

원자현미경(AFM) 기술 진화의 3차원과 함의: 파크시스템스(주) 사례를 중심으로*

이 정 현**

전 상 길***

수출 주도형 경제 구조를 가진 한국의 경제 성장에서 반도체·조선·자동차 산업이 큰 역할을 하고 있다. 특히, 반도체는 지난 10년간 국내 주요 수출 품목 1위를 유지하고 있는 만큼 한국 경제에 가장 중요한 산업이다. 그러나 4차 산업혁명으로 반도체 수요가 불안정해지면서 국가 간 패권 전쟁이 일어났다. 이러한 상황에서 한국이 경쟁 우위를 지속하려면, 메모리 반도체 분야뿐만 아니라, 시스템 반도체 분야에서의 역량을 높여 종합 반도체 강국으로 나아가야 한다. 이를 위해서 해외 의존도가 높은 반도체 기초 산업의 국산화가 뒷받침되어야 한다. 반도체는 미세 공정, 속도 향상, 전력 절감 기술을 통해 고성능 반도체로 성장해 왔다. 이러한 성장을 견인한 국가 핵심 기술 중 하나가 첨단 현미경 기술이다. 기술 선진국의 기업들이 기득권을 장악하고 있는 시장에서, 우리나라 벤처기업인 파크시스템스(주)의 산업용 원자현미경이 2022, 2023년 연속, 글로벌 시장점유율 1위를 차지하였다.

본 연구 목적은 첫째, 국내 벤처기업이 후발 주자로 산업에 진입하였음에도, 그 시장을 선도할 수 있었던 독보적인 경쟁력이 무엇인지 알아보는 것이다. 둘째, 앞으로 기술 벤처기업이 성장하기 위해 어떠한 기술적 노력과 대처 전략이 필요한지를 귀납적으로 살펴보는 것이다. 본 연구는 파크시스템스 기업 사례연구로, 우선, 기업의 사업화 전(全) 과정을 동태적인 관점에서 제품 개발 프로젝트 단계에 따른 4세대로 구분하고, 전략적 적응 방안, 기술혁신 노력, 핵심 경영 활동, 위기(위기 및 대응)를 기준으로 심층분석 하였다. 그다음엔 기업의 기술혁신 과정을 분석하여, 기술혁신의 핵심 요소를 파악하는 방법으로 진행하였다.

사례 분석 결과, 기업이 세계 시장을 석권할 수 있었던 주된 이유는 '기술력'에 있었다. 기업은 기술혁신을 위해 내·외부의 위기 상황에서도 기술혁신을 위해 끊임없이 연구·개발해 온 것을 확인할 수 있었다. 그리고 AFM 기술혁신은 핵심 요소(정확성, 재현성, 속도, 처리량, 자동화, 호환성)의 기술 개발에 중점을 두고 진행되었음을 확인하였다. 이 핵심 요소가 AFM 기술 진화의 방향을 세 가지 차원(계측 역량, 처리 역량, 편의성)으로 추동하였다. 기업은 AFM 기술 진화의 세 가지 차원으로 기술 포트폴리오와 다차원적 기술 진화 모델을 결합한 사업 전략과 제품 개발 전략 수립 방향을 설계할 수 있다. 또한, 기업 분석결과는 기술 벤처기업에 지속적 연구개발, 산업 요구에 맞는 솔루션 개발, 선도기업과의 협력을 통한 기술혁신의 선순환 구조의 확립에 대한 중요성을 알리고, 성장 전략 도출의 방향을 제시하였다.

주제어: 기술 진화, 나노계측장비, 반도체 장비 산업, 원자현미경(Atomic Force Microscopy, AFM), 파크시스템스(Park Systems)

논문접수일: 2024. 08. 23. 1차 수정본 접수일: 2024. 11. 13. 2차 수정본 접수일: 2024. 12. 05. 게재확정일: 2024. 12. 08

* 본 논문은 2024년 8월 12일 제26회 한국경영학회(KASBA) 학술대회(한국전략경영학회)에서 발표된 내용을 수정한 것임.

** 한양대학교 경영컨설팅학과 박사과정(jhlee0315@hanyang.ac.kr), 제1저자

*** 한양대학교 ERICA 경상대학 교수(sgjeon@hanyang.ac.kr), 교신저자

1. 서론

수출 주도형 한국 경제 구조에서, 반도체·조선·자동차 산업은 우리 경제의 급속한 성장을 견인해 왔다. 특히, 반도체는 지난 10년간, 10대 수출 품목 1위를 유지하고 있는바,¹⁾ 한국 경제에서 가장 중요한 산업임이 분명하다. 또한 OMDIA 2023 보고서에 따르면, PC 메모리, 모바일 Application 및 이미지 센서 등 다양한 형태로 이미 우리 일상에 많이 쓰이고 있는 한국 반도체는 2022년 기준 생산량 20.7%, 시장점유율 17.7%로 세계 2위를 차지하며, 세계 시장을 선도하고 있다. 정보기술이 발달하면서 데이터 저장 능력과 처리 능력의 고도화가 요구되었고, 그 과정에서 반도체의 성능 향상이 주요 역할을 하였다. 이는 반도체 산업의 성장으로 이어지며 전 세계적으로 공급망 가치 사슬²⁾이 형성되었다. 그러나 인공지능, 로봇, 사물인터넷, 나노테크놀로지 등 다양한 기술 혁신으로 인한 4차 산업혁명은 반도체 부족을 초래하였다. 그 결과, 각국은 반도체 공급망의 안정성과 회복력에 초점을 맞춰, 수출 규제 정책을 강화하거나, 자국 내 반도체 기술 및 제조시설을 보유하기 위한 정책을 추진하는 등 국가 간 패권 전쟁으로 이어지며 경쟁 구도로 변하게 되었다(안기현, 2024).

공학한림원 김기남 회장은 “갈수록 치열해지는 반도체 패권 경쟁 속에서 한국이 지속적인 경쟁력 우위를 점하려면, 세계 시장을 선도하는 메모리 반도체 분야의 경쟁력은 유지하면서, 시스템 반도체 역량을 제고하여 종합 반도체 강국으로 나아가야 한다”라고 하였다(이상재 등, 2023). 한편 정부는 반도체 미·중 패권 경쟁에 의한 지정학적 리스크를 안고 있는 한국 반도체 산업이 기초 산업 분야(소재·부품·장

비, 이하 ‘소·부·장’)의 높은 해외 의존도로, 국내 기업의 경쟁력이 낮은 것을 우려하여, 2023년 5월 ‘반도체 미래 기술 로드맵’ 발표식에서 한국 반도체 산업의 경쟁력을 높이기 위해 소재 개발, 설계 및 패키징 공정의 원천 기술 개발이 중요하다는 것을 강조하였다(김기훈, 2023).

본 연구 또한 국내 반도체 소·부·장의 기술혁신을 통한 국제 경쟁력 제고 방안에 초점을 맞춰 반도체 산업을 살펴보았다. 반도체는 미세화 공정, 속도 향상, 전력 절감 기술을 통해 고성능 반도체로 성장해 왔다. 이러한 성장을 견인한 기술 중 하나가 첨단 현미경 기술이다(배현기, 2021). 즉, 반도체의 품질을 결정하는 선폭 측정·결정도 측정·농도 측정과 같은 반도체 공정에서의 측정 기술이 발전하였기에 고성능 반도체를 만들 수 있었다는 것이다(유상영, 2019). 과학 기술의 수준은 ‘어느 정도 정밀한 현미경을 필요로 하는 가’에 의해 파악될 정도로, 산업 수준과 현미경의 수준은 정비례 관계이며, 이러한 현미경 기술은 기술 축적이 필요한 대표적인 분야이다. 따라서 전 세계 첨단 현미경 산업의 주도권은 공급자에게 있고, 이 공급자의 대다수가 기술 선진국의 기업들이다(이정동, 2021). 산업용 장비는 생산 공정이 개발될 때, 장비도 같이 개발되어 생산 라인에 투입되며, 안정적인 장비 공급과 확실한 사후관리가 중요하기 때문에 규모가 있는 공급업체를 선호한다. 특히 고도화된 기술이 집약된 반도체 시장은 첨단 장비의 조기 확보가 성패를 좌우하며, 이미 선진 기술을 보유한 기업들이 기득권을 장악하였기에 후발 기업이 성공하긴 매우 어려운 환경이다. 이러한 환경에서 한국의 벤처기업인 파크시스템스(주)(이하, ‘파크시스템스’)는 독보적인 기술력을 바탕으로 원자현미경(AFM)을 개발하였고, 파크시스템스의 현미경 기

1) 수출통관자료

2) 설계-미국, 생산-대만과 한국, 조립-중국, 소·부·장-일본과 미국

술은 국가 핵심 기술로 지정³⁾되었다. 그리고 시장조사기관 QYResearch의 ‘글로벌 원자현미경 시장보고서 2024’에 따르면, 파크시스템스는 2022년에 이어 2023년도 시장점유율 20.61%로, 산업용 시장점유율 세계 1위로 글로벌 원자현미경 시장을 석권하였다(강경래, 2024). 본 연구의 목적은 두 가지이다. 첫째, 국내 벤처기업이 후발 주자로 산업에 진입했음에도 시장을 선도할 수 있었던 독보적인 경쟁력을 파악하는 것이다. 둘째, 기술 벤처기업의 향후 성장을 위해 필요한 기술적 노력과 대처 전략을 귀납적으로 분석하는 것이다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 연구과제를 수행하였다. 첫째, 기업의 독보적인 경쟁력을 파악하기 위해 사업화 전(全) 과정을 분석하였다. 둘째, 파크시스템스의 세계 시장 석권 요인을 분석하고, 이를 바탕으로 기술 벤처기업의 성장 동력을 도출하였다. 본 연구는 사례연구 방법론을 채택하여 진행되었다. 연구에 필요한 자료는 기업 공식 보고서 등 공개자료, 학술 문헌 및 뉴스 기사, 그리고 임원 인터뷰를 통해 수집하였다. 분석 과정에서는 현대자동차 성장의 진화적 경로(이홍과 한재민, 1999)와 연구기반 스피노프 기업 성장 과정 분석 방법론(이병현과 강원진, 2009)을 참고하여, 파크시스템스의 사업화 전 과정을 동태적인 관점에서 살펴보았으며, 기업 성장 과정을 제품 개발 프로젝트 단계에 따라 4세대로 구분하였다. 세대별로 ‘전략적 적응 방안’, ‘기술혁신 노력’, ‘핵심 경영 활동’, ‘위기(위기 및 대응)’를 기준으로 심층분석을 실시하였다. 또한 기업의 기술혁신 과정을 분석하여 기술혁신의 핵심 요소를 파악하는 방법으로 연구를 진행하였다. 이러한 체계적인 접근을 통해 국내 벤처기업의 경쟁력 원천을 파악하고, 기술 벤처기업의 성공적인 성장 전략을 도출하고자 하였다.

II. 연구 대상 분석

2.1 파크시스템스(주) 개요와 현황⁴⁾



〈그림 1〉 박상일 대표

파크시스템스 박상일 대표는 원자현미경(AFM)을 세계 최초로 개발한 미국 스탠퍼드 대학교의 켈빈 웨이트 교수 연구실에서 핵심 지식을 습득한 뒤, 실리콘밸리에서 ‘PSI(Park Scientific Instruments)’를 설립하여, 최초로 원자현미경 상용화에 성공한 경험이 있는

과학자이다. 창업 후 10년 만에 PSI를 성공 케도에 올려놓은 그는 조국의 산업 발전에 이바지하고 싶다는 생각에 PSI를 미국 Thermo Spectra에 매각하고, 한국으로 돌아와 1997년 PSIA(2007년 파크시스템스(주)로 법인명 변경)를 설립했다(강경래, 2023).

파크시스템스는 국내 벤처기업으로 원자현미경(AFM)을 개발, 생산, 판매하는 국내 나노계측기기 전문기업이다. 본사는 경기도 수원에 있으며, 전 세계 11개국에서 12개의 현지 법인을 운영하고, 그 외 30개국에 판매망을 구축하여 자체 브랜드 제품을 직접 공급하고 있다. 고객으로는 전 세계 유수의 대학교, 국책 연구소, 기업연구소 및 Global 반도체 기업 등이 있다. 파크시스템스의 주요 제품라인은 크게 연구용과 산업용으로 구분되며, 산업용은 다시 하드디스크, 반도체, 디스플레이산업으로 세분화하고, 근래에는 바이오산업의 연구용 제품이 개발되었다.

파크시스템스는 2015년 코스닥 기술특례(AA 등급) 상장 후, 연평균 약 30%의 고속 성장 및 20% 이상의 영업이익률을 달성하고 있다.

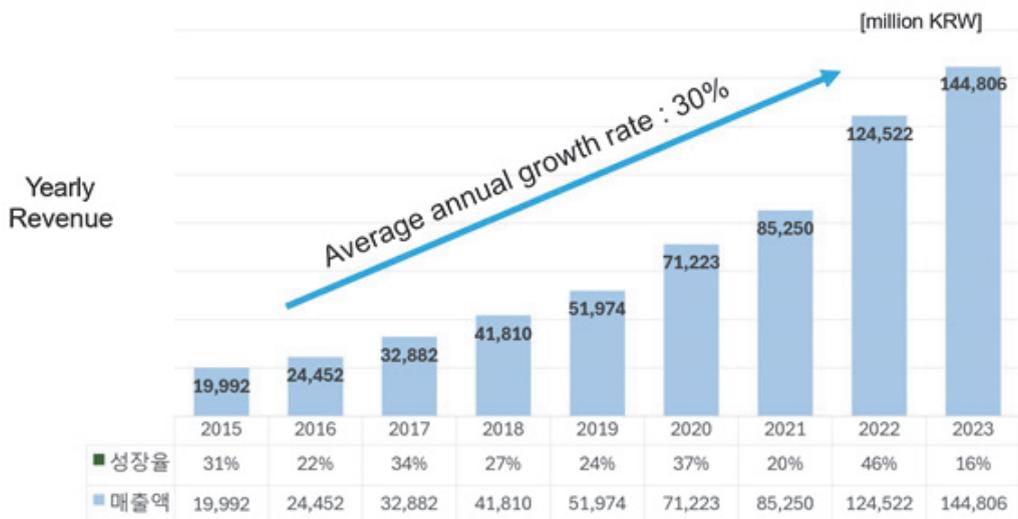
3) 산업통상자원부 고시 제2015-186호(2015.09.07.)

