

한국천문연구원 H α 태양전면관측시스템의 바닥고르기 연구
FLAT-FIELDING FOR SOLAR FULL DISK H α MONITORING SYSTEM OF KASI

박형민^{1,2}, 김연한², 봉수찬², 박영득², 조경석², 장비호², 최성환², 나자경², 이승민², 채종철³

¹충남대학교 천문우주과학과

²한국천문연구원

³서울대학교 천문학과

H.-M. PARK^{1,2}, Y.-H. KIM², S.-C. BONG², Y.-D. PARK², K.-S. CHO², B.-H. JANG², S. CHOI²,
J. NAH², S.-M. LEE², AND J. CHAE³

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

²Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

³Dept. of Physics and Astronomy, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

E-mail: hmpark@kasi.re.kr

(Received Decvember 3, 2008; Accepted Decvember 14, 2008)

ABSTRACT

We have performed the flat-fielding correction for the H α full-disk monitoring system of KASI (Korea Astronomy and Space Science Institute), which is installed in the Solar Flare Telescope (SOFT) at the top of Bohyun Mountain. For this, we used a new method developed by Chae (2004), to determine the flat pattern from a set of relatively shifted images. Using this method, we successfully obtained the flat pattern for H α full-disk observations and compared our result with the image observed in Catania Astrophysical Observatory. The method that we used in this study seems to be quite powerful to obtain the flat image for solar observations. In near future, we will apply this method for the flat-fielding correction of all solar imaging instruments in KASI.

key words: Flat Fielding, Image Processing

1. 서론

디지털 카메라를 사용하여 천체를 관측할 때 순수하게 관측대상으로부터 오는 정보가 아닌, 날씨, 시상, 카메라의 열적특성에 기인하는 암잡음 등 관측영상에 부정적 영향을 주는, 많은 외부적 요인들이 있다. 이러한 요인들은 영상의 질을 떨어뜨리고, 때로는 이러한 요인들이 우리가 목적으로 하는 관측대상의 신호세기보다 더 커서 원하는 영상을 얻지 못하는 경우도 생긴다. 따라서 영상을 얻은 후 최대한 이러한 부정적 요인을 없애주는 보정 과정이 중요하다.

바닥고르기(flat fielding)는 광학시스템에 의한 왜곡이나 검출기에서 소자간의 빛에 대한 민감도의 차이로 인해 발생하는 효과들을 제거하는 보정과정이다. 빛이 광학계를 통해 들어오는 순간부터 검출기에 맺힐 때까지 광 경로 상에서 영향을 주는 요인들뿐만 아니라, 검출기의 소자 하나하나의 반응도의 차이까지 모두 보정하는 과정이기 때문에 바닥고르기는 영상 보정 과정에서 가장

중요하다 할 수 있다.

바닥고르기를 위해서 전통적으로 쓰이는 방법은 균일한 광원에 대해서 영상을 얻어 거기에서 이득(gain) 값의 변화를 계산하는 것이다. 야간관측에서는 대표적으로 관측 돔이나 저녁노을 등을 사용하여 바닥고르기 과정을 수행한다. 하지만 이러한 방법은 관측이 시작되기 전이나 후에 이루어지며 관측 중에 영상 바닥을 구하기 위해서는 관측의 흐름을 깨는 단점이 있다. 또한 태양처럼 밝은 대상을 관측할 경우 광량을 줄이거나 특정한 파장의 빛을 보기 위해 필터 등을 사용하는데, 이러한 장치가 장착된 망원경에 대해 바닥고르기 과정이 수행되려면 태양의 밝기에 비견될 만한 인공광원이 필요하게 된다. 가장 좋은 방법은 관측하고자 하는 천체를 관측하면서 동시에 바닥고르기 과정을 수행하는 것이다.

