天文時와 物理時

朴 成 桓
国 立 天 文 臺

오늘날 우리는 우리 일상생활을 하는데 꼭 필요한 시간을 아무 불편도 없이 우리 주위 어느 곳에서나 쉽게 알 수 있다. 그러나 옛날에는 해시계, 물시계, 혼천의, 향시계와 같은 원시적인 방법에 의해 시간을 알아냈었다. 근래에 와서 천체의 운행에 의한 천문시(天文時)로 시간을 측정하다가, 최근에는 물리적 현상에 의한 물리시(物理時)에 의해 시간을 측정하는 방법이 등장하여서 상이(相異)한 성질을 띄고있는이들이서로 보완의 관계를 유지하면서 이용되고 있다. 정확한 시간을 측정하는 목적은 일상생활에서의 시간을 안다는 필요성을 넘어서 전자시계의 제조, 전파천문학연구, 고속 전투기의 비행 등 정밀산업과학 분야에 필요하기 때문이다. 그러면 시간에 관한 몇 가지 기초 개념에 관해서 간단히 알아 보겠다.

1. 세계시(世界時 : Universal Time, U T)

원시적인 시간 측정 방법으로부터 「호이겐스」(Huygens) 에 의한 진자 시계와 「후크」 (R. Hooke)에 의한 탈진기 시계와 같은 기계적인 시계가 등장한 것은 17세기경부터 였다. 그 무렵부터 시태양(視太陽)의 자오선 통과를 정오로 기준하여 다음 정오까지를 1 일로 하여 등분한 시간을 나타냈다. 그 후 태양의 천구상의 운동이 황도이며, 등속이 아니라는 것을 알게 되어 18세기 후반에 와서는 시각(時角)의 증대가 일정하게한 가상천체를 생각하여 1 일의 길이를 평균하는 등분한 평균태양시가 사용되기 시작하였다. 영국 그린위치를 통과하는 본초자오선을 기준으로한 평균태양시를 세계시(Universal Time, UT)라 하며 사진천정통(P.Z.T.)으로 정확한 지구의 1 자전시간을 측정하여 얻어지는 태양시, UT0는 항성시 ST로부터

$$UT0 = ST - \alpha_{\odot} + \lambda + 12^{h}$$

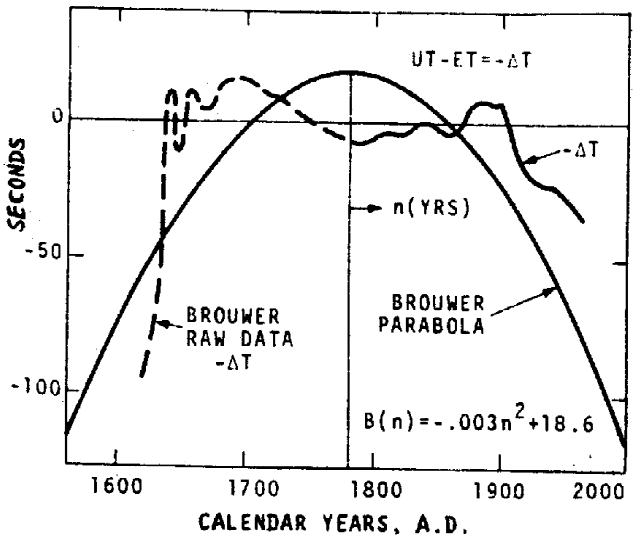
의 식으로 산정된다. 이때 $\alpha_{\odot}$는 Newcomb의 식으로부터 얻어진 평균 태양의 적경이다. 지구의 1 자전은 일정하리라 생각했는데 북극성의 운동에 의하여 변한다는 사실을 알게 되어 극운동 $\Delta\lambda$ 를 보정하여 $UT1 = UT0 + \Delta\lambda$ 를 얻는다.

