

## 포토그래메트리 기반 3D 스캔 개선을 위한 적외선 카메라 활용

남 상 우 \*

하 동 환 \*\*

\* 중앙대학교 첨단영상대학원 연구원

\*\* 중앙대학교 예술공학대학 교수

## Utilizing Infrared Cameras for the Enhancement of 3D Scanning Based on Photogrammetry

Nam, Sang Woo \*

Har, Dong-Hwan \*\*

\* Researcher, Graduate School of Advanced Imaging Science, Chung-Ang University

\*\* Professor, College of Art&Techonlogy, Chung-Ang University

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2021년 문화콘텐츠 R&D 전문인력 양성(문화기술 선도 대학원)  
사업으로 수행되었음(과제명 : 벼추얼 프로덕션 기반 콘텐츠 제작 기술 R&D 전문인력 양성, 과제번호 :  
R2021040044 기여율 : 100% )

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

THE KOREAN SOCIETY OF SCIENCE & ART

한국과학예술융합학회

THE KOREAN SOCIETY OF SCIENCE & ART Vol.41(5)\_Regular article or full paper

\* Contribution : 2023.11.20\_Examination : 2023.11.30\_Revision : 2023.12.26\_Publication decision : 2023.12.30



## 목차

### Abstract

### 국문 초록

#### I. 서론

##### 1.1 연구 배경 및 목적

##### 1.2 연구 방법

#### II. 본론

##### 2.1. 적외선 카메라 제작 방법

##### 2.2. 적외선 조명 제작 이유와 방법

#### III. 개선 방법 및 결과 진행

##### 3.1. 인공지능을 활용한 깔끔한 이미지 생성

##### 3.2. 저조도 3D 스캔 검증

#### IV. 결론

### 참조 문헌

### EndNote

### Abstract

In digital content creation, 3D models and spaces are utilized in various areas. Among them, photo-based 3D scanning technology, which uses a method of creating three-dimensional models based on 2D images, is cost-effective and versatile in many situations. However, it is challenging to obtain clean photos without noise in low-light environments using visible light cameras. This paper focuses on the research that shows infrared imaging using infrared lighting, rather than standard lighting in low-light environments, provides higher usability for 3D reconstruction in such conditions. The method proposed in this study uses artificial intelligence to improve the noise that is not completely eliminated in images. Subsequently, the created models are made usable in other 3D software through a 3D reconstruction program. These models can be applied and utilized in digital twin and other virtual environment contents.

### 국문 초록

디지털 콘텐츠 제작에서 3D 모델 및 공간은 다양한 영역에서 활용되고 있다. 그중 사진 기반의 3D 스캐닝 기술은 저렴한 비용으로 여러 상황에서 활용 가능하며, 2D 이미지를 기반으로 3차원 모델을 생성하는 방법을 사용하였다. 하지만 가시광선 카메라로는 저조도 환경에서 노이즈가 없는 깨끗한 사진을 얻기 어렵다.

본 논문에서는 저조도 환경에서 일반 조명보다 적외선 조명을 활용한 적외선 이미지의 3D 재구축이 저조도 환경에서 더 높은 활용성을 보임을 중심으로 연구를 진행했다. 본 연구에서 제시하는 방법은 인공지능을 사용하여 완전히 제거되지 않은 이미지들의 노이즈를 개선하는 것이다. 그 후, 3D 재구축 프로그램을 사용하여 생성된 모델을 다른 3D 소프트웨어에서도 활용할 수 있게 하였다. 이렇게 만들어진 모델은 디지털 트윈 등 가상환경 콘텐츠에 접목하여 활용할 수 있다.

### Key Words

3D Reconstruction(3D 재구축), Infrared Image(적외선 이미지), Convergence Contents(융합 콘텐츠), Invisible Image 3D Reconstruction(비가시광선 이미지 3차원 재구축)

