

CMOS 영상센서를 이용한 영상관측장비 활용

진호^{1†}, 박영식¹, 박장현¹, 옥인수¹, 선광일¹, 남옥원¹, 한원웅¹, 이우백¹, 이성운², 신영훈²
¹한국천문연구원 우주과학연구그룹
²Star-V-ray 연구소

IMAGING OBSERVATION SYSTEM USING CMOS IMAGE SENSOR

Ho Jin^{1†}, Youngsik Park¹, Jang-Hyun Park¹, In-Soo Yuk¹, Kwang-II Seon¹,
Wookwon Nam¹, Wonyong Han¹, Woo-Baik Lee¹, Sung-woon Lee², Young-hoon Shin²
¹Space Sciences Group, Korea Astronomy Observatory
²R&D center for Star-V-ray Co. Ltd.
E-mail: jinho@kao.re.kr

(Received October 2, 2001; Accepted October 30, 2001)

요 약

CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 영상센서를 이용한 영상관측 시스템을 제작하여 천문관측 활용 가능성에 대한 조사를 수행하였다. CCD(charge coupled device) 영상센서는 지난 30여년간 개발을 거듭해온 결과, 대부분의 영상획득장비나 천문관측용으로 사용되는 극미광 영상장비로 사용되 왔다. 그러나 CMOS영상센서가 실용화되면서 CCD를 이용한 극미광 영상관측 시스템과 일반 상용 영상시스템은 CMOS 영상센서로 교체되고 있다. CMOS 영상센서의 경우 CCD에 비해 시스템 잡음과 측광 성능은 뒤지지만, 태양과 별의 영상을 얻어본 결과 일반적인 영상관측장비로서는 사용이 가능하다.

ABSTRACT

A prototype CMOS (complementary metal oxide semiconductor) imaging system has been built and the possibility of applying to the application to astronomical observations has been investigated. The CCD (charge coupled device) image sensor has been the mainstay of image capture and astronomical imaging for the last 30 years, but CMOS devices have shown rapidly increasing success and have been adapted to many commercial imaging systems. Although the photometric performances and system noise of CMOS sensors are lower than that of CCD image sensors, CMOS imaging system can be used to obtain general image capture for astronomical applications.

Keywords: CMOS image sensor, imaging system

1. 서론

1970년대 이후로 약 30년 동안 CCD센서는 괄목할 만한 성장을 하였다. 천문관측의 경우만 하더라도 현재 2K급 이상의 CCD영상센서가 주종을 이루고 있으며, 모자이크 방식을 이용하여 보다 큰

[†]corresponding author

화소를 가진 센서로 활용하고 있다. 그러나 현재의 CCD센서는 저잡음의 경우 이론 한계치에 육박하고 있으며, 보다 빠르고 보다 큰 센서의 개발에 치중되어 있다(Meynants et al. 1995). CCD센서가 차지하고 있던 영상센서분야는 여러 분야의 영상기기제품에서 CMOS 영상센서로 바뀌고 있으며, 특히 고성능의 기기 이외의 저가의 일반 영상 획득이 필요한 제품군에서는 대부분을 CMOS 영상센서가 CCD센서를 대체하고 있다(Wong 1996, Helen 2001).

초기의 CMOS 영상센서는 CMOS 기술공정상 CCD센서에 비할 수 없었으나 거듭되는 기술 발달로 보다 미세한 설계를 가능하게 되었고, CCD센서에 견줄 만한 영상센서로 나타나게 되었다(Lester 2001). 기본적인 CMOS 공정을 사용하고 있는 Active pixel sensor라고도 불리는 CMOS 영상센서는 오랜 기간 많은 연구가 진행되어 왔다(Fossum 1993, Hyneczek 1988, Yang et al. 1999, Dierickx 1999). 이 영상센서의 장점으로는 1) 저전압 작동, 저전력 소모, 2) 하나의 칩에 구성할 수 있는 집적도(컨트롤 로직, 타이밍, 이미지 프로세싱, AD변환과 같은 신호 처리등을 포함), 3) 영상신호의 랜덤 액세스(원하는 특정 영역만을 읽어내는 기능), 4) 우주환경의 고에너지 입자 및 방사선에 대한 강한 내구성, 5) 일반적인 CCD에 비해 저렴한 가격 등을 들 수 있겠다. CCD에 비해 소비전력이 작을 수 밖에 없는 이유는 읽기를 원하는 pixel만 활성화시켜 전원이 인가되고 저전압으로 작동하기 때문이다.

