

〈노벨사이언스 체험전〉

화광(化光)이 된 창세기의 빛을 보다!

글 | 김제완 _ 과학문화진흥회장/서울대 명예교수

노벨상이라고 하면 어려운 학술적인 과학을 풀어서 받는 세계 최고의 상이며 천재들의 소관이지 우리와 같은 일반인과는 별 관계가 없는 남의 이야기라는 인상을 받는다. 그러나 노벨상 수상자들을 직접 만나보면 물론 천재형도 있지만 성실한 노력형이 더 많다. 그 뿐 아니라 노벨상을 들여다보면 20세기의 사회가 보인다. 노벨상자체는 학술적이지만 그로부터 파생된 결과는 20세기 생활의 구석구석에 스며들어 있다. 노벨 사이언스는 건강과 의료, 산업, 환경, 국방 그리고 문화 전반에 걸쳐서 절대적인 영향을 미치고 있다.

137억 년 전 창세기의 빛과 소리 재현

2007년 10월 4일부터 2008년 3월 2일까지 국립서울과학관에서 건강과 의료에 대한 '노벨사이언스 체험전'이 열릴 예정이다. 체험전의 기획은 4개의 테마로 되어 있다. 우선 노벨상의 유

래와 내용을 소개하고 첫째 테마는 '생명의 신비'다. 생명의 탄생을 설명하기 위하여 우주 자체의 생성을 표현하고 생명의 진화, 그리고 생명체의 원자와 분자라고 할 수 있는 DNA와 세포를 보고 느끼는 전시장을 기획했다. 다음 테마는 생명체의 작동과 영양소를 다루는 혈액, 호르몬, 그리고 효소들의 체험 모형이 전시되고, 마지막으로 질병을 극복하는 의료기기에 대한 체험 전시가 뒤따른다. 그 내용을 살펴보면 다음과 같다. 전시장에 들어서면 노벨이 다이내마이트 제조를 연구하던 방에 노벨의 밀랍인형이 서있다. 이 노벨의 방을 지나면 건강과 의료에 관계되는 노벨 수상자의 업적을 인터랙티브하게 볼 수 있는 장치를 거쳐서 '생명의 신비'를 나타내는 전시장에 들어선다.

첫째 방은 '창세기의 방'으로 137억 년 전 창세기의 빛과 소리를 재현한다. 1968년, 2006년도에 노벨 물리학상을 수상한 업적인 우주배경복사의 무늬를 근거로 태초의 빛이 혼돈 속에



창세기의 방



우주선을 발견한 노벨수상자 헤스



우주선을 검출하는 방진관

서 나타나고 태어나는 우주의 팽창음을 들을 수 있게 되어있다. 창세기방의 문을 지나면 원시지구에서 우주선의 영향으로 돌연변이를 동반하는 진화과정을 재현하게 된다. 지구로 떨어지는 우주선을 서울대학교에서 만든 검출기로 포착하여 이를 스위치로 사용하여 원시지구에 우주선이 떨어지는 장면을 연출한다. 원시지구를 구성하던 액체에 방전을 통하여 생명체의 기본인 아미노산이 생성되는 '밀러'의 실험장치도 같이 선보인다.

'생명의 신비' 방을 나오면 DNA 터널이 열린다. 이를 통하여 관객들은 260m² 규모의 세포의 방에 들어서게 된다. 세포의 방에 들어서면 골지체와 '미토콘드리아'가 보이고 골지체를 돌아 들어가면 염색체가 있으며 그 모형이 벽에 그려져 있다. 세포의

방을 돌아보며 세포구조를 학습한 관람객은 '세포 들여다보기 (zoom in on cells)'란 살아있는 세포를 볼 수 있는 장치를 통하여 실제 세포를 보고 '연어 알의 DNA' 실물을 확대경을 통하여 보게 된다. 세포의 방을 벗어나면 적혈구의 모형, 그리고 비타민의 원리를 전시하고 이어서 호르몬 열차를 타게 된다. 10인승 호르몬열차를 타고 가상혈관을 지나면서 '호르몬 공'을 던져서 각 호르몬에 해당하는 곳에 정확하게 맞추게 되면 공이 터지게 함으로써 호르몬의 작동 원리를 체험하도록 한다.