여기서 $\Delta\lambda = 1{,}000/15\ (x \sin\lambda - y \cos\lambda)\ \tan\phi$ (ms)이고, (x, y)는 극 위치의 좌표이며, λ 는 관측지점의 경도, ϕ 는 관측지점의 위도이다. 지구의 자전 속도는 계절현상에 의하여도 변하는데 이러한 계절적 변화의 보정치 ΔTs를 보정하여 $UT2 = UT1 + \Delta Ts = UT0 + \Delta\lambda + \Delta Ts$ 를 측정한다. $\Delta\lambda$ 및 ΔTs 의 값은B.I.H.가 산정하여 각국 천문대나 연구기관으로 통보하고있다. 세계시의 특징은 전부가 천체의 시각(時角)에서 측정되고 천구의 일주운동이 기초가 된다는 것이다. 위에 기술한 여러 가지 원인에의한 자전 속도의 감소는 100년간에 1 일의 길이가 약 1 ms 정도 길어지는데 이 무시할 정도의 미소한 값도 2,000년간의 기간을 누적하면 약 2 시간가량 된다. 이것은 세계시와 원자시 사이에 무시할 수 없는 차이가 생긴다는 뜻이다. 이런 차이는 고대 유럽이나 중국의 일식 기록과 달, 태양의 운동이론을 사용해서 구한 계산치와의 차이로서도 실증된다.

2. 역표시(曆表時: Ephemeris Time, E T)

지구의 자전속도가 일정치 않다는 것이 판명되었기 때문에 자전에만 의하지 않고 공전에 의하여 생각해낸 것이 역표시이다. 태양의 기하학적 평균환경은 Newcomb의 식 $L = 279°41'48''04 + 129°602\,768''.13T + 1''.089T^2$에 의해 산출 된다. 여기서 T는 1900년 1 월 0 일 12시 ET부터 36525 역표일을 단위로 잰다. 시점(始点)은 1900년 1 월 0 일 근방인 평균태양의 평균 황경이 $279°41'48''.04$가 되는 때를 정의하였다. 역표초는 시간의 단위로하여 종래의 세계시의 초인 지구의 1 자전의 86400분의 1 대신에 1956년 국제도량형위원회에서 1900년 1 월 0 일에서의 1 회귀년의 31,556,925.9747분의 1 로 정의하기로 채택되었다.

천체력(天体曆)에서는 일정한 시각에 대한 혹



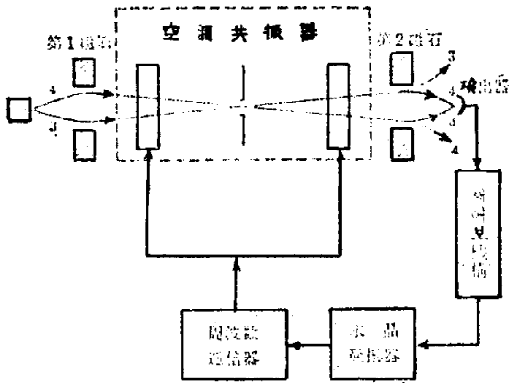
3세기간의 UT와 ET의 차이

성이나 위성의 위치를 나타내고 있으며 역학의 이론에 따라 모든 섭동을 고려한 운동의 식(표)을 만들어 놓으면 거꾸로 천체의 위치를 관측하여 그때 그때의 시각을 구할 수 있다. 실제의 관측은 오히려 정확성이 있는 달의 위치관측으로 행해지는데 보통 위치자오선관측, 엄폐관측, 마스코위치 카메라에 의한 3가지의 방법으로 행해진다. ET0는 부라운의 표(달의 섭동 계산표)로부터 지구 자전변동에 기초한 경험항을 빼고 조석항(潮夕項)이라고 불리우는 실험적인 보정항을 가한 초기의 개량력(改良曆, 1960~1967)을 써서 FK4 기준성표에 기초한 달의 관측으로부터 결정한 것이다. ET1은 그 후의 천문정수 (定数)의 개정이나(1968) 부라운의 표중 182항의 계수 error를 수정한 개량력(1968~71)에 의한 것이며 ET2는 다시 태양섭동항의 재계산을 행한 역(1972)에 의한 것이다. 역표시의 정확도는 대략 50ms/9y이다. 세계시나 역표시 같이 천체현상을 기초로 측정된 천문시의 특징은 대략 세계에 단 하나이며 절대 중단하지 않고 운동이 비교적 느리고, 위상점(位相点)을 세계공통으로 정하고, 관측되는 것은 주파수가 아닌 위상이며, 시간간격은 이들로부터 유도되고 긴 기간의 평균적인 위상추이(位相推移)에 의해 나타난다는 것이다.

