

IRS 글로벌 홈페이지(www.irsglobal.com)에서는 보다 다양한 산업 보고서 정보를 제공하고 있습니다.

2027 AI 기반 소재지능(Materials Intelligence) 기술·시장 동향과 산업별 적용사례 및 사업화 전략: 피지컬 AI·첨단 제조·에너지 전환·자원순환을 중심으로

I. 소재지능의 기술·시장 동향과 글로벌 생태계 분석

1. 소재지능의 개요와 산업 전환

1-1. 소재지능의 정의와 분석 범위

- 1) 용어의 등장과 사용 맥락
- 2) 소재정보학·AI for Materials·ICME·자율실험실과의 구분
- 3) 포함·제외 기준과 조작적 정의

1-2. 소재개발 패러다임의 전환과 도입 동인

- 1) 전통적 시행착오형 R&D 의 비용과 시간
- 2) 성능·비용·탄소·공급망의 다목적 요구
- 3) 데이터·컴퓨팅·로봇의 결합
- 4) 산업경쟁과 조직 변화의 의미

1-3. 소재지능의 전주기 가치사슬과 가치창출 경로

- 1) 수요정의·데이터 생성
- 2) 예측·역설계·가상 스크리닝
- 3) 자동합성·검증·스케일업
- 4) 제품채택·열화·회수·데이터 환류

2. 소재 데이터·AI·자율실험 핵심 기술

2-1. 소재 데이터의 유형·수집·품질·출처계보

- 1) 조성·구조·공정·물성·성능 데이터
- 2) 실험·계산·문헌·특허·공장 데이터
- 3) 음성결과·편향·결측·단위 문제
- 4) 메타데이터·버전·출처계보 관리

2-2. 데이터 표준·FAIR·온톨로지·지식그래프

- 1) FAIR 와 상호운용성
- 2) KS X 2505 조성-공정-물성 구조
- 3) 온톨로지·지식그래프·디지털제품여권

4) 기업 간 공유·보안·연합학습

2-3. 계산재료·ICME·멀티스케일 시뮬레이션

1) DFT·분자동역학·열역학·상평형

2) 공정-구조-물성-성능 연결

3) 대리모델과 디지털트윈

4) 정확도·계산비용·스케일 연결 한계

2-4. 머신러닝 기반 물성예측과 능동학습

1) 표현·특징·그래프 신경망

2) 소량·희소 데이터 학습

3) 불확실성 정량화·베이지안 최적화

4) 능동학습·다목적 최적화·외삽 검증

2-5. 생성형 AI·파운데이션 모델·멀티모달 에이전트

1) 결정·분자·조성의 생성과 역설계

2) 원자간 퍼텐셜·파운데이션 모델

3) 문헌·이미지·스펙트럼 멀티모달 학습

4) LLM 합성계획·에이전트와 환각 통제

2-6. 고속 스크리닝과 자율실험실

1) 고속 계산·합성·특성평가

2) 로봇·장비·LIMS 통합

3) 페루프 실험과 다음 실험 선택

4) 페루프 성능평가·장비 상호운용·확장 조건

2-7. 검증·재현성·스케일업·거버넌스

1) 예측 안정성과 실제 합성가능성

2) 벤치마크 누출·OOD·불확실성

3) lab-to-fab·인증·EHS·LCA

4) IP·보안·책임·벤더종속

3. 글로벌 시장·정책·국가별 데이터 인프라·선도 프로젝트 생태계

3-1. 소재지능 시장의 경계와 규모 산정

1) 소프트웨어·데이터·컴퓨팅·장비·서비스의 분리

2) 협의·광의 시장 정의

3) 조사기관별 수치 차이와 중복 제거

4) 수요지표·투자·계약 기반 전망

3-2. 글로벌 상용 플랫폼·솔루션 경쟁구도

1) 기업 데이터관리·PLM 연계

2) 예측·생성·시뮬레이션 플랫폼

3) 자율실험·장비 통합

4) 클라우드·산업특화·장비통합 서비스

3-3. 사업모델·가치획득·파트너십 구조

- 1) SaaS·라이선스·사용량 기반
- 2) 공동개발·성과기반·IP 공유
- 3) 데이터 네트워크 효과와 전환비용
- 4) 고객 도입비용·ROI·조직역량