4) 전자공시시스템(DART), 「사업보고서」 <https://dart.fss.or.kr/dsaf001/main.do?rcpNo=20240320001581>

〈표 1〉 파크시스템스 개요

	파크시스템스 주식회사 원자현미경(AFM) 개발, 생산, 판매하는 나노계측기기 전문기업		
본사	경기도 수원시		
HR	486명(본사 334명, 해외법인 152명)		
Global Network	전 세계 11개국에 12개의 현지 법인 운영 그 외 30개국에 판매망 구축하고, 자체브랜드 제품 직접 공급		
고객	전 세계 유수의 대학교, 국책연구소, 기업연구소 및 Global 반도체 기업 등의 Fab		
주요 제품라인	연구용	산업용	
	NX7, NX10, NX20 NX-Hivac, FX40, NX12, EP4	하드 디스크	NX-HDM, NX-PTR
		반도체	NX-Wafer, NX-3DM, NX-IR NX-Mask, NX-Hybrid WLI
		디스플레이	NX-TSH

※ 출처: 파크시스템스(주)



※ 출처: 파크시스템스(주)

〈그림 2〉 연평균 성장률

〈표 2〉 연혁 및 주요 수상 내역

1997년 4월	PSIA 설립
7월	기업부설 연구소 설립
2002년 2월	차세대 원자현미경 XE-100 출시
2003년 4월	미국 현지 법인 PSIA Inc 설립
9월	NASA에 원자현미경(XE-100) 공급
2004년 2월	IR52 장영실상, 산업기술혁신대상 수상
2005년 2월	2004 대한민국 10대 신기술상 수상
10월	XE-HDD 개발 및 Seagate의 나노계측장비 공급업체로 선정(07' 공식발표) 벤처기업대상 철담산업훈장 수훈
2006년 11월	수출의 탑 수상(04' 백만 불, 05' 삼백만 불, 06' 오백만 불, 3년 연속)
2007년 1월	일본 현지 법인 Park Systems Japan 설립
4월	법인명 변경(PSIA → Park Systems : 파크시스템스(주))
12월	세계 일류 상품으로 선정
2009년 6월	Peter Drucker 중소기업 최우수 혁신상, 혁신CEO상 수상
2010년 11월	대한민국 10대 신기술상(XE-3DM) 수상
2011년 10월	차세대 자동화 원자현미경 NX10 출시
2012년 7월	싱가포르 현지 법인 설립
2015년 2월	IMEC과 공동기술개발(JDP) 협약
9월	국가핵심기술 지정 「산업통상자원부고시 제2015-186호(2015.09.07.)」
11월	코스닥 상장 (기술평가 AA 획득)
2017년 3월	유럽 현지 법인 설립
2020년 12월	대한민국 코스닥 대상 수상 AI 및 로봇틱스 기술을 탑재한 원자현미경 FX40 출시
2022년 8월	R&D 100 Awards 선정 "FX40"
10월	독일 아큐리온GmbH(Accurion GmbH) 인수
2023년 7월	코스닥 라이징 스타 6년 연속 선정
12월	소재·부품·장비 민간투자활성화 산자부 장관 표창

※ 출처: 파크시스템스(주) 자료 수정 인용

2.2 파크시스템스(주)의 성장 과정⁵⁾

본 절에서는 파크시스템스가 반도체 산업의 후발 주자임에도 불구하고 세계 시장을 선도하는 위치에 오른 독보적인 경쟁력의 원천을 파악하고자 기업의 성장 과정을 심도 있게 분석하였다. 파크시스템스의 사업화 전(全) 과정은 제품 개발 프로젝트를 기준으로 네 세대(‘제1세대 창업 초기’, ‘제2세대 XE 원자현미경 개발’, ‘제3세대 NX 원자현미경 개발’, ‘제4세대 FX 원자현미경 개발’)로 구분하였다. 이하 내용에서는 다음 네 가지 측면에 초점을 맞추어 세대별 발전 특성을 동태적 관점에서 분석하였다. **(연구과제 1)**

1. 전략적 적응 방안: 파크시스템스가 직면한 환경과 그에 따른 전략 목표 수립
2. 기술혁신 노력: 목표 달성을 위해 추진한 기술 진화 과정
3. 핵심 경영 활동: 기술혁신을 뒷받침하는 주요 경영 활동
4. 위기 및 위기 대처 방안: 기업 내·외부적 환경으로 인해 발생한 위기와 그 극복 전략

이러한 분석을 통해 파크시스템스의 성공 요인과 지속적인 성장 동력을 파악하고자 하였다.

2.2.1 제1세대 발전 특성(1997~1999)

2.2.1.1 전략적 적응 방안

원자현미경 시장에서 산업용 장비, 특히 반도체 생산 공정에 사용되는 장비의 잠재 시장이 연구용 장비보다 훨씬 크기 때문에, 관련 업체들에 산업용 AFM 개발은 매우 중요한 과제였다. 당시 한국은 미국, 일본에 이어 세계 3위의 반도체 생산국이었지만, 첨단 장비의 조기 확보가 성과를 좌우하는 반도체 산업에

서 생산장비의 대외의존도가 높다는 점이 우려되었다. 이에 정부는 국제 경쟁력 강화를 목표로 반도체 장비의 국산화를 위한 지원 정책을 적극 추진하고 있었다. 이러한 산업 환경과 정책적 배경 속에서, 박상일 대표는 1997년 4월 반도체 생산 공정에 활용할 수 있는 산업용 원자현미경 개발을 목표로 한 사업계획을 수립하고, 파크시스템스를 창업하였다. 이는 국내 반도체 산업의 장비 국산화 요구와 산업용 원자현미경 시장의 성장 잠재력을 정확히 파악한 전략적 결정이었다.

2.2.1.2 기술혁신 노력

창업 초기 파크시스템스는 박상일 대표가 미국에서 설립한 PSI와의 기술도입 및 상호 판매 대행 계약을 통해, 핵심 부분품을 수입하여 자체 제품인 M5S를 제작, 삼성전자 포토마스크 팀에 납품하였다. 또한 사용자 기업인 삼성전자와 공동개발 계약을 체결하여 반도체 공정용 장비인 SM5 제품을 개발하였다. SM5는 미국 PSI에서 개발된 M5에 고도의 자동화 기능(인공지능으로 최적 이미지 조건 자동 설정 등)을 추가한 제품으로 웨이퍼(wafer) 상의 결함 검사, 공정 계측, 도핑 농도 측정 등 다양한 용도로 활용될 수 있었다. 또한, 정부 지원 과제를 통해 자체 구동이 탑재된 고속 원자현미경 용 캔틸레버를 제작하여 상품화하고자 연구개발에 매진하였다.

2.2.1.3 핵심 경영 활동

한국은 대기업과 중소기업 간 양극화가 심하여 우수 인력 영입에 어려움이 있었던 시기에, 파크시스템스는 정부 지원 정책을 적극 활용하여 부설 연구소를 설립하였다. 이를 통해 병역 특례 업체로 지정받아 우수 인재를 유치할 수 있었고, 국책 연구과제 선정으로 연구개발비를 지원받았다. 또한 박상일 대표는

5) 본 절의 내용은 전자공시시스템의 투자설명서, 사업보고서, 뉴스 기사와 기업 내부 자료를 바탕으로 작성됨.

PSI라는 벤처기업을 성공적으로 운영한 이력을 바탕으로 투자 유치에 성공하였고, 이를 통해 자본금을 확보하여 회사의 안정적인 운영 기반을 마련했다. 이러한 경영 활동은 파크시스템스가 기술 개발과 시장 확대를 동시에 추진할 수 있는 기회를 제공했다.

2.2.1.4 위기

파크시스템스의 창업 초기에는 외부 환경 변화와 내부적 한계로 인한 위기가 동시에 발생했다.

외부적 위기로는 첫째, 경쟁사의 인수 합병 문제로 인해 발생한 기술도입 계약 취소가 있었다. 파크시스템스는 PSI와 기술도입 및 상호 판매 대행 계약을 맺고 사업을 시작했으나, PSI를 매각했던 Thermo Spectra와 Topometrix의 합병(Thermo Microscope, TM)으로 인해 계약이 취소되었고, 결국 TM 제품의 한국 판매 대행만 하게 되었다. 둘째, 사용자 기업인 삼성전자의 대규모 인사이동으로 내부 담당자가 교체되면서 SM5 제품이 전량 회수되는 상황이 발생하였다.

내부적 위기로는 제품 성능과 품질 문제를 들 수 있다. 고속 원자 현미경용 캔틸레버는 균일한 품질로 대량 생산하는 데 어려움이 있었고, 고속으로 이미지를 획득하는 것 외에는 다른 효용성이 부족했다. 또한 레이저 산란 장치를 결합한 결합 검사용 원자현미경 역시 타사 제품에 비해 성능이 뒤떨어져 매출로 이어지지 못하며, 결국 반도체 생산 공정으로의 진입은 실패하게 되었다.

2.2.2 제2세대 발전 특성(2000~2007)

2.2.2.1 전략적 적응 방안

파크시스템스는 반도체 생산 공정 진입에 어려움

을 겪던 중, 두 가지 중요한 기회를 맞이했다. 첫째, 삼성전자 LCD 부문에서 600*720mm 크기의 대형 액정 시료 계측용 원자현미경 제작을 요청받았다. 둘째, 삼성전자 포토마스크 팀으로부터 임계치수(CD)⁶⁾ 측정을 위한 원자현미경 개발 문의가 들어왔다. 이에 따라 LCD용과 포토마스크용 원자현미경 개발 프로젝트가 각각 추진되었다. 그러나 프로젝트 진행 중 글로벌 경쟁업체 Veeco가 Thermo Microscope(TM)를 인수하면서 위기가 발생했다. PSI사 부품 조달에 문제가 생겼고, TM 제품 국내 판매 중단으로 매출 위기에 직면했다. Veeco는 파크시스템스에게 기술 개발 활동 중단과 자료 공개를 요구하며 공격적인 제안을 했다. 파크시스템스는 장기적인 관점에서 이를 거절하고 과감히 자체 제품 개발로 전략을 전환했다. LCD용 원자현미경 개발 프로젝트를 제외한 모든 프로젝트를 중단하고, 부품을 포함한 완전한 자체 제품인 XE 원자현미경 개발 프로젝트를 추진하기로 결정했다.

2.2.2.2 기술혁신 노력

기업의 기술혁신 노력은 크게 LCD용 원자현미경 기술의 진화와 XE-Series 원자현미경 개발로 나눌 수 있다.

(1) LCD용 원자현미경 기술의 진화

파크시스템스는 초기에 작은 시료 관찰용 연구용 원자현미경과 200mm, 300mm 실리콘 웨이퍼용 원자현미경 제작 기술을 보유하고 있었다. 그러나 삼성전자 LCD 생산 공정에서 요구하는 600*720mm 크기의 대형 액정 관찰을 위해 다음과 같은 기술적 과제를 해결해야 했다.

6) 임계치수(Critical Dimension, CD): 선 폭을 의미하며, 포토 공정을 통해 패턴을 새길 때 웨이퍼 위치(중앙-가장자리)에 따른 CD 값의 변화로 반도체의 균일성 판단. 네이버 blog "(반도체)ONTO_로직항 OCD 수요 증가"
<https://blog.naver.com/hokdooroomi/222906890539>

- ① X-Y stage 크기 확대
- ② 커진 구조물에서 발생하는 진동 문제 해결
- ③ 생산 공정 투입을 위한 고도의 자동화 사양 구현

이러한 기술 개발을 통해 파크시스템스는 ‘SM5-L6072’ 모델을 개발하여 삼성전자와 LG-Philips에 납품하는 데 성공했다.

(2) XE-Series 원자현미경 개발

Veeco의 거래 업체 인수 합병으로 인한 제품 공급 문제에 대응하기 위해, 파크시스템스는 모든 부분품을 자체 개발하기 위해 노력했다. 이 과정에서 기존 원자현미경의 주요 한계점들을 극복하고자 했다.

1) 기존 원자현미경의 한계

- ① 느린 측정 속도: 광학 현미경이나 전자 현미경과 같이 빛이나 전자를 투과하는 것이 아니라, 원자현미경은 탐침이 기계적으로 시료 표면을 따라가며 측정(최원석, 2023)
- ② 압전 세라믹 스캐너의 비선형성과 이력현상⁷⁾에 의한 오차
- ③ 원통형(Tube) 구조로 수평·수직 움직임에 상호 간섭이 발생하여, Z축의 제어 속도에 영향을 줌
- ④ 접촉식(Contact, Tipping) 측정 방식: 시료 표면을 긁거나 찍는 방법으로 탐침 마모, 시료 손상
- ⑤ 탐침 크기의 미세화 한계: 첨단 반도체와 같이 시료 표면에 좁거나 깊은 경사가 심한 부분은 측정이 어렵거나 왜곡 현상(convolution effect)이 발생했다.

2) 혁신적인 기술 개발

① 원자현미경 구조 개선

가. Flexure guide Scanner(유연한지스캐너)
개발: X-Y와 Z scanner를 분리하여 시료의 수평 방향과 탐침의 수직 방향 움직임이 독립적으로 움직였다.

나. 완전 비접촉식(True Non-contact) 측정 방식 세계 최초 실용화: 탐침과 시료가 접촉하지 않고, 시료 표면의 원자와 탐침 끝의 원자 사이의 상호작용을 이용한 계측 기술로, 정확한 명칭은 ‘원자간력현미경(原子間力顯微鏡)’이다.

파크시스템스는 이러한 기술을 바탕으로 ‘XE-100’ 모델을 출시하였다.

② Tip-Scanning Head(TSH) 개발

LCD와 OLED 기판의 대형화 추세에 대응하기 위해, 파크시스템스는 Tip-Scanning Head 기술을 개발하여 ‘XE-LCD’ 모델을 출시했다. 이 기술은 대형 기판의 원하는 위치로 이동하여 스캔할 수 있게 해주었다. 기판 크기가 1세대(270*360mm)에서 5세대(1,000*1,200mm)로 커짐⁸⁾에 따라 이 기술의 중요성이 더욱 부각 되었다.

③ PTR 측정 구현

Pole Tip Recession(PTR) 현상은 하드디스크 드라이브(HDD)의 성능과 신뢰성에 영향을 미치는 중요한 요인이다. PTR 현상이란, 자기 헤드의 기록 극 부분이 디스크 표면에 비해 낮게 위치하는 현상을 말한다. 이는 장기간 사용으로 인해 자기헤드와 디스크 표면 사이의 마찰, 열팽창이나 수축에 의한 물리적 변형 또는 제조 공정에서의 미세한 편차로 인

7) 이력현상(hysteresis): 물질이 거쳐 온 과거가 현재 상태에 영향을 주는 현상_위키백과

8) 기판 크기에 따른 세대 구분은 기업에 따라 다소 차이가 있음.

* 출처: 삼성디스플레이 뉴스를 “디스플레이 패널 세대의 이해” <https://news.samsungdisplay.com/>

해 발생하는 것으로, 데이터 기록 성능 및 데이터 읽기 성능의 저하 또는 헤드와 디스크 표면이 너무 가까워짐으로 인한 충돌 위험도 발생할 수 있다. PTR값은 불과 수 nm에 불과하고, 제조 공정에서의 허용오차는 0.5nm, 측정 장비의 측정 허용 오차는 0.1nm 이내여야 한다(Kulkarni et al., 2000; Hansen & Bhushan, 2006). 파크시스템스는 Flexure guide Scanner와 비접촉식 모드를 적용한 'XE-PTR'과 'XE-HDD' 모델을 개발하여 기존 장비보다 더 정확하고 정밀한 측정 결과를 제공했다. 이를 통해 2005년 세계 최대 하드 디스크 업체인 Seagate의 차세대 생산 공정용 나노계측장비 공급업체로 선정되는 성과를 거두었다.

