

자외선 사진 콘텐츠의 융합적 활용을 위한  
디지털카메라 이미지센서 표면 가공방법 연구

권 우 민 \*

하 동 환 \*\*

\* 중앙대학교 첨단영상대학원 석사과정

\*\* 중앙대학교 예술공학대학 교수

A Study on the Surface Processing Method of Digital Camera Image Sensor for  
Convergent Utilization of Ultraviolet Photography Contents

Kwon, Woo Min \*

Har, Dong Hwan \*\*

\* MA Candidate, Graduate School of Advanced imaging Science, Chung-Ang University

\*\* Professor, College of Art and Technology, Chung-Ang University

이 논문은 2020년도 중앙대학교 연구 장학기금 지원에 의한 것임

\*\* Corresponding Author : Har, Dong Hwan [dhhhar@cau.ac.kr](mailto:dhhhar@cau.ac.kr)

THE KOREAN SOCIETY OF SCIENCE & ART

한국과학예술융합학회

THE KOREAN SOCIETY OF SCIENCE & ART Vol.39(3)\_Regular article or full paper

\* Contribution : 2021.05.21\_Examination : 2021.06.12\_Revision : 2021.06.22\_Publication decision : 2021.06.30



## 목차

### Abstract

### 국문초록

#### I. 서론

##### 1.1 연구배경 및 목적

##### 1.2 선행연구

#### II. 본론

##### 2.1 연구방법

##### 2.2 실험결과

#### III. 결론

### Reference

### Endnote

## Abstract

The purpose of this study is to present a surface processing method for digital camera image sensors for convergent utilization of ultraviolet photographic contents.

Therefore, this paper sought to find a concrete, reproducible image sensor surface processing method by quantifying the physical elements applied to sensors during surface processing, and attempted to compare and analyze the differences in results before and after surface processing through changes in the response and histogram.

The results and contents of the study are as follows:

First, we used sunscreen to check the presence of reflected ultraviolet reactions of image sensors before and after processing.

Second, the increase in ultraviolet region on the histogram allowed us to see the changes in the response to the ultraviolet band of the sensor after processing.

The results of this study confirmed the possibility of more efficient ultraviolet image acquisition through surface processing of digital camera image sensors, and based on this study, it is expected that high-definition ultraviolet image acquisition will be possible by applying the same surface process to higher-quality sensors.

## 국문초록

본 연구의 목적은 자외선 사진 콘텐츠의 융합적 활용을 위하여 디지털카메라 이미지센서의 표면 가공방법을 제시하고자 하는 것이다.

따라서 본 논문은 표면가공 시 센서에 적용되는 물리적 요소들을 수치화하여 구체적이고, 재현이 가능한 이미지센서 표면가공 방법을 찾고자 하였으며, 자외선 대역에 대한 반응 유무 확인 및 히스토그램의 변화를 통하여 표면가공 과정 전, 후의 결과 차이를 비교, 분석을 시도하였다.

연구결과 및 내용은 다음과 같다.

첫째, 자외선 차단체를 활용하여 가공 전, 후 이미지센서의 반사 자외선 반응 유무를 확인하였다.

둘째, 히스토그램 상의 자외선 영역의 증가를 통하여 가공 후 센서의 자외선 대역에 대한 반응 변화를 확인할 수 있었다.

이러한 본 연구의 결과는 디지털카메라 이미지센서의 표면가공을 통하여 보다 효율적인 자외선 이미지 취득의 가능성을 확인하였으며, 해당 연구를 기반으로 후속 연구에서는 보다 고사양의 센서에 동일한 표면 가공 과정을 적용하여 고화질의 자외선 이미지 취득이 가능할 것으로 기대된다.

