봉수 지구멸망시계(BDC)의 설계와 실증분석 — 남은 탄소예산 전자시계와 생활 실천카드 변수

자정 = 1.5°C 탄소예산 소진 · 1 분 = 1 년: 대기 CO_2·기온·배출 실측과 한국 카야 분해로 읽는 지금의 시각



핵심 주제

지구멸망시계 · 탄소예산 · IPCC AR6 · 마우나로아 CO_2 · GISTEMP · 카야 분해(LMDI) · 에너지 탄력성 · 실천카드 · 전자시계

저자: 조봉수(봉수 **SSGlobal(주)** 대표이사, 필명). 투자 권유 아님.

정식본 2026 년 10 월

목차

국문 요약 3
1. 서론 **4**
1.1 문제 제기 4
1.2 연구 질문 4
2. 자료와 방법 **4**
2.1 자료 4
2.2 시계 식 5
2.3 실증 방법 5
3. 결과 **5**
3.1 지금의 시각 5
3.2 물리 검증과 가속 6
3.3 한국의 배출 — 카야 분해 7
3.4 실천카드 변수 7
4. 봉인 판단 **8**
5. 홈페이지와 콘솔 **8**
6. 한계 **9**
7. 결론 **9**
참고문헌 **9**
부록 **A.** 인공지능 이용 고지 **10**
부록 **B.** 재현 방법 **10**

국문 요약

"지구 멸망"이라는 말은 과장되기 쉽다. 봉수 지구멸망시계(Bongsu Doomsday Clock, BDC)는 그 말을 잴 수 있는 한 가지 기준 으로 좁혔다. 기준은 지구 평균기온 상승을 1.5°C 안에서 멈출 수 있는(50% 확률) 남은 탄소예산이 바닥나는 때 를 자정으로 두는 것이다. 예산은 IPCC 제 6 차 평가보고서 기준 2020 년 초 500 $GtCO_2$ 다.[1] 1 분을 1 년으로 두고, 남은 예산을 최근 연간 배출로 나눈 햇수만큼 자정에서 거꾸로 읽어 전자시계**(7** 세그먼트**)** 로 보여 준다.

2026 년 10 월 5 일 기준 결과는 다음과 같다.

- 세계 시계 **— 23:55:02**
  - 2020~2024 년 실측 배출(토지이용 포함) 209.5 Gt 를 썼다.
  - 그 뒤 2024 년 수준이 이어졌다고 보면 75.9 Gt 를 더 썼다(추정).
  - 남은 예산은 214.6 Gt 다.
  - 연간 배출 43.18 Gt 로 나누면 **4.97** 년, 소진 예상일은 2031 년 9 월이다.
- 다른 기준의 시계
  - 1.5°C·67% 기준: 23:57:21
  - 2°C·67% 기준: 23:39:59(20.0 년)
- 한국 몫의 시계 **— 23:57:39(**가정**)**
  - 남은 예산을 인구 비례로 나눈다고 가정하면, 한국 몫(1.36 Gt)은 한국 연간 배출 0.58 Gt 로 **2.34** 년 이다.
  - 한국 1 인당 배출(11.29 t)이 세계 평균(4.73 t)의 2.4 배이기 때문이다.

실증분석은 네 가지다.

① 물리 검증**.** 1959~2025 년 지구 기온 이상치(NASA GISTEMP)와 대기 CO_2 농도(마우나로아)의 로그는 R^2 0.931 로 함께 움직였다. 뉴이-웨스트 t 값은 21.9 다.

② 가속**.** CO_2 연증가량이 1960 년대 연 0.86ppm 에서 2020 년대 연 2.62ppm 으로 커졌다(추세 $p<0.001$).

③ 한국 카야 분해**(LMDI).** 2018~2022 년 한국 CO_2 는 63 Mt 줄었다. 그 동력은 다음과 같다.

- 탄소집약도 하락(−73 Mt)
- 에너지원단위 개선(−42 Mt)
- 반대로 1 인당 소득 증가는 +50 Mt 만큼 배출을 늘리는 쪽으로 밀었다.

④ 실천카드 '에너지' 영역의 탄력성**.** 1991~2024 년 한국에서 1 인당 에너지가 1% 줄면 CO_2 가 0.944% 줄었다(표준오차 0.087, R^2 0.904).

[1] IPCC (2021), Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, Table SPM.2. 2020 년 초부터의 남은 탄소예산($GtCO_2$): 1.5°C 50% 500·67% 400, 2°C 50% 1,350·67% 1,150.

