DIGITAL TWIN LABORATORY · DONG-EUI UNIVERSITY

측정하고, 모델링하고, 학습하여 전력반도체의 수명을 예측합니다

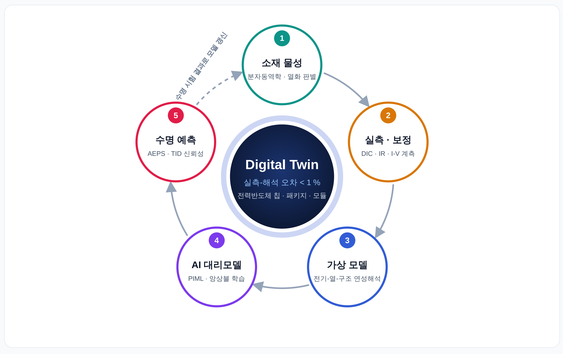
디지털트윈연구실은 소재 물성부터 칩·패키지 모듈의 실측, 멀티피직스 해석, AI 예측, 수명 평가까지를 하나의 디지털 트윈으로 연결합니다. 각 단계의 결과가 다음 단계의 입력이 되고, 수명 시험 결과는 다시 모델을 보정합니다.

소재 → 실측·보정 → 가상 모델 → AI 예측 → 수명 예측

40	34	98	13
학술지 논문	특허	학회 발표	연구 과제

01 연구 체계: 하나로 연결된 디지털 트윈

다섯 개의 연구 축이 순환 구조로 맞물려 있습니다. 실측으로 보정한 모델이 AI를 학습시키고, AI가 빠르게 찾은 설계를 수명 모델이 검증하며, 그 결과가 다시 소재·실측 단계로 돌아옵니다.

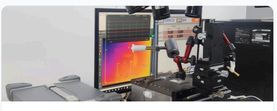


02 원자에서 시스템까지

같은 디지털 트윈 방법론을 크기가 다른 대상에 적용합니다. 점의 색은 각 규모에서 활용하는 연구 축입니다.

ATOM · Å-nm	CHIP · μm	PACKAGE · mm	MODULE · cm	SYSTEM · m
원자 · 소재	**칩**	**패키지**	**모듈**	**시스템**
MD로 온도·방사선 의존 물성 계산	등가 저항을 열전도도·CTE 추출, 칩 휨량 유력	TO-220/247/251/252, 와이어 클립·솔더 설계	양면냉각 SiC 모듈, IGBT 벤치마킹	MVDC 액전 케이블 허용전류, 배전망 안전 운영

03 다섯 개의 연구 축



01 · MATERIAL

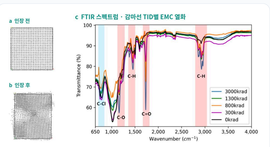
소재 물성 데이터 구축

"해석에 넣는 물성은 정말 맞는가?"

FTIR 스펙트럼과 머신러닝으로 EMC·SiN·고분자의 열·방사선 열화 정도를 판별하고, 열화에 따른 열전도도·경도 변화를 측정합니다. 문헌에 없는 물성은 분자동역학(MD) 계산으로 보완해 해석의 출발점을 바로잡습니다.

0–3000 krad 감마선 TID 단계의 EMC 열화를 FTIR 스펙트럼 + 머신러닝으로 분류

대표 연구 · EMC TID 열화 ML (JEET 2024) · SiN 방사선 열화 ML+MD (JEET 2025) · 3D 프린팅 고분자 FTIR-ANN (Appl. Sci. 2018–2020) · MD 기반 순수 Al 물성 (KSMPE 2026)



02 · MEASURE & CALIBRATE

실측 기반 등가물성 보정

"패키지 속 칩은 실제로 어떻게 움직이는가?"

Open-top 세라믹 패키지에 칩을 실장하고 DIC·IR 열화상·I-V를 동시에 측정해, 봉지재에 가려 볼 수 없던 칩의 변형률과 온도를 비파괴로 계측합니다. 이 데이터로 칩의 등가 전기·열전도도 열팽창계수를 추출합니다.

< 1 % 등가물성 보정 후 전압·온도의 실측-해석 오차 (SiC 칩 15개)

대표 연구 · DIC 기반 SiC 칩 CTE 측정 (EuroSimE 2026) · Open-top 패키지 실시간 온도 변형률 동시 분석 (KSMPE 2026) · SiC PiN 다이오드 등가물성 (2025) · IGBT 8종 FEA 벤치마킹 (2025)

03 · VIRTUAL MODEL

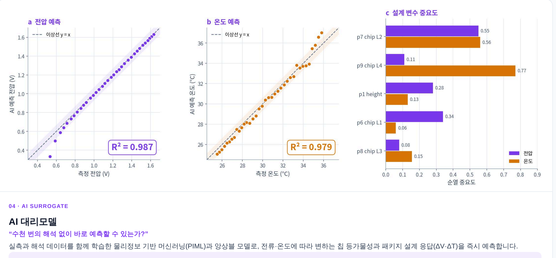
멀티피직스 가상 모델 · 설계 최적화

"어떤 설계 변수가 열과 응력을 지배하는가?"