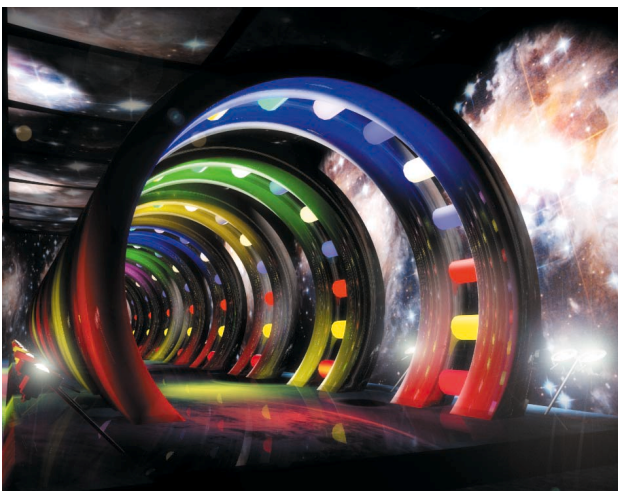
그 다음 전시물은 박테리아의 일종인 T2박테리오파지의 모양을 재현한 로봇이 등장한다. 이 로봇의 키는 약 60cm 정도이며 이 T2박테리오파지 로봇이 대장균 표면에 정착하여 염색체



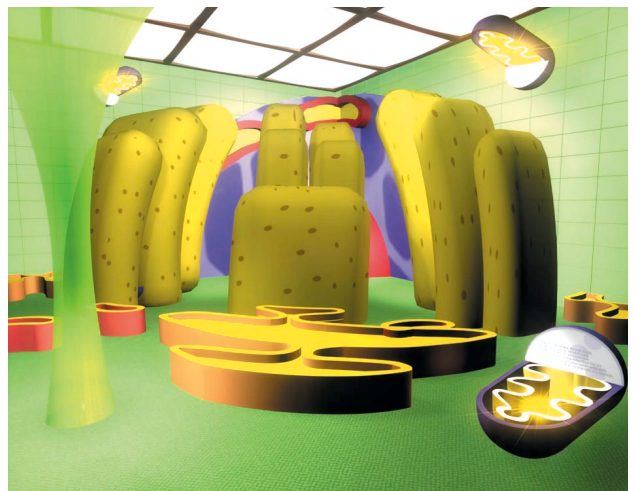
원시지구



밀러 장치



DNA터널



세포의 방



세포 들여다보기

를 주사관 같은 관을 통하여 대장균 내부에 주사하고 이것이 변식하는 동영상을 보여준다. 다음 전시물은 현존하는 최대배율을 자랑하는 주사터널링 현미경(STM)이다. 이를 통하여 X, Y 염색체를 볼 수 있게 장치할 것이다. 계단을 올라 2층에 들어서면 '뢴트겐'의 X-선 연구실이 원형 그대로 재현되어 있다. 100년 전 뢰트겐의 X-선 발생튜브와 같은 튜브와 발생장치가 설치되어 있고 그 옆에는 관객들이 직접 X-선을 촬영해보는 장치까지 비치되어 뼈의 구조를 보게 되어 있다.

이어서 MRI의 작동원리를 체험하는 방에 들어서면 우선 전자석을 통하여 발생된 자장이 나침반의 바늘을 돌리는 장면을 보면서 전자기장을 체험하고 소리굽쇠를 통하여 공명이란 개념을 터득하고 MRI모형을 이해한다. 다음 전시물은 레이저로서 그 발생 원리를 터득하는 전시용 레이저의 작동을 체험하고 레이저로 눈 수술(라식수술)을 하는 기법을 체험한다.

돌아서 출구쪽으로 가면 면역기능의 원리모형과 퍼즐을 통하여 배우고 나가면서 스웨덴 국왕의 밀랍인형과 함께 노벨상을 받는 것처럼 연출하는 포토 존(photo zone)에서 사진을 찍고 나면 전시장을 벗어나게 된다. 그럼, 전시물이 구체적으로 어떻게 노벨 수상업적과 관계되는 지 창세기의 방을 중심으로 알아보자.

