

## SOHO SUNGRAZING COMET의 근일점 분포와 예상되는 새로운 그룹들

이성은<sup>1</sup>, 이 유<sup>1†</sup>, 김용하<sup>1</sup>, John. C. Brandt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 천문우주학과

<sup>2</sup>Dept. of Physics and Astronomy, University of New Mexico

### DISTRIBUTION OF PERIHELIA FOR SOHO SUNGRAZING COMETS AND THE PROSPECTIVE GROUPS

Sungeun Lee<sup>1</sup>, Yu Yi<sup>1†</sup>, Yong Ha Kim<sup>1</sup>, and John. C. Brandt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Astronomy and Space Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Physics and Astronomy, University of New Mexico, Albuquerque NM 87131, USA

E-mail: euyiyu@cnu.ac.kr

(Received May 30, 2007; Accepted July 31, 2007)

#### 요 약

Sungrazing comet은 근일점이 태양에 매우 가까이 근접하는 혜성을 의미한다. 1996년부터 2007년 4월까지 약 1270여개의 sungrazing comet이 Solar and Heliospheric Observatory(SOHO) 위성 에 의해 발견되었다. 현재 이들은 Kreutz, Meyer, Marsden, Kracht1&2 group으로 나뉘며, 현재 약 85%가 Kreutz group에 속한다. 이 Kreutz group은 근일점이 대체로 태양 표면으로부터 2~3R<sub>☉</sub> 떨어진 곳에 위치한다. 우리는 SOHO sungrazing comet의 근일점 분포에 대해 분석하였고, 지금까지 그룹으로 분류되지 못한 혜성 중에서 앞으로 그룹이 될 가능성이 있을 만큼 근일점이 가깝고 궤도가 비슷한 3쌍의 혜성[(C/2000 Y6, C/2000 Y7), (C/2000 V4, C/2001 T5), (C/2003 H6, C/2003 H7)]을 예비그룹으로 제안하고자 한다.

#### ABSTRACT

A comet that passes extremely close to the Sun at perihelion is called a sungrazing comet (of sungrazer). Around 1270 sungrazing comets have been discovered on coronagraph images from the SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) spacecraft since 1996 up to April, 2007. The major groups orbiting around the Sun in similar orbits are named as Kreutz, Meyer, Marsden, and Kracht1&2 families. About 85% of SOHO comets belong to the Kreutz family with perihelion distances of less than about 2~3R<sub>☉</sub>. The distributions of perihelia and the orbital elements of SOHO sungrazing comets are analyzed. We investigated closely spaced pairs and clusters in the orbital element space. Here, we suggest three prospective groups of the sungrazing comets: [(C/2000 Y6, C/2000 Y7), (C/2000 V4, C/2001 T5), (C/2003 H6, C/2003 H7)].

*Keywords:* Sungrazing comet

---

<sup>†</sup>corresponding author



그림 1. Sungrazing comet. SOHO 위성에 의해 관측되었다. 7시 방향에서 태양쪽으로 길게 뻗은 밝은 천체가 Sungrazing comet이다(그림출처 - <http://ase.tufts.edu/cosmos/pictures/>).

## 1. 서 론

### 1.1 Sungrazing comet

일반적으로 혜성은 태양계 먼 곳에서부터 태양의 인력에 이끌려 태양계 내로 진입하는 작은 천체를 말한다. 혜성은 크게 주기혜성과 비주기혜성으로 나뉘고 주기혜성의 경우 궤도는 긴 타원 형태이고 태양 근처에 근일점을 두고 있다. Sungrazing comet은 주기혜성과 궤도 형태가 비슷하나 근일점이  $2 \sim 3R_{\odot}$  ( $1R_{\odot} = 0.0046524\text{AU}$ )로 태양으로부터 매우 가까이 근접하는 혜성을 의미한다(그림 1). 이 혜성들은 태양의 중력에 이끌려 그대로 태양에 떨어지거나 대부분은 태양 중력에 의해 부서진다. 원일점은 태양으로부터  $100 \sim 200\text{AU}$  떨어진 곳에 있다고 생각되며 약  $500 \sim 1000\text{yr}$ 의 주기를 갖는다(Sekanina 2002a,b).

