

SGR B2 지역에 있는 HCO⁺ 분자운의 특성 연구

민영철
한국천문연구원

HCO⁺ CLOUDS IN THE SGR B2 REGION

Y. C. Minh

Korea Astronomy Observatory, 61-1, Hwaam-dong, Yuseong, Daejeon 305-348, Korea
E-mail: minh@trao.re.kr

(Received November 5, 2004; Accepted November 17, 2004)

요 약

우리는 하중심에 있는 Sgr B2 분자운 지역에 대하여 HCO⁺ 1-0 천이선을 관측하여 이 지역의 역학적, 화학적 특성을 연구하였다. 이 지역에는 속도가 ~50과 ~100kms⁻¹인 가스 구름이 상호작용을 하고 있는 것으로 보이며, 이에 의하여 Sgr B2 분자운의 새로운 별-탄생이 촉진될 수 있다고 여겨진다. 속도성분이 ~50kms⁻¹인 지역에서, 뚜렷한 가스 집중을 보이는 “OF38 분자운”(Odenwald & Fazio FIR 38' Cloud)이 새로이 발견되었다. 이 분자운의 HCO⁺ 칼럼밀도는 $N(\text{HCO}^+) = (2 - 5) \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$, 크기는 약 15pc이며, 총 질량은 약 $10^6 M_{\odot}$ 으로 계산되었다. 그리고 이 Sgr B2 지역에는 속도 범위가 100kms⁻¹에 이르는 큰 규모의 터블런트한 컴포넌트가 넓게 퍼져 존재하며, 이 성분의 $N(\text{HCO}^+) = 1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 으로 상당한 양으로 존재함을 알 수 있다. 그러나 이 지역에서 관측되는 HCO⁺의 생성반응은, 기존에 제안되었던 H₃⁺와 CO의 반응보다는, 충격파의 영향에 의하여 증가하는 C⁺와 OH의 반응에서 보다 효과적으로 생성될 것으로 보인다. 새로이 발견된 “OF38 분자운”의 물리 화학적 특성을 밝히는 일은 앞으로의 과제라고 생각한다.

ABSTRACT

The HCO⁺ 1-0 transition line was observed toward the Sgr B2 region in our Galactic center. We found that there exist two large-scale velocity structures of $v_{\text{lsr}} \sim 50$ and $\sim 100 \text{kms}^{-1}$, which are thought to interact with each other. A new gas clump “OF28 Cloud” (‘Odenwald & Fazio FIR 38’ Cloud), showing different chemical and kinematical properties with the Sgr B2(M) cloud, was found in the 50kms^{-1} gas component. Toward the core of this component, we derive the HCO⁺ total column density, $N(\text{HCO}^+) = (2 - 5) \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ and the mass $M = 1 \times 10^6 M_{\odot}$, by estimating its size, $\sim 15 \text{pc}$, from the half-power width of this component. We also found that there is a highly turbulent component in this region in the velocity range of about 100kms^{-1} . The column density of this component is $N(\text{HCO}^+) = 1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$. The HCO⁺ in this region may form effectively by the reaction between C⁺ and OH, which are the elements whose abundances increase rapidly in shocked region.

Keywords: SM, interstellar molecule: HCO⁺, galactic center, Sgr B2

1. 서 론

태양으로부터 약 8.5kpc 떨어져 있는 우리 은하의 중심에는(은하중심까지의 거리에 대한 상세한 논의는 Reid(1989) 참조) 많은 양의 중성가스가 집중되어 있다. Sgr B2 분자운은 이곳에 위치한 거대 분자운 컴플렉스의 하나로 우리은하의 중심인 Sgr A*로 부터는 약 100-200pc 정도의 거리에 있는 것으로 생각된다(참조: Liszt 1988). 우리 은하계의 다른 거대분자운들과 비교하여 볼 때, Sgr B2 분자운은, 그 밀도나 총 칼럼밀도 등에서, 매우 극단적인 경우에 속한다. 또한 이 분자운은 매우 높은 밝기의 무거운 별들이 집단으로 탄생되고 있는 아주 흥미로운 천체로, 우리 은하계에서 가장 광범위 하게 연구된 천체의 하나이다(예: Irvine, Goldsmith, & Hjalmarson 1987). Sgr B2 분자운은 전체 크기가 약 45pc 정도에 이르고, 평균밀도는 약 2500cm^{-3} 으로, 전체 질량은 $5 \times 10^7 M_{\odot}$ 에 이른다(Scoville, Solomon, & Penzias 1975, Lis & Goldsmith 1989, Gordon et al. 1993).

Sgr B2 분자운의 중심부에는 전체 질량의 약 10%를 차지하는 “주-가스운(Principal Cloud)”이 있다. 크기가 약 5-10pc 정도의 이 가스운은, 매우 밀도가 높으며($n(\text{H}_2) = 3 - 30 \times 10^4\text{cm}^{-3}$), 중심부분의 남-북 방향으로, 무거운 별들이 집단으로 탄생하고 있는, 잘 발달한 별-탄생 코어, Sgr B2(M), (N), (S)가 존재하고 있다(참조: Irvine, Goldsmith, & Hjalmarson 1987, Lis & Goldsmith 1991, Minh et al. 1998). 그 중에서도 서로 약 2pc 정도 떨어져 있는 (M)과 (N) 코어는 각각 질량이 $10^4 M_{\odot}$ 정도이며, 밀도는 10^7cm^{-3} 이상으로, 아주 활발한 별 탄생과 다양한 화학적 특성을 보여 준다(Lis & Goldsmith 1991).

