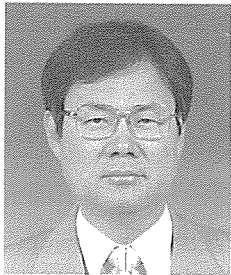


현대천문학의 등장

천문학을 개척한 4명의 과학자들

서양의 천문학은 1500년에서 1600년에 이르는 한세기동안에 눈부신 발전을 이룩했다. 이 기간 동안에 가장 위대한 업적을 남긴 사람은 코페르니쿠스, 티코 브라헤, 케플러 그리고 갈릴레오 등 네사람의 천문학자들이었는데 이들 학자들이 어떻게 현대 천문학을 열었는지 업적을 중심으로 알아본다.



李 璿 馥
(서울교대 과학교육과 교수)

프톨레마이오스 이후 서기 1500년 까지 거의 1천4백년동안 후대 과학발전에 도움을 준 기술은 발달했는지 몰라도 진정한 의미의 과학은 별로 추구된 것이 없었다. 이 기간은 서양의 중세기에 해당하며 흔히 암흑시대라고 한다. 서양의 천문학의 발달과정에서 가장 큰 발전은 1500년에서 1600년까지의 한세기동안 이루어졌는데, 이 기간 동안 가장 위대한 업적을 남긴 사람은 코페르니쿠스, 티코 브라헤, 케플러, 그리고 갈릴레오 등 네사람의 천문학자였다. 이 네 사람의 업적이 어떻게 현대 천문학을 등장시켰는지 각 천문학자가 이루어 놓은 업적들을 중심으로 알아 보기로 한다.

코페르니쿠스와 사회적 배경

코페르니쿠스(1473~1543년)는 그의 전 생애를 볼때 항상 교회와 관련을 맺고 있다. 그의 숙부는 당시 폴란드의 유명한 주교였고, 코페르니쿠스의 부친이 죽은 후 그를 양육하고 교육을 시켰다. 코페르니쿠스는 당시 유럽의 유명한 대학에서 교회법과 의학을 공부하고 돌아와 24살에 프라우엔부르그에 있는 교회의 평의원으로 봉직했다. 특히 15년동안은 폴란드 교회에서 영향력 있었던 그의 숙부의 개인 비서와 의사로서 지냈다. 그의 천문학에 대한 관심은 이미 대학시절부터 시작되었다. 그는 당시 프톨레마이오스의 우주 체계에 대하여 많은 의문을 가지고 있었으며 1530년 이전에 이미 지구가 아닌 태양이 우주의 중심에 있고, 지구는 자전을 하면서 태양 주위를 공전하고 있다는 이론을 기록한 짧은 내용의 팜플렛을 만들었다. 그는 종교적인 비판과 이단의 책임을 피하기 위해 이 내용을 손으로 써서 과학적인 교류를 맺고 있던 친구들에게만 돌려 읽게 했다.

코페르니쿠스가 그의 이론을 확립시

키기 위해 정리한 책이 「천체 회전에 관하여(De Revolutionibus Orbium Coelestium)」였다. 그는 오랜 기간 동안 이를 위해 정교한 계산을 하여 그의 이론을 확립해 나갔다. 그러나 그는 이론에 대한 비판에서 안전하다고 생각될 때까지 이 책의 출판을 미루었다. 당시는 루터의 종교 개혁이 진행되고 있던 시기였으며, 교회의 근본적인 가르침에 대한 의문이 제기되고 교회의 권위가 도전받고 있던 시기였다. 이러한 와중에 당시 교회는 이단자를 화형으로 처벌했는데, 그는 이러한 사회적 분위기에서 자신이 죽기 전까지 이 책을 출판하지 않기로 마음을 먹었다. 결국 이 책은 그가 죽은 직후에 출간되었기 때문에 완결본을 직접 확인 못한 채 세상을 떠났다.

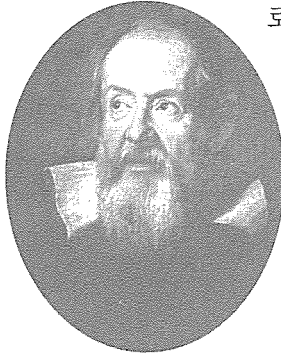
코페르니쿠스의 우주체계

코페르니쿠스의 우주체계는 완벽하게 서술된 것은 아니었다. 다만 태양 중심적인 우주관만이 옳게 표현되었으며 다른 부분은 많은 문제점을 안고 있었다. 이 이론이 폭넓게 수용된 원인은 혁명적인 사상을 받아들여려는 당시의 사회적인 분위기와도 관계가 깊다. 그러나 가장 중요한 이유는 이 이론의 단순함에 있다. 우주의 중심에 태양을 위치시키면 모든 행성들의 운동을 단순하게 대칭적으로 이해할 수 있기 때문이었다. 더구나 내행성인 금성이나 수성이 항상 태양 근처를 지날 때 나타나는 운동을 단순화하여 설명할 수 있었다.

