2023년 대학부설 과학영재교육원 사사과정 연구성과 발표대회

- 지구과학 -

한국과학창의재단
Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity

contents

지구과학

01. 딥러닝을 활용한 암석 분류 탐구 ····· 3
02. 흑점 관측으로 태양의 자전 주기 구하기 ····· 25
03. 반구대 암각화 모형지형 제작 ····· 33
04. 화성에서 점토광물로의 물의 존재 가능성에 대한 연구 ····· 55
05. 동양말벌의 생체모방을 이용한 태양전지의 효율성 증대에 관한 연구 ····· 67
06. 대한민국에서의 지하수 저장량 변화 ····· 83

지구과학

01. 딥러닝을 활용한 암석 분류 탐구 ····· 3
02. 흑점 관측으로 태양의 자전 주기 구하기 ····· 25
03. 반구대 암각화 모형지형 제작 ····· 33
04. 화성에서 점토광물로의 물의 존재 가능성에 대한 연구 ····· 55
05. 동양말벌의 생체모방을 이용한 태양전지의 효율성 증대에 관한 연구 ····· 67
06. 대한민국에서의 지하수 저장량 변화 ····· 83

지구과학

01_딥러닝을 활용한 암석 분류 탐구

딥러닝을 활용한 암석 분류 탐구

김태우 (전주중학교 2학년)
성도현 (진안중학교 2학년)
오은서 (익산어양중학교 2학년)
이준기 (전주용소중학교 2학년)
임서진 (전주오송중학교 2학년)

지도교수 : 조규성 (전북대학교 과학교육학부 지구과학교육과)
지도교사 : 이희우 (전북대학교 과학교육학부 지구과학교육과)

초록

암석은 지질학 및 지구과학 연구에서 중요한 역할을 하며, 그 특성을 정확하게 분류하는 것은 지하자원 관리 및 지질조사 분야에서 중요한 과제 중 하나이다. 본 연구에서는 딥러닝 기술을 도입하여 암석 분류의 정확도와 효율성을 개선하고자 TensorFlow를 기반으로 한 Convolutional Neural Network(CNN) 아키텍처를 활용하여 중·고등학교 교육과정에서 다루는 암석 18종(화성암 6종, 변성암 6종, 퇴적암 6종)의 이미지를 통해 암석을 분류하는 시스템을 개발하였다. 이를 위해 총 5,001개의 암석 이미지를 수집하였으며, 이 중 4,242개의 이미지를 분류 모델의 학습에 활용하고 나머지 759개의 이미지는 분류 성능을 테스트하기 위한 샘플로 사용했다. 분류 모델의 학습은 epoch 3,000, batch size 16, learning rate 0.001로 설정해 수행하였다. 결과적으로, 암석 분류 성능을 확인한 결과 클래스별 분류 정확도는 74 %에서 96 %까지 다양하게 나타났으며, 평균적으로 약 85.1 %의 정확도를 달성하였다. 최종적으로 구현한 모바일 애플리케이션은 지구과학 수업 및 지질조사 활동에서 학생들의 학습 보조 도구로 사용할 수 있다.

Ⅰ. 서론

암석의 정확한 분류는 지질학 및 지구과학 분야에서 핵심적인 과제 중 하나로 여겨지고 있다. 암석 분류 작업은 지질 연구, 자원 관리, 환경 연구, 건축 및 인프라 설계 등 다양한 목적을 위해 수행되며, 지구의 구성물질과 역사를 이해하고 지구 환경을 보호하는데 기여한다. 암석을 세부적으로 분류하기 위해서는 분석기기를 통한 화학적 방법이나 편광현미경을 통한 광학적 특성을 이용한 방법이 사용될 수 있지만, 이런 방법들은 많은 시간과 노력이 필요하고 암석에 대한 전문적 소양이 있어야 가능하기 때문에 암석 전문가들이 주로 활용하고 있다. 그래서 일반적인 암석의 분류 방법은 구성 광물의 종류, 조직, 입자의 크기, 암석의 색깔에 대한 육안 관찰에 의존할 수밖에 없다. 그러나 육안으로 수행되는 암석 분류 작업은 주관적인 판단과 경험에 의존하여 이루어지기 때문에 결과가 개인마다 다르게 나타날 수 있으며, 복잡한 지질 특성으로 인해 정확한 분류가 어렵고 부정확성을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 최근 이미지 인식과 패턴 인식 등의 연구 분야에 활용되고 있는

딥러닝 기술을 암석 분류에 적용하는 방법에 호기심이 생겼다.

암석 분류에 딥러닝을 적용한 연구논문들인 초중고 교육을 위한 딥러닝 기반 암석 분류기 개발(박진아 외, 2019)과 암석 구분을 위한 딥러닝 모델에 관한 연구(최인빈, 2022)를 조사한 결과, 딥러닝 알고리즘을 암석 분류에 적용하는 방안이 가능함을 확인했다. 그러나 이러한 선행 연구에서 몇 가지 제약과 한계점이 발견되었다. 첫째로, 암석 이미지 데이터셋의 구성에 한계가 있었다. 암석 이미지 데이터셋을 구성하는 과정에서 암석학 전공자가 아닌 컴퓨터 공학 전공자만 참여한 점으로 인해 데이터셋의 구성과 검증 단계에서 암석 이미지의 실제 지질학적 특성을 놓치거나 오분류할 가능성이 있으며, 데이터셋의 품질과 다양성에 제한이 있었다. 둘째로, 이전 연구들에서 언급된 바와 같이 분류 결과의 정확도가 아직 학습 보조 도구로 활용할 만큼 높이 않았다. 딥러닝 모델의 성능을 향상 시키기 위해서 더 많은 데이터 수집과 함께 효과적인 모델 아키텍처의 개발과 적용이 필요했다.

이를 개선하기 위해 다양한 딥러닝 이미지 인식 모델의 원리를 탐구하고 그중에서 가장 적합한 최적의 모델을 찾아 적용하고자 했다. 또한, 암석 분류에 대한 전문적인 지식을 바탕으로 다양하고 검증된 대량의 암석 이미지 데이터를 수집하여 고품질의 데이터셋을 구성하고 이를 활용하여 보다 나은 성능을 가진 암석 분류 모델을 개발하고자 하였다. 최종적으로 이 딥러닝 모델은 학습 보조 도구로 쉽게 활용될 수 있도록 모바일 애플리케이션으로 구현하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

딥러닝은 인공 신경망을 사용하여 데이터로부터 복잡한 패턴과 특징을 학습하고 분류하는 기술이다. 이러한 인공 신경망은 뉴런(노드) 간의 연결과 가중치를 조절하여 입력 데이터를 처리하고 출력을 생성한다.

1. CNN(Convolution Neural Network)

이미지 분류에 주로 사용되는 딥러닝 모델 중 하나는 합성곱 신경망(CNN)이다. CNN은 이미지 처리에 특화된 신경망으로, 이미지의 공간적 구조와 패턴을 파악하기에 뛰어나다.

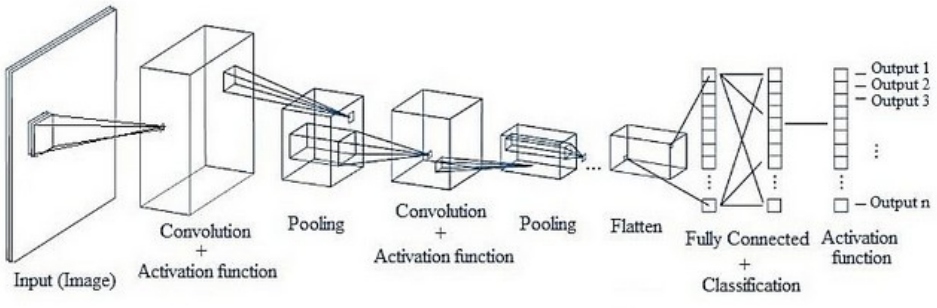


그림 1. CNN 구조

CNN은 이미지의 공간적인 특징을 효과적으로 추출하고 분류, 검출 또는 세분화와 같은 다양한 작업에 활용된다. CNN의 일반적인 구조와 각 레이어의 기능을 알아보면, 입력 레이어(Input Layer)는 입력 데이터(주로 이미지)를 받아들이는 레이어이다. 일반적으로 이미지의 크기와 색상 채널에 맞게 설정된다. 예를 들어, 128×128 크기의 컬러 이미지의 경우 입력 레이어는 128×128×3(가로, 세로, RGB 채널)의 크기를 가진다. 합성곱 레이어(Convolutional Layer)는 합성곱 연산을 수행하는 레이어로 이미지에서 특징을 추출하기 위해 필터(커널)를 사용하며, 이미지를 지역적으로 탐색하여 특징 맵을 생성한다. 각 필터는 입력 이미지의 작은 부분과 연결되며, 이러한 필터를 통해 이미지의 여러 특징(예: 엣지, 질감)을 감지한다. 합성곱 레이어의 필터수 수, 스트라이드(이동거리), 패딩(출력 크기 조정) 등의 하이퍼파라미터로 조절된다. 활성화 함수 레이어(Activation Layer)는 합성곱 레이어의 출력에 비선형성을 추가한다. 주로 ReLU(Rectified Linear Unit) 함수가 사용되며, 음수 입력을 제거하고 양수 입력을 그대로 전달한다. 이러한 활성화 함수는 네트워크가 비선형 관계를 학습하도록 돕는다. 풀링 레이어(Pooling Layer)는 공간 차원을 줄이고 계산 비용을 줄이는 역할을 한다. 일반적으로 최대 풀링 레이어(Max Pooling)가 사용되며, 주어진 영역에서 가장 큰 값을 선택하여 특징 맵을 다운샘플링한다. 풀링 레이어는 위치와 크기에 대한 민감도를 줄여서 특징의 이동과 크기 변화에 덜 민감한 특징을 얻게 한다. 완전 연결 레이어(Fully Connected Layer)는 풀링 레이어를 거친 특징 맵을 펼쳐서(flatten) 하나의 벡터로 만들고, 이를 하나 이상의 완전 연결 레이어에 연결한다. 이 레이어는 높은 수준의 추상적인 특징을 결합하여 입력 데이터의 복잡한 패턴을 학습한다. 주로 분류 작업을 위해 사용된다. 출력 레이어(Output Layer)는 최종 결과를 출력하는 레이어로, 주어진 작업에 따라 다르게 구성된다. 분류 작업의 경우, 출력 레이어는 클래스 수에 따라 뉴런의 수를 설정하고 소프트맥스 함수를 통해 각 클래스에 대한 확률 분포를 출력한다. 회귀 작업의 경우, 출력 레이어는 예측값을 직접 출력한다. 손실 함수(Loss Function)는 모델의 출력과 실제 정답 사이의 차이를 측정하는 함수이다. 분류 작업에서는 교차 엔트로피(Cross-Entropy)나 평균 제곱 오차(Mean Squared Error)와 같은 손실 함수가 사용된다. 손실 함수를 최소화하도록 모델을 학습한다. CNN은 이러한 레이어들의 조합으로 구성(실제로 사용되는 모델은 훨씬 더 복잡하고 깊은 구조를 가질 수 있다.)되며, 학습 데이터를 사용하여 가중치와 편향을 조정하여 주어진 작업에 최적화된 특징 추출과 판별을 수행한다.

2. 데이터의 양과 품질

데이터는 딥러닝 모델 개발의 핵심적이고 결정적인 요소이다. 보통, 딥러닝 모델은 지도 학습(supervised learning) 방법을 기반으로 하며, 이 과정에서 데이터는 입력 데이터로서 원시 이미지(raw data)와 출력 데이터인 레이블링 데이터(labeling data)로 구성된다. 일반적인 이미지 분류 작업에서 데이터 수집은 비교적 쉽게 이루어지지만, 지구과학 분야와 같이 특수한 경우에서는 데이터 수집이 까다로운 경우가 많다. 이러한

어려움을 극복하기 위해 연구자들은 대부분 오픈 데이터셋을 활용한다. 오픈 데이터셋은 딥러닝 학습을 위한 부족한 데이터를 보완할 수 있다는 점에서는 훌륭한 보완책이 될 수 있으나, 데이터의 신뢰성과 품질 문제에 대해서는 주의해야 한다. 따라서 오픈 데이터를 활용할 때에는 데이터 검증을 통해 신뢰성을 확보해야 한다.

데이터 원본을 수집할 때, 다양한 대표성을 가진 데이터를 수집하여 모델이 다양한 상황에서 일반화될 수 있도록 하는 것이 중요하다. 유사한 이미지만을 수집하면 모델 학습에 큰 도움이 되지 않는다. 또한 데이터의 개수 간에 불균형이 발생하지 않도록 주의해야 한다. 불균형이 발생할 경우, 데이터 증강 기술을 활용하여 보완할 수 있다.

3. 데이터 증강(data augmentation)

딥러닝 학습을 위한 데이터의 수집 과정에서 지구과학 분야의 특성상 딥러닝 학습에 사용하기에 데이터가 부족하거나 각 레이블 간 데이터 불균형이 자주 발생한다. 데이터 증강 기법은 소량의 데이터를 바탕으로 컴퓨터 알고리즘을 통해 데이터의 양을 늘리는 기술로서, 데이터 부족 및 불균형 문제를 해결하기 위한 최적의 수단이다. 학습 데이터의 규모는 딥러닝 모델의 성능에 중요한 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 데이터가 부족한 경우 데이터셋의 특징을 잘 반영하지 못하거나 과소적합 및 과적합에 빠질 위험이 증가한다. 또한 레이블 간 데이터의 양이 불균형한 상태에서는 딥러닝 모델의 학습이 데이터가 많은 레이블 쪽으로 편향될 위험이 증가한다. 따라서 데이터 증강 기법을 통해 임의로 데이터의 양을 늘려 부족한 데이터의 양을 보완하거나 레이블 간 데이터의 양의 균형을 맞춰주는 것이 적절하다. 데이터 증강은 기존 영상을 변환하여 증강하는 방법과 새로운 데이터를 생성하여 증강하는 방법으로 구분될 수 있다.

표 1. 이미지 데이터 증식 종류

구분	내용
Scaling	· 원본 이미지 데이터를 크거나 작게 이미지 생성
Translation	· 원본 이미지 데이터를 좌, 우, 상, 하 방향으로 이동하여 이미지 생성
Rotation (at 90 degrees)	· 원본 이미지 데이터를 90도, 180도, 270도로 방향을 전환하여 이미지 생성
Rotation (at finer angles)	· 원본 이미지 데이터를 -90도, -76.15도, -62.31도, -48.46도, -34.62도, -20.77도, -6.92도, 6.92도, 20.77도, 34.61도, 48.46도, 62.31도, 76.15도, 90도로 방향을 전환하여 이미지 생성
Flipping	· 원본 이미지 데이터를 좌우 대칭, 상하 대칭, 치환 대칭으로 이미지 생성
Brightness Adjustment	· 밝기 값을 조절하여 더 밝거나 어두운 이미지 생성
Gamma Correction	· 감마 값을 적용하여 이미지의 명암을 조절하여 이미지 생성
Blurring	· 픽셀 값을 평균화하여 흐릿한 이미지 생성
Sharpening	· 픽셀 값을 강조하여 더 선명한 이미지 생성

기존 영상의 변환을 통해 증강하는 방법은 데이터 증강에서 일반적으로 사용되는 방법으로, 영상의 기하학적 구조는 유지하면서 수학적 변환을 주어 데이터를 늘리는 방법이다. 주로 배율(scale), 이동(translation), 회전(rotation), 뒤집기(flip) 등의 위치적 정보를 변환하는 방법과 영상 밝기(brightness) 및 감마 보정(gamma correction), 블러링(blurring), 샤프닝(sharpening) 등의 픽셀 강도 정보를 기반으로 변환하는 방법 등이 있다. 다양한 변환 방법 및 변환 파라미터 수준을 랜덤하게 적용하여 한 장의 영상으로부터 기하급수적으로 데이터를 증강할 수 있다. 다만, 증강된 모든 영상들은 기하학적 구조가 그대로 유지되기 때문에 데이터의 대표성이 낮고, 이는 모델의 일반화 성능을 떨어뜨릴 수 있다. 하지만 데이터 불균형에서 발생하는 딥러닝 모델의 편향 문제를 일부 방지 가능하다는 점에서 학습에 분명한 도움이 된다는 것은 사실이다.

4. 딥러닝 모델의 학습

데이터셋 구성이 끝난 후 사용할 딥러닝 모델을 선정하고, 학습을 위한 하이퍼 파라미터(hyper parameter)에 따라 학습이 이루어진다. 하이퍼 파라미터는 가중치(weight) 같이 모델이 스스로 설정하고 갱신하는 변수가 아닌, 사람이 직접 설정해 주는 매개변수를 의미한다. 대표적인 하이퍼 파라미터로는 배치(batch)의 크기, 에포크(epochs), 학습률(learning rate) 등이 있다. 이러한 하이퍼 파라미터는 값에 따라 모델의 성능이 크게 좌우될 수 있기 때문에 매우 중요하나, 사람이 직접 결정해야 하기 때문에 많은 경험을 필요로 한다. 따라서 하이퍼 파라미터의 최적값이 존재하는 범위를 좁히면서 찾아내는 것이 효율적이다.

딥러닝 모델의 학습에는 대량의 학습 데이터가 필요하지만, 지구과학 분야에서는 대량의 학습 데이터를 확보하기 어려운 경우가 많다. 이러한 경우, 유용하게 사용될 수 있는 방법이 전이 학습(transfer learning)이다. 전이 학습이란 학습 데이터가 부족한 경우, 데이터가 풍부한 타 분야에서 사전 훈련된 모델을 재사용하는 학습 기법이다.

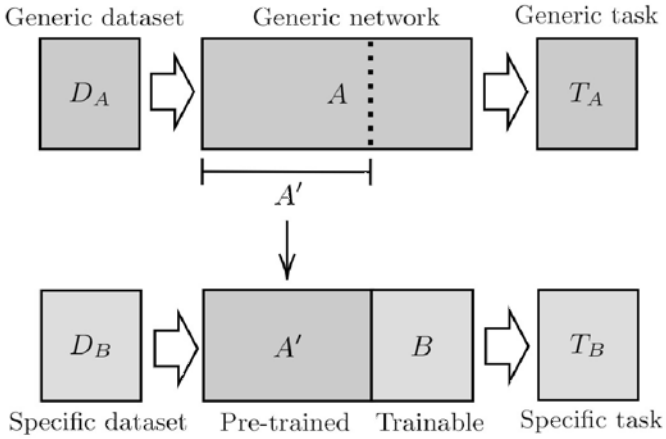


그림 2. 전이 학습

이미지 분류 작업을 수행할 때, 딥러닝 알고리즘을 처음부터 개발하는 대신 이미 학습된 모델을 활용하여 전이 학습하는 것이 효과적인 전략으로 입증되었다. 이러한 전략은 기존의 대규모 데이터셋에서 훈련된 모델의 학습된 특징을 새로운 작업에 전달하므로, 데이터 효율성과 성능 향상을 동시에 달성할 수 있다. 더구나, 전이 학습은 초기 모델 개발 및 훈련에 필요한 시간과 계산 리소스를 크게 절약할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 이로써 연구 및 응용 프로젝트의 효율성을 크게 향상시킬 수 있다.

5. 학습 모델의 검증

학습된 모델을 평가하고 일반화 성능을 확인하기 위해 별도로 구성된 테스트 데이터를 사용하는 것은 중요한 과정이다. 이를 통해 모델이 새로운 데이터에서 얼마나 잘 수행되는지를 판단할 수 있다. 가장 최적의 검증 결과는 모델이 학습 데이터와 유사한 성능을 테스트 데이터에서도 보이는 것이다. 그러나, 테스트 데이터에서의 결과가 학습 데이터와 다르게 나타날 경우, 모델이 학습 데이터에 과적합 되었을 가능성이 있다. 테스트 데이터가 충분하지 않거나 한정적인 경우, 모델의 일반화 성능을 정확하게 평가하기 어려울 수 있다. 이때 고려할 수 있는 방법이 교차검증이며, 대표적으로 사용되는 교차검증 방법은 K-fold 교차검증이다. 이는 데이터셋을 여러 부분으로 나눈 다음, 각 부분을 순서대로 검증 데이터로 사용하고 나머지 부분을 훈련 데이터로 사용하여 모델을 여러 번 훈련하고 검증하는 방법이다. 예를 들어, 5-fold 교차 검증의 경우 데이터를 5개의 하부집합으로 나누고, 5번째 하부집합을 검증에 사용하며 나머지 4개의 하부 집합을 훈련에 사용한다. 이를 5번 반복하여 모델을 평가하고 각 반복의 결과를 평균하여 최종 성능을 측정한다. 이 방법은 모델의 성능을 더 정확하게 평가하고, 특히 데이터가 제한적인 경우에 유용하다. K 값은 5 또는 10과 같은 일반적인 값을 사용하며, 적절한 K의 선택은 데이터의 특성과 모델의 복잡성을 고려하여 결정된다.

6. 딥러닝 모델의 경량화

딥러닝 모델은 학습 과정에서뿐만 아니라 서비스 활용 시에도 많은 양의 연산이 필요하고, 이를 위해서는 GPU 기반의 고성능 컴퓨팅 파워가 요구된다. 그럼에도 불구하고 실시간 처리가 필요하거나 모바일 환경과 같이 리소스 사용에 제한이 있는 경우에는 딥러닝 모델을 활용하기 위한 자원이 부족할 가능성이 높다. 이에 최근에는 모델 경량화를 통해 저 사양의 환경에서 적은 연산으로도 정확도를 유지하면서 딥러닝 모델을 학습하고 구동할 수 있는 경량화 기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

딥러닝 모델의 경량화를 위해 가장 먼저 고려되는 방법은 효율적인 네트워크 구조 및 합성곱 필터 등이 효율적으로 설계된 딥러닝 모델을 활용하는 것이다. 잔여 블록이나 병목 블록, 밀집 블록 등의 구조 변경을 통해 연산량과 파라미터 수를 줄인

신경망 모델을 활용하는 것으로, ResNet, DenseNet, SqueezeNet 등의 모델이 있다. 또한 채널별로 합성곱을 수행하고, 점별로 연산을 나누어 연산량과 파라미터를 줄인 모델을 활용할 수 있으며, MobileNet, ShuffleNet 등이 있다.

Ⅲ. 연구 방법 및 절차

중·고등학교 교육과정에서 다루는 암석을 분류할 때, 암석의 표면과 구성 성분 등 다양한 특징을 분류 기준으로 사용할 수 있지만, 시각적으로만 관찰하여 직관적으로 분류하는 것은 쉽지 않다. 이러한 이유로 본 연구는 암석을 이미지로만 분류하는 암석 분류기를 개발하기 위한 목적으로 수행되었다. 이를 위하여 본 연구에서 수행한 연구의 절차는 그림 3과 같다.

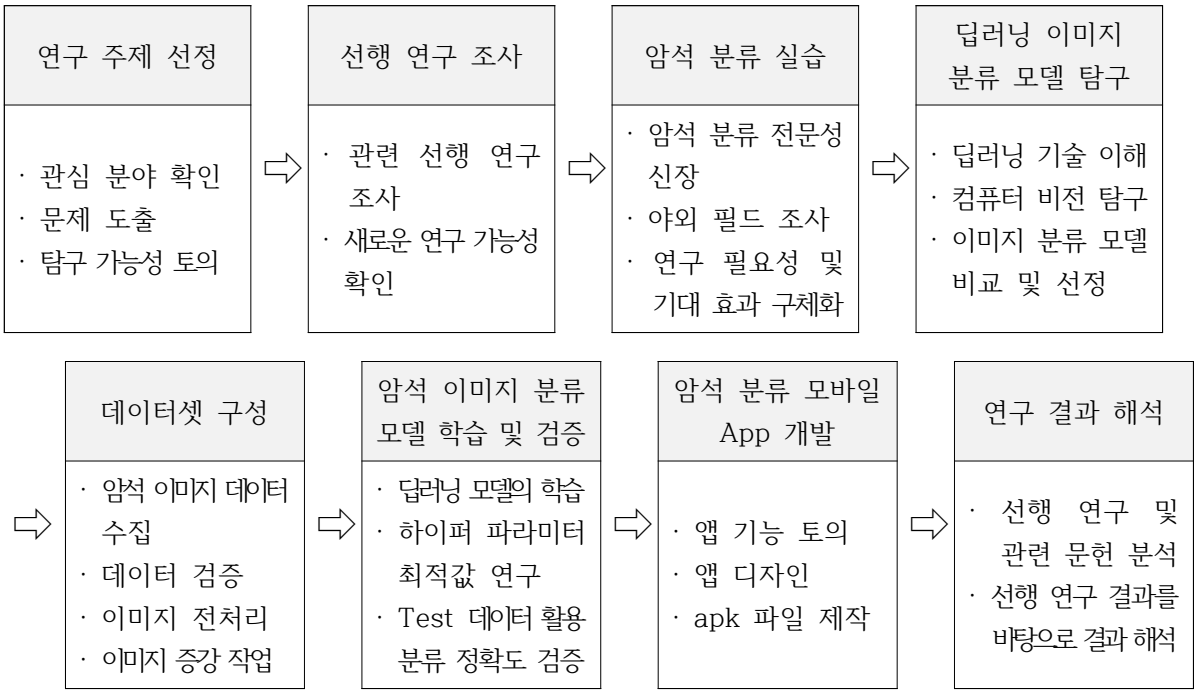


그림 3. 연구의 수행 절차

1. 연구 주제의 선정

본 연구의 주제를 선정하기 위해 사사 과정에 참여한 학생 5명, 지도교수, 교사 및 조교와의 토의를 실시하였다. 지구과학 분야의 관심사를 기반으로 딥러닝 기술을 활용할 수 있는 연구 주제를 논의하였다. 육안으로 수행되는 암석 분류 작업의 어려움과 부정확성을 개선하고자, 딥러닝 기술을 활용한 암석 분류를 최종 주제로 선택하였다. 연구의 범위를 명확히 하기 위해 중·고등학교 교육과정에서 다루는 암석 18종(화성암 6종, 변성암 6종, 퇴적암 6종)으로 연구 대상을 한정하였다. 암석을 이미지만으로 분류할 수 있는 딥러닝 모델을 개발하고, 이를 모바일 애플리케이션으로 구현하자는 제안에 따라 연구 계획을 수립하였다.