Sungrazing comet의 관측은 372BC에 Aristotle-Ephorus comet으로 시작되었다(Bailey, Chambers, & Hahn 1992). 그 후, 1880년 대 후반 Heinrich Kreutz가 sungrazing comet의 궤도가 모두 같다는 것을 발견하고 계속 연구되어 왔다. 이것은 이 혜성들이 모두 하나의 혜성에서 분리된 것으로 여겨진다. 초기에 연구된 혜성들은 지상에서 관측되었기 때문에 매우 크고 밝았다. 특히 가장 밝았던 C/1882 R1과 SOHO에서 관측된 가장 어두운 혜성 사이의 밝기 차이는 20등급 정도이다(Sekanina 2002a).

표 1. SOHO sungrazing comet 목록의 예(그룹별 궤도 값).

그룹	혜성 이름	년	월	일	q(AU)	e	$\omega(^{\circ})$	$\Omega(^{\circ})$	$i(^{\circ})$	L( $^{\circ}$ )	B( $^{\circ}$ )
Kreutz group	C/1996A2	1996	Jan.	14.56	0.0054	1	82.03	6.86	141.76	286.96	37.80
Marsden group	C/1996V2	1996	Nov.	11.78	0.0488	1	11.84	89.36	33.41	99.28	6.48
Meyer group	C/1996N3	1996	July	3.85	0.0351	1	57.17	73.16	72.12	98.60	53.10
Kracht1 group	C/1996X3	1996	Dec.	6.17	0.0426	1	63.68	51	14.78	113.90	13.21
Kracht2 group	C/1999R1	1999	Sept.	5.52	0.0565	1	43.74	5.22	13.69	48.13	9.41

## 1.2 SOHO sungrazing comet

지상에서만 이루어졌던 관측은 인공위성이 올라가면서 여러 인공위성 등에 의해 활발하게 관측된 이래, 1970년대 Solwind에 의해 6개, Solar Maximum Mission(SMM)에 의해 10개, 1996년부터 현재까지 활발한 관측을 진행 중인 Solar and Heliospheric Observatory(SOHO)에 의해 약 1270여 개가 발견되었다(Sekanina 2002a).

SOHO sungrazing comet은 관측을 시작한 이래로 많은 수의 혜성을 발견하여왔고 그 수는 1996년부터 2007년 4월까지 총 1272개가 발견되었다. Sungrazing comet의 주요 그룹들도 궤도 요소들이 비슷한 혜성들이 3개 이상 모이면 같은 그룹으로 명명되었기 때문에 우리는 각 그룹의 근일점 위치분포를 알아보고, 그룹으로 분류 되지 않은 nongroup의 혜성들을 예비그룹으로 묶기 위해 SOHO 위성으로부터의 데이터만을 이용하여 sungrazing comet의 근일점 분포를 분석하였다.

## 2. SOHO SUNGRAZING COMET

### 2.1 Data

SOHO sungrazing comet의 데이터 중에서 궤도 정보가 없는 것을 제외하고 실제 분석에는 1238개가 사용되었다. 관측 자료와 궤도요소 정보는 SOHO/LASCO(Large Angle and Spectrometric Coronagraph Experiment) 공식 사이트에서 볼 수 있다. 이 데이터에는 혜성의 이름과 근일점 시점, 근일점의 거리, 이심률, 근일점과 노드선 사이의 각  $\omega$ (argument of perihelion), 상승점의 경도각  $\Omega$ (longitude of ascending node), 궤도면 경사각  $i$ (inclination)에 대한 정보가 있고, 근일점의 황도 좌표계에 대한 longitude(L)와 latitude(B)는 식 (1, 2)로부터 계산할 수 있다.

$$L = \Omega + \arctan(\tan \omega \times \cos i) \quad (1)$$

$$B = \arcsin(\sin \omega \times \sin i) \quad (2)$$

표 1에 각 그룹별로 처음 관측된 혜성의 궤도정보와 계산된 L, B의 값을 예로 보였다.

