

2004년도 한국물리학회 가을 학술논문발표회  
10. 21 - 10. 23  
제주대학교

# **Doppler Shift Spectroscopy for Measurement of Ionic Species of Proton Beams from POS-ECRIS**

**W. C. Lee, Y. S. Bae, M. S. Moon, M. H. Cho,  
and W. Namkung (Postech)**

\* Work supported by KBSI & MOST, Korea

# Abstract

도플러이동 분광법을 이용하여 ECRIS에서 생성한 수소 빔의 조성 성분별 조성비와 빔의 퍼짐각을 측정하였다. 빔의 조성 성분인  $H^+$ ,  $H_2^+$ ,  $H_3^+$ ,  $H_2O^+$ 에 의해서 만들어지는 H-Alpha 라인들은 도플러 효과로 인해 파장이동이 일어나고, 이동되는 정도는 각 성분들의 속도에 따라 달라진다. 빔의 조성비는 이동된 각 라인들 세기의 상대적인 비율을 측정하여 얻을 수 있었다. 조성비는 마이크로웨이브 파워에 대해서는 거의 변화가 없이 일정하게 유지된 반면 가스 압력에 대해서는 크게 변화하는 것으로 관측되었다. 압력이 증가함에 따라  $H^+$ 는 5% 정도의 비율을 거의 일정하게 유지한 반면  $H_2^+$ 와  $H_3^+$ 는 20 ~ 75 %사이에서 큰 변화를 보였다. 빔 성분의 퍼짐각은 측정된 라인 프로파일의 폭을 통해 얻을 수 있는데 구성 성분에 따라서 5 ~ 11도로 측정되었다.

# Beam Divergence [1]

Doppler shift in the nonrelativistic approximation is

$$\Delta\lambda_0 = \lambda_0 \frac{v}{c} \cos \theta \quad (1)$$

1/e-width of line profile

$$\Delta\lambda_{1/e} = \Delta\lambda_0 \tan \theta \frac{\delta v_{\perp}}{v} = \Delta\lambda_0 \tan \theta \Theta_{1/e} \quad (2)$$

With beam divergence  $\Theta_{1/e} = \frac{\delta v_{\perp}}{v}$

$$\Delta\lambda_{1/e} = (\Delta\lambda_M^2 - \Delta\lambda_I^2)^{1/2} \quad (3)$$

$\Delta\lambda_M$  and  $\Delta\lambda_I$  are 1/e-widths of the profile actually measured and of the instrumental broadening of spectrometer system, respectively.

# Beam Species Ratio [1]

H<sub>α</sub> line intensity originating from each ion species is

$$I_{\alpha,k} = Kn_k \sum_l F_l^k A_l \quad (4)$$
$$l = 3s, 3p, 3d, \quad k = H^+, H_2^k, H_3^k$$

