JDCS
디지털콘텐츠학회논문지
Journal of Digital Contents Society
Vol. 22, No. 2, pp. 307-315, Feb. 2021

적외선 핫스팟 이미지 연구 : 이미지센서와 렌즈면의 적외선 난반사

박 우 성[1] · 주 종 우[2*]
[1]중앙대학교 뉴미디어아트학과 석사과정
[2*]중앙대학교 뉴미디어아트학과 교수

Study of Infrared Hotspot Image: Infrared diffuse reflection of Image Sensor and Lens surface

Woo-Seong Park[1] · Jong-Woo Joo[2*]
[1]Master's Course, Department of New Media Art, Chung-Ang University, Seoul, Korea
[2*]Professor, Department of New Media Art, Chung-Ang University, Seoul, Korea

[요 약]

가시광선을 기준으로 제작된 카메라에서 적외선 사진을 위한 개조는 의도하지 않은 문제를 발생시킨다. 그중 본 논문에서 다루고자 하는 적외선 핫스팟(Infrared Hotspot) 현상은 일반 카메라에서 적외선 차단필터(IR Cut-Off filter)를 제거하고 적외선 파장 필터를 사용하여 촬영할 때 나타나는 문제점으로 이미지 중심부에 나타나는 원형의 반점과 같은 형태로 노출이 과다하게 노광되는 부분을 말한다. 선행연구를 통해 렌즈 경통 내부에 의한 원인으로 일정 부분 보완할 수 있었지만, 완전히 제거된 것은 아니었다. 따라서 본 논문은 적외선 핫스팟의 또다른 특징에 근거하여 원인으로 유추해 볼 수 있는 이미지센서와 렌즈면의 적외선 반사율에 대한 실험을 진행하였고, 이를 통해 적외선 핫스팟 현상의 원인을 밝히는 것을 목적으로 하였다.

[Abstract]

Photography for infrared in cameras built based on visible light causes unintended problems. Among them, the Infrared Hotspot phenomenon, which is intended to be addressed in this paper, is a problem that occurs when IR Cut-Off filter is removed from a regular camera and taken using an infrared wavelength filter, and the exposure increases in a circular form that appears in the center of the image. Since the pre-research was able to partially compensate for the causes caused by the inside of the lens barrel, but not completely removed, the experiment on the infrared reflectivity of image sensors and lens coatings, which can be inferred as causes based on the characteristics of infrared hotspots, was conducted in this paper.

색인어 : 적외선, 적외선 사진, 적외선 핫스팟, 디지털 이미지, 난반사

Key word : Infrared Ray, Infrared photography, Infrared Hotspot , Digital Image, Diffuse reflection

http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.2.307

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 16 November 2020; **Revised** 21 December 2020
Accepted 21 December 2020

***Corresponding Author; Jong-Woo Joo**

Tel: ※ 개인정보 표시제한
E-mail: jw4150@gmail.com

Ⅰ. 서 론

1-1 연구 목적과 배경

디지털카메라의 등장으로 가시광선뿐 아니라 다양한 파장을 이용한 사진을 아날로그에 비해 비교적 쉽게 촬영할 수 있게 되었다[1]. 필름과 다르게 이미지센서는 380nm~1100nm의 감색성을 가지고 있기 때문이다. 하지만 가시광선을 기준으로 제작된 카메라에서 적외선 사진을 위한 개조는 의도하지 않은 문제를 발생시킨다. 그중 본 논문에서 다루고자 하는 적외선 핫스팟(Infrared Hotspot) 현상은 디지털카메라에서 적외선 차단필터(IR Cut-Off filter)를 제거하고 적외선 파장 필터를 장착하여 촬영할 때 나타나는 문제점으로 이미지 중심부에 나타나는 원형의 반점과 같은 형태로 노출이 과다하게 노광되는 부분을 말한다. 선행연구를 통해 이러한 현상은 렌즈 경통 내부의 난반사로 인한 문제점으로 렌즈 조리개의 재질과 반사방지 도로의 변화로 일정 부분 보완할 수 있지만, 완전히 제거되는 것은 아니었다[2]. 따라서 적외선 핫스팟의 특징에 근거하여 렌즈 경통 내부에 의한 원인 외의 근본적인 원인을 밝혀야 할 필요가 있다. 이 현상은 필름을 이용한 적외선 촬영에서는 나타나지 않았던 문제점으로 적외선 필름카메라와 디지털카메라의 가장 큰 차이점인 필름과 이미지센서에 의한 차이로 유추해 볼 수 있고, 렌즈에 따라 발생하거나 발생하지 않는다는 특징이 있다. 따라서 본 논문은 다음과 같은 특징에 근거하여 유추해볼 수 있는 원인을 가설로 설정한 후 이러한 문제점이 적외선 핫스팟에 영향을 미치는지 실험을 통해 확인해보고자 한다.

