
제품 아키텍처가 추격 성과에 미치는 영향에 대한 탐색연구: 우리나라의 공작기계 수치제어장치 개발 사례를 중심으로

곽기호* · 김원준**

<목 차>

- I. 서론
- II. 이론적 배경
- III. 연구방법 및 자료
- IV. 공작기계 수치제어장치와 화낙의
아키텍처 진화 사례
- V. 우리나라 공작기계 수치제어장치의
추격과 아키텍처
- VI. 결론 및 토의

국문초록 : 그간 우리나라 등 후발주자의 추격과 그 성과에 대해 다양한 연구가 수행되었으나, 후발주자가 개발한 제품의 아키텍처가 추격 성과에 미친 영향에 대한 논의는 극히 부족하였다. 또한 공작기계의 움직임을 자동으로 제어하는 핵심 부품인 수치제어장치 분야에서 우리나라는 반도체, 조선, 자동차 산업과 달리 과거 40년에 가까운 기간 동안 다양한 개발 체제 운영과 정부 지원에도 불구하고 제한적인 추격 성과를 보이거나 추격에 실패하였다. 이에 따라 본 연구에서는 우리나라 공작기계 수치제어장치 개발 사례를 중심으로 제품 아키텍

* 한국기계연구원 경영전략실 선임연구원 / 공학박사, 제1저자 (khkwak@kimm.re.kr)

** KAIST 기술경영학과 부교수, 교신저자 (wonjoon.kim@kaist.edu)

처가 추격 성과에 미친 영향을 탐색적으로 고찰하였으며, 이를 위해 동 분야의 후발주자임에도 불구하고 세계 선도 기업으로 성장한 일본 화낙의 수치제어장치 아키텍처 진화 사례에 대한 심층 분석을 병행하였다. 연구결과 일본 화낙은 1980년대 중반 이후 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성함으로써 다양한 공작기계 생산 기업의 요구 사항에 부응하면서 대량 생산을 통한 원가 절감이 가능한 수치제어장치를 개발·생산하는 데 성공하였다. 이를 통해 화낙은 시장 점유율 확대 및 뛰어난 성과를 달성하였음을 발견하였다. 반면 우리나라는 1970년대 말 이후 약 40년 간의 추격 노력에도 불구하고 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성하지 못함으로 인해 다양한 수요 기업이 생산하는 공작기계에 채택되는데 실패하였으며, 결과적으로 제한된 추격 성과에 그치고 말았다. 또한 이러한 제한적인 추격 성과는 개발 주체의 파산과 매각, 폐쇄 등으로 이어지면서 기술적 지식의 누적에 큰 어려움을 겪었으며, 이로 인해 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성할 수 있는 만큼의 기술을 축적하거나 설계 역량을 확보하지 못했음을 발견하였다. 본 연구 결과는 제품 아키텍처 관점에서 후발주자의 추격 성과를 규명하고, 성공적인 기술 추격에도 불구하고 시장추격에 실패하는 원인을 규명할 수 있는 이론적 기반을 구축하는 데 그 의의가 있다.

주제어 : 수치제어장치, 추격, 제품 아키텍처, 공작기계

An Exploratory Study on the Effect of Product Architecture on Catch-up Performance: The Development Case of Numerical Controllers in Korea

Kiho Kwak · Wonjoon Kim

Abstract : Despite many previous studies on catch-up, understanding on the effect of product architecture developed by latecomers on the catch-up performance remains limited. On the other hands, in contrast to the semiconductor, ship building, and automotive industry, even if Korean industry and government have invested the development of numerical controllers for machine tools in the past four decades, the industry and government have failed to achieve catch-up. Therefore, we newly examine the effect of product architecture on the catch-up performance of the Korea by implementing comparative research with periods on the evolution of product architecture of Fanuc's numerical controllers, which have achieved the largest market share in the world. We found that Fanuc developed open modular architecture based numerical controllers and provided product with customization of user requirements as well as cost effectiveness. Consequently, Fanuc has sustained market leader position since the mid-1980s. However, despite all the efforts of the industry and government, we found that the Korea failed to develop open modular architecture based numerical controllers and could not achieve significant catch-up performance. Our findings provide important theoretical backgrounds for examining the catch-up performance as well as investigating the reason why latecomers failed to achieve market catch-up even if they accomplished technological catch-up.

Key Words : Numerical controllers, Catch-up, Product architecture, Machine tools

I. 서론

그간 우리나라의 제조업은 후발주자임에도 불구하고 전 세계적으로 유래가 없는 빠른 성장을 달성해왔다. 선진국의 성숙 기술을 도입(Initiation)해서 내부 노력을 통해 자체 기술을 확보(Internalization)하고, 신기술을 창출(Generation)하거나(Lee et al., 1988), 제품 수명주기 상 경화기(Specific Phase)에 접어든 성숙 기술을 받아들여 공정혁신(Process Innovation)을 통해 기술 능력을 축적하고, 종래에는 축적된 기술 능력을 활용하여 유동기(Fluid Phase) 기술 획득을 통해 제품 혁신(Product Innovation)을 달성하는(Kim, 1997) 선발주자 추격(Catch-up) 전략은 우리나라 제조업이 단기간에 세계적인 경쟁력을 확보하는데 크게 기여하였다. 이와 같은 추격 이론의 개발 이후 자동차, 메모리 반도체, 디지털 TV, 이동통신 등 추격에 성공한 제조업을 대상으로 추격의 성공 요인과 조건에 대한 연구가 다수 이루어졌다(예: Lee and Lim, 2001; Lee et al., 2005; Park, 2012).

그러나 이론 개발 및 성공 사례에 대한 다수의 고찰에도 불구하고 기존의 추격 논의는 아래의 두 가지 관점에서 한계점을 갖고 있다. 먼저 추격의 실패 사례에 대한 논의가 부족하다. 물론 성공 사례에 대한 논의를 통해 성공에 필요한 선행 조건과 함의를 파악하는 것도 중요하나, 실패를 유발했던 원인은 무엇이며, 추후 성공 가능성을 높이기 위해서는 어떠한 자원과 정책 지원이 필요한지에 대한 함의를 찾는 것이 매우 중요하다(심형석·홍선관, 2014; Bennet, 1991). 특히 우리나라가 추격을 넘어 세계적인 경쟁력을 확보한 제조업에서 중국의 추격이 본격화됨에 따라 지속가능한 성장을 위해서는 신산업 육성 뿐 아니라 선발주자가 점유하고 있는 고부가가치 분야에 대한 추격이 여전히 필요할 것이다. 이러한 관점에서 기존 추격 실패 사례에 대한 논의는 추격을 위해 필요한 정책적 지원의 효과성 제고 및 사회적 비용 최소화, 기획 및 추진 단계에서의 오류 파악을 통한 전략적 추격 실행, 추격 성공을 위한 필요조건을 규명한다는 점에서 의의가 클 것이다.

두 번째로 성공적인 추격을 위한 조건으로 기업이 처한 산업 환경과 경쟁 구조와 같은 외부적 요인에 집중하고 있다는 점이다. 그간 후발 제조업의 성공적인 추격을 위해서는 기술 패러다임 변화와 같은 추격의 기회의 창(Windows of Opportunity)이 열렸을 때 외부 지식 기반을 적극적으로 활용하여 기술혁신 역량을 지속적으로 제고하고, 새로운 기술혁신 경로를 개척하는 것이 중요함이 논의된 바 있다(이근 외, 2008; Lee and Lim, 2001). 한편 김윤지(2006), Kim and Lee(2008)와 이근 외(2008)에서는 기술 패러다임 변화가 크지 않으면서 낮은 혁신 빈도와 기술 궤적의 낮은 가변성이 특징인 자본재 제조업

의 경우, 지속가능한 추격을 위해 제품과 고객 다변화 및 선발기업의 특허 소송과 덤핑 공세에 대한 선제적 대응 및 정부의 정책적 지원이 필요하다고 주장하였다. 그러나 외부적 요인뿐 아니라, 이를 반영한 산업과 기업의 전략이 경쟁우위 확보 및 성과에 중요한 영향을 미친다는 논의를 고려할 때(Helfat and Winter, 2011), 기술·제품 개발 전략과 같은 내부적 요인이 추격 성과에 미치는 영향에 대한 논의가 조속히 전개될 필요가 있다.

상기 제시한 기술·제품 개발 전략이 기업의 성과에 미치는 영향에 대한 논의의 관점에서 우리는 제품 아키텍처(Product Architecture) 이론에 주목할 필요가 있다. 왜냐하면 기업의 제품 아키텍처 선택(인테그랄 또는 모듈라)은 기업 내부의 제품 변형과 제품 제공의 다양성, 부품 표준화, 제품 성능 최적화를 넘어 공급 사슬 상 기업 간 조정의 용이성과 효과성이 달라진다는 점에서 기업의 성과와 밀접한 관련이 있기 때문이다(Ulrich, 1995). 예를 들어 제품 개선(Upgrade), 변환(Adaptation) 등의 제품 변형이나 국소 성능(Local Performance) 개선의 경우 모듈라 아키텍처가 비용 효과적인 것으로 인식되는 반면 전역 성능(Global Performance) 개선은 많은 부품의 물리적 특성에 의해 성능이 결정되는 특성 상 인테그랄 아키텍처를 통해서만 달성될 수 있는 경우가 많다(Ulrich, 1995). 이에 따라 Fixson and Park(2008), Sosa et al.(2004), Salvador et al.(2002)와 같은 연구에서 제품 아키텍처가 기업의 성과에 미치는 영향에 대한 논의가 다수 이루어졌다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 공작기계 수치제어장치(NC, Numerical Controller) 개발 사례를 중심으로 제품 아키텍처가 추격 성과에 미친 영향을 고찰하고자 한다. 수치제어장치는 다양한 금속을 깎거나 외력을 가해 금속의 형태를 변형(성형)하는 공작기계의 금속 가공 공정을 자동으로 제어하는 핵심기반 자본재 부품으로 우리나라 또한 1970년대 말부터 수치제어장치의 국산화 및 추격을 위한 노력과 투자를 지속적으로 경주해왔다(임채성, 2001; 임채성, 2006; Lim, 2007). 그러나 수요산업인 공작기계 산업은 2014년 생산 기준 6.9%의 점유율을 기록하며, 세계 4위 국가로 성장(Gardner Research, 2015)한 반면 수치제어장치는 2010년 기준 수요의 97.5%를 수입에 의존하는 등 절대수입특화구조를 보이고 있다(한국산업기술진흥원, 2011). 또한 자체 개발에 성공하였다 하더라도 특정 국내 기업의 공작기계에만 채택되는 등 제한적인 추격 성과 또는 추격의 실패 사례로 논의된 바 있다(임채성, 2006; Lim, 2007). 본 연구는 이와 같은 수치제어장치의 제한적 추격 성과의 원인으로 다양한 제조사의 공작기계에 적용하기 위한 수치제어장치의 개방형 모듈라 아키텍처(Open Modular Architecture) 구현 실패 및 인터페이스

표준화 역량 미흡에 주목하고, 우리나라의 수치제어장치 추격 역사와 동 분야 세계 선도 기업인 일본 화낙(FANUC)의 수치제어장치 아키텍처 진화 간 시기별 비교(Comparative research design with periods)를 통해 이를 설명하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 후발국의 추격 및 우리나라의 공작기계 수치제어장치 추격에 대한 논의와 함께 제품 아키텍처가 기업의 성과에 미치는 영향에 대한 선행 연구를 고찰하고, 본 연구의 연구명제를 제시하였다. 이어 III장에서는 본 연구에서 활용한 연구방법론 및 자료 수집에 대해 서술하였으며, IV장에서는 수치제어장치 및 관련 산업을 소개하고 일본 화낙의 수치제어장치 추격 및 아키텍처 진화 사례에 대해 서술하였다. V장에서는 우리나라의 수치제어장치 추격 역사 및 개발된 수치제어장치의 아키텍처를 분석하고, 이를 화낙의 수치제어장치의 아키텍처와 시기별로 비교함으로써 제품 아키텍처의 관점에서 우리나라의 수치제어장치 추적이 제한된 성과에 그친 원인을 제시하였다. 마지막 VI장에서는 연구의 결론 및 토의와 향후 연구에 대해 논의하였다.

II. 이론적 배경

1. 후발국의 추격에 대한 논의

추격이란 후발국가·산업(Latecomers)이 선발주자(Firstmovers)와의 기술 역량 및 시장성과 격차를 줄여나가는 것으로 정의한다(Bell and Figuieredo, 2010; Hobday, 1995). 1980년대 이후 우리나라와 대만과 같은 동아시아 국가 수준에서 추격 성과가 나타남에 따라 이를 설명하기 위한 이론적 논의가 본격화되었으며, 국가(예: Kim, 1980), 산업(예: Lee et al., 1988), 그리고 기업(예: Hobday, 1998) 등 다양한 분석 단위(Unit of Analysis)에서 논의가 이루어졌다. 먼저 Kim(1980)은 우리나라의 후발국가의 기술발전 형태를 도입기술을 활용하여 완제품 조립 생산에 주력하는 실천기(Implementation), 기술 능력 축적을 의미하는 소화기(Assimilation), 그리고 연구개발 확대 등 독자 기술 개발 노력을 추진하는 개량 및 자체 개발기(Improvement)로 나누어 설명하였다. 한편 Lee et al. (1988)에서는 개도국의 기술 개발 과정을 산업, 기업 및 단위 기술 수준으로 다층화(Multi-Level)하여 고찰한 것이 특징이다. 산업과 기업 수준의 기술 개발 과정은 선진국의 기술을 획득, 실용화시키는 도입 단계(Initiation)를 거쳐 자체 노력을 통해 기술을 확

보하는 내재화(Internalization) 단계, 그리고 세계 최초 기술의 창출(Generation) 단계로 설명하였으며, 단위 기술 수준에서는 획득(Acquisition)과 소화·흡수(Assimilation), 개량(Improvement)의 과정을 거치는데, 이 때 성숙기술에서 신기술 개발로 진화하는데 있어 교육과 축적 경험의 활용이 중요함을 설명하였다. 마지막으로 Hobday(1998)에서는 삼성전자와 대만 ACER에 대한 사례 연구를 통해 두 기업의 외부 기술 획득을 위한 학습 노력과 설계 기술 확보를 부족한 자원을 극복하고 추격에 성공하게 된 원동력임을 규명한 바 있다.

