

## 성단에 속한 쌍성의 역할

세종대학교 강 영 운

### 1. 쌍성의 역할

천문학에서 쌍성의 관측과 그 분석 결과는 우리 은하에 속한 별의 성질을 이해하는데 많은 공헌을 하였다. 쌍성은 역학적으로 두 별이 질량 중심을 서로 공전하는 계이므로 별에 대한 여러 가지 정보를 제공하여 준다. 특히 식쌍성인 경우 측광 관측으로 얻은 광도곡선에 별의 기하학적인 변광이 뚜렷이 나타나는 특성이 있으므로 별의 크기와 궤도 요소를 상대적으로 구할 수 있으며, 또한 분광 관측으로부터 시선 속도 곡선을 완성하면 상대적으로 구한 별의 인자들을 절대량으로 환산할 수 있다.

쌍성의 관측으로 별의 물리적인 인자를 절대량으로 결정함으로써 일반적인 별의 크기와 질량을 구할 수 있고 더욱이 질량과 광도 사이의 관계식이 유추된 것은 부인할 수 없는 공헌이라 하겠다. 그러나 정작 쌍성 자체에 대한 이해도는 아직도 많은 문제점으로 남아 있다. 즉, 쌍성의 형성 과정과 진화는 어떠한 과정으로 이루어지는가? 근접 쌍성인 경우 분리형, 반분리형, 그리고 접촉형 쌍성으로 구분하는데 이러한 쌍성의 분류가 진화상에 서로 연관이 있는지에 대한 연구는 이론적으로는 일부 진행되었지만 관측적인 연구는 매우 미흡한 실정이다.

그러나 최근에는 관측 기기와 기술의 개선으로 매우 어두운 별에 대한 측광 및 분광 관측이 시도되었다. 기존에 관측된 쌍성의 측광 관측은 10등성 내외가 대부분을 차지하고 있었으나 요사이 CCD 측광기의 일반화로 15등성 정도는 작은 망원경으로도 손쉽게 할 수 있고 1~2 meter의 중형 망원경급으로는 20등성까지도 관측 가능하게 되어 태양 근방의 별뿐만 아니라, 성단의 구성원 중에서 쌍성을 발견하고 나아가서는 외부 은하에서도 쌍성을 발견하여 관심의 대상이 되고 있다.

성단에 속한 별 중에서 쌍성을 발견하여 광도곡선과 시선 속도 곡선을 완성한다는 것은 매우 특별한 의미를 지니고 있다. 성단은 구성원의 진화 상태와 나이를 비교적 정확하게 알 수 있는 장점이 있기 때문에 성단에 속한 쌍성을 찾아서 분석하면 두 가지 면에서 가치가 있다. 첫째, 나이와 거리가 이미 정확하게 결정된 성단 속에서 발견된 근접 쌍성의 관측 자료는 그 쌍성의 생성과 진화에 중요한 단서를 제공한다. 둘째, 별의 크기, 밝기 등의 물리적 인자를 절대량으로 결정할 수 있는 것은 쌍성밖에 없으므로, 절대량이 정확히 결정된 쌍성은 쌍성 그 자체는 물론 쌍성이 속한 성단의 나이, 거리, 화학 성분을 독립적으로 결정할 수 있다.

그밖에, 성단 안에 존재하는 근접 쌍성계는 성단의 역학적 진화를 설명하는데도 이용된다. 예를 들어 원시 쌍성의 binding energy는 밀도가 높은 성단의 진화를 연구하는데 중요한 역할을 한다. 이 에너지는 core-collapse를 보전하거나 혹은 반대로 방해하는 힘의 원천

이 될 수도 있다. 그리고 core-collapse 후에 구상성단을 팽창시키는 힘이 될 수도 있다. 지난 10년 동안 CCD 관측이 측광과 분광학적으로 많이 이루어져서 산개성단과 구상성단에 속하는 쌍성에 대하여 일부 관측이 수행되었다. 이들 중에는 상대적으로 어두운 쌍성도 많이 포함되어 있다. 더욱이 X-선과 전파 영역에서는 X-선 쌍성과 쌍성 펄사가 발견되었으며, 이들은 특히 밀도가 높은 구상성단의 핵에서 많이 발견되었다. 이 쌍성들의 대부분은 식현상이 나타나지 않는 쌍성이며, 아마도 tidal capture processes에 의해서 형성되었을 것으로 추정하고 있다. 한편 주기가 긴 쌍성들과 주기가 짧은 쌍성과의 진화적인 상관 관계에 대한 연구도 관심의 대상이 되고 있다.

최근 구상성단에 대한 CCD 관측에 의하면 NGC 5466에 있는 blue straggler 중에서 적어도 3개의 식쌍성이 발견되었고, 4개의 분광 쌍성이 NGC 5466과 NGC 5053에서 발견되었다. 한편, Gilliland *et al.* (1990)은 2개의 W UMa 쌍성을 산개성단 M 67에서도 발견하였다. M 67은 태양 정도의 나이를 가진 성단이다. Clausen과 Gimenez (1987)는 산개성단에 대한 식쌍성의 목록을 편집하였다.

