



시간의 의미를 찾아서 Ⅲ 시간은 상대적이다

지구촌 축제인 2011년 세계육상선수권대회가 지난 8월 27일부터 9월 4일까지 대구에서 열렸다. 전 세계 212국에서 6천여 명의 선수들이 참가하여 달구벌을 한껏 흥분의 도가니로 달구었다. 대회의 절정은 마지막 날 우사인 볼트가 함께 참여한 자메이카팀이 400m 계주에서 세계 신기록을 세우는 순간이었다. 종래의 기록인 37.10초를 0.06초 단축한 37.04초의 기록이었다. 이런 사건들은 우리들이 자연이 주는 최소시간자 하루를 더 잘게 쪼갠 24시간, 1시간 60분, 1분 60초의 절대적인 시간 속에 생활하고 있음을 더욱 실감하게 해준다. 물론 이런 짧은 시간자는 시계의 발명과 긴밀한 관계에 있음을 이미 살펴보았다. 그런데 몇 가지 의문이 자연스레 떠오른다. 왜 하루는 24시간이 된 것일까? 왜 1시간은 60분, 1분은 60초? 그리고 더욱 심각한 것은 '시간이 정말 절대적인 것일까'하는 질문이다.

터의 최소단위는 태양일이었다. 따라서 하루를 더 작은 단위로 쪼개는 시간단위는 자연에서 그 주기를 찾을 수 없는 전혀 인위적인 것이다. 기원전 450년경의 역사학자 헤로도투스는 "그리스인들에게 해시계 막대와 하루를 12개의 단위로 쪼개는 것을 가르쳐준 것이 바빌로니아인"이라고 기술하고 있다.

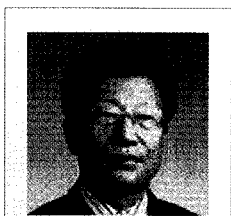
역사학자들은 이런 12단위의 시스템을 황도대를 12등분하고 이들 각 자리에 12개의 별자리 이름을 붙였던 고대 바빌로니아에서 기원한 것으로 보고 있다. 하늘과 시간의 이런 자리 나누기를 받아들인 그리스인들은 이를 황도의 12궁이라 불렀으며, 어원인 그리스어 '조디온'은 동물의 형상을 의미하는 것이었다. 또한 1년의 태양년이 12개 삭망과 거의 일치한다는 자연의 크로노미터 관측으로부터 자연스럽게 낮, 밤의 12시간이 유래되었을지도 모른다. 그리고 분, 초 등의 시간단위는 당시 사용하던 60진법에서 영향을 받은 것이었을 것으로 추측된다.

하루는 왜 24시간일까?

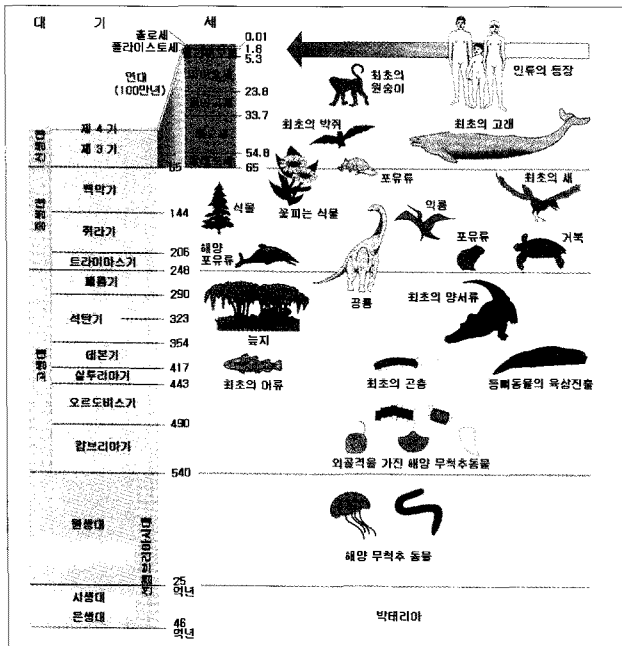
프랑스 혁명 이후 혁명력을 제작하였던 그들은 하루를 20시간으로 하는 시간단위를 정착시키려는 시도를 하였으나 결국 포기하였던 것을 이미 앞서 살펴보았었다. 하루 24시간의 전통이 이미 뿌리 깊게 우리들의 생활에 정착되었기 때문이었다.