태양관측에서 일반적으로 바닥영상을 구하는 방법은 태양원반 중심 부근의 조용한 어느 한 곳을 기준으로 망원경을 움직여서 찍은 영상을 합쳐서 바닥을 얻어내는

방법이다. 하지만 이 방법은 태양의 가장자리 지역이나 흑점영역 등 명암이 두드러지게 나타나는 곳을 관측한 영상에서는 사용하기 어렵다는 단점이 있다. 이와는 다른 방법으로 영상바닥을 얻는 방법이 Kuhn 등(1991)에 의해 제시되었는데, 비 균질한 밝기분포를 가지는 대상에 대해서 여러 방향으로 움직인 영상들로부터 구하는 방법이다. 이 방법은 동일한 대상을 찍은 두 화소 값의 비가 두 화소간의 이득 값의 비와 같다는 것을 기본 전제로 한다. 두 개의 영상이 하나의 대상을 두고 약간씩 움직여서 얻어졌을 경우, 각 화소들 간의 이득 값의 변화량을 측정할 수 있다. 정확한 이득 값을 알기 위해서는 여러 장의 영상이 필요하게 된다. 이 방법의 장점은 비 균질한 밝기분포의 영상으로부터 바닥영상을 얻을 수 있다는 것과 관측에 지장을 주지 않으면서 바닥을 구할 수 있다는 것이다. 하지만 몇 가지 문제점이 있는데, 얻어진 영상들의 평균밝기가 일정하지 않을 경우 오차가 커지기 때문에 중간값 거르기(median filtering) 같은 전처리 과정이 필요하고 영상 바닥을 얻기 위한 계산시간이 영상의 개수의 제곱에 비례하여 커진다는 점이다. Chae(2004)는 이 방법을 좀 더 개량한 방법을 제안하였다. 이 방법은 영상바닥뿐만 아니라 실제 얻고자 하는 대상의 영상들 다 얻고자 하는 변수로 놓고 수치해석방법을 사용해서 계산하는 것이다. 결과적으로 이 방법은 바닥고르기, 원래 대상의 이미지, 빛의 세기, 그리고 상대적으로 움직인 정도를 얻을 수 있으며 Kuhn의 방법만큼 오차에 민감하게 영향을 받지 않는다. 또한 연산속도가 영상의 개수에 비례하기 때문에 계산시간을 단축시킬 수 있다.

본 연구에서는 Chae(2004)가 제안한 방법을 보현산 태양플레어망원경 Ha 태양전면관측시스템에 적용하여 바닥고르기영상을 구하고 태양전면영상을 보정한 결과를 보여주고자 한다. 2절에서는 영상 바닥을 구하기 위한 원리와 방법을 제시하고 3절에서는 관측시스템의 소개와 바닥고르기를 하기 위한 관측내용을 제시한다. 4절에서는 관측영상으로 만든 영상 바닥 이미지와 이를 이용하여 보정된 영상을 보여주고 외국에서 관측된 영상과 비교할 것이다. 마지막으로 5절에서 개선사항과 앞으로의 계획을 기술하고자 한다.

2. 원리와 방법

2.1 원리

본 절에서는 바닥고르기 영상을 얻기 위한 수학적 원리를 요약하고자 한다(Chae 2004).

검출기 소자를 구성하는 가로축의 화소수를 N_x , 세로축의 화소수를 N_y 라고 하자. 망원경을 통해 검출기에 맺히는 영상을 a 라 하고 소자를 이루는 화소의 행과 열의 인덱스를 i, j 라 했을 때 k 번째 얻어지는 영상을 a^k 라

고 했을 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_{ij}^k = c_k o_{i-x_k, j-y_k} f_{ij} + n_{ij}^k \quad (1)$$

여기서 x_k, y_k 는 기준이 되는 영상에 대해 k 번째 얻어진 영상이 얼마만큼 이동했는지를 나타내는 이동량이며, f 는 바닥 영상, o 는 우리가 얻고자 하는 순수한 관측영상, 그리고 n 은 치우침(bias)과 암잡음이 제거된 잡음이다. c 는 빛의 세기변화를 반영하는 양인데 이것은 대기의 상태에 의존하는 값이다.

