



은하수는 수백억 은하중의 하나

2

우주의 거대구조

글_ 김성원 이화여대 과학교육과 교수 sungwon@ewha.ac.kr

우 리 주위의 우주는 모든 규모에서 구조를 이루고 있다. 우주를 바라보면 넓게 퍼져있는 구조를 볼 수 있는데 가장 기본적으로 무리를 지어 모여 있는 것이 별들과 은하들이다. 별들은 공간을 통해 균일하게 퍼져있지 않다. 그들은 은하를 이루며 무리짓고 있다. 태양은 10만 광년의 지름을 갖는 납작한 볼록렌즈 모양을 가진 우리 은하를 구성하는 수천억 개의 별들 중 하나로 은하의 중심으로부터 3만 광년 떨어져 있다. 우리의 은하는 우주에서 관측이 가능한 수백억 은하 중 하나이다. 가장 가까운 거대 은하는 대략 2백만 광년 떨어져 있다. 이러한 은하 중 5~10 % 정도는 수백만 광년의 크기를 가지는 덩어리로 은하단을 이루고 있다.

수백만 광년 크기 '은하단' 이 5~10%

일찍이 1980년대에 적색편이를 이용하여 은하들을 탐색한 결과, 은하들이 우주 전체에 마구잡이로 분포되어 있지 않다는 것을 알았다. 은하들은 커다란 무리를 이루거나, 선, 풍선, 얇은 면 같은 구조를 이루고 있다고 알려지고 있다. 또한 은하가 거의 없는 커다란 영역도 있다. 우리 은하 부근의 우주는 매우 커다란 규모에서 어마어마한 양의 구조를 보여주기도 한다.

50Mpc의 범위인 작은 규모로 관측하면 우주에서 밀도가 요동하고 있는 모습을 볼 수 있다. 작게는 소립자 양자 요동부터, 크게는 초은하단과 빈 공간(void)의 분포를 볼 수 있다. 이것이 바로 우주공간에서 은하들의 분포가 가지는 특성이다. 만일 우주 모형인 FRW (Friedmann-Robertson-Walker) 모형의 기본이 되는 균일성과 등방성에 대한 엄격한 가정을 조금 풀어준다면 다음과 같은 질문을 던질 수 있다. “우주에서 밀도 요동은 시간에 따라 어떻게 변할 수 있겠는가?”

대부분의 학자들은 은하단이 응집하는 구조로서 가장 크다고 생각한다. 별들은 은하에 속하고 있고 은하는 은하단에 속하지만, 이 은하단이 더 큰 덩어리를 이룬다는 것은 아니다. 이것은 거의 대폭발 이론과 잘 맞는다. 우주를 100Mpc 정도의 단위 규모로 확대해서 훑어본다면 우주는 균일하고도 등방적이라 하겠다. 균일하다는 것은 옆으로 이동하더라도 관측한 모습의 차이가 없음을 말하는 것이고, 등방적이라 함은 어떤 축을 중심으로 돌려 회전하여 보더라도 이전과 다르지 않음을 말한다. 이것을 ‘우주원리’라 부른다. 아인슈타인이 처음 일반상대론을 적용하여 우주 모형을 만들었을 때 우주 원리를 도입하는 가정을 했는데 이 원리는 우주에 대한 현대 과학적 모형의 기초가 된다.

은하단보다도 더 큰 규모로도 이 원리가 적용되는지 알아보려면 지금까지보다도 더 멀리까지 관측해야 한다. 팽창하는 우주 속에 살고 있는 은하들은 서로 멀어지고 있다. 이 움직임은 은하의 스펙트럼에서 적색편이가 일어나는 것으로 알 수 있다. 그 광자의 에너지가 거리에 관계하는 양만큼 감소한다. 우리가 알고 있는 은하들에 대한 정보를 안다면 모르는 거리에 있는 은하에 대해서도 자세히 알 수 있는 것이다.

우주에는 수천만 광년 크기 '공간'도 있다

70년대 후반까지 천문학자들은 망원경과 은하에 대한 적색편이의 탐색으로 국소 우주의 3차원 지도를 그럴듯하게 만들었다. 이를 보면 아인슈타인의 우주원리는 틀린 것 같이 보인다. 하나의 은하단보다 훨씬 더 크게 응집한 구조들이 발견되었고 수천만 광년에 걸쳐있는 빈 공간들이 발견된 사실들이 이를 뒷받침하고 있다.