#### I. 서론

##### 1.1 연구 배경 및 목적

최근 디지털 콘텐츠 제작에 있어서 3차원 스캔 기술은 피사체를 3D 모델로 만드는 기술로 많은 영역에서 활발히 사용되고 있다. 특히 디지털 트윈, 확장 현실(XR) 스튜디오, 디지털 게임 등과 같은 다양한 분야에서 이 기술은 중요한 활용 도구로 자리매김하였다<sup>1)</sup>. 이러한 기술은 현실에 존재하는 사물을 가상 환경에서 동일하게 재현하는 것으로, 재현성이 더 사실에 가깝게, 더 넓은 활용성을 갖도록 발전하고 있다. 3D 스캐닝을 위하여 무수히 많은 방법이 개발됐지만 기본적으로 레이저, 라이더, 사진을 활용한 포토그래메트리 방식으로 나뉜다. 레이저 스캔의 경우 3D 스캐너에서 레이저빔을 대상 물체에 쏘이어서, 물체로부터 반사되어 되돌아오는 빛의 시간이나 위상 변화로 데이터를 측정한다. 비교적 정확하지만 높은 가격과 장비 운용이 까다롭다는 단점이 있다. 라이더의 경우 측정 방식은 레이저와 비슷하지만, 정밀도 보다는 넓은 범위를 신속하고 간단한 과정으로 스캔할 수 있다는 것이 차이점이다. 사진을 기반으로 측량하는 방식을 포토그래메트리라고 한다. “이는 대상 물체를 다양한 각도에서 사진을 촬영 스캐닝을 진행하기 때문에 카메라만 있으면 누구든지 스캔을 할 수 있다”<sup>2)</sup>. 또한 핸드폰 카메라를 활용해도 되기 때문에 스캐닝 비용이 적다는 장점이 있다. 그중 사진을 기반으로 진행하는 3D 스캐닝의 경우 이미지의 품질이 중요해졌다. 이를 위해서 다양한 이미지 제작 기술들이 활용된다. 하지만 현재 사진을 활용한 3D 스캐닝의 경우 저조도 환경에서 촬영을 진

행하면 이미지에 많은 노이즈가 발생하여 결과에 큰 영향을 미치게 된다.<sup>3)</sup> 본 연구에서는 다양한 방법으로 적외선 이미지의 개선 방법을 활용하여 좋은 품질의 포토그래메트리 3D 공간을 제작할 수 있기를 기대한다.

## 1.2. 연구 방법

사진을 이용한 3D 스캔에서 우수한 품질의 "3D 모델을 얻기 위해서는 상, 하, 좌, 우에서 촬영된 이미지가 많이 필요하다".<sup>4)</sup> 빈틈없는 3D 데이터를 얻기 위해서는 다각도의 사진 데이터를 소프트웨어에 입력해야 한다. 이는 각 사진을 비교하여 같은 위치임을 계산하는 3차원 위치값을 추적하기 위함인데, 불규칙하게 발생하는 노이즈 현상은 좌표 선정에 방해가 된다. 이 문제는 감도를 낮추는 방법으로 어느 정도 해결할 수 있지만, 저조도 상황에서 발생하는 노출 문제를 완전히 예방할 수 없다. 결과적으로 저조도 상황에서 노이즈 제거를 위해서는 모든 카메라 설정을 조정하여 감도를 낮추고, 셔터 속도나 조리개를 조절해야 한다. 그러나 일반 촬영에서 벼려지는 적외선 에너지를 이용하면 카메라 감도를 향상시킬 수 있으며 노이즈 제거에도 효과적일 것으로 생각된다. 본 연구는 적외선 카메라를 활용하여 저조도 환경에서도 3D 스캐닝이 가능하도록 하는 것을 목표로 하고 있다.

- 적외선 카메라 제작 방법
- 적외선 조명 제작 이유와 방법
- 인공지능을 활용하여 노이즈가 제거된 이미지 생성
- 저조도 3D 스캔 검증 및 구현

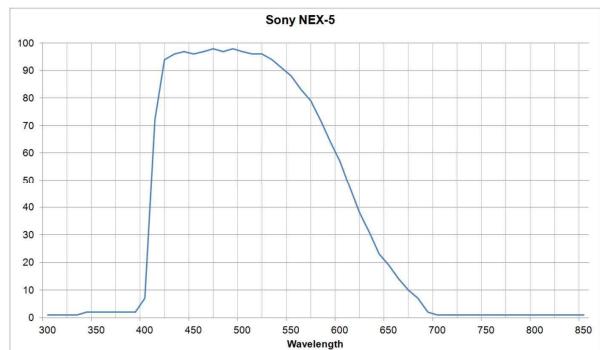
본 연구에서는 기존의 디지털카메라의 핫미러를 제거하여 스펙트럼 영역을 확대해 적외선에 반응하도록 개조시켜 사용하였다. 추가로 적외선 조명을 제작, 사용하여 감도를 낮췄다. 적외선 조명을 활용하여 야간 혹은 저조도에서도 피사체에 강한 빛이 가는 것을 방지한다. 또한 적외선 조명을 사용하여 감도를 낮췄음에도 생기는 노이즈의 경우 인공지능을 활용하여 효과적으로 제거한다. 이러한 과정을 거친 사진 세트를 활용하여 3D 물체를 생성한다.