더욱 간단하게 설명이 가능한 것은 행성들이 천구상에 나타나는 순행과 역행운동에 관한 설명이다. 이 현상을 프톨레마이오스의 이론으로 설명하면 앞서 알아본 바와 같이 대단히 복잡한 주



<그림 1> 코페르니쿠스



<그림 3> 갈릴레오

로 간단하게 이해된다. 이 책의 출판 당시에는 저자의 죽음과 아울러 이 이론이 곧 쇠퇴하리라 믿었음인지 당시 교회가 이 책의 내용에 대해서 큰 문제를 삼지 않았다. 그리고 전문적인 지식을 가지고 있는 학자들조차도

지구의 자전과 공전에 따라 나타나는 문제점을 설명할 수 없었기 때문에 그의 이론을 선뜻 받아들일 수 없었다. 따라서 그의 이론은 1616년 이전에는 공식적인 비난을 받지 않았다.

망원경 제작한 갈릴레오

갈릴레오(Galileo Galilei, 1564~1642년)는 1564년 이탈리아의 피사(Pisa)에서 태어났다. 그는 대학시절 의학을 공부했지만 주된 관심은 수학, 역학, 그리고 천문학이었다. 그는 대학을 졸업한지 4년만에 피사대학의 수학교수가 될 정도로 수학에 대단한 재능이 있었다. 피사대학에서는 천문학도 가르쳤는데, 그 때 그는 프톨레마이오스의 지구중심설을 가르쳐야만 했다. 그는 코페르니쿠스의 이론에 대해서도 알고 있었지만 교회의 권위에 도전하려는 의도를 갖지 않았다.

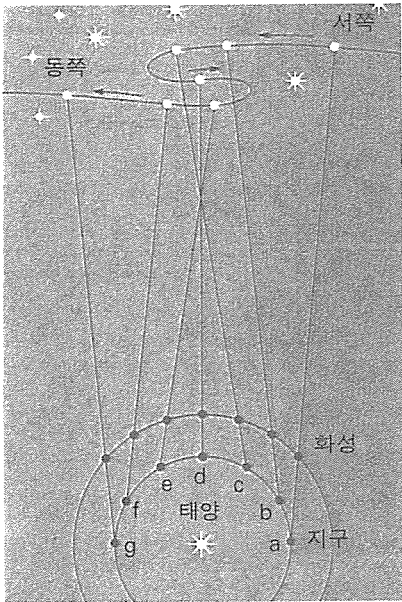
1609년 갈릴레오는 네덜란드 상인들에 의해 발명된 망원경 제작에 관한 책자와 렌즈를 구할 수 있었다. 그는 스스로 망원경을 제작하여 천체를 관측하고 그 결과를 분석하여 1610년에 「별의 전령(Sidereus Nuncius)」이라는 책으로 출판했다. 이것은 망원경으로 관측한 사실들이 어떻게 코페르니쿠스의 이론을 지지할 수 있는가 하는 것이었다.

그의 가장 중요한 발견 중의 하나가 금성이 달과 같이 위상이 변하고 더구나 겉으로 보이는 크기까지도 변하고 있다는 사실을 관측했다. 이 현상은 프톨레마이오스의 이론에 의한 주전원설로써는 도저히 설명될 수 없는 것이다. 그리고 이어 목성 주위를 공전하고 있는 위성 4개를 발견했는데, 이는 코페르니쿠스설에서 지구가 태양 주위를 돌 때 달이 어떻게 지구 주위를 돌면서 태양을 공전하겠는가 하는 문제점에 대한 답이기도 하다. 다음은 망원경에 의한 태양의 관측이다. 아리스토텔레스의 철학적 우주관에 의하면 태양은 우주의 완전한 천체의 표상이다. 그런데 태양에 흑점이 있고, 더구나 태양 스스로 자전한다는 사실이 밝혀져 더 이상 프톨레마이오스의 지구중심설을 지지할 수 있는 근거를 잃게 되었다.