1986년에 하버드-스미스소니언의 천체물리센터(Center for Astrophysics: CfA)에서는 1천100개의 은하들의 분포에 대한 지도를, 나중에는 1만8천개의 은하를 포함하는 탐색을 했다. <그림 1, 2>는 파이 모양으로 우주를 얇게 자른 모습에서 은하가 각각 1천여 개, 1만여 개 정도 있음을 보인다. 관측자는 얇은 조각의 좁은 끝부분에 있다고 생각하면 된다. 이 탐색으로부터 우주의 거대 구조가 풍부하며 도처에 편재하고 있음을 확인하였다. 이것은 은하가 가는 실의 형태를 이루며 늘어서 있고 커다란 빈 공간을 남기면서 거품 형태로 분포를 이루고 있다고 생각한다. 지도에서 가장 두드러진 것은 거대한 벽(Great Wall)이라 이름이 붙은 것으로 한 영역의 끝에서 다른 곳까지 7억 광년의 규모로 뻗어있는 구조이다. 지도에서는 아직 끝을 보여주지 못했으며, 벽의 전체 모습도 잘 알지 못하고 있다.

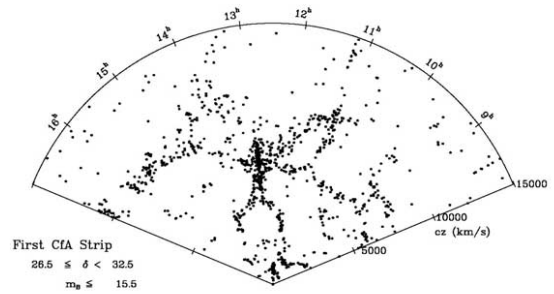
7억광년 규모의 'Great Wall' 존재도 확인

거대한 벽이 존재한다는 것과 그 크기가 아직 불확실하다는 것은 우주의 원리를 이론적으로 뒷받침했던 것이 틀릴 수 있다는 점을 말한다. 과연 아인슈타인이 옳았는가? 우주는 평균적으로 균일하지 않는가? 이에 대한 답을 위해 우리가 더 크게 열심히 탐색할 필요가 있다는 것은 분명하다.

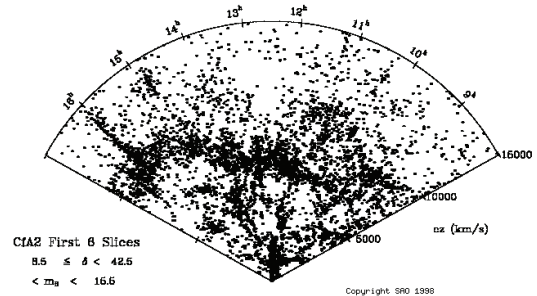
80년대 후반에 프린스턴대학의 제임스 건, 시카고 대학의 리처드 크론과 도널드 요크와 동료들은 최대의 은하 탐색에 대한 계획을 착수하였고, 90년대 후반에 SDSS(Sloan Digital Sky Survey) 프로젝트를 수행하였다. 그들은 고도로 민감한 전자 계측기인 1% 이내의 보정이 가능한 CCD 카메라를 사용하여 100만 개의 은하 탐색을 목표로 하였는데 현재 절반정도 수행하였다.

이와 비슷하게 호주와 영국의 연합팀이 한 면에 2도의 각도로 한번에 400개의 물체를 측정할 수 있는 망원경으로 은하를 탐색해지닌 5년간 22만1천414개의 은하를 탐색하였다.

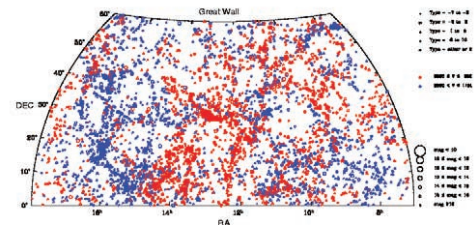
탐색의 다음 단계는 아인슈타인의 우주원리를 검증하는 것이 아니라, 우주의 거대 구조의 신분을 밝히는 것이다. 아울러 암흑물질의 본질도 탐침하는 것이다. 그 중 하나는 1988년부터 94년 사이에 칠레에 있는 라스 캄파나스 망원경으로 CfA의 초기보다 훨씬 더 큰 부피로 2만6천418개의 은하를 탐색한 위