사람들이 확실하게 느낄 수 있는 크로노미

실제 우리생활에는 아직도 12의 잔재가 많이 남아있다. 구미 사람들에게 더욱 친숙하겠지만 길이의 단위 야드, 피트, 인치 시스템에서 1피트는 12인치이다. 온도를 재는 화씨에도 12의 흔적이 남아있다. 1724년 과렌하이트가 제안한 화씨온도는 얼음, 물, 그리고 염화암모늄으로 만들어진 염수의 어는점을 0도,



글 김경열 서울대학교 지구환경과학부 교수
krkim@snu.ac.kr
글쓴이는 서울대학교 화학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를 받았으며, 미국 캘리포니아대학 샌디에이고 캠퍼스에서 해양학으로 박사학위를 받았다. 현재 지구환경과학부 학부장 겸 BK21사업 단장으로 있으며, 해양연구소장을 겸임하고 있다.



▶ 화석들을 통하여 만들어낸 지구 달력. 고생대가 시작되는 약 5억4천만년 전부터 화석의 종류가 급격히 많아져 더욱 자세한 지구달력을 만들어낼 수 있었다.

정상적인 사람의 체온을 96도로 하여 그 사이를 96(12×8) 등분한 온도단위였다. 하늘의 별을 보면서 만들어진 12궁도도 마찬가지이다. 우리에게도 쥐, 소, ..., 개, 돼지로 이어지는 12지가 12단위이며, 연필 등을 썰 때 사용하였던 다스도 12단위계의 썰법이었다. 우리 손의 4손가락 12마디도 고대의 사람들이 자연스럽게 1에서 12까지를 썰 수 있는 도구가 되었다고 전해진다.

그런데 실은 이 하루가 그리 절대적인 것 같아 보이지 않는다. 실제 과학자들은 지구의 역사를 통하여 하루의 길이가 점점 길어지고 있는 증거를 찾아낸 것이다.

점점 길어지는 지구의 하루

먼 과거 지구의 하루가 지금보다 더 짧았을 것이라는 문제에 처음으로 도전한 과학자로는 산호화석을 연구하던 미국의 고생물학자 웰스를 들 수 있다. 웰스는 산호껍질에서 볼 수 있는 가는 줄무늬가 하루 동안 자란 성장선임을 알았으며, 계절에 따라 차이가 나는 성장속도에 따라 마치 나이테와 같은 선을 이용하여 1년의 날수를 알 수 있다고 생각하였다. 그 결과 현재 살고 있는 산호에는 약 360개의 성장선이 있지만 석탄기(약 3억년 전)에는 약 390개, 그리



▶ 1 화석 산호연구의 권위자 존 웰스(1907~94). 화석 산호의 나이테 형태의 성장선 연구를 통하여 4억년 전 하루의 길이가 약 22시간 정도밖에 되지 않았으며, 따라서 1년이 400일 정도였음을 알아냈다. 2 지금부터 약 3억8천만 년 전 살았던 화석 산호.

고 약 4억 년 전인 데본기의 산호에는 약 400개의 성장선이 있음을 알아낸 것이다. 이 결과는 3억년 전 지구는 1년이 390일, 4억년 전에는 약 400일이었음을 의미하는 것이었다. 태양의 공전속도는 그다지 변하지 않았음을 감안할 때 1년의 날수가 많아지면 하루의 시간이 짧아진다. 그러므로 석탄기의 하루는 약 22시간 30분이고 데본기에는 약 22시간밖에 되지 않은 것이다. 지구의 자전속도가 시간의 흐름에 따라 점점 느려진 것이다.