## Key Words

Ultraviolet Rays(자외선), Cut-Off Filter(차단필터), Convergence Contents(융합 콘텐츠), Ultraviolet Imaging(자외선 영상), Image Sensor(이미지센서)

#### I. 서론

##### 1.1 연구배경 및 목적

자외선 사진은 인간의 눈이 인지할 수 없는 전자기 파장 스펙트럼 중 약 400nm 이하의 대역을 촬영하는 사진술이다.<sup>1)</sup> 자외선 사진 취득 방법으로는 자외선 조명을 피사체에 조사하여 반사되는 빛을 촬영하는 ‘자외선 반사 촬영’, 피사체의 형광물질이 자외선 빛에 반응한 결과를 촬영하는 ‘자외선 형광 촬영’, 자외선 발광 피사체를 촬영하는 ‘자외선 발광 촬영’ 등이 있으며, ‘범죄 현장의 증거 수집’, ‘피부 병변 추적’, ‘농수산물 생육정보 확인’ 등 매우 다양한 분야에서 활용되고 있다.<sup>2)</sup> 그뿐만 아니라 가시광선 대역으로는 표현할 수 없는 자외선 대역 파장의 고유한 특성을 활용하여 예술 콘텐츠로서의 융합적 활용이 가능하다. 하지만 자외선 사진은 일반 디지털카메라를 사용할 수

없고 분광 감도가 자외선 파장 범위에 특화되어 있는 이미지센서를 사용하기에 촬영 기기 또한 높은 가격에 판매되고 있어 다양한 분야에 활용될 수 있다는 가능성에 의해 실제 활용을 하기에는 어려움이 있다.

그러나 대부분의 디지털카메라가 380nm ~ 1200nm의 파장 범위에 반응하는 센서를 가지고 있다는 점을 고려해 볼 때, 적절한 방법으로 가시광선, 근적외선을 차단하고 400nm 이하 자외선 영역의 분광 감도를 높일 수 있다면 일반 디지털카메라도 자외선 사진을 위한 카메라로 활용할 수 있다는 가능성도 가지고 있다. 이를 위해 여러 선행연구자들이 디지털카메라를 자외선 촬영 용도로 사용하기 위해 카메라 내부 하드웨어를 재구성하는 연구들을 진행한 바 있으나, 그 과정이 매우 복잡하고 정량화되어 제시하고 있지 않을 뿐 아니라 결과 수준 또한 보편적으로 활용되기에는 여전히 많은 한계가 존재하고 있다.

본 연구에서는 디지털카메라 내부 하드웨어 구조변경에 더해 이미지센서 표면의 Micro Lens Array, Color Filter Array 층을 제거하여 센서 자체의 자외선 대역에 대한 반응 강도를 증가시켜 일정 수준 이상의 화질을 가진 자외선 사진 획득이 가능한지 확인해 보기 위해 단계별로 정량화 작업을 거치며 연구를 진행하였다.

## 1.2 선행연구

Cosentino. A.(2015)<sup>3)</sup>의 연구에서는 디지털카메라 이미지 센서의 Hot-mirror를 제거하여 자외선 대역의 취득을 가능하게 하고, 반사 자외선, 자외선 형광 촬영 법을 활용하여 빛바랜 벽화 및 고문서 판독, 그림의 사용된 재료의 식별, 밀그림 검출 등 예술품 보존 및 평가에 관한 연구를 통하여 디지털카메라 개조를 통한 자외선 이미지 취득 가능성을 보여주었다. Thomas C. Wilkes.(2016)<sup>4)</sup>는 기존 이미지센서의 Cut-Off Filter 및 Micro Lens Array, Color Filter Array 층을 벗겨내는 연구를 통하여 대기 중 자외선 파장 대역에 반응하는 이산화황의 데이터를 얻었다. 이 연구에서 제시하는 방법은 전문적인 포토레지스트 리무버를 사용하여 작업의 안정성은 증가시켰으나, 후속 연구자들이 이를 참조하여 이미지센서 표면가공 과정을 재현하기에는 용이하지 않았다. 이러한 선행연구들의 한계를 극복하고 효율적 자외선 촬영을 가능하게 하기 위하여 밀팅머신, 연마 도구, 화공약품 등 규격화된 재료의 사용과 표면가공 작업 시 센서에 적용되는 물리적 요소를 수치화하여 구체적이고, 재현이 가능한 이미지센서 표면가공 방법을 찾아 제시하고자 연구를 진행하였다.