2000년대 들어서는 기술 체제(Technological Regimes) 특성과 추격을 연계한 연구가 전개되었다. Lee and Lim(2001)에서는 후발주자의 기술적 노력의 결정 요인으로 기술적 진보의 누적성, 기술 궤적의 유동성, 지식 베이스 특성 등과 같은 산업 별 기술 체제 특성에 주목하고, 이러한 기술 체제 특성과 외부 지식 활용에 따라 경로 창출(Path creating), 단계 생략(Stage skipping), 경로 추종(Path following)과 같은 3가지 형태의 추격 패턴이 존재함을 설명하였다. 이후 이근 외(2014)에서는 기술 체제 특성에 기회의 창(Windows of Opportunity)이라는 개념을 결합하여 후발주자의 추격을 위해서는 기술 패러다임 변화, 경기 순환(불황 및 호황) 및 시장 수요의 변화, 그리고 정부 정책 지원과 같은 조건을 전략적으로 활용해야 함을 강조하였다.

상기 서술과 같이 기존의 추격에 대한 논의는 추격 과정에서의 외부지식·기술 학습과 기술 역량 축적 노력에 대한 강조와 함께, 기술 체제 특성에 적합한 추격 패턴 인식과 기회의 창 활용의 중요성을 강조하고 있다. 그러나 이를 넘어 구체적인 기술·제품 전략이 추격 성과에 어떠한 영향을 미쳤는지에 대한 논의는 여전히 부족하다. 전략이 기업의 방향과 성과를 결정하는 의사결정 패턴이라는 관점(Mintzberg, 1978)에서 본다면, 외부 지식의 효과적인 활용·학습과 기술 역량 축적을 넘어 이를 구체화하고, 시장의 특성을 반영한 기술·제품 전략 수립은 추격 성과를 결정하는데 매우 중요한 역할을 할 것이다. 따라서 기술·제품 전략 수립의 관점에서 추격의 성과에 미치는 영향을 고찰하고, 실패 또는 제한된 성과의 원인을 찾는 이론적 논의가 시급하다.

2. 우리나라의 공작기계 수치제어장치 추격에 대한 논의

우리나라의 공작기계 수치제어장치 개발 및 추격 성과에 대한 이론적 논의는 임채성(2001)에 기원한다. 임채성(2001)은 수요 산업인 공작기계 산업의 국산 수치제어장치 개

발에도 불구하고 시장에서 제한된 추격 성과에 그친 원인으로 (1) 사용자와 생산자 간 정보 흐름 및 사용 결과에 대한 피드백이 원활하지 못해 판매 경험을 통해서만 축적할 수 있는 성능 신뢰성 지식 획득이 어려웠고, (2) 성능에 대한 민감도가 매우 높은 제품 특성 상 시장 구조가 고급, 중급, 저급 등으로 계층화되지 않아 저급 제품 시장에 우선 진입 후 기술 축적과 개량을 통해 고급 제품 시장에 진입하는 후발주자의 추격 전략이 효과를 발휘하지 못하였으며, (3) 암묵적 지식 특성으로 인해 역엔지니어링과 기술 라이선싱과 같은 학습 노력이 유용하지 못했기 때문으로 제시하였다.

이후 임채성(2006)과 Lim(2007)은 기존의 논의를 보완, 기술 체제 특성과 시장 특성에 기반하여 성공적이지 못한 추격 성과의 원인을 분석할 수 있는 이론적 프레임워크(Framework)를 개발하였다. 이러한 프레임워크를 수치제어장치의 추격 실패 사례에 적용한 결과, (1) 기술 체제 관점에서는 수치제어장치의 복잡하고 상호의존성이 높은 기술 특성 상 후발주자가 기술의 원천이 되는 지식에 접근·획득하는 데 어려움에 직면함을 설명하였다. 또한 (2) 시장 특성 관점에서는 독과점에 가까운 시장 구조로 인한 높은 진입 장벽, 높은 네트워크 효과, 계층화되어 있지 않은 시장 구조로 인해 후발주자의 시장 성공 가능성이 낮은 상황에서 판매 경험을 통해서만 축적할 수 있는 (i) 사용자 환경에서 문제 없이 작동하도록 하는 제품 신뢰성 제고 지식, (ii) 사용자 환경에 맞게 고객화 하는 제품 설계 지식 확보에 어려움을 겪게 됨에 따라 제한된 추격 성과에 머무름을 주장하였다.

상기 제시한 우리나라의 공작기계 수치제어장치 추격에 대한 기존 논의는 추격의 성과를 제한하는 제약 조건을 제시하고, 이를 기술 체제 특성과 시장 특성과 같은 이론적인 프레임워크에 기반하여 규명하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 이러한 어려움을 근본적으로 극복할 수 있는 기술·제품 전략에 대한 논의는 이루어지지 못하였다. 특히 임채성(2006)에서 당시 이행되고 있던 수치제어장치의 모듈화에 주목하고, 이러한 제품 아키텍처 혁신에 대한 대응력에 따라 선발주자와 후발주자의 시장성과가 결정될 것이라는 주장이 제시된 바 있으나, 이를 직접적으로 규명하기 위한 실증 연구는 이루어지지 못하였다. 특히 수치제어장치는 다양한 제조사에서 생산하는 공작기계에 활용되는 범용 부품이라는 점에서(임채성, 2001; 2006) 제품 아키텍처 이론에 기반한 논의는 기술·제품 전략 관점에서 추격 성과를 규명하는 데 이론적 공헌이 높을 것으로 기대된다.

3. 제품 아키텍처와 기업의 성과

3.1 제품 아키텍처의 세부 유형과 측정

제품 아키텍처란 제품의 기능적 요소의 배열(Arrangement), 기능적 요소와 제품 내 물리적 부품 사이의 대응 관계(Mapping), 그리고 물리적 부품 간 인터페이스(Interface)의 사양(Specification)을 결정하는 제품 설계 계획(Scheme)이다(Ulrich, 1995). 여기에서 물리적 부품 간 인터페이스의 사양은 기능 수행을 위한 부품 간 공간·구조·에너지·재료·정보 등의 상호작용 및 의존의 규칙(Protocol)을 의미한다(Sosa et al., 2003; Ulrich, 1995). 이와 같은 제품 아키텍처는 제품의 기능적 요소와 물리적 부품 간 대응 관계와 부품 간 인터페이스의 복잡성 및 표준화 정도에 따라 인테그랄(Integral) 아키텍처와 모듈라(Modular) 아키텍처로 구분한다(Shibata et al., 2005; Ulrich, 1995). 만약 어떤 제품의 기능적 요소와 물리적 부품 간 대응 관계가 1대1 또는 단순하면서 부품 간 인터페이스가 단순하거나 표준화되어 있다면 모듈라 아키텍처로, 그렇지 않은 경우, 즉 기능적 요소와 물리적 부품 간 대응 관계가 복잡하거나 부품 간 인터페이스가 복잡해서 표준화되어 있지 않다면 인테그랄 아키텍처로 정의할 수 있다(Shibata et al., 2005; Ulrich, 1995). 한편 Shibata et al.(2005)는 부품 간 인터페이스 사양의 표준화 정도에 따라 모듈라 아키텍처를 다시 폐쇄형 모듈라 아키텍처와 개방형 모듈라 아키텍처로 구분하였다. 여기서 폐쇄형 모듈라 아키텍처는 인터페이스 사양이 사내에서만 표준화된 경우를 의미하며, 개방형 모듈라 아키텍처는 산업 전반에 걸쳐 인터페이스 사양의 표준화가 진행된 경우를 의미한다. 이에 따라 제품 아키텍처의 세부 유형 별 정의를 아래 <표 1>과 같이 제시할 수 있다.

<표 1> 제품 아키텍처의 세부 유형

유형	설명
모듈라(Modular)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제품 기능과 부품 간 대응 관계가 단순 ▪ 부품 간 인터페이스가 단순
폐쇄형(Closed)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부품 간 인터페이스 사양 표준화가 사내에 한정·공유
개방형(Open)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부품 간 인터페이스 사양 표준화가 산업 전반에 널리 공유
인테그랄(Integral)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 제품 기능과 부품 간 대응 관계가 복잡 ▪ 부품 간 인터페이스가 복잡·비표준화 ▪ 부품 간 인터페이스 사양이 비표준화

인테그랄과 모듈라 아키텍처는 상대적인 개념이기 때문에 실제 제품의 아키텍처는 완전한 모듈라와 인테그랄 아키텍처의 연속체(Continuum) 상에서 다른 제품과 상대적 비교를 통해 인식되는 것이 일반적이다(Campagnolo and Camuffo, 2010; Fixson and Park, 2008; Shibata et al., 2005). 이에 따라 제품 아키텍처를 실증적으로 측정(인테그랄 또는 모듈라)하는 것은 상당히 어려우며, 이에 대한 대안으로써 제품 아키텍처의 모듈화 정도(Modularity)를 제조사 직원을 대상으로 한 질문 등의 방법을 통해 간접적으로 측정하기 위한 논의가 지속적으로 전개되었다(Fixson, 2005; Fixson and Park, 2005). 먼저 1990년대 말~2000년 초에 걸쳐 고객이 제품 설계를 맞춤형으로 바꿀 수 있는 정도, 공통 부품의 공유·재배치의 유연성, 또는 재배치를 위한 설계 변경 시의 부품 간 상호의존성이나 호환성 정도에 따라 제품 아키텍처를 측정하기 위한 논의가 다수 이루어졌다(Duray et al., 2000; Martin and Ishii, 2002; Tu et al., 2004; Worren et al., 2002). 青島矢一·竹石彰(2001) 또한 전용부품의 활용도, 제품 하부 모듈의 구성 요소 부품의 개수 및 구성 요소 부품 간의 인터페이스의 수, 그리고 구성 요소간의 상호 의존 정도 등에 따라 모듈화 정도를 측정할 수 있음을 주장하였다. 상기 논의를 종합하면 공통 부품의 공유 및 재배치 가능성이 높고(낮은 전용부품 활용도), 이를 위한 설계 변경 시의 부품 간 상호의존성이 낮거나 호환성이 높을수록, 그리고 제품을 구성하는 부품 수가 적고 부품 간 인터페이스가 단순할수록 제품 아키텍처의 모듈화 정도가 높거나 모듈라 아키텍처에 가깝다고 판단할 수 있다. 상기 논의의 관점에서 홍운선 외(2009), 고기영 외(2009) 등의 연구에서는 자전거, PC, 트럭, DVD, LCD TV, 승용차, 의료기기, 항공기, CRT TV 등의 제품을 대상으로 모듈화 정도를 상대적으로 측정한 바 있다. 2000년대 중반 이후에는 Shibata et al.(2005)의 폐쇄형 모듈라 아키텍처, 개방형 모듈라 아키텍처 구분에 의거하여 고기영 외(2009)의 연구에서는 폐쇄형 모듈라 아키텍처 특성의 제품 사례로 공작기계, 레고(Lego), 메인프레임 컴퓨터를 제시하였으며, 개방형 모듈라 아키텍처를 띄는 제품 사례로는 개인용 컴퓨터(PC), 패키지 소프트웨어, 자전거, 상용차 등을 제시한 바 있다.

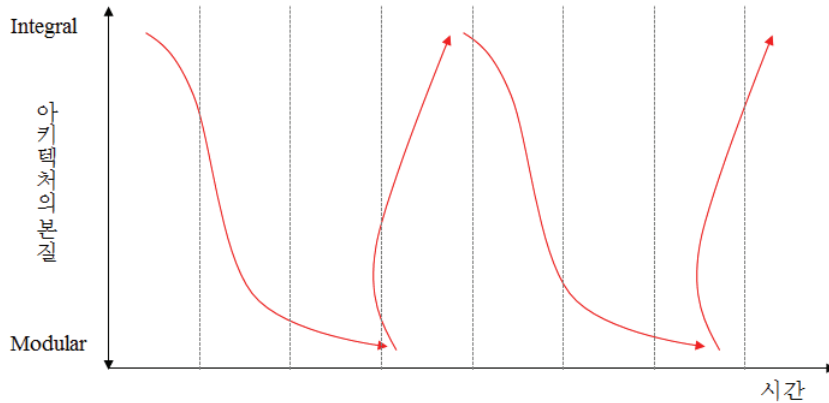
3.2 제품 아키텍처의 진화: 인테그랄 아키텍처에서 모듈라 아키텍처로

제품 개발 초기에는 제품의 기능과 제품 내 부품 간의 상호작용에 대한 이해도가 낮거나 면밀하게 정의되어 있지 않아 제품의 아키텍처가 일반적으로 인테그랄 아키텍처에 가깝다(Chesbrough and Kusnoki, 2001). 그러나 앞서 설명한 바와 같이 제품 아키텍처는 기업의 성과와 밀접한 관련이 있다는 점에서 각 기업들은 시장의 수용성 증가, 그리

고 시장 규모 확대에 의한 수익성 확보 및 이를 위한 생산 원가 절감을 위해 초기 아키텍처에 머무르지 않고 끊임없이 아키텍처를 개선 또는 진화시킬 것이다.