다양한 특성의 이 거대분자운에 대한 연구는 주로 중심부분의 별-탄생 코어에 집중되어 왔다. 그러한 이유는, 별-탄생 코어들이 상대적으로 강한 천이선들을 보이기 때문에 일차적으로 관측이 비교적 쉽다는 점과 함께, 이 코어들이 보이는 다양한 화학적 특성이 매우 흥미롭기 때문일 것이다. 이 Sgr B2 분자운에 대하여 관측된 스펙트럼선들은 매우 넓은 선폭(line-width)을 보이며(수 십 km s^{-1} 이상의), 복잡한 방출 구조가 존재함이 알려져 왔으나, 중심부분에 대하여 많은 연구가 집중되어 왔다. 그 외에는 CO 분자선 등을 이용한 은하계 중심지역에 대한 전반적인 연구가 있었으며, Sgr B2의 주변 지역에 대한 역학적 구조에 대한 연구로는 ^{13}CO 나 CS 천이선 등을 이용한 역학적 구조에 대한 연구가 있었다(예: Hasegawa et al. 1994, Sato et al. 2000). 이번 연구에서는 HCO^+ 성간분자의 천이선을 이용하여 Sgr B2 주변의 넓은 지역을 관측하여 이 분자운과 연관된 역학적 구조를 확인하고, 이러한 구조가 이 분자운의 별-탄생을 촉진하거나 흥미로운 다른 현상을 유발하는 근원적인 이유가 되는지를 연구하였다.

HCO^+ 분자는 CO와 밀접하게 연관된 분자로 알려져 왔으며, 크기는 분자운의 전체적인 총 칼럼 밀도의 추적자로서 여겨져 왔다. 우선 HCO^+ 의 천이선들은 광학적 깊이가 CO 분자선들보다 작아 넓은 지역의 밀도를 보다 잘 추적할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 HCO^+ 분자는 그 생성과정, 충격파의 영향에 있는 지역인 저밀도 성운에서의 전혀 다른 생성과정(Turner 1995)이 존재하므로, 이러한 지역에서 그 분자량이 증가될 수 있다는 점에서 CO와는 다른 새로운 현상이 추적될 수 있을 것으로 예측된다. 다음의 2장에서는 HCO^+ 분자선의 관측에 대하여, 그리고 3장에서 HCO^+ 의 관측 결과와 이로부터 예상되는 새로운 현상에 대한 논의를 정리하였다. 결론은 4장에 요약하였다.

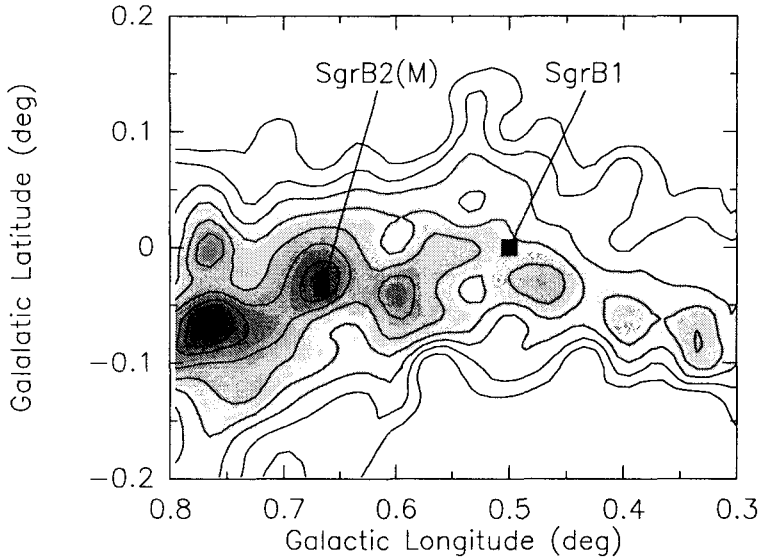


그림 1. 관측된 HCO⁺ 1-0 선의 적분강도($\int T_A^* dv [K \text{ km s}^{-1}]$) 지도. 등고선의 강도는 제일 낮은 등고선의 세기가 $20K \text{ km s}^{-1}$ 이며, $15K \text{ km s}^{-1}$ 씩 증가한다.

2. 관 측

관측은 2000년 4월에 칠레 라시야(La Silla, Chile)에 위치한 지름 15미터의 SEST(Swedish-ESO telescope) 전파망원경(Booth et al. 1989)을 사용하여 수행되었다. 관측된 분자선은 HCO⁺ 1-0(89.188GHz)으로 SIS 수신기를 이용하였다. 1500 채널의 음향광학분광기(acousto-optic spectrometer)가 사용되었는데 채널당의 주파수 간격은 0.69MHz 이지만, 주파수 분해능은 대략 1.2 MHz이다. 관측된 주파수(89GHz)에서의 전파망원경의 빔-크기(HPBW)는 57호초(arcsecond)이며 주-빔 효율(main beam antenna efficiency)은 75%이었다.

