

2017년도 인문자연탐사 보고서

'계룡산을 탐구하다'

계룡산 체크포인트 별 중금속 오염도 분석 및 매핑

2017. 08. 21

신민호, 양모중, 박진, 손주승

지도교사 : 김기향



세종과학예술영재학교

계룡산 체크포인트 별 중금속 오염도 분석 및 매핑

세종과학예술영재학교
1606 신민호, 1607 양모중,
2606 박진, 2607 손주승

1. 탐사의 필요성

가. 탐사 동기

보통 국립공원을 생각하면 청정하고 공기가 맑은 이미지를 떠올리는데, 국립공원인 계룡산의 오염도가 과연 다른 산림들에 비하여 적을 것인가에 대해 알아보고 싶었다.

476곳의 산림 중에서 24곳이 중금속 허용기준의 4배에서 13배가 된다는 뉴스를 보았다. 또한 우리나라 산림에 대한 첫 건강성 진단 평가 결과, 도시에 있는 산림이 점점 쇠약해진 것으로 나타났다. 도시산림은 전국 특·광역시 및 도청소재지에 있는 산림을 말하며, 대기오염 등 다양한 위해 요인에 노출돼 있어 건강성 악화 가능성이 높은 것으로 알려졌다. 국립산림과학원은 2011~2015년 전국 산림의 건강·활력도 조사 결과를 24일 발표했다. 이번 조사는 전국 산림 중 모두 1000개의 고정 조사표본점을 대상으로 진행됐다. 평가 항목은 수관활력도, 수관급, 형질급, 종다양성, 토양산도, 유기물함량, 유효토심 등 7개다. 연구 결과, 우리 산림의 81.3%는 건강했으며, 건강성이 다소 떨어지는 산림은 17.2%, 쇠약한 산림은 1.5%로 나타났다. 평가항목별 결과를 보면 나무들의 건강 상태인 수관활력도의 경우 건강한 등급이 89.9%였으며, 쇠약 등급은 0.6%로 분석됐다. 종다양성 지수는 4.83, 최대 종다양성 지수는 6.88, 균재성 지수는 0.70 등으로 종합적인 종다양성 지수는 평균 이상, 토양 양분 상태는 적정범위를 기록했다. 권역별로 보면 강원과 충북과 전남이 매우 건강한 1등급 비율이 9~10%로 가장 높았으며, 매우 쇠약을 의미하는 5등급이 1% 이하에 불과해 산림 건강성이 좋은 것으로 평가됐다. 경기와 충남, 전북은 5등급 비율이 5~6%로 다른 권역보다 높아 앞으로 정밀 조사를 통한 쇠약 원인 분석과 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 분석됐다. 도시산림의 경우 1등급 비율이 일반 산림의 38%로 낮은 반면 5등급 비율은 2배 높게 나타나는 등 이에 대한 원인 규명과 보전책 마련이 시급한 것으로 나타났다. 또한 이번 조사 이전인 2007~2010년과 비교했을 때 도시산림 나무들의 수관활력도는 건강한 등급이 평균 2.2% 감소했고, 쇠약한 등급이 평균 9.0% 증가했다.

이런 이유로 대전과 세종에 가까운 계룡산에 대해 연구를 진행해보고 싶었다.

나. 문제의 접근 과정

중금속 오염도를 체크포인트 별로 성분 분석을 하여 중금속 오염도를 알아보고 그 원인을 추정하고 문제를 제기하려고 하였다.

우리는 계룡산의 체크포인트별 성분 분석을 통하여 오염도를 분석하고 그 원인을 다양한 상황을 고려하여 구체적으로 추정하려고 한다. 또한, 중금속 오염도 분석 결과와 토양오염

공정시험기준에서 제시하는 1지역 우려기준과 비교하여 이를 시각화 한 Pollution Map을 제시하고자 한다.