위 식에서 잡음을 무시하고 로그를 취하여 재정리하면 다음과 같다.

$$A_{ij}^k = C_k + O_{i-x_k, j-y_k} + F_{ij} \quad (2)$$

대문자 기호들은 각각의 항에 로그를 취했다는 것을 뜻한다. 위의 식의 좌측 항은 관측자료 즉, 실험치에 해당하고 우측 항은 이론적 모형에 해당한다. 따라서 우리가 원하는 C, O, F 를 구한다는 것은 다음의 식을 최소화하는 C, O, F 를 결정하는 문제가 된다.

$$\chi^2 = \sum_{ijk} (C_k + O_{i-x_k, j-y_k} + F_{ij} - A_{ij}^k)^2 w(i-x_k, j-y_k) \quad (3)$$

여기에서 w 는 다음과 같이 정의된다

$$w(i, j) = \begin{cases} 1 & (0 \leq i \leq N_x - 1 \quad 0 \leq j \leq N_y - 1) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

위 식은 다음과 같이 표현할 수도 있다.

$$\chi^2 = \sum_{ijk} (C_k + O_{ij} + F_{i+x_k, j+y_k} - A_{i+x_k, j+y_k}^k)^2 w(i, j) \quad (5)$$

식 (3)과 (5)에서 χ^2 의 F_{ij}, O_{ij}, C_k 에 대한 일차편미분과 이차편미분을 사용하여 Newton-Raphson 반복법을 적용하면 반복식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\Delta F_{ij} \approx - \frac{\sum_k (C_k + O_{i-x_k, j-y_k} + F_{ij} - A_{ij}^k) w(i-x_k, j-y_k)}{\sum_k w(i-x_k, j-y_k)} \quad (6)$$

$$\Delta O_{ij} \approx - \frac{\sum_k (C_k + O_{ij} + F_{i+x_k, j+y_k} - A_{i+x_k, j+y_k}^k) w(i, j)}{\sum_k w(i, j)}$$

$$\Delta C_k \approx - \frac{\sum_{ij} (C_k + O_{i-x_k, j-y_k} + F_{ij} - A_{ij}^k) w(i-x_k, j-y_k)}{\sum_{ij} w(i-x_k, j-y_k)} \quad (7)$$

식 (6), (7), (8)을 계산하게 할 때 초기값에 따라 값이 달라질 여지가 생기기 때문에 초기값을 어떻게 줄 것인가가 매우 중요하다. 바닥고르기에 사용되는 영상의 개수를 N_f 라고 했을 때 초기값은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} F_{ij} &= 0 \\ O_{ij} &= \sum_k A_{ij}^k / N_f \\ C_k &= \sum_{ij} A_{ij}^k / (N_x N_y) - \sum_{ij} O_{ij} / (N_x N_y) \end{aligned} \quad (8)$$

2.2 방법

2.1에서 기술된 방법을 사용하여 바닥고르기를 수행하기 위해서는 바닥고르기를 위한 관측영상을 얻는 것이 우선이다. 관측영상을 얻을 때 관심영역을 기준으로 해서 망원경을 조금씩 움직여 가면서 얻게 되는데, 관심영역이 CCD 시야를 벗어나지 않도록 한다. 시야를 벗어날 경우 상대적 이동량을 계산하는데 있어 부정확한 결과를 산출할 수 있다. Ha로 태양을 관측한다면 태양의 정온지역에서 파이프릴(fibril)이 있는 곳이나 작은 필라멘트가 존재하는 지역이 관측대상이 될 수 있다.

우선 관심영역을 화면의 중앙으로 위치시킨 후 기준이 되는 영상을 잡고 기준영상을 둘러싸는 모든 방향의 영상을 얻는다. 기본적으로는 총 9개의 영상을 얻게 되는 것이다. 그렇지만 바닥고르기에 사용되는 영상의 개수는 많을수록 보다 정확한 바닥값을 얻을 수 있다. 관측을 수행하면서 시간이 지남에 따라 바닥 패턴이 달라질 수 있으므로 본 관측에 지장을 주지 않는 범위 내에서 수시로 망원경을 조금씩 움직여서 바닥고르기에 필요한 영상을 얻는다. 관측시 때로는 비네팅(Vignetting) 효과나 광경로의 정렬 문제로 인해 검출기 시야의 가장자리부근에 광량이 줄어들거나 빛이 들어오지 않는 경우가 생기기도 하는데 이 경우 빛이 들어오는 영역만을 올려내어 그 영역에 대해서만 바닥영상을 얻는 방법을 사용한다. 이 경우 전체 시야가 아니라 빛이 들어오는 영역에 대해서만 바닥영상을 얻을 수 있다.

