듀얼-패스 필터를 활용한 적외선 이미지의 해상도 향상*

"Improving the resolution of an Infrared Image by using a Dual-pass filter

주 종 우 Joo, jongwoo**

Abstract

I. 서론
1. 연구목적 및 필요성
2. 가설

II. 본론
1. 선행연구
2. 연구방법 및 절차
3. 연구환경
4. 연구결과

III. 논의 및 결론
1. 논의
2. 결과

참고 문헌 및 인용문헌

* 2014년도 경운대학교 학술연구비로 수행된 연구
**경운대학교 사진영상학과 조교수

www.kci.go.kr

Abstract

The infrared, brought into photography in the late 19th century, provides image information that human eye can not perceive, initially adopted by the crime photo. Since then, through continuous research, infrared is being applied various field of application such as forgery, medical image technology. Digital in photography started about 10years ago but has made rapid progress in a short period of time with ripple effects. Currently, digital devices are the principal means of image making. Instead of formerly used infrared films, the image sensor of general digital camera is in response to infrared, thus easy and simple. However, the infrared images result in the lower resolution than the visible light because of the characteristics and the devices. In this thesis, we improve the resolution of digital infrared photography and study on the dual pass filter for use the light at particular wavelength. Confirming diffraction and chromatic aberration cause the low resolution of the infrared photo, we enhance the resolution of the digital infrared image to the level of the visible light image by adjusting the aperture to reduce diffraction and by making infrared filters to decrease chromatic aberration. Alternatively, we suggest placement of the dual-pass Infrared filter instead of normal infrared filter.

Key word : Infrared, Resolution, Dual-pass filter, High-pass filter, Low-pass filter, Digital,, Camera, Sharpness, Invisible ray, Acutance

www.kci.go.kr

Ⅰ. 서론

1. 연구목적 및 필요성

적외선은 1880년 프레드릭 윌리엄 허셀(Frederick William Herschel: 1738~1822)이 발견한 이후, 적외선에 관련된 많은 기술이 발명되었다. 적외선 사진이 최초로 적용된 것 중의 하나는 범죄에 사용된 문서위조·검증 분야였다. 미술관 역시 그림의 검증을 하기 위해 적외선 사진을 사용하였고, 가장 많이 보급된 분야는 의료영상분야이다(하동환, 손영호, 2004, 401). 피부학, 혈류학, 안과, 외과 등의 분야에서 적외선이 진료와 진단을 위해 사용되며, 현미경 촬영이나 농업, 임업분야에서 식물의 질병을 판단하거나 예방하는데 사용된다. 고고학이나 범죄수사 분야에서는 위조여부를 판독하기 위해 이용한다. 그 밖에도 경찰의 마약수사나 군사적인 목적, 야행성 동물을 촬영하는 데에도 사용된다. 적외선 사진은 인간의 눈에 보이지 않는 영역을 촬영하기 위하여 제작 되었으며, 인간이 인지하지 못한 다양한 정보들을 제공한다. 과거에는 필름 카메라를 이용하여 적외선 영역을 촬영 하였으며, 보관이 까다롭고 사용절차가 번거로울 뿐만 아니라 촬영할 수 있는 파장이 250nm ~ 950nm밖에 되지 않았다. 적외선 은염사진의 경우 현상과 촬영을 제외한 부분에서도 많은 어려움이 있었다. 그래서 적외선 사진의 활용이 제한적이었다(Drozhbin, A. Y., Pankratov, G. S. ,1985, 350~351). 그러나 디지털카메라를 이용한 적외선 촬영은 이미지 센서의 특성으로 은염사진에 비해 편리한 작업환경을 제공하고 있다. 디지털카메라는 부가장치를 사용하지 않더라도 이미지 센서의 분광감광영역(Spectral Sensitivity Range)이 대략이며, 이것은 근적외선 영역을 일부 포함하는 수치이다(주종우, 2008, 1). 하지만, 상용 디지털카메라로 촬영된 적외선 이미지는 디지털카메라의 많은 장점에도 불구하고 해상도의 저하와 감광영역의 한계에 부딪혀, 현재 상용 디지털카메라를 이용한 적외선 촬영은 소수에 불가하다. 그러므로, 디지털 적외선 사진의 활용도를 높이려면 상용 디지털 카메라를 이용한 적외선 해상도 연구가 필요하다. 본 논문은 디지털카메라에 장착된 이미지센서의 특성을 이용하여 고품질의 적외선 사진 촬영을 위한 방법을 제안하고자 한다.

2. 가설

본 연구는 디지털에서 적외선사진의 해상도와 선예도를 극대화하여 적외선 사진의 활용도를 높이는데 그 목적이 있다. ‘오늘날 상용디지털 카메라들의 문제점은 주로 카메라의 작은 센서와 픽셀사이즈 때문에 발생한다. 이런 문제점들은 해상도와 다이나믹레인지의 한계, 노이즈 발생, 색수차, 회절현상의 발생 등이 있다.’(Wueller, D., 2006, 14). 가시광선 촬영과 비교하여 변화되는 변수들은 색수차와 회절이다. 색수차와 회절은 파장의 영향을 받기 때문이다. 적외선의 품질을 향상시키기 위해 회절과 색수차를 매개변수로 활용한다. 적외선은 가시광선에 비해 장파장이므로 굴절률이 가시광선과 상이하여(Snell’s Law적용), 가시광선 광학시스템이 적용된 상용카메라를 이용하는 ‘적외선 촬영은 색수차와 회절이 가시광선에 비해 증가한다.’(Williams Robin, Williams Gigi, 2002). 그러므로 적외선 파장의 특성을 고려하여 두 가지 매개변수를 조절한다면, 적외선 이미지의 품질향상이 가능하다는 가정 하에 출발한다. 또한, 적외선사진에서 색수차는 색으로 표현되지 않고 초점거리가 다른 여러 개의 중첩된 단색 이미지로 표현된다. 그러므로 색수차에 의하여 선예도가 저하

www.kci.go.kr

된다. 그러나 매우 좁은 파장영역을 협대역 밴드패스필터[1]를 사용하여 촬영하면, 색수차가 발생하지 않아 고해상도의 이미지를 얻을 수 있다(주종우, 이용환, 2012). 하지만, 특정파장을 이용한 촬영은 노출이 매우 부족하므로 실제 촬영에 적용하기 힘들다.

가설. 가시광선과 유사한 정도의 색수차를 유지한다면, 가시광선 수준의 해상도를 얻을 수 있을 것이다.

II 본론

1. 선행연구

적외선을 이용한 촬영은 오래 전부터 다양한 분야에서 사용되어왔다. 김유진(2006)은 우리나라의 경우 증거주의 재판제도를 채택하고 있는 실정이기에 범죄수사용 과학사진은 재판에서 객관적인 자료로 이용되고 있다고 하였다. 또한, 적외선 반사 기술을 이용한 회화의 밑그림 분석은 문화재 복원, 작가의 밑그림 기법특성으로 말미암은 위·변조 여부를 알 수 있다. 그밖에 예술분야에서 보이지 않았던 새로운 세계를 보여주거나, 가시광선과 접합하여 작가의 의도를 시각적으로 표현하기도 한다. 1966년부터 회화의 밑그림 검출에 관한 연구는 지속해서 이루어져 왔다. 짧지 않은 역사임에도 불구하고 아직 활용이 제한적인 것은 적외선 반사 사진술에서 사용되는 검출 장비들의 기술적인 한계와 가격이 고가이기 때문이다.

