

법과학 분야에서 디지털 적외선 사진을 위한 노출 결정 방법

The Method of Exposure Determination for Digital Infrared Photography in Forensic Field

김상기, 김유진
경일대학교 사진영상학과

Sang-Ki Kim(20119119@kiu.kr), Yoo-Jin Kim(foto72@hanmail.net)

요약

과거 적외선 사진은 다소 까다로운 제작과정 때문에 쉽게 접근하기 어려운 측면이 있었다. 하지만 최근 디지털 기술의 발전으로 상당히 쉽고 간편해 졌기 때문에 활용 분야와 범위가 넓어질 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 이런 움직임에 맞춰 과학사진을 위한 적외선 대역의 노출과 톤 관리를 위한 표준차트의 필요성이 있다고 판단하여 진행하였다. 적외선 표준 차트의 제작은 두 가지 방법으로 접근하였다. 첫 번째는 알루미늄을 이용한 제작방법이었다. 알루미늄은 양극산화처리를 거쳐 산화피막을 형성하게 되면 높은 내구성과 내식성 내열성을 가지면서도 두께에 따라 적외선 대역에서의 어느 정도의 반사율을 조절할 수 있었다. 두 번째 접근 방법은 안료를 사용하는 방법이었다. 가장 밝은 패치를 위해서 Yellow 10P150라는 특수 안료를 사용하였다. 이 안료는 열에 강하며 높은 적외선 반사율을 가지도록 특수 제작된 안료로 본 실험에 적합하였다. 가장 어두운 패치를 위해 사용한 카본블랙 안료를 사용하였다. 카본블랙은 적외선을 많이 흡수하고 빛에 의해 색이 변하지 않는 안료이기 때문에 적합하였다. 이 두 안료를 섞어 더욱 세밀한 반사율 조절이 가능하였다. 최종적으로 패치들을 모아 실질적인 적외선 반사율을 기준으로 6개의 패치를 선택하였다. 이들을 촬영하여 확인한 결과 피사체의 적외선 반사율을 알아냄과 동시에 적절한 콘트라스트를 가지는 사진을 얻을 수 있다.

■ 중심어 : | 법과학사진 | 적외선사진 | 적외선 반사율 | 노출 |

Abstract

In the past, making IR photography needed somewhat complicated process, so its application fields were limited. However, it has become easy to make IR photography with advanced digital technology, so it is expected that the fields of IR photography and existing limit due to difficult making process will be expanded. Therefore, in this study, it is decided that the need of IR standard chart which allows us to manage exposure and tone of IR photography for scientific purpose will increase. Two methods were used to make IR standard chart. First method is to use aluminum. When aluminum has oxide coating through anodic oxidation, it has high durability, corrosion resistance and heat resistance. Also, IR reflectance of aluminum can be controlled in some degree depending on the thickness of oxide coating. Second method is to use pigments. Yellow 10P150 pigment is used for the brightest patch. This pigment is appropriate in this study due to high heat resistance and IR reflectance. Carbon black is used for the darkest patch. Carbon black absorbs much IR, and its color is not faded by any source of light. IR reflectance is adjusted elaborately by mixing two pigments. Finally, 6 patches are selected with consideration for actual IR reflectance of patches. As a result, IR reflectance of random subjects can be known approximately and IR photographs can have appropriate contrast with the IR standard chart.

■ keyword : | Forensic Photography | Infrared Photography | Reflectance of Infrared | Exposure |

* 이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2012S1A5A8023548)

접수일자 : 2013년 10월 29일

심사완료일 : 2013년 12월 20일

수정일자 : 2013년 12월 18일

교신저자 : 김유진, e-mail : foto72@hanmail.net

1. 서론

1. 연구배경

과학수사는 수사의 목적을 달성하기 위해 과학적 방법론을 통하여 과학적인 지식과 기기 및 시설을 활용하는 행위의 총체이다[1]. 또한 과학적이고 논리적인 지침에 따라 모든 행위는 관리되어야 한다. 이러한 이유에서 국제감식학회(IAI)의 학술부서중 하나인 SWGIT (Scientific Working Group Imaging Technology)에서도 법과학 사진영상을 위한 24개의 표준 지침(2013년 10월 기준)을 제시하고 있다[2]. SWGIT가 제시한 일련의 지침은 사진의 증거가치에 있어 과학적인 방법 뿐 아니라 일관된 절차가 대단히 중요하다는 것을 말해주는 좋은 예라고 할 수 있다. 하지만 이런 과학적 원리를 따르는 절차에서 사진에서 기본이라고 할 수 있는 노출 기준에 관한 지침이 없다는 것이 의외였고, 더욱이 가시광선 이외의 영역에서 노출기준에 관한 언급은 다른 문헌에서도 찾아보기 어려웠다.

노출은 사진가의 의도를 기준으로 판단하는 '관념적 노출'과 카메라의 메커니즘적인 관점에서 적절한 농도를 기준으로 판단하는 '물리적 노출'로 구분할 수 있다 [3]. 작품사진에서의 노출은 주관적인 측면이 상당히 강한 '관념적 노출'이기 때문에 표준적인 노출기준이라는 것은 큰 의미가 없다고도 볼 수 있다. 하지만 비교와 분석을 필요로 하는 과학사진 분야에서는 물리적 노출과 같은 노출에 관한 일정한 기준을 제시해 주어야 한다. 일반적인 사진에서 물리적 노출은 18%의 반사율을 가진 중성 그레이 카드(gray card)를 기준으로 한다. 하지만 이것은 가시광선 영역에서의 반사율을 기준으로 한 것이므로 적외선과 같은 비가시광선 영역에서는 같은 결과를 기대하기 어렵다. 적외선 반사사진은 일반적으로 전체 전자기파의 범위에서 700~900nm의 근적외선 대역으로 국한된다[4]. 적외선 반사사진이란 적외선 광원을 피사체에 복사하면 물체에서 빛의 흡수, 반사 반응을 보이는데 이때 적외선만을 투과하는 필터를 사용하여 피사체의 적외선 반사반응을 이미지로 기록한 것이다. 이때 피사체 종류에 따른 필터 선택과 이미지 농도의 결정은 증거를 분석하는데 중요한 요소가 된다[5].

