



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

광업이 없애는 것은 광산 부지의 숲만이 아니다— 채굴 주변에 숨은 산림 손실

사하라 이남 아프리카의 광산 클러스터 16,627 개를 분석한 *Nature* 연구는 2001~2020 년 울창한 숲에서 광업이 약 18 만 7 천 헥타르의 직접 산림파괴를 일으켰다고 추정한다. 하지만 더 큰 이야기는 광산 밖이다. 채굴되지 않은 지역과 비교하면 10 년 뒤 광산 1 km 이내 산림파괴는 0~100 척도에서 8 포인트 높았고, 효과는 20 km 까지 남았다. 평균적으로 광산이 직접 숲 1 헥타르를 제거할 때 5 년 안에 주변 숲 33.9 헥타르의 추가 손실이 연결됐다. 에너지 전환이 나쁘다는 뜻이 아니다. 광물 공급망에도 지리가 있고, 숲에 치르는 비용이 광산 구덩이보다 훨씬 넓을 수 있다는 뜻이다.

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

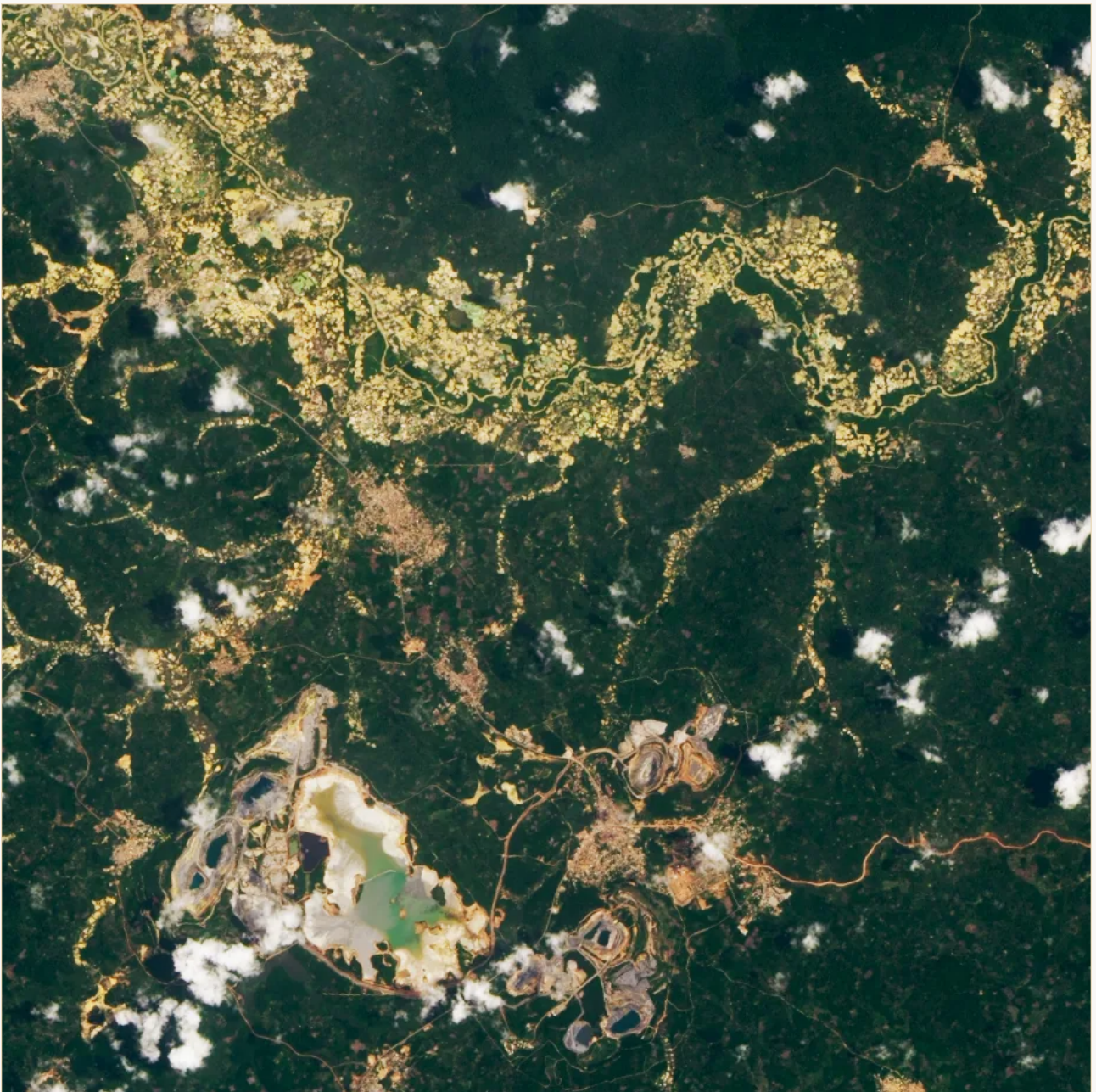
Paper: *Mining triggers extensive additional deforestation in sub-Saharan Africa*, Oscar Morton, Christopher G. Bousfield, Prince Dégny Valé, Ieuan Lamb, Victor Maus, Robert G. Bryant, and David P. Edwards, *Nature* (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10551-2