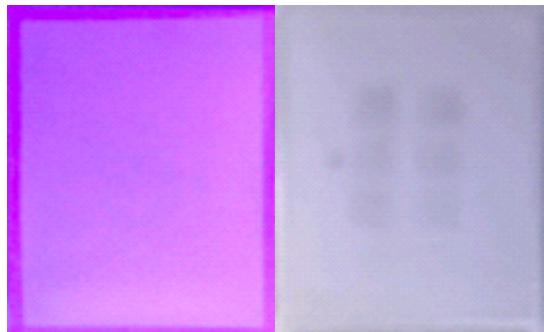
## II. 본론

### 2.1 연구방법

#### (1) 외부 구조물 제거

이미지센서 표면가공을 위하여 오픈소스형 카메라 모듈 Arducam MT9D111 이미지센서와 Raspberry Pi Cam OV5647 이미지센서를 사용하였으며, 표면가공을 위하여 센서를 보호하는 구조물과 센서 위에 부착되어 있는 커버글라스를 제거하였다. 이 과정에서 이미지센서의 훼손, 센서 주변 결선의 단선과 같은 물리적 문제가 발생할 수 있으며, 이는 비정상적인 동작 오류, 고장 등의 결과로 이어질 수 있어 가공 과정 중 센서 표면의 훼손 여부 파악 및 가공 범위를 모니터로 확인하며 작업을 진행하였다.

이미지센서의 표면 제거 작업 완료 후 외부 구조물 제결합 과정에서 센서 보드와 렌즈 보드의 간격을 미세하게 조절하기 어려우며, <그림-01>과 같은 초점 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위하여 분리 전, 후를 베니어 캘리퍼스로 측정하고 결과를 비교, 교정하였다.



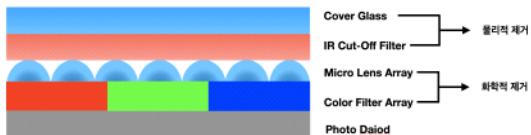
<그림-01> 보드 간격에 따른 초점 면 차이

#### (2) 이미지센서 표면가공

일반적인 가시광선용 이미지센서는 촬영 과정에서 유입되는 비가시광선에 의해 인간의 눈이 보는 컬러와 차이를 보이며, 이를 방지하기 위하여 센서 표면에 Cut-Off Filter를 설치한다. 반대로 자외선 카메라는 비가시광선 대역에 반응하므로, 센서에 부착되어 있는 필터를 제거해야 한다. 또한, 이미지센서에 들어오는 자외선 대역에 대한 감도를 높이기 위하여 Micro Lens Array, Color Filter Array 층이 제거되어야 한다.

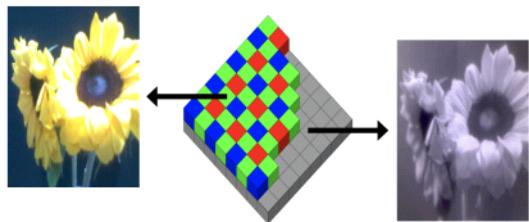
본 연구는 디지털카메라 모듈에 사용되는 이미지센서 커버글라스에 도포되어 있는 Cut-Off Filter와 이미지센서 표면에 위치한 Micro Lens Array, Color Filter Array 층을 물리적, 화학적 가공방법으로 제거

하여 센서의 자외선 대역에 대한 반응 범위를 증가시켜 자외선 이미지를 측득하려는 목적으로 진행되었다. <그림-02>는 이미지센서의 각 층의 구조와 제거 방법을 보여주고 있다.



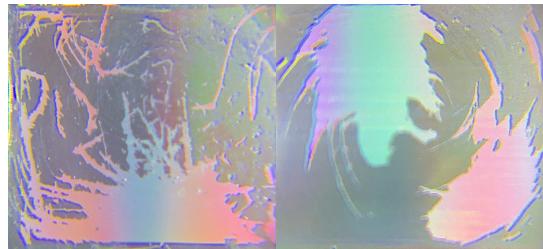
<그림-02> 이미지센서 각 층 구조 및 제거방식

이러한 결과는 Color Filter Array 중 Blue Filter에 해당하는 꾹셀에만 기록되던 자외선 대역을 센서 전체에 기록할 수 있게 되어 자외선 감도가 높아지게 되며, 컬러가 아닌 밝기 음영으로 기록되게 된다. <그림-03>은 같은 피사체에 대하여 Color Filter Array 층이 존재하는 센서의 촬영 결과와 이를 제거한 센서의 촬영 결과를 보여준다.



