

우리별 3호 STAR SENSOR 시험모델 개발

이 현우 · 김 병진 · 유 상근

한국과학기술원 인공위성연구센터

한 원 용

한국표준과학연구원 천문대

PROTOTYPE DEVELOPMENT OF THE STAR SENSOR FOR THE KITSAT-3

Hyunwoo Lee, Byung Jin Kim, Sang-Keun Yoo

Satellite Technology Research Center, KAIST, Taejeon, 305-701

Wonyong Han

Korea Astronomy Observatory, Taejeon, 305-348, Korea

e-mail: hwlee@satrec.kaist.ac.kr, bjkim@satrec.kaist.ac.kr, whan@hanul.issa.re.kr

(Received November 2, 1995; Accepted November 28, 1995)

요 약

이 연구에서는 우리별 3호의 자세측정용 센서중의 하나인 star sensor의 개발 과정과 그 결과를 보여주고있다. star sensor는 관성좌표계에서의 3축의 위성의 자세를 결정할 수 있는 대표적인 센서로서 star catalog에 등록된 천체의 정보와 측정된 값을 비교함으로써 위성의 자세를 결정한다. 별의 좌표는 2차원 CCD camera를 사용하여 측정하고, 화면 및 신호 처리는 DSP(Digital Signal Processor)를 통해 구현하였다. 개발된 시험모델과 thermoelectric cooling 방법을 이용하여 야천광효과가 적은 소백산천문대에서 250ms의 노출시간으로 약 4등급까지의 별 영상을 성공적으로 관측하였다.

ABSTRACT

This report presents the development procedure and the results of a prototype star sensor which can be used as one of the attitude sensors of the KITSAT-3. The star sensor is a major attitude sensor that can determine the 3-axis attitude information, by comparing between star coordinates in the star catalog and the measured coordinates. The 2 dimensional CCD camera is used for measuring

the star coordinates and the DSP(Digital Signal Processor) technology is applied to the image and signal processing. Using the prototype star sensor with thermoelectric cooling technique, we have successfully obtained the star images around 4th magnitude at Sobaeksan Astronomy Observatory minimizing night sky effect.

1. 서 론

3축의 자세정보를 정밀히 측정할 수 있는 대표적인 센서로서, 현재까지 개발된 관성 좌표계 위성자세 센서중에서 가장 정밀하다고 알려져 있다. 일반적으로 수 arc-second의 정확도를 얻을 수 있다 (Wertz 1988). 현재까지 star sensor는 고가의 무겁고, 파워 소비가 많고 복잡한 소프트웨어가 필요한 센서로만 알려져 왔으나, VLSI, CPU 기술발전에 힘입어, 저가, 저소비의 가벼운 센서의 개발이 가능하게 되었다. Star sensor의 장점은 우선 센서 하나로 정밀한 3축의 자세정보를 얻을 수 있다는 것이다. 보통은 sun sensor, horizon sensor 등의 정보를 종합해야 3축의 정보를 얻을 수 있는데, 이 경우 위성의 신뢰도를 높이기 위해 다수의 센서의 장착이 불가피하게 된다. 하지만 star sensor의 경우 하나의 센서만으로도 3축의 정보를 얻을 수 있기때문에 전체 시스템 설계 측면에서 볼 때, star sensor를 한 개 이상 장착하는 경우가 더 위성이 간단해지고 또한 위성센서의 신뢰도도 높아진다는 것이다.