이러한 제품 아키텍처의 진화는 기술의 진화와 밀접하게 연계되어 있다(Shibata et al., 2005). 기술의 진화는 제품의 지배적 디자인(Dominant Design)과 연계하여 설명할 수 있는데, Abernathy(1978)는 무수히 많은 실험(Trial and Error)에 의해 제품의 지배적 디자인이 정립되면 경쟁우위의 원천이 기술 탐색에서 원가 절감으로 변화하며, 기술 혁신의 초점이 급진적(Radical)에서 점진적(Incremental)으로 변화하거나 제품 혁신에서 공정 혁신으로 변화한다고 주장하였다. 이는 지배적 디자인이 출현하기 전까지 시장에는 다양한 제품 아키텍처가 등장하는 반면, 이후 산업의 진화 과정에서 지배적 디자인이 출현하면 제품 아키텍처의 변화는 감소함을 의미한다. 이에 따라 새로운 원천기술이 등장해서 지배적 디자인이 나타나기 전까지는 여러 기업에서 다양한 형태의 아키텍처에 대한 모색이 이루어지며, 지배적 디자인이 등장한 이후에는 주로 개별 요소 기술 차원의 점진적 혁신이 발생한다는 논의를 다수 확인할 수 있다(Tushman and Rosenkopf, 1992; 송 위진 외, 2006).

이와 같은 기술 진화에 기반한 제품 아키텍처의 진화는 지배적 디자인 정립 전후로 인테그랄 아키텍처에서 모듈라 아키텍처로 진화한다(Fixson and Park, 2008; Shibata et al., 2005). 왜냐하면 제품 아키텍처의 모듈화는 산업 내 수직 분업 및 전문화(Vertical Specialization)를 통한 공급사슬의 효율성 제고와 뛰어난 외부 부품 채용과 같은 혁신성과 창출에 유리하기 때문이다(Sanchez and Mahoney, 1996; Fixson and Park, 2008). 또한 지배적 디자인 정립 전후에 아키텍처가 인테그랄에서 모듈라로 진화한다는 것은 인테그랄 아키텍처의 경우 제품 개발 초기 면밀한 기본 설계보다는 상세 설계를 진행하면서 문제를 해결하는 반면, 모듈라 아키텍처 제품 개발 시에는 기본 설계부터 설계 규칙에 의거하여 제품을 구성하는 부품 간 면밀한 개발 작업을 추진한다는 논의와도 연계하여 이해할 수 있다(Ulrich and Eppinger, 2000). 이와 더불어 모듈라 아키텍처는 인테그랄 아키텍처에 비해 제품에 대한 깊은 지식과 전문성을 요구함을 주장한 Baldwin and Clark(1997)의 연구를 통해서도 우리는 제품 아키텍처가 지배적 디자인 정립 전후로 인테그랄 아키텍처에서 모듈라 아키텍처로 진화함을 알 수 있다.



자료: Chesbrough and Kusnoki(2001)

<그림 1> 제품 아키텍처의 진화와 반복

이러한 인테그랄 아키텍처에서 모듈라 아키텍처로의 진화는 특정 산업의 역사 내에서 기존 기술의 진보가 한계에 다다르고, 새로운 기술과 지배적 디자인이 등장하여 혁신을 일으키거나 시장의 요구와 기업의 전략에 따라 반복될 수 있다. 이에 대해 Chesbrough and Kusunoki(2001)는 조직의 관성(Inertia)으로 인해 제품 아키텍처의 변화에 대한 조직의 동태적 적응의 실패를 의미하는 함정(Trap)에 빠짐을 설명하면서 제품의 아키텍처가 <그림 1>과 같이 인테그랄에서 모듈라로, 이후 다시 ‘모듈라 → 인테그랄 → 모듈라’의 사이클을 반복함을 주장하였다.

3.3 제품 아키텍처가 기업의 성과에 미치는 영향과 관련한 선행연구

제품 아키텍처가 기업의 성과에 미치는 영향과 관련한 연구는 자전거 부품, 항공기 제트 엔진, 자동차(상용차 포함), 휴대전화, 가전 등 다양한 산업을 대상으로 이루어졌다. 국내에서는 한미경(2006)이 일본 자동차 및 부품 기업을 대상으로 한 연구에서 부품 아키텍처와 기업 간 갈등 조정 메커니즘 간 적합성은 기업의 전략 및 성과와 밀접한 관계가 있음을 밝힌 바 있다. 예를 들어 다수의 완성차 기업에 부품을 공급하는 기업은 모듈라 아키텍처의 부품 개발에 주력하고 특정 기업 완성차의 성능 최적화를 추구하는 기업은 인테그랄 아키텍처 부품 개발에 주력함을 규명하였다. 이승규 외(2008)은 중국의 상용차 산업은 개방형 모듈라 아키텍처에 기반하여 자국 수요 맞춤형 제품 개발에 성공한 반면 한국의 경우 기본적으로 인테그랄 아키텍처를 추구하고 있어 대량 고객화 등의 시장성과 창출에 장애요인으로 작용할 수 있음을 주장하였다. 이 밖에 김영진(2008)은 휴

대폰용 카메라 부품 개발 업체가 완제품(휴대폰)의 플랫폼 변경에 주도적으로 참여하고 다른 부품과의 인터페이스를 구축함으로써 완제품 성능 개선은 물론 자사 부품의 매출과 완제품의 시장 점유율 확대에 기여하고 휴대폰 시장 내의 핵심 부품 공급 업체로 성장한 사례를 제시한 바 있다. 또한 강창모(2008)은 국내 완성차 및 자동차 부품 기업 사례를 통해 자동차 산업은 PC 산업과는 달리 완성차 업체의 조직 내 저항과 전략적 의도, 부품 공급 업체의 역량 부족에 따라 모듈화가 더디게 일어남을 밝히고 이에 따른 부품 간 성능 초점의 차별화(감성 또는 기능), 개발 방식의 차별화(통합적 또는 독립적) 및 아웃소싱 성과의 차별화를 확인하였다.

해외의 경우 Salvador et al.(2002)는 모듈라 아키텍처를 공통의 제품 플랫폼 상에서 특정 모듈라 부품을 바꾸는 부품 교체형(Component Swapping)과 제품을 구성하는 부품 간 인터페이스가 모두 다르면서 공통의 제품 바디가 없는 상태에서 모듈라 부품을 조립하는 부품 결합형(Component Combinatorial) 모듈라 아키텍처로 구분하고 자전거, 상용차, 전화기, 가전(전자레인지·오븐) 등에 대한 사례연구를 통해 부품 교체형 모듈라 아키텍처는 대량 생산 극대화에 긍정적인 영향을 미치고 부품 결합형 모듈라 아키텍처는 다품종 소량 생산이 필요한 제품의 생산 실적 극대화에 기여함을 규명하였다. 한편 Sosa et al.(2004)에서는 항공기 제트 엔진을 구성하는 하위 시스템(Sub system) 및 부품 간 설계 인터페이스와 각 하위 시스템 및 부품 개발을 담당하는 팀 간의 상호작용에 대한 분석을 통해 인테그럴 아키텍처 특성의 하위 시스템과 부품 개발을 담당하는 팀 간의 긴밀한 상호작용이 제품 성능 최적화, 제품 수명 주기 확대 등 기업 성과 창출에 중요한 역할을 함을 규명하였다. 또한 Fixson and Park(2008)은 1980년대~90년대 자전거 핵심 부품인 드라이브 트레인(Drive Train)의 아키텍처가 일시적으로 모듈라에서 인테그럴 아키텍처로 변화함에 따라 관련 산업구조가 과점화되었음을 밝히고 제품 아키텍처의 선택 시 공급사슬관리의 효율화에 따른 가치 뿐 아니라 산업구조 변화에 따른 전략적 가치 등을 면밀히 고려할 필요가 있음을 주장하였다.

3.4 연구명제 제시

상기 제시한 제품 아키텍처의 진화 및 제품 아키텍처가 기업의 성과에 미치는 영향과 관련한 선행연구 고찰을 통해 우리는 일반적으로 모듈라 아키텍처 특성의 완제품 또는 부품 개발은 다수의 고객 확보와 제공물(Offering)의 맞춤화를 통해 시장 지배력을 확대하거나, 아웃소싱 및 공급사슬관리 효율성을 제고함으로써 기업의 성과에 긍정적인 영향

을 미침을 확인하였다. 반면 인테그랄 아키텍처의 경우 개발 팀 간 긴밀한 상호작용을 통해 제품 전역 성능을 최적화하거나 제품 수명 주기를 확대하는데 장점이 있음을 파악하였다. 또한 제품 아키텍처를 인테그랄형으로 전환하여 산업구조의 과점화에 성공할 경우 막대한 경제적 효과를 향유할 수 있음을 알 수 있다. 이는 제품 아키텍처의 선택 또는 기술 진화에 기반한 제품 아키텍처의 진화가 기업의 성과에 미치는 영향이 매우 크며, 후발주자의 추격 성과의 핵심 결정 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다. 특히 만약 후발주자가 소수의 지배적인 기업이 존재하기보다는 다수의 전문화된 기업들로 구성된 완제품 산업에서 공통으로 활용되는 부품 산업에 진입한다면, 지속적인 기술개발 노력과 투자를 통해 개발하고자 하는 부품에서 개방형 모듈라 아키텍처, 즉 완제품과의 인터페이스 사양 표준화를 달성해야할 것이다. 이는 시장에서의 광범위한 채택을 유도하고 나아가 추격 성과에 매우 중요한 영향을 미칠 것이기 때문이다. 다시 말해 후발주자는 개방형 모듈라 아키텍처 달성을 통해 다양한 고객을 공략하고, 고객과의 상호작용을 통해 부품의 성능을 개선할 수 있는 자원을 확보하여 재투자함으로써 추격 성과를 극대화해야할 것이다. 이러한 관점에서 우리는 다음과 같은 연구명제를 제시한다.

연구명제: 다수의 전문화된 기업들로 구성된 완제품 산업을 수요처로 보유한 부품 산업에서 후발주자가 생산하는 부품의 개방형 아키텍처 모듈화 달성은 추격 성과에 긍정적인 영향을 미친다.

위와 같이 제시한 연구명제에 기반하여 본 연구에서는 과거 우리나라가 개발한 수치제어장치가 제한적인 추격 성과에 그친 원인을 제품 아키텍처 관점에서 고찰하였다. 특히 수치제어장치 분야의 후발주자임에도 불구하고 개방형 모듈라 아키텍처 구현을 통해 미국을 추격하는데 성공, 세계를 선도하는 기업으로 성장한 일본 화낙의 수치제어장치 아키텍처 진화 사례에 대해 분석한 기존 연구 고찰 및 실증 자료 분석을 병행함으로써 우리나라 수치제어장치의 제한적 추격 성과에 대한 논의를 심층적으로 전개하였다.

Ⅲ. 연구방법 및 자료

본 연구에서 제시한 연구문제 해결을 위해 사용한 방법론은 유의 추출법(Purposive Sampling)에 기반하여 상반된 상황에 놓여있는 2개의 사례를 발굴하고, 발굴 사례를 심층 비교 분석하는 다중 사례 연구(Multiple Case Studies)이다. 먼저 유의 추출법은 비교 대상에 비해 크게 다른 성과를 기록한 예외적 산업이나 기업을 대상으로 성과의 차이 또는 그와 관련한 연구문제를 해결하는데 적합한 표본 추출 방법이다(Kemper et al., 2003). 또한 상반된 상황에 놓여 있는 복수의 사례를 발굴하여 문자적 반복(Literal Replication) 방식으로 비교하는 연구는 보다 일반화된 이론 개발 및 연구 결과의 외적 타당성을 제고하는데 효과적인 방법론이다(Eisenhardt, 1989; Eisenhardt and Graebner, 2007; Yin, 2003). 이에 따라 본 연구는 1970년대 말부터 2000년대 말에 이르는 우리나라의 수치제어장치 추격 역사에 대한 종단적 연구(Longitudinal Study) 및 같은 시기 일본 화낙의 수치제어장치 아키텍처 진화에 대한 기존 연구와의 비교 연구를 수행함으로써 제품 아키텍처와 추격 성과 간 인과관계의 타당성을 제고하였다. 따라서 본 연구는 우리나라 수치제어장치의 제한된 추격 성과 또는 추격 실패의 원인을 제품 아키텍처 관점에서 규명하는 데 적합한 방법일 뿐 아니라 다른 추격의 성공과 실패 사례의 원인을 규명하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

화낙과 우리나라가 개발한 수치제어장치의 아키텍처 유형 측정은 <표 1>에서 제시한 설명에 기반하되 동작기계와 수치제어장치 간 관계를 고려하여 다음과 같은 기준으로 이루어졌다. 만약 수치제어장치가 다양한 제조사가 생산하는 동작기계에 채택된 경우에는 산업 전반에 널리 공유되는 수치제어장치와 동작기계 간 인터페이스 사양의 표준화를 달성한 것으로 간주하고 개방형 모듈라 아키텍처로 인식하였다. 반면 수치제어장치가 어떠한 동작기계에도 채택되지 못한 경우, 자사 동작기계에만 채택된 경우, 또는 산업 내에서 제한된 범위에서 채택된 경우는 수치제어장치와 동작기계 간 인터페이스 사양이 표준화되지 못한 인테그랄 아키텍처 또는 표준화되어 있더라도 그 범위가 기업 내에 한정되어 있는 폐쇄형 모듈라 아키텍처로 인식하였다.