1-2 용어의 정의

1) 적외선 핫스팟(Infrared Hotspot) 현상

본 연구에서 다루고자 하는 적외선 핫스팟 현상은 디지털카메라를 개조한 후 적외선 촬영을 할 때 발생하는 문제점 중 하나로 그림1과 같이 적외선 이미지 중심부에 나타나는 반점과 같은 형태로, 빛이 과다하게 노광이 되는 부분을 말한다[2]. 또한, 플레어나 고스트 현상과는 다르게 이미지 중심부의 특정한 부분에서 광원에 의한 발생 위치나 형태가 변하지 않는다. 이 현상은 다음과 같은 주요한 특징들이 있다. 첫 번째로 적외선 필름 촬영에서는 나타나지 않았던 문제점으로 적외선차단 필터를 제거한 디지털카메라에서 나타난다. 두 번째, 가시광선 영역을 이용하여 촬영할 경우, 즉 적외선차단 필터(IR Cut-off filter, X-NITE CC1)가 있는 경우엔 발생하지 않는다. 세 번째, 조리개 수치에 따라 영역의 범위와 농도가 다르게 나타난다. 마지막으로 이 현상은 렌즈와 바디의 조합에 따라 발생하거나 발생하지 않는다. 일반적으로 명확한 원인과 해결방법이 알려지지 않았기 때문에 적외선 촬영을 하고자 하는 촬영자들은 자신의 개조된 카메라와 조합이 잘 되는 렌즈를 찾아 핫스팟의 영역을 줄이거나 후보정을 통해 보완해야 한다.



그림 1. 적외선 핫스팟[3]
Fig. 1. Infrared Hotspot[3]

Ⅱ. 본 론

2-1 연구의 가설

본 연구는 적외선 핫스팟에 영향을 미치는 요인들을 가정하고 분석하여 적외선 핫스팟의 원인을 밝히는 것을 목표로 한다. 선행연구를 통해 렌즈 내부에 의한 원인은 조리개의 재질과 반사방지 도료에 따라 핫스팟 현상이 줄어든 것을 확인할 수 있었지만, 완전히 제거된 것은 아니었기에 복합적인 원인이 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 렌즈 경통 내부에 의한 원인을 제외한 다음과 같은 연구가설을 제시한다.

연구가설 1-1. 사용하는 파장대가 가시광선에서 멀어질수록 적외선 핫스팟 현상 또한 증가할 것이다.
연구가설 1-2. 사용하는 파장대에 따라 적외선 핫스팟 현상이 증가한다면 렌즈 표면과 이미지센서의 적외선 반사 또한 증가할 것이다.

위의 가설은 앞서 언급했던 적외선 핫스팟 현상의 특징 중 필름에서는 발생하지 않는다는 점에 근거하여 이미지센서의 난반사를 원인으로 연구가설을 설정하였고, 렌즈에 따라 달라진다는 점에 근거하여 렌즈 표면의 적외선 난반사를 원인으로 연구가설로 설정하였다.

2-2 이론적 배경

1) IR Cut-Off Filter

CCD나 CMOS 같은 이미지센서를 사용하는 디지털카메라는 이미지센서 앞면에 적외선차단 필터를 부착한다. 적외선 차단필터는 TiO2, SiO2, Nb2O5, TaTo5, NdTo5 등의 진공박막증착하여 근적외선 영역은 반사, 흡수하여 차단하고 가시광선 영역만을 투과시킨다. 이미지센서는 적외선 영역에서 보다 민감하게 작용하므로 적외선차단 필터를 부착하지 않는다면, 눈에 보

이지 않는 플레어와 고스트 이미지와 같은 노이즈를 발생시키게 된다. 이러한 현상을 방지하고, 고해상도의 이미지를 얻기 위해 이미지센서 앞에는 필수적으로 적외선 차단 필터를 장착해 주어야 한다[4]. 적외선 촬영은 이러한 이미지센서 앞에 적외선 차단 필터를 제거하고 적외선 투과 필터를 장착하여 촬영한다.

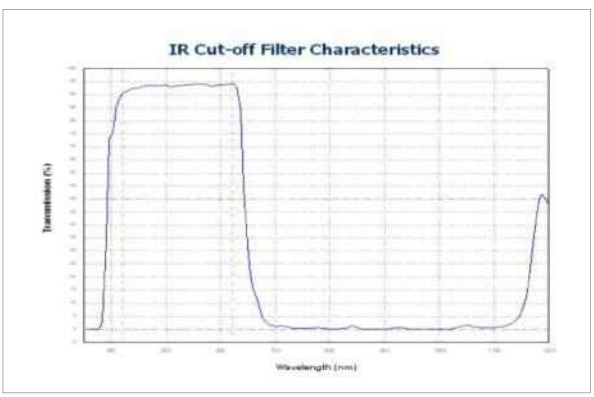


그림 2. 적외선차단 필터의 분광특성[4]
Fig. 2. IR cut-off Filter Characteristic[4]

2) 적외선 필터

이미지센서의 분광 특성상 380nm~1100nm까지의 근적외선 영역까지 감광할 수 있으므로, 적외선차단 필터를 제거한다면 근적외선 영역까지 촬영할 수 있게 된다. 여기에 적외선만을 투과시키는 필터를 사용한다면 적외선 사진을 촬영할 수 있다. 적외선 필터는 주로 파장대(Wavelength)별로 구분되어지는데, 크게 밴드패스 필터와 롱패스 필터로 나눌 수 있다. 밴드패스 필터는 최대 파장대(Peak wavelength)를 기준으로 일정한 파장폭(Bandwidth)을 가지는 필터를 말하며, 주로 회화의 밑그림 검출과 같은 보존화학 분야와 범죄사진용으로 쓰인다. 롱패스 필터는 특정 지점의 적외선 파장대에서 시작해 분광특성이 끊어지지 않고 연결되어있는 필터를 말한다[5]. 롱패스 필터는 적외선을 이용하여 예술 분야에 응용할 경우와 풍경 사진에서 눈에 보이지 않는 특수한 느낌을 주고자 할 때 일반적으로 사용된다.

