

# 공작기계 및 산업 혁신 연구의 체계적 고찰과 시사점

곽기호, 김희태, 최진철, 오승훈

- ❶ 서론
- ❷ 조사 방법
- ❸ 공작기계 기술·산업 혁신 연구
- ❹ 결론 및 시사점



# 공작기계 및 산업 혁신 연구의 체계적 고찰과 시사점

곽기호, 김희태, 최진철, 오승훈

- ❶ 서론 / 1
- ❷ 조사 방법 / 2
- ❸ 공작기계 기술·산업 혁신 연구 / 4
- ❹ 결론 및 시사점 / 65

※ 본 자료는 곽기호(부경대 기술경영전문대학원) 교수의 원고를 기반으로 작성함

## 기계기술정책 원문 찾아보기

- ☐ 한국기계연구원 홈페이지-새소식-기계기술정책
- ☐ 웹페이지 : [https://www.kimm.re.kr/pr\\_policy](https://www.kimm.re.kr/pr_policy)

※ 웹페이지에서 다운로드 시, 정기구독을 신청하시면 이메일로 받아보실 수 있습니다.



## SUMMARY

- 본고는 경영·혁신 연구 분야 SSCI 학술지에 게재된 공작기계기술·산업 연구를 SLR(Systematic Literature Review) 방법으로 고찰하고 시사점을 도출함
  - SLR 방법론은 연구 문제에 대한 문헌을 포괄적으로 고찰하여 연구 결과를 제시하는 방법론 중 하나로, 편향적이지 않은 양적 연구를 수행할 수 있음
    - 1990~2021년에 게재된 미국, 일본, 독일 등을 분석한 논문 26편을 요약·정리
- 논문 게재 시점을 기준으로 공작기계산업의 역사와 혁신, 패러다임의 전환 등을 시간의 흐름에 따라 분석함으로써 우리산업에 제언하고자 하는 시사점을 도출함
  - (1990년대) 미국, 독일, 일본 등 공작기계산업을 선도한 국가를 분석함
    - 일본이 공작기계산업에서 미국을 추월하는 과정, 산업 내 지식재산권과 생산성·매출의 상관관계에 관한 연구가 수행됨
  - (2000년대) 미국·독일 공작기계기업의 성과에 영향을 미치는 요인(R&D 집약, 특허)과 CNC 관련 주요국의 혁신 및 기술 추격 실패 사례를 분석함
    - 일본·대만의 기술혁신 과정을 아키텍처 이론으로 분석하고, 미국 공작기계산업의 쇠퇴와 영국의 혁신 확산 등을 분석함
  - (2010년대) 중국의 성장, 일본의 전략적 혁신과 기술 진화 과정을 살펴보고, 스페인의 상호이익을 위한 경쟁기업 간 혁신 사례를 분석함
    - 공작기계·CNC를 대표하는 일본 사례를 탐험, 활용역량의 관점과 기술 진화로 설명하고, 글로벌 기업과의 경쟁을 통해 기술역량을 확보한 중국 사례를 분석함
  - (2020년대) 기술 융합, 기회의 창, 탄력성, 네트워크 분석, 산업성숙도 모델 등 다양한 경영·혁신 이론을 공작기계산업에 적용함
    - 유럽 내 중소기업에 특화된 연구모델을 개발하고, 네트워크 분석을 통해 기술 융합을 해석하는 등 공작기계산업의 발전을 이해하려는 노력이 다각화됨
- 공작기계기술·산업 분야 혁신 연구 동향을 이해하고 학습함으로써 정책 역량을 강화하고 정책 활동의 효과성을 높여 우리 기계산업의 강건성을 제고할 수 있음



## 1. 서론

- 본고는 혁신연구 분야 SSCI 학술지에 게재된 공작기계기술·산업 연구를 SLR (Systematic Literature Review) 방법으로 고찰하고 시사점을 도출하고자 함
  - 본 연구결과를 공작기계산업 종사자의 산업 및 혁신에 대한 학습자료로 활용하고, 정부 정책 개발의 질적 제고 및 국가 어젠다 발굴에 활용할 수 있음
- 기계기술·산업의 혁신 연구는 매년 꾸준히 논문이 게재되며 연구가 활발하게 진행 중이며, 특히 공작기계 분야는 타 업종 대비 많은 선행연구가 있음
  - SLR 방법론을 토대로 SSCI 논문을 조사한 결과, 1990년 이후 기계산업 혁신 관련 논문이 연평균 1.4편 발간되며 학술적으로 꾸준히 진행됨
    - \* 산업을 체계적으로 고찰하는 방법론으로 2장 조사 방법에서 상세히 설명함
    - 1990~2022년에 총 46편 게재되었으며, 2001년에 5편 발간된 이후 2020년에 다시 5편 발간되며 최근 학술적 관심도가 다시 높아지고 있음을 확인함
  - 특히, 공작기계는 기계를 만드는 기계(Mother Machine)라는 특성을 가지기 때문에 특히 더 많은 관심을 받으며 타 업종 대비 많은 편수의 논문이 게재됨
    - 건설기계, 반도체·디스플레이장비 등 타 업종은 공작기계를 활용하여 생산됨

〈표 1〉 업종별 기계기술·산업 혁신 연구 논문 게재 현황

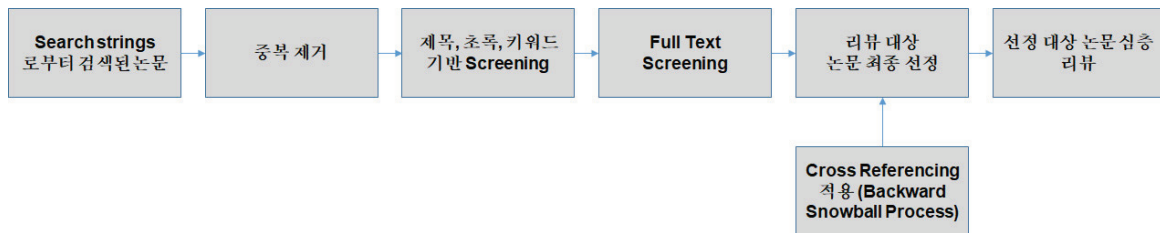
| 업종      | 편수 | 업종                        | 편수 |
|---------|----|---------------------------|----|
| 공작기계    | 26 | 광산기계                      | 1  |
| 기계산업 전반 | 8  | 가스터빈                      | 1  |
| 반디장비    | 3  | 섬유기계                      | 1  |
| 건설기계    | 3  | 의료기기 및 관련 연구 장비           | 1  |
| 플랜트     | 2  | 기타 (농기계, 금형, 베어링, 압축기 각각) | 1  |

- 본 연구는 선행연구에 대한 기술적 분석을 통해 공작기계산업의 중요성을 확인 하였기에 논문 고찰을 통해 산업혁신 역량 제고를 위한 시사점을 도출하고자 함
  - SSIC 논문 고찰을 통해 공작기계를 주로 연구한 국가·기관 등 다양한 부분의 정보와 동향을 파악하여, 과거와 현재의 산업혁신 동향을 파악하고자 함
    - 기술분석 결과 공작기계 이외 타 업종은 공작기계산업보다 혁신 관련 연구가 많지 않으므로 선행 연구가 풍부한 공작기계산업을 중심으로 연구를 수행함

## 2. 조사 방법

□ 혁신연구 분야 학술지에 게재된 기계기술·산업 연구의 체계적 고찰(SLR)과 시사점 도출을 통해 기계기술 정책 수립 고도화 방안 모색

○ 선정한 논문에 대한 분석은 연구의 배경과 필요성(서론), 연구 문제와 이론적 배경, 연구방법론과 자료, 연구 결과, 연구의 시사점 순으로 정리함



<그림 1> Systematic Literature Review Process

○ SLR 방법론은 연구 문제에 대한 문헌을 포괄적으로 고찰하여 연구 결과를 제시하는 방법론 중 하나로, 편향적이지 않은 양적 연구를 수행할 수 있음

\* SLR(Systematic Literature Review)의 절차는 ① 검색어를 지정하여 제목 기반의 관련 문헌 검색, ② 중복 제거, ③ 제목 및 초록 기반 스크리닝, ④ 전체 내용 기반 스크리닝, ⑤ 각 문헌의 참고문헌에서 유의미한 문헌 추가 발굴, ⑥ 선정 논문 심층 고찰

- 관련된 연구를 모두 분석한다는 점에서(안은진·강현, 2018), 연구 흐름에 대한 구체적인 정보 제시 외에도 양적 연구 수행 시 발생할 수 있는 편향적인 문헌 리뷰의 한계를 극복할 수 있음(Liberati et al., 2009; White and Schmidt, 2005)

- 분야 및 성숙도(성숙, 부상)와 무관하게 광범위하게 적용 가능(안은진·강현, 2018; 장미화·탁진국, 2019; 조운성·홍아정, 2019; Suppatvech et al., 2019)

- 연구의 질적 수준 확보를 위해 SSCI 저널 중 영문 논문만 선정하고, SLR의 시의 적절성을 확보하기 위해 1990~2022년에 발간·게재 승인된 논문만 분석함

\* Research Policy, Technovation, Technological Forecasting and Social Change, Strategic Management Journal, R&D Management, Journal of Management Studies 등 주요 저널 확인

○ 문헌 발굴을 위한 검색어는 기계기술·산업과 혁신·경영 관련 키워드 조합

- (기계기술·산업) 전반적인 기계산업과 세부산업에 대한 연구를 포괄하기 위해 통계청의 한국표준산업분류(KSIC)의 업종명을 활용함

\* 광범위한 응용 분야를 갖는 산업용 로봇(Industrial Robot)과 적층제조(3D Printing, Additive Manufacturing)는 초기 단계임을 고려하여 제외

- (혁신·경영) 제조업의 서비스화 등 세부 이슈는 제외하고, 기계기술·산업 전반의 혁신 활동을 이해하는 데 도움을 줄 수 있는 문헌 발굴
  - 정책 연구를 위해 심층 분석 단계에서 기계산업 맥락, 기고문, 이론 검토, 연구 방법, 데이터 분석 관점에서 질적 평가 기준 적용
  - 또한, 기계기술·산업에 대한 SLR 방법의 적용은 초기 단계인 점을 고려하여, 메타분석을 수행한 논문은 연구 대상에서 제외하고 양·질적 실증 연구로 한정
- 연구결과를 공작기계산업 종사자의 산업 및 혁신에 대한 학습자료로 활용하고, 정부 정책 개발의 질적 제고 및 국가 어젠다 발굴에 활용할 수 있음
- 시간의 흐름에 따라 선행연구를 정리함으로써, 공작기계산업의 혁신 동향의 변화를 이해할 수 있음

<표 2> 기계기술·산업 및 혁신 연구 문헌 발굴을 위한 검색어

| 구분        | 기타  | 기계산업 (Or)  |     | 혁신, 경영 (Or) |
|-----------|-----|--|-----|-------------|
| 기계산업 총괄   |     | Machinery Industry   | And | Innovation  |
| 세부산업      |     |  |     |             |
| KSIC 2911 | 플랜트 | internal combustion, turbine                                     |     |             |
| KSIC 2912 |     | fluid power equipment  |     |             |
| KSIC 2913 | 플랜트 | pump, compressor, valve  |     |             |
| KSIC 2914 |     | bearing, gear  |     |             |
| KSIC 2915 |     | industrial ovens, furnaces, burners                              |     |             |
| KSIC 2916 |     | work trucks, lifting, handling equipment                         |     | Management  |
| KSIC 2917 | 플랜트 | refrigerating, air conditioning, filtering, distilling equipment |     |             |
| KSIC 2921 |     | agricultural, forestry equipment                                 |     |             |
| KSIC 2922 |     | metal forming, machine tools                                     |     |             |
| KSIC 2923 |     | metal casting  |     |             |
| KSIC 2924 |     | construction equipment   |     |             |
| KSIC 2925 |     | food, beverage, tobacco processing                               |     |             |
| KSIC 2926 |     | textile equipment  |     |             |
| KSIC 2927 |     | semiconductor, display equipment                                 |     |             |



### 3. 공작기계 기술·산업 혁신 연구

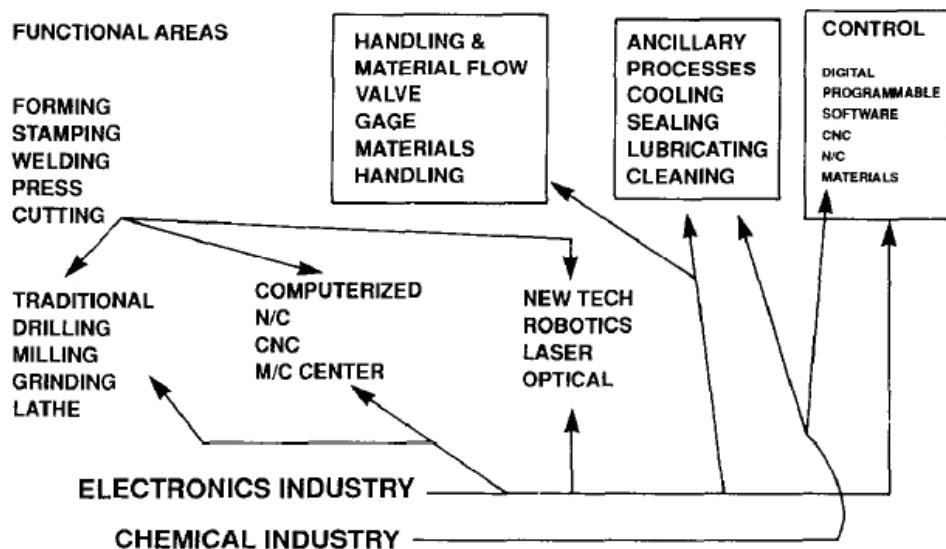
- 1** Chakrabarti, A.K., 1990. Innovation and productivity: An analysis of the chemical, textiles and machine tool industries in the U.S. Res. Policy 19, 257~269.

#### □ 개요

- 미국 공작기계산업의 1967~1983년 혁신 활동(논문 출판)과 생산성(노동 시간당 생산량) 증가 간 관계 분석 결과, 혁신 활동 증가에도 불구하고 생산성 감소
  - 특히 소기업은 특수목적 제품을 노동집약적으로 생산하여, 생산성에 부정적
- 공작기계 수요의 주기적 변동이 생산성 감소를 촉진하며, 시장에서의 경쟁 심화로 인해 높은 임금이 가격에 적절히 반영되지 못하는 점을 확인함

#### □ 연구 맥락: 공작기계 혁신에 대한 이해

- 기능 영역(Forming, Stamping, Welding, Pressing, Cutting)이 발생하며, CNC, 로봇틱스, 레이저, 광학기술 발전, 관련 소재 Handling and Flow 기술에 주목
  - 전자산업의 마이크로프로세서 발달



<그림 2> 공작기계 혁신에 대한 이해

## □ 주요 연구결과

- 미국 공작기계산업의 혁신 활동은 Forming을 제외하고 모두 증가
  - 1960년대와 비교했을 때 1980년대 혁신은 거의 두 배가 됨

〈표 3〉 미국 공작기계산업의 혁신 활동(1967~1982년)

| 기능별 종류      | 연간 혁신의 수   |            |            |
|-------------|------------|------------|------------|
|             | 1967~1973년 | 1974~1979년 | 1980~1982년 |
| Cutting     | 64.95      | 65.66      | 152.25     |
| Forming     | 76.57      | 37.00      | 44.00      |
| Stamping    | 18.14      | 17.00      | 23.50      |
| Welding     | 6.00       | 9.50       | 16.25      |
| Press       | 3.71       | 5.00       | 3.25       |
| 기능성 기계 합    | 169.37     | 134.16     | 239.25     |
| 기타(그 외의 기계) | 88.85      | 248.33     | 356.75     |
| 총합          | 258.22     | 382.49     | 596.00     |

- 1970년대 시작된 CNC 혁신, 1980년대 컴퓨터화된 절삭공구에서 NC 혁신을 대체: 제어기술, 소프트웨어 혁신에 대한 막대한 파급효과
- 가공기술 혁신에 따라 윤활유, 세정, 냉각, Sealing 등의 보완 기술(Ancillary Process)의 동반 성장 확인
- 혁신 활동의 증가에도 공작기계산업은 1973년 이후 생산성이 마이너스 성장
  - (1967-1972) 2.39%, (1973-1979) -0.33%, (1980-1983) -2.26%

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 미국 공작기계산업은 앞서 살펴본 기술혁신을 기반으로 제품 차별화(새로운 기능 부가)를 시도하였으나, 일본 및 독일 대비 경쟁우위 확보에는 실패
  - 제어기술 혁신이 신규 시장 창출할 것으로 기대했으나 기존 장비에 부착·활용하는 형태로 CNC 수요가 발생하면서 신시장 창출에 한계

- 공작기계 시장 수요의 주기성은 불가피하므로, 이를 반영한 고용 전략이 필요
  - 미국 공작기계산업은 다수의 소기업이 지배하는 산업으로 특수목적용 기계를 노동집약적으로 생산하기 때문에 생산성 향상에는 부정적
- 1980년대의 높은 달러 가치가 미국의 경쟁력에 악영향을 미침
- 기술개발 활성화를 위한 정부의 역할이 중요하며, 대학과 기업은 미래 기술 기회 창출을 위해 기초연구에 매진해야 함

## **2** Vitali, G., 1990. Determinants of international trade of machine tools during the eighties: a shift-share analysis. *Technovation* 10, 507~519.

### **□ 개요**

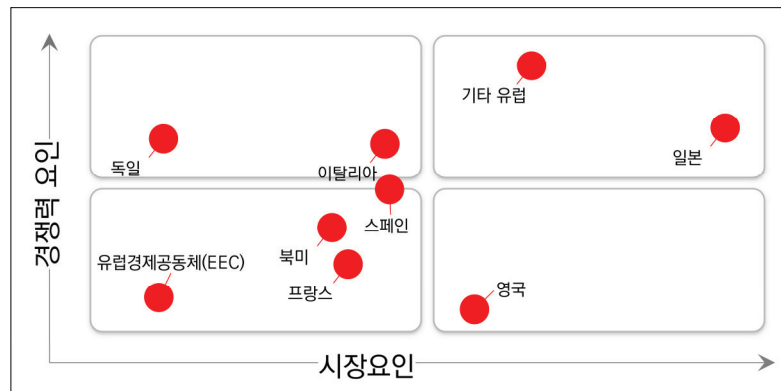
- Shift-share analysis(변이할당분석)라는 무역경쟁력 분해 분석 기법을 사용하여 미국, 일본, 유럽 공작기계산업의 수출 성과 분석
  - 수출 성과를 세계 시장 요인, 특정 시장 요인, 고유 경쟁력 요인으로 분해
    - \* 광기호, 오승훈, 김원준(2012) 및 Cheptea et al.(2014)의 CMS 분석 참고
  - 1981~1987년 공작기계산업 교역 자료 활용, 수출 유형을 OECD 국가 대상과 Non-OECD 국가 대상으로 분류
- 일본은 특정 시장 요인과 고유 경쟁력 요인 모두에서 성과가 두드러지지만, 이탈리아와 독일(이상 유럽)은 고유 경쟁력 요인에서 수출 증가 원인 확인

### **□ 연구 맥락: 1980년대 CNC 기술 발전에 따른 공작기계산업의 중요성 부각**

### **□ 주요 연구결과**

- 1980년대 초중반 미국 공작기계산업의 회복 확인
  - 회복 요인: 달러 가치 하락(엔화, 마르크화 대비), 대만·일본을 상대로 한 자율규제협정(Voluntary Restraint Agreement, VRA), 공작기계산업 수출에 대한 정부 지원, 국방 산업에서의 중요성 인지, 미국 기업들의 구조조정 등

- 일본 공작기계산업의 경쟁우위로 대기업, 높은 수준의 R&D 투자, 기술혁신의 빠른 확산, 산업 가치사슬의 수직적 통합 등에 따른 신속한 기술사업화를 꼽음
  - 이에 따라 일본 공작기계산업은 CNC를 효과적으로 채택하여 빠르게 성장
- 반면, 유럽은 시장 성장률이 정체된 선진국 시장에 집중, 작은 기업 규모로 인한 문제에 직면함



<그림 3> 공작기계 수출경쟁력 분석

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 1980년대에 CNC 도입·확산으로 공작기계 혁신에 관한 관심이 매우 증가
- 1980년대에 이미 대만 공작기계산업은 미국의 견제에 직면(VRA 적용)

**3** Davies, H., 1993. The information content of technology transfers: a transactions cost analysis of the machine tool industry. *Technovation* 13, 93~100.

#### □ 개요

- 미국, 일본, 독일 공작기계산업의 혁신 관련 내부화하는 기술과 라이선싱하는 기술 간 보유 정보 특성의 차이를 확인
  - 상업적 가치가 있는 지식 소유 시, 이를 (1) 기업 내부적으로 소유할지, (2) 라이선싱 등의 형태로 타기관에 이전할지 전략적 의사결정 필요
- 설문으로 204건의 기술이전(in/out-wards) 및 내부화 관련 자료를 수집·연구

## □ 주요 연구결과 (연구가설별)

- (가설 1) ‘핵심기술일수록 내부화할 것’이라는 가설은 내부화 기술이 다소 높지만, 통계적으로 유의하지 않음
- (가설 2) ‘복잡한 기술일수록 내부화할 것’이라는 가설은 라이선스 기술과 내부화 기술 간 통계적으로 유의한 차이 없음
  - 기술이전 수혜자는 유의 수준 10%에서 통계적으로 유의한 차이가 있었으나, 기술 제공자는 통계적으로 유의한 차이 없음
- (가설 3) ‘문서화하기 쉬운 기술일수록 라이선싱할 것’이라는 가설은 문서화가 쉽고 꾸준한 업데이트가 필요한 엔지니어링에 대한 라이선싱이 현저히 많음
- (가설 4) ‘다양한 팀이 개발에 참여한 기술일수록 내부화할 것’이라는 가설은 3개 이상 분야를 융합한 기술일수록 높은 내부화 경향 확인(통계적으로 유의)
- (가설 5) ‘기술의 암묵적 특성이 강할수록 내부화할 것’이라는 가설은 특허가 라이선싱 형태로 더 많이 이전되며, 인력·장비에 내재된 기술 정보는 이전이 어렵고, 내부화 경향도 강함
- (가설 6) ‘라이선싱 기술은 형식지의 패키징 강도가 약하다(종합패키지는 이전이 어렵다)’는 가설에 대해 통계적 유의한 차이 미확인
  - 라이선싱 기술은 한정형(limited) 중심, 내부화 기술은 종합형 중심
  - 패키징 대상: 특허, 디자인, 기술 사양, 도면, 인력 파견, 제품 예시, 생산장비 등
- (가설 7) ‘완제품 관련 기술 거래는 CNC, 부품, 공정 등에 비해 라이선싱이 유리하다’는 가설은 통계적으로 유의한 차이 확인
  - 부품에 대한 기술가치 평가보다 완성된 기계의 성능평가가 용이함
  - 부분 기술은 기술 공급자와 수요자 간 긴밀한 협력이 필요하므로 내부화가 유리

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 공작기계 기술이 가지는 정보 특성에 따른 라이선싱과 내부화 경향이 구분됨
- 라이선싱은 엔지니어링 지식, 완제품, 특허, 형식지가 더 효과적 → 기술사업화 성과 창출을 위해 특허 패키지의 중요성 재확인



- 4** Ernst, H., 1995. Patenting strategies in the German mechanical engineering industry and their relationship to company performance. *Technovation* 15, 225~240.

