

Machholz 혜성(C/2004Q2) 고분산 스펙트럼을 이용한 미확인 분광선 연구

황성원¹, 한제희¹, 심채경¹, 김상준^{1†}, 진호¹, 임명신², 김강민³
¹경희대학교 우주과학과
²서울대학교 천문학과
³한국천문연구원

Study of Unidentified Spectral Lines in the High-Resolution Spectra of Comet Machholz (C/2004Q2)

Sung-Won Hwang¹, Je-Hee Han¹, Chae-Kyung Sim¹, Sang-Joon Kim^{1†}, Ho Jin¹,
Myungshin Im², and Kang-Min Kim³

¹Dept. of Astronomy and Space Science, Kyung Hee University 449-701, Korea

²Dept. of Physics and Astronomy, Seoul National University 151-742, Korea

³Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: sjkim1@khu.ac.kr

(Received September 12, 2009; Accepted October 12, 2009)

요 약

지난 2005년 1월 4일 보현산 천문대(BOAO)의 BOES(BOao Echelle Spectrograph)를 이용하여 Machholz(C/2004Q2) 혜성을 관측하였다. 이 논문에서는 Machholz 혜성의 고분산 분광 자료를 이용하여 미확인 분광선에 관한 연구를 수행하였으며 연구에 이용된 분광선의 파장 범위는 4800 ~ 8100Å 영역이다. 기존에 있던 Swift-Tuttle 혜성 Brorsen-Metcalf 혜성, Austin 혜성, 그리고 122P/de Vico 혜성의 자료들과 비교분석을 하였다. 다수의 미확인 분광선에 대한 원인물질을 알아냈고, 이러한 자료들은 앞으로 혜성 연구에 있어서 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Abstract

We observed Comet Machholz (C/2004Q2) using the BOES (BOao Echelle Spectrograph) at the Bohyunsan Observatory on January 4, 2005. We have studied a wavelength range of 4800 ~ 8100 Å in order to investigate unidentified spectral lines in the high-resolution spectra of Machholz. We compared the Machholz spectra with the high-resolution spectra of previous comets: Swift-Tuttle, Brorsen-Metcalf, Austin, and 122P/de Vico. We identified many molecular lines, which are previously unknown; and these identifications will be useful information for studying high-resolution spectra of future comets.

Keywords: properties of comets, optical spectroscopy, visible and ultraviolet spectrometers

[†]corresponding author

1. 서 론

혜성은 태양계가 형성되고 남은 잔해물로 만들어진 것이기 때문에 많은 천문학자들은 혜성이 태양계 초기물질을 가지고 있다고 생각한다. 따라서 혜성 연구의 궁극적 목적은 태양계 생성 원인의 규명이라 할 수 있다.

혜성 C/2004Q2은 2004년 8월 27일 Donald Machholz에 의해 발견되어 Machholz 혜성으로 명명되었다. 주기 혜성으로 그 주기가 113,465년으로 계산되어 있으며, 원일점의 거리는 4,686AU이고 근일점의 거리는 1.205AU, 이심률은 0.995로 포물선에 가까운 타원궤도를 가지고 있다. 근지점을 통과한 시기는 2005년 1월 4일 이었으며 당시 지구와의 거리는 0.349AU 이었다. 이 근지점 시기를 이용하여 이 연구에 사용된 관측 자료를 얻었다.

이 논문에서는 혜성의 구성 성분을 연구하기 위해 분광 관측을 수행하고 자료를 분석 하였다. 분광학적 분석은 원자, 분자, 이온들에서 발생하는 각기 다른 세기를 가진 분광선의 흡수, 방출 원리와 특성을 이해하는데도 매우 중요하다.

이번 관측에서는 보현산 천문대의 1.8m 광학망원경과 BOES(BOao Echelle Spectrograph)를 이용하여 분광 관측을 하였으며, 획득한 데이터를 자료 처리하여 분광선 분석을 수행하였다. 관측하여 얻은 분광선의 파장 영역은 3500 ~ 10000Å이고, 자료 처리에 사용된 파장 영역은 4800 ~ 8100Å이다. 분광선 증명은 이미 다른 혜성들의 고분산 분광선들을 분석하여 발표된 논문인 Brown et al.(1996), Kim et al.(1997)과 Cochran & Cochran(2002)의 자료를 참조하여 비교분석 하였다.

이번 연구에서 정리된 Machholz 혜성의 자료 분석의 의의는 많은 분광선들을 확인하였고, 비교분석에 사용된 문헌 자료들 중 확인이 미비한 파장영역을 보완하고 있는 점이다. 이렇게 정리된 Machholz 혜성의 자료는 앞으로 연구되어질 다른 혜성들을 연구하는데 있어서 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

2. 관 측

관측 장비로는 보현산 천문대의 1.8m 광학 망원경과 BOES를 사용하였고, 비교 광원에는 ThAr 램프를 사용하였다. 광섬유는 300 μ m를 사용하였으며, 분광분해능은 약 30,000 이다.

관측은 2005년 1월 4일 12:04:35(UT)에 시작하여 13:40:14(UT)까지 진행 되었다. 관측당시 혜성은 0.349AU의 근지점에 있었고 밝기는 7.27등급으로 1200초 노출을 준 프레임을 세장 얻어 총 노출 시간은 1시간 이었다. 또한 혜성 자료에서 지구대기에 의한 흡수선과 태양빛의 흡수선을 제거하기 위해 표준성(SAO62173, G2.5IIa) 관측을 하였으며, 관측당시 등급은 4.68등급이었다. 관측당시 날씨는 맑았으며, 시상은 약 3초 였다(Lee et al. 2008).