적외선 사진은 눈에 보이지 않는 비가시광선 영역에서 적절한 필터와 적외선 감광물질을 통해 이미지로 나타난다. 비가시광선의 특수성 때문에 기존의 가시광선에서 쓰던 노출계 활용이 불가능 하며, 결국 이러한 제한점 때문에 지금까지 적외선 반사사진에서는 물리적 노출 기준이 아닌 촬영자의 주관적 판단에 의해 결정이 되었다. 그러나 디지털 카메라의 등장으로 적외선 대역의 사진 촬영이 굉장히 용이해졌다. 특히 라이브-뷰(live-view)기능은 피사체의 적외선 반사정도를 실시간으로 확인하면서 노출을 판단할 수 있게 되었다[6]. 그래서 적외선 사진은 현대의 법과학 분야에서 수사목적 을 위한 사진촬영에 많이 활용되고 있으며 그 활용영역도 점차 확대되고 있다[7-9].

2. 연구목적

디지털 기술의 발전으로 적외선 반사사진 촬영이 쉬워지긴 하였지만, 노출의 기준이 없으면 피사체별로 가지는 서로 다른 적외선 반사율을 동일한 농도로 기록할 가능성이 존재한다. 특정 반사율을 가지는 적외선 반사체를 기준으로 삼을 경우 이를 기준으로 촬영된 피사체의 적외선 반사율을 대략적으로 추정할 수 있는 가능성도 생긴다. 이런 필요성에 따라 적외선 반사사진의 노출기준을 마련하기 위해서 먼저 가시광선에서 노출기준이 어떻게 마련되었는지 살펴볼 필요가 있었다.

중간농도의 회색을 나타내는 18%의 반사율이 나온 이유는 피사체 휘도비(Subject Luminance Ratio)라는 개념에서 출발했다. 실내와 실외장면으로부터 측정된 수치에 근거한 평균 휘도비는 대략 160:1이다. 일반적인 장면의 대부분은 27:1과 760:1 사이의 피사체 휘도비를 가지고 있다. 그러므로 평균적인 실외 피사체의 휘도비는 128:1 또는 2^7 :1으로 추정할 수 있으며 평균적인 반사율 18~20%이른다[10]. 일반사진술에서는 평균적인 휘도비를 기준으로 정한 18% 반사율을 노출계의 기준으로 적용하고 있다. 사람들이 일반적으로 사용하는 카메라에 장착된 노출계 즉, 가시광선 상태에서 평균적으로 마주치는 휘도비에 맞춰진 노출계를 따를 경우 위의 이론적 배경 덕분에 대부분 눈으로 보는 것과 유사한 사진을 얻을 수 있으며, 18% 반사율을 가진 그

레이카드를 중심으로 상대적인 밝기의 비교가 가능해진다. 가시광선 사진의 경우 노출과 콘트라스트는 물론 컬러의 정확성까지 향상시켜줄 수 있는 차트가 존재한다. 대표적으로 X-Rite의 Colorchecker나 Datacolor의 Spyderchecker가 그 예이다. 이러한 차트를 이용하면 노출과 색재현의 일관성 있는 관리가 가능하다[11].

과학사진과 같은 경우 눈에 보이는 시각적인 자연스러움보다 더욱 중요한 것은 시각정보를 보존하고 비교 측정 평가하는 것이다. 특히나 육안으로는 보이지 않는 적외선 분야에서 노출기준의 부재는 이미지 기록에 일관성을 제공해주지 못한다. 그렇기 때문에 현재 과학사진분야에서 일반화된 디지털 카메라를 기준으로 이미지 센서가 최대한 많은 정보를 손실 없이 담아낼 수 있는 방안을 고려해 노출기준을 마련하는 것이 중요할 것이다. 또한 적외선 대역에서 촬영부터 최종 출력까지 하이라이트와 섀도우의 디테일을 보존하기 위한 가이드라인을 제시하기 위해서는 먼저 가시광선 대역에서 동일한 목적으로 사용되는 기존 차트에 대한 분석이 필요했다. 따라서 본 연구에서는 적외선 반사 사진에서 노출 기준이 없어 발생하는 문제를 해결하기 위해 가시광선 사진을 위한 표준차트를 시험 및 분석하고 그 정보를 참고하여 적외선 반사사진의 노출 과 톤 관리를 위한 차트를 제작함으로써 적외선 사진이 가질 수 있는 객관적 증거자료로서의 가치를 향상시키고자 한다.