관측된 영역은 은하경도 $l = 0.3^\circ \sim 0.8^\circ$ 그리고 은하위도 $b = -0.2^\circ \sim +0.2^\circ$ 의 지역이며, 양쪽 방향으로 2호분(arcminute) 씩의 간격으로 전체 지도가 만들어졌으며, 스펙트럼들은 위치-변환(position switching) 방법으로 관측되었다. 이때의 참고위치(reference position)로는, 관측하는 속도영역에서, 관측대상 천이선들이, 관측 예정 rms 값 이상으로 관측되지 않는 위치인 $(l, b) = (0, 2.5^\circ)$ 를 사용하였다. 이 논문에서 사용된 안테나 온도(T_A^*)는 안테나 손실과 대기손실(atmospheric loss)이 표준 쇼퍼-휠(chopper wheel) 방법으로 보정되었으나, 천체의 밀도분포를 고려한 빔-희석(beam dilution)은 고려하지 않았다. 관측된 주파수에서의 대표적인 시스템 잡음온도는 약 150K(SSB)이었으며, 관측된 스펙트럼들의 대표적인 rms 값은 약 0.15K 이었다.

3. 결과 및 토의

그림 1은 관측된 HCO⁺ 1-0 천이선의 총 적분강도 지도(integrated intensity map)이다. 전체적으로 방출 세기가 우리 은하면을 따라 분포되어 있는 것으로 나타난다. 총 칼럼 밀도의 피크로 알려

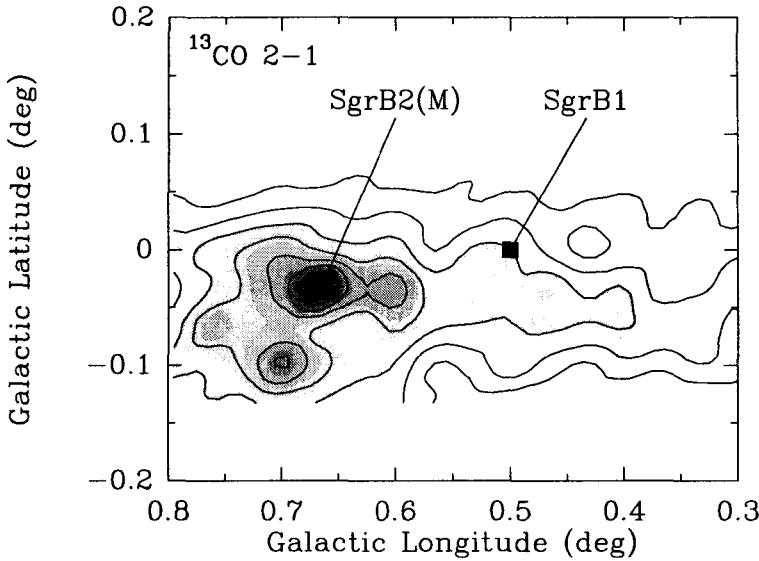


그림 2. ^{13}CO 2-1선의 적분강도 지도로(Minh, Irvine, & Kim 2004, 그림 1에서 채용). 등고선의 강도는 제일 낮은 등고선의 세기가 100K kms^{-1} 이며, 30K kms^{-1} 씩 증가한다.

저 있는 Sgr B2(M) 위치에서 방출세기가 상대적으로 증가하고 있지만 그렇게 큰 집중현상을 보이지 않으며, 그보다는 $(l, b) = (0.77^\circ, -0.07^\circ)$ 에서 보다 강한 방출을 보인다. 그 지역에 HCO^+ 로 추적되는 고밀도의 코어가 존재하고 있음을 알 수 있다. 이 코어는 특정 분자의 집중체로서는 아직 보고된 적이 없는 것으로 여겨지지만, 앞선 원-적외선 관측연구($40\text{--}250\mu\text{m}$, Odenwald & Fazio 1984)에서 발견된 $(l, b) = (0.75^\circ, -0.05^\circ)$ 위치의 “FIR 38” 소스가 이 HCO^+ 코어와 거의 일치하는 것으로 여겨진다. 따라서 편의상 이 가스덩어리를 “OF38 분자운”(“Odenwald & Fazio FIR 38’ Cloud”)라고 부르기로 한다. 이 FIR 소스는 연속파 전파는 확인이 되지 않는 것으로 보아 아직 새로운 별이 형성되어 있지는 않은 것 같다. 아직 별이 탄생되지는 않았고, 또한 화학적으로 특이한 현상을 보이는 이 ‘OF38 분자운’은 매우 흥미로운 연구대상이 될 것 같다.

전반적인 세기 분포를 비교하기 위하여, 대규모적인 세기 분포의 추적자로 사용되는 CO 분자 중에서 보다 광학적 깊이가 작은 ^{13}CO 분자선 지도를 그림 2에 포함시켰다. ^{13}CO 분자선은 ^{12}CO 분자선보다는, 우리은하중심에서의 동위원소 비($[^{12}\text{C}]/[^{13}\text{C}]$)인 약 25배(참조: Minh, Irvine, & Friberg 1992) 정도 광학적 깊이가 작다. 그래도 가스가 집중되어 있는 지역에서의 광학적 깊이는 여전히 클 것으로 생각 되므로, 고밀도 코어에서는 여전히 정확한 칼럼밀도를 추적하지는 못하겠지만, 큰 스케일의 전체적인 분포에서는 비교적 정확히 전체 밀도를 보여주고 있다고 예상된다. 그림 2에서 보이는 ^{13}CO 분자선의 방출세기는 일반적인 예상대로 (M) 위치에서 가장 강한 피크를 보이며, 전반적으로 이 점을 중심으로 구형의 세기 분포를 보인다.