3. 원자시(原子時: Atomic Time, AT)

여기에 더 나아가 물리현상을 이용하여 일정한 지속시간을 얻을 수 있는 방법의 발달을 보게 되어 1949년 미국 표준국 (NBS)에서 「암모니아」 까스를 이용한 연구가 시도되었고 그외에도 수소원자, 루비디움(Rb)까스에 의한 방법도 시도되었다가 1955년 영국 물리연구소(NPL) 에서 「쎄시움」(Cs) 원자를 이용한 원자시를 측정하기 시작했다. 이 원리는 Cs(원자번호 133)의 기저상태(基底状態)에 있는 2개의 초미세구조(超微細構造) 사이를 천이(遷移) 할때 생기는 전자파의 진동수가 일정불변이다라는 양자역학적 이론에 근거로 둔 것이다.

이 장치의 구조와 원리는 대략 다음과 같다.



Cs 원자 시계

그림에서와 같이 노(爐)에서 발생한 「쎄시움」의 원자 유속(流速)은 제1편향자석, 공동 공진기, 제2편향자석을 거쳐 검출기로 향한다. 원자류(原子流) 는 각종 에너지준위에 있는 원자를 함유하고 있으나 문제의 「4.0」, 「3.0」 양준위에 있는 원자는 서로 역방향의 자기(磁気)「모멘트」를 갖고 있으므로 우선 제1자석사이를 통과할 때 서로 역방향으로 편향된다. 「4.0」 원자는 제1자석에서 아래쪽으로 구부러지고 그대로는 공진기를 통과하여 제2자석에서도 아래 방향으로 구부러지고 만다. 그런데 공동공진기가 바로 「4.0」⇄「3.0」의 천이진동수와 완전히 일치하여 여진(勵振)되어 있으면 「4.0」의 원자는 공명(共鳴)하여 「3.0」으로 옮겨가고 제2자석에서 이번엔 위방향으로 구부러지게 됨으로 검출기로 가게 된다. 노에서 나온 「3.0」의 원자에 대해서도 똑같이 「4.0」으로 옮겨서 검출기에 들어가게 된

다. 전국 공동공진기에 투입된 「마이크로」 파의 진동수가 원자의 천이진동수에 일치했는가의 여부를 검출하여 항상 일치하도록 발전기를 자동제어하는 것이다. 이 수정발진기에서 임의의 진동을 끄집어 내면 일정불변한 진동을 지속한다. 1967년 「빠리」에서 열린 제13차 국제도량형총회는 초의 정의를 「쎄시움」의 전기(前記) 진동수 9,192,631,770의 지속시간으로 정의하였다. 이 원자시도 사실은 지구의 중력 「포텐셜」에 의해 차이가 나지만 현재는 무시하고 있다. B.I.H.에서는 각 연구기관에서 얻어진 원자시 TA(i)를 종합하여 국제원자시 TAI로 정한다. 세계에는 약 140대의 원자시계가 움직이고 있으며 TAI을 결정하는 것은 약 60대(예비를 포함하여 약 80대)이며 구미(欧美)의 것에 한정되어 있다. 원자시의 원점은 세계시의 1958년 1월 1일 0시와 일치되게 하였다.