II. 실험

1. 장비 및 재료

적외선 반사사진 촬영장비는 이미지 센서의 적외선 차단필터가 제거된 5D Mark II를 사용하였다. 가시광선을 차단하고 적외선 카메라가 가장 높은 반응을 보이는 750~1000nm 대역을 위한 적외선 필터는 VIEWRUN 880필터를 사용하였으며 가시광선 사진을 촬영하기 위한 적외선 차단필터로는 컬러 교정 필터(Color Correction Filter) X-Nite CC1을 사용하였다. 적외선 반사율 측정 장비는 Varian UV/VIS/NIR Cary 5G Spectroscopy를 사용하였다. 조명은 RIME LITE

HL 1000K 텅스텐 조명을 활용하였으며, 가시광선용 타겟은 Datacolor사의 스파이더체커(Spydercheckr)를 사용하였다. 차트제작을 위한 재료로는 30mm × 30mm × 2 mm 크기로 샌딩 처리한 6061 알루미늄을 연질유광, 연질무광, 경질 양극산화처리를 하였다. 또한 높은 적외선 반사율을 보이는 Shepherd color사의 Yellow 10P150안료와 적외선의 높은 흡수율을 보이는 Golden Acrylic Carbon Black 안료를 이용하였다. 이미지를 수치적으로 분석하기 위한 소프트웨어로는 어도비 포토샵(Adobe Photoshop)을 활용하였다.

2. 실험방법

2.1 기존 차트 분석

먼저 기존 가시광선 차트인 스파이더체커를 가시광선과 적외선에서 촬영하여 결과를 비교 분석하였다. 적외선 사진을 위해 제작된 기존의 차트가 없기 때문에 가시광선 차트가 가시광선과 적외선 사진에서 어떻게 다른지 확인할 필요가 있었다. 촬영 시 노출은 가시광선 적외선 모두 스파이더 체커의 가장 밝은 패치의 L값이 94~96 범위안에 들어오도록 촬영하였다. 적외선 촬영한 결과를 어도비 포토샵에서 $L^*a^*b^*$ 색 표시계로 변환해 L^* 값을 분석한다. 또한 UV/VIS/NIR Cary 5G 분광분석기를 통해 스파이더체커의 가시광선과 적외선 반사율을 측정하여 사진 촬영결과와 비교하였다. 또한 강한 빛과 열을 발산하는 적외선 촬영 조명조건에서 가시광선 차트의 내구성을 평가하였다.

2.2 양극산화 알루미늄 활용

기존 차트가 적외선 사진에서 보여주었던 적외선 반사율 문제와 내구성 문제를 해결하기 위한 첫 번째 방법으로 양극산화 알루미늄을 사용하여 차트 제작실험을 진행하였다. 알루미늄은 양극산화처리 후 생성되는 산화피막의 두께에 따라 다른 반사율 보여준다[12]. 또한 양극산화처리를 통해 생성된 산화피막은 높은 내구성, 내식·내마모성을 가지게 되어 알루미늄의 낮은 경도를 보완할 수 있다[13]. 30mm × 30mm × 2mm 크기의 알루미늄을 양극산화처리하여 산화피막을 생성한 뒤 적외선 사진촬영 및 반사율을 측정하였다. 알루미늄

에 생성된 산화피막의 두께에 따라 적외선 사진에서 나타나는 결과와 적외선 반사율 측정결과를 비교 분석하였다. 실험 결과를 통해 적외선 차트를 위한 활용가능성을 판단하였다.

2.3 안료의 활용

적외선 사진에서 기존차트가 보여주었던 적외선 반사율 문제와 내구성 문제를 해결하기 위한 두 번째 방법으로 위의 실험과 같은 크기의 알루미늄 위에 높은 적외선 반사/흡수를 보여주는 안료를 활용하여 적외선 사진 촬영 빛 반사율을 측정하였다. 적외선 반사안료인 Yellow 10P150안료(이하 노란안료)는 무광 바니쉬와 2:1로 섞어서 사용하였고 Golden Acrylic Carbon Black 안료(이하 카본블랙안료)는 아크릴 물감형태였기 때문에 그대로 사용하였다. 또한 노란안료:카본블랙안료를 1:1 2:1 4:1 8:1 20:1로 섞은 혼합안료를 사용하였다. 이 안료를 30mm × 30mm × 2mm 크기의 알루미늄 패치 위에 도포하였다.

2.4 적외선 차트를 위한 패치 선택

양극산화처리 및 안료를 이용해 만든 패치들의 적외선 반사율 측정데이터를 이용해 적외선 차트에 적합한 패치들을 선택하였다. 스파이더체커의 그레이스케일은 가시광선에서 특정 반사율을 가지고 있으며 이 반사율대로 사진에 나타난다. 적외선 사진 또한 적외선 반사율이 반영되어 나타나는 이미지이다. 따라서 가시광선용 차트의 그레이스케일이 가시광선에서 작동하는 방식을 적외선 사진 차트용 패치 선택에 적용하였다.

2.5 적외선 반사율에 근거한 L값 보정

$$L^* = 116 \left[\frac{Y}{Y_0} \right]^{\frac{1}{3}} - 16 \quad \text{if } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856$$

$$L^* = 903.3 \frac{Y}{Y_0} \quad \text{if } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856$$

[수식 1] 반사율에서 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색 표시계에서 L^* 로의 변환식[9]

적외선 반사율을 근거로 수식 1을 통해 $L^*a^*b^*$ 색 표시계에서 밝기에 해당하는 Lightness 값으로 변환할 수 있다[14]. 이렇게 변환된 값을 포토샵에서 커브툴(curve tool)을 통해 사진에 적용하였다.