<그림-03> Color Filter Array 제거 전, 후 비교

Thomas C. Wilkes.(2016)와 본 연구 초기에는 이미지센서의 표면가공을 위하여 경도가 낮은 대나무, 면봉 등의 작업 도구를 이용하여 이미지센서의 표면을 긁어내는 수작업을 진행하였다. 그러나 해당 방법은 사용 도구의 특성, 긁기, 가해지는 힘의 강도 등 객관화할 수 없는 요소들이 너무 많이 발생하는 한계점이 있다. 이러한 수작업 방식의 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 규격화된 밀링머신인 DM20F를 사용하여 작업에 대한 일관성, 정밀도를 유지하였으며, 작업 시 가해지는 압력 등의 수치를 측정하여 정량화하였다. 또한, 이미지센서 표면에 직접적으로 접촉되는 연마추의 규격화를 위해 실린더형 양모 연마추를 사용하였다. <그림-04>는 수작업 방식과 밀링머신을 활용한 이미지센서 표면가공 방법에 따른 센서의 표면가공 과정에 대한 결과물이며, [표-01]은 본 연구에 사용된 연마 도구의 규격을 보여준다.



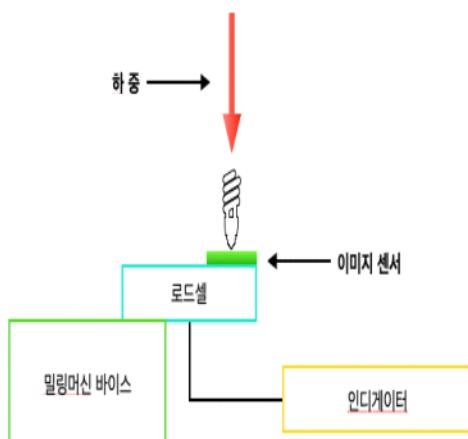
<그림-04> (좌) 수작업을 통한 가공결과 (우)  
밀링머신을 통한 가공결과

[표-01] 실린더형 양모 연마추 규격

규격	사진
외경 : 6 mm 길이 : 10 mm 생크 : 3 φ 규격품번 : K01620466	

<그림-05>는 가시광선용 카메라 모듈의 커버글래스에 도포되어 있는 Cut-Off Filter와 이미지센서 표면에 위치한 Micro Lens Array, Color Filter Array 층의 제거 시 사용하는 밀링머신의 가공 개념도이다. 작업 하중을 측정하는 ‘로드셀’을 ‘밀링머신 바이스’에 고정시켜 작업 과정 중 이미지센서 표면에 가해지는 하중을 확인하였으며, ‘경질 폼 테이프’를 사용하여 작업물과 로드셀 센서 사이의 가공 시 진동에 의한 이미지센서의 훼손 및 작업 영역 이탈을 방지하였다.

<그림-06>은 밀링머신을 이용하여 이미지센서의 표면을 가공하는 과정이다.

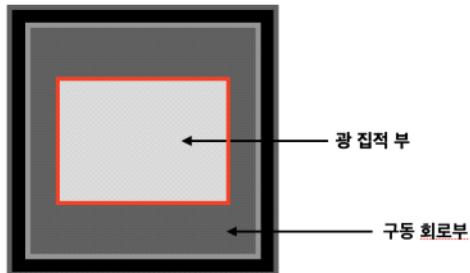


<그림-05> 밀링머신 가공 개념도



<그림-06> 밀링머신 센서 표면가공 과정

본 연구에서 사용된 MT9D111은 광 접적부와 구동 회로부가 분리되어 있다.<sup>5)</sup> <그림-07>과 같이 이미지 센서 표면가공 시 ‘광 접적부’의 영역에 한정하여 작업을 진행하여도 자외선 이미지를 취득함에 있어 문제가 발생하지 않는다. 따라서 가공 시 이미지센서 주변부의 흐손을 방지하기 위하여 광 접적부 면적에 맞는 연마 도구를 사용하여 작업하였다.



