

우주는 지금도 팽창하고 있다

'태초의 3분' 그 후 120억~150억년간 장수

또 한번의 천문학 혁명을 이끈 허블우주망원경

보이는 하늘이야 같았겠지만, 문화적인 배경이 다른 민족이나 국가, 그리고 종교가 각기 다른 방식으로 우주를 이해해 왔을 것이다. 이들이 구체화되어서 설화나 신화 또는 종교의 우주관을 형성하는 과정이 달랐으리라는 것도 쉽게 상상할 수 있을 것이다. 이 글에서는 현대우주론이 형성되는 과정을 서양우주론의 관점에서 살펴보고 현대표준우주론인 대폭발 우주론에 대해서도 알아보기로 한다.

| 글 | 천문석 연세대 교수 mschun@galaxy.yonsei.ac.kr |

기획연재순서

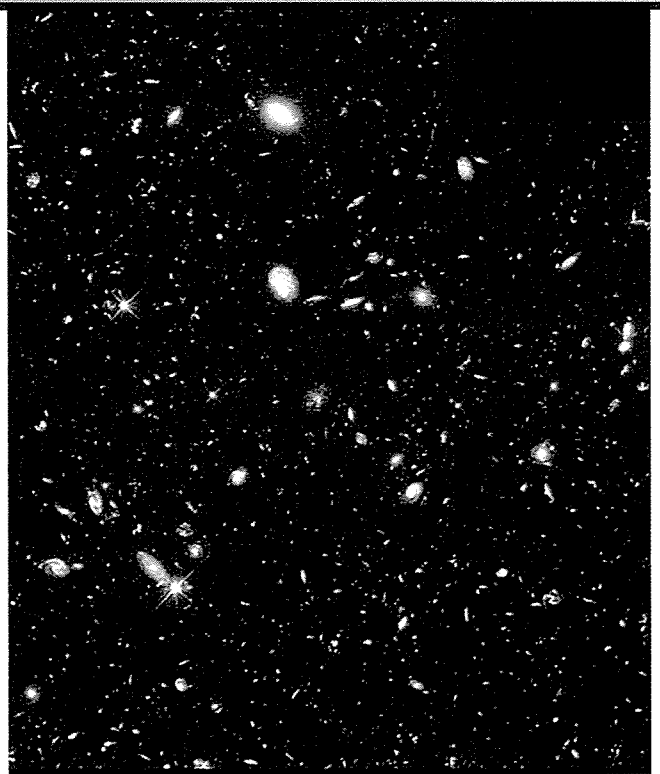
1. 세상의 기원
- ② 우주의 역사
3. 세상의 기원
4. 고분자의 역사
5. 화학의 기원

고대 그리스에서는 바빌로니아 수학에 기초한 기하학적 우주론이 발전되어 왔다. 모든 외부 세계를 숫자로 탐구하고 이해하려 했던 피타고라스는 지구를 완전한 구체로 생각하였으며 행성의 운행은 기하학적 법칙에 따를 것이라고 예상했다. 즉, 조화로운 기하학에 근거하여 우주를 이해하려 했으며 따라서 우주를 신의 기하학적 작품으로 표현했다. 플라톤 또한 별을 신성하고 영원한 생명체로 인식했으며 천체의 움직임을 모두 원운동으로 가정하였는데 이러한 천체의 원운동은 16세기 케플러가 타원 궤도로 행성의 공전을 거의 완벽하게 기술해내기 전까지 천문학 이론을 지배했다. 아리스토텔레스의 두 구체 우주론도 지구가 두 구체의 중심에 있고 모든 천체가 이 주위를 도는 조화롭고 변화가 없는 완벽한 우주를 이야기하고 있었다. 고대 그리스 사람들은 많은 주전원을 사용해서 지구를 중심에 두고도 행성 역행 현상 같은 태양계의 운동을 어느 정도 설명할 수 있었다.