#### □ 개요

- 독일 공작기계산업 내 50개 기업의 특허 활동의 유형과 경제적 성과 간 상관관계 분석
  - 클러스터 분석 기반 4가지 유형 확인: ① 선택적 특허 출원, ② 성공적이지 못한 특허 출원, ③ 국제적으로 매우 활발한 출원, ④ 유효 특허 중심 출원
    - \* 6대 특허 지표 기준 50개 기업을 4개 클러스터로 구분
  - 특허를 활발히 하는 기업(국제출원, 유효 특허 비율, 피인용 특허)이 경제적 성과가 우수함
- 특허를 발명 활동의 지표로 사용, 당시 부족했던 특허 성과와 경제적 성과 간 상관관계를 분석함

#### □ 연구 맥락

- 독일 기계산업은 독일 전체 특허 활동의 25%를 차지함
- 독일 기계산업 중에서도 특정 기업의 특허 행위가 타 기업의 특허 행위에 영향을 미치는 관점에서 공작기계산업 선택
  - 산업 선정의 3가지 조건: ① 기술이 기업 경쟁력에 큰 영향을 미치는 산업, ② 특허 행위에서 국가 간 차이 발생, ③ 특정 기업의 특허 행위가 타 기업의 특허 행위에 영향을 미치는 산업

#### □ 주요 연구결과

- 3대 경제적 성과 지표(상대적 매출성장률(성장성), 종업원 1인당 상대적 매출(수익성), 종업원 1인당 상대적 매출성장률(혁신성))를 활용함
- ③, ④번 클러스터(Group 2)가 ①, ②번 클러스터(Group 1)보다 성과 우위 확인

## 6대 특허 지표

- ① 전반적인 국가 특허 출원 수준
  - 평균 특허 활동 대비 비교 우위: 독일 자국 내 특허
  - 종업원 1인당 특허 출원 수
- ② 특허 등록/출원 비율
  - 출원 특허 대비 등록 특허 비중으로 측정
- ③ 유효 특허: 등록 후 등록비를 계속 납부하는 특허
  - 경제적 가치가 유지비용보다 크기에 등록 유지(특허의 경제적 중요성)
  - 전체 등록 특허 대비 등록비 납부 특허 중으로 측정
- ④ 유럽특허청 특허 출원
- ⑤ 특허 피인용
- ⑥ 특정 IPC 4단위(subclass) 특허 집중도: 엔트로피 지수 평균이 낮을수록 소수의 4단위에 집중됨

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 특허 성과와 경제적 성과 간 양의 상관관계 확인하였으며, 특허
  - 특허 특정 4단위에 집중된 ③번 클러스터 강조
  - 선택적 특허 출원(①번 클러스터)에서는 유의미한 성과 확인이 어려움
- 특허 지표와 경제적 성과 지표 간 매칭 확인
  - 유효 특허(지표 ③): 상대적 매출성장률에 긍정적 영향(특허 보호기간의 장기화에 따른 경제적 가치 창출)
  - 유럽특허청 특허 출원(지표 ④): 3가지 경제적 성과 모두에 긍정적 영향
  - 특허 피인용(지표 ⑤): 상대적 매출성장률 및 종업원 1인당 상대적 매출성장률(혁신성 지표)에 긍정적 영향

5

Kotha, S., Nair, A., 1995. Strategy and environment as determinants of performance: evidence from the Japanese machine tool industry. *Strateg. Manag. J.* 16, 497~518.

## □ 개요

- 일본 공작기계산업을 대상으로 1979~1992년 사이 25개 일본공작기계 기업 데이터 활용 환경과 전략이 기업 성과에 미친 영향 분석

- 미국 기업 중심, 횡단면 연구, '전략'만을 기업 성과의 선행 변수로 고려한 기존 연구 한계 극복

## □ 연구 맥락

- 당시 일본 공작기계산업은 일본 기업의 역량을 대표할만한 사례로 주목
- 공작기계산업의 시장 규모는 상대적으로 작지만, 선진국 제조업 성장의 핵심
- 특히, CNC 기술의 등장으로 기술적 환경 변화가 기업 성과에 미치는 영향을 연구하기에 적절함

## □ 주요 연구결과

- 전략 변수보다는 환경 변수가 종속변수에 미치는 영향이 더 큼
  - 자동차 등 전방산업의 성장, 우수한 금융자원 조달 환경, 정부의 공작기계산업 환경 규제 등이 일본 공작기계산업 성장에 중요한 역할
  - 결국, 성과 창출 제고를 위해 환경·전략 변수 모두 효과적으로 활용해야 함

### 전략 변수 4가지

(1) 비용 효율성: 매출원가/매출(가설 6, 긍정적)

(2) 자본 집약도와 자본 지출(가설 7, 수익성에는 부정적, 매출 성장에는 긍정적)

- 자본 집약도 및 자본지출의 증가는 설비의 현대화를 의미함
- 그러나 산업재는 고객 맞춤형 제품 특성과 그에 따른 특정 제품 세그먼트가 소규모인 특성으로 인해 수익성 제고에는 부정적

(3) 차별화: 매출액 대비 광고비(가설 8, 부정적)

- 산업재는 직판이 효과적(광고 필요성 낮음)이며, 협상 기반의 거래를 함
- 광고의 역할은 제품에 대한 인지도 및 평판 제고

(4) 규모와 범위: 수출 비중 및 시장 점유율(가설 9, 긍정적)

## 환경 변수 5가지

- (1) 자원이용도: GNP 변화량, 전방산업 성장 관점에서 이해(가설 1, 긍정적)
- (2) 산업집중도: HHI 지수, 상위 4개 기업 (가설 2, 부정적)
- 1960년대 일본 공작기계산업은 소규모 가족기업이었으나, 이후 경제산업성 주도로 기업 간 합병, 제품 표준화, 생산라인 축소를 통해 산업집중도 증가
  - 공작기계 기업의 가격 결정권 확대 → 수익성 강화
- (3) 기술 변화: 연도별 CNC 공작기계 생산 비율(가설 3, 부정적)
- 새롭고 복잡한 지식의 습득 요구, 기업 간 경쟁 심화, R&D 투자 및 경쟁 확대
  - 대규모의 새로운 자산 투자 요구, 시장 철수 장벽이 높아 기업의 어려움 심화
- (4) 자율규제협정(Voluntary Restraint Agreement) 적용 여부(가설 4, 부정적)
- (VRA) 당시 일본은 저가-중저가 제품 중심으로 미국 시장 침투
  - \* 미국의 판매량 제한 요구: 시장 점유율 기준 17.5% 미만만 확보 가능, 일본의 동의(1986년)
  - :수출량 감소, 새로운 해외 시장 탐색 및 프로모션 비용 증가, 자국 내 경쟁 증가
- (5) 경쟁적 상호의존성: 수입제품의 시장 침투 정도(가설 5, 부정적)
- 수입의 증가는 해외 경쟁자와 국내 수요기업간 상호의존성 심화를 의미하며, 해외 공급사와 국내 수요기업간 상호의존성 심화는 일본기업 성과에 부정적
  - 0과 1 사이의 값을 가지며, 수입 비중이 높을수록 0, 낮을수록 1에 가까움

○ 종속변수는 영업이익률, 매출액 변화량 등 2개의 경제적 지표를 활용함

<표 4> Kotha, S., Nair, A., 1995 연구의 가설 검정 결과

| 가설 | 결과     | 설명  |
|----|--------|---|
| 1  | 지지     |   |
| 2  | 기각     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 일본 내수시장 내 경쟁 심화, 공작기계 기업의 가격 결정 권한에 한계</li> <li>▪ MT 시장의 세분화된 특성 반영</li> </ul>   |
| 3  | 기각     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CNC 기술은 경쟁력 파괴 혁신임에도 불구하고, 경제산업성과 일본공작기계협회의 전략적 대응에 힘입어 이를 극복</li> <li>▪ 일본기업, semi-formally organized trans-industrial networks 전략적 활용</li> </ul> |
| 4  | 부분적 기각 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 매출 성장에 대한 부정적 영향 기각</li> <li>▪ VRA 규제에 대응해서 미국에 공장 증설(일본 입장에서 Offshore)</li> <li>▪ 동아시아 및 유럽국가로의 수출 증가</li> </ul>                                  |
| 5  | 부분적 기각 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 수익성에 대한 부정적 영향 기각</li> </ul>   |
| 6  | 부분적 기각 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 매출성장에 대한 긍정적 영향 기각</li> </ul>  |
| 7  | 기각     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 생산성 증대 활동을 통해 자산 투자를 위한 자본 지출의 부정적 효과 최소화</li> </ul>   |

| 가설 | 결과     | 설명  |
|----|--------|---|
| 8  | 부분적 기각 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 매출 성장에 대한 부정적 영향 기각</li> <li>▪ 오히려 광고비 지출 증대 확인</li> <li>▪ CNC 시대 리딩을 위한 경쟁 심화</li> <li>▪ 수출 비중 확대: 전시회 참가 확대</li> <li>▪ MT 모델, 옵션 종류 증가</li> <li>▪ 기술변화기 광고를 통해 경쟁자 대비 기업·제품 인지도 제고 수단</li> </ul> |
| 9  | 부분적 기각 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 수출의 매출 성장에 대한 긍정적 영향 기각</li> <li>▪ VRA규제 대응을 위한 미국 공장 증설 효과</li> <li>▪ 시장점유율의 수익성/매출 성장에 대한 긍정적 영향 기각</li> <li>▪ 세분화된 시장 Segment 특성 반영</li> </ul>  |

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 일본 공작기계산업의 성장에서 정부의 정책과 전방산업의 성장(환경 변수 관점)이 매우 중요한 역할을 함

**6** Lee, K.R., 1996. The role of user firms in the innovation of machine tools: The Japanese case. Res. Policy 25, 491~507.

#### □ 개요

- 한국인 학자가 일본 공작기계산업을 대상으로 연구하였으며, 사용자인 수요기업이 공작기계 혁신에 중요한 영향력을 미침을 실증함
  - (투자 관점) 사용자는 공작기계산업의 혁신 기반 조성
  - (기술혁신 관점) 공작기계 개발과 상용화에 직접 개입
  - (기업가적 활동 관점) 수요산업이 공작기계산업에 신규 진입: 1950년대 중반의 자동차산업, 1970년대의 전자산업

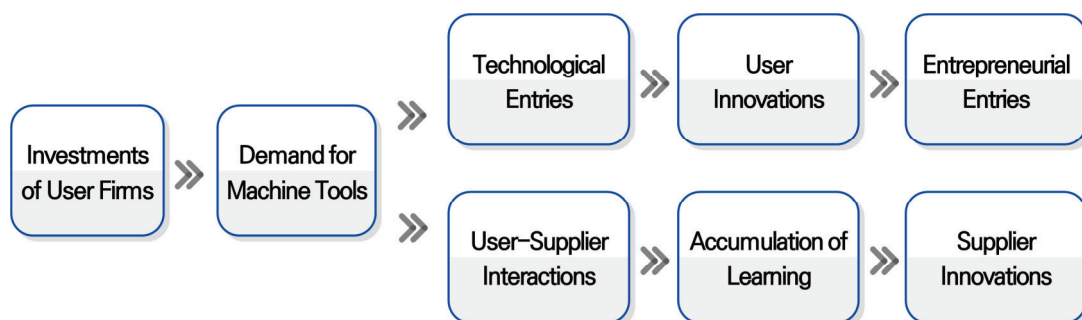
#### □ 연구맥락

- 1990년대 중반 일본 공작기계산업은 기술·시장 경쟁력 모두 미국과 유럽을 앞선 것으로 판단함
- 일본의 공작기계산업 성장을 개발도상국의 관점에서 이해



## □ 주요 연구결과

- 공작기계 수요기업의 투자가 로컬 공작기계기업의 시장 창출과 혁신에 기여함
  - 수요기업의 설비투자는 로컬 공작기계 기업의 시장 창출 → ‘최소 임계규모’, ‘임계 질량’ → 규모의 경제, 전문화의 경제(Economies of specialization) 달성
  - 사용기업이 투자해 얻은 정보로 공작기계 기업의 혁신 아이디어 제공 → 공작기계 기업은 사용기업의 니즈 충족 → 공급자와 사용자 간 상호학습 촉진
- 공작기계 수요기업은 기술혁신 활동의 일환으로 스스로 생산장비를 보수, 개선하고 자체 개발함
  - ① 경제적 이익 전유
  - ② 사용기업이 맞닥뜨린 문제를 공급기업이 해결해줄 수 없을 때,
  - ③ 공급기업이 기회주의적으로 행동하는 경우(수주를 위해 기술경쟁력 과장)
  - ④ 주로 아직 정통한 공급기업이 없는 제품·시장·지역에서의 직접 사업화 목적
    - 수요기업은 다학제적 접근 경향이 강해서 자기 기술 역량 축적함
    - 개도국에서는 오히려 수요기업이 공작기계기업보다 학습의 주요 행위자, 선도자 역할을 함
- 공작기계 수요기업은 수직적 통합과 독립기업 설립 등을 통해 직접 사업화하는 형태로 기업가적인 역할을 수행함
  - 위험 요인으로 규모의 경제를 달성할 수 있을 충분한 시장 수요가 필요



<그림 4> 수요기업의 공작기계 혁신에서의 역할

- 실제로 일본 수요 제조기업의 공작기계 사업으로 Toyoda Koki(JTEKT의 전신), 스미토모전기공업, 혼다자동차, 도시바, 도시바기계, 고마츠, 히타치(닛산 向), 미쓰비시중공업, 마쓰다자동차 등을 언급
  - (표 3) 요시다공업(YKK, 금속가공), 세이코 세이키(시계), Shikishima Tipton (섬유), 고베 제강(철강) 등 추가
    - \* (표 3) 최소 3개 이상의 미국 MT 특허를 보유한 79개 일본 기업 중 43개가 사용자 기업
    - \* (표 4) 광범위한 수요 산업(하지만 자동차, 전자산업 중심), 상대적 비중 증가
  - 수요 제조기업의 공작기계 사업 영위는 공작기계 비즈니스의 위험 감수 성향, 혁신활동 배가, 계열사와의 협력, 단기 실적 창출 압박 등에서 벗어나게 함
  - 특히 전자산업 수요기업의 공작기계 사업 진출은 마이크로프로세서 기반의 CNC 혁신 촉진(대표 사례: 후지츠의 화낙)
  - 자동차산업 수요기업의 공작기계 사업 진출은 산업용로봇, FMS 발전에 영향
- 일본은 무역회사도 공작기계산업에 진출: 무역업을 통해 축적한 지식을 활용 (미쓰이, 미쓰비시&이토 등)
  - 중소 공작기계기업의 수출 대행업체로서, 사용자처럼 행동: 해외 유통 채널 구축 경험을 기반으로 지식 획득(도쿄일렉트론(TEL))

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 수요기업(사용자)의 투자를 통해 공작기계산업의 혁신 기반이 조성됨
  - 수요산업의 자본 투자 후 약 4년 뒤에 MT 산업 혁신에 가장 큰 영향을 미침: 특히, 일본 자동차 생산기업의 자본 투자 효과가 가장 큼
- 수요기업(사용자)의 공작기계 사업 진입은 일본 산업 성장의 발판이 됨
- 수요기업(사용자)은 활발한 특허활동을 바탕으로 공작기계산업에서 사용자 혁신 주체로서 역할을 수행함
- 한국은 자동차, 조선 등의 분야에서 진입 시도가 있었고, 삼성은 1990년대 말 신성장동력으로 CNC를 선택하기도 하였으나 실패에 그침
  - 실제 추진 강도, 기존 기계기술 기반 지식 역량 정도 등의 관점에서 일본과의 비교 가능할 것으로 기대

- 7 Mazzoleni, R., 1997. Learning and path-dependence in the diffusion of innovations: comparative evidence on numerically controlled machine tools. Research Policy 26, 405~428.

## □ 개요

- 미국과 일본 사이 공작기계산업 주도권이 뒤바뀐 1980년대, 양국 NC 공작기계 혁신에서의 차이점 고찰
- NC 기술에 대한 양국 산업의 인식 차이가 기업 전략, 사용자 채택 행위, 시장 성과에 영향을 미쳤는지 분석함

## □ 연구맥락

- 생산량은 1972년, 매출 규모는 1978년부터 일본 공작기계산업이 미국을 추월
- 그러나, 1979년 기준 일본 공작기계의 평균 가격은 미국의 절반 수준에 그침

### 폐루프(Closed-Loop)와 개루프(Open-Loop)의 차이

- (폐루프) 가공장비의 움직임을 감지해서 제어 유닛에 정보를 피드백하며 피드백에 의해 가공오차를 탐지하고 제어 유닛이 서보모터에 신호를 보내서 가공정밀도를 보완함
- (개루프) 제어 유닛으로부터 피드백이 없고, 액추에이터 시스템 정밀도에 의해 가공 정밀도가 결정됨

## □ 주요 연구결과

### 1) 미국

- NC 공작기계는 항공기 제조업에서 먼저 적용, 복잡한 부품의 정밀가공 자동화에 주력하였으며(고부가가치 시장에서 고수익 전략 추구), 1952년 폐루프 기술이 지배적 디자인(업계 표준)으로 채택
- MIT Servomechanisms 연구실의 NC 공작기계 개발, 정밀도 관점에서 상당히 높은 요구 조건: 폐루프 채택
  - \* 개루프는 당시 이용할 수 있는 서보모터의 한계로 인해 기술 진보 난관에 봉착

- 파슨스, 록히드 마틴, 미국 공군이 NC 공작기계 개발 지원, 다만 공급사 역할을 하는 공작기계 기업은 참여가 매우 제한적
- 항공기 제조만큼 복잡한 설계 역량을 보유하지 못한 미국 내 제조기업은 NC 공작기계 도입에 있어 문화적 장벽을 가지게 되었으며, 엔지니어 역량 개발 및 고용, 작업 프로세스 재조직 등의 어려움에 직면
  - 이런 경향은 미국에서 1970년대까지 지속되었으며, NC 공작기계의 여러 기대효과 중 가공정밀도에만 초점을 맞추으로써 가공공정의 유연성 확보라는 기대효과는 사장됨
- 미국 공작기계 업체도 NC 기술 혁신에 대한 역량 부족, 소극적 대응, 신시장 발굴 노력 미흡
  - NC 기술 혁신을 미국 전자기업이 주도, 공작기계 제조사는 제한적인 역할
- 1970년대 미국의 저가 NC 공작기계 세그먼트가 형성되었으나 개루프와 폐루프의 가격 격차가 크지 않아 미국 기업은 여전히 폐루프 중심의 시장 개발
  - 그러나 폐루프가 더 비싸므로, 저가 세그먼트에서 부분적인 성공 달성

## 2) 일본

- 기술적으로 단순한 개루프에 주력, 저가 공작기계 시장 창출 및 유연한 제조공정 자동화에 주력
  - NC 도입 당시 일본 공작기계산업은 미국과 달리 저가형 생산에 전문화
- 계열 시스템하에 전자·공작기계 기술 모두를 보유한 기업들이 기술혁신의 통합과 조정하에 개발 전개
- 1960년대 중반, 모터기술의 성숙으로 개루프 기술의 상업적 응용이 가능

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 지배적 디자인을 확보한 기업·국가가 산업을 주도할 것으로 예상할 수 있으나, 보완 기술의 혁신, 새로운 틈새시장의 등장은 지배적 디자인의 쇠퇴를 촉발함

- 지배적 디자인의 경로 의존적 특성의 문제점을 확인하였으며, 이를 극복하기 위해서는 사용자-생산자 간 긴밀한 상호작용이 필요
- 후발주자의 관점에서 틈새시장 공략의 중요성을 확인함으로써 와해적 혁신 관점에서 개루프 기술의 중요성을 이해
- 이후 화낙은 '70년대 중후반, 개루프에서 폐루프로 변경하였는데, 개루프에서 축적한 역량을 폐루프에도 활용(Kodama & Shibata, 2014)
- 공작기계는 다양한 응용 분야를 가지기 때문에 미국은 초기부터 NC 기술의 폭넓은 적용을 고민했어야 함

**8** Ehrnberg, E., Jacobsson, S., 1997. Indicators of discontinuous technological change: an exploratory study of two discontinuities in the machine tool industry. R&D Manag. 27, 107~126.

#### □ 개요

- 공작기계산업에서 일어난 두 가지 불연속적 기술 변화를 설명하는 위험 신호(warning signal)에 대해 분석함
  - (전통적인 NC → CNC) 상대가격(가성비), 신규 진입자 등이 선행지표로 활용
  - (CNC → FMS) 신규 진입, 논문 출판 등이 선행지표로 활용
- 불연속적 기술 변화라는 위험 신호에 다양한 지표가 사용될 수 있음

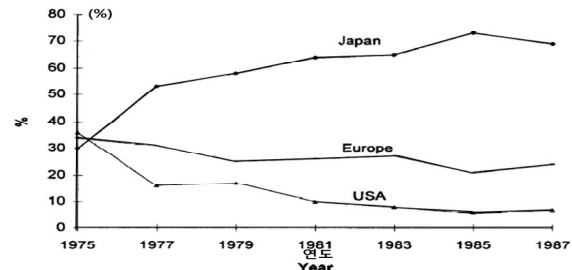
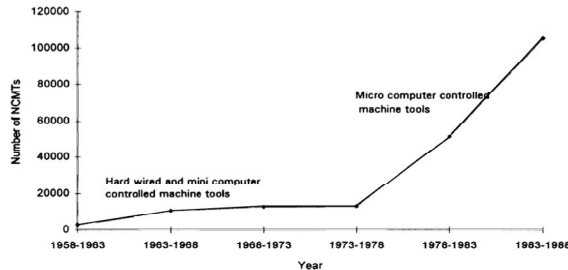
#### □ 주요 연구결과

##### 1) 전통적인 NC → CNC

- Mazzoleni(1997)와 같이 항공기 제조 수요 중심의 NC 공작기계는 낮은 유연성으로 인해 크게 확산되지 못함
- Soft-wired라 불리는 마이크로프로세서유닛(MPU) 채택 이후 유연성 확보, 대중 소비자용 대량 생산품의 개발이 가능해짐



- 1970년대 중반 이후 CNC 시대가 도래하였으며, 미국 시장이 폭발적으로 성장
- 그러나, 시장 점유율은 일본기업이 주도하며 미국과 유럽이 몰락



<그림 5> 미국 NC 및 CNC 공작기계 판매 변화량

<그림 6> CNC선반 부문 미국, 유럽, 일본 점유율 변화

- 가성비와 신규 진입자 수가 불연속적 기술 변화를 선행
  - MPU 채택 후 빠른 가성비 확보(사전 감지) → 매스 시장(Mass market) 창출

## 2) CNC → FMS

- FMS는 CNC 공작기계로 구성, (반)자동화된 생산시스템이며 통합 PLC로 제어
  - FMS 구성 공작기계 수는 최대 20대
- 1965년 최초 사업화, 1970년 8대 판매에 불과했으나, 1988년 1,000대까지 판매
- 1988년 이후 수요가 폭증함
  - 가격에 민감한 소기업에 적합한 FMS 개발
  - PLC 대신 개인용 컴퓨터(PC)를 시스템 제어에 사용할 수 있게 됨으로써 가격 경쟁력, 성능 향상을 동시에 달성
  - 다양한 종류의 도구들과 공작물을 동일 핸들링 시스템으로 다룰 수 있게 함으로써 다품종 소량 제품을 생산하는 중소기업에 강점 제공
- 아래 그림과 같이 신규 진입자 수와 논문 출판이 불연속적 기술적 변화를 선행
  - 1970년대 말~1980년대 초, 많은 공작기계 기업이 FMS의 잠재력을 믿고 시장에 진입: 시장 확산보다 10년 선행
  - 신규 진입자 확인 후, 논문 수가 급격히 증가: 26개('82) → 933개('87)
    - \* 시장 확산보다 5년 선행

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 기술적 불연속성의 시장 반영을 예상할 수 있는 지표를 분석함
  - 신규 진입기업의 수가 매우 중요한 지표임을 확인
  - MPU 개발에 따른 가성비 확보, FMS 출판 관련 과학기술 활동이 시장 형성을 선행 → 기술개발이 Market-pull에 의한 것이라는 '슈무클러 패턴' 반박
- CNC와 FMS의 불연속적 기술 변화 지표의 차이(가성비와 논문 출판)는 혁신의 원천이 내부냐 외부냐에 따라 결정됨
  - CNC처럼 혁신 원천이 외부이면, 특허나 출판 등의 지표를 고려하기는 어려움

**9** Vonortas, N.S., Xue, L., 1997. Process innovation in small firms: Case studies on CNC machine tools. *Technovation* 17, 427~438.