where  $F_l^k$ : fraction of the particles produced from k ions

$\pi = \int n_g dl$  gas-target thickness along the beam path

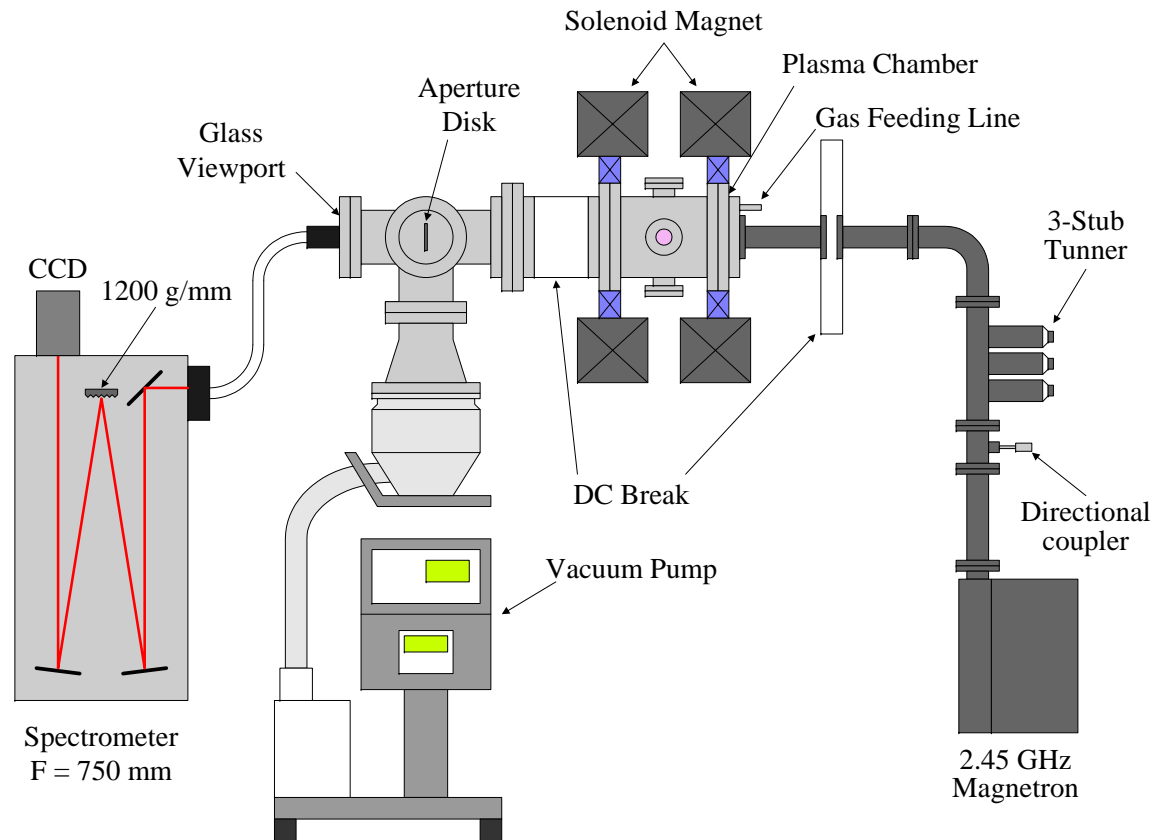
The ion species ratios are

$$\frac{n_{H_2^+}}{n_{H^+}} = C_{21} \frac{I_{\alpha,H_2^+}}{I_{\alpha,H^+}}, \quad \frac{n_{H_3^+}}{n_{H^+}} = C_{31} \frac{I_{\alpha,H_3^+}}{I_{\alpha,H^+}} \quad (5)$$

with the correction factors [2][3]

$$C_{21} = \frac{\sum_l F_l^{H^+} A_l}{\sum_l F_l^{H_2^+} A_l}, \quad C_{31} = \frac{\sum_l F_l^{H^+} A_l}{\sum_l F_l^{H_3^+} A_l} \quad (6)$$

