, 각 표준연구기관들이 현시하는 단위들이 SI의 정의와 부합되도록 하기 위해서 확립해야 할 기본 체계에 대한 설명이 수록되어 있다.

### 1 길 이

1997년 국제도량형위원회(CIPM)는 미터 정의의 실제적 현시를 위한 규칙들을 명시하고 새로이 보완하기 위하여 권고사항 1(CI-1997)을 채택하였다.

국제도량형위원회는

- 1983년 제17차 국제도량형총회(CGPM)가 새로운 미터의 정의를 채택하였다 ;
- 같은 해에 CGPM은 국제도량형위원회(CIPM)에 다음 사항들을 요청하였다,
  - 미터의 실제적 현시를 위한 지침사항을 작성할 것,
  - 간섭계를 이용한 길이 측정을 위하여 표준파장으로 권고될 수 있는 복사선을 선택하고, 그것들의 사용을 위한 지침사항을 작성할 것,
  - 이 표준들을 개선하기 위하여 맡겨진 연구를 수행하고, 이에 따라 지침사항들을 확장 또는 개정할 것,
- 이러한 요청에 따라 CIPM은 다음 사항들을 발효시키는 권고사항 1(CI-1983)(미터정의의 현시지침)을 채택하였다:
  - 미터는 반드시 다음에 기술한 방법들 중의 하나에 의하여 현시되어야 한다:
    - 가) 시간  $t$  동안 평면전자파가 진공에서 진행한 경로의 길이  $l$  에 의하여; 이 길이는  $l = c_0 \cdot t$  인 관계와 진공에서 빛의 속력  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s를 사용하여, 측정된 시간  $t$  로부터 얻어진다,
    - 나) 주파수  $f$  인 평면전자파의 진공에서의 파장  $\lambda$  에 의하여; 이 파장은  $\lambda = c_0/f$  인 관계와 진공에서 빛의 속력  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s를 사용하여, 측정된 주파수  $f$  로부터 얻어진다.
    - 다) 아래 목록의 복사선 중의 하나에 의하여; 주어진 규격조건을 따르고 공인된 우수한 실험이 이루어진다면, 진공에서 명시된 파장이나 명시된 주파수 값을 표시된 불확도와 함께 사용할 수 있다,

현재의 관행으로는 진공중에서의 빛의 속력을 나타내기 위하여  $c_0$ 를 사용한다 (ISO 31). 1983년 본래의 권고안에서는 이러한 목적으로 기호  $c$ 를 사용하였다.

- 위의 모든 경우에, 회절효과, 중력, 불완전한 진공 등과 같은 실제 조건을 고려하여 필요한 보정이 가해져야 한다.
- CIPM은 이러한 목적으로 복사선 목록을 권고하였다는 것을 상기하고, 또한 1992년 CIPM이 미터 정의의 실제 현시방법을 개정한 것을 상기하며,
- 과학과 기술분야에서는 미터 현시에 있어서 정확도 향상을 계속적으로 요구하고 있고,
- 1992년 이후 국가 표준기관, BIPM 및 기타 연구기관에서 새로운 복사선들과 이들을 보다 낮은 불확도로 실현할 수 있는 방법들이 규명되었으며,
- 이러한 연구들은 기존에 추천된 복사선들의 진공 파장과 주파수의 결정값에 대한 불확도를 현저히 감소시켰고,
- 실제적인 길이 측정용 광학 간섭계에 의한 미터의 직접적인 실현뿐만 아니라, 분광학, 원자 및 분자 물리 그리고 기본 물리상수 측정 등과 같은 여러 응용분야를 위해 권고 복사선의 목록을 개정하는 것이 바람직하다는 것을 고려하여 다음 사항을 권고한다.

- 1992년 CIPM에 의해 주어진 권고 복사선 목록(권고사항 3(CI-1992))을 아래에 주어진 복사선 목록으로 대체할 것,
- 미터의 현시치침에 일반 상대성 이론에 관한 다음 사항을 추가할 것:  
일반 상대성 이론에서 미터는 고유길이 단위로 간주된다. 따라서 이 정의는 공간적인 영역이 충분히 작아 중력장의 비균질 효과가 무시될 수 있는 영역에서만 적용된다. 이 경우 특수 상대성 효과만을 고려하면 된다. 나)와 다)에서 추천한 미터 현시에 대한 국소적 방법들은 고유미터를 주지만 방법 가)는 반드시 그렇지 않다. 따라서 방법 가)는 현시 불확도에 있어 일반 상대성 이론으로 예측되는 효과가 충분히 짧은 길이  $l$  로 사용이 제한되어야 한다. 이러한 경우가 아닌 측정결과의 해석에 대해 참고문헌이 필요하다면 측정학에 대한 일반 상대성 이론의 적용에 관한 CCDS 작업반의 보고서를 참조하라.(Application of general relativity to metrology, *Metrologia*, 1997, **34**, 261-290).

미터의 실제적 현시를 위해

1997년 CIPM이 승인한 복사선 목록 :

주파수 및 진공 파장

이 목록은 이미 출판된 PV, 1983, 51, 25-28, 1992, 60, 141-144 그리고 *Metrologia*, 1984, 19, 165-166, 1993/94, 30, 523-541의 목록을 대체한다.

이 목록에서  $c_0 = 299\,792\,458$  m/s 일 때 주파수  $f$ 와 진공 파장  $\lambda$ 의 값들은 정확히  $\lambda f = c_0$ 의 관계를 가져야 하지만, 파장  $\lambda$ 의 값들은 반올림되었다.

이 목록을 종합하는데 사용된 데이터와 분석들은 관련된 부록에 수록되어 있다 : Source Data for the List of Recommended Radiations, 1997 및 인용된 참고문헌.

이 부록에 관해서는 CCDM 보고서 (1997)를 참조하라.

목록 중 몇 가지 복사선에 대해서는 독립적인 값이 거의 알려져 있지 않기 때문에 추정 불확도가 모든 변동요인을 반영하지 않을 수 있다는 것을 주지하여야 한다.

주파수 차이가 충분한 정확도로 알려진 경우에는, 같은 전이선 중에서 다른 성분에 대응하는 복사선이나 또는 다른 복사선으로, 정확도의 저하 없이 열거된 각각의 복사선들을 대체할 수 있다. 또한 열거된 파라미터들에 대한 조건을 만족하는 것만으로는 이 목록에 주어진 불확도를 얻기에 충분하지 않다는 것을 주의하여야 한다. 그 외에도 많은 과학 및 기술 논문에 설명되어 있는 안정화 방법에 관한 최선의 우수한 현시법을 따를 필요가 있다. 특정 복사선에 대하여 인정된 우수한 현시법을 설명하는 적절한 참고문헌들은 CCDM 회원 기관이나 BIPM에 요청하여 얻을 수 있다.

CIPM은 1997년에 미터정의자문위원회 (CCDM)의 명칭을 길이자문위원회 (Consultative Committee for Length: CCL)로 변경하였다.

## 1. 안정화된 레이저의 권고 복사선

### 1.1 흡수 원자 $^1\text{H}$ , 1S-2S, 2-광자 전이

$$f = 1\,233\,030\,706\,593.7 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 243\,134\,624.6260 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $8.5 \times 10^{-13}$ 을 가지고 있으며, 냉각된 수소 원자선속의 2광자 전이선에 안정화된 복사선에 적용되고, 레이저의 영점 출력과 정지한 원자에 대하여 보정된, 즉 2차 도플러 편이에 대하여 보정된 값이다.

수소 원자의 다른 흡수 전이선들도 유사하게 사용될 수 있으며, CCDM 보고서(1997) 부록 M3 에 주어져 있다.

### 1.2 흡수 분자 $^{127}\text{I}_2$ , 전이 43-0, P(13), 성분 $a_3$ (또는 s)

$$f = 582\,490\,603.37 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 514\,673\,466.4 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $2.5 \times 10^{-10}$ 을 가지고 있으며, 냉지 온도가  $(-5 \pm 2)^\circ\text{C}$  인 외부 요오드 셀을 이용하여 안정화된  $\text{Ar}^+$  레이저의 복사선에 적용된다.