## □ 개요

- 공작기계를 사용하는 미국 중소기업 6곳의 공정혁신에 대해 실태조사함
  - (원인) 장기 거래 관계를 맺은 요구사항이 많은 고객(sophisticated customer)의 압력: 공정혁신에서도 시장 수요 반영의 중요성 확인
- 중소기업의 공정혁신을 촉진하려면 정부는 시장의 유인효과를 고려해야 함

## □ 연구맥락

- 제조업체의 공정혁신을 CIM 도입 관점에서 이해하고 그 중 CNC 공작기계 도입 기업을 중심으로 연구함
  - CIM: CAD, CAM, CNC MT, 산업용 로봇, 자재 취급 장치 등 제조 과정의 다양한 측면에서 컴퓨터를 활용하여 생산성 제고 달성
- CIM 도입은 1980년대 초 미국 기업을 중심으로 진행
- 그러나, 중소기업의 CIM 도입은 지식·자원·역량 부족으로 미미하였으며, 그로 인해 당시 CIM 기술 도입은 대기업 대상 실증연구 중심으로 이뤄짐

## □ 주요 연구결과

- 사례연구 기업의 CNC 공작기계 구매 요인은 특수·일반목적으로 구분되며, 고객만족은 공통의 목적으로 함
  - (특수목적) 주요 고객이 작업 시 새로운 CNC 장비가 있어야 함(customer pull)
  - (일반목적) 가공용량·능력의 확장, 생산비 절감, 제품 품질 향상, 납기 단축 역량 확보를 통한 새로운 고객 확보(customer pull)
- 고객사와 장기적인 거래 관계를 유지하려는 노력이 공정혁신의 중요한 원인임

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 중소기업의 공정혁신을 위해 정부의 대형 고객 육성 지원이라는 대안 제시함
  - 규제 부담 경감, 금융 인센티브, 우대금리 제공
  - 기존 정책들은 소규모 제조기업의 기술 역량 향상에 주목
  - 소규모 기업들의 새로운 공정혁신 도입을 촉진하기 위해서는 기술 확산의 '수요 전인'과 '기술 주도' 측면 모두에 집중해야 함

**10** Kalafsky, R. V., MacPherson, A.D., 2001. Recent trends in the export performance of US machine tool companies. *Technovation* 21, 709~717.

## □ 개요

- 미국 공작기계산업의 실적 하락에 대한 원인을 파악하기 위해 기업 수준의 마이크로 데이터를 활용함
  - 81개 기업에 대한 설문조사 및 인터뷰 진행
  - 수출 실적과 응용·개발연구 간 강한 상관관계
  - 수출 실적은 고용 창출 기여하며, 수출 실적이 좋은 기업이 빠르게 성장
- 수출 고성장 기업과 저성장 기업 간 특징을 구분함

## □ 연구맥락

- 미국 공작기계산업의 쇠퇴에 대한 문제의식에서 연구가 시작됨
  - 1955년 55%에 달했던 글로벌 생산점유율이 1999년 11%까지 하락했으며, 1980~1994년 사이 일자리는 5만개 소멸
  - 같은 기간 일본의 글로벌 생산점유율은 1999년 22%까지 상승
  - CNC 탑재 공작기계의 최대 수입국
- 1990년대 공작기계산업의 수출강도(수출/생산)가 25% 수준까지 증가하였으며, 일자리수도 5.9만명 수준을 유지하고 있기 때문에 부활 가능성도 있음

## □ 주요 연구결과

- 수출 성과가 좋은 기업이 고용 창출, 시장 성장, 매출 성장, R&D 집약도 측면에서 우수한 성과를 가짐
- 수출 고성장 기업은 수출 성과에 긍정적 영향을 미치는 정보 원천으로 전시회와 해외 공공기관을 적극 활용
  - 해외 공공기관을 통해 전략적인 수출 정보 획득 가능
- 현지방문 및 해외 유통업체의 활용은 고성장·저성장 기업 모두에서 나타남: 기계산업 고유의 특징인 비공식적인 비즈니스 네트워크 활용의 중요성 확인

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 미국은 공작기계 내수시장을 수입 제품에 잠식당했다는 점에서 수출에 주목
- 동시에 R&D 집약도의 중요성을 강조함

- 11** Ernst, H. 2001. Patent applications and subsequent changes of performance: Evidence from time-series cross-section analyses on the firm level. *Research Policy*, 30(1), 143~157.

#### □ 개요 및 연구결과

- 50개 독일 공작기계 기업 패널 데이터를 활용한 특허 출원과 매출 간 관계 분석
  - 특허 출원과 기업 매출 성과 간 2~3년의 시차 확인
  - 자국 출원 특허보다는 비용이 더 소요되나, 질적으로 우수한 유럽 출원 특허(EPA)가 기업 매출 성과에 더 긍정적인 영향을 미침
- 특허 출원과 기업 매출 성과 간 시차(2~3년)에 대해 출원부터 시장 진입까지 24~36개월 소요된다는 선행연구 결과를 인용함

#### □ 연구맥락

- 발명, 특허, 혁신 간 관계를 설명하고, 특허 기반 성과분석을 위해서는 특허 출원 성향이 매우 유사한 기업들이 모여 있는 단일 산업 분석의 중요성을 강조



<그림 7> 특허, 발명, 혁신 간 관계 모식도

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 본 연구는 '특허 → 혁신' 분석에 가장 적합한 종속 변인(특허 출원에 따른 시장 반응을 직접 반영)으로 매출액을 활용함

- 12** Baptista, R. 2001. Geographical Clusters and Innovation Diffusion. Technological Forecasting and Social Change, 66(1), 31~46.

#### □ 개요

- 지리적으로 가까운 기업 간 네트워킹이 긴밀할수록 신기술 확산이 빠르다는 점을 영국 공작기계산업의 CNC 도입 맥락에서 실증 연구를 수행함
  - 신기술 얼리어답터(early adopter)와 지리적 근접성을 보유한 기업의 지역 내 클러스터링이 기술 모방과 개선 촉진
- 신기술, 비체계적 특성 때문에 가까운 거리에 있을수록 확산에 용이함

#### □ 연구맥락

- CNC: 선행연구에서 확인한 바와 같이 1950년대 처음 개발되었지만, 1970년대 마이크로컴퓨터가 개발되면서 본격적으로 확산됨
- 영국 공작기계산업은 1969~1980년 사이 CNC를 도입함
  - 비교적 복잡하고 비싼 기술로, 초기에는 대기업이 주로 채택하였으며(1968년 최초) 1980년까지 10개 지역 1,035개 기업 중 284개 기업이 CNC 기술 채택

#### □ 주요 연구결과

- 지역 내 기업 간 학습 효과는 관찰되었으나, 국가 수준에서 기업 간 학습 효과는 확인하지 못함
  - 학습의 지역 내 유행 효과
  - 지리적 근접성에 기반한 기업 간 네트워킹은 지식확산의 경제에 매우 중요

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 지식 공유·확산을 위한 기업 간 네트워킹은 지리적 특성이 강해서 지역별 지식 인프라 구축이 중요하며, 지리적 범위가 좁을수록 신기술 확산 효과가 큼
- 따라서, 지역별 기업 간 네트워킹 촉진을 통해 신기술에 대한 불확실성을 줄이는 것을 정책 목표로 제언함

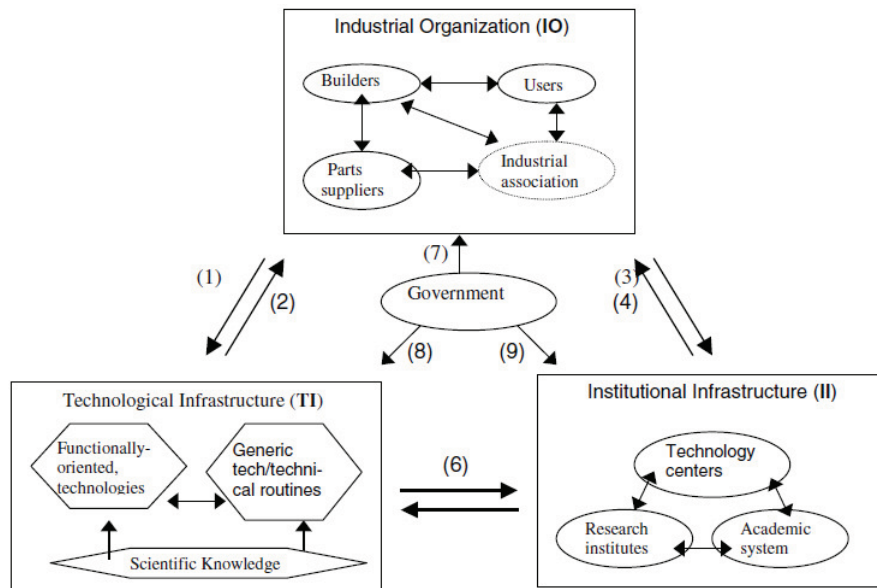


- 다만, 과도한 특정 지역 집적은 지역 간 불균형을 야기하므로 주의해야 함

**13** Sung, T. K., & Carlsson, B. 2003. The evolution of a technological system: The case of CNC machine tools in Korea. *Journal of Evolutionary Economics*, 13(4), 435~460.

#### □ 개요

- Carlsson and Stankiewicz(1991)이 제시한 기술시스템(Technological Systems) 개념을 활용하여 한국 공작기계산업의 진화 과정과 성과를 분석함
- 기술시스템이란 특정 기술 영역, 제품, 제품군, 그리고 특정 제도적 하부 구조하에서, 상호작용하여 기술을 생성·확산·활용하는 행위자 네트워크
  - 기술시스템은 산업구조, 기술적 하부구조, 제도적 하부구조, 정부로 구성
    - \* (산업 조직, 산업 네트워크) 제품을 생산하거나 구매하기 위한 행위자 간 상호작용이 이뤄지는 네트워크
    - \* (기술적 하부구조) 공공적 성격의 기술
    - \* (제도적 하부구조) 교육기관, 연구기관, 기술센터(측정 및 테스트 기법 개발)
    - \* (정부) 기술시스템의 동적 효율성 촉진 역할, 급격한 기술적 변화 발생 시, 기술시스템 구축에 중요한 역할을 할 수 있음



Note:  structure or organization     agent, actor, or institution  
 knowledge, technologies, or capabilities  
 flow of information or interactions among infrastructures, actors, and institutions

<그림 8> 기술시스템의 구성 개념

- (기술시스템 다이내믹스) 태동기 → 유아기 → 청소년기로 구분할 수 있음
  - 혁신 주체의 종류와 그 활동의 기능·범위·강도에 따라 각 단계의 특성 구분
  - (1) 태동기(기술의 발생): 신기술이 상업적으로 활용되기 전 단계
  - (2) 유아기(개발과 혁신): 신기술의 첫 상업적 활용 단계
  - (3) 청소년기(확산): 신기술의 다양한 활용처 발견 단계

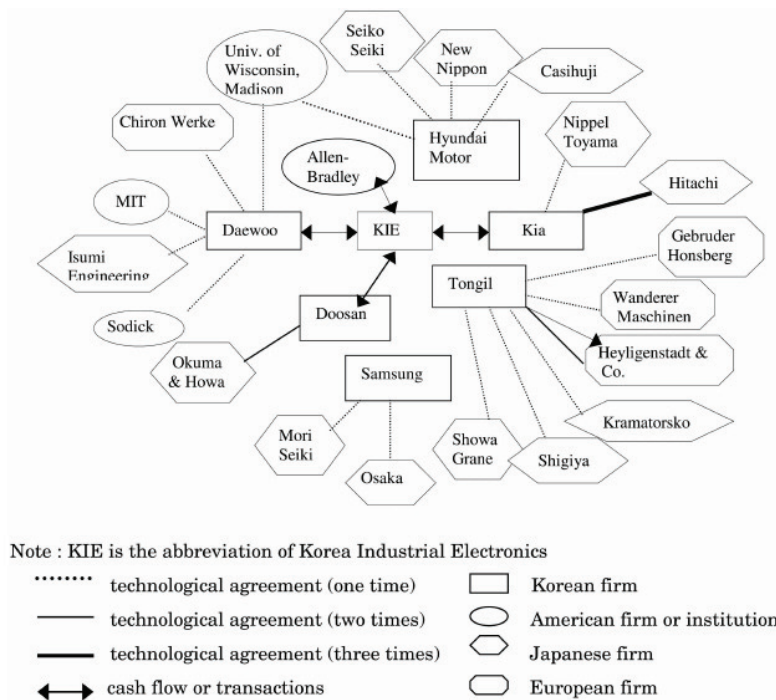
## □ 연구 맥락

- 한국 공작기계산업의 기술시스템은 CNC 선반의 생산(1977년)과 국내 수요가 크게 증가한 1987년을 기준으로 태동기, 유아기, 청소년기로 구분

## □ 주요 연구결과

- 태동기는 신기술이 상업적으로 활용되기 전 단계(1977년 이전)를 의미함
  - 일본으로부터 전통적인 공작기계 기술 도입하고 리버스 엔지니어링 후 수출
  - (정부) 중화학공업 육성 정책을 통한 수요산업 성장
  - (재벌 시스템) 소수 대기업이 정부와 밀접한 관계 하에 내부 재무 자원을 자유롭게 활용하는 시스템을 구축하고 여러 인센티브 부여
  - (산업조직) CNC 공작기계 수입 시작, 화천의 리버스 엔지니어링
  - (기술적 하부구조) 미국 기업 Komy의 한국 반도체 사업 진출
  - (제도적 하부구조) KIST 설립, 대학의 관련 학과 개설
- 유아기는 신기술의 첫 상업적 활용 단계(1977~1987년)를 의미함
  - 외국 기술을 꾸준히 도입하여 흡수역량 확보: 일본, 미국, 유럽 등 대상은 다양하며, 특히 미국은 MIT, 위스콘신대 등 학교도 포함됨
  - (산업조직) 최초의 CNC 선반, 해외 유치 과학자(KIST)와 화천 간 협력의 산물 + 1980년대 초부터 재벌 계열사들이 진출했으며, 계열사 수요기업과 협력하거나 수요기업이 직접 사업에 뛰어드는 경우 등 다양하게 확인
  - \* 재벌 기업 중심 9개 기업이 산업 선도: 현대, 기아, 통일, 삼성, 두산, 대우 등

- (기술적 하부구조) 한국 반도체 산업의 질적 전환 달성(단순조립 생산 → 복잡한 웨이퍼 가공 및 생산)
- (제도적 하부구조) 창원기계공업단지 내 한국기계연구원 설립
- (정부) 금융지원과 규제를 통해 산업 성장 도모
  - \* 금융지원을 통해 재벌기업의 CNC MT 산업 참여를 유도함으로써 학습기간 단축
  - \* 중소형 CNC 선반은 수입 통제함으로써, 자체 생산한 CNC MT 사용을 강제함
  - \* 국내 CNC MT의 국내/외 구매자를 위한 금융지원
- 한국공작기계산업협회라는 연계기관(Bridging Institutions) 설립
  - \* 해외 CNC MT 수입제한 조치 시, 수입할 수 있는 품목 결정
  - \* 정부가 융자 지원 정책 시 기업 생산, 수출 데이터를 활용할 수 있게 함으로써 통계 집적화



<그림 9> 유아기 국내 공작기계 기업별 해외기업과 기술 제휴 네트워크

- 청소년기는 신기술의 다양한 활용처 발견 단계(1987년 이후)를 의미함
  - 1980년대 후반, 국내 수요기업의 CNC 공작기계 사용 급증
  - 1990년대 후반, 대우를 중심으로 머시닝센터 생산이 가능해지며 전 기종 생산
  - (산업조직) 한국산업전자, 기업과 제휴로 CNC 개발 시도, 31개 기업 포함
  - (제도적 하부구조) 서울대 제어계측신기술연구센터의 활동, 한국기계연구원, 한국생산기술연구원의 활동

- (해외 수요기업과 국내 공작기계 기업 간 연계) 미국, 이탈리아, 독일 등 자동차 제조기업 중심
  - (정부) 1995~1999년, 대형 R&D 프로젝트 추진을 통해 CNC 국산화 시도
    - \* 중기거점기술개발사업, G7 프로젝트(선도기술개발사업)를 추진했으나, 한국의 협력 문화 부족, 합리적 R&D 자금 배분 문제 등이 지적됨
  - (벤처기업) 터보텍의 등장, 1997년 코스닥 상장, 기술보증기금 지원
  - 1990년대 후반, 한국 CNC MT 기술시스템은 자립단계에 이름
- 태동기, 유아기, 청소년기를 거친 한국 공작기계 기술시스템을 요약하면,
- (해외 기술시스템과의 관계 진화) 단방향의 기술 도입에서 해외 수요기업과 쌍방 소통으로 발전
  - (정부의 역할 변화) 중화학공업, 금융·수입 제한 정책과 같은 직접 개입에서 중대형·중장기 R&D 프로젝트 지원과 같은 간접 개입으로 변화
  - (구성요소 간 연결성 변화) 공작기계의 수입 사용에 따른 약한 연결에서 재벌 시스템 도입에 따른 계열사 간 연계에 따른 구성요소 간 연결성 점차 강화
    - \* 재벌이 critical mass of interactions 제공했음을 강조
  - (필요 기술경쟁력의 변화) 모방, 흡수, 리버스 엔지니어링에서 창의, 선택 등
- 기술시스템의 구축 성과를 현시비교우위지수 3가지 RCA(무역, 글로벌 경쟁력), RTA(특허, 기술), RPA(논문, 제도)로 측정함
- 1981~1987~1997년에 꾸준히 상승, 하지만 RPA만 1 이상(1997년 기준): 결국 양적 측면에서의 성장을 의미함
    - \* 글로벌 경쟁력, 기술적 인프라는 상대 열위에 있으나, 교육/연구시설 인프라는 상대 우위

## □ 연구결과에 대한 시사점

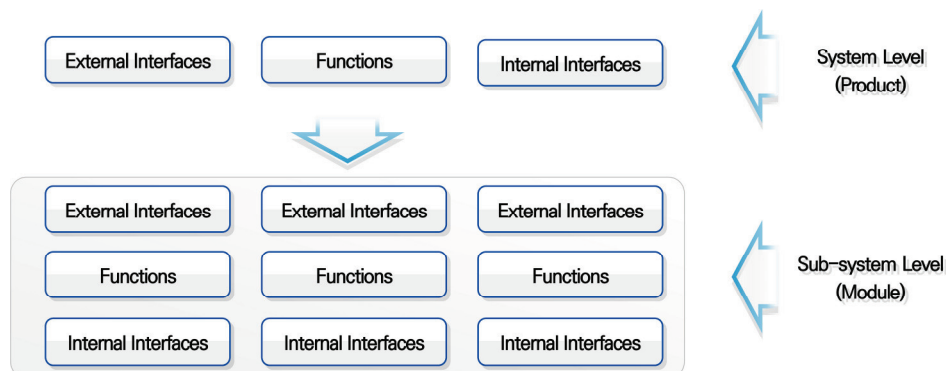
- 공작기계산업과 같이 기술수명주기가 긴 산업에 대해 기술시스템 관점에서 산업의 진화 분석
  - 산업의 중요성에 대해 정당성을 부여하는 등 정부가 복합적으로 기업가적인 역할을 한 것이 주효했음
  - 특히, 기술수명주기가 긴 특성으로 인해 학습 기간이 길어지면 정부 또한 더 장기적인 관점에서 정책을 견지할 필요가 있음

- Baptista(2001)와 달리, 추적 과정에서는 해외 기술시스템으로부터의 연계가 학습에 더 중요함을 강조함
- 산업 진화 단계별 맞춤형 정책의 중요성을 강조함
  - (초기) 태동 및 유아기로 기술 및 제도적 하부구조 구축
  - (후기) 청소년기로 시스템 내 하부구조 간 연계 및 다양성 추구
  - (자립단계) 시장 실패 영역에 대한 미세조정

**14** Chen, K. M., & Liu, R. J. 2005. Interface strategies in modular product innovation. *Technovation*, 25(7), 771~782.

