

HII 영역 S152에 접해 있는 거대 분자운의 속도 구조 분석

최우열^{1,2†}, 민영철¹, 이영웅¹, 박명구²
¹한국천문연구원
²경북대학교 천문대기과학과

A VELOCITY STRUCTURE ANALYSIS OF GIANT MOLECULAR CLOUD ASSOCIATED WITH HII REGION S152

Woo-Yeol Choi^{1,2†}, Y. C. Minh¹, Youngung Lee¹, and Myeong-gu Park²
¹Korea Astronomy & Space Science Institute, Yuseong-gu, Daejeon 305-348, Korea
²Department of Astronomy and Atmospheric Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
E-mail: wychoi@trao.re.kr

(Received February 18, 2005; Accepted April 14, 2005)

요 약

S152 분자운은 S152 분자운 복합체의 중심부에 있으며 페르세우스 나선 팔에 위치하고 있는 작고 밝은 발광 성운이다. 이 분자운까지의 광학적 거리는 3.5kpc이며 지름은 약 1.5pc로 알려져 있다. S152 분자운 좌측에는 초신성 잔해로 알려진 SNR G109.1-1.0이 위치하며, S152 분자운 복합체 전체 구조는 전갈 형태를 띠고 있는데, SNR G109.1-1.0과 S152 분자운이 접하는 부분은 특이한 반구 형태를 띠고 있어 많은 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서 FCRAO $^{12}\text{CO}(J=1\rightarrow 0)$ 우리 은하 탐사 자료를 이용해 S152 분자운 복합체의 전체 속도 구조를 분석한 결과, 세 개의 다른 속도 성분 값 -54.5 , -50.4 , -48.8km s^{-1} 에서 구조적인 차이를 보였다. S152 분자운 복합체의 속도 기울기는 $0.21\text{km s}^{-1}\text{pc}^{-1}$ 과 $0.16\text{km s}^{-1}\text{pc}^{-1}$ 인데 두 개의 속도 기울기 방향이 다르게 분석되었다. 이것은 S152 분자운 주변 영역이 SNR G109.1-1.0과 상호 작용을 일으킨 후 다른 가스 운들이 병합되면서 서로 다른 진화 과정을 거친 결과로 생각된다.

ABSTRACT

S152 is a small bright emission nebula located in the Perseus arm. Its optical diameter corresponds to 1.5 pc for an adopted distance 3.5 kpc. However, S152 is a part of a giant molecular cloud complex, which consists of several dense cores, containing active star-forming sites, and well aligned arm-like features. We analyzed the FCRAO $^{12}\text{CO}(J=1\rightarrow 0)$ Outer Galaxy Survey data in this region to study the kinematical structure of this region, which resembles a big “scorpion”. We found that there exist three different velocity components, about -54.5 , -50.4 , -48.8km s^{-1} , depending on the position of the “scorpion”. There also exist velocity gradients of $0.21\text{km s}^{-1}\text{pc}^{-1}$ and $0.16\text{km s}^{-1}\text{pc}^{-1}$ through the whole extent of the “scorpion”. Interestingly, these two velocity gradients show an opposite direction with each other. It is likely that the velocity structure of this region may result from the mergence of different

[†]corresponding author

gas clouds, and the interaction with the SNR 109.1-1.0 occurred later, mostly at the region around the “head of the scorpion” only.

Keywords: molecular cloud, ISM: ^{12}CO molecules, velocity structure, S152

1. 서 론

HII 영역 S152에 인접해 있는 분자운(이하 통칭: S152 분자운)은 S147/S153 분자운 복합체(이하 통칭: S152 분자운 복합체)의 구성원으로 페르세우스 팔에 위치하고 있는 작고 밝은 발광 성운이다.

S152 분자운 복합체를 두 개의 분자운 그룹으로 나눈다면 S152, S153이 포함된 지역은 S152 분자운 복합체의 중심부에 위치하며 나머지 S147, S148, S149가 포함된 지역은 S152의 위치에서 우측 하단부로 $0.4^\circ \times 0.4^\circ$ 의 크기로 비스듬히 분포하고 있다.

S152 분자운까지의 거리는 Cox et al.(1987)의 3.5kpc를 선택하였으며, Kothes et al.(2002)에 의해 계산된 SNR G109.1-1.0까지의 거리는 $3.0 \pm 0.5\text{kpc}$ 이다. 그러나 S152 분자운과 SNR G109.1-1.0의 상호 관계를 고려하여 여기서는 3.5kpc를 선택하였다. 따라서 각-크기가 약 1.5'으로 관측되는 S152 분자운의 실제 크기는 약 1.5pc에 해당 된다(Cox et al. 1987).

$^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 분자선 관측은 1974년 처음으로 S152 중심부 $12' \times 6'$ 의 제한된 영역에 대해 이뤄졌다(Dickinson et al. 1974). 이후, 같은 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 선에 대해 8'의 HPBW으로 CO 구름 지도가 만들어졌고 $^{13}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 선에 대해서는 8'의 반치빔폭으로 Heydari-Malayeri et al.(1981)에 의해 CO 구름 지도가 만들어지면서 S152 분자운 복합체와 SNR G109.1-1.0의 상호 작용에 대한 가능성이 제시되었다. 이후 Tatematsu et al.(1985)가 일본 나고야 대학의 4미터 밀리미터파 망원경을 이용하여 전체적인 구조에 대해 3' 간격으로, 특정 지역에는 1.5' 간격으로 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$, $^{13}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 분자선을 관측하였고, 1990년에는 엑스선 자료와 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 분자선을 $30'' \sim 60''$ 의 분해능으로 관측함으로써 반구 형태 위쪽 지역의 CO 팔과 엑스선 흡수 사이의 관계를 논한 바 있다(Tatematsu et al. 1990). 이후, FCRAO(Five College Radio Astronomy Observatory) 14m 전파 망원경을 이용한 Heyer et al.(1998)의 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 우리 은하 탐사 연구에서 S152 분자운 복합체를 포함한 광범위한 영역에 대해 $50''$ 간격으로 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 관측이 이루어졌다.

한편, 엑스선 관측으로 S152 분자운 복합체의 동편에 초신성 잔해 SNR G109.1-1.0이 처음으로 발견되었다(Gregory & Fahlman 1980). 이 초신성 잔해는 CO 구름과 접하는 반구형의 모습으로 넓게 펼쳐져 있다. 그 중심 위치인 R.A.(1950) = $22^{\text{h}}59^{\text{m}}02^{\text{s}}.63$, Dec.(1950) = $+58^\circ 36' 37''$.6에는 1E2259+586으로 명명된 엑스선 맥동성이 있고(Fahlman & Gregory 1981), 엑스선 제트가 맥동성으로부터 구형 껍질의 북동쪽에 나타나고 있다(Fahlman & Gregory 1983).

본 연구에서는 S152 분자운 복합체를 FCRAO의 ^{12}CO 탐사 자료를 이용해 전체적인 구조 분석과 특이한 모습으로 각기 뻗어나간 필라멘트 구조에 대해 가스 분포 형태를 논의하고 이들 속도 구조를 분석하여 이 지역의 역학적 구조를 연구하고자 한다. 2장에서는 FCRAO 탐사 자료 분석에 대해 논의하며, 3장에서는 자료 분석 결과 얻어진 구조에 대해, 4장과 5장에서는 FCRAO 자료 분석을 토대로 내린 토의와 결론을 정리하였다.