윤성빈(2008)은 현재 디지털카메라를 이용한 적외선 촬영은 다양한 분야에서 사용되고 있지만, 문화재를 분석하는 보존과학 분야에서는 아직 활용이 제한적인 이유는 문화재를 분석하는데 사용되고 있는 디지털 방식의 적외선 촬영기가 존재하기 때문이며, 보존 과학계에 사진을 전공한 전문가가 부족해 디지털카메라를 적극적으로 활용하지 않는 점도 문제점이라 할 수 있다. 또한, 가격이 고가라는 점 때문에 시스템을 구축하기 어려워 많은 연구소에서 보유하지 못하고 있는 실정이라고 했으며, 상대적으로 저가인 상용 디지털카메라의 연구는 많은 분야에서 적외선 사진의 활용도를 높여줄 것이라고 하였다.

상용 카메라를 이용한 적외선 촬영은 사진분야만 아니라 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다. 신동익, 허수진(2000)은 의학분야에서 적외선 영역을 영상화하는데 대폭의 비용절감을 위하여 '성능개선을 통한 적외선 영역에서의 CCD 카메라의 활용' 을 연구하였다. 적외선 영역에서 가시광선과 비교하면 상대적인 화질의 저하가 발생하므로, 화질 저하를 보상하기 위하여 열전반도체를 모듈형태로 제작한 열전냉각소를 이용하여 화질개선을 노력하였다. 상용 디지털카메라가 고해상도 됨에 따라 다양한 분야에서 활발히 이루어졌으며 적외선 이미지의 품질개선을 요구 하고 있다. 또한, 사진전문가의 적외선 관련 논문들은 위에서 보는 바와 같이 활용에 관한 부분이나 적용하는 방법적인 논문들이 대부분이다.

사진에서 화질이란 디지털 재현장비를 선택하는 직접적인 요인이며 장비의 품질을 말한다. 즉, "이미지의 품질을 의미하는 화질은 어떤 이미지에 대해 감상자 또는 사용자의 의견과 판단이 반영된 통합적인 만족도를 의미한다고 볼 수 있다."(노연숙, 2010, 47). 사진에서 화질이라는 것은 가장 중요한 부분 중 하나이며, 본 연구는 사진의 화질 향상을 주제

1) 밴드패스 필터 - 밴드패스필터는 파장대를 열어주는 필터와 닫아주는 필터로 구성되어 있으며, 특정 파장영역 사용할수 있도록 한다.

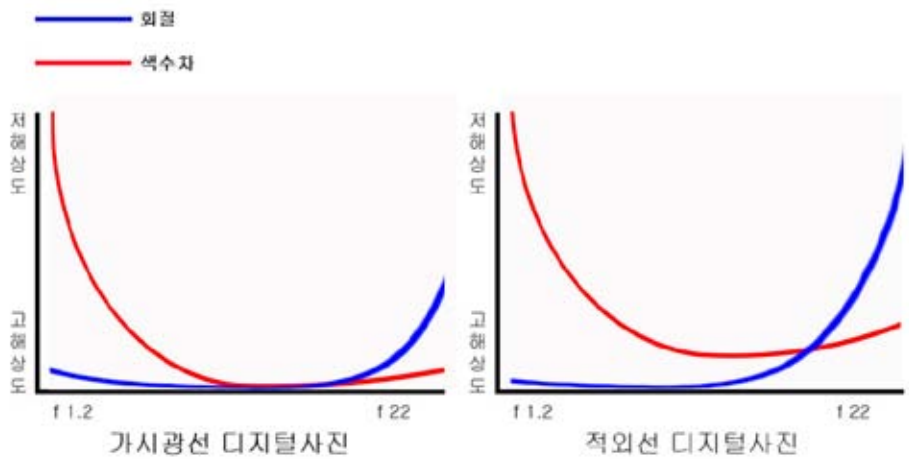
www.kci.go.kr

로 연구가 진행될 것이다.

가시광선 촬영에서 이미지센서의 픽셀의 크기를 계산, 착란원의 크기가 픽셀의 크기를 넘지 않도록 조리개 값을 조절하여 회절의 증가를 최소화해야 한다는 연구가 발표되었으며(Wueller, D., 2006), 색수차를 보정하기 위한 렌즈의 개발과 색수차를 최소화 하는 조리개 조절방법도 제시되었다(Williamson, J. C., et al., 1983). 가시광선촬영에서 해상도를 좌우하는 것이 회절과 색수차이며, 적외선도 동일하게 회절과 색수차가 해상도를 좌우한다. 그러므로 본 연구는 적외선 차단 필터를 제거하여 적외선의 해상도 테스트를 진행하였으며, 실제 촬영에서 적외선 이미지의 해상도를 향상시키기 위하여 색수차와 회절을 최소화하는 방법에 관하여 연구하였다.

2. 연구방법및 절차

선행연구를 통해 디지털 적외선 사진의 화질을 저하시키는 매개변수가 회절과 색수차임을 인지하였다. 선행연구를 바탕으로 가시광선과 적외선촬영에서 조리개의 조절을 통한 회절과 색수차의 상관관계의 개념도를 구상하였다.



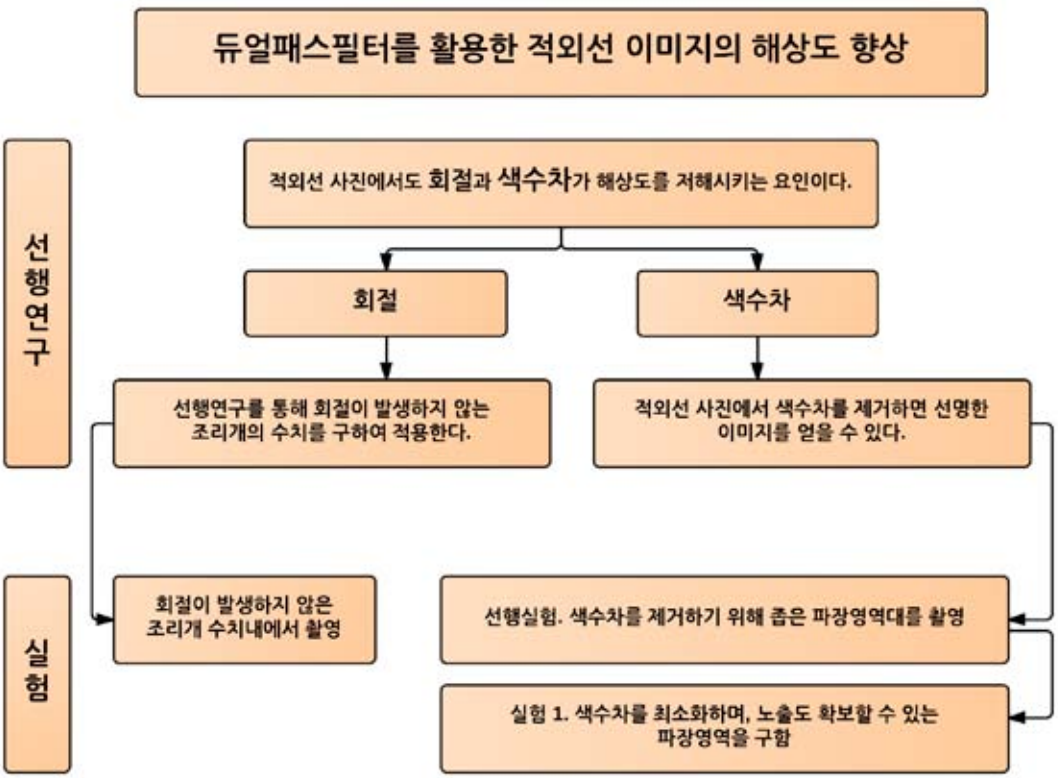
[그림 II-1] 가시광선과 적외선에서 조리개 수치에 따른 회절과 색수차의 상관관계 개념도