이 원인은 지구와 달 사이에 작용하는 조석력의 영향 때문이다. 달의 조석력의 영향으로 지구가 부풀어 오르는데 이런 변형에 시간이 걸리면서 부풀어 오르는 방향과 달이 있는 방향에 어긋남이 생기게 된다. 이에 따라 부풀어 오른 방향에 작용하는 달의 인력이 지구의 자전속도에 브레이크를 걸면서 지구의 하루 길이가 점차 길어지게 되는 것이다. 우리가 앞의 글에서 살펴보았던 윤초도 이런 조석작용 등으로 점점 늦어지는 지구 자전 속도에 원자시를 맞추기 위한 작업이다.

이런 자연적 시간자의 절대적이지 못함에 더하여 지난 세기의 초절대적이라고 믿었던 시간이 결코 절대적이지 않으며 상대적일 수밖에 없다는 엄청난 가설이 제시되었다. 타임지가 20세기의 인물로 선정한 아인슈타인이 바로 그 장본인이었다.

특수상대성 이론과 일반상대성이론

빛은 초속 30만km의 속도로 이동한다. 1887년 미국의 물



▶▶ 1 타임지에 세기의 인물로 선정된 아인슈타인. 그가 특수상대성이론을 발표한 100주년, 그의 서거 50주년이 되는 2005년을 유엔은 지구물리의 해로 채택하였다. 2 우리들에게 위치정보를 알려주는 GPS 인공위성. 정확한 위치정보를 얻기 위해서는 인공위성에 설치되어 있는 시계에는 특수상대성이론 및 일반상대성이론이 알려주는 시간 흐름의 변화를 보정해주기 위한 장치가 마련돼 있다.

리학자 마이컬슨과 물리는 이를 확실히 증명하는 실험을 진행하면서 참으로 난처한 결과를 얻었다. 빛은 어떤 방향으로 날아가든지 그 속도가 일정한 것이었다. 절대 시간의 사고를 가지고 있던 당시의 학자들의 상식에 의하면 빛을 어떤 속도로 쫓아간다면 빛은 따라가는 그 속도만큼 느려 보여야 하는 것이다.

과학자들을 괴롭힌 이 실험결과에 대하여 1905년 독일 출신의 물리학자 아인슈타인은 “빛의 속도는 광원이나 관측자의 어떤 운동에도 관계없이 일정한 값을 가진다”는 ‘광속도 불변의 원리’를 근거로 하는 특수 상대성 이론을 제안하였다. 이 이론의 당연한 결과는 시간의 흐름이 관측자의 운동상태에 따라 바뀌는 것이었다. 즉 빠른 속도로 운동하는 사람에게는 시간의 흐름이 느려지는 것이다.

물론 이 시간이 느려지는 효과는 속도가 광속에 가까워질수록 더욱 확연히 드러나게 된다. 예를 들어 미래 광속의 1/2정도의 속도를 내는 우주선이 만들어질 수 있다면 1초에 약 0.13초 정도씩 시간이 느려지게 되지만, 우리의 통상 생활에서는 그 정도가 그리 큰 것은 아니다. 시속 천km의 빠른 속도로 - 초속 30만km의 빛의 속도에 비하면 100만분의 1밖에 안 되지만 - 움직이는 제트기에서 시간은 1초당 약 1조분의 1 정도 느려진다. 현재 약 100억분의 1초까지 정확한 시간을 잴 수 있는 원자시계가 개발되어 있지만 앞으로 약 100조분의 1초를 측정할 수 있는 시계가 개발될 것으로 예상됨에 따라 이런 특수상대성이 예측하는 시간의 흐름이 늦어지는 것이 실제로 측정될 수 있는 날도 그리 멀

지 않을 것 같다.

그런데 1916년 아인슈타인은 엄청난 질량을 가진 물체는 공간을 휘게 하며 시간마저도 느리게 흐르도록 한다는 ‘일반상대성이론’을 이어 발표했다. 중력이 강한 곳에서는 시간이 느려진다는 것이다.

