

# 미리 보는 상대성이론 100주년 기념 전시회



글\_ 김제완 과학문화진흥회장 risec@hanmail.net

1905년은 아인슈타인의 일생 가운데 가장 생산적인 해였다. 그는 그 해에 특수 상대론, 광전효과, 브라운 운동 및  $E=mc^2$  등 네 편의 주옥같은 논문을 발표했다. 한국물리학회와 과학문화진흥회는 이를 기념하기 위하여 2005년 7월 1일부터 2006년 2월말 까지 창경원 옆에 있는 서울 과학관에서 아인슈타인 100주년 기념 전시회를 갖는다. 전시회는 1)아인슈타인의 생애 2)시간과 공간 3)빛, 파동 및 물질 4)아인슈타인의 우주 5)아인슈타인과 예술 등 다섯 가지 주제를 체험위주로 기획하고 있다. 관람객들이 특수 상대론을 설명이 아니라 체험함으로써 일상생활에서는 어떻게 이용되고 있는가를 알도록 전시장을 꾸미고 있다. 각 주제별로 그 내용을 스케치해본다.

## 〈시간과 공간〉



정지한 전차



빛의 속도의 80%로 움직일 때

1905년 6월 30일자로 아인슈타인은 독일 물리학회 ‘물리의 해설 (Analen der Physik)’에 특수 상대론 논문을 투고하였다. ‘움직이는 물체의 전자역학에 관하여’란 제목의 이 논문 속에는 인류 역사상 가장 획기적인 생각이 담겨있었다. 시간은 어느 곳에서나 똑같이 흐른다는 절대 시간을 부정하고 시간은 상대적이란 개념을 제시하였다. 즉, 빨리 움직이는 물체 위에서는 시간이 상대적으로 느다는 생각이다. 그는 빛의 속도가 광원이나 관측자에 관계없이 일정하다는 실험적인 사실(마이켈슨-모리의 실험)을 받아들이면 공간과 시간이 상대적이 된다는 결론을 얻었다. 예를 들면 빛의 속도로 움직이는 사람의 시간은 흐르지 않는다. 즉 시간이 정지한다. 길이 역시 상대적이어서 빛의 속도로 움직이면 길이가 0이 된다.

그림에서 보는바와 같이 정지한 전차가 빛의 속도의 80%로 움직인다면 길이는 반으로 줄어든다. 특수 상대론은 이외에도 여러 가지 혁명을 가져 왔는데 그 결과를 요약하면 빨리 움직이면 1) 시간은 늦게 간다. 2) 길이는 줄어든다. 3) 에너지와 질량은 동등하다 ( $E=mc^2$ ).

### 1. 상대적 시간 확인 장치

대기권 밖에서 오는 우주선에 의하여 많은 소립자가 생긴다. 이중에서 뮤전자(Muon)는 전자와 똑같은 성질을 가진 소립자인데 단지 무게가 전자보다 300배 무겁다. 이 뮤전자는 정지하고 있을 때 그 수명이  $10^{-8}$ 초이다. 즉  $10^{-8}$ 초(마이크로 초)가 지나면 뮤전자는 죽어서 전자와 중성미자로 변한다. 따라서 대기권 밖 (적어도 200km)에서 생긴 뮤전자가 상대론에 의한 시간 연장이 아니었다면 지상까지 도달할 수 없다. 만약에 시간지연이 일어나지 않으면  $10^{-8}$ 초  $\times$   $3 \times 10^8$ km =  $3 \times 10^{-3}$ km = 3m밖에 못 간다. 그러나 상대적 시간 효과 때문에 지상까지 살아남아서 200km를 날아와서 지상에 도착한다. 그림에서 보는 것처럼 뮤전자가 스파크 챔버라는 기기를 통과하면서 ‘스파크’를 내고 지나가는 것이 보인다.