연구에서 미리 지정한 계룡산의 체크포인트별로 토양 표본을 2개씩 채취하여 분석에 사용할 것이다. 계룡산에서 채취한 샘플들은 ICP(Inductively Coupled Plasma)를 통해 분석하여 각 샘플 내에 있는 중금속 및 오염 물질의 비율을 측정할 것이다. 각 체크포인트별로 중금속 및 오염 물질의 비율을 측정하고 이에 대한 데이터를 시각화하여 나타낼 계획이다. 계룡산을 전체 범위로 하였을 때 체크포인트별로 어떤 관계를 갖고 있는지를 알아볼 것이다.

2. 탐사 과정

가. 코스별 경로

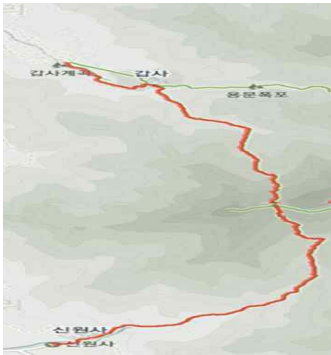


그림 1. A코스

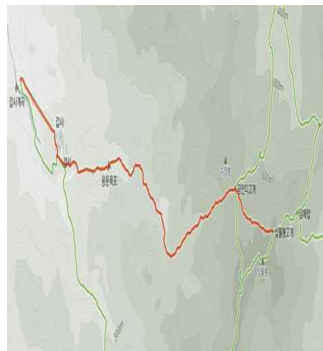


그림 2. B코스



그림 3. 경로 별 체크포인트

1) A코스

계룡 04-01 → 연천봉 고개 → 연천봉 정상 → 계룡 06-08 → 계룡 06-09 → 보광암

2) B코스

갑사 → 계룡 03-03 → 금잔디고개 → 삼불봉 고개 → 삼불봉 정상

나. 토양 시료 채취 방법

1) 토양오염공정시험기준

A코스와 B코스를 합하여 총 11개의 체크포인트에서 흙을 채취할 때 일정한 기준을 정해 놓고 토양 시료 채취를 진행해야한다고 생각하였다. 연구의 정확한 기준을 위하여 토양오염 공정시험의 토양 시료 채취 방법을 사용하였다.

『토양오염공정시험기준』 2.1.1.1 - 대상지역을 대표할 수 있는 토양시료를 채취하기 위해, 농경지의 경우는 대상지역 내에서 지그재그 형으로 5 개 ~ 10 개 지점을 선정한다. 공장지역.매립지역.시가지역 등 농경지가 아닌 기타지역의 경우는 대상지역의 중심이 되는 1 개 지점과 주변 4 방위의 5 m ~ 10 m 거리에 있는 1 개 지점씩 총 5 개 지점을 선정하되, 대상지역에 시설물 등이 있어 각 지점간의 간격이 불충분할 경우 간격을 적절히 조절할 수 있다.

시료를 채취할 곳을 선정할 때 대상 지역의 중심이 되는 1개 지점과 주변 4방위의 5m~10m 거리에 있는 1개 지점씩 총 5개의 지점에서 토양 시료를 채취하였다. 또한 토양 오염도검사를 위해서 표토층(0cm~15cm) 또는 일정 깊이 이하의 토양 시료를 채취하였다.

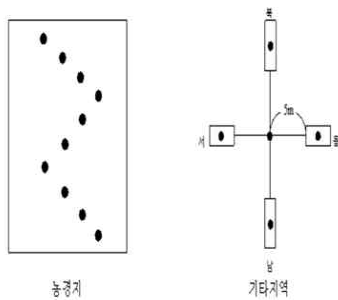


그림 4. 토양오염공정시험기준



그림 5. 토양 채취 과정 및 채취한 시료(3장)