온도, 변조폭, 레이저 출력 등과 같은 작동 조건을 나타내는데 있어서,  $\pm$  기호는 불확도가 아니라 허용오차를 의미한다.



1.3 흡수 분자  $^{127}\text{I}_2$ , 전이 32-0, R(56), 성분  $a_{10}$ 

$$f = 563\,260\,223.48 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 532\,245\,036.14 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $7 \times 10^{-11}$ 을 가지고 있으며, 냉지 온도가  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ 와  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  사이인 외부 요오드 셀을 이용하여 안정화된, 주파수 배가된 Nd:YAG 레이저의 복사선에 적용된다.

이 전이선에 근접한 다른  $^{127}\text{I}_2$  흡수 전이선들도 다음에 주어진 주파수 차이값을 참고로 하여 사용될 수 있으며 이 때의 표준불확도는  $u_c = 2 \text{ kHz}$ 이다.

 $^{127}\text{I}_2$  전이선의 파장

전이선	주파수 차이
x	$[f(x) - f(32-0, R(56), a_{10})] / \text{kHz}$
32-0, R(57), $a_1$	-50 946 880.4
32-0, P(54), $a_1$	-47 588 892.5
35-0, P(119), $a_1$	-36 840 161.5
33-0, R(86), $a_1$	-32 190 404.0
34-0, R(106), $a_1$	-30 434 761.5
36-0, R(134), $a_1$	-17 173 680.4
33-0, P(83), $a_{21}$	-15 682 074.1
32-0, R(56), $a_{10}$	0
32-0, P(53), $a_1$	+2 599 708.0

여기서  $f(x)$ 는 전이선 x의 주파수를 나타내고,  $f(32-0, R(56), a_{10})$ 은 기준 전이선의 주파수를 나타낸다.

1.4 흡수 분자  $^{127}\text{I}_2$ , 전이 26-0, R(12), 성분  $a_9$ 

$$f = 551\,579\,482.96 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 543\,516\,333.1 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $2.5 \times 10^{-10}$ 을 가지고 있으며, 냉지 온도가  $(0 \pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$ 인 외부 요오드 셀을 이용하여 주파수 안정화된 He-Ne 레이저의 복사선에 적용된다.

1.5 흡수 분자  $^{127}\text{I}_2$ , 전이 9-2, R(47), 성분  $a_7$  (또는 o)

$$f = 489\,880\,354.9 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 611\,970\,770.0 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $3 \times 10^{-10}$ 을 가지고 있으며, 냉지 온도가  $(-5 \pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$ 인 내부 또는 외부 요오드 셀을 이용하여 주파수 안정화된 He-Ne 레이저의 복사선에 적용된다.

1.6 흡수 분자  $^{127}\text{I}_2$ , 전이 11-5, R(127), 성분  $a_{13}$  (또는 i)

$$f = 473\,612\,214\,705 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 632\,991\,398.22 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $2.5 \times 10^{-11}$ 을 가지고 있으며, 내부 요오드 셀을 이용하여 3차 조화 검출법으로 주파수 안정화된 He-Ne 레이저의 복사선에 적용되며, 다음의 조건을 만족하여야 한다:

- 셀 벽 온도 ( $25 \pm 5$ ) °C ;
- 냉지 온도 ( $15 \pm 0.2$ ) °C ;
- 봉우리 사이 주파수 변조폭 ( $6 \pm 0.3$ ) MHz ;
- 출력편이 계수의 절대값  $\leq 1.4 \text{ kHz/mW}$ 에 대하여 cavity 내부의 단방향 레이저 출력(즉, 출력거울의 투과율로 나는 레이저 출력값)이 ( $10 \pm 5$ ) mW.

이러한 조건들만으로는 주어진 표준 불확도를 얻기에 불충분하다. 또한 적절한 성능을 발휘하는 광학 및 전자 조절장치가 필요하다. 요오드 셀은 CCDM 보고서(1997)의 부록 M2에 명시된 더 큰 불확도를 가지게 되는 완화된 조건하에서 작동시킬 수도 있다.

1.7 흡수 분자  $^{127}\text{I}_2$ , 전이 8-5, P(10), 성분  $a_9$  (또는 g)

$$f = 468\,218\,332.4 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 640\,283\,468.7 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $4.5 \times 10^{-10}$ 을 가지고 있으며, 냉지 온도가 ( $16 \pm 1$ ) °C인 내부 요오드 셀을 이용하고 봉우리 사이 주파수 변조폭을 ( $6 \pm 1$ ) MHz로 하여 주파수 안정화된 He-Ne 레이저의 복사선에 적용된다.

1.8 흡수 원자  $^{40}\text{Ca}$ , 전이  $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_1$ ;  $\Delta m_J = 0$ 

$$f = 455\,986\,240\,494.15 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 657\,459\,439.2917 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $6 \times 10^{-13}$ 을 가지고 있으며, Ca 원자에 주파수 안정화된 레이저의 복사선에 적용된다. 위의 값은 실제 정지하고 있는 원자의 두 되튐 갈라짐 (recoil-split) 성분의 평균 주파수, 즉 2차 도플러 편이를 보정한 값에 해당한다.

1.9 흡수 이온  $^{88}\text{Sr}^+$ , 전이  $5^2\text{S}_{1/2} - 4^2\text{D}_{5/2}$ 

$$f = 444\,779\,044.04 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 674\,025\,590.95 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $1.3 \times 10^{-10}$ 을 가지고 있으며, 포획 및 냉각된 스트론튬 이온의 전이선에 주파수 안정화된 레이저의 복사선에 적용된다. 위의 값은 Zeeman 다중선의 중심에 해당한다.

1.10 흡수 원자  $^{85}\text{Rb}$ ,  $5S_{1/2} (F=3) - 5D_{5/2} (F=5)$ , 2광자 전이

$$f = 385\,285\,142\,378 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 778\,105\,421.22 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $1.3 \times 10^{-11}$ 을 가지고 있으며, 2광자 전이선의 중심에 주파수 안정화된 레이저의 복사선에 적용된다. 위의 값은 루비듐 셀의 온도가  $100^\circ\text{C}$  이하일 때 적용되며, 레이저의 영점 출력과 2차 도플러 편이에 대하여 보정된 것이다.

루비듐 원자의 다른 흡수 전이선들도 사용될 수 있으며, 이들은 CCDM 보고서(1997)의 부록 M3에 주어져 있다.

1.11 흡수 분자  $\text{CH}_4$ , 전이  $\nu_3$ , P(7), 성분  $F^{(2)}_2$ 

$$1.11.1 \quad f = 88\,376\,181\,600.18 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 3\,392\,231\,397.327 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $3 \times 10^{-12}$ 을 가지고 있으며, 분광된 초미세 구조선 삼중선 중 중앙성분[(7-6)전이선]에 주파수 안정화된 He-Ne 레이저의 복사선에 적용된다. 위의 값은 실제 정지하고 있는 분자의 두 되튐 갈라짐 성분의 평균 주파수에 해당한다. 즉, 2차 도플러 편이가 보정된 값이다.

$$1.11.2 \quad f = 88\,376\,181\,600.5 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 3\,392\,231\,397.31 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $2.3 \times 10^{-11}$ 을 가지고 있으며, 상온에서 내부 또는 외부 메탄 셀을 이용하여 얻은 분광되지 않은 초미세 구조선의 중심에 주파수 안정화된 He-Ne 레이저의 복사선에 적용되며 다음 조건을 만족해야 한다.