숲에 난 구멍만이 광산의 흔적은 아니다

광산에는 눈에 잘 보이는 모양이 있다. 채굴 구덩이, 광미 저장지, 폐석 더미, 숲을 가르며 난 도로. 위성이 볼 수 있고 규제기관이 경계선을 그릴 수 있는 흔적들이다.

하지만 채굴은 주변 땅도 바꾼다. 사람이 들어오고, 도로가 숲 접근을 쉽게 만들고, 정착지가 커지고, 농경지가 넓어진다. 광산은 지도 위의 상처 하나가 아니라 새로운 중력 중심이 될 수 있다.

Nature 논문 하나가 사하라 이남 아프리카 전역에서 이 차이를 수치로 만들었다. 저자들은 2001~2020 년 울창한 숲에서 광업이 직접 일으킨 산림파괴를 추정한 뒤, 광산이 생긴 주변에서 아직 채굴되지 않은 비슷한 지역보다 숲이 얼마나 더 사라지는지를 물었다. 결론은 단순하고 불편하다. 광산 자체의 발자국은 눈에 보이는 부분일 뿐이다.



자연색 Landsat 영상이 가나 아산티 금광 지대의 대규모·영세 금 채굴 흔적을 보여준다. 이 연구가 묻는 것은 광업과 관련된 산림 손실이 광산 부지 자체를 넘어 어디까지 퍼지는가다.

NASA Earth Observatory / Lauren Dauphin Public domain

기후·생물다양성 정책에서 유용한 결과인 이유는 두 생각을 같은 프레임에 넣기 때문이다. 현대 인프라와 에너지 전환에는 광물이 필요하다. 하지만 광물은 아무 데서나 저절로 생기지 않는다. 물어야 할 것은 슬로전처럼 채굴이 좋으나 나쁘나가 아니라, 숲에 치르는 전체 비용을 정직하게 측정하고 있느냐다.

연구진이 한 일

연구는 대륙 규모의 산림·토지이용 자료와 인과추론 설계를 결합했다. 저자들은 2001~2020 년 사하라 이남 아프리카의 산림 지역에서 **16,627 개의 광산 클러스터**를 지도화하고, 산림 손실을 두 종류로 나눴다.

첫째는 **직접적인 광업 유발 산림파괴**다. 채굴 구덩이, 광미 저장지, 폐석 더미, 갱도 등 광산 운영과 직접 관련된 시설 때문에 광산 부지 안에서 숲이 제거된 경우다.

둘째는 **부지 밖 산림파괴 (offsite deforestation)** 다. 광산 구덩이 자체는 아니지만, 광산이 들어서면서 농업·정착지·도로와 접근성 확대 같은 부수 활동을 촉발해 주변에서 생길 수 있는 산림 손실이다.