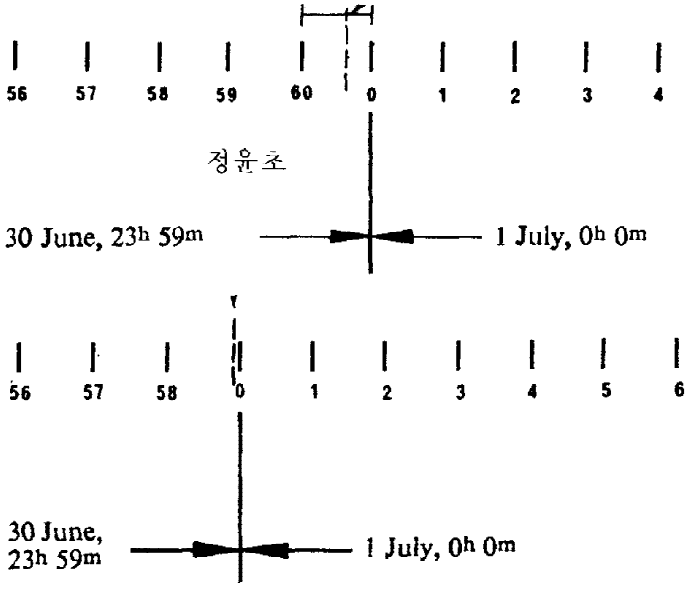
4. 협정 세계시(協定世界時: Universal Time Coordinated, UTC)

원자시가 공인된 후 일반인들에게 어떻게 표준시를 알려주느냐 하는 문제가 남아 있다. 어떻게 생각하면 원자시가 출현하여 천문시가 더 필요없게 되지나 않을까하고 생각하기 쉽다. 그러나 천문시는 천체를 관측하여 배의 위치를 알아야 하는 항해자에게나, 원양항해를 하는 사람들에게나 자전속도의 변화, 자전축 변동, 경위도 측량 등 지구의 현상에 관한 직접적인 자료를 얻는데 아주 중요한 것이다. 최근에는 그 필요성이 오히려 더 증대되어 각국 천문대와 연구기관에서는 천문시를 얻기 위한 관측에 더욱 활기를 띄어가고 있는 형편이다. 또 역표시는 태양, 달, 행성등의 운행을 나타내고 알수 있는 척도로서 달력의 계산에 없어서는 안되는 것이다. B.I.H.는 국제원자시 TAI와 세계시의 차이를 조정하기 위하여 매년 비율치를 예보하고 표준전파를 방송하는 "오프세트"(offset)방법과 1년에 한 두 번 싸이클을 가감해 주는 "스텝"(step) 방법을 취하여 협정세계시(Universal Time Coordinated)를 방송하였다.

그러나 여기에는 여러 가지 불편한 점이 있어 1972년도부터 "오프세트"제를 폐지하고 오직 원자시에만 맞추어 협정세계시 신(新) UTC를 방송하기로 결정하였다. 이때에 생기는 세계시와 원자시의 차이는 무시하고 있다가 0.7초를 넘을 때 1초를 가감해 주기로 했는데 이것이 윤초(閏秒)이다. 윤초를 시행하는 시기를 처음에는 6월 말일과 12월 말일을 기해서 실시하기로 했는데 1975년도부터는 차이를 0.9초일 때로 결정하고 시기도 제1 우선인 6월 말일과 12월 말일 이외에도 제2 우선인 3월 말일과 9월 말일에 또 부득이한 경우에는 임의의 월말에 실시하기로 하였다. 윤초는 가감에 따라 정윤초와 부윤초로 구별된다.

年	오 프 세 트	스 텝	UTC-TAI
1960	-150×10^{-10}	ms	
1961	−150	VIII 1, + 50	
1962	−130		
1963	−130	XI 1, − 100	
1964	−150	IV 1, − 100	
1965	−150	I 1, − 100	
		VII 1, − 100	
1966	−300		
1967	−300		
1968	−300	II 1, + 100	
1969	−300		
1970	−300		
1971	−300		
1972	−300	I 1, −107.758	−10
		VII 1, −1000 (윤초)	−11
1973	0	I 1, −1000	−12
1974	0	I 1, −1000	−13
1975	0	I 1, −1000	−14
1976	0	I 1, −1000	−15
1977	0	I 1, −1000	−16
1978	0	I 1, −1000	−17

