

시간의 의미를 찾아서 II - 시계(2) 시계의 발전

▶ 일찍부터 천문 관측에 많은 공을 들였던 중국 베이징의 자금성에 설치되어 있는 해시계. 해시계의 바늘인 노론이 북쪽을 가리키고 있으며 각은 이곳의 위도에 해당하는 각도만큼 기울어져 있다.

우리가 살아가면서 시간을 아껴야 한다는 조언을 주는 귀한 글 중 하나로 중국 송나라의 대유학자로 성리학을 집대성한 주자의 '주문공문집'에 나오는 권학문이 있다.

'소년은 늙기 쉽고 학문은 이루기 어려우니(少年易老學難成), 잠시라도 시간을 가볍게 여기지 말라(一寸光陰不可輕). 연못가의 봄풀은 아직 꿈을 깨지도 못했는데(未覺池塘春草夢), 덧들 앞의 오동잎은 이미 가을소리를 전하는 구나(階前梧葉已秋聲)!'

이 시에서는 시간을 '광음', 즉 '햇빛의 그림자'라고 부르고 있는데, 바로 자연이 준 시간자 하루를 인류가 더 쪼개어 사용할 수 있는 능력을 가지게 되면서 자연스럽게 생활 속으로 들어온 시간의 개념이다. 해시계의 발전이 바로 그것이다.

자연이 제공한 최초의 시계, 해시계

주간으로 활동이 제한되어 있었던 옛 시절, 낮의 길이를 좀 더 등분하는 시간재기는 평평한 땅에 꽂아놓은 막대, 즉 노론이 만들어내는 그림자의 길이나 방향을 측정하면서 시작되었다. 최초의 해시계는 아마 막대기 주위에 몇 개의 돌맹이를 박아 놓는 정도였으리라. 이미 기원전 1500년 경 해시계를 사용한 것으로 생각되는 이집트 사람들은 기원전 10세기 경 T자형

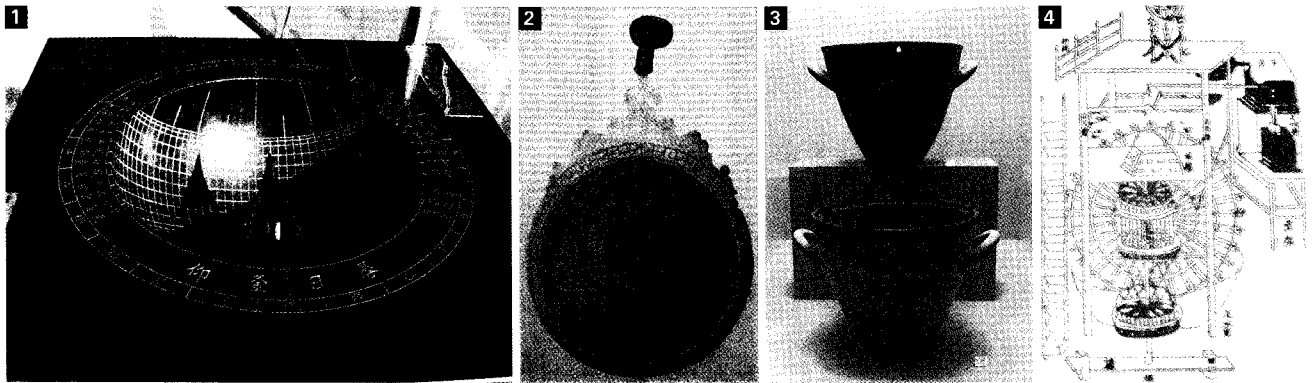
막대기를 만들어 이를 오전에는 동쪽, 그리고 오후에는 서쪽을 향하게 하면서 그림자가 지는 막대기에 그림문자로 5시간의 이름을 적어 놓았었다. 흥미로운 것은 당시 낮의 길이를 일정하게 나누었기 때문에 여름의 한 시간은 겨울의 한 시간에 비하여 길 수밖에 없었다!