불확정성 원리에 의해 태초 우주 탄생

정말 태초에는 아무 것도 없었다. 시간도, 공간도 그리고 물질도 없었다. 그런데 불확정성 원리(양자요동)에 의하여 시공이



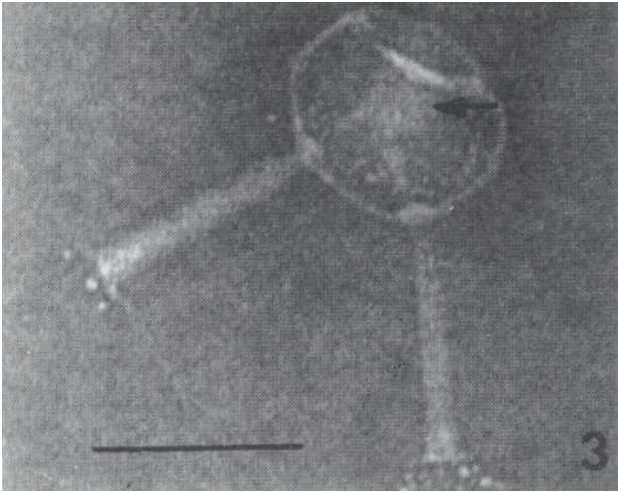
연어 알의 DNA



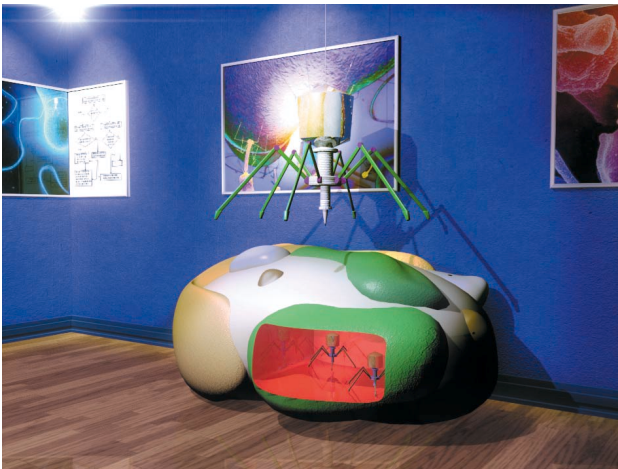
호르몬열차

탄생하였다고 믿고 있다. 양자요동에 의하여 갓태어난 원자핵보다 작은 우리 우주는 지금의 거대우주가 가지고 있는 그 모든 에너지를 가지고 태어났다. 이 원자핵보다 작은 우주는 그 막대한 에너지를 지니고 잔뜩 웅크린 채 팽창을 기약하고 있었다.

시공의 휘어짐이 커서 그 많은 에너지를 가두고 있는 우주는 무한히 뜨거웠고, 휘어진 강철판이 제자리로 돌아가려는 것처럼 뒤틀려 있었다. 우리가 아는 어떤 물질도 녹여서 분해할 정도로 태초의 우주가 막대한 에너지를 가지고 탄생했다는 말은 다소 설명이 필요하다. 막대한 팽창 에너지를 지녔지만 그와 거의 맞비기는 중력을 나타내는 마이너스 뒤틀림 에너지가 있었기에 사실상 둘을 합하면 거의 0이 된다. 이 세상은 '무'에서 막대한