이 책의 내용은 전문적인 지식이 없는 사람도 읽을 수 있도록 평이하게 쓰여졌기 때문에 이 책의 출간으로 유럽 전역에서 그는 유명하게 되었다. 그는 곧 대학의 직책을 버리고 플로렌스에 가서 투스카니 대공작의 개인 철학자 겸 수학자가 되었다. 1611년에는 로마에서 그의 발견 내용에 대한 강연을 가졌고, 당시 교회에서 영향력이 큰 추기경인 바르베리니(Barberini)와도 절친하게 그가 발견한 것들에 대해 토론을 가졌다.

갈릴레오의 천문학과 종교

1616년이 되어 갈릴레오는 그의 이론에 대하여 본격적으로 비판을 받게 되었다. 당시 교황 바오로 5세는 갈릴레오가 더 이상 천문학에 대한 연구를 못하도록 명령을 내렸다. 또한 코페르니쿠스의 이론과 관련된 책도 모두 금서



<그림 2> 코페르니쿠스의 이론에 의한 행성의 순행과 역행운동 설명

전원운동으로만 설명이 가능하다. 그러나 코페르니쿠스의 이론의 바탕인 우주의 중심에 태양이 있고, 모든 행성들이 태양을 중심으로 원궤도운동을 하며, 태양에서 가까운 행성일수록 공전 주기가 짧다는 가정을 이용하면 너무도 단순하게 행성의 순행과 역행운동의 설명이 가능하다. <그림 2>와 같이 지구가 화성보다도 안쪽 궤도에 돌고 있고, 지구의 공전주기가 화성보다도 짧다고 한다면 지구에서 관측되는 화성의 위치 변화는 서에서 동으로 이동하는 순행운동과 동에서 서로 운동하는 역행운동으로

Observations Jovianae
1610

2. Jovis Mars H. 12	○ * *
30. Mars	** ○ *
2. Jovis	○ * * *
3. Mars	○ * *
3. H. s.	* ○ *
7. Mars	* ○ * *
6. Mars	** ○ *
8. Mars H. 13.	* * * ○
10. Mars	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. H. q. uel.	* ○ *
13. Mars	* * ○ *
14. Jovis	* * * ○ *

〈그림 4〉 갈릴레오가 관측한 목성 위성 관측 기록

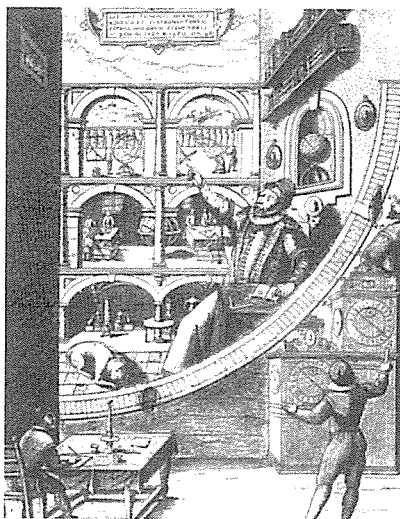
조치했다. 그 후 1623년에는 그와 절친하게 지냈던 추기경 바르베리니가 로마 교황 우르반 8세로 등극했다. 갈릴레오는 새 교황을 방문하여 1616년의 교황 칙령을 취소받지는 못했으나 절친한 대접을 받았다. 갈릴레오는 1624년에 코페르니쿠스의 이론을 지지하는 책을 쓰기 시작하여 1629년에 완성했다. 그 책은 플로렌스에 교회의 검열을 거친 뒤 1632년에야 출간되었다. 그 책의 제목은 「두 세계에 관한 대화(Dialogo Dei Due Massimi Sistemi)」로서 세명의 친구들이 코페르니쿠스와 프톨레마이오스의 이론에 대하여 논쟁하는 내용이다. 여기에 등장하는 세 친구들 간의 대화 내용과 세 사람의 성격 묘사가 교황의 권위를 웃음거리로 만드는 듯하다고 교황청은 느꼈다. 이후 교황은 갑자기 갈릴레오에게 로마에 있는 종교재판소에 출두할 것을 명령하고 증인 심문을 하게 되었다. 그의 나이 69세인 1633년 6월 22일에 그는 종교재판소에서 무릎을 꿇고 그의 잘못을 인정하는 공표문을 읽었다. 그는 종신토록 가택연금 상태에 놓여지고 가족 이외에는

어떠한 방문자도 만날 수 없었다. 그는 이 기간 동안 역학과 물리학에 대하여 연구를 하여 한권의 책을 썼으며, 이 책은 1638년 네덜란드에서 출판되었다. 그 후 그는 1642년 1월 8일에 코페르니쿠스가 죽은지 99년이 되던 해에 세상을 떠났다.