CMOS 센서는 하나의 소자에 타이밍, 컨트롤, 신호처리, ADC 등의 회로부가 포함되기 때문에 영상소자 주변에 이러한 전자부를 제작하여 조합하는 경우보다 제작비용이 훨씬 저렴해진다. 한편, 저가 제작이 가능한 또 다른 이유는 기술의 발달로 인해 대량생산이 가능하기 때문이다. 단점으로는 집적되어 있는 회로구성상 일정한 패턴 잡음이 발생하기도 하며 현재까지 생산되고 있는 CMOS 영상소자의 ADC가 12비트정도이기 때문에 보다 세밀한 정보를 나누어 보기가 힘들다. 또한 픽셀의 fillfactor는 최대 70% 정도로 입사광 중 잃어버리는 광자가 많고 수광영역이 작기 때문에 동적범위가 작다.

CCD의 경우 다양한 전압과 많은 부품의 조합으로 이루어져 하나의 영상시스템을 만들기 때문에 상대적으로 부피가 커지며 소비전력도 많은 것이 사실이나 저잡음의 영상을 얻는 장비로는 현재까지 가장 적합한 센서이다. 그러나 CMOS영상센서의 단점들은 기술개발로 계속 개선되고 있는 단계에 있기 때문에 머지않아 CCD의 성능에 견줄만한 CMOS영상센서가 시장에 나타날 것으로 기대하고 있다.

위에서 언급한 바와 같이 다양한 장점을 가진 CMOS영상센서를 이용하여 시험모델을 개발하고 전체 영상을 얻어 보았다. 또한 이러한 자료를 근거로 천문관측에 활용하기 위한 영상관측장비로서 활용 가능성에 대하여 조사해 보았다.

2. CMOS 영상 시스템

2.1 시험모델용 CMOS영상센서

CMOS영상센서는 다양한 제품군이 나와있지만 이 연구에서 활용된 CMOS 영상센서는 벨기에의 Fillfactory사의 IBIS4 제품을 구입하여 사용하였다. Fillfactory사의 IBIS4 CMOS 영상센서의 사양은 그림 1과 같다. 화소수는 1280×1024 이며 화소 크기는 $7 \times 7 \mu m^2$ 이다. 그러나 CCD와 달리 $7 \times 7 \mu m^2$ 의 화소면적이 모두 수광부가 아니며 하나의 화소에 3개의 트랜지스터와 수광부인 포토다이오드로 구

주요제원

- SXGA 급 : 1280 × 1024 화소
- 감도 : 25 μ V/electron
- Fillfactor : (60 %)
- 양자효율 : 30 % (at 0.5 ~ 0.7 μ m)
- 전체시정용량 : 40,000 electrons
- 동적범위 : 66 dB (2000:1)
- 화상동적범위보정 : (80,100 dB)
- (double slope integration)
- 내장ADC : 10 bit, 10 MSamples/s
- 프로그래밍용 어드, 오프V 출력증폭기 내장
- 4:1 subsampling viewfinder mode (320 × 256 pixels)
- 전자셔터기능
- 픽셀 크기 : 7 × 7 μ m² pixels
- 고정해터잡음 : (1 % Vsat p/p)
- 입전류 : 255 pA/cm²
- (800 electrons/s, 1 minute autosaturation)
- 폭백, 감리
- 디지털 (ADC) 감마 보정기능
- 입력전원 : + 5V DC

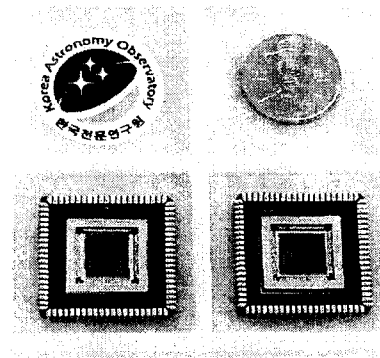


그림 1. Fillfactory사의 IBIS4, CMOS 영상센서와 주요제원.