3-4. 주요국 소재지능 정책과 투자 방향

- 1) 미국 MGI·CHIPS·DOE
- 2) EU Materials Commons·BIG-MAP/FULL-MAP
- 3) 일본 NIMS·Matlantis 생태계
- 4) 중국 데이터·자율실험·전략소재 정책
- 5) 중국의 신소재·데이터·자동화 정책
- 6) 한국의 정책·국제협력과 국가 비교 시사점

3-5. 국가·권역별 소재 데이터 인프라 동향과 사례

- 1) 300 만 건 공공데이터 개방
- 2) KS X 2505 와 KoMaP·KMDS
- 3) KIMS·KIST·KAIST·KIAT 인프라
- 4) 기업 확산의 데이터·인력·장비 격차
- 5) 중국 신소재 빅데이터 인프라의 구축과 운영 사례
- 6) 한국 국가 소재데이터 체계와 상호운용 과제

3-6. 글로벌 선도 프로젝트의 운영모델과 성과 분석

- 1) 선도 프로젝트 선정기준과 공통 분석 틀
- 2) Materials Project-GNoME-A-Lab 의 데이터-AI-자율합성 연계
- 3) MatterGen-MatterSim 의 목적지향 생성·시뮬레이션 연계
- 4) BIG-MAP-FULL-MAP 의 배터리 소재 가속화 모델
- 5) FAIRmat-NOMAD 와 Materials Commons 의 프로젝트-인프라 전환
- 6) 일본 SIP 소재혁명·Mint 의 연구-산업 확산
- 7) 중국 소재 게놈 사업과 신소재 빅데이터 구축
- 8) 성과·증거수준·재현가능성 비교와 한국 적용조건

II. 피지컬 AI 의 소재 지능

1. 피지컬 AI 와 소재 지능의 결합 구조

1-1. 피지컬 AI 의 소재 지능 개념과 분석 범위

- 1) 인지·판단·동작의 물리적 작동과 소재의 역할
- 2) 소재지능·스마트소재·체화지능의 개념 구분
- 3) 수동 기능재·반응형 소재·감지·구동 통합 소재의 계층
- 4) 로봇 부품·완제품·제조공정 AI 와의 분석 경계

1-2. 로봇 몸체의 소재·부품·시스템 가치사슬

- 1) 감지-연산-구동-접촉의 페루프와 소재의 위치
- 2) 로봇 손·관절·외피·골격의 기능별 요구
- 3) 자율이동·협동·착용형·의료 기기의 소재 조건 비교
- 4) 소재개발-부품화-시스템 통합-현장실증의 연계

1-3. 작업환경이 규정하는 물성과 성능 목표

- 1) 접촉·전단·마찰·변형에 대응하는 동적 물성
- 2) 중량·순응성·하중·출력·전력의 설계 균형
- 3) 열·습도·오염·충격·반복작동에 따른 성능 변화
- 4) 물성 측정조건·메타데이터·성능지표의 일관성

1-4. 기술군별 적용지도와 사례 분석 기준

- 1) 감각·구동·구조·전원·연산 소재의 기능별 배치
- 2) 작업 유형과 로봇 형태에 따른 우선 적용 영역
- 3) 논문 시연·시제품·현장 운영의 증거수준 구분
- 4) 대표 사례 선정기준과 성과·한계 비교 항목

2. 감지·상호작용 소재의 적용 분야와 사례

2-1. 압력·전단·미끄러짐을 읽는 전자피부

- 1) 압저항·정전용량·압전 감지 소재의 작동원리
- 2) 압력 분포와 전단력의 분리 측정
- 3) 미끄러짐·표면 질감 감지와 파지 제어
- 4) 곡면 부착·신축 배선·대면적 센서 배열의 구현