SOHO sungrazing comet들은 크게 L, B의 분포와 근일점에 의해 5개의 그룹(Kreutz, Meyer, Marsden, Kracht1&2 group)으로 나뉘며 그룹으로 묶이지 못한 혜성에 대해서는 nongroup으로 분류되었다. 각각 그룹에 대한 자세한 특징은 2장에서 살펴보도록 하겠다. SOHO sungrazing comet에서 nongroup을 제외한 나머지 그룹들의 L과 B의 천구 상의 분포는 그림 2에서 확인할 수 있다. 혜성 하나에 십자표 하나로 표기하였다. 그림 2를 통해서 그룹마다 L, B의 분포 위치가 다른 것을 볼 수 있다.

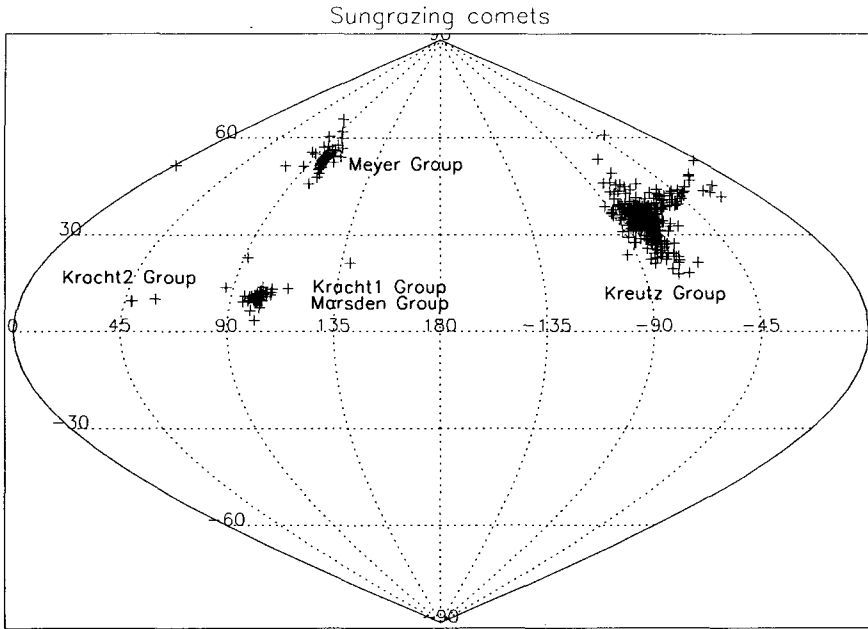


그림 2. SOHO sungrazing comet의 근일점의 longitude와 latitude의 천구 상의 분포. 십자표 하나는 혜성 하나를 의미한다.

## 2.2 SOHO sungrazing comet의 주요 그룹들

### 2.2.1. Kreutz Group

Kreutz group은 혜성의 수가 1077개로 Sungrazing comet의 약 85%에 해당한다. Sungrazing comet의 그룹들 중에 근일점이 태양에 가장 가깝기 때문에 대부분의 혜성이 태양의 영향에 의해 작은 조각으로 부서진다. 즉, 초기의 큰 혜성이 점점 작은 혜성으로 나뉘면서 그 수가 점점 늘어났다고 생각될 수 있고, 궤도요소가 모두 거의 비슷한 점이 그 사실을 더욱 뒷받침해 준다(Sekanina 2002a).