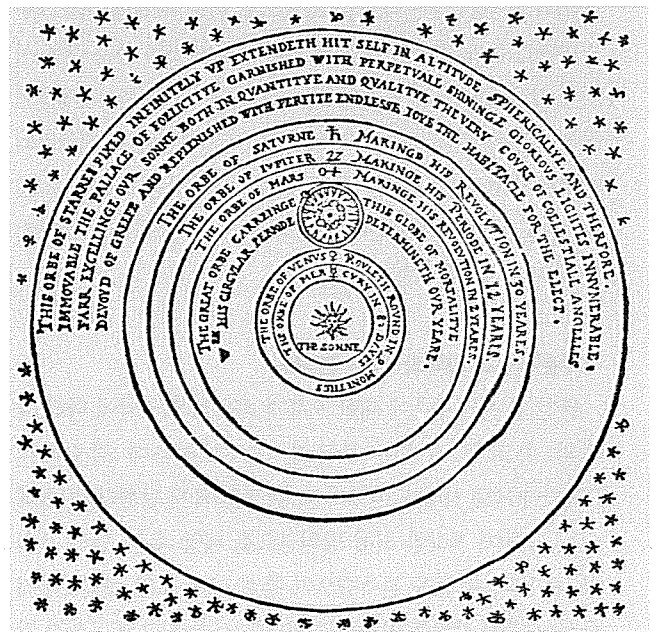
우주론의 시조는 코페르니쿠스

고대 그리스의 천문학 지식이 중세 유럽에 전파되면서 프톨레마이오스의 알마게스트와 기독교 신학이 복합된 우주론이 형성되었다. 여전히 사람들은 원으로 묘사된 지구 중심의, 신의 완벽한 우주를 신봉했다. 그러나 유럽 역사상, 천문학 역사상 중요한 분기점은 코페르니쿠스(1473~1543)에 의해 시작되고 있었다. 코페르니쿠스도 프톨레마이오스의 주전원 이론을 버리지는 못했지만 워낙 꼼꼼한 성격 때문에 행성의 일관성 없는 속도에 의심을 품게 되었다. 그 결과 주전원은 그대로 유지한 원궤도의 행성운동, 그러나 지구 중심이 아닌 태양 중심의 행성운동이 더 자연스럽게 행성의 움직임을 설명할 수 있음을 깨달았다. 하지만 코페르니쿠스 자신도 그다지 용기 있는 사람이 아니었던 데다가 그 당시의 종교적인 분위기에서 아무도 신이 창조한 지구 중심의 우주에 반박할 사람은 없었기 때문에 그의 저서 '천체의 회전에 관하여'는 주목을 받지 못한 채 그렇게 조용히 묻히고 말았다. 그 후 케플러와 갈릴레이가 행성의 궤도문제를 올바르게 기술하기까지 반세기가 지나야 했다.