BOES로 관측된 자료의 전체 파장영역은 3800Å ~ 10800Å이지만, 4800Å보다 짧은 파장이거나 8100Å보다 긴 파장 영역에서는 낮은 S/N 때문에 이 연구에서는 사용하지 않았다.

3. 자료처리

관측 자료는 Machholz 혜성과 표준성 자료, bias와 flat, comparison lamp 자료로 이루어져 있다. 이 자료는 IRAF(Image Reduction and Analysis Facility)의 echelle package를 사용하여 처리하였다. 먼저 CCD 전처리 과정을 실시하였는데, 일반적으로 CCD 전처리는 오버스캔(overscan) 보정,

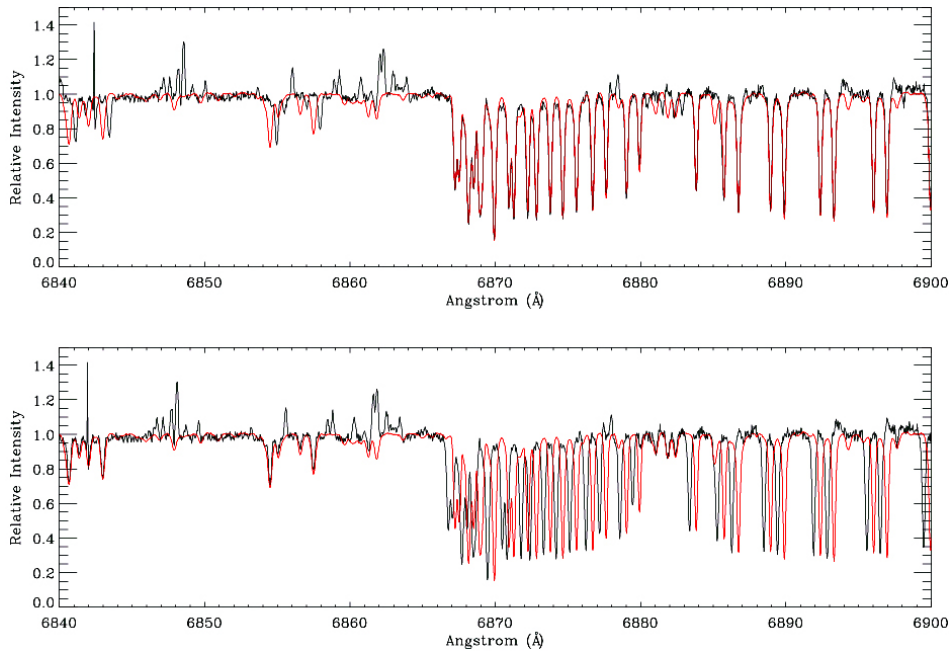


그림 1. Machholz 혜성과 표준성 스펙트럼. 검은색 선은 혜성의 스펙트럼이고, 붉은색 선은 표준성의 스펙트럼이다. 상단의 그림은 지구 대기 흡수선의 파장에 맞춰서 그린 그림이고, 하단의 그림은 태양 흡수선의 파장에 맞춰서 그린 그림이다. 어느 한 흡수선을 기준으로 파장을 정렬하게 되면 나머지 한 흡수선이 어긋나 파장이 맞지 않는 것을 볼 수 있다.

영점(bias) 보정, 마름질(trimming), bad pixel 보정, 우주선 제거 등을 거쳐 바닥고르기(flat) 보정까지를 말한다. 이 전 과정을 거친 후 2차원 스펙트럼을 1차원 스펙트럼으로 뽑았으며, 분산관계 결정은 김강민과 이병철(2004)을 이용하였다. 이후 앞의 과정을 거쳐서 나온 혜성과 표준성 스펙트럼의 연속선을 제거하고 제거한 FITS(Flexible Image Transport System) 파일을 모두 텍스트 파일로 변환해 주는 작업을 하였다.

위의 자료처리 방법은 검증 되어 표준화된 BOES 자료처리 방법이지만 다음에 기술할 혜성자료에서 혜성 고유의 스펙트럼을 얻는 과정은 향후 혜성, 행성, 소행성, 위성, 달 등 행성계 물체의 BOES 관측자료 처리 방법에 유용하므로 비교적 자세히 기술하고자 한다.

IRAF로 데이터 처리한 Machholz 혜성의 스펙트럼에는 혜성의 고유의 분광 구조와 반사된 태양광선의 스펙트럼도 포함되어 있고, 지상관측을 하였기 때문에 지구 대기 흡수선들도 포함되어 있다. 표준성 데이터에도 표준성 자체의 스펙트럼과 지구 대기 흡수선들이 포함되어 있다. 일반적으로 혜성 고유의 스펙트럼을 얻기 위해서는 혜성 스펙트럼을 표준성 스펙트럼으로 나누어 주어 지구 대기 및 태양광선에 의한 흡수선들을 제거해 주어야 하지만 아래에 기술된 여러 과정에 걸치는 작업을 거쳐야 한다. 이들 과정은 모두 IDL(Interface Definition Language) 프로그램을 이용하였다.

