

GYEONGNAM INVESTMENT
BUSINESS AGENCY



경남
산업·경제이슈



양자 AI 시대, 경남 제조 혁신의 미래를 묻다

경남 산업·경제이슈
CONTENTS

CMTX 이동우 책임

1. 양자컴퓨터와 AI의 미래	1
2. 미국이 증명한 제조의 가치	3
3. 양자 AI 시대 제조업의 위상	7
4. 경남 제조 혁신의 미래	11

본 자료의 내용은 경남투자경제진흥원의 공식견해가 아니라 집필자 개인의 견해라는 점을 밝힙니다.
따라서 본 자료의 내용을 보도하거나 인용할 경우에는 집필자명을 반드시 명시하여 주시기 바랍니다.

양자 AI 시대,

경남 제조 혁신의 미래를 묻다¹⁾

01 양자컴퓨터와 AI의 미래

가. AI의 역설 : 알파고·이세돌 대국이 드러낸 에너지 비효율

- 2016년 알파고-이세돌 대국은 AI의 압도적 성능 이면에 가려진 '에너지 효율' 격차를 상징적으로 보여준 사건
 - 알파고가 단 한 차례 대국에 사용한 전력량은 약 170kW로, 50가구가 동시에 사용하는 전력량과 동등한 수준
 - 이세돌은 세 끼 식사량에 불과한 0.02kW 수준의 에너지로 '신의 한 수' 도출
 - 수십억 년 진화로 최적화된 자연(생명체)은 최소 에너지로 최대 복잡성을 처리하는 효율성을 지님
- 막대한 에너지를 소모하는 현재의 AI는 자연과 정반대의 효율성을 보이는 'AI 역설' 상태
 - 투입 하드웨어의 난도·비용은 슈퍼카 수준에 비유할 수 있지만, 도출되는 부가가치는 정보 검색·단순 사무 보조 수준에 머무름
 - 이는 '슈퍼카로 짜장면을 배달하는' 상황과 유사하며, 특히 알파고는 바둑에만 특화된 인공지능이라는 점에서 '짜장면+탕수육'도 배달할 수 없는 한계점을 가지고 있음
 - 에너지 효율의 근본적 해결 없이는 AI 산업이 거대한 비용의 뒷에서 벗어나기 어려움

나. 물리적 한계의 벽 : 무어의 법칙은 원자 단위에서 멈춰 설 예정

- 반도체 미세화 공정은 1나노미터(nm) 시대 진입을 앞두고 물리적 한계에 직면
 - (파운드리) TSMC·삼성전자, 3나노를 넘어 2나노 공정 도입 목전
 - (메모리) 삼성전자·SK하이닉스, 10나노대 공정 한계를 돌파하며 한 자릿수 나노 시대 정조준
 - 1나노미터는 원자 크기의 10배 수준에 불과한 극미한 영역으로, 물질의 최소 단위인 원자와 마주하는 '물리적 한계(Physical Limit)'를 의미
- 회로가 미세해질수록 '양자 터널링' 현상으로 전자 흐름 제어가 극도로 까다로워짐
 - 기존 반도체 설계 방식만으로는 폭증 수요와 에너지 효율을 동시 충족하기 어려움
 - 50년간 IT산업을 지탱해온 '무어의 법칙'은 새로운 컴퓨팅 패러다임의 등장을 요구

1) 본 이슈페이퍼는 저자가 지은 '양자컴퓨터 시대의 양자 교양'의 내용을 경남 상황에 맞게 재구성한 것임

다. 자연을 닮은 컴퓨터, 양자컴퓨터의 등장

- 고전 컴퓨터의 한계는 자연의 복잡한 물리 현상을 이진법(0·1)으로 모사하는 방식 자체의 비효율성에서 비롯
 - 리처드 파인만(1981) "자연은 고전적이지 않다. 자연을 시뮬레이션하려면 양자역학적 컴퓨터를 만들어야 한다"라며 한계 통찰
 - (반도체 AI) 방대한 데이터를 학습해 통계적 패턴을 도출
 - (양자컴퓨터) 자연의 본질인 중첩·얽힘을 활용해 물리 현상을 시뮬레이션하고 확률적 최적해 도출
- 양자컴퓨터의 압도적 성능은 계산 방식의 근본적 차이에서 기인
 - (슈퍼컴퓨터) 미로의 경로를 하나씩 순차적으로 검토
 - (양자컴퓨터) '중첩' 원리로 모든 경로를 동시에 탐색
 - 특정 영역에서 기존 슈퍼컴퓨터 대비 통상 1억 배 이상의 연산 속도, 에너지 소모는 약 1/3 수준이 될 것으로 기대
 - 다만, 양자컴퓨터의 성능 우위는 모든 연산에 적용되는 범용 우위가 아닌, 연산 복잡도가 극심한 특정 영역에 국한된 우위임에 유의
- 양자 기반 인공지능은 다음 세 가지 핵심 영역에서 산업 혁신 견인 전망
 - (양자 최적화) 복잡한 조합 최적화 문제 해결
 - (양자 시뮬레이션) 신약·신소재 개발 시행착오 획기적 단축, 탄소 중립 실현 기여 가능
 - (양자 암호 및 보안) 차세대 보안 패러다임 구축
- 양자컴퓨터는 반도체를 대체하는 것이 아니라 보완하는 관계
 - AI 기술은 인간의 뇌 구조와 작동 원리를 모사한 것이라 볼 수 있음
 - 그렇기에 인간의 뇌처럼 AI 기술 역시 좌·우뇌의 유기적 역할 구분을 생각해 볼 수 있음
 - (반도체-좌뇌) 0 과 1 이진법 기반, 논리적 질서·체계적 데이터 관리 담당
 - (양자컴퓨팅-우뇌) 자연의 복잡한 물리 현상을 시뮬레이션하고, 중첩 원리를 통해 방대한 경우의 수를 동시 탐색
 - (상호 보완 구조) 우뇌(양자)가 유효 패턴을 찾아 범위를 좁히면, 좌뇌(반도체)가 이를 넘겨 받아 정밀 연산 수행
 - 두 엔진이 결합할 때 비로소 'AI 역설'에서 벗어나 에너지 효율과 성능을 동시에 갖춘 진정한 AI 도약 실현 가능
 - 즉, 좌뇌의 반도체와 우뇌의 양자컴퓨팅의 결합은 곧 AI 혁명의 완성과 같음