2. FCRAO ^{12}CO 탐사 자료 분석

본 연구에 사용된 자료는 Heyer et al.(1998)이 FCRAO 14m 전파 망원경을 이용하여 1994년 봄과 1997년 1월까지 세 번의 관측에 걸쳐 구축된 우리 은하 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 분자선 탐사 자료 중 일부이다. FCRAO의 앞단 수신기는 쇼트키 믹서(Schottky mixer)가 장착된 15개 빔을 갖는 다중빔 QUARRY(QUabbin ARRaY)가 사용되었고 관측된 주파수(115GHz)에서의 안테나 효율과 빔 크기는 각각 0.45, 45"이다. 전체 탐사 자료는 은경 102°49와 141°54, 은위 -3°03와 5°41 사이 지역에 대하여, 50" 간격으로 얻어진 1,696,800개의 스펙트럼선으로 이루어져 있다. 관측된 스펙트럼들의 속도 VLSR(Velocity of Local Standard of Rest) 범위는 -153km s^{-1} 에서 $+43\text{km s}^{-1}$ 이며, 자기 상관기의 자료 수집 분해능은 0.81km s^{-1} (313kHz) 간격으로 속도 분해능은 0.98km s^{-1} (378kHz)이다. 이들 자료 가운데 본 연구에서 사용한 자료의 개수는 총 13,000개의 픽셀 스펙트럼으로 원 자료에서 S152 분자운을 중심으로 S152 분자운 복합체의 구조가 명확하게 보이는 곳을 $1.8^\circ \times 1.4^\circ$ 영역($130 \times 100\text{pixels}$)으로 잘라 내어 분석하였다. 원 자료는 NASA ADS(Astronomical Data Center)와 NCSA ADIL(Astronomy Digital Image Library) 사이트에서 다운로드를 받을 수 있는데 이 관측 자료는 잘려진 지도로 되어 있기 때문에 이를 삼차원화 하는 과정 즉 영상화 및 물리량 도출을 하기 위한 사전 작업이 필요하다. 이러한 작업은 UNIX IRAF 작업상에서 이루어 졌는데, 3장에서 언급된 적분지도는 IRAF에서 속도(V), 은경(L), 은위(B)의 형태인 삼차원-데이터(cube data)를 만든 후, fcrao 패키지 내에 <newimage>라는 태스크를 사용하여 *.imh를 생성하고, 이 파일을 *.FITS 파일의 형태로 변환해서 WIP을 활용하여 최종 그림이 그려졌고, 속도-공간도는 <sv>라는 태스크를 활용해서 *.imh를 생성한 다음 같은 방법으로 변환하여 AIPS를 통해 그려졌다.

FCRAO의 관측 자료처럼 성간 분자운의 추적자 역할을 할 수 있는 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 분자선은 분자운에서 H, He 다음으로 많은 C, N, O, S 등으로 이루어진 분자들 중 전파 천이를 내지 않는 수소 분자 다음으로 많은 CO 분자의 대부분을 차지한다. $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 분자선은 들뜨기 쉬운 회전 천이선을 내는 쌍극 모멘트($\mu\text{B} = 0.115$ Debye)가 매우 낮아 낮은 온도의 성운에서도 관측이 가능하고 광학적 깊이가 두껍기 때문에 분자운의 표면에서 방출되는 전파를 관측할 수 있기 때문에, S152 분자운 복합체와 같이 비교적 큰 규모 분자운의 역학적 구조를 파악하기에 유용하게 사용될 수 있다. Heyer et al.(1998)의 논문에서는 FCRAO $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 분자선 전체 탐사 자료를 분석하여 광범위한 범위에 대한 적분 세기의 L-B 그림, 속도채널들 내의 평균 안테나 온도 그리고 L-VLSR 그림은 우리 은하내 분자 가스 성분들의 복합적인 분포를 보여주고 있다. Heyer et al.(1998)는 이 그림들을 통해 각지름 $2^\circ \sim 5^\circ$ 정도인 몇 개의 커다란 빈터(void)들을 식별하였는데 이것은 성간 가스가 둘러 쌓인 상태에서 새롭게 태어나는 무거운 별들로부터 나온 항성풍들과 자외선 복사장들 사이의 계속적인 상호 작용에 의한 것으로 추정하였다. 관측된 ^{12}CO 세기의 큰 파편(fraction)은 $n \approx 3 \sim 500\text{ cm}^{-3}$ 정도의 낮은 들뜸 상태에 있는 지역들로부터 방출된다는 것을 증명하였고, 운동학적인 거리들을 추정하여 분자 질량 표면 밀도(molecular mass surface density)의 반지름 방향의 변화 정도(radial profile)를 측정하고 분자 중간평면(molecular midplane)과 높이 척도(scale height)에 대한 각각의 변화들을 측정하였다.

본 분석 연구에서는 Heyer et al.(1998)이 관측한 우리 은하의 광범위한 지역에서 관심있는 S152 분자운 복합체 지역만을 잘라내 연구함으로써 초신성 잔해 SNR G109.1-1.0과 S152 분자운과의 상