- 메탄 압력  $\leq 3 \text{ Pa}$  ;
- 평균 단방향 cavity 내부 표면 출력밀도(즉, 레이저 출력밀도를 출력거울의 투과율로 나눈 값)  $\leq 10^4 \text{ Wm}^{-2}$  ;
- 파면의 곡률반경  $\geq 1 \text{ m}$  ;
- 양방향 레이저 출력간의 차이  $\leq 5 \%$  ;
- 레이저 관의 출력면에 위치한 검출기를 기준으로 서보제어

1.12 흡수 분자  $\text{OsO}_4$ ,  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ 의 R(12) 레이저 선과 일치하는 전이

$$f = 29\,096\,274\,952.34 \text{ kHz}$$

$$\lambda = 10\,303\,465\,254.27 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $6 \times 10^{-12}$ 을 가지고 있으며, 압력이  $0.2 \text{ Pa}$  이하인 외부  $\text{OsO}_4$  셀을 이용하여 주파수 안정화된  $\text{CO}_2$  레이저의 복사선에 적용된다.

이외에 다른 전이선들도 사용할 수 있으며, 이들은 CCDM 보고서(1997)의 부록 M3에 주어져 있다.

2. 분광전구와 다른 광원의 복사선에 대한 권고값

2.1 <sup>86</sup>Kr 원자의 2p<sub>10</sub>과 5d<sub>5</sub> 준위 사이의 전이에 대응하는 복사선

$$\lambda = 605\ 780\ 210.3\ \text{fm}$$

위 값은  $4 \times 10^{-9}$ 의 상대 확장불확도,  $U = ku_c (k=3)$ [상대 표준불확도  $1.3 \times 10^{-9}$ 의 3배와 같음]를 가지고 있으며, 1960년 CIPM에 의해 권고된 조건(PV, 28, 71-72 및 CR, 1960, 85) 하에 작동되는 방전 전구에서 방출되는 복사선에 적용된다. 이들은 다음과 같다:

1960년의 문서에 인용된 불확도는  $1 \times 10^{-8}$  이었는데 그 후  $4 \times 10^{-9}$ 으로 향상되었다(BIPM Com. Cons. Déf. du Mètre, 1973, 5, M 12).

<sup>86</sup>Kr의 복사선은 온도 64 K에서 고체 크립톤이 존재할 정도로 충분한 양을 가진 순도 99% 이상의 <sup>86</sup>Kr을 함유한 열 음극 방전 전구에 의해서 얻어지며, 이 전구의 모세관은 내경이 2 mm에서 4 mm, 관 두께가 약 1 mm 정도의 크기를 가져야 한다.

양극에서 방출되는 복사선의 파장은 다음 조건이 만족될 때 간섭을 받지 않은 준위간의 전이에 대응하는 파장과  $10^8$ 분의 1 이내에서 일치하는 것으로 추정된다.

1. 모세관의 끝 면이 양극으로부터 가장 가까운 면에서 볼 때 정면으로 보인다;
2. 모세관을 포함한 전구의 밑 부분은 질소의 삼중점에서 1도 이내로 유지되는 냉탕에 잠겨있다.
3. 모세관 내의 전류밀도는  $(0.3 \pm 0.1) \text{ A/cm}^2$

2.2 <sup>86</sup>Kr, <sup>198</sup>Hg 및 <sup>114</sup>Cd 원자에 대한 복사선

1963년 CIPM은 <sup>86</sup>Kr, <sup>198</sup>Hg 및 <sup>114</sup>Cd에 대한 특정 복사선들의 진공 파장  $\lambda$ , 동작 조건 및 이에 대응하는 불확도를 명시하였다(BIPM Com. Cons. Déf. Mètre, 1962, 3, 18-19 및 PV, 52, 26-27).

2.2절에서 인용된 불확도들은 상대합성 표준불확도의 세 배와 같은 상대 확장불확도  $U = ku_c (k=3)$ 에 해당하는 것으로 판단된다.

<sup>86</sup>Kr의 전이선에 대한 진공 파장

전 이 선	$\lambda/\text{pm}$
2p <sub>9</sub> - 5d' <sub>4</sub>	645 807.20
2p <sub>8</sub> - 5d <sub>4</sub>	642 280.06
1s <sub>3</sub> - 3p <sub>10</sub>	565 112.86
1s <sub>4</sub> - 3p <sub>8</sub>	450 361.62

<sup>86</sup>Kr에 대하여는 위의 값들이 상대 불확도  $2 \times 10^{-8}$ 를 가지며, (2.1)에 기술한 것과 비슷한 조건에서 동작하는 전구에서 방출되는 복사선에 적용된다.

<sup>198</sup>Hg의 전이선에 대한 진공 파장

전 이 선	$\lambda/\text{pm}$
$6^1P_1 - 6^1D_2$	579 226.83
$6^1P_1 - 6^3D_2$	577 119.83
$6^3P_2 - 7^3S_1$	546 227.05
$6^3P_1 - 7^3S_1$	435 956.24

<sup>198</sup>Hg에 대하여는 위의 값들이 상대 불확도  $5 \times 10^{-8}$ 를 가지며, 다음에 기술한 조건에서 동작하는 방전 전구에서 방출되는 복사선에 적용된다:

- 가) 복사선은 순도 98% 이상의 <sup>198</sup>Hg와 압력이 0.5 mmHg에서 1.0 mmHg(66 Pa에서 133 Pa) 사이인 아르곤을 포함하고 있는 전극 없는 방전 전구를 이용하여 발생된다;  
 나) 전구의 모세관 내경은 5 mm 정도이고, 복사선은 가로 방향으로 관측된다;  
 다) 전구는 적절한 출력의 고주파로 여기시키며, 10 °C 이하로 유지시킨다;  
 라) 전구의 체적은 20 cm<sup>3</sup> 보다 크게 하는 것이 좋다.

<sup>114</sup>Cd의 전이선에 대한 진공 파장

전 이 선	$\lambda/\text{pm}$
$5^1P_1 - 5^1D_2$	644 024.80
$5^3P_2 - 6^3S_1$	508 723.79
$5^3P_1 - 6^3S_1$	480 125.21
$5^3P_0 - 6^3S_1$	467 945.81

<sup>114</sup>Cd에 대하여는 위의 값들이 상대 불확도  $7 \times 10^{-8}$ 를 가지며, 다음에 기술한 조건에서 동작하는 방전 전구에서 방출되는 복사선에 적용된다:

- 가) 복사선은 순도 95% 이상의 <sup>114</sup>Cd와 상온에서 압력이 약 1 mmHg (133 Pa)인 아르곤을 포함하고 있는 전극 없는 방전 전구를 이용하여 발생된다;  
 나) 전구의 모세관 내경은 5 mm 정도이고, 복사선은 가로 방향으로 관측된다;  
 다) 전구는 적절한 출력의 고주파로 여기시키며, 녹색선이 뒤바뀌지 않을 정도의 온도로 유지시킨다.

2.3 흡수 분자 <sup>127</sup>I<sub>2</sub>, 전이 17-1, P(62) 성분 a<sub>1</sub>, 1992년 CIPM에 의해 권고됨  
 (BIPM Com. Cons. Déf. Mètre, 1992, 8, M18 및 M137과 미터정의의 현시지  
 침 (1992), Metrologia, 1993/94, 30, 523-541)

$$f = 520\,206\,808.4 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 576\,294\,760.4 \text{ fm}$$

위 값은 상대 표준불확도  $4 \times 10^{-10}$ 을 가지고 있으며, 냉지 온도가  $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$ 인 내부 또는 외부 요오드 셀을 이용하여 주파수 안정화된 색소 레이저(또는 주파수 배가된 He-Ne 레이저)의 복사선에 적용된다.

질량의 단위인 킬로그램은 국제도량형국에 보관되어 있는 국제 킬로그램원기의 질량이다. 이것은 원통형의 합금으로 질량 분율이 백금 90 %이며 이리듐 10 %이다. 같은 합금 혹은 스테인레스강으로 된 1 kg 2차 표준기의 질량은 상대 불확도가 약  $10^9$  분의 1인 저울에 의하여 국제원기의 질량과 비교된다.