#### □ 개요

- 모듈라(modular) 제품 혁신에서의 인터페이스 전략에 관한 이론 개발 및 대만 공작기계에 적용함
  - 제품을 서브시스템과 인터페이스로 구성된 기술시스템으로 정의함
  - 인터페이스를 부품간 상호작용 관계의 속성으로 정의하고 내부, 외부로 구분
    - \* 내부: 스스로 생산하는 부품 간 인터페이스
    - \* 외부: 외부 기업이 생산한 제품과 스스로 생산하는 제품 간 인터페이스(보다 높은 수준, 보완 제품과의 연결, 시스템 구현을 위한 인터페이스)
    - \* 인터페이스상 상호작용을 연결, 전송, 변환, 제어로 구분



<그림 10> 제품의 계층적 구조와 인터페이스

- 대만 공작기계산업의 개방형 공급 네트워크 구조는 대만 공작기계 모델 간 높은 개방성에 기여하지만, 동시에 제품 혁신을 제한하기도 함

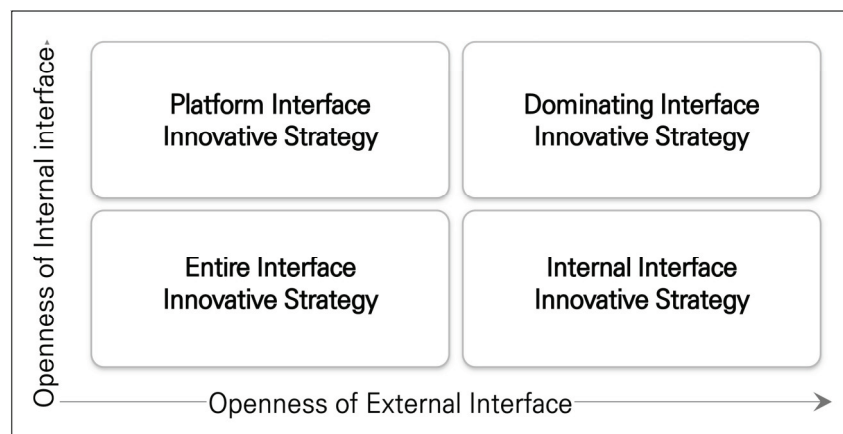
□ 연구 맥락: 내외부 인터페이스 개방을 통한 모듈라 제품 혁신의 중요성을 강조

□ 이론적 배경

- 모듈라 제품 혁신은 신제품의 조기 출시, 짧은 납기, 비용 절감 등 장점뿐 아니라 분해와 재조립을 쉽게 함 → 인터페이스의 표준화가 핵심
- 인터페이스의 개방성을 ① 표준화 경향, ② 생산·사용에서의 인터페이스 지식의 공통성으로 측정하고 내부 인터페이스는 외부 인터페이스보다 폐쇄적임
  - 부품 생산 공급자 수가 적으면 공통성이 낮은 것으로 판단
  - 내부 인터페이스는 더 폐쇄·제한적인 표준화가 가능한데, 그 이유는 사용자들이 덜 민감하고, 기업은 제품차별화를 위해 폐쇄·제한적 경향이 강함
  - 반면 외부 인터페이스는 보완재 요구 수준을 충족시키기 위해 더 개방적임

□ 주요 연구결과

- 문헌 고찰에 기반, 모듈라 제품 혁신에서의 인터페이스 전략을 매트릭스로 제시
  - 내부 인터페이스 개방성: 부품 및 자사 제품 간 호환성
  - 외부 인터페이스: 타사 제품 및 상위 제품 시스템과의 호환성



<그림 11> 모듈라 제품 혁신에서의 인터페이스 전략 매트릭스

- 1사분면: 모듈라 제품 혁신 관점에서 산업 인터페이스 표준을 선도할 역량 보유
  - \* 지배적 디자인이 정립된 제품, 산업구조는 붕괴(Disintegration)
  - \* 공작기계는 제품 차별화, 고객 맞춤형 제품 개발이 중요해서 1사분면 전략은 제한적



- 2사분면: 모듈라 제품 혁신을 위해 외부 인터페이스 개방이 필요함
  - \* 더 우수한 타사 부품 채택이 가능하고, 기술적으로 복잡한 제품 패밀리 전략 도입 시 가능
- 3사분면: 모듈라 제품 혁신을 위해 내외부 인터페이스 개방이 필요함
  - \* 선도형 제품의 특징(제품 수명주기 초기, 사용자와 개발자 모두에게 컨셉이 불명확)을 가짐
- 4사분면: 모듈라 제품 혁신을 위해 내부 인터페이스 개방이 필요함
  - \* 성숙기 제품으로, 외부 부품 기업을 활용한 모듈라 아키텍처 제품의 성능을 제고함
  - \* 개방된 인터페이스를 가지는 내부 서브시스템을 제품으로 전환: 외부 인터페이스와의 호환성이 더욱 개선되며, 산업 표준으로 자리매김 가능
- 인터페이스 혁신만으로는 한계가 있기 때문에 새로운 모듈 개발이 필요하며, 이때 인터페이스 혁신과 모듈 혁신은 순차적이거나 동시에 일어남
- 대만 공작기계산업에 적용하기 위한 방법론을 개발함
  - 대만 공작기계 생산량(세계 6위)의 1/3을 차지하는 3개 기업에 대한 사례연구
    - \* A 기업: 생산 모델 VL1, VL2, VL3, ME(선도형 제품)
    - \* B 기업: 생산 모델 FM1, FM2, FM3, FM4(선도형 제품)
    - \* C 기업: 생산 모델 YM1, YM2, YM3(선도형 제품)
  - 내외부 인터페이스 개방정도 조사: 5점 척도
    - (A) 기존 산업 표준을 준용함 (5점)
    - (B) 여러 기업이 가지는 준(quasi-) 산업 표준을 준용함 (4점)
    - (C) 여러 기업의 제품에 일반적으로 적용됨 (3점)
    - (D) 특정 제품에서만 구현되지만, 생산량이 충분함 (2점)
    - (E) 특정 제품에서만 구현되며, 생산량도 한정적임 (1점)
- 대만 공작기계산업에 적용한 결과, 외부로 높고 내부로 낮은 인터페이스 개방성을 보유했으며, 선도형 제품에서는 내외부 인터페이스 개방성이 하락함

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 모듈라 제품 혁신 패러다임 하, 대만 공작기계산업의 인터페이스 전략은 외부는 표준·개방화, 내부는 비개방·수정을 통해 혁신하는 4사분면 전략임
- 뛰어난 글로벌 부품·모듈 공급사가 있다면, 1사분면 전략도 고려할 수 있음
- 외부 인터페이스 개방화는 필연적이기 때문에, 결국 1사분면(글로벌 가치사슬 활용)과 4사분면(제품 내부 차별화) 관점에서 전략적 선택이 필요함

- 15 Shibata, T., Yano, M., & Kodama, F. 2005. Empirical analysis of evolution of product architecture. Research Policy, 34(1), 13~31.

## □ 개요

- 화낙(Fanuc) 수치제어장치 NC 및 CNC 아키텍처 진화에 대한 사례연구임
  - CNC 아키텍처가 통합형(integral) → 닫힌 모듈형(closed modular)으로 진화 → 점차 열린(open) 아키텍처로 진화함
    - \* Open 아키텍처 진행 시, CNC 구성은 연산부(연산제어), 구동부(공구 움직임 제어), 표시부, 데이터 입출력 HMI(Human Machine Interface)
  - 마이크로프로세서 유닛(MPU)과 같이 획기적인 기술이 제품과 결합하면 아키텍처 진화 방향은 일시적으로 모듈형에서 통합형으로 역행하기도 함

## □ 연구맥락 및 이론적 배경

- Hard-wired 기술 기반의 NC를 기존의 NC, Soft-wired 기술 기반의 NC를 CNC(Computerized NC)라 부름
  - Hard-wired: 제어기술의 원천이 트랜지스터, 다이오드, 1960년대 중반~1975년
  - Soft-wired: 제어기술의 원천이 MPU, 1975년(화낙 2000c 출시) 이후
- 모듈라 아키텍처를 폐쇄형과 개방형으로 구분한 최초의 연구로 의미가 있음

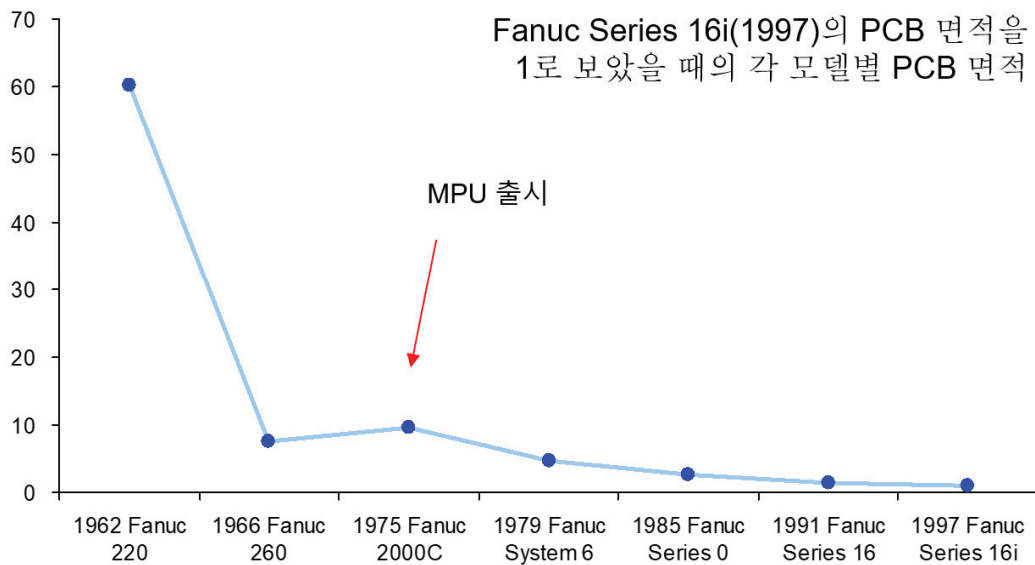
<표 5> 설계 방식의 유형과 개방 정도에 따른 제품 아키텍처 유형

|                |                 | 부품 설계 간 상호 의존도  |  |
|----------------|-----------------|---|--|
|                |                 | Integral(조율형)   | Modular(모듈형)   |
| 인터페이스<br>공개 여부 | Closed<br>(폐쇄)  | <b>Closed Integral</b><br>승용차, 오토바이, 경박단소형<br>가전제품, 게임 소프트웨어,<br>항공기, 펌웨어 | <b>Closed Modular</b><br>공작기계, Lego, 메인프레임 컴퓨터,<br>패키지 소프트웨어<br>(소스코드 비공개)   |
|                | Open<br>(업계 표준) |   | <b>Open Modular*</b><br>PC, Package Software, 금융상품, 패키지<br>소프트웨어(소스 코드 공개), 자전거,<br>인터넷, 상용차(트럭), LCD TV 등<br>가전제품 |

\* 완제품, 부품 공급자를 넘어 완제품 구성에 대한 설계 정보가 사용자에게 개방됨을 의미

## □ 주요 연구결과

- Hard-wired Logic 기술의 출현과 CNC 장치의 모듈화(60년대 후반~70년대 초반)
  - Hard-wired Logic: 트랜지스터와 다이오드, 다양한 집적회로를 사용하여 고정 배선에 의한 수치제어 장치의 논리와 제어 동작을 실현
    - \* 기존: 진공관 사용(화낙 201A, 화낙 220)
  - CNC 장치 아키텍처의 개방형 모듈화 달성
    - \* 제어부 3개, 기본 옵션 모듈 9개, 확장 옵션 모듈 20개로 구성, 다양한 공작기계에 적용 가능
  - CNC의 Mass Customization(소비자의 기호에 따른 다품종 대량 생산) 달성
  - 유지보수의 간편성 실현
  - 1967~1974년, 80~95%의 일본 수치제어장치 시장점유율 달성 → 공작기계 시장에서의 광범위한 채택 → 개방형 모듈라 아키텍처 CNC 개발 성공 시사
- Soft-wired Logic 기술의 출현과 CNC 장치의 통합화(70년대 중반~80년대 초반)
  - Soft-wired Logic: MPU 내의 제어 소프트웨어에 기반하여 제어 동작을 실현하는 Soft-wired Logic 방식의 CNC 개발
    - \* Soft-wired Logic: Built-in 컴퓨터의 형태, Hard-wired Unit과 달리 제어 프로그램을 메모리에 입력하여 공작기계를 제어함
    - \* Hard-wired Logic이 Soft-wired Logic보다 제어 유연성이 낮고, 수치제어장치의 소형화가 어려움
    - \* 최초의 Soft-wired Logic CNC인 화낙 2000C 개발
  - 그러나, 화낙은 MPU를 채택한 Soft-wired Logic 방식의 수치제어장치에서 기존 Hard-wired Logic 방식보다 더 복잡한 기능과 부품간 대응관계에 직면
    - \* 소형화 추진에도 불구하고, Soft-wired Logic 최초 모델 화낙 2000의 제어부 PCB 상대 면적은 hard-wired Logic 방식 마지막 모델인 화낙 260보다 더 큼
    - \* 화낙이 회로 요소로 MPU를 새로 채택함에 따라, CNC 아키텍처 설계에서의 성능·신뢰성과 관련한 새로운 기술적 이슈에 직면
    - \* 이를 해결하는 과정에서 수치제어장치의 아키텍처가 일시적으로 통합형으로 바뀌었고, 이로 인해 PCB 면적이 일시적으로 커짐(Shibata et al., 2005)
    - \* MPU 등 신기술 채택에 따라 새로운 아키텍처 채택이 필요하나, 화낙은 제한적인 지식만 보유하여 초기에 시행착오를 범함
    - \* 소비자 맞춤형으로 다품종 대량 생산할 수 있는 역량이 감소, 시장점유율 20~35%p 하락



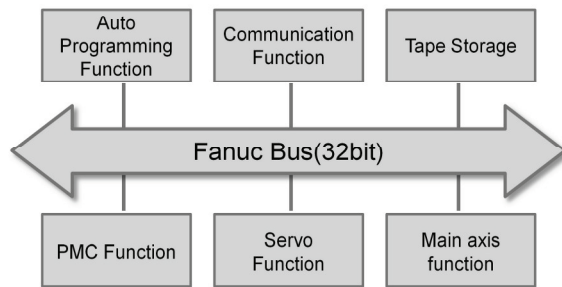
<그림 12> Series 16i의 PCB 면적(1) 대비 모델별 PCB 면적

- 80년대 중반 이후, 수치제어장치의 개방형 모듈화에 성공(화낙 Series 0, 2세대 CNC)
  - 모든 하드웨어 모듈이 버스 형태의 공통 인터페이스에 연결
  - 소프트웨어 모듈도 사용자 선택 모듈과 범용 모듈로 구분되어 공작기계를 가동할 때 모듈 간 데이터 교환을 위한 사용자 인터페이스가 명확히 정립 → 개방형 모듈라 아키텍처를 의미함(Shibata et al., 2005)
  - Series 0 제품은 판매 종료 시점(2004년 7월)까지 전 세계적으로 약 35만대 팔리며, 단일 모델 기준 최다 판매 기록 보유(Kodama and Shibata, 2014)
- 3세대 CNC(Series 16, 1991년 출시) 이후, 기능과 부품간 연계를 더 단순화하여 Multi-vendor Environment 구축
  - 하드웨어 구성은 디스플레이, 연산, 구동 등의 서브 모듈로 더 단순화함
  - 소프트웨어도 서브 모듈별로 맞춤형 생산 및 고객의 요구에 따라 독립적 수정이 가능하도록 구현 → Multi-vendor Environment 가능
  - 80년대 중반 이후, 다시 압도적인 점유율을 회복했으며, 80년대 말 화낙의 일본 내 수치제어장치 시장점유율은 80%를 상회, 세계 시장 점유율은 약 50%

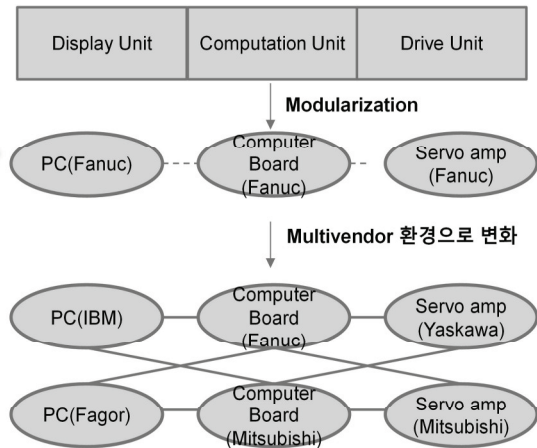
## □ 연구결과에 대한 시사점

- 공작기계와 같이 맞춤형 제품 개발 경향이 강한 분야에서 원가 절감 및 대량 생산을 위해 모듈화가 촉진되었다는 점이 주목할 만함
- 모듈화 달성을 위한 학습 프로세스를 구현하기 위해서는 통합형 아키텍처보다 훨씬 더 높은 조직 역량이 필요함

2세대 CNC의 하드웨어 개념도



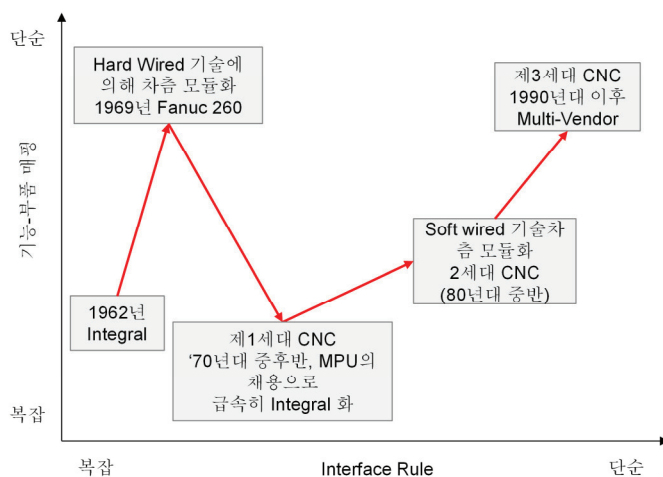
3세대 CNC의 하드웨어 개념도



Low Mass Customization High

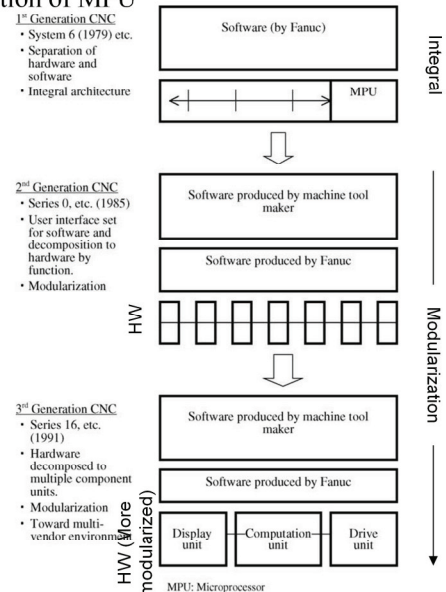
<그림 13> 2세대 CNC와 3세대 CNC 개념도 비교

Evolution of NC HW architecture



Source: Shibata T., M. Yano and F. Kodama(2005) "Empirical analysis of evolution of product architecture Fanuc numerical controllers from 1962 to 1997.", *Research Policy*, 34, pp. 13-31

Changes in CNC SW architecture after the introduction of MPU



<그림 14> 화낙 NC 및 CNC 아키텍처 진화

- 16** Kalafsky, R. V., & MacPherson, A. D. 2006. The post-1990 rebirth of the US machine tool industry: A temporary recovery? Technovation, 26(5~6), 665~671.

#### □ 개요 및 연구맥락

- ⑩ Kalafsky, R.V. & MacPherson, A.D. (2001)의 후속 연구
  - 미국 공작기계산업은 1990년대 중반 점진적인 회복기에 진입했으나, 2000년대 초 세계 경기침체에 따라 회복세가 크게 꺾였으며, 기업의 시장 퇴출도 증가
  - 설문, 생산·무역 데이터, 인터뷰 등을 토대로 산업 현황 조사 및 경기 회복 상황 평가 후 미국 공작기계산업에 제언함

#### □ 주요 연구결과

- 미국 공작기계산업의 쇠퇴 원인으로 수요 측면에서 ① 방위 산업에 대한 과도한 의존, ② 초고가 제품·과도한 전문화, ③ 일본, 독일 대기업과 경쟁할 기업의 부재(가족기업 특성, 반독점법 관련 인수합병 부진)를 꼽음
- 업계에 설문한 결과, 미국 공작기계산업의 문제점으로 아래의 10가지가 꼽혔는데, 이 중 PL법(Product Liability, 제조물 책임법)에 주목할 필요가 있음
  - \* 노동 가용도(3.6, 평균값), 수입경쟁(3.2), 수요주기(3.2), PL법(3.0), 내수 경쟁(2.7), 쇠퇴하는 로컬 시장(2.6), 연방세(2.5), 지방세(2.5), 근로자 보상(2.4), 정부의 번거로운 절차(2.4)
  - 노동 가용도(availability): 숙련공 부족, 비용 절감을 목적으로 교육 훈련 프로그램 감소, 신규 노동자 진입 부재
  - PL법: 시장에 유통된 상품의 결함으로 이용자 또는 제3자의 생명, 신체나 재산에 손해가 발생하면, 제조물의 생산·판매 과정에 관여한 자의 과실 여부와 상관없이 제조자 등이 그 손해에 대하여 책임지도록 하는 법
  - PL법으로 인해 설계, 응용연구, 생산 및 관련 지원 활동에 필요한 투자 한계
- 2000년 조사 기업을 대상으로 4년 뒤 재조사한 결과, 104개 기업 중 14개는 제조업에서 유통업으로, 5개는 완제품 생산에서 부(분)품 생산으로, 19개는 시장에서 퇴출당하는 등 총 38개의 기업이 감소함



- 퇴출 기업과 생존 기업의 차이를 분석한 결과, 생존 기업은 퇴출 기업과 비교할 때 아래의 특성을 가졌으며, 지속적으로 수출 시장을 공략하여 생존함
  - 로컬 시장에 대한 낮은 의존도, 높은 R&D 집약도, 부품 및 SW의 해외 조달, 높은 신제품 매출 비중, 수입 제품과의 경쟁 및 노동력 부족에 적절히 대응
- 산업 회복을 위해 빠른 납기와 짧은 신제품 개발주기, 맞춤형 제품 개발 강조
  - 미국 기업은 기성품 판매에 익숙하며, 일본보다 가장 열위인 분야로 꼽힘
    - \* 빠른 납품(4.09), 고객지원 개선(4.08), 제품 품질 개선(4.07), 더 짧은 주기(3.95), 기술 데이터 업그레이드(3.95), 생산 증가(3.93), 인터넷 활용(3.83), 단가 절감(3.82), 고객사 개선(3.80) 등

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 미국 공작기계산업 경쟁력 확보를 위해 해외 시장 개척, 글로벌 가치사슬 활용의 중요성 강조
- 숙련공 이슈는 단기간에 해결될 문제가 아니라는 점은 한국 공작기계산업에 기회이자 타산지석으로 삼아야 할 문제로 꼽힘

**17** Lim, C. 2007. Catch-up failure in core IT components: The case of numerical controllers. *Asian Journal of Technology Innovation*, 15(2), 101~124.

#### □ 개요

- 기술 체계 및 시장 특성의 관점에서 우리나라의 CNC 추격 실패를 설명
  - CNC의 지식기반 특성은 높은 암묵성·일반성·복잡성·전유성에서 기인함
    - \* 공작기계 CNC 추격 실패 사례는 광기호, 김원준(2016) 참고

#### □ 주요 연구결과

- 미국의 Allen Bradley와의 조인트벤처(JV) 설립, 기술 라이선싱 및 협력 실패
  - 1988년에 JV로 설립, Allen Bradley가 지분 35% 투자, CNC 생산원가 절감을 목적으로 한국에 법인 설립



- JV는 국문 번역이나 한국기업의 수요에 맞도록 소스 코드를 수정하였으나, 예상치 못하게 NC Unit 성능 저하에 직면
- 이를 해결하지 못하고 엔지니어도 미국으로 돌아가며, 낮은 성능에 그침
- 성능 향상 실패를 인정하고 1991년 이후 교육용 제품을 개발하였으나, 충분한 매출 확보에 실패, 1993년 Allen Bradley가 지분을 철수하며 1990년대 말 파산
- LG산전(現, GS산전)이 일본기업과의 라이선싱 및 개발에 실패함
  - LG산전은 PLC 및 서보 모터, 서보 모터 드라이브에 기술 역량 보유
  - 이는 NC와 관련 기술이긴 하나, NC팀은 PLC서보 모터·드라이브에 축적된 기술 역량을 활용하지 못하며 학습의 연속성이 단절됨
  - 라이선스 제품 판매 및 내부 개발을 조건으로 일본기업과 기술 라이선싱을 체결하였으나, 곧 기술 라이선싱이 내부 개발에 도움이 되지 않는다고 판단하여, 일본 기업에 비밀로 한 채 별도의 개발팀을 구성함
  - (실패) 제품 생산은 1990년대 중단
- 개발 이후 사용자 피드백을 받지 못하여 성능 개선에 실패
  - 세일중공업(이후 와콤전자, 큐리어스)가 교육용으로 1991년 센트럴-프로를 개발했으나, 이는 NC 공작기계에 부착되지 않아 신뢰성을 확보하지 못함
- (고객화 지식 획득 실패) 개발 이후 사용자 맞춤형 사양 대응 및 사용자와의 상호작용 실패
  - 터보테크, 삼성, 세일중공업에서 봉착: 시장점유율이 낮아, 커스터마이징 경험 축적에 실패
- (신뢰성 지식 획득 실패) CNC SW 특성상 사용자 환경에서 신뢰성을 검증하는 것이 중요하며, 판매하여 신뢰성을 테스트할 수 있지만 그 과정에 어려움 직면

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 기술 추격에 성공하지 못하는 사례를 설명하는 연구 프레임워크를 마련했으며, 기술 시스템에 부분적 시장 체제(Sectoral Market Regime)라는 개념 보완

- 부분적 시장 체제의 관점에서 시장에서 신뢰성 확보를 위한 지식과 고객화 지식을 확보하지 못한 것을 실패의 원인으로 꼽았으나, 왜 신뢰성 지식과 고객화 지식을 확보하지 못했는지에 대한 설명은 부족함

**18** Chen, L.-C. 2009. Learning through informal local and global linkages: The case of Taiwan's machine tool industry. *Research Policy*, 38(3), 527~535.