두번째로 거의 모든 위성의 자세에 대해서 측정이 가능하다는 것이다. 예를 들어 sun sensor는 지구 그림자(eclipse)에 들어갈 경우는 사용할 수 없고, horizon sensor는 지구 중심을 향하는 위성의 자세만을 측정할 수 있다. 따라서, 천체관측 위성과 같이 관측하고자 하는 방향이 지구에 국한되지않는 위성에는 사용하기 힘든데, 이 경우에 star sensor가 적합하다. Star sensor는 크게 다음의 세 종류로 분류할 수 있다: V-slit star scanner, gimbaled star tracker, fixed-head star tracker (Wertz 1988). 이 중 fixed-head star tracker 는 CCD의 개발로 현재 가장 많이 사용되는 타입으로, 우리별 3호의 star sensor도 이 방식을 채택하고 있다. 이 방식의 star sensor는 CCD 카메라에 의해 찍힌 별사진으로부터 얻은 별좌표와 star catalog에 수록된 좌표를 비교함으로써 정보를 얻는 원리를 사용하고 있다 (Baldini *et al.* 1993, Gai *et al.* 1985, Königsmann *et al.* 1992, Stanton & Hill 1980). 이 경우, 미약한 별을 사진으로 찍기 위해 노이즈제거 기술, 냉각기술 등이 필요하고, 또한 별인식과 정밀한 자세 계산을 위해, 별인식 알고리즘, 렌즈 시스템 보정, 이미지 신호처리등의 기술이 요구된다 (Boxenhorn 1983, Vedder 1993).

2. 시스템 구조

센서는 그림 1에 보여지는 것같이 Y면 위에 놓이게 된다. 우리별 3호는 태양 동기궤도를 돌기 때문에 위성궤도면이 태양과 이루는 각은 일정하게 된다. 이 사실을 이용하여 위성의 피치축(Y축)이 위성수직방향과 일치하도록 위성의 자세를 제어하면, Y면(star sensor 장착면)은 항상

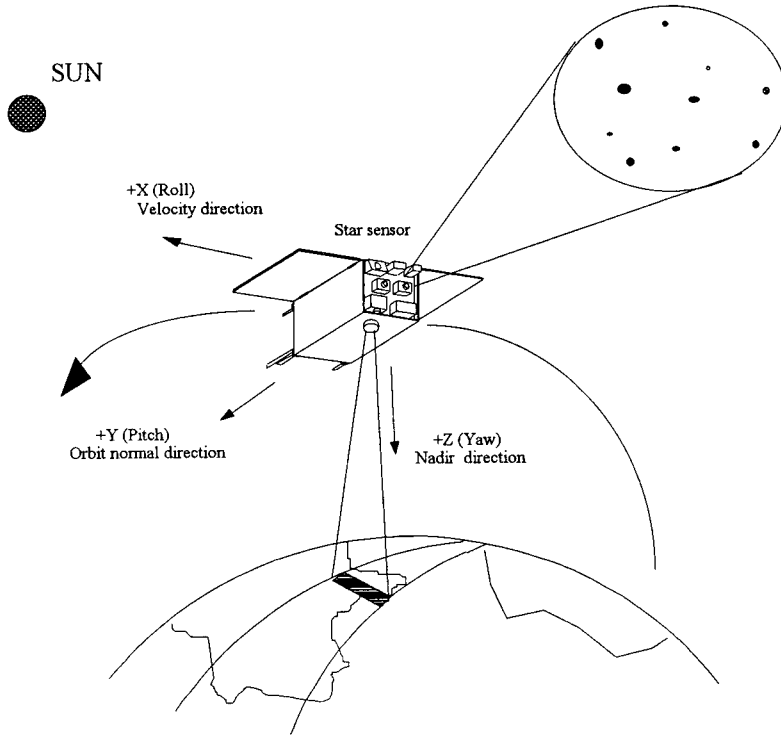


그림 1. Star sensor의 운영도.

우주의 dark space만을 바라보게 된다. 따라서, radiator를 센서에 붙이므로써 CCD 온도를 충분히 낮출 수 있고, 또한 항상 pitch 축만 향하게 되므로 센서가 scan하는 영역도 고정시킬 수 있게 된다. 그림 1은 위성이 지표면 사진을 찍고 있는 동안 star sensor를 이용해 위성의 자세를 측정하는 모습이다. 위성의 자세정보는 지표면 사진과 더불어 X-band 링크를 통해 지상국에 전해지고, 사진을 보정하는데 유용한 정보가 된다. 그림 2는 우리별 3호 star sensor의 시스템 블록 다이어그램을 보여주고있다. 현재 설계하고 있는 star sensor의 간략한 사양 (specification)은 전력소비 4~6W, 무게 1kg, 크기 약 12.5×12.5×8cm 이고, 시야범위(Field of View)는 30°×23°이다.

