

# ‘스트링 코스모스’ - 끈으로 들여다본 우주

글 | 남순건 \_ 경희대학교 물리학과 교수 soonkeon@gmail.com

우리는 때때로 먼 곳에 있는 별에 가보고 싶으나 갈 수 없어 그 별과 우리를 가로 막고 있는 광대한 공간을 야속하게 느끼기도 한다. 그리고 불가능하다는 것을 알면서도 ‘단지 1분만이라도 시간을 되돌렸으면...’ 하는 생각을 할 때도 있다. 시간여행은 미래로만 줄달음치는 한방향의 여행인 것이 운명처럼 받아들여지고 있다. 우리는 알게 모르게 시간과 공간의 근본적인 성질의 제약을 받고 살고 있는 것이다.

## 일반상대성이론을 뛰어넘는 끈이론의 등장

어린 시절을 되돌아보면, 분명 우리 마음속에는 주위의 공간에 대한 호기심과 흐르는 시간에 대한 궁금증이 가득하였으며 우주의 끝이 있을까 하는 의문이 들곤 했다. 그런 사람이 호기심이 없는 평범한 어른으로 자라게 된다. 반면 아인슈타인은 자신이 너무 천천히 성장하여 어른이 될 때까지 시간과 공간에 대해 별로 생각하지 않다가 어른이 되어서야 그 문제를 생각하기 시작하였는데 다른 어떤 어른이나 아이가 생각하는 것 이상으로 깊이 생각하게 되었다고 말한 적이 있다.

광대한 우주에서 가장 중요한 것은 우주 속의 모든 것을 담고 있는 공간과 그 속에서의 변화를 가능하게 만들어주는 시간이다. 아인슈타인과 스티븐 호킹 같은 사람들은 바로 이 시간과 공간에 대해 어느 누구보다도 많이 생각한 사람들이다. 우주의 한 구석에서 일어나는 ‘사소한’ 현상의 기술에 매달린 것이 아닌 우주 전체의 운명에 대해 논의한 공통점이 있는 학자들이다.

시간과 공간이 물질의 존재에 의해 휘어진다는 것은 아인슈타인의 중력이론인 일반상대성이론의 핵심이다. 물질은 휘어진 시공간의 영향을 받아 그 운동이 결정되는 것이다. 모든 것을 빨아들이는

블랙홀은 일반상대성이론에서 자연스럽게 나타나고 그 성질은 우리의 상식을 뛰어넘는 것이다. 블랙홀 주위에서는 시간과 공간의 역할이 뒤바뀌어, 공간적으로 블랙홀 중심으로 빨려 들어가는 것을 막을 수 없게 된다. 마치 우리가 시간의 미래 방향으로 가는 것을 막을 수 없는 것처럼 말이다.

1970년대에 베켄슈타인은 블랙홀에 대한 놀라운 가설을 발표했다. 그는 블랙홀의 크기가 엔트로피처럼 일방적으로 커지기만 한다는 사실을 통해 블랙홀도 엔트로피를 가진다고 주장했다. 이러한 생각은 블랙홀에 대한 엄청난 사실을 시사하는 것이다. 엔트로피란 무질서도를 나타내는데 이러한 무질서도에 대응하는 어떤 물리적 자유도가 블랙홀에 있어야 한다. 그러나 블랙홀에는 그러한 자유도가 없어서 모든 것이 완전히 다 빨려 들어간 상태라 여겨졌던 것이다.

호킹이 양자역학적인 불확정성을 블랙홀 근처에 적용하여 블랙홀이 유한한 온도를 가지고 복사체처럼 물질을 방출할 수 있다는 것을 발견한 후 블랙홀이 열역학적인 성질을 가진다는 확신을 더해 주었다. 한동안 이러한 블랙홀의 엔트로피 근원에 대해서 전혀 알 수가 없었다. 이에 대해 처음으로 이해할 수 있었던 것은 1995년경 끈이론을 통해서였다. 한동안 물리학을 지배하던 일반상대성이론을 뛰어넘는 끈이론을 이용해서 이 오랜 미스터리의 실마리를 처음 풀게 된 것이었다.