T2파지의 전자현미경 사진



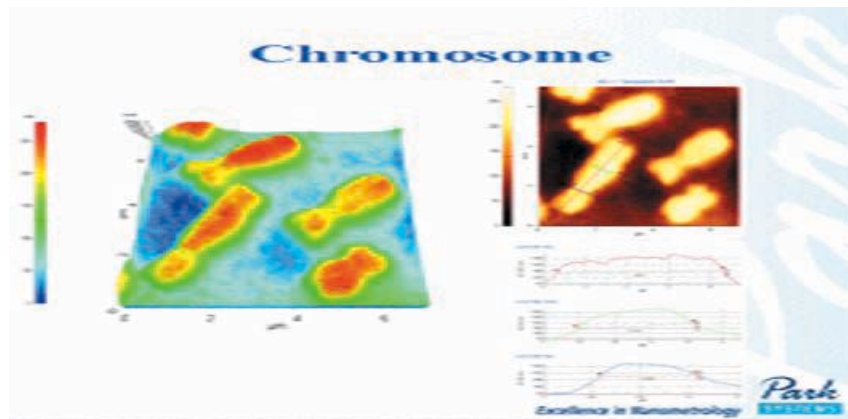
T2와 대장균

에너지가 태어난 것이 아니고, 그 합은 '무'이지만 플러스와 마이너스가 맞비기는 뒤틀림 에너지에서 갈라진 것이다.

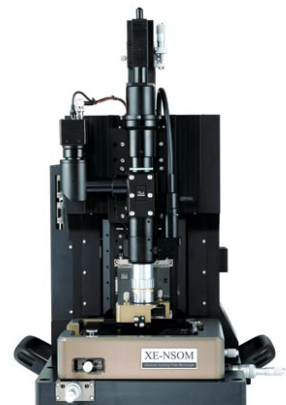
불확정성 원리란 에너지의 불확실성이 0이라면 시간의 불확실성은 무한히 커질 수 있고, 따라서 우주생성시 총 에너지가 0에 가까우므로 시간은 얼마든지 길게 잡을 수 있다. 우주가 양자요동에 의하여 생겨났다면 에너지의 총화가 0에 가까워야만 우리 우주는 길게 존재할 수도 있다. 기술적으로는 $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$ 인 불확정성 원리에서 에너지 ΔE 가 0이면 Δt 가 무한대일 수도 있게 되는 것이다. 양자요동에 의하여 우주가 탄생하였다 하여도 모순은 없는 것이다.

이렇게 갓태어난 우주는 에너지만이 존재하는 그런 우주였다. 빛 에너지의 알갱이인 광양자가 있었고, 질량을 갖지 않은 순수에너지인 원시쿼크와 전자, 그리고 중성미자들이 있었다. 태어난 지 10^{-42} 초(이를 플랑크 시간이라고 부른다)까지는 정말로 혼돈 그 자체였다. 우주는 너무 휘어져 있고 원자핵보다도 작았기에 시공의 기하학인 일반 상대성이론조차 파악할 수 없는 그런 때였다. 그 시간과 공간의 형태가 어떤 것인지 우리들은 모르고 있다. 어떤 학자들은 시공이 거품처럼 되어있었다고 하며, 또 어떤 학자들은 고리로 엮여져 있었다고 하며, 또 다른 학자들은 시공간 자체가 너무 희미하고 애매하여 말 그대로 혼돈상태였다고도 한다.