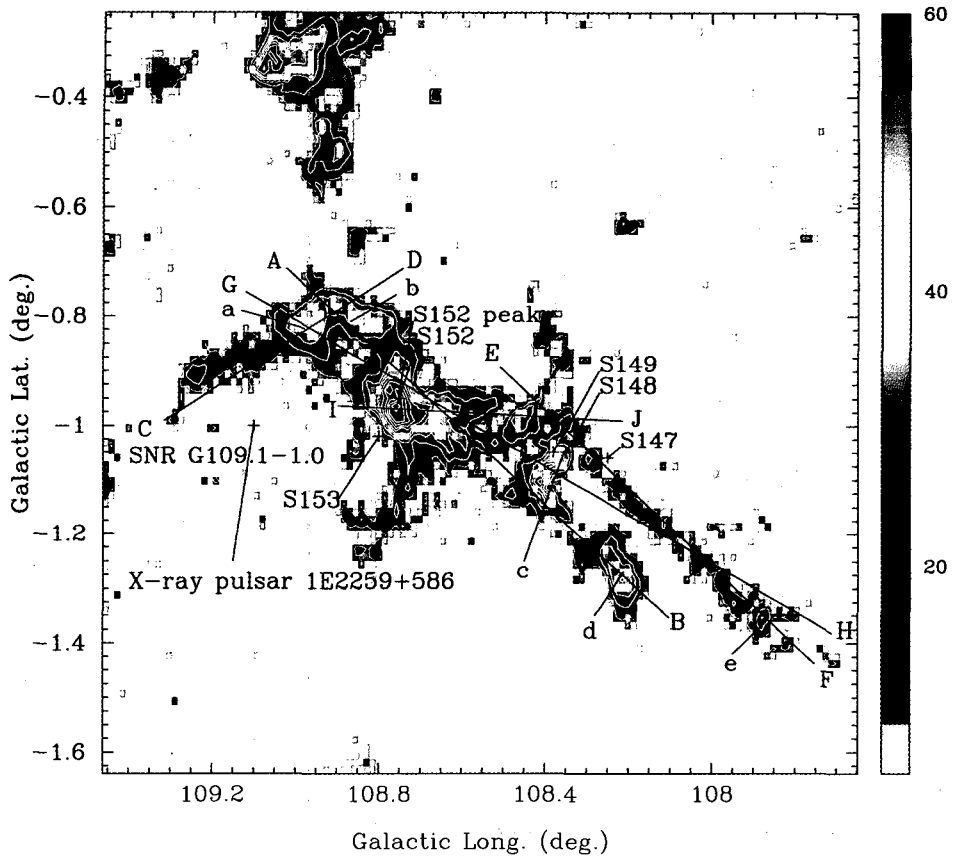


그림 1. S152 분자운 복합체의 ^{12}CO 적분 밝기 지도. 최대 적분 밝기는 S152 peak 위치에서 117.4K km s^{-1} 정도로 나타나며, Contour level은 10 ~ 100까지 10K km s^{-1} 간격으로 증가한다. 이 그림에서는 적분 강도 차이를 명확히 보이기 위해 60K km s^{-1} 을 최대값으로 두고 그렸다. AB, CD, EF, GH, IJ는 위치 별 속도구조를 분석하기 위해 표시되었고, a~e 지점은 ^{12}CO 최대치가 나타나는 지점이다.

호관계에 대해 연구된 바 있는 이 지역을 Tatematsu et al.(1985)에서는 언급되지 않았던 지역까지 넓게 포함시켜 속도 구조의 특징적 변화를 알아보고자 한다.

3. 거대 규모의 구조적 특성

전갈의 형태를 띠는 S152 분자운 복합체 전체 형태를 분석하면, 여러 개의 고밀도 가스 밀집 영역들이 존재하며, 이와 함께 여러 곳에서 매우 가늘고 길게 나열된 특이한 모습의 팔들이 보인다.

그림 1은 FCRAO 탐사 자료에서 추출한 S152 분자운 복합체의 $^{12}\text{CO}(J=1\rightarrow 0)$ 전이선의 적분 밝기 지도이다. S152까지의 거리가 3.5kpc (Cox et al. 1987)이라고 가정하면, 관측된 영역은 $99' \times 43.5'$ 으로 $101\text{pc} \times 44\text{pc}$ 의 크기이며, 최대 $\sim 117.4\text{K km s}^{-1}$ 속도 적분 안테나 온도를 보인다. 중심부에는 OV9 형 들뜸별이 존재하고 있으며, ^{12}CO 가 가장 강하게 검출되는 분자운 내 위치는 기준(Cox et

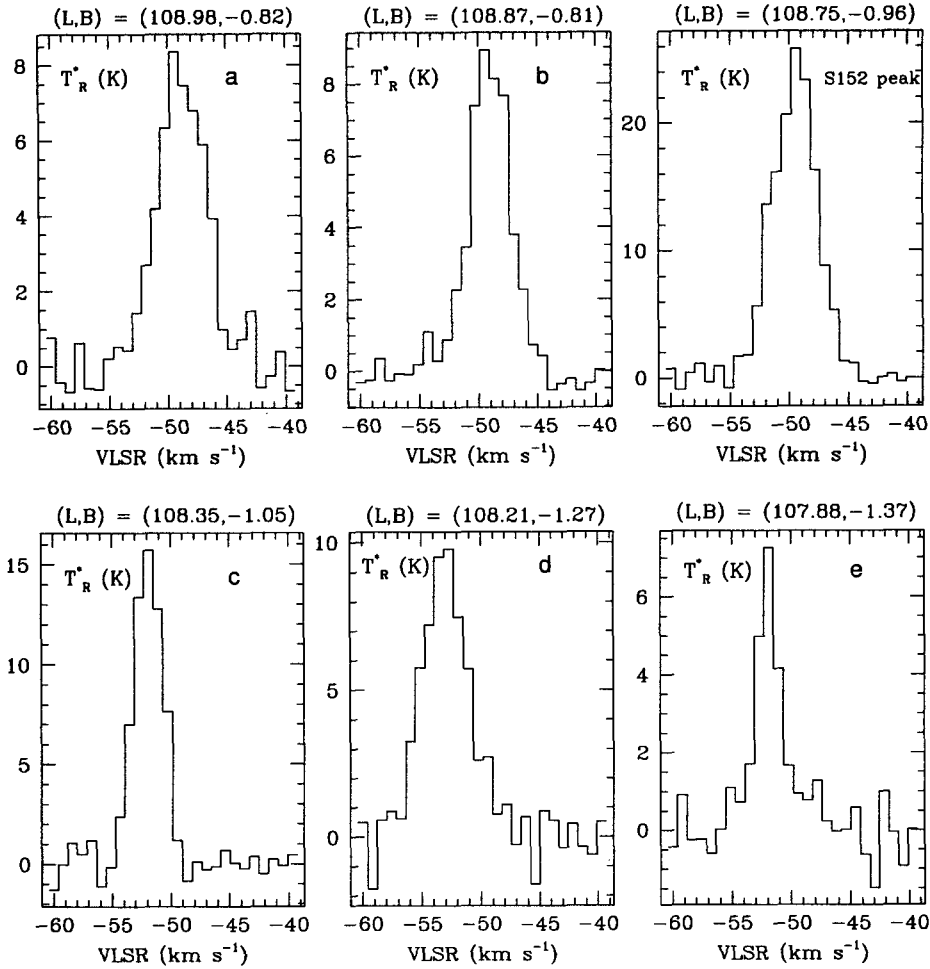


그림 2. S152 분자운 복합체 전체 지역에서 각 부분별 ^{12}CO 최대치가 나타나는 지점의 샘플 스펙트럼. a, b 지점은 집게 부분, S152 peak와 c, d 지점은 몸통 부분, e는 꼬리부분의 ^{12}CO 최대치 지점이며, Y-축 크기는 안테나 효율이 보정된 $T_R^*(=T_A^*/0.7 : 0.7\text{은 FCRAO의 전방 넘침 및 산란 효율})$ 이다.

al. 1987)에 밝혀진 들뜸별의 위치인 $R.A.(1950) = 22^{\text{h}}56^{\text{m}}36.6^{\text{s}}$, $Dec.(1950) = 58^{\circ}30'54''.6$, 은하 좌표 계로는 은경(L) = $108^{\circ}75$, 은위(B) = $-0^{\circ}95$ 지점 부근이다. 그림 1의 중심부와 같이 가장 밀도가 높게 집중되어 있는 곳이 S152 분자운에 해당된다. 그림 2와 표 1은 그림 1에 그려진 S152 분자운 복합체의 가스가 밀집된 영역에서 ^{12}CO 최대 안테나 온도가 나타나는 지점에서의 관측 변수와 스펙트럼선을 보여준 것이다. a, b, S152 영역에서는 $VLSR \sim -50\text{km s}^{-1}$ 정도의 값을 보이며, c, d, e에서 약 -53km s^{-1} 부근에서 최대가 나타나고 있다. b, S152 peak, c, d 지점은 S152 분자운 복합체의 기존 연구 결과(Tatematsu et al. 1985)에서 ^{12}CO 최대가 나타났던 지점과 비슷하게 나타났고 두 개의

표 1. 그림 1에서 ^{12}CO 최대치가 나타나는 지점(a~e, S152 peak)의 관측 변수. 6개 지점 중 S152 peak 위치가 가장 강한 세기로 검출되었다.