④ 3D AFM 개발

기존 원자현미경은 80° 이하 경사면만 측정할 수 있었는데, 수직면이나 역삼각형(오버행) 구조물 측정의 필요성이 대두되었다. 파크시스템스는 XE head를 양옆으로 기울이는 방법을 적용한 'XE-3DM' 모델을 출시했다. 이 장비는 시료를 움직이지 않고 구조물의 양옆을 비파괴적으로 측정할 수 있어, 기존에 불가능했던 역삼각형 시료의 측면 측정이 가능해졌고 측정 정확도도 향상되었다. 이는 특히 PTR head 제작에 중요한 기술로 활용되었다.

2.2.2.3 핵심 경영 활동

파크시스템스는 2000년부터 2007년까지 경영 위기를 극복하고 글로벌 기업으로 성장하기 위한 다양한 핵심 경영 활동을 전개하였다.

(1) 재무 안정화 노력

2000년 파크시스템스는 반도체 생산 공정 진입

실패와 사업장 이전으로 인한 비용 증가로 적자에 직면했다. 그러나 2001년 삼성전자로부터 수주받은 LCD용 원자현미경 SM5-LCD 장비의 다량 납품으로 창업 이래 최초로 흑자를 달성하였다. 이는 회사의 재무 안정화에 중요한 전환점이 되었다.

(2) 해외 시장 진출 전략

2002년 XE 원자현미경 출시 이후, 파크시스템스는 국내 시장의 한계를 인식하고 해외 시장 진출을 본격화하였다.

- 1) 미국, 중국, 일본, 대만 등 현지 기업들과 판매 대행 계약 체결
- 2) 2003년 미국, 2007년 일본에 해외 현지 법인 설립
- 3) 연례 'Worldwide Sales Meeting' 개최를 통한 판매대행사 교육 및 전략 공유

(3) 글로벌 신뢰도 향상

파크시스템스는 차별화된 제품 개발과 품질 향상을 통해 글로벌 시장에서의 신뢰도를 높였다. 2005년 세계 최대 하드디스크 업체인 Seagate사의 생산 공정용 나노계측장비 공급업체로 선정된 것이 대표적인 성과이다. 이를 통해 파크시스템스 장비의 안정성과 사후관리 능력을 인정받았으며, Hitachi, TDK, SAE 등으로 제품 납품을 확대하였다.

(4) 인재 확보 및 연구개발 지속

기업 경쟁력 향상에 따라 파크시스템스는 우수 인재를 영입하여 기술력과 관리 능력을 지속적으로 증대시켰다. 또한, 국책 과제 선정을 통해 경영 위기 속에서도 외부 연구진들과 연구개발 활동을 지속할 수 있었다.

(5) 재무 성과 개선

파크시스템스의 재무 성과는 크게 개선되었다. 매

출액은 2002년 32억 원에서 2007년 113억 원으로 증가했으며, 영업이익은 같은 기간 1억 4천만 원에서 10억 원으로 증가하였다.

파크시스템스는 핵심 경영 활동은 특히 해외 시장 진출과 글로벌 기업과의 거래 확대는 파크시스템스의 국제적 인지도와 신뢰성을 높이는 데 크게 기여하였다.

2.2.2.4 위기

파크시스템스는 외부 환경과 내부 요인으로 인한 여러 위기에 직면하였다. 이 시기의 주요 위기 상황은 다음과 같다.

(1) 외부 환경에 의한 위기

글로벌 기업들의 원자현미경 시장 장악으로 인해 후발 기업의 시장 진입이 매우 어려운 상황이었다.

특히 국내 중소기업 제품에 대한 낮은 신뢰도로 인해 파크시스템스의 해외 시장 진출에 상당한 어려움이 있었다.

(2) 내부적 위기

1) 해외 판매망 관리의 어려움

일본 하드디스크 시장 진출 시 판매대행사의 영업력 부족으로 저조한 성과를 기록하였다.

미국 법인의 경우, 현지에서 적합한 관리자를 선임하고 관리를 위임하는 데 어려움을 겪었다. 이는 인사 관련 문제와 실적 부진으로 이어졌다.

2) 기술 협력 및 제품 개발의 난관

파크시스템스는 Ionscope사와 SICM(Scanning

Ion Conductance Microscope)⁹⁾ 기술을 결합한 바이오 연구 장비 개발을 추진하였다. 그러나 로열티 등 세부 조건에 대한 견해 차이로 협상이 중단되었다. 이후 파크시스템스가 자체적으로 XE-bio 제품을 출시하자, Ionscope는 비밀 유지계약 위반 및 지식 재산권 침해를 주장하며 적대적 관계로 전환되었다. 이로 인해 XE-bio 제품의 개발이 지연되는 결과를 초래하였다.

이러한 위기 상황들은 파크시스템스의 초기 글로벌 시장 진출 과정에서 겪은 주요 난관으로, 회사의 성장 전략과 기술 개발 방향에 큰 영향을 미쳤다.

2.2.3 제3세대 발전 특성(2008~2015)

2.2.3.1 전략적 적응 방안

파크시스템스는 글로벌 금융위기와 기술적 도전에 직면하여 다양한 전략적 적응 방안을 모색하였다. 이 시기의 주요 전략과 대응은 다음과 같다.

(1) 경제 위기 대응과 비상 경영

2008년 상반기, 미국 서브프라임모기지 사태¹⁰⁾로 인한 글로벌 경기 침체와 함께 파크시스템스는 여러 내·외부적 도전에 직면하였다. Veeco의 공격적인 가격 할인 전략, 하드디스크 시장 개척 소홀, XE-Bio 프로젝트 지연 등으로 인해 수주가 급감하였다. 이에 대응하여 파크시스템스는 다음과 같은 비상 경영 전략을 실행하였다.

- 1) 인력 감축을 통한 비용 절감
- 2) 산업용 장비 개발 및 수주에 역량 집중

9) SICM(Scanning Ion Conductance Microscope) : 유리로 만든 피펫을 사용하는 원자현미경의 한 종류로, 액체 중에서 피펫 끝의 작은 구멍을 통과하는 이온 전류를 측정하여 시료 표면의 높이를 측정하는 기법. 파크시스템스 자료

10) 서브프라임 모기지(sub-prime mortgage)는 신용도가 낮거나 금융거래 실적이 없는 개인을 대상으로 주택담보대출을 해주는 미국의 주택금융을 말한다. 주택경기가 좋을 때 금융기관이 다투어 대출해 준 후 주택가격이 떨어지면서 부실이 급속하게 진행되어 2009년에 많은 금융기관이 도산하고 금융시장이 혼란에 빠져 사회문제가 되었으며 전 세계에 영향을 미쳤다. _네이버 부동산 용어사전

(2) 기술적 도전과 혁신

2008년 하반기, WD Fremont사로부터 XE-Wafer 장비 수주에 성공하였으나, 여러 기술적 문제에 직면하였다. 주요 기술적 도전은 다음과 같았다.

- 1) X-Y stage drift(스테이지 흐름 현상): 반도체 공정용 XE-Wafer에서 특히 두드러진 문제로, 작은 영역의 세밀한 측정 시 정확도에 영향을 미쳤다.
- 2) Tip crash 문제: XE-3DM 및 XE-PTR 등 산업용 장비에서 노즐 또는 팁(tip)이 웨이퍼 표면과 충돌하는 현상이 발생하였다.

이러한 기술적 결함들은 AFM의 정확성과 신뢰성에 큰 영향을 미치는 중요한 문제였다.

(3) 차세대 기술 개발 추진

파크시스템스는 이러한 기술적 도전에 대응하고 제품의 경쟁력을 강화하기 위해 XE-Series의 문제점을 개선한 차세대 원자현미경 NX-Series 개발 프로젝트를 착수 전략을 수립하였다.

이러한 전략적 적응 방안을 통해 파크시스템스는 글로벌 경제 위기와 기술적 도전을 극복하고, 원자현미경 시장에서의 경쟁력을 강화하고자 하였다. 이 시기의 노력은 이후 파크시스템스가 글로벌 원자현미경 시장에서 선도적 위치를 차지하는 데 중요한 기반이 되었다.

2.2.3.2 기술혁신 노력

파크시스템스는 2008년부터 2015년까지 기술혁신을 통해 제품의 성능을 향상시키고 시장 경쟁력을 강화하기 위한 다양한 노력을 기울였다.

(1) ADR(Automatic Defect Review) 개발

파크시스템스는 XE-HDM 장비에 새로운 기능으로 ADR을 개발하였다. ADR은 하드디스크 미디어의 결함을 자동으로 탐지하고 이미지화하는 기능으로, 사용자가 일일이 조작하지 않아도 되며 기존 수동 방식에 비해 속도가 5~10배 증가하였다. 이 기능은 반도체 공정에서 웨이퍼 결함을 자동 분석하는 데에도 활용되며, 글로벌 기업들의 큰 관심을 받았다.

(2) NX-Series 원자현미경 개발

1) Z-servo 향상

대물렌즈 위쪽에 위치했던 Z-scanner와 probe hand를 대물렌즈 아래쪽으로 변경함으로써, 대물렌즈의 초점 거리가 길어지고 Z-scanner의 공진 주파수는 2kHz에서 10kHz로 상승하였다. 공진 주파수는 진동계에서 제동력 또는 전기 저항이 0일 때의 고유 주파수를 의미하며,¹¹⁾ 공진 주파수가 높을수록 시스템의 고유 진동수가 증가하여 빠르게 진동할 수 있는 특성을 갖는다. 이는 Z-servo 성능에도 긍정적인 영향을 미쳤다. 즉, 서보시스템(servo system)은 제어대상 출력을 목표 신호에 추종시키는 제어시스템을 의미¹²⁾하는 것으로, 공진주파수가 높으면, 응답속도가 빠르고 정밀한 제어가 가능하다는 것을 의미한다.

2) 열 흐름(thermal drift) 현상의 최소화

열팽창 계수가 유사한 물질로 frame, X-Y stage, Z stage를 제작하여 열 흐름 현상을 최소화하였다. 이는 장비의 측정 정확도를 높이는 데 기여하였다.

11) 네이버 전기 용어사전 <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=588292&cid=42340&categoryId=42340>

12) 정보통신기술 용어해설

3) Z-Detector의 Low Noise

Z 검출기의 noise level을 0.2 옹스트롬(Å)까지 낮추어, 산업 내 최고 수치를 기록하였다.

이는 정밀한 측정을 가능하게 하여 제품 신뢰성을 크게 향상시켰다(그림 3 참조).

4) 사용자 편의성과 심미성을 고려한 제품 디자인 변경

NX-Series 원자현미경의 디자인은 사용자의 편리함과 심미성을 고려하여 개선되었다.

(3) SmartScan 소프트웨어 개발

SmartScan은 NX 원자현미경에 탑재된 소프트웨어로, 기존 원자현미경 조작의 복잡성을 해소하기 위해 개발되었다. 기존에는 조작이 어려워 사용자가 일정 교육을 받아야 했고, 이에 따른 비용이 발생하여 원자현미경이 전자 현미경만큼 보편적으로 사용되지 못했다. 그러나 SmartScan은 Z-servo 시스템의 특성을 분석하여 컨트롤러의 변수를 자동으로 최적화하고, 시료의 높낮이 변화에 따라 스캔 속도를 능동적으로 조절할 수 있다. 이로 인하여, 사용자는 시행착오 없이 최적의 결과를 쉽게 얻을 수 있게 되었다.

이러한 기술혁신 노력은 파크시스템스가 원자현미경 시장에서 지속적으로 경쟁력을 유지하고, 고객 요구에 부응하는 제품을 제공하는 데 중요한 역할을 하였다.

2.2.3.3 핵심 경영 활동

파크시스템스는 세계적인 경기 침체와 저조한 실적에도 불구하고 다양한 핵심 경영 활동을 통해 기업의 성장 가능성을 모색하였다.

(1) 투자 유치

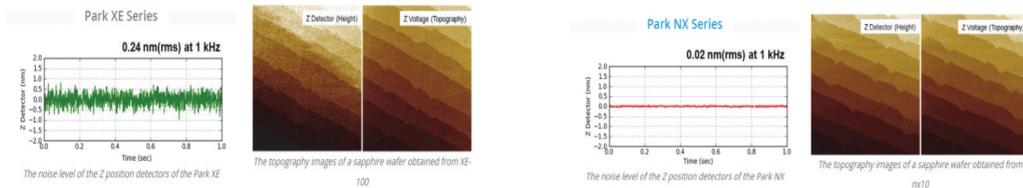
글로벌 경제 위기 속에서도 일본 JAFCO는 파크시스템스의 성장 가능성을 높이 평가하여 22억 5천만 원의 투자를 결정하였다. 이는 회사의 재무적 안정성을 확보하는 데 중요한 역할을 하였다.

(2) 해외 시장 개척

파크시스템스는 해외 시장 개척 활동을 지속적으로 추진하였다. 연례행사인 'Worldwide Sales Meeting'을 통해 글로벌 네트워크를 강화하였고, 2012년에는 싱가포르에 현지 법인을 설립하였다. 또한, 다양한 학회에 참가하고 해외에서 순회강연을 진행함으로써 기업의 인지도를 높이고, 정보 교류를 통해 고객의 기술 요구를 파악하는 기회를 마련하였다. 이러한 활동은 공동 연구개발로 이어져 새로운 제품 출시의 중요한 계기가 되었다.

(3) R&D 부서 강화

회사의 규모가 커짐에 따라 R&D 부서의 역량이 더욱 중요해졌다. 그러나 XE 원자현미경 장비에서 발견된 기술적 결함은 해결되지 않았고, R&D 조직



※ 출처: 파크시스템스(주)

〈그림 3〉 Z-Detector noise level 비교

관리에서 발생한 문제들이 다른 부서에도 영향을 미치는 상황이 발생하였다. 이에 따라, 2009년 파크시스템스는 R&D 부서의 조직을 개편하고 각 부서 또는 팀별 KPI(Key Performance Index)를 도출하여 인사 평가 제도를 구축함으로써 조직 관리를 체계화하였다.

(4) 국책 과제 선정

파크시스템스는 '산업용 인라인 핵심 장비 기술 개발', '4세대 SPM 우수 제조 기술 연구센터' 지정, '450mm wafer 공정에서의 나노 결합 검출·분석 시스템 개발' 등 여러 국책 과제에 선정되었다. 이러한 과제들은 회사의 실적이 부진한 상황에서도 R&D 부서가 연구 및 개발을 지속할 수 있는 동력을 제공하였다.