그림 1에서는 일단 표준화된 자료처리 이후 얻어진 혜성 스펙트럼과 표준성 스펙트럼을 보여주

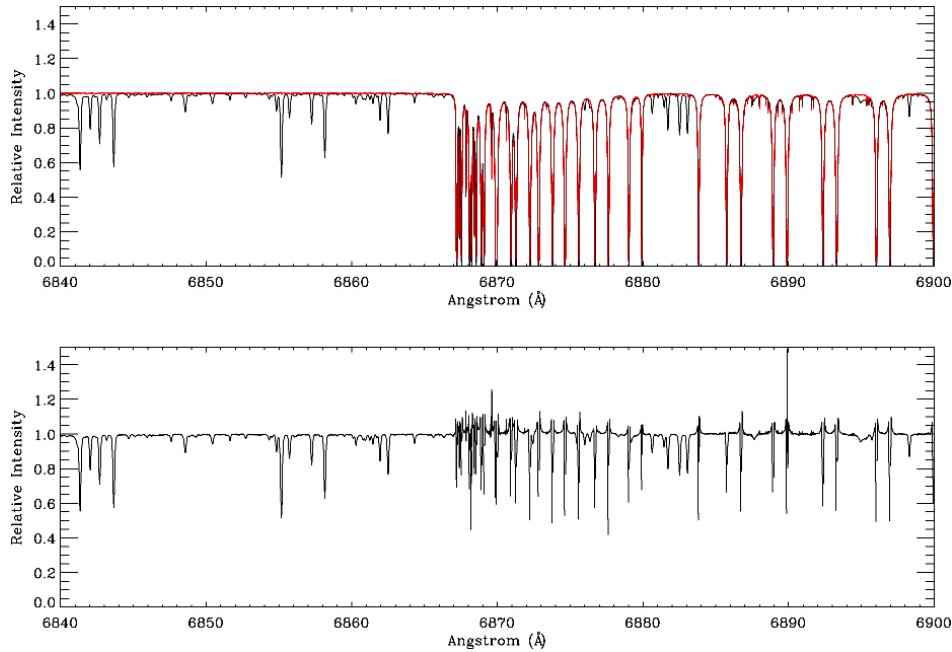


그림 2. Kitt Peak 자료로 순수한 태양 스펙트럼을 구하는 과정(1). 상단 그림의 검은 선은 FTS(Fourier Transfer Spectrometer) Solar Spectral Atlases 자료이고, 붉은 선은 Kitt Peak의 Transmission of the Earth's Atmosphere 자료이다. 하단 그림은 상단 그림의 FTS 자료를 대기 transmission 자료로 나누어 지구흡수선을 제거한 태양 스펙트럼이다. 그러나 그림에서 보듯 지구대기 흡수선이 강하게 나타나는 영역에서는 지구 흡수선의 완전한 제거가 어렵다.

고 있다. 그림 1 중 상단의 그림에서 검은색 선이 행성의 관측 스펙트럼이고 붉은색 선은 표준성의 관측 스펙트럼이다. 그림 1의 오른쪽에 보이는 강한 흡수선들은 지구대기에 의한 흡수선들인데 행성과 표준성의 스펙트럼에서 모두 나타나고 흡수선들의 파장이 일치하는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 1의 상단 그림에서 왼쪽에 나타나는 흡수선들은 태양 고유의 흡수선들인데 흡수선 파장이 서로 맞지 않는 것을 볼 수 있다. 그림 1의 하단 그림에서와 같이 태양흡수선 파장에 일치시키면 지구흡수선들이 서로 맞지 않게 된다. 따라서 지구 흡수선과 태양 흡수선을 동시에 제거하기가 힘들므로 행성 고유의 스펙트럼을 얻기 위해서는 관측한 행성 스펙트럼에서 태양과 지구대기 흡수선을 다음과 같은 방법으로 따로따로 제거해야만 했다.

태양광선에 의한 스펙트럼을 제거하기 위해 Kitt Peak에 있는 National Solar Observatory(NSO)에서 제공하는 태양 스펙트럼을 구하여 자료를 처리하는데 사용하였다. 이 데이터는 Kitt Peak 천문대(KPNO)에서 관측하여 제공하는 데이터고 <http://diglib.nso.edu/ftp.html>에서 얻을 수 있다. 이 데이터는 FTS(Fourier Transfer Spectrometer) Solar Spectral Atlases와 Transmission of the Earth's Atmosphere from Kitt Peak으로 구성되어 있는데, 태양 데이터에는 지구 대기 스펙트럼도 포함되어 있는 것이었기 때문에 이 두 개의 데이터를 이용하여 태양광선 고유의 스펙트럼을 얻었다. 즉, 그림