- 온 국민이 에너지를 1% 아껴 유지하면 한국 몫 시계는 약 1.3 초 늦춰진다.
- 같은 1%가 세계 시계에 주는 효과는 1 년 유지 기준 0.01 초다.

카드의 나머지 일곱 영역(물·음식·일회용품·분리배출·폐건전지·폐의약품·병뚜껑)은 국가 통계와 짝을 지었지만, 환경부 자료를 아직 넣지 못해 '자료 대기' 로 공개하였다. 지어내지 않는다. 판단 2 건을 봉인하였다(2026-12~2027-02 채점).

주제어: 지구멸망시계, 탄소예산, 1.5°C, 카야 분해, 에너지 탄력성, 실천카드, 전자시계

1. 서론

1.1 문제 제기

원자과학자회보의 '운명의 날 시계'는 전문가 위원회가 해마다 바늘을 옮긴다. 의미는 크지만 계산식이 공개되지 않아 숫자로 다시 만들 수 없다. 봉수는 반대로 공개된 실측 자료와 공개된 식만으로 매번 다시 계산되는 시계를 만들고자 했다. 그래서 "멸망"을 기후안보의 한 지점, 곧 1.5°C 탄소예산 소진으로 좁혔다. 바늘시계 대신 숫자로 바로 읽히는 전자시계 를 택한 것은 대표의 결정이다(2026-10-05).

또 하나의 질문은 개인의 실천이 시계를 움직이는가 다. 권상연성당 생태환경분과의 「생활 속 작은 실천으로 탄소발자국 줄이기 실천카드」(8 개 영역 46 개 항목)를 변수로 삼아, 실증할 수 있는 것과 아직 할 수 없는 것을 나누었다.

1.2 연구 질문

- 연구 질문 1: 지금 세계는 1.5°C 탄소예산의 자정에서 몇 년 떨어져 있는가?
- 연구 질문 2: 대기 CO_2 와 지구 기온의 관계, 그리고 CO_2 증가의 가속은 자료로 확인되는가?
- 연구 질문 3: 한국 배출은 무엇 때문에 늘고 줄었는가?
- 연구 질문 4: 실천카드 항목은 어떤 국가 변수로 잴 수 있고, 그 효과는 얼마인가?

2. 자료와 방법

2.1 자료

표 1. 자료(모두 공개 원자료, GitHub 경로에서 자동 수집)

자료	내용	기간	출처
세계·한국 CO_2 배출	화석+시멘트, 토지이용 변화 포함	~2024	OWID co2-data(글로벌 카본프로젝트)
한국 에너지	1 차에너지·1 인당 에너지·	1965~2025	OWID energy-data(에너

자료	내용	기간	출처
	전력·화석·재생 비중		지연구소 통계 등)
대기 CO_2	마우나로아 연평균·월평균(ppm)	1959~2026-08	NOAA(datasets/co2-ppm)
기온 이상치	지구 연평균(°C)	1880~2025	NASA GISTEMP(datasets/global-temp)
탄소예산	2020 년 초 남은 예산	—	IPCC AR6 WG1 표 SPM.2

2.2 시계 식

- 남은 예산 R = B − (2020~마지막 실측 해의 배출 합) − (그 뒤 오늘까지 마지막 해 배출이 이어진다고 본 추정 사용량)
- 남은 햇수 T = R ÷ 마지막 해 연간 배출
- 시각 = 24:00 − T 분 (1 분 = 1 년, T 가 60 년을 넘으면 23:00 에서 멈춘다)
- 한국 몫(가정) = R × 한국 인구 비중, 한국 햇수 = 한국 몫 ÷ 한국 연간 배출

2.3 실증 방법

- 물리 검증: 기온 이상치 = a + b·ln(CO_2 ppm) + e. 오차의 자기상관은 뉴이-웨스트(시차 4) 표준오차로 보정한다.
- 가속 검증: 연증가량의 시간 추세 회귀.
- 카야 분해**(LMDI)**: CO_2 = 인구 × (GDP/인구) × (에너지/GDP) × (CO_2/에너지)를 기간별 로그평균 디비지아 지수로 나눈다.[2]
- 에너지 탄력성: Δln CO_2 = c + β_1·Δln(1 인당 에너지) + β_2·Δ 화석 비중 + e (한국 1991~2024, 연간 차분).