# Experimental Setup



Pressure =  $10^{-4} \sim 10^{-3}$  Torr

Power =  $100 \sim 400$  W

$I_1 = 46, 56$  A

$I_2 = 80$  A

$V_+ = 22.5, 25$  kV

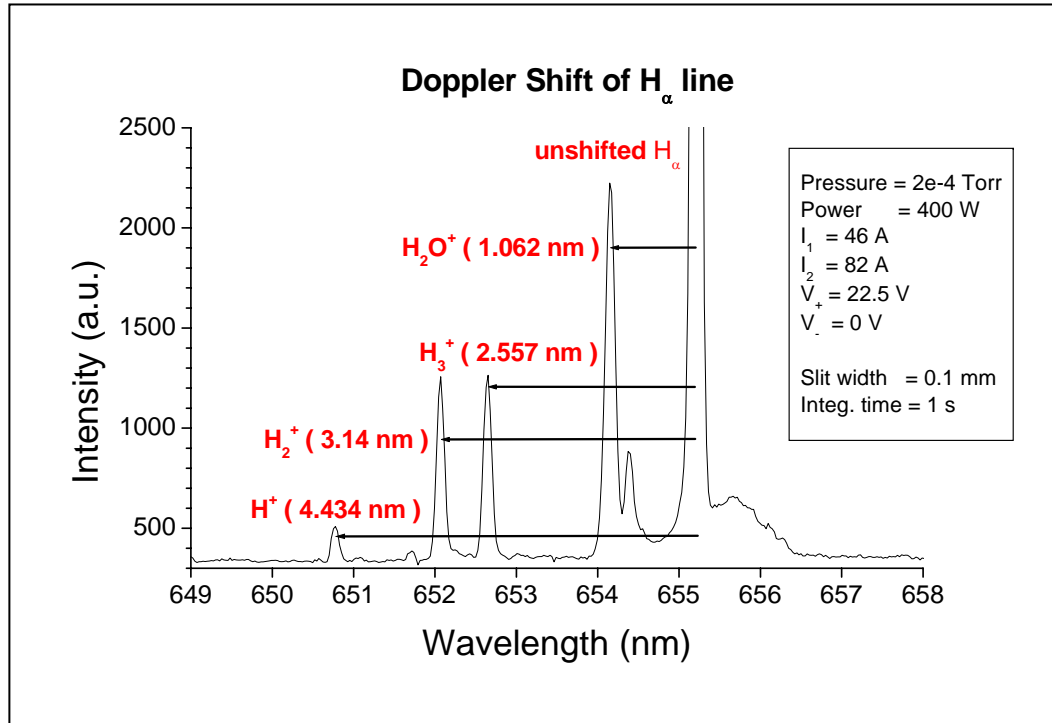
$V_- = -0 \sim 3$  kV

View angle =  $0$  degree

Slit width =  $0.1$  mm

Integ. Time =  $1, 2$  s

# Spectrum of Doppler Shifted $H_\alpha$ lines



- 2.2 % error

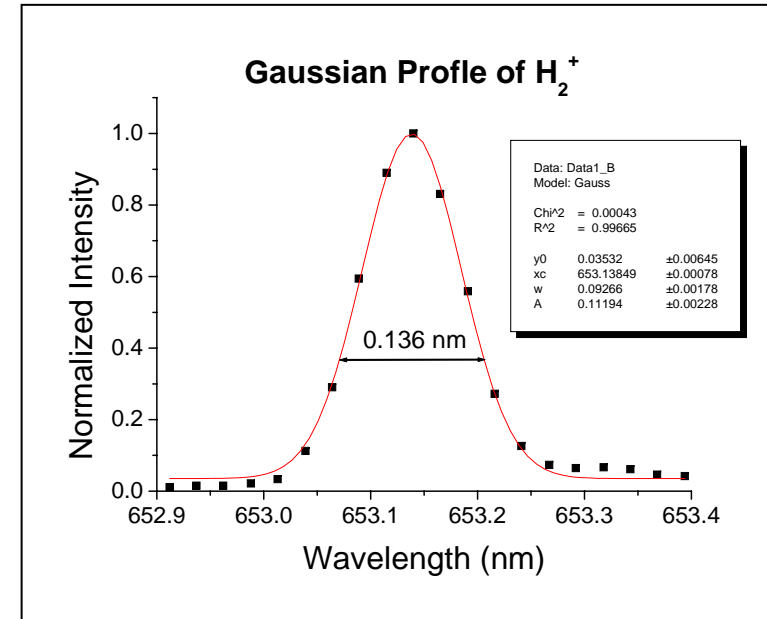
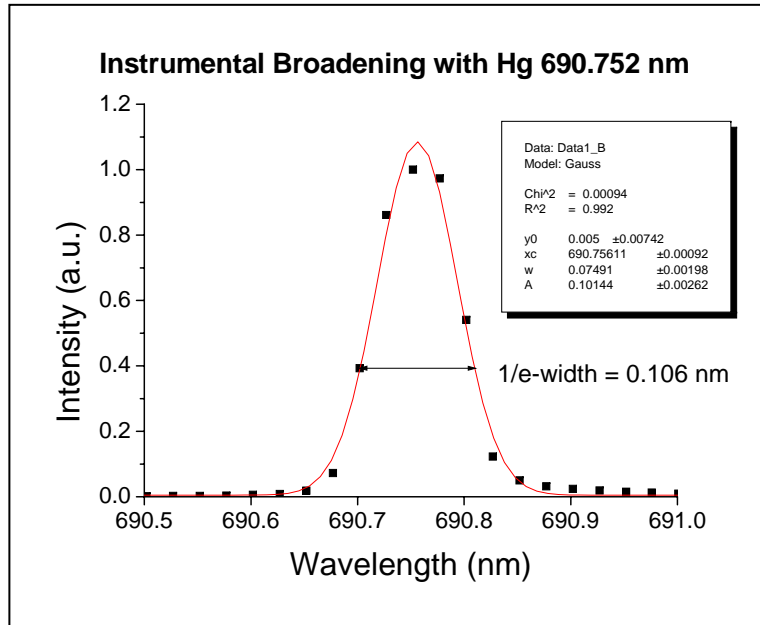
↓ (1)