파크시스템스의 이러한 핵심 경영 활동들은 어려운 경제 환경 속에서도 지속 가능한 성장을 추구하고, 글로벌 시장에서의 경쟁력을 강화하는 데 기여하였다.

2.2.3.4 위기 및 대응

2008년 세계 금융위기는 파크시스템스에 심각한 영향을 미쳤다. 정부의 R&D 예산 삭감으로 인해 연구용 AFM 장비의 수요가 감소하였고, 하드디스크 산업의 위축으로 산업용 AFM 장비의 수요 또한 급감하였다. 2007년에 설립된 일본 법인은 일본 시장을 개척하기 위해 다각적인 노력을 기울였으나, 일본 시장의 폐쇄적이고 보수적인 특성으로 인해 시장 진입에 어려움을 겪었다. 일본의 장비 산업은 규모가 크기 때문에 중개인망(sub dealer network)을 갖춘 회사와의 협력이 필수적이었다.

이에 따라 파크시스템스는 Hitachi High-Tech (HHT)와 2011년 판매 대행 계약을 체결하였다. 그러나 2012년 말 HHT가 Seiko Instruments Inc의 Nano Tech 사업부를 인수·합병하면서 파크시

스템스와의 협상은 결렬되었고, 이로 인하여, 영업 공백이 발생하였다.

이러한 어려운 운영 여건 속에서도 파크시스템스는 기술 개발에 지속적으로 힘썼고, 그 결과 2015년 2월 IMEC과 공동 개발 계약을 체결하였다(고재연, 2020). IMEC은 차세대 반도체 공정을 개발하고 새로운 장비의 성능 검증 및 최적화를 진행하기 위해 세계 유수의 반도체 회사들이 공동 출자하여 설립한 연구소이다.

IMEC과의 공동 개발 계약 체결은 파크시스템스 장비의 완성도 및 반도체 공정에서의 응용 가능성을 높이는 데 기여하였으며, 기업 신뢰도를 강화하는데 결정적인 역할을 하였다. 이로 인하여, Micron 등 다른 반도체 회사들과의 구매 협상이 이어지며, 반도체 시장에서 파크시스템스의 기반이 구축될 수 있었다.

파크시스템스의 매출액은 2008년 120억 원에서 2015년 200억 원으로 증가하였고, 영업이익은 3천만 원에서 24억 원으로 크게 성장하였다. 또한, 2015년 12월에는 AA 등급으로 기술성 특례 상장하여 기업 인지도를 더욱 높일 수 있었다. 이러한 성과는 위기 속에서도 지속적인 기술 개발과 시장 확대를 위한 전략적 노력이 결실을 맺었음을 보여준다.

2.2.4 제4세대 발전 특성(2016~현재)

2.2.4.1 전략적 적응 방안

2015년 IMEC과의 공동개발 계약 체결 이후, 파크시스템스는 굴지의 글로벌 기업과의 연결을 통해 반도체 시장에서 기반을 구축하였다. 이에 따라 산업용과 연구용 원자현미경으로 구분하여 각각의 성장 가속화 전략을 추진하였다.

(1) 산업용 원자현미경

반도체 제조 공정에서 사용되는 계측 장비의 성능

은 반도체 수율에 직결되므로, 장비의 성능과 안정성이 매우 중요하다. 따라서 파크시스템스는 엄격한 기준을 충족해야 하며, 검증된 장비가 아니면 구매로 이어지지 않는다. AFM 기술이 진화하면서, 2015년 IMEC과의 공동개발 계약을 계기로 반도체 산업에 진입할 수 있었고, 이는 Micron, Microsoft, TSMC, 삼성전자, SK 하이닉스 등 주요 반도체 회사들로부터 제조 공정용 NX 원자현미경 장비에 대한 급격한 수요 증가로 이어졌다. 또한 AFM 장비는 반도체의 전공정뿐만 아니라 후공정에서도 사용되기 시작하면서, EUV Mask Repair, Probe Station, Display 등의 응용 기술 개발 및 WLI와 결합한 AFM, Nano IR(PiFM) 등 다양한 측정 기술 개발 관련 프로젝트가 추진되었다.

(2) 연구용 원자현미경

산업용 장비의 수요가 증가하는 가운데 연구용 AFM은 사용자 저변 확충과 미래 잠재 고객 확보를 위해 소홀히 할 수 없는 분야이다. 연구용 원자현미경 시장에서 수익성을 확보하기 위해 가장 중요한 요소는 '사용자 편의성'이다. 즉, 적절한 용도와 고객층을 겨냥한 경쟁력 있는 제품 개발이 필수적이다. 이에 따라 파크시스템스는 고객 편의성에 초점을 맞추어 AFM probe 자동 교체, 레이저 빔 자동 정렬, 측정 변수 자동 설정 기능이 탑재된 완전 자동화 원자현미경 개발을 목표로 'FX 프로젝트'를 추진했다.

이러한 전략적 적응 방안은 파크시스템스가 변화하는 시장 환경 속에서도 지속 가능한 성장을 도모하고, 고객의 다양한 요구를 충족시키기 위한 기반이 되고 있다.

2.2.4.2 기술혁신 노력

(1) 산업용 원자현미경

1) NX-Hybrid 개발

파크시스템스는 WLI(White Light Interferometry: 백색광 간섭계)¹³⁾ 기술을 활용하여 NX-Hybrid WLI를 개발하였다. WLI는 백색광을 사용하여 간섭무늬(interferogram)를 분석하고 시료의 높낮이를 측정하는 장치로, 3차원 광학 현미경이라고도 불리는데, 원자현미경과 유사한 방식으로 3차원 이미지를 생성할 수 있다. 그러나 WLI는 빛의 회절 현상으로 수평 방향 분해능에 한계가 있으며(최원석, 2023), 시료의 광학적 성질에 따라 측정 오차가 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 AFM과 WLI를 결합한 'NX-Hybrid WLI'를 출시하였다. 2023년에는 NX-Hybrid WLI의 제한된 시장 경쟁력을 고려하여, 간섭계의 선도 기술인 Digital Holographic Microscopy(DHM)¹⁴⁾ 사업화를 기획하였다. DHM은 동일한 광원에서 나온 빛을 두 개로 나누어 하나는 물체에, 다른 하나는 기준광으로 비추어 Holographic interferogram을 이용해 물체의 3D 정보를 재생할 수 있다. DHM은 다층 박막의 정확한 두께 측정이 가능하며, 일반 간섭계 대비 100배 빠른 고속 측정을 지원한다. 파크시스템스는 자체 기술 개발보다는 선도기업의 특허 사용 계약 또는 외부 업체 인수를 통해 간섭계 기술 고도화를 추진하고자 업체 선정, 인수 합병 및 기술 검증에 대한 논의를 진행하고 있다.

13) 간섭계(干涉計): 빛의 간섭작용을 이용하여 짧은 길이의 광 파장 측정이나 선 스펙트럼을 측정하는 광학계_위키 백과사전

14) Digital Holographic Microscopy(DHM): 동일한 광원에서 나온 빛을 2개로 나누어 하나는 물체로부터 다른 하나는 기준광으로 비추었을 때 발생하는 Holographic interferogram를 이용, 물체의 3D 정보 재생 _ 파크시스템스 내부 자료

2) Nano IR(Nano Infrared Spectroscopy)¹⁵⁾
 기존 원자현미경은 시료의 형상과 물리적 성질을 나노미터 단위로 측정할 수 있지만, 화학적 조성을 알아내는 데 한계가 있었다. 이를 해결하기 위해 파크시스템스는 Molecular Vista의 PiFM(Photo-induced Force Microscopy; 광 유도력 현미경) 기술을 도입하여 적외선(IR)을 시료 표면에 비추고 발생하는 쌍극자 사이의 힘(dipole-dipole interaction)¹⁶⁾을 측정함으로써 시료의 화학적 조성을 고해상도로 분석할 수 있는 'NX-IR'을 출시하였다.

3) EUV Mask Repair-용 AFM 개발
 반도체 노광공정은 웨이퍼 위에 빛으로 회로를 새기는 공정을 의미한다. 회로가 미세할수록, 한 웨이퍼에 들어갈 수 있는 칩 수가 늘어나, 생산성이 증대되는 것이다. 파크시스템스는 반도체 노광공정에서 사용되는 EUV(극자외선) 포토마스크에서 발생하는 미립자를 제거하기 위해 AFM tip을 이용하는 기술을 개발하였다. 이 응용 기술이 적용된 'NX-Mask' 장비는 EUV Mask Repair에 최적화되어 있으며, 반도체 생산성 향상에 기여하고 있다.

NX-Mask는 원자현미경(AFM) 기반으로 제작되어, 마스크의 결함을 나노미터 수준의 정밀도로 검출하고 제거할 수 있다. 이 장비는 자동 결함 검토, 결함 제거 및 리페어 후 검증 과정을 통합하여 제공하며, 고속 처리와 높은 해상도를 지원한다. 또한, NX-Mask는 기존의 습식 방식과 달리 건식 클리닝 방식을 사용하여 미세 패턴이 새겨진 포토마스크의 결함을 안전하고 효과적으로 제거할 수 있다.

EUV 포토마스크는 가격이 높고 복잡한 구조를 갖기 때문에, 이러한 리페어 기술은 반도체 제조업체

들에게 필수적인 장비로 자리 잡고 있다. 파크시스템스의 NX-Mask는 이와 같은 시장의 요구에 부응하여, 반도체 제조 공정의 효율성을 극대화하고 불량률을 감소시키는 데 중요한 역할을 하고 있다.

4) Probe Station AFM

Probe Station은 반도체 웨이퍼에 디바이스를 제조한 후 회로 내 전기적 신호를 측정하는 장치이다. 반도체 선폭이 작아지고 회로가 복잡해짐에 따라 기존 Probe Station으로는 측정이 어려운 경우가 많아졌다. 이를 해결하기 위해 파크시스템스는 Probe를 AFM tip으로 교체하여 전기적 신호를 측정하는 기술을 개발하였다.

5) NX-TSH(Tip Scanning Head) 개발

2000~2002년 파크시스템스가 Tip Scanning Head를 개발하여 XE-LCD 제품을 출시한 이후, 삼성디스플레이가 8세대 대형 TV 시장에 진출하게 되면서 파크시스템스는 8세대 QLED 프로젝트에 참여하게 되었다. 이를 위해 2,200*2,500mm 기판을 스캔할 수 있는 NX 원자현미경 용 TSH를 개발하여 'NX-TSH2225' 장비를 출시하였다.

6) OCD와 AFM의 결합 프로젝트

OCD와 AFM의 결합 프로젝트는 반도체 및 하드 디스크 드라이브와 같은 전자부품의 소형화 및 집적화가 진행됨에 따라 나노 수준의 정밀 측정이 필요해진 상황에서 시작되었다. 이 프로젝트의 주요 목표는 원자현미경(AFM)의 높은 해상도를 활용하여 광학 임계선 폭 측정 장비(OCD)의 처리량과 정확성을 동시에 개선하는 것이다.

15) 적외선 분광법(infrared spectroscopy): 시료에 적외선을 조사하고, 이때 흡수된 빛을 스펙트럼으로 나타내는 분석 방법
 _네이버 화학 백과

16) 쌍극자 쌍극자상호작용(dipole-dipole interaction): 쌍극자 사이의 정전기적 인력에 의해 일어나는 상호작용_두산백과사전

① OCD(Optical Critical Dimension) 기술
 임계치수(Critical Dimension, CD)는 반도체 회로의 선폭을 의미하며, 포토 공정을 통해 웨이퍼 위치에 따른 CD 값 변화로 반도체 품질을 판단한다.¹⁷⁾ 그러나 CD가 마이크로미터 미만으로 감소하면서 광학 계측이 어려워지자, SEM(Scanning Electron Microscopy) 및 TEM(Transmission Electron Microscopy) 방식이 도입되었다. 이 두 가지 방식은 처리량이 적고 속도가 느려 공정 제어 Application에는 부적합하다. OCD는 샘플과 상호작용하여 관찰된 빛의 산란 패턴으로부터 모양과 치수를 도출하는 방식이다. 이 기술은 빛이 일정 간격의 선 및 공간에 떨어질 때 생성되는 간섭 패턴을 이용하여 측정하며, 반도체 회로의 임계치수(Critical Dimension, CD)를 정밀하게 측정할 수 있다. 그러나 OCD는 비파괴적이고 빠른 측정 방법이지만, 정확성에 한계가 있을 수 있다.

② AFM의 역할

AFM은 원자 수준에서 시료 표면을 스캔하여 고해상도의 이미지를 생성할 수 있는 장비로, OCD보다 더 높은 분해능을 제공한다. 그러나 AFM은 일반적으로 처리량이 적고, 측정 속도가 느리다는 단점이 있다. 이러한 이유로 파크시스템스는 OCD와 AFM을 결합하여 두 기술의 장점을 극대화하는 것을 목표로 하였다.

③ 결합 기술 개발

2018년, Apple은 NX-3DM 장비에 대한 관심을 보이며 파크시스템스와 협력하여 OCD와 AFM을 결합하는 프로젝트를 시작하였다. Apple은 NX-3DM의 처리량을 OCD와 유사한 수준으로 늘릴 것을 요

구하였다. 이에 따라 파크시스템스는 측정 지점 이동 시 Z-stage의 움직임을 최소화하는 기법을 개발하여 제시하였다. 그러나 이 프로젝트는 2020년에 종료되었다.

④ 후속 조치

프로젝트는 종료되었지만, 파크시스템스는 OCD의 비파괴적이고 빠른 측정 방식과 AFM의 높은 해상도를 통합하여, 반도체 제조 공정에서 필요한 정밀한 계측 솔루션을 제공하고자 하였다. 2021년 파크시스템스는 독일 Accurion GmbH를 인수하고 ISE(Imaging Spectroscopic Ellipsometry¹⁸⁾) 기술을 이전 받았다. 타원계측법(Ellipsometry)은 광학적 방식에 의한 박막 두께 측정법으로, OCD는 ellipsometry를 사용하여 반복적인 패턴이 있는 구조물의 형상을 추론해 내는 장치이다(구혜린, 2023; 이나영, 2023). 파크시스템스는 이전받은 ISE 기술을 활용하여 'EP4'를 출시하였다. 이는 OCD와 AFM의 결합 프로젝트는 반도체 산업에서 요구되는 나노 수준의 정밀 계측 기술을 개발하는 데 중요한 기초가 되고 있으며, 파크시스템스는 이를 통해 시장에서 경쟁력을 강화하고 있다.