성이 되어 있다. 3개의 트랜지스터는 영상정보 신호의 앰프와 X, Y 주소를 받아 출력할 수 있는 스위치의 구조이며 포토다이오드가 수광부로서 한 화소 중 약 60%를 차지하고 있다(Fillfactory 2000).

Fillfactor라는 정의는 화소의 크기에 수광부가 차지하는 영역을 나타내는 수치로서 CCD의 경우 100%이지만 본 실험에 사용된 CMOS의 경우 60% 이다. 영상획득장비에서 수광부에서 입사되는 빛을 100%를 받아들이는 것이 이상적인 경우이나 반사, 양자효율, 전송효율, fillfactor 등으로 인해 측정 손실이 발생하게 된다. CMOS영상센서의 경우 fillfactor가 낮아 이 점에서 가장 큰 광 손실을 보게 되고 정밀측광을 저해하는 가장 큰 요소 중 하나이다. 그러나 CMOS영상센서의 fillfactor를 높이기 위한 예로 KODAK사의 KAC-1310의 영상소자의 경우를 살펴보면, 마이크로 렌즈 어레이를 수광부 위에 사용하여 fillfactor를 늘리는 센서를 상용화되어 시판되고 있다. 또한 소자설계에서도 fillfactor를 100%로 높이는 연구가 다양하게 이루어지고 있다 (Eastman Kodak Company 2000, Dierickx *et al.* 1997).

CMOS 영상소자 내부의 구성은 10bit flash ADC(analog to digital convertor)와 column amp, XY shift register, 영상신호 처리를 위한 sample & hold, video amp, CDS(corelate double sample)회로가 포함되어 있다. 노출은 전자셔터를 사용하고 있기 때문에 별도의 기계적인 셔터가 필요 없으며 원하는 영역의 영상획득 기능을 가지고 있다. 전원은 +5V의 단일전원을 사용한다. 빛의 파장에 따른 감도 범위는 400 - 1000nm에서 반응하고 양자효율은 500 - 700nm사이에서 약 30% 정도이다. CCD와 마찬가지로 CMOS 영상센서에서도 화소의 불량 등으로 등급을 나누고 있으나 실험실에서 사용된 센서는 전체적으로 화소에 영향이 없는 제품을 사용하였다.

2.2 시험 모델 시스템 구성

CMOS영상센서를 구동하기 위한 전자부는 두 가지를 사용하였는데 하나는 센서 제작사인 Fillfactory사의 시험 모델용으로 제작된 것을 수정하여 사용하였고 다른 하나는 원거리 통신과 여러개의 센서를 동시에 사용할 수 있는 star-V-ray사의 시스템을 응용하여 사용하였다.

Fillfactory사의 수정모델은 PCI용 컨트롤 카드와 CMOS영상 센서를 장착하고 있는 센서부로서 그림 2와 같이 구성되어 있다. 컨트롤 카드에는 PCI 칩셋, 컨트롤 명령과 센서구동에 필요한 신호 처

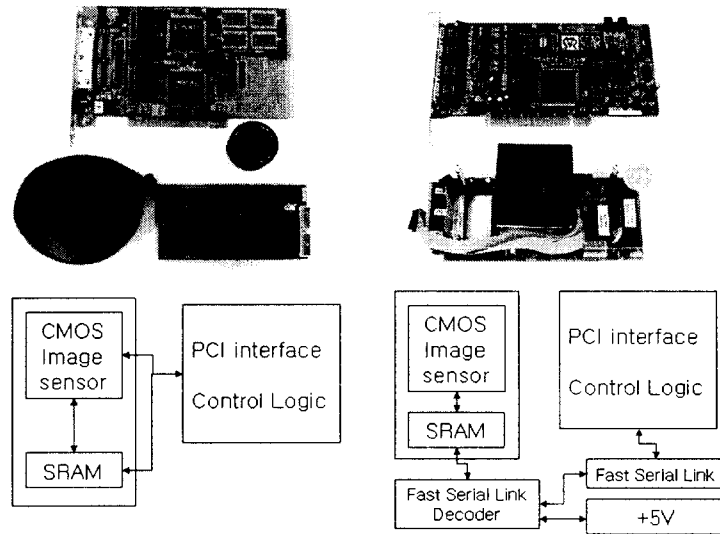


그림 2. 영상관측에 사용된 모델로서 왼쪽은 Filfactory사의 평가보드, 오른쪽은 star-V-ray사의 평가보드이며 시스템의 구성도를 나타내었다.