본 연구에 필요한 자료 수집을 위해 연구진은 관련 산업 협회 및 연구기관의 전문가 3인을 대상으로 한 인터뷰를 통해 1차 자료(Primary Data)를 생성하였다. 인터뷰는 직접 방문을 통해 총 3회 실시하였으며, 회 당 1시간 내외의 시간이 소요되었다. 특히 제품 아키텍처의 이론과 사례에 관련한 반구조화된(Semistructured) 개방형 질문(Open-ended

question)을 인터뷰 대상 전문가에게 사전에 배포함으로써 인터뷰 시 제품 아키텍처의 관점에서 전문가의 적극적인 참여를 유도하고 인터뷰의 정확성과 효율성을 높이고자 하였다(Miles and Huberman, 1994; Yin, 2003). 1차 자료와 함께 화낙 및 우리나라가 개발에 성공하거나 판매 실적을 달성한 수치제어장치와 관련한 신문 라이브러리 자료, 시장 분석 보고서 그리고 관련 문헌 연구(임채성, 2001; 임채성, 2006; Lim, 2007; Kodama and Shibata, 2014; Shibata, 2016; Shibata et al., 2005; Shibata and Kodama, 2008) 등을 망라하는 2차 자료(Secondary Data)를 통합적으로 활용하여 화낙과 우리나라가 개발한 수치제어장치의 아키텍처를 규명하였다. 이와 같은 1차 자료와 2차 자료의 통합적 활용을 통해 우리는 1차 자료 분석 결과를 검증할 수 있었다(Glaser and Strauss, 1967; Yin, 2003).

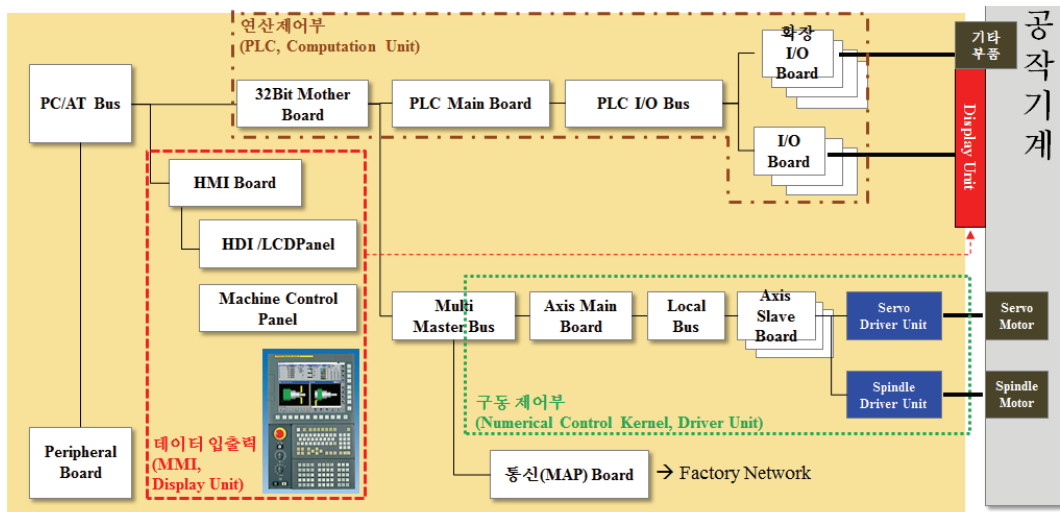
IV. 공작기계 수치제어장치와 화낙의 아키텍처 진화 사례

1. 공작기계 수치제어장치 개요

수치제어장치는 마이크로 컴퓨팅 기술을 활용하여 공작기계의 금속가공 기능 수행을 위해 필요한 공작물의 움직임, 공구의 절삭 형상 및 속도와 같은 파라미터를 수치화하여 입력함으로써 금속가공 기능을 자동으로 제어하기 위한 부품이다(임채성, 2001; 임채성, 2006; 한국산업기술진흥원, 2011; Lim, 2007). 이러한 수치제어장치는 <그림 2>와 같이 MPU(Micro Processor Unit)와 프로그램화 제어 명령이 입력된 메모리(ROM), 시스템 소프트웨어를 저장하는 버블 기억 장치(Bubble Memory)로 구성된 연산제어부(Computation Unit), 구동 제어부(Numerical Control Kernel, Drive Unit), 데이터 입출력 HMI(Human Machine Interface, Display Unit)로 구성되어 있으며, 공작물과 공구의 움직임을 제어하는 것이 핵심 기능이다. 이에 따라 수치제어장치와 함께 공작물의 위치와 위치 변화 속도를 결정하는 서보 모터·드라이브, 그리고 공작물을 가공하기 위한 공구의 회전 속도를 결정하는 구동부품인 스핀들 모터·드라이브를 합쳐 수치제어 시스템이라 부르기도 한다(산업연구원, 2014; 한국산업기술진흥원, 2011). 이와 같은 수치제어 시스템은 공작기계 제조원가의 25~40% 가량을 차지할 정도로 공작기계 기능 구현에 있어 핵심적인 역할을 한다(Chuma, 2001; 산업연구원, 2014; 임채성, 2001; 임채성, 2006; 한국산업기술진흥원, 2011).

수치제어 시스템의 세계 시장 규모는 Gardner(2015)에서 발표하는 세계 공작기계 생산 규모(2014년 813.2억 달러)를 고려하였을 때 2014년 약 203.3~325.3억 달러로 추정된다. 이중 수치제어장치만의 시장 규모는 수치제어 시스템에서의 수치제어장치의 원가 비중(약 30%, ARC Advisory Group, 2008)을 감안할 시 대략 61.0~97.6억 달러로 산출된다. 주요 기업의 수치제어장치 시장 점유율은 2007년 기준 일본의 화낙이 40.2%로 압도적인 수치를 기록하고 있으며, 독일의 지멘스와 하이텐하인이 각각 22.0%, 7.4%, 일본의 미쓰비시전기가 5.2%, 미국의 하스가 3.0%, 일본의 오쿠마가 2.6% 등으로 그 뒤를 잇고 있다(한국산업기술진흥원, 2011).

국내 수치제어장치 시장은 2014년 생산 56억 달러, 세계 시장 점유율 6.9%를 기록한 공작기계산업(Gardner, 2015)의 성장과 연계하여 지속적으로 확대되었다. 그럼에도 불구하고 수치제어장치는 해외 수입에 크게 의존하고 있으며, 수입 중에서도 일본 화낙에 대한 의존도가 절대적인 것으로 나타났다. 큐리어스(2011)와 한국산업기술진흥원(2011)의 조사에 따르면 2010년 기준 수치제어장치의 수입의존도는 95% 이상을 차지하고 있으며, 이중 화낙은 80%대의 점유율로 국내 시장을 사실상 독점하고 있는 것으로 확인되었다. 이는 우리나라 공작기계산업의 연간 수주 금액(4조 원)을 고려했을 때, 매년 4,000억 원~5,000억 원에 달하는 외화가 화낙의 수치제어장치 구입을 위해 지출되고 있음을 의미한다.



자료: 통상산업부(1995) 'CNC 평면연삭기 및 CNC 장치 개발', 전문가 인터뷰 자료 외 연구자 조사

<그림 2> 공작기계 수치제어장치와 수치제어시스템의 구성

2. 공작기계 수치제어장치의 아키텍처 진화

: 일본 화낙의 추격 사례

일본 화낙(FANUC, Fuji Automatic NUmberical Control)은 1956년 후지츠(Fujitsu)에 근무하던 이나바 세이우에몬에 의해 설립된 회사이다. 이나바 세이우에몬은 1952년 미국 MIT의 밀링머신용 수치제어장치 개발에 주목한 후지츠 경영진에 의해 1956년 수치제어장치 신규사업 추진 팀장에 임명되는데, 이것이 바로 화낙의 시작이다. 이후 화낙은 히타치 정밀기계와의 협력을 통해 1959년 1월 회로요소(Circuit Element)로 진공관(Vacuum Tube)을 사용한 밀링머신용 수치제어장치를 미쓰비시중공업의 나고야 비행기 조립 공장에 납품함으로써 일본 최초의 수치제어장치 개발에 성공하게 된다(이공래·심상완, 2000; Shibata et al., 2005). 당시의 수치제어장치 모델명은 Fanuc 201A로 알려져 있다(이공래·심상완, 2000).

이후 이나바 세이우에몬의 수치제어장치 사업 추진팀은 트랜지스터와 다이오드, 그리고 다양한 집적회로(IC, Integrated Circuits)를 사용하여 고정 배선에 의한 수치제어장치의 논리와 제어 동작을 실현하는 하드와이어드 논리(Hard wired Logic) 방식을 채택함으로써 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성하였으며, 이를 바탕으로 일본 내수 및 세계 시장에서 압도적인 성과를 거두게 된다(Itohis, 2010; Shibata et al., 2005; Shibata and Kodama, 2008). 1966년 출시된 Fanuc 260은 집적회로를 사용함으로써 이전 모델(Fanuc 220, 트랜지스터 사용, 1962년) 대비 제어부 상대 면적이 1/8 수준으로 줄어들었으며, 3년 뒤인 1969년에는 3개의 기본 제어부와 9개의 기본 옵션 모듈, 20개의 확장 옵션 모듈로 분화되어 다양한 제조사의 공작기계 적용이 가능한 수치제어장치를 생산하게 된다(Shibata et al., 2005; Kodama and Shibata, 2014). 이를 통해 화낙은 수치제어장치의 대량생산(Mass Production)과 기능 추가의 용이성을 통한 고객 맞춤형 생산(Make-to-Order)을 동시에 달성하였을 뿐 아니라 유지보수의 간편성을 실현하였으며, 1967년~1974년 사이 80~95%에 달하는 압도적인 일본 수치제어장치 시장 점유율을 기록하게 된다(Mazzoleni, 1997; Shibata et al., 2005). 이와 같은 공작기계 시장에서의 광범위한 채택과 성과는 화낙이 개방형 모듈라 아키텍처를 띄는 수치제어장치 개발에 성공하였음을 시사한다.

상기 서술과 같이 화낙은 1960년대 하드와이어드 논리 방식을 채택한 수치제어장치 시장에서 막대한 성과를 거두었음에도 불구하고 1970년대 들어 MPU(Micro Processor

Unit) 내의 제어 소프트웨어에 기반하여 제어 동작을 실현하는 소프트와이어드 논리 (Soft wired Logic) 방식의 컴퓨터화(Computerized)된 수치제어장치 개발(Computerized Numerical Controller, CNC)를 세계 최초로 추진하게 된다(Itohis, 2010). 왜냐하면 하드 와이어드 논리 방식은 소프트와이어드 논리 방식에 비해 제어 유연성이 낮고, 수치제어 장치를 소형화(Compact)시키는데 한계가 있기 때문이다. 이를 통해 1975년 화낙은 최초의 소프트와이어드 방식의 수치제어장치인 Fanuc 2000C를 개발하는데 성공한다.

그러나 화낙은 MPU를 채택한 소프트와이어드 방식의 수치제어장치에서 기존의 하드와이어드 방식에 비해 훨씬 복잡한 기능과 부품 간 대응 관계에 직면하게 되고, 이로 인해 개발 초기 하드와이어드 방식에 비해 모듈라형 수치제어장치를 개발하는데 어려움을 겪게 된다. 실제로 소프트와이어드 방식의 최초 모델로 1975년에 출시된 Fanuc 2000C¹⁾의 제어부 PCB 상대 면적은 하드 와이어드 방식의 마지막 모델인 Fanuc 260에 비해 더 큰 값을 가짐을 확인할 수 있다(Shibata et al., 2005). 이에 대해 Shibata et al.(2005)와 姜英美(2008)은 화낙이 회로요소로 MPU를 새롭게 채택함에 따라 수치제어 장치 아키텍처 설계에서의 성능²⁾ 및 신뢰성³⁾과 관련한 새로운 기술적 이슈에 직면하게 되었고, 이를 해결하는 과정에서 수치제어장치의 아키텍처가 일시적으로 인테그랄로 바뀌었기 때문으로 설명하고 있다. 이는 MPU와 같은 새로운 회로요소 기술을 채택함에 따라 수치제어장치 내 기능과 부품 간 대응 관계 및 수치제어장치와 공작기계 간 인터페이스의 변화가 필요하였으나, 화낙에는 기존의 하드와이어드 방식과 관련한 아키텍처 지식이 축적되어 있어 소프트와이어드 방식에서의 기능과 부품 간 대응 관계와 수치제어장치와 공작기계 간 인터페이스의 단순화에 실패하였음을 의미한다(Henderson and Clark, 1990). 이와 같은 화낙의 소프트와이어드 방식 수치제어장치의 인테그랄 아키텍처는 1979년에 출시된 Fanuc System 6까지 지속되었다(Shibata et al., 2005). 이는 화낙 수치제어장치의 다수의 고객 확보 및 고객 맞춤형 제품 개발 역량의 감소로 이어졌고, 궁극적으로 시장성파에 부정적인 영향을 미쳤다. 실제로 화낙의 일본 내 수치제어장치 시장 점유율은 1980년 59.4%까지 하락하였는데, 이는 1967년~1974년의 시장 점유율(80~95%) 대비 20~35%p 낮은 수치이다(Itohis, 2010). 결과적

-
- 1) 1974년 인텔이 출시한 3000 Series MPU를 채택하여 개발(Shibata, 2016; Wikipedia, 2016)
 - 2) 하드와이어드 논리 방식에서 소프트와이어드 논리 방식으로의 전환에 따라 머시닝 지침에 의한 공구 위치 계산 및 구동부 펄스 분배와 같은 보간 함수(interpolation function)의 적합성에 문제가 발생
 - 3) 소프트와이어드 논리 방식의 MPU는 하드와이어드 논리 방식에 비해 온도와 소음, 진동, 먼지 등 기계 작동 환경에 훨씬 민감

으로 화낙은 소프트웨어 방식 수치제어장치 개발의 선두주자였으나 인테그랄 아키텍처에 따른 고객 맞춤형 제품 개발에 어려움을 겪으면서 경쟁자에게 수치제어장치 시장을 빼앗기는 결과를 초래하였다.