국제원기의 질량은 표면에 피할 수 없는 오염물질의 축적으로 인하여 매년 약  $10^9$  분의 1만큼씩 증가한다. 이러한 이유로 CIPM은 추후의 연구 결과가 나올 때까지 국제원기의 기준 질량은 명시된 방법(PV, 1989, 57, 104-105 및 PV, 1990, 58, 95-97)에 의하여 세척한 직후의 질량이라고 선언하였다. 이렇게 정의된 기준 질량은 백금-이리듐 합금의 국가 표준기를 교정하는데 사용된다(Metrologia, 1994, 31, 317- 336).

스테인레스강 1kg 표준기의 경우에, 비교 상대 불확도는 공기 부력 보정에서의 불확도에 의하여 약  $10^8$  분의 1로 제한된다. 진공에서 수행된 비교의 결과에는 공기 부력의 영향이 없지만 진공과 대기 사이를 왕래할 때 표준기 질량 변화를 보상해야 하는 추가적인 보정이 있어야 한다.

킬로그램의 배수 및 분수를 나타내는 질량표준기들은 원리적으로 단순한 절차에 의하여 교정될 수 있다.

### 3 시간

#### 3.1 시간의 단위

몇몇 국립표준연구소에서는 아주 높은 정확도로 시간의 단위를 현시하고 있다. 그렇게 하기 위해서 초를 정의하는 세슘 133 원자의 전이 주파수에서 전기적 진동을 일으키는 1차 주파수표준기를 고안하고 제작한다. 1997년 현재 이러한 1 차 표준기 중 최고의 성능을 나타내는 것은 상대 합성표준불확도가  $10^{15}$ 분의 2인 SI 초를 생성하고 있다. 초의 정의는 세슘 원자가 운동하는 작은 공간 영역에 적용되는 고유한 시간의 단위로 정의된다는 것을 이해하는 것이 중요하다. 즉, 고유 초는 공간이 충분히 작아서 중력장의 불균일한 정도가 초를 실현하는데 따른 불확도들에 비해서 무시할 수 있을 만큼 작은 실험실에서, 원자의 속도에 대한 특수 상대론적 보정을 적용한 후에 얻어진다. 국소적인 중력장에 대해 보정을 하는 것은 옳지 않다.

1차 주파수표준기는 시간을 보급하는 국립연구소에서 사용하는 2차 시간표준기의 주파수를 교정하는데 사용될 수 있다. 이런 시간표준기들은 일반적으로 상용 세슘원자시계들인데, 그것들은 수개월 동안에  $10^{14}$ 분의 1보다 좋은 안정도로 주파수를 유지할 수 있는, 장기 안정도가 극히 좋은 특성을 가지기 때문에 아주 우수한 시간-유지기(time-keeper) 역할을 한다. 이들 주파수의 상대불확도는  $10^{-12}$  정도이다. 또한, 시간 측정연구소는 우수한 단기 안정도를 가진 수소메이저를 사용하기도 한다. 수소메이저는 1일 이하의 기간동안에 안정된 기준기(10 000 초 동안에  $10^{15}$ 분의 1의 안정도)가 필요한 응용분야에 많이 사용된다. 수소 메이저의 평균 주파수를 몇 일 동안 세슘시계와 비교하면 수소메이저는 뚜렷한 주파수 편이를 나타내는데 이것은 수소 메이저의 기본적인 특성이다. 자체 주파수 조절 기능(self-servo-controlled cavity)을 가지는

능동형 모드로 메이저를 동작시키면 이 주파수 편이는 크게 줄어든다. 세슘시계와 수소메이저는 잘 조절된 환경조건 하에서 동작되어야 한다.

### 3.2 시각 비교, 시간 척도

국립연구소들은 보통 여러 대의 시계를 동작시킨다. 이 시계들은 서로 독립적으로 동작하지만 이들 데이터는 지속적인 시간척도를 생성하기 위해 결합되어진다. 이와 같이 생성된 시간척도는 각각의 어떤 시계보다도 더 안정되고 더 정확하다. 이 시간척도는 실험실에 있는 시계들을 서로 비교한 결과에 바탕을 두고 있는데 보통 100 ps 이하의 불확도를 가진다. 일반적으로 연구소  $k$ 에서 생성된 시간척도는  $TA(k)$ 로 표기된다.

서로 멀리 떨어져 있는 연구소에서 동작하는 시계들을 동기시키는 것은 시간측정 분야에 있어서 중요한 관심사이다. 이를 위해서는 지구상의 어느 곳에서나 언제든지 시계를 비교할 수 있는 정확한 방법이 필요하다. 인공위성 체계인 지구위치측정 시스템(GPS)은 이를 위한 만족할 만한 해결점을 제시하고 있다. 24개의 비정지 위성으로 이루어진 GPS는 위치측정을 위해서 고안되었으나, 시간 신호를 방송하는 세슘시계가 위성에 탑재되어 있는 특징을 가지고 있다. 이 신호는 다음과 같은 방법으로 사용된다. 서로 멀리 떨어진 두 연구소에서 동시에 볼 수 있는 인공 위성에 탑재된 시계와 두 연구소에 있는 각각의 시계를 비교하여 그 차이를 계산한다. 두 연구소가 수 킬로미터 떨어져 있을지라도 십분 이상 시각을 비교하면 불확도는 수 나노초로 줄일 수 있다. 이 한계까지 불확도를 줄이기 위해서는 그 데이터를 주의 깊게 다루어야 한다. 엄밀하게 동시 관측이 아닌 결과는 체계적으로 제거되어야 하고, 위성의 정확한 위치를 고려한 보정이 적용되어야 한다. 위성의 정확한 위치는 몇 일 뒤에나 알 수 있다.

GPS는 여러 나라에서 국립연구소 사이를 연결하는 방법으로 정식으로 이용되고 있고, 조만 간에 러시아가 운용하는 비슷한 위성체계인 GLONASS도 이용될 것이다. 또 다른 방법으로는 위성을 통해서 광주파수나 라디오 주파수 신호를 두 연구소간에 주고받는 양방향 기술이 연구되고 있다. 이런 방법은 이번 세기가 끝나기 전에 나노초 이하 수준의 정확도까지 가능해질 것이다. 모든 이러한 시각비교 방법들은 100 ns 가 넘는 상대론적인 효과의 영향을 받고 있기 때문에 이에 관한 보정이 반드시 적용되어야 한다.

시간을 보급하는 국립연구소에서 유지되는 시계들 사이의 모든 비교 결과들은 최적으로 조합되어 세계 기준 시간척도인 국제원자시(TAI)가 생성된다. 그런데 이것은 1971년 제14차 CGPM(결의사항 1; CR, 77 및 *Metrologia*, 1972, **8**, 35)에서 승인받았다. TAI의 최초 정의는 1970년 CCDS에 의해 CIPM(권고사항 S2; PV, **38**, 110 및 *Metrologia*, 1971, **7**, 43)에 제출되었다:

국제원자시(TAI)는 국제단위계의 시간 단위인 초의 정의에 따라 여러 기관에서 동작시키고 있는 원자시계의 값들을 바탕으로 하여 국제시보국(BIH)에서 확립한 시간의 기준좌표이다.

일반상대론적 관점에서, TAI는 시간좌표(또는 좌표시간)로 간주되어야 하므로 다음과 같이 그 정의가 완성되었다.(CCDS의 선언: *BIPM Com. Cons. Déf. Seconde*, 1980, **9**, S15 및 *Metrologia*, 1981, **17**, 70):

TAI는, 회전하고 있는 지오이드에서 척도 단위로 실현된 SI 초를 가지고 지구중심 기준계에서 정의된 협정시간 척도이다.

이 정의는 1991년 국제천문학연맹(IAU) 결의사항 A4에 의해 확장되었다.

TAI는 이상적인 형태가 지구시간(TT)인 현시 시간척도로서 TT와는 32.184 s의 일정한 차이를 가지고 있으며, TT는 지구중심좌표계의 시간좌표인 TCG(Geocentric Coordinate Time)와 일정한 비로 연관되어 있다.

좀더 자세한 것은  
proceedings of the  
21st General  
Assembly of the  
IAU, Buenos Aires,  
*IAU Trans.* 1991,  
vol. **XXIB** (Kluwer)  
참조.