<CfA에서 탐색한 은하 1천여 개의 분포를 그린 지도>



<CfA에서 탐색한 은하 1만여 개의 분포를 그린 지도>



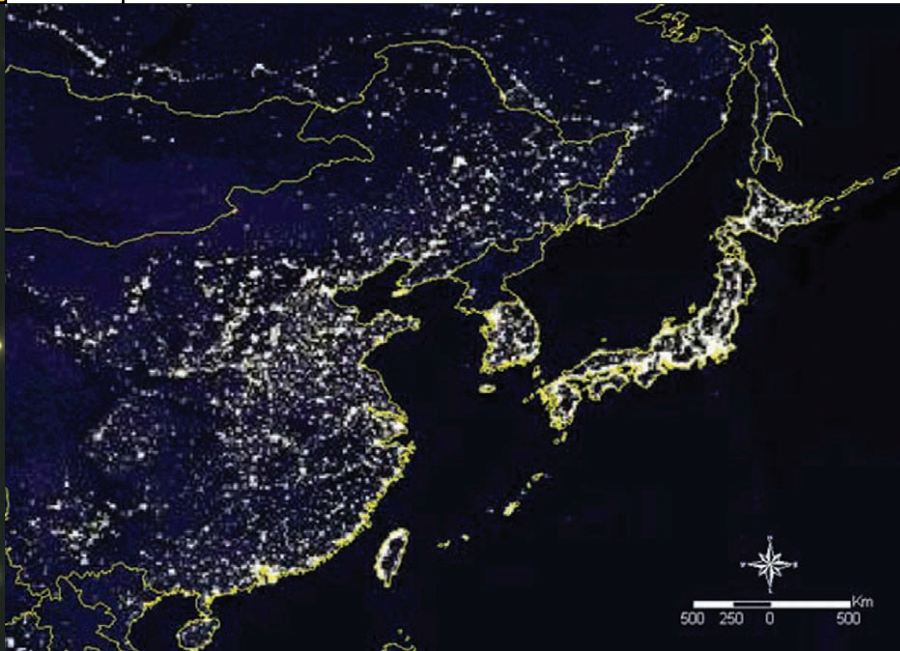
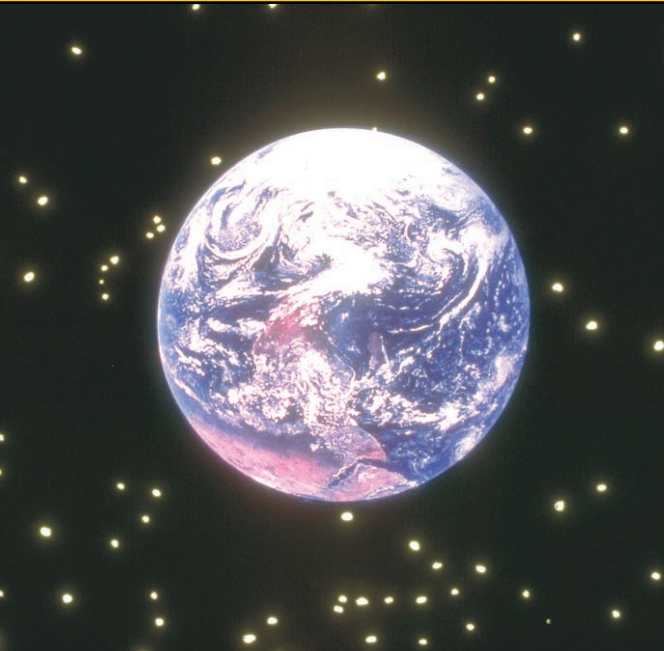
<7억광년 규모의 Great Wall>

싱턴의 카네기연구소의 스티븐 쉐트만이 이끄는 팀인데, 그들은 Great Wall 보다 더 큰 구조를 볼 수 없었음을 알았다.

선택 기준을 제대로 정한 후에 이루어진 은하 탐색을 통해서 은하단 형태에 관한 정보를 얻어낼 수 있다. 그러한 탐색은 망원경을 통해 볼 수 있는 구조를 발견해 이름을 붙이고 싶은 욕심과 좀 더 이론적인 바람에 의해서도 추진되었다.

5년간 탐색된 은하 221,414개

한편 은하단에 비해 상대적으로 작은 물체인 행성, 항성, 은하들이 형성하기 위해서는 약간 복잡한 물리학이 필요하다. 예를 들면 은하의 빛을 발생하는 부분은 은하가 파묻혀 있는 어두



위성으로 찍은 한반도 주변의 야경

운 헤일로(halo)보다 대체적으로 아주 작다. 그 이유는 보통 행성이 형성되는 각본에 따르면 은하의 중입자(baryon) 성분이 에너지를 광자의 형태로 방출하고 암흑물질에 의해 정해진 포텐셜 우물 바닥으로 미끄러지기 때문이다. 그러면 중입자 자체는 쪼개져 빛이 된다.