두 번째를 추정하기 위해 저자들은 차분의 차분 (difference-in-differences) 방법을 사용했다. 쉽게 말하면 광산이 생기기 전후 주변의 산림 손실을, 조건은 비슷하지만 아직 채굴되지 않은 지역의 변화와 비교했다. 그리고 광산 중심에서 거리별로 나눴다. 1 km 이내, 1~5 km, 5~10 km, 10~20 km 다.

이 설계가 중요한 이유는 논문이 단순히 광산 근처에서 사라진 숲을 세는 것이 아니기 때문이다. 채굴되지 않았을 경우의 추세와 비교해, 광산 설립 때문에 추가로 사라진 숲이 얼마나 되는지를 추정하려는 시도다.

무엇을 발견했나

직접적인 광산 산림 손실은 컸다. 사하라 이남 아프리카의 울창한 숲에서 2001~2020 년 광업으로 직접 사라진 숲은 **187,070 헥타르**로 추정됐다. 콩고민주공화국, 가나, 코트디부아르 세 나라가 그 직접 손실의 **45%** 를 차지했다.

주변 손실은 광산 발자국보다 더 컸다. 광산이 생긴 뒤 10 년이 지나면 1 km 이내의 누적 산림파괴가 채굴되지 않은 지역보다 **0~100 척도에서 8 포인트 높았다.** 상대적으로 8% 증가했다는 뜻이 아니라 산림파괴율의 절대 차이다. 거리가 멀어질수록 효과는 약해졌지만 사라지지는 않았다. 10 년 뒤 추가 격차는 1~5 km 에서 3.6 포인트, 5~10 km 에서 1.9 포인트, 10~20 km 에서도 1.1 포인트로 추정됐다.

이 숫자들은 시간에 묶여 있다. 즉시 발생한 손실이 아니라 10 년 효과다.

부지 밖 손실/직접 손실 비율은 눈에 띄었다. 별도의 계산에서 저자들은 광산 부지 때문에 직접 숲 1 헥타르가 사라질 때, 그 뒤 5 년 안에 주변 울창한 숲이 평균 **33.9 헥타르** 추가로 사라졌다고 추정했다. 추가 손실 대부분은 광산 설립으로 촉발된 농업 확장과 연결됐고, 정착지 확대도 중요했으며 도로의 비중은 더 작았다.

이 숫자도 특정 시간 범위를 가진다. 5년 동안의 부지 밖/직접 손실 비율이다. 앞의 10년짜리 0~100 척도 효과와 섞어 쓰면 안 된다.

효과는 지역마다 같지 않았다. 콩고민주공화국은 직접적인 광산 발자국도 크고 추가적인 부지 밖 손실도 커서 특히 심각한 우려 지역으로 보고됐다. 다른 국가는 상대적인 부지 밖 영향은 컸지만 직접 발자국이 더 작았다. 광종별로는 배터리·전기 인프라·에너지 전환의 핵심 광물인 코발트와 구리를 채굴하는 광산이 연구 추정치에서 전체 추가 산림파괴를 가장 많이 일으켰다.

왜 광산 밖 손실이 중요한가

환경영향평가는 흔히 프로젝트의 직접 경계에서 시작한다. 이해할 만하다. 구덩이는 보이고, 허가에는 경계가 있으며, 기업은 지을 시설을 설명할 수 있다.

하지만 숲은 법적 경계에만 반응하지 않는다. 접근성과 인센티브에도 반응한다. 광산은 도로, 노동자, 돈, 정착지, 식량 수요를 가져온다. 그러면 주변 숲은 더 쉽게, 더 수익성 있게, 혹은 생계상 더 필요하게 개간할 수 있는 땅이 된다.

그래서 논문의 가장 강한 아이디어는 어떤 숫자 하나가 아니라 **직접 손실**과 **촉발된 손실**을 나누는 것이다.

