

## 미국의 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램 비교 분석: 기술시스템의 관점에서\*

성태경\*\*

### 〈 목 차 〉

1. 서론
2. 분석모형: 기술시스템
3. 미국의 SEMATECH
4. 한국의 VLSI 프로그램
5. 미국과 한국의 접근방법 평가
6. 요약 및 정책시사점

**Summary:** Technological systems are defined as network(s) consisting of technological infrastructure, industrial organization, and institutional infrastructure. This paper reviews SEMATECH in the U.S. and VLSI Program in Korea as a technological system for semiconductor, which is an advanced technology. Several issues are addressed: how did they get started?; how have they been evolved?; how have the actors and institutions within the system interacted?; what role has the government played in that process? Both systems were created by their government, respectively, and they have been evaluated as successful. However, while SEMATECH became complete enough in terms of technological infrastructure, industrial organization, and institutional infrastructure to generate sufficient increasing returns to develop in a self-reinforcing way, a series of VLSI program in Korea is still operated discontinuously under the government subsidy. SEMATECH is more flexible and stable than Korea's VLSI program in that the system has a centralized structure and has been managed and staffed by industry substantially. In addition, both cases show that a technological system may evolve having connections with foreign technological

\* 이 논문은 1999년도 한국학술진흥재단의 대학교수 해외파견 연구지원에 의해서 연구되었음 (KRF-1999-013-000490). 유익한 논평을 주신 익명의 두 심사자들에게 감사드린다.

\*\* 전주대학교 경영학부 교수(e-mail: sungtk@www.jeonju.ac.kr)

systems and local sub-systems beyond nations, regions and industries. Many other similarities, contrasts, and insights for technological policy from each country's experiences are presented.

## 1. 서론

1970년대 후반 일본의 고집적회로 (VLSI) 프로젝트 이후, 선진국들은 첨단기술분야에서 정부 주도로 국가프로젝트를 활발히 추진해 오고 있다. 이 중에서 가장 대표적인 사례가 1987년 착수된 미국의 SEMATECH (SEmiconductor MANufacturing TECHnology)이다. 이는 기업간 기술협력체제로, 미국이 추진한 여러 첨단기술분야에 대한 기술개발지원제도 중에서 가장 성공적인 사례로 평가받고 있다. 즉 이 프로그램은 미국 반도체제조 및 장비산업의 경쟁력을 강화시켰을 뿐만 아니라 미국 기업들 사이의 유대관계를 공고히 했다는 평가를 받고 있다 (Grindley *et al.*, 1994; 김택권·문정인, 1995). SEMATECH의 성과가 나타나는 1990년 이래로 미국의 시장점유율이 증가하기 시작하여 1993년에는 43.7%로, 일본의 40.4%를 상회한 것으로 보고되고 있다. 반도체장비의 시장점유율도 1991년부터 과거 20년간의 하락세를 벗어나 증가세로 반전되어, 1993년에는 미국과 일본이 각각 54%와 38%를 기록하였다 (Grindley *et al.*, 1996, pp. 186-194).

이미 1960년대부터 반도체 조립을 시작한 한국에서도 1983년 삼성그룹의 반도체에 대한 대규모 투자 이후, 1986년에 정부의 주도로 4M DRAM의 개발을 위한 VLSI 프로그램이 착수되었다. 이어서 16M 및 64M DRAM의 개발을 위한 VLSI 프로그램이 추진되었고, 1990년대 초반부터는 차세대반도체개발사업, 주문형반도체개발사업, 시스템 2001사업, 정보통신핵심부품개발사업 등 기술개발을 위한 공동노력이 진행되어 오고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 집단적 노력의 결과로, 한국의 반도체기업들도 세계시장에서 주도기업이 되었다. 삼성전자의 경우 1993년 세계 DRAM시장에서 14%의 점유율을 기록한 이래로 지금까지 선두를 지키고 있다 (Chang, 1999).

본 연구의 목적은 거의 비슷한 시점에서 착수된 미국의 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램이 성공적인 산업성과 (industrial performance)의 주요 요인이라는 관점에서 양 공

---

1) 본 연구에서 VLSI 프로그램이라 함은 4M DRAM의 개발을 위한 계획을 비롯하여 16M/64M DRAM, 차세대반도체 기술개발을 포함한다. 그러나 논문에서는 SEMATECH와 비슷한 시기에 창출된 4M DRAM개발을 위한 프로그램을 중심으로 분석하되, 여기서 축적된 협력경험 및 공식적 및 비공식적 네트워크가 일련의 반도체개발 프로그램으로 이어진다고 전제한다.