라. 양자 AI 시대, '제조 생태계'에 다시 주목해야 하는 이유

- 양자 기술의 표준이 미확정인 현재, 미래 승부처는 연구실이 아닌 제조 현장이 될 전망
 - 현재 양자컴퓨팅 구현 방식은 초전도·이온트랩·광자·반도체 양자점 등 다수 후보가 경쟁 중
 - 어떤 기술이 최종 표준이 될지 불확실한 초기 단계
- 불확실성의 시대일수록 설계 역량만큼이나 이를 실체화할 제조 기반이 중요
 - 양자 컴퓨터의 핵심 장비·부품은 정밀 가공·소재 제어·장비 설계 등 기존 제조업의 고도화된 역량을 필요로 함
 - 어떤 방식이 승리하든 반도체 공정·초정밀 레이저·극저온 및 진공 제어 등 기존 산업 인프라 위에서 실체화 가능
 - 튼튼한 제조 기반을 보유한 주체만이 양자 기술 표준을 주도할 힘을 갖게 됨
- 양자 AI 기반 초고속 R&D와 정밀 제조 공정의 유기적 결합 시 신소재 개발·공정 최적화 등 파괴적 혁신 가능
 - 제조 역량이 R&D 단계부터 결합해야 현장 시행착오가 즉각 기술 진화로 이어지는 선순환 가능
 - 양자 지능과 제조 현장이 한 몸처럼 맞물리지 않으면 아무리 뛰어난 기술도 산업적 결실 곤란
 - 첨단 기술 시대에 다시 제조업 가치에 주목해야 하는 핵심 이유

02 미국이 증명한 제조의 가치

”설계도는 복사할 수 있지만, 현장에서 대면하며 전수되는
'암묵지'와 '숙련된 손길'은 옮길 수 없다.”

[1] 미국의 전략적 오판과 산업 공유지의 황폐화

가. 'Invent Here, Produce There' 전략과 세계화의 시작

- 1970~80년대 미국 경제는 인플레이션과 임금 상승으로 인한 수익성 악화에 직면
 - 비용 압박 극복과 글로벌 시장 주도권 유지를 위해 '설계는 미국, 생산은 해외(Invent Here, Produce There)' 전략을 채택해 '자본 효율성의 극대화'를 시도
- 미국 기업은 공장 운영의 고정비·노동 관리 부담을 '비용'으로, 설계·마케팅 등 지식 기반 서비스를 '자산'으로 규정
 - 공장 시설 등 물리적 자본은 해외 파트너사에 이전, 특허·브랜드라는 무형 자산만 보유하는 '에셋라이트(Asset-light)' 모델을 표준화
 - 세계화(Globalization) 흐름과 맞물려 미국 중심 글로벌 공급망 확장의 핵심 동력으로 작용

- 분업 구조 : 미국은 R&D·브랜딩 등 부가가치 높은 '두뇌' 역할 점유, 아시아는 생산 전담 '팔다리' 역할 분담
 - 단기 재무 지표 개선이 절실했던 경영진에게 위험을 줄이고 이익을 높이는 '현대적 경영 기법'으로 승상

나. 눈앞의 효율이 놓친 '진화의 기회'

- 비용 구조와 분업 효율만 따지는 경영전략은 정태적 관점에서는 합리적이었으나, 동태적 관점에서는 치명적 오판
 - 기술 혁신은 깨끗한 연구실이 아닌, 기름때 묻은 제조 현장의 무수한 시행착오를 통해 진화
 - 미국은 제조업을 내보내며 그 속에 담긴 '기술 혁신의 엔진'까지 함께 이전했음을 간파하지 못 함
- 시간이 흐르며 아시아 제조 현장에는 단순 조립을 넘어선 고도의 공정 노하우 축적
 - 제조와 결합한 R&D 역량이 미국을 위협할 수준으로 성장
 - 2008년 금융위기 이후 미국이 첨단 기술 분야에서조차 무역 적자를 기록한 것은 '동태적 진화의 기회'를 아시아에 통째로 내준 결과