3) 반사방지 코팅(Anti-Reflection Coating)

반사방지 코팅이란 굴절률이 서로 다른 매질을 박막으로 적층시켜, 광학렌즈 표면의 반사를 감소시키는 코팅 기술을 말한다. 이는 광학적 간섭 현상에 의하여 반사방지 효과를 가지며, 광학계의 광 효율이 향상되어 이미지의 밝기, 콘트라스트등의 향상뿐만 아니라 고스트나 플레어 현상과 같은 노이즈 저감에도 효과적인 역할을 하는 기술이다[6]. 반사방지 코팅은 사용하는 파장대와 재질에 따라 다른 반사방지 효과를 가지고 있다. 일반적인 렌즈는 가시광선을 기준으로 제작되었기 때문에 가시광선에서 적합한 코팅이 되어있다. 그림3을 보면 가시광선에서의 일반적인 반사방지 코팅은 가시광선(~700nm)을 벗어나게 되면 대체적으로 반사율 감소 효과가 떨어지는 것을 확인할 수 있으며[7], 적외선 촬영에선 렌즈 표면(Lens Surface)의 반사율 증가로 인해 렌즈 내부에 의도치 않은 난반사가 심해지는 원인으로 작용할 수 있다. 따라서 적외선 영역으로 사진을 촬영할 경우 이에 맞는 적외선 반사방지 코팅(AR Coating)이 필요하다.

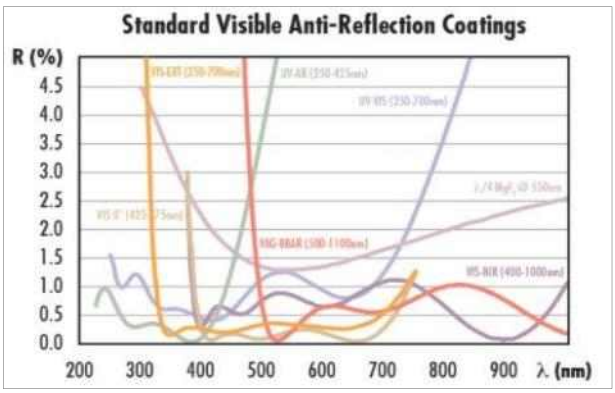


그림 3. 반사방지 코팅의 반사율[7]
Fig. 3. Reflectance of antireflective coating[7]

Ⅲ. 필터에 따른 적외선 핫스팟 현상 실험

3-1 연구방법

사용하는 적외선 파장에 따라 이미지센서의 반사율이 달라진다면, 긴 파장을 사용할수록 적외선 핫스팟 현상이 증가할 것이다. 따라서 이미지센서의 적외선 반사를 확인하기에 앞서 사용하는 파장대에 따라 적외선 핫스팟 현상이 변화하는 것을 확인해볼 필요가 있다. 파장별(590nm, 720nm, 830nm, 950nm) 상용 적외선 필터와 적외선 차단필터(IR Cut-Off Filter)의 기능을 하는 X-NITE CC1필터 사용하여 야외 풍경을 대상으로 촬영하였고, 결과물을 바탕으로 적외선 파장별 핫스팟의 변화와 가시광선과 적외선 영역에서 촬영한 결과물의 차이를 비교하였다.

3-2 실험장비

실험에 앞서 선행되어야 할 것은 적외선 촬영을 할 수 있도록 이미지센서 앞에 부착된 적외선 차단필터(IR Cut-Off Filter)를 제거해주어야 한다. 카메라는 적외선차단 필터가 제거된 Canon 5D MARKⅡ를 사용하였다. 렌즈는 Canon 24-70 F2.8을 사용하였다. 사용된 파장별 필터는 그림4의 필터의 분광특성과 같이 롱패스 필터인 Cokin 003, Hoya R72, X-nite 830, Zomei 950 필터를 사용하였다. Cokin 003 필터의 경우 적외선 전용 필터는 아니지만 컬러 적외선 사진을 촬영할 때 주로 사용하는 필터로 가시광선의 스펙트럼상 레드필터는 약 590nm 이상의 파장을 받아들인다. 본 실험의 필터 비교군으로 적합하다고 판단하였다. 또한, 이미지센서 앞에 부착된 IR Cut-Off Filter와 같은 역할을 하는 X-NITE CC1 필터를 사용하여 가시광선에서 촬영된 이미지와 함께 비교하였다.

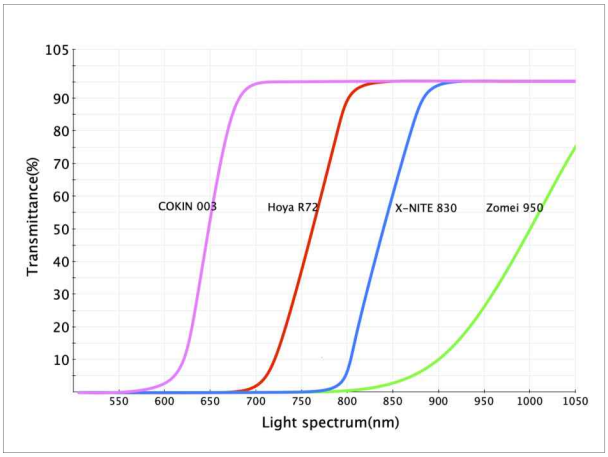


그림 4. 사용한 적외선 필터의 분광특성[8],[9],[10],[11]
Fig. 4. Transmission graph of used filter[8],[9],[10],[11]

3-3 실험결과



그림 5. X-NITE CC1 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 5. Photographic Results of using X-NITE CC1 filter



그림 6. Cokin 003 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 6. Photographic Results of using Cokin 003 filter