2-2. 변형·자세를 읽는 자기수용 감각 소재

- 1) 신축·굽힘·비틀림 감지 소재와 측정 범위
- 2) 광섬유·도전성 복합재 기반 변형 감지
- 3) 연성 몸체의 형상·관절 위치 추정
- 4) 히스테리시스·드리프트·재보정의 실용 제약

2-3. 온도·환경·복합 감각 인터페이스

- 1) 접촉 온도·열유속 감지와 안전한 물체 조작
- 2) 습도·화학물질·가스 감지 소재의 적용 조건
- 3) 광학·촉각·환경 신호를 결합하는 다중감각 구성
- 4) 신호 간 간섭·붕괴·내오염 설계와 성능 검증

2-4. 감각 소재의 로봇 적용과 성능 비교

- 1) 로봇 손의 촉각 피드백과 정밀 조작 사례
- 2) 보행 로봇의 발바닥 접촉·지면 인지 사례
- 3) 협동·착용형 로봇의 인체 접촉 감지 사례
- 4) 감도·응답속도·내구성·유지관리 기준의 사례 비교

3. 구동·접촉·구조 소재의 적용분야와 사례

3-1. 전기 구동부의 자성·도전·절연 소재

- 1) 영구자석·자성 코어의 토크밀도와 공급 제약
- 2) 권선·절연·접합 소재의 출력 및 발열 관리
- 3) 모터·관절 구동부의 소재-부품 공동설계
- 4) 희토류 의존도 저감과 대체 소재의 성능 검증

3-2. 전기·열·빛 반응형 인공근육과 구동 소재

- 1) 유전 탄성체 액추에이터의 변형과 구동 조건
- 2) 전기유압식·압전 구동 소재의 출력 특성
- 3) 형상기억합금·고분자의 응답과 피로
- 4) 액정 탄성체·광응답 소재의 연구와 적용 한계

3-3. 유체 구동·인공힘줄·적응형 접촉 소재

- 1) 공압·유압 탄성체 챔버의 설계와 구동
- 2) 섬유형 인공근육·인공힘줄의 힘 전달
- 3) 마찰·접착·미세표면을 활용한 연성 파지
- 4) 재밍 구조의 가변 강성과 작업별 접촉 조절

3-4. 경량 골격·형태 적응·손상 대응 소재

- 1) 복합재·경량 금속의 하중 지지와 중량 절감
- 2) 연성-강성 접합부의 응력 집중과 내구 설계
- 3) 오리가미·키리가미·메타구조의 수동 적응
- 4) 자가치유·내마모 소재의 기능 회복과 검증

4. 에너지·열관리·국소연산 소재의 시스템 통합

4-1. 이동형 에너지 저장과 전원 배치

- 1) 가동시간·중량·출력의 균형과 전원 선정
- 2) 전지의 충격·열 안전과 몸체 내 배치
- 3) 유연 전지·구조 전지의 가능성과 성숙도
- 4) 교체·충전·정비를 고려한 전원 모듈 설계

4-2. 전력변환·전달·신축 인터커넥트 소재

- 1) 전력반도체·기판·봉지 소재와 구동 효율
- 2) 신축 배선·전극·액체금속 인터커넥트의 적용
- 3) 전력 손실·절연·전자파 간섭의 관리
- 4) 반복 변형 부위의 접합·배선 신뢰성

4-3. 발열 관리와 사람 접촉면의 열 안전

- 1) 모터·연산장치·전지의 발열 경로
- 2) 열계면·방열·단열 소재의 배치와 경량화
- 3) 착용형·협동 로봇의 접촉면 온도 관리
- 4) 고부하·장시간 운전에서의 열화 및 성능 평가

4-4. 센서 인접 처리·뉴로모픽 소자의 적용 가능성

- 1) 감각 신호의 현장 전처리와 데이터량 절감
- 2) 센서 내 연산·기억 기능을 구현한 소재소자 연구
- 3) 촉각·연산·구동 통합 패키징과 지연시간
- 4) 전력·정확도·재현성·기술성숙도의 비교