위의 [그림 II-1]과 같이 가시광선 디지털사진에서는 회절과 색수차가 감소되어 고해상도 이미지를 얻을 수 있는 조리개 값이 존재한다. 그러나 적외선 디지털사진에서는 조리개 값을 조절하면 회절현상은 감소하지만, 색수차는 고해상도 이미지를 얻을 만큼 감소되지 않는다. 그러므로 적외선 디지털 사진에서 고해상도 이미지를 얻는데 한계가 있다. 그래서 본 연구에서는 색수차를 최소화하는 방안을 제시하고 이를 검증하는 방식으로 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 색수차가 파장에 따른 초점거리의 불일치로 인해 상이 맺어지는 점이 어긋나는 현상임을 인지하고, 색수차를 감소시키는 방안으로 적외선이 촬영되는 파장영역을 축소하는 방법을 제시하여 연구를 진행하였다. 선행논문인 “적외선 디지털 사진의 선명도”에서 색수차를 제거하여 해상도를 향상하는 실험을 하였으며, 선행논문의 결과를 바탕으로 [실험1]의 색수차를 가시광선과 유사한 정도로 조절하여, 노출을 확보 할 수 있는 파장영역을 구하였다. 그러나 선행논문에 사용된 카메라(Canon G9)와 [실험1]에 사용된 카메라(Nikon D800)가 동일한 기종이 아니므로, 연구의 정확성을 높이기 위하여 동일한 연구인 [선행실험]을 실시하였다. 이미지 센서의 분광특성에 따라 우수한 해상도의 구간이 다르게

www.kci.go.kr

나타날 수 있기 때문이다. 적외선은 단색이므로 파장영역 조절이 컬러인 가시광선에 비해 용이하다. 또한, 실험에서 조리개 값의 조절을 이용한 회절현상 조절은 필수적이다. 회절현상은 광 물리학의 기본적인 현상으로 현재의 과학이론에서는 제거할 수 없기 때문에 색수차를 조절해야 한다. 그리고 회절이 최소화되고 색수차에 의한 해상도 손실이 적은 조합을 갖게 되는 조리개 영역을 사용해야 한다.[아래 그림 II-2 참조]



[그림II-2] 본 연구의 절차

3. 연구환경

디지털 적외선사진을 촬영하기 위해서는 적외선의 분광감도를 가지고 있는 이미지 센서와 적외선을 투과시키고 가시광선을 차단시키는 적외선 필터를 사용해야 한다. 디지털카메라의 이미지 센서인 일반적인 CCD나 CMOS는 고유의 감색성이 적외선을 포함하고 있다.

ISO12233에서 권장하는 객관적 화질 평가 방법에 의하면, 각 측정 항목별 차트를 최소 8회 이상 촬영한 값의 평균을 사용하도록 권고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 10회 촬영하여 평균값을 도출하였다. 촬영환경도 ISO의 권고 기준에 따라 시행하였다[표II-1참조]. 그리고 본 연구에서는 객관적인 화질평가 항목을 규정하고 있는 국제표준협회(International Standard for Organization)의 화질평가규격 중 물적인 요인으로 분류 가능한 네 가지 요소인 다이내믹 레인지(Dynamic Range), 해상도(Resolution), 노이즈(Noise), 색재현력(Delta E) 중 해상도를 중심으로 연구하였다 (ISO 12233:2000; 박형주 외. 2011에서 재인용)

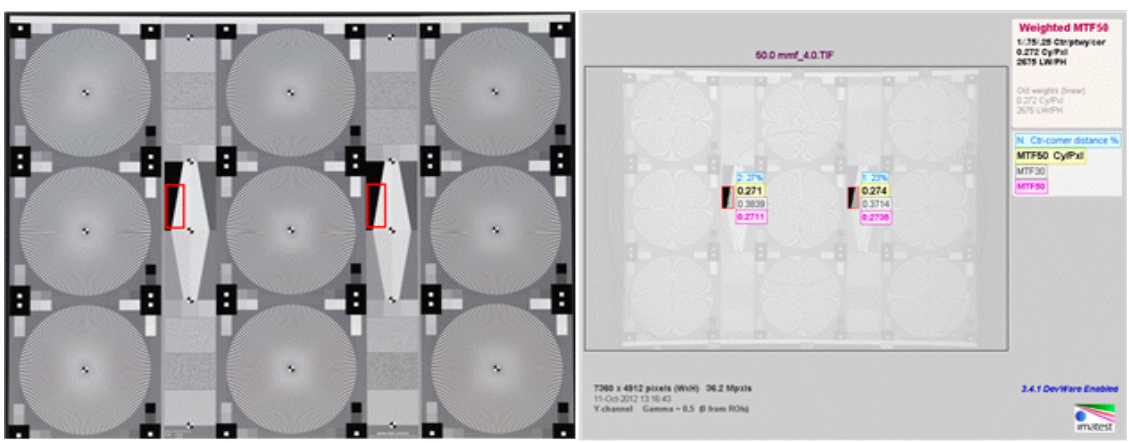
www.kci.go.kr

[표 II-1] ISO 12233:2000 권고 기준과 본 실험환경 비교

구분	ISO 권고 기준	본 실험 적용 방법
측정 공간 온도	23℃± 2℃	23℃± 2℃
측정 공간 습도	상대습도(50±20)%	상대습도(50±20)%
광원	ISO 7589에 의거 CIE 표준광원 D55 또는 텅스텐	HMI, 텅스텐 조명과 자연광
표준 차트	-ISO 12233의 해상도 차트 또는 이에 상응하는 차트	-ISO 12233의 해상도 차트 -TE253 Siemens Star Resolution
화이트밸런스	사용자 화이트 밸런스 적용	사용자 화이트 밸런스 적용
화질모드	RAW, Tiff의 비압축 모드 우선	RAW로 촬영 후 Tiff변환하여 사용
측정 프로그램	ISO제공 플러그인 또는 동등 프로그램 사용가능	IE Analzer 3.1(TE253 Siemens Star Resolution Chart 전용프로그램) Imatest 2.4.1 Pro
노출	표준 차트의 제일 밝은 패치의 레벨 값이 255를 넘지 않도록 촬영	표준 차트의 제일 밝은 패치의 레벨 값이 255를 넘지 않도록 촬영
렌즈	각 카메라사의 전용렌즈를 사용하여 같은 초점거리로 촬영	Nikon사의 전용렌즈와 삼양옵틱스의 Nikon전용렌즈

1)표준차트와 프로그램

표준차트는 ISO 12233의 표준해상도 차트와 TE253 Siemens Star Resolution Chart를 사용하였고, 해상도를 분석하기 위하여 IE Analyzer 프로그램과 Imatest의 Edge profiler과 SFR[2](Spatial Frequency Response)로 측정하였다. 색공간은 Adobe RGB로 설정하고 Raw 파일로 촬영 후, Adobe사의 Camera RAW 7.1을 사용하여 무손실 상태인 Tiff로 저장하였다. 본 실험은 해상도를 비교·분석하는 실험이므로 초점의 정확도와 떨림을 최소화하기 위해 Nikon Camera Control Pro 2 프로그램을 사용하여 실시간 미리보기 모드로 촬영하였다.