#### □ 개요

- 후발주자가 추격할 때 하이테크 산업은 라이선싱 등 정형화된 경로를 통해 기술을 획득해야 한다는 주장과 달리, 공작기계와 같은 중저기술 산업에서는 비정형화된 경로를 통한 기술 획득이 중요함
  - 과거 Lee et al.(1988)은 개도국의 기술 추격 시, 초기에만 비정형화된 경로를 통한 기술 획득이 중요하다고 주장

#### □ 연구 맥락

- 2006년 기준, 세계 4위의 수출국이자 6위의 생산국인 대만 공작기계산업 60개 기업에 대한 심층 인터뷰(2005~2006년)
- 대만 공작기계산업의 성장 원인은 앞서 ⑭Chen & Liu (2005)와 같이 산업 클러스터를 통한 집합적 생산 효율성 확보 및 상호작용적 학습이라고 정의함
- 기계산업을 중저기술(LMT, Low and Medium Technology) 산업으로 분류
  - (점진적 혁신) 산업 수준에서 비교적 낮은 수준의 R&D 집약도 및 활용, 고객 요구사항에 맞추기 위한 노력
    - \* CNC 기술 등장에도 불구하고, 공작기계 기업들의 핵심 경쟁력은 여전히 기계 분야에 있음
    - \* 기계 분야의 학습은 on-the-job practice 특성, 직접 제조와 사용을 통해 학습
  - (모방을 통한 학습) 일본 공작기계산업의 시작도 모방임을 강조하며, 대만은 리버스 엔지니어링을 통한 지속적인 재설계와 문제 인식 및 해결을 통해 기술력을 축적함(현지 사용 조건과 고객 요구사항 충족)

- (숙련공의 역할 강조) 기계기술은 암묵지 형태로 현장 경험을 통해 구축되므로 이를 내재한 엔지니어가 점진적 혁신과 모방에 더 효과적임

## □ 주요 연구결과

- ① 대만 산업클러스터 내 혁신 주체로부터의 비정형적 학습
  - 현지 사용자에게 명확한 니즈를 확인하고, 현장을 시험대로 활용하여 학습
    - 대만기업은 저렴한 가격에 하나의 공작기계로 다양한 가공작업을 하기 원함  
→ 대만 공작기계 기업이 중저가 및 다목적(범용) 세그먼트에 강한 이유
    - 공작기계 사용 현장에서 테스트에 기여: 현장의 피드백을 최종 제품에 반영
    - 기술 에이전트의 역할: 수입 공작기계 사용에 대한 경험을 제공하며, 수입 공작기계 사용 시 발생하는 문제는 매뉴얼을 통해 해결하며 학습함
  - 현지 부품공급사 중 지리적으로 가까운 공급사와 비공식적으로 상호작용하고, 공급사로부터 경쟁사의 기술 정보를 확보함(공작기계 제조사 간 간접 학습)
  - 공공연구기관과는 1979년에 설립된 기계공업연구소(MIRL)가 1995년에 대만 공작기계산업 클러스터의 중심지인 타이중으로 옮긴 후, 현지학습 네트워크에 속하며 보완적인 R&D 서비스를 제공함
- ② 글로벌 혁신 주체로부터의 비정형적인 학습
  - 국제 무역 박람회(전시회)를 통해 비용 효율적으로 기존·잠재 고객에게 접근하고, 해외 유통업체에 적극적으로 접근하여 OEM·ODM 계약을 체결함
  - 해외 딜러에게 제품 개선·개발 방향, 기술적 문제 해결 방안을 획득함
    - 과거 제조기업이었으나 유통기업으로 업종을 전환한 기업은 기술적 지식이 풍부하며, 보완적으로 부품 제조사 역할을 함
  - 선진기업과의 기술라이센싱(OEM·ODM) 계약을 체결함으로써 학습함
    - 모방 제품으로 성공한 대만기업과의 소송에 대한 대안으로 외국기업이 라이선싱 계약 제안: 잠재적 학습 및 마케팅 채널 구축에 활용

- OEM·ODM 계약 제조사의 제품을 사용하는 고객에 접근, 계약 제조사가 알려주려고 하지 않는 정보 획득

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 기계산업의 비정형적인 경로를 통한 성장 사례를 확인하였으며, 이는 대만과 같이 중소기업 중심의 산업구조에서 특히 중요함
- 중소기업이 비정형적인 경로로 기술역량을 축적할 수 있도록 정부와 출연연의 보완적 역할이 중요함
- 비정형적인 학습을 위한 흡수역량 축적, 글로벌 연계 지식 채널 구축 등

**19** Brandt, L., & Thun, E. 2010. The fight for the middle: Upgrading, competition, and industrial development in China. *World Development*, 38(11), 1555~1574.

#### □ 개요

- 2001년 중국의 WTO 가입 이후 중국 로컬기업의 성장 제한 우려가 있었으나, 글로벌기업과 경쟁하며 기술 역량을 강화하고 시장 점유율을 확대함
- (연구 문제) 중국 내수시장에서 로컬기업과 외국인 투자기업(Foreign-invested Enterprise) 간 경쟁의 다이내믹스가 어떻게 중국기업의 경쟁력을 강화했는가?

#### □ 연구맥락: 중국 공작기계와 건설기계산업의 성장에 대한 연구

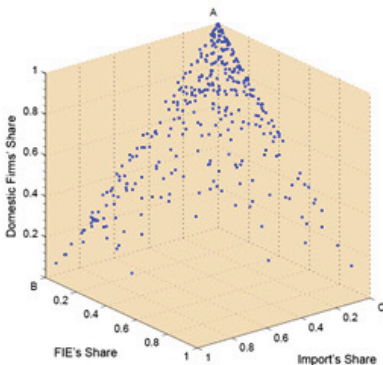
- 중국이 글로벌기업 대비 열위에 있는 산업이면서 유사한 혁신 특성
- 중국뿐 아니라 세계 경제에서 중요한 역할을 하는 산업

#### □ 주요 연구결과

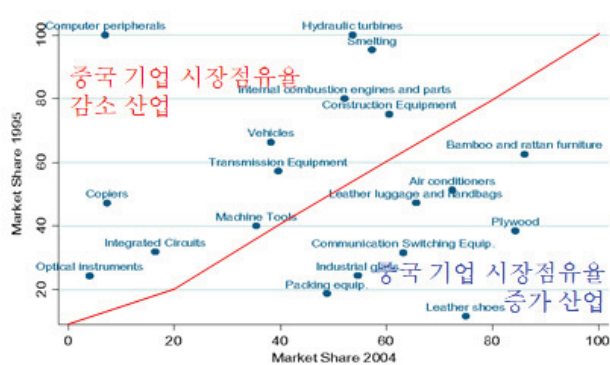
- 중국기업은 로컬과 글로벌 가치사슬에 모두 참여해 기술 역량 축적 효과가 큼

- 그러나 이러한 성장은 산업별로 차이가 있으며, 내수시장의 성장에도 불구하고 국내 기업의 점유율은 하락함
  - 외국기업들은 기술, 자본, 제조 노하우, 마케팅의 조합이 특히 중요한 산업에서 시장 점유율 확대
  - 중국 기업들은 비용 저감과 노동 집약적인 산업에서 선전

1. 1995년 중국 제조업 국내 기업/해외기업/수입 점유율



2. 1995년, 2004년의 중국 제조업별 국내 기업의 점유율



<그림 15> 1995년과 2004년 중국 제조업 경쟁력 변화: 시장점유율 중심

(좌) 1995년 중국 제조업 로컬기업/해외기업/수입 점유율

(우) 1995, 2004년의 중국 제조업별 로컬기업 점유율

- 로컬기업에 중요한 저가 시장에서는 공기업의 기술력 흡수와 핵심 부품의 국산화를 통한 가성비 전략으로 경쟁함
  - 저가 시장, 즉 중국 내수시장은 수출 시장에 진입하기 어려운 현지 기업들에 매우 중요(Williamson et al., 2021, Business Horizons의 Ladder와 유사 개념)
    - \* 중국 내수시장에서는 선진기업과의 기술격차, 마케팅격차를 많이 추격함
  - 공작기계 시장은 경제 개혁 이전까지 국영기업이 장악하였으나, 1990년대 중반까지도 100개 이상의 국영기업이 10,000대 미만의 생산에 그침
  - 수입 공작기계 가격 상승으로 인해 수입 제품과 국산 제품 간 가격 격차가 확대되고 있으나, 국산 제품은 저가 시장에서 경쟁력을 가짐
    - \* CNC 선반 등
  - 저가 시장에서의 선전 이유로, ① 공기업이 파산 및 인수합병되며 생긴 공백을 그들의 기술력을 흡수한 민영기업이 차지, ② 핵심 부품의 자국 내 생산이 가능해지면서 저가 제품의 가성비를 확보한 점을 들 수 있음
    - \* 스피들, 베어링, 볼스크류, 모터, CNC 등은 공통 디자인에 기반, 거의 동일한 형태로 다양한 공작기계 회사에 공급(준-모듈라 아키텍처 시사)

- 고가 시장에서의 압력을 오히려 기술 습득의 기회로 활용함
  - 공작기계 수입 관세가 98년 14.2%에서 06년 10.3%로 하락하며 수입이 많이 증가했으나, 오히려 수입제품에서 기술을 습득해 중국기업이 경쟁력을 갖추
  - 이에 따라, 고가 시장에서의 저가 제품군에서는 중국이 시장 성과 확대(예: 버티컬 머시닝 센터, 수평형과 플라노는 고가)
- 중류 시장(Middle market)을 위한 싸움에서 어려움을 겪은 글로벌기업은 현지화를 통해 극복할 방안을 모색함
  - 성장세가 가장 가파른 중류 시장 진입을 위해 글로벌기업은 비용 절감, 로컬 기업은 기술 및 품질 제고를 주요 과제로 꼽음
  - 글로벌기업은 종합(aggregation) 전략을 통해 규모의 경제를 노렸으나, 개도국에서 매력적인 충분히 좋은 제품을 개발하기에는 한계가 있었음
  - 또한, 기존 부품 공급사와 중국에 동반 진출하기도 어렵고, 로컬에서 양질의 부품 공급업체를 찾는 것도 어려움이 있었음
  - 이를 극복하기 위해 글로벌기업은 현지화를 시도함: JV 설립, 부품은 수입하되 노동 집약적 제품을 생산하였는데 이러한 추세는 글로벌 부품 업체들이 중국 현지에 부품 공장을 설립하며 더욱 확대됨
- 로컬기업은 중류 시장에서 기술 습득, 인력 양성 등 충분한 이익을 확보함
  - 글로벌기업은 중국시장 현지화를 위해 기술 유출을 막으며 로컬 부품을 조달하고자 하였으며, 중국 부품 공급기업은 막대한 시장 규모에 기반하여 다수의 가치사슬에 참여함으로써 기술력을 고도화함
  - JV를 통한 해외 공급사와의 협력 확대는 현지 인력 양성에 매우 효과적임
    - \* 해외 기업으로부터 훈련받은 인력들은 다시 다른 국내 기업으로 재취업하여 역량 내재화
    - \* 선진기업이 원가 절감 압력에 봉착하여 고부가가치 활동을 중국 현지화함에 따라, 투입되었던 인적자원들이 현지 기업들로 재취업하는 풀 형성
  - 중국 국영기업이 구축한 역량 활용: 과거 이들은 중국 정부의 지원을 가장 많이 받았으며, 풍부한 사업 경험을 축적함



## □ 연구결과에 대한 시사점

- 중국 내수 시장의 외국기업에 대한 개방 이후, 중국 기업의 성장을 시장 세그먼트별로 세분화하여 분석함
- 저가 시장에서 출발한 중국 로컬기업이 고가 시장에서의 관세 인하 및 수입 물량 증대에 따른 기술 습득 그리고 막대한 중류 시장 규모를 활용한 외부 기술·인력을 확보한 것은 기술적으로 성숙한 산업에서 효과적임
- 다만, 이런 성장 방식은 점진적인 기술 혁신 분야 또는 기술 변화 속도가 느린 산업에만 적용 가능
- 중류 시장을 누가 획득할 것인가? 그리고 중국 기업의 해외 진출을 어떻게 견제할 것인가가 한국을 비롯한 선도국에 주어진 과제
  - 중국 로컬시장에서의 점유율 하락은 피할 수 없는 현상

**20** Kodama, M., & Shibata, T. 2014. Strategy transformation through strategic innovation capability - a case study of Fanuc. R&D Management, 44(1), 75~103.

## □ 개요

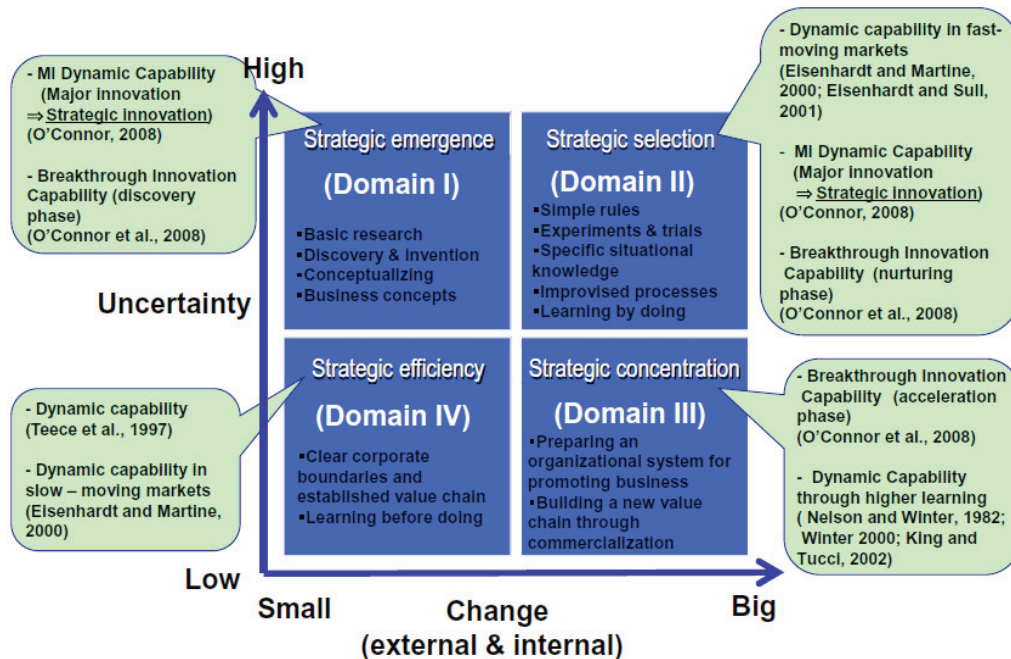
- 대기업의 전략적 전환을 이해하기 위한 이론적 프레임워크를 제안
  - 전략적 혁신 역량: 혁신에 의한 전략적 전환을 달성할 수 있는 기업 시스템 및 조직 역량으로 정의
  - 전략적 혁신: 새로운 변화로 인해 발생하는 기술과 시장에서의 새로운 가치 창출 + 장기적이고 지속 가능한 경쟁력을 확보하기 위해 새로운 제품, 서비스, 비즈니스 모델을 전략적으로 생산
- 연구 프레임워크를 화낙에 적용한 후, 역사적 고찰을 기반으로 전략적 전환 달성 과정을 분석함
  - 화낙이 후지츠 사내벤처로 출발했다는 점에서 대기업의 전략적 전환으로 구분



## □ 전략적 혁신을 위한 역량 프레임워크 개발

### ○ 대내외 환경변화(X축) 및 전략적 불확실성(Y축)을 축으로 설정

- 전략적 불확실성: 시장, 기술, 조직, 자원의 불확실성
- 환경변화: 외부(시장, 기술) + 내부(조직, 자원 집중)



<그림 16> 전략적 혁신을 위한 역량 프레임워크

### ○ (영역 1) 불확실성은 크지만, 대내외 환경·전략 변화는 적은 상황

- 기술 창출기
- 탐색 단계, 전략적인 부상(emergence)으로 정의
- 성공조건: 말단과 중간관리자의 창의적 사고, 최고 경영진의 전략적 참여·헌신

### ○ (영역 2) 높은 불확실성 속 내외부 환경/전략 변화까지 많은 상황

- 인력의 사내 확보와 조직의 발전 정도가 빠르게 변화
- 보육/육성 단계, 전략적 선택으로 정의
- 성공조건 1: 실험을 통해 성공 확률을 높이고(Trial & Error)
- 성공조건 2: 중간 관리자와 최고 경영진의 역할이 더욱 중요
- \* 유망하고 가치가 높은 사업 영역을 선택하고 실행하는 방법이 중요

- (영역 3) 불확실성 축소, 새로운 비즈니스 본격 전개
  - 기술활용기, 촉진(acceleration) 단계로 정의
  - 신규 사업을 기존 사업 부문으로 이관(전담조직): 새로운 제품, 서비스, 비즈니스 모델 개발 단계
  - 수익 창출을 위해 높은 수준의 학습이 중요하며, 특히 자원을 집중적으로 투입하기 때문에 최고·중간 관리자의 몰입이 중요함
  - 전략적 집결(Strategic Concentration)로 정의
- (영역 4) 대규모 기존 비즈니스로 점진적 혁신에서의 효율성 제고 노력
  - 기본적으로 시장 성공을 이미 확보한 상태
  - 전략적 효율화(Strategic Efficiency)로 정의
- 전략적 혁신 역량 프레임워크의 4가지 영역 간 연속(Continuous) 루프를 구성
  - 영역 1 → 2 → 3 → 4로 이동
    - \* 전략적인 부상과 선택: 탐험(exploratory) / 전략적 집결: 활용(exploitation)
  - 영역 4에 있던 기존 비즈니스는 영역 3에서 넘어오는 새로운 전략이 집결된 비즈니스와 통합 대상이 되기도 함
  - 가장 중요한 이동은 영역 3, 4에서 1로 이동: 진정한 대기업의 전략적 전환
    - \* 새로운 전략적 혁신의 태동을 의미하며, 새로운 역량, 루틴 개발을 통한 전략적 혁신 달성
    - \* 엄격한 조직적 관성(rigid organizational inertia)의 재설정
- 우수 기업은 연속 루프를 달성하며, 대기업들은 다양한 프로젝트를 동시에 수행하기 때문에 특정 시점에 모든 사분면을 모두 가짐
  - 탐험적(exploratory), 활용적(exploitative) 프로세스 간 상호작용이 중요하며, 내부 조직 간 인터페이스 및 이를 촉진하기 위한 조직 설계가 중요함
- 전략적 혁신 역량의 구성요소는 전략적 혁신 역량 프레임워크 총괄 운영 역량, 도메인별·도메인 간 이동 역량, 탐험과 활용을 동시에 할 수 있는 통합 역량임

## □ 연구맥락

- 1982년 이후 일본 공작기계산업이 글로벌경쟁력을 확보한 것은 화낙이 CNC를 성공적으로 공급했기 때문이라고 주장함
- CNC는 화낙에 맡기고 공작기계 혁신에 전념함으로써, 규모의 경제를 달성하고 사용자 간 호환성 문제도 해소함
- 화낙은 1972년 후지츠로부터 독립

## □ 주요 연구결과

- ① 1단계(1956~1972년)
- 사내 벤처로 시작: 후지츠의 통신 이외 사업 발굴 시도(영역 1)
- 1956년 이나바의 개발팀, 후지츠에서 독립하여 자율성 확보
- 1957년 첫 시제품 개발, 1959년 히타치에 납품하였으나 추가 사업화에 실패
- Trial-and-Error 시도(영역 2)
  - 후지츠의 전자회로·통신장비 노하우를 활용하여, 동경대와 대수적(Algebraic) 펄스 분배 시스템과 전기유압 펄스 모터 공동 개발
- 개방형 루프 제어기술 개발(미국의 폐쇄형 루프와 반대)
  - 1960년대 초, 기술적 아이디어는 후지츠의 교환기와 동경대 정밀공학과와의 대포 제어 유압식 펄스 모터기술(후지츠는 영역 4에서 영역 1로 전환)
- 1965년 이후 영역 3
  - 판매량 급증: 388(1965) → 483(1968) → 1184(1969) → 1684(1970)
  - 1969년 화낙 260: 완벽하게 모듈화되어 다양한 고객 수요에 대응할 수 있는 모델로 출하가 3배 증가하였으며, NC 비즈니스가 전략적 집결에 진입함
  - \* 그전에는 전부 맞춤형 주문에 대응하며 비용이 크게 증가하였으며, 맞춤형으로 대응하면서 원가 절감 문제가 크게 부상함

○ 1972년 이후 영역 4

- 끊임없는 기술혁신을 통해 전략적 효율화를 달성하였고, 후지츠로부터 분사함
  - \* 1970년 후지츠 NC 사업부의 수익성은 20%로, 후지츠 전체 수익성 6%의 3배를 넘어섬
  - \* 마침 후지츠는 컴퓨터 사업 투자에 필요한 재원이 시급했기에 분리 매각함

○ ② 2단계(1973~1980년)

- 기존 유압식 펄스 모터 기술의 한계 + 개방형 루프기술의 한계 → 폐쇄형 루프 기술 + DC 서보모터 기술로 전환(영역 1, 2)

○ Hard-wired 제어 기술(기존의 NC) → Soft-wired 제어 기술(CNC)(영역 1, 2)

- Hard-wired: 제어기술의 원천이 트랜지스터, 다이오드, 1960년대 중반-1975년
- Soft-wired: 제어기술의 원천이 MPU 및 소프트웨어, 1975년 이후, 화낙 2000c 출시 이후

- 그러나 CNC로의 전환은 도전: 소음으로 인한 성능과 신뢰성 문제가 발생하여 이를 해결하기 위한 별도 설계팀을 구성하고, Hard-wired 설계팀과 함께 운영

○ 1978~1979년에 CNC 기반 System 6 개발, 양산에 성공(영역 3, 4)

- 미국은 MPU와 같은 반도체 기술을 활용한 CNC 개발에 소홀
- Hard-wired NC 설계팀의 노하우가 Soft-wired NC 설계팀에 전달되며 영역 3, 4에서 영역 1로 이동할 수 있도록 지원

○ ③ 3단계(1981~현재)

○ 베스트셀러(시리즈 0) 사례: 1985년 9월, 양산에 돌입하여 2004년 7월까지 생산

- 높은 신뢰성을 위하여 완전 자동화 기반으로 생산(로봇 활용)(영역 1, 2)
  - \* CNC를 작게, 새로운 기능을 더하면 신뢰성이 떨어지는 문제를 해결
  - \* 실제 공장에서 발생하는 장비의 비계획적인 사용까지 고려하여 신뢰성 문제 해결
- 높은 신뢰성을 위하여 부품 수 축소, 부품 간 상호의존성 축소(영역 1, 2)
- 높은 신뢰성을 위한 새로운 SW 아키텍처: 혁신가로서의 소비자(CAI)(영역 1, 2)
  - \* SW를 사용자 제어 섹션(공작기계), 공급업체 제어 섹션(화낙)으로 구분

- 화낙은 이미 시장 점유율 70% 달성, 이를 통해 공작기계 업체가 스스로 제품을 차별화할 수 있게 함
  - 해당 시장 점유율 수준에서는 고객이 혁신에 적극적인 역할을 해야 함
  - 화낙은 기본 SW만 제공 + 기능 옵션은 공작기계 업체가 스스로 확장
- 기존 화낙 200C, 시스템 6에서 축적된 지식을 활용하여, 영역 3, 4에서 영역 1로 이동(시리즈 0)

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 전략적 혁신을 위해서는 신규 조직의 탐험과 기존 조직의 활용 간 시너지를 만드는 것이 중요하며, 여기에는 최고 경영진의 역할이 매우 중요함
- 현재 개발 중인 CNC의 국산화를 위해 화낙의 성장단계를 참고할 필요가 있고,
- 신뢰성을 높이기 위해서, 자동화 생산·인터페이스 표준화 및 SW 아키텍처의 개방화를 고려해야 함

**21** Kodama, F. 2014. MOT in transition: From technology fusion to technology-service convergence. *Technovation*, 34(9), 505~512.