<그림-07> 가공 이미지센서 구조

### (3) 밀링머신 적정 작업 수치 산출

밀링머신을 활용한 이미지센서 표면가공 작업 시 센서 표면에 직접적으로 작용하는 사용 약품, 작업 하중, 가공시간의 요소들에 대한 표면가공률을 측정하여 작업 시 적용 가능한 수치를 산출하여 해당 작업에 대한 객관화 및 재현성을 높이고자 하였다. 적정 수치 산출을 위하여 각 요소 별 가공된 센서의 표면 이미지를 취득 후 센서 표면의 총면적 대비 가공 영역의 면적을 비율로 수치화하였으며, 센서 표면을 현미경으로 촬영하여 센서 표면 이미지를 취득하였다. 범위 측정 시 유실되는 영역을 최소화하기 위하여 취득 이미지를 흑백 음영으로 전환 후 제거율을 측정하였다.

[표-02], [표-03], [표-04]는 위 과정으로 산출된 각 요소 별 표면가공률이다. 표면가공 작업 시 센서 표면에 직접적으로 적용되는 사용 약품, 무게 하중, 가공시간에 대한 물리적 요소를 적용하였으며, 각 요소들의 세부 가공률 중 높은 가공률을 선정하여 작업에 적용하였다.

[표-02] 사용 약품 특성 및 약품별 센서 표면가공률

약품명	CAS No.	분자량	가공률
Toluene	CAS No. 108-88-3	92.14	26.3 %
Benzen	CAS No. 71-43-2	78	27.1 %
Acetone	CAS No. 67-64-1	58.08	28.2 %

[표-02]는 약품별 특성과 센서 표면가공률을 측정한 결과이다. 가공시간은 각 약품 별 1분 동일 적용하였으며, 작업 시 표면가공률이 가장 좋은 약품을 선별하기 위하여 진행되었다. 사용 약품 중 ‘아세톤’이 동일 시간 대비 가공률이 가장 높게 측정되어, 적용 가능한 사용 약품으로 선정하였다.

[표-03] 작업 하중 별 센서 표면가공률

0.08 Kg	0.09 Kg
28.2 %	45.7 %

[표-03]은 작업 시 이미지센서에 가해지는 밀링머신의 작업 하중에 대한 센서 표면가공률을 측정한 것이다. 1분 동안 ‘아세톤’을 사용하여 동일한 환경에서 측정하였으며, 측정 결과 ‘0.09kg’의 가공률이 가장 높게 측정되어 적용 가능한 작업 하중으로 선정하였다. 0.09kg 이상의 작업 하중의 경우 이미지센서 파손 현상이 발생하여 측정이 불가능하였다.

[표-04] 가공시간별 센서 표면가공률

1m	2m	3m	3m 30s
45.7 %	73.2 %	95.8 %	98.6 %

[표-04]는 이미지센서의 가공시간별 센서 표면가공률을 측정한 결과를 보여준다. ‘0.09kg’의 하중과 ‘아세톤’을 사용하여 동일한 환경에서 측정하였으며, 측정 결과 ‘3분 30초’ 동안 작업을 진행하였을 때 가장 높은 가공률이 측정되어 적용 가능한 가공시간으로 선정하였다.

[표-05] 표면가공 시 적용 가능 작업 수치

사용약품	작업하중	가공시간
Acetone / 28.2 %	0.09 Kg / 45.7 %	3m 30s / 98.6 %

[표-05]는 [표-02], [표-03], [표-04]의 작업 시 적용 가능한 수치를 종합한 결과이다. ‘아세톤’을 사용하여 ‘0.09kg’의 작업 하중으로 ‘3분 30초’ 동안 작업을 진행하였을 때 가장 최적의 표면가공 성과를 보였음을 알 수 있다.