5. 통합 설계·실증·사업화와 산업 전환조건

5-1. 소재·구조·제어 공동설계와 가상·현실 검증

- 1) 비선형 변형·점탄성 물성의 모델링
- 2) 마찰·접촉·충격을 반영한 시뮬레이션
- 3) 실물 측정에 기반한 물성값·모델 파라미터 보정
- 4) 가상·현실 간 성능 차이와 현장 데이터의 설계 환류

5-2. 기능·신뢰성·안전성의 단계별 평가

- 1) 감지 소재의 감도·오차·응답속도·드리프트 평가
- 2) 구동·구조 소재의 힘·변위·효율·반복정밀도 평가
- 3) 굽힘·피로·마모·오염·온습도 내구시험
- 4) 인체 접촉 위험·고장 대응·로봇 안전기준 검토

5-3. 로봇 유형별 적용사례와 증거수준 비교

- 1) 휴머노이드 손·정밀 조립의 감각·파지 통합 사례
- 2) 물류·협동 로봇의 조작·접촉 안전 사례
- 3) 보행·착용형 로봇의 구조·구동·전원 통합 사례
- 4) 의료·연성·초소형 로봇의 연구단계와 적용 조건

5-4. 소재의 부품화·양산과 한국 산업의 대응

- 1) 다중 소재 접합·공정 일관성·수율 확보
- 2) 모듈 교체·수리·분해·자원순환을 고려한 설계
- 3) 소재기업-부품기업-로봇기업의 공동개발 구조
- 4) 국내 우선 기술·실증 과제·사업화 지표

6. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

6-1. 국내 기업사례

- 1) 에이딘로보틱스의 유연 폴리머 촉각 센서와 로봇 손 통합
- 2) 테슬로의 경량 다관절 로봇 손과 선택형 촉각 모듈

6-2. 해외 기업사례

- 1) 일본 XELA Robotics의 연성 엘라스토머 기반 분산 촉각 센서
- 2) 미국 GeISight의 엘라스토머 영상식 촉각과 Digit 360
- 3) 독일 Festo의 실리콘 형상순응 그리퍼 DHEF

6-3. 기업사례 비교와 국내 사업화 시사점

- 1) 소재 기능과 적용 단계의 비교
- 2) 소재기업과 로봇기업의 공동개발 방향

III. 첨단 제조산업의 소재지능

1. 이차전지·에너지저장 분야별 소재지능 적용 동향과 사례 분석

1-1. 배터리 가치사슬의 소재 병목과 적용 포트폴리오

- 1) 성능·안전·원가·수명 목표
- 2) 양극·음극·전해질·분리막 데이터
- 3) 탐색·셀설계·공정·재활용 적용점
- 4) 사례·성과·성숙도 분류

1-2. 양극·음극 소재의 조성·구조·공정 최적화

- 1) 다원계 조성과 목표물성
- 2) 물성예측·상안정성·합성조건
- 3) 고속실험·자율탐색
- 4) 국내외 검증사례와 스케일업

1-3. 전해질·분리막·전고체 소재의 역설계

- 1) 이온전도·안정성·계면 문제
- 2) AI/HPC 후보 압축
- 3) 실험합성·셀 시제품 검증
- 4) 안전·양산·원료 제약

1-4. 셀 설계·수명·공정·재활용의 소재지능

- 1) 셀·전극 설계와 소재 변수
- 2) 수명·열화·안전 예측
- 3) 공정창·품질·검사 최적화
- 4) 재활용·대체원료 의사결정

1-5. 배터리 사례 비교와 사업화 로드맵

- 1) 6~8 개 사례 공통 틀 비교
- 2) 연구-시제품-고객검증-상용 상태
- 3) 정량성과와 증거한계
- 4) 국내 기업 도입 우선순위

1-6. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

- 1) 국내 LG 에너지솔루션의 생성형 AI 기반 셀 역설계
- 2) 국내 포스코퓨처엠의 전구체 제조 데이터와 공정 이상 예측
- 3) 미국 SES AI 의 전해액 분자 탐색과 실험 검증
- 4) 미국 Chemix 의 실험 데이터 기반 맞춤형 배터리 개발
- 5) 중국 NIO 의 배터리 사용 데이터와 AI 이상 진단
- 6) 기업사례 비교와 국내 사업화 시사점

