

항성과 은하의 적외선 분광천문학 INFRARED SPECTROSCOPIC ASTRONOMY OF STARS AND GALAXIES

서경원

충북대학교 천문우주학과

KYUNG-WON SUH

Dept. of Astronomy and Space Science, Chungbuk National University: kwsuh@ast.chungbuk.ac.kr

Received Jul. 5, 2000; Accepted Aug. 7, 2000

ABSTRACT

Infrared spectroscopic observations and their analysis revealed many physical and chemical characteristics of the various stars with dust envelopes. Especially, AGB stars and young stellar objects are believed to be major contributors of infrared radiation from galaxies. The wavelength of the peak spectral energy for typical galaxies is about $100 \mu\text{m}$. Therefore, infrared spectral observations of galaxies provide important information for their overall properties. The qualitative analysis of the infrared spectra which are made of various stars and interstellar matter will be possible through a new population synthesis.

Keywords: AGB stars, galaxies IR spectroscopy

1. 서론

항성과 은하의 적외선 파장대에서의 에너지분포 (Spectral Energy Distribution; SED)는 주로 먼지입자와 분자에 의한 연속(continuum) 형태 또는 선(line) 형태의 에너지 방출이 주도한다. 아주 작은 먼지입자는 단일 분자와 구별하기 어려운 경우도 있다. 항성 주변과 은하 내에 다양하게 분포하는 먼지층들은 그들 전체 에너지분포에 막대한 영향을 주기 때문에 항성과 은하의 적외선 관측자료를 해석하려면 먼지층에 대한 자세한 연구가 필수적이다. 이 해설 논문의 목적은 적외선을 주로 방출하는 항성의 적외선 관측자료의 특성과 현재까지의 이론적 해석에 대하여 정리하고, 은하의 적외선 영역에서의 에너지분포의 특성과 그 종합성 모형을 항성의 에너지 분포 목록과 성간매질의 복사전달특성 등을 종합하여 제시할 수 있는 방법에 대하여 논하는 것이다. 특히 구형대칭 모형과 원주대칭의 원반모형등이 적절히 사용된 이론적인 항성과 은하의 먼지층의 복사전달 모형을 적외선 분광 관측과 비교, 분석하는 과정에서 알게되는 먼지층의 특성에 대하여 주로 논할 것이다.

우리 은하를 구성하는 물질의 약 절반 정도는 항성의 형태로 나머지 절반은 성간물질의 형태로 존재한다고 믿어진다. (연구자에 따라 성간물질의 비율은 약 10% 에서 50%로 다양하게 주장되고 있다.) 성간물질은 주로 기체 형태로 존재하며 그중 약 1% (질량비)는 작은 (반경 : $0.01 - 1 \mu\text{m}$) 고체 알갱이 형태이다. 성간먼지는 특유의 강한 흡수, 산란 효과 때문에 멀리 있는 별의 시야를 차단하는

역할을 하여 우리은하의 항성의 분포, 우주내의 은하의 분포, 우주내의 질량 분포 등을 관측하는데 큰 장애가 된다. 이러한 효과는 특히 짧은 파장쪽에 강하며 긴파장 (적외선, 전파)쪽에서 약하므로 긴파장 영역에서의 관측이 유리하다. 또한 성간먼지는 짧은 파장쪽의 전자기파를 흡수하여 긴파장 쪽의 전자기파(주로 적외선)로 재방출하므로 적외선 영역의 관측은 성간먼지를 연구하는데 가장 중요하다. 성간먼지는 우주에서 그 질량구성비는 작지만 그 물리적 역할은 중요하여 다음과 같이 요약된다. 첫째, 불투명 계수가 크므로 그 역학적 특성으로 항성진화 마지막 단계에서 질량결손을 주도하며 항성 탄성의 과정에 관여한다. 둘째, 성간먼지는 분자형성의 촉매역할을 하는 등 은하계의 화학적 진화에 큰 영향을 준다.

1983년 IRAS는 12, 25, 60, $100 \mu\text{m}$ 에서 화상관측 및 측광관측하여 약 350,000개의 적외선 광원을 검출하여 Point Source Catalog (PSC)에는 26,948개의 자료가 수록되어 있으며 이중에는 수 많은 은하와 항성의 관측자료가 포함되어 있다. 분광관측은 8 - $13 \mu\text{m}$, 11 - $22 \mu\text{m}$ 영역에서 수행되어 Low Resolution Spectrograph (LRS)에는 5425개의 관측자료가 정리되어 있다. 비록 오래되었지만 독보적인 자료들이 많아서 현재에도 다양한 분야의 연구에 널리 활용되고 있다.

1996년부터 ISO는 6.7, $15 \mu\text{m}$ 에서의 화상관측 뿐만 아니라 SWS ($2.4 - 45 \mu\text{m}$), LWS ($43 - 197 \mu\text{m}$)에서의 분광 관측을 수행하였으며, 3.29 - $200 \mu\text{m}$ 영역의 28개의

과장대에서 측광 관측하였다. 이 자료들을 충분히 활용한다면 항성과 은하의 적외선 영역의 특성을 이해하는데 획기적인 전기가 될 수도 있을 것이다.