오프세트와 스텝 조정표



5. 무선시보방법 약술

시간 측정의 기초가 되는 초의 pulse는 Standard Time System(주파수 표준시설)에 의해 만들어지며 수정발진을 이용한 것(정확도 5×10^{-10}

/day), Rb 까스를 이용한 것(정확도 5×10^{-11}/month)과 같은 secondary frequency standard와 Cs 원자를 이용한 것(7×10^{-12}/year)과같은 primary frequency standard가 있다. 정확도를 기기 위하여 자체에 3개의 장치가 있어 서로 비교하게 되어 있으며 secondary frequency standard는 primary frequency standard와 주기적으로 비교하여 보정해준다. 자체의 정확도를 기하하도록 외국의 표준전파를 수신하여 50μs이내로 동기(同期 synchronization) 시키고 있다. 최근에는 표준 Cs 시계를 항공기로 운반하여 동기시키는 방법까지 등장하였다. 전파를 방송하는 방법은 대략 다음과 같은 여러 가지 방법이 있다.

English system—매시 5분전부터 60분까지 사이에 5분간 신호가 발사된다. 매초는 0.1초, 매분은 0.6초 간격의 신호에 의해 발사되며 매 신호가 시작되는 순간이 바로 알려지는 시각이다.

Modified rythmic system—매 시간을 전후로 5분간동안 평균 300초간에 306개의 신호로 방송된다. 각 5분간에 1,62,123,184,245,306번째의 신호는 0.4초 간격으로 적당한 분이 시작되는 때에 방송되며 나머지는 0.1초 간격으로 발사된다.

International ONOGO System—매시전 3분간 Morse부호로 발사한다. 발사되는 순서는 다음의 표와 같다.

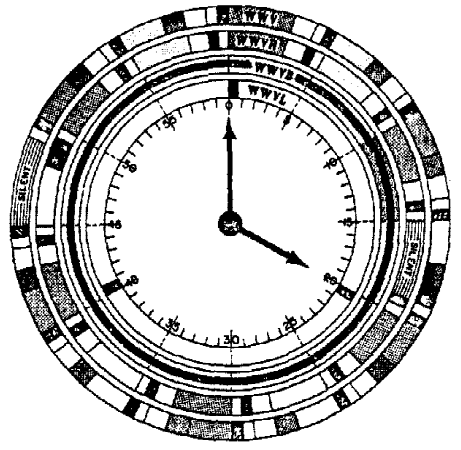
TIME	SIGNAL REPRESENTATION	LETTER
$57^m00^s-57^m40^s$	— • • — — — • • etc.	X
57 55 −58 00	55^s 56^s 57^s 58^s 59^s 60^s	O
58 08 −58 10	08 09 10	N
58 18 −58 20	18 19 20	N
⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮	⋮
58 48 −58 50	48 49 50	N
58 55 −59 00	55 56 57 58 59 60	O
59 06 −59 10	06 07 08 09 10	G
59 16 −59 20	16 17 18 19 20	G
⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮
59 46 −59 50	46 47 48 49 50	G
59 55 −00 00	55 56 57 58 59 60	O

The international ONOGO system

• 0.25초, 一초, 1초간의 정지

(각 dash는 1초의 길이로 1초의 정지 후 각 dot는 0.25초의 길이로 방송되며 57^m00^s부터 57^m49^s까지는 시간의 신호가 아니다.)

Technical broadcast system-미국 WWV와 WWVH에서 전형적으로 방송되며 도표와 같은 방법으로 행해진다.