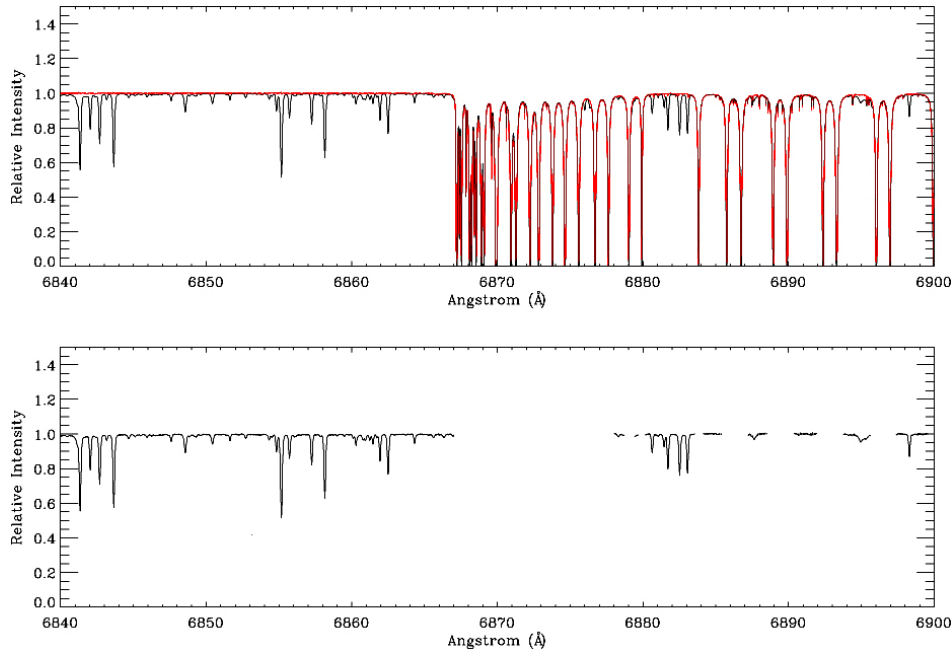


그림 3. Kitt Peak 자료로 순수한 태양 스펙트럼 구하는 과정(2). 그림 2의 하단 그림에서 완전히 제거되지 않았던 태양 스펙트럼 중 강한 지구대기 흡수선 영역은 이 그림의 하단 그림처럼 유효하지 않은 자료로 처리하였다.

2의 상단 그림에 보여주는 FTS 태양 자료를 대기 transmission 자료로 나누어 그림 2의 하단그림에서 보여주는 지구흡수선을 제거한 태양 스펙트럼을 얻었다. 그러나 그림 2에서 보듯 지구대기 흡수선이 강하게 나타나는 영역에서는 지구 흡수선의 완전한 제거가 어렵다. 따라서 그림 3에서 보여준 듯 지구 대기 흡수선이 아주 강한 파장 영역은 유효한 정보를 얻을 수 없었기 때문에 이 연구에서는 사용하지 않았다. 지구 흡수선이 강한 영역들은 전체 파장영역에 비해 매우 좁은 파장 대역이나 이 부분을 사용할 때는 주의를 요한다.

그림 4는 위에서 얻은 순수한 Kitt Peak 태양 스펙트럼을 이용하여 지구 흡수선이 제거된 혜성 스펙트럼에서 태양 흡수선을 제거하고 혜성 고유의 스펙트럼을 구하는 과정을 나타낸 그림이다. 그림 4 상단 그림의 붉은색 선은 그림 3 하단에 보여준 같은 Kitt Peak 태양 스펙트럼이고, 이를 이용하여 그림 4 하단에 보여주는 혜성의 고유한 스펙트럼을 구하였다.

혜성 스펙트럼과 Kitt Peak 태양 스펙트럼을 가지고 자료 처리하는 과정에서 두 데이터의 분해능의 차이로 인한 파장이 서로 일치 하지 않는 부분은 적당한 convolution과 interpolation 방법을 사용하여 처리 하였고 흡수선의 세기와 폭 또한 smoothing을 사용하여 가장 잘 맞춰서 제거해 주었다.

4. 방출선 확인

위와 같이 얻어낸 혜성 고유의 스펙트럼은 문헌에 나타난 가시광선 영역 고분산 분광 자료들, 즉 Austin 혜성의 3799 ~ 8552Å의 자료(Kim et al. 1997)와 Brown et al.(1996)의 Swift-Tuttle과

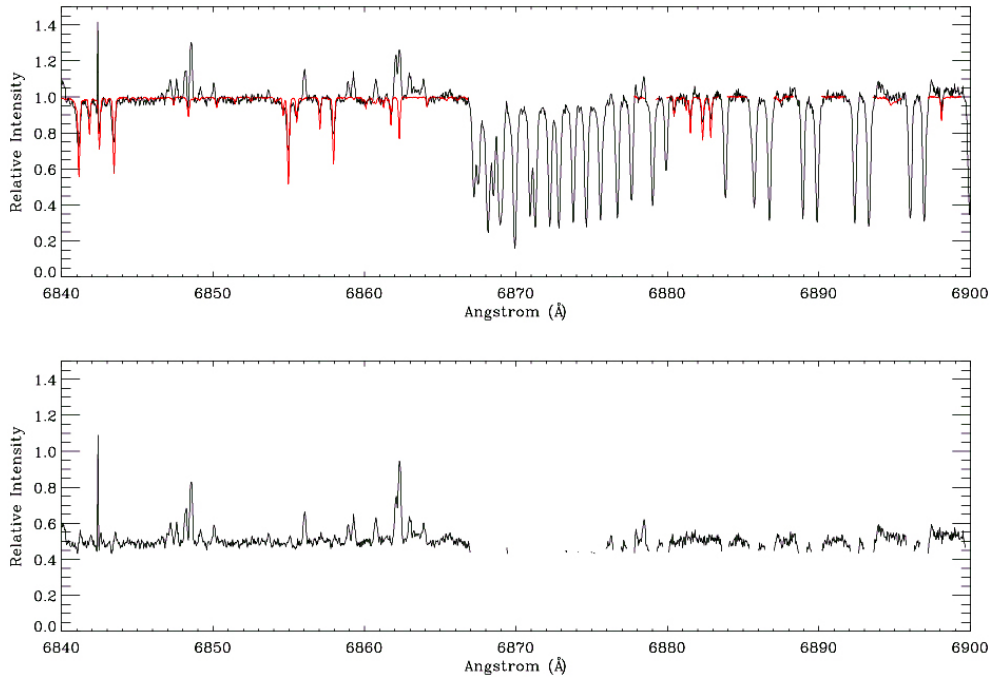


그림 4. Kitt Peak 자료로 얻은 순수한 태양 자료를 혜성 자료처리에 적용. 상단의 그림에서 붉은색 선은 Kitt Peak 자료로 얻은 순수한 태양 자료(그림 3 하단 스펙트럼과 동일)이고 검은색 선이 Machholz 혜성의 자료이다. 하단 그림의 빈 영역은 강한 지구대기 흡수선으로 인하여 유효하지 않은 영역이다.