1988년 1월 1일에 CIPM은 국제시보국으로부터 TAI에 대한 임무를 부여받았다. TAI는 두 단계로 처리된다. 우선, 약 50개의 연구소에서 측정조건 하에 유지되고 있는 약 200대의 시계에 바탕을 둔 가중 평균을 계산한다. 계산 알고리즘은 장기 안정도를 최적화하도록 되어 있는데, 이를 위해서는 오랜 시간 동안 시계 동작을 관측해야 한다. 결론적으로, TAI는 몇 주일이 지난 후에 활용될 수 있는 시간 지연된 시간척도이다. 1997년에 두 달 동안의 평균시간에 대한 TAI의 상대주파수 안정도는  $10^{15}$ 분의 2인 것으로 산출되었다. TAI의 주파수 정확도는 다양하게 실현된 1차 주파수 표준기의 SI 초와 TAI 척도 단위를 비교함으로써 평가된다. 이를 위해서는 1차 표준기가 있는 위치와 회전 지오이드에 고정된 한 지점 사이의 상대론적인 주파수 편이를 보상하는 보정이 필요하다. 지구표면에 고정된 두 지점들 사이에서 이 보정의 크기는 고도 1 미터당  $10^{16}$ 분의 1정도이다. 1997년에 회전 지오이드 상에서 TAI 척도 단위와 SI 초 사이의 차이는  $+2 \times 10^{-14}$  초였고,  $5 \times 10^{-15}$  초의 불확도를 가지는 것으로 알려졌다. 이 차이는 두 달마다  $10^{15}$ 분의 1만큼 보정함으로써 TAI의 주파수를 조정하면 줄어든다. 이 방법은 TAI의 중기 안정도를 저하시키지 않고 TAI의 정확도를 개선하게 된다.

### 3.3 법정시

TAI가 일상 생활에 직접 보급되지는 않는다. 일반적으로(라디오, 텔레비전, 전화 등에서) 쓰이고 있는 시간은 1975년 제15차 CGPM의 결의사항 5(CR, 104 및 *Metrologia*, 1975, **11**, 180)에서 권고한 세계협정시(UTC)라고 불리는 시간척도이다. UTC는 TAI와 정수 초의 차이가 나며, 그 차이는 1997년 7월 1일에 -31 초이



다. 태양이 UTC로 정오에 그리니치 자오선을 지나는 것을 일년 동안 평균하여 얻어지는 지구자전에 의하여 정의된 시간과 UTC가 0.9 초 이내에서 일치하도록 음 또는 양의 윤초를 적용함으로써 이 차이는 1초 단위로 조정될 수 있다. 또한 대부분의 나라의 법정시(시간대역과 “서머 타임”에 의하여) UTC와 정수 시간만큼 차이가 난다. 시간을 보급하는 국립연구소  $k$ 에서 유지하고 있는 UTC( $k$ )는 UTC에 가깝게 유지된다. UTC( $k$ )와 UTC의 차이는 일반적으로 수백 나노초 이하이다.

#### 4 전기의 양

암페어(SI 기본단위의 하나), 옴 및 볼트를 그들의 정의에 따라 높은 정확도로 현시하는 것은 어려울 뿐 아니라 많은 시간이 소요된다. 현재 암페어를 현시하는 최선의 방법은 와트, 옴 및 볼트를 현시한 후 이들을 조합하여 얻는 것이다. 전기적으로 현시되는 와트는 역학적으로 현시되는 와트와 맞져울 실험으로 비교된다. 이 실험들은 자장 속에 있는 코일을 이용하는데 그 코일의 치수 혹은 그 자장의 세기를 알 필요가 없도록 고안된다. 옴은 Thompson-Lampard 축전기를 사용하여 현시되며 그 축전기의 값은 격리된 전극봉의 선형 변위의 크기에만 의존하는 일정량만큼 변화될 수 있다. 볼트는 정전기적 힘을 역학적 힘으로 측정하는 저울에 의하여 현시된다. 따라서 암페어는 이 단위들 중 어느 둘의 조합으로부터 얻어진다. 이 방법으로 구한 암페어 값의 상대 불확도는  $10^7$ 분의 2, 3 정도로 추산된다. 또한 암페어, 옴 및 볼트는 물리상수들의 다양한 조합의 측정값들로부터 또한 결정될 수도 있다. 그러나 조셉슨 및 양자 홀 효과에 기초를 둔 볼트와 옴의 실험실 참조표준은  $10^7$ 분의 2, 3 보다는 상당히 높은 재현성과 안정도를 가지고 있다. 이러한 고도로 안정된 방법을 이용하여 전기 단위의 실험실 참조표준을 유지하며 동시에 그들의 SI 정의를 변경시키지 않기 위하여 1987년 제18차 CGPM은 조셉슨 상수  $K_J$ 와 폰 클리칭 상수  $R_K$ 에 대한 전통적인 값을 기반으로 한 볼트와 옴의 표현을 요청하는 결의사항 6을 채택하였다.

■ 제18차 CGPM, 1987, 결의사항 6(CR, 100 및 *Metrologia*, 1988, 25, 115): 볼트와 옴의 표현에 대한 앞으로의 조정

제18차 국제도량형총회는

- 국가의 전기단위 표현이 세계적인 일치성과 장기적 안정성을 갖는 것은 기술적, 경제적인 관점에서 보아 과학과 상업 그리고 산업에 매우 중요하다는 것과,
- 조셉슨 효과와 양자 홀 효과가 장기적 안정성에 대한 최선의 보장을 제공하기 때문에, 많은 국립 연구소가 볼트와 옴의 표현을 유지하기 위하여 볼트에는 조셉슨 효과를 이용하고 있고 옴에는 양자 홀 효과를 이용하기 시작하고 있는 것과,
- 여러 물리량의 측정 단위들 사이에 일관성이 중요하기 때문에 이 단위들의 표현을 위하여 채택된 값들은 가능한 한 SI와 일치하여야 하는 것과,
- 최근 및 현재의 실험 결과로부터, 전기 단위와 관련이 있는 효과들에 관계되는 계수로서 SI와 충분한 호환성을 가지고 받아들여질 수 있는 값을 확립할 수 있게 된 것을

고려하여,

조셉슨 효과의 경우에 전압 대 주파수의 비와 양자 홀 효과의 경우에 전압 대 전류의 비의 값을 확립하는데 기여할 수 있는 연구소들에게 이를 위하여 적극적인 노력을 경주하고 그 결과를 지체없이 국제도량형위원회에 통보하도록 요청하며,

그리고 가능한 한 빨리 이들 각각의 계수 값과 그 값들이 모든 나라에서 동시에 실시될 날짜를 추천할 것을 국제도량형위원회에 지시한다: 이 값들은 적어도 일년 전에 공포되고 1990년 1월 1일에 채택된다.

1988년에 CIPM은 조셉슨 상수와 폰 클리칭 상수에 대한 정확한 값을 부여하는 권고사항 1(CI-1988)과 2(CI-1988)를 채택하였고, 1990년 1월 1일부터 실험실들의 표준은 이 값들에 기반을 둘 것을 요청하였다.