#### (4) 자외선 이미지 취득

표면가공이 완료된 이미지센서가 정상적으로 작동하는지 확인하기 위해 자외선 사진 촬영을 진행하였다. 자외선 사진은 일반 가시광선에 비하여 촬영 시 초점거리가 짧아지기 때문에 촬영 시 이에 대한 사진 보정이 이루어졌다. 자외선 이미지 취득 시 사용된 조명의 경우 표면가공이 완료된 센서의 감광 반응 범위와 일치시키기 위하여 UV-A 파장을 방사하는 자외선램프를 사용하여 촬영을 진행하였다. <그림-08>은 가공 완료된 이미지센서를 사용하여 반사 자외선 이미지를 취득하는 과정을 보여준다.



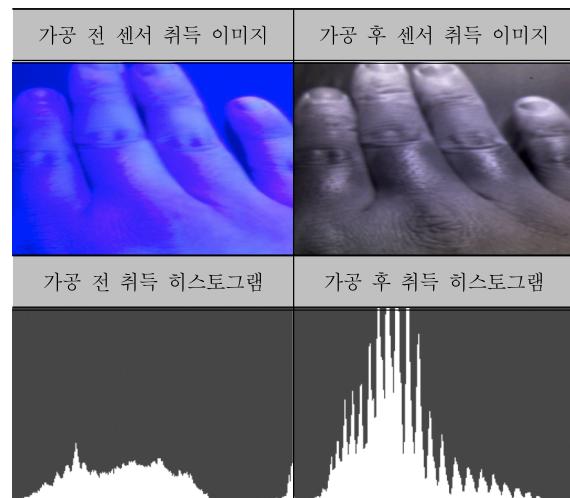
<그림-08> 가공 후 센서를 활용한 반사 자외선 촬영

## 2.2 실험결과

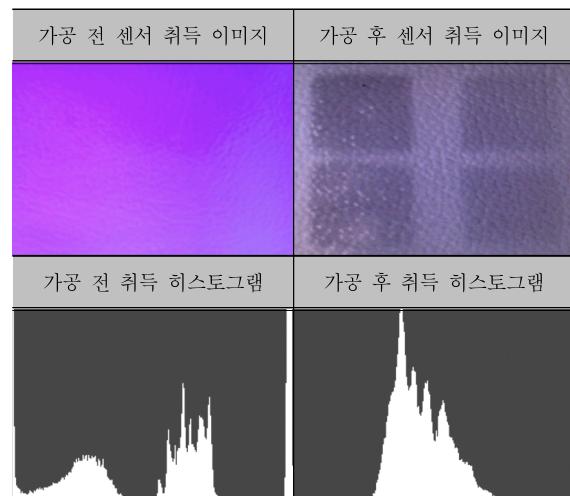
이미지센서의 표면가공 과정 전, 후 결과에 대한 비교, 분석을 위하여 동일 피사체를 사용하여 촬영하였으며, 취득한 이미지의 반사 자외선 반응 유무 확인 및 자외선 대역에 대한 히스토그램의 변화를 비교, 분석하였다. 반사 자외선 반응 유무의 확인을 위하여 자외선 차단제를 사용하였으며, 차단제가 도포되어 있는 피사체의 촬영 결과를 비교함으로써 효과 유무를 판단할 수 있었다. [표-06], [표-07]은 가공 전, 후 이미지센서의 차이를 분석하기 위하여 취득된 이미지와 히스토그램이다. 가공 전과 달리 가공 후의 이미지센

서는 입사되는 빛을 RGB 채널로 분리해 주는 Color Filter Array 층이 존재하지 않아 이미지센서로 입사되는 빛의 흑백 음영으로 기록됨을 알 수 있다. 동일한 조건에서 히스토그램을 분석하기 위하여 가공 전 센서에서 취득한 가시광선 이미지를 흑백 이미지로 변환하였다. 가공 전, 후 이미지의 차이는 자외선 반사로 인하여 차이가 발생하며, 히스토그램의 분포 차이로도 확인할 수 있다.