2. 항성과 은하에 존재하는 먼지 입자의 종류와 특성

적외선 영역에서 항성과 은하 및 성간매질의 분광관측에서 보여지는 연속 형태, 선 형태의 방출/흡수선은 주로 먼지입자에 의한 것이므로, 분광관측을 이해하려면 먼지입자에 대한 이해가 필수적이다. 우주에 존재하는 먼지입자는 크게 세가지 부류로 나눌 수 있다. 은하에서 먼지입자를 만들어 내는 주원천인 AGB항성의 주변에는 첫번째 부류인 상대적으로 크기가 큰 먼지입자들만이 존재하며 나머지 두 부류의 먼지입자는 성간매질에만 존재하는데 이는 원래 첫 번째 부류였던 먼지입자가 성간에서 섞이고 충격파와 자외선 등에 의하여 변형/변질된 것이라고 생각된다.

2.1. 상대적으로 크기가 큰 먼지입자

모든 지역에서 관측되는 먼지입자인 규산염(Silicate), 비정질탄소(Amorphous Carbon; AMC), 탄화규소 등은 반경이 약 $0.05 - 0.2 \mu\text{m}$ 정도이다. 이들은 넓은 적외선 영역의 연속 스펙트럼 형태를 만드는 주된 열방출원이며 규산염은 $10, 18 \mu\text{m}$ 에서 탄화규소는 $11.3 \mu\text{m}$ 에서 특이한 방출, 흡수선을 보인다. 먼지입자를 만들어내는 주원천인 AGB항성 주변에는 화학성분에 따라 구별되는 이러한 입자들만이 존재한다.

2.2. 크기가 작은 정질탄소입자(Graphite)

$0.01 \mu\text{m}$ 이하의 반경을 가진 작은 흑연 입자로서 AGB항성 주위에서는 관측되지 않지만 성간매질과 젊은항성체 주변에서 광범위하게 관측되는 $0.2175 \mu\text{m}$ 선을 만든다. 원래 비정질 탄소였던 것이 성간매질에서 변질된 것으로 보여진다.

2.3. PAH

다중고리구조의 방향족 탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAH)는 25개의 탄소원자와 수소원자로 구성된 단일 분자 또는 10-20개의 그러한 분자가 모인 분자단이다. PAH는 AGB항성에서 생성된 비정질탄소입자가 성간매질에서 분해과정을 거치면서 퍼져있던 수소원자가 달라붙어서 생성된다는 이론이다 (Chiar et al. 2000).

3. 항성의 적외선 분광천문학

적외선 관측이 시작되면서 알려지기 시작한 이른바 적외선 초과 현상을 보이는 항성들은 젊은항성체와 AGB항성들이다. 적외선 관측이 본격화되면서 가시광선으로는 아예 보이지 않으면서 비슷한 적외선 초과현상이 과도하게 나타나는 항성들을 많이 발견하게 되면서 항성진화 초기와 말

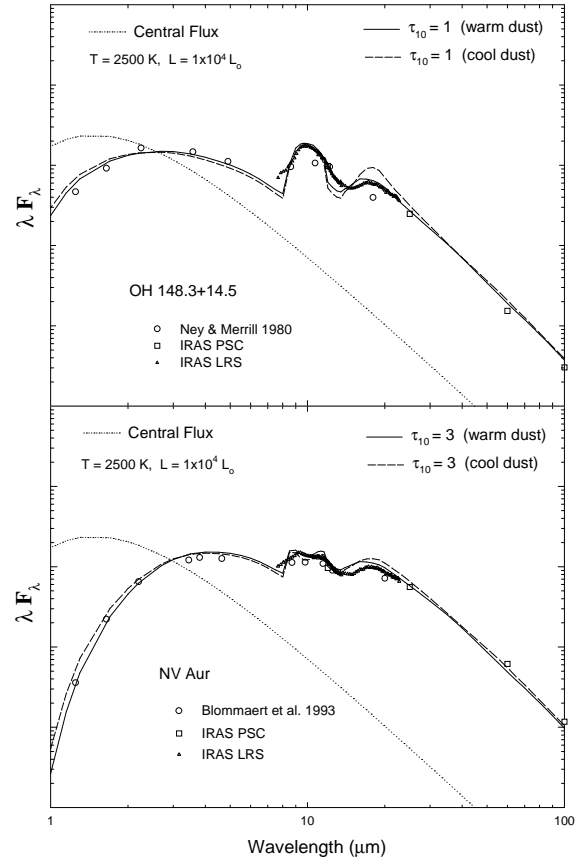


그림 1.—M형 AGB항성의 SED (from Suh 1999).

기의 먼지층을 가진 항성들에 대한 이해가 크게 진전되었다. 진화가 덜된 젊은항성체일수록 또는 진화가 더 진행된 AGB항성일수록 주변에 더욱 두꺼운 먼지층을 가지므로 중심별로부터의 복사를 흡수, 산란하고 적외선으로 재방출하는 과정이 심하여 주로 적외선 과장대에서만 관측이 가능하다.