구분 (픽셀위치)	$L(^{\circ})$	$B(^{\circ})$	$V_{\text{LSR}}(\text{km s}^{-1})$	$T_{\text{R}}^*(\text{K})$	$T_{\text{A}}^*(\text{K})$	$\int T_{\text{A}}^* dv(\text{K km s}^{-1})$	$\Delta V^a(\text{km s}^{-1})$
a (35, 59)	108.98	-0.82	-50.0	8.36	5.85	42.96	7.34
b (43, 60)	108.87	-0.81	-50.0	8.93	6.25	38.90	6.22
S152 peak (51, 49)	108.75	-0.96	-50.4	25.8	18.06	117.40	6.50
c (80, 42)	108.35	-1.05	-53.0	15.2	10.64	52.46	4.93
d (90, 27)	108.21	-1.27	-53.5	9.52	6.66	50.21	7.53
e (113, 20)	107.88	-1.37	-53.0	7.5	5.04	22.55	4.47

^{a)} $\Delta V = \int T_{\text{A}}^* dv / T_{\text{A}}^*$ (Tatematsu et al. 1985)

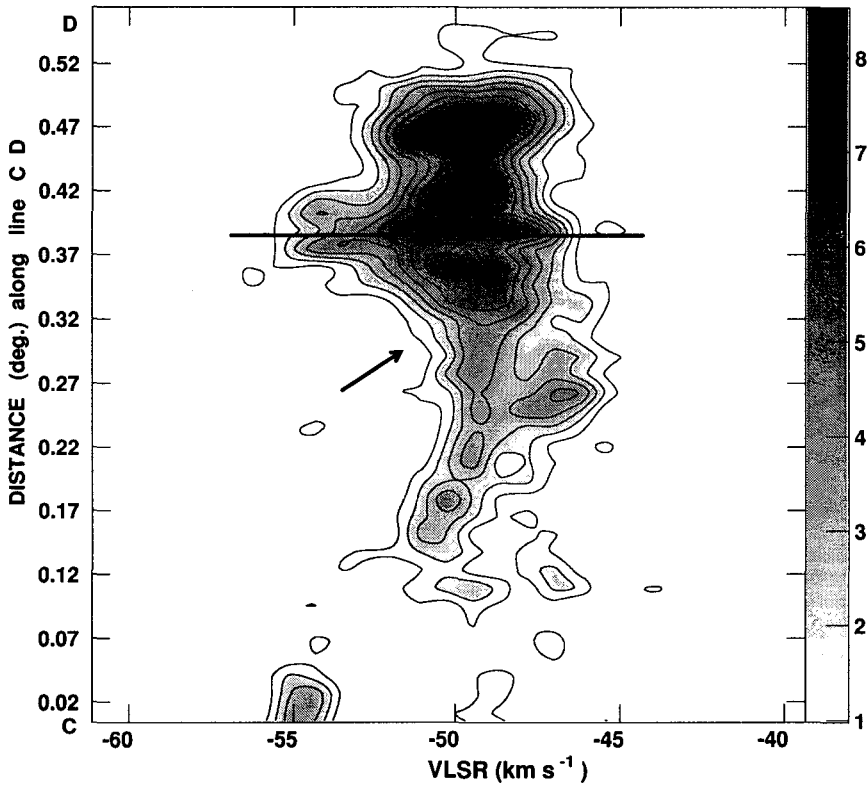


그림 3. 그림 1에서 CD 방향으로 잘라낸 지역의 거리에 따른 속도 구조 변화. 등고선의 최대 세기는 1~8.5K 까지 1K 간격으로 그려졌다. 넓은 속도폭을 보여주는 가로선은 a지점 근처이며, 화살표는 SNR G109.1-1.0과 S152 분자운 복합체의 집계부분이 접하는 부분이다.

분자운 그룹으로 나누어 분석한 것과 잘 부합하고 있으며, a, e 지점은 추가 분석된 지점이다. 각각의 최대 안테나 온도 위치에 대해 Tatematsu et al.(1985)에서는 적경, 적위 좌표로 표현되었지만 본 분석에서는 L-B로 표현되어, 표 1에 은경, 은위로 표시되어 있다. 이 외에, S152 분자운 복합체의 외

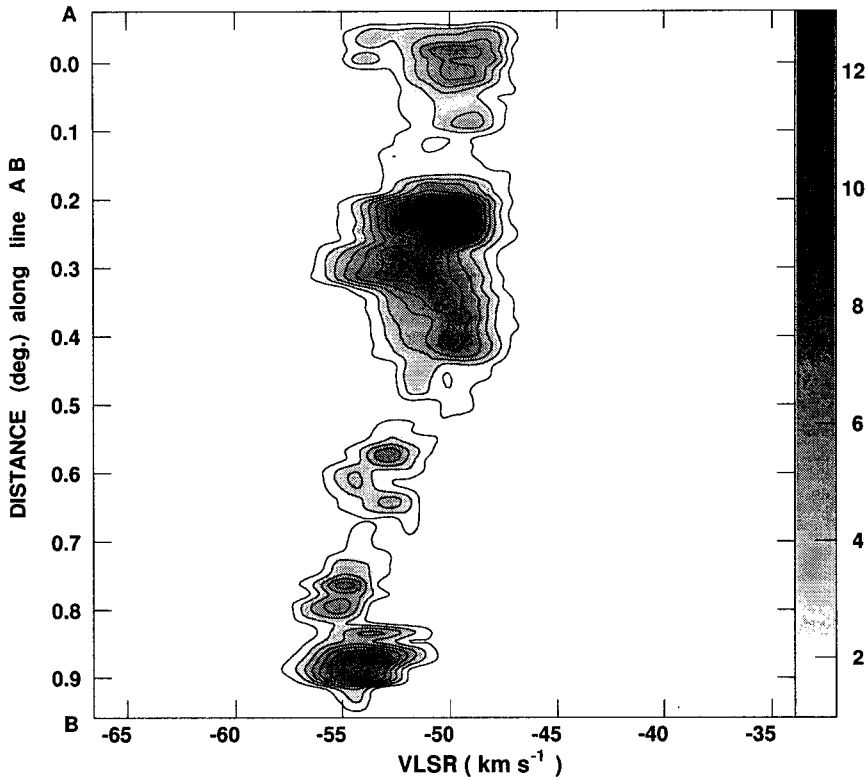


그림 4. 그림 1에서 AB 방향으로 잘라낸 지역의 거리에 따른 속도 구조 변화. 등고선의 세기는 1~13K까지 1K 간격으로 그려졌다. 맨 위쪽부터 아래쪽 방향으로 b, S152 분자운, c, d 지점의 부근의 속도성분을 보여준다.

곽 상단에 분리되어 나타나는 또 다른 고밀도 분자운 영역이 보이는데 Sharpless 목록에 나타나 있지는 않지만 비교적 강한 전파가 방출되며 중심 온도 $T_R = 17.2K$ 정도로 별 탄생 지역의 목록에는 포함되어 있다. 이 지역이 S152 분자운 복합체와 물리적인 연관성이 있는 지역인지는 추가적인 연구가 요구된다.