Kreutz group의 천구상의 분포는 그림 3에 나타나있다. 그림 2에서와 마찬가지로 혜성 하나에 십자표 하나를 사용하였다. 근일점은 태양에서 약  $2 \sim 3R_{\odot}$ 에,  $\omega, \Omega, i$ 는 각각  $85^{\circ}, 0^{\circ}, 145^{\circ}$ ,  $L$ 은  $282^{\circ}$ ,  $B$ 는  $35^{\circ}$  부근에 분포한다. 혜성이 부서지면서 궤도가 조금씩 변경되어 범위가 넓어지는 것으로 여겨진다(Bailey, Chambers, & Hahn 1992). 이 그룹은 상세분류로 다시 Kreutz1과 2로 나뉜다. 약 2000여 년 전, 초기의 혜성이 두 개로 분리되면서 Kreutz group이 두 그룹으로 분리된 것으로 추측되고 있다. Kreutz2의 근일점은 0.007AU보다 더 멀리 분포하는 반면 Kreutz1은 0.007AU 미만이다. 또한 Kreutz1은 Kreutz2보다  $L$ 이 더 큰 곳에 분포하고,  $B$ 는 작은 곳에 분포하는 경향을 보인다. 그림 4에서 십자 모양이 Kreutz1 group을, 다이아몬드 모양이 Kreutz2 group를 나타낸다. 하지만 다른 궤도요소들에서는 별다른 차이를 볼 수 없었다.

### 2.2.2. Meyer Group

그림 5에 보여 지는 Meyer group은 Kreutz group 다음으로 혜성의 수가 많지만 그 차이가 매우 많이 난다. 현재까지 발견된 수는 75개로 전체 중에서 약 6%를 차지한다. 근일점은  $0.036AU(\sim 7R_{\odot})$ 로

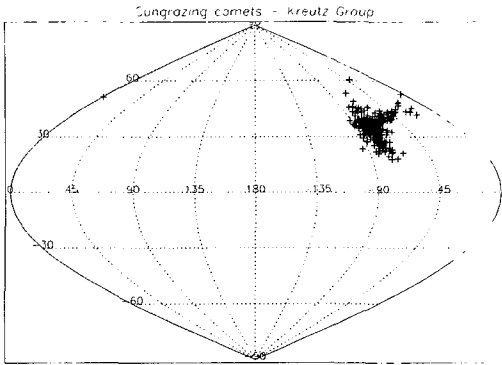


그림 3. Kreutz group의 천구상의 분포. 대략  $L \sim 282^\circ$ ,  $B \sim 35^\circ$ 의 위치에 분포한다.

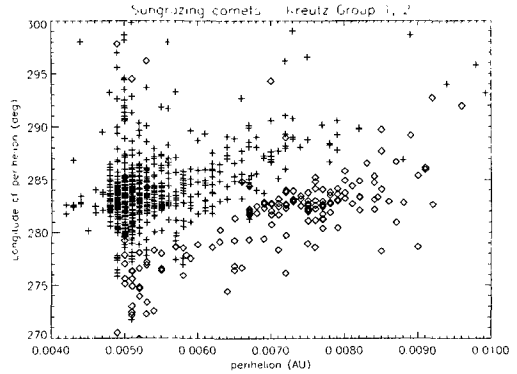


그림 4. Kreutz group 1&2의 근일점  $q$ 에 대한  $L$ 의 분포. 십자가 모양은 Kreutz1, 다이아몬드 모양은 Kreutz2.

Kreutz group보다 약 3배 먼 곳에 분포한다.  $\omega, \Omega, i$ 는 각각  $57.3^\circ, 72.6^\circ, 72.4^\circ$ 에,  $L$ 과  $B$ 는  $97.8^\circ$ 과  $53.3^\circ$  부근에 분포한다.

### 2.2.3. Marsden Group

그림 6의 Marsden group과 다음의 Kracht group에 대해서는 Sekanina & Chodas(2005)에서 잘 설명되어 있다. Marsden group의 근일점은  $0.048\text{AU} (\sim 10R_\odot)$  부근에,  $\omega, \Omega, i$ 는 각각  $23.0^\circ, 81.9^\circ, 26.4^\circ$  부근에 분포하고,  $L$ 은  $102.7^\circ$ ,  $B$ 는  $10^\circ$ 에 분포한다. 현재 30여 개가 발견되었고, 전체 중에서 약 2%의 비율을 차지한다.