스파크챔버를 지나가는 뮤전자

### 2. 광속체험 애니메이션

그림과 같이 우주선 모형 속에 들어가서 속도 조정 레버를 누르면 진동과 조명을 이용 속도감을 느끼게 한다. 그럴 때 우주선 내부에서 바깥 풍경을 보면 줄어들고, 또 건물에 걸려있는 시계가 늦게 간다. 속도 레버에 따라 컴퓨터 애니메이션에 의한 입체 풍경이 줄도록 한다.



광속체험 우주선

### 3. 엠씨 스퀘어( $E = mc^2$ )

아인슈타인의 상대론에 의하면 에너지는 3차원 공간의 속성인 운동량의 4차원 요소이다. 운동량이 0일 때 4차원 요소인 에너지만 남고 이것이  $E=mc^2$  즉 에너지는 질량에 비례한다는 유명한 공식이다. 질량이란 에너지가 고밀도로 모여 있다고 생각할 수 있고, 따라서 에너지로서 물질을 만들어 낼 수 있다. 강력한 방사선 동위 원소를 개발하여 얇은 알미늄 스파크 챔버를 이용, 그림처럼 전자와 반전자가 생기는 것을 보여준다.



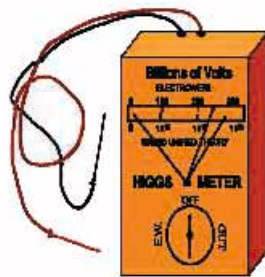


〈빛, 파동 그리고 물질〉

아인슈타인은 특수상대론을 발표한 1905년에 ‘광전 효과’와 ‘브라운 운동’에 관한 논문도 발표하였다. 광전 효과는 빛의 입자설을 주장하여 입자와 파동의 이중성의 길을 열었다. 1916년에는 일반 상대론을 발표했고 응집현상, 자극방사 계수의 개념을 주장했다. 광전 효과는 여러 가지 센서에 응용되고 있으며 응집 현상은 쿠퍼 상의 응집을 통해서 초전도 현상을 일으키고, 자극방사는 레이저를 가능케 했다. 전기를 띤 물체가 움직이면 전파를 발생하고 질량이 있는 물체가 움직이면 중력파를 발생한다. 그러나 중력파는 너무 약해서 아직 발견되지 않고 있다. 아인슈타인의 이런 업적을 느낄 수 있게 전시품을 만들었다.

1. 광전효과

관객이 방에 들어가서 손을 흔들면 그 손의 흔들림과 같이 전기가 흐르는 것을 보여 주며 2003년도 노벨 물리학상을 받은 일본의 카미오칸데에 부착된 세계 최대의 광전관을 전시한다.



2. 레이저 게임

내부가 보이도록 만든 레이저 내부의 거울에 모터를 장착하여 거울의 위치를 밖에서 조작할 수 있도록 한다. 두 거울이 완전히 평행하게 조절하면 ‘레이저 빛’이 나오도록 장치를 만든다. 누군가 먼저 이 조작에 성공하여 ‘레이저 빛’을 발생하게 되면 상을 타게 하는 게임이다.



레이저를 조작하는 타운즈 교수

3. 중력파 검출장치

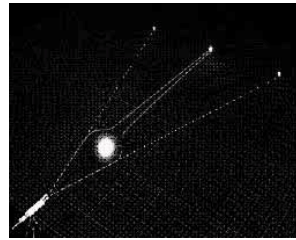
전기를 띤 물체가 가속되면 전파가 나오듯이 질량이 큰 천체가 움직이면 ‘중력파’가 나온다. 이는 아인슈타인 방정식의 필연적인 결과이다. 조 웨버 교수는 이러한 중력파를 잡기 위한 검출기를 제작하였다. 본 전시회에서는 이 모형을 전시하여 관객들에게 이를 제시하고자 한다. 중력파 자체는 미약하므로 전기적 진동의 애니메이션 발생기로서 중력파를 대신하고 검출기의 진동모습을 컴퓨터나 ‘오실로스코프’를 통해서 관람자에게 제시한다.