3.1. AGB항성

비교적 얇은 먼지층을 갖는 AGB항성의 광학적 관측 결과에 따른 분류 방법에 따르면, 이들 항성 대기의 화학 성분(산소, 탄소의 함량비)에 따라 산소가 많은 M형, 탄소가 많은 C형, 중간형인 S형으로 분류된다. 적외선방출이 강한 AGB항성은 이들 중에서도 더 진화가 되어 강한 항성풍을 보이고 비교적 두꺼운 먼지층을 갖는 진화 말기의 AGB항성들이다. 이들은 가시광선과 함께 강한 적외선 초과를 보이거나, 적외선으로만 관측될 수 있는 항성이다. AGB항성은 M형 Mira 항성, 탄소 항성, OH/IR 항성으로 분류되는데 이는 이들 항성의 에너지 분포의 해석에 의한 항성대기의 특성에 따른 것이다. 특히 상대적으로 함량이 크고 모

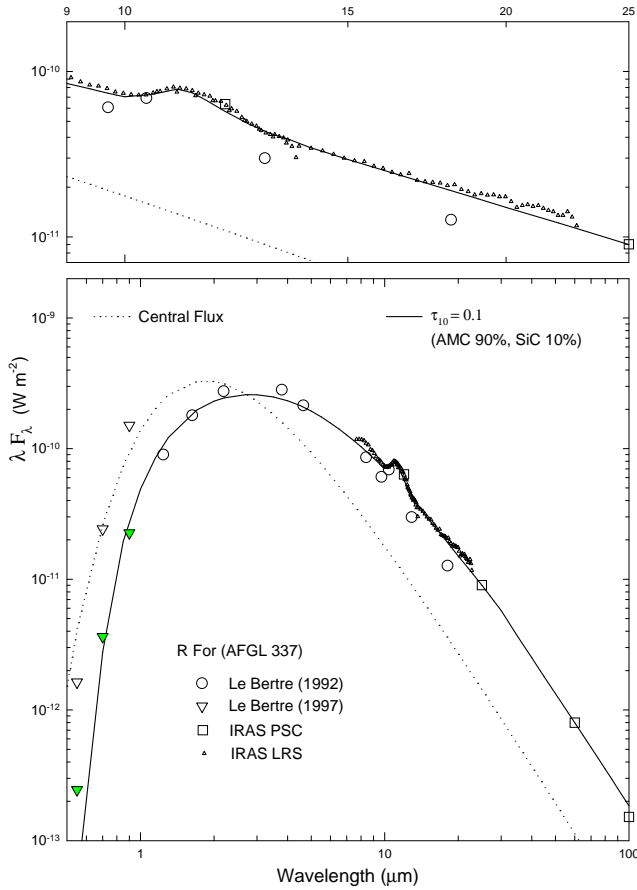


그림 2.— 탄소항성의 SED (from Suh 2000).

든 분자 결합의 주도적 역할을 하는 산소와 탄소의 역할이 중요한데 일산화탄소(CO)의 강한 결합 에너지와 AGB 항성 주변의 대기층 온도와 일치하는 온도 1000 - 2000 K 근처에서 매우 안정된 성질을 갖는다는 특성 때문에 일산화탄소 분자 생성 이후에는 산소와 탄소 두 가지 원소가 동시에 독립적으로 존재하는 것을 기대하기 어렵다. 이러한 분자의 결합 에너지 특성 때문에 먼지입자의 화학 성분은 의외로 간단하고 단순한 양상을 보이며 크게 산소가 결합 구조를 주도하는 규산염과 탄소가 결합 구조를 주도하는 탄소 먼지입자 (비정질 탄소, 탄화규소 등) 로 나뉠 수 있다. 또한 CO의 강한 결합 에너지 때문에, 먼지 입자가 생성될 조건을 갖는 경우 산소 계통 혹은 탄소 계통의 먼지 형성이 명확히 구별되며 두 종류의 먼지 입자가 동시에 생성되기는 어렵다.

산소가 풍부한 M형 AGB항성에서는 비교적 얇은 먼지층의 규산염 먼지입자에 의한 파장 10 μm, 18 μm에서의 방출선이 나타나며 CO, H₂O 분자에 의한 파장 2 - 5 μm에서의 여러 흡수선도 관측된다. 탄소 항성은 특별한 방출선이나 흡수선이 나타나지 않는 비정질 탄소에 의한 연속