[그림II-3] TE253 Siemens Star Resolution Chart와 imatest 측정부분

2) 입력되는 공간 주파수와 디지털카메라의 응답성과의 관계를 이용하여 측정한 카메라가 얼마만큼의 분해능을 가지고 있는지 나타내는 지표(강지예 외. 2008)

www.kci.go.kr

측정 부분은 [그림II-3]의 좌측 붉은 사각형 부분을 분석하여 그 결과를 비교하였다. Edge profile은 선예도를 측정하는 항목이며, Imatest-SFR은 디지털카메라의 선명도와 측면 색수차를 측정하는 항목이다. SFR은 MTF[3](Modulation Transfer Function)로 표현하며, 2~7도의 경사를 가진 이미지를 분석한다. 이상적인 수치는 입력대비 콘트라스트가 100 이지만, 실제 선명도에 대한 통계는 MTF 50(단위는 Cy/pxl or LW/PH)의 수치를 객관적 지표로 삼고 있다 (http://www.imatest.com /guides /modules /sfr/). [그림II-3]의 우측 그림은 Siemens Star Resolution Chart 전용 프로그램 결과물 중 하나이며, Siemens Star Resolution Chart 중 측정되는 영역을 보여주는 것이다.

2) 조명

"적외선 촬영방법에서 조명은 크게 두 가지로 나뉠 수 있다. 조명자체에 적외선을 포함하고 있는가의 여부에 따라 1. 반사 적외선법과 2. 적외선 형광 법으로 나눈다"(하동환, 손영호, 2004, 401~402). 반사 적외선 법은 적외선을 포함하고 있는 광원을 이용하여 피사체에 반사되어 들어오는 적외선을 촬영하는 것이고, 적외선 형광 법은 적외선이 포함되어 있지 않은 광원을 이용하여 피사체가 적외선을 방사하는 빛을 기록하는 방법이다. 적외선 형광 법은 위조문서 판독과 같은 특수분야에서 주로 사용하고 있으며 노출시간의 너무 길다. 일반적으로 텅스텐 광원이나 스트로브 광원과 같은 일반 사진 촬영용 조명을 주로 사용한다. 이 두광원을 사용하는 가장 큰 이유는 적외선을 다량 방사할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 반사 적외선 법을 사용하였으며, 광원으로 태양광과 유사한 분광특성을 가지고 있는 HMI(Halogen Metal Iodide)조명과 적외선이 풍부한 텅스텐 조명을 사용하였다. 촬영된 표준차트의 중심부분과 가장 어두운 부분의 밝기 차이는 5% 이내(ISO권고사항 10%이내)로 하였다(ISO 7589: 2002).

4. 연구결과

디지털 적외선 사진의 화질개선을 위해서는 빛의 굴절, 광원에 따른 분광특성, 디지털 카메라의 구조와 역할 등의 연구가 선행되어야 한다. 적외선 이미지의 해상도 향상을 위해서는 적외선의 파장영역의 범위 적절하게 정해야 하며, 이 범위는 이미지 센서의 크기와 픽셀의 크기를 기준으로 결정되기 때문이다. 본 연구에서는 해상도 향상을 위한 방안으로 디지털카메라용 적외선 필터를 제작할 것이며, 제작을 위한 파장대 영역을 결정하는 부분도 포함한다.

1)협대역 밴드패스 필터를 이용한 해상도 향상실험[선행실험]

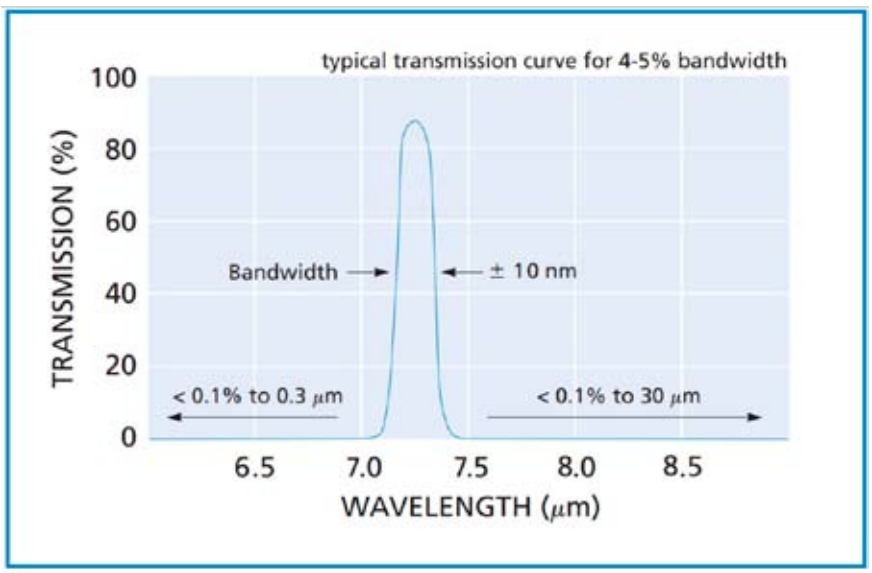
선행연구에서 윤성빈(2007)은 "적외선의 투과율이 가시광선에 비해 높아서 밑그림 검출이나 과학수사에서도 사용되며, 인간의 눈에서 인지한 결과와는 달라질 수 있다"고 하였으며, 적외선 이미지가 만들어지는 파장영역은 가시광선의 파장영역과 다르다. 선행논문(주종우, 2007)의 결과는 가시광선을 기준으로 제작된 상용디지털 카메라를 이용한 적외선 촬영에서도 가시광선과 동일하게 조리개를 조절하면 회절과 색수차가 줄어들어 해상도를 향상

3) MTF(Modulation Transfer Function): 광학계의 성능을 평가하는 주요 기준으로는 분해능과 콘트라스트의 전달이다. 공간주파수는 상면에서 mm당 몇 개의 선이 들어가는가를 나타낸다. 광학계의 분해능은 이들 공간주파수를 얼마까지 분해하여내는가를 나타낸다. 광학계의 평가 기준은 얼마나 높은 공간주파수를 분해하는가와 콘트라스트를 얼마나 잘 전달하는가에 있다. 이를 주파함수로 나타내면 MTF라 한다.

www.kci.go.kr

시킬 수 있다는 점과 촬영되는 파장영역이 가시광선보다 넓기 때문에 색수차가 가시광선 촬영보다 많이 발생하여 가시광선의 이미지보다 해상도가 저하된다는 점이다. 또한, 회절현상은 적외선 촬영에서도 조리개의 조절로 제거가 가능하다.