■ CIPM, 1988, 권고사항 1(PV, 56, 44 및 *Metrologia*, 1989, 26, 69): 조셉슨 효과에 의한 볼트의 표현

국제도량형위원회는

볼트와 옴의 표현에 대한 향후 조정에 관한 제18차 국제도량형총회의 결의사항 6에 주어진 지시사항들에 따라 직무를 이행함에 있어,

- 최근의 측정결과들에 대한 상세한 연구는 조셉슨 상수, 즉 조셉슨 효과에서  $n=1$  단계에 해당하는 주파수를 전위차로 나눈 비,  $K_J$ 의 값으로 483 597.9 GHz/V를 제공하고,
- 이  $K_J$  값과 함께 조셉슨 효과는 볼트에 대하여  $10^7$ 분의 4정도의 1표준편차( $1\sigma$ )의 불확도와 상당히 좋은 재현성을 갖는 기전력의 참조표준을 확립하는데 사용될 수 있다는 것을

고려하여

- 정확히 483 597.9 GHz/V를 조셉슨 상수  $K_J$ 에 대한 협정값으로 채택하고  $K_{J-90}$ 으로 표시할 것과,
- 1990년 1월 1일부터 (그 이전은 아니 되며) 현재 사용중인 값을 이 새로운 값으로 대체하여 사용할 것과,
- 조셉슨 효과에 기초하여 기전력을 측정하는 모든 실험실이 그 날짜로부터 이 새로운 값을 사용할 것과,
- 그 밖의 모든 실험실은 그 날짜로부터 그들의 참조표준 값을 조정하여 새로이 채택된 값에 일치시킬 것을

권고하며

예측할 만한 장래에는 이 조셉슨 상수의 권고값에 변경이 필요치 않으리라는 견해를 갖고, 새로운 값은 1972년 전기자문위원회의 선언사항 E-72에 주어진 값보다 3.9 GHz/V 또는  $10^6$ 분의 8만큼 크다는 사실에 대하여 실험실들의 주의를 환기시킨다,

■ CIPM, 1988, 권고사항 2(PV, 56, 45 및 *Metrologia*, 1989, 26, 70): 양자 홀 효과에 의한 옴의 표현

국제도량형위원회는

볼트와 옴의 표현에 대한 향후 조정에 관한 제18차 국제도량형총회의 결의사항 6에 주어진 지시사항들에 따라 직무를 이행함에

- 대부분의 기존 실험실 저항 참조표준이 시간에 따라 상당히 변하고 있다는 것과,
- 양자 홀 효과에 기초한 저항의 실험실 참조표준은 안정하고 재현성이 있다는 것과,
- 최근의 측정결과들에 대한 상세한 연구는 클리칭 상수, 즉 양자 홀 효과에서 평탄수  $i=1$ 에 해당하는 홀 전압을 전류로 나눈 비,  $R_K$ 의 값으로 25 812.807  $\Omega$ 을 제공한다는 것과,
- 이  $R_K$  값과 함께 양자홀 효과가  $10^7$ 분의 2 정도의 1표준편차의 불확도와 매우 좋은 재현성을 갖는 저항의 참조표준을 확립하는데 사용될 수 있다는 것을

고려하여

- 정확히 25 812.807  $\Omega$ 을 폰 클리칭 상수  $R_K$ 에 대한 협정값으로 채택하고  $R_{K-90}$ 으로 표시할 것과,
- 양자 홀 효과에 기초를 두고 저항을 측정하는 모든 실험실들이 1990년 1월 1일 부터(그 이전은 하나씩) 이 새로운 값을 사용할 것과,
- 그 밖의 모든 실험실은 그 날짜로부터 그들의 참조표준값을 조정하여  $R_{K-90}$ 과 일치시킬 것과,
- 저항의 실험실 참조표준을 확립하기 위하여 양자 홀 효과를 사용할 때, 모든 실험실은 전기자문위원회에 의해 작성되고 국제도량형국에 의해 출판된 양자 홀 저항의 신빙성 있는 측정을 위한 기술 안내서의 최신판을 따를 것을

권고하고, 예측할만한 상태에는 이 클리칭 상수의 권고값에 변경이 필요치 않으리라는 견해를 갖는다.

CCE는 1988년 회의에서 권고된 협정값들,  $K_{J-90}$ 과  $R_{K-90}$ 을 사용해야 하는 방법을 매우 주의깊게 고려하였고 그 권고사항들의 함축 내용을 분명하게 하기 위하여 추가적인 선언을 하였다. 이 선언은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 권고사항 1 (CI-1988) 및 2 (CI-1988)는 SI 단위의 새로운 정의를 제정하는 것이 아니다. 협정값,  $K_{J-90}$ 과  $R_{K-90}$ 은 볼트와 옴(국제단위계(SI)에서 기전력과 전기저항에 대한 현재의 단위를 의미하는)을 정의하는데 기초로 사용될 수 없다. 만일 그렇게 한다면 정확히 정의된 값을 갖는 상수의 위치로부터  $\mu_0$ 의 위치를 변화시키게 될 것이고(따라서 암페어의 정의를 폐기시키게 되고), 그리고 또한 킬로그램의 정의와 그로부터 유도되는 단위들과 호환성을 갖지 않는 전기 단위들이 만들어지게 될 것이다.
2. 양이나 단위의 기호에 사용되는 첨자에 관하여, CCE는 기전력(전위, 전위차)과 전기저항 그리고 볼트와 옴에 대한 기호들이 특정한 실험실이나 날짜를 나타내기 위

하여 첨자를 첨가함으로써 수정되어서는 아니 된다고 생각한다.

이 선언들은 추후 CIPM에서 지지를 받았다. 제19차 CGPM(1991, 결의사항 2)은 조셉슨 효과 및 양자 홀 효과의 기초이론에 대해 지속적으로 연구할 것을 권고하였다.

## 5 온 도

소수의 소위 일차 온도계 가운데 하나를 사용하여야 만 열역학적 온도를 직접 측정할 수 있다. 이들은 미지의 온도 의존 상수를 도입하지 않고도 그 상태방정식이 명확히 표현될 수 있는 온도계이다. 열역학적 온도의 정확한 값을 제공하는데 사용되어 온 일차 온도계로는 등적 기체온도계, 음향 온도계, 단색 복사 및 총 복사 온도계 그리고 전자잡음 온도계가 있다. 약 373K까지는 이러한 온도계로 수 밀리켈빈의 불확도를 얻을 수 있고, 그 이상의 온도에서는 불확도가 급격히 증가한다. 높은 정확도를 얻기 위하여 이러한 온도계를 사용하는 것은 어렵고 많은 시간이 소요되나, 어떠한 일차 온도계 보다 10배 이상의 재현성을 가진 백금 저항 온도계와 같은 2차 온도계가 있다. 이러한 2차 온도계를 최대로 활용할 수 있게 하기 위하여 CGPM은 그 동안 국제 온도 눈금의 연속적인 개정판을 채택하였다. 그 첫 번째가 1927년의 국제온도눈금(ITS-27)이며, 이는 1948년의 국제실용온도눈금(IPTS-48)으로 대체되었고, 그리고 이는 다시 1968년의 국제실용온도눈금(IPTS-68)으로 대체되었다. 1976년에 CIPM은 낮은 온도에서 사용하기 위하여 1976 잠정 0.5K~30K 온도눈금(EPT-76)을 채택하였다. 1990년 1월 1일에는 IPTS-68과 EPT-76가 1989년 CIPM의 권고사항 5(CI-1989)에 의해 채택된 1990 국제온도눈금(ITS-90)에 의해 대체되었다. 제19차 CGPM (1991, 결의사항 3)은 각 국가 표준기관들이 ITS-90을 빨리 도입하여 온도측정의 장기안정도와 세계적 일관성을 향상시키기 위하여 계속 노력할 것을 권고하였다.

### ■ CIPM, 1989, 권고사항 5(PV, 57, 115 및 *Metrologia*, 1990, 27, 13): 국제온도눈금 1990

제18차 국제도량형총회(1987)의 결의사항 7에 따른 업무를 수행하는 국제도량형위원회는 1968년의 국제실용온도눈금(IPTS-68)을 폐지하고, 대신에 1990년의 국제온도눈금(ITS-90)을 채택하였다.

CIPM은, IPTS-68과 비교하여 볼 때, ITS-90이

- 0.65 K의 낮은 온도까지 확장되고, 따라서 EPT-76을 대체하며,
- 대응되는 열역학적 온도와 상당히 잘 일치하고,
- 전체 영역에서 연속성, 정밀도, 재현성이 크게 개선되었으며,
- 사용하기가 매우 편리한 어떤 특정영역에서는 세부 온도눈금 및 다르게 선택할 수 있는 온도눈금 정의를 가지고 있다는 것을 주목한다.