## II. 본론

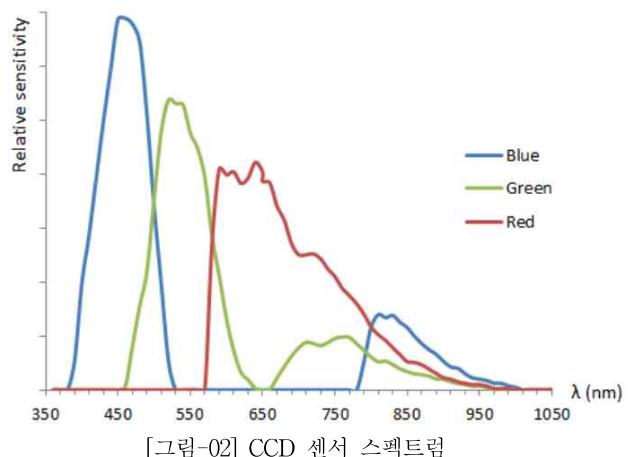
### 2.1. 적외선 카메라 제작 방법

본 연구에서는 기존의 흔히 사용되는 디지털카메라(Sony NEX-5)를 적외선 카메라로 변형시켜 사용했다.

기존 디지털카메라의 CCD는 350nm에서 1,000nm 이상의 광스펙트럼을 포착할 수 있도록 설계되어 있다. 그러나 디지털카메라에는 핫미러 필터가 장착되어 있어 [그림-01]과 같이 400nm부터 700nm까지 한정적인 파장만을 이미지센서가 얻을 수 있도록 한다. 본 연구에서는 핫미러 필터를 제거함으로써 카메라가 비가시광선 영역의 이미지를 캡처할 수 있도록 하였다. 핫미러를 제거하게 되면 [그림-02]와 같이 핫미러로 차단되었던 파장도 활용이 가능해진다. B+W 093 IR Black 830 적외선 필터를 사용하여 830nm 이상의 비가시광선 영역만을 촬영하는 방식을 적용하였다. [그림-02]의 그래프를 보면 830nm부터 필터를 활용하여 830nm 이하에서의 파장을 차단하는 것으로 적외선 파장만을 활용하여 저조도 촬영을 진행할 수 있게 만들었다.



[그림-01] 적외선 카메라의 핫미러 스펙트럼

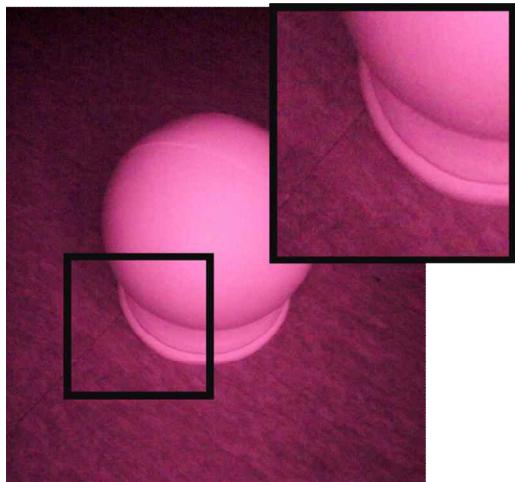


[그림-02] CCD 센서 스펙트럼

### 2.2. 적외선 조명 제작 이유와 방법

저조도 환경에서 촬영을 진행할 경우 이미지의 밝기를 높이기 위해 감도를 높여야 한다. 감도가 높을 경우, 생성된 이미지에서 강한 노이즈가 발생하여 이미

지가 손상되는 경우가 있다. [그림-03]을 보면 이미지에 많은 노이즈가 발생한 것을 알 수 있다. 이러한 노이즈는 이미지의 품질에도 영향을 미친다. 또한, 이미지 기반의 3D 재구축을 진행할 때 치명적으로 작용한다. 이는 이미지 방식의 3D 재구축의 경우 사용된 이미지 품질에 따라 소프트웨어가 인식하지 못하거나 오류를 발생시킬 수 있기 때문이다.



[그림-03] 노이즈가 발생한 적외선 이미지

이러한 문제를 해결하기 위하여 추가로 적외선 조명을 제작하여 사용했다. [그림-04]는 조명의 내부 모습으로 850nm led를 사용하여 원형 틀 안에 구축하였다. 850nm의 led를 사용하여 조명을 제작한 이유는 카메라에 830nm 파장의 적외선 필터를 장착했기 따라서 이보다 높은 파장으로 조명을 설치하여 파장이 잘리는 것을 방지한 것이다. “가시광선은 인간의 눈에 보이는 영역이며 비가시광선은 인간의 눈에 감지되지 않는다. 그리고 파장의 길이에 따라 적외선, 등을 포함한다.”<sup>5)</sup> 그렇기에 850nm의 경우 비가시광선 영역에 해당 조명을 켜도 사람의 눈에는 보이지 않아 피사체에 인위적인 빛을 사용하지 않아도 자연스러운 촬영이 가능하게 되었다.