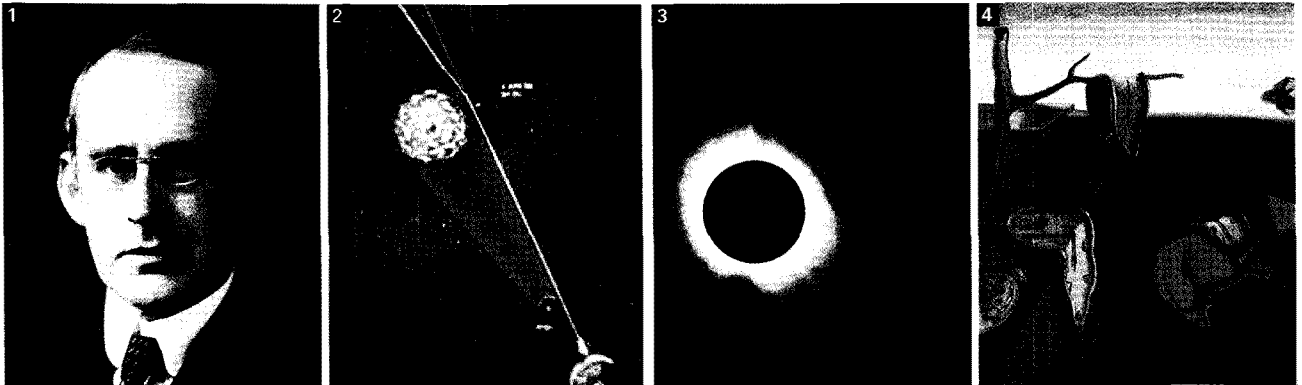
실제로 영국의 천문학자 에딩턴은 1919년 별빛이 태양의 중력에 의해 진짜로 휘는 것을 관측하였다. 더욱이 지난 2004년에 미국 항공우주국(NASA)이 발사한 무인위성 ‘중력 탐사 B’는 지구의 중력까지도 시공간을 휘게 할 수 있다는 증거를 찾아낼 수 있었다. 지구중력의 약 3천 배의 중력을 가진 우리별 태양은 1초에 대하여 약 100만분의 1초 정도 시간이 느리게 흐르도록 만들며, 우리 지구도 1초에 대하여 약 10억분의 1초 정도 시간이 느리게 흐르도록 만든다!

GPS는 상대성이론의 실용적인 예

그런데 이와 같은 시간의 상대성이 이런 문제를 연구하는 과학자들만의 전유물이 아니다. 오늘날 자동차용 내비게이션이나 많은 사람들이 사용하고 있는 스마트폰 등을 통하여 우리들의 생활 깊숙이 자리를 잡은 GPS에도 실은 아인슈타인의 상대성 이론에 근거한 오차 보정을 해 주고 있는 것이다.

GPS 수신기의 위치결정 원리는 지구주위를 돌고 있는 GPS 위성들로부터 빛의 속도로 송출된 전파를 지상 기지국에서 수신하면서 각 위성에서 오는 시간차를 통해 각 위성들까지의 거리를 측정함으로써 3차원 좌표를 계산하는 방식이다. 이런 GPS의 운용에서 고도 2만200km 정도에서 초속 3.87km의 속도로 빠르게 지구를 돌고 있는 인공위성의 시계와 지상 기지국의 시계가 정확히 동기화가 되어 있어야 하며, 이 시간차를 얼마나 정밀하게 측정하느냐가 바로 정확한 위치결정의 핵심이 된다. 문제는 기지국 시계와 GPS 위성에 탑재된 시계 사이에 상대적인 속도차가 있으며 중력 값에도 차가 있기 때문에 위성 탑재 시계는 상대성 이론에 의한 영향을 무시할 수 없을 것이라는 점이다.

GPS 위성의 초속 3.87km는 빛의 속도에 비해 무시할 만큼 느리지만, 특수상대성이론에 의하면 GPS 위성시계는 하루에 약 7천100ns(1ns=10⁻⁹s)만큼 느리게 흐르게 된다. 또한 약 2만200km 상공에서 돌고 있는 GPS 위성의 시계는



▶▶ 1.2.3 영국의 천문학자 에딩턴 경(1882~1944). 1919년 5월 에딩턴은 개기일식을 관측하면서 아인슈타인의 일반상대성이론이 예측하는 태양에 의해 빛이 휘는 것을 보일 수 있었다. 4 스페인의 초현실주의 화가 달리 및 그가 1931년 완성한 그림 '기억의 지속(뉴욕 현대미술관 소장)'. 시간의 운명론, 절대성의 가정을 거부하는 의미를 가진 그림으로 흔히 설명되고 있다.