그림 7. Hoya R72 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 7. Photographic Results of using Hoya R72 filter



그림 8. X-NITE 830 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 8. Photographic Results of using X-NITE 830 filter



그림 9. Zomei 950 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 9. Photographic Results of using Zomei 950 filter

그림5~9는 파장별 적외선 필터를 장착하고 촬영한 결과물이다. 실험결과, 필터에 파장대가 높아짐에 따라 적외선 핫스팟 현상이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 다시 말해 적외선차단

필터가 제거된 디지털카메라는 사용하는 파장대가 가시광선에서 멀어질수록 렌즈 내부에 특정 부분에서 난반사가 증가한다고 볼 수 있었다. 이를 바탕으로 가시광선과 비교하기 위해 X-NITE CC1 필터를 장착하고 촬영한 그림5를 보면, 가시광선 영역을 이용할 경우 적외선 핫스팟 현상이 전혀 발생하지 않았다. 이러한 원인은 크게 두 가지로 유추해 볼 수 있다. 하나는 렌즈면(Lens surface)에 난반사 방지를 위한 AR코팅이 적외선 영역의 반사방지를 시켜주지 못한다는 것이고, 두 번째는 이미지센서의 반사율은 가시광선에서 멀어질수록 증가한다는 것이다. 이것은 근본적으로 적외선이 이미지센서에 노광 되기 전 적외선차단 필터로 걸러지기 때문에 문제가 나타나지 않았던 것으로 판단되며, 종합적으로 이러한 현상은 일반적인 디지털카메라는 적외선 촬영에 적합하지 않고, 가시광선보다 난반사가 증가하는 부분이 있음을 유추해 볼 수 있다. 따라서 위의 필터별 적외선 핫스팟 실험을 바탕으로 유추해본 두 가지의 원인을 실험을 통해 검증해야 할 필요가 있다.

Ⅳ. 파장에 따른 이미지센서의 적외선 반사 실험

앞서 진행된 실험의 연장으로 각 파장대가 높아질수록 적외선 핫스팟이 증가한다면, 카메라 내부의 적외선으로 인한 난반사 또한 증가한다고 판단할 수 있었다. 적외선 필름 촬영에선 나타나지 않던 문제가 디지털카메라에선 발생되므로 가장 먼저 의심해볼 수 있는 이미지센서의 적외선 파장별 반사율 실험을 진행하여 이미지센서가 가시광선 파장에서 멀어질수록 반사율이 증가하는지 확인하여야 한다. 실험은 각 파장대의 필터별로 이미지센서를 텅스텐광 아래에서 반사시켜 촬영하였다. 이를 통해 이미지센서의 난반사는 사용하는 파장이 길어짐에 따라 반사율이 높아지는지 확인해보았다.

4-1 실험방법

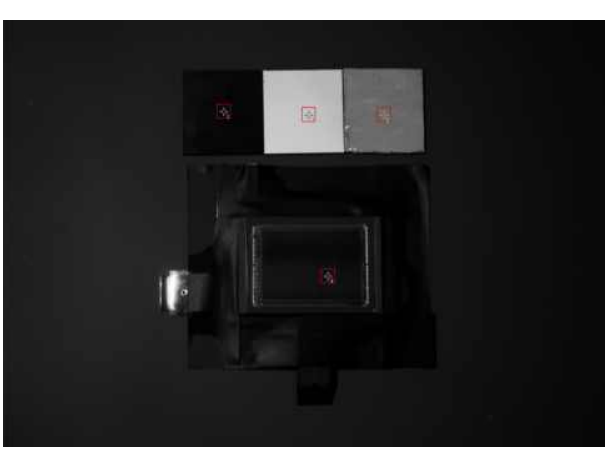


그림 10. 노출 측정 영역
Fig. 10. Exposure measurement point

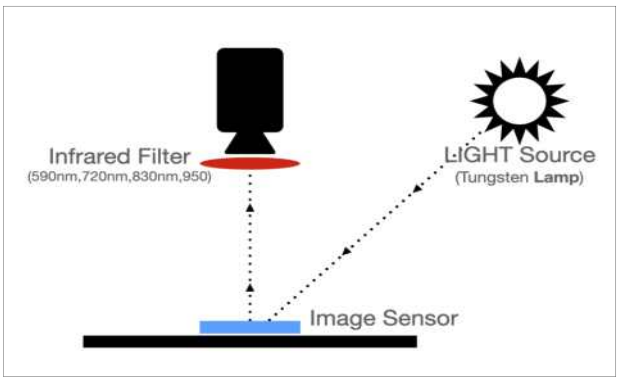


그림 11. 촬영방법
Fig. 11. Method of Research

파장의 따른 이미지센서의 적외선 난반사를 확인하기 위해 Canon 5D의 이미지센서인 CMOS을 분리한 후 그림11과 같이 텡스텐 광원에서 파장별 필터를 장착한 후 촬영하였다. 촬영한 결과물을 바탕으로 Photoshop을 이용하여 그림10과 같이 설정한 기준점에 color sample tool을 31x31로 설정하여 기준 포인트의 평균값을 측정하였고 Gray Scale로 변환 후 수치로 나타냈다. 측정된 수치를 이용하여 각각의 결과물을 비교하였다. 적외선 이미지는 긴 파장의 적외선을 이용하여 촬영할수록 해상도와 콘트라스트의 저하가 일어나기 때문에 적외선 사진에선 후보정을 통해 노출과 콘트라스트를 반드시 맞춰줘야 한다. 또한, 적외선은 가시광선과는 다른 반사특성으로 인해 그래이카드와 같은 노출 패치로는 정확한 노출값을 측정하기 어렵다. 따라서 “적외선 반사사진을 위한 노출 톤 패치” 논문[12]을 참고하여 적외선 노출 패치를 제작하였고, 이 패치와 이미지센서를 함께 촬영하여 후보정을 통해 필터별로 달라지는 노출과 콘트라스트를 맞추었다. 물론 이 실험의 반사율 측정은 적외선 반사율을 정확하게 측정한 것이 아닌 같은 노출값에서 증가의 비율을 알아보고자 한 것으로 실험의 반사율 측정값은 비교를 위한 참고용으로 봐야 한다.