그림 2와 그림 1을 비교하여 보면, HCO^+ 방출선 세기는 상당히 다른 모습을 보인다. 우선 은하면을 따라 방출선의 세기 분포가, ^{13}CO 만큼 (M)위치에 집중되어 있지 않고, 어느 정도 퍼져 있으며

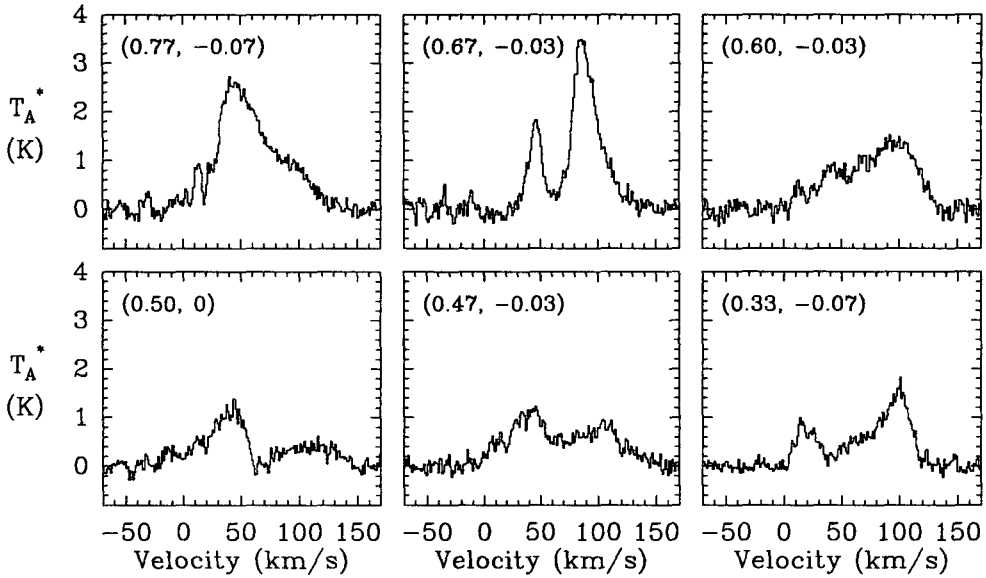


그림 3. 관측된 스펙트럼의 샘플. 관측된 지역의 위치는 각 패널의 왼쪽 위에 있으며 이들의 관측 파라메타는 표 1에 있다. 관측된 스케일은 T_A^* (K)로 설명은 2장에 있다.

표 1. 그림 3에 관측된 스펙트럼들의 파라메타로 2-가우시안을 적용하여 구한 값.

위 치(l, b) (degree)	v_{lsr} (kms^{-1})	$\Delta v(\text{FWHM})$ (kms^{-1})	T_A^* (K)	$\int T_A^* dv$ (K kms^{-1})	$\text{rms}(1\sigma)$ (K)
(0.77, -0.07)	47.2	40.3	2.5	106.8	0.15
	91.8	41.9	0.9	39.9	
(0.67, -0.03)	45.8	14.3	1.7	26.5	0.18
	89.0	26.2	3.2	90.4	
(0.60, -0.03)	52.9	62.4	0.8	51.8	0.18
	99.5	39.1	1.2	51.4	
(0.50, 0)	37.0	36.9	1.1	42.9	0.15
	110.3	44.6	0.4	20.8	
(0.47, -0.03)	38.4	46.8	1.0	50.8	0.16
	102.3	46.3	0.8	38.6	
(0.33, -0.07)	19.9	23.4	0.8	19.9	0.14
	93.3	41.7	1.3	57.5	

덩어리진 모습을 보인다. 특히 ¹³CO 지도에서는 ‘OF38 분자운’도 나타나지 않는다. 이러한 사실은 HCO⁺ 분자가 일반적으로 생각하는 것처럼 전체 칼럼밀도를 잘 추적하는 것은 아니라는 사실을 보여준다. 그림 1의 관측결과는 HCO⁺ 분자가, 가스밀도의 증가에 따라 어느 정도 일정하게 함량이 증가 하겠지만 그 외에, 물리적인 환경의 변화에 대한 다른 화학적 특성의 분자 생성과정이 있기 때문에 가능할 것으로 예측된다. 이와 관련한 화학적 반응에 대하여는 아래에 다시 논의한다.