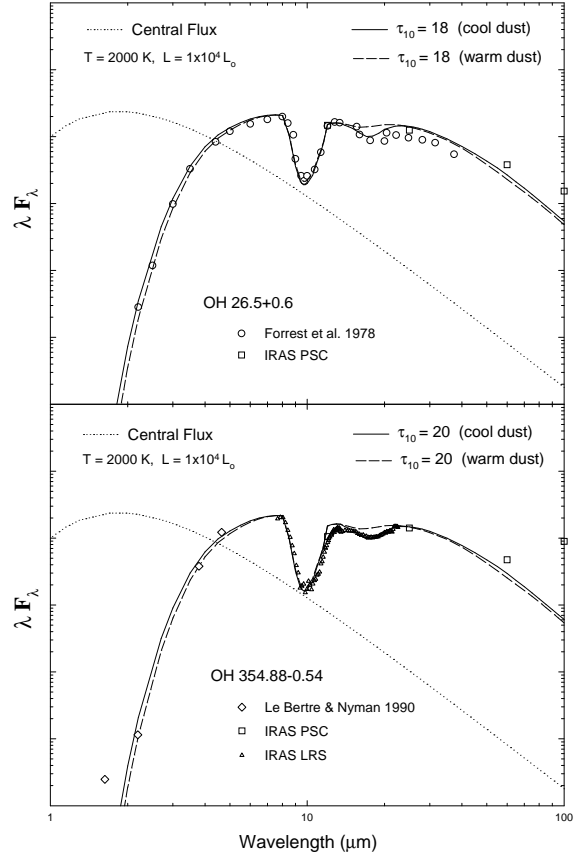


그림 3.— OH/IR항성의 SED (from Suh 1999).

적인 에너지 분포를 보이며 먼지층이 매우 두껍지 않은 경우에는 11.3 μm에서의 SiC 방출선이 검출된다. OH/IR항성은 파장 18 cm 에서 강한 OH 방출선을 보이며 파장 10 μm 부근에서 에너지 분포의 최대점을 보이고 규산염 먼지입자에 의한 파장 10, 18 μm 에서의 흡수선이 돋보인다. 지상/위성 적외선관측과 전파관측의 도움으로 현재까지 수 천개의 우리은하 및 가까운 은하의 적외선 AGB항성이 등장되었고, ISO 관측자료가 정리되면서 동정되는 AGB항성의 개수는 기하급수적으로 늘고 있다. 그림1, 2, 3는 전형적인 AGB항성(M형 AGB항성, 탄소항성, OH/IR 항성)의 관측된 SED와 복사전달 모형 계산 결과와의 비교를 보여준다.

두꺼운 먼지층을 갖는 AGB항성의 관측을 잘 설명하며 동시에 물리적인 구속 조건들을 만족하는 티끌입자의 불투명도(opacity)에 대한 이론적 모형 (예: Suh 1999; Suh 2000)을 사용하여 초기 질량과 화학성분에 따른 AGB항성의 이론적 에너지 분포 진화에 대한 목록을 작성할 수 있다. 항성진화에 따른 중심별 및 핵동상태의 변화, 표면 화학성분의 변화, 질량결손율의 변화, 티끌입자의 형성과 파

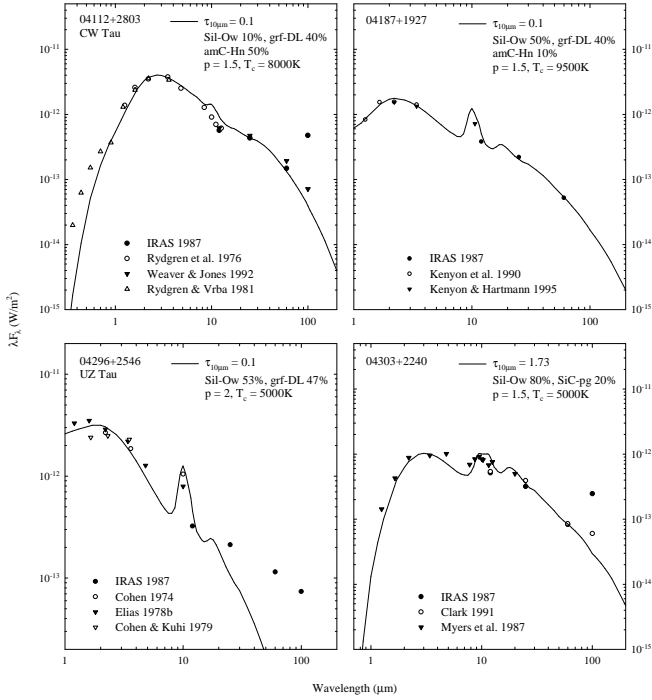


그림 4.— Taurus-Auriga분자운의 젊은항성체 4개의 SED (from Song & Suh 2000).

괴에 대한 모든 정보는 에너지분포에 담겨 있다. 관측과 부합되는 이론적 에너지 분포의 진화 목록을 완성하는 일은 체계적인 종족합성 (population synthesis) 을 위해서 필수적인 것이다.

3.2. 젊은항성체 (YSO)

적외선 초과 현상을 보이는 젊은항성체 주변의 먼지 입자의 특성은 AGB항성 주변의 그것과 특성이 다르다. (Song & Suh 2000). 우선 산소계통입자와 탄소계통 입자가 섞여 있으며 AGB항성 주변에서는 관측되지 않는 작은 크기의 정질탄소입자도 다량 섞여 있다. 다양한 먼지입자가 섞여있고 중심별의 계수들도 다양하기 때문에 관측과 부합되는 이론적 모형을 제시하기 어렵다. 그림4는 Taurus-Auriga분자운 내의 젊은항성체 4개의 관측된 SED와 모형계산결과를 비교한 것이다. 그림5는 젊은항성체 4개의 ISO 분광관측(SWS) 결과를 보여준다.