### 2.2.4. Kracht1 Group

Sekanina & Chodas(2005)에 의해 Marsden group과 함께 Sunskirting이라고도 불리는 Kracht1 group은  $L$ 과  $B$ , 근일점이 Marsden group과 비슷하나  $\omega, \Omega, i$ 가  $53.5^\circ, 48.5^\circ, 13.6^\circ$ 으로 약간 차이를 보인다. Kracht1은 28개의 혜성으로 이루어져 있다. 근일점의 위치 분포는 그림 7에서 보여진다.

### 2.2.5. Kracht2 Group

Kracht2 group은 Kracht1 group과 별개의 그룹이다. R. Kracht에 의해 두 그룹이 만들어졌고 그룹명이 Kracht 1과 2로 나뉘었다. Kracht2 group의 경우  $L$ 과  $B$ 는  $50.3^\circ$ 과  $9.5^\circ$ 로 Kracht1과 떨어진 곳에 위치하고 있다.  $\omega, \Omega, i$ 는  $44.0^\circ, 7.1^\circ, 13.7^\circ$  부근에 분포하고 근일점은 약간 더 먼  $0.054\text{AU} (\sim 11R_\odot)$  부근이다. Kracht2는 3개의 혜성으로 묶여있다. 그림 7의  $L \sim 45^\circ$  부근의 3개의 별 모양의 포인트가 Kracht2 group이다.

## 3. SOHO sungrazing comet의 예비그룹

그룹으로 정해지지 않은 혜성의 경우, 천구 상의  $L, B$  분포가 다른 그룹에 비해 대체로 고르게 퍼져 있다. 우리는 1997년 1월부터 2006년 10월까지 SOHO 위성으로부터 관측된 nongroup 관측자료의 근일점의 위치와 분포, 진행방향을 확인하였고, 매우 비슷한 경향을 보이는 쌍을 ‘예비그룹’으로 묶어보았다. Nongroup의 분포와 진행 방향은 그림 8에서 볼 수 있으며, 다이아몬드 방향이 진행

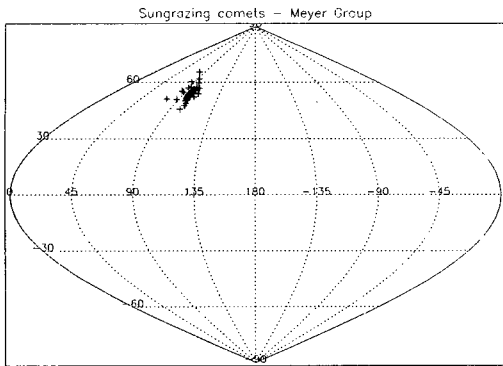


그림 5. Meyer group의 근일점 분포.

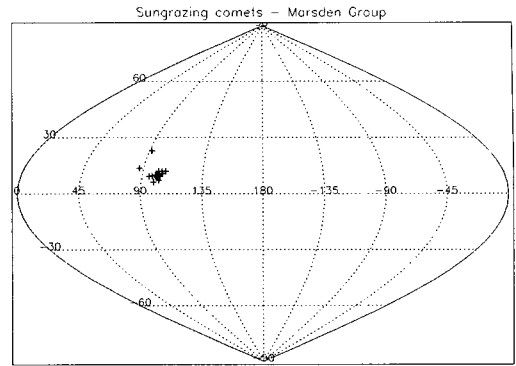


그림 6. Marsden group의 근일점 분포.