리부를 포함하고 있는 PLD(programable logic device)소자 그리고 버퍼의 조합으로 되어 있다. 센서 부를 포함하고 있는 전자부는 센서, SRAM, 버퍼, 기타 신호처리용 저항과 캐패시터 등으로 조합되어 있고 관측에 용이하도록 어댑터 제작, 케이블 교체 및 전원부를 수정하여 사용하였으며 콘트롤 카드와의 거리는 짧게 설계되어, PC의 내부 5V전원으로 동작하도록 제작하였기 때문에 다른 전원부가 필요 없다.

다른 하나는 원거리에 CMOS 영상소자를 장착한 헤드부분을 놓고 사용할 수 있게 하였는데 기본적인 구성은 Filfactory사의 평가시스템과 비슷하나 50m 이상의 원거리 전송이 가능한 고속직렬 통신 부분을 추가하여 제작하였다. 이 경우 원거리로 인해 PC의 전원을 사용할 수 없기 때문에 센서 부에 그림 2의 구성도에 보인바와 같이 단일전원 +5V를 공급해야 한다. 두 가지의 장비에서 사용한 영상센서는 동일하고 시험영상은 별다른 차이를 발견할 수 없었기 때문에 비교 설명은 하지 않겠다. 운용 소프트웨어는 시험모델로 제작된 시스템 이기 때문에 사용자 편이를 고려하지는 않았고 간단히 노출과 이득값(gain)을 조정 할 수 있는 정도로 구성하였다.

실험에서 사용한 CMOS 영상센서의 빛의 반응에 대한 직진성은 그림 3과 같으며 이 수치로 보아서는 측광이 가능한 직진성(linearity)을 보이지만 낮은 fillfactor와 패턴잡음 등으로 정밀한 측광을 하기에는 부족하다. 암잡음은 상온에서 787 electron/sec 정도이며 온도를 낮추면 암잡음 발생은 줄일 수 있다. 그러나 CMOS의 공정으로 제작된 센서이기 때문에 영하로 냉각하여 사용하기에는 힘들며 여기서는 온도변화에 따른 암잡음 발생율은 실험하지 않았다. 영상센서 시스템의 잡음도는 약 20 electron이며 10MHz의 메인클럭에서 초당 약 8프레임을 얻을 수 있다.

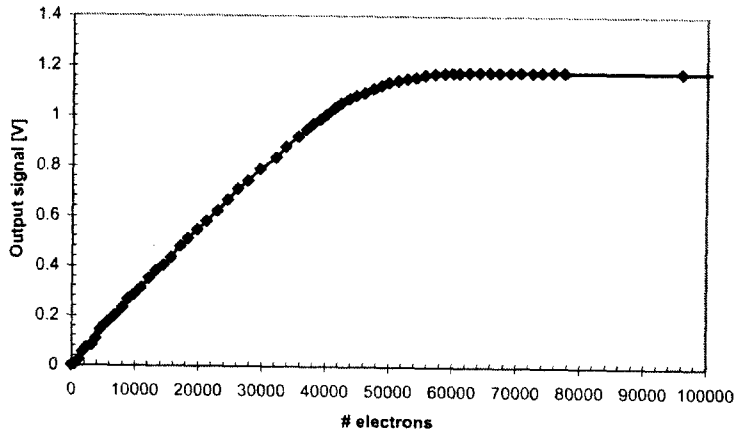


그림 3. 이득이 0일 때 노출에 따른 출력 신호. 픽셀읽기 속도가 10MHz이며 실험실 밝기에서 센서 자체의 전자서터 구동으로 얻은 결과 ($25\mu\text{V}/1\text{ electron}$).