그림 3은 관측된 분자선의 몇 지역 샘플들을 보여 준다. 관측된 위치는 각 패널의 왼쪽 위에 표시되어 있다. 그리고 표 1은 이 분자선들의 관측 파라메타들이다. 우선 수 십 kms^{-1} 에 이르는 매우 큰

선폭(line-width)을 볼 수 있는데, 크게는 두 가지 속도, 대략 50kms^{-1} 와 100kms^{-1} 의 성분으로 분리되어 보인다. Sgr B2(M) 위치 근처인(0.67, -0.03)의 스펙트럼은 분명히 분리된 두 속도 성분을 보이는데, 이 지역은 워낙 밀도가 높기 때문에, 많은 분자선들이 자체-흡수(self-absorption) 선의 모습을 보이는 지역이다. HCO^+ 분자선도, Sgr B2의 주-속도 성분인 65kms^{-1} 에서 흡수선의 모습을 보이는데 어느 정도 자체-흡수 되었을 가능성이 매우 크다. 그러나 다른 위치에서 관측된 전체적인 결과를 보면, 이 지역에도 서로 다른 두 속도 성분의 가스 구름이 존재한다고 보아야 할 것이다. 이러한 분석은 앞으로 다른 동위원소를 포함하는 HCO^+ 분자선을 관측하여 확인하여야 할 것이다. 그러나 다른 지역들은 총 밀도가 상대적으로 낮은 지역으로 이곳에서 나타나는 스펙트럼선의 모습들은, 크게는 두 속도 성분으로 분명히 분리되면서, 터블런스의 영향을 많이 받은 모양을 보인다. Sgr B2 지역 전반에 걸쳐 여러 속도 성분들의 구조적인 운동이 존재하는 것으로 보인다. 이들의 상호 연관이 이 지역의 진화에 중요한 영향을 미칠 것이다.

전체적인 스펙트럼의 모습을 체계적으로 보기 위하여, 관측된 지역의 위치-속도 지도(space-velocity map)가 그림 4에 있다. 앞에서 스펙트럼선에 대한 설명에서 언급하였던, 넓은 선-폭을 분명히 볼 수 있다. 이 지도의 첫 등고선의 강도는 0.5K 이다. 이 등고선의 속도 범위는 거의 100kms^{-1} 에 이르며, 관측된 넓은 지역에 퍼져 분포한다. 이 속도 성분을 따로 분리하여 내기는 어렵지만, 이 Sgr B2 지역에는 넓은 지역에 퍼져있는, 높은 정도의 터블런스를 가지는 가스가 존재하고 있음을 알 수 있다. 만일 선의 강도가 0.5K 이고 속도범위는 약 100kms^{-1} 에 걸쳐 분포하는 성분이 존재한다면, 이 가스성분의 칼럼밀도는, 분자회전 온도를 $20\text{--}50\text{K}$ 로 가정하면(참조: Nummelin 1998), $N(\text{HCO}^+) = (0.7 - 1.6) \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 이 된다. 이를 총 수소분자 칼럼밀도로 환산하기 위하여는 총 수소밀도에 대한 HCO^+ 분자의 상대적 함량을 알아야 하는데, 앞선 연구에서 이 상대적 함량 $f(\text{HCO}^+)$ 은 대략 $10^{-8} - 10^{-9}$ 정도의 값을 갖는 것으로 나타나지만(Irvine, Goldsmith, & Hjalmarson 1987, Nummelin 1998), 이 값에는 불확실성이 매우 크다. 이 $f(\text{HCO}^+)$ 를 적용하면, 이 성분의 총 수소 칼럼밀도 $N(\text{H}_2)$ 는 약 $10^{21} - 10^{22}\text{cm}^{-2}$ 로 상당한 양으로 존재하고 있음을 알 수 있다. 이 넓은 속도 성분은 그림 4에서 보듯이 가스가 집중되어 있는 뚜렷한 코어들과는 별도로 넓게 분포함을 알 수 있다. 이 넓은 속도 성분과 알려진 고밀도 분자운들과의 상관관계는 보다 더 많은 연구가 필요한 흥미로운 주제로 생각된다.

이 Sgr B2 지역에서 뚜렷이 나타나는 고밀도의 가스 집합체는 그림 4(c)에서의 80kms^{-1} 성분과 그림 4(d)에서 뚜렷이 나타나는 50kms^{-1} 성분이다. 이 두 성분은 분명히 위치적으로나 속도 값을 볼 때 서로 분리되어 있는 별도의 가스 덩어리임을 알 수 있다. 이 50kms^{-1} 성분(OF38 분자운)은 아직 다른 연구에서 소개되지 않은 새로운 컴포넌트로 화학적 특성이 Sgr B2(M)을 포함하는 주-가스성운과는 매우 다른 것으로 나타나고 있다(SiO , HNC 연구: Minh 2005, in preparation). HCO^+ 방출선은 Sgr A 지역과 Sgr B2 지역과는 약간 분리되어 있는 모습을 보인다. 이 지도의 오른쪽으로는 Sgr A 분자운이 연결되는데, 100kms^{-1} 에서 증가된 방출 컴포넌트가 존재함을 그림 4(d)에서 볼 수 있다. 이 성분은 기존의 Sgr A 지역의 분자운 속도인 약 50kms^{-1} (참조: Minh et al. 1991)와는 다른 처음 알려진 새로운 속도 컴포넌트이다. 앞으로 이 Sgr B2와 Sgr A의 상호 연관관계에 대한 보다 많은 연구는 우리 은하중심 지역의 매우 복잡한 역학적 구조를 연구할 수 있는 중요한 기회를 제공할 것이다.