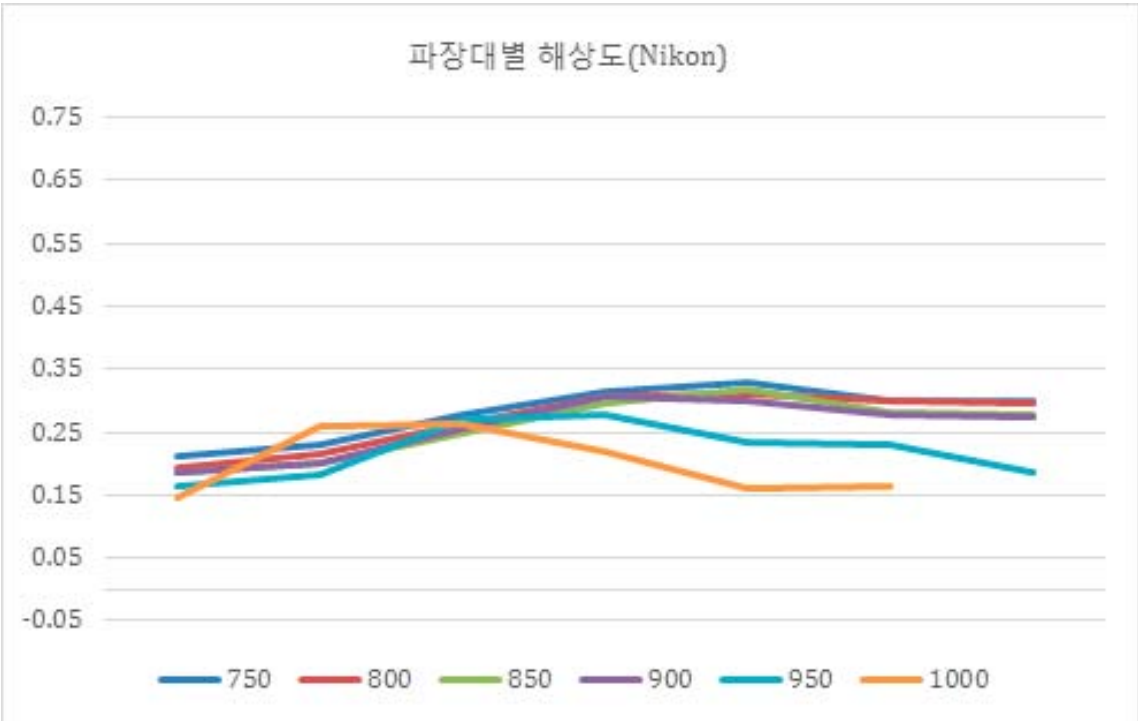
본 연구는 색수차를 최소화하기 위해 적외선 협대역 밴드패스 필터를 사용하였으며, 색수차를 저하시키면 적외선 이미지도 고해상도 결과물을 얻을 수 있다는 가정 하에 선행실험을 진행하였다. 또한, 선행실험의 결과는 적외선 필터 제작 시 분광구간을 결정하는 근거가 될 것이다. 회절이 발생하는 한계조리개 수치를 구하 적용하였다. 본 실험에는 포토닉스 컴퍼넌츠 그룹(Photonics Components Group)사의 멜리스 그리엇(Melles Griot) 밴드패스 필터를 사용하였다[그림V-1 참조]. 필터의 파장영역(wavelength range)은 747.5nm에서 1104.5nm까지의 파장을 수용하는 필터이고 50nm간격으로 구성되어 있으며, 각각의 필터는 대략 10nm의 파장 폭을 가진다(747.4~758.0nm, 796.4~805.5nm, 840.8~857.4nm, 897.391~908.324nm, 948.047~956.463nm, 997.4~1005.9nm, 1047.6~1056.9, 1093~1104nm).



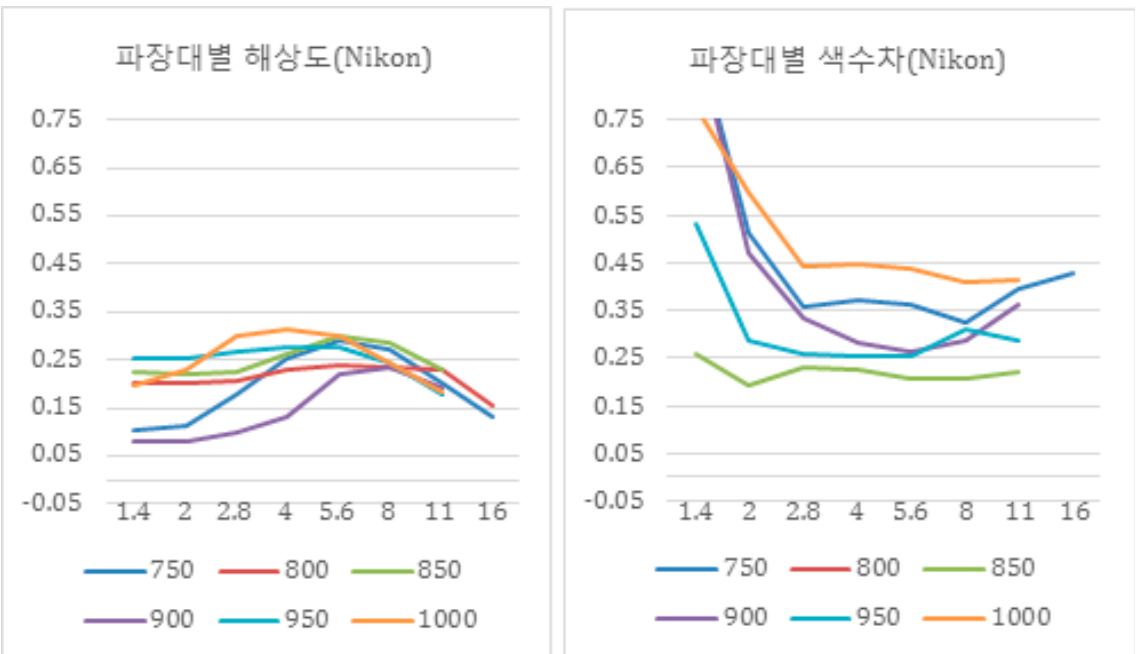
[그림 II-4] Melles Griot사의 밴드패스 필터 투과 파장영역

타겟 촬영은 객관성을 유지하기 위하여 자연광과 분광특성이 유사한 HMI광원과 텅스텐광원으로 나누어 진행하였다. [그림II-5]는 HMI광원에서 촬영한 것으로 750nm의 해상도가 0.330Cy/pxl로 가장 높았으며, 가시광선의 최대 해상도인 0.261Cy/pxl보다 높다.

www.kci.go.kr

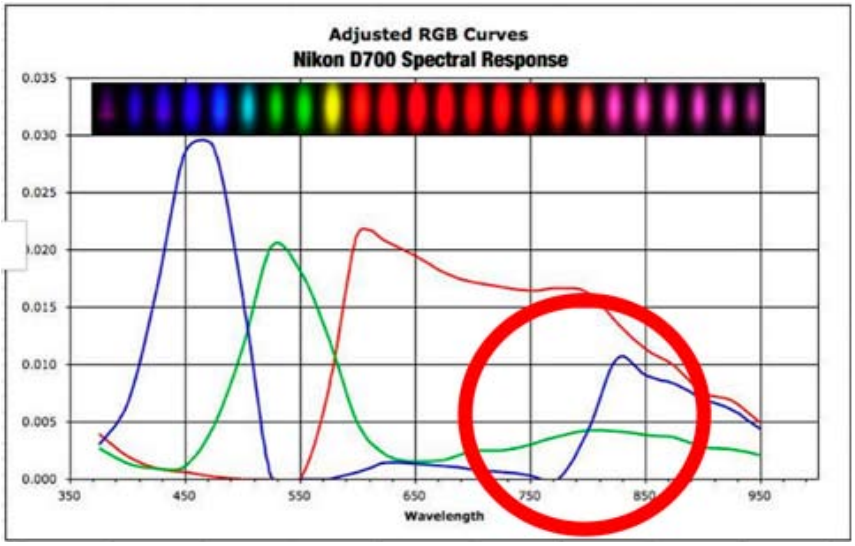


[그림II-5] 파장대별 해상도(Nikon85㎜, HMI광원)