SECONDS PULSES - WWV, WWVH - CONTINUOUS EXCEPT FOR 59th SECOND OF EACH MINUTE AND DURING SILENT PERIODS
WWVB - SPECIAL TIME CODE
WWVL - NONE

STATION ANNOUNCEMENT
WWV - MORSE CODE - CALL LETTERS, UNIVERSAL TIME, PROPAGATION FORECAST
VOICE - GREENWICH MEAN TIME
MORSE CODE - FREQUENCY OFFSET (ON THE HOUR ONLY)
WWVH - MORSE CODE - CALL LETTERS, UNIVERSAL TIME,
VOICE - GREENWICH MEAN TIME
MORSE CODE - FREQUENCY OFFSET (ON THE HOUR ONLY)
WWVL - MORSE CODE - CALL LETTERS, FREQUENCY OFFSET

100 PPS-1000 Hz MODULATION WWV TIMING CODE
TONE MODULATION 600 Hz
TONE MODULATION 440 Hz
GEOALERTS
IDENTIFICATION PHASE SHIFT
UT-2 TIME CORRECTION
SPECIAL TIME CODE

전파를 수시할 때 발사지점과 수신지점 사이의 거리가 먼 경우에 생기는 delay현상을 제거하기 위하여 Loran-C의 방법을 채택한다. 동일발진기로부터 얻어진 약간의 다른 주파수의 장파를 송신하여 각각 위상이 반대로 된 시간을 검출하고 이것을 시보의 신호로 이용하는 것이다. 이것은 2차대전 중 MIT의 Radiation Laboratory에 의해 선박이나 항공기의 위치를 알기 위하여 개발되었다. 하나의 주국(主局 Master station)과 둘 이상의 종국(從局 Slave station)으로 되어 있다. 주국과 하나의 종국으로부터 송신된 신호파의 도래 시간차의 측정으로 쌍곡위치선을 결정하여 이 두개의 쌍곡위치선의 교점으로부터 위치를 결정하는 것이다. 이들 국의 신호파의 발사시각을 표준시각에 동기하면 일종의 시보신호가 되는 것으로 이 신호의 비교 수신에 의하여 시각을 알 수 있다. Loran-C는 미국의 North Carolina의 Cape Fear의 주국에 의해 해군천문대가 시간 신호를 조정하며 다른데서 모두 이것과 동기시킨다. 보통의 발신은 1m초씩 간격을 둔 8개 group에의해 행해진다. 9번째의 신호는 1m초 간격을 두지 않고 주국과 동일하게 하며 8개의 group은 pulse를 모두 80m초씩 반복을 하며 매초간 12.5번이 반복되는 셈이다. 상기한 주국에서는 UTC 매0초의 2m초 앞에 1분에 한번씩 신호를 다음과 같은 순서로 발사 한다.

Once-per-second pulse

1 st pulse of first cycle at 59s998 UTC
1 st pulse of 1 st group of 8 at 0.0000
1 st 〃 .2 nd 〃 at 0.0080
⋮
1 st 〃 12th 〃 at 0.960
Once-per-second pulse at 0.998
1 st pulse of 1 st group of 8 at 1.040
1 st 〃 2 nd 〃 at 1.120
⋮
1 st pulse of 12th group of 8 at 1.920
Once-per second pulse at 1.998
1 st pulse of new cycle at 2.000
⋮

따라서 1분간에 100회의 신호 측정이 가능하다. 이것과 여러 면에서 비슷하나 도달 거리가 너 큰 LF 주파수 대신 VLF 주파수를 이용하고 시간 차이 대신에 위상 차이를 측정하는 3가지 점이 틀린 Omega Navigation의 방법과 보통 Loran이라고 불리우는 Loran-A에 의한 방법등이 있다. 또 1962년도부터 인공위성을 이용하여 시각을 동기시키려는 실험이 시도되어 그 후 지상에서 표준전파를 위성에 발사하여 지상으로 중계하는 방법, 표준 발진 장치를 운반하는 위성을 선회하게하여 지상으로 발사하게하는 방법, 둘 이상의 위성의 연속 중계에 의한 방법등 3가지 방법의 발달을 보게 되었다. 더욱 정확한 시간 측정방법을 개발하려는 과학자들의 노력은 지금도 꾸준히 계속 중이다.