보정된 물성으로 전기-열-구조-전자기 연성 해석 모델을 만들고, 실험계획법(DOE)과 반응표면법으로 와이어·Cu 클립·솔더·에탈라이제이션·스페이서 설계를 최적화합니다. 예를 들어 SiC JBS 다이오드에서는 와이어 직경·각도·개수에 따른 칩 패시베이션층 응력을 반응표면으로 정리해 최적 본딩 조건을 제시했습니다.

100 → 0 % 양면냉각 SiC 전력모듈의 다이 크랙 발생률을 구조 최적화로 제거

대표 연구 · AI 머신러닝에서의 모델링 (Energies 2025) · GaN HEMT 패키징 DOE·RSM (2025) · 양면냉각 SiC 모듈 다이 크랙 (2026) · SiC JBS 칩-패키지 상호작용 (Energy Reports 2023) · 하에릭 MOSFET 열저항 (JEET 2022)



04 · AI SURROGATE

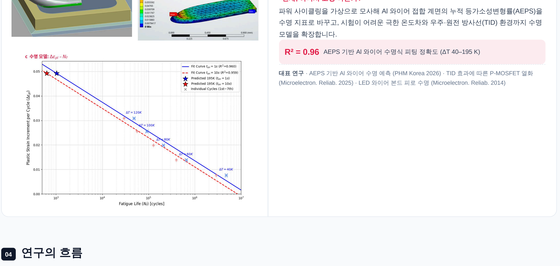
AI 대리모델

"수천 번의 해석 없이 바로 예측할 수 있는가?"

실측과 해석 데이터를 함께 학습한 물리정보 기반 머신러닝(PIML)과 앙상블 모델로, 전류·온도에 따라 변하는 칩 등가물성과 패키지 설계 응답(ΔV·ΔT)을 즉시 예측합니다.

$R^2 \geq 0.97$ IGBT 7종의 바이어스 의존 등가물성 예측 정확도

대표 연구 · Cu 클립 TO-220 전기·열 성능 PIML 예측 (KCS 2026) · IGBT 바이어스 의존 물성 예측 디지털 트윈 (KCS 2026)



05 · RELIABILITY & LIFETIME

신뢰성 · 수명 예측

"언제, 어디서 고장 나는가?"

파워 사이클링을 가상으로 모사해 AI 와이어 접합 계면의 누적 등가소성변형률(AEPS)을 수명 지표로 바꾸고, 시험이 어려운 극한 온도차와 우주·원전 방사선(TID) 환경까지 수명 모델을 확장합니다.

$R^2 = 0.96$ AEPS 기반 AI 와이어 수명식 피팅 정확도 (ΔT 40–195 K)

대표 연구 · AEPS 기반 AI 와이어 수명 예측 (PHM Korea 2026) · TID 효과에 따른 P-MOSFET 열화 (Microelectron. Reliab. 2025) · LED 와이어 본드 피로 수명 (Microelectron. Reliab. 2014)

04 연구의 흐름

수치해석 기법에서 출발해 LED, 3D 프린팅 소재, 전력반도체로 대상을 넓혔고, 지금은 실측과 AI를 결합한 디지털 트윈으로 이어지고 있습니다.

2010 · 수치해석 기법
음향수 경계 유한소요법, 자기장-역해석

2014 · LED 패키지 신뢰성
와이어 본드 피로, 실리콘 열화, 칩-패키지 상호작용

2017 · 소재 열화 × 머신러닝
3D 프린팅 고분자, FTIR-인공신경망 열화 판별

2020 · 전력반도체 패키지
하에릭 TO 패키지 열저항, 우주용 MOSFET

2023 · 와이드밴드갭 소자
SiC-GaN 칩-패키지 상호작용, 방사선(TID) 열화

2026 · 실측 연계 디지털 트윈 + AI
Open-top 패키지 실측, PIML, AEPS 수명 모델

05 연구 성과의 활용

가상 모델 서비스

보정된 3D 모델과 온도·전류 해석 결과를 패키지별로 공개해, 설계 초기 단계의 검토를 돕습니다.

가상 모델 보기 →

침 평가 · 신뢰성 시험

Open-top 세라믹 패키지, DIC, 압축측 HTRB 장비로 칩 단위 평가와 가속 시험을 수행합니다.

보유 장비 보기 →

설계 가이드라인 · 산학 협력

정부 과제와 산학 협력으로 패키지 설계 지침, 수명 평가 방법, 해석 자동화 기술을 산업 현장에 전달합니다.

연구 과제 보기 →