4-2 실험결과

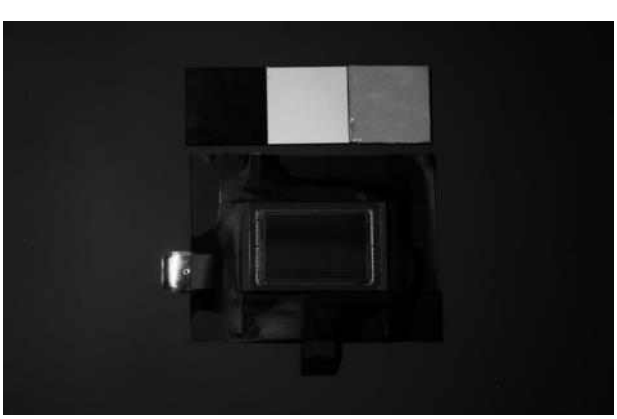


그림 12. X-NITE CC 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 12. Photographic Results of using X-NITE CC filter

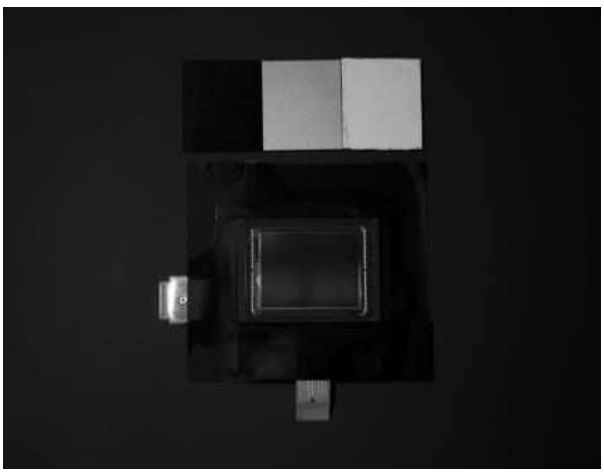


그림 13. Cokin 003 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 13. Photographic Results of using Cokin 003 filter

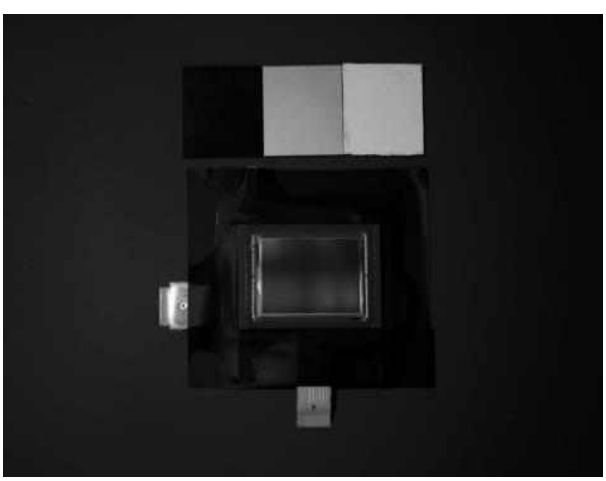


그림 14. Hoya R72 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 14. Photographic Results of using Hoya R72 filter



그림 15. X-NITE 830 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 15. Photographic Results of using X-NITE 830 filter

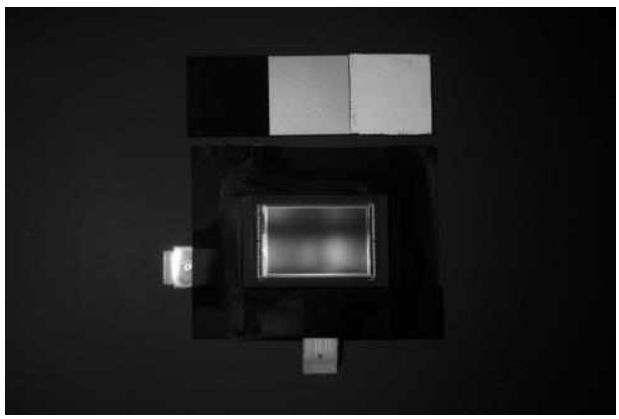


그림 16. Zomei 950 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 16. Photographic Results of using Zomei 950 filter

표 1. 그레이스케일 수치
Table. 1. Grayscale values

Filter	Sensor Reflection
X-NITE CC1	2%
Cokin 003	6%
Hoya R72	12%
X-NITE 830	37%
Zomei 950	54%