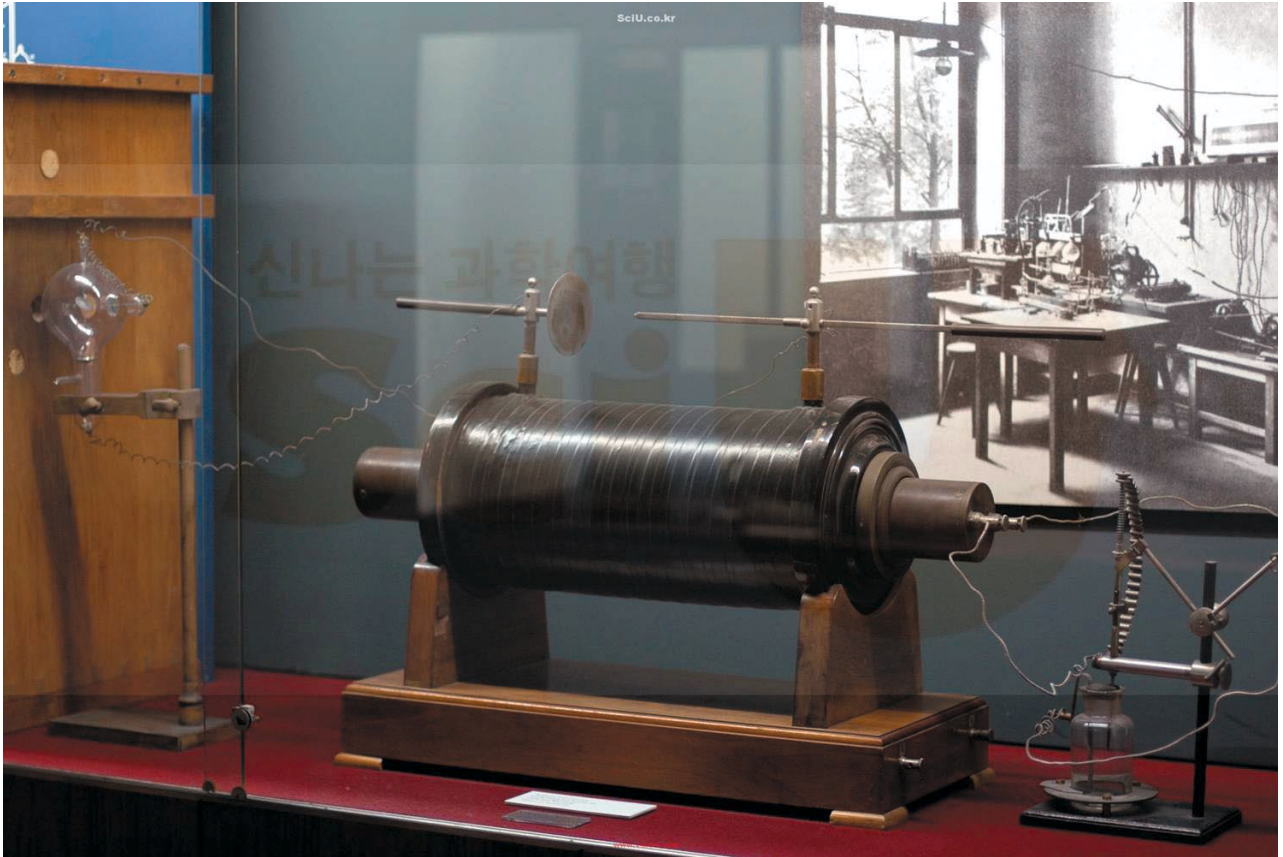
원시쿼크와 전자들이 활개 치는 초기우주에 첫번째 변화가 일어났다. 우주 탄생 후 10^{-36} 초 정도가 되면서 원시우주의 뒤틀림의 하나인 '히그스 뒤틀림'의 변화가 일어난다. '히그스 뒤틀림'이 더 높은 에너지 상태에서 휘어진 강철이 제자리에 오듯



염색체



STM



뢴트겐의 연구실과 모형

풀어지면서 그 뒤틀림 에너지를 초기 우주에 퍼부어 넣는다. 이 에너지를 받은 허공은 급격히 팽창하면서 속칭 '인플레이션' 시기를 맞이한다. 10^{-31} cm 반경을 가진 우주는 그 웅크림을 풀고 급격한 팽창을 하여 10^{-35} 초 정도가 되면서 10cm의 크기가 된다. 물리이론에 의하여 그 짧은 동안에 이 우주는 무려 10^{32} 배, 즉 억만 배의 억만 배의 억만 배의, 또 억만 배로 팽창한 것이다.

현격한 성질의 변화가 있을 때 우리들은 상태변화라고 한다. 완전히 혼돈상태였던 우주는 질서를 잡고, '히그스 뒤틀림'의 응고 때문에 원시쿼크와 전자 등의 운동은 그 전과는 달라진다. 자유롭게 떠돌아다니던 원시쿼크와 전자 등은 마치 공기 속에서는 저항을 받지 않고 쉽게 움직이다가도 물 속에서는 움직이는 것이 방해 받는 것 같은 상황을 맞이한다. 빛의 속도로 움직이던 이들 입자의 속도가 떨어지고, 이렇게 원시에너지 뭉치인 원시쿼크와 원시전자들은 $F=ma$ 의 지배를 받는 질량을 얻게 된다.