2. 선행 연구 조사

선정된 연구 주제를 탐구하기 위해 딥러닝 기술을 활용한 이미지 분류와 관련된 여러 선행 연구를 알아보고자 하였다. 이를 위하여 다양한 딥러닝 알고리즘, 컴퓨터 비전 기술과 이미지 처리, 이미지 분류 작업에 적용 가능한 딥러닝 모델, 관련된 연구 및 프로젝트에서 딥러닝을 사용하여 암석 분류를 수행한 사례 등에 관한 문헌 조사를 하였다. 이를 통해 다양한 딥러닝 알고리즘의 원리, 특성 및 적용 가능성을 이해하고 컴퓨터 비전 기술과 이미지 처리에 대한 기초 지식을 습득하였다. 또한, 이미지 전처리, 특징 추출 및 데이터 증강 등의 기술을 탐구하고, 이미지 분류 작업에 적용 가능한 딥러닝 모델 조사를 통해 VGG, ResNet, Inception 등의 아키텍처를 분석하고 모델 선택의 기준을 고려했다. 기존 연구의 성과와 한계를 파악하는 선행 연구 조사를 통해 연구 주제를 더 잘 이해하고 연구 계획을 더 구체화할 수 있었다.

3. 암석 분류 실습

암석 분류의 전문성을 갖춰 보다 신뢰도 높은 암석 이미지 데이터셋을 구성하기 위해 암석 분류 체계를 이해하고 암석 조직 및 광물 조성을 관찰하며 암석 유형의 특징과 특성을 탐구했다. 또한, 암석의 색상, 반사율, 투과도, 광학적 무늬 등 광학적 특성을 관찰하며 암석을 비교하고 서로 다른 암석 유형 간의 차이를 이해했다. 많은 연습과 관찰을 통해 암석을 더 잘 구별할 수 있게 되었지만, 여전히 암석 육안 분류의 어려움과 부정확성이 존재함을 확인했다.

그림 4. 암석 분류 실습 과정

4. 딥러닝 이미지 분류 모델 탐구 및 선택

Convolutional Neural Networks(CNNs)은 컴퓨터 비전 작업을 위한 딥러닝 모델로 널리 사용되며, 다양한 변형과 아키텍처가 개발되었다. 주요 CNN 모델들은 오픈 소스로 제공되어 무료로 사용 가능하며 연구 및 개발 커뮤니티에 널리 공유되고 있다. Google Colab과 오픈 소스를 활용하여 기본적인 CNN의 구조를 이해하고 이를 기반으로 다양한 CNN 모델을 탐구하고 비교하였다. 몇 가지 CNN 모델의 종류와 특징은 다음과 같다.

① LeNet-5: 1990년대에 개발된 최초의 CNN 아키텍처 중 하나이다. 주로 숫자 인식과 같은 간단한 이미지 분류 작업을 위해 사용되었다.
② AlexNet: 2012년 ILSVRC 대회에서 큰 성과를 거두었고, CNN의 부활을 이끈 모델 중 하나이다. 큰 규모의 이미지 데이터셋에서 이미지 분류 작업을 수행하는 데 사용된다.
③ VGGNet: 모델의 깊이에 초점을 맞춘 아키텍처로, 매우 깊은 레이어를 갖는 특징을 가지고 있다. 다양한 변형이 있으며, 주로 이미지 분류 작업에 사용된다.
④ GoogLeNet(Inception): Inception 모듈을 도입하여 더 효율적인 계산과 깊이를 달성하였다. 더 적은 파라미터로 더 깊은 네트워크를 구성할 수 있도록 도와주었다.
⑤ ResNet(Residual Network): 깊은 네트워크에서 발생하는 그래디언트 소실 문제를 해결하기 위해 잔차 연결을 도입한 아키텍처이다. 매우 깊은 네트워크를 효과적으로 학습할 수 있도록 하였다.
⑥ MobileNet: 경량 모델로, 모바일 및 임베디드 환경에서 사용하기 위해 설계되었다. 작은 모델 크기와 빠른 추론 속도를 가지며, 이미지 분류 및 객체 감지와 같은 작업에 사용된다.
⑦ Xception: 깊이별 분리 합성곱(depthwise separable convolution)을 도입하여 모델을 더 효율적으로 만든 아키텍처이다. 파라미터 수를 줄이고 성능을 향상시켰다.

그림 5. CNN 모델의 종류와 특징 분석

이 외에도 다양한 CNN 아키텍처와 변형이 존재하며, 특정 작업 또는 제한된 자원 환경에 따라 가장 적합한 모델을 선택할 수 있다. CNN 모델의 선택은 주어진 작업과 데이터에 따라 달라질 수 있으며, 최신 연구 및 응용에 따라 새로운 모델이 개발되고 있다. 본 연구에서는 여러 CNN 모델들을 비교한 결과, 고성능 디바이스 환경이 아니더라도 이미지 분류와 객체 감지 작업을 빠른 속도로 수행할 수 있으면서도 전력 소모를 최소화하고 향후 연구 및 개발 동향에 대응하여 지속적으로 업데이트 및 확장 가능성이 있는 MobileNet_v2를 이미지 분류 모델로 사용했다.

5. 데이터셋 구성

딥러닝을 활용한 암석 분류를 위한 핵심 단계 중 하나는 신뢰성 있는 암석 이미지 데이터셋을 구성하는 과정이다. 대량의 암석 이미지 데이터를 확보하기 위해 야외 조사 활동(김제 금산사, 완주군 왜목치 주변), 전북대학교 과학관 옥상 암석원, 자연과학대학 야외 암석 공원, 자연사박물관, 지구과학 실험실 암석 샘플 등에서 직접 암석 이미지 데이터를 수집한 것과 함께 인터넷 검색 및 Kaggle 사이트와 같은 오픈 데이터도 활용했다.

그림 6. 야외 조사 활동

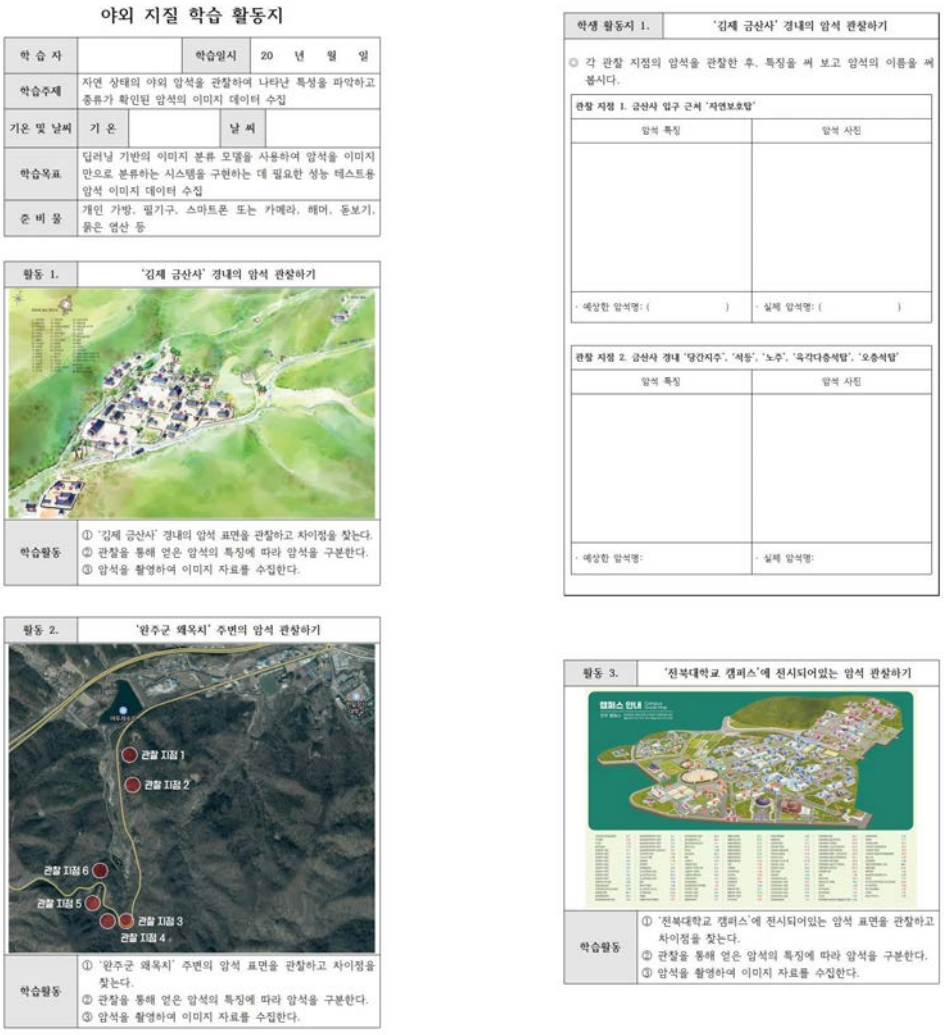


그림 7. 야외 지질 학습 활동지

인터넷 검색 및 오픈 데이터 활용은 딥러닝 학습에 부족한 데이터를 보완할 수 있다는 점에서는 훌륭한 보완책이 될 수 있으나, 데이터의 퀄리티 및 신뢰성에 대한 문제점이 있다. 따라서 데이터의 정확성과 신뢰성을 높이기 위해 암석 전문가들과 협력하여 데이터를 수집하고 검증하였다. 전문가들의 지식과 피드백은 데이터셋을 개선하고 학습 모델의 성능을 향상시키는 데 중요한 역할을 하였다. 또한, 수집한 암석 이미지에 대한 다양한 변환(수평 뒤집기, 수직 뒤집기, 회전 및 크기 조정 등)을 적용하여 데이터셋을 확장하였다. 이러한 데이터 증강 기법은 학습 데이터의 다양성을 증가시키고 모델의 일반화 능력을 향상시키는데 도움이 되었다.

아래 그림 8은 데이터셋에 있는 18가지 유형의 암석 이미지의 예를 보여준다.

그림 8. 데이터셋에 있는 암석 이미지의 일반적인 예

총 5,001개의 암석 이미지가 데이터셋을 만드는 데 사용되었다. 이미지는 학습 데이터셋와 테스트 데이터셋 간의 비율이 약 9:1로 무작위로 선택된다. 구체적으로 훈련 데이터셋에는 4,242개의 이미지가 있고 테스트 데이터셋에는 759개의 이미지가 있다. 각 암석 유형에 대한 훈련 및 테스트 데이터셋의 수는 표 2에 나열되어 있다.

표 2. 암석의 이미지 분류를 위한 데이터셋

암석 종류	이미지 수	훈련 데이터	테스트 데이터
Andesite(안산암)	277	235	42
Basalt(현무암)	237	201	36
Conglomerate(역암)	273	232	41
Diorite(섬록암)	279	237	42
Gabbro(반려암)	274	232	42
Gneiss(편마암)	349	296	53
Granite(화강암)	255	216	39
Halite(암염)	311	264	47
Limestone(석회암)	248	210	38
Marble(대리암)	318	270	48
Mudstone(이암)	246	209	37
Phyllite(천매암)	236	200	36
Quartzite(규암)	404	343	61
Rhyolite(유문암)	249	211	38
Sandstone(사암)	219	186	33
Schist(편암)	324	275	49
Shale(셰일)	247	209	38
Slate(점판암)	255	216	39

다양한 대표성을 띠는 데이터를 수집하여 추후 학습된 모델이 일반화 될 수 있도록 하였다. 또한 수집된 데이터의 개수 간의 불균형이 일어나지 않도록 데이터 증강을 통해 보완해 주었다. 이렇게 균일하게 분포된 암석 이미지 데이터셋은 모델의 식별 정확도와 일반화 능력을 향상시키는데 기여하였다.

6. 암석 이미지 분류 모델 학습 및 검증

MobileNet은 경량화된 딥러닝 모델로서, 모바일 기기나 리소스가 제한된 환경에서도 효율적으로 사용할 수 있도록 설계된 모델이다. 암석 이미지 분류 모델을 학습하는 과정은 일반적인 딥러닝 모델 학습과 유사하지만, MobileNet 특유의 아키텍처와 최적화 기술을 활용하여 모델의 크기와 계산 비용을 최소화하는 데 중점을 둔다.

MobileNet_v2를 사용한 암석 이미지 분류 모델 학습을 하기 전에 가장 먼저, 수집한 암석 이미지 데이터셋을 레이블링(labeling)한다. 암석 이미지 데이터셋은 훈련 데이터셋과 테스트 데이터셋으로 구분된다. 암석 이미지 분류 모델은 전체 연결 계층의 입력으로 컨볼루션 연산과 풀링 연산을 통해 고급 특징을 추출하며, 이러한 특징을 기반으로 훈련 데이터셋 내에서 이미지를 효과적으로 분류하는 데 사용된다. 이 과정에서 사전 훈련된 가중치를 활용한 전이 학습(transfer learning) 방법을 채택하여 암석 특성의 학습 능력을 향상시키는 데 주안점을 두었다. 최종적으로, 이러한 학습 과정을 통해 훈련된 모델을 테스트 데이터셋을 활용하여 검증하였다. 이를 통해 암석 이미지 분류 모델의 성능을 평가하고 분류 작업을 성공적으로 완료하였다. 본 연구에서 사용한 PC의 성능과 플랫폼은 표 3과 같다.

표 3. 사용한 PC 성능 및 플랫폼

OS	Windows 11
GPU	NVIDIA GeForce RTX 4080
CPU	AMD Ryzen 7 5800X3D 8-Core Processor 3.40GHz
RAM	32.0GB
Platform	Teachable Machine

네트워크 모델의 성능을 향상시키기 위해 하이퍼파라미터(학습률, 배치 크기, 에포크 수 등)를 조정하거나, 데이터 증강(Data Augmentation)을 적용할 수 있다. 모델의 가장 좋은 성능을 위해 하이퍼파라미터를 조정하여 여러 번의 학습을 진행하였고, 가장 분류 정확도가 높은 모델을 최종 선택하였다. 가장 정확도가 높은 모델의 하이퍼파라미터는 모델 반복 3,000 epoch이며 배치 크기는 16, 학습 속도는 0.001이었다. 학습에 총 1시간 26분이 소요되었다. 그림 9를 보면 300회 반복 후 훈련 데이터셋에서 MobileNet_v2의 손실 값은 약 0.05로 안정화되어 분류 모델이 암석 특징을 추출할 수 있음을 나타냈다. 테스트 데이터셋을 사용하여 모델의 정확도를 검증한 결과, 평균 정확도는 약 85.1 %에 도달하였다.

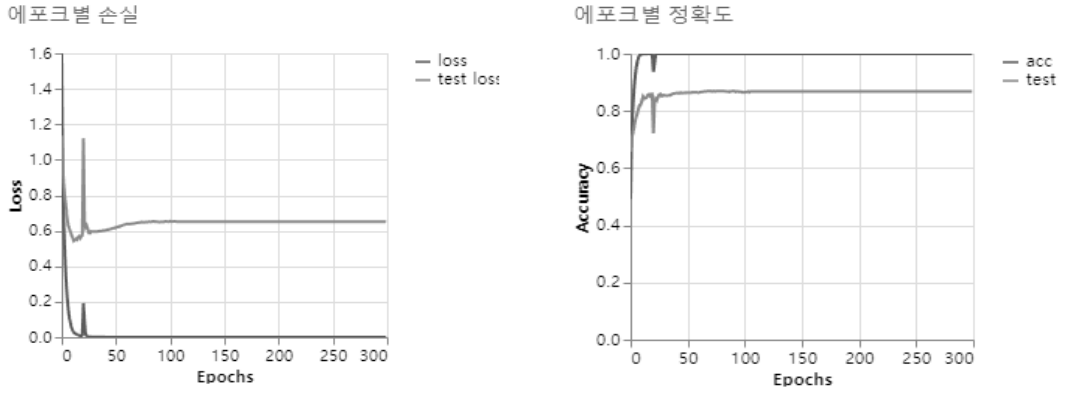


그림 9. 데이터셋의 수렴 손실 및 정확도 곡선

7. 암석 분류 모바일 애플리케이션 개발

학습된 암석 이미지 분류 모델을 야외 체험학습이나 지질 연구 현장 등에서 편리하게 활용하기 위해서 모바일 애플리케이션으로 구현하였다. 암석 이미지 분류 시스템은 사용자가 분류를 원하는 암석 이미지 데이터를 시스템에 입력하면 딥러닝 분류 모델로 전달하고, 모델이 검지한 암석명과 정확도를 사용자에게 결과로 나타낸다. 시스템에서 가장 중요한 부분은 원하는 검출 결과를 사용자에게 정확하게 전달하는 것이지만, 사용자가 원하는 결과를 얻기 위해 너무 많은 시간을 소요하게 된다면 시스템이 현장에서 실질적으로 활용될 수 없다. 따라서 처리 속도 또한 시스템의 적합성을 평가하는 중요한 요인이다. 경량화된 딥러닝 모델인 MobileNet은 암석 이미지 분류를 수행하는데 적은 리소스를 필요로하기 때문에 스마트폰과 같은 모바일 기기에서도 빠르고 효율적인 추론이 가능하다. Google Teachable Machine에서 학습한 MobileNet_v2 모델을 웹 페이지로 포함하는 HTML 파일과 해당 웹 페이지를 제어하는 JavaScript 및 CSS 파일을 생성하여, WebView를 통해 사용자가 카메라 액세스 및 이미지 업로드 기능을 이용해 암석 이미지 분류 모델을 사용할 수 있다.

학습 및 테스트가 완료된 모델을 사용하여 개발한 안드로이드 애플리케이션의 실행 화면은 그림 10과 같다. 이 애플리케이션은 모바일 기기에 내장된 카메라를 활용하여 구별하고 싶은 암석의 표면을 촬영하거나 저장된 암석 이미지를 업로드할 수 있다. 그 결과, 이미지 하단에 학습된 모델이 예측한 암석의 이름과 해당 암석에 대한 확률이 표시된다. 그림 10에서 실제 모바일 기기로 촬영된 암석은 섬록암(Diorite)이며 약 93 %의 확률로 섬록암일 것으로 예측한 화면을 나타낸다.

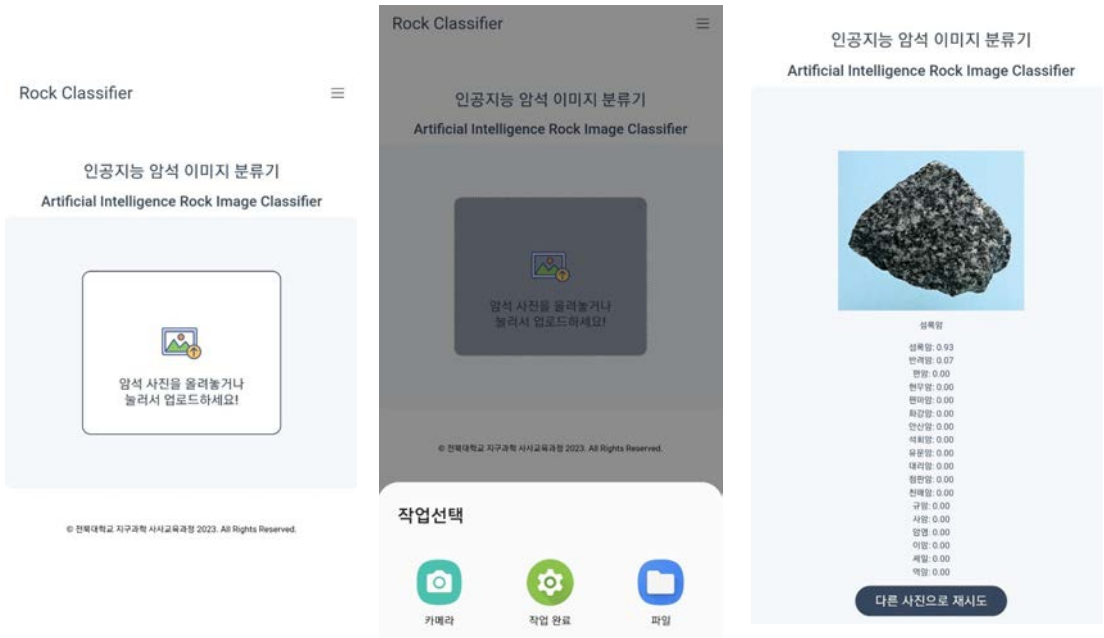


그림 10. 암석 분류 애플리케이션 인터페이스 및 실행 화면

Ⅳ. 연구 결과

암석의 이미지를 통해 학습된 모델의 암석 분류 성능을 테스트하기 위해 학습에 사용하지 않은 임의의 암석 이미지를 이용하여 분류 성능을 측정하였다. 이 테스트 데이터셋을 통해 암석 18종(화성암 6종, 변성암 6종, 퇴적암 6종)에 대하여 모델의 암석구별 및 분류 성능을 실험한 결과는 표 4와 같다.

표4. 모델의 테스트 데이터셋 실험 결과

Class	Accuracy(%)
Andesite(안산암)	88
Basalt(현무암)	83
Conglomerate(역암)	83
Diorite(섬록암)	81
Gabbro(반려암)	86
Gneiss(편마암)	96
Granite(화강암)	85
Halite(암염)	91
Limestone(석회암)	89
Marble(대리암)	75
Mudstone(이암)	89
Phyllite(천매암)	81
Quartzite(규암)	84
Rhyolite(유문암)	82
Sandstone(사암)	91
Schist(편암)	80
Shale(셰일)	74
Slate(점판암)	95

표 4는 Teachable Machine을 활용한 암석 분류의 정확도를 나타냈다. 안산암은 88%, 현무암과 역암은 83%, 섬록암과 천매암은 81%의 정확도를 보였고, 반려암은 86%, 편마암은 96%의 정확도를 나타냈다. 화강암은 85%, 암염은 91%, 석회암과 이암은 89%의 정확도를 나타냈고 대리암은 75%, 천매암은 81%의 정확도를 나타냈다. 규암은 84%, 유문암은 82%, 사암은 91%, 편암은 80%를 나타냈고 셰일은 74%, 점판암은 95%의 정확도를 나타냈다. 가장 높은 정확도를 나타낸 암석은 정확도 96%의 편마암이었고, 가장 낮은 정확도를 나타낸 암석은 정확도 74%의 셰일이었다. Teachable Machine을 활용해 분류한 암석 18종의 평균 정확도는 85%로 상당히

높은 수준이다. 특히, 현무암, 역암, 화강암, 암염과 같이 특징적인 외관, 고유한 색상, 큰 구조적 특징, 뚜렷한 질감을 가지고 있는 암석들의 분류 정확도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 반면, 표면의 질감, 색상 및 무늬가 다른 암석과 유사하게 나타날 수 있는 섬록암, 대리암, 천매암, 셰일은 구별에 혼동을 겪어 분류 정확도가 상대적으로 낮게 측정되는 것으로 분석하였다. 정확도가 가장 높게 나온 편마암은 모델을 학습시킬 때 사용한 훈련 데이터와 테스트 데이터의 양이 많아 정확도가 높게 나온 것으로 확인되었고, 그에 반해 정확도가 가장 낮게 나온 셰일은 모델을 학습시킬 때 사용한 훈련 데이터와 테스트 데이터의 양이 적어 정확도가 낮게 나온 것으로 확인되었다. 또한 암석 분류 정확도가 99% 가까이 높지 않은 이유는 암석의 이름은 암석명이 아닌 '암형명'이기 때문이다. 즉, 어떤 두 암석의 중간단계에 있는 암석이 수없이 많이 존재하기 때문에 그 구분이 모호해 암석 분류의 정확도는 99% 가까이 높지 않았다. 그림 11은 모델의 혼동행렬을 보여준다.