12 degree angle

This is because magnetic field is not properly aligned.

Species	Peak(nm)	Shift(nm)	Computed	Error(%)	cos	angle
H+	651.843	4.437	4.542	-2.318	0.977	12.361
H2+	653.138	3.142	3.212	-2.176	0.978	11.975
H3+	653.726	2.554	2.622	-2.612	0.974	13.124
H2O+	655.218	1.062	1.071	-0.806	0.992	7.280

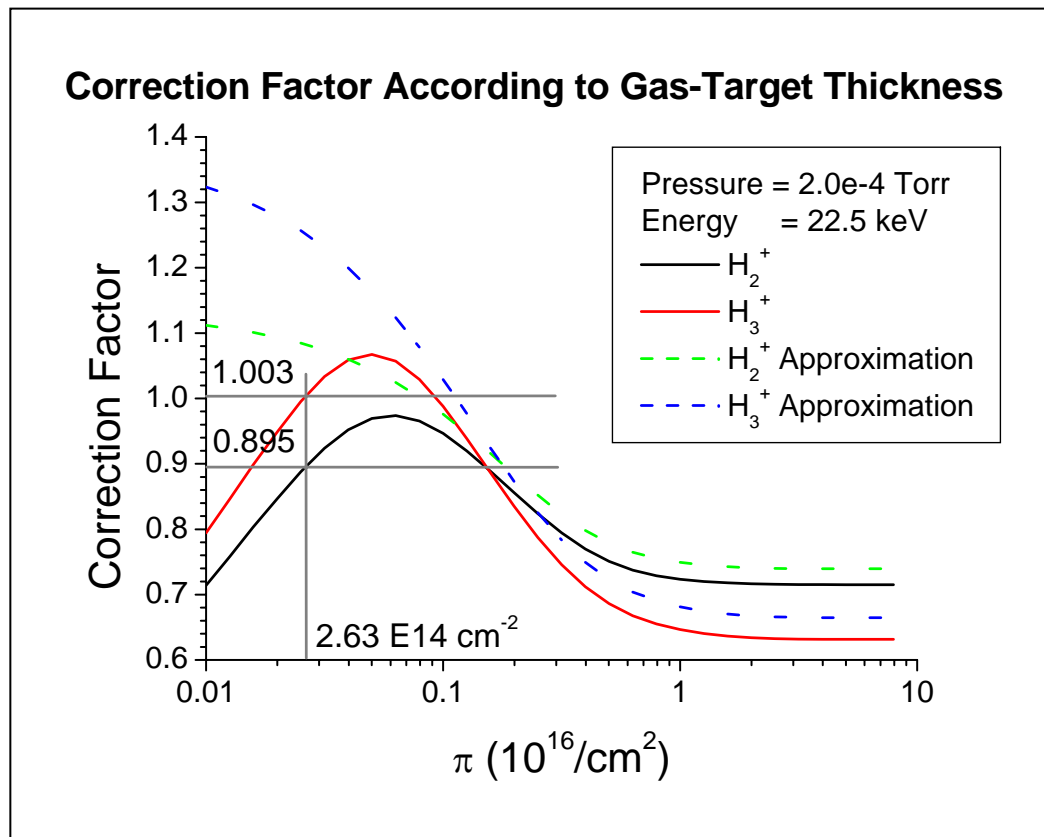
# Beam Divergence



( Viewing Angle = 12 degree, Instrumental Broadening = 0.093 nm )

Species	Doppler Shift (nm)	Measured width (nm)	1/e-width (nm)	tan 12	Divergence (degree)
H <sup>+</sup>	4.437	0.128	0.088	0.213	<b>5.343</b>
H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	3.142	0.136	0.099	0.213	<b>8.513</b>
H <sub>3</sub> <sup>+</sup>	2.554	0.142	0.107	0.213	<b>11.326</b>