3. 결과

3.1 지금의 시각

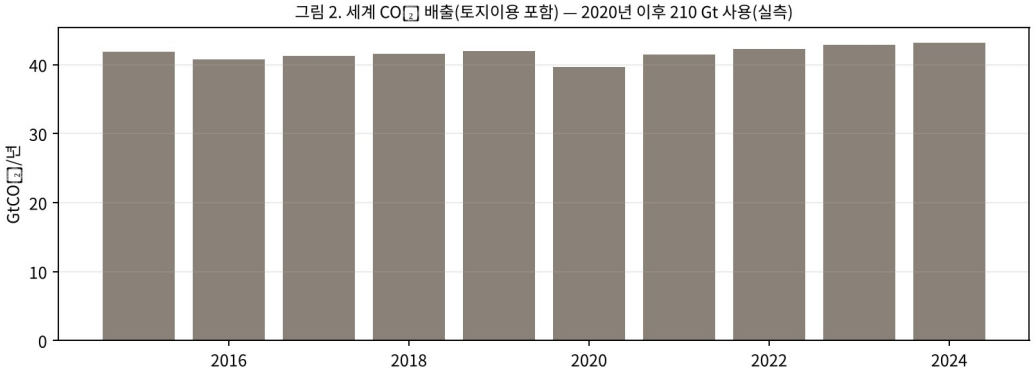
표 2. 탄소예산 시계(GtCO₂, 2026-10-05)

기준	**2020** 년 예산	남은 예산	남은 햇수	전자시계	소진 예상
1.5°C·50% (본 시계**)**	500	214.6	4.97	**23:55:02**	2031-09
1.5°C·67%	400	114.6	2.65	23:57:21	2029-05
2°C·67%	1,150	864.6	20.02	23:39:59	2046-10

[2] Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy. *Energy Policy*, 32(9), 1131–1139. 잔차 없이 정확히 나뉘는 방법이다.

기준	2020 년 예산	남은 예산	남은 햇수	전자시계	소진 예상
2°C·50%	1,350	1,064.6	24.65	23:35:21	2051-05

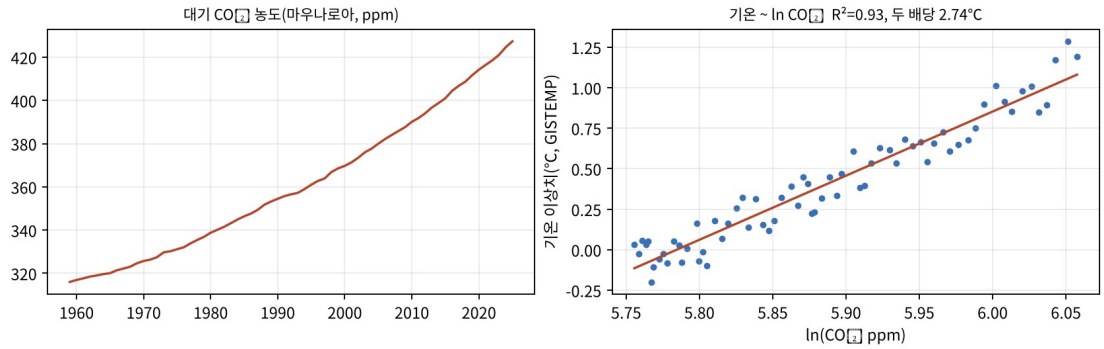
그림 2. 세계 CO_2 배출(토지이용 포함) — 2020년 이후 210 Gt 사용(실측)



2020 년 이후 실측으로 209.5 Gt 를 썼다. 2025 년부터 오늘까지는 2024 년 배출(43.18 Gt)이 이어졌다고 보아 75.9 Gt 를 더 썼다고 추정하였다. 이 추정 부분은 글로벌카본프로젝트의 2025 년 확정치가 나오면 실측으로 바뀐다.

3.2 물리 검증과 가속

그림 1. 물리 검증 — 대기 CO_2와 지구 기온



1959~2025 년 67 개 연도에서 $\ln(CO_2)$의 기울기는 3.957(뉴이-웨스트 표준오차 0.181, t=21.9), R^2 는 0.931 이었다. 단순 회귀 기울기로 CO_2 두 배당 2.74°C다. 다만 이 값은 다른 온실가스·에어로졸·해양 지연 효과가 섞인 상관 기울기이며, 기후민감도 추정치가 아니다. 시계의 정당성(배출 → 농도 → 기온)이 자료에서도 확인된다는 뜻으로만 쓴다.