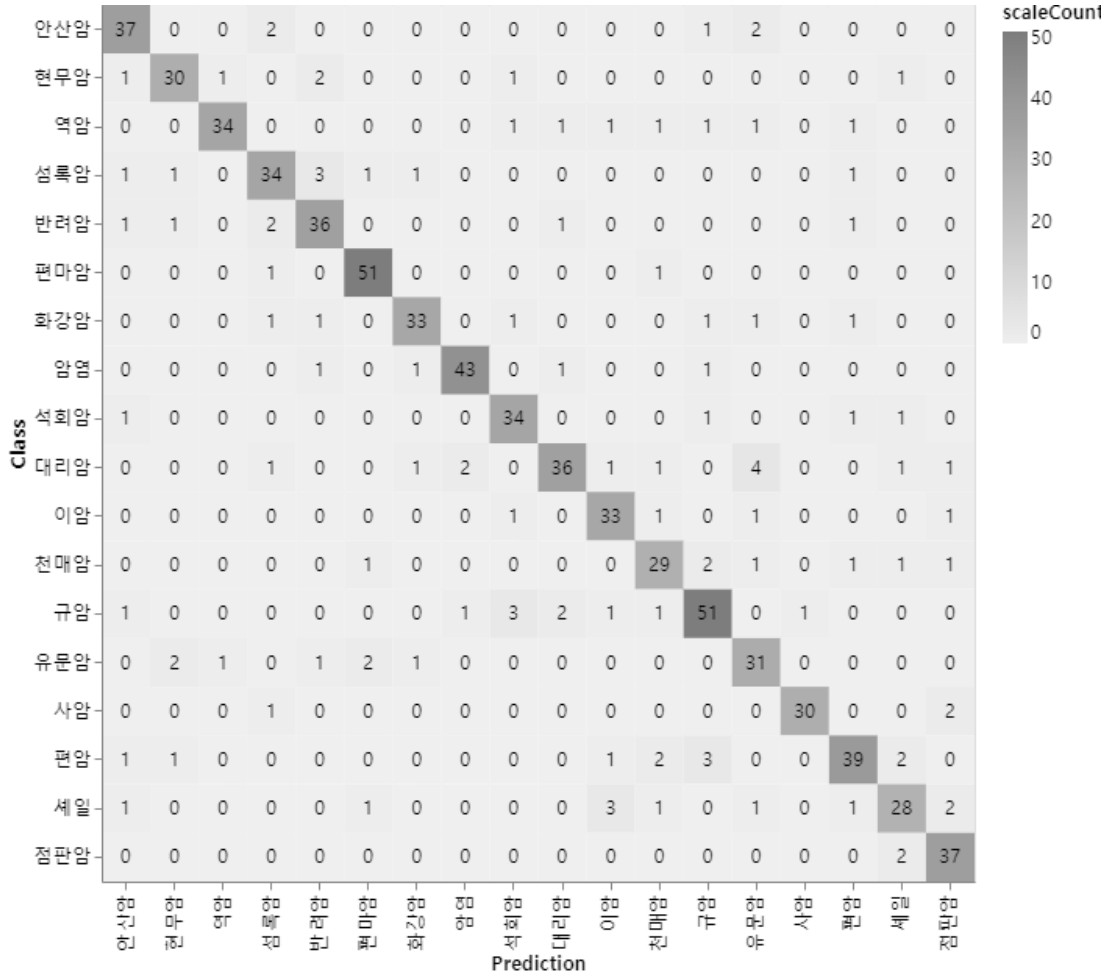


그림 11. 암석 이미지 분류 모델의 혼동 행렬

학습된 MobileNet_v2 기반 암석 이미지 분류 모델은 총 42개의 안산암 테스트 데이터 중 37개를 정확히 안산암으로 예측하여 정확도 88 %를 보였다. 그러나 4개의 테스트

데이터는 섬록암 또는 유문암으로, 1개의 테스트 데이터는 규암으로 잘못 혼동하여 식별하였다. 가장 높은 예측 정확도를 보인 편마암은 테스트 데이터 53개 중 51개를 정확히 편마암으로 예측하였고, 가장 낮은 예측 정확도를 보인 셰일은 36개의 테스트 데이터 중 3개를 이암으로 잘못 식별하였다. 섬록암을 반려암으로 잘못 식별할 확률은 7.1％였고, 대리암을 유문암으로 잘못 식별할 확률은 8.3％였다. 이러한 결과를 통해 실제 육안 분류 과정에서 혼동이 발생하는 암석들을 학습된 모델도 혼동하고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 그 외의 암석에 대한 식별 정확도는 85% 이상이며, 18종의 암석 중 14종의 암석은 상대적으로 높은 정확도로 식별되었다. 혼동 행렬을 통해 모델의 성능을 정량화하고 실제 확률값을 도출할 수 있었다. 이러한 수치는 실제 모델의 성능에 따라 달라질 수 있으며, 모델의 성능 향상을 위해 더 많은 학습 데이터 추가나 학습률, 에포크 수, 가중치 조정 등의 작업이 필요함을 알 수 있었다.

Ⅴ. 결론 및 제언

본 연구에서는 암석 분류 정확도와 효율성을 개선하기 위해 딥러닝을 활용하여 암석 이미지 분류 시스템을 개발하였다. 이를 위해 TensorFlow 기반의 CNN 모델 중 하나인 MobileNet_v2를 사용하여 총 5,001장 암석 이미지를 학습시켰다. 이 모델을 활용하여 중·고등학교 지구과학 교육 과정에서 다루는 18종의 암석 이미지를 분류할 수 있는 시스템을 구현하고, 학습된 모델을 스마트폰에서 실행 가능한 응용프로그램으로 개발하였다. 실험 결과를 통해 학습된 모델의 분류 성능을 평가한 결과, 학습되지 않은 테스트 데이터를 이용한 실험에서 평균 분류 정확도가 약 85％를 초과하는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구의 모델은 선행 연구의 결과보다 우수한 성능을 가지며, 실제로 사용 가능한 인식률을 가지고 있다는 결론을 내릴 수 있었다.

암석의 육안 분류 정확도에 관한 선행연구 논문의 결과와 본 연구의 결과를 비교하였다. 예비 과학 교사들의 화성암 육안 분류 능력(문병찬 외, 2005) 연구에서 36명의 예비 과학 교사들을 대상으로 화성암의 육안 분류 능력을 조사하였다. 그 결과 표면의 특징이 뚜렷한 현무암은 100％의 분류 정확도를 보였지만, 화강암 62％, 안산암 62％, 반려암 44％, 섬록암 7％, 유문암은 옳게 분류한 예비 과학 교사가 한 명도 없었다. 암석의 종류에 따라 육안 분류 정답률이 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 예비 과학 교사들의 암석에 대한 이해 수준에 따른 육안 분류 능력(박경진 외, 2014) 연구에서 예비 과학 교사 132명에게 17종(화성암 6종, 퇴적암 5종, 변성암 6종)을 분류하도록 하였다. 암석에 대한 이해 수준이 상대적으로 높은 숙달 집단의 경우 평균 70.6％의 분류 정확도를, 암석에 대한 이해 수준이 상대적으로 낮은 미숙달 집단의 경우 54.1％의 분류 정확도를 보였다. 관찰 경험의 부족으로 과학 교사들 조차 암석명을 정확하게 분류하는 것을 어려워한다는 여러 연구와 유사한 결과를 보였다. 이러한 결과와 비교했을 때, 딥러닝 모델은 암석 분류 작업에서 다양한 암석 유형을

구별하는 데 활용 가능한 성능을 갖추고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 좀 더 데이터가 보완된다면 이 모델은 사용자의 암석에 대한 이해 수준과 관계없이 상대적으로 일관된 분류 정확도를 보이므로, 누구나 쉽게 사용할 수 있는 신뢰성 있는 도구로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구를 통한 결과에서 섬록암, 대리암, 천매암, 셰일의 분류 성능이 비교적 낮은 것으로 확인할 수 있는데, 이는 해당 암석 이미지 데이터를 더 수집하여 학습 데이터셋의 양을 추가하고 학습 환경과 모델의 계산과정을 개선한다면 분류 성능이 더욱 높아질 것으로 기대한다. 뿐만아니라, 본 연구의 MobileNet_v2를 기반으로 한 암석 이미지 분류 모델과 경량 컨볼루션 신경망으로 훈련된 더 많은 모델을 비교하여 최적의 모델을 선택하고, 더 많은 암석 종류를 추가하여 암석 이미지 데이터셋의 다양성과 수량을 늘린다면 암석 분류 시스템은 더 다양한 연구 분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Ⅵ. 참고 문헌

김영재, 김광기(2010). 의료 영상에 최적화된 딥러닝 모델의 개발, 대한영상의학회지, 81(6), 1274-1289

문병찬, 정진우, 정철환(2005). 예비과학교사들의 화성암 육안분류 능력, 한국지구과학회지, 26(7), 630-639

박경진, 조규성(2014). 예비 과학교사들의 암석에 대한 이해수준에 따른 육안분류 능력, 한국지구과학회지, 35(6), 467-483

박진아, 용환승(2019). 초중고 교육을 위한 딥러닝 기반 암석 분류기 개발, 한국소프트웨어감정평가학회 논문지, 15(1), 63-70

최인빈(2022). 암석 구분을 위한 딥러닝 모델에 관한 연구, 석사학위논문, 배재대학교, 대전

Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton(2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks, In NIPS 25

Alexander Kolesnikov, Lucas Beyer, Xiaohua Zhai, Joan Puigcerver, Jessica Yung, Sylvain Gelly, Neil Houlsby(2020). Big Transfer (BiT) General Visual Representation Learning, https://arxiv.org/abs/1912.11370

Keiron O'Shea, Ryan Nash(2015). An Introduction to Convolutional Neural Networks, https://arxiv.org/abs/1511.08458

Matthew D Zeiler, Rob Fergus(2013). Visualizing and Understanding Convolutional Networks, https://arxiv.org/abs/1311.2901

Weihao Chen, Lumei Su, Xinqiang Chen, Zhihao Huang(2022), Rock image classification using deep residual neural network with transfer learning, https://doi.org/10.3389/feart.2022.1079447

Zhenhao Xu, Wen Ma, Peng Lin, Heng Shi, Dongdong Pan, Tonghui Liu(2021). Deep learning of rock images for intelligent lithology identification, https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104799

지구과학

02_흑점 관측으로 태양의 자전 주기 구하기

흑점 관측으로 태양의 자전 주기 구하기

백지원 (탕정중학교 2학년)
원이루 (관저중학교 2학년)

지도교수 : 김칠영 (국립공주대학교 지구과학교육과)

초록

지구는 태양에 대하여 공전과 자전을 하며, 그로 인하여 계절의 변화와 밤낮의 변화가 일어나고 태양계의 중심인 태양도 자전을 한다. 태양을 직접적으로 관찰을 하여 태양에 있는 흑점을 이용을 하면, 태양의 자전주기를 구할 수 있다. 직시법을 이용하여 직접 태양의 흑점의 이동을 관찰하였고, 또한 측정된 데이터를 이용하여 일평균 회전각으로 구한 회합 자전주기는 평균 27.9일로 계산되었다. 회합 자전주기로부터 구한 실제 자전 주기는 25.9일로 최종 계산되었으며, 기존 문헌에 나온 실제 자전주기 25 ~ 35일로 나오는 측정값과 일치하였다. 학업으로 현상으로만 배웠던 결과를 실험과 계산으로 실제 측정과 계산으로 증명하게 된 결과를 얻었다.

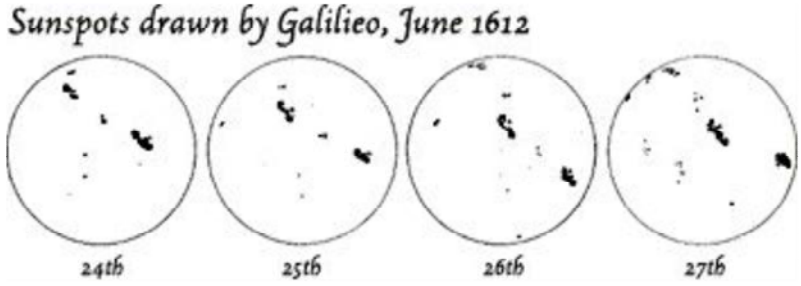
Ⅰ. 서론

우리가 살고 있는 지구는 태양에 대하여 공전하면서, 또한 지구중심에 대하여 자전을 한다. 공전주기는 1년이고, 자전주기는 하루인데, 그로 인하여 계절의 변화와 밤낮의 변화가 일어난다. 그렇다면 태양계의 중심인 태양도 자전을 할까? 자전을 한다면 그 주기는 얼마나 될까? 또한 그 자전주기는 어떻게 구할까? 이러한 의문이 들며, 이 의문은 과거부터 수많은 과학자들이 관찰하고 연구하였다. 이런 기존 방법을 이용하여 실제로 태양을 관찰하고, 현대의 관찰 방법까지 포함하여 직접적으로 태양의 자전주기를 구해보려고 한다.

Ⅱ. 이론적 배경

현재 태양계로 불리는 천체에 대한 회전 중심에 대한 논쟁은 천동설[1]과 지동설[2]을 바탕으로 오래전부터 있었다 코페르니구스가 지동설을 설명하기 전에는 천동설이

주된 사상이었는데, 천동설은 지구는 우주의 중심에 고정되어 있고, 하늘의 모든 천체들이 지구 주위를 회전한다는 이론이다. 이는 대표적으로 아리스토텔레스의 동심원 모델로 설명을 하였으며, AD 150년 프를레마이오스는 [알마게스트]의 저술로 행성의 시운동을 나름대로 설명을 하였으며 지구를 우주의 중심으로 보는 당시 종교 세계관의 지지를 받았다. 그런데 화성과 같이 천구상에서 방향을 바꾸는 행성의 운동을 설병하기 위해 행성의 운동을 하나의 원이 아니라 여러개의 원으로 설명함으로써, 천구에서의 행성의 운동이 매우 복잡하였다. 반면, 코페르니쿠스와 케플러에 의해 관측을 바탕으로 태양 중심의 지동설이 제안되었고 이는 태양이 우주의 중심에 위치하고, 지구와 행성들이 태양의 주위를 회전한다는 이론이다. 코페르니쿠스는 1543년 [천구의 회전에 관하여]라는 저서를 통해 화성의 역행과 내행성의 시운동 특징을 설명하였고, 케플러는 1618년 [케플러의 법칙]을 통하여 행성 관측자료를 해석하고 행성의 공정운동을 증명하였다. 이는 갈릴레오 갈릴레이를 통하여 1632년 [천문대화]라는 저서를 통해 천체의 관측을 통해 지동설을 보충 설명하며 지동설을 증명하게 되었는데, 관측은 총 4가지로 나타났으며, 첫 번째는 달 표면의 산맥과 분화구를 관측함으로써 달 표면은 매끈하지 않고 불완전한 존재였고 두 번째는 금성의 위상변화를 관측으로 천동설로는 설명이 불가능한 사실을 알아내었다. 세 번째는 목성의 4대 위성을 발견함으로써 천체의 회전중심은 지구뿐이라는 천동설에 타격을 주었으며 마지막으로 태양 흑점의 발견과 관측으로 태양의 자전 현상을 발견하였다. [그림 1]은 실제 갈릴레이의 흑점 관측 스케치이다.



[그림 1] 갈릴레이의 흑점 관측 스케치

이러한 흑점의 발견기록에 대하여 서양에서는 흑점의 최초 발견에 대하여 토마스 해리엇, 갈릴레오 갈릴레이, 트리스토프 샤이너에 대한 논란이 있지만, 실제 동양에서는 기원전 28년 [오행지]에서 태양 가운데 동전 모양의 검은 기운이 있다라는 기록이 있으며 우리나라에서도 1151년 [고려사]에서 태양에 계란만한 흑점이 보이고, 1402년 [조선왕조실록]에서도 태양의 가운데에 흑점이 있다는 기록이 나타나고 있어, 서양보다도 먼저 흑점의 존재를 알고 있었다는 사실이 있다.

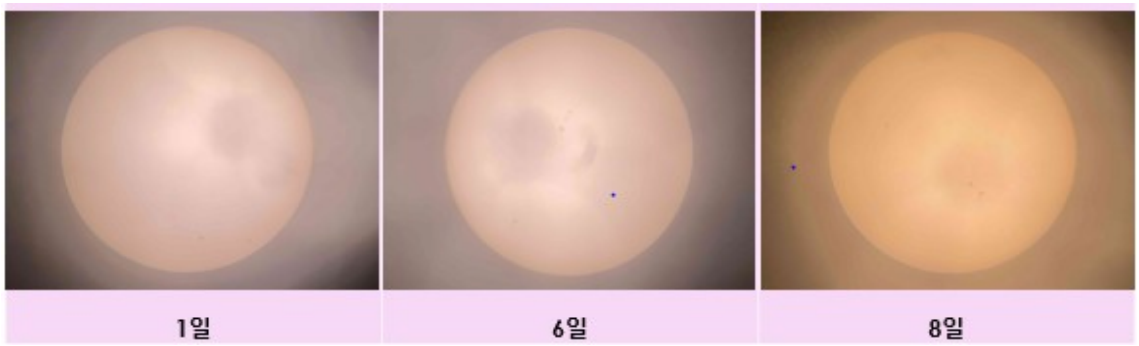
그럼 이렇게 관찰된 흑점[3]에 대해서 알아보면 흑점은 태양의 광구에 존재하는 영역으로, 주변보다 낮은 온도를 지니면서 강한 자기 활동을 보이는 영역이다. 대류가 이루어지지 않기 때문에 상대적으로 낮은 표면 온도를 지니고 어둡게 보이게 된다.

흑점의 온도는 4000~5000K 라는 고온이지만 주변의 6000K의 온도보다는 낮기 때문에 상대적으로 어두운 점으로 관측된다. 흑점은 태양 표면에 뿌리를 내렸기 때문에, 지구의 태풍과는 달리 태양면에 고정되어 움직이지 않으며, 크기는 지름이 보통 10,000km 정도인데, 큰 것은 50,000km 정도로 지구의 4배보다 큰 경우도 있다. 흑점은 출현한 후 어느 정도 시간이 지나면 소멸하는 특정이 있고 이 수명은 작은 것은 수일, 큰 것은 수개월정도 된다. 이러한 특성을 가진 흑점을 관찰하게 되면 우리가 알고자 하는 태양의 자전 주기를 구할 수 있다.

Ⅲ. 연구 방법

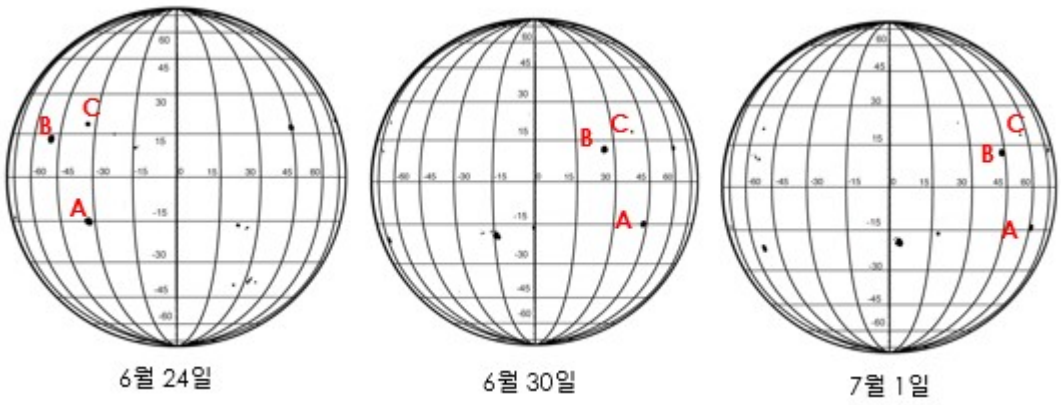
흑점의 관찰방법은 크게 2가지가 있다.[4] 첫 번째는 투영법으로 접안 렌즈 뒤에 설치한 투영판에 태양상이 맺히게 하여 관찰하는 방법이며. 안전하고 여러 사람들이 동시에 관측하는 장점이 있다. 두 번째는 직시법으로 태양 필터를 장착하여 직접 태양을 관측하는 방법이며 태양 표면을 자세히 관찰 할 수 있다는 장점이 있어 직시법[그림 2]을 이용하여 직접 태양을 관찰하고 이를 카메라로 촬영[그림 3]하였다.

[그림 2] 직시법을 이용하여 태양관찰



[그림 3] 카메라로 촬영된 흑점과 태양의 모습

직시법으로 흑점을 촬영을 하였으나, 흑점 촬영은 성공을 하였으나 위도별로 흑점의 이동이 명확하지 않아 측정된 data를 이용하여 태양의 자전주기를 계산할 수는 있지만 우리가 원하는 정확한 자전주기를 계산하기에는 어려운 문제가 생겼다. 여러 문헌과 인테넷을 통해 알게 된 것은 SOHO(Solar and Heliospheric Observatory)라는 인공위성이다. SOHO는 1995년 12월 태양을 연구하기 위해 쏘아 올려진 인공위성이며, 이는 유럽우주국과 미국항공우주국의 합작 프로젝트로 태양의 활동을 연구하기 위해 12개의 과학적 장비를 탑재하고 있다. SOHO 위성은 LASCO(Large Angle Spectometic Coronagraph) 장비를 이용하여 태양의 대기를 관측하여 태양의 흑점을 관찰할 수 있다. SOHO 위성 은 흑점의 위치, 크기 및 형태를 지속적으로 관찰하고 있으며, 이러한 정보를 홈페이지(https://soho.nascom.nasa.gov)[4] 에 지속적으로 사진을 update 해주고 있다. 이 이미지를 사용하면 우리는 흑점의 이동을 더 정확하게 계산할 수 있음을 확인하였다. [그림 4]는 6월 24일부터 7월 1일까지 흑점의 이동을 mapping grid[그림 4]한 그림이다.



[그림 4] 흑점의 이동 표시

흑점의 이동은 동에서 서로 이동하고, 이는 태양이 자전하기 때문을 알 수 있으며, 흑점의 위도와 상대적 경도 이동를 [표 1]에 정리를 하였다.

[표 1] 흑점 이동의 상대적 경도

흑점(위도)	A(-15°)	B(13°)	C(18°)
6월 24일	-31	-45	-34
6월 30알	43	27	39
7월 1일	61	44	56
총회전 각도 (°)	92	89	90
일평균(°/day)	13.1	12.7	12.9

Ⅳ. 연구 결과

측정된 결과를 이용하여 태양의 실제 자전주기를 계산하였다.

일평균 회전 각속도(ω : angular velocity) = 12.9°/day (식1)

회전주기(S) : $S = \frac{360^\circ}{\omega} = 27.9$ 일 (식2)

여기서 회전주기는 태양의 자전과 지구의 공전이 결합되어 관측되는 회합주기로서 관찰되는 태양의 겉보기 자전주기이다. 이 회합주기로서 태양의 자전주기를 구할 수 있다. P는 태양의 자전주기로 E는 지구의 공전주기로 놓았을 때,

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E} \quad \text{(식3)}$$

$$P = \frac{E \times S}{E + S} = \frac{365.25 \times 27.9}{365.25 + 27.9} = 25.9 \quad \text{(식4)}$$

이를 통해 태양의 관측된 평균 자전 주기는 25.9일이다.