지금부터는 '전갈'의 형태를 띠는 S152 분자운 복합체에 대해서 편의상 '전갈'의 집게와 머리, 몸통, 꼬리 부분으로 나누어, SNR 109.1-1.0이 접하는 부분인 '전갈'의 집게와 머리 부분부터 몸통, 꼬리 방향으로 차례로 분석해 나가고자 한다.

3.1 '전갈의 집게와 머리' 형태 구조

그림 1에서 S152 분자운을 중심으로 좌측에 상, 하로 '전갈의 집게'처럼 늘어진 반구 형태의 가스 분포가 있는데, 그 모습이 초신성 잔해와 연관되어 있는 것처럼 보인다. S152 분자운의 좌측 위치에 SNR G109.1-1.0 (CTB109)으로 명명된 초신성 잔해가 있다. 이것은 1980년 엑스선 폭발대에서 처음으로 발견되었고(Gregory & Fahlman 1980), 이 지역 중심 위치에 엑스선 맥동성 1E2259+586이 위치하고 있다(Fahlman & Gregory 1981, 1983). C-D 방향에 있는 팔 형태 구조에서 C부분에 분자운

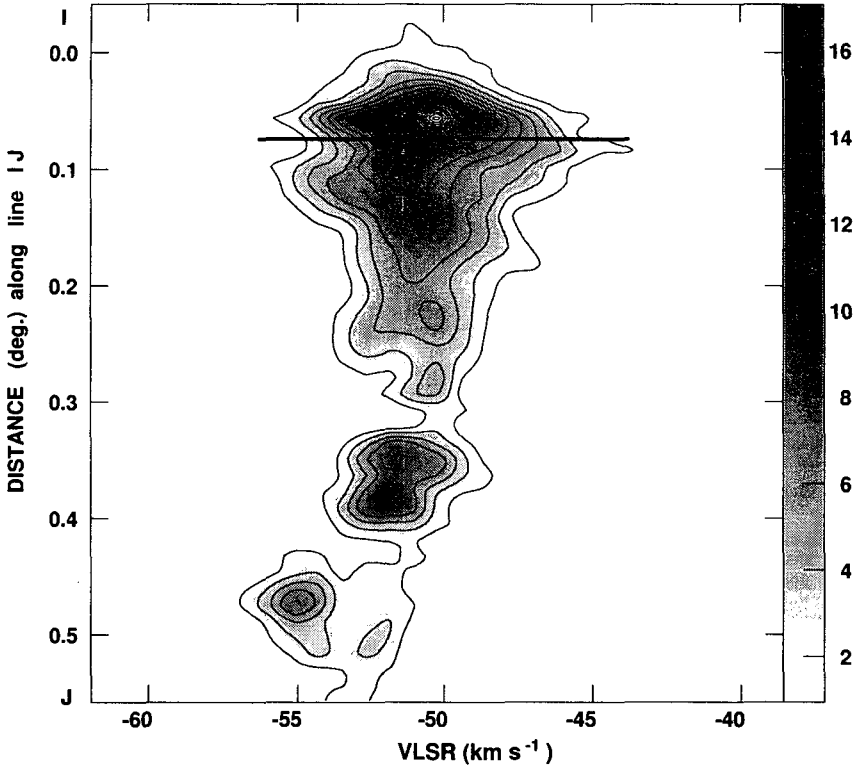


그림 5. 그림 1에서 IJ 방향으로 잘라낸 지역의 거리에 따른 속도 구조 변화. 등고선의 세기는 1~17K 까지 1K 간격으로 그려졌다. 상단의 넓은 속도 폭을 보이는 가로선은 S152 peak 지점에 해당된다.

팔을 둘러싸고 엑스선 제트가 구부러져 나타난다고 알려져 있다(Tatematsu et al. 1985). 구부러진 형태의 엑스선 제트의 스펙트럼 자료 분석 결과 ‘전갈의 집게 부분’의 가스운이, 초신성 잔해에서 방출된 엑스선을 흡수하는 것으로 보인다(Tatematsu et al. 1987, 1990).

SNR G109.1-1.0이 팽창하면서 주위의 가스를 밀어 내어 뚜렷한 반구 형태를 보이게 된 것으로 추정된다. 그런데 이 초신성 잔해가 S152와 S153 지역의 들뜸별들을 형성시켰을 가능성은 희박하다. 왜냐하면 Sofue et al.(1983)에 의해 계산된 초신성 잔해의 나이는 1.5×10^4 년이고, S152와 S153의 나이는 10^6 년으로 큰 차이가 있기 때문이다(Tatematsu et al. 1987).

그림 3은 그림 1에서 C-D 방향으로 잘라낸 지역의 속도 구조 변화를 보여주는데 C지점에서 D 지점으로 거리가 증가하도록 그려졌다. 작은 화살표와 같이 오른쪽으로 움푹 파인 부분이 집게 부분의 안쪽 면에 해당되고 거리 0.37° 부근에 넓은 선폭을 보인 곳은 그림 1의 a 지점에 해당되며 $\Delta V = 7.34 \text{ km s}^{-1}$ 이다. 이 분자운에서 이처럼 넓은 선폭을 보이는 지역은 상대적으로 높은 난류를 보이는 곳이라고 생각된다. 최상단에 가장 길게 그려진 부분은 b지점 일대이며 팽창하는 초신성잔해와 직접 연관되어 새로운 별 탄생이 이루어질 가능성이 높은 지역으로 생각된다. 전반적인 이 지역의 속도 구조를 보면, 여러 다른 속도 성분들이 존재하는 것을 볼 수 있다. D지점으로 갈수록 a, b 지역 일대를

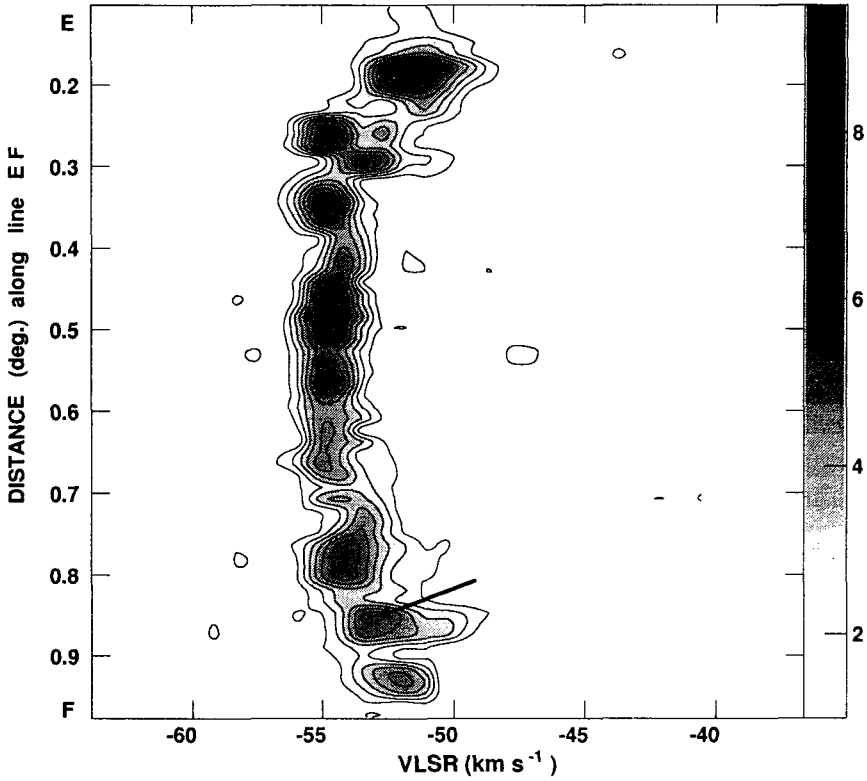


그림 6. 그림 1에서 EF 방향으로 잘라낸 긴 꼬리 속도 구조 변화. 등고선의 세기는 1~9K 까지 1K 간격으로 그려졌다. 하단의 화살표는 e 지점에 해당된다.