2. 반도체·디스플레이·전자소재 분야별 소재지능 적용 동향과 사례 분석

2-1. 전자산업의 소재 병목과 lab-to-fab 적용지도

- 1) 미세화·수율·신뢰성 요구
- 2) 소재-공정-장비-제어 결합
- 3) 보안·희소데이터·고객공동개발
- 4) 응용별 사례 배치

2-2. 포토레지스트·전구체·식각·세정·CMP 소재

- 1) 조성공간과 공정민감도
- 2) 가상배합·물성·결함 예측
- 3) 고객조건 다목적 최적화
- 4) 기업사례와 증거수준

2-3. 첨단패키징·접합·방열·기판 소재

- 1) 패키징 성능·열·응력 문제
- 2) 봉지재·접착·인터커넥트·방열 소재
- 3) 공정조건·수율·신뢰성 연결
- 4) 기존 기판 보고서와의 중복 통제

2-4. 디스플레이·광학·센서용 전자기능 소재

- 1) 디스플레이·광학·센서의 목표기능과 데이터
- 2) 유기·무기 후보 생성·예측
- 3) 이미지·스펙트럼 기반 특성·결함 분석
- 4) 소자검증·고객승인·양산 간극

2-5. 전자소재 사례 비교와 상업화 조건

- 1) 6~8개 사례 비교
- 2) 영업비밀 환경의 검증법
- 3) 고객승인·양산·수율 KPI
- 4) 한국 생태계와 정책 과제

2-6. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

- 1) 국내 삼성디스플레이의 OLED 분자 설계와 다층 소재 조합 평가
- 2) 국내 LG 디스플레이의 OLED 발광분자와 박막구조 설계
- 3) 일본 Resonac의 AI 배합 탐색과 패키징용 감광필름 개발
- 4) 독일 Merck의 CMP 소재 데이터와 고객 공정의 공동분석
- 5) 일본 TDK의 Aim을 활용한 자성·유전체 재료 분석
- 6) 기업사례 비교와 국내 사업화 시사점