다. 공장이 떠나며 무너진 생태계

- 게리 피사노(Gary Pisano)·윌리 시(Willy Shih) 하버드 경영대학원 교수는 이 현상을 '제조 산업 생태계 황폐화'로 정의
 - 신기술 등장 시 암묵적 지식(Tacit Knowledge) 부재의 치명성 경고
 - 연구실의 통제된 환경에서의 소량 생산과 실제 공장에서의 '양산 개발'은 차원이 다른 영역
 - 연구실에서 포착되지 않던 변수들이 대량 생산 체제에서는 심각한 장애 요인이 될 수 있음
- (사례 1) 바이오 신약 개발
 - 비커 단계에서의 성공과, 수만 리터 대형 배양기로 옮겨 양산하는 것은 다른 문제
 - 액체 흐름 속도·온도의 미세한 차이로 세포가 죽거나 약효 소실
 - 숙련 기술자가 직접 보고 느끼는 색깔 변화·거품 모양 등 '설명하기 어려운 경험칙'은 문서화·원격 전달 불가
 - 연구원이 배양기 옆을 지키며 기술자와 직접 협업해야만 해결 가능
- (사례 2) 첨단 산업 금형 공정 개발
 - 첨단 금형 개발은 현장 밀착형 혁신의 정점으로, 신제품용 금형 제작 시 설계도는 시작점에 불과
 - 금형의 미세 각도, 냉각수 통로 위치 하나가 제품의 휘어짐·강도 결정
 - 미세 오차나 깎여 나가는 쇠의 '질감'은 이메일·화상회의로 전달 불가

- 설계자의 현장 직접 점검과 즉시 수정이 끊기면 제품 완성도 하락 및 출시 지연 불가피
- 디지털 시대에도 '세포를 기르고 쇠를 깎는 물리적 작업'은 사람의 눈과 손이 직접 맞는 곳에서 완성
- 첨단 기업들이 연구소를 공장 옆으로 다시 옮기는 이유는 거대한 공장보다 사람이 이동하기 훨씬 쉽기 때문

라. 산업 공유지(Industrial Commons)의 가치

- 피사노·시 교수는 제조 현장이 모인 생태계를 '산업 공유지(Industrial Commons)'로 명명
 - 산업 공유지는 제조 역량이 응축되어 새로운 혁신을 길러내는 생명력 있는 토양
 - 한번 황폐해지면 회복이 매우 어렵다는 점이 핵심 문제
- 모든 제조의 해외 이전은 국가 미래 경쟁력을 통째로 도려내는 위험한 도박
 - 설계 변경이 거의 없고 프로세스가 표준화된 성숙기 산업에서는 단기 비용 절감 측면에서 효율적일 수 있음
 - '기술 전이 효과(Spillover Effect)'로 특정 산업의 기술·인프라가 전혀 다른 첨단 산업의 기반이 됨
- (사례 1) 2차 전지 산업의 생태계 확대
 - 1990년대 캠코더·휴대폰용 소형 리튬이온 배터리 양산 경쟁이 지금 2차 전지 경쟁력의 토대가 됨
 - 당시 축적된 전극 코팅·전해질 배합 기술이 오늘날 전기차(EV)·대규모 에너지 저장 장치(ESS) 산업의 결정적 밑거름으로 작용
- (사례 2) 반도체 산업과 태양광 패널 산업
 - 반도체와 태양광 패널 생산 공정의 초기 단계는 매우 유사함
 - 고순도 실리콘 정제·결정 성장 기술이 태양전지 웨이퍼 생산의 표준으로 전이
 - 반도체 생산에 필수적인 회로 박막 증착·에칭 공정은 태양전지 효율을 극대화하는 핵심 공정으로 고스란히 이전
- 제조 기반을 끝까지 지킨 한국·일본·중국은 신산업 등장 시마다 빠르게 승자로 부상한 반면, 산업 공유지를 상실한 미국은 후발 주자로 전략
 - 산업 공유지 속에서는 소재·부품·장비 기업과 숙련 인력이 촘촘한 네트워크로 공생
 - 특정 제품 생산 주기 종료 후에도 생태계는 사라지지 않고 '보이지 않는 인프라'로 남아 차세대 혁신 즉시 지원
 - 제조는 단순 생산 행위가 아닌, 국가 혁신 역량을 보존하고 미래 산업을 잉태하는 핵심 동력