[표-06] 가공 전, 후 센서 반사 자외선 반응 유무 (손)



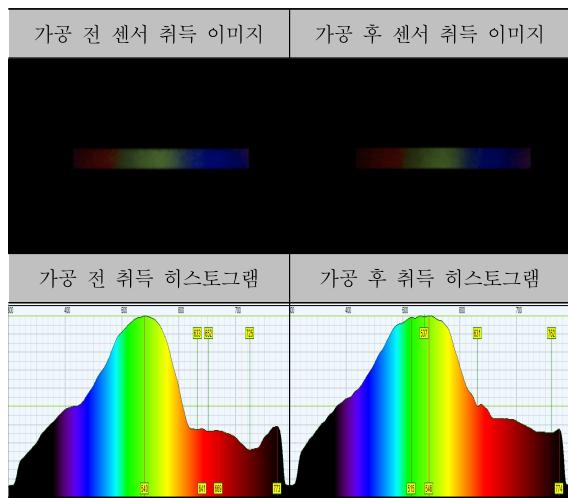
[표-07] 가공 전, 후 센서 반사 자외선 반응 유무 (가죽)



[표-08]은 OV5647의 가공 전, 후의 차이를 분석하기 위하여 분광 격자를 활용하여 촬영한 주광 스펙트럼과 히스토그램이다. 가공 후의 스펙트럼의 경우 자외선 대역인 보라색 영역이 가공 전보다 증가됨을 확인할 수 있으며, 히스토그램에서도 자외선 대역에 대한 영역 범위가 증가된 것을 알 수 있다. 이는 표면가

공 과정을 통하여 Cut-Off Filter, Micro Lens Array, Color Filter Array 층이 제거되었다는 점을 나타내고 있다. 그러나 표면가공 과정으로 해당 층들이 제거되었음에도 이미지센서에 적용되는 화상처리 소프트웨어 계산방식에 의하여 각 픽셀에 해당하는 색상 정보가 적용되어 있어, 처리 전, 후 이미지에서 차이가 발생하지 않고 동일한 컬러 이미지로 출력되었다.

[표-08] 가공 전, 후 센서 자외선 대역 반응 변화



### III. 결론

디지털카메라를 활용한 자외선 이미지의 취득에 관한 대부분의 연구는 광학 필터를 사용하여 가시광선을 차단한 후 자외선 이미지를 얻어내고자 하는 방법이 많았다. 그러나 일반적인 디지털카메라의 센서 자체가 자외선 영역에 민감하게 반응하지 않는 층을 가지고 있어 효과적인 자외선 사진 취득에는 여러 어려움이 있었다. 본 연구는 디지털카메라 모듈의 커버글라스에 도포되어 있는 IR Cut-Off Filter와 이미지센서 표면에 위치한 Micro Lens Array, Color Filter Array 층을 제거하여 자외선 대역에 대한 분감광도를 증가시켜 자외선 이미지의 취득을 가능하게 하였다. 가공 과정의 일관성 유지를 위하여 규격화된 도구를 사용하였으며, 표면가공 작업 시 센서 표면에 직접적으로 적용되는 물리적 요소에 대한 이미지센서 표면가공률을 측정하여 정량화, 수치화하고 해당 작업의 재현성을 증가시켰다. 해당 작업 과정의 효과를 검증하기 위하여 표면가공 전, 후의 카메라로 촬영하고 이미지의 반사 자외선 반응 유무와 히스토그램의 차이를 비교하였다. 이를 통하여 자외선 반사 유무의 차이를 확인할 수 있었고, 히스토그램에서 자외선 대역의 차이를 확인할 수 있었다.

자외선 사진은 범죄 현장의 증거 수집, 피부 병변 추적, 농수산물 생육 정보 확인 등 매우 다양한 분야에서 활용이 가능하다. 그뿐만 아니라 가시광선 대역으로는 표현할 수 없는 자외선 대역 파장의 고유한 특성을 활용하여 예술 콘텐츠로서의 융합적 활용이 가능하다. 하지만 자외선 사진은 일반 디지털카메라를 사용할 수 없고 분광 감도가 자외선 파장 범위에 특화되어 있는 이미지센서를 사용하기에 촬영 기기 또한 높은 가격에 판매되고 있어 다양한 분야에 활용될 수 있다는 가능성에 비해 실제 활용을 하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 디지털카메라 이미지센서의 표면가공 과정을 통하여 보다 효율적인 자외선 이미지 취득이 가능한지 알아보고자 진행하였고 그 가능성을 확인하였다. 해당 연구를 기반으로 후속 연구에서는 보다 고사양의 센서에 동일한 표면가공 과정을 적용하여 고화질의 자외선 이미지 취득을 가능하게 하여 자외선 사진의 보급에 기여해 보고자 희망한다.