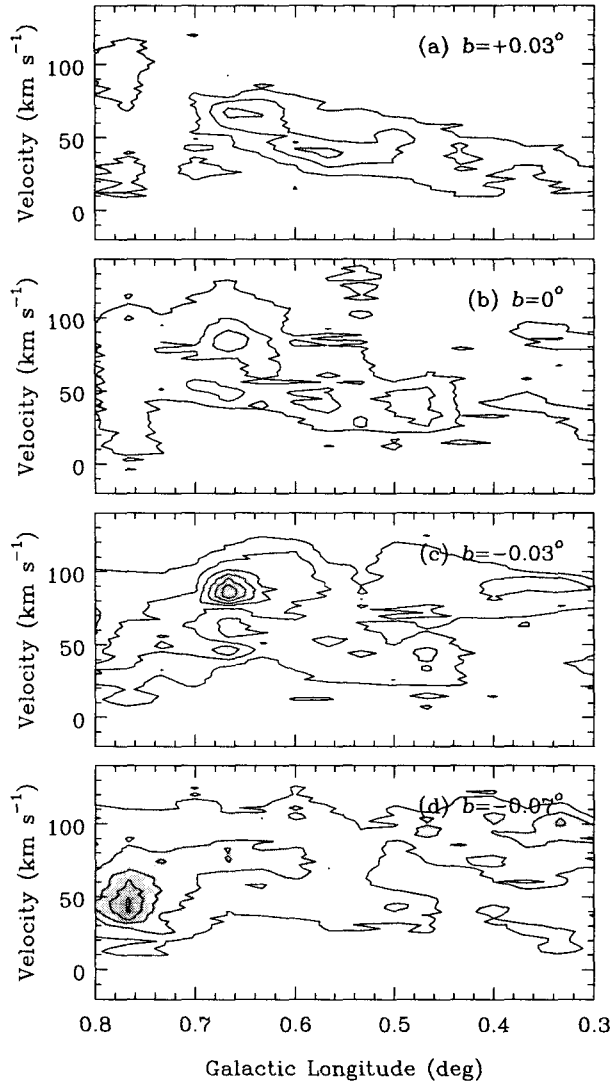


그림 4. 관측된 스펙트럼들을, 각각의 은하위도에서, 은하경도를 따라 만들어진 위치-속도 지도(space-velocity map). 각 은하위도는 패널의 오른쪽 위에 표시되어 있다. 등고선의 세기는 모든 패널에 같게 0.5K부터 시작하여 0.5K씩 증가한다.

속도에 따른 다른 컴포넌트들이 존재함에 따라, 스펙트럼을 각 속도별로 나누는 적분강도의 분포를 구하였으며 이 분포지도가 그림 5에 있다. 속도 범위가 0 - 60km^s⁻¹(편의상 ~ 50km^s⁻¹ 성분으로 부름)의 적분강도 지도에서는 앞서 언급한 ‘OF38 분자운’ 컴포넌트가 뚜렷이 나타나며, Sgr B1을 중심으로도 가스가 집중되어 있음을 볼 수 있다. 반면에 70 - 130km^s⁻¹(편의상 ~ 100km^s⁻¹ 성분이라고 부름) 지도에서는 Sgr B2(M) 분자운이 뚜렷이 나타난다. 분포 모습으로 볼 때, 이 두 ~ 50, ~ 100km^s⁻¹ 속도 성분의 가스구름은 같은 지역에 함께 존재하고 있다고 생각되나, 큰 속도차

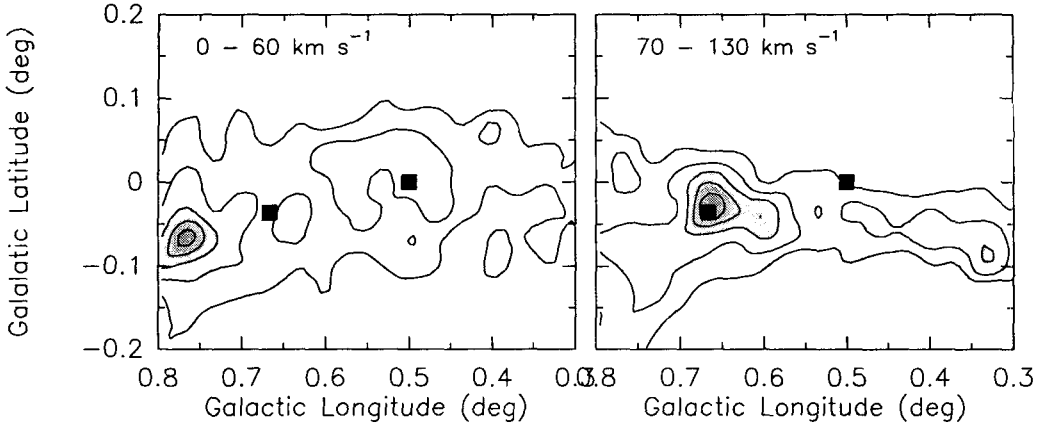


그림 5. 관측된 HCO^+ 1-0선에 대하여 두 가지 속도 성분($0 - 60\text{km s}^{-1}$ 와 $70 - 130\text{km s}^{-1}$)으로 분리하여 만들어진 적분 강도 지도. 속도는 각 패널의 왼쪽 위에 표시되어 있으며, Sgr B2(M)과 Sgr B1의 위치는 검은 네모상자로 표시되어 있다. 등고선의 세기는 그림 1과 같게 20K km s^{-1} 에서 시작하여, 15K km s^{-1} 씩 증가 한다.