이렇게 얻은 영상으로부터 기준 영상에 대해서 상대적으로 얼마나 움직였는지를 먼저 파악해야 한다. 상대적 이동량은 일반적으로 교차상관계수(cross correlation)를 구하여 측정하는 방법을 사용한다. 이렇게 구해진 이동량

과 바닥고르기를 위해 얻은 영상들을 입력변수로 하여 바닥고르기 과정을 수행한다. 영상의 크기, 영상의 개수, 반복횟수에 의해 계산시간이 결정된다. 최종적으로 관측 영상에서 암잡음과 치우침값을 제거한 후, 바닥영상으로 나누어 주면 보정된 영상을 얻을 수 있다. 바닥고르기를 구하는 과정과 상대적 이동량을 계산하는 과정은 Chae(2004)에 의해 IDL(Interactive Data Language)로 구현된 루틴을 사용하여 작업을 수행하였다.

3. 관측

3.1 관측시스템

태양플레어망원경은 원래 하나의 마운트에 4개의 태양 활동영역 관측을 위한 망원경과 하나의 가이드 망원경이 설치되는 적도의식 망원경으로 설계되었다(박영득 등 1997). 활동영역 관측을 위한 4개의 망원경들은 광구의 자기장 관측을 위한 벡터 매그네토그래프(VMG; Vector Magnetograph)와 시선 매그네토그래프(LMG; Longitudinal Magnetograph), 채층관측을 위한 Ha 망원경, 광구 백색광 관측을 위한 백색광 망원경 등이다. 2001년부터 5년간 수행된 “태양전면감시기술 개발” 사업(박영득 등 2004)을 통하여 태양플레어망원경은 일부 구성이 변경되었는데 기존의 LMG가 Ha 전면관측시스템으로 대체되었고 코로나편광관측시스템이 추가되었다. 그림 1은 최근 태양플레어망원경의 모습이다. 태양전면감시시스템에 대한 상세한 내용은 사업보고서에 상세히 기술되어 있으므로 본 논문에서는 주로 Ha 전면관측시스템에 대하여 기술하도록 한다.

그림 2는 Ha 태양전면관측시스템의 개략도이다. Ha 태양전면관측시스템은 대물렌즈, 조준(collimator) 렌즈, 리오(Lyot)필터, 카메라 렌즈, 그리고 CCD 카메라로 구성되어 있다. 대물렌즈는 직경이 200mm, 초점거리가 1600mm이다. Lyot 필터는 중국 남경천문기연연구소에서 제작했으며 관측중심파장이 Ha(6562.8Å), 대역폭이 0.25Å 이다. 필요하면 중심파장을 ±1Å 까지 바꿀 수 있다. 검출기로 사용하는 CCD카메라는 Apogee KX4 모델이며 화소가 2048×2048개인 14비트 카메라이다. 각각의 기기들은 경통에 설치된 광학레일 위에 놓여서 광축을 맞추기 쉽도록 되어 있으며 온도에 따른 초점거리의 변화를 최소화하기 위하여 대물렌즈와 콜리메이터 렌즈의 마운트에 열팽창률이 작은 슈퍼인바(Super Invar)를 사용하였다(박영득 등 2004).



그림 1. 태양플레이어망원경의 모습. ① 벡터 매그네토그래프, ② 코로나그래프, ③ H α 부분관측 망원경, ④ 백색광 부분관측 망원경, ⑤ H α 전면관측 망원경, ⑥ 가이드 망원경