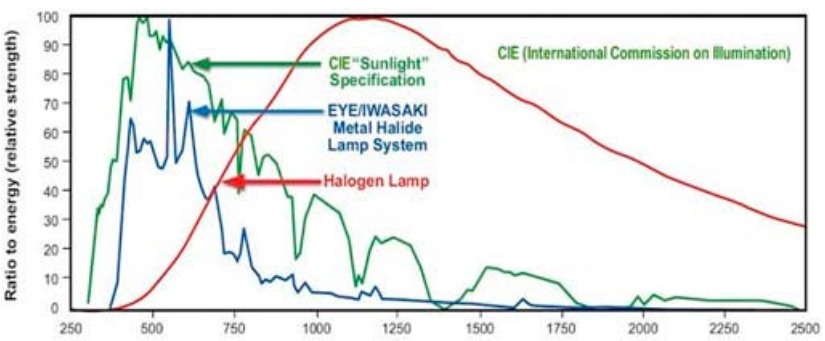
[그림 II-6] 파장대별 해상도 및 색수차(Nikon85㎜, 텅스텐조명)

www.kci.go.kr



[그림 II-7] Nikon D700의 분광특성곡선

본 선행실험에서 최고 해상도 구간은 750nm이다. HMI조명은 상대적으로 단파장 영역의 해상도가 우수하게 나왔으며, 텅스텐조명은 1000nm에서 가장 우수하고 850nm영역도 우수하게 나왔다. HMI조명의 분광특성은 가시광선과 유사하게 장파장 영역의 빛의 강도가 약해져서 750nm영역이 최고 해상도가 나오며, 장파장인 1000nm이후는 노출시간의 증가로 노이즈가 형성된다. 하지만 텅스텐 광원의 분광특성상 장파장으로 갈수록 빛이 양이 많아진다. 그러므로 노출시간에 의한 노이즈가 발생하지 않아 장파장의 해상도가 우수하게 나온다[그림 II-8참조]. 결과적으로 HMI광원에서는 750nm > 850nm ≥ 800nm > 900nm > 950nm > 1000nm의 순으로 해상도가 우수하였으며, 텅스텐광원에서는 1000nm > 850nm > 750nm > 950nm > 800nm ≥ 900nm의 순으로 해상도가 우수하였다[그림II-5, 6참조]. 결과를 바탕으로 HMI광원으로 가장 우수한 영역인750nm와 텅스텐광원으로 가장 우수한 영역인 1000nm 그리고 두 가지 조명 모두 우수한 해상도를 보인 850nm, 세 개의 파장영역을 선정하였다. 또한 이 세 파장영역은 700nm~ 1130nm인 디지털카메라의 적외선 분광영역을 감안 하였다.



[그림 II-8] 다양한 광원의 분광특성 곡선

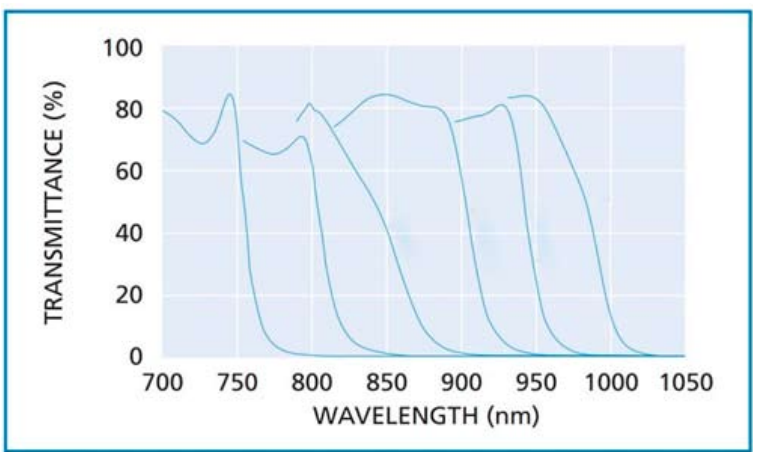
2) 적외선 필터의 분광영역 설정[실험1]

[선행실험]에서는 협대역 파장영역을 촬영함으로써 색수차를 제거하는 실험을 하였다. 본 [실험1]은 [선행실험]의 결과를 근거로 디지털 적외선 이미지에서 색수차를 제거하는 것

www.kci.go.kr

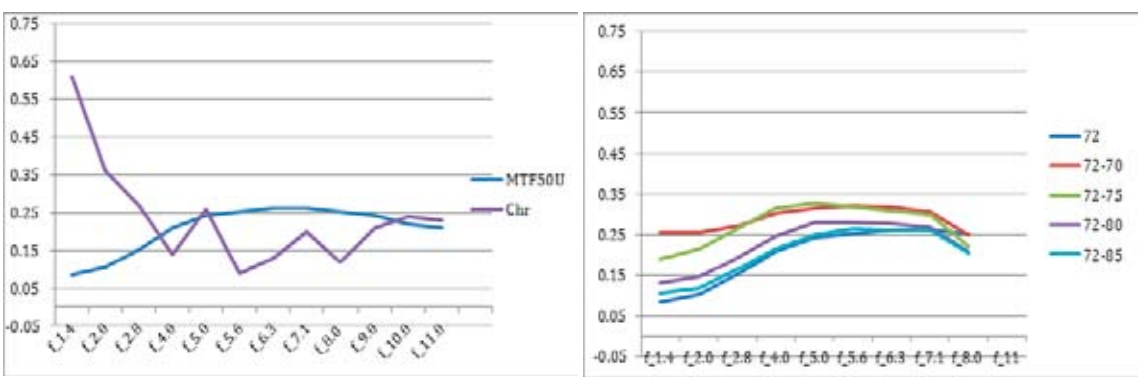
이 가능하며, 가시광선보다 해상도가 우수하다는 결과를 바탕으로 진행되었다. 협대역 파장 영역의 촬영은 빛의 부족하여 실제 촬영에 적용하는데 한계가 있다. 그러므로 빛을 확보하기 위해 분광영역을 넓혀야 한다. 본 [실험1]은 분광영역을 올바르게 설정한다면 빛을 확보하면서 가시광선의 해상도와 유사한 해상도를 가지는 적외선 디지털 사진을 만들 수 있다는 가정하에 실험을 진행하였다. 본 실험은 [선행실험]과 동일한 조건하에 촬영하였으며 HMI조명을 사용하였다.

적외선의 분광영역 설정 실험에는 두 종류의 필터가 사용되었다. 적외선 하이패스필터[4](hi-pass filter)와 적외선 로우패스필터[5](low-pass filter)가 사용되었다. [선행실험]의 결과를 참고하여 해상도가 상대적으로 우수하며 상용디지털 카메라의 분광영역을 고려한 750nm, 850nm, 1000nm를 선택하였다[그림II-5, 6 참조]. 하이패스 필터는 상용필터인 Hoya사의 R72와 IR 83, Rm1000을 사용하여 촬영하였으며, 로우패스필터는 에드먼드 옵틱(Edmund Optics)사의 Kit Od2 Short Nir 50nm step 50D가 사용되었다. 에드먼드사의 로우패스필터는 50nm단위로 총 8장의 필터로 구성되어 있다(700nm, 750nm, 800nm, 850nm, 900nm, 950nm, 1000nm, 1050nm)[그림II-9참조].



[그림 II-9] 적외선 로우패스 필터의 분광특성곡선

다음 [그림II-10~12]에서 보는 바와 같이 상용필터인 적외선 하이패스 필터만 사용하였을 때보다 적외선 로우패스필터를 혼용하여 사용하였을 때 해상도가 향상되었음을 알 수 있다.