Ⅴ. 결론 및 제언

여러 날에 걸쳐 흑점을 관찰하고, 세 흑점 A,B,C에 대한 상대적인 경도를 측정하였으며, 이를 통해 일평균 회전각으로 구한 회합 자전주기는 평균 27.9일로 계산되었다. 회합 자전주기로부터 구한 실제 자전 주기는 25.9일로 계산되었는데, 기존 문헌에 나온 실제 자전주기 25 ~ 35일로 나오는 측정값과 일치하였다. 실제 태양의 자전주기는 지구와 같은 고체가 아닌 플라즈마로 이루어진 항성이기 때문에, 태양의 자전주기는 위도에 따라 다르게 나타난다는 것을 알 수 있었다.
측정 정밀도가 낮고 실제 흑점이 위도별로 많이 나타나는 날짜를 알 수 있었다면 직시법으로 더 정확한 결과가 나올 수 있었을 텐데 이에 대한 아쉬운 점도 있었으나 태양의 자전 주기를 측정하는 관찰법을 알고 자전 주기를 계산할 수 있다는 것에 많은 배움이 있었다. 현재는 태양이지만 더 나아가 우주의 많은 천체를 관찰할 수 있고, 많은 기술의 발전에 의해 직접 관찰하지 않더라도 공유된 여러 사진을 통하여 새로운 미지의 세계를 관찰하고 연구할 수 있다는 것도 알게 되었고, 천문에 대한 지식이 더 쌓이면 새로운 현상과 이론을 발견할 수도 있을 것이라는 희망을 가지게 되었다.

Ⅵ. 참고문헌

1. 천동설 위키피디아
https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%A7%80%EA%B5%AC%EC%A4%91%EC%8B%AC%EC%84%A4
2. 지동설 위키피디아
https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%83%9C%EC%96%91%EC%A4%91%EC%8B%AC%EC%84%A4
3. 흑점 위키피디아
https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%9D%91%EC%A0%90
4. 태양을 만나는 다양한 방법
https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=26307963&memberNo=40900524
5. SOHO : Solar and Heliospheric Observatory
https://soho.nascom.nasa.gov/sunspots

지구과학

03_반구대 암각화 모형지형 제작

반구대 암각화 모형지형 제작

김동현 (문수중학교 2학년)
신서윤 (진장중학교 2학년)
안정환 (학성중학교 2학년)

지도교수 : 신호성 (울산대학교 건설환경공학과)

<요 약>

울산광역시 울주군 대곡리에 위치한 반구대 암각화는 근처 사연댐의 영향으로 침식이 진행되고 있는 상황이다. 이러한 침식을 방지하기 위해 반구대 암각화 보존대책 연구는 현재까지도 진행 중에 있으며, 다양한 보존 방안들이 제시되고 있지만, 다양한 문제점들로 인해 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 암각화 보존대책을 마련하고자 반구대 암각화에 대한 자료들을 수집하고, 이미지 데이터를 기반으로 제작된 Pix4D 프로그램을 이용하여 반구대 암각화 부근 지형 모형에 대한 데이터베이스(DB)를 구축하였다. 또한 3D 프린팅 기술을 구축한 DB와 접목하여 반구대 암각화와 일대 모형을 제작하였다. 추가적으로, 기존에 발생한 문제점과 해결방안에 대한 반구대 암각화의 여러 보존 방안들을 재고하였다.

I. 서론

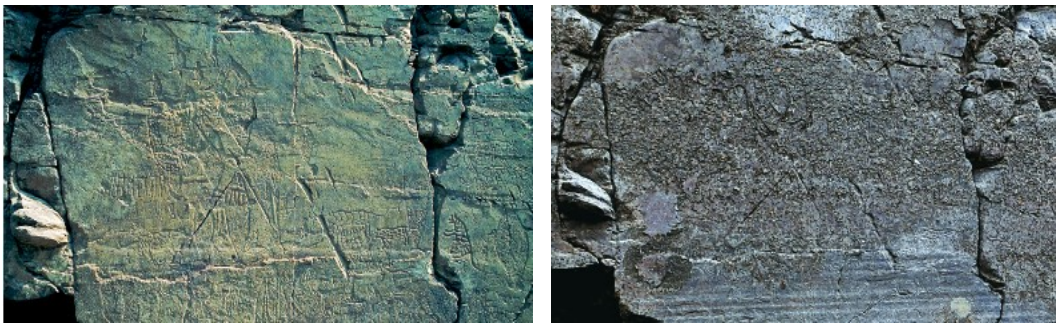
대한민국 기후특징으로써 연 강수량의 대부분이 6~8월에 집중되고 산지가 많아 수자원 이용을 위해 다양한 토목구조물이 건설되고 있으며 건설된 구조물 중 하나가 댐(Dam)이다(그림 1).

[그림 1] 국내에 건설된 댐의 모습

댐은 불규칙적인 강우로 인해 발생하는 홍수와 가뭄등과 같은 자연재해의 해결책으로 산간 계곡이나 하천을 횡단하여 물을 저장하거나 토사가 유출되는 것을 방지하고 물을 끌어내거나 수위상승 또는 붕괴방지를 위하여 만들어진 구조물이다. 이러한 댐의 건설로 인해 수자원 이용이 가능해 졌지만 국내 문화유산에 피해를 입히

는 사례가 문제가 되고 있다. 대한민국 국보 제 285호인 울산 울주군 대곡리에 위치한 반구대 암각화가 피해 사례에 해당된다.

반구대 암각화의 벽화는 그림 2와 같이 1971년 발견 당시에는 300여개 정도의 그림이 존재하였지만 잦은 침수로 인해 훼손이 발생하면서 육안으로 확인 가능한 그림의 수가 30여개 정도로 감소하였다.



[그림 2] 반구대암각화의 훼손되기 전후 모습

그림 훼손의 가장 큰 원인은 1965년 준공한 '사연댐'이 건설되어 운영됨에 따라 장기간 반복되는 침수와 노출에 의한 것으로 나타났다. 조사에 따르면 물에 잠기지 않은 반구대의 암석에 비해 물에 침수된 부분은 10배가량 빨리 풍화가 발생하는 것으로 확인되었다. 따라서 매년 반복되는 홍수와 태풍으로 수위조절이 불가능한 사연댐에 의해 바위면의 강도가 감소하면서 그림의 훼손이 빠른 속도로 발생할 가능성이 높은 것으로 판단된다. 이에 반구대 암각화 보존대책 연구는 현재까지 진행되고 있으며, 다양한 보존 방안들이 제시되었다.

본 연구에서는 상기 내용을 바탕으로 반구대 암각화 훼손을 막기 위해 제시된 다양한 보존 방안 중에서 가장 적합한 방안을 도출하고자 Pix4D 프로그램을 이용하여 반구대 암각화 일대를 3D 모형으로 제작 후 보존 방안을 적용 및 비교 분석하였다.

II. 이론적 배경

반구대 암각화의 훼손되는 문제점에 대해 알기 위해서는 구성암석과 풍화특성에 대해 이해할 필요가 있다.

1.1. 구성암석

1) 암석의 분류

암석은 마그마가 식어서 굳어진 화성암, 퇴적물이 쌓여서 다져지고 굳어진 퇴적암과 암석이 열과 압력을 받아 성질이 변한 변성암으로 분류할 수 있다.

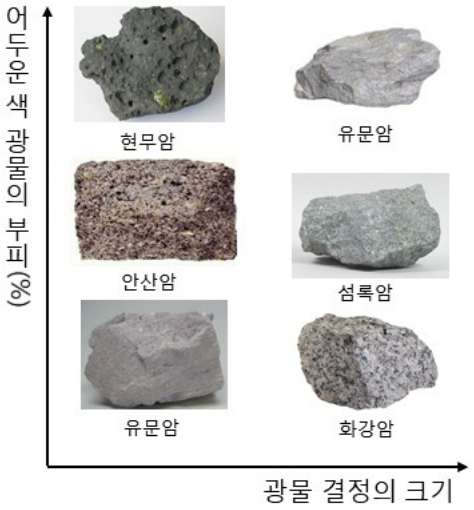
2) 화성암

화성암을 구성하는 입자의 크기는 마그마의 냉각 속도에 따라 달라지는데 마그마가 지표 부근에서 빠르게 식으면 입자의 크기가 작은 화산암이 되고, 지하 깊은 곳에서 천천히 식으면 입자의 크기가 큰 심성암이 된다(그림 3 참조).

화성암의 색은 암석을 이루는 입자의 종류와 비율에 따라 달라진다. 어두운 색 입자가 많을수록 암석의 색이 어두워진다.

표 2.1 화성암의 분류

구분	화산암	심성암
생성 위치	지표 부근 (온도가 지하 깊은 곳보다 낮음)	지하 깊은 곳 (온도가 지표보다 높음)
마그마의 냉각 속도	빠르다	느리다
알갱이의 크기	작다	크다
암석의 예	유문암, 안산암, 현무암	화강암, 섬록암, 반려암



[그림 3] 화성암의 분류

3) 퇴적암

3-1) 층리(그림 4 참조)

종류나 크기가 다른 퇴적물이 여러 겹으로 쌓여 만들어진 줄무늬

[그림 4] 퇴적암 층리의 모습

3-2) 화석(그림 5 참조)

과거에 살았던 생물의 유해나 흔적

[그림 5] 퇴적암 화석의 모습

표 2.2 퇴적암의 분류

산호, 조개껍데기 같은 석회물질	화산재	자갈, 모래, 진흙	모래, 진흙	진흙
		크다	퇴적물의 크기	작다
석회암	응회암	역암	사암	셰일

4) 변성암

4-1) 알갱이의 크기

알갱이의 크기가 변하거나, 기존과는 다른 새로운 알갱이가 생성된다.

4-2) 엽리(그림 6 참조)

암석에 압력이 가해져서 생기는 줄무늬, 압력의 수직 방향으로 배열된다.

[그림 6] 변성암의 엽리 작용의 모습

1.2. 풍화작용

풍화작용은 암석이 장기간 지표에 노출되어 있으면 물, 공기, 생물 등에 의해 부서지고 분해되어 작은 돌이나 흙으로 변하는 것을 의미한다. 풍화작용에는 기계적 풍화작용과 화학적 풍화작용 두 가지로 구분된다. 일반적으로 기계적 풍화작용은 한랭 건조한 지역에서, 화학적 풍화작용은 온난 습윤한 지역에서 주로 발생한다.

1) 기계적 풍화 작용

압력과 기온의 변화와 같은 물리적인 요인에 의해 지표면의 암석이 잘게 부서지는 작용을 말한다. 대게 건조한 사막 지방, 한랭한 극지방, 고산 지대 등에서 발생한다.

1-1) 동결작용

암석의 틈에 스며든 물이 얼면서 부피가 팽창하거나 지하수에 녹아 있던 광물 성분이 암석의 틈 속에서 광물 결정으로 변하면서 주위에 압력을 가하여 암석이 잘게 부서지는 작용이다. 대표적인 지형으로는 그림 7과 같이 잘게 부서진 암석 조각들이 사면에 부채꼴 형태로 쌓여있는 테일러스(Talus)가 있다.

[그림 7] 동결작용으로 발생된 테일러스의 모습

1-2) 박리작용(그림 8 참조)

지하 깊은 곳에서 암석이 지표로 노출될 때 압력의 감소로 인해 부피가 팽창하여 암석 표면이 껍질처럼 얇게 벗겨져 나가면서 부서지는 작용이다. 지하 깊은 곳에 있던 심성암이 융기하면서 압력 감소로 인해 팽창해 생기는 표면의 균열로 판상절리가 대표적인 예이다.

[그림 8] 박리작용으로 인한 판상절리의 모습

1-5) 결정작용

암석의 틈으로 유입된 물이 증발하면서 물에 용해되어 있던 침전물들이 결정이 되고 크기가 성장하면서 암석에 가해지는 압력에 의한 작용이다. 그림 9와 같이 암석이 떨어져 나간 구멍에 풍화가 집중되어 생긴 벌집 모양의 지형인 타포니(Tafoni)가 대표적인 예이다.

[그림 9] 결정작용으로 인한 타포니의 모습

1-4) 식물에 의한 기계적 풍화 작용

식물 뿌리가 성장하면서 암석에 압력을 가하여 틈을 넓혀 부서지는 작용이다.

1-5) 기온의 변화

기온차가 심할 때 암석을 구성하는 광물의 팽창과 수축하는 정도에 차이가 발생하므로 수축과 팽창이 반복되어 암석에 틈이 생기면서 부서지는 작용이다.

2) 화학적 풍화 작용

지표면에 노출된 암석이 물이나 대기 성분과 화학적 반응으로 암석의 구성 성분이 변하면서 잘게 부스러지거나 용해되는 작용을 의미한다. 대게 온난 습윤한 열대지방, 해안 지방, 저지대 등에서 발생한다.

2-1) 산화 작용

암석 속의 금속이 물이나 대기 중의 산소에 의해 산화되는 작용이다. 대표적인 예로 철이 녹스는 현상으로 산소와 반응하여 적색이나 갈색의 적철석이 된다.

2-2) 용해 작용

이산화탄소가 포함된 지하수에 의해 석회암이 녹는 풍화 작용이다. 그림 10과 같이 물에 이산화탄소가 녹으면 탄산수가 되고 탄산수가 석회암을 녹여서 생긴 석회동굴인 테라로사(Terrarossa)가 대표적인 예이다.

[그림 10] 용해작용으로 인한 테라로사의 모습

2-3) 가수 분해 작용

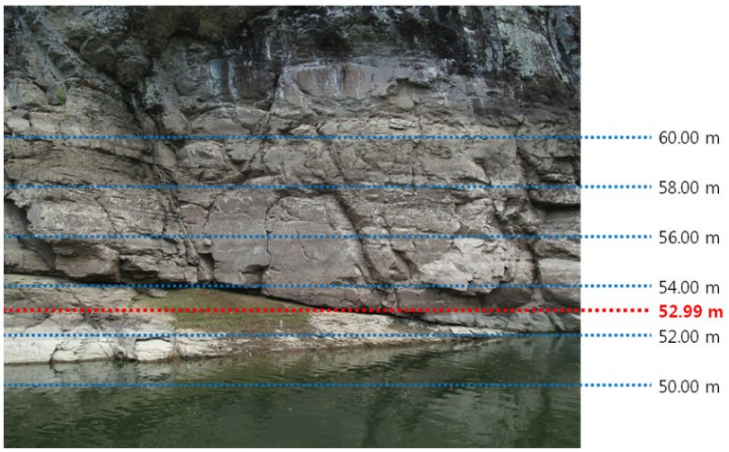
물속에 존재하는 수소 이온(H^+)이나 수산화 이온(OH^-)이 광물을 구성하는 이온으로 치환하는 현상을 말한다. 그림 11과 같이 고령토가 보크사이트로 변하는 현상이 대표적인 예이다.

[그림11] 가수 분해 작용으로 인한 보크사이트의 모습

III. 연구내용및방법

1.3. 사연댐과 반구대암각화

사연댐은 울산광역시 공업용수와 식수를 공급을 위해 1962년 공사 시작으로 1965년까지 거쳐서 준공된 공업댐이다. 댐은 이미 가동되어 있는 상황에서 1971년 말에 발견되었고 암각화가 잠겨있다는 사실 또한 발견하였다. 사연댐이 건설되기 이전에는 지붕처럼 튀어나온 바위의 그늘 아래 비가와도 젖이 않아서 보존되어져 왔다. 하지만 건설이후 그림 12에서 보시다시피 사연댐은 물을 방류하여 수위를 조절할 수 있게 해주는 여수로 높이가 60m로 사연댐의 수위 기준으로 암각화는 52m일 경우 침수되기 시작하며, 57m일 때 완전히 잠기게 된다. 즉 여수로가 반구대암각화 최하단보다 8m 더 높아서 매년 약 8개월 동안 침수를 반복해왔다. 따라서 반구대암각화의 장기적인 보존대책을 수립하기 위해 인문학, 자연과학, 공학 등 다양한 분야에서 연구가 수행되었고 방안을 제시해왔다.



[그림12] 반구대암각화의 측정된 수위 모습

1.4. 반구대암각화의 여러 보존 방법

울산시와 문화재청은 사연댐 취수원과 반구대 암각화이라는 두 문제를 두고 갈등을 지속적으로 해왔다. 이에 문화재청은 반구대 암각화의 여러 보존 방법을 제안해왔다. 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 이에 여러 방법 제안과 문제점은 다음과 같다.

1) 사연댐 해체 방식

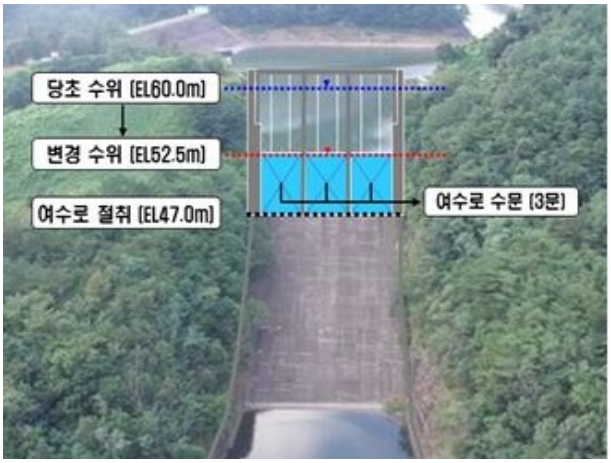
만약에 수위조절 수문을 설치하지 못하였을 경우 해체를 주장하였다. 사연댐이 1965년부터 2013년까지 4m의 토사가 댐 아래로 퇴적되고 있고 앞으로도 계속 퇴적되어 담수 기능이 약화될 것이라고 평가하였다. 이에 사연댐의 물은 울산시민의 주 식수원으로 사용되며 댐이 깔때기 모양이라 수위를 8m 낮추면 유효 저수량의 3

분의 1밖에 사용할 수 없어 울산시의 용수를 위해 암각화를 포기하면서까지 사연댐을 유지하는 것은 손해라고 판단하여 이와 같이 주장하였다.

2) 사연댐 유지 방식

2-1) 사연댐의 수위 조절 수문 설치

가장 유효하고 가능성이 큰 방안으로 그림 13과 같이 직접 수문을 설치하여 수위를 낮춰 잠기지 않게 하자는 방안이다. 하지만 그림 14와 같이 울산시 측은 수위 조절은 울산시 자체 용수 공급량을 줄이기 때문에 부족한 용수는 타 지자체에서 공급받아야하고 태화강 홍수 위험과 사연댐 붕괴 위험이 증가하기 때문에 반대하였다.



[그림13] 수위 조절 수문 설치 계획(안)

[그림14] 사연댐 수위 조절시 물 부족량

2-2) 카이네틱 댐 설치(물막이 댐)

그림 15와 같이 조립식 철골조 사이에 투명한 합성 플라스틱인 폴리카보네이트판 160개를 붙여 물을 막는 가변형 임시 물막이 댐이다. 수위 변화에 따라 높낮이를 조절할 수 있는 벽으로 반구대 암각화 전면에 설치된다. 카이네틱 댐은 반구대 암

각화가 침수되기 전에 댐 구조물을 올려 물을 막는다. 평소에는 댐 구조물을 내려 놓는 것이 가능하다. 2013년 6월 합의하여 지반 조사, 구조안정성 평가, 사전 실험을 진행했으나 3차례 모의 실험결과 수압을 견디지 못해 투명판 이음새 부근에서 물이 새면서 실패로 끝났다.

[그림 15] 카이네틱 댐 설치 개념도

2-3) 생태 제방

유속 및 소류력(물의 흐름이 토사를 움직이는 힘)등을 감안할 경우 자연석재를 이용하여 그림 16과 같이 반구대 암각화에서 63m 떨어진 곳에 길이 357m, 높이 65m의 둑을 쌓아 침수를 막겠다는 방안이다. 이는 공사로 인한 암각화 주변이 훼손되고, 굴착·폭발·진동 등으로 반구대 암각화에 직접 훼손 가능성으로 세계 문화유산 등재가 어렵기 때문에 부결되었다.

[그림 16] 생태제방 계획(안)

2-4) 터널형 유로 변경

터널형 유로 변경안은 두 가지가 있다. 터널형 구유로 변경안 1(그림 17 좌측) 반구대 암각화를 기준으로 위쪽 210m와 아래쪽 200m 지점에 각각 제방을 쌓아 물길을 차단한 뒤 대곡댐 지류와 사연댐을 연결하는 터널형 수로(길이 200m, 직경 10m 2개)를 설치해 물길을 돌리는 방안이다. 이는 반구대 암각화 주변 경관 훼손과 제방공사시 진동피해 우려 등을 이유로 부결하였다. 이에 터널형 신유로 변경안 2

(그림 17 우측) 반구대 암각화와 제방 사이를 최대한 멀리하여 위쪽 700m와 아래쪽 310m 지점에 변경안 1과 같이 설치하고 제방의 위치가 달라짐에 따라 반곡천에 내려오는 물길을 차단하는 제방도 추가 설치하는 방안이다. 수로의 노선과 규모 또한 변경된다. 구유로 변경안에 비해 크게 개선됐지만, 문화재청이 원형보존 기조를 그대로 고수하고 있기에 부결되었다.

[그림 17] 반구대암각화 유로 변경안 1, 2

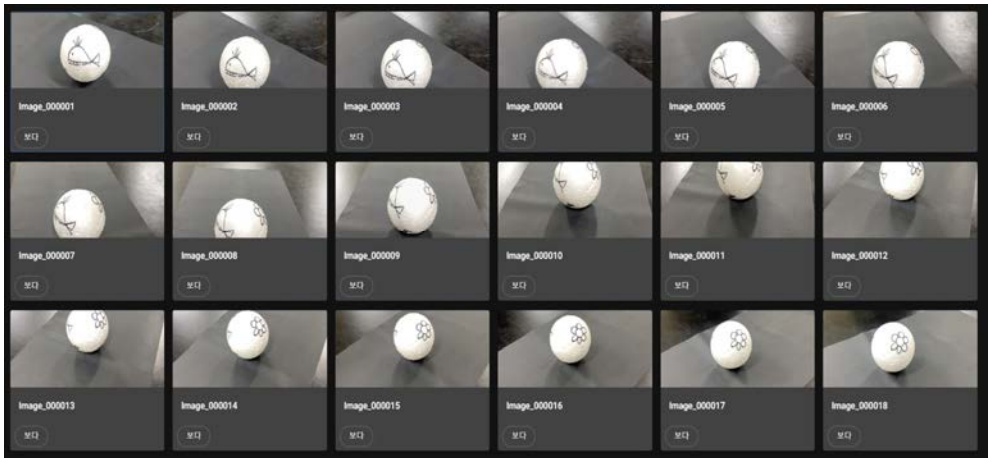
1.5. 연구과정

Pix4D는 주로 드론을 이용하여 자동비행 항공촬영으로 DB를 구축하여 고정밀 3D 모델링을 하는 프로그램이다. 하지만 실제 반구대 암각화 현장에서 드론을 띄워 항공촬영하기엔 여러 가지로 이유로 힘든 실정이다. 따라서 반구대암각화 박물관에 있는 실내모형을 3D 모델링하여 제작해보았다.

우선 반구대 암각화 3D 모형을 구현하기 이전에 시범적으로 그림 18과 같이 다른 모형을 가지고 시도해보았다. 구멍이 뚫려있거나 재질에 따른 질감 등을 표현하는지 확인하기 위해 도자기와 칼로 긁은 스티로폼으로 선별하였다.

[그림18] 3D 모델링에 사용한 모형

휴대폰 기종은 iPhone Xs Max와 iPhone 13으로 Pix4D Catch라는 어플리케이션을 이용하여 시범 모형 촬영을 진행하였다. 그림 19은 시범모형인 스티로폼을 두고 촬영한 사진이다. iPhone Xs Max로 촬영한 사진들은 총 46개, iPhone 13로 촬영한 사진들은 125개 이다.

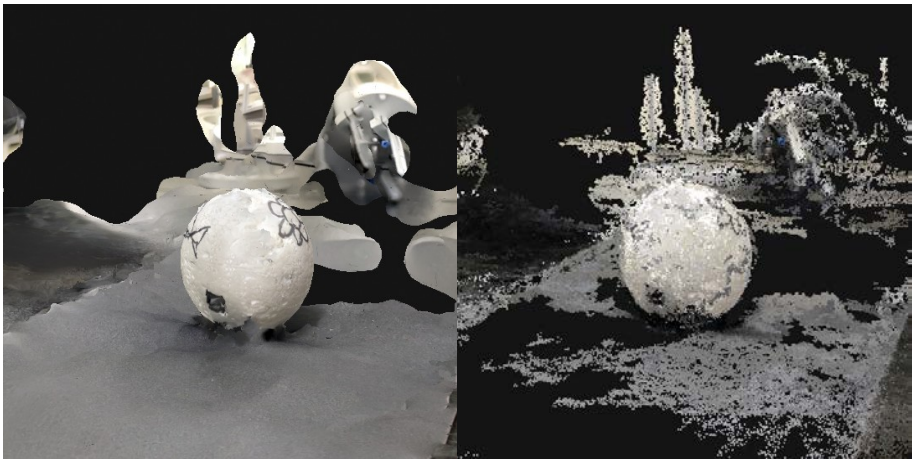


[그림19] Pix4D Catch 어플리케이션을 이용하여 촬영한 사진들

이렇게 촬영한 사진들은 온라인기반 서버인 Pix4D Cloud로 바로 업로드 할 수 있다. 이후 처리를 거쳐 그림 20과 같이 3D texture mesh와 Point Cloud로 볼 수 있다.