### Reference

- [1] Antonino Cosentino, "Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination", Conservar Património, Vol. 21, pp.53-62, 2015.
- [2] Cho, Youn Choll., "Researching on Ultraviolet Photography", The Society of Korean Photography, 7(0), 2000.
- [3] Eva Ljungkvista, Benny Thomsen, "Interpretation of a fire scene with ultraviolet light An assessment of the possible utilisation of ultraviolet light at fire scenes and subsequent recommendations for procedures", Forensic Science International Vol. 297, pp.284-292, 2019.
- [4] Hwang, Min Gu, "Study on Color Expression in Digital Infrared Photography", Sangmyung University Graduate School Department of Digital Image, 6, 2009.
- [5] Jung, Jin Wook., Kwon, Jun Chol, Park, Hyun Dol, "Qualitative Improvement of Potential Evidence Image using Newly Developed CMOS Sensor, Forensic Light Source and Filter", Journal of Scientific Criminal Investigation, 14(3), 2020.
- [6] Lee, Young Kyu, "Sensitive measurement of image sensor and film for ultraviolet photography", Chungang University Graduate School of Advanced Imaging Science, 2, 2011.
- [7] Lee, Young Kyu., Har, Dong Hwan, "Appropriate Digital Camera System for Digital Ultraviolet

- Photography”, JOURNAL OF THE KOREA CONTENTS ASSOCIATION, 10(7), 2010.
- [8] Lee, Myoung Jun., Hwang, Byeong Seol, Kim, Won Sik, “Current Status of the Ultraviolet Optical Equipments”, Korea Association of Defense Industry Studies, 15(1), 2008
- [9] Rihito Kuroda, Shun Kawada, Satoshi Nasuno, Taiki Nakazawa, Yasumasa Koda, Katsuhiko Hanzawa and Shigetoshi Sugawa, “A FSI CMOS Image Sensor with 200–1000 nm Spectral Response and High Robustness to Ultraviolet Light Exposure”, Graduate School of Engineering, Tohoku University, 2013.
- [10] Sung, Hong Suk, “CMOS Image Sensor(CIS) Manufacturing Technology Trends”, The Magazine of the IEEK, 42(1), 2015.
- [11] Thomas C. Wilkes, Andrew J. S. McGonigle, Tom D. Pering, Angus J. Taggart, Benjamin S. White, Robert G. Bryant and Jon R. Willmott, “Ultraviolet Imaging with Low Cost Smartphone Sensors: Development and Application of a Raspberry Pi-Based UV Camera”, Sensors, Vol. 297, Issue.10 p.1649, 8p, 2016.
- [12] 1/3-Inch SOC Megapixel CMOS Digital Image Sensor, Aptina, In, 2004.

#### Endnote

- 1) Lee, Young Kyu, “Sensitive measurement of image sensor and film for ultraviolet photography”, Chungang University Graduate School of Advanced Imaging Science, 2, 2011.
- 2) Lee, Young Kyu., Har, Dong Hwan, “Appropriate Digital Camera System for Digital Ultraviolet Photography”, JOURNAL OF THE KOREA CONTENTS ASSOCIATION, 10(7), 2010.
- 3) Antonino Cosentino, “Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination”, Conservar Património, Vol. 21, pp.53–62, 2015.
- 4) Thomas C. Wilkes, Andrew J. S. McGonigle, Tom D. Pering, Angus J. Taggart, Benjamin S. White, Robert G. Bryant and Jon R. Willmott, “Ultraviolet Imaging with Low Cost Smartphone Sensors: Development and Application of a Raspberry Pi-Based UV Camera”, Sensors, Vol. 297, Issue.10 p.1649, 8p, 2016.
- 5) Sung, Hong Suk, “CMOS Image Sensor(CIS) Manufacturing Technology Trends”, The Magazine of the IEEK, 42(1), 2015.