젊은항성체와 AGB항성 주변에 분포하는 먼지입자의 화학 성분은 운석의 그것과 매우 흡사하여, 태양계 형성 초기에 지구형 행성을 구성한 물질은 항성진화 마지막 단계인 AGB항성 주변의 껍질에서 주로 형성되어 성간매질에서 다소의 변화과정을 거친 것으로 믿어진다.

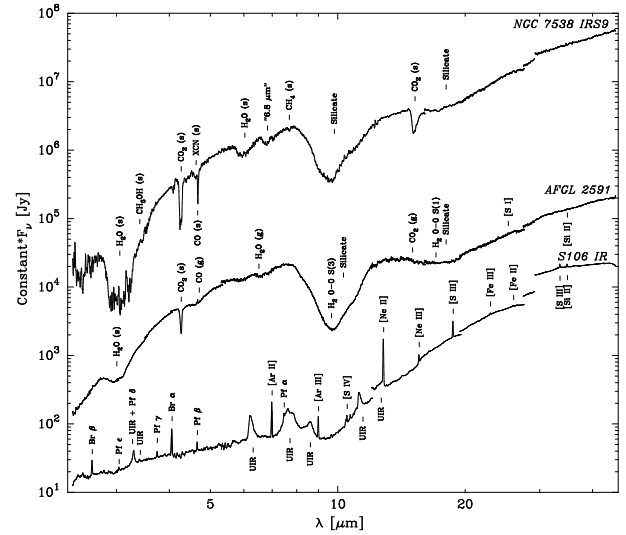


그림 5.— ISO 분광관측(SWS)에 의한 젊은항성체 3개의 SED (from van den Ancker 2000).

3.3. 그외의 주변에 먼지층을 갖는 항성

주변에 먼지층을 갖는 항성은 행성상성운 (특히 초기), 신성, 초신성, 울프레이에 항성을 들 수 있다. 생성 초기의 행성상성운의 먼지입자는 AGB항성 진화의 잔해로서 AGB항성 주변 먼지입자와 같은 특성을 가지며 먼 옛날 AGB시절의 물질분포의 특성을 보여준다. 초기형 항성인 울프레이에 항성 주변에서도 많은 양의 먼지입자 (AGB항성과 달리 PAH가 포함됨) 가 분포하는데 이는 이곳에서 새로 생성되는 먼지입자와 원래있던 항성탄생지역의 먼지입자가 함께 분포하는 것으로 보인다. 신성과 초신성 주위에서도 상당한 양의 먼지입자가 생성되는 것으로 믿어진다.

4. 은하의 적외선 분광 천문학

은하는 다양한 종류와 특성을 가진 수 천억 개의 항성과 막대한 양의 성간물질이 중력과 자기장으로 결합되어 있는 복잡한 계이다. 각 항성의 진화는 은하에 영향을 주고 은하는 각 항성의 탄생과 진화에 물리적, 화학적 영향을 준다고 볼 수 있다. 은하의 화상관측자료 못지 않게 SED는 은하의 물리/화학적 특성을 잘 보여준다. 은하의 전체적인 특성은 분광학적인 에너지분포에 가장 잘 나타난다. 은하의 분광관측을 이해하려면 우선 구성원인 각 항성과 성간물질의 분광학적 특성에 대한 자세한 연구가 필요하다.

그림5 에서 확인할 수 있듯이, 전형적인 은하의 에너지분포는 적외선영역 (약 100 μm) 에서 최대점을 갖는다 (Silva & Danese 1998). 이는 성간매질에 의한 별빛의 재방출과 먼지층을 갖는 항성에 의한 적외선 방출이 주원인이다. 그림5 에 같이 보여지는 이론적 모형은 Silva & Danese (1998) 의 주장일 뿐이며 은하의 특성과 연구자의 종족합

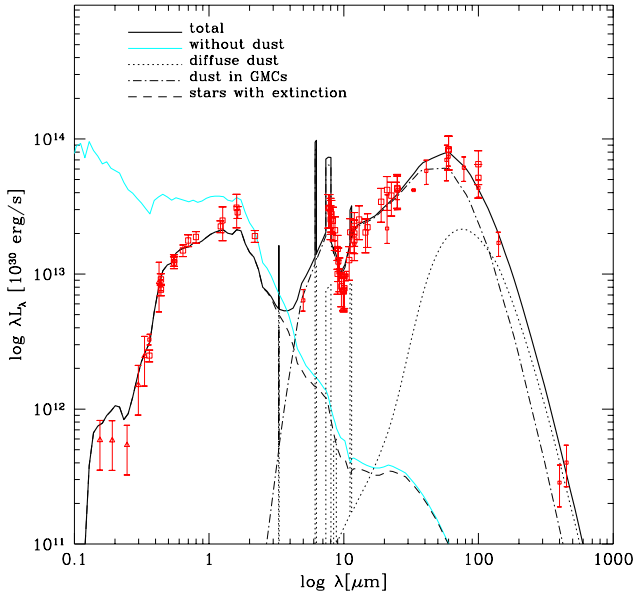


그림 6.— 외부은하 M82 의 SED (from Silva & Danese 1998).