[그림 20] iPhone Xs Max로 촬영한 3D texture mesh와 Point cloud 스티로폼의 모습

그림 20에서 보이다시피 수행한 결과 부분적인 형체가 나온 것을 확인할 수 있다. 이는 iPhone Xs Max의 경우 빛의 유무와 관계없이 촬영한 대상물까지의 거리를 정확히 계산하여 기록하는 라이더(Lidar)가 장착되어 있지 않기 때문에 정확한 거리를 측정하지 못해 몇몇 사진들이 DB화 되지 못하여 수행한 결과 그림 20과 같은 모양으로 나왔다고 판단된다. iPhone의 경우 12 Series부터 Lidar가 장착되어 있기 때문에 iPhone 13으로 촬영하여 처리한 결과 그림 21, 그림 22과 같이 나온 것을 확인할 수 있다.

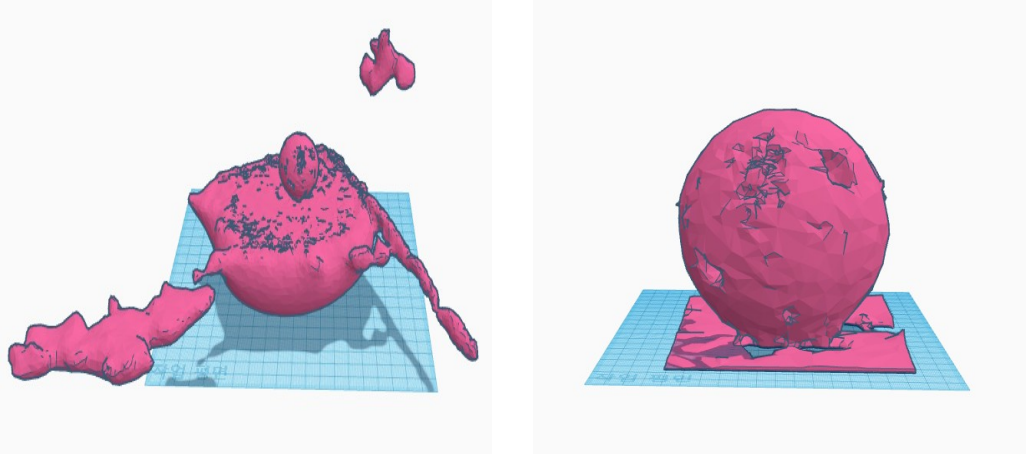


[그림 21] iPhone 13로 촬영한 3D texture mesh와 Point cloud 스티로폼의 모습

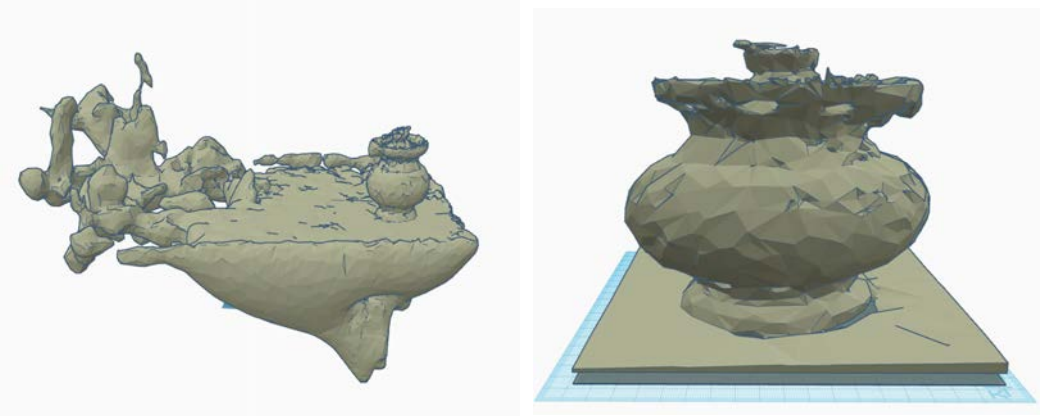
[그림 22] 프로세싱한 3D texture mesh와 Point cloud 도자기의 모습

결과적으로 앞서 그림 21과 그림 22을 비교한 결과 사진이 많을수록 더욱 정확하고 정밀한 결과를 얻을 수 있고 라이더의 장착 유무에 따라 결과 품질이 상당히 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

이후 Pix4D cloud에서 3차원 그래픽 이미지가 저장된 파일의 형태 중 하나인 obj 파일로 받을 수 있는데 3D 프린팅하기 위해선 3D 설계 파일 유형이 stl 파일이기 때문에 변환해야하는데 NCH software를 이용하여 obj를 stl로 변환해주었다. 또한 시범 모델이외의 불필요한 배경이 차지하는 용량이 크기 때문에 제거해주어야 한다. 이는 캐드(Cad)를 이용하여 3D 디지털 디자인을 편집하는 Tinkercad라는 프로그램을 이용하여 그림 23과 24와 같이 3D 프린트하는데 불필요한 배경을 제거해 주었다.



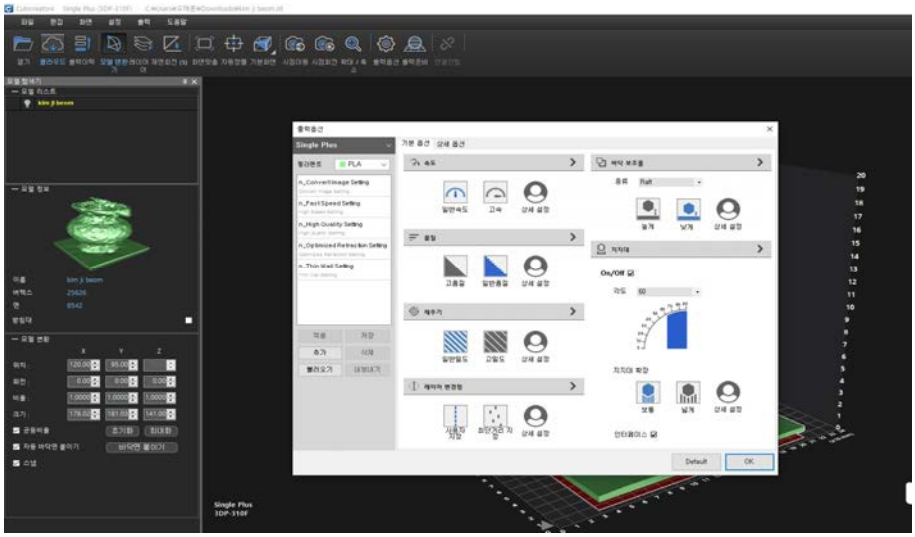
[그림 23] 불필요한 배경 제거한 스티로폼 전 후 모습



[그림 24] 불필요한 배경 제거한 도자기 전 후 모습

제거한 시범모델은 그림 25에 보이는 울산대학교 메이커 스페이스에서 지원하는 Cubicon사 브랜드의 3D 프린터를 이용하여 그림 26과 같이 Cubicreator 4 소프트웨어에서 편집한 시범모형을 (일반 속도, 고속도), (고정밀, 저정밀) 등 처리방법을 설정하여 3D 프린트를 하였다.

[그림 25] 3D 프린터 및 프린팅 모습

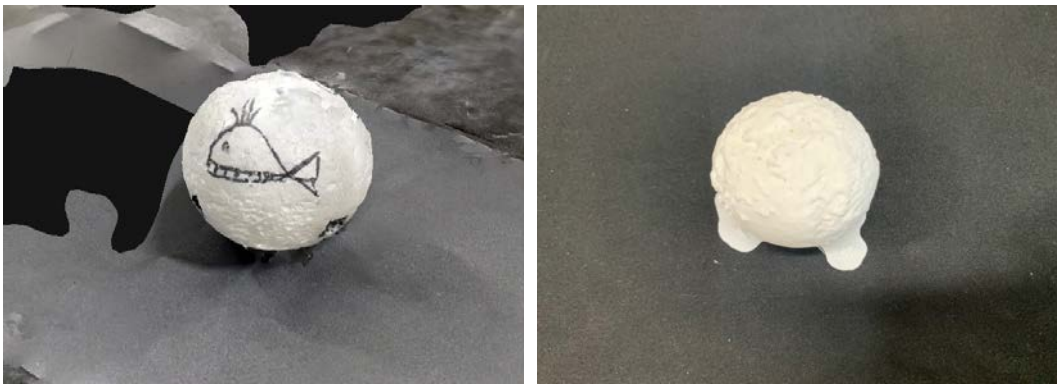


[그림 26] Cubicreator 설정하는 모습

IV. 연구결과및고찰

1.6. 3D 프린팅 모형제작 결과

울산대학교 메이커스페이스에서 지원하는 3D 프린터인 경우 프린트 가능한 사양이 최대출력크기는 150×150×150mm (5.9×5.9×5.9 inch), 노즐 직경은 0.4mm, 3D설계 파일 유형은 stl 형태의 파일이어야 한다. 또한 소요시간이 길수록 장비 고장이 잦기 때문에 최대 소요시간 8시간으로 제한하였다. 그렇기 때문에 소요시간에 맞추려면 출력크기와 처리방법을 조정해야한다. 그 결과 다음과 같다. Pix4d Catch 사진과 3D 모형과 비교하였다, (그림 27~31 참조)

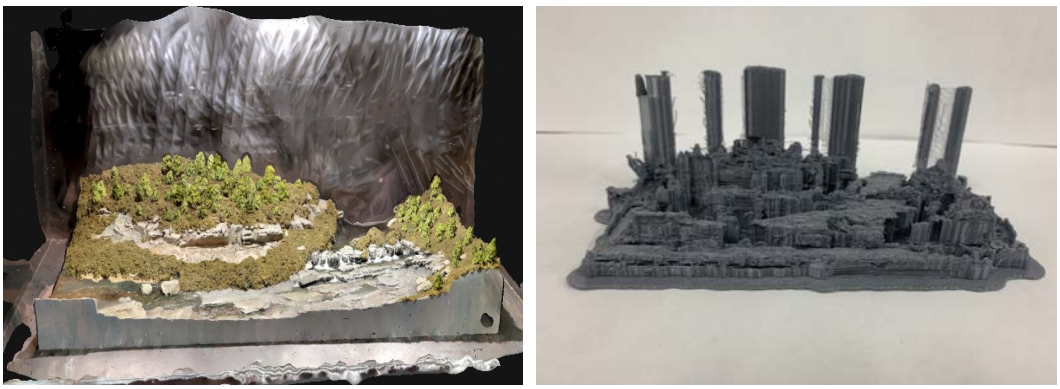


[그림 27] 스티로폼 3D 모형

[그림 28] 도자기 3D 모형

[그림 29] 반구대 암각화 3D 모형

[그림 30] 반구대 암각화 전경1 3D 모형



[그림 31] 반구대암각화 전경2 3D 모형

결과적으로 3D 프린팅한 모형은 정밀도와 품질 면에서 기대에 못 미치는 결과를 초래하였다. Pix4d Catch 사진과 3D 모형과 비교한 결과 오차의 원인으로는 예시로 그림 32와 같이 obj 파일인 Pix4d Catch에서 3D 모형 프린팅이나 모델링을 다루는데 필요한 stl 파일로 변환하면서 obj에 있던 삼각형 mesh에 대한 Texture (색, 질감 등)들의 정보들이 빠지면서 라고 판단된다. 이에 변환되면서 파일의 용량도 함께 작아지는 것을 볼 수 있다.

[그림 32] obj 파일에서 stl파일로 변환된 모습

또한, 소요시간이 제한되어 있어 크기를 줄일 필요가 있다. 이에 크기가 작아질수록 세세한 것들을 표현하기 위해서는 높은 정밀도를 필요로 하는데 크기가 적정 이상 작기 때문에 프린팅으로 표현하기가 어려움이 있다고 판단된다. 즉, 정밀도는 모형의 크기과 소요시간과 밀접한 관계가 있다고 보인다.

Ⅴ. 결론 및 제언

연 강수량의 대부분이 6~8월에 차지하고 있는 대한민국의 기후특징으로 인해 중요시되고 있는 토목구조물 중 하나로 댐을 꼽을 수 있다. 댐은 산간 계곡이나 하천의 물을 저장하거나 필요한 용수를 끌어다 사용할 수 있게 만들어진 구조물이다. 이러한 댐이 먼저 지어지면서 뒤늦게 발견된 울산 울주군 대곡리에 위치한 반구대 암각화가 잦은 침수로 인해 암각화에 그려진 그림이 훼손되어 피해를 입은 사례가 발생하였다.

본 연구에서는 직접 현장에 방문하여 Pix4d Catch 프로그램을 이용해 촬영된 사진들을 중첩 및 모델링하여 반구대 암각화 3D 모형을 제작하였다. 이에 모형을 가지고 반구대 암각화를 이루는 구성암석이나 풍화작용 등과 같은 특성에 대해서 이해하고 암각화 보존 방안 다양한 보존 방안들을 조사하여 가장 적합한 방안을 토의 및 비교 분석하였다. 결과적으로 생태재방이나 수문설치, 경로 변경 등과 같은 현재까지 제시된 방안들 이외에 반구대암각화 일대를 깊이와 너비를 깎아서 침수되는 것을 막자는 등 토의를 통해 여러 의견들을 제시하였다. 하지만 여러 조건(자연적이지 못한 인공적인 것, 반구대암각화의 피해 등)들을 취합했을 때 가장 적합한 방안은 사연댐에 수문을 설치하고 부족한 용수는 조달해오는 것이 가장 적합한 방안이라고 판단하였다.

제작된 3D 프린팅 모형에 대한 아쉬운 부분은 있지만 Pix4d 프로그램에 대한 이해도와 3D 프린팅에 대한 이해도가 향상되었다. 또한 본 연구를 통해 반구대 암각화 문화재의 중요성에 대한 생각이 커지는 계기가 되었다.

VI. 참고문헌

[1] Do. J. Y, at al., (2003), Rock characteristics of Bangudae petroglyphs, Ulsan Metropolitan City, 95-108

[2] 울산광역시(2003), 반구대암각화 보존대책연구 보고서, p1-275

[3] 국토해양부(2008), 반구대암각화 보존을 위한 사연댐 수위운영 방안 검토

[4] 문장원 외(2018), 사연댐의 상시만수위 변경에 따른 물 공급 영향 검토, 한국방재학회 논문집, 18, p 581-588

[5] 이석훈 외(2004), 주기적으로 침수되는 퇴적암의 풍화특성, 한국광물학회지, 17, p23-35

[6] 이찬희 외(2012), 울산 반구대암각화의 손상도 및 사면안정성 평가, 보존과학회지, 28, p153-164

[7] 정문헌 외(2009), 풍화에 의한 화강암의 물리적 특성 변화, 한국산학기술학회논문지, 10, p 2026-2031

[8] 황상일 외(2010), 반구대 암각화의 주기적인 침수와 구성암석의 풍화 특성, 대한지리학회지 45, p342-359

[9] 경향신문 2017. 05. 18일자 기사 : 반구대 암까화 '생태제방' 일단 보류

[10] 중앙일보 2018. 10. 29일자 기사 : 또 잠수 ... 점점 희미해지는 국보 '반구대 암각화'

[11] 경상일보 2018. 12. 02일자 1면(사회) 기사 : 암각화 보전 최적안...예산부담은 '과제'

[12] 울산매일 2021. 10. 31일자 기사 : 정부, 2025년 7월까지 사연댐 수문 설치 준공 '공표'

[13] 나무위키, https://namu.wiki/w/%EC%9A%B8%EC%A3%BC%20%EB%8C%80%EA%B3%A1%EB%A6%AC%20%EB%B0%98%EA%B5%AC%EB%8C%80%20%EC%95%94%EA%B0%81%ED%99%94#s-2 (검색일 : 2023. 05. 29)

[14] https://makerspace.ulsan.ac.kr/makerspace (검색일 : 2023.06.04.)

Production of model topography of Bangudae Petroglyphs

Kim Dong-hyun, Shin Seo-yoon, Ahn Jung-hwan
Hosung Shin(guidance professor)

<Abstract>

Bangudae petroglyphs located in Daegok-ri, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City are undergoing erosion due to the influence of the nearby Sayeon Dam. In order to prevent such erosion, research on measures to preserve Bangudae petroglyphs is still in progress, and various preservation measures have been proposed, but they are experiencing difficulties due to various problems. Therefore, in this study, data on Bangudae petroglyphs were collected to prepare measures for preservation of petroglyphs, and a database (DB) for topographical models around Bangudae petroglyphs was constructed using the Pix4D program produced based on image data. In addition, the Bangudae Petroglyphs and the entire model were produced by combining the 3D printing technology with the DB. In addition, several conservation measures of Bangudae Petroglyphs were reconsidered for the existing problems and solutions.

Key Words : Bangudae Petroglyphs, Sayeon Dam, Pix4D, 3D printing

지구과학

04_화성에서 점토광물로의 물의 존재 가능성에 대한 연구

화성에서 점토광물로의 물의 존재 가능성에 대한 연구

권아현 (가재울중학교 2학년)
조보겸 (신목중학교 3학년)
조진호 (대청중학교 2학년)

지도교수 : 이용재 (연세대학교 지구시스템과학과)

초록(300-500자)

냉전 시대 이후 인류의 우주를 향한 진출에 대한 관심이 커지기 시작했다. 이에 지구와 많은 부분에서 공통점을 가진 화성이 관심을 받기 시작했고, 여러가지 연구가 진행되었다. 이 중 물에 대한 연구는 화성에서의 생명체 존재 여부와 깊은 관계성을 가지기 때문에 현재까지 관심을 받고 있는 주제 중 하나이다. 최근의 연구 결과 화성에서의 물은 점토광물로 존재할 수 있다는 가능성이 제시되었기에, 본 논문에서는 이에 착안하여 화성이 과거 지구와 유사한 섭입 활동을 했다고 가정하고 그 내부에서 점토 광물 중 하나인 베이델라이트가 물과 어떤 반응을 하게 되는지 X-선 회절 실험을 통해 알아보았다. 실험 결과 화성 상부 맨틀에서의 베이델라이트의 존재 가능성과 특정 물 탈수 깊이를 확인할 수 있었으며, 이는 점토 광물이 화성 내부에 물을 공급할 가능성을 암시한다.

Ⅰ. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

별빛을 바라보며 잠들었던 먼 옛날의 목자들로부터 전해져 내려온 '가장 가깝고 낯익은 이웃'에 대한 기록, 바로 붉은 행성인 화성에 대한 이야기이다. 인류가 처음 화성을 발견하고 관심을 가지기 시작한 이래부터, 화성에 외계 생명체가 존재하는지의 여부는 많은 의문과 호기심을 불러일으켰다. '지구와 가장 가까운 거리의 행성', 그리고 '크기가 가장 비슷한 행성'이라는 타이틀은 2차 세계대전 이후 구소련과 미국의 냉전 체제하의 스페이스 레이스에서 화성을 달과 버금가는 주역으로 만들어내기에 부족함이 없었으며, 따라서 우주개발 초기인 1960년대부터 활발하게 화성에 대한 각종 근·원거리 탐사가 수행되었다. 이러한 탐사를 통해 인류는 21세기에 들어서 화성에 대한 유의미한 정보 다수를 확보할 수 있었으며 이런 정보들은 더 멀리 위치하는 지구형 행성들을 탐구하는 데에도 큰 도움을 주었다. 현재 시점까지 일련의 조사들을 통해 화성에서 생명체가 직접적으로 발견된 바는 없으나, 1973년에 화성의 극지방에서 얼음을 처음 발견한 이후 생명체 생존의 필수 조건인 물이 풍부했을 것으로 추정되는 화성의 과거 환경에 대한 연구는 여러 유망한 과학자들과 공학자들의 행적을 따라 지금까지 꾸준히 이어져왔다. 최근에는 이 외에도 화성에 대해 새로운 관점이 부각되고 있는데, 화성을 오염된 지구를 대신할 제 2의 지구로 여기고 '테라포밍(Terraforming)'하겠다는 계획이다. 현재로서는 아직 난점이 많고 실현 불가능하게 여겨지는 프로젝트지만, 과거 공상과학 소설에서만 언급되었던 개념이 일부 기업가들에 의해서 구체화되고 있다는 것은 시사하는 바가 크다.

이렇게 과학적 측면뿐 아니라 사회경제적 측면에서도 화성, 더 나아가서는 우주에 대한 관심이 커지는 시점에서, 우리는 풍부했을 것으로 추정되는 화성의 물이 현재 어디에 존재하는지에 대해 탐구해보기로 하였다. 현재 화성에서 발견되는 물은 우리가 생각하는 일반적인 액체 상태의 물이 아닌, 얼음이나 그 외 다양한 형태로 존재한다고 알려져있다. 그 형태는 매우 다양한데, 기존 논문에 따르면 현재까지 화성의 석질 운석, 암석이나 광물 등에서 그 흔적이 발견되었다고 한다 (Borg & Darke, 2005). 이러한 암석의 흔적을 좇으면, 과거 화성에 존재했던 물이 현재 어디에 위치할 수 있는지 가능성을 넓힐 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 화성에 존재하는 물을 포함할 수 있는 광물 중 특히 물 흡착 기능이 우수한 것으로 파악된 점토 광물을 선정하여, 과거 화성이 지구와 유사한 지질활동을 했음을 가정하여 섭입대 환경을 구축하였다. 그리고 이에 대해 다이아몬드 엔빌 고압기를 이용해 온도-압력 시스템을 모사하여 X-선 회절 실험을 진행, 과거 화성의 물이 현재 어떤 상태에 놓여있는지 알아보고자 한다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 화성

화성은 지구형 행성으로서 그 내부 구조는 지구와 유사하게 지각, 맨틀, 핵으로 구성되어 있다. 지각은 약 20 - 70 km 두께, 맨틀은 ~1,590 km, 액상의 핵은 맨틀과의 경계면으로부터 중심까지 ~1,830 km 으로 화성의 반지름은 약 3,400 km 이며, 이는 지구 반지름인 약 6,400 km의 절반 정도이다. 화성의 질량은 약 6.4×10^{23} kg로 지구의 1/10이다. 밀도는 지구에 비하여 작은 편으로 이는 내부에 존재하는 무거운 원소로 이루어진 핵이 상대적으로 작을 것이며, 지구의 핵보다 가벼운 원소의 포함비가 높을 것임을 의미한다. 맨틀이 지구보다 상대적으로 차갑고, 두께도 얇아 핵의 열이 잘 보존되지 않기 때문에 지구보다 전반적인 행성 내부의 온도가 낮은 것으로 추정된다. 화성의 표면온도는 -140도에서 20도를 맴돌며 평균온도는 약 -80도이다. 온도가 낮은 이유는 화성의 대기가 지구보다 희박하여 열의 유지가 어렵기 때문으로 알려져 있다.

화성의 표면은 주로 현무암이나 안산암 같은 종류의 암석으로 구성되어있다. 모두 지구상에서도 관찰할 수 있는, 마그마가 지표 근처에서 굳어 생기는 것으로 알려진 암석이다. 이러한 암석들은 포함된 이산화탄소의 양으로 분류된다. 화성의 대부분의 지역은 미세한 티끌로 수 ~m 이상 덮여 있다. 이 먼지들이 대부분 산화철로 되어 있기 때문에 화성을 육안상으로 관찰할 시 붉게 보인다.

이전 연구는 화성의 경사면에 나타나는 짙은 줄무늬가 온도변화로 인한 주기적인 물의 흐름과 관련이 있을 것으로 추정되며 (Blame et al., 2013), 현재까지 발견된 여러 얼음 또는 광물, 그리고 지표 아래 액체 상태 물에 대한 흔적으로 과거의 화성에 물이 있을 것이라고 예상하였다 (Lauro et al., 2021). 그러나 화성의

물이 어떤 형태로 존재하고 있는지에 대해서는 여전히 논란의 여지가 존재한다. 영하 45도 까지 냉각시킨 점토 광물의 일종인 수화 스멕타이트를 레이더에 인식 시키면 액체상태의 물로 나타나는 측정 결과를 얻을 수 있기 때문으로, 따라서 현재 지표 아래에 있는 물은 액체 또는 점토 광물로서 존재할 수 있다 (Smith et al. 2021). 확실한 것은, 화성의 남극 주변에서 다량의 스멕타이트가 존재한다는 데이터가 측정되었다는 것이다. 즉, 어느 정도인지 정량적으로 추정하기에는 아직 한계가 있으나 적어도 화성의 일부 물은 점토 광물로서 존재할 것으로 생각된다.