2.1 CCD Sensor와 Driver

Star sensor용 CCD의 선택에 있어서 몇 가지 고려 사항이 있다. 우선 한 픽셀의 모양이 정사각형인 것이 자세 센서로서 유리하다. Frame transfer 방식의 CCD로서, image region 과 store region이 구분되어 있는 것을 사용하면, 위성의 움직임에 의해 생기는 번짐현상을 줄일 수 있다.

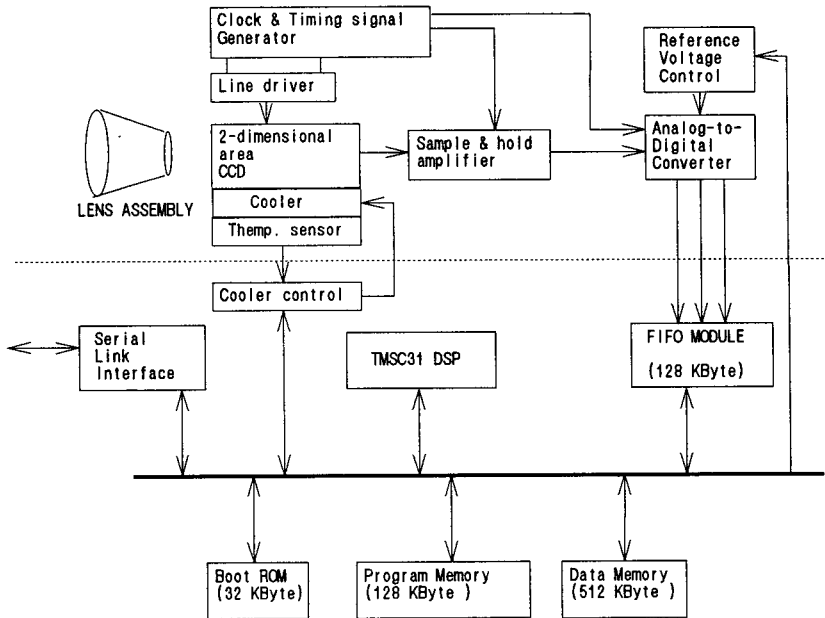


그림 2. Star sensor 시스템의 블록 다이어그램.

되도록 quantum efficiency 가 높은 것을 사용하고, 과부하에 의한 보호 회로가 있어야 한다. 주로 많이 사용되는 CCD로는 Thomson 사의 TH7863 (288×384 pixel) 이다. 우리별 3호의 star sensor에는 EEV사의 CCD02-06이 사용되고 있다. 288×385 pixel이 있고, 한 픽셀의 크기가 22×22 μm 의 정사각형을 이루고 있다. CCD에서 이미지 정보를 얻기 위해서는 image section drive pulse, store section drive pulse, line readout drive pulse, output reset pulse등을 만들어 주어야 한다. EPLD (Erasable Programming Logic Device) 내지 TTL logic으로 구현할 수 있고, 또는 CCD 제조회사에서 판매하는 logic hybrid를 사용할 수도 있다. 우리별 3호 star sensor는 1, 2호의 지구촬영 장비를 수정, 보완한 회로를 사용하고 있으며, EEV 사의 logic hybrid (ESB365095)와 video processing hybrid (ESB365091)를 사용하고 있다.

2.2 Thermoelectric cooler

두 개의 서로 다른 금속의 접촉면 사이로 전류가 특정한 방향으로 흐를 때, 열이 흡수 또는 방출되는데 이것을 peltier 현상이라 한다 (Buil 1989). Peltier cooler는 바로 이 현상을 이용해 만든 것이다. 두개의 구리판사이의 P, N형 반도체를 놓고, 전류를 흘리면, cold plate 은 열을 흡수하고, hot plate에는 흡수한 열을 방출하게 된다. EEV사에서 개발된 제품으로 CCD와 peltier cooler가 함께 붙어 있는 일체형 CCD가 있다. 우리별 3호 star sensor는 이 일체형 CCD를 사

용하고 있다. CCD 소자의 온도를 주변 온도보다 최대 40°C까지 낮출 수 있다. 이 경우 dark current를 약 20배가량 줄일 수 있다. 한가지 단점은 사용되는 전압과 용량이 특별하기 때문에, 이를 위한 DC-DC 변환기를 만들어야 한다는 것이다.