그럼 끈이론이 무엇인지 간단히 살펴보자. 끈이론은 우주의 궁극이론, 즉 최후의 이론일지도 모르는 이론이다. 즉, 모든 물리현상을 지배하는 가장 기본적인 것을 설명하는 이론일지도 모른다는 것이다. 이 짧은 글에서는 끈이론에 대해 자세히 설명을 하지 못하는 점을 양해 바라며, 필자의 최근 책 ‘스트링 코스모스’에 있는 보다

자세한 설명을 참고하기 바란다.

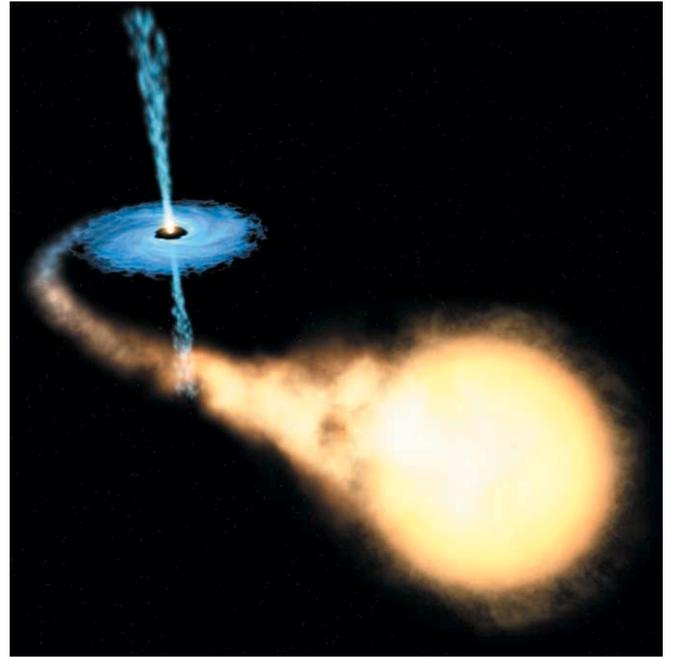
### 자연계의 모든 것을 끈들의 진동으로 설명

20세기가 과학의 세기로 자리매김하는데 가장 결정적인 역할을 한 것은 물리학에서의 두 가지 발전인 양자론과 상대론이다. 양자론은 미시의 분자, 원자 그리고 핵과 기본입자들의 세계에 적용되는 물리법칙이다. 이를 떠나서는 원자력, 반도체, 레이저 등은 말할 것도 없거니와 화학을 설명할 수 없다. 그리고 양자론 없이는 별이 왜 빛나며, 왜 지구의 땅이 꺼지지 않는가를 설명할 수 없다. 이렇듯 양자론은 아주 쓰임이 많고 잘 정립된 이론이다.

그러나 양자론은 한계가 있다. 중력이 있는 물리계에 대해서는 심각한 모순에 빠지게 되는 것이다. 중력은 자연의 네 가지 기본 힘인 전자기력, 중력, 약한 핵력, 강한 핵력의 하나다. 다른 힘들은 작용하는 거리가 짧든지 아니면 중화가 되어 힘이 미치지 않게 되는데 반해 중력은 이를 차폐할 수 없이 계속 커지기만 하기 때문에 거시적인 우주에서는 가장 중요한 힘이 된다. 이러한 중력이 양자론과는 전혀 양립할 수 없다는 것이다. 물리법칙 두 가지가 서로 모순이라는 것은 이 두 가지를 아우르는 더 큰 이론적 체계가 반드시 필요하다는 것을 강력하게 시사한다. 끈이론은 모순이 없는 양자 중력이론체계로 등장하기 시작했다.

끈이론은 매우 간단한 가정으로부터 시작한다. 자연의 근본 물질이 1차원적인 끈으로 이루어져 있다는 것이다. 자연계의 모든 것을 단 한 가지 구성요소인 끈들의 진동으로 설명하는 것이 끈이론이다. 끈이론에서는 10억분의 1cm 정도의 매우 작은 끈들로 만물이 이루어져 있다고 한다. 1m를 156억 광년의 우주 크기 정도로 확대하면 끈의 크기는 대략 1cm 정도가 되는 것이다. 원자 하나를 우리의 은하계만큼 크게 만들었을 때 끈은 1cm 정도밖에 되지 않는다. 그러나 유한한 크기를 가지고 있다는 것은 자연의 기본단위가 무한히 작은 크기의 점으로 이루어져 있다는 것과는 엄청나게 다른 물리학을 제공한다.