포함하여 -50km s^{-1} 의 중심 속도를 보이고 있지만, $0.22^\circ \sim 0.27^\circ$ 부근에서는 $-50 \sim -47\text{km s}^{-1}$ 부근에서 CO 최대치가 나타난다. 이것은 집계와 머리 부분에서 두 개의 다른 속도구조를 갖고 두 개의 다른 CO 최대치가 $\text{VLSR} = -50$ 과 -48km s^{-1} 에서 나타났다(Tatematsu et al. 1990)는 기존 결과와 비슷한 결과이다.

3.2 '전갈의 몸통' 모양 구조

S152분자운이 포함된 '전갈의 몸통 부분' 속도 구조를 그림 1에 표현된 것과 같이 선 A-B, I-J 방향 두 군데로 나누어 분석하였다. '전갈의 집계와 몸통' 부분을 관통하는 속도 구조를 보여주는 그림 4는 VLSR 의 범위가 $-57 \sim -47\text{km s}^{-1}$ 정도로 비교적 넓은 범위의 속도 분포를 보이고 있다. 전체적인 특징을 보면 A 지점에서부터 B 지점까지 크게 4개 정도의 덩어리진 부분이 보이는데 CO 최대치가 나타나는 밀집된 영역을 보면 제일 위쪽 부분이 b지점 일대이며 두 번째 부분은 S152 분자운. 세 번째와 네 번째가 각각 c, d 지역 일대로 추정된다. 각각의 속도 성분은 그림 2와 표 1에서 보인 것과 같이 두 개의 속도 구조 덩어리를 보인 것과 잘 일치하고 있다. 또 이 지역의 전체 속도 기울기는 약 $0.25\text{km s}^{-1}\text{pc}^{-1}$ 로 일반적인 분자운에서 나타나는 속도 기울기와 크게 차이 나지 않았다.

그림 5는 초신성 잔해와 인접한 지역에서부터 거리가 멀어짐에 따라 어떤 구조적인 특징을 보여주는지 분석하기 위해 그려진 그림이다. 맨 위쪽의 덩어리진 부분이 S152 분자운 일대의 속도 구조를 보여주고 있는데 I 지점에서 S152 분자운과 만나는 부분에서 -50km s^{-1} 를 중심으로 넓은 속도 폭을 보이다가, J 방향으로 갈수록 점차 좁은 선폭을 보이면서 중심속도는 점차 -55km s^{-1} 근처로 구조가 변하는 것을 확인할 수 있다. 초신성 잔해와 분자운이 접하는 지역에서 충격파의 영향을 받아 넓은 속도 폭을 보이다가 거리가 멀어짐에 따라 초신성 잔해의 직접적인 영향에서 벗어나 다른 속도 성분 덩어리로 존재하고 있다고 추정된다.

3.3 '전갈의 꼬리' 모양 구조

본 연구에서 새롭게 분석된 '전갈의 꼬리 부분'은 그림 2와 표 1에서 본 바와 같이, CO 최대치선 모양과 값을 비교해 볼 때, S152 분자운 지역에 비해 상대적으로 낮은 적분 밝기를 보임으로써 비교적 조용한 지역으로 추정된다. 그림 6과 같이, 그림 1로부터 E-F 방향으로 잘라낸 부분을 보면 '전갈의 몸통 부분'에서 이어지는 '꼬리 부분'의 모습이 매우 특이하게 거의 일직선으로 나열되어 있다. 이 부분은 상대적으로 작은 가스 덩어리들로 구성되어 있다. 각각의 덩어리들은 평균적으로 각-크기가 0.03° 정도로 직경이 약 1.8pc 정도이고, 거의 일직선으로 나열된 모습은 전체적으로 동일한 역학적 환경 아래서 형성 유지되고 있는 것으로 생각된다. 또, 이런 길쭉한 모양 구조가 보이는 것은, '전갈의 집게' 부분처럼 초신성 잔해의 영향을 받아서 구부러지거나 휘었을 것으로 생각되는 것과 달리, 이 지역의 구조를 변화시킬만한 천체가 근처에 없어 동일한 물리적 조건을 유지할 수 있었기 때문으로 추정된다. 그림 6에서 최상단에 보이는 덩어리에서 0.3° 부근까지는 그림 5의 $0.3^\circ \sim 0.5^\circ$ 부근과 동일한 위치로 '전갈의 몸통 부분'의 속도 성분 약 -50km s^{-1} 을 보이다가 꼬리 부분 0.8° 부근까지 -54km s^{-1} 의 속도 성분을 유지하고 있다가 그림 1의 e 지점인 그림 6의 화살표 지점에서는 -53km s^{-1} 에서 최대치를 보이며, 끝 부분에서는 -52km s^{-1} 정도의 속도 성분으로 구성되어 있다.

4. 토 의

3장의 속도 구조 분석으로부터 S152 분자운 복합체 전체 지역에는 여러 속도 성분이 함께 존재한다는 것을 알 수 있었다. 이들 각각의 속도 성분들은 아마도 별개의 서로 다른 가스운 구성원들일 가능성이 높다. 그림 7은 그림 1에서 보는 바와 같이, G-H 방향으로 잘라낸 속도-위치 지도로 이 지역의 전체적인 속도 구조를 분석하기 위한 것이다. G의 시작 위치인 최상단의 덩어리진 부분이 a 지점 일대이며 H지점에는 e가 포함되어 있다. 이 그림에서 뚜렷이 구분되는 두 개의 속도 기울기가 보인다. 이들의 속도 기울기 값은 각각 $0.16, 0.21\text{km s}^{-1} \text{pc}^{-1}$ 인데, 흥미로운 점은 속도 기울기의 방향이 서로 반대라는 점이다. 앞선 논의에서 보이는 속도 기울기들도 매우 잘 정렬되어 일직선으로 나타나는 점에서 이 분자운의 큰-규모의 회전에 의한 것으로 생각된다. 그림 7에서 보이는 서로 다른 두 속도 기울기는 전갈의 c 지점 최대치 근처를 기점으로 서로 반대 방향으로 회전하는 성간분자운들이 함께 존재하는 것처럼 보인다. 이것이 우연한 시선 방향의 일치인지 아니면 같은 지역 내에서 공존하는 별개의 두 개의 성간운인지는 확실하지 않지만, 형태적으로나 속도 값을 보면 한 지역에 공존하는 별개의 성간운으로 생각된다. 어떠한 물리적 상황에 의하여 이러한 구조가 형성되었을까? 첫 번째 가능성으로는 아마도 서로 다른 가스구름들이 합쳐지는 과정에서 기존의 각 운동이 유지된 채로 합쳐지는 과정일 수 있을 것 같다. 이러한 합병 과정의 충돌에 의하여 분자운의 경계 지역으로 생각