이러한 어려움에도 불구하고 화낙은 점차 소프트웨어 수치제어장치에 대한 지식을 축적하고, 시스템 전체의 성능 개선과 신뢰성 제고에 대한 역량을 제고함에 따라 1980년대 중반 이후 소프트웨어 수치제어장치의 개방형 모듈화에 성공하게 된다. 1985년 9월 화낙은 Fanuc 2000C와 System 6에 이어 2세대 수치제어장치로 불리는 Fanuc Series 0을 출시하는데, Series 0은 모든 하드웨어 모듈이 버스(Bus) 형태의 공통 인터페이스에 연결되어 있고, 소프트웨어 모듈 또한 사용자 선택 모듈과 범용 모듈로 구분되어 공작기계를 가동할 때 두 모듈 간 데이터 교환을 위한 사용자 인터페이스가 명확히 정립되어 있는 개방형 모듈라 아키텍처를 확보하는데 성공하였다(Shibata et al., 2005). 이와 같은 개방형 모듈라 아키텍처 구축을 통해 화낙은 소프트웨어 수치제어장치에서도 대량생산과 기능 추가의 용이성을 통한 고객 맞춤형 생산을 동시 달성하게 되었다. 실제로 Series 0 제품은 2004년 7월 판매가 종료될 때까지 전 세계적으로 35만 대 가량 팔리며 단일 모델 기준 최다 판매 기록을 보유한 모델이 되었다(Kodama and Shibata, 2014). 이와 같은 화낙 수치제어장치의 개방형 모듈화는 3세대 수치제어장치로 알려진 Series 16(1991년 출시) 개발 이후 더욱 심화되었다. Series 16의 하드웨어 구성은 디스플레이(Display), 연산(Computation), 구동(Drive) 등의 서브 모듈(Sub Module)로 더욱 단순화되었으며, 소프트웨어 또한 서브 모듈 별로 맞춤형 생산 및 고객의 요구에 따라 독립적 수정이 가능한 수준으로 구현되었다(Shibata et al., 2005).

이와 같은 소프트웨어 수치제어장치의 개방형 모듈라 아키텍처 구축을 통해 화낙은 1980년대 중반 이후 시장에서 다시 압도적인 점유율을 회복하였다. 실제로 1980년대 말 화낙의 일본 내 시장 점유율은 80%를 상회하였으며, 세계 시장 점유율은 약 50%를 기록하였음을 다수의 문헌을 통해 확인할 수 있다(Lee, 1996). 다시 말해 화낙은 1960년대 초~1970년대 중반에 이르는 기간 동안 하드웨어 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 통해 지배적인 점유율을 확보하였으나, 이후 MPU와 같은 새로운 기술 도입으로 인해 일시적으로 아키텍처의 모듈화에 어려움을 겪으면서 경쟁자에게 시장을 빼앗기게 된다. 그러나 1980년대 중반 이후 소프트웨어 방식의 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성함으로써 대량생산을 통한 원가 절감은 물론 다양한 공작기계 생산업체에 대한 대응 능력을 확보하여 시장 점유율을 제고하는데 성공하였다. 이후 화낙은 지속적으로 개방형 모듈라 아키텍처를 유지하면서 기존 기술의 개선을 통해 지배

적인 시장 점유율을 지속적으로 유지하고 있다. 이와 같은 화낙 수치제어장치의 개방형 모듈라 아키텍처는 공작기계 산업이 특정 고객의 수요에 부합하는 맞춤형 기계를 생산하는 전문 공급자형(Specialized Suppliers) 산업임에도 불구하고 공작기계 제조사가 자사 기계의 인터페이스를 화낙 수치제어장치의 인터페이스에 맞추도록 하는데 크게 기여하였다(류희숙, 2015). 이러한 화낙의 다양한 제조사의 공작기계 적용이 가능한 대량생산 체제 구축의 성과는 시장 점유율 뿐 아니라 높은 수익성에서도 확인할 수 있는데, 이는 수요 제품 시장에 대한 독자적인 범용 부품 공급을 통해 높은 수익률을 달성할 수 있는 외부 모듈형 아키텍처 포지셔닝 전략으로도 이해할 수 있다(고기영 외, 2009). 실제로 화낙은 룬, 시마노, 히로세전기, 마부치모터, 키엔스 등과 함께 일본의 대표적 6대 초고수익 기업으로 꼽히고 있으며, 매년 40% 수준의 영업이익률을 기록하고 있다(나미에 카즈키미, 2008; 매일경제, 2015). 상기 언급한 화낙 수치제어장치의 아키텍처 진화 및 관련한 논리 방식, 회로 요소(컴퓨팅 소자), 대표 제품 모델, 그리고 그에 따른 시장 점유율(일본 내)의 변화 등을 아래 <표 2>와 같이 정리하였다.

<표 2> 화낙 수치제어장치의 아키텍처 진화

시기	~1960년대 중반	1960년대 후반 ~1970년대 초반	1970년대 중반 ~1980년대 초반	1980년대 중반~
아키텍처	인테그랄	개방형 모듈라	인테그랄	개방형 모듈라
논리방식	-	하드와이어드	소프트와이어드(CNC)	
회로요소 (컴퓨팅 소자)	진공관, 트랜지스터	집적회로(IC)	마이크로 프로세서(MPU)	
제품 모델 (예시)	Fanuc 201A Fanuc 220	Fanuc 260	Fanuc 2000C Fanuc System 6	Fanuc Series 0 Fanuc Series 16
일본 시장 점유율	-	80~95%	60% 이하	80%+

V. 우리나라 공작기계 수치제어장치의 추격과 아키텍처

우리나라 또한 일본과 같이 수치제어장치 기술 추격 및 확보의 중요성을 인지하고 1970년대 말부터 기술 추격 및 자립화를 위한 R&D를 지속적으로 수행하였다. 우리나라 최초의 수치제어장치 기술개발 노력은 1976년~1977년 한국과학기술연구원이 연구 인력

을 투입하고, 전기기계 제조업체 금성전기(현 LS산전)가 연구비를 투자하여 공동으로 개발한 MPU 기반의 수치제어장치 'GSCOM-80A'이다(건설경제, 2010; 매일경제, 1977; 전자신문, 1996). 당시 개발한 수치제어장치에서 채용한 기술에 대해 매일경제(1977)에서는 미국과 일본에서도 최신기술로 인식됨을 보도하고 있는데, 이는 1976년 인텔이 출시한 8080A MPU⁴⁾를 채택한 것에 기인한다(전자신문, 1996). 따라서 수치제어장치 개발 시기와 채택한 MPU의 기술적 특성을 고려할 때 GSCOM-80A 또한 1975년 화낙이 개발한 최초의 소프트웨어드 수치제어장치 모델인 FANUC 2000C(3000 Series MPU 채택) 및 1979년 개발한 FANUC System 6(8086 16bit MPU 채택)와 유사한 인테그랄 아키텍처로 이해할 수 있다.⁵⁾ 그러나 수치제어장치 'GSCOM80A'는 당시 공작기계, 의료기기 및 다양한 측정기기에 활용될 것으로 기대되었음에도 불구하고 상용화 등의 성과 창출에는 실패한 것으로 기록되고 있다(전자신문, 1996).

이후 우리나라의 수치제어장치 개발은 공작기계 제조업체인 통일중공업을 중심으로 추진되었다. 1959년 통일교 재단에 의해 설립된 통일중공업은 자사의 공작기계에 장착하기 위한 목적으로 1983년부터 수치제어장치 개발을 시작하였다(임채성, 2001; 임채성, 2006). 이와 같은 통일중공업의 수치제어장치 기술 확보 노력은 당시의 경제 상황과 시장 수요에 기인하였다. 먼저 1980년대 초는 엔화 강세가 지속되면서 수입 수치제어장치의 가격이 크게 상승하던 시기로(임채성, 2006), 통일중공업은 수치제어장치가 공작기계 완제품 가격에서 차지하는 비중을 고려하였을 때 수치제어장치 기술 확보 시 공작기계 사업의 가격 경쟁력 및 수익성을 크게 개선할 수 있다고 판단했다. 또한 앞서 살펴본 바와 같이 동 시기에는 수치제어장치의 논리 방식이 하드와이어드에서 소프트웨어드 방식으로 전환되고 있었으며, 정밀가공 수요의 확대에 따라 공작기계의 수치제어장치 장착 비중이 크게 증가하고 있었다.⁶⁾ 이는 당시 공작기계산업이 기술 패러다임 전환기이자

4) 1974년 인텔이 출시(Shibata et al., 2005)한 8080 MPU의 후속 모델로 8bit 급 모델

5) 이러한 판단은 출시 시기 순으로 살펴본 수치제어장치 모델의 아키텍처 특성 및 당시 MPU 기술 특성에 근거함. 즉, 1974년 출시된 3000 Series MPU를 채택하여 1975년 개발된 FANUC 2000C의 아키텍처가 인테그랄 특성을 나타낸 점. 1978년 출시된 8086 16bit MPU를 채택하여 1979년 개발된 FANUC System 6의 아키텍처가 인테그랄 특성을 나타낸 점을 고려할 때, 3000 Series MPU와 8086 16bit MPU 사이에 개발된 8080A 8bit MPU를 채택한 GSCOM-80A의 아키텍처 또한 인테그랄로 이해할 수 있음. 특히 1970년대 당시 MPU 기술 개발이 여명기(Dawning)에 있었으며, 이로 인해 MPU 기술이 미성숙한 상태로 존재하였음을 고려한다면(Shibata et al., 2005), 당시 개발된 MPU를 채택한 수치제어장치 모델의 아키텍처는 인테그랄 특성을 나타낸 것으로 판단가능함.

6) 우리나라 공작기계산업의 수치제어장치 장착 비중은 1984년 20.4%에서 1988년 44%까지 증가(매일경제, 1989)

수치제어장치에 대한 수요가 급증하는 시기에 놓여 있어 수치제어장치의 후발주자가 선 발주자를 추격할 수 있는 좋은 기회로 이해할 수 있다(이근 외, 2014; Lee and Marlerba, 2014).

이에 따라 통일중공업은 수치제어장치 개발에 뛰어들어 지 2년 만에 1985년 국내 최초의 수치제어장치인 TEPS를 개발하게 된다. TEPS 모델은 1989년까지 4년 동안 약 1,500대 가량의 통일중공업이 생산한 공작기계에 부착되어 판매되었다(임채성, 2006). 그러나 이는 같은 시기 12만 대에 달하는 수치제어장치를 자국시장(일본)에 판매한 화낙의 실적⁷⁾과 비교하였을 때 매우 제한적인 추격 성과이다. 이러한 제한적 추격 성과의 원인에 대해 임채성(2006)은 통일중공업의 경우 후발주자로서 성능 신뢰성 제고를 위해 필요한 진동과 소음, 전자기 간섭 등이 발생하는 실제 사용자 환경에서의 시장 지식과 고객 맞춤형 제품 개발을 위한 시장 지식을 획득하는데 제한적이었기 때문으로 설명하고 있다.

그러나 상기 언급한 시장 지식 획득이 어려웠던 근본적인 이유는 통일중공업의 수치제어장치 개발 목표가 화낙과 달리 ‘자사 공작기계 전용’에 국한되어 있었고, 판매 또한 자사 공작기계 수주에 전적으로 의존함에 따라 수치제어장치와 공작기계 간 인터페이스 사양이 비표준화되어 있거나 인터페이스 사양 표준화가 사내에만 한정되었기 때문으로 이해할 수 있다. 이는 통일중공업이 개발한 수치제어장치가 인테그랄 또는 폐쇄형 모듈라 아키텍처에 그쳤기 때문에 후발주자로서 다양한 공작기계 제조사(고객)에 수치제어장치를 판매하여 성능 신뢰성 제고 지식과 고객 맞춤형 제품을 위한 지식을 폭넓게 획득하기가 어려웠고, 결과적으로 제한적인 시장성과를 야기하게 되었음을 의미한다. 이에 따라 통일중공업의 수치제어장치 사업부는 재무적으로 많은 어려움을 겪게 되었으며, 이후 1998년 11월 한국와콤전자로의 매각, 2005년 8월 한국와콤전자의 (주)현원으로의 흡수 합병, 2007년 8월 (주)현원의 큐리어스로의 상호 변경, 그리고 2013년 3월 큐리어스의 대표자 횡령, 분식회계 및 코스닥 상장 폐지 등에 따른 사업부의 물적분할 후 (주)센트럴로 재설립되는 등의 난관을 겪게 되었다. 이러한 과정 속에서 기술역량 축적 또한 매우 어려웠을 것으로 추정된다. 실제로 (주)센트럴의 2014년 매출규모는 58억 원, 영업이익은 0.5억 원⁸⁾으로 매우 영세하며, 매출규모는 화낙의 수치제어장치 사업부 매출액(2.6조원, 2014

7) 1985년~1989년 사이의 화낙의 연속 판매 실적은 확인하기 어려우나, Itohisa(2010)에서 화낙의 일본 내 수치제어장치 판매 실적을 부분적으로 확인할 수 있음. 본 고에서는 화낙의 일본 내 연간 수치제어장치 판매 실적 중 1980년(11,236대), 1983년(28,134대), 1986년(33,237대), 1989년(46,500대) 판매 실적의 합을 1985년~1989년 사이의 통일중공업의 한국 내 판매 실적의 합과 비교함.