다. ICP 실험 과정

1) 토양 속 중금속 정량 과정

1. 폭우로 인해 코니컬 튜브 내의 시료에 있는 많은 물들을 일차적으로 제거하기 위해 뷰흐너 깔때기와 감압 장치를 사용하여 물을 제거한다.
2. 각 체크포인트에서 얻은 토양 시료를 라벨링을 한 넓은 페트리디쉬에 놓는다.
3. 토양 내 수분을 제거하기 위해 진공 건조기에 120°C에서 2시간동안 건조한다.
4. 토양시료를 막자와 막자사발을 이용해 작은 가루로 만든 후, 상대적으로 크기가 큰 흙들을 제거하기 위하여 체로 거른 후 다시 페트리디쉬에 놓는다.
5. 남아있는 수분을 제거하기 위해 작은 가루의 시료를 진공 건조기에 120°C에서 2시간동안 다시 건조한다.



그림 6. 토양 속 중금속 정량 과정(3장)

2) 시료 전처리

1. 저울에 약포지를 올려놓고 영점을 조절한 후 토양 1.0g을 담는다.
2. 토양 1.0g 테플론 용기에 담고 질산 10ml를 함께 담는다.
3. 테플론 용기에 뚜껑을 덮고 Digestion Vessel에 끼워 넣은 후 Vessel Open/Closer로 밀봉한다.

4. 밀봉한 Vessel을 Vessel Holder에 놓는다. 이 때 control vessel에는 광섬유 온도 센서를 끼운 후 control vessel 자리에 놓고 여러 vessel을 한꺼번에 배치시킬 경우 균형을 맞추도록 대칭적 구조로 배치한다.
5. Vessel Holder를 CEM Microwave Digestion System에 넣고 매뉴얼에 따라 175 °C까지 4분 30초 승온, 5분 30초 유지 시간을 거친다.
6. Vessel을 꺼낸 후 다시 밀봉된 용기를 open한 후 용액을 conical tube에 따라낸다. 이 때, 찌꺼기가 남아 있을 수 있으므로 상등액만 따라내고 50ml를 채울 때까지 DI water로 테플론 용기 벽면 등을 세척한 용액을 담아낸다.
7. conical tube에 담은 50ml의 용액 중 일부를 auto sampler의 튜브에 담는다.
8. Shimadzu ICPE-9800 분석 결과를 표준 용액 분석 결과와 대조한다.

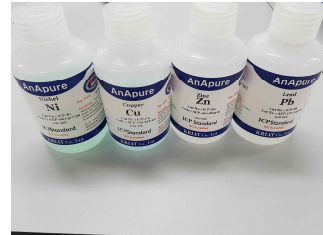


그림 7. 시료 전처리 과정(3장)

라. 중금속 오염도 매핑

ICP를 통해서 체크포인트별로 얻은 토양 시료의 중금속 함유량을 바탕으로 중금속 오염도를 매핑하였다. 토양오염공정시험기준에서 제시한 성분에 따른 1지역 우려 기준(mg/kg)을 중심으로 하여 각 체크포인트의 위험도를 계산하여 계룡산 지도에 표시하였다.

3. 탐구 결과

가. 토양 시료 내 중금속 오염도 분석 결과

Sample No.	Sample Name	Cu Quant	Ni Quant	Pb Quant	Zn Quant
1	갑사 위 화창	89.5	11	43.9	119
2	금전디고개	104	24.4	149	151
3	연천봉고개	95.8	19.1	91.3	121
4	삼불봉고개	89	16.6	85.7	129
5	계룡 06-08	87	13.2	67.6	114
6	신원사 가는 길	94	12.6	83.1	139
7	갑사	56.8	13.9	64.5	97.1
8	삼불봉	102	19.9	145	170
9	연천봉	106	43.8	181	145
10	계룡 04-01	93.3	23.8	111	146
11	보광암	78	18	100	114
12	화단	100	18.8	94.5	156
13	운동장	101	21.9	115	148
14	주차장	98.6	21.8	92.2	146