(2) 연구용 원자현미경

FX 원자현미경은 AI와 로봇틱스 기술을 활용하여 사용자의 편의성과 성능을 크게 개선하였다. 출시된 'FX40'은 탐침의 위치와 종류를 자동으로 인식하고 선택 및 착장이 가능하다. 또한 탐침 식별 카메라는 시료와 탐침을 위한 전용 듀얼 카메라로 장착되어 탐침 모델과 제품 사양을 사용자에게 제공한다. 레이저 빔은 탐침의 적절한 위치에 오도록 조절되며, 반사된 레이저 빔이 광 검출기에서 최적의 민감도를 가

17) 네이버 blog "(반도체)ONTO 로직항 OCD 수요 증가" <https://blog.naver.com/hokdooroomi/222906890539>

18) Ellipsometry(타원 계측법): 다양한 방식으로 빛의 편광 특성 변화를 확인하여 빛의 파장에 따른 물질의 굴절률을 측정하는 방법. 위키 백과사전

지도록 정렬하는 과정이 자동화되어 한 번의 클릭으로 가능하다.

2.2.4.3 핵심 경영 활동

(1) IMEC과의 공동개발 계약 및 성과

IMEC과의 공동개발 계약을 통해 본사 직원이 파견되어 AFM 성능을 개선할 수 있었고, 그 결과 2016년에는 Micron, Infineon, Global Foundries Singapore, ST Microelectronics Crolles, Microsoft 등 주요 반도체 회사들로부터 NX-Wafer 및 NX-3DM 장비를 포함하여 총 265억 원의 수주를 기록하였다. 파크시스템스의 기술력이 점차 발전함에 따라 AFM은 반도체 전공정뿐만 아니라 후공정에서도 사용되기 시작하였으며, 디스플레이산업에서도 제품 수요가 증가하였다. 그 결과 파크시스템스의 매출액은 2016년 245억 원에서 2023년 1,448억 원으로 증가하였고, 영업이익도 35억 원에서 276억 원으로 크게 성장하였다.

(2) 해외 시장 점유율 및 인지도의 증가

해외 시장 점유율의 증가와 코스닥 상장으로 인해 회사의 인지도가 높아졌으며, 이는 인재 채용과 조직 역량 강화에 큰 도움이 되었다. 또한 회사 실적이 주가에 반영되면서 직원들의 책임 의식이 높아졌고, 스톡옵션이나 우리사주로 주식회사를 보유한 직원들에게는 성실하게 근무하는 데 강한 동기부여가 되었다. '코스닥 라이징스타'는 코스닥 기업 중 세계 시장에서 높은 시장 지배력을 보유하거나 혁신 산업 분야에서 높은 국내 시장 점유율을 바탕으로 세계적인 기업으로 성장 가능성이 높은 기업을 대상으로 하며, 파크시스템스는 2018년부터 2023년까지 6년 연속 코스닥 라이징스타에 선정되었다.

(3) 조직 관리 효율화

조직 규모가 커짐에 따라 효율적 관리의 필요성이 더욱 강조되었다. 이를 위해 회사는 영업 및 마케팅, 고객 지원을 효율적으로 수행하기 위해 CRM(Customer Relationship Management) 및 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템을 도입하였다. 또한 문서 중앙화 시스템을 도입하여 보안 유지에도 기여하였다.

(4) R&D 조직 이원화 및 협업 강화

반도체 산업에서의 수요가 증가하면서 한쪽으로 편중되는 상황이 발생하자, R&D 조직을 산업용과 연구용으로 이원화하였다. 고객 요구 조건이 다양하고 개발이 진행 중인 경우가 많아 연구개발부와 생산부 간의 협업을 강화하기 위해 공동 Task Force Team을 결성하여 고객 사양에 맞춰 적시에 제품을 납품할 수 있도록 하였다.

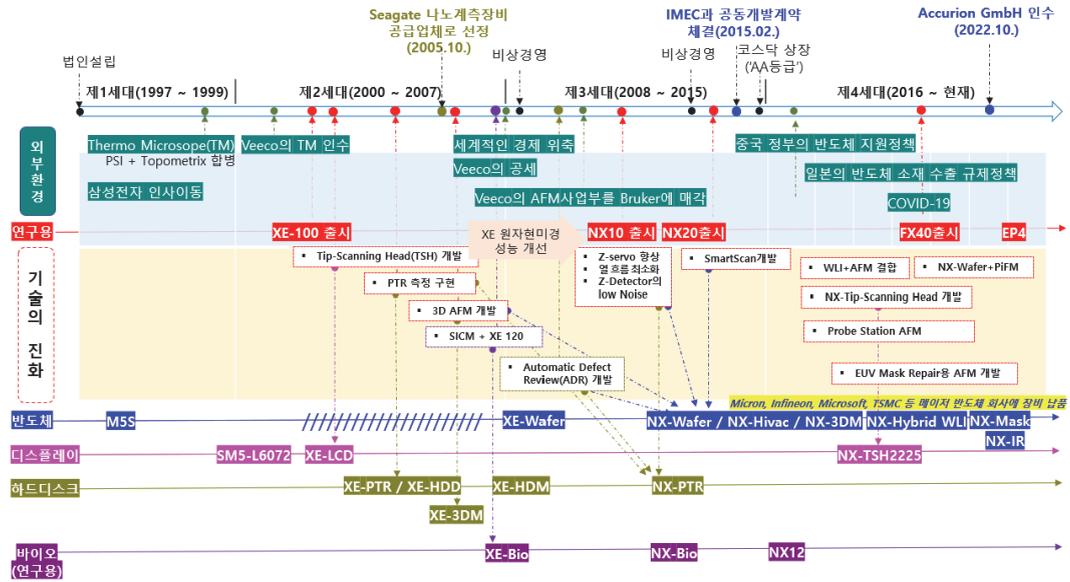
(5) 글로벌 마케팅 전략 강화

연례행사로 진행되어 오던 'Worldwide Sales Meeting' 외에도 독일, 대만, 중국 등 해외 지사가 추가되면서 글로벌 마케팅 담당자들이 마케팅 전략을 논의하는 'Worldwide Marketing Forum' 및 각국의 산업용 장비 판매 담당자들이 판매 전략을 논의하는 'Worldwide Industrial Sales Meeting'을 개최하였다. 이러한 활동들은 파크시스템스의 글로벌 입지를 강화하고 시장에서의 경쟁력을 높이는 데 중요한 역할을 하고 있다.

2.2.4.4 위기

(1) 한일 관계 악화와 경제적 영향

강제노역 손해배상 문제로 한일 관계가 악화되어, 일본에서 시행된 핵심 반도체 소재 수출 규제 조치는 삼성전자의 대규모 프로젝트 연기에 영향을 미쳤



※ 저자에 의해 작성됨

〈그림 4〉 파크시스템스(주)의 세대별 성장 궤적

고, 이에 따라 제품 개발에 차질이 발생하였다. 또한 COVID-19 팬데믹으로 인해 전 세계 경제가 위축되면서 예정된 모임은 모두 취소되거나 무기한 연기되었고, 이에 따라 주가는 폭락하였다.

(2) 경쟁사의 변화

2010년에는 파크시스템스의 가장 큰 경쟁사인 Veeco의 AFM 사업부가 Bruker에 매각되었고, Bruker는 산업용 장비 시장에서 경쟁력을 갖춘 기업들을 인수·합병하며 시장점유율을 확대하였다.

(3) 내부 조직의 안정성과 갈등

파크시스템스 내부적으로 살펴보면, 2013년 일본 법인이장이 교체된 후 조직이 어느 정도 안정화되면서 매년 실적을 개선했지만, 2018년부터 실적이 정체되고 본사 영업부와의 마찰로 인해 2019년 일본 법인장을 면직 처리하였다. 이 과정에서 많은 인력이

교체되었다.

(4) 미국 법인의 어려움

미국 법인 역시 2012년 법인장 교체 이후 적극적인 마케팅 활동으로 회사의 인지도 제고에 크게 기여하였으나, 2018년 이후 매출이 감소하고 손실이 증가하면서 2020년 말 기준으로 완전 자본잠식 상태에 이르게 되었다. 이러한 상황은 또 한 번 법인장을 교체하는 등 조직 관리에 있어 어려움을 겪게 하였다.

이와 같은 여러 외부 및 내부적 요인은 파크시스템스의 성장과 안정성에 심각한 도전을 초래하였으며, 향후 회복을 위한 전략적 대응이 필요하게 되었다.

2.2.5 요약

다음 〈표 3〉 참조

〈표 3〉 파크시스템스 성장 과정의 세대별 발전 특징

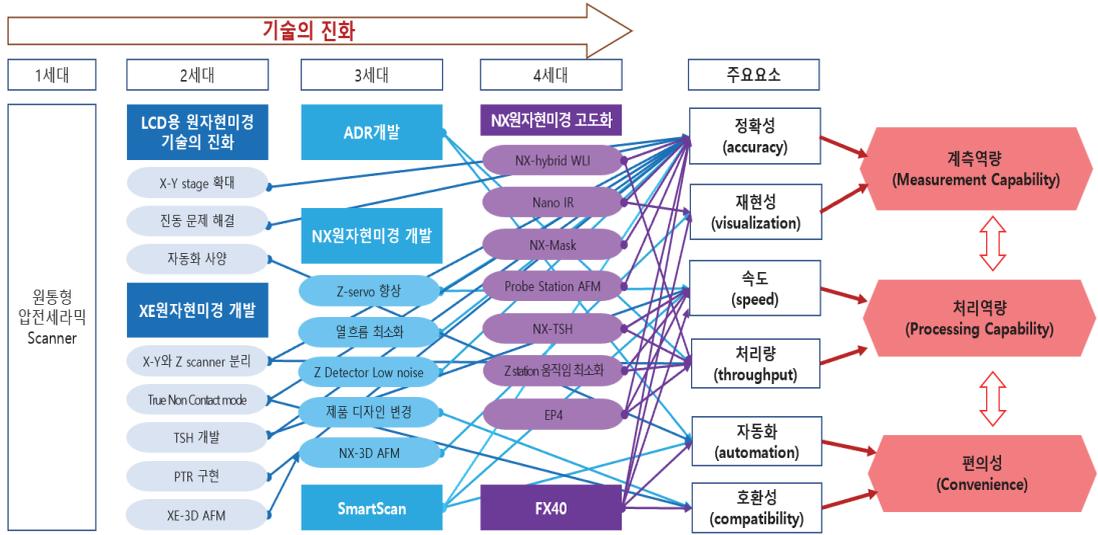
	1세대(1997~1999)	2세대(2000~2007)	3세대(2008~2015)	4세대(2016~현재)
전략 목표	반도체 산업용 원자현미경 개발	모든 부분품 자체 개발	차세대 원자현미경 개발	성장 가속화
대표 제품	M5S	XE-Series 원자현미경	NX-Series 원자현미경	NX-Wafer, NX-Mask, NX-TSH, FX40(연구용)
기술 진화	PSI의 부분품을 수입하여 제품 제작 삼성전자와 공동개발 계약을 통해 반도체 공정용 장비 개발 자체 연구개발을 통해 고속 원자현미경 및 결합 검사용 원자현미경 개발	LCD용 원자현미경 기술의 진화; 대형 액정 시료 계측 기술 XE 원자현미경 개발 X-y Scanner와 Z Scanner 분리 True Non-Contact Mode 개발 3D AFM 개발	Automatic Defect Review 개발 NX 원자현미경 개발 Z-servo 향상, 열 흐름(thermal drift) 현상 최소화, Z-Detector의 low noise, 제품 디자인 변경 SmartScan개발	산업용 측정 기술/응용 기술/디스플레이 기술 OCD와 AFM 결합(독일 Accurion GmbH 인수) 연구용 AI와 로보틱스 기술을 통한 완전 자동화
핵심 경영 자원 및 활동	재무적 자원(97) 설립 당시 자본금 3억 7천5백만 원 투자유치 8억 원	재무적 자원 자산 45억(02), 108억(07) 부채 13억(02), 46억(07) 자본 32억(02), 61억(07)	재무적 자원 자산 164억(08), 255억(15) 부채 68억(08), 29억(15) 자본 96억(08), 226억(15)	재무적 자원 자산 322억(16), 2,016억(23) 부채 58억(16), 582억(23) 자본 264억(16), 1,434억(23)
	관리적 활동 기업부설연구소설립: 우수인재유치 국책연구과제 선정	관리적 활동 재무 안정화 노력, 인재 유치 해외 시장 개척 - 현지 기업과 판매 대행 계약 체결 - 현지 법인 설립: 미국(03), 일본(07) 글로벌 신뢰도 향상, 국책연구과제 선정	관리적 활동 해외시장개척, 인사 평가제도 구축, NANOscientific 잡지 발행, 국책연구과제 선정 IMEC 공동개발계약체결(2015.02.03.) 2015 코스닥 상장	관리적 활동 해외시장개척 독일 Accurion GmbH 인수 CRM, ERP, 문서 중앙화
위기	외부적 위기 경쟁사 인수 합병 문제 삼성전자 대규모 인사이동	외부적 위기 경쟁사 인수 합병 문제 red ocean시장 Made in Korea에 대한 낮은 신뢰도	외부적 위기 세계 금융위기로 인한 경기 침체; 기업 투자 위축, 하드디스크 산업 위축, 정부의 R&D 예산 삭감	외부적 위기 한일 관계 악화와 COVID-19 경쟁사의 변화
	내부적 위기 제품 성능과 품질 문제	내부적 위기 해외 판매망 관리의 어려움 기술 협력 및 제품 개발 난관	내부적 위기 자회사의 실적 저조 및 일본 시장 개척의 어려움	내부적 위기 미국·일본 법인의 실적 저조 및 관리의 어려움

2.3 파크시스템스(주)의 기술혁신 과정 분석

세대별 성장 과정에서의 특징을 살펴본 결과, 파크시스템스의 박상일 대표는 반도체 산업용 원자현미경을 상용화할 목적으로 사업에 착수하였다. 원자현미경의 원천 기술을 보유하고 있음에도, 기업이나 기술에 대한 신뢰가 형성되지 않았고, 여러 내·외부 요인으로 인해 반도체 산업 진입에 실패하였다. 그러나 파크시스템스는 다른 산업에서의 AFM 적용처를 찾아내고, 산업에서 요구하는 사양을 맞추기 위

해 끊임없이 연구 및 개발을 진행하여 기술혁신을 이루어냈다.