[그림-04] 850nm LED 조명

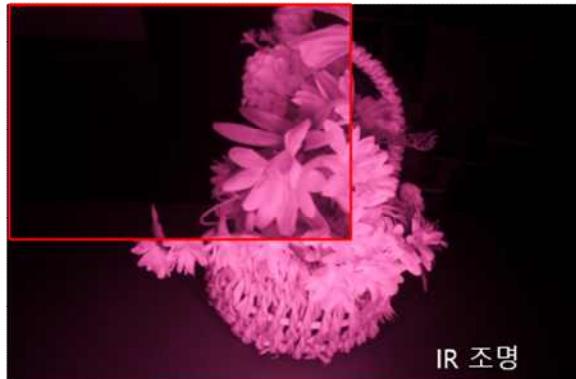
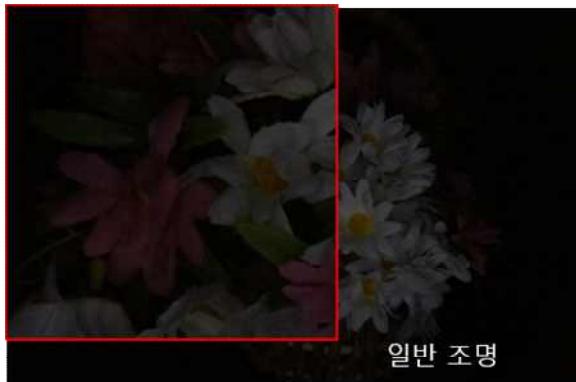
이미지 데이터를 처리할 때 색상보다는 밝기 또는 픽셀 강도에 초점을 맞출 수 있게 하려면 [그림-05]와 같이 흑백 음영으로 변환하여 확인한다. 또한 적외선 사진 촬영의 경우 적외선의 초점 거리가 가시광선의 초점 거리와 달라 이를 맞추기 위해서 조리개값을 최대한으로 높여서 촬영한다. 이것으로 감도가 올라가게 되므로 이를 해결하기 위해서 적외선 조명이 필요하다.



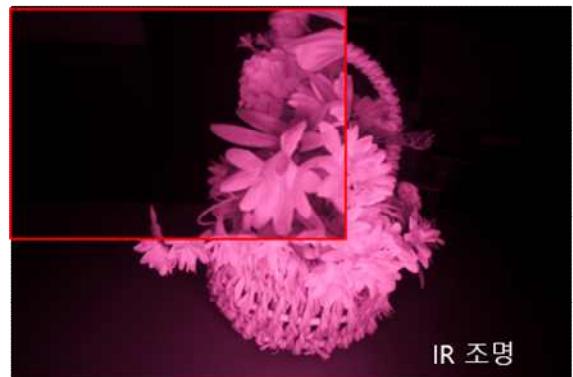
[그림-05] 흑백 변환을 완료한 이미지

위와 같은 문제를 일반 조명으로도 해결하고자 하였다. 하지만 저조도 환경에서 동일한 셔터 스피드를 사용하여 많은 수의 사진을 얻고자 할 때 여러 문제점이 발생했다. 우선, 동일한 카메라(Sony NEX-5)를 사용하여 비교를 진행하였다. 첫 번째로 셔터 스피드를 1/80으로 설정하고 조리개를 f13까지 조였다. 그 후, 두 가지 다른 조명을 활용하여 비교한 결과, 일반 조명의 경우 휘도가 적외선 조명에 비해 [그림-06]과 같

이 낮은 것을 알 수 있었다. 너무 어두운 사진의 경우 소프트웨어에서 이미지를 인식하는 데 어려움이 생겨 사용할 수 없었다. 두 번째로는 일반 조명에서 감도만을 올려 촬영을 진행하였다. [그림-07]과 같이 비슷한 휘도를 맞추기 위해 감도를 올린 결과, 이미지에서 노이즈가 대량으로 발생한 것을 알 수 있었다. 따라서 적외선 조명을 사용하는 것이 저조도 환경에서 효과적인 것을 알 수 있다. 하지만 적외선 조명으로 촬영한 사진의 경우 색상에 대한 정보를 잃어버리지만 정밀한 3D 재구축 데이터를 얻는 데는 아무런 문제가 되지 않는다.