우주탄생 후 0.004초를 지나면서 또 한번의 상태변화가 일어



X-선 체험 장치

났다. 쿼크와 에너지 플라즈마가 응고하면서 우리가 알고 있는 양성자와 중성자가 생겨났다. 마치 얼음이 열기 시작할 때 물과 얼음이 섞여 있다가 온도가 더 내려가면 얼음만이 남듯이 물 같은 '쿼크 글루온' 상태가 얼음에 해당하는 양성자와 중성자로 변해갔다. 시간이 흐르면서 우주는 우리가 알고 있는 양성자와 중성, 전자와 반전자, 중성미자와 반중성미자, 그리고 광양자(빛의 알갱이)로 가득 찬 세상이 되었다. 이러한 환상적인 우주의



MRI 모형



레이저



빅뱅을 상징하는 상들리에

확증을 얻게 되는 이야기는 1950년대말로 거슬러 올라간다.

펜지아·월슨 박사, 3°K 마이크로파 탐지

1958년에 미국의 자존심을 여지없이 짓밟은 사건이 일어났다. 언제나 세계 제일의 국력과 과학을 자랑하던 미국인데, 소련이 미국을 앞질러 스푸트니크란 인공위성을 인류역사상 최초로 우주 궤도에 올려놓은 것이다. 미국정부는 자존심을 살리기 위하여 더 많은 예산을 우주항공국과 과학계 전반에 쏟아 부었다. 그 덕택에 1964년경에는 인공위성을 추적하는 전파 안테나가 이곳저곳에 생겼고, 저 유명한 벨 전화회사도 뉴저지주 홈델에 '메이리 인공위성'을 추적하기 위한 특수전파 안테나를 갖게 되었다.

천체물리학자인 아르노 펜지아와 로버트 월슨은 이를 이용하여 위로부터 우리 은하계에 흘러 들어오는 전파가 있는지 살펴보기로 했다. 그들은 파장이 7.35cm인 마이크로파에 초점을 맞추어 은하수 위와 아래에 오는 전파를 찾아보기로 했다. 우리들이 채널을 맞추는 KBS1과 같은 VHF 채널의 전파보다 훨씬 짧기에 '마이크로파'라고 하며 전자레인지에 쓰이는 바로 그 파장의 전파다. 펜지아와 월슨 박사는 은하수 위와 아래에 천체들이 많지 않으므로 많은 전파를 기대하고 있지 않았다. 그런데 의외로 많은 전파가 안테나에 잡혀서 그들을 놀라게 했다. 그들의 안테나에 잡힌 마이크로파의 강도는 3°K의 온도를 가진 물체가 발산하는 마이크로파의 강도와 같았다. 어떤 물체든 그 온도에 해당하는 대표전파를 발산하며 높은 온도의 물체일수록 더 강한 전파를 발산한다는 것이 알려져 있었으므로 전파의 강도를 보통 온도로 표시하는 것이 관례로 되어있다.

펜지아와 월슨 박사가 본 이 3°K의 전파는 도대체 무엇일까? 그 해답은 우연한 기회에 찾아왔다. 어느 날 펜지아 박사는 같은 천체물리학자이고 친구인 MIT대학의 버크 박사에게 안부전화를 걸었다. 안부를 묻고 다른 이야기를 하는 가운데 버크 박사는 펜지아 박사가 하고 있는 홈델 전파망원경 실험이 어떤 성과가 있었는지를 물었다. 펜지아 박사는 자기네들이 예기치 않았던 3°K 강도의 전파를 포착했는데, 그 전파는 방향에 상관없이 우주의 모든 방향에서 오고 있어서 도대체 이해가 되지 않는다고 투덜댔다. 그랬더니 버크 박사가 며칠 전에 존스 홉킨스 대학의 친구로부터 들었는데 프린스턴 대학의 젊은 이론물리학자인 피블스 교수가 존스 홉킨스 대학에 와서 학술강연을 하면서 초기

우주의 빛이 지금은 10°K 의 강도로 남아있다는 주장을 했다고 알려주었다. 이렇게 하여 20세기의 가장 중요한 발견의 극적인 실마리는 풀려나갔다. 펜지아와 윌슨이 발견한 이 전파는 갖태 어난 우주 즉 창세기의 빛이 우주와 더불어 식어서 남아있는 마이크로파라는 것이 밝혀지게 된 것이다.