다음에는 은하보다 더 큰 구조의 형성을 생각해보자. 우주론자들은 보통 이를 ‘우주의 거대 규모 구조’라 부르는데 여기에는 은하단, 초은하단, 빈 공간(void)을 말한다. 가장 두드러진 구조는 초은하단과 빈 공간이다. 초은하단은 자체 중력으로 붕괴되는 과정에 있는 천체라 할 수 있다. 초은하단은 보통 편평한 모양과 선모양의 길다란 구조를 가지고 있다. 초은하단은 하나 이상의 은하를 포함하는데 은하단은 충분히 붕괴되어 다소 평형상태라 할 수 있는 천체이다. 편평하거나 길다란 초은하단과 비교하여 빈 공간은 거의 공모양이다.

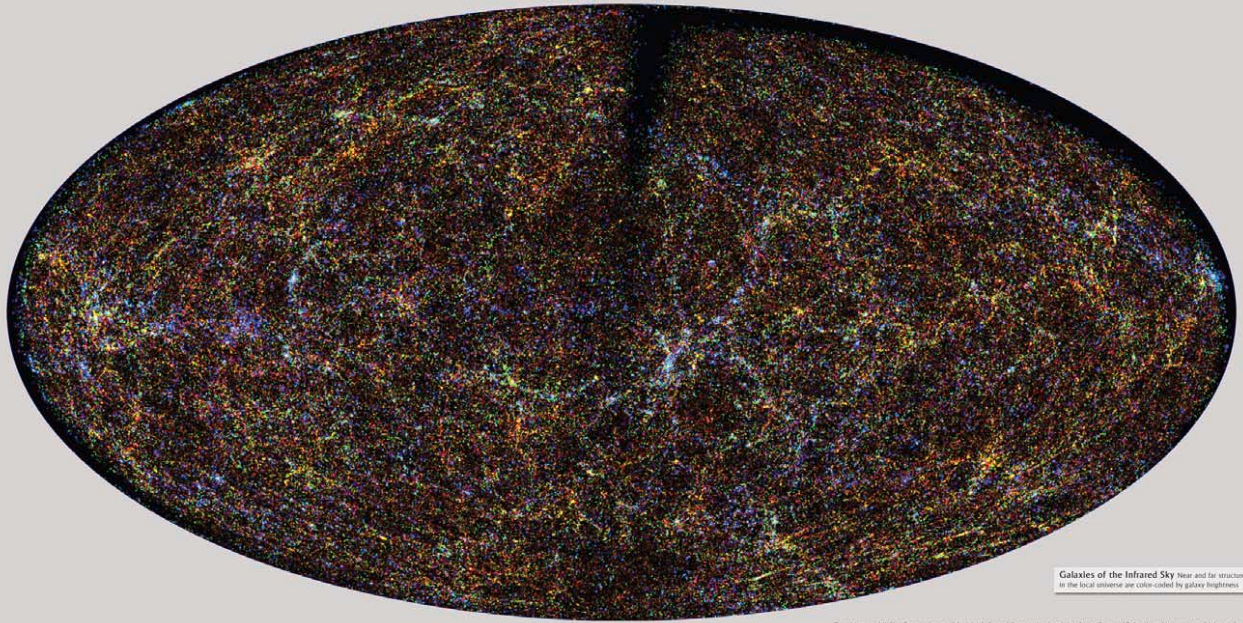
중력불안정 ... 은하잡아먹는 ‘초은하단’ 생겨

우주에서 은하의 분포를 설명할 수 있다고 해서 자동적으로 거대 규모 구조의 기원을 이해하는 것은 아니다. 비슷한 예로 도시 불빛을 볼 수 있다. <그림 3>은 인공위성에서 찍은 한반도 주변의 야경 사진이다. 지구 표면에 빛나는 도시는 분명히 마구잡이로 분포된 것은 아니다. 그들은 ‘초은하단’ 같이 무리를 짓

고 있다. 그곳에는 빈 공간도 있다. 그러나 도시의 정확한 위치를 결정하는 원인은 이론물리학에서 말하는 것과는 다르다.