**“시설(Facility)은 보조금으로 지을 수 있지만,
혁신을 만드는 시스템(System)은 돈으로 사 올 수 없다”**

[2] 잃어버린 ‘혁신 근육’을 되찾으려는 미국의 사투

가. 미국의 제조 주도권 회복 전쟁과 경과

- '제조업 경시'의 결과는 일자리 감소를 넘어 산업 혁신 동력의 상실로 귀결
 - 뒤늦게 제조업이 산업 혁신·경제발전의 필수 요소임을 재인식한 미국은 제조 주도권 회복 전쟁에 사활을 걸기 시작했으며, 이것이 미·중 기술 패권 경쟁의 실질적 출발점
- 오바마 행정부부터 시작된 ‘미국 내 제조 생태계 복원’은 지금도 진행 중
 - (오바마 행정부) 강력한 세제 혜택으로 해외 진출 기업의 본국 복귀(리쇼어링) 유도
 - (트럼프 1기 행정부) 해외(특히 중국) 생산 제품에 대한 강력한 관세로 미국 내 생산의 상대적 이점 강제
 - (바이든 행정부) 막대한 보조금을 통해 미국 기업 뿐만 아니라 다른 국가의 주요 핵심 제조 시설도 미국으로 이전하는 것을 유도
 - (트럼프 2기 행정부) 중국뿐만 아니라 전세계를 대상으로 더욱 강력하고 광범위한 관세를 부과해 미국 내 생산을 유도
- 이러한 노력에도 불구하고 붕괴된 ‘산업 공유지’와 ‘암묵지’의 인위적 복구는 쉽지 않음
 - 삼성전자 Taylor 공장과 TSMC Arizona 공장의 사례가 인위적 복구의 어려움을 잘 보여줌
 - 글로벌 반도체 수요는 아시아의 압도적 제조 효율·가격 경쟁력 중심으로 강력하게 고착(Lock-in)된 상태이며, 미국 내 최첨단 시설을 갖추더라도 실제 주문은 여전히 아시아 의존도가 높은 상태
 - 소재·부품·장비 협력업체에게 미국 진출은 막대한 투자 비용과 운영 위험을 동반하며, 가동률이 불투명한 상황에서 협력사 동반 진출 유인 부족
 - 결국 '산업 공유지' 미형성 → 첨단 공장이 배후 생태계 없이 홀로 버텨야 하는 '고립된 섬' 신세
- 구조적 딜레마에 처한 첨단 공장
 - ‘수요 불확실 → 가동률 저하 → 협력사 미집결 → 생태계 부재 → 제조 원가 상승 → 수요 불확실’로 이어지는 악순환
 - 이는 자본 투입으로 시설을 지어도 시장과 생태계가 유기적으로 결합하지 않는 한 산업 공유지의 인위적 복원은 어렵다는 사례로 남을 것

나. '실패의 지도'도, 그것을 읽을 '파수꾼'도 없는 현장

- 현장에서 혁신을 끌어낼 암묵지 부재는 생태계 결핍만큼이나 치명적 장벽

- 암묵지는 매뉴얼에 담을 수 없는, 숙련 인력의 몸과 현장 경험에 깃드는 '살아있는 지식'
- 살아있는 지식이 현장에 남긴 흔적이 곧 '데이터'
- 첨단 제조 공정에서 제품 완성도를 결정짓는 미세 조정 역량은 수많은 시행착오의 기록에서 도출
- "이런 상황에서는 이렇게 대응하는 것이 효과적이었다"라는 암묵적 판단의 데이터화 필요
- 미국 현지에는 아시아 거점이 수십 년간 축적해 온 '실패의 지도'가 부재하며 단기 이식 토대도 부족
- 데이터가 존재해도 이를 해석·실행할 '현장의 감각'이 없으면 무용지물
- 암묵지는 글이나 말로 다 설명할 수 없는 직관의 영역으로, 그 지식을 품은 숙련된 사람이 필수
- 아시아에는 기계적 수치 너머의 미묘한 위화감을 감지하고 즉각 처방하는 숙련공이 두텁게 형성
- 오랫동안 제조를 멀리해 온 미국에서 이러한 '현장의 파수꾼' 확보는 사실상 불가능
- '데이터'도 없고 '사람'도 없는 상황에서는 최신 설비를 갖춰도 혁신이 일어나기 어려움
- 두 축이 끊긴 공장은 스스로 진화하지 못한 채 외부 수혈에 연명하는 수동적 시설로 전략
- 미세 개선과 효율의 마법이 미국에서 재현되지 않는 근본 원인

다. 미국의 교훈 : 시설은 지을 수 있어도 시스템은 복제 불가

- 미국의 거대 실험과 사투가 던지는 핵심 교훈
- 보조금·정책 압박으로 공장 건물(Facility) 건립은 가능하나, 공장을 유기적으로 작동시키는 생태계(System)는 단기간에 복제·이식 불가
- 미국이 제조 가치를 소홀히 한 수십 년간 아시아가 구축한 자산은 단순 공단이 아님
- 아시아가 구축한 핵심 자산은 시행착오와 수정이 거듭된 경험의 집합체(데이터)와 숙련 인력이 촘촘하게 엮인 유기적 네트워크
- 이는 한 국가의 산업 토양에 깊이 뿌리내린 자산으로, 자본·정치적 결단만으로 단숨에 추격 불가
- 결론 : 제조 생태계 상실의 대가는 혹독하다
- 제조는 외주·재구매 가능한 서비스가 아닌, 한 번 무너지면 천문학적 비용·시간이 필요한 국가 혁신의 뿌리이며, 미국의 과거와 현재가 이를 입증

03 양자 AI 시대 제조업의 위상

"세계 최고의 소프트웨어 기술을 가진 일론 머스크는 왜 미국 현지에 직접 반도체 공장인 'X-Fab'을 만들고 직접 AI 칩 제조까지 하려는 것인가?"