표 3. 마우나로아 CO_2 연증가량

10 년대	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
연평균 증가 (ppm/년)	0.86	1.22	1.64	1.53	1.91	2.40	2.62

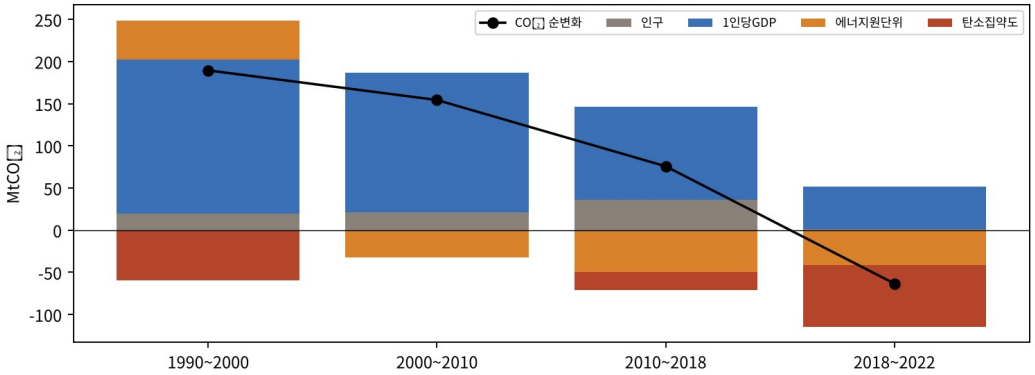
증가량 자체가 해마다 0.029ppm 씩 커졌다($p<0.001$). 농도가 오를 뿐 아니라 오르는 속도도 빨라지고 있다.

3.3 한국의 배출 — 카야 분해

표 4. 한국 CO_2 변화의 LMDI 분해($MtCO_2$)

기간	CO_2 변화	인구	1 인당 GDP	에너지원단위	탄소집약도
1990~2000	+189.5	+19.9	+182.7	+46.3	−59.4
2000~2010	+154.4	+21.5	+165.2	−32.0	−0.4
2010~2018	+75.8	+36.1	+110.5	−49.8	−21.0
2018~2022	**−63.3**	+1.7	+49.9	−41.5	**−73.4**

그림 3. 한국 CO₂ 변화의 카야 분해(LMDI)



1990~2010 년에는 소득 증가가 배출을 크게 늘렸다. 2018 년 이후에는 처음으로 배출이 줄었는데, 주된 힘은 탄소집약도 하락 이었다. 발전에서 석탄이 줄고 원자력·재생·가스가 늘었다. 에너지원단위 개선도 꾸준히 배출을 줄였다. 실천카드의 '에너지' 영역은 이 에너지원단위·1 인당 에너지와 맞닿아 있다.

3.4 실천카드 변수

표 5. 실천카드 46 개 항목과 국가 변수

카드 영역	항목 수	국가 변수	상태
에너지	8	1 인당 1 차에너지·1 인당 전력·화석 비중	분석 완료
물	7	1 인당 생활용수 사용량	자료 대기(환경부 상수도통계)
음식	7	음식물류 폐기물 발생량	자료 대기(환경부 폐기물 통계)
일회용품 줄이기	7	생활계 폐기물 중 플라스틱·종이	자료 대기
분리배출과 재활용	6	생활폐기물 재활용률	자료 대기
폐건전지·폐휴대폰	3	회수량	자료 대기
폐의약품	4	수거량	자료 대기
플라스틱 병뚜껑	4	플라스틱 재활용 실적	자료 대기

카드 영역	항목 수	국가 변수	상태

에너지 영역 결과**(**한국 **1991~2024, 34** 개 연간 변화**).**

- 에너지 탄력성은 0.944 다(표준오차 0.087). 1 인당 에너지가 1% 줄면 CO_2 가 0.94% 준다.
- 화석 비중 1%p 감소마다 CO_2 가 1.23% 준다(표준오차 0.38%). 설명력 R^2 는 0.904 다.
- 온 국민이 에너지를 1% 아끼면 한국 배출이 연 5.48 Mt 준다.
- 이 감축은 세계 시계에서는 1 년 유지 기준 약 0.01 초, 한국 몫 시계에서는 유지할 때 약 1.3 초다.

개인 실천은 함께 할 때**,** 그리고 국가의 탄소집약도 전환과 같이 갈 때 시계를 의미 있게 움직인다**.**

나머지 일곱 영역은 변수와 출처를 정했지만 자료를 넣지 않았다. 홈페이지 시계는 이 영역을 '자료 대기'로 그대로 보여 준다. 수동 입력 파일(카드변수_수동입력.csv)에 환경부 연간 통계를 채우면 같은 프로그램이 한국 CO_2 변화와의 관계를 자동으로 분석한다.