케플러의 행성궤도 계산에 결정적인 관측자료는 뛰어난 안시 관측자인 티코 브라헤(1546~1601)의 업적이었다. 티코 브

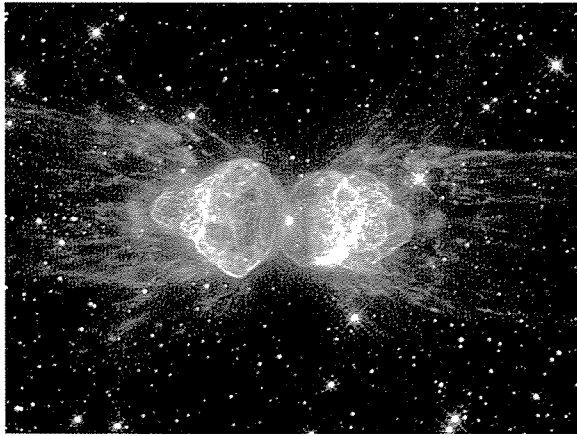


허블우주망원경으로 10일간 관측해서 얻은 허블딥필드 관측결과

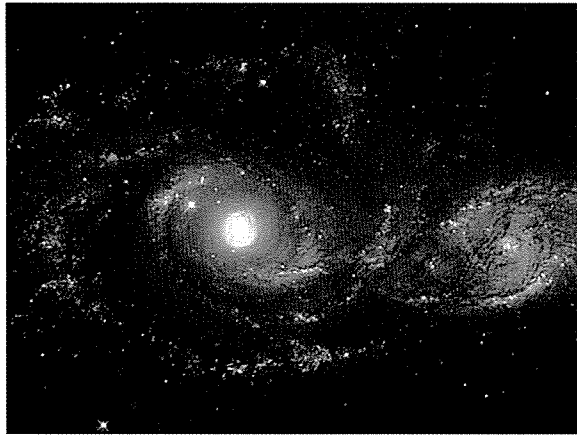


태양이 중심에 위치한 코페르니쿠스 우주 모형

라헤는 정확한 관측을 통해 역동적인 천체의 모습을 목격했으며 따라서 고대 그리스로부터 이어져와 중세의 종교적 분위기와 결합했던 완전, 불변인 지구 중심의 우주론에 반박을 가했다. 그는 신성을 목격하고 이에 관련된 책을 출판하였는



허블우주망원경이 찍은 행성상성운 M33



허블우주망원경이 찍은 충돌하고 있는 두 은하

데 이것을 계기로 유럽학자들 사이에서 명성을 얻게 되었다. 이러한 명성은 그에게 경제적인 후원과 함께 그의 관측 자료를 바탕으로 행성궤도의 법칙을 발견해 낸 케플러(1571~1630)라는 젊은 수학자와의 만남(1600~1601)도 제공하게 되었다. 케플러는 화성의 궤도가 원이 아닌 타원임을 밝혔으며 이를 시작으로 행성궤도에 관한 세 가지 법칙 - 타원궤도의 법칙(행성은 태양을 초점으로 하는 타원궤도를 그린다), 면적 속도 일정의 법칙(태양과 행성을 잇는 선은 같은 시간에 같은 면적을 가로지른다), 조화의 법칙(거리의 세제곱이 공전 주기(시간)의 제곱에 비례한다) - 을 정립했다. 케플러의 행성운동에 관한 법칙은 여러 기체의 복합작용(주전원 도입)이 아닌 우주의 여러 힘이 복합작용하는 아름다운 기하학적 도형으로서의 우주 법칙이었다.

우주론 싸고 과학과 종교 전쟁도

원전 불변의 우주에 대한 오류가 하나씩 드러남에 따라 과학과 종교의 전쟁이 불붙기 시작하였는데 갈릴레이(1564~1642) 시대에 이르러 이 전쟁은 극에 달했다. 갈릴레이는 자신이 제작한 천체 망원경으로 태양 흑점, 달의 분화구, 토성의 띠 등을 관측했으며 특히 금성 모양 변화로부터 금성이 태양 주위를 공전하고 있다는 사실과 함께 목성과 같은 다른 행성의 위성들을 발견했고 은하수를 관측하여 은하수가 별들의 집단이라는 사실을 밝혀냈다.

이 시대에 여러 학자들이 코페르니쿠스적 우주론을 지지함으로써 인해 화형을 당했으며 갈릴레이도 그의 위대한 업적 때문에 종교재판(1633)을 받아야 했다. 지구가 우주의 중심이 아

니라는 것과 자전축을 중심으로 회전하는 행성의 하나라는 사실은 그 당시 종교적 교리에 어긋나는 것이었고 따라서 이 단의 취급을 받아야 했다. 갈릴레이가 종교재판에서 나직이 증언거렸다는 “그래도 지구는 돈다”는 과학적인 사실은 어떠한 방식으로든, 그 시점이 언제가 되었든 밝혀 질 수밖에 없음을 시사하는 듯하였다. 갈릴레이 이후 많은 과학자들에 의해 코페르니쿠스적 우주론이 받아들여졌고 현대 천문학에서는 너무 자연스러운 사실이 되어버렸지만 정작 교황청에서 정식으로 갈릴레이에 대한 처벌이 잘못된 것임을 시인한 것은 1992년, 겨우 10여 년 전의 일이었다. 갈릴레이가 359년 만에 공식적으로 재판에서 승리한 것이다.