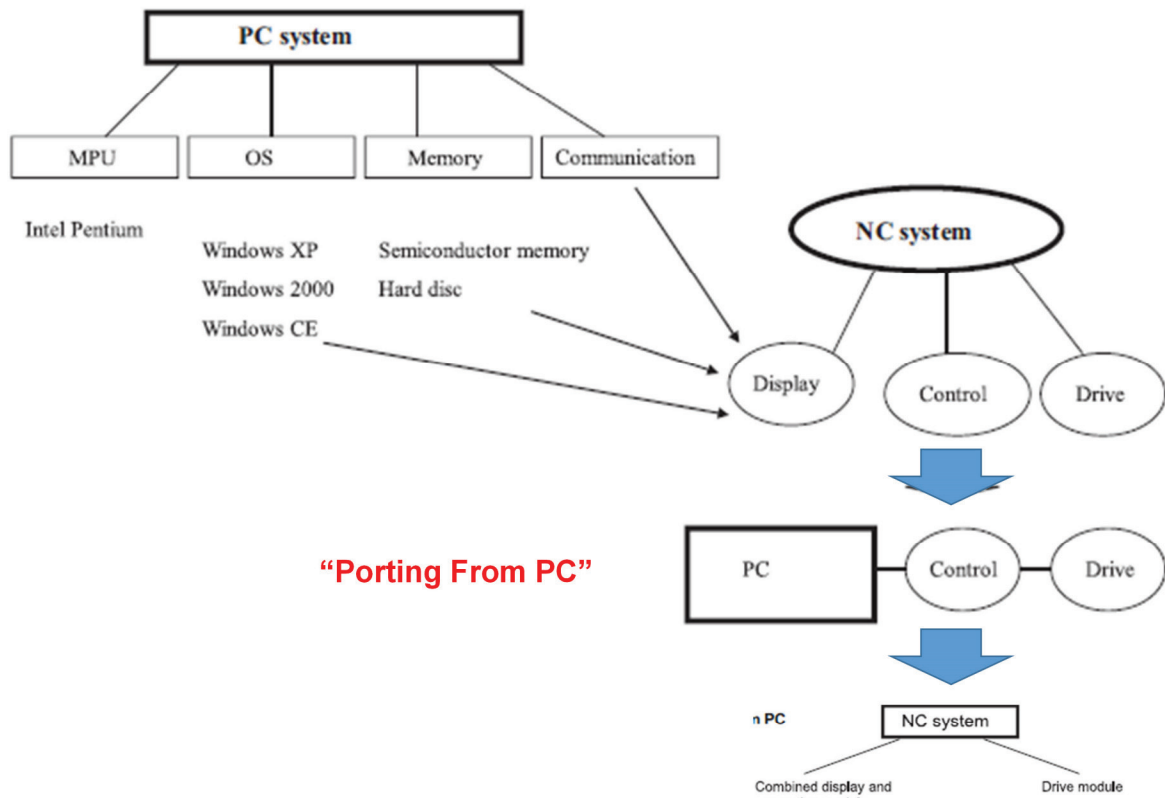
#### □ 개요

- 모듈화시대에 기술과 서비스 간 융합의 중요성을 강조하며, 기술 혁명 (Revolution) 보다는 기술 진화(Evolution)의 관점에서 이해
  - 진화: 체계적인 기획 아래, 급진적 혁신보다 많은 시행착오를 거치며 혁신 달성

#### □ 주요 연구결과

- 2000년대 이후 디지털 기술에 기반한 기술-서비스 융합 시대의 도래를 강조하고, PC 기반 CNC 공작기계와 건설기계 기업의 MIS를 예시로 제시함

- PC는 개방형 모듈라, CNC 공작기계는 폐쇄형 모듈라 아키텍처였으나, CNC 시스템이 개방형 모듈라 아키텍처가 되며 PC 기반 CNC 공작기계가 탄생함
  - \* CNC 구성 디스플레이, 제어, 구동부가 멀티벤더 환경 구축(Shibata et al., 2005)
  - \* PC의 기능이 CNC 디스플레이 유닛에 장착되어 구현됨에 따라 CNC 공작기계는 더 유연, 네트워킹 기능 강화 → PC, 인터넷 기반 원격제어 서비스 구현(제조업의 서비스화 형태)
  - \* 애플 PC처럼 디스플레이에 PC 기능 탑재(이식; porting)



<그림 17> PC 기반 CNC 구성

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- 기계산업의 기술-서비스 융합의 촉진을 위해 탑재하는 부품이 더 다양해야 함
- 빅데이터 기반 비즈니스의 도래, 비즈니스 모델 개발의 중요성, 빅데이터를 잘 다루는 기업의 성장 지원이 필요함

- 22** Basterretxea, I., Charterina, J., & Landeta, J. 2019. Coopetition and innovation. Lessons from worker cooperatives in the Spanish machine tool industry. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 34(6), 1223~1235.

#### □ 개요

- 스페인 공작기계협동조합 간 협력을 위한 원칙 개발과 경쟁우위 확보 관련 연구
  - 경쟁자와의 협력 포함(상호이익을 위한 경쟁사 간 협력, 'coopetition')
- 스페인 공작기계산업은 노동자 주도 협동조합이 R&D 유닛 공유, 공동판매 사무소 및 서비스센터 운영, 지식 교환 및 핵심 R&D인력 재배치 등 상호협력을 주도하며 혁신과 국제화를 이룸

#### □ 연구맥락

- 스페인 공작기계산업 내에 협동조합이 많으며, 스페인 공작기계산업협회(AFM)와 별개로 몬드라곤협동조합(Mondragon Group)이 존재
- 대부분의 스페인 MT 노동자 협동조합은 몬드라곤협동조합에 소속됨
- 스페인 공작기계산업은 중소기업 위주로 구성되며, 개도국의 산업화가 진전됨에 따라 해외 고객이 증가하며 공동 마케팅의 관점에서 협력을 추진함
  - 규모의 영세성으로 인해 시장 개발 활동에 애로사항 존재
  - (공동 마케팅) 세계 시장으로 함께 진출할 방안을 제안하였으며, 이는 지식 재산권을 보호하기에도 유리함

#### □ 연구문제

- 노동자 협동조합이 경쟁사 간 협력에서 얻는 이점은 무엇이며, 어떻게 경쟁사 간 협력체계를 구체화하였는가?
- 어떻게 경쟁사 간 협력과 관련하여, 기회주의적 행동의 위험을 방지하였는가?



- 노동자 협동조합의 협력 사례는 다른 이해관계자(투자자 소유기업)에 잘 전달되고, 확산되었는가?

- 연구에서 11개의 자료원이 협동조합, 3개의 자료원이 투자자 소유기업임

## □ 주요 연구결과

- R&D 유닛을 공유하면 더 크고 장기적인 R&D 협력을 유치하고 암묵지를 공유함으로써, 영세기업의 한계를 극복할 수 있음
  - 영세기업의 혁신 활동 한계 극복
  - 점진적·반복적 혁신 활동이 주요 특성이라서 동일 파트너와 지속하여 협력하는 것이 가능했으며, 경영자의 적극적 지원 아래 복잡하고 암묵적인 지식 교환이 가능
  - R&D 유닛의 공유는 더 큰 국제 R&D 협력(유럽 수준 등)을 견인하며, 장기 R&D에 특화, 미래 전략 수립, 급진적 기술 변화에 대응을 가능케 함
- 신시장에서의 영업 및 판매 후 서비스를 공동으로 추진하면, 직접 소통을 통해 지리적 특성에 대응하기 용이하며 더 유연하고 빠르게 응대할 수 있음
  - 고객과 직접 소통할 수 있게 하여, 고객과의 관계가 중요한 산업에 가치 제공
  - 시장 맞춤형 제품이 지리적 특성이나 부문별 차이에 더 잘 적응할 수 있음
  - 더 빠르고, 유연한 판매 후 서비스가 가능함
- 투자자 기업과의 협력은 영업 및 마케팅 활동과 무관한 영역으로 제한함
  - 부족한 신뢰로 인하여 기회주의적 행동에 대한 우려가 있었음
- 협동조합 간 협력은 공작기계 시장이 세분되며, 각자 전문화된 영역의 중소기업으로 진화함
  - 경쟁 관계에서 보완 관계로의 변화: 선반 시장에서 경쟁하던 기업들이 자동차 특화 선반, 일반기계 특화 선반으로 진화한 것이 대표적인 사례
- 협동조합 간 긴밀하면서도 장기적인 협력의 결과로 합병한 사례를 분석함
  - 시장경쟁력이 강화되고, 고객과 시장에 통합된 비전을 제시하여 영세성 극복

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 중소기업의 경쟁사 간 협력 관점에서 협동조합 간 협력은 비용 공유, 역량 증가, 규모의 경제 달성, 위험 감소, 외부 지식·자원에 접근을 통해 성과 창출에 기여
- 다만, 협동조합 간 협력이 성과를 창출하려면 분명한 협력 동기, 협력 촉진요인 확보, 협력 저해요인(기회주의적 행동, 외부로의 고유 지식 유출) 제거가 필요
- 따라서, 정부의 경쟁사 간 협력 지원은 전체 산업을 대상으로 하기보다는 참여 의사가 있는 기업들에 먼저 적용하는 것이 바람직함

**23** Rafael, L. D., Jaione, G. E., Cristina, L., & Ibon, S. L. 2020. An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. *Technological Forecasting and Social Change*, 159(July), 120203.

## □ 개요

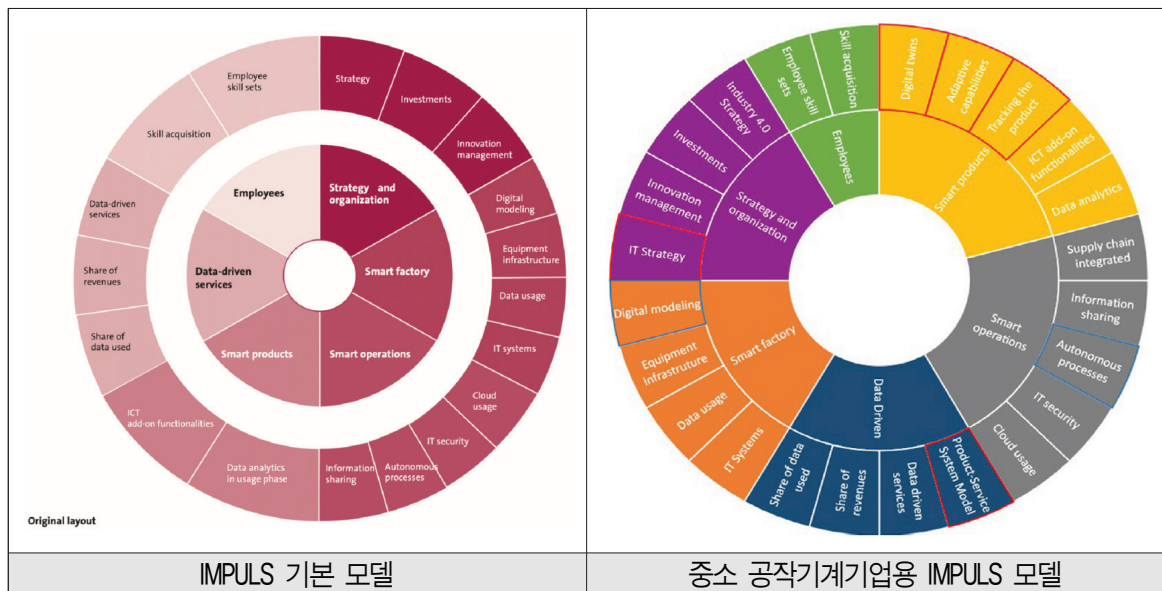
- 유럽의 공작기계산업 내 중소기업이 4차 산업혁명을 적용에 어려움이 있음을 지적하고, 기업별 4차 산업혁명 도입성숙도를 측정할 모델 개발(로드맵 제공)
  - 스마트팩토리, 가상물리시스템(CPS), 사물인터넷(IoT), Internet of Services, 가치사슬 간 수평적 통합
  - Lichtblau et al.(2015)의 IMPULS 모델을 중소 공작기계기업 및 사례기업에 적용

## □ 연구맥락

- 성숙도 측정 및 진단 모델은 ① 현황 평가, ② 기업 비전 수립 및 로드맵 제시, ③ 대내외 비교 및 벤치마킹에 필요함
- 유럽 공작기계산업의 4차 산업혁명 성숙도를 측정해야 할 이유로 고부가가치 전방산업에 솔루션 형태의 맞춤형 핵심실행(key-enabling) 기술의 제공을 꼽음
  - 대기업 또는 아시아의 경쟁자, 협상력이 큰 고객을 상대할 수 있는 전략임
  - 효과적인 디지털 서비스화 실현을 위해 성숙도 모델 개발 필요

## □ 주요 연구결과

- 선행 연구의 다양한 4차 산업혁명 성숙도 모델을 평가 후 IMPULS 모델 선정
  - \* IMPULS는 4차 산업혁명 준비 정도를 평가하는 모형으로, 18개 분야 6개 종목을 제시함
  - ISO 15504 준수(ISO에서 지정한 프로세스 수행 능력 평가 프레임워크 표준)
  - 적합성 평가를 위한 6가지 기준
    - \* 저자의 신뢰성, 적용 횟수, 중소기업 특성 고려 정도, 사용과 해석의 용이성, 서비스의 상품화를 고려한 정도, 성숙도 모형(Maturity Model, MM) 설계 관련 표준의 준수 여부
- 기존 모델을 확장하여 중소 공작기계기업용 IMPULS 모델을 개발함



<그림 18> IMPULS 모델의 변형

- 기본 6대 기준은 준용하되, 세부기준 추가(빨간 테두리) 및 변경(파란 테두리)
- 6대 기준 및 추가, 변경 사항
  - ① 전략과 조직: 1개 세부기준 추가(IT Strategy)
  - ② 스마트 팩토리: 1개 변경(디지털 모델링: 실행의 의미 확장; 단순 실행을 넘어 모델링, 시뮬레이션 기반의 피드백과 최적화 정보 제공까지 포함)
  - ③ 스마트 운영: 1개 세부기준 추가(공급망 통합), 1개 변경
    - \* 자동화 공정: 로봇화, 자동화에 대한 성숙도의 경계를 명확히 함

④ 스마트 제품: 3개 세부기준 추가(디지털트윈, 흡수역량, 제품 추적)

- \* 공작기계에서 가장 중요한 차원
- \* 적용 및 학습 역량: 기계 사용 중 센서가 제공하는 지능과 피드백
- \* 디지털트윈: 제품수명주기에 걸쳐 MT의 가상모델을 구축하고 관리
- \* 제품 추적: 특히 복잡하게 조립되는 공작기계의 구조 고려

⑤ 데이터 기반 서비스: 1개 세부기준 추가(PSS Model, 제조업의 서비스화)

⑥ 종업원

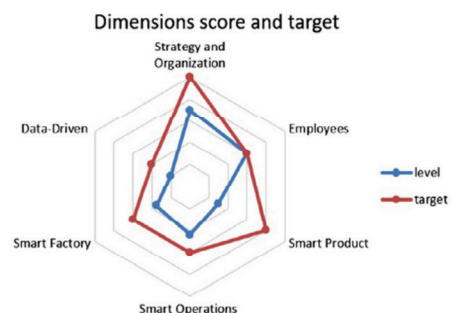
- 각 기준의 성숙도는 리커트 척도(0~5점)로 평가

○ 연구자의 기준을 충족하는 중소 공작기계 기업으로 제한하여 적용함

- 유럽에서 중소기업 중심의 공작기계산업을 대표하며, 4차 산업혁명의 성숙도 수준을 평가하는 데 관심이 있는 기업을 선택함
- 기준별 차별화된 가중치를 부여하였으며, 레벨은 현 상태를, 목표(target)는 2년 내 목표를 의미함

General MM assessment results.

| Organizational radar                         | Level | Weight (0-10) | Target |
|--|-------|---------------|--------|
| Strategy and Organization                    | 3.5   | 9             | 5      |
| Employees                                    | 3     | 7             | 3      |
| Smart Product                                | 1.5   | 9             | 4      |
| Smart Operations                             | 2.2   | 3             | 3      |
| Smart Factory                                | 1.75  | 5             | 3      |
| Data-Driven                                  | 1     | 6             | 2      |
| Global Score (unweighted)                    | 2.16  |               |        |
| Maturity Level and overall target (weighted) | 2.24  |               | 3.33   |



<그림 19> 변형된 IMPULS 모델의 유럽 공작기계기업 적용

□ 연구결과에 대한 시사점

- 업종·기업 맥락에 적합한 4차 산업혁명 성숙도 평가 모델 개발의 필요성을 확인하고, 동시에 적합성 평가 기준에 근거한 접근이 필요함
- 현시점의 성숙도 평가뿐 아니라 미래 전략, 발전방안, 비즈니스 모델 개발과 함께 접근하는 것이 중요함
- 기준별 가중치를 활용함으로써 맞춤형으로 접근할 수 있었음

- 24** Kong, D., Yang, J., & Li, L. 2020. Early identification of technological convergence in numerical control machine tool: a deep learning approach. *Scientometrics*, 125(3), 1983~2009.

#### □ 개요

- 기술융합 관점에서 CNC 공작기계의 기술혁신을 이해하고 분석함
  - 기술융합 궤적 및 하위분야 기술의 역할을 고찰하기 위해 출판물 인용 네트워크 분석과 문자열 정보 기반 그래프 인공신경망(GNN) 활용
- CNC 공작기계 기술의 IT 활용이 증가하고 있으며, ① 가공단계의 신호처리 ② 모션 제어 및 프로세스 기획에 지능형 알고리즘 적용이 활발함

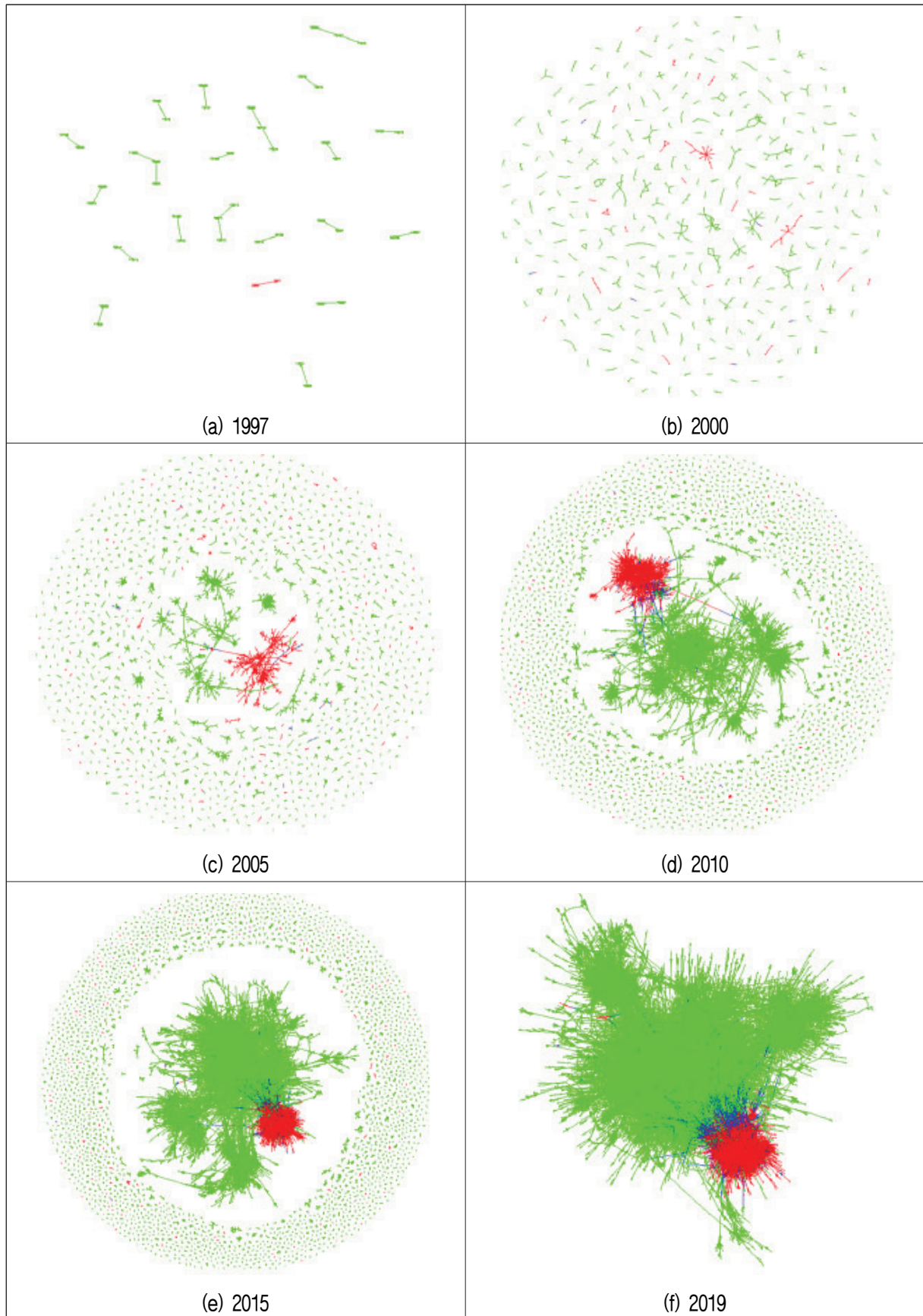
#### □ 연구맥락 및 이론적 배경

- 기술융합을 선진국의 기술경쟁력 유지, 개도국이 추격하기 위한 기술적 기회의 창으로 해석(Kong et al., 2017)
- 융합은 과학적 지식, 기술, 시장, 산업 융합 수준에서 이해할 수 있는데, 과학적 지식수준에서 융합을 파악해야 기술 융합을 효과적으로 식별할 수 있음
- 기술융합에 대한 서지연구에서 머신러닝 및 네트워크 분석 기법의 활용이 증가
- CNC 공작기계, IT 및 전통기계기술 융합의 확대

#### □ 주요 연구결과

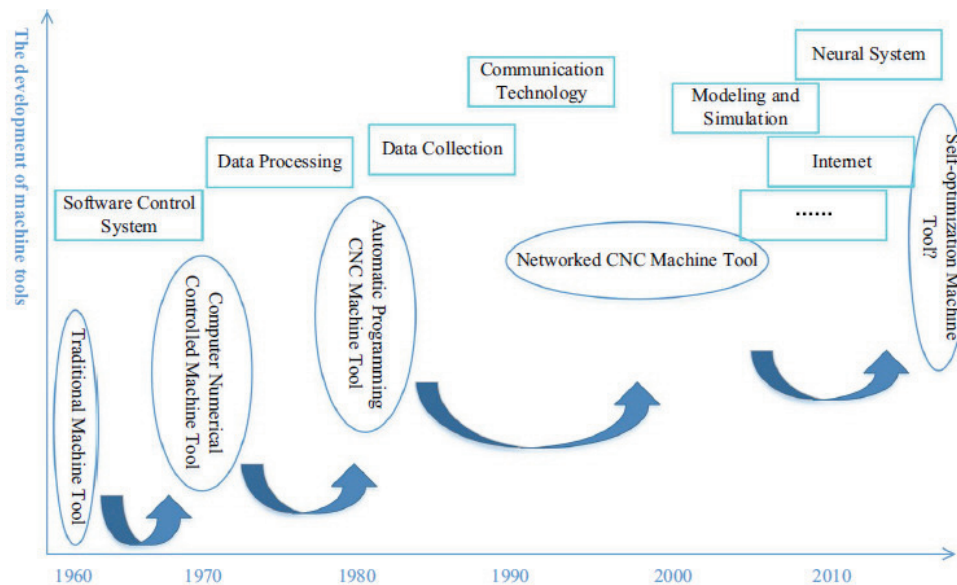
- 공작기계와 IT간 기술 융합을 서로 다른 분야 간 인용의 관점에서 분석함
  - 붉은색 인용 네트워크: 공작기계 분야 출판물 간 (내부) 인용
  - 녹색 인용 네트워크: IT 출판물 간 (내부) 인용
  - 파란색 인용 네트워크: 서로 다른 분야간 다학제적 (외부) 인용
  - 2010년부터 외부 교차 인용 발생, 하위 네트워크 크기 증가





<그림 20> CNC 공작기계 학제 내 및 학제 간 피인용 네트워크 진화

- 과학기술대학교의 국가NC시스템공학연구센터 전문가와 워크숍을 통해 NC 공작기계의 발전 단계를 도출하여 본 연구에서 제시한 방법론의 타당성 검증
  - (1970년대) NC → CNC(Soft-wired), (1980년대) CNC에 자동 데이터 처리 기능 부착(제어), (1990년대) CNC의 자료수집 네트워크화(통신)
  - (2010년대) 인터넷, 시뮬레이션, 신경망 시스템 등을 활용하여, 에러 처리 및 작업효율을 스스로 제고하는 자체 최적화(self-optimized) 공작기계가 등장함



<그림 21> NC 및 CNC 공작기계 시기별 기술 진화: IT 기술의 활용

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 네트워크 분석을 넘어 문자열 정보에 대한 데이터 분석기술을 활용해야 특정 기술 분야의 융합 특성을 상세히 확인할 수 있음

**25** Valdaliso, J. M. 2020. Accounting for the resilience of the machine-tool industry in Spain (c. 1960~2015). *Business History*, 62(4), 637~662.