# Ratio of Beam's Ionic Species



$$P = 2.0 \times 10^{-4} \text{ Torr}$$

↓

$$n_g = 6.58 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

↓

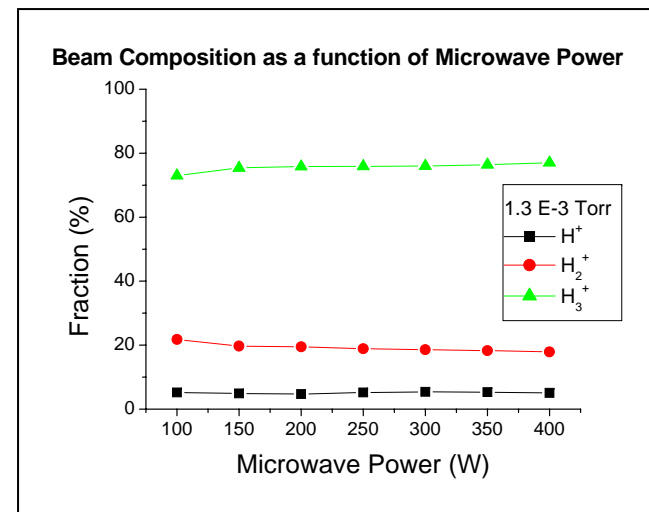
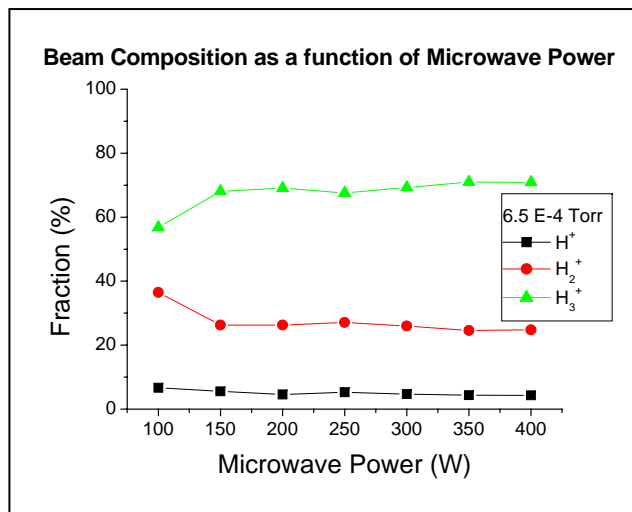
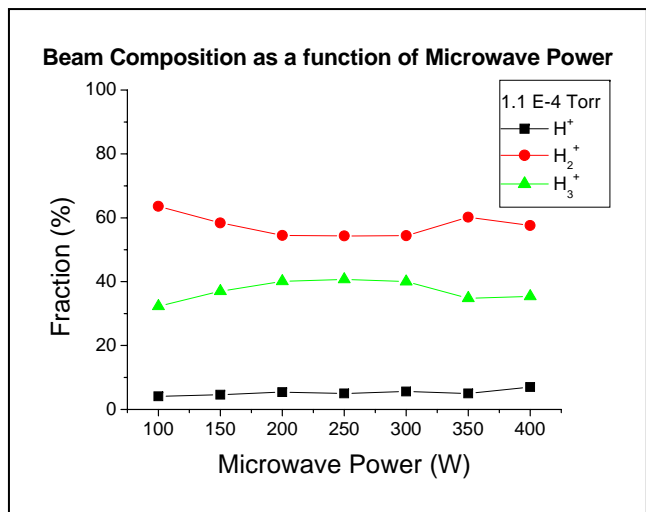