노론의 그림자가 보여주는 규칙적인 각도 변화를 살피면서 해시계는 물론 자연스럽게 사람들의 필요에 따라 다양한 형태로 발전해왔다. 북유럽의 농부들은 그들이 신고 다니는 나막신 바닥에 해시계를 조각해 넣고 다니다가 필요할 때 시간을 알아내었고, 중세에 이르러서는 막대하나를 손에 비스듬히 끼워 넣어 시간을 알아내는 손시계가 고안되기도 했으며, 남쪽을 마주하도록 교회나 건물의 벽에 고정시켜 그 그림자가 현대적인 시계바늘과 같이 움직이면서 시간을 알려줄 수 있게 되었다.

물론 해시계들은 그 지방의 위도에 따라서 특별히 제작되어야 했다. 위도가 높아지면서 태양의 고도가 낮아지고 그림자의 길이가 길어지기 때문이다. 그러나 고대에 이 사실이 모든 이들에게 그리 잘 알려져 있지 않았던 것 같다. 기원전 263년 시실리 칸타니아(37°30'N)에서 로마(41°54'N)로 옮겨진 해시계는 거의 100년 동안 로마인들에게 잘못된 시간을 알려 주었다!!



글 김경범 서울대학교 지구환경과학부 교수
krkim@snu.ac.kr
서울대학교 화학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를 받았으며, 미국 캘리포니아대학 샌디에이고 캠퍼스에서 해양학으로 박사학위를 받았다. 현재 지구환경과학부 학부장 겸 BK21사업단장으로 있으며, 해양연구소장을 겸임하고 있다.



▶ 1 우리나라가 자랑하는 해시계 양부일구. 우리나라 보물 8845호이다. 해시계의 오목한 부분에는 시각을 가리키는 7줄의 세로선과 절기를 가리키는 13줄의 가로선이 있다. 길이가 원지름의 반인 영침의 그림자 끝이 항상 오목한 면을 따라 가면서 세로로는 시각을, 가로로는 절기를 알 수 있게 설계되어 있다. 2 천문 관측의 아스트롤라베. 기원전 2세기 경 히파르코스가 발명한 것으로 알려져 있다. 비잔틴과 바그다드에서 사용되던 아스트롤라베는 10세기 경 아랍 지배 하의 에스파냐의 유대인 학자들에 의해 유럽에 유입되고 200여년 이후 이 사용법을 설명해 놓은 아랍문헌들이 번역되면서 널리 퍼지게 되었다. 3 아테네 박물관에 소장되어 있는 고대 아로라 유적인 초기의 물시계 클렙시드라. 위의 향아리는 기원전 5세기 후기의 원래의 것이고 아래는 동일한 진흙으로 후대에 재현해 놓은 것이다. 4 중국의 송 수(1020~1101)가 1088년 제작한 물을 이용한 천문시계. 높이가 9m 이상에 이르며 물시계의 작동에 의하여 움직이는 천구와 함께 시간을 알려주는 여러 인형들의 모습이 보인다.

우리나라의 해시계 '양부일구'

우리나라도 특별한 모양의 해시계를 만든 것으로 이름이 나있다. 우리나라 보물 8845호로 지정되어 있는 조선시대 세종 16년 제작된 해시계 양부일구가 바로 그것이다. 양부일구라는 이름은 말 그대로 솥단지같이 오목하고 하늘을 우러르고 있다고 해서 붙여진 이름이다. 이 해시계의 오목한 부분에는 시각을 가리키는 7줄의 세로선과 절기를 가리키는 13줄의 가로선이 있다. 길이가 원지름의 반인 영침의 그림자 끝이 항상 오목한 면을 따라 가면서 세로로는 시각을, 가로로는 절기를 알 수 있게 설계되어 우리 조상의 슬기와 지혜를 엿볼 수 있는 특별한 해시계이다.