실험결과 이미지센서는 사용하는 필터의 파장대가 높아짐에 따라 적외선 반사율 또한 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 적외선과 가시광선에 반사율에 따른 차이로 인해 발생하는데, 그림12을 통해 확인해보면 X-NITE CC 필터에서 가시광선 영역의 결과물은 적외선 파장대의 필터를 사용한 결과물보다 이미지센서의 반사율이 현저하게 낮다는 것을 알 수 있다. 반대로 그림 16과 같이 필터의 파장이 가시광선에서 멀어질수록 이미지센서의 반사율은 6%에서 54%로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림17 그래프에서 Hoya R72(720nm)와 X-NITE 830(830nm) 사이 적외선 반사율 증가의 폭이 급격하게 증가한다는 것을 확인하였다. 다시 말해 이것은 가시광선의 일정 영역을 포함하고 있는 적외선 필터가 아닌 적외선 파장만을 사용하는 필터일수록 이미지센서의 반사율이 대폭으로 증가한다는 것을 나타내며, 이미지센서는 가시광선에서 멀어진 파장대일수록 반사율이 증가하게 되므로 적외선 필름 촬영에선 나타나지 않았던 문제점이 이미지센서에서 나타날 수 있다는 것을 설명할 수 있다. 이를 통해 앞서 진행한 필터의 파장대에 의한 적외선 핫스팟 현상을 비교해 판단해본다면, 적외선 파장대가 높은 필터를 사용할수록 이미지센서의 반사율이 증가하므로, 파장대가 높아진 필터를 사용할수록 핫스팟이 증가하는 원인으로 상관관계가 있다고 판단할 수 있었다. 이미지센서의 이러한 반사특성이 가시광선과 적외선 영역에서 차이를 보이지만 일반 가시광선을 촬영할 경우 발생하지 않았던 이유는 이미지센서 앞에 부착된 적외선차단 필터로 인해 이미지센서에 적

외선이 노광되지 않아 문제가 되지 않았던 것으로 보이다. 한편으로 적외선 핫스팟 현상의 가장 큰 특징 중 하나인 카메라와 렌즈의 조합에 따라 달라지는 원인은 이미지센서의 반사율만을 가지고 설명할 수 없는 부분이 있다. 따라서 이 특징의 원인을 설명하기 위해선 렌즈와 적외선 핫스팟 현상의 상관관계를 파악해야 한다. 그중 렌즈에서 유추해 볼 만한 원인으로 렌즈 표면(Lens Surface) 코팅에 의한 적외선 난반사가 있다. 이론적 배경의 그림3을 보면 난반사 방지를 위해 증착되는 반사방지 코팅(Anti-Reflection coation) 역시 적외선 영역으로 갈수록 반사방지 효과가 저하된다는 것을 확인할 수 있기 때문이다. 따라서 다음으로 필터의 파장에 따른 렌즈 표면의 적외선 반사율 실험을 진행하였다.

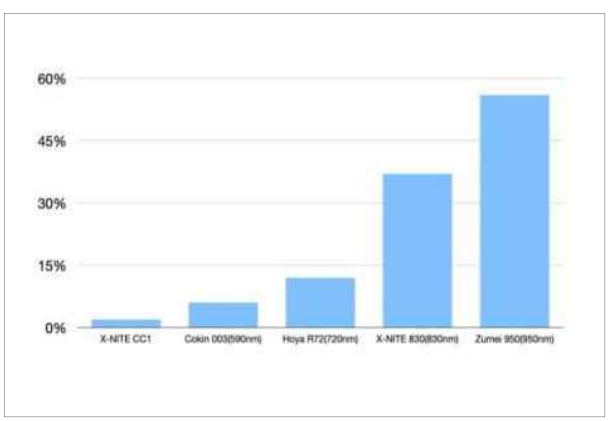


그림 17. 그레이스케일 그래프
Fig. 17. Grayscale values graph

Ⅴ. 파장에 따른 렌즈면의 적외선 반사

앞서 진행한 실험을 통해 이미지센서는 사용하는 파장이 높아짐에 따라 반사율 또한 증가한다는 것을 확인했다. 하지만 적외선 핫스팟 현상의 중요한 특징 중 하나는 사용하는 렌즈와 카메라의 조합에 따라 적외선 핫스팟 현상이 달라진다는 것이다. 이것은 렌즈 표면에 증착된 코팅에 의해 발생할 수 있다. 렌즈 표면의 난반사는 비단 적외선 영역에서만 발생하는 것은 아니다. 렌즈를 제작함에 있어 가시광선 영역에서도 이러한 의도치 않은 난반사를 방지하기 위해서 렌즈면(Lens Surface)에 반사방지 코팅(AR Coating)을 한다. 빛이 이미지센서에 전달 되기까지 많은 렌즈면(Lens surface)을 지나게 되므로 최종 투과 효율을 높이기 위해 AR코팅(Anti-reflection coating)이 필수적으로 되어있다. 이러한 AR코팅은 가시광선을 기준으로 코팅되어 있기 때문에 적외선 영역으로 갈수록 효과적인 기능을 기대하기 어려워진다고 볼 수 있으며, 반사방지 효과의 저하로 인한 난반사는 적외선 핫스팟에 영향을 미칠것이라 의심해 볼 수 있다. 따라서 렌즈 코팅의 반사율 실험을 통하여 기존에 적외선 핫스팟이 나타난다고 판단되는 렌즈의 적외선 반사율이 사용하는 파장대가 높아짐에 따라 증가하는지 검증해 보아야 한다.

5-1 실험방법

실험에 사용한 렌즈는 그림2와 같이 핫스팟 현상이 나타나는 Canon FD f1.4 50mm 렌즈를 사용하였다. 각각의 필터별로 촬영한 결과물을 바탕으로 렌즈의 코팅이 사용하는 파장에 따라 다른 반사율을 가지는지 확인하였다. 촬영방법은 렌즈면의 난반사를 측정하기 위해 광원을 45도 각도로 설치하였고 소프트박스를 장착하여 렌즈면에 투사되는 광원을 면과 같은 형태로 반사될 수 있도록 하였다. 측정 포인트는 그림19와 같이 설정하여 필터별 촬영 결과물의 노출값을 맞추었고, 맞춰진 노출값에서 나타난 반사율을 측정하였다. 노출값은 이미지센서의 적외선 반사 실험과 동일하게 설정하였고, 그레이스케일 수치로 변화시켜 비교하였다.