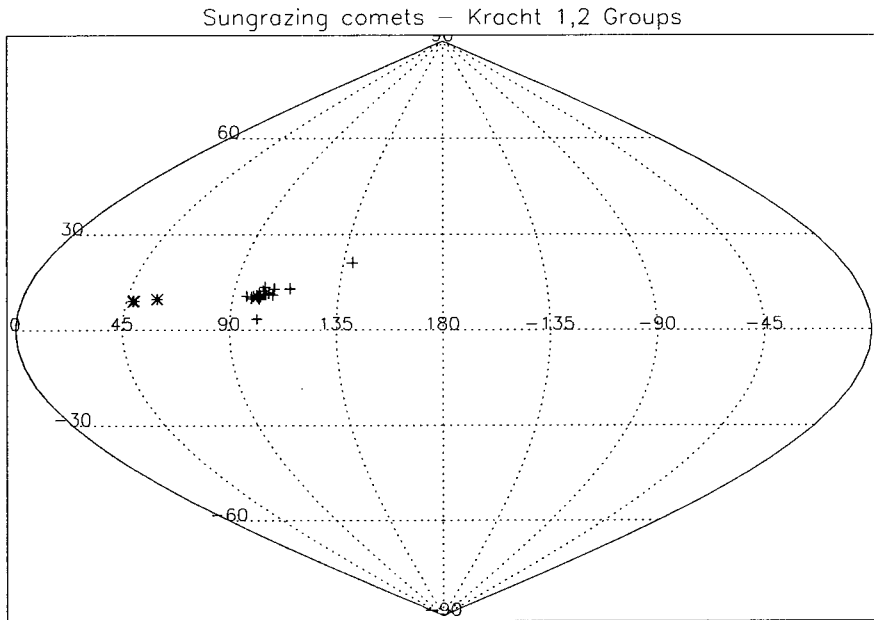


그림 7. Kracht1&2 group의 분포.  $L \sim 45^\circ$  부근의 세 포인트(별 모양)가 Kracht2 group이다.

방향이 된다. 실선의 길이는 혜성이 근일점에서  $\pm 5^\circ$ 만큼 이동한 거리를 나타낸 것이다. 근일점의 위치는 실선의 중간에 위치한다. 우리는 이 분포와 진행방향만으로 [13번(C/2000 Q1), 16번(C/2000 Y6), 17번(C/2000 Y7)]과 [15번(C/2000 V4), 22번(C/2001 T5)], [29번(C/2003 H6), 30번(C/2003 H7)], [7번(C/1998 G3), 14번(C/2000 S5)], [19번(C/2001 D1), 34번(C/2003 T12)], [31번(C/2003 K3), 48번(C/2005 Q3)], [40번(C/2004 Y4), 44번(C/2005 H7)]의 총 7쌍으로 묶어보았다. 여기에서의 번호는 근일점 날짜별로 정리된 데이터의 순서이며, 분석하는데 있어 편리함을 위해 사용되었다.

Kracht2 group의 경우 혜성간 궤도차는  $\Delta q \sim 0.01\text{AU}$ ,  $\Delta \omega \sim 1.8^\circ$ ,  $\Delta \Omega \sim 7.8^\circ$ ,  $\Delta i \sim 0.5^\circ$ 를 보인