성분	1지역 우려 기준	정량 한계
구리 (Cu)	150	1.0
납 (Pb)	200	1.5
아연 (Zn)	300	1.0
니켈 (Ni)	100	0.4

표 1. 토양 시료 내 중금속 오염도 분석 결과

표 2. 토양오염공정시험기준

위 표는 11곳에서 채취한 토양과 일상생활 영역인 학교 화단, 운동장, 주차장에서 채취한 토양에

서 구리, 니켈, 납, 아연의 함량을 ICP로 측정한 결과를 나타내고 있다. 농도는 ppm 단위이다. 환경부에서 제시하는 오염우려수치를 넘는 곳은 한 군데도 없지만, 매일 수 십대의 차량이 오가는 주차장과 산 정상의 중금속 수치가 유사하며, 특히 연천봉의 경우 타 지역에 비해 납 수치가 매우 높은 것을 볼 수 있다.

나. 중금속 오염도 매핑 결과

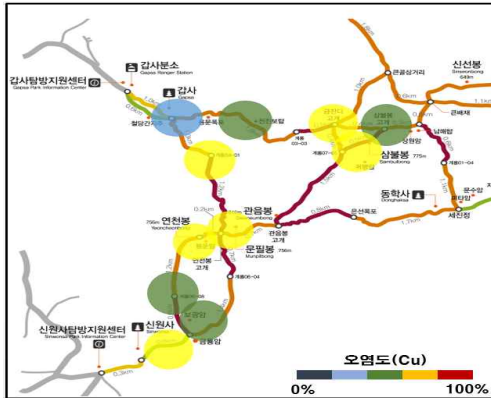


그림 8. 계룡산의 오염도 매핑-구리(Cu)



그림 9. 계룡산의 오염도 매핑-아연(Zn)



그림 10. 계룡산의 오염도 매핑-니켈(Ni)

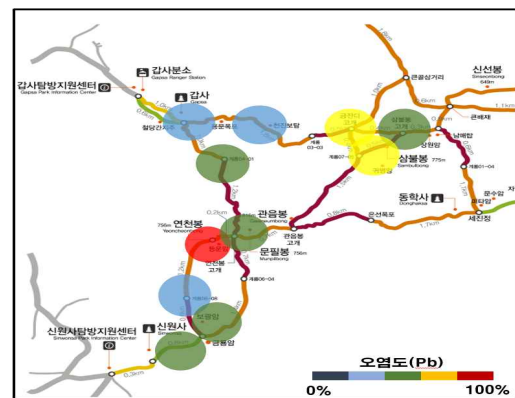


그림 11. 계룡산의 오염도 매핑-납(Pb)

위 네 개의 그림은 등산로를 바탕으로 각각 구리, 니켈, 납, 아연의 오염도를 오른쪽 하단에 있는 전례에 따라 시각화한 것이다.

4. 결론 및 제언

2014년 4월 MBC에서 보도한 자료에 따르면, 식약처가 전국 500여곳의 야산에서 채취한 봄나물을 분석한 결과 이 중 5%에 해당하는 24곳에서 허용기준치를 웃도는 납과 카드뮴이 검출됐다고 밝혔다. 일반적으로 산은 중금속에 비교적 덜 노출되어 있다는 인식을 갖고 있는 반면, 실제로 중금속이 검출되는 곳이 생각보다 많이 존재한다는 충격적인 보도였다. 이에 우리는 계룡산의 토양을 채취하여 공정시험법이 제시한 방법대로 분석하여 중금속 함량을 측정하고 어떤 경향성을 지니는 지 파악하고자 했다. 오염우려수치를 넘는 지역은 한