## □ 개요

- 1960~2015년, 스페인 공작기계산업의 진화를 고찰하고 3번의 수요 위기에 대한 대응을 탄력성(elasticity)의 관점에서 분석함



- 3번의 수요 위기: ① 1970년대 말~1980년대 초(1978~1983년), ② 90년대 초(1990~1995년), ③ 2000년대 말~2010년대 초(2009~2014년)
- 스페인 공작기계산업 회복의 3대 요인은 유연성 및 제품 특화(전문화), 흡수·혁신 역량, 혁신과 숙련된 인력의 훈련을 지원하기 위한 지리적 집약임
  - ① 유연성 및 제품 특화(전문화): 틈새시장을 효과적으로 공략하는 중소기업
  - ② 흡수·혁신 역량: 지속적인 R&D 투자로, 차별화 기반의 경쟁전략 수립
  - ③ 혁신과 숙련된 인력의 훈련을 지원하기 위한 지리적 집약
- 스페인공작기계공업협회는 세 요인에 모두 긍정적인 영향을 줌(1946년 설립)

#### □ 연구맥락 및 이론적 배경

- 탄력성은 시스템이나 지역이 충격이나 위기를 예측, 저항, 적응, 대응하고 이로부터 회복하는 것을 의미함: 시스템 이론과 진화된 경제지리학의 관점
  - 충격 이전과 동일한 상태로 돌아가는 것뿐 아니라, 장기적으로 성장과 발전을 유지할 수 있는 능력도 포함됨
- 따라서 탄력성을 높이는 요인을 이해하고, 이를 확보하기 위한 노력이 필요함

#### □ 주요 연구결과

- 총기업 수와 신생기업 수 관점에서 산업을 분석함
- 1982년과 2015년 세계 공작기계 생산량을 기준으로, 유럽 내 다른 국가의 시장점유율은 하락하였으나, 스페인은 유지함
  - 1982년에는 한국의 시장 점유율이 없고, 2015년에는 5.9%로 중국, 일본, 독일, 이탈리아에 이어 5위(미국 6위, 대만 7위)
  - 2015년, 스페인이 EU 내 3위(독일-이탈리아-스페인), 유럽 내 4위(3위 스위스)
- 3번의 수요 위기 속에서도 스페인 공작기계산업의 총생산 중 수출이 차지하는 비중은 꾸준히 상승함

## ○ 스페인 공작기계산업 회복의 3대 요인 제시

## ① 유연성 및 제품 특화(전문화): 틈새시장을 효과적으로 공략하는 중소기업

- 스페인 공작기계산업: 소기업 위주, 이탈리아와 비슷하며 독일, 영국, 프랑스, 미국, 일본보다는 그 규모가 매우 작음
- 따라서 생산 유연성이 매우 높으며, 진입장벽이 낮은 만큼 경쟁 강도가 강하기 때문에 기업들이 역동적으로 변화함
- R&D&i(innovation)을 위한 자원 부족 문제에 직면하였으나, 1960년대부터 스페인공작기계공업협회의 지원을 통한 기업 간 협력으로 단점을 극복함
- 이후 기업 간 합병 등을 통해 중견기업의 비중이 확대되었고, 생산 유연성을 유지하면서도 규모의 경제를 달성하여 경쟁력을 강화함
  - \* 금융자원, 국제화와 R&D&i를 위한 임계 규모 확보
- 주요 그룹 형태의 기업 등장: 2008년 기준 Danobat, Maher Holding, Fagor Arrasate, Nicolas Correa가 총생산량의 40%를 차지
  - \* 이후 특정 제품 분야 세계 1위 기록, 1990년대 특정 주요 선도업체들이 항공, 풍력, 철도 시장 등의 고급 수요 시장 진입 시도
- 아래 표에 Others와 Special and transfer machines의 비중이 높은 것을 통해 매우 좁은 분야에 특화·전문화하려는 경향이 강한 것을 알 수 있음

〈표 6〉 스페인 공작기계 산업의 품목별 생산 현황

|                                    | 1969  | 1984  | 1995  | 2014  |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Metal cutting machine tools</i> |       |       |       |       |
| Lathes                             | 21.12 | 16.99 | 11.43 | 15.74 |
| Milling machines                   | 13.99 | 22.53 | 22.54 | 16.74 |
| Grinding machines                  | 6.91  | 6.22  | 5.56  | 7.43  |
| Boring machines                    | 4.29  | 4.29  | 1.24  | 1.17  |
| Drilling machines                  | 6.59  | 3.58  | 1.52  | 1.76  |
| Special and transfer machines      | 4.51  | 8.56  | 9.54  | 10.72 |
| Machining centers*                 |       |       | 6.83  | 6.15  |
| Others                             | 13.74 | 15.79 | 11.98 | 6.09  |
| Total                              | 71.15 | 77.95 | 70.64 | 65.80 |
| <i>Metal forming machine tools</i> |       |       |       |       |
| Mechanical presses                 | 13.96 | 5.00  | 8.57  | 17.48 |
| Hydraulic presses                  |       | 2.14  | 3.14  | 1.39  |
| Others                             | 14.90 | 14.90 | 17.65 | 15.33 |
| Total                              | 28.86 | 22.05 | 29.36 | 34.20 |

\* In 1984 machining centers were included in others.

Source: author's elaboration from Olascoaga (1971) for 1969; Check (1985) for 1984, and AFM, for 1995 and 2014.

② 흡수·혁신 역량: 지속적인 R&D 투자로, 차별화 기반의 경쟁전략 수립

- 스페인공작기계공업협회의 박람회 개최와 유럽공작기계협회 가입을 통해 스페인 기업들이 최근 기술을 학습하고자 함
- 그 결과 NC 기술 등 급진적인 기술변화에 더 효과적으로 적응함: 1978년에는 NC 공작기계 생산 비중이 1%에 불과하였으나, 1983년까지 빠르게 추격함
- 1980년대 동아시아 국가의 추격에 대응하기 위해 R&D 투자를 확대하였으며, R&D 수행기업 수, 투자 규모 및 인력 등을 시각화하여 제시함

③ 혁신과 숙련된 인력의 훈련을 지원하기 위한 지리적 집약

- 스페인 공작기계산업은 바스크 지역에 지리적으로 집약됨
  - \* 그 이유는 방위산업 특화지역으로 Escuela de Armeria(무기 분야 전문대학원) 등 방위산업 관련 학교가 1950년대부터 집약되어 숙련된 인력을 확보하기에 용이함
- 1970년대 이후 바르셀로나 지역의 산업 클러스터가 쇠퇴했으며, 2010년 바스크 기업들이 산업 전체 매출의 84%와 수출의 86%를 차지함
- 바스크 지역 내에도 Guipuzcoa라는 도(State)가 차지하는 비중이 매우 큼

<표 7> 스페인 공작기계산업 지역별 생산 현황

|                | 1960             | 1969*            |                    | 1985            |                    | 1998            |                    | 2010            |                    |
|----------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|                | Firms            | Firms            | Employment         | Firms           | Employment         | Firms           | Employment         | Firms           | Employment         |
| Alava          | 8(3.1)           | 15(6.0)          | 645(5.2)           | 6(5.2)          |                    | 5(5.4)          | 418(8.5)           | 5(6.2)          | 305(6.4)           |
| Guipuzcoa      | 92(35.4)         | 87(34.8)         | 5,366(43.2)        | 61(53.0)        |                    | 50(53.8)        | 3,074(62.6)        | 41(51.2)        | 3,014(63.3)        |
| Biscay         | 44(16.9)         | 35(14.0)         | 1,707(13.7)        | 19(16.5)        |                    | 11(11.8)        | 400(8.1)           | 10(12.5)        | 284(6.0)           |
| Basque Country | <b>144(55.4)</b> | <b>137(54.8)</b> | <b>7,718(62.1)</b> | <b>86(74.8)</b> | <b>5,643(77.8)</b> | <b>66(71.0)</b> | <b>3,892(79.2)</b> | <b>56(70.0)</b> | <b>3,603(78.2)</b> |
| Barcelona      | 65(25.0)         | 52(20.8)         | 2,604(20.9)        | 15(13.0)        |                    | 11(11.8)        | 243(4.9)           | 9(11.2)         | 160(3.4)           |
| La Rioja       | 14(5.4)          | 26(10.4)         | 622(5.0)           | 3(2.6)          |                    | 2(2.2)          | 121(2.5)           | 2(2.5)          | 67(1.4)            |
| Zaragoza       | 12(4.6)          | 15(6.0)          |                    | 5(4.4)          |                    | 5(5.4)          | 174(3.5)           | 4(5.0)          | 67(1.4)            |
| Rest of Spain  | 25(9.6)          | 18(7.2)          | 1,488(12.0)        | 6(5.2)          | 1,609(22.2)        | 9(9.7)          | 483(9.8)           | 9(11.2)         | 964(20.2)          |

\* The source offers a distribution of firms by Spanish provinces, However, employment figures are only available for the three Basque provinces, Barcelona and Rioja.

Source: author's elaboration from AFM(1983), for 1960; Olascoaga(1971: vol. I, V-33, for 1969; Check(1985), for 1985; and AFM for 1998 and 2010. Figures for 1985, 1998 and 2010 refer to firms associated to AFM. In 1998 and 2010 AFM firms account for 78% and 86% of total firms, and for 93% and 98% of total employment, respectively.

- 바스크 지방정부는 스페인공작기계공업협회와의 협력을 기반으로 기술 역량 향상, 산업 구조조정, 기업 간 인수합병, 수출, 연구소 설립 등을 지원함

\* 스페인공작기계공업협회는 직업훈련센터를 강화하는 등 바스크 지역을 집중적으로 지원함

## □ 연구결과에 대한 시사점

- 탄력성 관점에서 산업경쟁력을 국가 단위가 아닌 지역 단위로 낮추어 분석함
- 지자체, 협회, 연구기관, 대학 등의 역할을 총체적으로 이해해야 함
  - 특히, 협회가 산업과 정부 사이의 교섭자 역할을 하며 기업 간 R&D, 인적 자본 형성, 해외 시장 접근을 위한 협력을 촉진하는데 크게 기여함

**26**

**Martinelli, A. 2021. Collectivism, individualism and solidarity in global value chain restructuring in the Global North: Workers' resistance in the Swiss machinery industry. Economic and Industrial Democracy**

## □ 개요

- 산업 가치사슬의 글로벌화, 즉 GVC로의 재편이 선진국 노동조합의 집단주의 약화, 개인주의 강화, 연대의식 약화에 미친 영향을 분석함

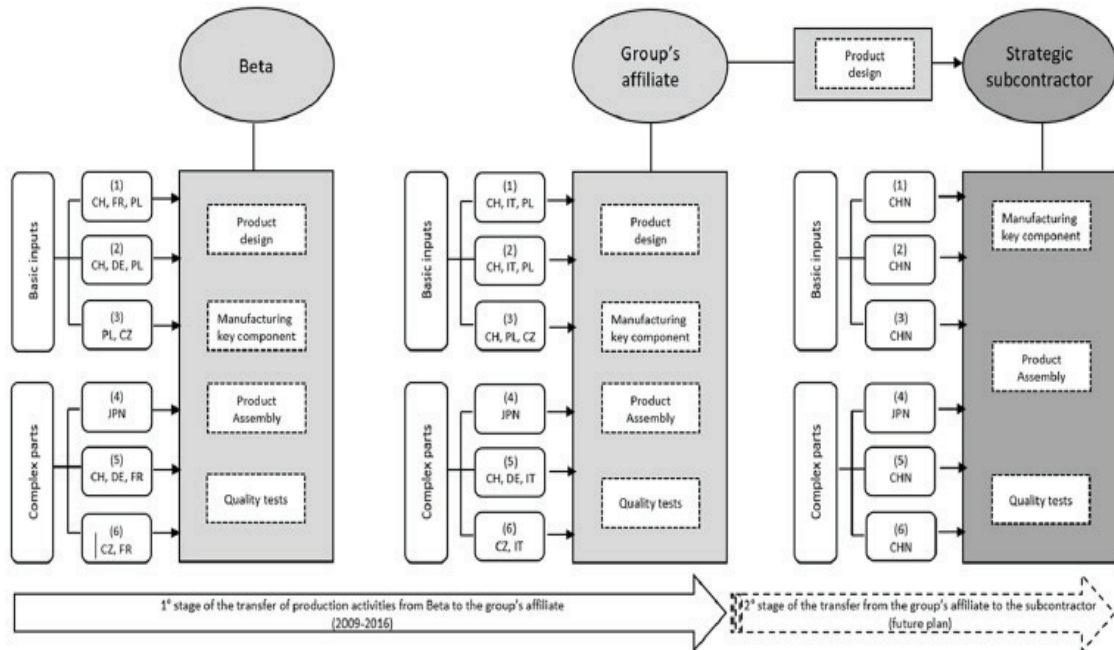
## □ 연구맥락

- 스위스 공작기계산업은 수출지향적이며, GVC에 많이 편입된 산업 중 하나
  - 1차 자료 수집을 위해 노조원, 관리자, 개인 근로자 순으로 인터뷰 진행
  - 중소기업, 가족기업 중심의 산업 구조
- 스위스는 문화·언어적으로 분화된 국가이며, 역사적으로 고용주(사측)이 노동자(노동자 측)에 비해 훨씬 우위에 있음
  - 과거부터 고용주 연합과 노조 간 사회적 대화 형성, 산업 수준의 단체 협약(collective agreement)에 기반한 노동 평화조항 규정
  - 이에 따라 노동 운동은 잠잠하며, 파업은 긴 협상 이후 최후의 수단, 결국 대규모 재계 단체 중심의 협동조합 시스템이 오랜기간 활용됨
  - 노사협의회(Work Council)는 작업장 안전과 보건 등에 대해 개정 권고나 조언만 할 수 있는 단체(상사-부하 관계)임

## □ 이론적 배경 및 주요 연구결과

- 기업의 GVC 활용 관련 초기 연구는 기업 경쟁력이 좋아지면 노동자 권리도 향상된다고 분석함: 산업고도화가 사회 전반의 고도화를 견인
- 그러나 후속 연구에서 산업이 고도화됨에도 불구하고 사회 전반의 고도화에는 오히려 부정적인 영향을 미친 사례를 다수 실증함
- 이에 따라, 선진국의 GVC 활용이 가지는 부정적 영향에 대한 논의가 확산됨
  - (글로벌 노동력 차익거래) 선진국의 고임금 인력을 개도국의 유사한 능력을 갖춘 저임금 인력으로 대체하는 현상(국제 아웃소싱)
  - 선진국 기업이 노동력 차익거래를 활용하면 선진국 노동자들은 사측의 노동자 결집 방해 전략(divide-and-rule), 비노조 선호, 저임금 노동자 선호, 착한 노동자 선호 등에 직면하게 되며, 결국 아래 3가지 불리한 여건에 직면
    - \* 노조의 결속력 약화, 집단주의 약화, 노동자의 개인주의 강화, 노동자 간 연대의식 약화 (생산시설 중 더 나은 곳으로 이동하고자 단체활동에 빠지고, 열악한 근무조건도 수용)
- 1990년대와 2008년 글로벌 경제위기 발생으로 인해 고용주들의 해고, 근무강도, 외국인 직접투자(FDI) 등에 대한 인식 변화 촉진
  - 스위스 기계산업 내 GVC로의 편입 발생: 값싼 수입 제품·부품 증가, 일자리 감소, 역량있는 근로자 중심으로 노동구조 변화, 저부가 부품의 해외 아웃소싱
- 이에 따라 산업 전반에 3가지의 노사관계 변화가 발생
  - \* 단체 협약에서 기업 수준의 협약으로 법 개정 및 개발하고 노사협의회는 부하(junior partner)에서 계약 파트너(contractual partner)로 격하
  - \* 고용주들 단체 협약에 노동자의 이익에 반하는(anti-labour) 조항 신설: 경제적으로 어려울 때는 고용주들이 월급을 더 주지 않고 주간 근로 시간을 늘릴 수 있게 됨
  - \* 탈노조, 비노조(de-unionization)
- (총괄) 스위스 공작기계 선도기업의 GVC 참여·활용에 따른 노동자 조합의 집단주의 약화, 개인주의 강화, 연대의식 약화 사례
  - 1990년대 베타를 소유한 다국적 기업이 경쟁사 인수, 지주회사 체제로 전환
  - 2009년 글로벌 금융위기 당시 인건비 절감, 유럽 내 공장 폐쇄, 해고(60명) 및 지주회사로의 이직 사례 확인

- 중장기적으로는 중국 공장으로 생산 기반을 이전하고자 계획하였으며, 그 결과 모든 부품 공급사는 일본 등 동아시아에 집중됨
- 결국, 제품 설계(Product Design) 활동만 베타가 담당함
- 노동자의 투쟁: 생산·내부 개발 부서 보호장치 요구 → 사측이 정리해고 규모의 축소(60 → 30명)를 제안했으며 노동자 측은 수용하되 Good social plan을 제안



<그림 22> 스위스 공작기계기업의 GVC 활용에 따른 가치사슬 내 활동 주체 변화

○ (세부 1) 노동자 조합의 집단주의가 약화됨

- 노사협의회는 제한된 규정만 제공했으며, 결국 노동자 결집 방해 전략을 통해 노동자 측의 교섭력을 효과적으로 약화시킴
- 노동자 측에서는 이득이 없는 승리: 30명으로 정리해고를 축소한 계획에 그침 → 결국 기업은 가치를 확보하였으나, 노측은 큰 수확이 없었음

○ (세부 2) 노동자 조합 내 개인주의가 강화됨

- 이후 노사협의회는 자문 기능이 종료되고, 사측이 노사협의회 대표를 감시함
- 고용 불안정 심화, 근로조건 악화, 이직에 대한 노동자들의 압박은 결국 근로자 개인이 감수해야 하는 문제가 됨



- (세부 3) 연대의식이 약화되며 지주회사 내 다른 기업의 노동자와 긴장감 조성
  - 지주회사로 이직한 인원은 다른 계열사 직원의 교육훈련을 지시받았으나, 경쟁자를 훈련시키는 것은 자신의 해고를 촉발하는 일이라는 우려가 확산
  - 이에 따라 교육훈련을 주저했고, 이는 분열로 인식되어 노동자들의 집단 행동을 저해함

#### □ 연구결과에 대한 시사점

- GVC가 노동자에게 미친 3가지 부정적 효과에 대해 실증적으로 분석하였으며, 노동자의 근로조건이 저해될 가능성이 크다는 우려가 있음
- GVC를 통해 산업 고도화와 사회 전반의 고도화를 동시에 달성하려면 정부의 규제나 노동자 보호가 필요함
- 공작기계산업에 대해 산업계 소속 연구자가 저자로 참여한 유일한 연구로, 스페인 Mondragon group 소속 연구자가 참여함

## 4. 결론 및 시사점

#### □ 1990~2021년에 게재된 미국, 일본, 독일 등 선진국을 분석한 논문 26편을 정리

- 1990년대 9편, 2000년대 9편, 2010년대 4편, 2020년대 4편 등 시기별로 두루 게재된 논문을 대상으로 분석함
  - 1990년대 연구는 미국, 일본, 독일(유럽)로 연구대상이 제한적이나, 2000년대 이후 한국, 대만, 중국, 스페인, 스위스 등 연구대상이 확대됨
- 미국, 일본, 독일, 유럽, 영국, 한국, 스페인, 대만, 스위스, 중국 등 주로 기계 분야(수출 기준) 10위권의 선도국을 대상으로 분석함
  - 1990년부터 2014년까지 가장 많은 8개의 연구에서 일본 사례를 분석하였으며, 미국에 대한 논문은 7개가 있으나, 2006년 이후 관련 연구가 단절됨
  - \* 공작기계산업의 주도권이 미국과 독일에서 일본으로 넘어간 것이 혁신연구에서도 관찰됨



- 한국 공작기계산업에 대한 연구는 2편이며, 2003년, 2007년에 각각 게재됨
  - \* 범위를 기계산업 전반으로 확장하면 2000년대까지는 2편에 불과하지만, 2010년대 이후 5편의 논문이 게재되며 꾸준히 연구되고 있음
- 공작기계 기술·산업 분야 혁신연구는 Technovation, Research Policy 저널에 주로 게재되었으며, 국내 저자는 이공래 박사, 성태경 교수, 임채성 교수가 있음
  - 총 13개의 저널에 게재되었으며, Technovation에 8편, Research Policy에 6편, Technology Forecasting and Social Change에 2편, 그 외 모두 1편씩 게재됨
    - Technovation은 기술 동향과 혁신의 모든 측면을 다루며, JCR 상위 10%에 속하는 I.F.가 11.373에 이르는 국제학술지임
    - Research Policy는 경험·이론적으로 혁신과 기술이 경제, 사회 등과 어떻게 상호작용하는지에 대한 연구를 다루는 I.F.가 9.473에 이르는 국제학술지임
  - 이공래 박사는 일본 공작기계산업을 대상으로 연구하였으며, 수요기업이 공작기계 혁신에 유의한 영향을 미침을 개도국의 관점에서 분석함
  - 성태경 교수는 기술시스템의 개념을 활용하여 한국 공작기계산업의 진화 과정을 분석하고, 기술수명주기가 긴 산업엔 중장기적 정책이 필요함을 제언함
  - 임채성 교수는 기술 체계 및 시장 특성의 관점에서 우리나라의 CNC 기술 추격에 성공하지 못한 사례로 분석하고, 연구 프레임워크를 마련함
- 26편의 논문을 게재 시점과 연구대상 국가를 중심으로 종합 분석함으로써, 공작기계산업의 역사와 혁신 사례, 패러다임의 전환을 살펴볼 수 있음
  - 또한, 1990~2000년대 공작기계 CNC 사례연구와 같이 기술혁신 연구는 기술의 불연속적 변화, 급진적 혁신 특성이 나타나는 국가와 분야에서 활발히 진행
  - 통상의 기계분야는 점진적 혁신, 지식의 암묵지화 성향이 강하고, B2B 특성을 가져 기술혁신 관련 어젠다 발굴이 어렵기에 공작기계 분야로 한정하여 분석
    - 논문이 게재된 시점을 기준으로 미국, 독일, 일본 등 주요국 사이에 공작기계 산업·기술 리더십의 전환을 확인할 수 있음