성 모형에 따라서 그 이론적 모형은 매우 다른 방향으로 다양하게 주장되고 있다 (예: Floc & Rocca-Volmergange 1997; Bressan et al. 1998). 적외선을 방출하는 항성은 주위에 두꺼운 먼지층을 갖는 진화말기의 AGB항성과 진화초기의 젊은항성체 (YSO) 들인데, AGB항성의 기여도가 압도적이다. 젊은항성체와 AGB항성 등 주변에 먼지층을 갖는 항성을 포함한 모든 항성의 에너지분포 진화 목록과 성간매질 (나선은하인 경우 주로 먼지 원반) 에 의한 별빛의 재방출 등에 대하여 체계적으로 규명할 수 있다면 은하의 적외선 분광에너지 분포의 물리적 의미를 좀더 종합적으로 파악할 수 있을 것이다.

4.1. 은하의 IRAS 및 ISO 적외선 분광학적 특성

ISO 관측 결과, 모든 은하에서 공통적으로 파장 3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3, 12.7 μm 을 중심으로 한 미확인된 적외선 띠 (Unidentified Infrared Bands; UIBs)가 검출되었다 (그림6 참조). 이는 방향족 탄화수소의 탄소-탄소, 탄소-수소의 늘림/구부러짐 진동에 의한 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 띠를 갖는 실질적인 물질은 잘 알려져 있지 않다. 고리구조의 PAH에 의한 방출선이란 주장이 많고 자외선에 노출된 크기가 작은 비정질탄소(AMC)라는 주장도 강하다 (Genzel & Cesarsky 2000).

4.2. 은하의 증축합성

현재까지 많은 연구자들이 은하와 성단 내에 존재하는 다양한 부류 항성의 증축합성을 시도하였다 (예: Bruzual &

Charlot 1993; Leitherer et al. 1996; Guiderdoni et al. 1998; Devriendt et al. 1999). 각 항성의 부류들이 그 집단 내에서 어떤 역할을 하는지 알려면 각 항성 부류의 에너지분포 진화 특성들을 합성하여 그 집단 전체의 특성과 비교 검토하면 된다. 물론 각 부류의 항성에 대한 이해가 전체 조건이다. 이로써 성단이나 은하의 나이를 측정하는 좋은 방법이 될 뿐 아니라 성단이나 은하의 과거, 현재, 미래의 물리적 성질들을 이해할 수 있는 관건을 제시하기도 한다. 현재까지 일반항성 (주계열항성, 청색거성, 적색거성 등) 과 은하의 가시광선 분광관측 연구는 상당히 진행된 상태이지만 여러 파장대에 대한 다양한 관측과 체계적인 목록화가 필요한 실정이며, 은하의 에너지분포에 큰 영향을 주는 HII 영역, 젊은항성체, AGB항성 등에 대한 것은 포함되지 않았거나 지나치게 간단한 근사값들이 사용되었다. 또한 은하내의 성간매질에 포함된 먼지층에 대한 고려도 부족한 실정이다. 특히 먼지 원반층을 갖는 은하의 자세한 이론적 모형이 필요하다.

새로운 연구에서는 젊은항성체와 AGB항성의 에너지분포 진화 목록과 이미 정리된 다른 부류 항성의 진화 목록 (예: Gigardi et al. 1996; Floc & Rocca-Volmergange 1997) 을 종합하여 새로운 증축합성 모형을 제시하고 성단과 은하의 관측 자료와 비교 분석할 수 있다. 관측자료는 가시광선 자료 뿐만 아니라 지상망원경과 우주망원경에서 얻어진 근적외선 및 원적외선 관측자료 (IRAS, ISO 위성 관측자료 포함) 를 사용할 수 있다. 새로운 증축합성 모형은 특히 성단과 은하의 적외선 관측자료에 대한 새로운 해석을 내리는데 중요한 역할을 하리라고 기대한다.

최근에는 젊은항성체와 AGB항성의 관측과 이론이 발전하여 이들 항성의 에너지 분포 진화에 대한 믿을만한 이론적 모형을 갖게 되었다. 이는 먼지층에 대한 이해가 발전한 덕분이기도 하다. 먼지층을 갖는 젊은항성체와 AGB항성에 대한 복사전달 모형계산을 진행하고 관측자료와 비교 분석하여 다양한 진화 상태의 젊은항성체와 AGB 항성의 이론적 에너지분포의 진화에 대한 목록을 완성하여 증축합성의 기본자료로 활용할 수 있을 것이다.