갈릴레이 사후 유럽은 전쟁과 질병으로 혼란기를 겪게 되었다. 이 시대 과학도 예외는 아니었다. 과학자들은 여러 증거로부터 종교의 교리가 말하는 자연의 법칙이 지구에 존재하는 물리적 법칙을 설명하지 못함을 인지하고 있었으나 그들 자신도 독실한 신자였기 때문에 이 모순을 어떻게 받아들여야 하는지 갈등했던 것이다.

‘과학적 혼돈’ 뉴턴이 정리

이러한 중세 유럽의 과학적 혼돈상태에 질서를 가져온 인물은 아이작 뉴턴(1642~1727)이다. 코페르니쿠스의 우주에 대한 사고 전환, 브라헤의 정밀한 관측, 케플러의 이론화 작업과 함께 갈릴레이의 여러 물리실험은 뉴턴 물리학(운동법칙과 만유인력)으로 총집결되었다. 그는 자신이 발견한 우주 보편적인 물리학 법칙을 ‘프린키피아’라는 제목으로 출판했다. 뉴턴이 발견한 물리법칙은 지구의 자전축과 공전축이 일



대폭발우주론을 탄생시켰던 아인슈타인과 허블의 만남

치하지 않는데서 오는 세차운동이라든가 갈릴레이를 고민하게 했던 조석 운동의 문제를 명료하게 설명할 수 있었다. 코페르니쿠스로부터 시작된 과학혁명은 뉴턴의 물리 법칙에서 정점에 이르렀고 현대과학으로의 도약에 큰 다리 역할을 하게 되었다.

현대우주론 또는 현대우주론의 표준모델은 대폭발우주론이다. 그럼 중세 유럽을 지나서 대폭발우주론이 확립되는 기반이 되는 시대의 우주론적 문제에 대해서 살펴보기로 하자.

모든 것이 기독교의 영향 아래서 신음하던 어두운 중세 유럽을 극복하면서 확립된 우주의 모습은 태양을 중심으로 한 공간적으로나 시간적으로 무한하고 정적인 우주이다. 우주의 중심에 태양이 있고 그 주위를 지구를 포함한 행성들이 돌고 있는 형태를 갖추게 된다. 아직 천왕성, 해왕성, 명왕성의 존재가 발견되기 전이니까 토성이 가장 바깥쪽 궤도를 돌고 있었다. 그 바깥에는 항구적으로 변함없이 가만히 그 자리에 고정되어 있는 무수히 많은 별들이 존재한다.

1700년대 태양계 영역 넓혀

1700년대 말에 활약한 허셀은 천왕성을 발견해서 태양계의 영역을 넓힌 것으로 유명하다. 허셀은 당시로서는 가장 큰 망원경인 54인치 반사망원경을 사용하여 온 하늘의 별을 세는 작업을 했는데, 태양계는 은하계의 일부분이며 태양은 은하계의 중심에 있다는 결론에 도달했다.

1900년대 초에 활약했던 네덜란드 천문학자 캅테인은 허셀이 했던 작업과 비슷한 별세는 작업을 했는데, 눈으로 세는 대신 별을 사진으로 찍어서 세는 방법을 도입했다. 캅테인도

역시 허셀과 마찬가지로 우리은하가 납작한 타원체이며 태양은 우리은하의 중심에 있다는 결론에 도달했다. 어쨌든, 캅테인의 연구에 의해서 우리은하의 대체적인 모습이 드러나게 되었다.