[그림-06] 일반 조명과 IR 조명의 휘도 차이



[그림-07] 일반 조명과 IR 조명의 노이즈 차이

### III. 개선 방법 및 결과 진행

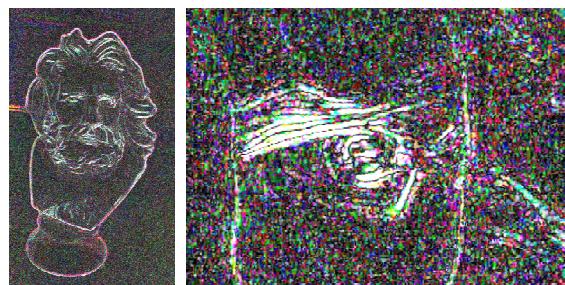
#### 3.1. 인공지능을 활용하여 노이즈가 제거된 이미지 생성

적외선 조명을 사용하여 감도를 효과적으로 낮추었지만, 저조도 환경에서 발생하는 미세한 노이즈를 제거하기 위해 인공지능 디노이즈 필터를 활용하였다. 디노이즈의 원리는 노이즈가 발생하지 않은 다수의 사진과 노이즈가 발생한 다수의 사진을 인공지능에 학습시키는 것이다. 이때 다수의 사진은 같은 사진으로 한 장은 노이즈가 존재하고, 한 장은 노이즈가 없는 깨끗한 사진으로 입력하여 인공지능에게 노이즈의 유무 차이점을 학습시킨다. 이후 학습을 바탕으로 사진에서 노이즈를 제거한다.<sup>6)</sup> 본 연구에서는 포토샵에서 제공하는 뉴럴 필터를 활용한 디노이즈 방법을 사용하였다. 이때 단순히 노이즈 제거뿐만 아니라 선명도 등 이미지 자체의 품질 개선에도 활용하였다. 또한 인공지능 필터를 사용하여 이미지 스캔에 필요한 대량의 사진을 쉽게 보정할 수 있게 되었다. 그러나 과도한 디노이즈 필터 사용은 이미지 자체를 훼손하는 결과를 초래했다. 이를 바탕으로 인공지능 디노이즈 필터만을 사용해서 완벽한 이미지 개선은 어렵다고 판단하였다.

그래서 기존의 광학 방식을 사용하여 감도를 최소한으로 하여 노이즈를 최소화하였다. 그 결과 노이즈를 개선할 수 있었다. [그림-08]의 왼쪽 이미지는 인공지능 효과를 적용한 이미지로, 우측 원본 이미지에 비해 선명도와 노이즈가 개선된 결과를 볼 수 있다. [그림-09]는 효과 적용 전과 후 이미지의 차이를 분석한 영상으로, 노이즈가 개선된 것을 확인할 수 있다.



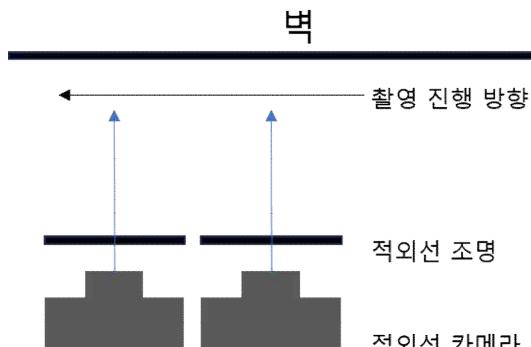
[그림-08] 인공지능 활용으로 개선된 이미지



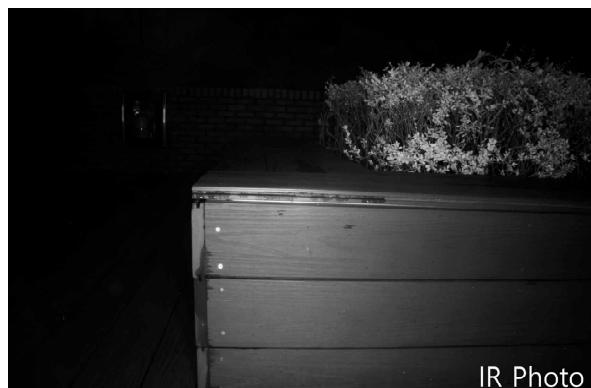
[그림-09] 적용 전후 차이값( $y=2.1$ )

사진 기반의 3D 스캐닝 진행을 위해서는 물체를 기준으로 다양한 각도의 사진이 필요로 하다. 또한 이 사진들은 서로 겹치는 부분이 있도록 연속되게 찍어야 한다. [그림-10]의 경우 카메라의 이동 방향 및 촬영에 대해서 보여준다. 이때 2D의 이미지에서 3D 물체로 제작하는 과정을 3D 재구축이라고 한다. 3D 재구축 프로그램으로 Agisoft사의 Meta shape를 활용하였다. Meta shape의 경우 촬영된 이미지를 나열 후 이미지로부터 3D 오브젝트를 만들어주는 프로그램이다. 스캐닝 진행하여 순차적으로 연속된 사진 30장을 얻었다. [그림-11]의 경우 이렇게 얻은 사진 30장의 사진 세트 중 한 장이다. 사진을 보면 저조도 환경에서 촬영된 이미지임에도 불구하고 최종적으로 매우 선명한 것을 알 수 있다. Meta shape 프로그램에 30장의 사진을 넣