2. 스멕타이트(smectite)

스멕타이트는 주로 몬모릴로나이트(montmorillonite)로 구성되며 석영(quartz) 및 방해석(calcite)을 일부 포함한 광물 혼합물로 정의된다. 몬모릴로나이트군은 2:1형 점토 광물 그룹으로, 팽창성인 점토광물의 주류를 구성하고 있다. 해당 광물군은 화성암과 변성암의 풍화로 인해 생성되며, 특히 알루미늄이 풍부한 광물이나 암석의 변질로 형성이 되는 것으로 알려져 있다. 층간에 반데르발스 힘에 의하여 층간 교환성 양이온과 물분자를 흡착하고 있기 때문에 물을 흡수할 수 있으며 이에 따라 가변적인 부피를 가진다. 베이델라이트(beidellite)는 몬모릴론나이트군 광물의 한 종류로 몬모릴로나이트군 중에서 알루미늄 양이온이 풍부한 광물로 알려져 있다. 베이델라이트에서 알루미늄의 일부는 Si-O 사면체의 규소를 치환하고 있으며 이에 따라 부피 및 격자상수의 변화를 가진다 (Weir & Greene-Kelly, 1962).

3. 화성의 섭입대 조건

해당 연구에서는 화성에 과거 섭입대가 있었고, 이러한 섭입 활동이 화성 표면에 존재했던 물의 일부를 화성 내부로 섭입했을 것으로 가정하고 이에 관해 온도-압력 모델을 구축하였다. 화성 섭입대의 깊이에 따른 온도와 압력 변화 정도는 지구와 유사할 것으로 가정하였다. 화성 지표에서의 온도는 -80 °C, 압력은 0.006 atm, 코어-맨틀의 경계인에서의 온도는 약 1700 °C, 압력은 23.5 GPa로 조사된 값을 사용하였다. 이를 Syracuse et al. (2010) 논문에 제시된 지구 섭입대의 깊이에 따른 온도와 압력 그래프에 대입시켜 화성 섭입대의 깊이에 따른 온도와 압력을 구하면 다음과 같은 섭입대 모델을 얻을 수 있다 [표 1].

온도 (°C)	깊이 (km)	압력 (GPa)
100	14	0.2
200	28	0.4
300	42	0.6
400	56	0.8
500	70	1.0
600	84	1.2
700	112	1.6
800	412	5.9
900	642	9.2
1000	872	12.5
1100	1102	15.8
1200	1319	18.9
1300	1550	22.2

[표 1] 화성 섭입대 모델의 온도-압력 조건

Ⅲ. 연구 방법

1. X-선 회절 분석

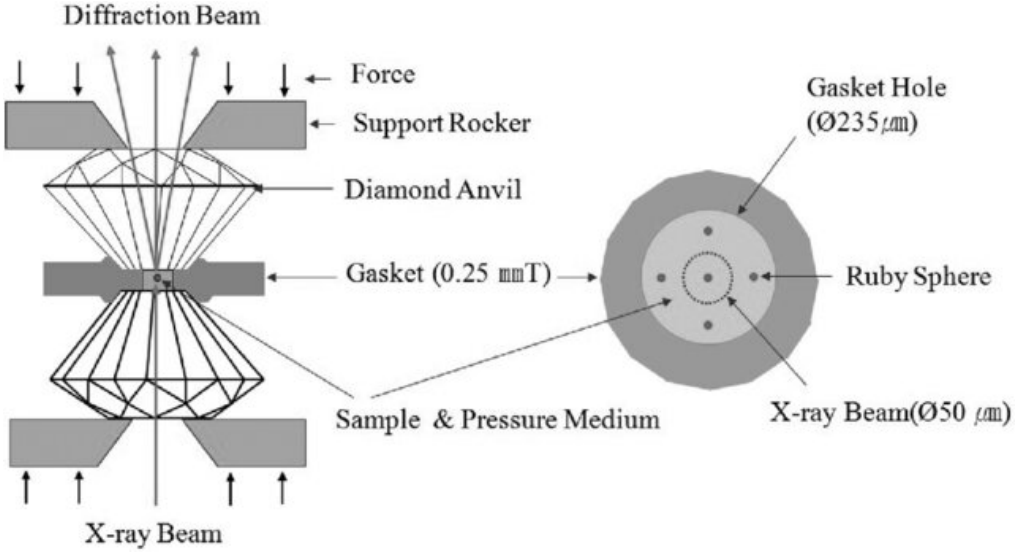
회절은 파동이 장애물을 만나면 일어나는 현상을 일컫는다. 이는 입자와 구별되는 현상으로 만약 장애물 사이에 틈이 있다면, 파동은 그 틈을 지나면서 동시에 그 주변의 일정 범위로도 도달할 수 있다. X-선은 전자기파의 일종으로서 파동의 한 종류이고, 따라서 결정에 부딪히게 하면 회절을 일으킨다. 물질의 구조에 따라 그 회절각과 강도는 달라지기 때문에, 이 회절된 X-선을 이용하면 시료에 존재하는 결정성 물질의 종류 및 양을 알 수 있다. 즉, X-선 회절법으로 결정성 물질의 구조에 관련된 정보를 파악할 수 있다. 이러한 특징으로 인해 X-선 회절은 결정의 구조 분석 및 격자 크기 파악을 위한 주요 솔루션으로 사용된다. 다음과 같은 간단한 브래그 식(Bragg equation)을 통해 그 원리를 이해할 수 있다.

$$n\lambda=2d\sin\theta \quad [식\ 1]$$

여기서, d는 결정면간 거리, Θ는 입사각, λ는 X-선의 파장, n은 임의의 정수이다. 특정 파장을 가지는 X선이 결정면에 입사할 때, 해당 조건이 만족된다면 각 결정면에 입사하는 X선의 파장이 보강 간섭을 일으킨다. 이렇게 증폭된 X선을 통해 원자의 배열을 알 수 있다.

2. 다이아몬드 엔빌 고압기 및 전기로

다이아몬드 엔빌 고압기는 두 개의 다이아몬드를 통해 그 사이의 시료에 압력을 가하는 소형 고압 장치이다 [그림 2]. 바닥의 작은 면인 큘릿에 시료를 놓고 눌러주는데, 힘이 닿는 면적이 작기 때문에 작은 힘으로도 큰 압력을 낼 수 있다. 현재까지 여러 가지 재료를 이용하여 고압기가 개발되었지만, 다이아몬드 엔빌 고압기는 재료 특유의 고경도라는 특성으로 인해 고압 조건에서도 파괴되지 않고 안정적으로 재사용이 가능한 측면이 장점으로 각광받으며 해당 엔빌 고압기를 이용하면 최대 대기압의 470만배(470 GPa)의 압력을 가해줄 수 있다고 한다. 다이아몬드 엔빌 셀의 구조는 다음과 같다. 먼저 엔빌 셀의 몸체는 결합할 수 있는 피스톤과 실린더로 나뉘어지며, 그 안쪽에 다이아몬드를 붙인 시트를 각각 고정시킨다. 다이아몬드의 큘릿 면은 상하로 맞닿았을 때 유격이 없도록 정렬 과정을 거친다. 큘릿 사이에는 원통형의 개스킷이 있으며, 이 내부에 시료와 함께 물이나 MEW 등의 정수압 환경을 구현할 수 있게 하는 압력 전달 매체를 넣는다. 압력은 루비 단결정 또는 Au 파우더 등의 압력 측정 인자를 같이 넣어 해당 인자의 형광(fluorescence) 피크 또는 격자 상수를 측정하여 결정할 수 있다 (Anderson et al., 1989; Mao et al., 1986). 전기로는 시료에 고온의 열을 가하기 위해 사용하는 장치로, 전기를 사용해서 온도를 높이는 장치이다. 실험 조건에 맞는 온도에 맞추기 위해 각 압력마다 최대 4시간씩 가열해주었다. 본 연구에서는 다이아몬드 엔빌 고압기를 이용하여 시료에 압력을 가한 후, 압력이 가해진 상태로 전기로를 이용하여 온도를 올리고 식힌 시료에 대해 X-선 회절 측정을 진행하고 그 결과를 분석하였다.



[그림 1] 다이아몬드 엔빌 고압기 모식도 (Cho et al., 2011)

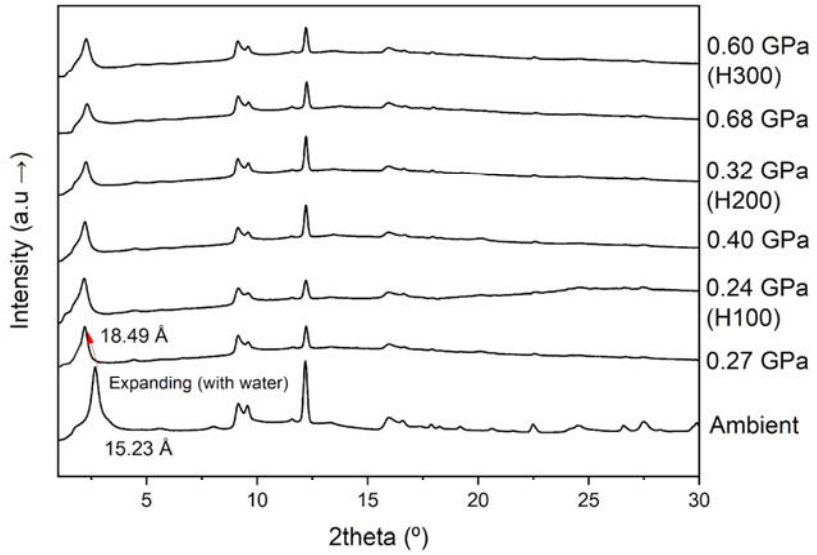
Ⅳ. 연구 결과

1. 시료

실험에 사용한 점토 광물은 몬모릴로나이트의 일종인 베이델라이트로 $[(Na,Ca)_{0.33}Al_{2.17}(Si_{3.17}Al_{0.83})O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O]$의 화학식을 가진 것으로 알려져 있다. 실험에 사용된 베이델라이트 시료는 경북대학교에서 제공받았다. 본 실험 전 X-선 회절 분석을 이용하여 상동정(phase identify)을 진행하였다. X-선 회절 실험에는 연세대학교 고압광물물리화학연구단 소재의 Rigaku MicroMax-007HF와 R-AXIS IV++를 사용하였다. 해당 장비의 X-선 방출원은 몰리브덴으로 0.7107 Å의 K_α 파장을 가진다. 베이델라이트의 격자 상수(cell parameter)는 CMPR 프로그램을 이용하여 a= 5.21(1) Å b= 8.54(1) Å c= 15.18(1) Å, β= 90.68(1)°로 확인되었으며 공간군은 C2/m으로 전형적인 몬모릴로나이트와 일치하는 것으로 확인되었다.

2. 화성 지각 조건에서의 가열-고압 실험

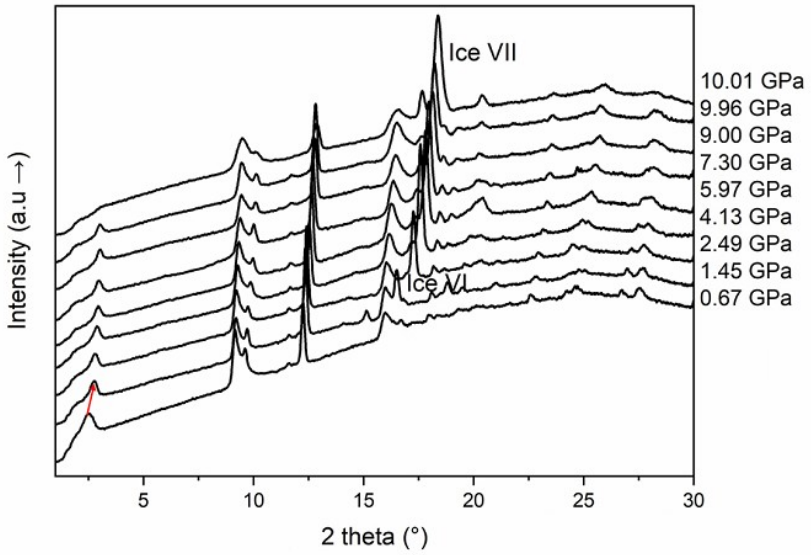
물을 압력 전달 매체로 사용한 베이델라이트 시료에 대하여 화성 섭입대 조건에서의 X-선 회절 패턴은 [그림 3]과 같다. 회절 패턴은 추가적인 물을 함유하지 않은 상온 상압 조건부터 시작하여 이후 물을 포함한 채로 최대 0.6 GPa, 300 °C까지 측정되었으며 이는 화성에서 최대 ~40 km 깊이와 대응한다. X-선 회절 패턴을 살펴보면, 상온 상압에서 15.23 Å의 격자간 거리를 보이는 (001)피크가 물이 함유되자 2 theta 값이 감소하여 18.49 Å까지 격자간 거리가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 베이델라이트의 층간에 물이 추가적으로 함유되어 발생한 현상으로 선행 논문에 따르면 2중층 물 분자 레이어가 물이 추가적으로 유입되며 3중층으로 변한 것으로 생각된다 (Colton-Bradley, 1987). 그 외 0.6 GPa, 300 °C까지 베이델라이트 시료는 안정하게 존재하였으며, 반응으로 인한 피크의 변화는 보이지 않았다. 회절 패턴의 양상을 확인하면 압력이 증가함에 따라 2 theta가 높은 쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 압력에 의한 면간거리의 감소로 인한 2 theta의 증가로, 앞선 연구방법에서 설명했던 브래그 식에 의해서 설명될 수 있다. 실험 결과 베이델라이트 시료는 물을 포함한 생태로 화성에서 최대 ~40 km 깊이까지 안정할 수 있었을 것으로 생각된다. 이러한 관찰을 통해 화성 내부에서의 점토 광물의 존재 가능성을 확인할 수 있었다.



[그림 2] 가열-고압 조건에서의 베이델라이트의 X-선 회절 패턴

3. 화성 맨틀 조건에서의 고압 실험

물을 압력 전달 매체로 사용한 베이델라이트 시료에 대해서 화성 내부에서의 안정성을 조사하기 위해 온도 조건을 무시하고 고압 조건에서의 실험을 진행하였다. 실험 결과, 화성의 최상부 맨틀에 대응하는 0.67 GPa와 1.45 GPa 사이 압력 조건에서 (001)피크의 2 theta 값의 증가량이 다른 압력 구간보다 높은 것을 확인하였다. 이러한 급작스러운 (001)피크의 이동은 물의 일부 탈수에 의한 것으로 생각된다. 해당 압력에서 물이 탈수되는 이유는 추가적인 조사가 필요하다. 이러한 결과는 화성의 상부 맨틀 조건에서 점토 광물의 탈수 반응이 일어나서 물을 공급할 가능성을 암시한다.

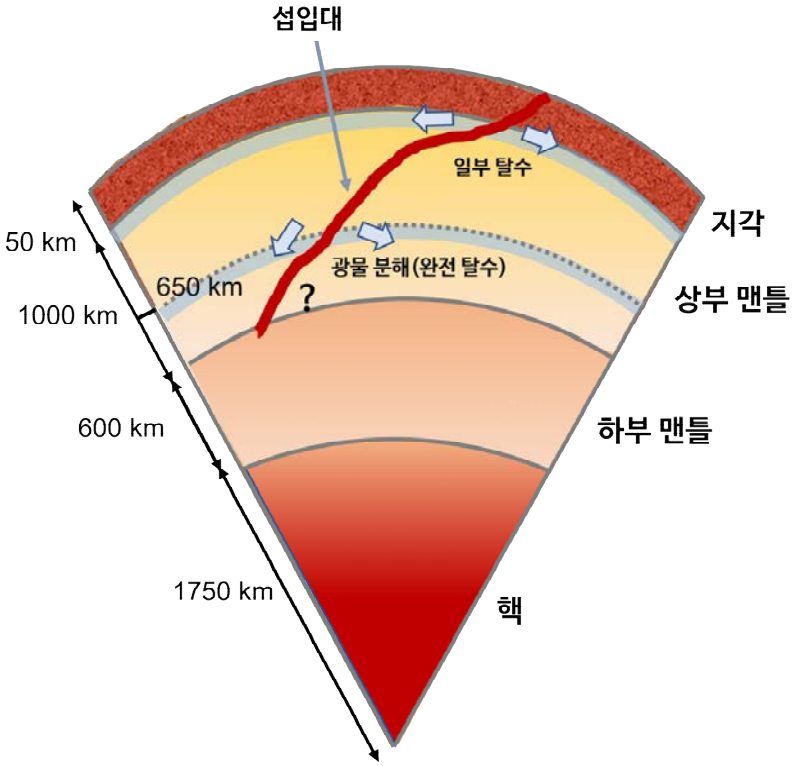


[그림 3] 고압 조건에서의 베이델라이트의 X-선 회절 패턴

이후 10.01 GPa까지 실험한 결과 10 GPa 부근에서 (001) 피크의 붕괴가 관찰되었다. 이는 베이델라이트가 해당 압력 조건에서 불안정한 상태라는 것을 의미하며, 베이델라이트의 구조를 고려해보면 층간에 존재하던 물이 탈수되었다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 화성 맨틀의 630 – 680 km에 대응하는 10 GPa의 압력 조건까지 베이델라이트가 물을 포함한 상태로 안정함을 확인하였다.

Ⅴ. 결론 및 제언

기존 연구를 통해 화성에서 스멕타이트와 같은 점토 광물의 발견과 지질 활동의 흔적을 찾을 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 사실을 기반으로 화성의 과거 지질활동을 지구와 유사한 형태로 가정하고 물이 점토 광물 형태로 행성 내부에 존재할 가능성을 알아보기 위해 섭입대 조건을 구현하였다. 또한, 구현한 해당 조건에 대해 몬모릴로나이트 광물군 중 하나인 베이델라이트를 이용하여 가열-고압 X-선 회절 실험을 진행하였다. 실험 결과 (1) 화성의 지각 상부 온도-압력 조건에서 베이델라이트가 안정적으로 존재할 수 있다는 것을 확인할 수 있었으며, 또한 확장 연구를 통해 (2) 최상부 맨틀 조건에서의 일부 탈수 반응 및 (3) 화성의 상부 맨틀 630 – 680 km의 압력 조건까지의 베이델라이트의 안정성을 확인하였다 [그림 4]. 이는 섭입 또는 다른 활동을 통해서 화성 내부에 물이 존재할 가능성이 존재한다는 것을 시사한다. 기존 연구에 따르면 화성의 맨틀 성분을 가진 운석을 분석한 결과, 최대 300 ppm의 수분 함유를 확인할 수 있었다고 한다 (McCubbin et al., 2012). 이러한 결과는 실제로 섭입 활동이 일어나고 있는 지구 맨틀 층의 풍부한 수분 함량과 유사하며, 이와 같은 물 함량을 감안할 때 함수 광물에 의한 물의 존재는 충분히 가능성이 있을 것으로 여겨진다. 또한 베이델라이트 등의 점토 광물에 의해 특정 깊이에서 탈수된 물은 해당 깊이에 물이 풍부할 수 있다는 가능성을 보여주는데, 이러한 특정 층의 존재 가능성은 이후 지진파 탐사 등을 통해 구체적으로 확인할 수 있을 것으로 생각된다.



[그림 4] 화성 섭입대 조건에서의 베이델라이트의 분해 반응 모식도

Ⅵ. 참고문헌

한국천문연구원. (2020). 화성. https://astro.kasi.re.kr/learning/pageView/5146

Anderson, O. L., Isaak, D. G., & Yamamoto, S. (1989). Anharmonicity and the equation of state for gold. *Journal of Applied Physics*, *65*(4), 1534 - 1543. https://doi.org/10.1063/1.342969

Balme, M. R., Gallagher, C. J., & Hauber, E. (2013). Morphological evidence for geologically young thaw of ice on Mars: A review of recent studies using high-resolution imaging data. Progress in Physical Geography, 37(3), 289-324.

Borg, L., & Drake, M. J. (2005). A review of meteorite evidence for the timing of magmatism and of surface or near-surface liquid water on Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, *110*(E12). https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2005JE002402

Cho, K. H., Ko, Y. H., Seo, C. E., & Kim, K. J. (2011). The Study on Phase Transition Pressure of Donor doped Pb (Zr 0.52 Ti 0.48) O 3 Ceramics with

Diamond Anvil Cell. Journal of the Korean Ceramic Society, 48(5), 471.

Colten-Bradley, V. A. (1987). Role of Pressure in Smectite Dehydration - Effects on Geopressure and Smectite-To-Illite Transformation. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, *71*(11), 1414 - 1427. https://doi.org/10.1306/703c8092-1707-11d7-8645000102c1865d

Lauro, S. E., Pettinelli, E., Caprarelli, G., Guallini, L., Rossi, A. P., Mattei, E., Cosciotti, B., Cicchetti, A., Soldovieri, F., Cartacci, M., Di Paolo, F., Noschese, R., & Orosei, R. (2021). Multiple subglacial water bodies below the south pole of Mars unveiled by new MARSIS data. *Nature Astronomy*, *5*(1), 63 - 70. https://doi.org/10.1038/s41550-020-1200-6

Mao, H. K., Xu, J., & Bell, P. M. (1986). Calibration of the ruby pressure gauge to 800 kbar under quasi-hydrostatic conditions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *91*(B5), 4673 - 4676. https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JB091iB05p04673

McCubbin, F. M., Hauri, E. H., Elardo, S. M., Vander Kaaden, K. E., Wang, J., & Shearer, C. K. (2012). Hydrous melting of the martian mantle produced both depleted and enriched shergottites. *Geology*, *40*(8), 683 - 686. https://doi.org/10.1130/G33242.1

Smith, I. B., Lalich, D. E., Rezza, C., Horgan, B. H. N., Whitten, J. L., Nerozzi, S., & Holt, J. W. (2021). A Solid Interpretation of Bright Radar Reflectors Under the Mars South Polar Ice. *Geophysical Research Letters*, *48*(15), 1 - 10. https://doi.org/10.1029/2021GL093618

Syracuse, E. M., van Keken, P. E., Abers, G. A., Suetsugu, D., Bina, C., Inoue, T., Wiens, D., & Jellinek, M. (2010). The global range of subduction zone thermal models. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, *183*(1 - 2), 73 - 90. https://doi.org/10.1016/j.pepi.2010.02.004

Weir, A. H., & Greene-Kelly, R. (1962). Beidellite. *American Mineralogist*, *47*(1 - 2), 137 - 146.

지구과학

05_동양말벌의 생체모방을 이용한 태양전지의 효율성 증대에 관한 연구

동양말벌의 생체모방을 이용한 태양전지의 효율성 증대에 관한 연구

김서준 (상명초등학교 5학년)

지도교수 : 박재용 (서울교육대학교 과학교육과)

초록

최근 탄소 배출이 늘어나고 지구온난화가 심해짐에 따라 세계 각국에서는 태양광 발전을 이용한 에너지 생산이 증가하고 있다. 동양말벌의 갈색 줄무늬는 계단식 능선 구조를 가지고, 태양 빛이 각각의 층들을 통과할 때 이 능선 구조에서 빛을 분산시키고 다시 잉여에너지를 흡수하여 에너지 효율을 높이는 특성을 가진다.
본 연구에서는 동양말벌의 생체모방을 통해 태양전지 패널의 에너지 효율을 증대시킬 수 있는 구조를 제시한다. 제시된 태양전지 패널의 구조를 이용하여 태양전지 패널과 지면과의 각도를 30도~70도로 배치하여 면적당 전압으로 효율을 비교하였다. 총 3번의 실험에서 70도의 각도에서 면적당 전압이 가장 높게 나타났으며, 이 결과를 토대로 지면과 이루는 각도가 70도인 계단식 능선 구조를 셀 단위로 배치하고 그것을 확장시켜 패널로 만드는 것을 제안한다.

Ⅰ. 서론

최근 탄소배출에 의한 지구온난화가 악화되고 있다. 이런 환경오염으로 인해 많은 국가들이 태양광 발전소를 이용하여 친환경에너지를 생산하고 있다. 대부분의 태양전지 패널은 평평하게 구성되어 있고, 태양의 고도를 고려하여 최상의 태양에너지를 받을 수 있도록 일정한 기울기 각도를 유지하여 일렬로 배치되어 있다. 태양전지 패널의 효율은 같은 면적 대비 최대 발전 용량이고, 효율이 높을수록 소요 면적이 줄어들게 된다. 태양광 발전의 효율을 증가시키기 위해 반사판을 이용하거나, 염료감응형 태양전지 패널을 개발하는 등의 노력이 계속되고 있다.