별시계 '아스트롤라베'

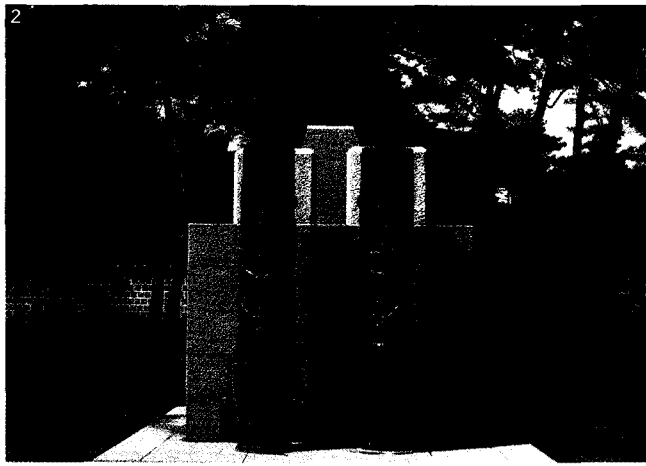
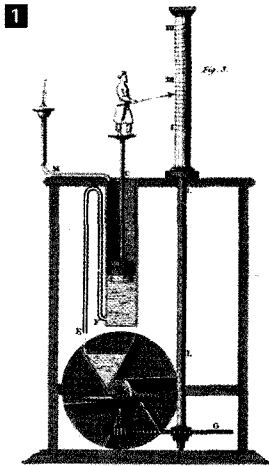
밤에는 별이 해의 역할을 해 주었다. 별 찾기 장치였던 천문관측의 아스트롤라베는 해나 별의 고도를 측정하고, 이를 통하여 낮과 밤의 시간을 찾아낼 수 있도록 고안된 작은 아날로그 컴퓨터였다. 100년 경 아라비아 장인들의 발명품이었던 이 장치는 팀판, 레테, 그리고 고도측정막대의 세 부분으로 구성되었다. 팀판은 고정된 기관으로, 별들의 위치를 알려주는 선들이 새겨져 있었으며, 레테는 각 별들에서 지구 적도면에 해당하는 수평면에 수직으로 선을 내렸을 때 만나는 점들을 이은 판으로 각 별들 사이의 상대적 위치에 관한 정보를 가지고 있었다.

레테는 기원전 150년 경 그리스의 천문학자 히파르쿠스가 만들어낸 아주 정교한 별자리 지도에 기초한 것이었다. 물론 지평선이 지역에 따라 다르기 때문에 한 아스트롤라베에는 여러 개의 팀판들이 있어서 이중 가장 적절한 것을 골라 이용할 수 있게 되어있었다. 아마 중세 시대의 최첨단 기술이었으며 작고 휴대가 간편하였기 때문에 최초의 회중시계라고도 할 수 있을 아스트롤라베는 서유럽으로 퍼져나가 18세기 중엽에 이르기까지 특히 항해자들에게 유용하게 사용되었다.

최초의 타이머, 물시계

해시계 외에 시간측정 도구로 일찍부터 이용된 것이 '물시계'였다. 초기의 물시계는 바닥에 작은 구멍을 뚫은 바가지들을 물통에 올려놓은 것이었다. 물이 구멍 속으로 스며 들어가 나중에 바가지가 밑바닥으로 가라앉는 데 걸리는 시간을 잴 수 있는 장치였었다. 더욱 정밀한 물시계는 이집트에서 이용했던 '클렙시드라'라고 불리는 작은 구멍이 나 있는 물동이였다.

그렇지만 이런 물시계는 엄밀한 의미에서 시계는 아니었다. 해시계와는 달리 지구의 자전과 연계된 시간을 알아낼 수는 없었다. 단지 미리 정해진 시간의 경과를 알려줄 수 있을 뿐이었다. 클렙시드라로 시간의 진행을 측정할 때 고려되는 더 큰 문제는 물이 나오는 속도가 일정하게 유지되



▶▶ 1 기원전 3세기 경부터 사용되던 클렙시드라의 설계도. 물이 들어오면서 올라가는 물 저장고의 수위에 따라 함께 떠오르는 사람인형이 시간을 가리키고 있다.
 2 조선 세종 16년 장영실 등이 제작한 물시계 자격투의 클렙시드라 부분. 국보 229호
 3 12세기 아랍권의 시계 장인 알 자자리가 제작한 물시계. 아름다운 물시계들의 대부분은 1258년 칭기즈칸이 바그다드를 점령했을 때 없어졌다.