## 〈아인슈타인의 일반상대성이론〉

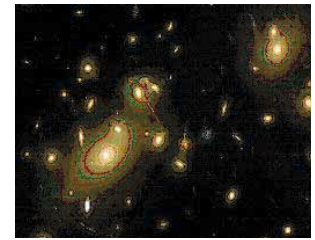
아인슈타인은 1905년 ‘특수 상대성이론’에 이어 1916년에는 ‘일반 상대성 이론’을 발표했다. 물리학자들이 이 아인슈타인의 방정식을 풀어보았더니 1)우주의 다른 부분에 연결되는 웜홀이 있을 수 있다 2)블랙홀이 존재한다 3)빛을 모으는 중력 렌즈 현상이 있다 4)중력이 강하면 시간이 늦게 간다는 결론을 얻었다. 각 항목마다 그 이론적인 설명이 필요하지만 전시회에서는 위 항목을 체험하는 장치를 다음과 같이 설치한다.

### 1. 중력렌즈현상

그림 2-1처럼 무거운 물체(태양, 은하계 등)주위의 공간은 아인슈타인의 방정식에 따라 휘어져 있다. 따라서 하나의 별에서 출발한 빛이 휘어진 공간 때문에 붉은 선을 따라 휘어지므로 망원경으로 볼 때 둘로 보인다. 이러한 현상이 실제로 우주공간에 나타나며, 그림 2-2처럼 같은 영상이 원형으로 나타나고 이를 아인슈타인 링이라 한다. 전시회에서는 중력렌즈의 작용을 하는 망원경을 설치하여 다중상을 볼 수 있다.



중력렌즈현상 1



중력렌즈현상 2

### 2. 웜홀



웜홀을 연상케 한다.

웜홀 모형을 전시관에 설치하여 관객들이 위에서 미끄럼을 타고 통로의 은하계 등 3차원적인 우주를 감상하고 내려오면 ‘화성표면’처럼 만들어진 방에 떨어지게 된다. 마치 뉴욕시에서 아프리카로 가는 통로처럼 다른 세상으로 연결하는



웜홀도형



뉴욕시에서 웜홀을 통해서 본 아프리카

### 3. 중력은 시간을 늦춘다

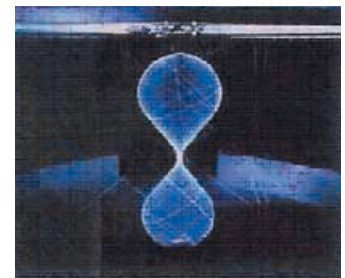
아인슈타인의 등가 원리에 따르면 중력과 가속도는 원리적으로 구별이 되지 않는다. 따라서 중력은 속도를 변화시키고 이는 시간의 변화를 가져온다. 실제로 2천km 상공의 인공위성과 지상의 시계는 4천ns 차이를 가진다. 우리들이 자동차에서도 장착하여 쓰고 있는 GPS는 이 시간 차이를 보정하지 않으면 시칭 앞에 있는 차가 관악산에 있는 것으로 나타난다.

중력은 시간을 늦게 가게 하므로 지구상에서 1분에 60회 뛰는

맥박이 중력이 강한 중성자별에서 약 20회, 블랙홀에서는 뛰지 않는다. 관객이 맥박 측정 기구로 맥박을 짤 때 이를 공중에 영상으로 나타낸다. 지구에서 재는 맥박과 중성자별에서 재는 맥박의 차이를 영상으로 보여준다.