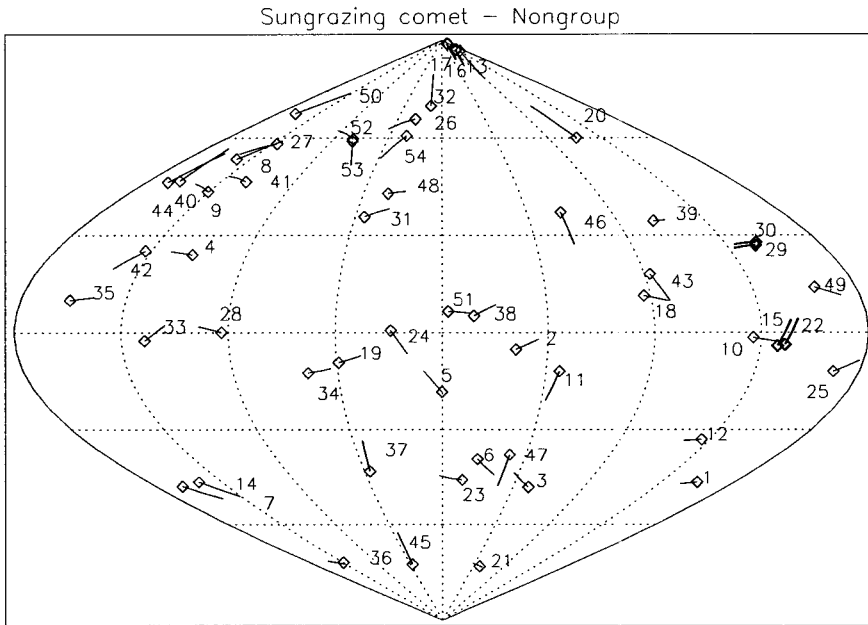


그림 8. Nongroup 혜성들의 분포와 진행방향. 다이아몬드 방향이 진행방향이다. 실선의 길이는 혜성이 근일점 주위에서  $\omega$ 가  $\pm 5^\circ$ 만큼 이동한 거리를 나타낸 것이다. 여기서 숫자는 날짜별로 정렬하여 준 임의의 번호이다. 세 개의 예비그룹은 굵게 표현되었다.

다. Sungrazing comet의 그룹 중에서 가장 혜성 수가 많은 Kreutz group은 넓은 영역에 걸쳐 분포하고 있어서 혜성간 궤도차가 매우 크다. 대략  $\Delta q \sim 0.008\text{AU}$ ,  $\Delta \omega \sim 80^\circ$ ,  $\Delta \Omega \sim 100^\circ$ ,  $\Delta i \sim 30^\circ$  정도의 차이를 보인다. Kracht2 group의 궤도차를 고려하여 예비그룹의 범위는  $\Delta q \sim 0.01\text{AU}$ ,  $\Delta \omega \sim 2.0^\circ$ ,  $\Delta \Omega \sim 7.0^\circ$ ,  $\Delta i \sim 2.0^\circ$ 로 정했고, 이 근처의 값을 갖는 혜성들을 다시 정한 결과, group1 [15(C/2000 V4), 22(C/2001 T5)], group2 [29(C/2003 H6), 30(C/2003 H7)], group3 [16(C/2000 Y6), 17(C/2000 Y7)]을 선택하였다. 이 세 그룹은 그림 8에서 굵게 표현되었고 궤도 정보는 표 2에 표기하였다. 우리의 세 그룹의 혜성간 각각의 궤도요소 차이는 group1( $\Delta q \sim 0.013\text{AU}$ ,  $\Delta \omega \sim 0.5^\circ$ ,  $\Delta \Omega \sim 2.8^\circ$ ,  $\Delta i \sim 0.3^\circ$ ), group2( $\Delta q \sim 0.0002\text{AU}$ ,  $\Delta \omega \sim 1.9^\circ$ ,  $\Delta \Omega \sim 0.8^\circ$ ,  $\Delta i \sim 0.05^\circ$ ), group3( $\Delta q \sim 0.0007\text{AU}$ ,  $\Delta \omega \sim 1.1^\circ$ ,  $\Delta \Omega \sim 0.5^\circ$ ,  $\Delta i \sim 1.7^\circ$ )이다.

각 궤도요소의 전체 구간의 경우,  $q$ 는 sungrazing comet의 그룹 중 가장 근일점이 먼 혜성을 선택하여 약  $0.05\text{AU}$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$ ,  $i$ 는 각각  $360^\circ$ ,  $L$ 과  $B$ 는 그 곱으로 계산하여 구의 표면적  $4\pi$ 가 되므로, 이 각각의 전체 구간을 예비그룹의 범위로 나누면  $q$ 는 5구간,  $\omega$ 는 180,  $\Omega$ 는 51,  $i$ 는 180,  $L \times B$ 는 3419 구간을 얻을 수 있다. 그러므로, 두 개의 혜성이 궤도요소 공간 상에서 비슷한 위치에 존재할 확률은  $1/(5 \times 180 \times 51 \times 180 \times 3419)$ , 즉  $1/28247778000 \sim 2.8 \times 10^{-10}$ 인 매우 작은 값을 갖는다.

하나의 그룹으로 정하기 위해서는 최소 3개의 비슷한 궤도요소를 가진 혜성들이 있어야 한다. 각 그룹에 비슷한 궤도를 가진 새로운 nongroup 혜성이 하나씩만 추가로 발견 된다면 또 다른 새로운 그룹으로 만들 수 있는 기회를 얻을 것으로 생각된다.