동양말벌은 다른 말벌들과는 달리 더운 오후에 가장 활동적이다. 이러한 행동에 관심을 가진 연구자들은 동양말벌의 등구조에 대한 연구를 진행하였다. 동양말벌의 등 표면은 갈색과 노란색의 줄무늬를 가지고 있다. 겉으로 보기에는 부드러운 표피로 보이지만 현미경으로 확대 촬영을 하였을 때는 미세한 여러 층의 구조를 확인할 수 있었다. 특히 갈색의 줄무늬는 계단식 언덕과 비슷한 능선 구조를 가지고, 태양빛이 각각의 층들을 통과할 때 계단식 능선 구조에서 빛을 분산시키고 다시 잉여에너지를 흡수하여 에너지 효율을 높이고 말벌에게 활동할 수 있는 에너지를 공급한다. 연구에 따르면, 계단식 능선 구조가 있는 갈색 큐티클 표면에서의 에너지 효율이 평평한 표면보다 8.3% 증가하였다. [1)]

본 연구는 동양말벌의 큐티클 표면의 계단식 능선 구조를 모방하여 태양광 에너지의 효율을 면적당 전압으로 비교하여 친환경에너지인 태양에너지의 효율을 증가시키는 방법에 대해 연구해 보고자 한다. 동양말벌의 계단식 능선 구조를 모방한 태양전지 패널의 구조를 제시하고, 면적당 전압을 증대시킬 수 있는 최적의 각도를 확인하여 태양전지 배열을 제안한다.

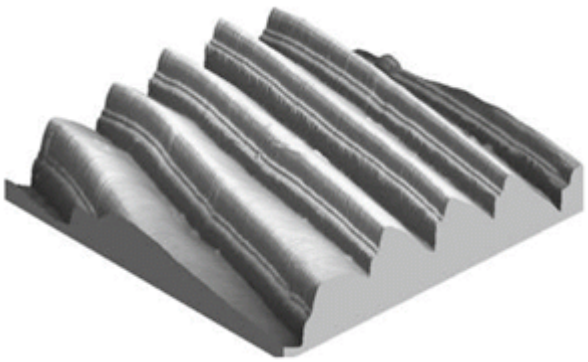


그림 1 동양말벌의 계단식 능선 구조

Ⅱ. 이론적 배경

1. 태양전지의 원리

태양광 발전은 반도체가 태양광을 전기로 변환시키는 효과를 이용하여, 태양으로부터 발생하는 빛에너지를 전기에너지로 변화하는 전력변환 및 제어 기술을 말한다. 하지만 태양에너지는 빛에너지뿐만 아니라 열에너지도 포함하고 있어 태양전지의 에너지 효율에 영향을 미친다. [3] 따라서 태양에너지의 효율은 온도, 조도, 설치각도 등 효율에 영향을 줄 수 있는 요인들에 따라 달라질 수 있다.

태양전지를 이루는 가장 기본적인 구조를 '셀'이라고 한다. 셀은 전기를 일으키는 최소 단위이고, 여러 셀을 조립하고 유리와 프레임으로 보호하여 '모듈(패널)'을 만드는데, 모듈은 전기를 얻을 수 있는 최소 단위이다. 여러 개의 모듈을 직렬 및 병렬로 연결하여 조립한 것을 '어레이'라고 하며, 태양광 발전기를 구성한다.

태양 빛이 셀에 닿으면 광전 효과에 의해 물리적 반응이 일어나고 직류 전류를 발생시킨다. 일반적으로 모듈은 60개 또는 72개의 셀을 전기적으로 연결하여 내구성이 강한 유리 패널과 프레임으로 안전하게 만들어진다. 여러 개의 모듈이 모여 강력하고 효율적인 태양광 발전시스템을 구성하게 되며, 태양광 모듈의 단자에서 생성된 전류는 연결된 케이블을 통해 인버터로 이동하고, 인버터는 전류가 전기 제품에 사용될 수 있도록 교류로 변환한다.

2. 태양전지 효율에 영향을 주는 요인들

1) 온도 [2]

태양전지는 패널에 입사된 광에너지가 변환되어 발생하는 전기적 출력의 특성인 전압-전류 특성을 가진다. 일반적으로 태양광 발전에 대하여 태양광이 가장 강렬하게 비추는 한 여름에 가장 발전량이 많을 것으로 알고 있지만 실제로는 그렇지 않다. 한 연구에서는 일사량이 거의 비슷한 한여름과 겨울에 측정한 태양광 발전시스템의 발전량에 차이가 나는 것을 보고, 패널의 온도가 낮은 겨울철에 발전량이 증가하는 것을 확인하였다. 태양전지 패널 표면의 온도가 1도 감소할 때마다 효율이 0.45% 증가했다. 즉, 패널의 온도와 발전량의 관계는 온도가 증가할수록 발전량은 감소하는 반비례 관계이고, 특히 온도 변화에 가장 크게 영향을 받는 요소는 전압이며, 온도가 상승하면 전압이 낮아지고 온도가 낮아지면 전압은 높아진다.

2) 조도

조도는 단위 면적이 단위 시간에 받는 햇빛의 양을 말한다. 태양전지는 조도가 높은 환경에서 더 많은 에너지를 생산한다. 더 많은 햇빛은 더 많은 전기와 같다. 하지만 태양의 각도, 구름, 날씨 및 대기 오염 정도는 조사량에 영향을 줄 수 있다.

3) 설치각도 [3,4)]

태양전지 패널과 수평선이 이루는 각도를 설치각도라 하며 위도에 따라 빛을 최대로 받는 양이 다르기 때문에 위도에 맞추어 설치해야 한다. 적도 부근에 위치하고 있는 나라에서는 태양이 하늘 정중앙에 있기 때문에 태양전지 패널이 지표면과 평평했을 때 최대효율을 보인다. 지구는 회전축이 23.45° 기울어져 있고 지구의 공전으로 계절별로 경사각은 변하게 된다. 우리나라에서 진행된 태양전지 패널의 설치각도에 따른 발전시스템 성능평가 연구 결과에 따르면, 겨울철 1월은 태양전지 패널의 설치각도가 0°일 때 성능이 가장 높았고 60°일 때 가장 낮았다. 여름철 7월은 설치각도 90°에서 가장 높은 성능을 보였고 30°에서 성능이 가장 낮았다. 이는 일사량과 패널의 온도차로 나타난 결과로 판단했다. 태양 빛을 가장 많이 받을 수 있는 설치각도에서는 에너지 출력도 높지만, 패널의 온도가 증가하면서 성능이 감소하게 된다. 반면 적은 일사량을 받는 각도에서는 에너지 출력이 낮지만 패널의 온도도 낮기 때문에 출력 저하가 적어 상대적으로 높은 성능을 보인다. 겨울철보다 여름철에 태양전지의 성능이 더 낮은 이유도 여름철에 태양전지 패널의 온도가 더 높기 때문이다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 동양말벌의 생체모방을 이용한 태양전지 패널의 구조 제시

총 5개의 태양전지 패널(아람과학사, 4.2W/18V 태양전지 패널, 200*130*3mm)을 이용하여 동양말벌의 계단식 능선 구조를 모방한 태양전지 패널의 구조를 아래와 같이 제시한다.

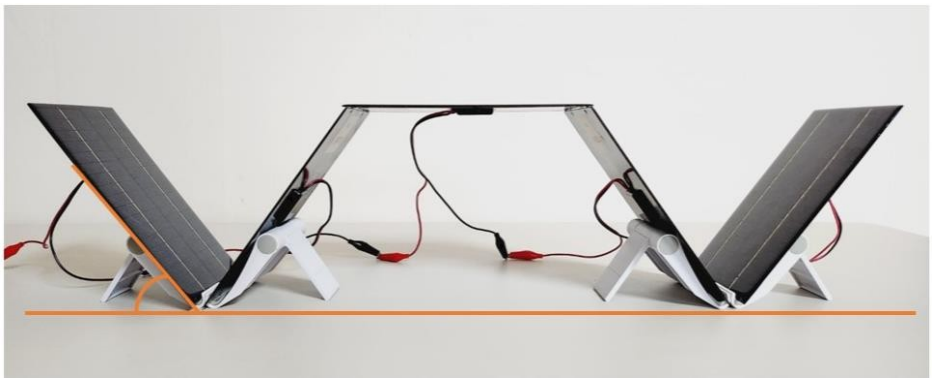


그림 2 동양말벌의 계단식 능선 구조를 모방한 태양전지 패널

2. 대조군과 실험군

대조군은 태양전지 패널 5개를 평평한 바닥에 배치하였고, 실험군은 5개의 태양전지 패널을 지면과의 각도를 각각 다르게 (30°~80°) 하여 계단식 능선 구조로 배치하였다.

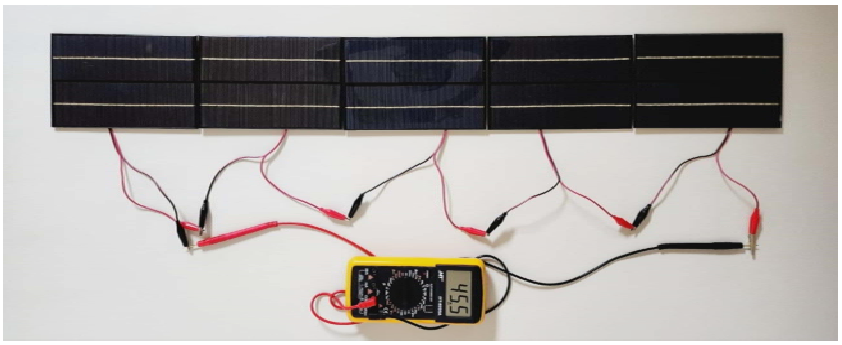


그림 3 대조군

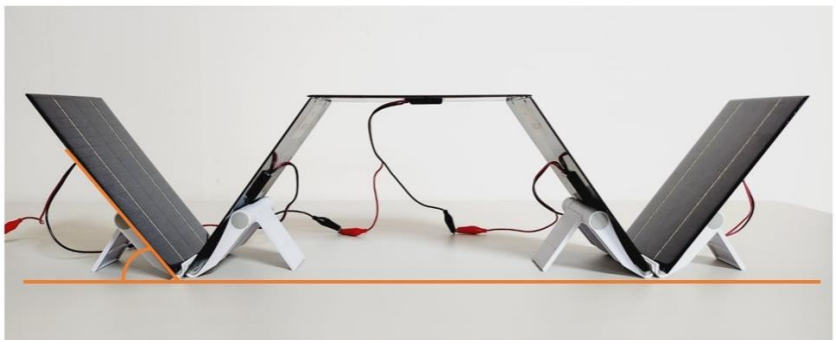


그림 4 실험군

3. 예비실험

실험군과 대조군을 이용하여 예비 실험을 진행하였다. 예비 실험 결과, 대조군보다 실험군에서 면적 당 전압이 증가하는 것을 확인하였다. 특히 실험한 각도 중에서 50°에서 면적당 전압이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다.

또한, 패널의 온도가 낮은 2차 예비 실험에서 측정된 전압이 1차 예비 실험보다 전체적으로 높은 것을 알 수 있었다.

표 1. 1차 예비 실험

			2023년 8월 19일 13:10 온도 32.1℃
지면과 패널의 각도	전압(V)	면적(cm^2)	면적당 전압(V/cm^2)
0°	103	1300.00	0.079
30°	99.5	1160.67	0.086
35°	97.1	1111.92	0.087
40°	97.4	1056.69	0.092
50°	95.4	928.50	0.103

표 2. 2차 예비 실험

			2023년 9월 29일 15:16 온도 26.5℃
지면과 패널의 각도	전압(V)	면적(cm^2)	면적당 전압(V/cm^2)
0°	108.4	1300.00	0.083
30°	106.4	1160.67	0.092
35°	105.2	1111.92	0.095
40°	103.5	1056.69	0.098
50°	102.2	928.50	0.110

예비 실험을 통해 알게 된 수정 사항으로는 첫 번째, 실험 시간에 따라 조도가 다르고, 조도가 낮을 때는 각도별 전압 변화의 차이가 크지 않았다는 점이다. 따라서 본 실험은 자연광 아래에서, 가능한 태양의 고도와 조도가 높을 때 진행하기로 했다.

두 번째, 지면과 이루는 각도를 50°까지만 측정하여 더 큰 각도에서의 효율을 확인하지 못했다. 본 실험에서는 더 높은 각도를 추가하기로 했다. 세 번째, 전압측정기를 연결한 후에 계속해서 전압의 크기가 변했기 때문에, 본 실험에서는 전압측정기를 연결한 후 측정되는 첫 번째 전압을 기록하기로 했다.

마지막으로 높은 온도에서 태양전지 패널을 태양 빛에 오랜 시간 노출시키면서 실험을 지속하다 보니, 태양전지 패널이 과열되면서 전압이 측정되지 않을 때가 있었다. 이를 보완하기 위해 가능한 태양전지 패널의 표면 온도를 일정하게 유지하기 위해 각도 변경 전에 그늘에서 태양전지 패널을 1분씩 엎어두어 과열되지 않도록 하기로 하였다.

4. 실험방법

태양전지 패널은 직렬연결(DC)을 이용하여, 전압측정기(멀티미터전압전류 측정기)를 이용하여 전압(V)을 측정하였다. 거치대 위에 태양전지 패널을 올려놓고 태양전지 패널과 지면이 이루는 각도 (30°~70°)를 다르게 하여 면적 당 전압을 계산하였다. 태양전지 패널이 과열되는 것을 예방하기 위해 각도를 변경하기 전, 그늘에서 패널을 1분씩 엎어두었고, 전압측정기와 연결된 후 가장 처음 측정된 전압을 기록하였다. 자연광 아래에서 실험을 진행하였으며 날짜, 시간, 조도, 습도, 온도를 확인하였다. 면적은 각도마다 태양전지 패널이 차지하는 공간을 계산하여 측정하였다.

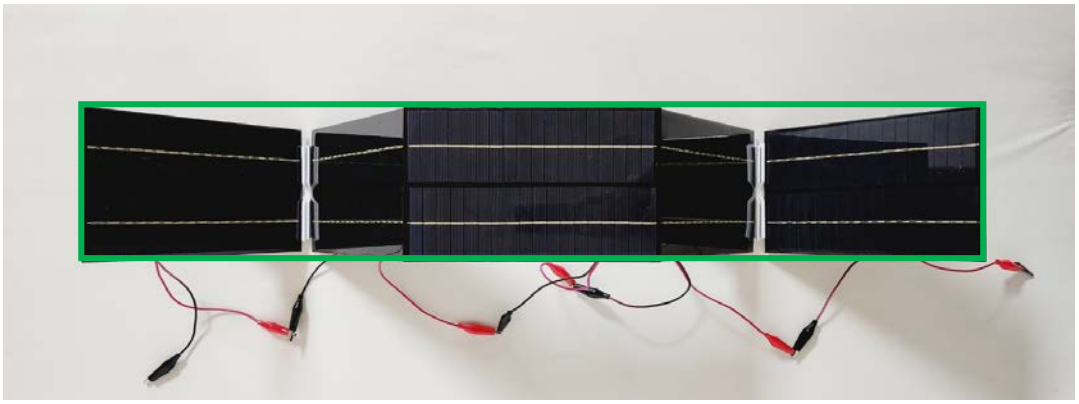


그림 5 태양전지 패널이 차지하는 면적

Ⅳ. 연구 결과

총 3번의 실험을 진행하였고, 실험 날짜와 그날의 온도, 습도 및 조도를 함께 기록하였다. 대조군과 비교하여 7개의 서로 다른 각도를 가진 동양말벌의 생체모방 구조를 이용하여 실험을 진행하였다.

표 3. 1차 실험

	2023년 10월 21일 13:20 온도 16℃ 조도 4850~4875lux		
지면과 패널의 각도	전압(V)	면적(cm^2)	면적당 전압(V/cm^2)
0° (대조군)	105.5	1300.00	0.081
30°	102.5	1160.67	0.088
35°	101.0	1111.92	0.091
40°	100.8	1056.69	0.095
50°	99.4	928.50	0.107
55°	98.3	856.52	0.115
60°	97.0	780.00	0.124
70°	96.9	615.70	0.157

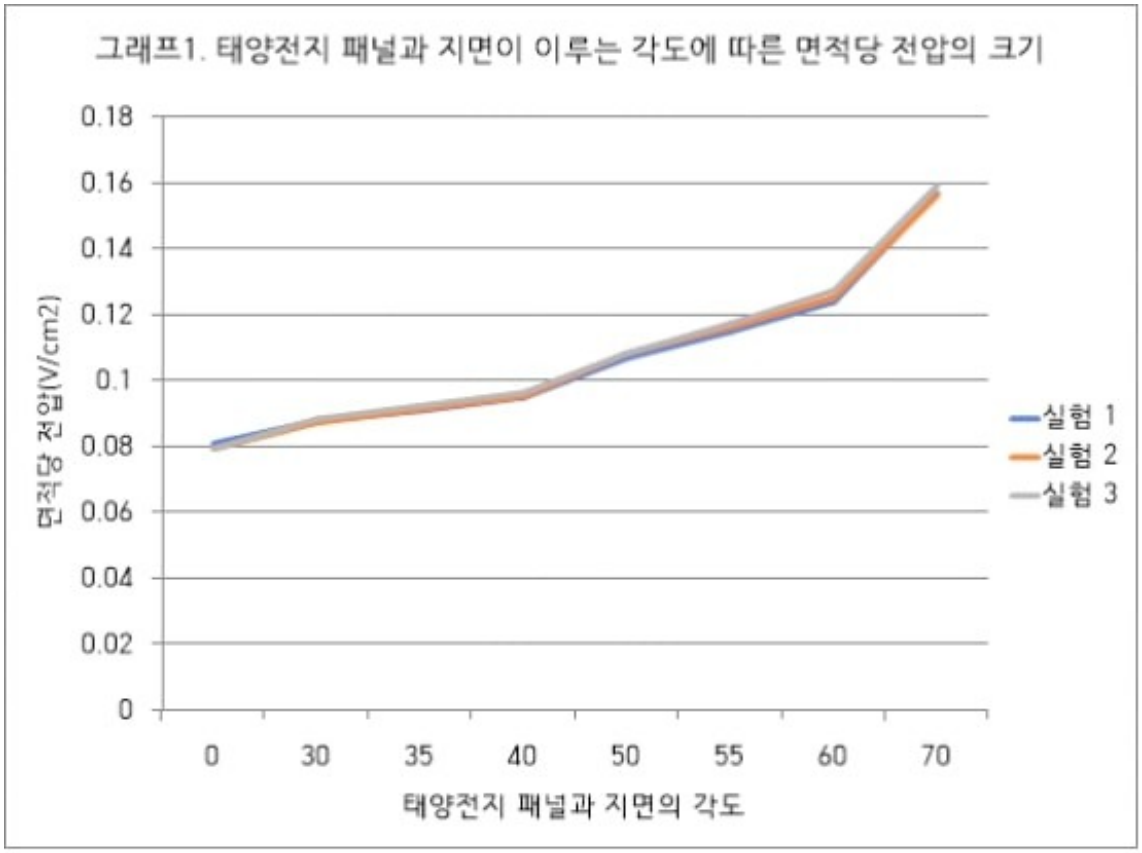
표 4. 2차 실험

	2023년 10월 21일 13:40 온도 16℃ 조도 5030~5060lux		
지면과 패널의 각도	전압(V)	면적(cm^2)	면적당 전압(V/cm^2)
0° (대조군)	103.8	1300.00	0.079
30°	101.3	1160.67	0.087
35°	101.3	1111.92	0.091
40°	100.8	1056.69	0.095
50°	100.1	928.50	0.108
55°	99.1	856.52	0.116
60°	97.4	780.00	0.125
70°	96.3	615.70	0.156

표 5. 3차 실험

	2023년 10월 28일 14:10 온도 18℃ 조도 2800~3100lux		
지면과 패널의 각도	전압(V)	면적(cm^2)	면적당 전압(V/cm^2)
0° (대조군)	102.7	1300.00	0.079
30°	102.3	1160.67	0.088
35°	102.0	1111.92	0.092
40°	101.2	1056.69	0.096
50°	100.6	928.50	0.108
55°	99.9	856.52	0.117
60°	99.2	780.00	0.127
70°	98.2	615.70	0.159

실험 결과, 3개의 실험 모두에서 지면과 패널의 각도가 증가할수록 면적당 전압이 커지는 것을 확인하였다. 즉, 기존 태양전지 패널의 일렬 배치보다 동양말벌의 생체 모방을 통해 제시한 계단식 능선 구조에서 효율이 증가하였다.



그래프1.은 3개의 실험에서 각도별 면적당 전압의 크기가 거의 일치하는 것을 보여준다.

그래프 2.는 대조군인 0도와 가장 좋은 결과를 보였던 70도의 면적 당 전압을 비교한 그래프이다. 평평한 일렬 배치(대조군)에서 면적당 전압은 0.79-0.81 이였고, 70도로 배치한 실험군에서는 0.156-0.159의 분포를 보였다. 대조군 대비 실험군에서 면적당 전압이 1.94-2.01배 높아진 것을 확인할 수 있었다.

Ⅴ. 결론 및 제언

태양전지의 구성은 셀, 모듈(패널), 어레이로 이루어져 있다. 셀은 태양전지의 기본이 되는 구성으로 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생시키는 최소 단위이다. 셀 하나로는 발생하는 전압이 낮기 때문에 여러 장을 사용하여 모듈로 구성해야 하며, 이는 전력을 얻을 수 있는 최소 단위이다. 모듈은 일반적으로 패널로도 불리고, 이러한 여러 모듈을 직렬이나 병렬로 연결한 형태를 어레이라고 한다.

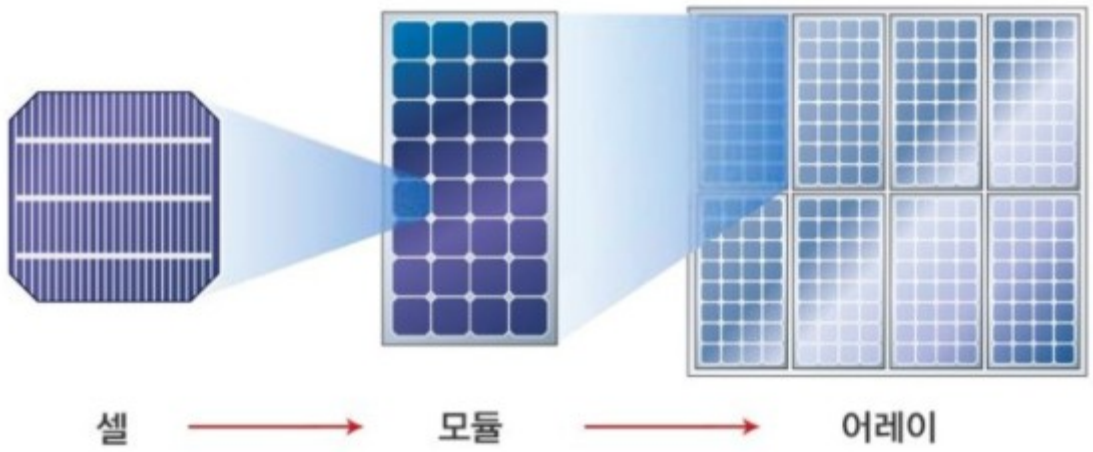


그림 8. 태양전지의 구성

우리가 주변에서 관찰할 수 있는 태양전지 패널의 크기는 평균 1m*2m 크기로 크며, 실질적으로 배치를 수월하게 하기 위해서는 셀 단위로 배치가 이루어져야 한다고 생각했다. 즉, 하나의 패널 안에서 셀 단위로 동양말벌 계단식 능선구조를 모방한 구조를 통해 에너지 효율을 높이는 것이 가장 현실적인 방법이라고 생각한다.