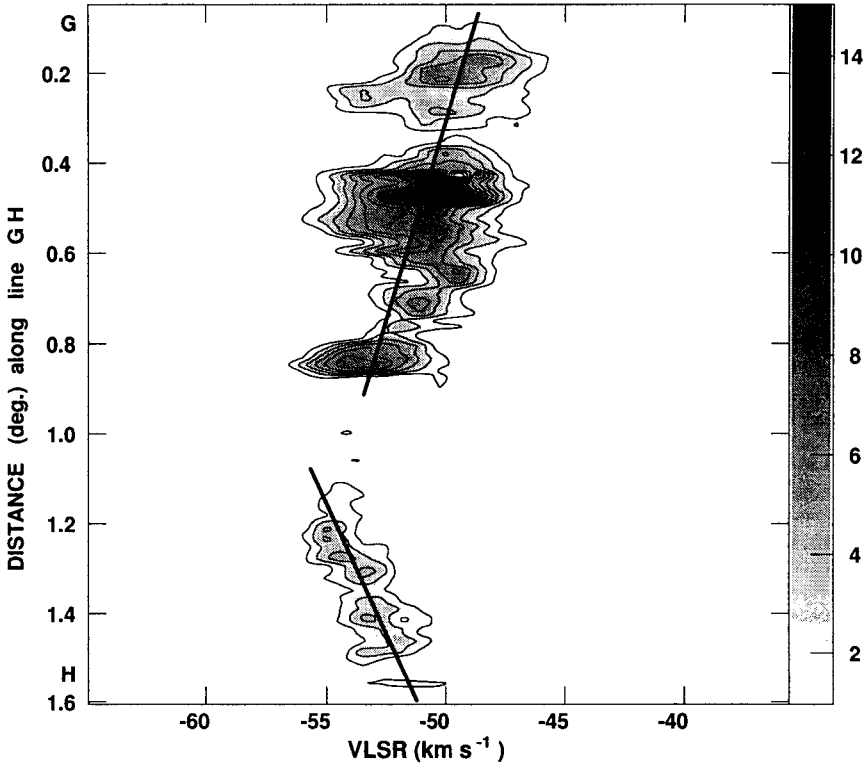


그림 7. 그림 1에서 GH 방향으로 잘라낸 거리에 따른 속도 구조 변화. 등고선의 세기는 1~15K 까지 1K 간격으로 그려졌다. c 지점 부근을 중심으로 G 방향으로 그려진 부분의 속도 기울기가 $+0.16\text{km s}^{-1}\text{pc}^{-1}$ 이며 H 방향으로서는 $-0.21\text{km s}^{-1}\text{pc}^{-1}$ 으로 서로 반대 방향의 속도 기울기를 보인다.

되는 HII 영역 S147/S148/S149 등에서 별 탄생이 촉발된 것으로 생각된다. 이 지역에서 보이는 높은 난류의 스펙트럼선들은 이러한 층들의 영향으로 생각된다.

또한 ‘전갈의 집게와 머리 부분’도 3.1절의 그림 3을 통해 논의하였듯이 집게 부분은 약 -48km s^{-1} 의 CO 최대치를, 초신성 잔해와 인접한 S152 분자운에서 보이는 약 -50km s^{-1} , ‘전갈의 몸통 부분’의 연장선에 있는 가스 구름의 약 -54km s^{-1} 과는 각각 -2 , -4km s^{-1} 의 속도 구조의 차이가 있는 것으로 보아, 이 지역에는 크게 세 부분의 각기 다른 성간운이 공존하는 것으로 보인다. 속도 성분의 차이에 따른 구조적 변화를 확인해보기 위해서 S152 분자운 복합체 전체 구조를 채널별 속도지도(그림 9)로 분석하였다. 분석 결과, S147, S148, S149가 포함된 전갈의 몸통 아랫부분과 꼬리부분의 구조는 약 -54.5km s^{-1} 로 보았을 때 자세한 구조를 드러내고, S152와 S153이 포함된 전갈의 몸통 부분은 약 -50.5km s^{-1} 근처에서 많은 속도 성분이 검출되었으며 전갈의 집게 부분인 상단부는 -48.8km s^{-1} 근처에서 구체적인 모습을 나타내었다.

초신성 폭발에 의한 초신성 잔해 팽창의 영향으로 주변 가스구름들이 전갈의 집게 부분과 같은 형태를 이루게 되었지만, 주요 가스 집중체인 S152 분자운 영역의 별 탄생은 3.1절에서 초신성 잔해

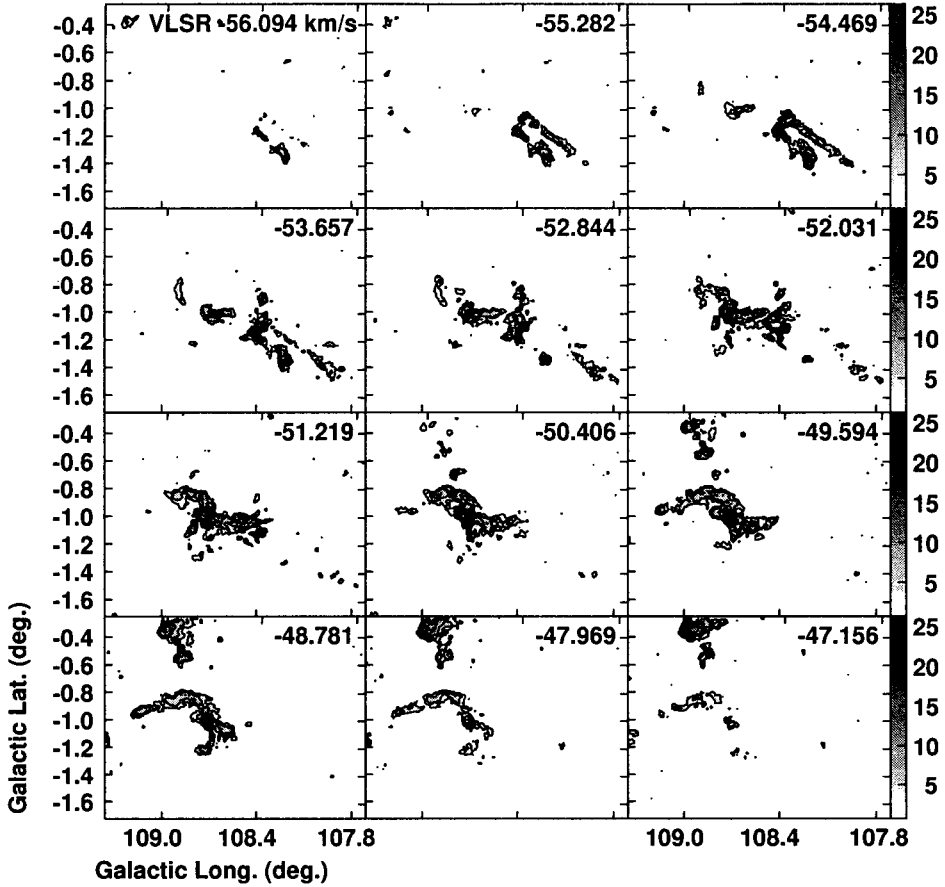


그림 8. S152 분자운 복합체 전체 지역의 ^{12}CO 의 채널별 속도 지도. -54.469km s^{-1} 에서 꼬리 구조와 몸통 아래 부분이, -50.406km s^{-1} 에서 S152 분자운을 포함한 머리와 몸통 부분, -48.781km s^{-1} 에서 집게와 머리부분이 뚜렷하게 보인다. 등고선 세기는 1~26K까지 2K 간격으로 그려졌다.