군데도 없었지만 금잔디고개, 연천봉고개, 삼불봉고개는 오염우려수치에 근접한 납과 아연 수치를 보였으며 일부 지역의 니켈 함량은 학교 주차장의 2배가 넘는 수치를 보였다. 일상 생활 영역과 등산로를 비교하기 위해 채취한 주차장, 화단, 운동장 흙과 오염도가 유사하였다는 점도 주목할 만 하다. 추정되는 원인으로는 기반암인 홍색장석화강암의 조성이 있었지만, 이 암석의 경우 운모가 주성분을 이루기 때문에 철의 함량이 높고, 우리가 측정한 중금속과는 거리가 멀었다. 또다른 원인으로는 금속 성분의 아이젠과 등산용 스틱의 마모가 있었으나 주차장보다 두 배 가량 납 성분이 많이 나올만큼 영향력 있는 원인으로 파악되지 않는다. 따라서 선행 연구 등의 추가 조사를 통해 원인을 밝혀내야 할 것으로 생각된다.

5. 활동 후기

손주승 - 평소에 산을 자주 가보지 않았기 때문에 ‘계룡산’의 주제를 처음 받았을 때 낯선 느낌이 많았습니다. 계룡산에 대해 차근차근 알아가면서 주제를 구체화시킬 수 있었으며, 어떠한 방향으로 연구를 진행해야할지 생각을 하며 추진하였습니다. 산을 오르는 것이 익숙하지 않아 어려운 점도 많았으며, 정상에서 내려올 때에는 폭우가 내려 위험한 상황도 많았습니다. 또한, 두 번째 날에는 12시간동안 실험을 하며 하루 온종일 실험실에서 보냈습니다. 비록 바쁜 일정과 활동으로 체력적으로는 힘들었지만, 스스로 정한 연구 목표를 향해 한걸음 나아가는 모습을 찾을 수 있어서 행복한 시간이었습니다. 원하는 연구와 값진 경험 및 시간들을 보낼 수 있었던 ‘인문자연탐사’는 평생 간직할 수 있는 멋진 활동이 되었습니다.

박 진 - 우리나라를 대표하는 명산 중 하나로 알려진 계룡산을 동료들과 탐사하면서 소중한 시간을 보냈습니다. 목이 마르고, 배가 고팠던 중에 우연히 들렀던 절에서 제공해주신 점심식사의 여운은 아직도 남아 있습니다. 비가 오는 중에도 미끄러운 바윗길을 우비 하나 걸치고 다니며 정상까지 도달했을 때의 성취감은 그 무엇과도 비교할 수 없습니다. 다만, 하산할 때 천둥 번개가 치며 폭우가 쏟아질 때 학교 측에서 산에 있는 학생들에게 먼저 연락을 취하지 않은 것은 문제점으로 제기하고 싶습니다. 길이 가파르고, 주로 인공계단이 아닌 자연 그대로의 돌로 이루어져 있어 매우 미끄러웠으며 심한 곳의 경우 앞도 잘 보이지 않았습니다. 이러한 상황에서 학교에서 사전에 인원 파악과 안전 여부를 체크하는 것이 최소한의 조치라고 생각합니다. 우리의 안전 불감증은 먼 곳에 있지 않습니다.

양모중 - 오랜만에 가보는 산이어서 조금 걱정이 되기도 했고 세종시 주위의 유명한 계룡산국립공원을 방문한다는 점이 설레기도 했습니다. 계룡산을 오르면서 체력의 한계도 느끼며 힘들었지만 등산로 주위의 다양한 식물들과 버섯 등을 보면서 계룡산의 청정하고 따뜻한 자연을 느낄 수 있었던 것 같습니다. 하지만 호우주의보가 내려진 날에 등산을 한다는 것이 많이 걱정되긴 했습니다. 내려올 때는 비가 많이 내리는 바람에 바위가 미끄러워 넘어질 뻔 했지만 서로서로 신경을 써주고 조심하며 안전하게 산을 내려올 수 있었습니다. 엄격한 공정기준과 실험 방법에 따라 연구를 한 경험은 앞으로도 많은 영향을 미칠 것 같고, 자신을 성장시킬 만한 계기가 되었던 것 같습니다. 선배님들과 선생님과의 좋은 추억과

기억을 남길 수 있는 활동이 되었던 것 같습니다.