파크시스템스의 AFM 기술혁신은 몇 가지 주요 요소의 기술 개발에 중점을 두고 진행되었다. 아래 그림에서 설명하고 있는 바와 같이, 정확성, 재현성, 속도, 처리량, 자동화, 호환성이 그 주요 요소이다. 본 절에서는 파크시스템스의 AFM 기술 발전에 있어 6 가지 주요 요소와 이 요소들이 추동한 AFM 기술 진화의 방향을 세 가지 차원으로 설명하였다. (**연구과제 2-1**)



※ 저자에 의해 작성됨

〈그림 5〉 파크시스템스 AFM 기술의 진화

첫째, 정확성과 재현성 향상

LCD용 원자현미경 제작 과정에서 대형 액정 시료에 맞춰 X-Y stage를 확대하고 이에 수반되는 진동 문제를 해결한 것, X-Y와 Z축을 분리한 XE 원자현미경 Scanner 구조, 탐침 측정 방식으로 완전 비접촉식 측정 방식(True Non Contact mode)을 개발한 것뿐만 아니라, XE-Series 원자현미경의 축이 분리되며 열 흐름 현상의 문제가 발생하자, NX-Series 원자현미경은 열팽창 계수가 비슷한 물질로 frame과 X-Y stage, Z-stage를 만들어 열 흐름 현상을 최소화한 것, Z-servo 성능을 향상시키고, Z 검출기의 소음에 의한 진동도 산업 내 최소 수치까지 낮춘 것과 SmartScan 소프트웨어 개발, 그리고 NX 원자현미경의 고도화를 위한 여러 가지 측정 기술, 응용 기술 등이 개발된 것, 더 나아가 FX-Series 원자현미경은 탐침의 위치, 종류를 자동으로 인식하고 측정 시료의 성질에 맞춰 자동으로 교체해 주어 사용자의 개입을 줄인 것은 시료 계측에 있어 정확성(accuracy)을 높이는 방법이었다. 또한 3D AFM을 개발하여

수직 구조물의 측면과 역삼각형 구조물의 측면을 3D 영상으로 재현한 것이나 Nano IR을 개발하여 시료의 화학적 조성을 고분해능으로 보여주는 기술은 정확한 계측뿐만 아니라 시각적 재현성(visualization)을 높이는 방법이었다. 시료의 정밀한 측정과 정확한 재현은 계측 장비의 신뢰도를 판단하는 요소로 파크시스템스의 AFM 기술이 계측 역량(Measurement Capability)을 고도화하는 방향으로 진화·발전해 왔음을 알 수 있다.

둘째, 속도 및 처리량 개선

원자현미경은 구조적으로 탐침이 시료 위를 저공 비행하듯 측정하기 때문에 빛을 사용하는 광학 현미경이나, 전자빔을 사용하는 전자 현미경보다 측정 속도가 늦는 단점이 있다. 반도체 임계치수(CD) 측정에서 살펴보았듯이, 반도체 회로가 10나노미터 이하로 미세화되었음에도 원자현미경에 의한 측정보다 광학계 장비(OCD)의 측정 속도가 빠르므로, 측정치에 부정확한 단점이 있어도 계측 장비의 주류로 사용되

고 있었다. 산업용 AFM 장비의 경쟁력을 키우려면 속도(speed)를 높이고, 처리량(throughput)을 개선해야 한다. 속도와 처리량은 어느 정도 서로 연관되어 있지만, 본 연구에서는 각각의 개념을 좀 더 구체적으로 구분하여 살펴봤다. 본 연구에서 설명하는 속도는 개별 작업이나 측정의 진행 속도로, 단일 작업이 완료되기까지 걸리는 시간을 의미한다. 즉, 특정 작업이나 프로세스의 빠르기를 말하며, 시료를 측정하는 데 걸리는 속도 또는 데이터수집 속도로 정의하였다. 처리량은 장비가 일정 시간 동안 처리할 수 있는 작업량 또는 데이터의 총량으로, 주어진 시간 동안 얼마나 많은 작업이나 데이터를 처리할 수 있는지를 의미한다. 즉, 처리량은 전체 시스템의 성능을 측정하는 더 큰 범위의 개념으로, 시료 loading, 측정 위치 이동, 측정, 분석 등 계측 과정의 모든 데이터 및 시간을 의미한다. 그런데 일반적인 정보처리에서 의미하는 데이터양을 많이 처리한다는 개념과는 의미가 조금 다르다. 원자현미경은 원자간 미세한 움직임을 측정하는 계측 장비이다. 따라서 처리할 데이터양을 크게 키운다면, 그만큼 많은 측정을 필요로 하기에, 측정 오류가 발생할 확률 또한 그만큼 높아지고, 결국 장비의 신뢰성에 큰 타격을 입을 수 있다. 따라서 정확성을 해치지 않는 범위에서 계측 속도를 높이는 것, 그리고 정확한 측정값을 도출하는데 필요한 최소한의 데이터양으로 개선하는 것을 포함하는 의미로 정의하였다.

원자현미경에서의 측정 속도는 Z축의 움직임에 의해 결정된다. 기존 원통형 구조의 원자현미경은 X-Y 축과 Z축이 함께 움직일 수밖에 없어서, Z축의 제어 속도에 영향을 미치게 된다. XE-Series 원자현미경의 X-Y축과 Z축의 분리는 측정 오차 범위를 줄이는 방법이기도 하지만, 이로 인하여, 측정 속도가 향상되었다. 또한 ADR 개발에 의한 속도 증가, NX-Series 원자현미경에서 Z-scanner의 위치를 변경하여 공진 주파수를 높이고, Z-servo의 기능을 향상시킨 것과

SmartScan 소프트웨어를 탑재하여 scan 속도를 능동적으로 변화시킬 수 있도록 개발한 것 역시 최적의 처리 속도를 높이기 위한 노력이었다. 그 밖에 FX-Series 원자현미경의 완전 자동 시스템 역시 사용자가 개입하여 탐침을 선택하고, 조정하는 단계를 무의하게 만들어 분석 처리 속도를 높이는 방향으로 개발된 것, 디스플레이산업에 진입하면서 대형 기판을 측정하기 위해 Tip-Scanning Head를 개발한 것과 Apple이 AFM의 처리 속도를 더욱 빠르게 개선하라고 요구했을 때, 측정 지점 사이에 높이 차이가 큰 경우에만 최소한으로 z stage를 움직이도록 고안한 방식 역시 처리 속도를 높여 처리량을 개선하는 방법이었다. 현미경이 광학, 전자, 원자현미경으로 진화 발전했음에도 불구하고, 원자현미경이 산업용 라인에 진입하기 어려웠던 가장 큰 이유는 처리량과 속도에 있다. 원자현미경의 구조적 한계로 인한 이러한 문제를 해결하기 위해, 파크시스템스는 광학 현미경과의 AFM 기술의 결합을 통해 처리 역량(Processing Capability)을 고도화시키는 방향으로 진화·발전해 왔고, 현재도 광학계 전문기업과 M&A를 통해 제품 개발에 매진하고 있다.

셋째, 자동화 및 호환성 강화

파크시스템스가 LCD용 원자현미경을 개발하면서 산업용 공정에서 요구하는 자동화 사양을 충족시킨 것, 하드디스크 미디어의 결합을 자동으로 찾아가서 이미지화하는 ARD 개발, 그리고 Z-servo system의 특성을 분석하여 controller의 변수를 자동으로 최적화할 수 있는 SmartScan 소프트웨어 개발 및 AI와 로보틱스가 결합된 완전 자동화 장비인 FX40는 자동화(automation)를 높이는 방법들로 설명될 수 있다. 그리고 기술 진화 과정을 통해 파크시스템스의 AFM이 호환성(compatibility)을 높이는 방향으로 발전해 온 것임 알 수 있다. 여기에서 말하는 호환성은 다양한 샘플 및 실험 조건에 얼마나 잘 맞

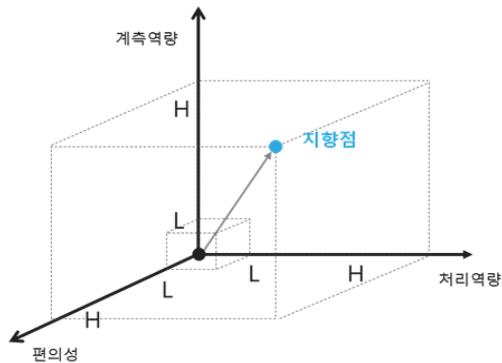
는 지를 의미하는 것뿐 아니라, 다른 장비나 소프트웨어와의 호환성을 비롯하여 사용자가 요구하는 사양과 관련된 다양한 옵션 기능을 제공하는 것도 포함한 개념이다. Contact와 Tapping 두 가지 방식으로 시료를 측정하던 것에서 Non Contact 방식을 개발하여 사용자가 측정하기를 원하는 시료의 특성에 맞춰 측정 방식의 선택 폭을 늘린 것, FX40 원

자 현미경에서 시료에 맞춰 탐침의 종류를 자동으로 선택·착장하도록 한 것, 장비를 개발하면서 다양한 옵션 기능들을 제공한 것 역시 호환성을 높이는 방법들로 설명될 수 있다. 그리고 이러한 자동화와 호환성을 높이는 방향으로 진화된 AFM 기술은 사용자의 편의성(Convenience)을 고도화하는 방향으로 진화·발전되어 왔음을 알 수 있다.

세대별 AFM 기술의 진화				AFM 기술진화의 3차원												
				계측 역량			재현성			처리 역량			편의성			
				정확성	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
1	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
원통형 압전세라믹 Scanner	X-Y stage 확대	ADR 개발	NX-hybrid WLI	●		●							●	●		
	진동 문제 해결	Low drift	Nano IR	●	●	●		●								
	자동화사양	Z-detector의 low noise	NX-Mask		●	●							●			
	X-Y와 Z scanner 분리	NX-3DM	Probe Station AFM	●		●		●								
	True Non Contact	Tip-Scanning Head	NX-TSH	●				●	●			●				
	TSH 개발	Z-scanner의 공진주파수 향상	Z-station 움직임 최소화	●				●	●		●	●				
	PTR 구현	Z-servo 성능 향상	EP4	●		●		●		●	●					
	XE-3D AFM	제품 디자인 변경	Auto Probe Exchange Auto Probe Reading Auto Beam Alignment			●	●		●			●		●	●	●
	다양한 옵션 기능 Contact/Tapping/ Non contact mode	SmartScan	-		●						●		●	●		

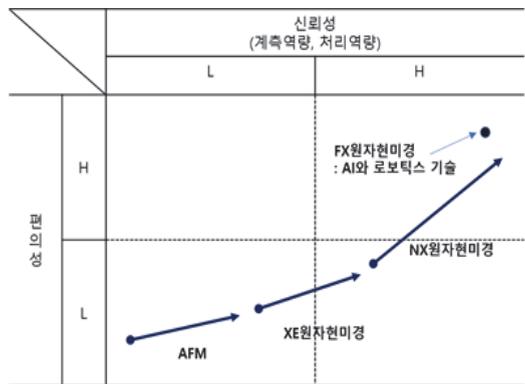
※ 저자에 의해 작성됨

〈그림 6〉 AFM기술혁신의 6가지 주요 요소와 기술 진화의 3차원



※ 저자에 의해 작성됨

〈그림 7〉 파크시스템스 AFM 기술 진화의 3차원



※ 저자에 의해 작성됨

〈그림 8〉 파크시스템스 AFM의 기술 진화 궤적

III. 결론 및 시사점

3.1 결론

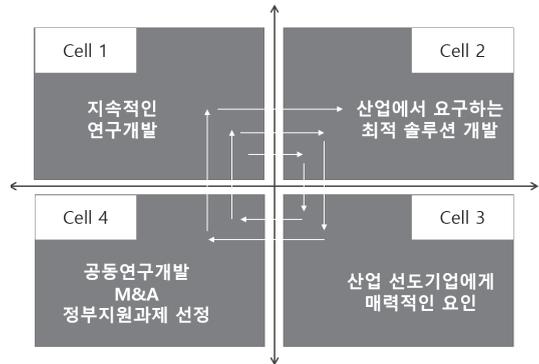
3.1.1 기술혁신의 나선형 선순환 구조 구축

파크시스템스의 세대별 성장 과정을 분석한 결과, 사업화 과정에서 가장 중점적으로 다룬 것은 기술의 고도화였다. 기업은 산업에서 요구하는 최적의 솔루션을 제공하기 위해 기술혁신을 게을리하지 않았다. 따라서 파크시스템스가 글로벌 시장을 석권할 수 있었던 가장 큰 요인은 바로 '기술력'이라고 판단된다. 외부 환경적인 요인뿐만 아니라 기업 내부의 문제 등으로 많은 어려움을 겪었음에도, 연구개발에 소홀히 하지 않은 결과, 기술혁신을 통해 산업에서 요구하는 최적의 솔루션을 개발할 수 있었고, 이는 산업 선도 기업에게 매력적인 요인으로 작용하였다.

이러한 기술혁신은 글로벌 기업과의 공동 연구 개발로 이어졌으며, 그 결과물은 정부로부터 기업이 개발하고자 하는 기술의 중요성이 인정받아 국책 과제에 선정되었다. 국책 과제 선정은 기업 운영이 어려운 시기에도 연구개발이 가능하도록 재정적 지원을 제공하였다. 이렇듯 파크시스템스의 연구개발 의지가 기술혁신을 나선형 선순환 구조로 발전시키는 데 기여하였다.

기술혁신은 여러 요소에 중점을 두고 진행되었으며, 정확성, 재현성, 속도, 처리량, 자동화, 호환성이 주요 요소로 작용하였다. 이러한 요소들은 파크시스템스의 AFM 기술 발전에 있어 필수적인 역할을 하였으며, 각 요소가 상호작용하여 지속적인 기술 개선과 시장 경쟁력 강화를 끌어냈다.

결론적으로, 파크시스템스는 기술혁신을 통해 산업에서의 신뢰를 구축하고, 이를 바탕으로 지속 가능한 성장과 발전을 이루어내고 있음을 알 수 있다.



※ 저자에 의해 작성됨

〈그림 9〉 기술혁신의 나선형 선순환 구조 구축

3.1.2 고객 관계와 기술혁신

허용석 교수는 Rothwell(1992)과 Chesbrough (2006)의 세대별 혁신 모델의 변화와 혁신을 위한 핵심 요인에 관한 연구 결과를 바탕으로, 기술혁신 경영 전략의 변화를 1세대 'Technology Push Model', 2세대 'Market Pull Model', 3세대 'Coupling Model', 4세대 'Integrated Model', 5세대 'Systems Integration and Networking Model', 6세대 'Open Innovation Model'로 설명하였다. 이러한 흐름은 수요보다 공급이 우세한 상황에서 기초 과학과 응용 기술에 기반한 기술적 지식으로 시작된 기술혁신이 점차 수요의 증가와 정보 통신 기술의 발달, 환경 변화에 따른 시장 지식의 중요성이 커지는 배경을 반영하고 있다(허용석, 2022).

이러한 수요의 증가와 급변하는 환경 속에서 기업이 가장 민첩하게 대응해야 하는 것은 바로 고객이다.

이홍과 전상길 교수는 '실패하는 비즈니스에는 이유가 있다'라는 저서를 통해 기업의 비즈니스 모델 수립과 관련하여, 가장 먼저 고객 관계 모델을 확인해야 한다고 강조한다. 즉, 고객의 요구를 정확히 파악하고 그에 맞는 가치 생성 모델을 수립한 후, 비용 통제 모델을 고민해야 한다는 일련의 비즈니스 모델

수립 과정에서 이 순서를 역행하면 비즈니스가 실패로 이어질 수 있다는 내용을 제시하고 있다(이홍과 전상길, 2023).