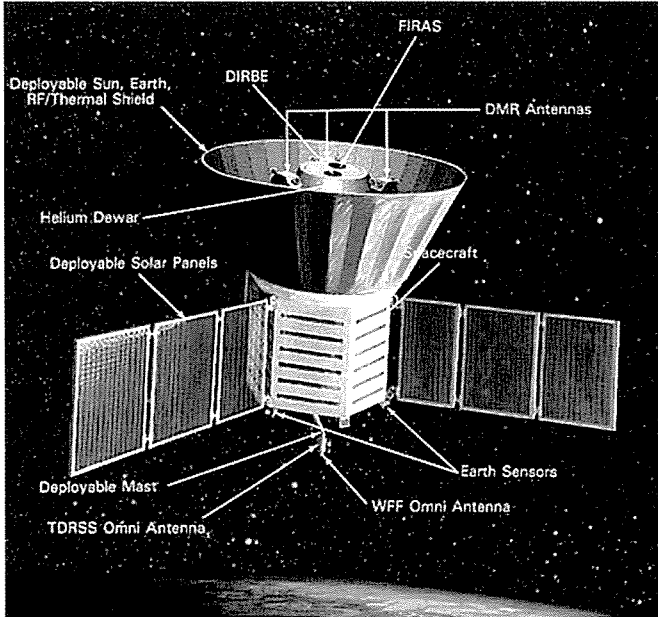
1920년 새플리와 커티스는 우리은하의 크기, 우리은하내에서의 태양의 위치, 그리고 나선성운(오늘날의 나선은하)가 우리은하 밖에 존재하는지의 여부 등을 놓고 대토론을 벌였다. 이 토론에서는 양측의 주장이 팽팽하게 맞섰지만, 이 토론에서 논의된 내용들은 현대적인 우주모형을 태동시키는데 크게 기여하게 되었다. 후에 허블의 관측에 의해서 나선성운이 우리은하 밖에 존재한다는 것이 밝혀지고, 태양이 우리은하의 외곽에 존재한다는 사실도 받아들여지면서 이 논쟁은 막을 내리게 되었다. 비로소 여러 은하가 존재하는 우주의 모습이 그려지게 되었던 것이다.

1920년대에 우주가 팽창한다는 허블의 관측과 우주를 전체적으로 연구할 수 있는 틀을 제공하는 아인슈타인의 상대성이론을 만나면서 드디어 대폭발우주론이라고 불리는 현대우주론이 탄생하게 되었다. 허블은 현재 우주가 팽창하고 있다는 사실을 관측적으로 발견하게 되었다.

우주론의 표준모델은 '대폭발우주론'

먼 은하일수록 더 빨리 우리로부터 멀어진다는 내용이다. 허블의 법칙이 바로 그것이다. 먼저 우주가 팽창하고 있다면, 과거로 거슬러 올라가면 팽창을 시작한 순간이 존재할 것이다. 그렇다면 이 순간부터 우주가 존재해서 오늘날에 이르렀으므로 우주의 나이가 무한하지 않고 유한하다는 결론을 얻을 수 있을 것이다. 현재 우주의 나이는 대략 120억년에서 150억년 정도로 계산되고 있다.

우선, 현대 과학자들이 창조주를 끌어들이는 대신 어떻게 과학적으로 우주의 생성기원을 설명하고 있는지부터 살펴보기로 하자. 천문학자들과 물리학자들은 20세기의 새로운 이론인 양자역학을 도입하여 우주의 생성문제에 대한 대답을



우주배경복사 관측을 수행한 코비(COBE) 인공위성

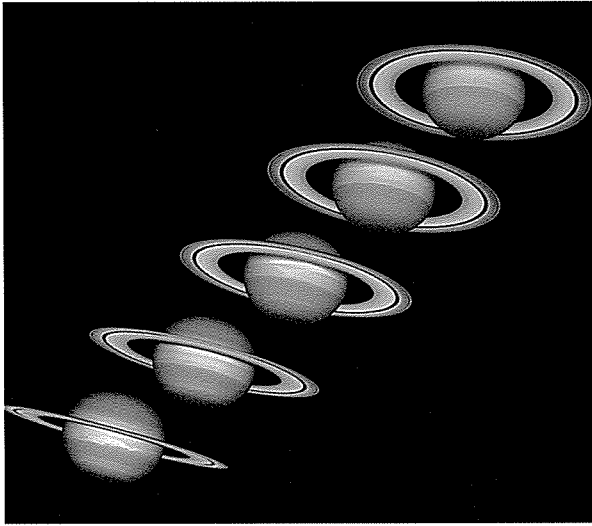
찾고 있다. 좀 어려운 개념이지만, 우주가 탄생하기 이전(물론 이런 시간 개념은 존재하지 않지만)은 절대적인 물리법칙이 존재하는 양자역학적 혼돈상태로서 전체 에너지가 '0'인 상태, 즉 무(無)의 상태라고 할 수 있다.