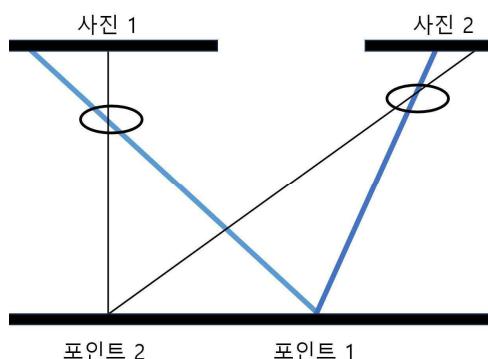
고 학습시킨다. 이 과정에서 [그림-12]에서와 같이 각각의 이미지들의 반복되는 부분을 찾아 3차원 좌표에서 계산하게 된다. 계산된 포인트들을 3차원 좌표에 지정하게 되는 데 이를 Point Cloud(포인트 클라우드)라고 한다. 공간 스캔의 경우 포인트 클라우드가 얼마나 많이 정확하게 생성된 여부에 따라 최종 모델링 생성 품질에 중요한 요소로 작용한다.<sup>7)</sup>



[그림-10] 공간 스캔 방법

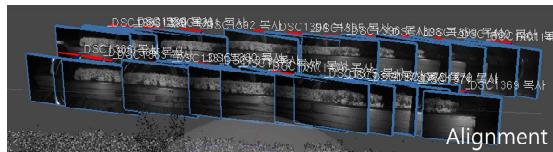


[그림-11] 저조도에서 촬영된 사진

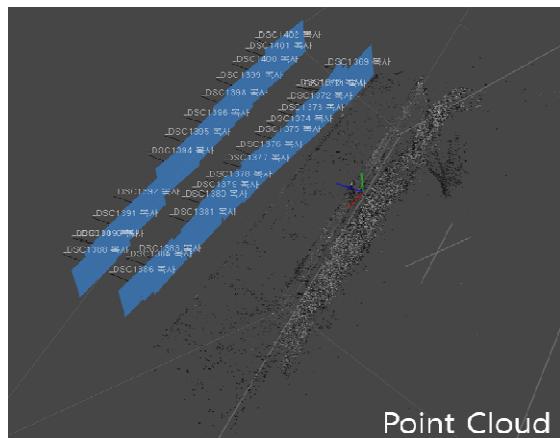


[그림-12] 포인트 클라우드 생성 원리

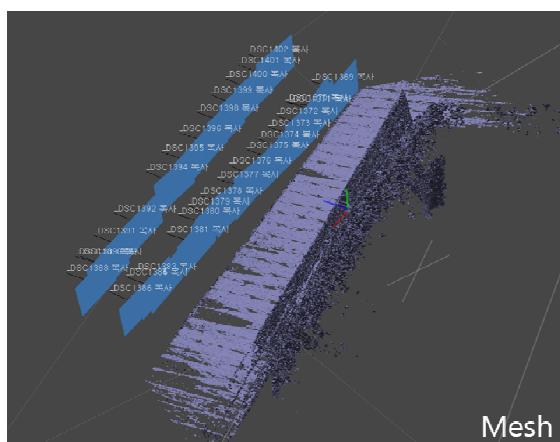
[그림-13]을 보면 Meta shape에서 계산을 완료하여 촬영된 이미지들을 포개서 겹치는 부분을 시각화하여 보여준다. 이를 통해서 얼마나 많은 이미지가 연속되게 촬영됨을 확인할 수 있었다. 또한 [그림-14]은 어느 부분에서 포인트 클라우드가 집중적으로 생성되었는지를 확인할 수 있다. 생성된 포인트 클라우드는 메쉬로 변환하여 3D 공간 재구축을 진행했다. [그림-15]에서 보이는 것이 포인트 클라우드를 기반으로 메쉬를 생성한 모습이다. 그다음 단계로써 [그림-16]와 같이 텍스쳐를 얹는 것으로 사진 기반의 3D 스캐닝을 완료했다.