공급망이 광산 발자국만 센다면 채굴로 일어난 토지이용 변화를 크게 적게 셀 수 있다. 환경영향평가가 광업권 경계에서 멈추면 프로젝트가 발생 가능성을 높인 주변 산림 손실을 놓칠 수 있다. 그리고 제품이 재생 에너지를 지원한다는 이유로 “깨끗하다”고 홍보된다고 해서 그 원료 공급망까지 자동으로 깨끗해지는 것은 아니다.

이것이 증명하지 않는 것

- 에너지 전환이 나쁘다는 것을 **보여주지 않는다**. 현대 인프라와 에너지 전환에 쓰이는 광물에도 큰 토지이용 비용이 있을 수 있음을 보여준다.
- 모든 광산이 직접 손실 1헥타르당 정확히 33.9헥타르의 주변 손실을 만든다는 뜻이 **아니다**. 많은 광산 클러스터 전체에서 나온 평균 추정치이지 특정 프로젝트 하나의 예측값이 아니다.
- 광산 근처에서 사라진 모든 나무가 그 광산 때문에 잘렸다는 것을 **증명하지 않는다**. 준실험적 설계로 집단 수준의 추가 손실을 추정한다.
- 개별 기업, 허가권자, 구매자에게 책임을 **귀속하지 않는다**. 그러려면 이 논문을 넘어 프로젝트별 추적이 필요하다.
- 광업의 모든 영향을 **다루지 않는다**. 수질오염, 노동조건, 생물다양성 단절, 권리 갈등, 사회적 이주 등은 여기서 주로 측정한 산림 손실 밖의 문제다.
- 전 세계를 **다루지 않는다**. 분석은 사하라 이남 아프리카의 울창한 숲에 초점을 맞췄다.

근거는 얼마나 탄탄한가?

직접 산림파괴 추정치는 대륙 규모에서 강하다. 이미 발표된 토지이용·산림피복 데이터셋을 이용해 광산 시설과 직접 연결된 산림 손실을 찾았다.

추가적인 주변 손실에 대한 증거도 상당하지만 모델 기반이다. 차분의 차분은 무작위 실험이 불가능한 관찰 자료에서 인과효과를 추정하기 위해 쓰는 방법이다. 저자들은 최근의 이질성에 강건한 방법을 사용하고 다른 추정기로도 강건성 검사를 했다. 좋은 실무다.

그래도 올바른 규모에서 읽어야 한다. 논문은 연구 대상 전체에서 광산 설립이 광산 발자국 너머의 추가 산림파괴와 연결된다는 강한 증거다. 위성이 나무 한 그루 한 그루에게 “왜 잘렸나” 라고 자백받은 것은 아니다.

따라서 대중에게 가장 유용한 읽기는 공포도 무시도 아니다. 측정의 규율이다. 광산이 한 경관을 열어젖힌다면 영향평가도 울타리 밖까지 봐야 한다.

왜 중요한가

“청정에너지”라는 말은 물질 세계를 가릴 수 있다. 태양광 패널, 배터리, 송전선, 전기차, 데이터센터는 모두 채굴한 물질을 필요로 한다. 그중 일부는 세계적으로 중요한 숲과 생물다양성이 있는 지역에서 나온다.

그렇다고 탈탄소화가 실수라는 뜻은 아니다. 화석연료 의존을 계속하는 대안에도 땅·대기·물·기후에 엄청난 비용이 있다. 하지만 화석 시스템보다 더 깨끗한 전환이라도 자동으로 “깨끗한” 것은 아니라는 뜻이다.

이 논문의 가치는 숨은 지리를 무시하기 어렵게 만든 데 있다. 구덩이만 세지 말라고 한다. 구덩이 주변의 숲 변화도 세라. 채굴 뒤에 따라오는 도로, 농장, 정착지도 세라. 부지 밖 산림파괴를 환경영향평가, 순손실 제로 주장, 산림파괴 제로 공급망에 넣으라고 요구한다.