8) 한국기업데이터(Korea Enterprise Data) 수록 정보 참고

년) 대비 0.2% 수준에 불과하다.

통일중공업 이후 수치제어장치 국산 상용화 노력은 1987년 2월 정부 지원을 통한 NC 공작기계연구조합(이하 연구조합) 설립으로 재개된다. 연구조합 설립을 통한 수치제어장치 개발은 2가지 관점에서 통일중공업의 수치제어장치 개발과 차이가 있는데 그것은 (1) 다수의 공작기계 제조사(고객, 수요기업) 공동 참여와 (2) 수치제어장치 분야 선진 기업과의 기술 제휴 추진이다. 당시 연구조합에는 대우중공업, 기아기공, 화천기계, 두산기계 등 4개 공작기계 제조사가 직접 기술개발에 참여하였는데 이는 수치제어장치 판매 경험을 통해 축적이 가능한 성능 신뢰성 제고를 위한 시장 지식과 맞춤형 제품 개발을 위한 시장 지식을 획득하는데 효과적인 전략으로 이해할 수 있다. 또한 연구조합에는 미국의 수치제어장치 제조 기업인 알렌 브레들리(Allen Bradley)⁹⁾가 기술 이전 업체로 참여하였는데(Lim, 2007), 이 또한 수치제어장치의 지식기반 특성인 암묵성과 복잡성(임채성, 2001; 임채성, 2006)을 고려하였을 때 기술 지식을 획득하는데 효과적인 방법으로 판단할 수 있다.¹⁰⁾ 이후 연구조합은 자본금 30억원을 투자하여 개발한 기술을 상용화하여 수치제어장치 및 서보 모터·드라이브, 스피들 모터·드라이브를 전문으로 생산하기 위한 합작법인인 한국산업전자 설립에까지 이르게 된다(매일경제, 1988; 임채성, 2006)¹¹⁾. 또한 정부는 1995년~1999년에 걸쳐 상공자원부의 ‘중기거점기술개발사업’을 통해 150억원의 자금을 연구조합에 투자¹²⁾하는 등 수치제어장치 국산 상용화를 위한 지원을 아끼지 않았다.

그러나 이러한 연구조합과 합작회사 설립, 정부의 R&D 투자와 같은 노력에도 불구하고, 당시 수치제어장치 추격은 실패하였다(임채성, 2001; 2006). 먼저 알렌 브레들리와의 기술 제휴가 원활하게 이루어지지 못하였고, 이로 인해 국내 공작기계업체에서 원하는 수치제어장치를 개발하지 못하였다. 당시 알렌 브레들리 수치제어장치의 프로그래밍 방식은 기존에 국내 공작기계업체 및 시장에서 널리 사용하던 것과는 다른 방식이었다(엠앤티매거진, 2010). 이에 따라 국산화할 수치제어장치가 널리 사용되기 위해서는 국내에

9) 1981년 당시 미국 수치제어장치 시장의 16%를 차지하고 있었으며, 고가 제품군에서 경쟁력을 확보함(Harrigan, 1985)

10) 일본의 화낙 또한 1973년 직면한 오일 쇼크를 극복하기 위한 방법으로 1974년 6월 미국 게티스사로부터 DC 서보모터 기술을 이전 받음(Shibata and Kodama, 2008)

11) 한국산업전자의 지분은 대우중공업이 42%, 기아기공 10%, 두산기계 5%, 동양방전과 기흥기계 각 1%, 알렌 브레들리가 41%를 보유. 알렌 브레들리의 지분 보유에 따라 회사의 영문 이름은 Korea AB

12) 연구조합에 참여한 기업들 또한 총 174억 원의 자금을 별도로 투자함(임채성, 2006; 한국산업기술진흥원, 2011)

서 생산하는 공작기계와의 인터페이스 사양 표준화를 달성해야 했다. 다시 말해 연구조합과 합작회사에 참여하는 다수의 공작기계 업체가 사용하기 위해서는 수치제어장치의 아키텍처가 개방형 모듈라 특성을 확보해야만 했다. 그러나 알렌 브레들리와의 기술 제휴는 기존의 수치제어장치에서 사용되던 언어(영어)를 한국어로 바꾸는 등의 주변 기술 개발에 그쳤고, 국산 공작기계 맞춤형 기술 개발에 필요한 알렌 브레들리 연구진이 한국을 떠나버리는 등의 어려움에 봉착하였다(임채성, 2006; Lim, 2007). 이로 인해 연구조합과 한국산업전자가 개발한 수치제어장치는 국내 시장 확보에 실패하였다(임채성, 2006). 이는 연구조합과 한국산업전자의 수치제어장치는 국내 업체가 생산하는 공작기계에서 사용될 수 있는 개방형 모듈라 아키텍처를 확보하지 못했음을 의미한다. 이는 당시 개발했던 수치제어장치가 국내 공작기계시장과 친화적이지 못하다는 평가에서도 확인할 수 있다(엠앤티매거진, 2010). 이와 같은 이유로 인해 한국산업전자는 매출 감소, 영업 이익 적자 등의 경영실적 부진에 빠졌고 1993년 자본 잠식을 거쳐 1994년 대우중공업에 흡수된다(매일경제, 1993; 매일경제, 1994; 임채성, 2006; Lim, 2007). 연구조합과 정부의 ‘중기거점기술개발사업’ 지원 또한 1998년도 국가연구개발사업 평가에서 ‘성과 미흡’ 판정을 받으며 연구비 삭감과 조기 종료에 처한다(국가과학기술위원회, 1999). 이에 따라 정부의 ‘중기거점기술개발사업’ 지원은 수치제어 시스템을 구성하는 요소기술의 확보에 그쳤으며¹³⁾, 수치제어장치와 공작기계 간 시스템 통합(System Integration) 단계에서 공작기계 업체들이 사업을 포기함에 따라(한국산업기술진흥원, 2011), 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성하는 데 실패하게 된다. 당시 수치제어장치 개발 참여 업체였던 터보테크는 사업을 통해 확보된 요소 기술을 활용하여 HX Series 등 자체 모델을 생산하여 시장을 공략하였다. 그러나 시장 점유율 확보에 어려움을 겪게 되었고 2009년 수치제어장치 사업부를 씨에스캠에 매각하면서 개발 기술의 상당 부분이 유실되었다. 더욱이 씨에스캠의 연간 매출에서 수치제어장치가 차지하는 비중과 규모(30%, 25억 원)¹⁴⁾를 고려하였을 때 정부의 ‘중기거점기술개발사업’ 지원에 따른 수치제어장치 개발 추격은 기대했던 성과를 거두지 못했음을 알 수 있다.

수치제어장치 국산화를 위한 가장 최근의 시도는 2005년에서 2009년까지 추진되었던 두산인프라코어 주도의 산학연 컨소시엄¹⁵⁾이 수행한 ‘다계통 e-CNC 모듈 개발’ 과제이

13) 협회 및 연구기관 전문가 인터뷰 결과, 당시 수치제어장치 국산화를 위한 국가 주도의 R&D 지원이 처음 이루어진 상황이었기 때문에 사업 초기단계에서는 수치제어 시스템을 구성하는 요소기술의 확보에 초점이 맞춰짐을 확인

14) 2012년 기준, FA저널(2012)와 한국기업데이터(Korea Enterprise Data) 수록 정보 참고

15) 동진, 리얼타임웨이브, 한국기계연구원, 한국생산기술연구원, 단국대, 포스텍 등이 참여

다. 본 과제는 산업자원부(현 산업통상자원부)의 10대 부품·소재기술개발사업(차세대 신기술개발) 지원을 통해 수행되었는데, 과제명에서도 알 수 있듯이 밀링, 드릴링, 연삭, 선반 가공 등 다양한 종류의 절삭 가공이 가능한 다수의 공작기계들을 동시에 제어하거나 머시닝 센터와 같은 복합 공작기계를 제어할 수 있는 수치제어장치를 개발하는 것이 목표였다(성대중 외, 2009). 특히 수치제어장치를 구성하는 구동 제어부와 연산 제어부를 모듈화함으로써 모듈 간 인터페이스 표준화는 물론 복합제어 기능 수행 시의 충돌을 방지하고자 하였다(성대중, 2009). 나아가 화낙과 같이 다양한 제조사가 생산하는 공작기계에 부착되어 판매될 수 있는 개방형 및 국제 표준에 부합하는 인터페이스 모듈을 확보한 수치제어장치 개발을 최종 목표로 설정하였다(성대중 외, 2009; 신승준 외, 2009).¹⁶⁾ 이에 따라 ‘다계통 e-CNC 모듈 개발’ 과제는 정부의 모듈화 연구개발 대표 사례로 선정되어 연간 30억 원이 넘는 투자가 집행되었다(정보통신부, 2007).

그러나 본 과제는 두산인프라코어 내부 자금 사정 및 사업 전략 수정으로 인해 조기 종료되었고, 그 결과 e-CNC 모듈을 구성하는 부품의 모듈화에는 성공하였으나, 공작기계와 수치제어장치 간 인터페이스의 사양 표준화는 사내에만 한정·공유되는 폐쇄형 모듈라에 그치고 말았다. 이는 현재 e-CNC가 두산인프라코어 자사의 공작기계 기종 중 터닝센터와 같은 일부 기종에만 장착되어 공급되고 있다는 점에서 확인할 수 있다(산업연구원, 2014; 한국산업기술진흥원, 2011). 따라서 e-CNC는 타 기업의 공작기계나 로봇, 공장 자동화 시스템으로의 범용·표준화 적용 능력은 미흡한 것으로 판단할 수 있다.

상기 연구 결과와 같이 우리나라는 약 40년 동안 기업의 독자 개발뿐 아니라 연구조합과 기술 제휴에 기반한 합작 법인 설립 등을 통한 정부 R&D 자금 지원 등 다양한 방식을 통해 수치제어장치의 국산화 및 추격을 시도하였다. 그러나 공통적으로 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성하는데 실패함으로써 다양한 수요 기업이 생산하는 공작기계에 채택되지 못하였으며, 결과적으로 제한된 추격 성과에 그치고 말았다. 또한 이러한 제한적인 추격 성과는 해당 기업과 기업의 사업부, 연구조합 등 연구개발 주체의 파산과 매각, 폐쇄 등으로 이어지면서 기술적 지식의 누적에도 부정적인 영향을 미쳤다. 이는 소프트웨어 방식의 성공적 도입 및 개방형 모듈라 아키텍처 달성을 통해 시장을 확보하고, 1970년대 중반 이후 지속적으로 기술적 지식을 누적하는데 성공한 화낙의 사례와는 매우 대조적이다. 그간 우리나라의 수치제어장치 개발 사례와 성과, 그리고 개발 주체의 현재 상황 등에 대해 아래 <표 3>과 같이 정리하였다.

16) 당시 참여 연구기관 전문가 인터뷰를 통해 ‘다계통 e-CNC 모듈 개발’ 과제의 시작 당시 설정한 최종 목표는 개방형 모듈라 아키텍처 특성의 수치제어장치 개발이었음을 재확인함

<표 3> 우리나라의 수치제어장치 개발 사례와 성과, 개발 주체의 현재 상황

시기	1970년대 말	1980년대 중반	1980년대 후반~ 1990년대 후반	2005년~2009년
개발 체제와 방식	산·연 (한국과학기술 연구원, 금성전기)	산 (통일중공업)	산·학·연 컨소시엄+외국 기술 제휴 (연구조합, 한국산업전자)	산·학·연 컨소시엄
연구 재원	산업계 (인력은 연구계)	산업계	정부+산업계	정부+산업계
아키텍처	인테그랄	인테그랄 또는 폐쇄형 모듈라	인테그랄 또는 폐쇄형 모듈라	폐쇄형 모듈라
시장 성과	상용화 실패	<ul style="list-style-type: none"> 1985년~1989년 약 1,500대 판매(동기간 화낙의 1.3%) 2000년대 중반까지 약 10,000대 판매 	<ul style="list-style-type: none"> 시장 확보 실패 성과 미흡 판정으로 사업 조기 종료 수치제어장치 사업부 매각(터보테크) 	<ul style="list-style-type: none"> 내부 자금 사정 및 사업 전략 수정으로 인해 조기 종료 개발업체(두산인프라코어) 자사 공작기계 일부 기종에 장착
현재 상황	연구개발 미수행 및 사업 포기	<ul style="list-style-type: none"> 매각 후 합병, 재분할·재설립 '14년 센트럴 매출규모(58억원)는 화낙의 0.2% 	<ul style="list-style-type: none"> NC연구조합 폐쇄 한국산업전자 대우중공업에 흡수 '12년 씨에스캠 매출 규모(25억원)는 화낙의 0.1% 	
현재 국내 시장 점유율 합계 5% 미만 (세계 시장 점유율 없음)				

VI. 결론 및 토의

본 연구는 후발국가 또는 기업이 개발한 제품의 아키텍처가 추격 성과에 중요한 영향을 미칠 수 있음에 주목하고, 우리나라 공작기계 수치제어장치 개발 사례를 대상으로 추격에 실패하거나 제한된 성과에 그친 원인을 일본 화낙의 아키텍처 진화 및 성장 사례와의 비교 분석을 통해 고찰하였다. 연구결과 일본 화낙은 1980년대 중반 이후 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성함으로써 다양한 수요기업(공작기계 생산 기업)의 요구 사항에 맞춤형 수치제어장치를 생산하면서 동시에 대량 생산을 통한 원가 절감을 달성하였다. 이를 통해 화낙은 현재의 시장 지배적인 위치를 차지할 수 있었으며, 심지어 수요기업으로 하여금 생산 공작기계의 인터페이스를 화낙 수치제어장치의 인터페이스에 맞추도록 하는 데에도 기여하였다. 반면 우리나라는 1970년대 말 이후 약 40년 동안 다양한 개발 체제와 재원 조달 방식의 운영에도 불구하고 모두 아키텍처의 개방형 모

달성을 하는데 실패함으로써 다양한 수요 기업이 생산하는 공작기계에 채택되는데 실패하였으며, 결과적으로 제한된 추격 성과에 그치고 말았다. 특히 제품 아키텍처가 인테그랄에서 모듈라로 진화하며, 모듈라 아키텍처를 달성하기 위해서는 제품에 대한 깊은 지식 축적과 전문성을 요구한다는 논의(Baldwin and Clark, 1997)를 고려하였을 때, 우리나라는 그간의 노력에도 불구하고 아직까지 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성할 수 있는 만큼의 기술을 축적하거나 설계 역량을 확보하지 못했음을 의미한다.