그림 18. 노출 측정 영역
Fig. 18. Exposure measurement point

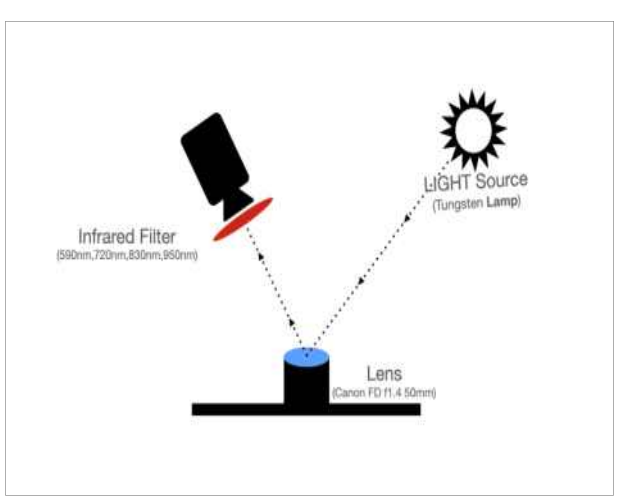


그림 19. 촬영방법
Fig. 19. Method of Research

5-2 실험결과

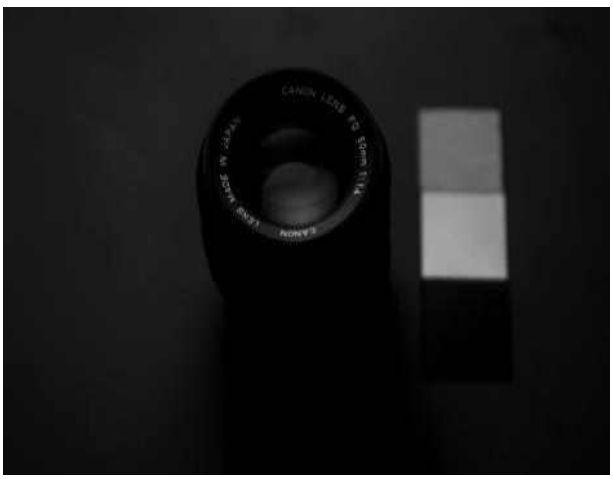


그림 20. X-NITE CC1 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 20. Photographic Results of using X-NITE CC1 filter



그림 21. Cokin 003 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 21. Photographic Results of using Cokin 003 filter



그림 23. Hoya R72 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 23. Photographic Results of using Hoya R72 filter

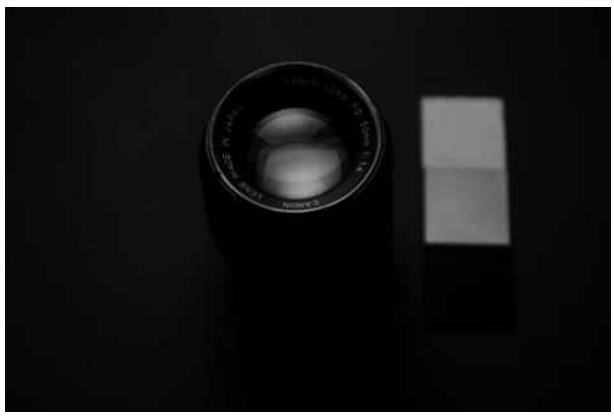


그림 22. X-NITE 830 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 22. Photographic Results of using X-NITE 830 filter

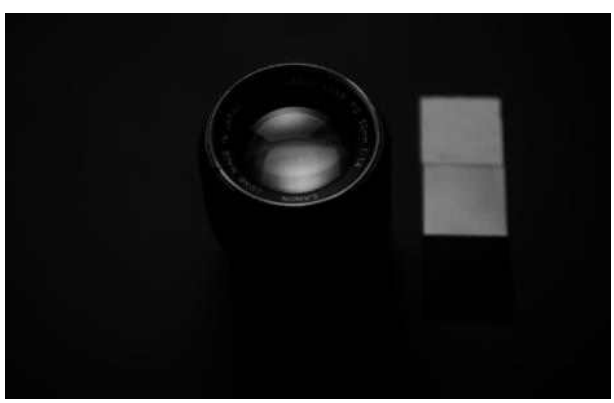


그림 23. Zomei 950 필터를 사용하여 촬영한 결과
Fig. 23. Photographic Results of using Zomei 950 filter

필터별로 렌즈를 촬영한 결과, 사용하는 파장대가 가시광선에서 멀어질수록 렌즈 표면의 반사율 또한 증가했다. 가시광선을 이용하여 촬영한 그림 21을 보면 렌즈 표면 광원의 반사는 나타나지만, 적외선 파장대의 필터를 사용한 결과보다는 확연한 차이를 확인할 수 있었다. 그레이스케일 수치로 변환시킨 표 2를 보면 수치적인 차이 또한 가시광선만을 이용한 촬영보다 적외선 필터를 사용한 590nm 이상부터 24%에서 46%로 급격한 수치의 변화를 보인다. 또한, 590nm 이상의 필터들은 비교적 비슷한 수치로 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 적외선 핫스팟의 원인 중 렌즈 표면의 적외선 난반사 또한 적외선 핫스팟을 발생시키는 원인으로 판단된다.