또한 CIPM은 ITS-90의 본문과 함께 두개의 보충문서, ITS-90 보충 설명서(*The Supplementary Information for the ITS-90*)와 ITS-90 근사 기술서(*Techniques for Approximating the ITS-90*)가 나올 것을 주목한다. 이 문서들은 BIPM에 의해 출판되고 주기적으로 갱신될 것이다.

CIPM은

- 1990년 1월 1일부로 ITS-90이 시행되며
- 그 날자로부터 IPTS-68과 EPT-76을 폐지할 것을 권고한다.

ITS-90은 0.65 K로부터 광온계를 이용하여 측정할 수 있는 최고 온도까지 확장된다. 그 눈금은 1) 고정점을 정의하는 일련의 집합과 2) 고정점들 사이의 온도를 내삽하는 특별한 방법들에 기초를 둔다. 정의된 고정점들은 실험적으로 실현 가능한 여러 개의 열역학적 상태에 일치하도록 부여된 온도들이고, 내삽방법들은 0.65 K에서 5 K까지는 헬륨의 증기압방정식으로, 3 K에서 24.5561 K까지는 등적 기체온도계의 내삽방법으로, 13.8033 K에서 961.78 °C까지는 백금저항온도계로, 더 높은 온도에서는 플랑크 복사 법칙으로 정의된다. 몇 가지 온도영역에서는, ITS-90에 의하여 정의되는 온도  $T_{90}$ 에 대하여 한가지 이상의 정의가 존재한다. 이들 다양한 정의들은 모두 동등한 타당성을 갖는다.

ITS-90의 현시와 이행에 대한 안내는 두 개의 문서, “ITS-90 보충 설명서(*The Supplementary Information for the ITS-90*)”와 “ITS-90 근사 기술서(*Techniques for Approximating the ITS-90*)”에 실려 있으며, 이것은 CCT에 의하여 인가되고 주기적으로 갱신되어 BIPM에 의하여 출판된다.

## 6 물질량

화학분석이나 투여량에 대한 모든 정량적인 결과는 그 기본단위가 몰(mol)인 기본 구성입자의 물질량의 단위로 나타낼 수 있다. 이 단위에 기초를 둔 물리적 측정원리는 아래와 같이 설명된다.

가장 간단한 경우는 원자만으로 구성된 순수한 물질인 시료의 경우로서, 이러한 원자의 화학기호를 X라고 하면, 원자 X의 1 몰은 정의에 의해 0.012 킬로그램 속에 존재하는  $^{12}\text{C}$  원자수와 같은 수의 원자를 포함하고 있다. 탄소 12 원자의 질량  $m(^{12}\text{C})$ 이나 원자 X의 질량  $m(X)$ 은 모두 정확히 측정할 수 없기 때문에, Penning trap을 이용한 방법 등으로 정확히 측정할 수 있는 질량의 비  $m(X)/m(^{12}\text{C})$ 를 사용한다. 따라서 X 1 몰에 해당하는 질량은  $[m(X)/m(^{12}\text{C})] \times 0.012 \text{ kg}$ 이며, X의 몰 질량  $M(X)$  (물질량에 의한 질량비)는

$$M(X) = [m(X)/m(^{12}\text{C})] \times 0.012 \text{ kg/mol}$$

로 표시된다.

예를 들면, 플루오르 원자  $^{19}\text{F}$ 와 탄소원자  $^{12}\text{C}$ 는 그 질량비가 약 18.9984/12이다. 따라서 기체분자  $\text{F}_2$ 의 몰 질량은

$$M(\text{F}_2) = \frac{2 \times 18.9984}{12} \times 0.012 \text{ kg/mol} = 0.0379968 \text{ kg/mol}$$

이며,

F<sub>2</sub> 기체의 어떤 주어진 질량, 예를 들어 0.0500 kg에 해당하는 물질량은

$$\frac{0.0500 \text{ kg}}{0.0379968 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1.316 \text{ mol}$$

이다.

원자 X, Y...로 구성된, 화학식이 B = X<sub>a</sub>Y<sub>β</sub>...인 분자 B로 이루어진 순수한 물질의 경우, 한 분자의 질량은  $m(B) = \alpha m(X) + \beta m(Y) + \dots$ 이다.

이 질량을 정확히 측정할 수는 없지만, 비  $m(B)/m(^{12}\text{C})$ 는 정확히 결정할 수 있다. 따라서 B 분자 물질의 몰 질량은

$$\begin{aligned} M(B) &= \frac{m(B)}{m(^{12}\text{C})} \times 0.012 \text{ kg/mol} \\ &= \left( \alpha \frac{m(X)}{m(^{12}\text{C})} + \beta \frac{m(Y)}{m(^{12}\text{C})} + \dots \right) \times 0.012 \text{ kg/mol} \end{aligned}$$

이다.

이와 같은 방법은  $\alpha, \beta$ 가 정수가 아니라도 물질 B의 조성이 X<sub>a</sub>Y<sub>β</sub>...로서 주어진 좀 더 일반적인 경우에도 사용할 수 있다. 만일 질량비  $m(X)/m(^{12}\text{C}), m(Y)/m(^{12}\text{C}), \dots$ 를  $r(X), r(Y), \dots$ 로 표기하면 물질 B의 몰 질량은 다음 식으로 주어진다.

$$M(B) = [\alpha r(X) + \beta r(Y) + \dots] \times 0.012 \text{ kg/mol.}$$

물질량을 측정하기 위하여 물리학과 물리화학의 법칙에 기초를 둔 다른 방법들이 있는데, 그 세 가지 예는 다음과 같다.

1. 완전기체에서, 어떤 기체입자 1 몰은 일정온도  $T$ 와 압력  $p$ 에서 같은 부피를 차지한다( $T = 273.15 \text{ K}$ 와  $p = 101\,325 \text{ Pa}$ 에서 약  $0.0224 \text{ m}^3$ 의 부피를 갖는다). 따라서 이것은 어떤 두 기체의 물질량의 비를 측정하는 방법이 된다(완전기체가 아닐 경우에 보정하는 방법은 잘 알려져 있다).
2. 정량적인 전해 반응에서 물질량의 비는 전기량을 측정함으로써 얻어질 수 있다. 예를 들면, 1 몰의 Ag와 1/2 몰의 Cu는 같은 전기량(약 96 485 C)으로 음극에서 석출된다.
3. 물질량의 비를 결정하는 또 다른 하나의 방법은 매우 묽은 용액의 경우에 적용되는 법칙을 이용하는 것이다.

## 7 광측정량

p. 17에 주어진 칸텔라의 정의는 엄밀한 물리적 용어로 표현되어 있지만 광측정의 목적은 같은 복사에 대하여 그 측정결과가 사람이 느끼는 시각적 감각과 최대한 일치하는 빛을 측정하는데 있다. 이러한 측정을 위해서 국제조명위원회(CIE)에서는 분광시감 효율함수(spectral luminous efficiency functions)라 하는 두 가지 특별한 함수,  $V(\lambda), V'(\lambda)$ 를 도입했다. 이들 함수는 각각 평균적인 사람 눈의 상대분광감응도를 밝은 빛 시각(light adapted)과 어두운 빛 시각(dark adapted)으로 나누어 나타낸 것이다. 이

광측정의 원칙,  
*Monographie BIPM,*  
1983, 31 p.

들 중에서 보다 중요한  $V(\lambda)$ 는 밝은 빛 시각 영역에서 사람의 눈이 가장 민감하게 반응하는 단색복사선에 대한 값에 대하여 상대적으로 표현된다. 즉 이것은 표준공기에서 555.016 nm 파장의 빛에 해당하는  $540 \times 10^{12}$  Hz의 복사선에 대하여 상대적으로 정의되어 있다.

CIPM은 광측정량을 순전히 물리학적으로 분광복사속 분포(spectral power distribution)를 정해진 파장함수로 가중치를 주어 적분한 것에 비례하는 양으로서 정의하도록 분광시감효율 함수의 사용을 승인했다.