사실 끈이론은 1960년대에 양성자의 고에너지 충돌에서 나타나는 현상을 설명하는 수학적 공식을 주는 모형으로 태어났다. 이 이론 속에 중력이론이 들어있음을 1975년경 슈바르츠, 셔크, 그리고 일본의 요네야 등이 처음 깨달았다. 그리고 1984년 여름 마이클 그린과 슈바르츠는 양자론과 중력을 아우르는 양자중력이론의 가능성이 있는 끈이론을 찾아냈다. 그 직후 다른 연구그룹들에서 무모순의 양자 중력이론일 수 있는 다른 끈이론들을 찾아냈다. 결국 5



블랙홀의 상상도 - 짝벌로부터 물질을 빨아들이고 있는 블랙홀 양쪽으로 방사광 X선이 나오고 있다.

(사진출처 : [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Accretion\\_disk.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Accretion_disk.jpg))

개의 끈이론이 알려지게 되었다.

그러나 우주의 궁극이론으로서 5개가 있다는 것은 물리학자들 마음속에 부담이 되었다. 당시 끈이론에서는 여분의 차원, 즉 우리의 시공간이 4차원 외에도 작게 말려 있는 6개의 차원이 더 있는 것이라는 것 등 여러 가지 결과를 얻게 되었다. 그리고 여분의 차원을 잘 찾으면 입자물리의 모든 현상을 잘 설명하는 이론을 만들어 낼 수 있다고 기대했다. 즉, 유일무이한 해답이 끈이론 속에 들어 있을 것이라 생각했으며 끈이론은 '모든 것의 이론'이라고 불렸다. 이 때를 제1차 끈이론 혁명이라 부른다.

1995년 워튼은 이러한 다른 끈이론들이 더 큰 이론체계인 M-이론이라는 것 속에서 서로 연관이 되어있다는 것을 주장하게 되었고 그 주장의 증거들을 제시하였다. 이 때부터 제2차 끈이론 혁명기가 시작되었다. 비슷한 때 바파와 스트로민저는 끈이론의 자유도가 특별한 블랙홀의 경우에는 그 엔트로피를 설명할 수 있다는 것을 보였다. 그리고 중력이 강한 경우에는 상대론이 아닌 다른 형태로 기술해야 하고 마찬가지로 핵력 등도 강한 경우에는 상대론으로 설명해야 한다는 대응원리가 등장하게 되었다. 이러한 대응원리를 이용하면 비섭동현상의 어려운 계산을 섭동이론으로 만들어서 쉽게 계산할 수 있게 되어 끈이론이 복잡한 계산을 간단하게 하는 '도구'

로서의 유용성을 확보하는 시기였다.

**이론적 완성도 매우 높지만 실험적 검증 어려워**

그럼 현재의 끈이론은 어떤 위치에 있다고 할 수 있는지 살펴보자. 끈이론은 현재 물리학계가 가지고 있는 여러 양자중력이론 중 단연코 가장 성공적인 이론이다. 그리고 시공간의 근원에 대해 새로운 시각을 주었고, 물리의 기본 힘들을 통합할 가능성을 제시하고 있다. 그러나 한계도 있다. 끈이론을 실험적으로 검증하는 문제다. 끈이론은 우주 초기의 뜨거운 상태, 또는 블랙홀 주위 등에서 가장 잘 나타나는데, 지구상에 이러한 상태를 재현한다는 것은 어려운 것을 뛰어넘어 불가능해 보인다. 그리고 이론적으로도 매우 특수한 대칭성인 초대칭성을 가지고 있는데 이 대칭성이 자연에서는 깨져 있다. 즉, 끈이론은 이론적 완성도가 매우 높은 반면 물리이론으로서 반드시 거쳐야 하는 실험적 검증이 어려워 보인다는 것이다.