본 연구 결과는 우리나라 수치제어장치 추격 실패의 원인으로 ‘(1) 고급, 중급, 저급 등으로 계층화되지 않아 후발 기업이 시장을 확보하기 어려운 시장 구조’와 ‘(2) 낮은 기술적 기회와 복잡하고 암묵적인 지식기반 특성으로 인해 기술 이전을 통한 기술 획득이 어려운 기술 체제 특성’, 그리고 ‘(3) 판매 경험을 통해서만 축적할 수 있는 성능 신뢰성 지식 획득과 고객화 지식 축적 실패와 같은 시장 특성’을 제시한 기존 연구(임채성, 2001; 임채성, 2006; Lim, 2007)를 보완함으로써 추격 논의의 심화에 기여하였다. 먼저 수치제어장치의 개방형 아키텍처 모듈화를 달성했다면 국내외 시장에 존재하는 다수의 수요기업에 채택될 가능성을 보다 높일 수 있었을 것이다. 이는 앞서 언급한 공작기계 산업의 전문공급자형 산업 특성에 기인한다. 이러한 점에서 수치제어장치의 아키텍처의 모듈화는 계층화되어 있지 않은 시장 구조로 인한 추격의 어려움을 완화시키거나 또는 극복하게 하는 조절 요인(Moderator)으로 이해할 수 있다.

또한 본 연구를 통해 개방형 아키텍처 모듈화는 추적이 어려운 기술 체제 특성을 완화시켜주는 조절 요인으로 이해할 수 있다. 왜냐하면 우리나라는 수치제어장치와 같이 낮은 기술적 기회와 복잡하고 암묵적인 지식기반 특성을 가진 일반기계 부품 산업(Kim and Lee, 2008; 이근 외, 2008; Tylecote and Visintin, 2008)에서는 괄목할만한 성과를 달성해왔기 때문이다. 실제로 소재부품 종합정보망(2015)에 따르면 우리나라의 2014년 일반기계 부품 산업은 수출 250억 달러, 무역 수지 50억 달러의 흑자를 기록하는 등 주력 수출 산업으로 지난 10년간 지속 성장하였다. 따라서 이와 같은 유사한 기술 체제 특성을 가진 부품 산업에서 추격 성과가 다르게 나타나는 원인으로 부품 아키텍처의 개방형 모듈화 정도의 차이에 주목할 필요가 있다. 다시 말해 우리나라 일반기계 부품 산업은 전반적으로 부품 아키텍처의 개방형 모듈화를 달성함으로써 독자적인 시장을 창출해왔음을 추정할 수 있다. 반면 수치제어장치는 타 일반기계 부품에 비해 기술 체제 특성이 추격에 더욱 불리한 여건에 놓여 있으며, 이로 인해 타 부품에 비해 개방형 모듈라 아키텍처를 달성하는 것이 훨씬 더 어려운 것이다. 따라서 이를 달성하기 위해서는 장기간의 기술 축적과 설계 역량 확보 노력이 반드시 필요함을 확인하였다. 이러한 점에서 본 연

구 결과는 향후 완제품 또는 부품의 아키텍처 관점에서 후발주자의 추격 성과를 고찰할 수 있는 이론적 기반을 구축하는 함의를 가진다.

이와 함께 개방형 아키텍처 모듈화는 판매 경험 획득 및 이를 통한 성능 신뢰성 지식 획득과 고객화 지식 축적의 중요한 필요조건으로 이해할 수 있다. 왜냐하면 만약 우리나라가 개발한 수치제어장치가 개방형 모듈화를 달성하였다면 보다 다수의 공작기계 제조사에 채택됨으로써 성능 신뢰성 지식 및 고객화 지식을 효과적으로 축적할 수 있었으며, 이를 통해 후속 제품 혁신 및 시장 추격 성과를 높일 수 있기 때문이다. 특히 제품 아키텍처의 모듈화는 기술적 문제 해결의 범위를 한정시켜 후속 단계에서의 기술 개선 및 누적적 학습을 가능하게 하며, 결과적으로 제품 신뢰성 제고에 긍정적인 영향을 미친다는 기존의 논의(Pil and Cohen, 2006)를 고려할 때 수치제어장치 아키텍처의 개방형 모듈화 달성은 성능 신뢰성 제고를 위한 핵심 선행요인으로 파악된다. 이러한 점에서 본 연구는 성공적인 기술추격(Technological Catch-up)에도 불구하고 시장추격(Market Catch-up)에 실패하는 원인을 아키텍처 관점에서 규명할 수 있는 이론적 기반을 마련하였다는 의의가 있다.

더불어 본 연구는 추격 성공을 위해서는 기술 패러다임의 변화, 수요의 급변 등과 같은 시장의 급성장, 정부의 정책 지원 등의 기회의 창이 필요하거나 이를 잘 활용해야 한다는 논의(이근 외, 2014; Lee and Malerba, 2014)를 기업의 제품 개발과 아키텍처 전략의 관점에서 재조명하고 있다는 점에서 그 의의가 있다. 분명 기술과 시장, 정부 정책 관점에서의 기회의 창을 활용하는 것은 추격의 성과 창출에 있어 중요한 우호적인 조건이다. 그러나 수치제어장치 개발 사례와 같이 수치제어장치 논리 방식의 전환과 같은 기술 패러다임의 전환, 수요산업인 공작기계산업의 수치제어장치 장착 비중 확대, 그리고 다수에 걸친 정부의 정책 지원에도 불구하고 추격에 실패한 경우는 제품 아키텍처와 같은 후발주자의 기술개발 전략에서 실패 또는 제한된 성과의 원인을 찾는 시도가 필요하다. 이러한 관점에서 본 연구 결과는 추격을 위한 기회의 창 이론과 함께 후발주자의 부품 산업과 기업의 추격 성과와 실패의 원인을 규명할 수 있는 이론적 프레임워크를 제공한다는 점에서 이론적 공헌이 크다고 하겠다.

뿐만 아니라 본 연구결과는 수치제어장치와 같이 후발주자의 추격에 불리한 기술 체제 특성과 시장 특성을 가진 부품 산업에서의 기술전략과 정책 수립에 중요한 시사점을 제공한다. 먼저 기술 개발 목표를 수립하거나 정부의 정책 지원 성공 여부를 평가할 때에는 비록 장기간의 자원 투입이 필요하다 하더라도 기술적 성능 구현을 넘어 제품(부품) 아키텍처의 개방형 모듈화 달성 여부를 반드시 목표에 포함하거나 평가에 반영해야

할 것이다. 그래야만 기술 축적을 통해 후발주자의 추격에 불리한 기술 체제 특성과 시장 특성을 극복할 수 있기 때문이다. 제품(부품) 아키텍처의 개방형 모듈화 달성 여부는 부품과 이를 사용하는 상위 제품 간 인터페이스가 단순하고, 인터페이스 사양 표준화가 산업 전반에 걸쳐 공유되는지 여부를 통해 확인 가능하며, 또한 다양한 수요기업에 채택 가능 여부를 통해서도 확인할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 개방형 모듈라 아키텍처를 달성하기 위해서는 장기간의 투자와 기술 축적이 필요함을 이해하고, 전략적인 육성이 필요하다고 판단되는 경우에는 단기적인 성과 평가를 통해 지속 지원 여부를 결정하는 우를 범하지 말아야 할 것이다. 기본적인 기술 개발 뿐 아니라 개방형 모듈라 아키텍처 달성을 위해 필요한 새로운 아이디어에 대한 실험과 평가가 충분히 이루어질 수 있도록 인내를 가질 필요가 있다.

본 연구의 한계로는 제품 아키텍처가 추격 성과에 미치는 영향에 대한 새로운 이론적 제시를 위한 유의 추출법 사용과 다중 사례 연구에도 불구하고 연구 결과와 이론·정책적 시사점이 수치제어장치의 추격 사례에 국한되어 있는 점을 꼽을 수 있다. 향후에는 보다 추격 실패 또는 제한적 성과와 관련한 다양한 사례를 확충하여 제시된 이론을 보다 심화할 필요가 있다. 더불어 귀납적 접근을 통한 새로운 이론을 개발하기 위한 관점에서 제품 아키텍처를 측정·판단할 때 기존의 문헌 고찰과 신문 라이브러리 자료, 시장 분석 보고서와 전문가 인터뷰 등의 정형화된 사실(Stylized Facts)에 근거하였으나, 이로 인해 일부 분석에서는 정확한 아키텍처 유형을 판단하기 어려운 점이 있었으며, 간접 측정에 의존하는 문제점을 안고 있다. 따라서 후속 연구에서는 Fixson(2005)와 Fixson and Park(2008) 등에서 제시한 정량적인 아키텍처 평가 프레임워크를 활용하여 보다 객관적으로 제품 아키텍처를 분류·세분화함으로써 아키텍처가 성과에 미치는 영향을 면밀하게 고찰하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 강창모 (2008), “자동차 산업 모듈 아키텍처의 발전 과정에 관한 탐색적 연구”, 한국과학기술원 석사학위논문.
- 건설경제, “대한민국 IT史 100대 이슈 13. 디지털 컴퓨터 1호 ‘세종 1호’”, 2010.10.11.
- 고기영 · 이형오 · 이창표 (2009), 『모노즈쿠리 경영학』, 한일산업기술협력재단, 서울: 대림인쇄.
- 국가과학기술위원회, 『1998년도 국가연구개발사업 조사·분석·평가 결과』, 1999.4.1.
- 김영진 (2008), “부품업체에 의한 시스템 제품의 아키텍처 혁신: 카메라폰 플랫폼 변경 사례”, 『전략경영연구』, 제11권 제3호, pp. 91-117.
- 김윤지 (2006), “기계산업에서의 중진국 함정과 기술추격: 한국 기계산업의 사례”, 『기술혁신연구』, 제14권 제1호, pp. 147-175.
- 김찬봉 (2007), “국내 수치제어장치 개발 사업 현황”, 『기계기술』, 제34권 제6호, pp. 18-22.
- 나미에 카즈키미 (2008), 『작지만 강한 기업을 만드는 고수의 경영』, 김영환 역, 서울: 연암사.
- 류희숙 (2015), 『제조업계의 은둔자, 日 화낙의 성공비결』, POSRI 보고서, 포스코경영연구원, 2015.9.30.
- 매일경제, “NC선반 컨트롤러 개발”, 1977.10.17.
- 매일경제, “한미 합작 NC 장치 생산”, 1988.1.8.
- 매일경제, “1천만분의 1오차에 도전 NC공작기계”, 1989.8.30.
- 매일경제, “공작기계 9社 공동출자 수치제어장치 업체 한국산전 좌초위기”, 1993.3.11.
- 매일경제, “한국산전 미지분 전액회수 종합산전업체로 키운다”, 1994.10.31.
- 매일경제, “매경이 만난사람: 日 화낙 이나바 요시하루 사장 한국언론 첫 인터뷰”, 2015.8.28.
- 산업연구원 (2014), 『2014년 산업경쟁력 조사-NC 컨트롤러 산업』, 산업연구원.
- 산업통상자원부, “소재·부품 무역흑자 사상 최대 1,079억 불 달성”, 산업통상자원부 보도자료, 2015.1.8.
- 성대중 (2009), “다계통 e-수치제어장치 기술개발 현황”, 『기계기술』, 제36권 제5호, pp. 30-36.
- 성대중 · 정대혁 · 박승규 · 박종명 (2009), “다계통 e-CNC 개발”, 『한국정밀공학회지』, 제26권 제4호, pp. 7-15.
- 소재부품 종합정보망, “소재부품 무역통계정보”, 2015.12.8. 접속.
- 송위진 · 성지은 · 김연철 · 황혜란 · 정재용 (2006), “탈추격형 기술혁신체제의 모색”, 『정책연구』, 2006-25, 과학기술정책연구원.
- 신승준 · 엄주명 · 윤주성 · 정수호 · 차재민 · 서석환 · 하경택 · 정대혁 (2009), “다계통 e-CNC용 국제표준 모델 기반 e-CAM 구축 기술”, 『한국정밀공학회지』, 제26권 제4호, pp. 23-32.