3. 시험측정

제작된 영상관측시스템을 이용하여 일반적인 영상과 천체를 대상으로 시험영상을 얻어 보았다. 일반영상은 실험실에서 시스템 실험을 위해 얻은 것으로 일반적으로 사용하는 해상 시준표(resolution target)를 대상으로 화상을 얻었다. 이 실험에서 선명한 상을 얻을 수 있는 것을 확인한 후 천체를 대상으로 영상을 획득하였다.

천체를 대상으로 하는 시험영상은 태양과 밤하늘의 별을 대상으로 얻어보았다. 태양은 상대적으로 국소 영역의 측광도 수행되지만 일반적인 영상을 통한 모습의 변화를 보는 것도 중요한 자료가 될 수 있기에 시험대상으로 충분했고 앞에서 언급한 바와 마찬가지로 정밀한 측광장비로 활용하기에는 부족한 점이 있기 때문에 일반적인 영상을 얻어 상의 선명도를 알아 보았다.

태양 영상관측에 사용된 망원경으로는 Takahashi 102 FS (D:102mm, FL: 820mm)의 굴절망원경을 사용하였고 태양필터를 장착하여 촬영하였다. 이때의 건관척도는 한 화소당 $1.757''$ 에 해당하는 분해능을 가지고 있으며 직초점 방식으로 촬영하였다.

관측한 태양의 영상사진은 그림 4와 같으며 초점면에 투영되는 태양의 상이 영상소자의 크기를 넘기 때문에 전체 원형의 모습은 얻을 수가 없었다. 흑점부분만 오려낸 듯한 영상은 CMOS 영상자체에서 사용자가 원하는 위치의 영상만 얻을 수 있는 기능을 활용하여 얻은 영상이다. CCD센서는 전체 화면을 읽은 다음 처리과정을 통해 조각영상을 얻을 수 있지만 CMOS 영상센서처럼 지정한 부분을 직접 획득 할 수 없다.

태양 영상들에서는 CCD영상소자로 촬영한 것과 구분하기 힘들 정도로 흑점과 백반 등이 잘 나타나 보인다. 이 영상으로 볼 때 선명한 영상을 얻을 수 있어 CMOS영상센서를 활용하여 밝은 대상의 영상관측은 충분히 가능하다고 판단된다. 그림 4(d)는 흑점부분의 영상을 3차원 그래프로 나타낸 것으로 상대적 밝기의 모습을 잘 표현 해 주고 있다.

CMOS 영상센서의 다른 수광능력을 시험하기 위해 밤하늘의 별 상을 시험촬영하여 그림 5에 보

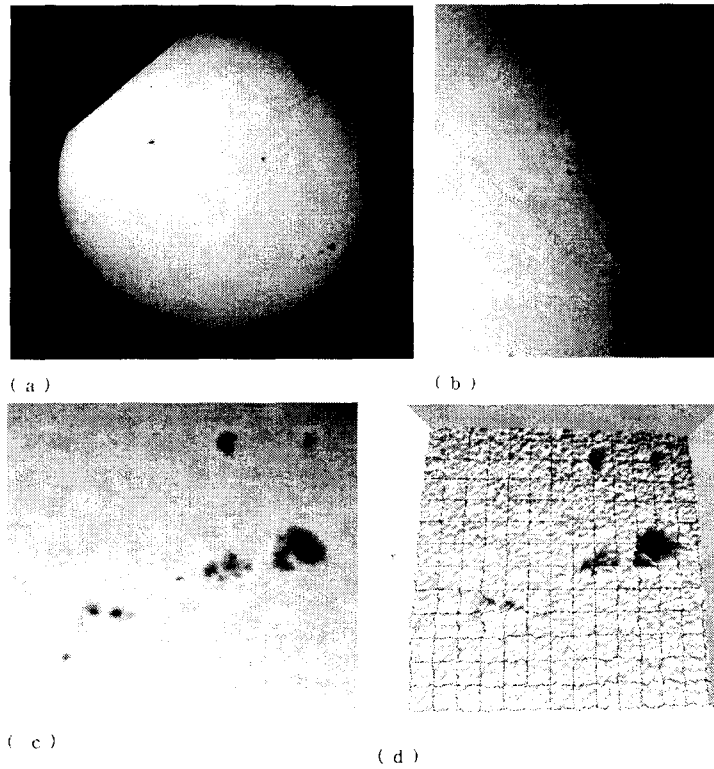


그림 4. 태양 관측 영상으로 (a)는 전체영상, (b), (c)는 CMOS영상센서의 원하는 부분만을 읽어 낼 수 있는 기능을 활용하여 얻은 영상이다. (d)는 (c)의 흑점 영상을 3차원 도표로 표시한 그림이다.