2.6 적외선 차트의 활용

양극산화처리 및 안료를 이용해 만든 패치들 중 위의 실험을 통해 선택한 패치들로 적외선 차트를 만들어 적외선 사진에 적용하였다. 적외선 사진으로 감식 가능한 혈흔분석의 상황을 고려하여 천 조각과 혈흔으로 이용하여 피사체를 구성하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기존 차트 분석 결과

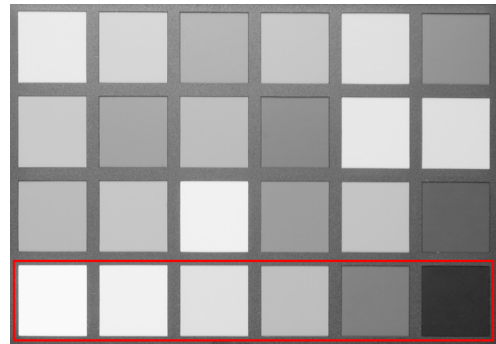


그림 1. 스파이더 체커의 가시광선 촬영결과

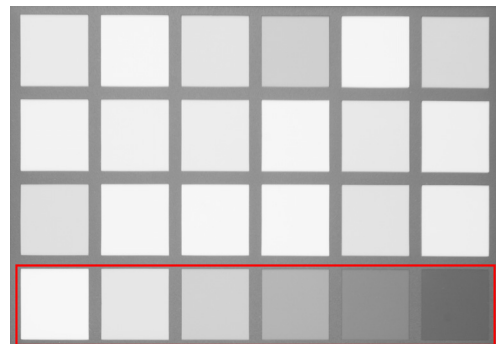


그림 2. 스파이더 체커의 적외선 촬영결과

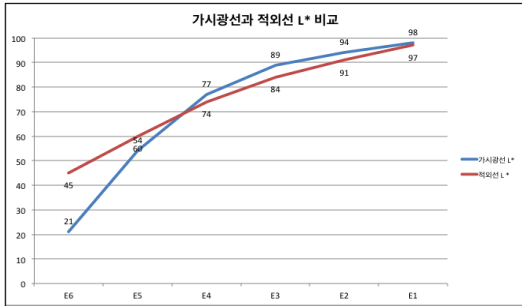


그림 3. 가시광선 및 적외선 사진에서 스파이더체커 각 패치의 L값 비교

스파이더체커의 사진 촬영 결과를 비교해 보면 적외선 사진이 가시광선 사진에 비해 콘트라스트가 저하되어 있는 것을 확인할 수 있다[그림 1-3]. 이 결과는 크게 두 가지 원인에 의해 발생한 것으로 판단된다. 첫 번째는 스파이더체커의 가시광선과 적외선 반사율이 다를 수 있다는 점이며 두 번째는 광학플레이어와 같은 다른 요인들의 영향이 적외선에서는 더욱 심화될 수 있다는 것이다. 첫 번째 원인을 확인하기 위해 Varian에서 제작한 Cary 5G UV/VIS/NIR Spectroscopy로 가시광선부터 적외선 대역의 반사율을 측정해 보았다[그림 4].

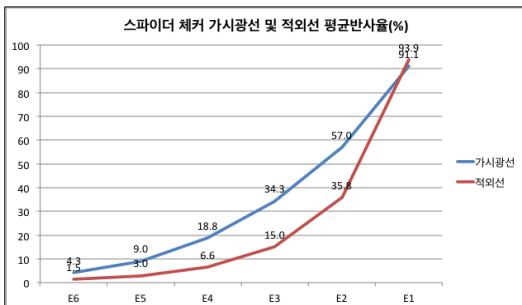


그림 4. 스파이더 체커의 가시광선 및 적외선 반사율 측정 결과

그래프[그림 4]의 가시광선은 400~780nm에서의 평균값이고 적외선은 실험에 사용한 880필터가 50% 이상을 통과시키는 대역인 850~950nm에서 평균을 구하였다. 실제 측정된 스파이더체커의 적외선 반사율은 전체적으로 가시광선보다 낮게 나타나고 있다. 선행된 사진 실험에서 플레이어의 영향이 없다고 가정하면 적외선 사

진에서 스파이더체커의 전체적인 밝기가 가시광선 사진에 비해 어둡게 나타나야 한다. 하지만 실제 사진에서는 적외선 사진이 가시광선 사진에 비해 더 밝게 나타났다며, 밝기 상승을 일으키는 요소가 개입된 것으로 판단할 수 있다. 따라서 두 번째 원인으로 보았던 플레이어 현상이 심화되어 나타난 결과를 생각할 수 있다. 플레이어 현상은 80%정도가 피사체 조건에 의해 발생하고 이미지에 광범위하게 영향을 주지만 어두운 부분에 변화가 두드러지게 나타나는 특징을 갖고 있다. 따라서 밝은 패치에 비해 어두운 패치들의 밝기가 상대적으로 많이 상승했으므로 플레이어 현상 및 다른 요인들이 적외선 영역에서 더 심화되어 나타난 결과라 판단된다.

[그림 5]는 스파이더체커와는 다르지만 거의 동일한 기능을 하는 X-Rite의 컬러체커 패스포트이다. 이 컬러체커를 적외선에서 촬영하기 위해 할로겐 조명 아래에 둔 결과 다음과 같이 외형이 변형되는 결과가 나타났다. 적외선 촬영을 위해서는 강한 빛과 열을 발산하는 텅스텐 또는 할로겐 계열을 사용하게 된다. 이런 조명 조건 아래에서 일반적으로 기본 재질이 지류 또는 플라스틱계통으로 이루어진 컬러체커를 사용하였기 때문에 외형이 변형되었다. 또한 컬러는 빛의 스펙트럼 분포보다 강도에 더 큰 영향을 받는데[15]. 또한 각 패치는 종이를 기반으로 제작되었는데, 종이는 5도의 온도변화마다 손상율이 2배로 증가한다[16]. 따라서 컬러체커는 외형의 변화뿐만 아니라 각 패치의 색상변화도 일어날 가능성이 있다. 결과적으로 컬러체커를 텅스텐 및 할로겐 계열의 조명 아래에서 사용할 때 제한점이 있다는 것을 보여준다.