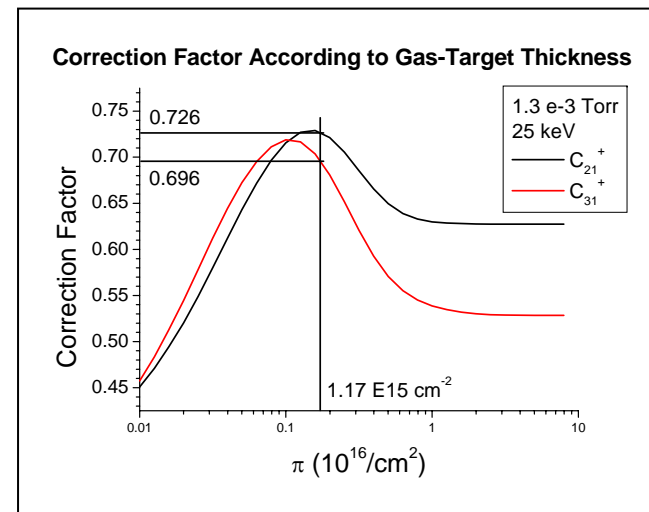
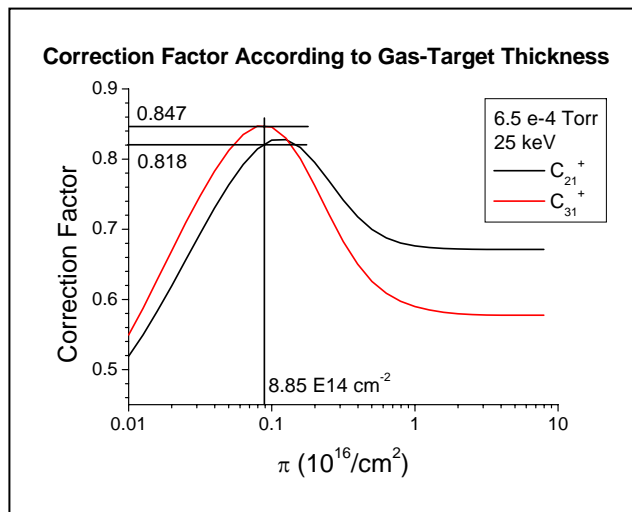
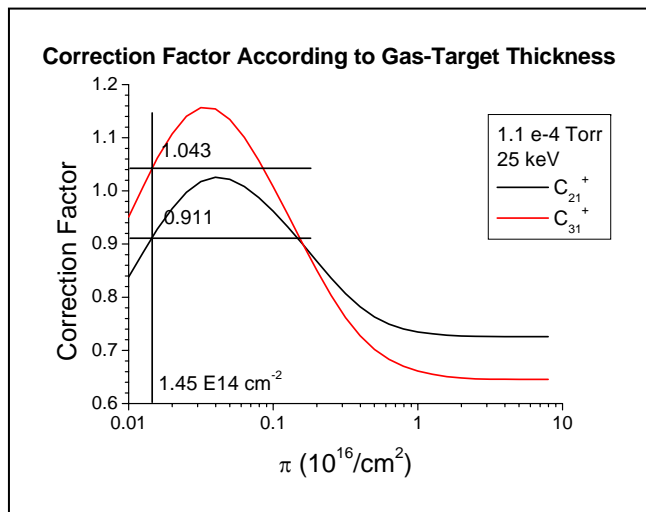
$$\pi = \int_0^{40 \text{ cm}} 6.58 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3} dl = 2.63 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$$