파크시스템스의 경우, 경쟁사인 Bruker는 M&A를 통해 시장점유율을 확대하였으나, 파크시스템스 내부 보고 자료에 따르면 고객들이 Bruker 제품이나 고객 응대에 대한 불만족으로 인해 파크시스템스와 계약을 체결하였다는 사실이 확인되었다. 이는 QYResearch(2024) 보고서에서도 나타난다(표 4 참조).

첫째, Bruker는 2019년 297(12.11%)에서 2023년 336(11.27%)으로 판매량은 증가하였으나 판매 비율은 점차 감소하였다. 또한, 매출은 2019년 \$73.72M(22.12%)에서 2023년 \$89.85M(18.51%)로 증가했지만, 다른 기업들이 더 빠르게 성장하여 Bruker의 상대적인 시장점유율이 하락하였음을 의미한다.

둘째, Park Systems는 2019년 152(6.20%)에서 2023년 235(7.88%)로 판매량이 꾸준히 증가하였고, 판매 비율도 약간 증가하였다. 매출 또한 2019년 \$36.38M(10.92%)에서 2023년 \$100.06M(20.61%)로 크게 증가하며 시장 내 입지를 강화하고 있다.

셋째, Oxford Instruments는 2019년 172(7.01%)

에서 2023년 252(8.45%)로 판매량과 판매 비율이 증가하였고, 매출도 2019년 \$28.91M(8.68%)에서 2023년 \$20.13M(10.50%)로 상승하였다. 이는 점진적으로 매출을 늘리며 시장점유율을 다져가는 것으로 판단된다.

글로벌 선도 기업의 AFM 판매량 및 매출 비교 검토 결과, Bruker는 판매량과 매출에서 성장을 이뤘지만, 경쟁사의 성장 속도에 미치지 못해 상대적인 시장점유율이 하락하였다. Oxford Instruments는 안정적으로 판매량과 매출을 증가시키며 시장점유율을 확보했지만, Park Systems는 판매량과 매출 모두에서 두드러진 성장을 보이며 현재 가장 강력한 성장세를 나타내고 있다.

3.1.3 기술 벤처기업의 성장 동력(연구과제 2-2)

향후 기술 벤처기업의 성장 동력은 다음과 같은 요소들에서 도출될 수 있다.

(1) 기술혁신의 지속적 추진

파크시스템스의 사례에서 보듯이, 기술혁신은 기업 성장의 핵심 요소이다. 허용석 교수의 연구에 따르면, 기술혁신 경영 전략의 변화는 공급 중심에서 수요 중심으로 전환되고 있으며, 이는 기업이 고객의

〈표 4〉 글로벌 선도 기업의 AFM 판매량(판매 비율)과 매출(매출 비율) 자료

연도	Sales(Sales Share) (units)			Revenue(Revenue Share) (US\$ Million)		
	Bruker	Park Systems	Oxford Instr.	Bruker	Park Systems	Oxford Instr.
2019	297(12.11%)	152(6.20%)	172(7.01%)	73.72(22.12%)	36.38(10.92%)	28.91(8.68%)
2020	283(11.90%)	181(7.61%)	164(6.89%)	66.99(20.85%)	51.02(15.88%)	25.08(7.80%)
2021	305(11.60%)	205(7.80%)	216(8.22%)	75.91(19.97%)	63.81(16.79%)	37.09(9.76%)
2022	320(11.51%)	219(7.88%)	235(8.45%)	80.90(19.09%)	81.47(19.23%)	44.56(10.52%)
2023	336(11.27%)	235(7.88%)	252(8.45%)	89.85(18.51%)	100.06(20.61%)	20.13(10.50%)

※ 출처: QYReserch(2024)의 Global Top Player 자료 수정 인용
보고서상의 2024년 자료는 추정치로 2019년부터 2023년 자료만 비교함

요구를 충족시키기 위해 기술을 고도화해야 함을 의미한다. 따라서 벤처기업은 지속적인 연구개발(R&D) 투자와 혁신적인 기술 개발을 통해 시장에서 경쟁력을 유지하고 강화해야 한다.

(2) 고객 중심의 비즈니스 모델 구축

이홍과 전상길 교수의 연구(2023)는 고객 관계 모델의 중요성을 강조한다. 고객의 요구를 정확히 파악하고 이에 맞는 가치 생성 모델을 수립하는 것이 필수적이다. 벤처기업은 고객 피드백을 적극적으로 반영하여 제품 및 서비스를 개선하고, 고객과의 신뢰 관계를 구축함으로써 장기적인 성장을 도모해야 한다.

(3) 외부 자원 활용 및 협력

기술 벤처기업은 내부 역량뿐만 아니라 외부 자원을 효과적으로 활용하는 것이 중요하다. 정부 지원금, 산학 협력체계, 그리고 다른 기업과의 파트너십을 통해 기술 개발과 시장 진입에 필요한 자원을 확보할 수 있다. 특히, 개방형 혁신(Open Innovation) 모델을 통해 외부의 지식과 기술을 적극적으로 도입함으로써 경쟁력을 강화할 수 있다.

(4) 유연한 생산 체계와 시장 대응력

벤처기업은 시장 수요 변화에 신속하게 대응할 수 있는 유연한 생산 체계를 갖추어야 한다. 다품종 소량 생산 방식과 빠른 제품 개발 주기를 통해 변화하는 시장 환경에 적절히 대응할 수 있는 능력이 필요하다. 이는 고객의 요구에 맞춘 맞춤형 솔루션 제공으로 이어질 수 있다.

(5) 네트워크 구축 및 시너지 효과

벤처기업은 관련 산업 내에서 다양한 기업들과의 네트워크를 구축하여 상호 학습과 시너지를 창출해야 한다. 이러한 네트워크는 정보와 자원의 흐름을 원활하게 하여 기업의 성장 가능성을 높이는 데 기여할 수

있다. 특히, 전문가들이 공간적으로 집적되어 서로 정보를 주고받는 과정에서 혁신이 증진될 수 있다.

(6) 결론

결국, 향후 기술 벤처기업의 성장 동력은 기술혁신, 고객 중심 비즈니스 모델, 외부 자원 활용, 유연한 생산 체계, 그리고 네트워크 구축 등 다양한 요소가 복합적으로 작용하여 형성된다. 이러한 요소들은 기업이 급변하는 시장 환경 속에서도 지속 가능한 경쟁력을 유지하고 성장할 수 있도록 하는 기반이 될 것이다.

3.2 시사점 및 향후 연구 방향

3.2.1 학술적 시사점

첫째, 파크시스템스의 AFM 기술 진화 연구는 기술혁신 이론을 실증적으로 뒷받침하여 이론 확장에 중요한 근거를 제공하였다.

① 기술혁신의 복합성과 다차원적 기술 진화 모델

파크시스템스의 AFM 기술 진화 과정은 단순한 성능 향상을 넘어 응용 범위 확대 및 사용자 경험 개선 등 다양한 측면에서 동시에 일어나는 것을 확인하였다. 특히 계측 역량, 처리 역량, 편의성의 세 가지 차원에서 동시에 진화한 것으로, 이는 기술 진화가 단일 차원이 아닌 다차원적으로 이루어졌음을 입증한다. 이러한 결과는 기술혁신이 복합적이고 다면적으로 진행됨을 보여준다.

② 환경 요소들의 상호작용을 통한 기술혁신

파크시스템스의 사례는 기업 성장 과정을 4세대로 구분하여 세대별 전략 목표, 기술 진화, 경영자원, 위기 등 다양한 요소가 상호작용하며 기술혁신이 이루어짐을 입증하였다. 이는 기술혁신이 단순히 내부

요인에 국한되지 않고 외부 환경과의 복잡한 상호작용 속에서 이루어진다는 것을 재확인한 것이다.

③ 동적 역량 이론의 실증

기술혁신 과정의 세대별 변화에 따라 Porter의 차별화 전략과 Wernerfelt의 자원 기반 관점(Resource-based view)이 주요 전략 이론으로 적용되었다. 두 이론은 특정 시점에서 정태적으로 경쟁 우위 분석에 초점을 두고 있다(허문구, 2018). 그러나 환경 변화가 기업에 미치는 영향이 커지면서, 기업이 보유한 자원이나 능력을 조율, 결합, 재구성할 수 있는 동적 역량(dynamic capability)이 사업의 성패를 좌우한다는 동적 역량 이론이 등장하였다(Teece, 2009). Teece의 동적 역량 구성 요소는 환경 감지(sensing), 기회 포착(seizing), 재구성(reconfiguring)이다. 파크시스템스가 다양한 학술회에 참가하여 산업에서 요구하는 기술에 대한 연구 동향을 파악하고, 사용자 요구에 맞는 최적의 솔루션을 제공하는 일련의 과정에 비추어봤을 때, 동적 역량 이론을 실증적으로 뒷받침하였다.

④ 기술 융합의 중요성

파크시스템스는 AFM의 구조적 한계를 해결하기 위해 광학계 현미경 전문 업체를 인수하여 AFM 기술을 한층 더 발전시키는 연구개발을 진행하는 것을 확인하였다. 이는 기술혁신이 단일 기술의 발전뿐만 아니라 다른 기술과의 융합을 통해 이루어질 수 있음을 보여주며, 기술 융합의 중요성을 입증한다.

⑤ 혁신의 경제적 가치 창출

파크시스템스가 글로벌 원자현미경 시장에서 주도권을 확보한 사례는 기술혁신이 시장 성과로 이어지는 과정을 보여준다. 이는 기술혁신 이론에서 중요하게 다루는 혁신의 경제적 가치 창출 측면을 실증적으로 뒷받침한다고 볼 수 있다.

이러한 근거를 바탕으로 기업이 환경 변화에 적응하며 지속해서 혁신하기 위한 동적 역량이 중요하며, 기술혁신 이론이 선형 모델을 넘어 다차원적이고 복합적이며 융합적 특성을 포함하는 더욱 포괄적인 모델로 확장되어야 함을 시사한다.

둘째, 본 연구는 나노기술 분야의 미래 발전 방향을 예측하는 데 시사점을 제공한다. 즉, 세계 시장을 석권한 파크시스템스의 계측 기술 발전 궤적을 살펴보고, AFM 기술의 진화가 물리학, 재료공학, 전자공학 등 다양한 분야의 지식이 융합되어 이루어졌음을 알 수 있었다(Haugstad, 2012). 그 결과, 나노기술 발전 방향을 예측하고 이러한 발전에 있어 학제 간 연구가 중요하다는 것을 확인하였다.

끝으로, 파크시스템스의 AFM 기술 진화 사례는 다양한 혁신 주체(기업, 대학, 공공연구기관 등)의 참여가 연구 성과 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 보여주었다. 또한 그들 간의 지식 교류와 협력이 혁신 성과로 이어질 수 있도록 지식 생태계 구축의 중요성을 확인했다. 그리고 중소기업도 지속적인 혁신을 통해 글로벌 시장에서 경쟁력을 가질 수 있음을 입증함으로써 국가 혁신 시스템 연구에 중요한 사례로 시사하는 바가 있다.

3.2.2 실무적 시사점

3.2.2.1 기업 측면

Christensen 교수는 '혁신가의 딜레마(Innovator's Dilemma)'를 통해 산업을 선도하는 혁신 기업이 현재의 시장과 고객에만 집착할 경우, 후발 기업과의 경쟁에서 패배할 수 있음을 경고하며, 기업은 관심을 버려야 한다고 설명한다(Christensen, 1997). 이러한 관점은 기업이 시장과 기술 독점력이 있는 원천 기술(제품 또는 서비스)을 개발하기 위해 사업 전략과 기술 전략이 결합한 기술 포트폴리오를 활용해야 함을 시사한다(이철원, 2009). 기술 포트폴리오에

의해 설명되는 매출 증대를 위한 세 가지 원천은 다음과 같다.

- 기존 사업에서의 관성적 성장
- 신시장 개척을 통한 성장
- 신제품 또는 새로운 사업 방식을 통한 성장

이러한 원천을 활용하여 파크시스템스의 비즈니스 전략을 구체화할 수 있다.

첫째, 반도체, 디스플레이, 하드디스크 산업에서 파크시스템스는 '슈퍼 을(乙)'로서 그 기술력을 인정받고 있다(조장우, 2022). 따라서 기존 기술(제품)의 지속적이고 점진적인 개발을 통해 제품 및 기술 수명 주기를 최대한 연장하는 방안으로 성장을 지속해야 한다. 그러나 파크시스템스 제품이 바이오산업에서 아직 입지를 다지지 못하는 상황이다. 이는 원자현미경 자체의 구조적 한계로 인해 바이오산업에서 요구하는 처리량을 맞추기 어려운 점에서 기인한다.

둘째, 파크시스템스는 산업에서 요구하는 사양에 대한 최적의 솔루션을 제공하여 바이오산업에서의 적용처를 확대할 수 있도록 기술 개발을 통해 신시장을 개척해야 한다. 마지막으로, 4차 산업혁명 시대가 도래하면서 산업 간 경계가 허물어지고 있으며, 기업들은 지속적인 경쟁 우위를 유지하기 위해 신성장 동력을 찾아 새로운 비즈니스 영역으로 범위를 넓혀야 한다(전상길, 2016). AFM 기술의 진화는 물리학, 재료공학, 전자공학 등 다양한 분야의 지식이 융합되어 발전하였음을 보여준다. 따라서 파크시스템스도 보유한 우수한 기술력을 바탕으로 다른 산업 기술과 융복합하여 새로운 시장을 개척하려는 노력이 필요하다.

이를 위해 원자현미경의 구조적 한계를 극복하기 위해 기업이 자체 연구·개발하기보다는 우수한 기업과의 M&A를 통한 효율적이고 효과적인 방안을 마련해야 한다. 예를 들어, 파크시스템스는 AFM과 광학 현미경을 결합하여 광학 현미경의 처리량을 확보

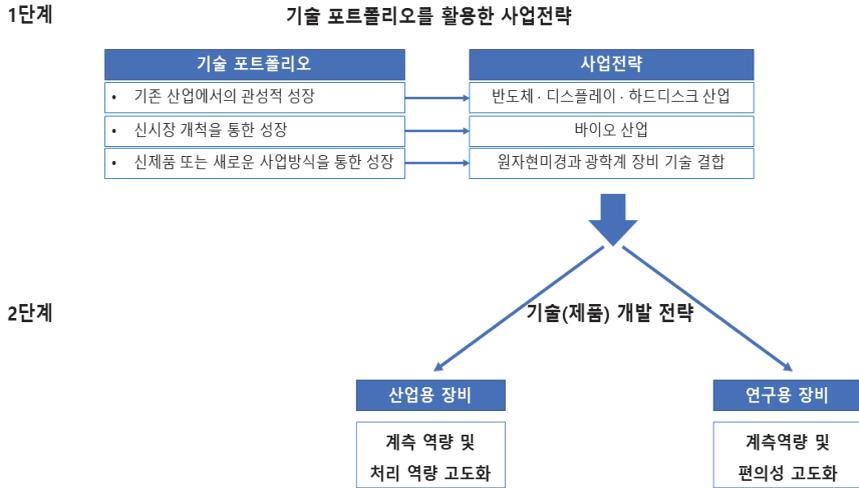
하면서 측정 범위 및 오차를 원자현미경 수준에 맞추는 기술 개발을 위해 독일 Accurion GmbH를 인수하였다(이나영, 2023). 또한 고도화된 간섭계 장비 개발을 위한 M&A가 논의 중이다.