지 않는다는 점이였다.

로마인들은 물시계에 도르래와 부표를 부착시켜 24시간 짜리 시간측정기구로 개량시킬 수 있었다. 수위가 일정하게 유지되는 물탱크로부터 일정한 속도로 부표탱크에 물이 흘러내리면서 수위가 상승하면 부표가 함께 떠오르면서 이에 연결된 막대가 원판이나 선이 그어져있는 드럼에 시간을 표시할 수 있게 만든 물시계였다. 계절에 따라 시간의 길이가 달라지는 것을 조절하기 위하여 드럼의 간격이 조절된 것은 물론이며, 매일 밤 자정이 되면 사이폰을 통하여 탱크가 자동적으로 비워지게 하여 매일 새로 날이 시작되면서 부표의 위치가 동일한 곳에서 시작하도록 한 장치도 보인다.

이런 물시계에 적당한 장치를 부착시키면 자연스럽게 알람시계가 될 수 있으며, 이를 가장 최초로 만든 사람은 그리스의 철학자 플라톤으로 알려져 있다. 아카데미에서 철학을 강의했던 플라톤이 강의 도중 졸고 있는 제자들을 배려하여 특별하게 제작한 교육용 장비(?)였는지도 모른다.

물시계 제작기술은 아랍세계에도 널리 알려져 있었다. 기원 후 5세기 경 이미 아름다운 장식이 달린 시계가 가지 지방에 세워졌으며, 가장 유명한 것으로는 다마스쿠스의 위대한 사원 동문에 위치한 거대한 시계가 알려져 있다. 공들이 떨어지면서 낮에는 종들을 치고 밤에는 기름램프에

불을 밝혔다고 전해진다. 1200년경 시계 장인인 이스마엘 알 자자리가 쓴 책 '천재적 장치들의 과학'에 보면 11개의 정교한 물시계에 대하여 묘사되어 있는데, 아쉽게도 1258년 칭기즈칸이 바그다드를 점령했을 때 대부분 없어지고 말았다.

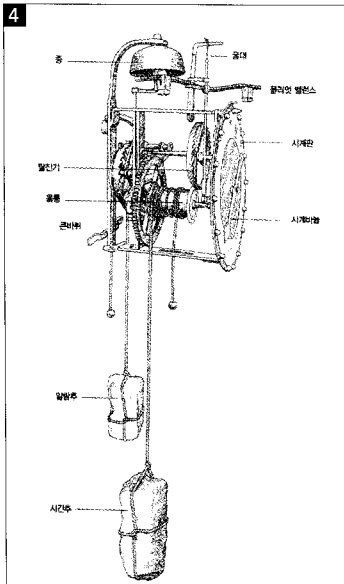
한편 중국 왕실의 시계공들은 이미 8~11세기에 '기계식 형태'의 물레방아 물시계들을 만들기 시작하였다. 똑같은 무게와 용량을 가진 컵들을 바퀴 가장자리에 달아 하나의 컵에 물이 채워지면 그것이 힘이 되어 지렛대를 흔들어 움직이면서 다음 컵이 그 자리에 놓이게 되는 시계였었다. 이 시계에 설치된 붙잡았다가 풀어주는 진행방식의 기구를 '탈진기'라고 부르는데, 이는 바퀴를 일정한 속도로 돌아가게 했으므로 하나의 시간 단위가 될 수 있었다. 이 탈진기는 일정한 거리만을 움직일 수 있게 하기 위한 이가 있는 장치였으므로, 다른 톱니와 적절하게 맞물리면서 하루를 측정할 수 있을 만큼 느리게 지속적으로 움직일 수 있었다. 이 기술은 동양을 여행하던 상인들에 의해서 유럽으로 전해져 열성적으로 받아들여졌으며, 이에 따라 13세기 초반 쯤 독일 등에서는 시계공의 길드가 형성되기 시작했다.