다행스럽게도 우주 공간에서 은하의 분포는 지구상의 도시 분포보다 기본물리학에 더 가깝다. 빈 공간이나 초은하단 같이 거대 구조를 자라도록 하는 기본이 되는 조작용은 바로 중력불안정이다. 과거 언젠가 우주 밀도가 약간 불균질했다고 하자. 예로 그러한 밀도 요동은 마지막 산란 때 발생한다. 왜냐 하면 그들은 우주 마이크로 배경복사에 흔적을 남겼기 때문이다. 우주가 물질 우세 때 물질이 과밀한 영역이 팽창하는데 팽창하는 우주 전체보다는 덜 빠르다. 그들의 밀도가 충분히 크면 중력으로 붕괴되고 은하단 같은 물체가 된다. 밀도가 큰 은하단은 주위 밀도가 작은 영역에서 물질을 끌어당긴다. 이러한 밀도 요동에 대한 중력 효과는 ‘마태 효과’라 불린다. 그 이유는 성경의 마태 복음 13장 12절에 있는 성구인 “무릇 있는 자는 받아 넉넉하게 되되 무릇 없는 자는 그 있는 것도 빼앗기리라”에서 유래된 것으로 그것이 가지고 있는 의미는 바로 ‘빈익빈 부익부’이다.

오늘날 은하의 분포에서 우리가 보는 구조는 거의 완벽하게 부드러운 초기 우주에 있었던 작은 변화로부터 시작되었다. 이 초기 요동은 아주 미미하다. 우주배경복사의 온도 분포를 통하여 측정했을 때는 밀도가 10만 분의 1 정도만 영역별로 전형적



Galaxies of the Infrared Sky Near and far structures in the local universe are color-coded by galaxy brightness

Two Micron All Sky Survey Image Mosaic; Infrared Processing and Analysis Center, Caltech & University of Massachusetts

적외선 망원경으로 찍은 은하의 분포


인 차이가 나고 있다. 하지만 공간의 어떤 영역에서 평균보다 밀도가 큰 영역이 있다면 중력에 의해 점차 강하게 끌어당겨져 이웃의 물질들을 빨아들인다. 평균보다 밀도가 약간 작으면 시간에 따라 점차 질량을 잃는다. 이러한 중력불안정한 과정을 통하여 밀도가 조금 더 큰 영역은 질량이 모여 거대한 초은하단이 되고 밀도가 조금 더 작은 것은 질량을 잃어 거대한 빈 공간이 된다.

수십억 광년 탐색 ... 3차원 은하지도 작성

우주의 거대 구조에 대한 미래의 연구 계획은 우주의 구조에 대한 탐색 규모를 1억 광년에서 수십억 광년으로 확대하는 것이다. 이들 데이터로부터 오늘날과 그리 멀지 않은 과거에 보여진 우주구조와 아주 이른 우주 초기의 구조를 탐침하는 우주 마이크로파 배경 사이에 있으리라 짐작되는 좀 더 깊은 관계를 알아내는 것이다. 수년내에 우리 주위의 우주에 있는 은하의 3차원 분포가 그려질 것이고 그 우주 구조가 우주배경복사에 의해 제안된 초기의 상황과 일치될 수 있다. 우주 구조를 형성하는 어느 모형도 하늘을 가로질러 우주 마이크로파 배경 온도에서 아주 작은 요동과 오늘도 우주에서 보는 거대 구조 모두로부터 지지받아야 한다. 이 두 탐침의 결합으로부터 얻는 정보는 우주 구조의 형성에 대한 기작과 함께 우주에서 우리가 보

는 모든 구조의 진화의 형성과 모양을 알게 해 줄 것이다.

그리고 좀 더 먼 은하들의 분포를 탐침하여 구조의 시간에 따른 발전을 추적하는 일이다. 거대한 거리를 보는 것이란 먼 과거를 보는 것이다. 최근 허와이에 있는 썬 관측소에서 알아낸 사실은 엄청나게 먼 은하들은 바로 오늘날과 같이 무리를 짓고 있고 가까운 은하들이 이루는 구조들처럼 섬모모양, 풍선모양의 구조를 이룬다는 것이다. 이들은 오늘날의 은하들과는 달리 암흑물질이 있다. 이들 초기의 은하들은 밀에 깔려있는 암흑물질이 결합한 것보다는 훨씬 더 강하게 무리를 짓는다. 이것은 은하 형성에서의 중요한 단서이다.

앞으로 우리들은 초기 플라스마 파동에서 현대 우주의 밝은 은하단에 이르기까지 우주 구조의 진화에 대해 거의 완전히 이해하게 된다. 가까운 시일내에 다음과 같은 질문에 대하여 답할 수 있을 것이다. 마이크로파 배경에서 정확히 무엇이 초기 요동을 불러일으키는 조작을 하는가? 은하들이 어떻게 정확하게 형성될까? 현재 그들이 지닌 성질을 가지는 이유는 무엇인가? 



글쓴이는 서울대학교 물리학과 졸업, KAIST에서 박사학위를 받은 후 미국 갈텍교원교수를 역임했다.