2.3 Data Conversion

CCD소자들에 축적되어 있던 전하는 전하운반 펄스 (drive pulse)에 의해 CCD 출력단으로 이동되고, 다시 전압 신호로 변환된 후, 여러 개의 증폭단을 거쳐 아날로그 디지털 변환기에 도달하게 된다. AD775는 8-bit 20MSPS, 60mW의 고속 저소비전력의 A/D converter이다. 원래 일본 소니사의 제품을 미국 Analog Device사가 상호 교환이 가능하도록 새로이 만든 것이다. 고속의 데이터 변환이 요구되므로, 증폭단과 A/D converter를 선택할 때 slew rate, settling time, conversion time 등에 특히 유의해야 한다.

2.4 Signal Processing

주 프로세서로서 TI사의 TMS-C31을 사용하고 있고, 메모리로서 128 Kbyte의 program ROM에는 star catalog와 주프로그램이 저장되고, 512 Kbyte의 data RAM에는 별사진과 이미지 처리에 사용되고, 128 Kbyte의 FIFO는 image capture에 32 Kbyte의 boot ROM에는 초기화 프로그램과 boot loader가 저장된다. Parallel interface로 8255 PIO가 사용되었고, 외부와의 통신은 8 bit parallel interface와 한 개의 serial channel이 있다.

3. 실험 방법

CCD 회로의 동작 여부를 알기 위해서는 CCD의 이미지를 PC로 읽어 들이는 부분이 필요하다. 이 부분을 구현하기 위해, 간단한 FIFO(First In First Out) buffer를 만들었다. 우리별 1, 2호의 회로를 수정한 것으로 쉽게 구할 수 있는 TTL IC로 구현하였다. 그림 4는 FIFO회로의 블록 다이어그램을 보여주고 있다. IBM PC에 내장되어 있는 8255 parallel interface card를 통해 timing control logic에 이미지 수신 신호를 보내면, CCD에서 나오는 이미지 중 한 frame을 잡아 RAM에 저장하게 된다. 참고로 CCD에서는 외부의 명령이 없이도, 매초 4 frame씩 이미지를 송신하도록 되어 있다. 한 이미지의 크기는 $407 \times 288 = 117,216$ bytes 이므로 128Kbyte SRAM (H8128)으로 한 frame을 저장할 수 있게 된다. SRAM에 저장된 이미지는 다시 IBM PC의 8255 card를 통해, PC 내부로 읽혀지게 된다. 읽혀진 raw binary 파일은 'PV'라는 이미지 처리 프로그램에 의해 컴퓨터 화면에 보여지게 되는데 이 때, contrast, brightness를 조절해 가면서 노이즈의 영향 조사, 초점거리 조절 등을 할 수 있다. 좀더 적극적으로 실험하는 방법으로, 오실로스코프를 사용해 CCD에서 나오는 video 신호를 display해 보는 것이다. 이럴 경우, 노이즈의 신호레벨, 별의 신호레벨, sync 신호들의 동작 여부 등을 확인해 볼 수 있게 된다.

실험실 내부에서 실험하기 위해, 별자리와 같은 효과를 얻기 위해 별자리 모사 장치를 만들었다. Star simulator라고 이름 붙인 이 장치는 그림 5와 같이 광섬유를 이용해 별자리처럼 점광원