SI의 시초부터 칸델라는 기본단위 중의 하나였으며, 1979년에 출력의 SI 유도단위인 와트와 연관된 이후에도 기본단위로 남아있다. 최초의 광도표준은 양초와 같은 광원이었으며 이런 이유로 광도 기본단위의 이름이 칸델라(candela)라고 붙여졌다. 1948년에서 1979년 사이에는 백금응고점에서의 흑체복사, 즉 플랑크 복사가 칸델라를 정의하는데 사용되었다. 오늘날 광도는 흑체의 정의에 함축된 광대역의 복사가 아니라 단색광의 복사로 정의되었다. 현재의 광도 정의에서 1/683 와트 매 스테라디안의 값은 1979년 그 당시의 국립표준연구실들이 유지하던 광도단위의 평균값에 근접하도록 정해졌다.

이 정의는 칸델라를 재현하는 방법을 제시하지 않았기 때문에 새로운 기술이 개발되더라도 기본단위의 정의를 변화시키지 않고 적용할 수 있는 큰 장점이 있다. 오늘날 국립표준기관들은 복사측정방법으로 칸델라를 현시하고 있지만 광선속과 광도표준을 제공하는 광측정 단위를 유지하기 위해 아직도 표준전구를 계속 사용하고 있다.

## 색 인 (고딕체로 표시된 페이지에는 단위의 정의가 나타나 있다)

광도 (16~17, 43~44) luminous intensity  
 광측정량 (68) photometric quantities  
 국제단위계 (31~34)  
 International System of Units, SI  
 국제도량형국 (2~4) BIPM  
 국제도량형위원회 (2~4) CIPM  
 국제도량형총회 (2~4) CGPM  
 국제원자시 (39~40, 61~62)  
 International Atomic Time (TAI)  
 그레이 (19, 21, 45) gray  
 기호 Symbols  
 기본단위의 - (17) symbols, for base units  
 -의 표기 및 사용 (28~29)  
 writing and use of symbols  
 리터의 - (24, 49~50)  
 symbols, for the litre  
 특별한 명칭을 가진 SI 유도단위의 - (19)  
 symbols, for derived units with special names  
 길이 (13, 34~36, 52~59) length  
 네퍼 (24, 대수량 참조) neper  
 뉴턴 (15, 19, 33, 40) Newton  
 단위 (13) Units  
 - 에 관한 법률 (12) legislation on units  
 - 의 두 가지 부류 (11)  
 the two classes of SI units  
 - 정의의 현시 (52~69)  
 practical realization of the definitions of units  
 광측정 - (43~44) photometric units  
 열량의 - (줄 참조) unit of quantity of heat  
 특별한 명칭을 가진 CGS - (26)  
 CGS units with special names  
 특별한 명칭을 가진 SI 유도 - (19)  
 SI derived units with special names  
 CGS - (26) CGS units  
 SI 기본 - (13) SI base units  
 SI 기본 - 및 기호 (17)  
 SI units and symbols  
 SI -의 배수 및 분수 (11, 22, 47~48)  
 SI multiples and submultiples of units  
 SI 보충 - (46~47)  
 SI supplementary units

SI와 함께 사용되는 - (23~25)  
 units in use with SI  
 SI 유도 - (17~21, 44~46)  
 SI derived units  
 대수량(네퍼, 벨) (24)  
 logarithmic quantities (neper, bel)  
 라디안 (19, 32, 46~47) radian  
 럭스 (19, 33, 48) lux  
 루멘 (신루멘) (19, 33, 48, 44)  
 lumen (new lumen)  
 리터 (24, 49~50) litre  
 리터의 기호 (49~50) symbol for the litre  
 마이크로론 (27, 48) micron  
 메트롤로기아 (4) Metrologia  
 메트릭 톤 (24, 48) metric ton  
 몰 (16, 43, 67~68) mole  
 무게 (질량 참조) weight  
 무 차원량 (21) dimensionless quantities  
 물의 삼중점 (15, 41)  
 triple point of water  
 물질량 (16, 43, 67~68)  
 amount of substance  
 미터 (13, 34~36, 52~59) metre  
 미터협약 (2) Convention du Mètre  
 베크렐 (19, 45) becquerel  
 볼트 (19, 33, 41, 48, 63~64) volt  
 분 (24) minute  
 빛의 속력(권고값) (35)  
 speed of light (recommended value)  
 선량당량 (시버트 참조) dose equivalent  
 섭씨 온도 (15) Celsius temperature  
 세계협정시 (40, 62)  
 coordinated universal time (UTC)  
 세제곱 데시미터 (49) cubic decimetre  
 스테라디안 (19, 33, 46~47) steradian  
 시 (24) hour  
 시간 (14, 37~40, 60~62) time  
 시버트 (19, 21, 45) sievert  
 신촉광 (43, 49) new candela  
 실용 단위계 (30) practical system of units  
 아르 (25) are



- 암페어 (14~15, 40~41) ampere  
 양의 체계 (12) system of quantities  
 양자홀 효과 (63~65) quantum Hall effect  
 열량의 단위(줄) (19, 33, 40, 41~42)  
 unit of quantity of heat (joule)  
 열역학적 눈금 (41~42)  
 thermodynamic scale  
 열역학적 온도 (15, 42~43)  
 thermodynamic temperature  
 옴 (19, 33, 41, 63~65) ohm  
 온도 (41~43, 66~67) temperature  
 와트 (19, 33, 40, 48) watt  
 웨버 (19, 33, 41) weber  
 일 (24) day  
 일관성 있는 단위계 (10, 23, 33)  
 coherent system of units  
 자문위원회 (3) Consultative Committees  
 잔스키 (27) jansky  
 전기단위 (40~41) electric units  
 전기의 양 (62~65) electrical quantities  
 전기전도도 (지멘스 참조)  
 electric conductance  
 전류 (암페어 참조) electric current  
 전자볼트(25) electronvolt  
 접두어 (11, 22, 32, 47) prefixes  
 접두어의 사용규칙 (29)  
 Rules for using SI prefixes  
 조셉슨 효과 (64~65) Josephson effect  
 줄 (19, 33, 40, 41~42) joule  
 주파수표준 (38, 60) frequency standard  
 중력가속도, ( $g_n$ )의 표준값 (37)  
 acceleration due to gravity, standard value of ( $g_n$ )
- 지멘스 (41) siemens  
 $g_n$  (37)  
 질량 (14, 37, 60) mass  
 질량과 무게 (37) mass and weight  
 초 (14, 37~40) second  
 칸델라 (16~17, 43~44) candela  
 쿨롱 (41) coulomb  
 퀴리 (27, 45) curie  
 켈빈 (15, 42~43) kelvin  
 킬로그램 (14, 22) kilogram  
 킬로그램의 배수단위 (22, 37)  
 multiples of kilogram  
 테슬라 (19, 33) tesla  
 톤 (24, 48) tonne  
 통일 원자질량 단위 (25)  
 atomic mass unit, unified  
 TAI (39~40, 61~62)  
 international atomic time  
 파스칼 (19, 41) pascal  
 패럿 (33, 41) farad  
 표준기압 (42) standard atmosphere  
 표준 중력가속도 (37)  
 standard acceleration due to gravity  
 헤르츠 (19, 21, 33, 48) hertz  
 헥타아르 (25) hectare  
 헨리 (19, 33, 41, 48) henry  
 흡수선량 (그레이 참조)  
 absorbed dose  
 힘 (15, 19) force  
 힘의 단위 (15, 19) unit of force

국제단위계(SI) 제 7 개정판(한글판)  
편집위원회

위원장 : 송양섭

위 원 : 김용규, 서상욱, 소현영, 엄천일, 이래덕,  
이우갑, 이호성, 전국진, 정영봉 (가나다 순)

간 사 : 전경수

국 제 단 위 계  
*Le Système International d'Unités(SI)*  
(제 7 개정판 - 1998)

---

1999년 7월 1일 인쇄

1999년 7월 5일 발행

발행인 : 정 명 세  
발행처 : 한국표준과학연구원  
          유성우체국 사서함 102호  
          전화 (042) 861-7201~5  
인쇄소 : 신 광 사  
          전화 (042) 252-5707~8

---