- 심형석·홍선관 (2014), “실패지식을 활용한 리더십 실패 특성 도출에 관한 연구”, 『지식경영연구』, 제15권 제3호, pp. 1-12.
- 엠앤티매거진, “기업탐방-센트럴이 세운 이정표, “국산화 기반은 사업의 영속성”“, 주식회사 큐리어스, 2010.7.1.
- 이공래·심상완 (2000), “메카트로닉스산업의 새로운 기술혁신 패러다임: PC 융합”, 『정책연구 99-39』, 과학기술정책연구원.
- 이근·곽원식·김민정·김성희·김윤지·김지은·김형균·노지현·박원명·박창규·손은희·이혜진·정무섭·정성창·주시형·최준연·한나라·황지수 (2008), 『기업간 추격의 경제학』, 서울: 21세기북스.
- 이근·박태영·강승원·기지훈·김재우·김지나·박동현·신동오·유형세·이결희·이수정·임동진·최문성 (2014), 『산업의 추격, 추월, 추락』, 서울: 21세기북스.
- 이승규·박태훈·김경태 (2008), “제품 아키텍처의 진화와 경쟁전략: 한·중 상용차 산업을 중심으로” 한국경영과학회 2008 추계학술대회.
- 임채성 (2001), “기술축적과정에서의 사용자-생산자 관계: 우리나라 기계제어컴퓨터 사례”, 『기술혁신연구』, 제9권 제1호, pp. 149-165.
- 임채성 (2006), “왜 추격은 어려운가?-한국 기계제어 컴퓨터 사례”, 『경영연구』, 제21권 제4호, pp. 61-96.
- 전자신문, “컴퓨터 파노라마 시리즈(20)-마이크로프로세서 혁명과 마이크로 컴퓨터”, 1996.5.16.
- 정보통신부, 『모듈화 R&D 범부처 확산 추진현황 및 향후계획(안)』, 2007.11.29.
- 큐리어스, 『2011년 3분기 보고서』, 2011.11.14.
- 통상산업부 (1995), 『수치제어장치 평면연삭기 및 수치제어장치 장치 개발』, 통상산업부.
- 한국산업기술진흥원 (2011), 『수치제어장치 컨트롤러 국산화 및 상용화 전략 연구』, 한국산업기술진흥원.
- 한미경 (2006), “자동차산업의 제품아키텍처와 제품개발 패턴”, 『전략경영연구』, 제9권 제1호, pp. 77-99.
- 홍운선·이재호·이요한 (2009), “모듈화 동향과 중소기업의 대응방안 모색”, 『기본연구 09-19』, 중소기업연구원.
- FA저널, “한국 넘어 글로벌 수치제어장치 기술 명가를 꿈꾸다!”, 2012.4.24.

(2) 국외문헌

- Abernathy, W. J. (1978), *The Productivity Dilemma: Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*, Baltimore, MD.: The Johns Hopkins University Press.
- ARC Advisory Group (2008), *Computer Numerical Controls Worldwide Outlook 2008*, MA.: Dedham.

- Baldwin, C. Y. and K. B. Clark (1997), “Managing in the Age of Modularity”, *Harvard Business Review*, Vol. 75, No. 5, pp. 84-93.
- Bell, M. and P. N. Figueiredo (2012), “Building Innovative Capabilities in Latecomer Emerging Market Firms: Some Key Issues”, In: Cantwell, J., Ed Amann, (Eds.), *Innovative Firms in Emerging Market Countries*, Oxford: Oxford University Press.
- Bennet, C. J. (1991), “How states utilize foreign evidence”, *Journal of Public Policy*, Vol. 11, No. 1, pp. 31-54.
- Campagnolo, D. and A. Camuffo (2010), “The Concept of Modularity in Management Studies: A Literature Review”, *International Journal of Management Reviews*, Vol. 12, No. 3, pp. 259-283.
- Chesbrough, H. W. and K. Kusunoki (2001), “The Modularity Trap: Innovation, Technological Phase Shifts and the Resulting Limits of Virtual Organization”, In: Nonaka, I. and D. Teece (Eds.), *Managing Industrial Knowledge*, London: Sage Press.
- Chuma, H. (2001), “Sources of Machine-tool Industry Leadership in the 1990s: Overlooked Intrafirm Factors”, *Economic Growth Center Discussion Paper*, No. 837, Yale University.
- Duray, R., P. T. Ward, G. W. Milligan and W. L. Berry (2000), “Approaches to Mass Customization: Configurations and Empirical Validation”, *Journal of Operations Management*, Vol. 18, No. 6, pp. 605-625.
- Eisenhardt, K. (1989), “Building Theories from Case Study Research”, *Academy of Management Review*, Vol. 14, No. 4, pp. 532-550.
- Eisenhardt, K. and M. Graebner (2007), “Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges”, *Academy of Management Journal*, Vol. 50, No. 1, pp. 25-32
- FANUC, *Annual Report 2015, Year ended March 31*, 2015.
- Fixson, S. K. (2005), “Product Architecture Assessment: A Tool to Link Product, Process, and Supply Chain Design Decisions”, *Journal of Operations Management*, Vol. 23, No. 3, pp. 345-369.
- Fixson, S. K. and J-K. Park (2008), “The Power of Integrality: Linkages between Product Architecture, Innovation, and Industry Structure”, *Research Policy*, Vol. 37, No. 8, pp. 1296-1316.
- Gardner Research (2015), *2015 World Machine-Tool Output & Consumption Survey*, Cincinnati, OH: Gardner Business Media, Inc.
- Glaser, B. G. and A. L. Strauss (1967), *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*, New York: Aldine De Gruyter.
- Harrigan, K. R. (1985), *Joint Ventures, Alliances, and Corporate Strategy*, Washington, DC.:

Beard Books.

- Helfat, C. E. and S. G. Winter (2011), “Untangling Dynamic and Operational Capabilities: Strategy for the (N) Ever-changing World”, *Strategic Management Journal*, Vol. 32, No. 11, pp. 1243-1250.
- Henderson, R. and K. B. Clark (1990), “Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms”, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 1, pp. 9-30.
- Hobday, M. (1995), “East Asian Latecomer Firms: Learning the Technology of Electronics”, *World Development*, Vol. 23, No. 7, pp. 1171-1193.
- Hobday, M. (1998), “Latecomer Catch-up Strategies in Electronics: Samsung of Korea and ACER of Taiwan”, *Asia Pacific Business Review*, Vol. 4, No. 2-3, pp. 48-83.
- Itohisa, M. (2010), “Fanuc’s Competitive Advantage and the Revolt of Machine Tool Builders: A Look at Fanuc’s User and Its User’s Customer Relationships from a Historical Perspective (1950s - 1980s)”, *MMRC Discussion Paper Series*, No. 334, University of Tokyo.
- Kemper, E., S. Stringfield and C. Teddlie (2003), “Mixed Methods Sampling Strategies in Social Science Research”, In: Tashakkori, A. and Teddlie, C. (Eds.), *Handbook of Mixed Methods in Social and Behavioural Research*, CA: Sage, Thousand Oaks.
- Kim, L. (1980), “Stages of Development of Industrial Technology in a Less Developed Country: A Model”, *Research Policy*, Vol. 9, No. 3, pp. 254-277.
- Kim, L. (1997), *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea’s Technological Learning*, Boston: Harvard Business School Press.
- Kim, Y.-Z. and K. Lee (2008), “Sectoral Innovation System and a Technological Catch-up: The Case of the Capital Goods Industry in Korea”, *Global Economic Review*, Vol. 37, No. 2, pp. 135-155.
- Kodama, M. and T. Shibata (2014), “Strategy Transformation through Strategic Innovation Capability: A Case Study of Fanuc”, *R&D Management*, Vol. 44, No. 1, pp. 75-103.
- Lee, J., Z. Bae and D. Choi (1988), “Technology Development Processes: A Model for a Developing Country with a Global Perspective”, *R&D Management*, Vol. 18, No. 3, pp. 235-250.
- Lee, K. R. (1996), “The Role of User Firms in the Innovation of Machine Tools: The Japanese Case”, *Research Policy*, Vol. 25, No. 4, pp. 491-507.
- Lee, K. and C. Lim (2001), “Technological Regimes, Catching-up and Leapfrogging: Findings from the Korean Industries”, *Research Policy*, Vol. 30, No. 3, pp. 459-483.

- Lee, K. and M. Malerba (2014), “Changes in Industry Leadership and Catch-up by the Latecomers: Toward a Theory of Catch-up Cycles”, Working paper.
- Lim, C. (2007), “Catch-up Failure in Core IT Components: The Case of Numerical Controllers”, *Asian Journal of Technology Innovation*, Vol. 15, No. 2, pp. 101-124.
- Martin, M. V. and K. Ishii (2002), “Design for Variety: Developing Standardized and Modularized Product Platform Architectures”, *Research in Engineering Design*, Vol. 13, No. 4, pp. 213-235.
- Mazzoleni, R. (1997), “Learning and Path-dependence in the Diffusion of Innovations: Comparative Evidence on Numerically Controlled Machine Tools”, *Research Policy*, Vol. 26, No. 4, pp. 405-428.
- Miles, M. B. and A. M. Huberman (1994), *Qualitative Data Analysis*, CA.: Sage, Thousand Oaks.
- Mintzberg, H. (1978), “Patterns in Strategy Formation”, *Management Science*, Vol. 24, No. 9, pp. 934-948.
- Park, T.-Y. (2012), “How a Latecomer Succeeded in a Complex Product System Industry: Three Case Studies in the Korean Telecommunication Systems”, *Industrial and Corporate Change*, Vol. 22, No. 2, pp. 363-396.
- Pil, F. K. and S. K. Cohen (2006), “Modularity: Implications for Imitation, Innovation, and Sustained Advantage”, *Academy of Management Review*, Vol. 31, No. 4, pp. 995-1011.
- Salvador, F., C. Forza and M. Rungtusanatham (2002), “Modularity, Product Variety, Production Volume, and Component Sourcing: Theorizing beyond Generic Prescriptions”, *Journal of Operations Management*, Vol. 20, No. 5, pp. 549-575.
- Sanchez, R., and J. T. Mahoney (1996), “Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design”, *Strategic Management Journal*, Vol. 17, No. S2, pp. 63-76.
- Shibata, T. and M. Kodama (2008), “Managing Technological Transition from Old to New Technology: Case of Fanuc’s Successful Transition”, *Business Strategy Series*, Vol. 9, No. 4, pp. 157-162.
- Shibata, T., M. Yano and F. Kodama (2005), “Empirical Analysis of Evolution of Product Architecture”, *Research Policy*, Vol. 34, No. 1, pp. 13-31.
- Shibata, T. (2016), “Growth Trajectory of a Firm: A Case of Fanuc from Venture within Fujitsu to a Leading Company of Factory Automation”, *Data Science and Service Research Discussion Paper*, No. 52, Tohoku University.
- Sosa, M. E., S. D. Eppinger and C. M. Rowles (2003), “Identifying Modular and Integrative

- Systems and Their Impact on Design Team Interactions”, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 125, No. 2, pp. 240–252.
- Sosa, M. E., S. D. Eppinger and C. M. Rowles (2004), “The Misalignment of Product Architecture and Organizational Structure in Complex Product Development”, *Management Science*, Vol. 50, No. 12, pp. 1674–1689.
- Tylecote, A. and F. Visintin (2008), *Corporate Governance, Finance and the Technological Advantage of Nations*, London: Routledge.
- Tu, Q., M. A. Vonderembse, T. S. Ragu-Nathan and B. Ragu-Nathan (2004), “Measuring Modularity-based Manufacturing Practices and Their Impact on Mass Customization Capability: A Customerdriven Perspective”, *Decision Sciences*, Vol. 35, No. 2, pp. 147–168.
- Tushman, M. L. and L. Rosenkopf (1992), “Organizational Determinants of Technological Change: Toward a Sociology of Technological Evolution”, *Research in Organizational Behavior*, Vol. 14, pp. 311–347
- Ulrich, K. (1995), “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm”, *Research Policy*, Vol. 24, No. 3, pp. 419–440.
- Ulrich, K. and S. D. Eppinger (2000), *Product Design and Development (2nd ed.)*, Boston, MA.: Irwin/McGraw-Hill.
- Wikipedia, “인텔 마이크로프로세서 목록” (2016년 3월 15일 접속).
- Worren, N., K. Moore and P. Cardona (2002), “Modularity, Strategic Flexibility, and Firm Performance: A Study of the Home Appliance Industry”, *Strategic Management Journal*, Vol. 23, No. 12, 1123–1140.
- Yin, R. K. (2003), *Case Study Research: Design and Methods*, CA.: Sage, Thousand Oaks.
- 姜英美 (2008), “NC시스템における製品アーキテクチャの特性とその進化のパターン”, 『年次學術大會講演要旨集』, 23, pp. 301–306, JAIST Repository.
- 青島矢一・竹石彰 (2001), “アキテクチャという考え方”, 藤本隆宏・武石彰・青島矢一 (2001), 『ビジネスアーキテクチャ』, 有斐閣.

□ 투고일: 2015. 12. 10 / 수정일: 2016. 03. 17 / 게재확정일: 2016. 04. 04