다시 말하면, 어떤 에너지 벽 속에 갇힌 입자(즉, 시공간 또는 원시우주)가 생성과 소멸을 반복하고 있는 상태라고 할 수 있다. 고전적으로 생각하면 이렇게 생성된 원시우주가 에너지 벽을 뚫고 나올 확률은 '0'이지만, 양자역학적으로 생각하면 이렇게 생성된 원시우주가 에너지 벽을 뚫고 나갈 확률이 '0'이 아니다. 이런 현상을 양자역학에서는 터널효과라고 부르는데, 우주의 생성 기원을 설명하는데 커다란 의미를 던지고 있다. 먼저 확률이 '0'이 아니기 때문에, 생성과 소멸을 거듭하고 있던 원시우주 중 하나는 '우연히' 그러나 일정한 확률을 갖고 있기 때문에 결국 '필연적'으로 에너지 벽을 뚫고 나오게 될 것이다. 이렇게 해서 생겨난 우주는 팽창을 시작할 것이고, 우리는 이런 우주 중 하나에 살고 있는 것이다. 이렇게 탄생한 우주는 아주 짧은 동안에 급속한 팽창을 겪으며 팽창을 계속하게 된다. 대통일장으로부터 힘이 분리될 때 생기는 에너지가 급팽창의 원천으로 여겨지고 있다.

원시우주는 수소·헬륨과 암흑물질

다시 초기 우주로 돌아가 보자. 우리는 쉽게 초기 우주의 온도와 밀도가 아주 높았을 것이라는 것을 상상할 수 있다. 고온, 고밀도의 조건 속에서 쿼크, 양성자의 생성을 시작으로 전자, 중성자를 거쳐서 수소와 헬륨 원자핵에 이르기까지 우주의 기본적인 원소들이 대폭발 이후 약 3분간에 걸쳐서 모두 생성되었다. 그래서 흔히 '태초의 3분간'이라는 말을 사용한다. 어쨌든, 대폭발우주론이라고 불리는 현

대우주론에 의하면 우주 공간에서 만들어지는 원소는 수소와 헬륨뿐이다. 이후 우주는 빛과 이온화된 뜨거운 수소와 헬륨 기체, 그리고 아직 정체를 모르는 차가운 암흑물질이 뒤섞인 상태로 팽창을 계속해 나간다. 대폭발 후 30만년이 지났을 때를 빛/물질 분리시기라고 부르는데, 이 때 우리를 향해 떠난 단파장 고에너지의 빛은 우주의 나이 동안 우주의 팽창에 의해 장파장 저에너지의 빛으로 바뀌게 되고 절대온도 3도의 우주배경복사로 관측이 된다. 우리가 관측할 수 있는 가장 오래된 빛이라는 점에서 '태초의 빛'이라고도 부른다. 1989년에 발사된 코비(COBE) 인공위성이 이 '태초의 빛'을 체계적으로 관측했는데, 관측한 결과를 보면 초기의 우주에는 물질들이 아주 균일하게 분포하고 있었던 것처럼 보인다. 그런데 거의 등방에 가까운 초기 우주에도 한 곳과 다른 곳 사이에 미세한 밀도 차가 있는 것으로 관측되었다. 이러한 미세한 밀도분포의 차이가 사실은 별과 은하 형성의 열쇠를 쥐고 있는 물질의 씨앗이었던 것이다. 밀도차는 우주가 팽창하고 진화해 나가면서 점점 더 심화되어가고, 밀도가 큰 곳을 중심으로 가스구름이 중력불안정으로 수축을 시작하면서 별과 은하가 형성되기 시작했다. 대폭발 후 약 10억~20 억년이 지났을 때의 일이다.