이렇게 수립된 기술 포트폴리오에 대해 파크시스템스 AFM 기술 진화의 세 가지 차원을 활용하여 기술 및 제품에 대한 세부 전략을 수립할 수 있다. 파크시스템스 AFM 기술 진화의 세 가지 차원은 동시다발적으로 고도화하는 것이 이상적인 기술혁신 방법이다. 즉, 계측 역량의 고도화는 기존 기술의 정밀도와 성능을 지속해서 개선하는 것이며, 처리 역량의 강화는 새로운 기능과 응용 분야를 탐색하여 기술의 범위를 넓히는 것이다. 또한 편의성의 증대는 사용자 경험을 개선하여 기술 접근성을 높이는 방향으로 발전해야 현재 경쟁력을 유지하면서 미래 성장 동력을 확보할 수 있다.

그러나 기업이 가진 자원은 한계가 있으며 각 차원은 독립적인 의미를 갖지만, 상황에 따라 상호 영향을 미친다. 따라서 기업은 비즈니스 전략에 맞춰 세 가지 차원에 우선순위를 적용하여 구체적인 기술(또는 제품) 개발 전략을 수립할 수 있을 것이다.

먼저 계측 장비로서 계측 역량은 제품 신뢰성과 직결되는 가장 본원적인 요소이다. 따라서 계측 역량의 고도화는 기술(또는 제품) 전략에서 1순위로 다루어져야 한다. 그다음에는 기업의 비즈니스 영역을 '산업용 장비'와 '연구용 장비'로 구분하여 차별화 전략을 수립할 수 있다.

산업용 시장에서는 안전한 장비를 사용하여 생산성을 높이는 것이 무엇보다 중요하다. 이 생산성은 처리역량과 밀접하게 관련된다. Ando 교수 등은 단백질 분자의 구조와 기능 관찰 시 액체 내 검체를 이미지 처리할 수 있고 높은 공간 및 시간 해상도를 가지며 시료에 대한 침습성이 낮아야 한다고 강조하며 당시 AFM 기술에 대한 유용성을 인정하면서도 산업에서 요구하는 이미지 처리 속도를 맞추지 못해 생물학적



※ 저자에 의해 작성됨

〈그림 10〉 기술 포트폴리오를 활용한 사업 전략과 기술(제품) 개발 전략

연구에서 유용성이 제한되었음을 설명하였다(Ando et al., 2014). 또한 광학계와 원자현미경 결합 추진 M&A를 통해서도 처리 역량 고도화가 산업에서 중요한 요소임을 확인하였다.

반면 연구용 장비에서는 사용자의 편의성을 가장 중요한 요소로 인식하고 고객 요구 사항에 맞춰 기술(또는 제품)을 개발해야 한다. 결론적으로 파크시스템스의 향후 개발 방향은 산업용 장비에서는 계측 역량과 처리 역량을 고도화하고, 연구용 장비에서는 계측 역량과 편의성을 고도화하는 방향으로 진화해야 할 것이다(그림 10 참조).

3.2.2.2 정부 측면

한국은 일제의 침입과 한국전쟁으로 피폐해진 상황에서 정부 주도하에 재벌기업 중심의 경제 성장을 이룩하였다. 이러한 수출 주도형 경제 환경 속에서 재벌기업은 막대한 자금과 정부 지원책을 통해 기술력을 강화할 수 있었으나, 중소기업이 주로 담당했던 경공업 분야는 비용 절감을 위해 수입으로 대체되었다. 결과적으로 중소기업이 담당하던 시장은 후발 공업국

에 의해 잠식되고 해외 의존도가 높아지면서, 중소기업의 기술력은 고도화되지 못하고 대기업과 중소기업 간의 양극화 현상이 심화되었다(Kim, 1980).

정부는 이러한 양극화를 해소하기 위해 자금 지원, 인력 양성, 세제 혜택 등 다양한 지원 정책을 추진했다. 그럼에도 경제 성장은 여전히 대기업에 의해 주도되고 있으며, 핵심 요소가 대기업에 집중된 상황에서 중소기업은 소극적이고 의존적인 개선을 추구하는 데 그쳤다. 이는 중소기업이 적극적으로 혁신을 시도한 경험이 부족하다는 점에서 기인한다. 정부의 보완 정책도 중소기업 보호에 초점을 맞추고 있어, 지속적인 경쟁력 제고 방안보다는 단기적인 자금 압박 완화에 치중되고 있다(김종일, 2006). 이러한 이유로 중소기업의 혁신 역량은 축적되지 못했고, 대기업의 기술력이 첨단 산업을 선도하는 상황에서 양극화는 더욱 심화되었다. 또한 많은 기업이 원가 절감을 위해 생산 라인을 해외로 이전하는 경향을 보인다. 따라서 후발 주자의 역량이 증가하면 가치 사슬의 다른 부문도 해외로 나갈 가능성이 높아지므로, 한국 경제의 지속적인 성장을 위해서는 중소기업의

발전이 필수적이다(김종일, 2006).

이에 따라 중소기업 육성 정책은 단순한 자금 지원을 넘어 지속 가능한 성장의 기반을 마련하고 혁신 역량을 향상시키며, 빠르게 변화하는 기술 환경에 대응할 수 있는 유연한 인적 자원을 확보하는 것을 목표로 해야 한다. 이러한 정책은 인력 양성에 초점을 맞추어 장기적인 경쟁력 강화를 도모하는 효과적인 지원 방안으로 자리 잡아야 할 것이다.

3.2.3 연구의 한계 및 향후 연구 방향

본 연구는 선진 기업들이 기득권을 장악하고 있는 첨단 산업에서 국내 벤처기업이 후발 주자로 진입하였음에도 세계 시장을 석권할 수 있었던 경쟁력의 본질을 파악하고자 하였다. 이를 위해 국내 벤처기업인 파크시스템스의 사례를 분석하여, 사업화 전 과정에서 기업의 핵심역량이 기술력에 있음을 확인하였다.

본 연구는 기업의 기술혁신 진화 방향과 그 의미에 초점을 맞추어 진행되었다. 그러나 이러한 접근은 몇 가지 한계점을 내포하고 있다. 첫째, 기술의 진화를 가능하게 한 CEO의 리더십, 조직 구조 설계, 조직 문화 등 기술력 고도화를 뒷받침하는 다른 요인들에 대한 심층분석이 충분히 이루어지지 못했다. 둘째, 단일 기업 사례연구의 특성상 연구 결과의 일반화에 제약이 있을 수 있다. 셋째, 기술 진화의 장기적 영향과 지속가능성에 대한 평가가 제한적이었다.

따라서 향후 연구 방향은 다음과 같이 제안할 수 있다. 첫째, 환경 변화에 능동적으로 적응하면서 끊임없이 기술혁신을 이루어낸 조직 프로세스의 주요 영향 요인을 심층적으로 분석할 필요가 있다. 이는 리더십 스타일, 의사결정 구조, 혁신 문화 조성 방식 등을 포함할 수 있다. 둘째, 다양한 산업 분야의 후발 주자 성공 사례를 비교 분석하여 연구 결과의 일반화 가능성을 높일 수 있을 것이다. 셋째, 기술 진화가 기업의 장기적 성과와 산업 생태계에 미치는 영향을

종단적으로 연구할 필요가 있다. 이를 통해 지속 가능한 기술혁신 전략 수립에 기여할 수 있을 것이다.

이러한 후속 연구를 통해 첨단 산업에서의 후발 주자 성공 전략에 대한 더 포괄적이고 심도 있는 이해를 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Ando, T., Uchihashi, T., and Scheuring, S.(2014), "Filming Biomolecular Processes by High-Speed Atomic Force Microscopy," *Chemical Reviews*, 114(6), pp.3120-3188.
- Christensen, C. M.(1997), "The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail," Boston, MA, Harvard Business School Press.
- David J. Teece(2009), "Dynamic Capabilities & Strategic management," Oxford Unvercity Press.
- Hansen, W. S., and Bhushan, B.(2006), "Measurement and mechanism of pole tip recession with advanced metal evaporated tape at low tension in a linear tape drive," *Microsystem Technologies*, 12(3), pp.193-203.
- Haugstad, G.(2012), "Atomic Force Microscopy: Understanding Basic Modes and Advanced Applications," John Willey&Sons Incorporated.
- Kim, L. S.(1980), "Stages of Development of Industrial Technology in a Developing Country: A Model," *In Research Policy*, 9(3), pp.254-277.
- Kulkarni, A. V., Chilamakuri, S. K., Gupta, B. K., and Menon, A.(2000), "Pole Tip Recession (PTR) measurements with high accuracy, precision, and throughput," *IEEE Transactions on Magnetism*, 36(5), pp.2736-2738.

QYResearch.(2024), "Global atomic force microscopy (AFM) market report".
Roy Rothwell.(1992), "Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s," *R&D Management*, 22, 3, pp.221-239.

국내참고문헌

- 강경래(2023), "원자현미경은 반도체 공정 핵심...글로벌시장 넘볼 것," **파이낸셜뉴스**, 2023년 6월 4일.
- 강경래(2024), "파크시스템스, 2년 연속 글로벌 원자현미경 선두," **파이낸셜뉴스**, 2024년 3월 15일.
- 고재연(2020), "박상일 파크시스템스 대표 "글로벌 반도체 社 모두 우리 고객"," **한국경제**, 2020년 8월 19일.
- 구혜린(2023), "퀀텀점프 2023, 파크시스템스, 자회사 아큐리온 활용 플랜 가동," **더벨**, 2023년 2월 20일.
- 김기훈(2023), "반도체 미래기술 로드맵으로 메모리·비메모리 균형 발전 기대," **연합뉴스**, 2023년 5월 9일.
- 김종일(2006), "대·중소기업 간 격차 완화 - 중소기업의 혁신역량 강화가 근본 해법," **나라경제**, 제3월호, pp.21-24.
- 배현기(2021), "미세화가 될수록 타겟시장이 커진다," **삼성증권**, 2021년 2월 23일.
- 안기현(2024), "세계는 왜 K-반도체를 원하는가," **한양대 ERICA 특강자료**, 2024년 4월 3일.
- 유상영(2019), "과학기술 발전-산업 성장, 측정기술 발전에 달렸다," **HelloDD**, 2019년 5월 7일.
- 이나영(2023), "파크시스템스, 독일 아큐리온 인수 시너지 효과 기대," **뉴스핌**, 2023년 12월 18일.
- 이병현, 강원진(2009), "연구기반 스피노프의 성장 과정 및 성공요인에 관한 사례연구, (주)아이센스 사례," **Korea Business Review**, 제13권, 제1호, pp.55-78.
- 이상재, 고석현(2023), "韓 종합반도체 강국돼야...공학한림원, 싱크탱크 역할 하겠다," **중앙일보**, 2023년 3월 8일.
- 이정동(2021), "한국의 기술로 열어가는 원자현미경의 세계," **중앙일보**, 2021년 7월 5일.
- 이철원(2009), "기술 로드맵 작성, 쏠부서 참여하라," **동아비즈니스리뷰**, 45호, pp.34-38.
- 이혜성(2022), "전량 수입하던 첨단 현미경 '강소기업 3형제'가 국산화 앞장," **한국경제**, 2022년 12월 2일.
- 이홍, 한재민(1999), "현대자동차 성장의 진화적 경로," **Korea Business Education Review**, 제3권, 제3호, pp.81-104.
- 이홍, 전상길(2023), "실패하는 비즈니스에는 이유가 있다," 삼성글로벌리서치.
- 전상길(2016), "창조경영을 위한 인적자원관리, 길을 묻다," 도서출판 창명.
- 조장우(2022), "반도체업계 '슈퍼올' 한국에도 있다, 원자현미경 세계2위 파크시스템스," **Business Post**, 2022년 11월 27일.
- 최원석(2023), "세상을 바꾼 사물의 과학 2," 궁리.
- 파크시스템스(2015), "투자설명서," 전자공시시스템(DART), <https://dart.fss.or.kr/dsaf001/main.do?rcpNo=20151208000179>
- 파크시스템스(2023), "사업보고서," 전자공시시스템(DART), <https://dart.fss.or.kr/dsaf001/main.do?rcpNo=20240320001581>
- 허문구(2018), "한국기업의 경쟁력 강화 방안: 동적 역량 관점," **Korea Business Review**, 제22권, 제2호, 155-175.
- 허용석(2022), "기술혁신 경영전략의 이론과 활용," 영남대학교 출판부.
- 흑두루미(2022), "(반도체)ONTO_로직항 OCD 수요 증가," 네이버 블로그, 2022년 10월 22일. <https://blog.naver.com/hokdooroomi/222906890539>

Three Dimensions and Implications of Atomic Force Microscopy (AFM) Technology Evolution: Focusing on the Case of Park Systems Corp.*

Jeong Hyeon Lee** · Sang Gil Jeon***

Abstract

The purpose of this study is, first, to identify the unique competitive advantage that allowed domestic venture companies to lead the market despite entering the industry as latecomers. Secondly, it is to inductively examine what technical efforts and countermeasures are necessary for technology venture companies to grow in the future. After conducting an in-depth analysis of the entire dynamic process of corporate commercialization, the method proceeded by analyzing the corporate technology innovation process to identify the key elements of technological innovation. According to the case analysis, the main reason the company was able to dominate the global market was its 'technological prowess.' It was confirmed that the company has continuously engaged in research and development for technological innovation even in the face of internal and external crises. And it was confirmed that the AFM technological innovation focused on the development of key elements (accuracy, visualization, speed, throughput, automation, compatibility). This key element has driven the evolution of AFM technology in three dimensions: measurement capability, processing capability, and convenience. Companies can design business strategies and product development strategies by leveraging the three dimensions of AFM technology evolution to combine their technology portfolio with a multidimensional technology evolution model. Additionally, the results of the corporate analysis highlighted the importance of establishing a virtuous cycle of technological innovation through continuous research and development, the development of solutions that meet industry demands, and collaboration with leading companies, thereby providing direction for the formulation of growth strategies.

Key Words: Technology Evolution, Nano-Measuring Equipment, Semiconductor Equipment Industry, Atomic Force Microscopy(AFM), Park Systems

* Revised from the presentation at the 26th Korean Academic Society of Business Administration (KASBA) Conference (Korean Strategic Management Society) on August 12, 2024

** Ph.D. Candidate, Management Consulting in Graduate School, Hanyang University, First Author

*** Professor, College of Business & Economics, Hanyang University ERICA, Corresponding Author