GPS 위성

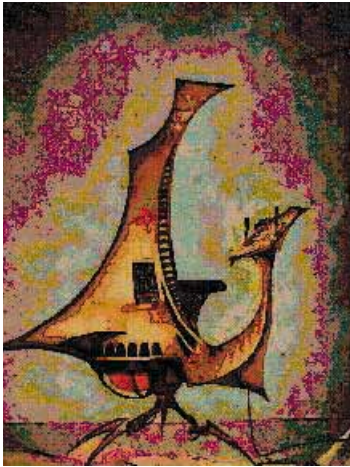


맥박의 영상화

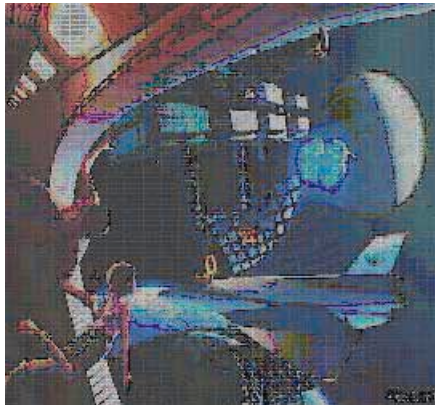


〈아인슈타인의 일반상대성이론〉

4. 타임머신



웰즈의 타임머신



과거의 장면

시간이 흐른다. 무엇이 흐르는지? 공간과는 달리 시간의 실체는 더 파악하기 어렵다. 1875년 웰즈의 소설 '타임머신'에 의하면 과거나 미래로 가는 레버를 누르면 가속될 때 느껴지는 중압감과 현기증을 느낀다고 되어있다. 그림처럼 찬란한 타임머신방에 들어서서 레버를 과거 1950년으로 누르면 웨버의 소설처럼 천장에서는 해와 달이 여러 번 지나가고 문이 열리면서 1950년대 한국전쟁 당시의 포화 속으로 본인이 걸어 들어가는 3D애니메이션이 보인다. 본인의 모습은 천장에 설치된 3~4개의 디지털 카메라에 의하여 버추얼 영상이 되어 한국전 뉴스 화면 속에 걸어 들어간다.

5. 아인슈타인과 예술

아인슈타인의 우주관과 시공에 대한 개념은 예술에도 많은 영향을 끼쳤다. 우선 빛의 속도로 달리면 시간이 멈추고 길이가 없어진다. 달리의 '기억의 지속'에서 보는 것처럼 죽은 시계가 죽은 해변에 널려있는 것은 시간이 정지하여 기억이 각인되어 변하지 않고, 마그레의 '유리의 집'은 두께(길이)가 없어지고 트레드 회전에 의하여 뒤가 보여 얼굴과 뒷머리가 하나의 실체가 되고 있다.

입방체를 펼쳐서 2차원인 평면에 늘어놓으면 그 면이 여섯개다. 이것을 본 '평면인(人)' 가운데 천재적인 생각을 하는 사람들은 이렇게도 상상할 수 있을 것이다. 평면의 입방체인 4각형은 면이 네개 있다. 평면은 가로와 세로로 직교하는 두 축만 있으면 그 위치가 정해지므로 2차원이라고 하며, X축과 Y축은 각각 두 방향(+및 -방향)이 있으므로  $2 \times 2 = 4$ , 즉 4개의 면이 있는 4각형이 2차원의 입방체에 해당한다. 3차원에서는 X축, Y축, Z축이 서로 직교하므로 +와 -방향을 생각하면  $3 \times 2 = 6$ , 즉 3차원 입방체는 6개의 면을 갖는다. 2차원에서 3차원으로 갈 때 변을 면으로 고치고  $2 \times 2$  변을  $3 \times 2 = 6$ 개의 면으로 고치는 것이 2차원에서 3차원으로 가는 사고의 요약이다.



달리의 '기억의 지속'



마그레의 '유리의 집'