그림 5. 열에 손상된 컬러체커

3.1 양극산화 알루미늄 활용실험

표 1. 실험에 사용한 양극산화 종류 및 피막 두께

연질유광 1 17 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)	연질무광 1 17 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)	경질 1 30 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)
연질유광 2 26 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)	연질무광 2 23 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)	경질 2 35 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)
연질유광 3 33 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)	연질무광 3 28 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)	경질 3 50 μm ($\pm 5\mu\text{m}$)

양극산화 알루미늄은 연질유광, 연질무광, 경질 3종류로 각 종류별로 3단계의 산화피막 두께를 가지도록 제작하였다[표 1]. 적외선 사진 촬영 결과 종류별로는 세부패치별 차이는 있으나 연질유광>연질무광>경질 순으로 밝게 나타났다. 바꿔 말하면 산화피막의 두께가 두껍게 형성되는 경질이 연질보다 전체적으로 어둡게 나타났다[그림 6][그림 7].



그림 6. 양극산화 알루미늄의 가시광선 사진

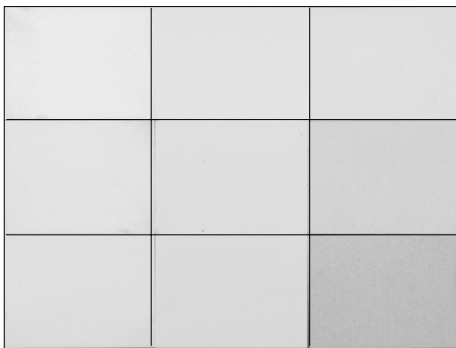


그림 7. 양극산화 알루미늄의 적외선 사진

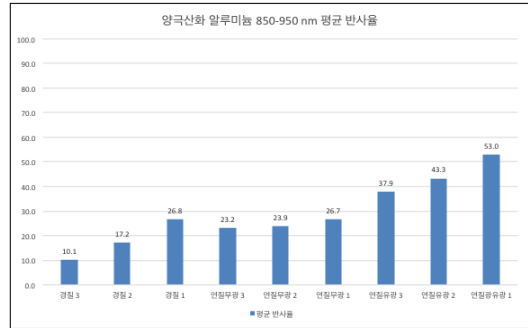


그림 8. 양극산화 알루미늄의 적외선 반사율 측정 결과

적외선 반사율 측정 결과[그림 8]에서도 전체적으로 연질유광>연질무광>경질 순으로 반사율이 높게 나타났다. 적외선 사진과 반사율 측정 결과를 종합해 보면 산화피막의 두께는 적외선 반사율과 반비례관계에 있다는 것을 알 수 있으며 양극산화 종류와 피막 두께를 이용하여 적외선 반사율의 조절이 가능하다는 것을 알았다.

3.2 안료 활용 실험



그림 9. 10P150안료의 가시광선 사진(좌)과 적외선사진(우)

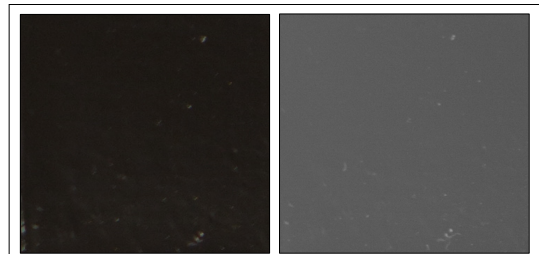


그림 10. 카본블랙의 가시광선 사진(좌)과 적외선 사진(우)

적외선을 반사하는 안료인 Shepherd color사의 10P150 안료와 적외선을 흡수하는 안료인 Golden Acrylic Carbon Black을 사용하여 실험을 실시하였다. 이 안료를 30mm × 30mm × 2mm 크기의 알루미늄 위에 도포한 뒤 가시광선과 적외선에서 촬영하였다. 높은 반사율을 가진 노란안료는 적외선에서 아주 밝게 나타났고[그림 9] 높은 흡수율을 가진 카본블랙안료는 어둡게 나타났다[그림 10].

표 2. 혼합안료의 혼합비율 및 배치도

혼합안료 1	혼합안료 2	혼합안료 3	혼합안료 4	혼합안료 5
20 : 1	8 : 1	4 : 1	2 : 1	1 : 1

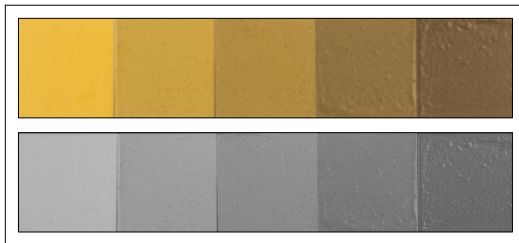


그림 11. 혼합안료의 가시광선 사진(상)과 적외선사진(하)

높은 반사율과 흡수율을 가진 두 안료를 혼합하여 중간 밝기의 패치를 제작하였다. 혼합 비율에 따라 카본블랙이 많이 들어갈수록 밝기가 어두워진 것을 확인할 수 있다[그림 11].