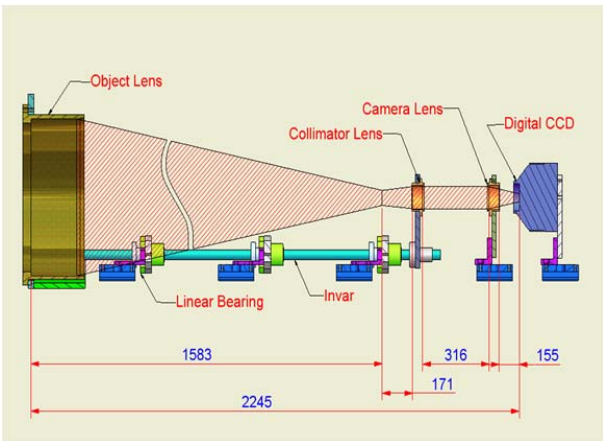


그림 2. H α 태양전면관측시스템의 개략도

3.2 바닥고르기를 위한 관측

우리는 2008년 4월 4일 H α 태양전면관측시스템으로 관측을 수행하여 태양의 영상들을 얻었다. 망원경 시야의 중심부에 태양의 전면을 위치시킨 다음 기준점으로 삼고, 상하좌우로 망원경을 움직여서 관측을 수행하는데 바닥영상을 얻고자 하는 영역의 크기를 고려하여 망원경의 이동량을 적절히 조절하였다. 태양전면관측의 경우, 이동량은 태양원반이 CCD 관측시야의 바깥으로 벗어나지 않도록 제한되어야 한다. 관측시야 전체에 대해서 바닥고르기 패턴을 구하는 것이 가장 이상적이지만, 실제로 태양이 CCD상에 맺히는 크기는 일정하고, 태양을 추적하면서 관측하기 때문에 거의 일정한 지역에 태양의 영상이 맺히게 된다. 따라서 영상의 중심부를 기준으로 해서 조

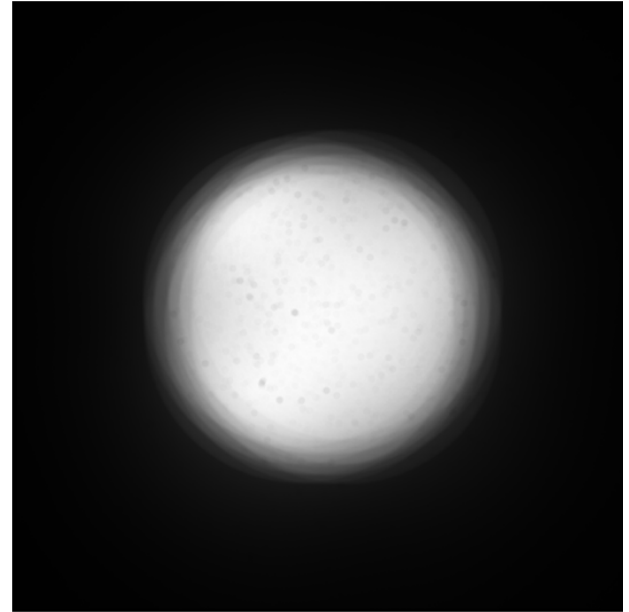


그림3. 망원경을 움직여서 찍은 영상들의 중첩영상

금씩만 움직여서 영상을 얻으면 충분하다. 단 모든 방향으로 고르게 움직여야만 원하는 영역에서의 바닥영상을 잘 얻을 수 있다.

얻어진 영상이 모든 방향에 대해 어느 정도 움직였는지를 파악하기 위해 얻은 데이터를 중첩하여 상태를 파악하는 과정이 필요하다. 이 방법의 또 다른 장점은 중첩을 통해 얻어진 영상에서 영상의 질을 떨어뜨리는 요인들을 파악할 수 있다는 것이다. 영상의 질을 떨어뜨리는 요인들의 모습은 실제 현상의 모습과 유사하여, 하나의 영상만으로는 광량의 부족이나 무엇이 실제대상이 아닌지를 판단하기가 쉽지 않다. 망원경을 움직여서 데이터를 얻은 후 중첩을 시켜보면 대상은 퍼진 형태로 나타나고, 광학계를 통과하면서 영상의 질을 떨어뜨리는 요인들은 움직이지 않기 때문에 화면상의 똑같은 위치에 나타나게 되고 이 요인들이 누적되면서 그 효과가 뚜렷이 나타난다.