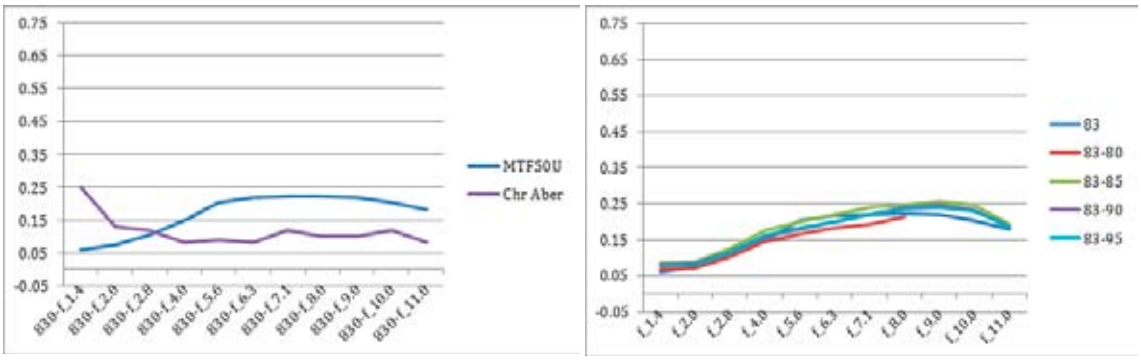


[그림 II-10] R72필터 사용하여 촬영(좌측:R72 필터, 우측:R72 필터+로우패스필터)

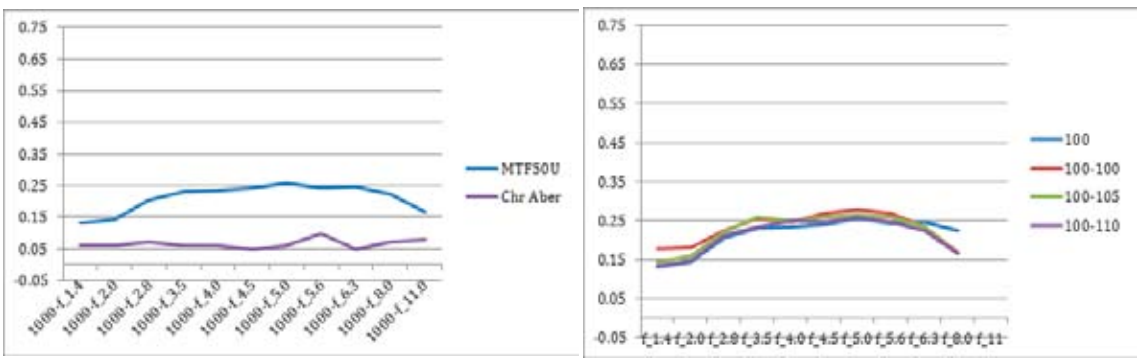
4) **하이패스 필터 - 파장영역을 개방해주는 필터**
5) **로우패스 필터 - 파장영역을 닫아주는 필터**

www.kci.go.kr

(chr: 색수차의 약어, MTF50U; MTF50평균값)



[그림 II-11] IR83필터 사용하여 촬영(좌측:IR83 필터, 우측:IR83 필터+로우패스필터)



[그림 II-12] RM 1,000 필터 사용하여 촬영(좌측:RM 1,000 필터, 우측:RM 1,000 필터+로우패스필터)

아래[표 II-2]는 최고해상도의 조리개 값과 해상도 수치이다.

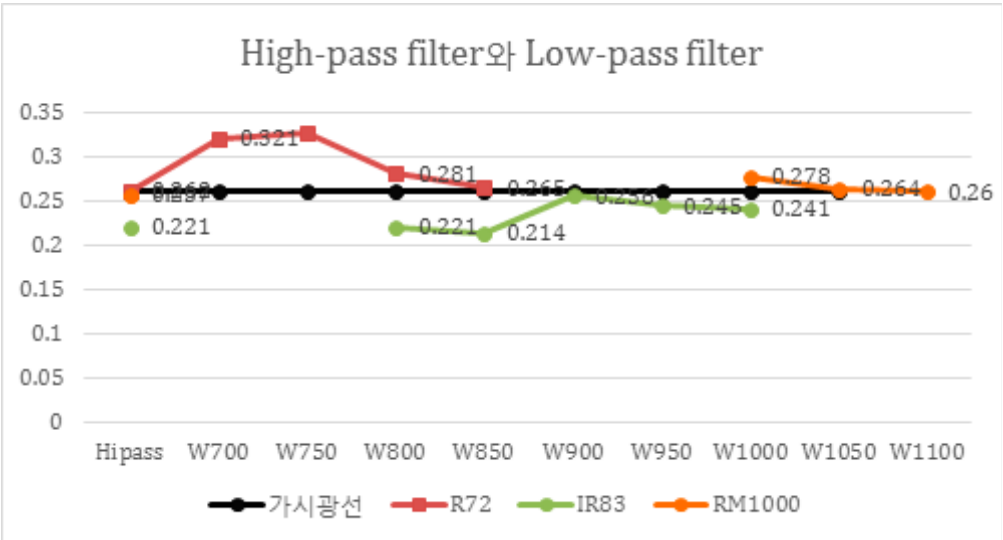
[표 II-2] 적외선 하이패스필터와 적외선 로우패스필터를 이용한 촬영(W; 동시사용의 약어)

로우패스 필터	조리개 (F)	해상도	로우패스 필터	조리개 (F)	해상도 Cy/Pxl	로우패스 필터	조리개 (F)	해상도 Cy/Pxl
Hoya사의			Hoya사의 IR 83			Hoya사의 Rm1,000		
X	f_7.1	0.262	X	f_7.1	0.221	X	f_5.0	0.257
W700	f_5.6	0.321	W800	f_6.3	0.214	W1,000	f_5.0	0.278
W750	f_5.0	0.328	W850	f_7.1	0.256	1050	f_5.0	0.264
W800	f_5.6	0.281	W900	f_7.1	0.245	1100	f_5.0	0.26
W850	f_5.6	0.265	W950	f_7.1	0.241			

상용적외선필터를 사용하여, 예비실험의 결과를 적용(조리개 조절)하면 색수차와 회절이 줄어 해상도가 향상되지만 750nm를 제외하고는 가시광선의 해상도(0.26Cy/Pxl)에 미치지 못한다. 협대역 밴드패스 필터를 사용한 실험을 통해 매우 좁은 파장영역을 촬영하면 가시광선의 해상도보다 고해상도 촬영이 가능하다는 결론을 얻었다. 하지만 [예비실험]의 경우 협소한 구간을 촬영하기 때문에 노출시간이 길다(일반 광대역 적외선 필터[예: HoyaR72]에 비해 5stop이상의 노출이 필요하다: 본 연구에 사용된 협대역 밴드패스필터의 분광구간은

www.kci.go.kr

10nm이며, HoyaR72의 분광구간은 대략 600nm이다). 실험 카메라인 D800은 OLPF를 제거하여 적외선 파장을 받아들이지만, 노출이 시간이 수초에서 수십 초에 이른다. OLPF를 제거하지 않은 카메라는 수백 초에서 수십 분의 노출을 주어야 하며, 장시간의 노출로 인한 노이즈 증가로 해상도가 저하 된다(주종우, 2007, 55~56). 그러므로 본 연구에서는 해상도를 유지하면서 노출시간을 확보하기 위해 하이패스필터와 로우패스 필터를 사용하여 파장영역을 조절하였다.



[그림II-13] 하이패스필터와 로우패스필터를 이용한 촬영결과

[그림II-13]은 하이패스필터와 로우패스필터를 혼합 사용한 결과물이다. [그림II-13] 하단의 High-pass는 상용 적외선필터만을 사용한 해상도이며, 가시광선의 해상도는 해상도의 기준으로 하였으며 0.26Cy/Pxl이다. 나머지는 로우패스필터와 혼용된 수치들이다. 예를 들어 R72의 경우 첫 번째 데이터는 Hipass로 상용적외선 필터만을 사용한 데이터이며, 두 번째 데이터는 700nm로우패스필터와 혼용한 데이터, 세 번째 데이터는 750nm로우패스필터와 혼용한 데이터, 네 번 때 데이터는 800nm로우패스필터와 혼용한 데이터, 다섯 번째 데이터는 850nm 로우패스필터와 혼용한 데이터이다.

R72를 기준으로 한 실험에서 최고해상도는 0.328(R72 + 750)이며 [그림II-5]를 참고할 때 협대역 밴드패스 필터를 사용한 해상도0.330 Cy/Pxl 보다 낮은 해상도지만 가시광선보다는 고해상도의 이미지이다. 또한, IR83필터를 기준으로 한 실험에서도 900nm 구간을 차단해주는 필터를 사용하였을 때 가시광선과 유사한 해상도를 보이고 있으며 RM1000을 기준으로 한 실험에서도 1,000nm와 1050nm를 차단해주는 밴드패스 필터를 사용하였을 때 가시광선과 유사한 해상도(0.278 Cy/Pxl)를 보여주고 있다.