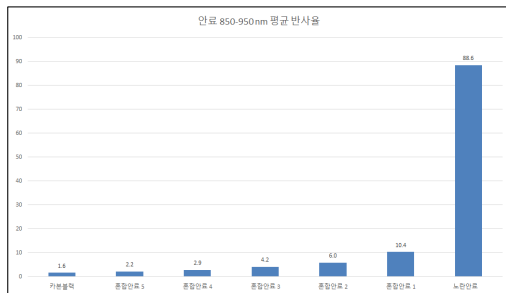


그림 12. 안료패치의 적외선 반사율 측정 결과

안료를 이용해 제작한 모든 패치의 적외선 반사율을

측정하였다[그림 12]. 노란안료는 88.6%의 높은 적외선 반사율을 보여주고 있으며 카본블랙 안료는 1.6%로 굉장히 낮은 반사율을 보여준다. 혼합안료를 이용해 제작한 패치들은 혼합 비율에 따라 반사율이 조금씩 증가하지만 가장 전체적인 반사율은 10%이하로 낮은 편이다.

3.3 적외선 차트를 위한 패치선택 실험

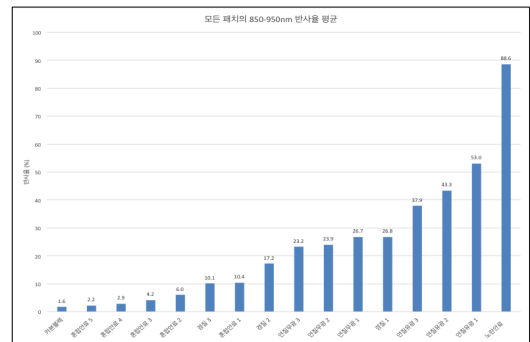


그림 13. 모든 패치의 적외선 반사율 그래프

지금까지 제작한 모든 패치를 적외선 촬영 및 반사율 측정을 실시한 결과이다[그림 13]. 1.6~88.6%까지 다양한 적외선 반사율을 가지는 것을 알 수 있다. 스파이더체커가 적외선에서 보여주었던 반사율에 비해 더 다양한 반사율 범위를 보여주는 것을 확인할 수 있다. 적외선 표준 차트는 적외선에서 그레이스케일을 형성하여야 하므로 기존 가시광선 차트가 보여주는 가시광선 반사율을 참고할 필요가 있다.

표 3. 스파이더 체커의 패치별 가시광선 반사율

패치 번호	평균반사율
E6	4.3 %
E5	9.0 %
E4	18.8 %
E3	34.3 %
E2	57.0 %
E1	91.1 %

위의 [표 3]은 스파이더체커의 가시광선 반사율을 나타내는 것이다. 가장 어두운 패치부터 약 1.5~2배의 간격을 두고 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 지금까지 제작한 패치도 이와 유사하게 선택할 수 있을 것

이다. 하지만 적외선 표준 차트는 비교 측정 평가를 하는 과학적 목적을 위해 제작하는 것이므로 더 넓은 반사율 범위를 가지는 것이 좋다고 판단하였다. 또한 플레어 현상과 같은 광학적 요인으로 인해 어두운 영역의 밝기가 상승하는 것을 고려하여 적외선 휘도비를 증가시키는 것이 필요했다. 따라서 가장 어두운 패치는 카본 블랙 패치를 선택하였고 그 다음 패치들은 1.5~2배의 반사율 간격을 두고 선택하였다. 패치 선택과정에서 비슷한 반사율을 보여주는 패치들은 내광성과 내열성을 고려하여 선택하였다. 안료패치보다는 양극산화패치를, 양극산화패치 사이에서는 산화피막 두께가 두꺼운 패치를 선택하였다.

표 4. 최종 선택한 패치의 적외선 반사율

	평균 반사율(%)
카본블랙	1.6 %
혼합안료 3	4.2 %
경질 3	10.1 %
연질무광 3	23.2 %
연질유광 1	53.0 %
노란안료	88.6 %

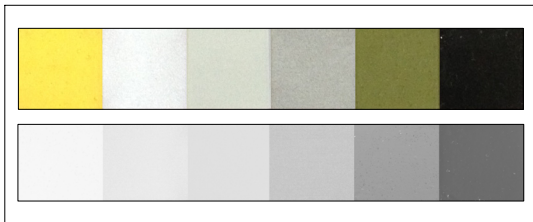


그림 14. 최종 선택한 패치의 가시광선 사진(상)과 적외선 사진(하)

최종적으로 선택된 패치는 표 4에 반사율이 나타나 있다. 패치들은 1.6%부터 88.6%까지 넓은 반사율 범위를 가진다. 이 패치들을 적외선에서 촬영하면 [그림 14]와 같은 그레이스케일 형태가 나타난다.

3.4 적외선 반사율에 근거한 L*값 보정 실험

[수식 1]을 통해 적외선 반사율을 $L^*a^*b^*$ 색 표시계의 밝기에 해당하는 Lightness값으로 변환하였다. 사진은 반사광을 기록하고 이 반사광의 강도에 비례하여 이미지에서 밝고 어둡게 나타난다. 적외선 사진도 이와 같

은 원리로 기록된 것이다. 하지만 적외선 사진에서는 플레어와 같은 광학적 영향으로 어두운 부분의 밝기가 상당히 상승해 있어서 콘트라스트가 저하되어 보이는 현상이 나타난다. 이를 해결하기 위해 적외선 반사율로부터 구한 L^* 값[표 5]을 포토샵을 통해 촬영한 사진에 적용하였다. 그 결과 위의 그림과 같이 플레어의 현상으로 인해 상승한 밝기를 보정하고 콘트라스트가 증가 되는 결과를 얻게 되었다.