지구표면의 중력보다 약한 중력장에 놓여있어 일반상대성이론에 따라 하루에 약 4만5천700ns 정도 빠르게 흐르게 된다. 이와 같이 특수상대성이론과 일반상대성이론의 효과가 결합되면서 GPS 위성 시계는 지표면 기지국의 GPS 수신기의 시계에 비해 하루에 약 3만8천600ns 정도 빠르게 흘러가고 있는 것이다. 따라서 이를 보정하지 않으면 하루에 약 12km의 위치오차가 발생하는 효과를 만들어내어 GPS로서의 의미가 사라지게 될 것이다. 따라서 과학자들은 10.23MHz 진동하는 GPS시계의 기준신호를 10.2299999543MHz로 진동하도록 조정하여 송출함으로써 상대성이론의 효과를 보정해주어 우리들이 걱정하지 않고 GPS 자료를 이용할 수 있게 해주고 있다.

심리적 시간

이와 같이 상대성 이론의 가장 중요한 결론의 하나는 뉴턴이 그의 저서 프린키피아에서 “시간은 언제나 일정한 속도로 흐른다”고 이야기하며 제안한 ‘절대시간’이 결코 절대적이지 않으며 늘어났다 줄었다 할 수 있는 ‘상대적’이라는 것이다. 그리고 아인슈타인은 이러한 상대성이론에서 더 나아가 시간이 상대적이라는 것을 “어려쁜 아가씨 옆에 1시간 이상 앉아 있던 청년에게 이 시간은 1분 정도밖에 안된 것으로 여겨질 것입니다. 그러나 이 청년이 만약 뜨거운 난로 옆에 앉아 있었다면 1분도 아마 1시간 이상으로 길게 느껴졌을 것입니다. 바로 이것이 시간의 상대성입니다”라고 표현하였다.

오늘날 인지심리학자들은 이런 시간의 상대성이 우리가 시간의 길이를 판단하는 몇가지 요인에 의한 것으로 설명

한다. 예를 들어보자. 첫째는 ‘시간의 경과에 대한 주의’를 들 수 있으며, 시간의 경과에 대해서 주의를 기울이면 기울일수록 시간은 길게 느껴진다는 것이다. 또 하나는 ‘경과 시간 중에 일어난 사건의 수’를 들 수 있다. 즉 사건이 많을수록 시간은 길게 느껴질 수밖에 없다는 것이다.

시간은 무엇일까?

우리는 달력과 시계가 우리 생활 속에 들어오면서 시간이 직선적으로 흘러가고 있음을 분명히 알 수 있게 되었다. 뉴턴은 이에 더하여 시간에 절대성을 부여하였다. 그러나 1세기 전 아인슈타인의 상대성 이론의 도입과 함께 절대적 불변인 것은 광속뿐이며 시간은 상대적으로 줄었다 늘어 나기를 할 수 있는 이상한 존재임을 알게 되었다.

도대체 시간이란 무엇일까? 바로 이런 우리의 고민을 일찍이 성 아우구스티누스는 “시간이란 무엇일까? 사람들이 내게 이런 질문을 하기 전까지 나는 이를 알고 있었다고 생각하였다. 그러나 이 질문을 한 사람에게 이를 설명하려고 하자 나는 시간에 대하여 정말 아는 것이 없었다.”고 고백하였다.

그렇지만 분명한 것은 시간은 빅뱅 이후 137억 년이라는 긴 세월 동안 직선적으로 끊임없이 흘러가고 있으며, 우리들은 그 흐름의 적은 일부를 피부로 느끼며 살아가는 특권을 가지고 있다는 것이다. 그런 우리들이 할 수 있는 것은 무엇일까? 얼마가 될지를 미리 알 수는 없지만 우리들에게 주어진 흐르는 시간의 일부를 감사히 여기고 열심히 살아가야 하는 것이 아닐까? 어쩌면 그것이 우리가 시간에 대해서 할 수 있는 유일한 길이라. ⑤