4. 봉인 판단

표 6. 봉인 판단(SHA-256, T7_봉인판단_BDC.csv)

ID	판단	확률	채점일
SJ-BDC-1	NOAA 마우나로아 2026 년 연평균 CO_2 가 429.5ppm 이상이다	0.83	2027-02-15
SJ-BDC-2	2025 년 세계 CO_2 배출(토지이용 포함)이 2024 년보다 많다	0.60	2026-12-31

SJ-BDC-1 은 2025 년 427.35ppm 에 최근 5 년 평균 증가(2.63ppm)를 더한 429.98ppm 과 증가량 표준편차(0.51)로 계산했다. 맞든 틀리든 공개한다.

5. 홈페이지와 콘솔

- **bongsu.kr/doomsday**
  - 빨간 전자시계로 본 시계를 보여 준다.
  - 1.5°C·67%, 2°C·67%, 한국 몫 시계도 함께 보여 준다.
  - 카드 변수 표와 실증 요약, 한계를 싣는다.
  - 46 개 항목 O/X 실천 점검을 둔다. 실천률만 표시하고, 탄소 환산은 공인 배출계수를 확보한 뒤에 붙인다.
- 통일의 시계: 같은 날 바늘시계에서 같은 전자시계로 바뀌었다(bongsu.kr/clock).

- 갱신: 원자료가 연·월 단위로 갱신되므로 6 일마다 다시 내려받아 다시 계산한다.

6. 한계

- 예산 값: 남은 예산은 IPCC AR6(2021) 값이다. 새 평가에서 바뀔 수 있고, 예산 자체에 ±220 Gt 수준의 불확실성이 있다.
- 최근 배출 추정: 2025 년 이후 배출은 2024 년 수준이 이어진다고 가정했다.
- 한국 몫의 기준: 한국 몫은 인구 비례 배분이라는 하나의 공정성 기준이다. 과거 누적 배출 책임을 넣으면 더 짧아지고, 경제 규모 기준이면 달라진다.
- 기온 회귀의 성격: 기온 회귀는 상관 기울기다. 인과 크기(기후민감도)를 재지 않는다.
- 자료 대기 영역: 카드 일곱 영역은 자료가 없어 효과를 재지 못했다.
- 시계에 넣지 않은 위험: 참고 문헌의 환경호르몬·생물 멸종 위험은 이 시계에 수치로 들어가 있지 않다. 이 시계가 재는 것은 기후 한 축뿐이다.

7. 결론

공개 자료만으로 계산한 지구멸망시계는 지금 **23:55:02** 를 가리킨다. 지금 속도라면 1.5°C 예산은 5 년 안에 바닥난다. 대기 CO_2 는 기온과 함께 움직였고, 오르는 속도는 빨라지고 있다. 한국은 2018 년 이후 배출을 줄이기 시작했지만, 1 인당 배출이 세계 평균의 2.4 배라 한국 몫의 시계는 더 늦은 밤을 가리킨다. 실천카드의 에너지 절약은 자료로 효과가 확인되었다. 나머지 실천은 자료가 채워지는 대로 같은 방식으로 재고 공개한다. 시계는 예측이 아니라 판독이다. 배출을 줄이면 시계는 늦춰진다.

참고문헌

- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers.* Cambridge University Press.
- Friedlingstein, P. et al. (2024). Global Carbon Budget 2024. *Earth System Science Data*.
- Lenssen, N. et al. (2019). Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(12), 6307–6326.
- Keeling, C. D. et al. (1976). Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. *Tellus*, 28(6), 538–551.
- Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, 32(9), 1131–1139.
- Kaya, Y. (1990). Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth. IPCC Energy and Industry Subgroup.

- Newey, W. K. and West, K. D. (1987). A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, 55(3), 703–708.
- 권상연성당 생태환경분과. 생활 속 작은 실천으로 탄소발자국 줄이기 실천카드(인쇄물, 대표 제공 사진).

부록 A. 인공지능 이용 고지

자료 수집·계산·그림·초고 문장은 인공지능(Claude)과 함께 작성하였다. 지수의 기준(전자시계, 실천카드 변수)은 저자가 정했다. 모든 원자료는 공개 저장소에서 받았고, 코드와 함께 공개하므로 누구나 같은 시각을 다시 계산할 수 있다.

부록 B. 재현 방법

1. 02_파이썬 에서 python -X utf8 fd_doomsday.py –fetch 를 실행한다. GitHub 공개 저장소에서 원자료 5 개를 받아 시계·분석·그림을 만든다. 결과는 outputs/BDC_결과.json 에 생긴다.
2. python -X utf8 fd_doomsday_page.py –web 를 실행하면 bongsu.kr/doomsday 페이지가 생긴다.
3. 카드 일곱 영역을 넣으려면 01_로우데이터/카드변수_수동입력.csv 에 환경부 연간 통계(연도별)를 채우고 1 번을 다시 실행한다.