표 5. 각 패치의 적외선 반사율과 L값

	평균 반사율(%)	계산된 L^*
카본블랙	1.6 %	13
혼합안료 3	4.2 %	24
경질 3	10.1 %	38
연질무광 3	23.2 %	55
연질유광 1	53.0 %	78
노란안료	88.6 %	95

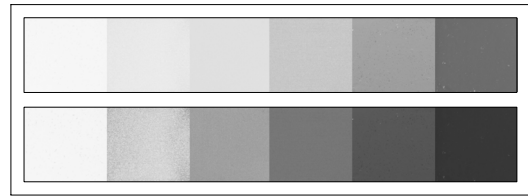


그림 15. L값 적용 전의 사진(상)과 적용 후의 사진(하)

3.5 적외선 차트의 활용 실험

기존의 적외선 사진 촬영에서는 노출 기준이 없기 때문에 카메라 LCD의 미리보기를 보고 촬영자의 주관적인 노출 판단이 필요하다. 따라서 적외선 표준 차트를 이용하지 않고 촬영할 때는 LCD의 미리보기에서 확인 하며 모든 피사체의 톤 분포가 히스토그램 중앙 또는 우측에 모이도록 노출을 결정하였다. 그 결과 전체적으로 적외선 사진은 유사한 밝기로 나타났다. 반면 적외선 표준 차트를 포함하여 촬영할 때는 가장 밝은 패치를 L^* 값이 94~96 범위에 들어오도록 브래케팅 촬영하였다. 이 결과 노출의 일관성이 생겼다. 이어서 각 패치의 반사율에 맞게 계산한 에 맞도록 포토샵에서 수정을 거쳤다. 이렇게 해서 콘트라스트가 향상되었고 각 피사체가 가지는 적외선 반사율을 적외선 표준 차트의 각 패치를 기준으로 비교할 수 있게 되었다.

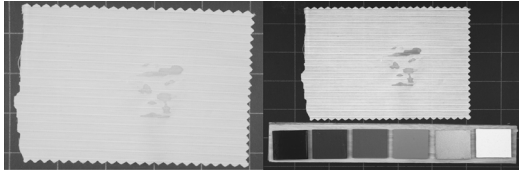


그림 16. 흰색 천에 유류된 혈흔 사진의 비교

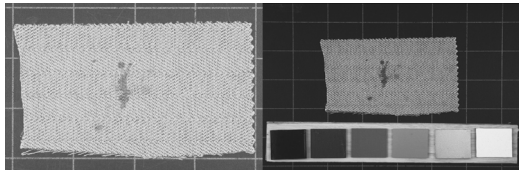


그림 17. 검은색 천에 유류된 혈흔 사진의 비교

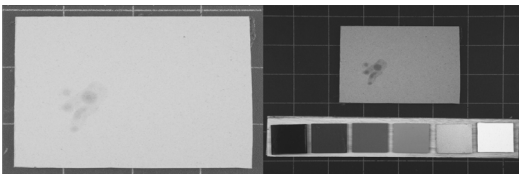


그림 18. 우드락 표면에 유류된 혈흔 사진의 비교

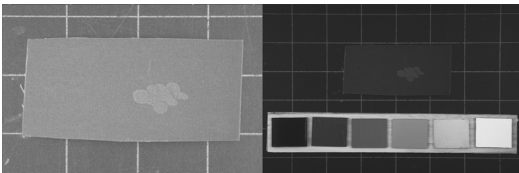


그림 19. 사포 표면에 유류된 혈흔 사진의 비교

[그림 16-19]까지는 다양한 재질과 색을 가진 표면 위에 혈흔을 유류하여 적외선으로 촬영한 결과이다. 보정과정을 거치면 카메라 기종 또는 촬영자의 판단에 영향을 받지 않고 표면과 혈흔의 고유한 적외선 반사율 특성에 따른 표현이 가능했으며 대상들의 적외선 반사율을 대략적으로 수치화할 수 있었다.

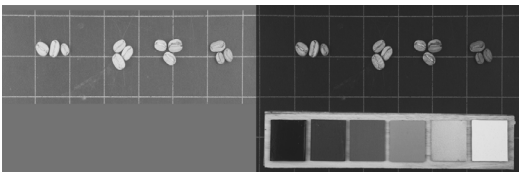


그림 20. 다양한 원두의 적외선 반사율 비교

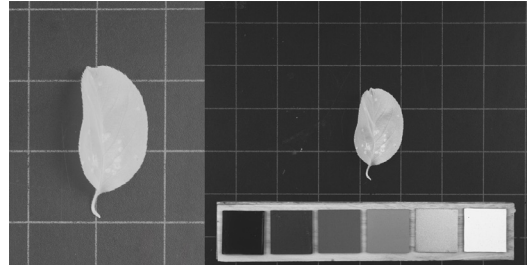


그림 21. 나뭇잎의 부분 갈변현상의 적외선 사진

[그림 20]은 원두의 볶음(roasting) 상태에 따른 적외선 반사율을 비교한 것이다. 육안으로 보면 비슷한 원두이지만 적외선 반사율의 차이를 살펴보면 그 차이를 비교할 수 있다. [그림 21]은 부분적으로 갈변현상을 보이는 나뭇잎을 적외선으로 촬영한 것이다. 적외선 사진에서는 진한 갈색으로 변환 부분의 반사율이 더 높다는 것을 알 수 있다. 이렇듯 적외선 반사율 측정은 다양한 분야로의 확장 가능성을 가진다.