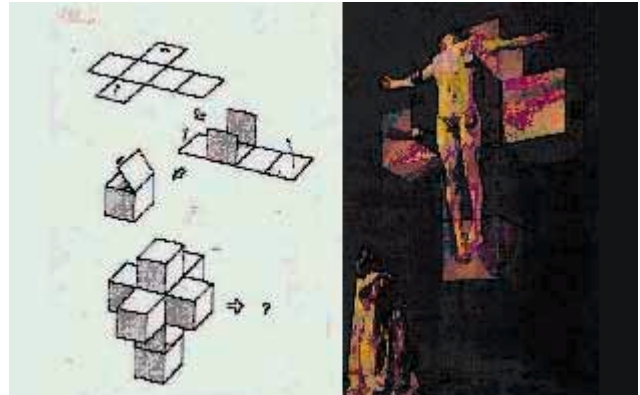
### 〈아인슈타인의 일반상대성이론〉

그렇다면 '4차원 입방체'는 어떨까? 우선 4차원 입방체를 쉽게 상상할 수 없다. 마치 '평면인', 즉 2차원의 세계만 아는 사람이 3차원의 구나 입방체를 감각적으로 상상할 수 없듯이 우리 역시 4차원 입방체를 느끼고 머리 속에서 영상화할 수 없다. 그러나 평면인들이 '3차원 입방체'를 2차원에 펼친 여섯 개의 면에서 짐작할 수 있듯이 4차원 입방체를 만들고 있는 4차원에서의 면은 우리 3차원 인간들이 보았을 때는 무엇일까를 생각할 수 있다. 3차원 입방체의 면은 3차원보다 차원이 하나 낮은 평면의 4각형인 것에서 짐작하면 4차원 입방체의 면은 4차원보다 차원이 하나 낮은 3차원 입방체일 것이다. 3차원 입방체의 면을 평면인들이 짐작할 때  $3 \times 2$ , 즉 여섯 개의 면이 있다고 생각한 것처럼 4차원 입방체의 면은  $4 \times 2$ , 즉 여덟 개의 입방체일 것이다.

달리의 작품 왼쪽에는 4차원 입방체의 면인 8개의 입방체로 된 4차원 입방체의 3차원 단면이 있고, 오른쪽에는 '고차원 십자가의 예수그리스도'가 있다. 이를 서로 비교하면 예수님이 못 박혀 있는 달리 작품의 십자가는 고차원(4차원)입방체로 3차원에 펼친 입방면이라는 것이 곧 수공이 가리라 생각된다.

4차원 입방체의 3차원에서의 또 다른 영상을 다른 각도에서 생각해 보도록 하자. 피카소의 '마라부인' 왼쪽에 그려져 있는 직육면체를 생각해 보자. 이 육면체가 아주 투명한 유리로 되어 있고 그 변은 검은 철을 한 선이라고 하자. 그림처럼 누가 손전등을 가지고 위에서 아래로 비추어 보면 육면체의 변들이 평면 위에 사영(射影)된 그림자를 볼 것이다. 입방체의 윗면은 전등으로부터 가까운 까닭에 더 확대되어 크게 사영될 것이고 전등으로부터 먼 쪽에 있던 면은 좀더 작게 확대되어 투사되면서 큰 사각형 속에 있을 것이다. 두 면을 이은 수직으로 된 변은 두 사각형의 꼭지점을 서로 잇는 선이 되어 그림처럼 사각형 속에 사각형으로 나타날 것이다.

손전등으로 4차원 유리 입방체를 위에서 비추어 보면 어떻게 될까? 3차원 입방체의 면들이 2차원인 평면에 투사되어 사각형 속의 사각형이 되듯이 4차원 입방체의 3차원 사영은 큰 입방체 속의 작은 입방체로 나타날 것이다. 피카소의 작품 가운데 마라부인처럼 한쪽 얼굴에 눈 속에 눈이 있는 영상은 4차원의 3차원



달리의 하이큐브십자가



피카소의 마라 부인

투시도를 암시하고 있다. 피카소나 달리같은 예술의 천재들이 4차원의 수학을 알았으리라 믿어지지 않는 않는다. 그러나 이들이 가진 천재적인 영감이 이런 표현을 하게 했으리란 생각을 지을 수 없다.



글쓴이는 서울대 물리학과를 졸업하고 미국 컬럼비아 대학에서 이학박사를 받았으며 일리노이대, 존스 홉킨스대, 서울대 등에서 물리학과 교수를 지냈다. 저서로는 「겨우 존재하는 것들」 「빛은 있어야 한다」 등 다수가 있다.