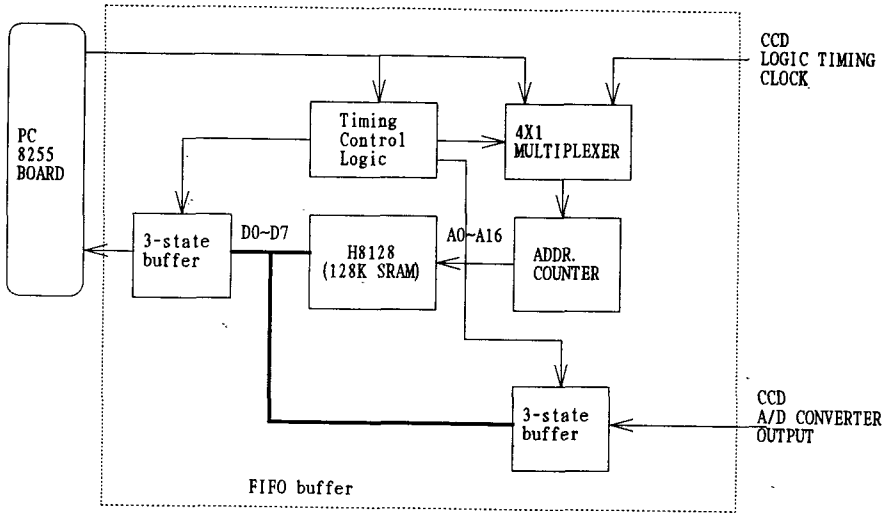


그림 3. FIFO buffer의 블럭 다이어그램.

들을 배치하여, 별 각각 크기는 광섬유의 굵기에 따라 정하고, 전체 밝기는 램프와 광섬유 사이의 빛 차단체를 놓으므로써 해결하였다.

별자리 모사장치로 실험할 경우, 실제 별의 밝기와 모사장치의 별의 밝기를 비교해야 의미 있는 실험을 할 수 있다. 이것은 결국 star sensor로 실제 별을 찍은 사진과 모사장치의 별을 찍은 사진을 비교해야하는 일이 필요하게 되었다. 이 시험모델을 이용하여 실험을 하기 위하여는 우리나라에서 야천광에 의한 밤하늘의 밝기가 상대적으로 충분히 어둡고, 별의 밝기가 대기권 밖과 가장 유사한 곳을 찾아 별사진을 찍어야 했는데, 이러한 조건에 적당한 곳으로서 소백산 천문대에서 실험을 수행하기로 결정하였다. 이에 대한 결과를 다음에 요약하였다.

4. 실험 결과

개발된 시험모델 star sensor 시스템을 이용하여 소백산천문대 (해발 1390m)에서 실험적으로 관측을 수행하여 얻어진 두 별 사진은 (그림 5, 6) 1995년 9월 30일 오전 2시부터 4시 사이에 촬영된 것들이다. 주변 온도는 약 7~8°C, 습도는 약 90% 정도로서 습도가 높았기 때문에 드라이어로 전자회로에 습기가 차는 것을 방지해 주면서 실험하였다. Cooler에 의한 온도 냉각은 주변보다 약 20C 정도로 1W정도의 전력을 소비했다. 노출 시간은 250 ms로 1초에 4 frame을 전송한다. 그림 5와 6의 두 image는 30°×23°의 FOV(Field of View)를 가지고 있으며, 노이즈 제거 레벨을 높인 상태에서 찍었기 때문에, 사진에서 노이즈에 의한 잡음영상은 거의 없다. 약

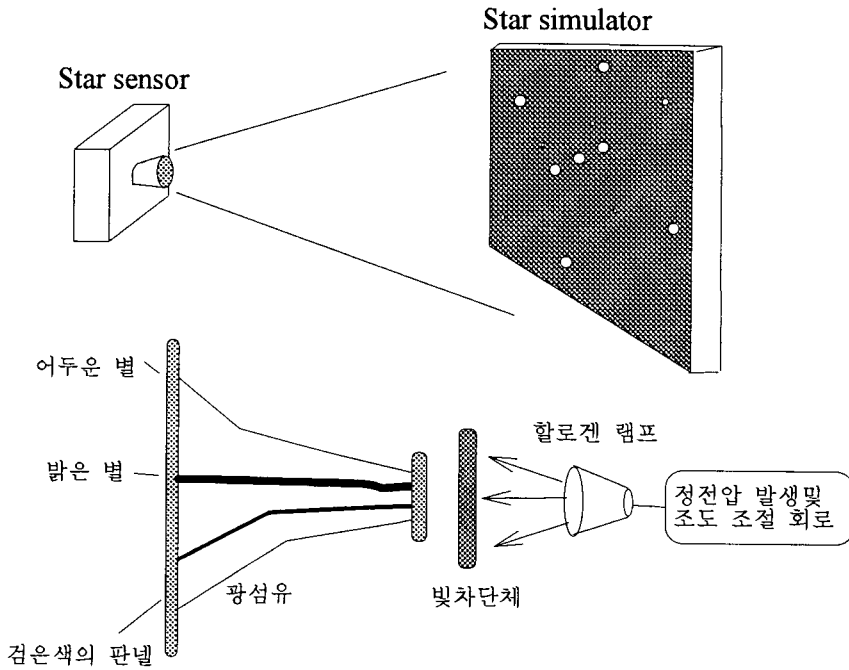


그림 4. 별자리 모사장치의 블록 다이어그램.