표 2. 그레이스케일 수치
Table. 2. Grayscale values

Filter	Lens Reflection
X-NITE CC1	24%
Cokin 003	46%
Hoya R72	55%
X-NITE 830	63%
Zomei 950	70%

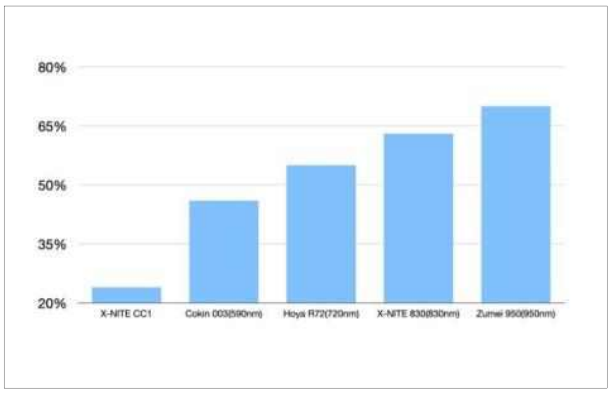


그림 24. 그레이스케일 그래프
Fig. 24. Grayscale values graph

Ⅵ. 결 론

본 연구는 적외선 핫스팟 현상의 원인을 파악하기 위한 목적으로 진행하였다. 먼저 적외선 핫스팟 현상이 파장대의 증가와 상관관계가 있는지 파악하기 위해 각 파장별 상용 적외선 필터를 장착하여 촬영하였다. 실험결과 사용하는 파장대가 증가할수록 적외선 핫스팟 현상 또한 증가한다는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 2가지 가설을 설정하였다. 텅스텐 광원을 이미지센서에 반사시킨 후 각 파장대의 필터를 사용하여 촬영한 결과, 이미지센서는 적외선 파장대가 높아짐에 따라 반사율 또한 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 다음으로 사용하는 렌즈에 따라 적외선 핫스팟 현상이 달라진다는 특징에 근거하여 렌즈 표면의 적외선 반사실험을 진행하였다. 실험결과 앞서 진행한 실험과 마찬가지로 사용하는 파장대가 증가함에 따라 렌즈면의 반사 또한 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 적외선 핫스팟의 여러 원인 중 이미지센서와 렌즈 표면의 적외선 난반사의 증가 또한 적외선 핫스팟을 발생시키는 원인으로 판단된다. 위의 원인을 바탕으로 후속 연구를 통해 해결할 수 있는 방법을 모색해 보고 이에 대한 실증적인 증명이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

[1] J. W. Joo. "A Study of the Focusing in Infrared Digital Images: A Study on Improved the Focusing of Infrared Images Using Single Wavelength." AURA, Vol. 0, No. 27, pp. 149-158, 2012.
[2] W. S. Park, A Study of 'Infrared Hotspot' Image by stray light inside the lens, *Korea Digital Contents Association*, Vol. 21, No. 10, pp. 1869, Oct 2020.
[3] Infrared Hotspot Image. Available: https://kolarivision.com/the-science-of-infrared-hotspots/
[4] J. E. Hong. A Study on IR Cut-off Filter of Digital Camera. *AURA*, Vol. 0, No. 14, pp. 120-131, 2006.
[5] S. B. Youn , Study on the Comprehensive Digital Infrared Photographic System, M.A, Chung-Ang University Graduate School Graduate School, Seoul, 2008.
[6] H. J. Kang, A Study on the Anti-Reflection coating of Chalcogenide lens for infrared cameras, M.A, Korea Polytechnic University Graduate School, Siheung, 2018.
[7] anti-reflective coating. Available:https://www.edmundoptics.co.kr/
[8] Transmission graph of wratten 25 filter. Available:https://astronomy.activeboard.com/t49503185/wratten-25-filter/
[9] Transmission graph of Hoya R72 filter. Available:https://hoyafilter.com/product/r72_infrared/
[10] Transmission graph of X-NITE 830 filter. Available:https://maxmax.com/filters
[11] Transmission graph of Zomei 950 filter. Available:https://www.ultravioletphotography.com/content/index.php/topic/2394-zomei-ir-filter-transmission-graphs/
[12] S. K. Kim, "The Method of Exposure Determination for Digital Infrared Photography in Forensic Field" The Korea Contents Society, Vol. 14, No. 2, pp. 181-191, 2014.



박우성(Woo-Seong Park)

2019년 : 배재대학교(B.A)
2013년～2019년 : 배재대학교 광고사진학과
2019년～현재 : 중앙대학교 일반대학원 뉴미디어아트학과 재학
※관심분야 : 디지털 이미지(Digital Image), 비가시광선(Invisible light), 미디어아트(Media Art)



주종우(Jong-Woo Joo)

2001년 : 중앙대학교 (B.A)
2004년 : Brooks Institute of Photography (M.S)
2008년 : 중앙대학교 (M.A)
2014년 : 중앙대학교 (ph.D)
2013년～현 재: 국가기술표준원 사진분과 전문위원
2014년～현 재: 기술표준원 문화예술서비스 심의의원
2015년～현 재: 사진진흥법 재정위원회 부위원장
2015년～현 재: 현대사진영상학회 편집위원
2017년～현 재: 중앙대학교 공연영상창작학부 조교수, 뉴미디어아트대학원 학과장
※관심분야 : 디지털 이미지 (Digital Image), 가상현실(Virtual Reality Technology), 드론 (Drone)