그림 3은 바닥고르기를 위해 얻은 16개의 영상을 중첩시켜 만든 영상이다. 영상을 보면서 움직이지 않은 방향이 없는지, 바닥영상을 얻고 싶은 영역만큼 이동이 되었는지를 파악할 수 있다. 태양의 전면은 망원경의 움직임으로 퍼져서 나타나고 전면부근에 동그란 모양의 점들이 찍혀있는 것을 볼 수 있다. 이것은 태양빛이 광학계를 통과하면서 광학계에 묻은 먼지와 CCD 면에 묻어있는 먼지에 의해 생긴 것이다. 또한 태양전면의 밝기가 균일하지 않고, 약간의 차이가 있다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 광학계의 정렬이상 등 광학계 자체의 문제로 발생하는 것으로 판단된다.

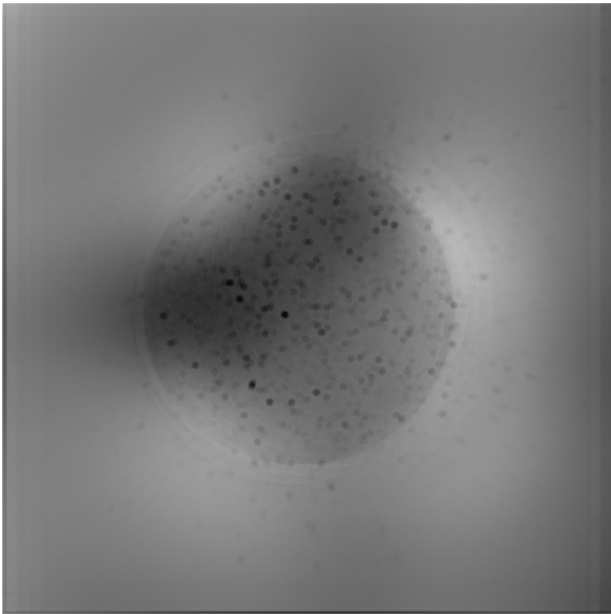


그림4. 그림3의 영상들로 구해진 바닥 영상.

4. 결과

4.1. 바닥 영상 획득

바닥 영상을 얻기 위해서는 망원경을 이동하면서 관측된 영상들의 상대적 이동량을 계산해야 한다. 태양전면영상의 경우 태양원반과 원반주변 공간 사이의 명암이 매우 커서 교차 상관계수를 제대로 구하기 어렵기 때문에 다른 방법을 사용하여야 한다.

본 연구에서 사용한 방법은 태양의 곡률을 이용하는 것이다. 태양의 가장자리 모양이 둥글고 밝기가 바깥쪽으로 가면서 급격하게 떨어지기 때문에 이를 이용하여 태양의 가장자리를 인식한 다음 곡률을 계산하여 태양원반의 중심을 찾는 방법이다. 각 영상에 대하여 태양의 중심점의 위치를 계산하면 기준영상의 대한 이동량을 결정할 수 있다. 이렇게 구해진 이동량과 영상데이터를 입력변수로 해서 2절의 식들을 사용하여 바닥 영상을 계산한다.

그림4는 그림3에서 얻은 데이터로 구한 바닥고르기 영상이다. 그림3에서 흐릿하게 보이던 먼지패턴들이 더욱 뚜렷이 나타나고 있으며, 태양원반에 걸쳐 밝기분포가 균일하지 않음을 알 수 있다.

4.2. 바닥 영상 적용

그림 4와 같이 구해진 바닥 영상을 사용하여, 관측영상을 보정하였다. 원래의 관측영상에서 치우침값(bias)과 암잡음을 제거한 후 바닥 영상을 적용하면 실제 우리가 얻고자 하는 보정된 영상을 얻을 수 있다.