Brosen-Metcalf 혜성의 3800 ~ 9900Å의 자료, 그리고 Cochran & Cochran(2002)의 de Vico 혜성의 3830 ~ 10192Å의 자료와 함께 분해능 범위 안에서 확인하며 비교분석 하였다. 지면 관계상 비교 분석 처리된 4800 ~ 8100Å 파장 영역 모두를 보여 줄 수 없고 그중 한 좁은 파장 영역(5090 ~ 4210Å)을 예로 들어 그림 5에 보여 주었다. 전 파장 영역에 대한 비교분석 결과는 <http://padra.khu.ac.kr/>에서 얻을 수 있다.

Swift-Tuttle 혜성과 Brosen-Metcalf 혜성, de Vico 혜성의 자료는 파장과 원인물질을 알아내는 데, 그리고 Austin 혜성자료는 파장과 세기를 비교하는 데 사용하였다. 방출선 확인 작업은 비교 자료의 파장과 Machholz 혜성 분광선의 파장과의 차이를 분해능 범위 안에서 확인하여 정리하였다. 분광선의 세기는 normalized continuum을 기준으로 한 상대 세기이다.

Machholz 혜성의 자료와 다른 혜성들의 자료와 비교하여, Austin 혜성과 de Vico 혜성의 자료 중에 누락되어 있는 파장영역에 대한 방출선들을 점검하였다. 비교분석을 통해 정리한 4800 ~ 8100Å 영역의 모든 방출선은 파장과 원인물질로 정리하였다. 자료 처리한 전 파장대에서 Machholz 혜성의 방출선은 대부분 C_2 , NH_2 , CN , H_2O^+ 에 의한 것이었다(예: 그림 5). 이번 연구에서 추가로 확인된 방출선 중 Machholz 혜성의 자료에는 존재하나 Austin 혜성에서 없는 방출선들은 284개(표 1), de Vico 혜성에서 없는 방출선들은 53개이다(표 2). Austin 혜성에 없는 284개의 방출선중 231개의 방출선은

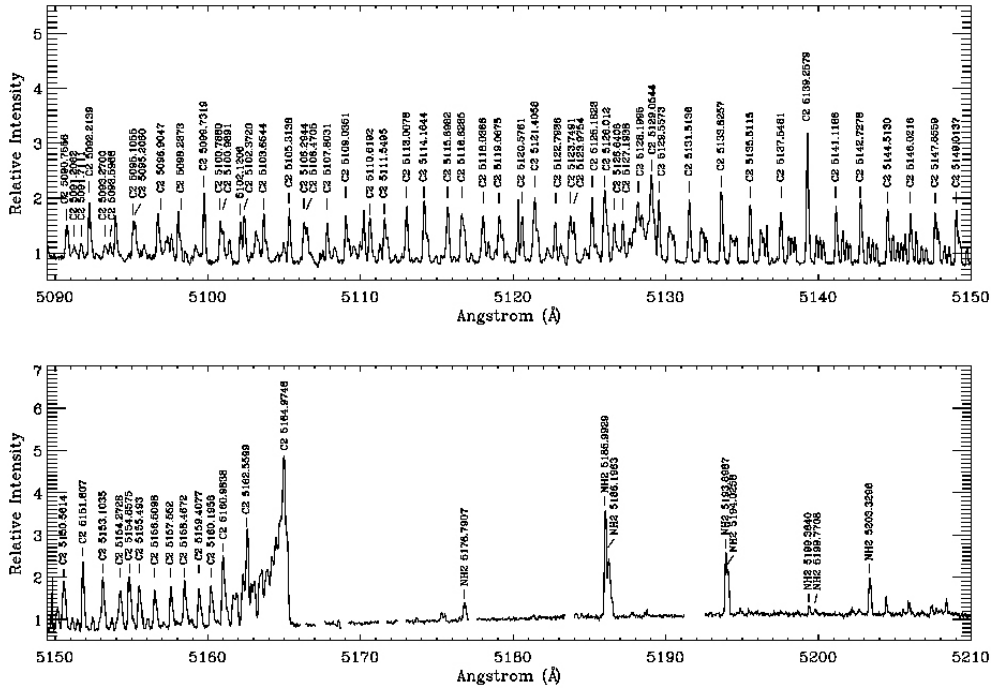


그림 5. Machholz 혜성 분광선에 대한 비교 확인 작업이 끝난 한 예.

de Vico 혜성의 자료로부터 확인이 되었고, 53개의 방출선들은 아직 확인되지 않은 방출선들이다. 표 1과 2에서 미확인 분광선들에 대해서는 ‘unid’로 표시하였다.