다행히 올해 후반기에 인류역사상 가장 큰 실험인 LHC(거대 강입자 충돌장치)가 스위스 제네바 근교에서 가동되기 시작한다. 공사하는데만 약 8조 원이 든 이 장치에서는 지구상에서 가장 큰 에너지를 한군데 모을 수 있게 되고 태초에 가장 가까운 상태를 만들게 된다. 양성자 하나에 시내버스 한대의 운동에너지를 모은 정도가 된다. 벌써 수년 전부터 이 장치에서의 어떤 실험이 과연 여분의

차원의 증거로 제시될 수 있는지, 그리고 이 장치에서 블랙홀이 만들어진다면 어떻게 이를 알아낼 수 있는지에 대해 심도 있게 논의가 되고 있다.

희망적으로 본다면 앞으로 몇 년 뒤에 저녁 9시 뉴스의 헤드라인에 ‘드디어 공간의 다른 차원을 발견하다’ 라는 보도가 있을지도 모른다. 이 외에도 우주의 가장 먼 곳에서 오는 감마선과 중성미자들을 검출하여 시공간이 가지고 있을 수 있는 양자 중력적 요동을 감지해내는 가능성도 논의되고 있다. 남극에 이러한 검출장치가 설치되고 있는 것이다.

**LHC, COBE, WMAP 등으로 이론적 돌파구 마련**

끈이론은 필연적으로 4차원 이외의 여분의 차원의 존재를 예측한다. 따라서 끈이론이 우리의 세상을 설명하는 이론이라면 나머지 6개의 차원은 매우 작게 말려 있던지 해서 우리의 직접적인 관측으로는 볼 수 없도록 되어있어야 한다. 따라서 끈이론 연구의 상당히 많은 부분이 여분의 차원의 성질에 집중되어 있는 것이다.

사실 요즘 끈이론학계에서 끈이론이 입자물리의 모든 것을 설명할 것이라는 ‘큰 희망’을 가지고 있는 사람은 거의 없다. 이렇게 된 데는 20세기말에 발견된 우리가 가속팽창하는 우주 속에 살고 있는 사실이 결정적인 역할을 하였다. 우주의 진화에 역할을 하는 것은 중력이다. 그런데 중력에는 보통의 물질을 당기는 힘만 있다.



스위스 제네바 근교의 27km 길이의 LHC 항공 사진. 오른쪽에 제네바 공항 활주로가 보인다

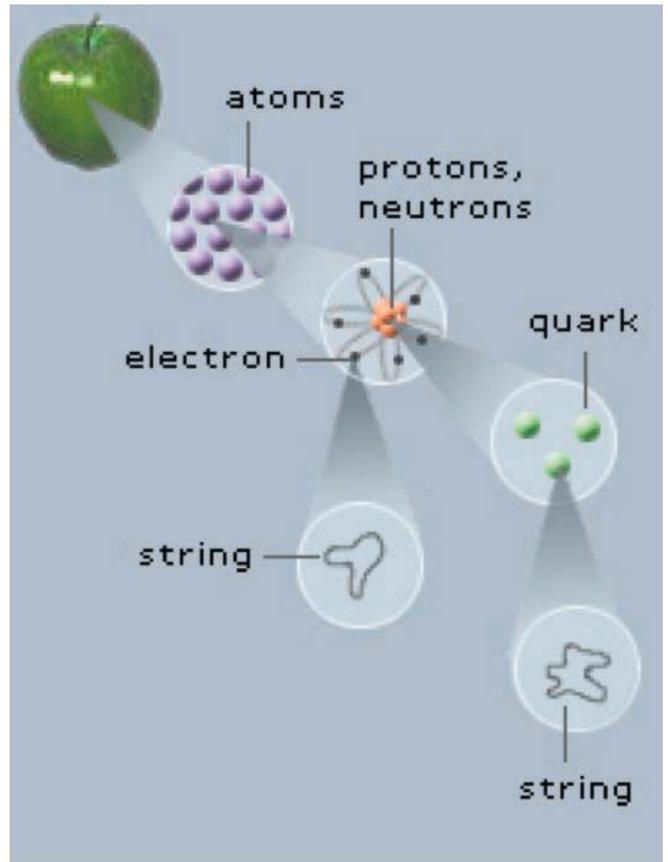
따라서 우주가 팽창을 하더라도 가속팽창은 할 수 없다.