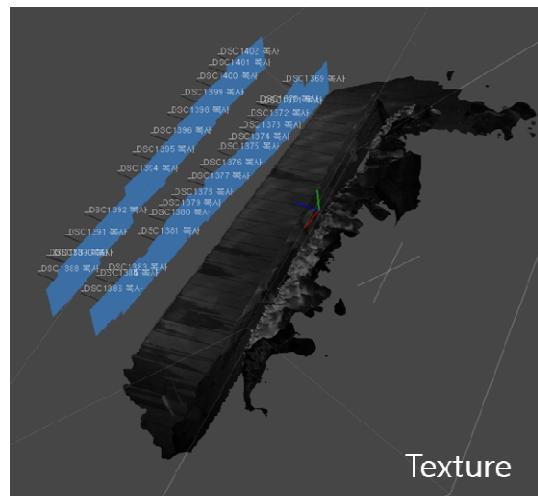
[그림-13] 정렬되어 위치 계산이 완료된 사진 세트



[그림-14] 이미지에서 계산된 포인트 클라우드

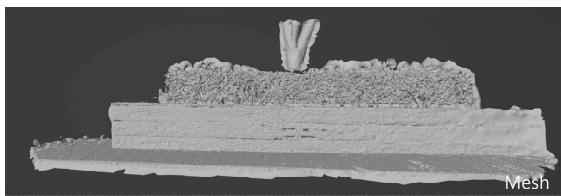


[그림-15] 포인트 클라우드에서 생성된 메쉬



[그림-16] 생성된 메쉬 위에 생성한 텍스쳐

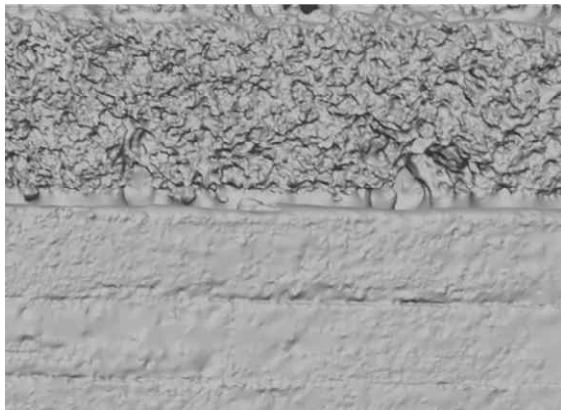
스캐닝이 완료된 데이터는 한 번 더 가공 단계를 거쳐야 한다. 이때 Blender, Unreal, 3D max 등의 3D 소프트웨어를 활용하여 데이터 클리닝 작업을 진행했다. [그림-17]의 경우 Blender에서 불필요한 데이터를 제거 후 메쉬 데이터만을 남겨둔 상태이다. 마지막 클리닝 과정을 진행 후 Unreal 혹은 별도의 실시간 기반 3D 도구에서 활용할 수 있는 데이터 상태가 된다.



[그림-17] 데이터 클리닝이 완료된 메쉬 데이터



[그림-18] 생성된 메쉬 데이터



[그림-19] 생성된 메쉬 데이터 2

[그림-18]을 살펴보면, 나무 의자 부분에 메쉬가 빈틈없이 생성된 것을 확인할 수 있다. 또한, 의자의 질감도 고르게 나타나고 있다. [그림-19]에서 보이듯이, 나뭇잎의 굴곡이 잘 표현된 상태에서 메쉬가 생성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이를 바탕으로 적외선 이미지를 사용한 3D 메쉬 생성이 문제없이 진행될 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

현재 다양한 3D 스캐닝 기술들이 존재하고 있음에도 불구하고, 이미지 기반의 3D 스캐닝 방식은 다른 스캔 방식에 비해 간단하다는 장점을 가지고 있다. 최근에는 사진 기반의 3D 스캔 기술이 점차 간편해지고 있다. 그러나 모든 환경에서 활용할 수 있는 것은 아니다. 본 연구에서는 저조도 환경에서 사진 기반의 3D 스캔을 적외선 카메라를 활용하여 시도해보았다. 조리개를 조절하는 것이 적외선 카메라의 단점인 불안정한 초점을 개선하는 데 도움이 되었다. 또한, 850nm 적외선 조명을 제작하여 감도를 낮출 수 있었다. 색 정보를 얻지 못하더라도 저조도에서 일반 조명보다 높은 휘도와 노이즈 억제력을 보여준다. 이 방법을 활용한 후, 포토샵의 뉴럴 필터를 사용하여 노이즈를 개선했다. 최종적으로 개선된 이미지는 MetaShape에서 3D 재구축을 진행한 후 가공까지 완료했다. 이 가공된 데이터는 Unreal 또는 다른 3D 기반 프로그램에서 활용할 수 있는 상태가 되었다. 이러한 결과는 저조도 환경에서도 충분히 3D 스캐닝이 가능함을 보여준다. 저조도 환경에서 적외선 카메라를 활용한 사진 기반의 3D 스캔은 다양한 환경에서 활용될 수 있다. 콘텐츠 제작에 필요한 리소스부터, 가시광선을 활용한 촬영이 어려운 문화재 등 다양한 환경 및 분야에서 활용 가능성이 확장될 것으로 기대한다. 이를 바탕으로 다양한 공간을 디지털 트윈으로 구축하고 콘텐츠 요소로 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 하지만 이를 위해서는 현재 포토샵의 뉴럴 필터 등 인공지능의 한계로 인해 광학적인 방법을 사용했지만, 추후 연구에서는 인공지능을 고도화된 학습을 통해 더 정밀한 노이즈 제거 기술을 활용하여 높은 감도에서의 사진을 사용하여 추가적인 조명 없이도 이미지를 사용할 수 있게 될 것을 기대한다. 이 연구는 저조도 환경에서의 적외선 촬영 이미지 개선 방법에 초점을 맞추고 있지만, 추후에는 만들어진 3차원 데이터를 기반으로 콘텐츠 제작뿐만 아니라 다양한 분야에서의 활용 방법에 대해 연구를 진행할 예정이다.