3천° K 우주복사광, 137억년만에 3° K로 식어

창세기의 빛이 우주에 화석처럼 남아있다는 피블스 교수의 이론은 다음과 같다. 현대 물리학에 의하면 전파는 반드시 전기를 띤 물체에서 나와서 전기를 띤 물체에 의하여 흡수된다. 이런 법칙은 작은 소립자들에게도 적용된다. 우주탄생 후 30만 년이 될 때까지는 우주의 온도가 너무 높아서 우리가 알고 있는 원자는 없었다. 예를 들어서 설령 수소원자가 생겼다고 해도 높은 온도 때문에 이온화되어 수소핵인 양성자와 전자가 서로 분해되는 상태가 되었다. 양성자와 전자는 전기를 띠고 있으므로 이들은 전파를 흡수한다. 우주탄생 후 30만 년 되었을 때 우리 우주의 평균 온도는 약 $3천^{\circ}\text{K}$ 였고 이 높은 온도 때문에 우주의 물질은 이온화되어 있는 전자와 양성자들이 빛(전파)을 흡수해 한치 앞도 보이지 않는 세상이었다.

전자의 질은 안개 때문에 빛은 보이지 않고 캄캄한 그런 시대였다. 우주가 계속 팽창하여 우주의 온도가 식어가면서 $3천^{\circ}\text{K}$ 이하가 될 때 이온 상태로 있던 양성자와 전자가 합치면서 수소 원자가 되고, 중수소 핵과 전자가 합치면서 중수소가 되고, 헬륨 원자핵이 두 개의 전자를 잡아서 헬륨원자가 되었다. 세상은 원자핵과 전자가 이온화되어 수프처럼 서로가 섞여있는 상태에서 원자핵과 전자가 결합하여 원자가 되는 상태변화를 일으켰다. 이 때 우주는 큰 변화를 겪는다. 원자핵에 전자가 잡히면서 전자의 질은 안개는 순식간에 걷히고 찬란한 창세기의 빛이 이 세상을 온통 덮어버렸다. 우리의 우주는 중심이 없고 또 모든 점이 중심이므로 찬란한 빛은 사방에서 위에서 아래에서 또 동쪽에서 서쪽에서, 그리고 남쪽과 북쪽에서 동시에 나타난다. '빛이 있으라 하시니 빛이 있었고...'라는 그 빛이 모든 곳에서 동시에 이 세상을 덮어버린 것이었다. 137억 년의 세월이 흐르면서 $3천^{\circ}\text{K}$ 의 황백색의 찬란한 우주복사광도 이제는 식어서 3°K 의 마이크로파가 되어 남아있다. 찬란했던 그 빛은 오랜 세월을 견디어 화석이 된 동물 뼈처럼 이 우주에 전파의 형태를 보존하며 화광이 되었다.



FIG. 6.1. Wilson and Penzias in front of the 20-foot horn antenna which detected the 3 K cosmic photons, relics of the Big Bang. (Bell Telephone Laboratories.)

펜지아와 윌슨

창세기의 방은 그 옛날 그 황백색 빛의 생성과 그 당시의 팽창음을 재생한 것이다. 그 뒤 40억 년의 세월이 흐르면서 원시 생명이 싹트고 밀러의 실험이 말하듯 우주선이 원시 지구를 때리면서 생명의 진화가 일어나는 것이다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 문리대 물리과 졸업 후 미국 컬럼비아대 물리과 이학박사를 받았다. 일리노이대학교 연구원 및 연구조교수를 지냈으며 현재 아·태이론물리센터 이사, 과학문화진흥회 회장직을 겸하고 있다. 1993년에 대한민국 과학기술상 과학상을 수상하였다.