4.3. 은하의 먼지원반

현재까지 많이 사용된 먼지층에 대한 복사전달 모형은 대부분 구형 대칭을 가정하였다 (예: Ivezić & Elitzur 1997). 구형대칭 모형은 비교적 계산과정이 간단하며 비등방산란을 포함한 자세한 계산을 할 수 있어서 항성주위의 먼지층 모형에는 적합한 경우가 많지만 은하의 먼지원반을 모형화하기에는 부적합하다. Monte Carlo방법을 사용하는 원반 (Disk) 형태의 복사전달 모형을 몇 명의 연구자들 (예: Lopez, Mekarina & Lefevre 1995) 에 의하여 제시되어 은하의 먼지원반 모형에 사용되고 있다. 원반 모양의 먼지층에 대한 좀더 자세한 모형 계산을 위하여 비등방산란 과정을 포함하며 다양한 기하학적 모양과 밀도분포를 가정

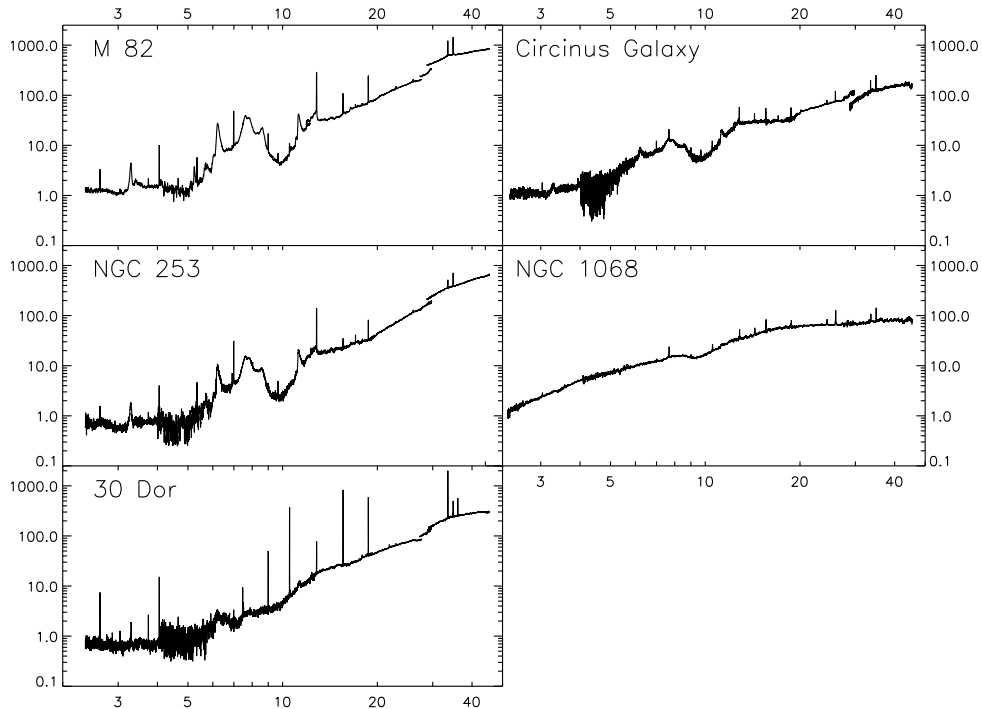


그림 7.— 외부은하 5개의 ISO SWS01 spectra (from Sturm et al. 2000). 가로축은 파장 (μm), 세로축은 플럭스(Jansky)를 나타낸다.

할 수 있는 복사전달 모형이 새로이 개발되어 사용될 것이다 (Pier 2000). 이 컴퓨터 프로그램의 초기버전(Pier & Krolik 1992)은 Murayama, Mourie & Taniguchi (2000) 등에 의하여 활동성은하의 모형계산에 사용되었다.

먼지원반 모형은 은하 뿐만 아니라 젊은항성체와 일부 AGB항성에도 사용되어야 한다. 적외선 편광관측에 의하면 상당수의 AGB항성들이 편광현상을 보인다 (예: Jones et al. 1994; Jones & Gehrz 1990). 편광 정도는 각각의 항성에 따라 다르지만 편광 현상은 먼지 원반 (Dust Disk)에 의한 것으로 보인다. 구형 대칭의 먼지층에서는 편광 효과를 기대하기 어렵기 때문이다. 최근의 CCD 관측 및 오래 전부터 계속되어온 행성상성운의 상 (Image) 관측에 의하면, 바깥 Halo 부근의 물질 분포 구조는 구형 대칭에서 크게 벗어나 있는데 이는 행성상성운이 형성되기 이전인 AGB 단계에서의 구형 대칭에서 벗어난 질량 분출을 강하게 암시하고 있다. 즉, AGB항성의 다음 단계인 행성상성운의 모습도 구형 대칭에서 벗어나 고리나 원반 또는 쌍극 흐름을 보이는 경우가 흔하기 때문에 AGB 단계에서도 구형 대칭에서 벗어난 먼지층의 모습을 가질 수 있다고 생각할 수 있다.