였다. 표 1에서 나타낸 바와 같이 필터 없이 2.7초 노출로서 얻은 영상에서, 별은 가시등급으로 9.68 (mV) 등급까지 확인할 수 있었다. 현재 시험 모델에서는 시스템의 설계상 2.7초의 노출이 최대였기 때문에 더 이상의 노출은 실행할 수 없었다. CMOS 영상센서의 경우 full well capacity가 40,000 electron 밖에 되질 않기 때문에 동적범위가 좁다. 그러나 노출과 이득값을 조정하여 사용할 경우, 별상은 충분히 구별이 가능하기 때문에 측광은 하지 않고 영상에 나타난 별만으로 활용할 수 있는 자동가이드용 영상시스템 또는 별 추적기 (star tracker) 등 천문관측용 보조장비 또는 위치 측정용 장비로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 서론에서 언급한 바와 같이 CMOS영상센서를 활용하여 시험 제작한 영상장비를 통해 영상관측을 시도해 보았다. 관측된 영상의 분석 결과 예상된 바와 같이 선명한 상을 얻을 수 있었고 별을 대상으로 한 시험영상에서는 동적범위는 작으나 별의 모습을 잘 나타내 주고 있었다. 일반적인 영상획득의 경우 화소의 크기가 작기 때문에 하나의 영상에 넓은 영역을 얻을 수는 없었으나, 협소한 영역의 세밀한 모습을 관찰하기에는 충분하였다.

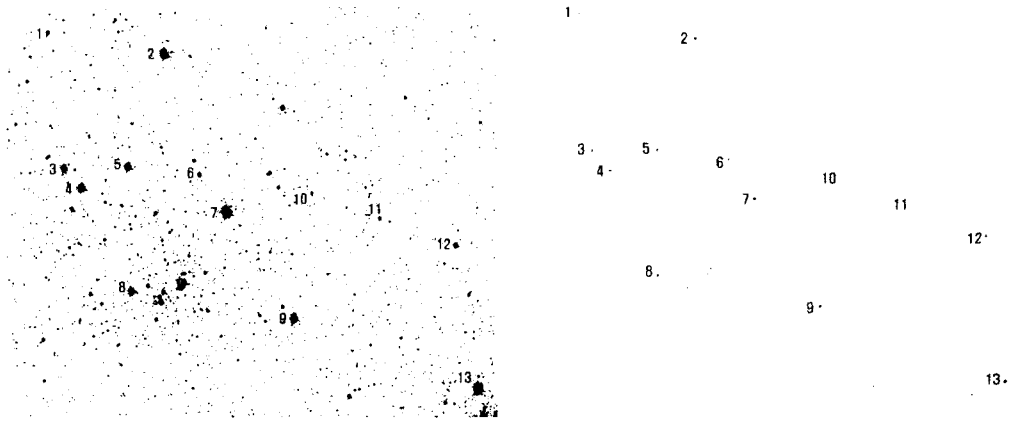


그림 5. 오른쪽의 영상은 CMOS 영상센서로 얻은 영상이며 왼쪽은 같은 지역의 하늘을 digitized sky survey에서 얻어 비교하였다. 영상에 나타난 숫자는 표 1에서 별 명칭과 V등급을 나타내었다.

표 1. 그림 5에서 등정한 천체의 좌표와 V 등급.