[표 II-3] 영역별 노출

사용필터	노 출	사용필터	노 출	사용필터	노 출
R72	1/30	IR83	1/8	RM1,000	1
R72+700	1/5	IR83+800	0.4	RM1,000+1,000	1.6
R72+750	1/15	IR83+850	1/4	RM1,000+1050	1.3
R72+800	1/20	IR83+900	1/5	RM1,000+1100	1.3
R72+850	1/25	IR83+950	1/5		
		IR83+1000	1/5		+

www.kci.go.kr

위의 [표II-3]은 각각의 사용 필터별 노출이다. 상용필터만 사용한 노출과는 최대해상도의 경우 2스탑 정도 차이를 보이고 있으며, 가시광선보다 우수한 해상도의 경우 1/3스탑 이하의 차이를 가지고 있으며 해상도는 평균10% 이상의 향상되었다. R72필터를 사용할 때는 최고 해상도가 조리개 7.1이지만 750nm하이패스필터를 사용한 최고해상도는 조리개 5.0으로 1스톱의 차이가 난다. 그러므로 동일한 셔터스피드로 촬영이 가능하다.

III 논의 및 결론

1. 논의

상용 디지털 카메라를 이용한 적외선 촬영에서는 해상도가 저하되는 단점이 있다. 본 연구의 목적은 상용 디지털카메라를 이용한 적외선 촬영을 실용화·활성화 하고자 해상도를 향상하는 방안을 제시하였다. 디지털 적외선 사진의 색수차가 사진의 품질을 저하시키며, 색수차가 제거된 적외선 이미지의 해상도는 가시광선의 해상도보다 우수하였다. [예비실험]에서 협대역 밴드패스 필터를 사용하여 파장영역을 좁혀 색수차를 제거하였다. 하지만 노출시간의 증가로 특수목적을 위한 촬영을 제외하고, 일반적인 적외선 촬영에 적용하기는 어려움이 있다.

<연구가설> 광대역 밴드패스 필터를 제작, 가시광선과 유사한 색수차가 발생하는 분광영역을 설정하여, 가시광선과 유사한 해상도의 이미지를 얻을 수 있었다. 이를 통해 협대역 밴드패스 필터의 단점인 노출시간을 극복할 수 있었다. 색수차를 줄이기 위한 가장 효율적인 방법은 파장영역을 좁혀주는 것이다. 하지만, 가시광선의 경우 색이 존재하며, 인간이 인지한 색과 유사하게 재현해야 하므로 촬영되는 파장영역을 자유롭게 조절할 수 없다. 그러나 적외선은 단색으로 표현되므로, 파장영역을 자유롭게 조절할 수 있다. 상용디지털 카메라를 이용한 적외선 사진의 해상도는 저하되지만 촬영되는 적외선의 파장영역을 조절하면 색수차가 저하되어 가시광선보다 우수한 이미지를 얻을 수 있었다. 또한, 파장영역을 좁혔으므로 해상도가 우수한 영역은 한 개 이상으로 [실험1]에서 680nm~790nm, 780nm~910nm, 840nm~ 1130nm 세 개의 영역이다[그림II-13참조].

2. 결론

본 논문은 상용디지털 카메라에 장착된 이미지 센서의 특성을 이용하여, 적외선 사진의 품질향상을 위해 적외선 필터를 제작, 적외선 이미지의 해상도를 향상하는 방안을 연구·제시하였다. [선행실험]에서 고해상도 적외선 이미지를 얻었지만, 협소한 파장영역의 촬영은 빛이 부족하여 노출확보가 어려웠다. 빛을 확보하기 위하여 협대역 파장보다 넓은 파장영역을 설정하였으며, 색수차는 가시광선보다 낮은 수치의 파장영역을 선정하였다. [실험1]의 결과는 [선행실험]의 해상도보다는 저하 되었으나 가시광선보다 해상도가 우수하였다.

본 연구는 상대적으로 저가인 상용 디지털카메라를 이용하여 고해상도 적외선 이미지를 얻었다. 또한, 다양한 적외선 파장영역을 구하였다. 본 연구 결과는 의료계나 보존과학 분야 등에서 연구 중인 상용디지털 카메라를 이용한 적외선 연구에 초석을 만들어 줄 것이다.

본 논문은 『디지털 적외선 사진의 해상도 향상과 적외선 RGB필터에 관한 연구』, 박사학위 논문의 일부임.

www.kci.go.kr

참고문헌

강지혜, 박형주, 하동환(2008). “적외선편광필터를 이용한 적외선 사진의 화질개선”. 『한국사진학회지』, 19호
김영수 외 6인(2004). “비가시광선을 이용한 범죄사진 연구”. 『한국경찰연구학회』, 제8권, 제1호
마이클 랭포드 외 3(2009). 『사진 강의』. 서울: 북스힐
박형주, 하동환(2011). 객관적 화질 평가와 주관적 화질 평가의 상관관계 연구”. 『한국콘텐츠학회논문지』, vol. 11 No. 8
박형주(2011). 『객관적 화질 평가 요소를 기반으로 한 주관적 화질 평가 방법 연구』. 중앙대학교 첨단영상대학원 박사학위논문
신동익, 허수진(2000). “성능개선을 통한 적외선 영역에서의CCD 카메라의활용”. 『대한의용생체공학회지』, 22권. S3-3
윤성빈 외 3 인 디지털카메라를 이용한 적외선 반사 사진기술에 대한 연구”. 『한국사진학회』, Aura Vol. 17
윤재선(2002). 『기초광학』. 서울: 다성출판사.
주종우, 이용환(2012), “적외선 디지털 사진의 선명도”, 『한국사진학회』, Aura Vol. 27
주종우(2007). 『이미지센서의 크기와 조리개 값의 상관관계에 따른 적외선 디지털 사진의 해상도 연구』. 중앙대학교 일반대학원 석사학위논문
최익찬(1995). 『대학사진』. 서울: 미진사
하동환, 손영호(2004). “디지털 일안반사식 카메라를 이용한 적외선촬영". 『영상예술학회』
Falco, M. C.(2009). *High resolution digita lcamera for infrared reflectography*. Paper presented at the Scientific Instruments 80, *College of Optical Sciences*. University of Arizona, Tucson, Arizona 85721
Williamson, J. C. & Samuel, Z. H. (1983). *Light and Color in nature and art* .Jobn Wiley & Sons, Inc
Sandidge, D.(2009). *Digital infrared photography photo workshop*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc
Drozhbin, A.Y. & Pankratov, G. S. (1985). *Recording Infrared Imageson Silver-Halide Film. Measurement Techniques*. Vol. 28, No. 4
Wueller, D. (2006). *EvaluatingDigitalCameras.Paper presented at the Electronic Imaging Conference*, Augustinusstr.9D, 50226 Frechen, Germany.
Williams Robin, Williams Gigi(2002). *Reflected infrared photography: Optical considerations*. RMIT University.
Drozhbin, A. Y., Pankratov, G. S. (1985). *RecordingInfraredImagesonSilver-Halide Film. Measurement Techniques*. Vol. 28, No. 4, pp. 350-351
Sandidge, D. (2009). Digital infrared phogotography photo workshop, p. 4

투고일자 : 2014. 7. 1.
심사일자 : 2014. 7.14.
재심일자 : 2014. 7.27.
게재일자 : 2014. 7.30.

www.kci.go.kr