4.4. 은하내의 먼지층을 갖는 항성

은하와 성단의 에너지분포(특히 적외선 영역)에서 AGB항성의 역할은 지대하다. 이는 은하와 성단의 나이에 따라

차이가 있지만, 전체 복사광도에서의 기여도는 약 40% 가량이며 적외선 파장대에서의 기여도는 훨씬 커져서 압도적인 역할을 한다. Bressan et al. (1998)의 연구에 따르면 은하의 이론적인 에너지 분포에서 근사적으로 먼지층을 갖는 AGB 항성을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우의 분광특성에 큰 차이점이 있음을 보여준다. 이러한 차이는 특히 적외선 부분에서 매우 강하게 나타난다. 그러나 그 연구에 사용된 먼지층을 갖는 항성의 자료들이 너무 근사적이고 인위적인 값들이었으므로 먼지층을 갖는 항성의 자료를 좀더 정확하고 체계적으로 사용하는 종족합성이 요구되었다.

AGB항성은 원래 질량의 90% 가량을 잃어버리는 항성풍의 절정 단계를 보여준다. AGB항성의 항성풍은 많은 물질을 성간매질로 내보내며 이는 새로운 항성이 생성되는 원천이 된다. 이 과정에서 다량의 먼지입자가 생성되는데 이는 새로운 항성 주변의 행성 및 소행성, 운석, 혜성 등을 만드는데 쓰인다. 최근의 적외선, 전파 관측과 실험실 자료를 해석하여 진화말기 항성 주변의 먼지입자는 운석, 혜성, 행성을 구성하는 물질과 매우 유사한 물리적, 화학적 특성을 가짐을 확인하게 되었으며 우리 지구의 주성분도 AGB항성 주변의 먼지입자로부터 만들어진 것으로 믿게 되었다. 앞에서 설명한 바와 같이 은하와 성단의 종족 합성에는 AGB항성의 고려가 필수적이다. 지금까지는 AGB항성의 에너지 분포의 진화에 대한 자료가 부족하여 이를 간과해왔으나 앞으로의 연구를 통하여 합리적으로

먼지층을 갖는 항성의 에너지분포 진화목록이 고려될 수 있을 것이다. 진화과정을 포함하며 개별관측으로 검증된 젊은항성체와 AGB항성과 같은 먼지층을 갖는 항성의 자료를 사용한 종족합성 모형을 적외선 분광관측 자료와 비교/분석하여 은하의 적외선 관측을 종합적으로 설명할 수 있는 이론적 모형이 필요하다.

5. 전망

적외선영역에서의 항성과 은하의 적외선 분광관측은 2002년부터 임무를 시작할 예정인 항공적외선 관측망원경 SOFIA (Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy) 와 새로운 적외선 관측위성인 SIRTF(Space Infrared Telescope Facility), ASTRO-F 등의 활동으로 더욱 활발해질 전망이다. 먼지층을 갖는 항성과 은하 먼지원반의 물리/화학적 구조를 관측과 이론적 모형을 결합하여 효과적으로 제시할 수 있다면, 이들을 포함하는 새로운 은하와 성단의 종족합성 모형은 관측을 통하여 그들의 진화를 이해하는 강력한 도구가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

Bressan, A., Granato, G. & Silva, L. 1998, *A&A*, 332, 135
 Bruzual, G. & Charlot, S. 1993, *ApJ*, 405, 538
 Chiar, J. E., Tielens, A. G. G. M., Whittet, D. C. B., Schutte, W. A., Boogert, A. C. A., Lutz, D.,

van Dishoeck, E. F. & Bernstein, M. P. 2000, *ApJ*, in press
 Devriendt, J. E. G., Guiderdoni, B. & Sadat, R. 1999, *A&A*, 350, 381
 Fioc, M. & Rocca-Volmerange, B. 1997, *A&A*, 326, 950
 Genzel, R. & Cesarsky, C. J. 2000, *ARA&A*, in press
 Girardi, L., Bressan, A., Chiosi, C., Bertelli, G. & Nasi, E. 1996, *A&AS*, 117, 113
 Ivezić, Z. & Elitzur, M. 1997, *MNRAS*, 287, 799
 Jones, T. J., McGregor, P. J., Gehrz, R. D., & Lawrence, G. F. 1994, *AJ*, 107, 1111
 Jones, T. J., & Gehrz, R. D. 1990, *AJ*, 100, 274
 Leitherer, C. et al. 1996, *PASP*, 108, 996
 Lopez, B., Mekarina, D. & Lefevre, J. 1995, *A&A*, 296, 752
 Murayama, T., Mourie, H. & Taniguchi, Y. 2000, *ApJ*, 528, 179
 Pier, E. A. & Krolik, J. H., 1992, *ApJ*, 401, 99
 Pier, E. A. 2000, private communication
 Silva, L. & Danese, L. 1998, *ApJ*, 509, 103
 Song, I.-O. & Suh, K.-W. 2000, *Journal of Astronomy and Space Science (Korea)*, 17, 11
 Sturm, E., Lutz, D., Tran, D., Feuchtgruber, H., Genzel, R., Kunze, D., Moorwood, A. F. M., Thornley, M. D. 2000, *A&A*, 358, 481
 Suh, K. W. 1999, *MNRAS*, 304, 389
 Suh, K.-W. 2000, *MNRAS*, 315, 740
 van den Ancker, M.E. 2000, *astro-ph/0005060*