3. 정밀화학·고분자·배합제품 분야별 소재지능 적용 동향과 사례 분석

3-1. 배합산업의 데이터 특성과 소재지능 적용지도

- 1) 원료-배합-공정-성능 데이터

2) 소량·비정형·기업내 암묵지

3) 다목적 최적화와 불확실성

4) 제품군별 적용 포트폴리오

3-2. 고분자·엘라스토머·복합재 설계

1) 분자·첨가제·공정 조건

2) 물성·가공성·원가 예측

3) 재활용 함량·성능 균형

4) 산업사례와 확대조건

3-3. 코팅·접착·잉크·화장품 배합 최적화

1) 다성분 배합공간

2) 가상실험·후보추천

3) 생산시험·고객성능 검증

4) 상용제품 연결과 증거한계

3-4. PFAS 대체·저 VOC·바이오기반·순환소재

1) 규제·지속가능성 목표

2) 성능·비용·탄소 동시 최적화

3) 대체원료·재배합 사례

4) LCA·규제검증·그린워싱 통제

3-5. 화학·고분자 사례 비교와 사업화 모델

1) 기업사례 5~7 개 비교

2) SaaS·공동개발·내재화 모델

3) 데이터 축적과 조직학습

4) 국내 중견·중소기업 확산전략

3-6. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

1) 국내 KCC의 도료 색상 배합과 현장 조색

2) 국내 한국타이어앤테크놀로지의 고무 컴파운드 물성 예측

3) 독일 BASF의 실리콘 대체 원료와 화장품 제형 설계

4) 독일 Evonik의 첨가제 추천과 도막 평가

5) 미국 Stepan의 액상 주방세제 배합과 고객 요구별 대안 제시

6) 기업사례 비교와 국내 사업화 시사점

4. 모빌리티·항공우주·조선·구조재 분야별 소재지능 적용 동향과 사례 분석

4-1. 구조재 산업의 성능 병목과 적용지도

1) 강도·경량·내열·부식·수명 목표

2) 합금·복합재·접합·코팅 데이터

3) 설계-공정-부품 인증 연결

4) 산업별 사례 포트폴리오

4-2. 철강·비철·초합금·영구자석의 소재설계

1) 조성·열처리·미세조직

2) 물성예측·역설계

3) 희토류 대체·공급망

4) 자율실험·검증사례

4-3. 자동차·조선용 경량·접합·내구 소재

1) 차체·전동화·선박 환경 요구

2) 경량합금·복합재·접합 소재

3) 부식·피로·수명 예측

4) 공정 AI 와 소재지능의 경계

4-4. 항공우주·방산·적층제조 소재

1) 극한환경·인증 요구

2) 합금-분말-공정 동시최적화

3) 디지털 적격성·결함 예측

4) 기술이전·상용생산 사례

4-5. 구조재 사례 비교와 산업 전환조건

1) 5~7 개 사례 공통비교

2) 실험감소·수명·원가 성과

3) 인증·책임·데이터보안

4) 한국 모빌리티·조선·방산 전략

4-6. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

1) 국내 포스코의 자동차강판 도금 제어와 후판 품질 예측

2) 국내 현대제철의 TMCP 강 역설계와 합금화 강판의 품질 예측

3) 미국 HRL·Citrine 의 고강도 알루미늄 적층제조 원료 개발

4) 미국 QuesTek 의 항공구조용 합금 계산설계와 AI 결합

5) 영국 Alloyed 의 적층제조용 초합금 설계와 다중 장비 검증

6) 기업사례 비교와 국내 사업화 시사점

IV. 에너지 전환·자원순환 및 신흥 분야별 소재지능

1. 수소·촉매·CCUS·청정에너지 분야별 소재지능 적용 동향과 사례 분석

1-1. 청정에너지 전환의 소재 병목과 적용지도

1) 활성·선택성·내구·원가 목표

2) 촉매·전극·흡착재·막 소재

3) 탐색·반응·장기성능 데이터

4) 적용분야·사례 포트폴리오

1-2. 수전해·연료전지·수소생산 촉매

1) 귀금속 사용량·활성·내구

2) 합금·표면·구조 후보탐색

3) 실험검증·셀 성능

4) 스케일업·공급망 한계

1-3. 산업촉매·반응공정 소재 최적화

1) 촉매 조성·지지체·반응조건

2) 순차학습·능동학습

3) 자율실험과 파일럿

4) 산업 탈탄소 성과·제약

1-4. 탄소포집·흡착재·분리막 소재

1) CO₂/H₂O 경쟁흡착과 에너지

2) MOF·흡착재·막 데이터

3) 대규모 계산·ML 퍼텐셜

4) 실험검증·설비적용 간극

1-5. 청정에너지 사례 비교와 투자 우선순위

1) 사례 5~7 개 비교

2) 탄소·비용·성능 KPI

3) 연구·파일럿·상용 상태

4) 국내 촉매·수소·CCUS 전략