[1] 양자 AI 시대, 제조업이 더욱 중요한 이유

가. 혁신의 '속도'와 '내재화'에 주목한 'X-Fab'

- 첨단 기술 경쟁의 본질은 '얼마나 빠르게 시행착오를 돌리는가'에 있음
 - 일론 머스크의 X-Fab 프로젝트는 설계 → 칩 구현 → 테스트 → 보완으로 이어지는 혁신 주기를 압도적으로 단축하기 위한 전략적 결단
 - 외부 파운드리 위탁 시 시제품 수령까지 4~6개월 소요되며, 수정 사항 발생 시 동일 절차 반복으로 대기 시간 누적
- X-Fab은 반도체 생산 전 과정의 직접 운영을 통해 피드백 주기를 단축하고 경험을 축적
 - 제조를 설계의 부속품이 아닌 '혁신의 핵심 엔진'으로 재인식한 사례
 - SpaceX·Tesla 등 머스크가 보유한 기업들이 강력한 수직계열화로 핵심 공급망을 내재화해 왔으나, 반도체만은 외부 의존도가 높다는 한계를 X-Fab으로 정면 돌파

나. 표준이 없는 시대의 승부처

- 양자 컴퓨터·센서는 현재 하드웨어 표준이 미확립된 기술 도입기
 - 설계가 수시로 변경되며, 특수 소재·정밀 부품도 고정 표준 부재
 - 반도체는 50년에 걸친 시행착오를 통해 표준화된 영역인 반면, 양자는 어떤 구현 방식이 최종 승자가 될지 알 수 없는 상황
- 표준 부재의 시대에는 시행착오를 가장 많이, 가장 빠르게 돌리는 주체가 표준을 만듦
 - 설계만으로는 어떤 방식이 우월한지 검증 불가하며, 실제 제작·측정·재제작의 반복을 통해서만 진전 가능
 - 양자 비트의 안정성·결맞음 시간·오류율 등 핵심 지표는 현장 제작·측정에서만 확인되는 값
 - 결국 '제조 현장에서 축적되는 데이터와 노하우' 자체가 양자 기술 표준 경쟁의 실질적 자산

다. 양자 하드웨어 = 기존 제조 생태계의 재조합

- 양자컴퓨팅은 완전히 새로운 영역이 아님
 - 양자 컴퓨팅 역시 기존 첨단 제조 생태계 역량의 새로운 재조합으로 실체화
 - 어떤 양자 구현 방식이 표준이 되더라도 그 하드웨어는 기존 산업 공유지의 인프라 위에서만 실체화 가능
- 유력 양자 구현 방식 모두 기존 산업 기반에 직접 의존
 - (초전도 방식) 미세 회로용 반도체 공정 인프라 + 절대영도 유지를 위한 극저온 제어 기술
 - (이온트랩·광자 방식) 정밀 광학 + 초고진공 제어 + 정밀 레이저 생태계
 - (반도체 양자점 방식) 기존 반도체 미세 공정 인프라의 직접 활용

- 풍부한 산업 공유지를 보유한 국가만이 양자 표준 경쟁의 주도권을 확보 가능
 - 반도체 공정·정밀 광학·극저온 시스템·초정밀 가공 등 기존 첨단 제조 역량이 풍부할수록 양자 하드웨어 구현·개량 속도에서 우위 확보
 - 산업 공유지의 풍요로움이 양자 기술의 구현 능력과 상용화 속도를 결정짓는 핵심 변수

라. 양자 AI 시대, 제조 기반 보유국과 미보유국의 운명

- 양자 AI는 그 자체로 산업 혁신을 가속하는 'R&D 가속 엔진'으로 작동 전망
 - 기존 기술로 수십 년 걸릴 신소재 조합·공정 시뮬레이션을 단 며칠 만에 해결
 - 신약·신소재 개발 등 R&D 의존도가 높은 모든 산업의 개발 속도를 비약적 단축
- '가속된 R&D 결과물'을 가장 빠르게 제품화할 수 있는 주체만이 가속 효과를 산업 우위로 전환 가능
 - 양자 AI가 최적 설계도를 도출해도, 이를 즉시 시제품·양산으로 옮길 제조 기반이 부재하면 혁신은 연구실에 정체
 - 이론적 설계와 대량 생산 공정 최적화의 결합 지점에서 비로소 완성품 도출
- 양자 AI 시대 산업 경쟁력의 격차는 '제조 기반의 유무'에서 결정적으로 갈림
 - (제조 기반 부실) 첨단 지능을 보유해도 설계도만 쥔 채 외부 생산에 의존하는 종속적 위치
 - (제조 기지 보유) 양자 AI라는 두뇌 장착 즉시 연구실 아이디어를 세계에서 가장 빠르게 실체화 하는 압도적 우위