와 S152 분자운 내 들뜸별에 대한 나이 계산을 통해 확인했듯이 초신성 폭발 이전에 S152 분자운의 모태가 되는 원시성간운 간의 합병에 의한 충격에 의하여 이미 형성되어 있었던 것 같다. 그리고 또 다른 성간운이 ‘꼬리 부분’에 합병되면서 S147 그룹의 별 탄생을 촉발한 것이 아닌가 생각된다. 전체적으로 보면 여러 개의 잘 나열된 가스구름의 구조는 현재 보이는 초신성 잔해 외에, 아마도 전반적인 대규모 동역학적 현상이 이 지역의 가스구름들의 형태를 만들었고, 다시 이들이 합병되면서 현재와 같은 모습을 보이는 것으로 추정한다.

5. 결 론

FCRAO의 $^{12}\text{CO}(J = 1 \rightarrow 0)$ 탐사 자료를 분석하여 HII 영역 S152가 포함된 전갈 모양의 S152 분자운 복합체에 대한 전체 역학적 구조와 길쭉한 형태를 보이는 부분에 대한 속도 구조를 분석하였다.

S152 분자운과 이 분자운의 좌측에 위치한 초신성 잔해 SNR G109.1-1.0과의 상호 관계에 대해 언급된 부분을 포함하여 S152 분자운 복합체 전체 구조를 분석함으로써 기존 연구 결과와 비교하여 잘 발달된 분자운의 모습을 확인하였고, 기존 연구에서 언급되지 않았던 전갈의 꼬리 부분이 본 연구 결과에 의해 추가로 새롭게 분석되었다. 그런데, 이 꼬리 부분은 거리상 초신성 잔해 SNR G109.1-1.0의 영향권에서 떨어져 있고 인접한 곳에 또 다른 초신성 잔해나 꼬리 부분 분자운의 구조에 영향을 끼칠 수 있는 강한 천체가 없기 때문에 S152 좌측 부분의 반구 형태와 같은 특징적인 구조가 나타나지 않는 것으로 보인다.

S152 분자운 복합체의 전체 속도 성분을 분석한 범위는 전체 속도 구조가 가장 뚜렷이 보이는 $-60 \sim -40 \text{ km s}^{-1}$ 사이로 국한시켰다. 그림 8과 같이 전체 속도 채널 지도를 통해 보면, S152 분자운 복합체 전체 속도 구조는 세 부분으로 나누어지는데 SNR G109.1-1.0의 상단에 위치한 '전갈의 집게 부분'은 -48.8 km s^{-1} , S152와 S153이 포함된 '전갈의 몸통 부분'은 약 -50.5 km s^{-1} , S147/S148/S149가 포함된 '전갈의 몸통 아래 부분과 꼬리 부분'은 약 -54.5 km s^{-1} 로 보았을 때 구체적인 속도 구조를 나타내었다. 그림 7에서 c 지점을 중심으로 G 방향으로는 $+0.16 \text{ km s}^{-1} \text{ pc}^{-1}$ 이며 H 방향으로는 $-0.21 \text{ km s}^{-1} \text{ pc}^{-1}$ 으로 서로 반대의 속도 기울기를 보였다. 이것은 서로 다른 분자운이 각각 서로 다른 역학적 상태를 계속 유지하면서 상호 합병되는 과정에서 생긴 것으로 추정된다.

S152 분자운 복합체의 전체적인 모습을 보면 여러 가스 구름 밀집 영역들이 잘 나열된 모습으로 나타나는 구조를 보이는데 이것은 현재 보이는 초신성 잔해의 영향 외에 아마도 전반적인 대규모 동역학적 현상과 함께 합병 과정을 통하여 현재와 같은 모습을 형성했을 것으로 생각된다.

S152 분자운 좌측 부분은 초신성잔해 SNR G109.1-1.0에서 발생한 충격파의 영향으로 반구의 형태로 띠는 것으로 생각되는데, HCO^+ 나 SiO 와 같이 충격파를 추적할 수 있는 다른 분자선의 관측과 분석을 통해 S152 분자운과 초신성 잔해가 접하는 부분에 충격파의 영향이 있었는지 그리고 영향을 받았다면 이 지역의 화학적 특징이 어떻게 변화하는지에 대해 흥미로운 결과를 기대할 수 있을 것이다. S152 분자운 복합체 지역은 별 탄생과 성간 분자운의 진화, 그리고 이들의 역학적 관계를 연구하는 매우 흥미로운 천체로 생각된다.

감사의 글: 본 논문의 저자 중 최우열과 박명구는 한국과학재단 지원 우주구조와 진화 연구센터의 연구지원을 받았음을 밝힙니다. 아울러 많은 조언을 아끼지 않으신 심사위원들께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- Cox, P., Deharveng, L., & Caplan, J. 1987, *A&A*, 171, 277
 Dickinson, D. F., Frogel, J. A., & Persson, S. E. 1974, *ApJ*, 192, 347
 Fahlman, G. G., & Gregory, P. C. 1981, *Nature*, 293, 202
 Fahlman, G. G., & Gregory, P. C. 1983, in *Supernova Remnants and Their X-ray Emission*, IAU Symp. No.101, eds. J. Danziger & P. Gorenstein (Dordrecht: Reidel), p.445
 Gregory, P. C., & Fahlman, G. G. 1980, *Nature*, 287, 805
 Heydari-Malayeri, M., & Testor, G. 1981, *A&A*, 96, 219
 Heyer, M. H., Brunt, C., Snell, R. L., Howe, J. E., Schloerb, F. P., & Carpenter, J. M. 1998, *ApJS*,

115, 241

Kothes, R., Uyaniker, B., & Yar, A. 2002, *ApJ*, 576, 169

Sofue, Y., Takahara, F., & Hirabayashi, H. 1983, *PASJ*, 35, 447

Tatematsu, K., Fukui, Y., Iwata, T., Seward, F. D., & Nakano, M. 1990, *ApJ*, 157, 164

Tatematsu, K., Fukui, Y., Nakano, M. Kogure, T., Ogawa, H., & Kawabata, K. 1987, *A&A*, 184
279

Tatematsu, K., Nakano, M., Yoshida, S., Wiramihardja, S. D., & Kogure, T. 1985, *PASJ*, 37, 345