1-6. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

1) 국내 현대자동차·기아의 머신러닝 기반 연료전지 합금촉매 탐색

2) 국내 롯데케미칼의 계산·분광 분석을 결합한 CO₂ 전환 촉매 공동연구

3) 미국 Calicat 의 AI 촉매 탐색과 수전해 부품 개발

4) 네덜란드 VSParticle 의 나노촉매 제조와 AI 검증 데이터 구축

5) 영국·미국 Orbital 의 AI 탄소포집 소재와 데이터센터 연계

6) 기업사례 비교와 국내 사업화 시사점

2. 핵심광물·자원순환·저탄소 건설소재 분야별 소재지능 적용 동향과 사례 분석

2-1. 핵심광물 대체와 공급망 의사결정

1) 핵심광물 위험과 소재 의사결정 범위

2) 대체 조성·사용량 저감 설계와 성능 제약

3) 성능-비용-공급위험 다목적 최적화와 기업사례

4) 검증·정책수단·한국 적용 우선순위

2-2. 재활용·재제조·순환소재 설계

1) 회수·해체·분리·정제·재배합 데이터

2) 재생원료 품질·불순물·공정조건 예측

3) 폐플라스틱·배터리·금속 순환 적용사례

4) LCA·경제성·규제·스케일업 검증

2-3. 저탄소 시멘트·콘크리트·인프라 소재

1) 배합·양생·강도·내구·탄소 데이터

- 2) 배합 추천·공정제어·현장 피드백
- 3) 시멘트·콘크리트·인프라 적용사례
- 4) 표준·안전·장기내구·사업화 조건

2-4. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

- 1) 국내 수퍼빈의 AI 선별과 재생 PET 소재 제조
- 2) 국내 한일시멘트의 AI 기반 모르타르 배합 제어와 저탄소 소재 개발
- 3) 영국 MatNex 의 희토류 대체 자석 설계와 실험 검증
- 4) 미국 Sortera Technologies 의 알루미늄 스크랩 선별과 합금별 재생원료 공급
- 5) Amrize·Meta 의 AI 저탄소 콘크리트와 미국 데이터센터 적용
- 6) 기업사례 비교와 국내 사업화 시사점

3. 바이오·의료·양자·스마트소재의 신형 적용과 검증 과제

3-1. 바이오·의료 소재의 데이터 기반 설계와 검증

- 1) 생체적합성·효능·안전성 목표와 데이터
- 2) 분자·구조·이미지·오믹스 기반 예측
- 3) 조직공학·약물전달·임플란트 소재 사례
- 4) 전임상·규제·제조·재현성의 검증 간극

3-2. 양자·메타·자극응답·스마트소재의 신형 응용

- 1) 신형 기능소재의 범위와 선정 기준
- 2) 전자·스핀·파동·응답 물성의 예측과 역설계
- 3) 양자·메타·자극응답 소재의 연구·실증 사례
- 4) 성숙도·증거수준·산업확장과 후속판 기준

3-3. 국내외 주요 기업별 소재지능 적용사례 분석

- 1) 국내 티앤알바이오랩의 바이오잉크 물성 검증과 AI 설계 플랫폼 개발
- 2) 국내 그래피의 형상기억 고분자 기반 맞춤형 투명교정 소재
- 3) 캐나다 Intrepid Labs 의 AI·자율실험 기반 의약품 제형 설계
- 4) 미국 Metalenz 의 메타광학 상용화와 편광·머신러닝 기반 얼굴인증
- 5) 영국 Element Six 의 양자용 다이아몬드와 소자 통합
- 6) 사례 비교와 기업 적용 시사점

V. 기업의 실행 프레임워크와 국내 산업 생태계 고도화 전략

1. 기업 도입과 한국 산업의 실행 전략

1-1. 산업별 사례의 공통 성공요인과 실패위험

- 1) 데이터 준비도
- 2) 물리·도메인 지식 결합
- 3) 실험·현장 피드백
- 4) 조직·파트너·증거수준

1-2. 기업 소재지능 아키텍처와 구축 선택

- 1) ELN·LIMS·PLM·CAE·공장 연결
- 2) 클라우드·온프레미스·연합학습
- 3) 구축·구매·공동개발 판단
- 4) 데이터·모델·장비 운영체계

1-3. PoC 에서 전사 확산까지의 로드맵과 KPI

- 1) 문제 선정·기준선·PoC
- 2) 실험검증·파일럿·고객승인
- 3) ROI·시간·실험수·성공률 KPI
- 4) 포트폴리오 확장·중단 기준

1-4. 데이터·IP·보안·표준·인증 거버넌스

- 1) 데이터 권리·비밀·공동연구 IP
- 2) 모델 위험·재현성·감사
- 3) EHS·제품인증·LCA
- 4) 공급자 종속·지속가능 운영

2. 한국 소재지능 산업의 2027~2032 실행 전략

2-1. 산업별 우선과제

2-2. 공공데이터·자율실험 공동인프라

2-3. 중견·중소기업 확산·인력

2-4. 정책·투자·표준·국제협력 로드맵