표 2. SOHO sungrazing comet의 예비그룹.

번호	혜성 이름	년	월	일	q(AU)	$\omega(^{\circ})$	$\Omega(^{\circ})$	$i(^{\circ})$	L( $^{\circ}$ )	B( $^{\circ}$ )
16	C/2000Y6	2000	Dec.	20.85	0.0252	88.03	229.47	87.30	283.33	86.66
17	C/2000Y7	2000	Dec.	20.85	0.0245	89.13	228.93	89.02	277.32	88.69
15	C/2000V4	2000	Nov.	11.46	0.0503	180.01	324.91	54.97	324.90	-0.01
22	C/2001T5	2001	Aug.	26.51	0.0373	179.51	327.74	55.26	328.02	0.40
29	C/2003H6	2003	Apr.	30.56	0.0264	80.67	243.47	27.05	323.02	26.66
30	C/2003H7	2003	Apr.	30.57	0.0266	82.57	242.66	27.90	324.26	27.64

#### 4. 결 론

Sungrazing comet은 일반적인 혜성들보다 태양에 매우 가깝게 근일점을 두고 있고, 궤도요소와 근일점 분포가 비슷하다. 우리는 지금까지 sungrazing comet이 5개의 그룹으로 나뉘어 조금씩 성질이 다르다는 것을 확인하였다. 한 그룹에 속하는 혜성들은 이전에 하나의 거대한 혜성을 이루었을 것으로 여겨지고 있다. 전체 혜성 수의 85% 비율을 차지하는 Kreutz group은 근일점이 태양 표면으로부터  $2\sim 3R_{\odot}$  떨어져 있어 다른 그룹들에 비해 가장 가깝게 위치한다. 또한 이 그룹은 다른 그룹에 비해 발견되는 수가 많아 그 비율은 더욱 커질 것으로 생각된다. 그룹끼리의 가장 큰 특징은 L과 B의 분포이며 이는 각각 Kreutz $\sim (282^{\circ}, 35^{\circ})$ , Meyer $\sim (98^{\circ}, 53^{\circ})$ , Marsden $\sim (103^{\circ}, 10^{\circ})$ , Kracht1( $\sim 101^{\circ}, 11^{\circ}$ ), Kracht2 $\sim (50^{\circ}, 10^{\circ})$ 의 값에 분포한다. 이러한 분포 값은 기존의 여러 논문들에서 계속 언급되어 왔으며(Sekanina 2002a, Marsden 2005), 본 논문에서 최근의 SOHO sungrazing comet의 관측 자료를 추가하여 다시 한 번 확인하는 기회가 되었다.

이 논문에서는 기존에 그룹으로 분류되지 않은 혜성들에 대한 분석도 이루어졌다. 근일점의 위치와 L과 B의 분포, 진행방향을 통해 그룹이 될 가능성이 있다고 생각되는 세 개의 그룹[(C/2000 Y6, C/2000 Y7), (C/2000 V4, C/2001 T5), (C/2003 H6, C/2003 H7)]을 제안하였고, 앞으로 관측되는 sungrazing comet들 중에서 이들과 함께 그룹을 형성할 혜성들을 찾아낼 것이다.

**감사의 글:** 이 연구는 BK21 차세대 우주탐사 연구인력양성사업의 지원을 받아 수행되었습니다. The SOHO/LASCO data used here are produced by a consortium of the Naval Research Laboratory (USA), Max-Planck-Institut fuer Aeronomie (Germany), Laboratoire d'Astronomie (France), and the University of Birmingham (UK). SOHO is a project of international cooperation between ESA and NASA.

#### 참고문헌

- Bailey, M. E., Chambers, J. E., & Hahn, G. 1992, A&A, 257, 315  
 Marsden, B. G. 2005, ARA&A, 43, 75  
 Sekanina, Z. 2002a, ApJ, 566, 577  
 Sekanina, Z. 2002b, ApJ, 576, 1085  
 Sekanina, Z. & Chodas, P. W. 2005, ApJs, 161, 551