허블우주망원경이 찍은 토성

코비위성이 '태초의 빛' 관측

우주가 팽창해왔다면, 마치 필름을 되감듯이 시간을 거꾸로 거슬러 올라가면 우주의 시작점에 도달할 것이다. 과거로 갈수록 온도와 밀도가 높아지고 결국에는 모든 것이 소멸하는 특이점에 도달하게 될 것이다. 그 시점에서 우주가 시작되어 지금까지 팽창을 거듭해 현재에 이르렀다. 즉, 우주의 나이는 유한하다는 결론에 도달하게 된다. 그렇다면, 우주의 미래는 어떨까? 우주의 미래는 현재 우주공간내의 물질 양에 따라 결정된다. 물질의 양이 충분히 많아서 우주의 밀도가 임계밀도보다 크다면 궁극적으로는 우주의 팽창이 멈추게 되고 수축을 시작해서 시간과 공간이 소멸하는 특이점으로 돌아가게 될 것이다. 이런 우주를 닫힌 우주라고 부른다. 물질의 양이 적어서 우주의 밀도가 임계밀도가 작다면 우주는 팽창을 계속할 것이고 시간은 영원히 흐르고 공간은 영원히 커질 것이다. 이런 우주를 열린 우주라고 한다. 물질의 양이 적당해서 우주의 밀도가 임계밀도와 같다면 우주는 아주 천천히 팽창을 계속하는 우주가 될 것이다. 이런 우주를 평탄한 우주라고 부른다. 우주의 미래에 대한 확실한 답은 아직 모르지만, 현재 관측결과는 우주는 영원히 팽창할 것이라고 예측하고 있다.

허블망원경이 우주의 신비 풀어

우주를 이해하려는 인간에게 또 한번의 혁명이 있었다. 바로 허블우주망원경의 발사가 그것이다. 우주공간에 천체망원경을 올려놓고 지구 대기의 영향을 받지 않고 천체를 관측하는 것은 천문학자들의 오래된 꿈이었는데, 1990년 허블우주망원경이 발사됨으로써 드디어 그 꿈이 이루어졌다.

허블우주망원경은 우주의 구성요소를 자세히 보여줌으로써, 살아있는 역동적인 우주의 모습을 생생하게 전해주고 있다. 허블우주망원경이 이룩한 수많은 업적 중에서 먼저 '허블 딥필드' 관측결과를 살펴보자. 눈으로 보기에 거의 텅 비어있는 하늘을 허블우주망원경으로 10일 동안 관측해서 얻은 것이 바로 '허블 딥필드' 사진이다. '허블 딥필드'에는 허블우주망원경의 뛰어난 분해능력으로 인해서 멀리 떨어져 있는 수많은 은하의 모습을 볼 수 있었다. 우주 초기에 이미 많은 은하가 형성되었다는 사실이 밝혀지면서, 은하의 형성과 진화에 대해 새로운 질문을 던져주었다. 우주의 크기와 나이를 알기 위해서 결정되어야 할 기본적인 우주론적 상수 중 하나인 허블상수 값을 10~15% 정도의 오차 범위내에서 결정할 수 있게 되었고, 따라서 우주의 나이도 그만큼 정밀하게 결정할 수 있게 되었다. 또한, 허블우주망원경을 이용해서 외부 은하의 중심부분을 정밀하게 관측할 수 있게 되어서, 은하 중심부에 존재하는 블랙홀에 대한 확실한 관측 결과도 얻을 수 있었다. 허블우주망원경은 2010년까지 그 임무를 수행하고 차세대우주망원경에 자리를 넘겨 주게 될 것이다.

대폭발우주론은 현대인들이 이해하고 있는 우주의 기원과 진화의 역사를 대변해주고 있다. 인간은 여기에 머무르지 않고 그 호기심의 영역을 계속 넓혀갈 것이다. 67