공동연구체제를 비교 평가함으로써 향후 정책시사점을 모색하는 것이다. 이들은 대표적인 공동연구 (collaborative research) 프로그램으로서, 그간 이에 대한 많은 이론적 및 실증적 연구들이 축적되어 왔다.<sup>2)</sup> 그러나 기존의 연구들은 공동연구가 주는 비용분담, 위험분산, 중복투자의 회피, 그리고 R&D 과정에서의 규모의 경제 등에 초점을 맞춘 반면에, 본 연구에서는 기술혁신에 대한 시스템 접근방법을 활용하여 분석하고자 한다. 즉 본 연구에서는 미국의 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램을 반도체라는 특정한 기술분야에서의 하나의 시스템으로 보고, 그 시스템의 창출 및 진화, 시스템 구성요소간의 네트워크, 그리고 활동주체 및 기관간의 상호작용 등을 비교 분석하고자 한다. 물론 국내에서도 이러한 노력이 전혀 없었던 것은 아니다.

송위진 (1995), 황혜란·신태영 (1999) 등에서는 국가혁신체제 (national innovation system)의 하위시스템으로서 산업별 혹은 부문별 기술혁신시스템 (sectoral innovation system)이라는 개념을 사용하여 반도체산업의 기술혁신시스템을 분석한 바 있다.<sup>3)</sup> 그러나 본 연구에서는 Carlsson and Stankiewicz (1991)의 기술시스템 (technological systems) 접근방법을 선정하고, 이를 변형하여 활용하고자 한다. 기술시스템은 국가혁신체제 (Freeman, 1987; Lundvall, 1988; Nelson; 1988), 산업별혁신체제 (Breschi and Malerba, 1995), 지역혁신체제 (Saxenian, 1994; Cooke, Uranga, and Etxebarria, 1997), Porter의 다이아몬드 (Porter, 1990; 1998) 등 다른 시스템 접근방법들<sup>4)</sup>과는 달리 특정기술의 관점에서 혁신 시스템을 분석한다.<sup>5)</sup>

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 제2절에서는 사례분석을 위한 모형으로서 Carlsson

2) 공동연구에 관한 대표적인 이론적 연구로는 Bozeman *et al.* (1986), Mowery and Rosenberg (1989), Katz and Ordover (1990) 등을 들 수 있다. 미국 SEMATECH에 관한 연구로는 Grindley *et al.* (1994) 등이 대표적이며, 한국 반도체산업의 기술개발에 관한 기존의 연구 중 VLSI 프로그램을 다루는 연구들로는 Byun and Ahn (1989), 배용호 (1995), 홍성범 (1995), Kim (1997), 조현대 (2000) 등이 있다.

3) 반도체 제품은 크게 메모리분야와 특정용도반도체 (ASIC)로 나누어지는데, 이 연구들은 두 개의 상이한 분야의 기술패러다임이 다르다는 관점에서 각각 메모리제품과 ASIC제품의 기술혁신체제를 다루고 있다. 본 연구에서는 VLSI 프로그램이 분석대상이므로 메모리분야에 대해서 주로 다루게 된다. 그러나 메모리기술을 중심으로 하여 창출된 기술시스템 혹은 기업 및 기관간의 협력경험이 ASIC분야와 관련된 프로그램으로도 이어져 진화 발전된다고 본다.

4) 시스템 접근방법은 선형적인 기술이전모델이 아닌 연속적인 상호작용을 강조하는 진화론적 접근방법 (evolutionary approach)에 근거하고 있다. 상호작용모델은 기술을 쉽게 이전될 수 있는 단순한 정보로 보는 것이 아니라, 사용자 특수적인 묵시적 지식 (tacit knowledge)으로 보기 때문에 시장기능보다는 시장외적 기능을 강조한다. 시스템 접근방법들에 대해서는 Edquist (1997)와 Carlsson (1997) 참조.