$$(\text{V}_+ = 22.5 \text{ kV})$$

Species	Intensity	Correction Factor	Ratio (%)
$H^+$	179	1.00	9
$H_2^+$	927	1.00	49
$H_3^+$	934	0.86	42



# RF Power Effect on Beam Species Ratio



# Conclusions

- 도플러-이동 분광법을 이용하여 ECRIS에서 생성되는 양성자 빔의 성분비와 각 성분의 빔 퍼짐을 조사하였다.
- 양성자 빔을 구성하는 성분은  $H^+$ ,  $H_2^+$ ,  $H_3^+$ ,  $H_2O^+$ 로 ECR 플라즈마의 운전 조건에 따라 구성 비율이 달라졌다.
- 마이크로웨이브 파워를 100 에서 400 W로 증가시켰을 때  $H_2^+$ 는 약간 증가하는 반면  $H_3^+$ 는 감소하는 경향을 보였지만 변화폭은 매우 낮은 것을 볼 수 있다.
- 빔의 조성 비율은 플라즈마 챔버 압력에 따라 크게 변화되는 것을 볼 수 있었다.
- $10^{-4} \sim 10^{-3}$  Torr 범위에서 증가시켰을 때  $H_2^+$ 는 60 % 에서 20 %로 감소하는 반면  $H_3^+$ 는 30 %에서 75 %로 증가하는 경향을 볼 수 있었다.
- $H^+$ 는 압력 조건에 상관없이 5% 정도를 유지하였다.  $H^+$ 의 비율은 낮은 것은 [상대적으로  $H_2O^+$ 의 비율은 높았다.] 플라즈마 챔버의 작은 개봉으로 인해 챔버 내부에 물 분자가 많이 존재하기 때문인 것으로 추정된다.<sup>[4]</sup>
- 빔 퍼짐은  $H^+$ ,  $H_2^+$ ,  $H_3^+$ 가 각각 5.3, 8.5, 11.3 degree로 측정되었다.

# Future Work

- 본 실험에서 낮은 비율을 보였던 H<sup>+</sup>의 비율을 높이기 위해 chamber wall condition을 개선할 필요가 있다.
- 보다 넓은 마이크로웨이브 파워 영역에서 실험을 수행하여 빔의 구성 비율을 조사한다.
- 자석을 이용한 질량 분석법으로 도플러이동 분광법을 검증할 필요가 있다.
- 빔 에너지 (빔 인출 전압)을 변화시켜서 빔 퍼짐의 변화를 확인해본다.

# References

- [1] S. J. Yoo, H. L. Yang and S. M. Hwang, JKPS, **35**, 315, (1999).
- [2] I. D. Williams, J. Geddes and H. B. Gilbody, J. Phys. B15, 1377, (1982).
- [3] I. D. Williams, J. Geddes and H. B. Gilbody, J. Phys. B16, L765, (1983).
- [4] J. H. Kamperschroer, J. D. Sherman, T. J. Zaugg, A. H. Arvin, A. S. Bolt, and M. C. Richards, “Doppler-Shift Proton Fraction Measurement on a CW Proton Injector,” in *Proc. XIX International Linear Accelerator Conference* (Chicago, Illinois, USA August 23 - 28, 1998).