“그린 광물은 좋다” 또는 “그린 광물은 나쁘다” 보다 성숙한 이야기다. 전환의 물질적 기반에는 결과가 있고, 공급망이 자신을 깨끗하다고 부르기 전에 그 결과를 보여야 한다는 이야기다.

핵심 요약

Nature 연구는 2001~2020 년 사하라 이남 아프리카의 울창한 숲에서 **16,627 개 광산 클러스터**를 분석했다. 채굴 구덩이, 광미 저장지, 폐석 더미 같은 광산 시설 때문에 직접 사라진 숲을 **187,070 헥타르**로 추정했다. 차분의 차분 방법으로 채굴되지 않은 지역과 비교한 결과, 광산 주변에서는 추가적인 산림파괴도 나타났다. 10 년 뒤 1 km 이내 누적 산림파괴는 **0~100 척도에서 8 포인트 높았고**, 효과는 20 km 까지 남았다. 별도의 5 년 계산에서는 직접 광산 산림파괴 1 헥타르당 평균 **33.9 헥타르**의 추가적인 주변 울창한 숲 손실이 연결됐으며, 주로 농업 확대와 정착지 확장이 원인이었다. 코발트·구리 광산은 연구에서 전체 추가 산림파괴가 가장 컸다. 결과는 에너지 전환이 나쁘다는 뜻이 아니다. 광물 공급망의 토지이용 비용이 광산 구덩이 자체보다 훨씬 넓을 수 있다는 뜻이다.

과장 없이 보면

논문이 보여주는 것: 사하라 이남 아프리카의 울창한 숲에서 2001~2020 년 광업이 상당한 직접 산림 손실을 일으켰고, 광산 설립 뒤 채굴되지 않은 지역보다 주변에서 추가 산림파괴가 나타났으며, 부지 밖 손실이 직접 광산 발자국을 크게 넘을 수 있고, 이 데이터에서 일부 에너지 전환 광물이 높은 총 추가 산림파괴와 연결돼 있었다.

그렇듯하지만 입증되지 않은 것: 개별 광산의 실제 주변 영향이 허가 경계보다 훨씬 클 수 있다는 것, 더 엄격한 환경영향평가와 공급망 규칙이 일부 손실을 줄일 수 있다는 것, 다른 열대 광업 지역에서도 비슷한 숨은 주변 효과가 중요할 수 있다는 것.

보여주지 않는 것: 모든 광산의 피해가 같다는 것, 근처의 모든 산림 손실이 특정 광산 때문이라는 것, 에너지 전환이 나쁘다는 것, 프로젝트별 추적 없이 개별 기업이나 구매자가 특정 손실에 책임이 있다는 것, 산림 손실만이 유일한 환경·사회 비용이라는 것.

주요 한계: 무작위 실험이 아니라 관찰 자료를 이용한 인과추론, 프로젝트별 귀속이 아닌 대륙 규모 추정, 사하라 이남 아프리카의 울창한 숲에 한정, 직접·주변 효과가 데이터 품질·광산 탐지·모델 가정에 의존함.

일반 독자는 어느 정도 확신해도 되는가? 연구 지역에서 직접적인 광업 산림파괴가 상당하다는 데에는 높은 확신을 가져도 된다. 광산 설립이 집단 수준에서 추가적인 주변 산림파괴와 연결된다는 데에도 좋은 수준의 확신이 있다. 평균 33.9:1 비율을 특정 광산 하나에 그대로 적용하는 데에는 확신이 낮아야 한다. 적절한 태도는 광물 공급망이 필요할 수 있으면서도 광산 구덩이 밖까지 정직하게 회계해야 한다고 보는 것이다.

출처

Nature (2026)

<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10551-2>

White Rose Research Online —published version

<https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/241799/>

Processed outputs and analysis code —GitHub

https://github.com/OMorton/AFR_MiningForestLoss

Post-deforestation land-use dataset —Zenodo

<https://doi.org/10.5281/zenodo.11065705>