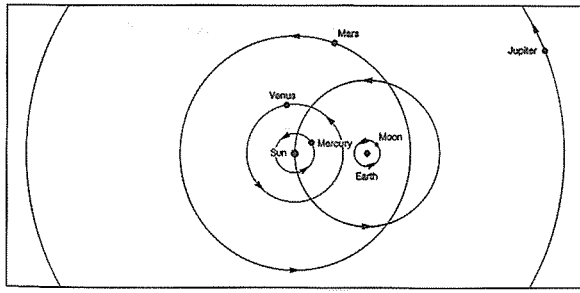
티코 브라헤와 천문 관측

관측천문학자 중에서 가장 위대한 사람 중의 한사람인 티코 브라헤(Tycho Brahe, 1546~1601년)는 1546년 12월 14일 덴마크의 귀족 가문에서 태어났다. 그는 대학에서 법률을 공부했지만 그의 진정한 관심은 천문학과 수학에 있었다. 그가 천문 관측을 처음 한 것은 대학생 시절이었다. 1563년 8월 24일에 목성과 토성이 거의 한점에 모이는 듯한 현상이 일어났다. 티코 브라헤는 이 시각과 위치를 계산할 때, 알폰신 성표(Alfonsine table)를 이용하면 달의 직경 만큼 위치가 벗어나고, 프톨레마이오스의 성표를 이용하면 수일의 오차가 있음을 발견했다. 이 오차의 발견은 그가 행성의 운동에 관심을 갖게

되는 계기가 되었다. 1572년에는 밝은 새로운 별이 하늘에 나타났다. 현재는 이 별을 티코의 초신성(Tycho's supernova)이라 한다. 그는 이 별의 시차를 측정하여 거리를 구하려 했다. 그러나 이 새로운 별의 시차는 측정할 수 없을 정도로 달 보다도 훨씬 먼 거리에 있음을 알았다. 이 별이 달보다 먼 거리에 있다는 사실은 우주에 전혀 변화가 일어날 수 없다는 프톨레마이오스의 이론과 달라서 그는 이 이론에 대하여 의문점을 가지게 되었다. 그는 이 결과를 요약하여 「새로운 별(De Stella Nova)」이라는 적은 분량의 책으로 출간했다. 이 책은 전 유럽의 천문학자에게 큰 반향을 불러 일으키게 되었다. 당시 덴마크의 국왕인 프레데릭 2세는 그를 불러 기금을 주고 호벤(Hveen)섬에 천문대를 세우도록 했다. 그는 새로운 관측기기를 만들어 대단히 높은 정밀도로 별, 태양, 달, 그리고 행성들의 위치를 측정했다. 특히 〈그림 5〉와 같이 눈으로 들여다 보면서 천체의 위치를 정밀하게 관측할 수 있는 거대한 기기를 만들어 사용했다. 그는 각도의 4분(1/15°)의 정밀도로 7백77개의 별의 위치를 측정하고, 그가 호벤섬에 머문 20년동안 거의 매일 태양, 달 및 행성들의 위치를 정밀하게 측정했다. 그는 이러한 정밀한 관측에도 불구하고 별들의 시차를 발견할 수 없어 코페르니쿠스의 우주설을 믿지 않고 〈그림 6〉과 같이 코페르니쿠스와는 다른 우주 이론을 제시했다. 그는 후원자였던 프레데릭 2세를 계승한 새 왕과의 불화로 1596년 자신이 만든 관측기와 관측한 모든 자료들을 가지고 당시 보헤미아의 수도인 프라하로 갔다. 그 곳에서 그는 신성로마제국의 황제인 루돌프 2세의 왕립 수



〈그림 5〉 티코 브라헤가 고안해서 만든 정밀 관측 기기



〈그림 6〉 티코 브라헤의 우주체계



〈그림 7〉 요한네스 케플러

학자가 되었다. 그는 당시 가장 정밀하다고 생각되었던 알폰시 성표를 개정하여 새로운 성표인 루돌프 성표(Rudolphine Tables)를 만들기로 하고, 티코는 이 성표를 프톨레마이오스의 우주 체계에 근거하지 않고 자신의 우주 체계인 〈그림 6〉과 같은 우주에 근거하여 만들기로 했다. 그를 도와줄 조수로서 케플러를 포함한 몇명의 수학자들과 천문학자들을 고용했다. 1601년 12월에 그는 갑작스러운 병을 얻어 죽기 9일 전에 루돌프 2세에게 왕립 수학자로서 케플러를 추천하고 세상을 떠났다. 예기치 않게 새로 들어온 케플러가 티코 브라헤의 후계자가 되었다.