그러나 물시계도 한계가 있었다. 완벽하게 정확한 시간을 유지하기가 힘들었고, 또 차가운 겨울날씨에는 얼어버릴 수도 있었다. 물론 구름이 낀 날이거나 실내에서 시간을



재는 여러 장치들이 시간이 지남에 따라 많이 개발되었다. 모래시계, 기름시계 등이 대표적 예이다. 그러나 이들 시계들도 물시계와 마찬가지로 절대 시간을 재기보다는 어느 기준 점으로부터 어느 정도 시간이 경과되었는지를 측정하는 것이었다.

기계식 시계의 발전, 추시계



▶▶ 4 12세기 중엽이 되면서 등장하기 시작한 기계식 시계의 모습. 추의 무게로 회전하는 몸통에 일정한 시간단위를 만들어 내는 장치가 부착되어 있다.

14세기 중엽이 되면서 원통형의 몸통에 무거운 추가 매달린 끈을 감아 원동력을 만들어 내는 기계식 시계가 처음으로 등장하였다. 이 시계의 핵심은 두 개의 바퀴 멈추개가 직각으로 설치되어 있는 굴대인 버즈탈진기가 폴리엇 밸런스와 함께 진동하면서, 추의 무게로 회전하는 몸통에 연결된 들쭉날쭉한 바퀴를 규칙적인 간격으로 정지시켜 시간 단위를 만들어 내는 장치였다.

이 시계의 출현은 이전의 자연이 제공하는 주기에서 벗어나 인위적인 주기로 시간단위가 변화하는 시작점이기도 했다. 14세기 중엽 개발된 이 버즈탈진기를 누가 발명한 것인지는 분명하지 않다. 영국의 윌링포트 리처드 또는 이탈리아의 지오반니 드 돈디였을 것으로 짐작하는데, 이들은 단지 시간뿐만 아니라 태양과 달, 그리고 다섯 행성까지 따라 잡을 수 있는 천문시계를 만들려는 꿈을 가지고 있던 사람들이다. 1327년 제작이 시작된 윌링포트 리처드의 천문시계는 1336년 그가 죽은 후에도 로렌스 드 스투스, 윌리엄 월샴이 뒤를 이어 1349년 완성시켰으며, 지오반니도 16년이라는 세월이 걸려 1364년 멋진 천문시계를 완성하였다.

14세기에서 16세기에 이르기까지 유럽의 공공건물에는

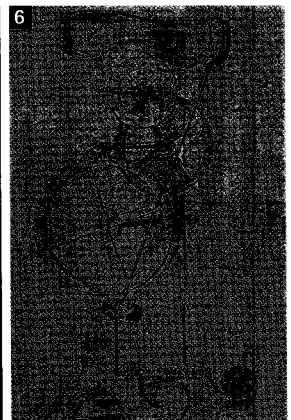
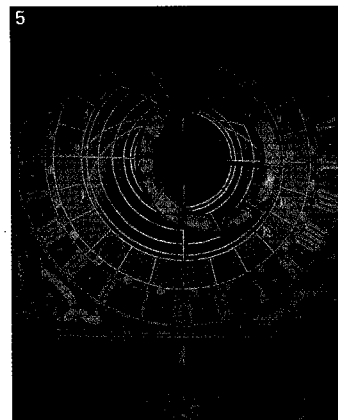
천문시계들이 많이 설치되었다. 그 중 가장 유명한 것이 스웨덴 룬드에 있는 성당의 시계이다. 1380년에 만들어진 것으로 바깥에 시계판에는 12시간을 나타내는 고리가 두 겹으로 그려져 있고 안쪽의 고리에는 십이궁, 그리고 태양과 달의 움직임이 나타나있다.