주로 장파장 영역에서 나타나는 OH 방출선들이 Machholz 혜성의 자료에 존재하는지에 대한 조사도 진행 하였다. 지구대기의 OH 방출선에 관한 자료는 Rousselot et al.(2000)과 Osterbrock et al.(2000) 자료를 이용하였다. 관측 자료에 나타난 OH 방출선들에 대해서 지구대기에 의한 방출선인지 혜성에서 발생된 방출선인지를 다음과 같은 방법으로 확인하였다. Machholz 혜성은 관측당시 시선방향으로 -1.29km/s 의 속도로 매우 느렸기 때문에 방출선의 도플러 이동은 확인이 어려웠다. 혜성과 표준성 관측 자료로부터 나타난 지구대기의 OH 방출선의 절대 세기를 표준성과 혜성의 분광선을 정규화하기 전인 관측당시의 세기로 비교하였다. 이를 통해서 혜성 분광선에서 보이는 OH 방출선의 위치가 표준성에서도 동일하게 나타나는지 확인하였다. 만약 혜성 스펙트럼에 나타난 방출선이 지구 대기에 의한 OH 방출선이라면 혜성과 표준성에 동시에 존재해야 하기 때문이다. OH 방출선의 존재 유무를 동일한 파장영역에서 비교 하기위해서 두 분광선이 나타나는 영역을 지구 대기 흡수선을 기준으로 일치시켰다. 혜성스펙트럼에 나타나는 OH 방출선이라고 의심 되는 파장위치에 표준성 스펙트럼에서는 어떠한 형태의 방출선도 발견할 수 없다면, 이 방출선이 혜성 고유의 OH 방출선일 가능성이 높다. 이렇게 OH 방출선이라고 의심되는 방출선들은 7340.8\AA , 7358.5\AA , 7369.4\AA , 7716.9\AA , 7750.5\AA , 7794.1\AA , 7964.5\AA , 7993.3\AA 으로 8개이다. 그러나 우리는 이 방출선들이 OH에 기인한 것이라고 확정적 결론 내리기에는 관측 자료가 미흡하다는 생각이다. 따라서 표 1, 2에는 이들

표 1. Austin 혜성에 없는 Machholz 혜성의 방출선(284개).

파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질	파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질
4864.6977	1.35	C ₂	5417.9546	1.74	C ₂
4864.7454	1.34	C ₂	5418.8321	1.43	C ₂
4866.2478	1.27	unid	5419.0715	1.44	C ₂
4866.844	1.44	unid	5419.4438	1.17	NH ₂
4905.7582	1.20	C ₂	5464.3053	1.52	C ₂
4906.6738	1.45	C ₂	5465.1393	1.20	NH ₂
4946.3329	2.06	C ₂	5467.3721	1.21	C ₂
4950.5697	1.24	C ₂	5469.2014	1.26	C ₂
4951.4219	1.63	C ₂	5472.6179	1.44	C ₂
4991.2914	1.36	C ₂	5521.3068	1.11	C ₂
4992.3249	1.74	C ₂	5521.4973	1.15	NH ₂
4994.5643	1.20	C ₂	5523.1577	1.22	NH ₂
4994.6135	1.18	C ₂	5524.0015	1.19	C ₂
5033.6268	1.35	C ₂	5524.4915	1.09	C ₂
5034.2084	1.31	C ₂	5524.7364	1.10	C ₂
5035.6849	1.42	C ₂	5573.5406	1.16	C ₂
5037.3091	1.27	unid	5574.8744	1.12	C ₂
5037.7028	1.91	unid	5575.4460	1.25	C ₂
5038.4165	1.15	unid	5576.1264	1.40	C ₂
5038.5641	1.15	unid	5577.3513	4.03	C ₂
5077.5928	1.51	C ₂	5578.6578	1.30	C ₂
5077.8364	1.28	C ₂	5582.3052	1.28	C ₂
5078.3339	1.49	C ₂	5625.5725	2.08	C ₂
5079.9009	2.35	C ₂	5626.7845	1.21	C ₂
5080.2988	1.25	C ₂	5627.9965	1.25	C ₂
5081.7664	1.52	C ₂	5629.0156	1.14	C ₂
5082.2141	1.25	C ₂	5630.0348	1.25	NH ₂
5082.9851	1.84	C ₂	5631.7976	1.26	C ₂
5083.1593	1.51	C ₂	5632.4587	1.27	C ₂
5083.9303	1.01	C ₂	5633.1748	1.31	C ₂
5084.0298	1.02	C ₂	5633.7533	1.43	C ₂
5122.7685	1.57	C ₂	5634.2491	1.30	C ₂
5123.1205	1.18	C ₂	5634.8826	1.78	C ₂
5123.7491	1.68	C ₂	5635.1580	1.99	C ₂
5123.9754	1.56	C ₂	5682.3334	2.05	NH ₂
5125.1823	2.00	C ₂	5687.7138	1.86	NH ₂
5125.4337	1.17	C ₂	5692.5087	1.14	NH ₂
5126.6406	1.54	C ₂	5692.9269	1.55	NH ₂
5127.1686	1.59	C ₂	5693.3451	2.15	NH ₂
5127.6464	1.27	C ₂	5693.5681	3.45	NH ₂
5128.1744	1.92	C ₂	5741.2036	4.12	NH ₂
5128.4258	1.69	C ₂	5868.7443	1.16	NH ₂
5129.5573	1.96	C ₂	5915.0869	1.15	NH ₂
5175.3255	1.16	unid	5917.6905	1.15	NH ₂
5175.5289	1.13	unid	5928.0178	1.29	NH ₂
5318.0321	2.28	unid	5931.0552	1.20	NH ₂
5362.1509	1.18	C ₂	5976.3946	5.84	unid
5362.2561	1.15	C ₂	5976.8633	2.14	unid
5366.4623	1.21	unid	5977.2149	2.47	unid
5366.7777	1.19	C ₂	5983.2206	1.09	NH ₂
5371.8777	1.28	C ₂	5984.5975	2.71	NH ₂
5416.9707	1.42	NH ₂	6039.1786	1.65	NH ₂