행성운동의 이론가 케플러

케플러(Johannes Kepler, 1571~1630년)는 코페르니쿠스의 위대한 이론이 공표된지 28년 뒤인 1571년 12월 27일 남서부 독일의 가난한 집안에서 태어났다. 일찍부터 수학적 재능을 보인 그는 청년이 되어 수학 교사 자리를 얻었다. 그는 교사로서의 자질이 부족하고 원만하지 못한 성격을 가지고 있었으나 탁월한 수학적 능력만은 인정받았다. 그는 간단한 과정의 수업만을 맡고 주로 천문학, 점성술 및 일기예보 등을 포함한 내용의 연표를 만드는 일을 맡았다. 1595년에는 그가 쓴 일기예보의 적중률이 높아 점성술가로

서의 명성을 얻게 되고 그 연표로 인해 고정적인 수입을 얻을 수 있었다. 케플러는 대학을 다니는 동안 코페르니쿠스 이론의 신봉자였으며 천문학 연구에 많은 시간을 보냈다. 1596년에 케플러는 「신비한 우주(Mysterium Cosmographicum)」라는 책을 출간했다. 이 책은 코페르니쿠스 이론의 진가를 설명하는 긴 내용으로 시작하고 있으며, 행성들 궤도간 간격을 기하학적인 입체의 도형으로 설명했다. 그리고 그 책의 뒷부분의 행성의 궤도에 5개의 입체 도형을 맞추려는 노력을 하면서, 수학자로서의 자신의 재능과 천문학에 정통하다는 점을 과시했다. 그는 이 책을 티코 브라헤와 갈릴레오에게 보내어 그들로부터 그의 재능을 인정받았다.

케플러의 행성운동 3법칙

1600년에 티코 브라헤가 그를 프라하로 초청하자 그는 위대한 천문학자 밑에서 일하겠다는 생각으로 주저없이 그곳에 갔다. 1601년 티코 브라헤의 갑작스러운 죽음으로 케플러는 행성의 운동을 분석하고 루돌프 성표를 완성하기 위해 티코의 관측 기록들을 사용할 수 있는 행운을 얻었다. 1606년 그는 행성운동의 수수께끼를 해결했다. 화성의 궤도는 태양을 초점으로 하는 타원 궤

도로 운동하고 있음을 알아냈다. 그리고 행성들은 태양에서 가까운 지점을 통과할 때는 빠르게 운행하고 먼 지점을 통과할 때는 느리게 운행하고 있다는 사실을 밝혔다. 이 사실의 발견은 2천년간 믿어왔던 행성의 원운동 이론과 궤도상에서의 등속운동 이론을 포기하게 했다. 케플러는 1609년에 그가 얻은 결과를 「새 천문학(As-tronomica Nova)」이라는 책으로 출간했다. 이 책은 코페르니쿠스의 저서와 같이 즉각적인 명성을 얻지는 못했다. 1611년 루돌프 2세의 양위에도 불구하고 케플러는 계속 천문학 연구에 전념했으며, 그는 1604년에 나타난 초신성과 혜성에 대해서도 썼다. 그리고 그는 코페르니쿠스 천문학의 교과서를 집필하여 1619년에는 「세계의 조화(Harmonice Mundi)」라는 책을 출간했다. 이 책에서 그는 신비한 우주에 대해서 다시 이야기하고 특히 행성의 궤도 반경은 행성의 주기와 관련이 있다는 발견을 했다. 이것은 그의 앞선 두가지의 발견과 함께 행성운동에 대한 유명한 케플러 3법칙이 되었다.

케플러 3법칙에서 가장 중요한 점은 이것들이 경험식이란 점이다. 케플러는 이것을 행성운동에 대한 기본적인 해에서 발견한 것이 아니고, 티코 브라헤의 관측 자료를 분석하여 발견한 것이다. 결과적으로 보면 코페르니쿠스의 이론이 지구중심설을 태양중심설로 바꾸었다면, 케플러 법칙은 행성의 등속도의 원운동 개념을 뒤집어 놓았다. 코페르니쿠스를 이어 티코 브라헤, 케플러 및 갈릴레오는 현대 천문학으로 넘어가는 큰 흐름을 바꾸어 놓은 위대한 천문학자들이었다. ㉟