더구나 14세기 유럽 도시들이 형성되면서 마을의 시계들이 여러 사람들의 눈에 가장 잘 띄이는 공공장소에 설치되기 시작하였으며, 많은 설치비용이 드는 탑시계는 도시의 번영과 시민들의 자부심을 상징하는 것으로 자리를 잡기 시작하였다. 따라서 시계들은 단지 시간 측정뿐만 아니라 화려한 구경거리로도 한몫을 차지하였으며, 자연스럽게 다양한 볼거리들이 장식적으로 첨가되기 시작한 것은 물론이다. 그리고 이런 수요는 또한 르네상스 학자들이 자동적으로 움직인다는 뜻의 정교한 기계장치 아우토마타를 창조하는 추진력이 되었다.

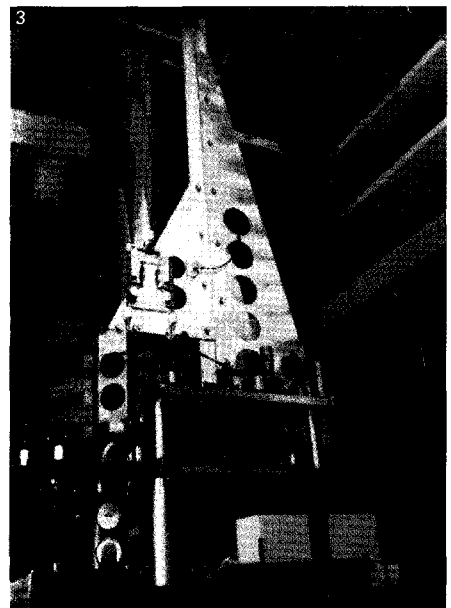
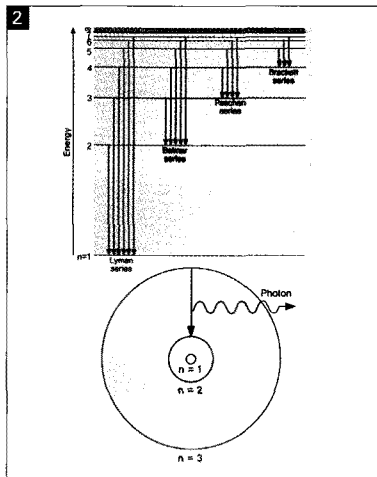
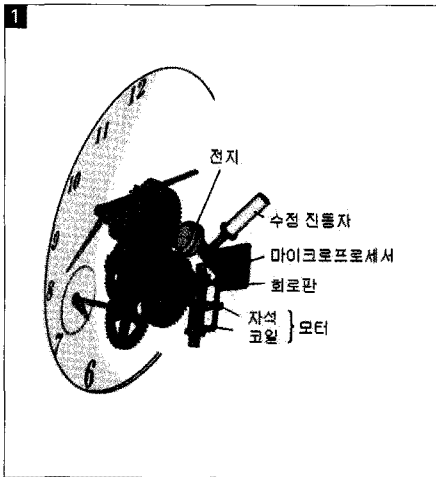
진자를 탈진기로 이용한 진자시계

17세기에 오면서 시계 제작에 또 하나의 획기적인 진전이 있게 된다. 천장에 매달려있는 램프가 왔다갔다 흔들리는 모습을 지켜보다가 진자의 원리를 발견한 갈릴레오가 이룬 또 하나의 업적이다. 진자의 호가 넓든지 좁든지에 상관없이 진자가 흔들리는 시간은 진자의 길이에만 관계하는 것을 알아낸 갈릴레오는, 이 진자 운동의 등시성을 시계를 규칙적으로 움직이게 하는데 사용할 수 있다고 생각했다.