[2] 기술 안보 시대, 국가의 '방패'로서의 제조업

가. 전략 무기가 된 제조업

- AI와 제조의 결합이 만드는 혁신 속도는 경제적 우위를 넘어 국가 간 힘의 균형을 결정 짓는 핵심 변수로 격상
 - 미·중 패권 경쟁의 본질은 '누가 더 똑똑한 AI를 만드느냐'를 넘어 '그 지능을 물리적으로 구현 할 제조 역량을 누가 더 장악하느냐'의 싸움
- 제조업 생태계의 가치가 국가 안보와 직결되며 세상은 이미 탈동조화(Decoupling) 진행
 - 과거의 상호 의존적 질서 회귀는 불가능
 - 각국이 효율성보다 '안보'와 '자국 내 제조 생태계 구축'을 최우선 가치로 두며 공급망 파편화 진행
 - AI 기술 표준이 재편되는 혼돈기, 동북아시아는 미국과 중국이 충돌하는 가장 뜨거운 지정학적 요충지로 부상

- 기술·제조의 내재화는 단순 경제 정책이 아닌 국가 생존권 문제
 - 외부 기술 전적 의존 구조는 국제 정세의 미세한 흔들림에도 국가 전체가 마비되는 치명적 취약성 보유
 - 핵심 기술 보유와 이를 실체화할 제조 역량 확보는 '국가 운영의 자립권' 확보와 직결
- 자급 역량은 국제관계학적으로 '전략적 대안'을 부여
 - 특정 국가가 기술·자원을 불모로 위협해도 자기방어 내재 역량 보유 시 종속되지 않고 독자적 제3의 길 선택 가능
 - 종속적 구조에서 벗어나 산업의 속도·방향을 스스로 결정할 '실질적 외교적 자산' 확보
- (사례 1) 가격 및 공급의 방어막 — 현대자동차
 - 자국 시장에 강력한 자국 브랜드가 존재할 경우, 해외 수입 브랜드의 가격 임의 인상·공급량 조절이 어려워짐
 - 외부 가격 횡포·공급망 교란 상황에서 국가 경제를 보호하는 실질적 '경제적 방패' 역할
- (사례 2) 대체 불가능한 기술의 지렛대 — 영국 롤스로이스
 - 항공기·함정·잠수함 등 첨단 추진 시스템의 핵심인 가스터빈·원자로 분야에서 대체 불가능한 독자 기술 보유
 - 세계 항공엔진 시장에서 미국 GE·P&W와 경쟁하는 소수 독립 공급원 중 하나로, 영국이 미국과 차별화된 외교·안보 카드를 유지할 수 있는 기반
 - 단순 기술력을 넘어 국가 외교적 협상력을 높이는 전략적 자산으로 작동
- (사례 3) 동맹 안보의 자산이 된 제조 역량 — 한화오션
 - 미국이 자국 조선업 기반 약화로 해군 함정 정비 능력 부족에 직면하자, 동맹국의 첨단 조선 역량을 안보 협력의 카드로 활용하는 흐름이 부상
 - 한화오션은 2024년 미 해군 군수지원함 '윌리 쉬라'호의 MRO(유지·보수·정비)를 국내 조선업계 최초로 수주한 이후 후속 정비 사업을 연이어 확보
 - 경남 거제 조선소를 거점으로 부산·진해 지역 정비업체와 '함정 MRO 클러스터 협의체'를 구축, 산업 공유지가 동맹 안보 자산으로 직결되는 구조 형성
 - 첨단 제조 역량이 무기 수출이나 동맹 협력 협상에서 국가의 실질적 외교 카드로 전환되는 사례
- 세 사례의 공통점 — 제조 역량은 단순 산업이 아닌 국가의 '방패'
 - 자동차·항공엔진·조선 등 분야는 다르지만, 모두 한 국가가 독자적으로 보유한 첨단 제조 역량이 외부 압력으로부터 국가를 보호하는 방패로 작동
 - 이러한 사례들은 특정 산업에 국한된 현상이 아니라, 모든 핵심 제조 역량이 국가의 방패로 작동할 수 있음을 시사
 - '제조업 방패(Manufacturing Shield)'는 산업의 종류가 아닌 그 대체 불가능성과 현장 축적된 깊이가 결정

■ 주요 사례의 종합 시사점

- 기술·제조 내재화로 확보한 '전략적 자율성'은 국제 관계상 선택지를 실질적으로 확대
- 자체 생산·설계 역량 보유 시 강대국 이해관계에 끌려다니는 '종속자'가 아닌 협력 조건을 제시할 '능동적 주체'로 격상
- 자급적 역량에서 비롯된 유연성은 혼돈의 시대에 국가가 행사할 수 있는 가장 강력한 외교적 자산이자 실질적 주권의 상징