4~5등성까지의 별이 찍혔는데, CCD의 스펙트럼 감도는 600~800 nm의 파장 대역이 가장 높은 것으로 나와 있다. 대기권의 영향을 고려한다면, 실제 우주공간 궤도에서는 5등성 정도의 별까지도 측정할 수 있을 것이라 예상된다. 별사진으로부터 위성자세를 구하기 위해서는 우선 별의 확인작업이 필요한데, 이 때, 적어도 4개 이상의 별이 찍히면 천구에서의 별의 좌표확인이 가능하다 (Königsmann et al. 1992). 따라서, 현재의 star sensor의 감도와 FOV로 볼 때, 충분히 자세 검출이 가능하리라 본다.

5. 결론

일반적으로 사용되는 TV용 CCD 소자를 이용해 star sensor를 제작할 경우에는, cooler의 사용이 필수적이다. 이 때, cooler는 보통 가볍고, 간단한 peltier cooler가 많이 사용되고, 우주공간 궤도상에서는 수동적인 radiator를 이용할 수도 있다. 지금까지의 실험 결과로 볼 때, 4내지 5등성의 별을 감지하기 위해서는 노출 시간을 200ms 이상 늘이고, cooler를 사용해야 가능하였다. 이

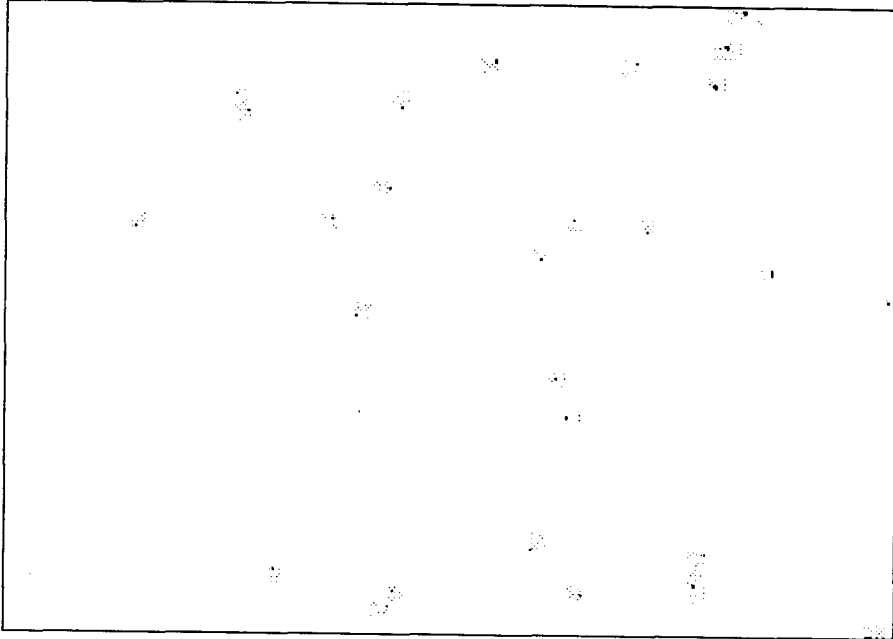


그림 5. 오리온 자리 부근의 별사진. 오른쪽 윗쪽으로 나란히 보이는 세 별이 삼태성이다.

연구의 개발과정에서 얻은 성과로서, 고가의 장비로만 여겨지던 star sensor를 자체 개발할 수 있다는 가능성을 확인했고, 앞으로 우리별 3호의 주 자세센서로 사용 가능하리라는 것이다.