그러나 진자의 흔들림을 기초로 한 탈진기를 처음 성공



▶▶ 5 스웨덴 룬드의 성당에 있는 유명한 천문시계. 12시간과 함께 12궁, 태양과 달의 움직임 등이 나타나있다. 6 진자의 등시성을 시계제작에 활용할 수 있음을 처음으로 알아차린 갈릴레오가 남긴 진자시계 스케치



▶▶ 1 수정시계의 내부 모습을 보여주는 모식도 2 보어의 원자모형과 수소의 선스펙트럼을 설명하는 모식도. 오늘날 개발된 원자시계의 가능성을 최초로 제시해준 중요한 원자모형이었다. 3 미국 콜로라도주 볼더시 표준국(NIST)에 설치되어 있는 원자시계 NIST-F1. 미국의 표준시를 제공하는 시계이다.

적으로 시계에 적용시킨 사람은 네덜란드의 크리스티안 호이겐스이다. 1656년 호이겐스는 끈에 묶어 자유롭게 흔들리는 진자를 탈진기로 이용하여 하루에 8~10초 정도밖에 오차가 나지 않는 분침과 초침까지 달린 시계를 만들 수 있었다. 이것은 하루에 최소한 15분 이상 오차가 나던 당시의 시계와 비교해볼 때 현저한 발전이었으며, 이를 이용한 시계들이 여러 곳에 세워지고 또한 당시의 다른 기계식 시계들도 이런 방식으로 개조되었다. 이렇게 시계가 점점 정밀해지면서 시간은 망망대해에서 자신의 위치(경도)를 알려줄 수 있는 가능성이 제시되었다.

원자시계, 37만년에 1초 오차

1929년 미국의 모리슨이 새로운 시계를 발명하였다. 시계 안에 들어있는 수정 진동자가 전류에 의해서 1초에 수백 번씩 진동하면서 시간단위를 제공하는 수정발진식 시계가 탄생한 것이다. 물론 초기의 수정시계는 커다란 정전압장치가 부착된 장식장만한 크기였으나 집적회로가 발명되면서 크기가 현저히 작아질 수 있었다. 1957년에는 최초로 전기시계가 소개되어 태엽이 작은 배터리로 대체되었다. 이어 1959년에는 진동수를 계산하는 소리굽쇠가 평형바퀴로 대체되었다. 그리고 오늘날의 많은 시계들은 바늘이 달려있는 시계에서 디지털식으로 숫자가 표시되는 시

계로 바뀌었다. 그래도 연속적이라고 생각했던 시간의 개념에 새로운 기본 단위를 제공한 디지털시계가 우리생활에 미친 영향을 생각해보는 것도 재미있을 것 같다.

지금까지 소개된 모든 시계들은 모두 진동수의 측정에 기초를 하고 있다. 그러나 진동은 영원히 계속될 수 없다. 언젠가는 에너지를 잃고 멈추기 마련이다. 이미 17세기 뉴턴이 관찰한 운동의 법칙이다. 1913년 덴마크의 물리학자 닐스 보어는 새로운 시계를 만들 수 있는 방법을 발견하였다. 원자들이 어느 주어진 특별한 주파수에서만 에너지를 흡수하거나 방출하는 것을 알아낸 것이다.

1949년 미국 상무부 표준국은 원자의 주파수에 기초한 새로운 시계를 개발하였음을 발표하였다. 마침내 인류는 오늘날에 와서 세슘공명장치를 이용하여 37만년에 1초, 1년으로 하면 100만분의 1초 정도의 오차밖에 나지 않는 원자시계를 갖게 된 것이다. 그리고 1972년에 이르러 전 세계의 표준시간은 이 원자시에 기초한 시간으로 바뀌게 되며 이제 우리는 윤초까지 걱정하는 시대가 되었다.

그런데 그리 완벽하지 않은 지구의 운동에 비하여 시계가 너무 완벽한 것은 아닐까? 다음 글에서 우리들이 피부로 느끼는 시간의 상대성을 생각해보며 시간의 의미를 더 살펴보기로 하자. **ST**