가속팽창한다는 사실은 무언가 밀치는 힘이 있다는 것을 의미한다. 흔히 우주상수를 도입하여 설명한다. 우주상수는 '진공'이 가지고 있는 에너지로 해석할 수 있으며, 양의 값을 갖는 우주상수는 밀치는 척력을 준다. 문제는 이러한 양의 값의 우주상수를 초대칭적인 끈이론에서는 다루기가 무척 어려워진다는 점이다. 대부분의 끈이론 연구가 초대칭성을 가정했는데 가속팽창하는 우주는 초대칭성과는 상극이다.

우주상수는 이론물리의 최후의 미스터리라고 알려져왔다. 그 이유는 우주상수값이 너무 작아 완전히 영이 되면 될 것 같은 값이기 때문이다. 그래서 한동안은 물리학에서 우주상수가 영이 되는 것을 설명하려고 했다. 그러나 관측의 결과는 절대로 영은 될 수 없다고 하고 있으니, 거의 영이되 영은 아닌 어떤 양의 우주상수값을 제시할 수 있어야 한다.

이러한 문제를 다루던 끈이론에서 우리의 우주는 1만500개 정도의 수많은 가능성 중 하나에 불과하고 우리의 우주는 '우연히' 그런 모습을 가지고 있다는 결론에 도달하고 있다. 일부 학자들은 나아가 인간이 출현하여 물리학을 하기 위해서는 너무 큰 우주상수가 있는 우주에서는 척력이 강해서 은하계가 쉽게 만들어지지 못하고, 별도 만들어지지 못하기 때문에 인간이 존재한다는 것 자체가 우주상수값이 작은 값을 가진다는 것을 의미한다는 인간원리(anthropic principle)에 호소하면서 물리학을 하고 있다. 이런 인간원리는 많은 논란을 불러일으키고 있다. 이러한 끈이론의 현상상이 개인의 과학관과 맞고 안 맞고를 떠나서 끈이론은 1차 혁명기였던 20년 전과는 전혀 다른 위치에 와 있다는 것은 분명하다. 그리고 2차 혁명기도 12년 가까이 흐르면서 결정적인 이론적 돌파구를 요구하고 있다.

이제 끈이론의 제3차 혁명이 필요하다는데 의견을 같이 하고 있다. 아마도 그 돌파구는 실험을 통해 등장하게 될지도 모른다. LHC에서 초대칭성에 대해 실험적으로 검증할 기회가 주어지고 나아가 만약에 여분의 차원의 크기가 크다면 만들어질 수도 있는 미니 블랙홀들을 통해 여분의 차원의 존재를 확인하게 될지도 모른다. 그리고 보다 직접적으로, 끈이론이 가지고 있는 최소길이와 플랑크 길이의 효과를 간접적으로나마 확인하게 될지도 모른다. 또 다른 장치는 우주의 빅뱅 후 울림들을 들을 수 있는 장치인 COBE, WMAP, 그리고 유럽에서 2008년 발사할 플랑크 위성들을 통한 우주배경복사의 비등방성 측정이다. 이 장치들에서는 2.7도 정도인



사과 속의 원자 → 양성자 → 쿼크 → 끈으로 구성되어 있는 그림  
(사진출처 : <http://www.pbs.org/wgbh/nova/elegant/everything.html>)

우주배경복사의 10만분의 1 이내의 미세한 비등방성을 측정함으로써 빅뱅당시에 결정적인 역할을 했을 끈이론의 물리학을 읽어내는 것이 있다.

태초의 신비를 알아내려는 노력은 이제 이론적인 영역을 뛰어넘어 실험을 통해서도 이루어지기 직전이다. 그리고 이론과 실험의 협동을 통해 21세기 물리학을 풍미할 새로운 물리학 체계가 만들어질 날을 기대하는 것은 너무 성급한 것은 아니라고 생각한다. 한국에서도 이제는 물리학의 가장 근본이 되는 분야에서 역사에 길이 남을 좋은 연구가 수행되어야 할 것이며, 이를 위한 국가의 지원 또한 아낌없이 있어야 할 것이다. **ST**



글쓴이는 서울대학교 물리학과 졸업 후 미국 예일대학교에서 박사학위(입자이론)를 받았으며, 버지니아공대, MIT, 서울대에서 박사후 연구원, 하버드대학교 방문교수, 경희대학교 이과대학학장보, 대학원장보 등을 지냈다.