나. 한국 제조업의 잠재적 위기와 도전 과제

- 한국은 탄탄한 제조 생태계 보유국으로, 글로벌 기술 경쟁 속 결코 불리하지 않은 입지
 - 오랜 시간 구축해 온 고도의 제조 역량은 국가 전략 자산이며, 활성화된 제조 생태계는 국제무대에서 강력한 경쟁 우위로 작용하고 있음
- 강점 이면에는 해결해야 할 잠재적 위기 존재
 - 가장 본질적 위기는 급격한 고령화와 인구 감소라는 인구 구조 변화
 - 현장 숙련공의 빠른 고령화 + 이를 뒷받침할 인구 자체의 감소
 - 수십 년간 축적된 공정 노하우와 암묵지가 다음 세대로 전수되지 못하는 '기술적 공동화' 우려
- 젊은 층의 제조업 기피 현상까지 더해지며 지역 제조 현장의 인재 확보·고용 유지 곤란
 - 안정적 생산 연속성 확보의 잠재적 걸림돌로 작용
 - 사람의 헌신과 노동 집약적 방식에 의존해 온 과거 관리 모델은 인구 구조 변화 앞에서 새로운 전환점에 직면
 - 제조 생태계 가치 지속을 위해 첨단 지능(AI)과 제조 역량의 유기적 결합이라는 새로운 대안 모색 필요

04 경남 제조 혁신의 미래

가. 국가 안보의 실체, 경남 제조 생태계

- 앞서 '양자 AI시대 제조업의 위상' 에서 논한 반도체·양자 기술이라는 국가 전략 무기가 실제 작동하기 위한 물리적 기반은 결국 현장의 제조 역량
 - 이러한 관점에서 경남은 대한민국 안보 전략을 실물로 구현하는 중요한 거점
- 경남은 국가 전략 산업을 지탱하는 주요 기업이 집결한 핵심 거점
 - (K-방산) 한화에어로스페이스, 현대로템
 - (글로벌 조선) 한화오션, 삼성중공업

- (차세대 에너지 전환) 두산에너지빌리티
- 국군 종합정비창을 필두로 정비·보급 체계 구축
- 경남 제조 생태계는 국가 안보 자산이 현장에서 제 기능을 발휘하게 만드는 물리적 토대
 - 최신 무기 체계 직접 제작 역량, 유지보수 및 부품 적기 공급을 위한 숙련 기반 집결

나. 잠재적 위기에 대한 대책 — M.AX(제조 AI 전환)

- 앞서 경고한 한국 제조업의 위기는 경남 제조 현장에서도 예외 없이 관찰
 - 고령화와 인구 감소로 현장의 거대한 축들이 물러나는 중
 - 은퇴 공백을 메울 다음 세대 유입이 턱없이 부족
 - 단순 인력난을 넘어 현장 암묵지가 계승되지 못한 채 통째로 증발하는 결과로 귀결
- 구조적 위기 정면 돌파의 핵심 전략 — M.AX(제조 AI 전환)
 - 단순한 기계 도입이 아니라 [스마트팩토리 인프라 + AI 지능 + 고도화된 로봇틱스]의 유기적 결합 시스템 전환
 - (스마트팩토리) 현장 데이터 수집 기초 구축
 - (AX) 데이터 분석 → 숙련공 판단 기준 디지털화 → 로봇 제어 시스템 연결 → 현장 가동
- 로봇틱스는 인간 형태에 국한되지 않음
 - 공정 특성에 맞춰 진화한 협동 로봇이나 다축 매니퓰레이터 등 현장 최적화 로봇 시스템이 M.AX 실행력을 결정
 - 핵심은 로봇의 외형이 아닌, 사라져가는 숙련공의 미세한 공정 감각을 디지털화하여 로봇 제어 알고리즘에 영구 각인시키는 '기술 연속성' 확보
- M.AX를 통한 제조 현장 공백을 지능형 로봇 시스템으로 대체하는 것이 경남 제조 생태계 사수의 실질적 해법

다. 양자 AI 시대, 경남 제조 혁신의 미래

- M.AX 도입은 인구 감소·노동력 공동화 해결과 제조 생태계 경쟁력 유지를 위한 처방
 - 그 너머의 양자 AI 시대 준비도 병행 필요
 - 새로운 계산 패러다임이 막 시작된 현재, 경남 제조 역량은 양자 기술 실현의 핵심 토대로 잠재력 보유
- 양자 컴퓨팅·양자 AI 기술 역시 하드웨어·센서·통신을 뒷받침할 소재·부품·장비 기술 필요
 - 과거 첨단 제조업의 성장이 소부장 산업의 동반 발전을 견인한 것과 동일한 구조
 - 원전·항공우주 분야에서 축적된 경남의 극저온 시스템 구현 능력과 초정밀 제어 장치 설계 역량

은 양자 기술 하드웨어 영역에 유용하게 응용 가능

■ 경남 항공우주 클러스터는 양자 응용 시대의 핵심 실증 거점으로 확장 가능

- 사천에 집결한 우주항공청·KAI·경남TP 위성개발혁신센터·우주환경시험시설(진주)은 한국 유일의 위성 개발·시험 종합 거점
- 양자 센서·양자 통신 등 우주 페이로드는 결국 위성에 실어 우주에서 검증해야 하는 기술이므로, 경남 위성 특화지구는 양자 우주 페이로드의 실증 인프라로 자연스럽게 확장 가능
- 양자 항법(PNT)·양자 자력계 등은 GPS 재밍 환경에서의 무인기 자체 항법, 잠수함 탐지 등 미래 전장의 핵심 기술로, 경남의 항공·조선·방산 클러스터와 직접 호응