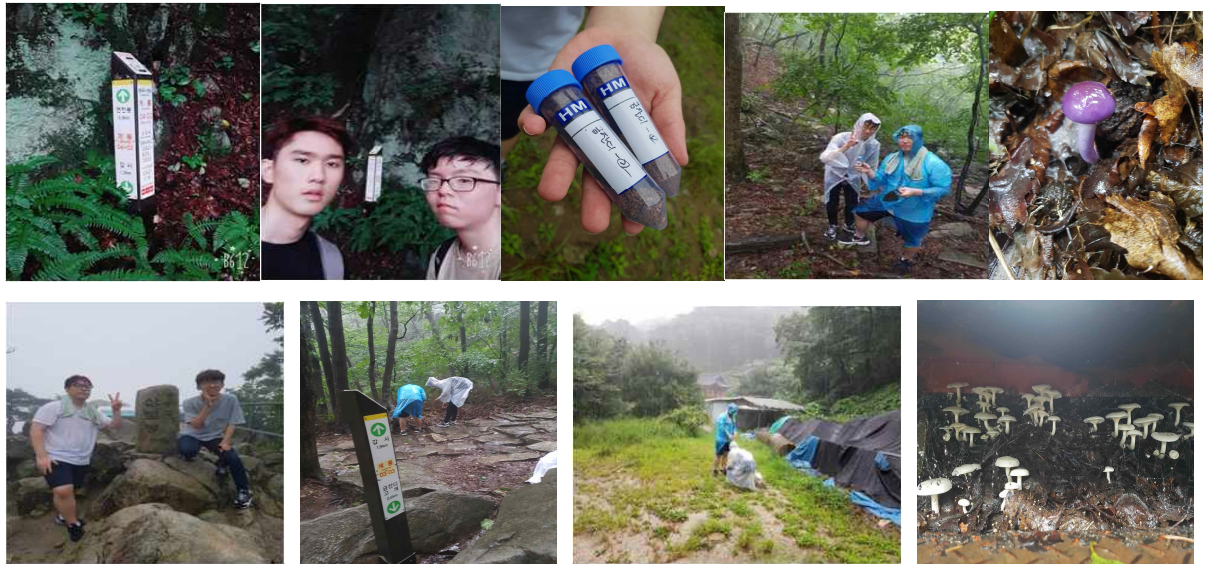
신민호-산을 타는 것을 취미로 하지 않아서 처음에 계룡산의 인문자연탐사는 어떤 측면에서 접근하고 어떤 방법으로 탐사를 해야 할지 감이 오지 않았습니다. 오르기 쉽지 않은 계단을 오르면서 체력적으로도 한계를 느꼈지만 팀원들의 격려와 응원에 힘을 얻고 연구에 필요한 시료채취를 위한 책임감으로 올라갔던 것 같습니다. 연천봉 정상에 찍고 내려올 때에는 폭우가 내리게 되어 돌이 미끄러워져서 내려오는 데에 어려운 부분이 많았습니다. 둘째 날에 추가로 실험을 해서 연구를 좀 더 완벽하게 하는 것이 좋았습니다. 또한 많은 시간 동안 실험 한 결과가 만족스러워서 성취감을 느낄 수 있었습니다. 2박 3일 동안 짧은 시간이었지만 알차게 연구를 하면서 보낸 것 같아서 뿌듯했습니다.

6. 참고 문헌

- ▶ 환경인을 위한 토양오염 측정분석 (배재근, 신광문화사)
- ▶ 토양오염공정시험기준 환경부고시 제2015-261호 (환경부 금강유역환경청)

7. 인문자연탐사 활동사진 첨부(추가자료)

가. 2017.08.21.(토양 시료 채취 및 등산 과정)



나. 2017.08.22.(중금속 오염도 분석 실험 과정-12시간의 실험)