이를 고려할 때, 두 속도성분에 따른 가스 구름들의 상호작용이 별-탄생을 촉진시키거나 진화에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다. 분자운-분자운 간의 충돌이 고밀도 코어를 형성시키고 별-탄생을 촉발시키리라는 것이 예견되어 왔으며, Sgr B2 지역에서도 그러한 가능성이 제시되어 왔다(예: Mehringer et al. 1993, Hasegawa et al. 1994, Minh et al. 1998, Sato et al. 2000). 이번 연구는 이러한 앞선 연구에서 제시된 가능성을 보다 구체적으로 확인하는 것이지만, 그러나 ^{13}CO 와 같은 일반적인 밀도 추적자로서는 뚜렷이 분별이 어려운, 다른 화학적 특성을 갖는 ‘OF38 분자운’이 존재하고 있다는 사실을 보여준다. 이 분자운이 Sgr B2(M) 분자운과의 충돌을 일으키고, 이 지역적인 별-탄생을 촉진시킬 가능성이 매우 높다고 생각된다. 이러한 가능성은 이 지역에 대한 HNC나 SiO 분자선의 관측(Minh, in preparation)에서 보다 분명히 나타난다. 이 ‘OF38 분자운’은, 그림 1의 HCO^+ 분포에서 보듯이, 화학적 특성이, 전반적인 Sgr B2(M) 분자운과는 상당히 다르며, 또한 그림 4에서 나타나는 대로, 역학적인 구조도 다르다는 것을 알 수 있다. ‘OF38 분자운’의 이러한 특성은, 내부에서 별 탄생이 가시적으로 나타나기 직전의, 특이한 화학적 현상을 보여주는 흥미로운 예가 아닌가 생각된다. 이 ‘OF38 분자운’의 특성에 대하여는 앞으로의 보다 체계적인 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

이 ‘OF38 분자운’과 Sgr B1의 적분강도의 피크 값(그림 1)으로부터, 앞서 넓은 속도성분에서 구한 것과 같은 방법으로, 광학적 깊이가 작은 것을 가정하여, 총 칼럼 밀도 값을 구하였다. 그 값은, ‘OF38 분자운’에서 $N(\text{HCO}^+) = (2 - 5) \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 이고, Sgr B1에서는 $(1 - 2) \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 이다. 이 값은 Sgr B2(M)에서의 값과 거의 상응하는 값으로 이들 지역에 총 밀도가 Sgr B2 분자운에 상응하는 큰 값을 알 수 있다. ‘OF38 분자운’의 질량을 구하기 위하여, 적분 피크 값에서 HPW(Half-Power Width)의 크기를 구하면, 이 분자운의 크기는 대략 $15\text{pc}(\sim 6 \text{ arcmin})$ 이다. 앞서 넓은 속도 성분에서 언급하였듯이 HCO^+/H_2 함량의 비($f(\text{HCO}^+)$)의 값을 $10^{-8} - 10^{-9}$ 이라고 하면, 총 질량은 약 $10^6 M_{\odot}$ 으로 계산되어 상당한 질량의 가스덩어리로 존재함을 알 수 있다. 그러나 이 지역에서

HCO⁺의 생성이 저밀도 성운에서의 화학적 특성에 의하여 영향을 받았다면 총 가스 질량의 계산에는 이에 상응하는 불확실성이 존재할 것이다. 이 분자운의 물리적 특성은 보다 자세한 앞으로의 연구가 필요하다.

HCO⁺는 화학적으로 볼 때 다른 복합분자들 보다 덜 복잡한 방법으로 생성되며 CO 분자와 밀접하게 연결되어 있다. 밀도가 높은 성간운에서는 본질적으로 모든 가능한 탄소들이 CO의 형태로 존재하며, HCO⁺는 H₃⁺와 CO의 반응에 의하여 형성된다. 그러한 이유에서 이 분자도 전체적인 칼럼 밀도를 잘 추적하는 분자로 알려져 왔다. 그러나 밀도가 낮은 성간운(diffuse clouds)에서는 HCO⁺와 CO 모두 C⁺와 OH의 반응에 의하여 생성 된다(Turner 1995).

물론 Sgr B2 지역은 전체적으로 매우 밀도가 높은 지역으로 고밀도에서의 분자 생성 반응식이 유효할 것이며, 이 경우는 가스의 밀도 분포를 따라 CO의 분포와 비슷하게 분포하는 모습을 보일 것이다. 그러나 그림 1과 2를 비교하여 보면, HCO⁺의 분포가 ¹³CO 분포와는 상당히 차이를 알 수 있다. 그러므로 HCO⁺ 함량이, 가스밀도를 따라 비례적으로 증가한다고 생각할 수 없으며, 일반적인 예상대로 고밀도 지역에서의 생성반응이라고 알려진 H₃⁺와 CO의 반응이 HCO⁺의 주 생성과정이라고 보여지지 않는다. 이러한 사실은 HCO⁺와 관련된 매우 흥미로운 화학적 결과이다.