III. 결론

디지털 기술은 카메라가 장면의 적외선 반사를 실시간으로 확인할 수 있게 해 주었다. 따라서 노출과정 또한 실시간으로 확인 가능하며 컬러체커와 같은 표준 피사체를 사용하는 것이 의미를 가질 수 있는 시점이라 판단하였다. 적외선 사진을 취한 표준차트를 제작하기 위해 먼저 가시광선에서 사용하는 컬러체커를 이용하여 실험을 진행하였다. 이 실험을 통해 기존 차트는 적외선을 위해 반사율이 최적화되어 있지 않고 플레어 현상이 심화되며, 촬영 조명조건 아래에서 내구성이 취약한 것을 발견하였다. 이 문제점들을 극복하기 위해 양극산화 처리 및 적외선 반응 안료를 도포한 알루미늄으로 차트 제작을 실시하였다. 양극산화처리 알루미늄은 양극산화처리기법과 생성된 산화피막의 두께에 따라 다른 적외선 반사율을 보여주었다. 또한 높은 적외선 반사율과 흡수율을 각각 그리고 혼합하여 사용한 결과 양극산화처리로는 나타내지 못했던 반사율을 가진 패치를 제작할 수 있었다. 제작된 총 패치들을 적외선 반

사율과 내열·내광성을 고려하여 6개를 선택하여 그레이 스케일을 형성하는 차트를 제작하였다. 이 차트의 각 패치는 특정 반사율을 가지고 있는데 반사율과 $L^*a^*b^*$ 색 표시계의 Lightness 변환식을 통해 각 패치의 Lightness 값을 구하였다. 이어서 실제 촬영한 사진 이미지에 이 값을 적용하여 변환해주었다. 그 결과 피사체의 적외선 반사율을 비파괴적인 방법으로 객관성 있게 비교해 볼 수 있게 되었으며, 플래어와 같은 광학적 요인으로 인한 콘트라스트 저하현상을 보정하였으며 높은 열과 빛에 쉽게 변형되지 않는 차트를 제작할 수 있었다. 본 연구에서 제안하는 적외선 노출기준을 과학 수사 분야에 활용한다면 보다 객관적이며 과학적인 증거분석이 가능할 것이다.

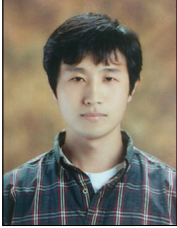
참 고 문 헌

- [1] 한면수, 김재민, 박상선, 장윤식, *과학수사론*, 경찰대학, 2009.
- [2] <https://www.swgit.org/documents/Current%20Documents>
- [3] 진동선, *좋은사진*, 북스코프, 2009.
- [4] Robin Williams and Gigi Williams, *Ultraviolet, Infrared & Fluorescence Photography*, RMIT-Medical and Scientific Photography Lab, 2002.
- [5] Scott T. De Broux, Katherine Kay McCaul, Sheri Shimamoto, and Instructor Michale J. Brooks, "Forensic Photography III - Infrared Photography," IAI Conference & Training, 2007.
- [6] 김유진, 윤성빈, 하동환, "적외선 사진술을 이용한 볼펜과 연필의 선후 관계 분석 : 문서감정을 중심으로", 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제5호, pp.481-488, 2004.
- [7] Katherine Bjoko, Claude Roux, and Brian J. Reedy, "An Examination of the sequence of Intersecting Lines Using Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared Spectral Imaging," J. Forensic Science, Vol.53, No.6, pp.1458-67, 2008.
- [8] 나기현, 양후열, 최섭, 진명수, 이영수, 김준석, 박찬문, 김동욱, "적외선을 이용한 인영과 출력문자의 선후 관계에 대한 연구", 한국법과학회 학술대회, Vol.2005, No.1, p.262, 2005.
- [9] Nicole J. Crane, Edward G. Bartick, Rebecca Schwartz Perlman, and Scott Huffman, "Infrared Spectroscopic Imaging for Noninvasive Detection of Latent Fingerprints," Journal Forensic Sciences, Vol.52, No.1, pp.48-53, 2007.
- [10] Elizabeth Allen and Sophie Triantaphillidou, *The Manual of Photography 10th Edition*, Focal Press, 2011.
- [11] Kingzheng Wang and David Zhang, "A high quality color imaging system for computerized tongue image analysis," Expert systems with Applications. Vol.40, No.15, pp. 5854-5866, 2013.
- [12] 강병철, 최정진, 김기호, "양극산화될 알루미늄의 적외선 복사특성 연구", 한국표면공학회지, 제35권, 제3호, pp.149-157, 2002.
- [13] 이재희, *하드 아노다이징 공정에 따른 EV 브레이크 디스크의 기계적 특성 평가*, 조선대학교 일반대학원 기계공학과 석사학위 논문, 2012.
- [14] 조맹섭, *디지털 컬러의 기본 원리*, 국제, 2006.
- [15] Henry Wilhelm and Carol Brower, *The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints color Negatives, Slides, and Motion Pictures*, Preservation Publishing Company, 1993.
- [16] Spiros Zervos, Natural and accelerated ageing of cellulose and paper: a literature review, *Department of library science and information system submitted for publication in the edited book Cellulose: Structure and Properties, Derivatives and Industrial Uses*, 2010.

저 자 소 개

김 상 기(Sang-Ki Kim)

준회원



- 2006년 2월 : 고려대학교 제어계측공학과(공학사)
- 2013년 8월 : 경일대학교 사진영상학과 석사

<관심분야> : 과학사진, 디지털사진

김 유 진(Yoo-Jin Kim)

정회원



- 2003년 8월 : 경일대학교 사진영상학과(미술학학사)
 - 2005년 5월 : 중앙대학교 첨단영상대학원(영상예술학석사)
 - 2013년 2월 : 중앙대학교 첨단영상대학원(영상예술학박사)
 - 2009년 3월 ~ 현재 : 경일대학교 사진영상학부 조교수
- <관심분야> : 과학사진, 디지털사진, 법과학사진