## ① 1990년대에 발간된 연구

- 혁신 활동(기술축적을 위한 논문, 특허 등의 활동) 증가에도 불구하고 수요 산업의 주기적 변동성, 고임금의 요인으로 생산성 저하
  - 기능별 영역(Forming, Stamping, Welding, Pressing, Cutting) 기술 축적 기간이며 전 산업의 마이크로프로세서 기술, CNC, 레이저, 광학기술 도입기
  - 가공 기술 발달에 따라 윤활유, 세정, 냉각 등 보완 기술 연계 성장
- 미국 공작기계산업은 기술혁신을 기반으로 제품 차별화(새로운 기능 부가)를 시도하였으나, 일본 및 독일 대비 경쟁우위 확보에는 실패
  - 미국과 일본 사이 공작기계산업 주도권은 1980년대부터 뒤바뀌었으며, 미국의 폐쇄형 루프에 비해, 일본은 개방형 루프의 형태로 개발하며 저가 공작기계 시장 창출 및 유연한 제조공정 자동화에 주력
  - 1960년대 중반, 모터기술의 성숙으로 개방형 루프 기술의 상업적 응용이 가능
  - 제어기술 혁신이 신규 시장 창출할 것으로 기대했으나 기존 장비에 부착·활용하는 형태로 CNC 수요가 발생하면서 신시장 창출에 한계
- 미국 공작기계 중소기업 6곳의 공정혁신 실태조사 결과, 정부의 대형 고객 육성 지원을 위한 종합적 대응 필요성을 제시
  - 규제 부담 경감, 금융 인센티브, 우대금리 제공
  - 기존 정책들은 소규모 제조기업의 기술 역량 향상에 주목
  - 소규모 기업들의 새로운 공정혁신 도입을 촉진하기 위해서는 기술 확산의 '수요 견인'과 '기술 주도' 측면 모두에 집중해야 함
- 독일 공작기계산업 50개 기업의 분석 결과, 특허를 활발히 하는 기업(국제출원, 유효 특허 비율, 피인용 특허)이 경제적 성과가 우수함
  - 클러스터 분석 기반 4가지 유형 확인: ① 선택적 특허 출원, ② 성공적이지 못한 특허 출원, ③ 국제적으로 매우 활발한 출원, ④ 유효 특허 중심 출원
  - \* 6대 특허 지표 기준 50개 기업을 4개 클러스터로 구분
- 일본 공작기계산업을 대상으로 1979~1992년 사이 25개 일본공작기계 기업 분석 결과 전략 변수보다는 환경 변수가 종속변수에 미치는 영향이 더 큼

- 자동차 등 전방산업의 성장, 우수한 금융자원 조달 환경, 정부의 공작기계산업 환경 규제 등이 일본 공작기계산업 성장에 중요한 역할을 수행
- 수요산업의 자본 투자 후 4~5년 후에 메카트로닉스 산업 혁신에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 특히, 일본 자동차 생산기업의 자본 투자 효과가 가장 큼
- 한국은 자동차, 조선 등의 분야에서 진입 시도가 있었고, 삼성은 1990년대 말 신성장동력으로 CNC를 선택하기도 하였으나 실패에 그침
- 실제 추진 강도, 기존 기계기술 기반 지식 역량 정도 등의 관점에서 일본과의 비교 가능할 것으로 기대

## ② 2000년대에 발간된 연구

- 미국 공작기계산업이 쇠퇴하며, 이미 수입제품에 잠식당한 내수시장보다는 R&D 집약을 통한 수출 고성장 기업을 육성하려는 전략을 분석함
  - 전시회와 해외 공공기관을 활용한 수출 고성장기업은 우수한 수출성적을 창출하였으며, 이들이 R&D집약도, 고용창출, 매출 성장률도 우수함
  - 미국 공작기계산업이 경쟁력을 다시 확보하려면 해외 시장 개척, 글로벌 가치 사슬 활용의 중요성 강조
- 독일 공작기계 기업이 우수한 특허를 통해 매출액(성과)이 향상되는 것을 확인
  - 출원과 매출성과 간 2~3년의 시차가 존재하며, 질적으로 우수한 특허가 매출 성과에 더 큰 영향을 미침
- 영국에서 CNC 도입 시, 지리적으로 가까울수록 신기술 확산에 용이하나, 과도한 집적화는 지역 불균형을 야기할 수도 있음
  - 국가 수준의 기업간 학습효과는 아니지만, 지역내 기업간 학습효과를 확인함
- 한국의 CNC 선반 생산, 국내수요 증가를 기준으로 태동기, 유아기, 청소년기로 구분하여 기술시스템을 이해하고, 기술 추격 실패사례로 분석함
  - 기술수명주기가 긴 공작기계 분야를 기술시스템 관점에서 산업 진화 분석
    - \* 기술수명주기가 긴 산업은 더 중장기적인 정책적 지원이 필요
  - LG산전의 사례 등을 통해 기술추격에 실패한 사례연구 프레임워크를 마련하였고, 기술시스템에 부분적 시장 체제라는 개념을 보완함

- 모듈라 제품 혁신에서의 인터페이스 전략을 대만 공작기계산업에 적용하여 분석했으며, 비정형화된 경로를 통한 기술 획득의 중요성을 확인함
  - 대만은 인터페이스 개방성이 외부로는 높고, 내부로는 비교적 낮음
  - 특히, 중소기업 중심의 산업구조를 가지는 중저기술군의 사업에서 기술 라이선싱 등 정형화된 경로 외에 비정형적인 경로를 통한 성장사례를 확인함
- 일본 화낙의 CNC 아키텍처는 통합형 → 닫힌 모듈형 → 개방형으로 진화함
  - 맞춤형 제품 개발이 필요한 분야에서 원가 절감과 대량생산을 위해 모듈화가 촉진되었고, 이러한 모듈화를 위해서는 조직 역량의 강화가 필요함

### 3 2010년대에 발간된 연구

- 중국 로컬기업이 WTO 가입 이후 성장 제한 우려에도 글로벌기업과 경쟁하며 어떻게 기술 역량을 강화하고 시장 점유율을 확대하였는지 분석함
  - 점진적인 기술혁신 분야 또는 기술 변화속도가 느린 공작기계 분야였기에, 저가시장에서 출발한 로컬기업이 외부 기술·인력을 확보하며 기술 습득 가능
- 네일본의 화낙과 CNC 공작기계 사례를 통해 대기업의 전략적 전환과 기술 진화에 대해 분석함
  - 사내벤처로 출발한 대기업의 전략적 전환 사례인 화낙을 통해 전략적 혁신을 위한 신규 조직의 탐험역량과 기존 조직의 활용역량간 시너지의 중요성 강조
    - \* 전략적 혁신을 위한 역량 프레임워크를 사분면 형태로 제시하고, 우수기업은 도메인 간 이동 역량과 운영 역량을 토대로 연속 루프를 달성하는 것을 확인함
  - 모듈화 시대에 기술과 서비스 간 융합의 중요성을 강조하며, 체계적인 기획 아래 급진적 혁신(기술 혁명)보다 시행착오를 거쳐야 하는 기술 진화를 설명함
- 스페인 공작기계협동조합 사례를 통해 상호이익을 위한 경쟁기업 간 협력 사례를 통해 기회주의적 행동을 방지하며, 혁신과 국제화를 이뤘는지 분석함
  - 명확한 협력동기와 협력 촉진요인은 확보하고, 저해요인은 제거함으로써 협력 의사가 있는 기업의 경쟁사 간 협력을 지원하여 산업을 부양할 것을 제언함

#### ④ 2020년대에 발간된 연구

- 기존 IMPULS 모델을 확장하여 유럽 공작기계산업 내 중소기업에게 적용할 수 있는 4차 산업혁명 도입성숙도 측정모델을 개발함
  - 업종과 기업의 맥락에 따라 서로 다른 4차 산업혁명 도입성숙도 측정모델이 필요하며, 현시점의 수준평가뿐 아니라 비즈니스 모델 개발까지 연계해야 함
- 스페인 공작기계산업의 진화과정 속 3번의 수요 위기에 대한 대응을 탄력성의 관점에서 분석함
  - 유연성 및 제품 특화(전문화), 흡수·혁신 역량, 혁신과 숙련공 육성을 위한 지리적 집약을 공작기계산업이 회복할 수 있었던 3대 요인으로 제시함
- 수출지향적인 스위스 공작기계산업이 GVC에 편입되며 노동조합의 집단주의 및 연대의식 약화, 개인주의 강화가 야기된 원인을 분석함
  - GVC가 노동자에게 미친 부정적인 영향을 실증적으로 분석하였으며, 산업 고도화뿐 아니라 사회 전반이 고도화되기 위한 정부의 역할을 강조함
- 공작기계 기술·산업 분야 혁신연구 동향을 이해하고 학습함으로써 정책역량 제고 및 정책활동의 효과성을 제고할 수 있음
  - 논문·특허 출판이 매출이나 생산량 등 성과에 미치는 영향부터 무역경쟁력 비교 등 정량분석 연구
  - 기술시스템, 가치사슬, 경쟁우위, 기술융합, 기술진화, 지배적 디자인, 아키텍처, R&D 집약도, 형식지·암묵지 등 경영·혁신 개념 및 이론을 활용한 연구
  - CNC 기술을 대표하는 화낙(Fanuc)에 대한 사례연구
- 공작기계산업에 대한 혁신연구를 고찰함으로써, 기계산업 전반에 아래와 같은 시사점을 제언하며, 발전방안을 모색할 필요가 있음
  - (④ Ernst, 1995; ⑪ Ernst, 2001) 정량적 평가의 한계는 분명하지만, 지식재산권 경쟁력 강화가 매출 등 경제적 성과에 미치는 영향을 간과하지 말아야 함

- (③ Davis, 1993) 기술사업화 성과 창출을 위한 특허 패키지의 중요성 강조
- (⑫ Baptista, 2001) 특화도시 등을 추진할 때 기존의 인프라와의 지리적인 인접성을 최대한 활용하여 신기술을 확산하고 혁신성과를 창출해야 함
- (⑬ Kalafsky & MacPherson, 2006) 인재육성은 단기간에 해결될 문제가 아니기에 정부가 인재육성을 위해 모든 주체가 협력할 수 있는 플랫폼을 개발해야 함
- (⑭ Chen, 2009) 출연(연)과의 협력, 해외 박람회 참여, 기술 라이선싱 등을 통해 비정형적 학습을 강화하는 것이 중소기업 중심인 우리 기계산업에 중요함
- (⑩ Kalafsky & Macpherson, 2001) 기계산업이 가지는 특징으로 성장을 위한 비공식적 비즈니스 네트워크의 중요성을 강조함
- (⑰ Brandt & Thun, 2010) 우리 기업도 기술 변화가 완만한 산업에서는 로컬과 글로벌 가치사슬에 모두 참여하며 기술 역량의 축적 효과를 극대화해야 함
- (⑱ Kodama & Shibata, 2014) 대기업이 전략적 전환을 하려면, 환경변화와 내부 역량을 분석한 후, 어떻게 탐험과 활용 프로세스를 병행할지 설계해야 함
- (㉒ Basterretxea et al., 2019) 기업 간 협력이 부족한 우리 기업들이 상호이익을 위하여 경쟁사 간 협력하려면 명확한 협력 동기의 발굴이 선행되어야 함
- (㉓ Rafael et al., 2020) 기계산업이 중소기업 중심으로 구성되므로, 업종·규모 특성을 고려한 4차 산업혁명 도입성숙도, ESG 가이드라인 등이 제시되어야 함
- (㉔ Martinelli, 2021) 수출지향적인 우리 기계산업이 GVC가 개편되며 받을 수 있는 부정적인 영향을 예방하기 위한 근로자 보호 등 정부의 역할이 필요함
- (⑨ Vonortas & Xue, 1997) 중소기업 중심의 산업을 성장시키기 위해서는 기술 역량 향상뿐 아니라 수요를 견인할 수 있는 정부 정책의 필요성 강조



## 약어 정리

|     |  |
|-----|--|
| CNC | Computer Numerical Control, 컴퓨터 수치제어기  |
| IPC | International Patent Classification, 국제 특허 분류 체계   |
| GNP | Gross National Product, 국민총생산. 1년 동안 해당 국가의 국민들이 국내외에서 새로 생산한 모든 재화와 서비스의 시장가치를 합산한 값(생산 주체의 국적 기준)                              |
| HHI | Herfindahl-Hirschman Index, 허핀달-허쉬만 지수. 어떤 산업의 시장집중도를 측정하며, 값이 클수록 산업에서 특정 기업의 시장집중도가 더욱 커진다는 것을 의미함                             |
| MT  | Machine Tool, 공작기계   |
| FMS | Flexible Manufacturing System, 다품종소량생산 시스템   |
| MPU | Micro Processor Unit, 마이크로프로세서 장치  |
| CIM | Computer Integrated Manufacturing, 컴퓨터에 의한 통합 생산   |
| RCA | Revealed Comparative Advantage, 현시 비교우위 지수. 세계 전체 수출시장과 특정국 수출에서 상품이 차지하는 비중 사이의 비율로 비교우위 판단 시 사용                                |
| RTA | Revealed Technological Advantage, 현시 기술우위 지수. 특정 주체가 다른 주체와 비교하여 상대적으로 어떤 기술 분야에 특화되었는지 분석하며, 특허활동지수(AI, Activity Index)로 알려져 있음 |
| RPA | Revealed Patent Advantage, 현시 특허우위 지수. 특허의 양적인 비교지수로써 0을 기준으로 양의 값일 때는 경쟁력이 우위에 있으며 음의 값일 때는 비교 열위에 있음을 의미함                      |
| OEM | Original Equipment Manufacturing, 주문자 위탁 생산 방식   |
| ODM | Original Development Manufacturing, 제조업자 개발생산 방식   |
| MM  | Maturity Model, 성숙도 모형   |
| PSS | Product Service System, 제품 서비스 통합 시스템  |
| GVC | Global Value Chain, 글로벌 가치사슬. 기업이 제품 또는 서비스를 생산하기 위해 원재료, 노동력, 자본 등의 자원을 결합하는 과정에서 부가가치 창출하는 개념                                  |



## 참고문헌

- Chakrabarti, A. K. (1990). Innovation and productivity: An analysis of the chemical, textiles and machine tool industries in the US. *Research policy*, 19(3), 257-269.
- Vitali, G. (1990). Determinants of international trade of machine tools during the eighties: a shift-share analysis. *Technovation*, 10(8), 507-519.
- Davies, H. (1993). The information content of technology transfers: a transactions cost analysis of the machine tool industry. *Technovation*, 13(2), 93-100.
- Ernst, H. (1995). Patenting strategies in the German mechanical engineering industry and their relationship to company performance. *Technovation*, 15(4), 225-240.
- Kotha, S., & Nair, A. (1995). Strategy and environment as determinants of performance: evidence from the Japanese machine tool industry. *Strategic management journal*, 16(7), 497-518.
- Lee, K. R. (1996). The role of user firms in the innovation of machine tools: The Japanese case. *Research Policy*, 25(4), 491-507.
- Mazzoleni, R. (1997). Learning and path-dependence in the diffusion of innovations: comparative evidence on numerically controlled machine tools. *Research Policy*, 26(4-5), 405-428.
- Ehrnberg, E., & Jacobsson, S. (1997). Indicators of discontinuous technological change: an exploratory study of two discontinuities in the machine tool industry. *R&D Management*, 27(2), 107-126.
- Vonortas, N. S., & Xue, L. (1997). Process innovation in small firms: case studies on CNC machine tools. *Technovation*, 17(8), 427-438.
- Kalafsky, R. V., & MacPherson, A. D. (2001). Recent trends in the export performance of US machine tool companies. *Technovation*, 21(11), 709-717.
- Ernst, H. (2001). Patent applications and subsequent changes of performance: evidence from time-series cross-section analyses on the firm level. *Research Policy*, 30(1), 143-157.
- Baptista, R. (2001). Geographical clusters and innovation diffusion. *Technological Forecasting and Social Change*, 66(1), 31-46.
- Sung, T. K., & Carlsson, B. (2003). The evolution of a technological system: the case of CNC machine tools in Korea. *Journal of Evolutionary Economics*, 13(4),

435-460.

Chen, K. M., & Liu, R. J. (2005). Interface strategies in modular product innovation. *Technovation*, 25(7), 771-782.

Shibata, T., Yano, M., & Kodama, F. (2005). Empirical analysis of evolution of product architecture: Fanuc numerical controllers from 1962 to 1997. *Research Policy*, 34(1), 13-31.

Kalafsky, R. V., & MacPherson, A. D. (2006). The post-1990 rebirth of the US machine tool industry: a temporary recovery?. *Technovation*, 26(5-6), 665-671.

Lim, C. (2007). Catch-up failure in core IT components: The case of numerical controllers. *Asian Journal of Technology Innovation*, 15(2), 101-124.

Chen, L. C. (2009). Learning through informal local and global linkages: The case of Taiwan's machine tool industry. *Research policy*, 38(3), 527-535.

Brandt, L., & Thun, E. (2010). The fight for the middle: upgrading, competition, and industrial development in China. *World Development*, 38(11), 1555-1574.

Kodama, M., & Shibata, T. (2014). Strategy transformation through strategic innovation capability? a case study of Fanuc. *R&D Management*, 44(1), 75-103.

Kodama, F. (2014). MOT in transition: From technology fusion to technology-service convergence. *Technovation*, 34(9), 505-512

Basterretxea, I., Charterina, J., & Landeta, J. (2019). Coopetition and innovation. Lessons from worker cooperatives in the Spanish machine tool industry. *Journal of Business & Industrial Marketing*.

Rafael, L. D., Jaione, G. E., Cristina, L., & Ibon, S. L. (2020). An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. *Technological forecasting and social change*, 159, 120203.

Kong, D., Yang, J., & Li, L. (2020). Early identification of technological convergence in numerical control machine tool: a deep learning approach. *Scientometrics*, 125(3), 1983-2009.

Valdaliso, J. M. (2020). Accounting for the resilience of the machine-tool industry in Spain (c. 1960-2015). *Business History*, 62(4), 637-662.

Martinelli, A. (2022). Collectivism, individualism and solidarity in global value chain restructuring in the Global North: Workers' resistance in the Swiss machinery industry. *Economic and industrial democracy*, 43(3), 1391-1419.

## 기계기술정책 발간 목록

| 제 목                                      | 작성 연월    |
|--|----------|
| 73. 기계산업 2013년 성과 및 2014년 전망             | 2013.12. |
| 74. 2014년 기계산업이 주목해야 할 트렌드 분석과 시사점       | 2014.02. |
| 75. 우리나라 기계산업 품목별 수출 시장 점유율 분석과 시사점      | 2014.04. |
| 76. 우리나라의 TPP 참여에 대비한 기계산업 품목별 관세 전략 수립  | 2014.09. |
| 77. 2014 미래기계기술포럼코리아 주요 내용과 시사점          | 2014.11. |
| 78. 기계산업 2014년 성과 및 2015년 전망             | 2014.12. |
| 79. 최근 기계산업 대일무역역조 개선의 원인과 시사점           | 2015.06. |
| 80. 기계산업의 빅데이터 활용 동향 분석과 시사점             | 2015.10. |
| 81. 우리나라 해양플랜트 산업의 문제점 진단과 경쟁력 강화 방안     | 2015.12. |
| 82. 기계산업 2015년 성과와 2016년 전망              | 2016.01. |
| 83. 건설기계산업의 문제점 진단과 경쟁력 강화 방안            | 2016.05. |
| 84. 4차 산업혁명과 기계산업의 미래                    | 2016.11. |
| 85. 기계산업 2016년 성과와 2017년 전망              | 2017.02. |
| 86. 신기후체제에 대응한 농촌 바이오가스플랜트 사업의 기회        | 2017.07. |
| 87. 해외 선도 기관과의 기계기술 연구 분야 비교 분석          | 2017.11. |
| 88. 산업용 로봇 시장 동향과 대응                     | 2017.12. |
| 89. 기계산업 2017년 성과와 2018년 전망              | 2018.01. |
| 90. 새로운 시대 소통 역량: 4차 산업혁명 연계기술           | 2018.07. |
| 91. 국방분야 생존성 향상 기술 동향                    | 2018.08. |
| 92. 차세대 디스플레이 마이크로 LED 기술의 부상과 시사점       | 2018.09. |
| 93. 기계산업 2018년 성과와 2019년 전망              | 2019.02. |
| 94. 중국제조 2025 주요 제조장비 개발 계획과 대응 전략       | 2019.06. |
| 95. 한·중·일 공작기계 및 기계요소 수출경쟁력 분석 및 제언      | 2019.07. |
| 96. 미국 반도체 장비 기업의 성장과 시사점                | 2019.12. |
| 97. 기계산업 2019년 성과와 2020년 전망              | 2020.01. |
| 98. 글로벌 농기계산업 동향 분석                      | 2020.02. |
| 99. 포스트 코로나(Post COVID-19), 유망 기계기술 및 제언 | 2020.06. |
| 100. 우리나라 제조장비기업의 성장·혁신·수익 패턴 분석과 시사점    | 2020.08. |
| 100(특집호). 기계산업 데이터 활용 및 분석 방법 제언         | 2020.08. |
| 101. 탄소중립 글로벌 동향과 기계기술 제언                | 2021.01. |
| 102. 기계산업 2020년 성과와 2021년 전망             | 2021.01. |
| 103. 수소 산업의 글로벌 기술동향 및 정책 전망             | 2021.05. |
| 104. 인체 증강 기계의 동향과 전망                    | 2021.08. |
| 105. 미국 바이든 정부의 기후변화 정책과 기계산업 시사점        | 2021.12. |
| 106. 기계산업 2021년 성과와 2022년 전망             | 2022.02. |
| 107. 일본 제조기업의 디지털전환 특징과 시사점              | 2022.04. |
| 108. 무탄소 에너지원으로서 암모니아 기술의 부상 및 시사점       | 2022.07. |
| 109. 폐배터리 재활용 산업 글로벌 동향과 시사점             | 2022.11. |
| 110. 공작기계 및 산업 혁신 연구의 체계적 고찰과 시사점        | 2022.12. |

## 기계기술정책

Technology Policy for Mechanical Engineering

:: No. 110 공작기계 및 산업 혁신 연구의 체계적 고찰과 시사점

| 발행인 | 박상진

| 발행처 | 한국기계연구원

| 발행일 | 2022.12.

| 기획·편집 | 기계기술정책센터

| 주소 | 대전광역시 유성구 가정북로 156

| 전화 | (042) 868-7682