#### Reference

- [1] Aber, James S., Marzolff, Irene., Ries, Johannes B., 「Chapter 3 - Photogrammetry」, Small-Format Aerial Photography, Elsevier, pp.23-39, 2010.
- [2] Han, Jeong-Sik., Seo, Man Cheal, "3D Modeling use a Photograph, Rock Cliff Buddha, Dojeonri", Science and Engineering of Cultural Heritage, pp.36-37, 2003.

- [3] Yoon, Jong-Hyun., Lee, Sang Rak., Jong Seung Park, "Integration of Textured 3D Scan Data to Present Real-World Objects in Virtual World", Journal of the HCI Society of Korea, 2005.
- [4] Kang, Ji Hye., Park, Hyung Ju., Har, Dong Hwan, "A Study on Improved Infrared Image Quality using Infrared Polarized Filter", AURA, pp.6-14, 2008.
- [5] Kim, Lyoung Hui, "A Study of Image Based Photogrammetry Method for Realistic Modeling of Video Contents: Focusing on High Dynamic Range", Journal of the Moving Image Technology Association of Korea, pp.17-34, 2022.
- [6] Kong, Dal-Yong., Lim, Jong Deock., Kim, Jeong-Yul., Kim, Kyung Soo, "Application of Digital Photogrammetry to Dinosaur Tracks from the Namhae Gain-ri Tracksite", Journal of the Korean Earth Science Society, pp.129 - 138, 2010.
- [7] Li, Zhuo., Luo, Shaojuan., Chen, Meiyun., Wu, Heng., Wang, Tao., Cheng, Lianglun, "Infrared Thermal Imaging Denoising Method Based on Second-Order Channel Attention Mechanism", Infrared Physics & Technology, p.116 2021.
- [8] Mildenhall, Ben., Hedman, Peter., Martin-Brualla, Ricardo., Srinivasan, P. Pratul., Barron, Jonathan. T, "Nerf in the dark: High Dynamic Range View Synthesis from Noisy Raw Images", In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.16190-16199, 2022.
- [9] Rak, Oliver., Szilágyi, Dorottya, "Photogrammetry possibilities and rules focusing on architectural usage", Pollack Periodica, pp.187-196, 2020.
- [10] Yang, Hye-Min., Yoo, Tae-Kyung, "Metaverse Production Pipeline Based on 3D Space Capture Technology", Journal of Digital Contents Society, pp.1071-1082, 2023.
- [11] Yoon, Seong Bin, "A study on an integrated system for digital infrared photography (Master's Thesis)", Chung-Ang University, 2008.
- [3] Kang, Ji Hye., Park, Hyung Ju., Har, Dong Hwan, "A Study on Improved Infrared Image Quality using Infrared Polarized Filter", AURA, pp.6-14, 2008.
- [4] Han, Jeong-Sik., Seo, Man Cheal, "3D Modeling use a Photograph, Rock Cliff Buddha, Dojeonri", Science and Engineering of Cultural Heritage, pp.36-37, 2003.
- [5] Yoon, Seong Bin, "A study on an integrated system for digital infrared photography (Master's Thesis)", Chung-Ang University, p.6, 2008.
- [6] Li, Zhuo., Luo, Shaojuan., Chen, Meiyun., Wu, Heng., Wang, Tao., Cheng, Lianglun, "Infrared Thermal Imaging Denoising Method Based on Second-Order Channel Attention Mechanism", Infrared Physics & Technology, p.116 2021.
- [7] Kim, Lyoung Hui, "A Study of Image Based Photogrammetry Method for Realistic Modeling of Video Contents: Focusing on High Dynamic Range", Journal of the Moving Image Technology Association of Korea, pp.17-34, 2022.

## Endnote

- 1) Yang, Hye-Min., Yoo, Tae-Kyung, "Metaverse Production Pipeline Based on 3D Space Capture Technology", Journal of Digital Contents Society, pp.1071-1082, 2023.
- 2) Rak, Oliver., Szilágyi, Dorottya, "Photogrammetry possibilities and rules focusing on architectural usage", Pollack Periodica, pp.187-196, 2020.