## 2. 산개성단 NGC 188

비교적 연구가 많이 진행된 산개성단 NGC 188에 있는 쌍성에 대하여 알아보자. NGC 188은 비교적 가깝기 때문에 연구가 많이 수행되었으며, 우리 은하의 연대와 진화를 연구하는데 많은 역할을 하였다. NGC 188은 우리 은하에서 가장 나이가 많은 산개성단 중의 하나이며 그 나이는 약 60-100 억 년으로 추정된다. NGC 188에서는 7개의 W UMa형 쌍성, 10-12개의 blue straggler, FK Comae 후보 등이 발견되었다.

7개의 W UMa형 별은 거리와 나이가 잘 결정되었으므로 근접 쌍성의 진화를 연구하는데 매우 중요한 가치가 있다. W UMa형 쌍성의 근원과 진화는 아직도 규명되지 않고 있다. 그러나 NGC 188과 같이 나이가 많은 성단에 나타나는 W UMa형은 태어날 때부터 접촉형 쌍성이라기 보다는 분리형 쌍성이 각운동량의 손실로 접촉형으로 진화한 것으로 해석된다. 각운동량의 손실은 주로 항성풍으로 표출되는 magnetic braking에서 나온다. 이는 태양과 같은 별에서 자전 속도가 점점 느려지는 원리와 비슷하다. 대류층이 있는 태양과 같은 별을 한 성분, 혹은 두 성분별로 포함하는 근접 쌍성에서 각운동량은 자전과 공전의 각운동량이 tidal couple 됨으로써 궤도로부터 손실된다 (Guinan & Bradstreet, 1988). 더욱이 짧은 주기의 W UMa형은 자전이 빠르고, 표면 온도가 낮으므로, 대류층을 가지는 별로 되어 있다. 이런 계들은 채층과 코로나 활동이 나타나며, 이는 강한 자기장이 있음을 뜻한다. 즉 magnetic braking으로부터 각운동량의 손실이 있음을 말한다.

한번 형성된 W UMa형 쌍성의 진화는 매우 복잡하고 아직도 잘 알려지지 않았으나 처음부터 두 별이 붙어서 빠르게 회전하는 것이 아니고, 오랜 세월 동안 진화하여 궁극적으로 빠르게 회전하는 계로 합쳐지는 것으로 생각할 수 있다. 빠르게 자전하는 특이한 별로는 FK Comae 등이 있는데 이 별들도 이렇게 합쳐지는 원리에 의하여 최근에 형성되었다고 믿는

다. 질량 교환과 함께 각운동량의 손실로 W UMa형 쌍성은 주기가 매우 짧아지고, 질량비가 매우 작은 ( $q < 0.10$ ) 쌍성 되고, 빠르게 회전하는 A-F형의 왜성 또는 준거성이 된다.

성단에서 고속으로 움직이며, 나이가 많은 A-F형 별들과 blue straggler 별들도 근접 쌍성이라는 제안이 최근에 많이 제시되고 있다. 이런 경우는 single star들이 합쳐진 것이다. NGC 188에서도 여러 개의 blue straggler와 FK Comae 후보가 있다는 것은 매우 흥미 있다. 왜냐하면 이들은 근접 쌍성에서 형성되었을 가능성이 있고 또한 현재 근접 쌍성일 수도 있기 때문이다.

상대적으로 나이가 많은 W UMa형 쌍성들과 그들이 NGC 188에 나타나는 것은 접촉형에 도달하기 전에 분리형으로 오랜 기간 동안 경과되었다는 것을 의미한다. 예를 들어 Guinan & Bradstreet는 공전 주기가 4일인 progenitor계가 각운동량의 손실로 접촉형에 도달하려면 70-90 억 년이 소요된다는 계산을 하였다. 그러나 이러한 가정에서 현재 W UMa형 쌍성이 발견되는 빈도 수를 설명하기 위하여 접촉형 상태가 적어도 5-10 억 년 유지될 필요가 있다. 대부분의 W UMa형 쌍성의 progenitor는 짧은 주기의 BY Dra와 RS CVn들일 것으로 추정한다.

NGC 188과 M 67에서는 상대적으로 W UMa형 쌍성이 발견되는 빈도 수가 높다. NGC 188에서는 300여개의 별을 조사한 결과 7개, M67에서는 159개 중에서 3개가 W UMa형 쌍성으로 밝혀졌다. 이 빈도는 태양 근방에서 약 1000여개 별 중에서 한 개꼴로 발견되는 빈도보다 약 20배 높은 것이다. 접촉형 쌍성과 blue straggler 별의 발견 빈도가 상대적으로 높은 것은 깔때기 효과로 설명하고 있다. 다시 말해서 많이 발견되는 성단이 있는 반면에 그렇지 않은 성단도 있다고 생각된다.