그림 5는 바닥고르기가 적용되기 전의 태양전면영상과, 적용된 후의 태양전면영상을 보여주고 있다. 보정되

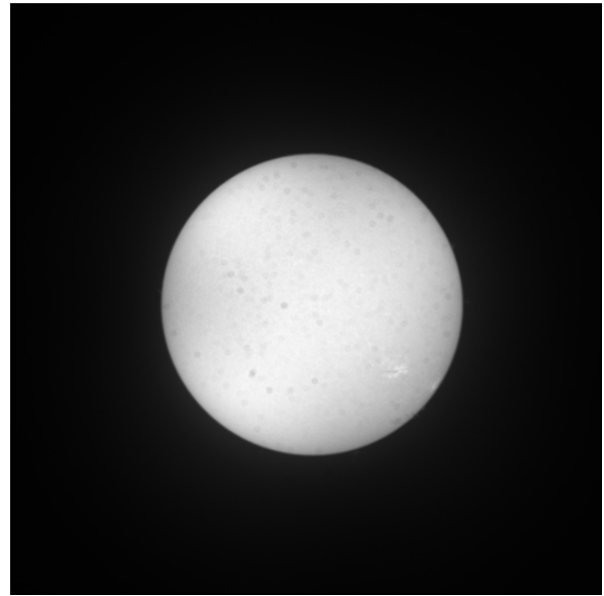


그림5. 바닥고르기 과정이 적용되기 전(위)의 영상과 적용된 후(아래)의 영상.

기 전에 보이던 지저분한 점들과, 불균일한 밝기분포가 보정된 후 없어졌으며, 태양원반의 오른쪽 아랫부분에서 밝은 플라지(plage)가 있는 태양활동영역과 필라멘트(filament)를 확인할 수 있다.

우리는 바닥영상을 적용하여 보정한 한국천문연구원 H α 태양전면관측시스템의 관측영상을 Catania Astrophysical Observatory에서 관측된 같은 날의 데이터와 비교하였다. 그림6은 2008년 4월 4일 관측된 외국의 태양전면영상과 그림5(아래)에서 p-angle을 보정한 영상이다. 성공적으로 바닥고르기 보정이 된 것을 확인할 수 있다.

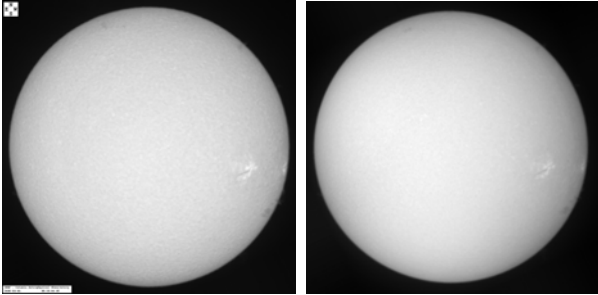


그림6. 2008년 4월 4일 관측한 태양전면 영상. (좌) Catania Astrophysical Observatory에서 관측한 태양전면영상 (우) 보현산 Ha 태양전면관측망원경에서 얻은 영상

5. 요약 및 토의

우리는 Chae(2004)가 제안한 바닥고르기 방법을 태양 플레어망원경의 Ha 태양전면관측영상에 적용하여 기존에 구현하기 어려웠던 바닥 영상을 성공적으로 구하였고 이를 바탕으로 관측영상을 보정하였다. 2008년 4월 이후부터는 일일 관측시 Ha 전면관측시스템의 바닥 영상을 매일 얻어서 보정된 자료들을 웹을 통하여 공개해 오고 있다(<http://sos.kasi.re.kr>). 또한 이 방법을 사용하여 보정된 자료는 한국천문연구원 본원에 위치한 “우주환경감시실”에 취합되어 우주환경 감시에 활용되고 있으며, 앞으로 태양활동이 활발해짐에 따라 태양활동 연구에도 유용하게 사용될 것이다.

본 연구에 적용한 바닥고르기 방법은 태양관측의 경우 광범위하게 사용할 수 있는 강력한 방법으로 생각된다. 현재 이 방법은 Ha 전면관측시스템에만 적용되고 있으나 향후 태양플레어망원경에 설치되어 있는 다른 관측시스템에도 같은 방법을 적용하여 바닥고르기 보정을 수행할 예정이다.

참고 문헌

- Chae, J., 2004, Flat-Fielding of Solar Ha Observations Using Relatively Shifted Images, *Solar Physics*, 221, 1
- Kuhn, J. R., Lin, H., & Loran, D., 1991, Gain Calibrating Nonuniform Image-Array Data Using Only The Image Data, *PASP*, 103, 1097
- 박영득 등., 1997, 태양플레어망원경의 관측 시스템, *PKAS*, 12, 35
- 박영득 등., 2004, 태양전면감시기술개발, 한국천문연구원 연구보고서, p48