No	$\alpha(2000.0)$			$\delta(2000.0)$			m_v	catalog
	h	m	s	°	'	"		
1	02	24	07.13	+57	21	30.06	9.22	SAO 23288
2	02	23	05.26	+57	23	29.36	6.99	SAO 23266
3	02	23	28.97	+57	12	58.97	8.50	SAO 23274
4	02	23	15.92	+57	12	14.15	8.15	SAO 23269
5	02	22	28.32	+57	14	58.7	7.48	SAO 23263
6	02	22	21.80	+57	16	35.22	8.84	SAO 23254
7	02	22	00.25	+57	14	50.75	6.40	SAO 23243
8	02	22	29.11	+57	06	50.38	8.69	SAO 23257
9	02	21	47.74	+57	09	46.36	8.11	SAO 23217
10	02	21	47.74	+57	18	46.24	9.68	GSC3694:1589
11	02	20	43.84	+57	18	59.05	9.81	GSC3694:1399
12	02	20	00.94	+57	19	21.57	8.27	SAO 23200
13	02	19	18.73	+57	10	25.74	6.65	SAO 23182

이러한 점에서 태양을 대상으로 하는 영상 획득, 또는 모니터링이 필요한 시스템에서는 CMOS 영상센서를 이용한 영상시스템을 활용하는 것이 가능하다고 판단된다. 별을 대상으로 얻은 영상에서는 2장에서 서술한 바와 같이 fillfactor와 양자효율 등의 문제로 인해 CCD에서 얻은 영상보다는 질적으로 낮은 영상을 보였다. 그러나 정확하지는 않지만 별의 등급이 구분되고 별 상이 선명히 나타나기 때문에 망원경의 자동추적 시스템 또는 인공위성의 별추적기(star tracker) 등에 활용은 가능하다고 판단된다.

CMOS 영상센서는 정밀 측광분야와 극미광 영역에서 주요 측정센서로서 활용되고 있는 고가의 CCD성능에는 아직 비교 할 수 없지만 이미 35mm 필름 크기의 6.6메가 픽셀영상소자가 개발되어 있

고, 우주환경 시험 및 다양한 제품개발과 성능개선이 이루어지고 있다 (Bogaerts & Dierickx 2000). 또한 JPL에서는 CCD센서와 CMOS센서의 장점을 결합한 HIT(hybrid imaging technology)이라는 기술을 사용하여 보다 정밀한 영상관측을 위한 연구도 진행 중이다 (Mark 1999). 단점으로 지적된 fillfactor, 양자효율, 그리고 ADC의 변환비트 수가 개선되고 있기 때문에 앞으로 새로운 소자개발에 대하여 충분히 검토하고 주시해 봐야 할 필요가 있다. 서론에서 언급한 바와 같이 여러 장점을 지닌 CMOS 영상센서를 사용하는 영상 시스템은 소형화가 가능하고 저 소비전력으로 활용가능하기 때문에 CMOS 영상센서를 이용한 영상관측장비의 개발은 여러 분야에 걸쳐 다양하게 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Bogaerts, J., & Dierickx, B. 2000, Proc. SPIE, 3965, 157
- Dierickx, B. 1999, Electronic image sensors vs. film: beyond state of the art (Belgium: Fillfactory Company)
- Dierickx, B., Meynants, B., & Scheffer, D. 1997, Near 100% fill factor CMOS active pixels (Belgium: Fillfactory Company)
- Eastman Kodak Company 2000, KAC-0310 image sensor data book Rev.C (NY: Eastman Kodak Company)
- Fillfactory Company 2000, IBIS4 datasheet Issue 7
- Fossum, E. R. 1993, Proc. SPIE, 1900, 2
- Helen, T. 2001, Sensors Online (MN: Advanstar Communications, Inc.), 18
- Hynecek, J. 1988, IEEE Trans. on Electron Devices, 35, 646
- Lester, J. K. 2001, Laser Focus World (NH: PennWell Corporation), 37, S9
- Mark, V. W. 1999, NASA's Jet Propulsion Laboratory, NPO-20542 (CA: Jet Propulsion Laboratory)
- Meynants, G., Dierickx, B., & Scheffer, D. 1998, Proc. SPIE, 3410, 68
- Wong, H. S. 1996, IEEE Trans. on Electron Device, 4, 1213
- Yang, D., Gamal, E. A., Fowler, B., & Tian, H. 1999, IEEE Journal of Solid State Circuits, 34, 1821