■ 경남의 'M.AX(제조 AI 전환)' 인프라는 양자 AI 시대의 신소재·신공정 실증 기지로 기능

- 도내에서 추진 중인 '발전용 가스터빈 블레이드 AI 자율 연속생산'·'항공기 기체 부품 AI 자율제조' 사업은 모두 고온·고강도 합금·복합재 등 신소재 의존도가 높은 영역
- 양자 AI는 신소재 조합 시뮬레이션을 기존 대비 획기적으로 단축하는 'R&D 가속 엔진'
- M.AX로 축적한 공정 데이터·디지털 트윈 위에 양자 AI를 결합하면, 신소재 설계 → 공정 최적화 → 양산까지의 전 주기를 압축 가능
- '경남형 피지컬 AI 파운데이션 모델'(2026~2030년 총 1조 원 규모)은 이러한 결합의 출발점이자, 향후 양자 AI를 즉시 흡수할 수 있는 토양

■ 양자 기술은 국가 안보의 성패를 가를 결정적 요소

- 외교·안보 측면에서 전략적 자율성 확보의 핵심 자산
- 경남 제조 기반이 양자 시대 공급망과 결합 시 위상은 격상
- 단순한 지역 산업 발전을 넘어 국가 안보 주권을 공고히 하는 실질적 '제조 방패(Manufacturing Shield)' 구축 가능

■ "양자 AI 시대, 경남 제조 혁신의 미래를 묻다"에 대한 답

- 경남이 연구소 밀집 지역과 거리가 있다고는 하나, 실행역량이 집약된 지역
- 양자컴퓨터, 양자 AI 시대에도 국내 최고의 산업 공유지를 가진 지역으로서 무궁무진한 기회를 보유하고 있으며 현재 국가 지원을 고도화한다면 새로운 도약의 기회가 될 것

참고자료

- 이동우, (2025). “양자컴퓨터 시대의 양자 교양”, 행성B
- 다케다 순타로; 전중훈 옮김, (2021). “처음 읽는 양자컴퓨터 이야기”, 플루토
- 김석준, (2021). “양자컴퓨터의 이해”, 커뮤니케이션북스
- 미나토 유이치로; 이승훈 옮김, (2021). “그림으로 배우는 양자컴퓨터”, 영진닷컴
- 우츠키 타케루; 권기태, 김성훈 옮김, (2020). “그림으로 이해하는 양자컴퓨터의 구조”, 성안당
- 개리 피사노, 윌리 시; 고영훈 옮김, (2019). “왜 제조업 르네상스인가 (Producing Prosperity)”, 지식노마드
- 크리스 밀러; 노정태 옮김, (2023). “칩워 Chip War”, 부키
- 양자 중첩과 양자 얽힘, qubit.donghwi.dev/basic/2
- 주재영, (2023.02.08.). “양자컴, 기후 기술 시뮬레이션 탁월... 소비 에너지 슈퍼컴의 0.1%”, 경향신문
- 정보통신산업진흥원, (2024.09.24.). “AI 데이터센터 혁신의 이면에 숨은 에너지 위기와 해결 방안”
- 이건한, (2019.11.08.). “구글의 양자컴퓨터, 그리고 ‘양자우위’”, TECHWORLD
- 삼정 KPMG 경제연구원, (2018.11.). “양자정보통신 ICT의 새로운 미래”, ISSUE MONITOR 제75호
- 민태기, (2024.03.22.). “[민태기의 사이언스스토리] 알파고가 쓴 에너지, 이세돌의 8500배... 미래 산업, 에너지 혁신에 달렸다.”, 조선일보
- Casey Tonkin(2022.02.). “How quantum computers work”, Informationage(ACS)
- Eurodig, (2022.02.). “Benefits and Challenges for unleashing potential of quantum technologies”
- Daniel Robinson, (2022.02) “Building the bridge to the quantum future with hybrid systems”, The Next Platform
- ClassicQ, (2022.06.02.). “What does quantum computing mean for AI?”, Google Tensorflow Quantum

발행일	2026년 4월 29일
발행인	오재호
편집인	곽소희
집필인	윤종철·박예은
발행처	경남투자경제진흥원 (51404)경상남도 창원시 성산구 창원대로 524

- 본 간행물을 허가 받지 않고 복제하거나 전재해서는 안 됩니다.
- 「경남 산업·경제동향」의 내용 및 편집에 관한 의견과 제안이 있으시면 경남투자경제진흥원 경영기획실 경제분석센터 (T.055-230-2805, 2810)에 문의하여 주시기 바랍니다.
- 본 간행물은 메일링 서비스(<https://www.giba.or.kr>) 신청을 통해서 정기 구독하실 수 있습니다.