그러나 같은 filed에 있는 4등급보다 밝은 별들 중에서도 관측된 image에 나타나지 않았던 별이 있었을 뿐만 아니라, 실제의 star catalog의 별 등급보다 훨씬 밝게 나타난 경우도 있었다. 이는 별의 분광형 및 color index, 즉 온도차이와 CCD sensor의 spectral response의 차이에 기인한 것으로 보여진다. 차후에 시스템의 성능을 더욱 향상시키고 촬영된 모든 별들의 $B-V$ 지수 등을 고려하여 정량적으로 분석하여야 할 것이다.

관측된 모든 별들의 분광형과 색지수를 고려한 개별적인 확인 작업과 그 분석결과는 별도의 논문으로 작성할 예정이다. 앞으로 좀더 정밀하고, 신뢰성있는 센서 개발을 위해, star catalog의 처리 문제, 별사진으로부터 렌즈의 굴절에 의한 영향을 보정하는 방법, 노이즈를 제거하고, 별을 인식하는 알고리즘 등을 연구, 시험해 볼 필요가 있을 것이라고 사료된다.

감사의 글: 본 연구는 과학기술처, 과학재단, 정보통신부, 천문대의 (기본연구 95-5700-001) 부분적인 지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

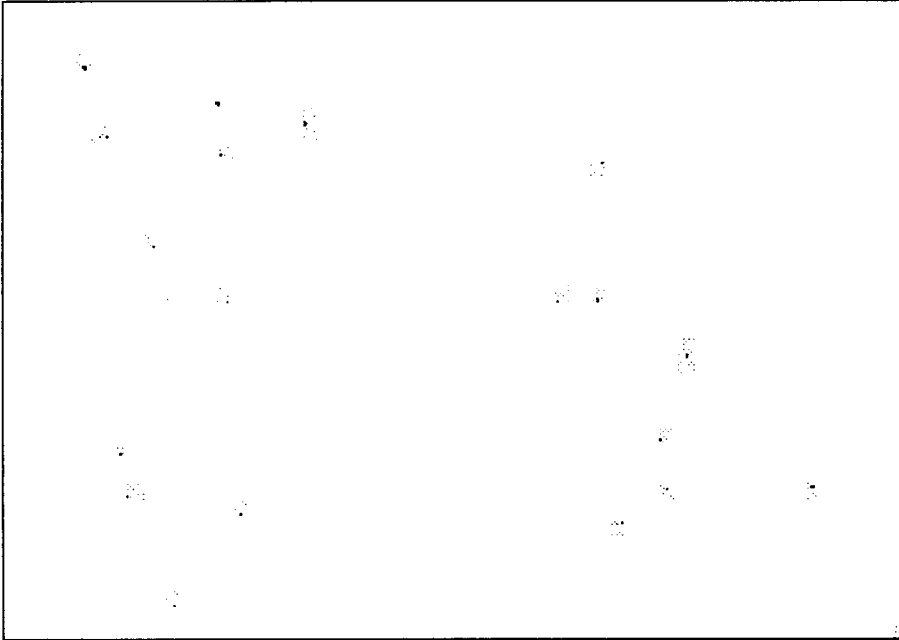


그림 6. 카시오페아 자리 부근의 별사진으로서 오른쪽에 W 글자 모양이 보이고 있다.

참고문헌

- Baldini, D., Bardi, M. & Foggi, A. 1993, *ESA (European Space Agency) Journal*, 17, p.185
- Boxenhorn, B. 1983, *J. Guidance and Control*, 10(4), p.239
- Buil, C. 1989, *CCD Astronomy*, Willmann-Bell Inc., p.135
- Gai E., Daly, K., Harrison, J. & Lemos, L. 1985, *J. Guidance and Control*, 8(5), p.560
- Königsmann, H. J., Rath, H. J. & Renken, H. 1992, *6th AIAA/USU Conference Proceedings on Small Satellite*, p.1
- Stanton, R. H. & Hill, R. E. 1980, *J. Guidance and Control*, 3(2), p.179
- Vedder, J. D. 1993, *J. Guidance and Control*, 16(3), p.498
- Wertz, J. R. 1988, *Spacecraft Attitude Determination and Control*, Kluwer Academic Pub., p.184