반면에 저밀도 성운지역에서의 주-반응으로 알려진 C⁺와 OH의 반응(Turner 1995)에 의한 HCO⁺의 생성이 보다 중요할 수 있을 것으로 생각된다. 은하중심 지역은, 비록 전반적으로 밀도가 높더라도, 은하중심지역의 많은 격렬한 활동에 의하여 크게 영향 받고 있는 지역이다. 즉 충격파의 영향이 광범위한 지역으로, 충격파에 의하여 크게 증가되는 성분으로 알려진 C⁺와 OH가 HCO⁺ 생성의 주요 반응식이 될 수 있을 것으로 생각된다. 그렇다면 이제까지 알려진 것과는 달리 HCO⁺ 매우 좋은 충격파 지역의 추적자로서 활용될 수 있을 것이다. 이번 연구에서 밝혀진 새로운 가스코어인 'OF38 분자운'은 물리 화학적 특성에 대하여 보다 많은 연구가 필요하며, 흥미로운 현상이 기대된다.

4. 요약

칠레의 ESO에 있는 SEST 전파망원경을 이용하여 우리는하중심에 있는 Sgr B2 분자운 지역에 대하여 HCO⁺ 1-0 천이선을 관측하였다. 관측결과, 이 지역에는 속도가 ~ 50과 ~ 100kms⁻¹인 큰 규모의 서로 다른 구조가 존재하며, 이 두 속도 성분들은 상호 작용을 하는 것으로 보이며, 이에 의하여 Sgr B2 분자운의 새로운 별-탄생이 촉진될 수 있다고 여겨진다. 이 Sgr B2 지역에는 또한 속도 범위가 100kms⁻¹에 이르는 높은 터블런스 컴포넌트가 넓게 퍼져 존재하며, 이 성분의 HCO⁺ 칼럼 밀도는 $N(\text{HCO}^+) = (0.7 - 1.6) \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 으로 그 양은 HCO⁺가 집중된 지역에 비하여 약 10분의 1정도로 상당한 양으로 존재함을 알 수 있다.

약 50kms⁻¹의 속도성분 지역에는 뚜렷한 가스 덩어리인 "OF38 분자운"이 새로이 발견되었다. 이 코어는 $N(\text{HCO}^+) = (2 - 5) \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 이고, HPW 크기는 약 15pc이며 총 질량은 $3 \times 10^6 M_{\odot}$ 으로 계산되었다. 그러나 이 지역의 HCO⁺ 관련 화학적 특성은, 충격파의 영향에 의한 C⁺와 OH의 반응에서 비롯된 생성과정이 유효할 것으로 보인다. 이러한 HCO⁺의 화학적 특성은 기존에 알려진 총 칼럼밀도의 추적자로서의 역할보다는 충격파의 추적자로서의 역할을 할 수 있다는 흥미로운 사실을 알려준다. 이 새로이 발견된 "OF38 분자운"의 물리 화학적 특성을 밝히는 일은 앞으로의 과제라고 생각한다.

감사의 글: 심사위원께서 여러 가지의 좋은 지적을 하여 주셔서, 이 논문의 내용이, 전체적으로 크게 향상된 점에 대하여 감사드립니다.

참고문헌

- Booth, R. S., Delgado, G., Hagsrom, M., Johansson, L. E. B., & Murphy, D. C. 1989, *A&A*, 216, 315
- Gordon, M. A., Berkermann, U., Mezger, P. G., Zylka, R., Haslam, C. G. T., Kreysa, E., Sievers, A., & Lemke, R. 1993, *A&A*, 280, 208
- Hasegawa, T., Sato, F., Whiteoak, J. B., & Miyawaki, R. 1994, *ApJ*, 429, L77
- Irvine, W. M., Goldsmith, P. F., & Hjalmarson, A. 1987, in *Interstellar Processes*, eds. D. J. Hollenbach & H. A. Thronson (Dordrecht: Reidel), p.561
- Lis, D. C., & Goldsmith, P. F. 1989, *ApJ*, 337, 704
- Lis, D. C., & Goldsmith, P. F. 1991, *ApJ*, 369, 157
- Liszt, H. 1988, in *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy*, eds. G. L. Verschuur & K. I. Kellermann (Berlin: Springer-Verlag), p.359
- Mehring, D. M., Palmer, P., Goss, W. M., & Yusef-Zadeh, F. 1993, *ApJ*, 412, 684
- Minh, Y. C., Brewer, M. K., Irvine, W. M., Friberg, P., & Johansson, L. E. B. 1991, *A&A*, 244, 470
- Minh, Y. C., Haikala, L., Hjalmarson, A., & Irvine, W. M. 1998, *ApJ*, 498, 261
- Minh, Y. C., Irvine, W. M., & Friberg, P. 1992, *A&A*, 258, 489
- Minh, Y. C., Irvine, W. M., & Kim, S.-J. 2004, *JKAS*, in print
- Nummelin, A. 1998, Ph.D. Thesis, Chalmers Univ. of Technology
- Odenwald, S. F., & Fazio, G. G. 1984, *ApJ*, 283, 601
- Reid, M. J. 1989, *IAU Symp.* 136, ed. M. Morris (Dordrecht: Kluwer), p.37
- Sato, F., Hasegawa, T., Whiteoak, J. B., & Miyawaki, R. 2000, *ApJ*, 535, 857
- Scoville, N. Z., Solomon, P. M., & Penzias, A. A. 1975, *ApJ*, 201, 352
- Turner, B. E. 1995, *ApJ*, 449, 635