초기에는 주기가 수일이 되는 분리형 쌍성들이 점차 각운동량의 손실로 두 별이 합쳐지면서 접촉형으로 진화므로, W UMa 형이 NGC 188과 M67에 집중되어 나타나는 사실은 근접 쌍성 중에서 각각의 성분의 질량이 비슷하여 각운동량을 잃어 가면서 W UMa형 쌍성으로 합쳐지는 것이 많다는 것이다.

질량이 큰 쌍성에 비하여 질량이 작은 별들의 소멸은 성단의 relaxation processes (성단에서 불규칙하게 분포되어 있는 운동이 다시 역학적으로 재정비되는 과정) 탓으로 돌릴 수 있다. relaxation processes는 에너지를 성단 내에 골고루 분배시키는 역할을 주도한다. 더욱이 역학적인 relaxation processes는 근접 쌍성을 성단의 중심으로 모이게 할 것이고 이런 현상은 M67과 NGC188 두 곳에서 관측되고 있다.

### 3. 외부 은하 속의 쌍성

대마젤란 성운 (LMC), 소마젤란 성운 (SMC), 안드로메다 은하 (M31) 등과 같이 가까운 외부 은하에서 식쌍성이 나타나는 사실은 수 십년 전부터 사진 관측을 통하여 알려졌다. 이들 은하에서 발견된 쌍성의 수는 약 200여개로 사진 광도곡선으로부터 쌍성임을 확인하였다. 각 은하별로 분포를 보면 대마젤란 성운에 76여개, 소마젤란 성운에 40여개, 그리고

안드로메다 은하에 약 50-70여개의 쌍성이 현재까지 발견되고 있다. Selection effect를 고려하면 외부 은하에서 발견된 쌍성들은 각 은하에서 가장 밝은 별들로서 O형과 B형에 속한 별들이다. 최근까지도 이들 별의 분석은 제대로 이루어지지 못하였다. 왜냐하면 사진 등급으로 결정된 광도곡선은 정확도가 낮고, 분광 관측이 전무한 상태이기 때문이다. 그러나 지난 몇년 동안 CCD detector로 인하여 1-2 m급 망원경으로 마젤란 성운에 있는 14-18 등급의 별을 0.01등급의 정확도로 측광 관측이 가능하게 되었다. 더욱이 최근에는 CCD quantum efficiencies가 70-80% 정도이므로 2m급 망원경으로 M31에 있는 19-22 등급의 식쌍성을 0.02 등급의 오차로 측정 가능하게 되었다. 이러한 관측에서 문제점으로 등장하는 것은 한 field에서 여러 별이 겹쳐서 나타낼 때 별의 밝기를 각각 분리해 내는 작업이다. 이러한 문제는 pixel수가 많은 CCD와 reduction 기술의 개발로 극복하고 있다. 더욱이 f-ratio가 큰 망원경을 사용하면 plate scale이 커지므로 CCD 화상에서 등급을 결정하는데 이점이 크다.

예를 들어 Jensen 등은 1988년 칠레 ESO에 있는 1.5-m Danish 망원경으로 LMC, SMC에 속한 15등급 밝기의 쌍성 여러 개를 관측하여 매우 질이 좋은 광도곡선을 완성하였다. SMC에 속한 HV 2226 ( $V_{max}=15.3$  mag,  $P=1.90$  days) LMC에 속한 HV 12634 ( $V_{max}=15.2$  mag,  $P=1.19$  days)의 CCD 광도곡선이 제시되었다. 이들 광도곡선의 정확도는 약 5등급 밝기의 광도곡선보다 더 좋은 것으로 나타났다.

외부 은하에서 발견되는 쌍성의 광도곡선을 분석하면 태양계 주변과는 전혀 다른 화학 성분을 가진 환경에서 탄생한 별의 구조와 진화를 이해할 수 있다. 예를 들어 SMC에 분포해 있는 가스의 화학 성분 중에서 metal 성분은 우리 은하의 metal 성분의 10% 정도밖에 안된다. 이 사실은 별의 모델과 opacity를 구하는데 유용하게 사용되며, 우리 은하에서 metal 함유량이 매우 적은 종족 II의 별을 이해하는데 도움이 될 것이다. 이러한 것들을 연구하는데 직접적으로 필요한 것은 쌍성의 관측 자료이다. 즉 쌍성의 관측 자료는 각 별의 질량, 밝기 등을 제공하여 주기 때문이다. 더욱 많은 별 등의 관측 자료가 축적되면 외부 은하의 별들에 대한 질량 광도 관계도 새롭게 구할 수 있을 것이다.

#### 4. 참고문헌

- Clausen, J. V. and Gimenez, A. 1987, *The 10th Eur. Reg. Astr. Mtg. of the IAU*, ed J. Palous, Vol 4, 185.
- Gilliland *et al.* 1990, *STSI* preprint 492.
- Guinan, E. F and Bradstreet, D. H. 1988, in *Formation and Evolution of Low Mass Stars*, eds. A. K. Dupree and M. T. Lago(Reidel: Dordrecht), p.345.