표 1. 계 속

파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질	파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질
6048.9413	1.16	NH ₂	6836.4179	1.23	NH ₂
6108.8484	1.63	C ₂	6840.0776	1.10	unid
6109.9907	1.62	C ₂	6847.1955	1.10	NH ₂
6238.6369	1.13	NH ₂	6847.5984	1.11	NH ₂
6245.6639	1.33	unid	6848.2363	1.18	unid
6245.5817	1.24	unid	6848.5385	1.33	unid
6308.7570	1.03	unid	6849.1764	1.07	unid
6309.4361	1.09	unid	6850.0494	1.09	NH ₂
6310.7635	1.20	unid	6856.0593	1.16	NH ₂
6312.6773	1.55	NH ₂	6858.9468	1.09	unid
6317.7706	1.18	NH ₂	6859.2825	1.15	unid
6318.6349	1.30	NH ₂	6912.1236	1.23	unid
6319.2214	1.14	NH ₂	6927.2181	1.39	CN
6320.3635	1.26	NH ₂	6931.4432	1.08	unid
6320.7957	1.44	NH ₂	6932.2269	1.69	unid
6322.4009	1.22	NH ₂	6932.8743	1.21	unid
6326.9694	1.09	NH ₂	6937.3379	1.40	unid
6447.9888	1.16	unid	6939.3823	1.12	unid
6468.2582	1.11	NH ₂	6941.7675	1.30	unid
6470.1931	1.20	NH ₂	6942.6534	1.15	unid
6470.6055	1.25	NH ₂	6943.8119	1.09	unid
6521.8962	1.14	unid	6943.9141	1.12	unid
6533.1859	1.17	NH ₂	6987.8006	1.08	H ₂ O ⁺
6534.0222	1.35	unid	6988.0051	1.11	unid
6537.0135	1.21	NH ₂	6990.9694	1.26	H ₂ O ⁺
6598.7692	1.19	C ₂	6993.4568	1.08	NH ₂
6599.2516	1.12	unid	7000.815	1.27	unid
6600.2809	1.83	unid	7002.7865	1.58	unid
6601.2780	1.32	NH ₂	7010.5339	1.17	NH ₂
6604.3658	1.16	NH ₂	7011.9174	1.75	NH ₂
6614.3788	1.10	unid	7014.6152	1.10	unid
6617.9345	4.34	NH ₂	7017.3476	1.09	unid
6618.6196	1.77	NH ₂	7017.7972	2.43	NH ₂
6619.2394	1.85	NH ₂	7023.8845	1.30	NH ₂
6671.7594	1.55	NH ₂	7027.7236	1.62	unid
6674.3039	1.24	NH ₂	7027.9657	1.52	NH ₂
6675.9676	1.13	unid	7028.8996	1.22	NH ₂
6676.8483	1.12	unid	7074.3122	1.36	unid
6677.5660	1.23	NH ₂	7075.7994	1.08	unid
6677.9248	1.07	unid	7076.2144	1.15	unid
6682.1982	1.33	NH ₂	7264.442	1.49	unid
6750.0913	1.89	NH ₂	7264.9769	1.31	unid
6750.3561	1.24	NH ₂	7276.4245	1.20	C ₂
6754.5586	2.07	NH ₂	7276.7811	1.12	unid
6754.8234	1.42	NH ₂	7291.4739	1.11	CN
6764.850	1.20	NH ₂	7292.5438	1.94	unid
6766.3722	1.08	NH ₂	7346.1782	1.06	NH ₂
6767.8944	1.31	NH ₂	7346.5405	1.08	C ₂
6830.7773	1.10	NH ₂	7347.2288	1.83	NH ₂
6831.7846	1.31	NH ₂	7348.2431	1.84	NH ₂
6832.4225	1.16	unid	7349.2936	1.16	NH ₂
6833.8326	1.17	unid	7350.1268	1.33	NH ₂

표 1. 계 속

파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질	파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질
7358.0964	1.07	unid	7873.3577	1.17	CN
7358.6038	1.10	unid	7874.0538	1.17	CN
7359.6179	1.32	NH ₂	7874.9045	1.18	CN
7360.4511	1.34	NH ₂	7876.0259	1.09	CN
7369.2901	1.07	CN	7877.3407	1.13	unid
7375.6295	1.92	unid	7878.8875	1.14	unid
7376.3178	1.89	unid	7880.3957	1.10	unid
7392.4019	1.12	unid	7880.7824	1.08	unid
7394.1769	1.15	unid	7882.3292	1.13	unid
7394.6841	1.15	unid	7883.4119	1.86	unid
7446.8487	1.77	H ₂ O ⁺	7883.6053	1.44	unid
7462.3574	1.18	NH ₂	7884.4947	1.18	unid
7464.6763	1.14	C ₂	7885.7708	1.14	unid
7465.2652	1.13	unid	7886.8536	1.16	unid
7466.5166	1.29	H ₂ O ⁺	7889.3285	1.33	unid
7467.7681	1.15	H ₂ O ⁺	7892.1127	1.18	unid
7538.6214	1.12	unid	7894.2009	1.21	unid
7542.3021	1.15	unid	7894.7423	1.10	unid
7583.5431	1.27	unid	7895.2837	1.20	unid
7585.7876	1.34	unid	7897.7972	1.07	unid
7743.4075	1.14	unid	7898.532	1.23	unid
7747.0963	1.43	unid	7900.6588	1.10	unid
7750.6710	1.33	NH ₂	7901.8963	1.19	unid
7752.1921	1.12	NH ₂	7904.3325	1.15	unid
7753.6372	1.21	unid	7904.7966	1.15	unid
7761.1668	1.11	NH ₂	7905.6473	1.20	unid
7763.4485	1.26	NH ₂	7908.2382	1.09	unid
7763.9049	1.09	NH ₂	7908.6636	1.21	unid
7771.0162	1.55	NH ₂	7909.0116	1.24	unid
7773.6782	1.08	NH ₂	7964.6951	1.23	unid
7778.2796	1.27	NH ₂	7977.8720	1.13	NH ₂
7783.0712	1.21	unid	7978.3440	1.09	CN
7783.6036	1.46	NH ₂	7979.8781	1.13	CN
7794.1755	1.25	unid	7980.2714	1.12	NH ₂
7860.4418	1.25	NH ₂	7983.9295	1.42	NH ₂
7861.5246	1.13	NH ₂	7992.4257	1.23	NH ₂
7866.3971	1.20	NH ₂	7993.4090	1.19	unid
7872.8936	1.26	CN	8004.5799	1.12	NH ₂