그림 9 동양말벌의 생체모방을 이용한 태양전지의 배열 제안

실험을 하면서 느꼈던 제한점이 있다. 첫 번째, 실험에 사용하였던 태양전지 패널은 실제 사용하고 있는 태양전지 패널보다 받아들이는 전류 또는 전압량이 다르다는 것이다. 따라서 더 큰 용량의 태양전지 패널을 사용하였을 때 어느 정도 오차가 있을 것인지 예상하기 어려웠다. 두 번째는, 본 연구에서는 지면과 패널이 이루는 각도가 커질수록 면적 당 전압의 크기가 증가하는 결과를 보여주었다. 하지만 지면과 패널의 각도가 커지면 패널이 받는 조도가 낮아지고 전력도 줄어들게 된다. 실험이 조도가 높은 시간에 이루어졌고, 패널의 각도가 높으면 그만큼 패널의 표면 온도도 낮아지게 되므로 전압은 상승할 수 있다. 하지만 조도가 낮은 시간대나 겨울철에는 어떠한 결과가 나타날지 확인하지 못했다.

본 연구는 태양전지의 배열을 변화시켜 효율을 확인한 첫 번째 연구다. 태양전지가 차지하는 한정된 면적 내에서 태양전지 패널을 계단식 능선 구조로 배열하였을 때 친환경에너지인 태양광에너지 발전 효율을 증대시킬 수 있다는 아이디어를 제공했다는 점에서 의미가 있다. 하지만 실제적으로 동양말벌의 생체모방을 이용한 태양전지 구조 배열을 반영하고자 한다면, 위에 제시한 제한점을 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Ⅵ. 참고문헌

1) Plotkin M, Hod I, Zaban A, Boden SA, Bagnall DM, Galushko D, Bergman DJ. Solar energy harvesting in the epicuticle of the oriental hornet (Vespa orientalis). Naturwissenschaften. 2010 Dec;97(12):1067-76. doi: 10.1007/s00114-010-0728-1. Epub 2010 Oct 29. PMID: 21052618.

2) 신혜영, 최홍규, 김용규, 안윤기, 최준영, 윤철구, 임명환, 김종수, 서범관. 태양전지 온도에 따른 효율. 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집

3) 안재현. 태양전지 모듈의 설치각도에 따른 발전 시스템의 성능평가 연구. 2015, 건국대학교 대학원

4) 최병욱. 표준 창호에 적용된 실리콘 태양전지의 경사각도 및 반사거울 효과에 따른 효율개선 특징. 2017, 부산대학교

지구과학

06_대한민국에서의 지하수 저장량 변화

대한민국에서의 지하수 저장량 변화

백준흠 (단국대학교사범대학부속중학교 2학년)
이현준 (금옥중학교 2학년)
조현아 (동도중학교 2학년)

지도조교 : 이대하 (서울대학교 과학교육과)
지도교수 : 서기원 (서울대학교 지구과학교육과)

초록

최근 인류의 지하수 사용이 지구 자전축을 변화시키고(Seo et al., 2023) 지반 침하에 크게 기여하여 수도 이전을 고려하게 하는 등(Lubis et al., 2008) 자연에 미치는 영향이 거시적으로 드러남에 따라 지하수에 이목이 집중되고 있다. 그러나 우리는 지면 아래에 존재하는 지하수가 얼마나 존재하는지 정확하게 알지 못한다. 이에 지하수 저장량을 추정하는 방법을 배우고 이를 바탕으로 가장 데이터의 접근이 용이한 대한민국에서의 지하수 저장량의 변화량을 계산하여 보고자 한다. 또한 지하수 저장량 모델 자료가 월간 자료임에 착안하여 시간 해상도를 높여 대한민국에서의 일일 지하수 저장량의 변화량을 얻어낸다.

Ⅰ. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

인류의 무분별한 지하수 사용이 지하수에 관련된 문제들이 일어남에 따라 지하수에 대한 이목이 쏠리고 있다. 지하수는 지하의 지층이나 암석 사이의 공극에 채워진다. 지하수 저장량의 변화를 계산하기 위해서는 지하수위의 변화량을 바탕으로 추정하며 이 과정에서 저류계수가 고려된다. 저류계수는 충적층의 유효공극률과 암반 대수층의 두께와 압축률을 고려하여 결정된다. 이 값은 알기가 어려워 하나의 상수값으로 가정한다. 연구에서는 지하수 저장량 모델 자료와 대한민국에서의 지하수위 관측 자료를 이용하여 저류계수를 추정한다. 본 연구에서는 지하수 저장량 모델 자료와 대한민국에서의 지하수위 관측 자료를 이용하여 대한민국에서의 저류계수를 추정하여 본다. 또한 지하수 저장량 모델 자료가 월간 자료임에 착안하여 추정한 저류계수를 바탕으로 대한민국에서의 일일 지하수 저장량의 변화량을 계산하여 본다. 저류계수에 대한 합리적인 추정 방법의 제시와 월간 데이터의 한계를 극복한다는 점에 의의가 있다.

Ⅱ. 이론적 배경

인류의 지하수 사용이 지구 자전축을 변화시키거나 지반 침하에 크게 기여함이 발견되었다. 지하수는 지표 아래에 존재하여 눈으로 확인하기 어려우므로 관정을 뚫어 지하수의 수위를 관측한다. 이때 대수층의 특성에 따라 다른 특징을 가진다. 충적 대수층에서는 대기압의 영향만 받고 있으므로 실제 지하수위와 측정 지하수위가 같지만 암반 대수층은 대기압과 상부 압층의 압력도 같이 존재해서 압력을 추가로 받아 지하수위가 실제보다 더 높게 측정된다.

지하수량은 관찰 가능한 지하수위에 비례하며, 저류계수와 면적을 이용하면 지하수위로부터 지하수량을 계산할 수 있다. 이는 다음과 같다 (Marechal, J.C. et al., 2006).

$$\triangle V = A \times S \times \triangle h$$

여기에서 $\triangle V$는 지하수량의 변화량, A는 면적, S는 저류계수, $\triangle h$는 지하수위의 변화량이다.

Ⅲ. 연구방법

본 연구에서는 면적과 저류계수, 그리고 지하수위를 곱하여 지하수량을 구하는 식을 기반으로 연구를 진행한다. 2002년 5월 1일부터 2017년 5월 31일까지의 기간의 국가지하수측정망의 414개 관정별 일일 지하수위 자료와 0.5° 간격의 월간 지하수 저장량 모델자료인 WaterGAP 자료를 사용한다.

관정별 저류계수를 추정하는 방법은 다음과 같다. 일일 지하수위 자료를 값이 있는 부분만 평균을 내어 월간 지하수위 자료로 변환한 다음 위도와 경도 각각 0.5° 간격에 맞추어 지하수 관정별로 위치를 분류한다. 분류된 위치별로 각 관정에서 계산한 저류계수의 평균값을 계산한다. 계산한 저류계수의 값이 잘 맞는지 확인하기 위해 추정한 저류계수를 이용하여 지하수 저장량과 저장량 모델 자료를 비교하는 과정을 거친다. 그림 1의 2번 관정과 같이 나타나면 추정한 저류계수의 값이 잘 맞는 관정이라 분류하고 17번 관정과 같이 위상과 진폭이 맞지 않으면 잘 맞지 않는 관정이라 분류하였다.

이후 일일 대한민국의 지하수 저장량의 변화량을 추정하는 방법은 다음과 같다. 우선, 구역별 지하수위의 평균값을 계산한다. 0.5° 간격의 구역별로 앞서 계산한 저류계수의 평균값을 계산한다. 이후 지하수위 평균값과 저류계수의 평균값, 그리고 0.5° 간격의 구역별 면적을 곱한 뒤 곱한 값을 모두 더하고 이 값을 구역별 면적의 합으로 나누어 대한민국에서의 단위 면적당 지하수 저장량의 변화량을 구한다. 여기에 대한민국 면적을 곱하여 일일 대한민국 지하수 저장량의 변화량을 추정한다.

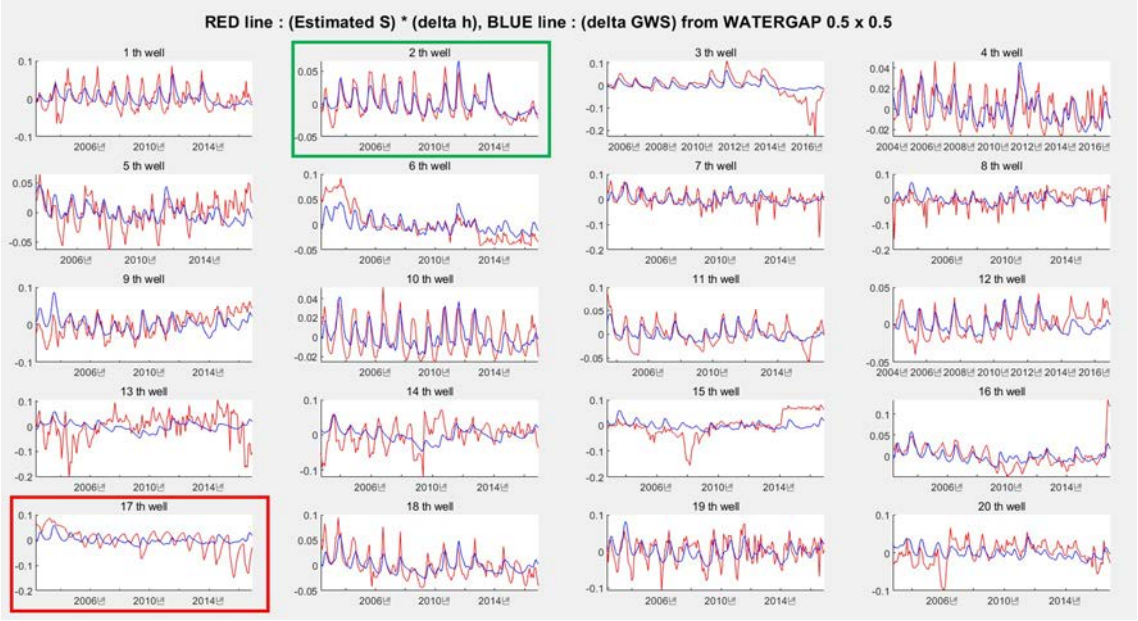


그림 1. 추정한 저류계수로 계산한 지하수 저장량의 변화량과 지하수 질량 모델의 지하수 저장량의 비교에 사용된 그래프. 빨간선은 추정한 저류계수에 지하수위의 변화량을 곱한 값이며 파란선은 지하수 질량 모델의 지하수 저장량의 변화량으로 두 값 모두 단위면적 당 질량 값이다.

Ⅳ. 연구결과

결과는 다음과 같다. 그림 2는 관정별 저류계수 추정값과 각 관정의 위치를 그린 그래프이다. 가로축은 경도, 세로축은 위도를 나타낸다. 각각의 점은 관정의 위치를 나타내며 각 관정의 저류계수 값은 0에서부터 0.2의 범주로 색깔을 이용하여 나타낸다. 그림 3에는 관정별 분류과정을 거치면서 제거한 관정의 위치와 각 관정의 저류계수 값을 나타내었다. 분류과정에서 제거한 관정의 위치는 해안선 근처 혹은 수도권에 집중되어 있음을 확인할 수 있다. 그림 4에는 일일 대한민국의 지하수 저장량의 변화량을 기가톤(Gton) 단위로 나타낸 그래프이다. 그래프에서 여름에 연중 최고치를 나타내는 것을 확인할 수 있고 2000년대 초반 대비 2010년대 후반의 저장량은 줄어든 것을 확인할 수 있다.

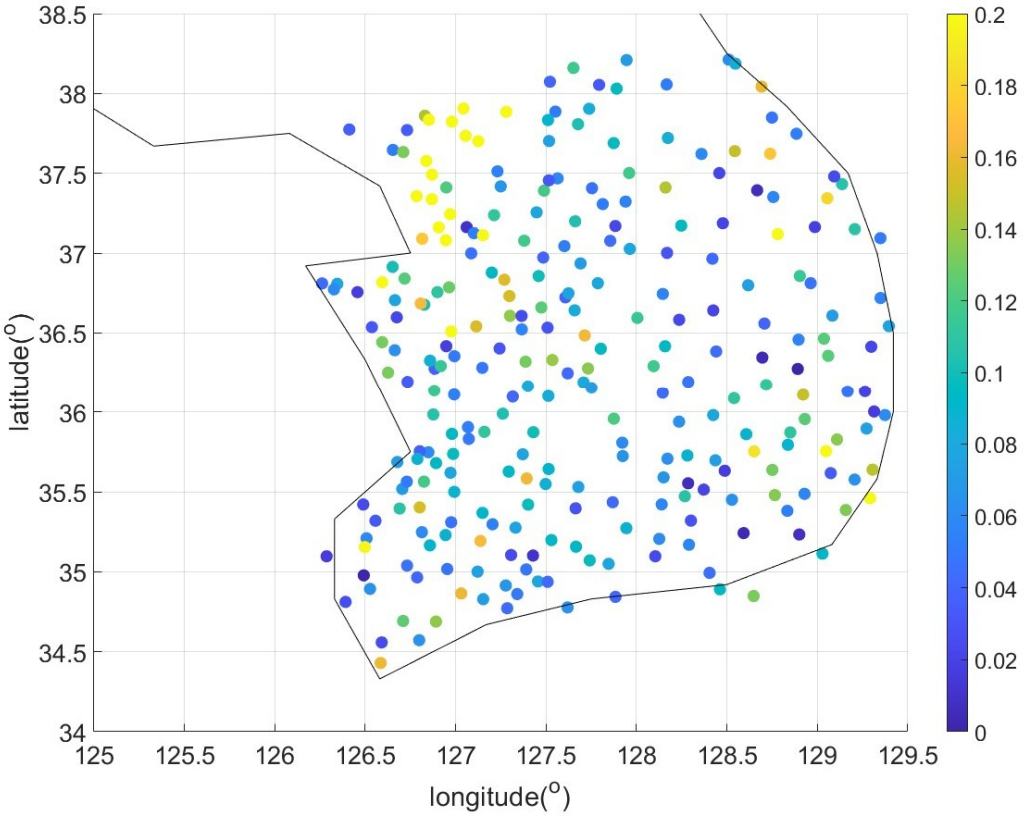


그림 2. 추정한 관정별 저류계수 값 및 관정의 위치

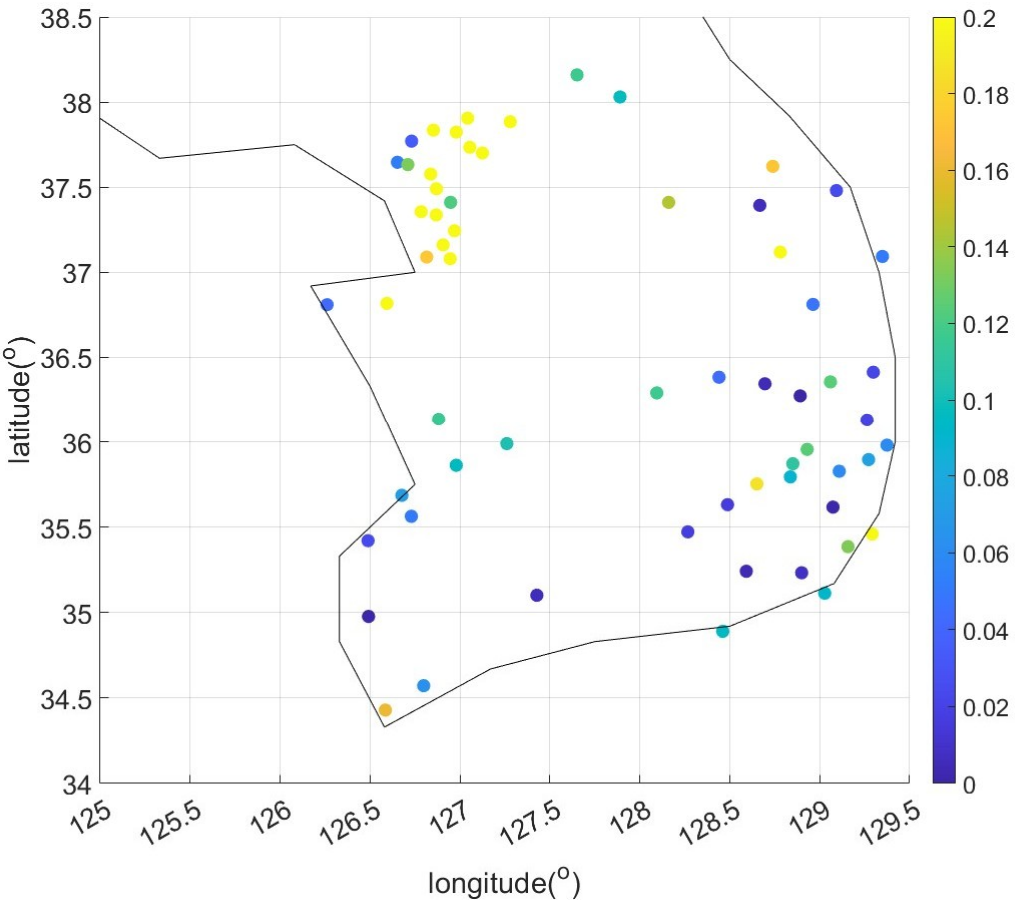


그림 3. 제거한 관정의 추정 저류계수 값 및 관정의 위치

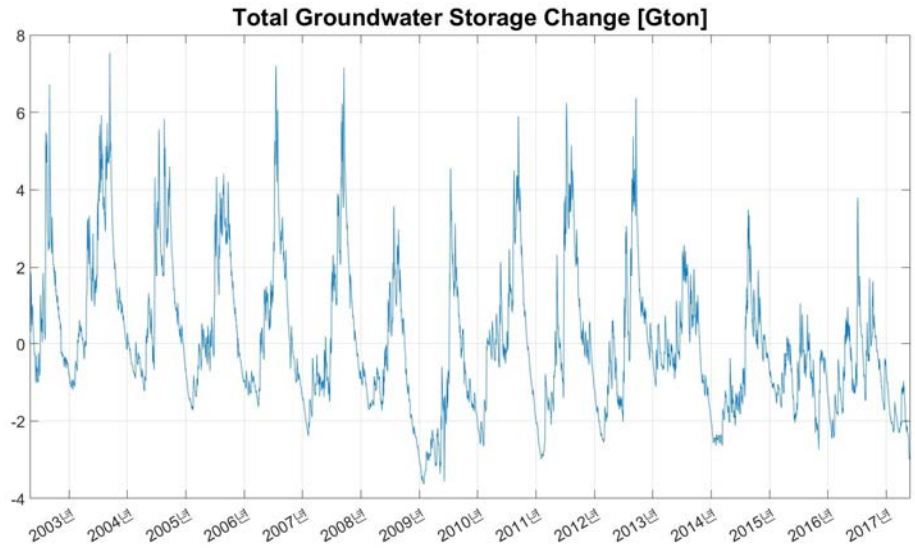


그림 4. 대한민국에서의 일일 지하수 저장량의 변화량.

Ⅴ. 결론 및 제언

본 연구에서는 관정별 저류계수를 추정하고 일일 대한민국의 지하수 저장량의 변화량을 계산해보았다. 관정별 저류계수는 평균 0.0955, 표준편차 0.0807로 계산되었으며 이는 선행연구의 범주와 합치한다. 관정별 분류과정에서 위상이 상이하여 제거한 관정의 위치는 해안선 근처 혹은 수도권에 집중되어 있고, 특히 수도권 근처의 관정에서 추정된 저류계수의 평균값은 0.26으로 매우 높게 나타난다. 이는 해안선을 잘 모의하지 못하는 모델의 한계와 수도권에서의 지하수 사용량이 모델과의 차이를 만들어내어 영향을 준 것으로 생각된다.

추정한 저류계수와 일일 지하수위 자료로 일일 대한민국의 지하수 저장량의 변화량을 계산하여 월 단위로 제공되는 지하수 저장량 모델의 시간 해상도를 높였다. 그 과정에서 지하수의 일일 변화량 대비 월간 변화량이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 2014년 이전에는 연중 8Gton의 변화를 나타내고, 이후에는 연중 변화량이 줄어드는 형태를 보인다. 또한 연중 지하수 저장량이 가장 많은 시점은 매년 여름으로, 유출 요인이 일정하다면 강수에 크게 영향을 받는 것을 확인하였다. 시계열 전체에서 2000년대 초반 대비 2010년대 후반의 저장량은 줄어들었는데, 지하수조사연보에서 조사한 우리나라 지하수 이용량이 1994년부터 2016년까지 지속적으로 증가하여서 이러한 결과가 나타난 것 같다. 이는 우리나라 지하수 전체량이 감소하는 데에 이용량의 증가가 영향을 주었을 것으로 판단된다.

해안선의 영향을 적게 받을 것이라 생각되는 대전지역에서 추정한 저류계수와 월별 지하수위 자료로 월별 지하수량 변화량을 계산해 본 결과를 그림 5에 나타내었다. 여기에서 지하수량의 변화량이 강수의 15%와 위상이 비슷함을 확인했다. 여름에 증발량이 증가함에도 불구하고 지하수량이 크게 나타나는 것으로 보아 지하수 저장량은 강수의 영향을 크게 받음을 알 수 있다. 추후 연구로는 물이 들어오는 강수량과 물이 빠져나가는 증발량, 물의 흐름 자료 등을 이용하여 지역별로 지하수에 강수의 효과가 얼마나 잔여하는지를 추가로 확인할 수 있을 것이라 생각한다.

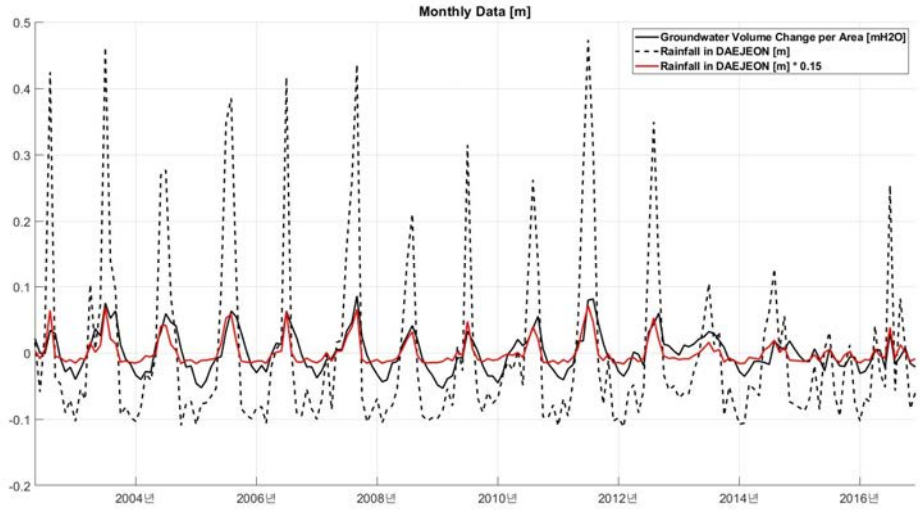


그림 5. 대전 지역에서의 강수량 및 지하수 저장량의 변화량 비교. 검은 실선은 강수량을 나타내며 검은 실선은 지하수 저장량의 변화량을 나타낸다. 빨간 실선은 검은 실선의 값의 15%에 해당하는 값이다.

Ⅵ. 참고문헌

Seo, K.-W., Ryu, D., Eom, J., Jeon, T., Kim, J.-S., Youm, K., Chen, J. & Wilson, C.R., 2023. Drift of Earth's pole confirms groundwater depletion as a significant contributor to global sea level rise 1993 - 2010, Geophys. Res. Lett., 50(12), doi:10.1029/2023GL103509.

Lubis, R.F., Sakura, Y. & Delinom, R. Groundwater recharge and discharge processes in the Jakarta groundwater basin, Indonesia. HydrogeolJ 16, 927 - 938 (2008). https://doi.org/10.1007/s10040-008-0278-1

Chen, J.L., Wilson, C.R., Tapley, B.D., Scanlon, B., Güntner, A., 2016b. Long-term groundwater storage change in Victoria, Australia from satellite gravity and in situ observations. Global and Planetary Change 139, 56 - 65.

Seo, J. Y., and S. I. Lee. 2016. "Integration of GRACE, Ground Observation, and Land-Surface Models for Groundwater Storage Variations in South Korea." International Journal of Remote Sensing 37 (24): 5786 - 5801. doi:10.1080/01431161.2016.1249301.

Marechal, J.C., Dewandel, B., Ahmed, S., Galeazzi, L., Zaidi, F.K., 2006. Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semi-arid groundwater basin with irrigated agriculture. J. Hydrology 329, 281 - 293. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.022.

Kim, K.-Y.1998."Study on the Conjugate Water Use between the Surface-and Groundwater in the JeoncheonBasin." MS thesis., YonseiUniversity.

Kim, G.2010."Estimation of Specific Yield Using Rainfall and Groundwater Levels at Shallow Groundwater Monitoring Sites." Journal of the Korean Geo-environmental Society11 (6): 57 - 67

환경부.2020."지하수조사연보"