방출선들을 표시하지 않았다.

5. 결 론

이 논문에서는 Machholz 혜성을 보현산 천문대의 BOES로 관측하여 4800 ~ 8100Å 영역에서 고분산 스펙트럼을 얻어 내었다. 기존의 가시광선 영역 고분산 분광연구 자료들인 Kim et al.(1996)의 Austin 혜성의 3799 ~ 8552Å, Brown et al.(1996)의 Swift-Tuttle 혜성, Brorsen-Metcalf 혜성의 3800 ~ 9900Å 자료 그리고, Cochran & Cochran(2002)의 de Vico 혜성의 3830 ~ 10192Å 자료들을 가지고 비교분석 하였다.

자료 처리한 파장대에서 Machholz 혜성의 방출선은 대부분 C₂, NH₂, CN, H₂O⁺에 의한 것이었

표 2. de Vico 혜성에 없는 Machholz 혜성의 방출선(53개).

파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질	파장, Machholz(Å)	상대 세기	원인 물질
5976.3946	5.84	unid	7747.0963	1.43	unid
5976.8633	2.14	unid	7877.3407	1.13	unid
5977.2149	2.47	unid	7878.8875	1.14	unid
6308.7570	1.03	unid	7880.3957	1.10	unid
6309.4361	1.09	unid	7880.7824	1.08	unid
6310.7635	1.20	unid	7882.3292	1.13	unid
6931.4432	1.08	unid	7883.4119	1.86	unid
6932.2269	1.69	unid	7883.6053	1.44	unid
6932.8743	1.21	unid	7884.4947	1.18	unid
6937.3379	1.40	unid	7885.7708	1.14	unid
6939.3823	1.12	unid	7886.8536	1.16	unid
6941.7675	1.30	unid	7889.3285	1.33	unid
6942.6534	1.15	unid	7892.1127	1.18	unid
6943.8119	1.09	unid	7894.2009	1.21	unid
6943.9141	1.12	unid	7894.7423	1.10	unid
7074.3122	1.36	unid	7895.2837	1.20	unid
7075.7994	1.08	unid	7897.7972	1.07	unid
7076.2144	1.15	unid	7898.532	1.23	unid
7358.6038	1.10	unid	7900.6588	1.10	unid
7375.6295	1.92	unid	7901.8963	1.19	unid
7376.3178	1.89	unid	7904.3325	1.15	unid
7392.4019	1.12	unid	7904.7966	1.15	unid
7394.1769	1.15	unid	7905.6473	1.20	unid
7394.6841	1.15	unid	7908.2382	1.09	unid
7538.6214	1.12	unid	7908.6636	1.21	unid
7542.3021	1.15	unid	7909.0116	1.24	unid
7743.4075	1.14	unid			

다. Austin 혜성과 비교에서 새로 확인된 284개의 방출선을 표 1에 정리하였고, de Vico 혜성에서 없는 방출선들은 53개이다(표 2). 혜성의 OH에 의한 것일 가능성이 있는 8개의 방출선도 확인하였다.

이 논문에서 정리된 Machholz 혜성의 방출선 자료와 다른 혜성들의 비교 자료는 앞으로 혜성 연구의 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글: 이 연구는 2006년 경희대학교 연구년 지원과 과학재단(R01-2008-000-20002-0)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

김강민, 이병철 2004, 한국천문연구원 기술보고서 (보현산천문대 긴슬릿분광기와 BOES의 파장 동정용 램프 분광선 지도), No.03-002-052

Brown, M. E., Bouchez. A. H., Spinrad, H., & Johns-Krull, C. M. 1996, AJ, 112, 1197

Cochran, A. L. & Cochran, W. D. 2002, Icarus, 157, 297

Kim, S. J., Brown, M., & Spinrad, H. 1997, J. Geomagn. Geoelectr., 49, 1165

Lee, I. Im, M., Kim, M., Kang, E., Shim, H., Richards, G. T., Edge, A. C., Lee, M. G., Park, C. &

Park, M. 2008, *ApJs*, 175, 116

Osterbrock, D. E., Waters, R. T., Barlow, T. A., Slinger, T. G., & Cosby, P. C. 2000, *PASP*, 112, 733

Rousselot, P., Lidman, C., Cuby, J. G., Moreels, G., & Monnet, G. 2000, *A&A*, 354, 1134