5) 물론 기술시스템도 기본적으로는 국가혁신체제와 궤를 같이 하는 개념이지만, 그 연구범위나 초점에 차이가 있다. 첫째, 국가혁신시스템은 국가라는 지역적인 범위를 강조하나, 기술시스템에서는 기술과 관련된 것이라면 그 범위가 범세계적일 수 있고, 둘째 기술시스템은 기술군집 혹은 특정기술에 초점을 맞추기 때문에 한 국가 내에서도 다양한 성격의 기술시스템들이 존재한다고 보며, 셋째 기술이 산업성장에 기여하기 위해서는 기술의 존재 자체보다는 기술의 활용여부가 중요하므로 기술정보의 유통에 더 관심을 기울인다.

and Stankiewicz의 기술시스템의 개념을 발전시키고, 이를 첨단기술인 반도체기술에 적용한다. 제3절과 4절에서는 분석모형을 토대로 미국의 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램을 각각 분석한다. 제5절에서는 각 시스템의 유사점과 상이점을 토의함으로써 향후 반도체를 포함한 첨단기술분야에 대한 정책방향을 제시하고자 하였다.

## 2. 분석모형: 기술시스템

### 2.1 기술시스템의 구성요소

Carlsson and Stankiewicz (1991)에 의하면 기술시스템은 “기술의 창출 및 확산을 위해 특정한 제도적 하부구조하에서 특정기술분야에서 영향을 주고받는 경제주체들의 네트워크”라고 정의한다. 이들이 제안한 기술시스템은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 기술하부구조 (Technological Infrastructure; TI), 산업조직 (Industrial Organization; IO), 제도적 하부구조 (Institutional Infrastructure; II) 등 세 가지 요소로 구성해 볼 수 있다.<sup>6)</sup> 이 중에서 TI가 시스템의 핵심 구성요소이므로 이를 먼저 규정하고자 한다.

#### 2.1.1 기술하부구조 (TI)

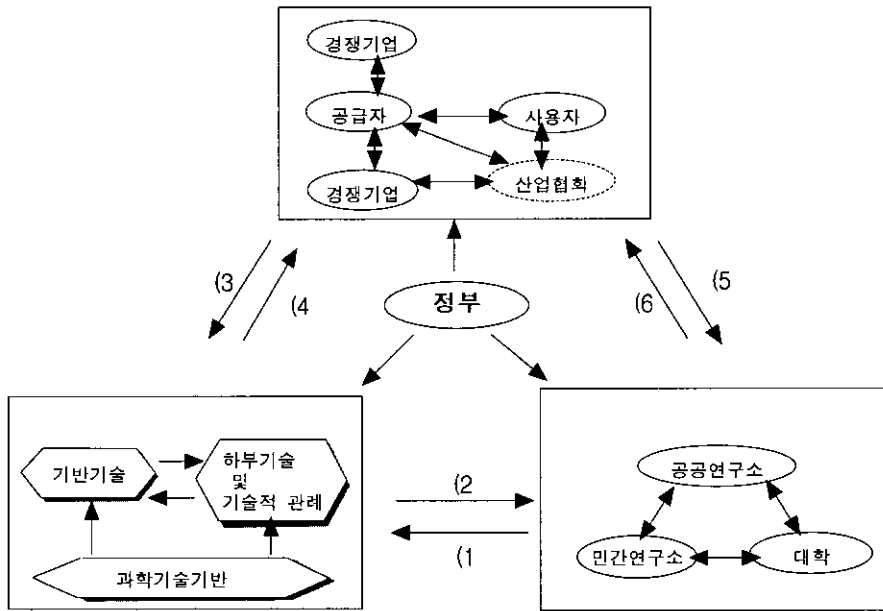
TI는 기술적 기회를 규정하고 창출할 수 있는 집단적 기술능력 (technological capabilities)의 집합이다. 이러한 기술능력의 결과는 지식 (knowledge)이므로 TI는 과학 및 기술적 지식의 집합으로 정의될 수 있다 (Tassey, 1991). TI는 공공재로서<sup>7)</sup> 여러 기업에 의해서 다양하게 사용되는 것을 목적으로 하며, 단순히 개별혁신이나 기업특수적인 프로젝트를 직접적으로 유발하기 위한 것이 아니다. 그것은 시스템 내의 기업 혹은 다른 활동주체를 포함하는 다양한 제도적 메커니즘 속에 체화된 지식을 포함하므로 기업기반적 지식 (firm-based knowledge)들을 합한 것 이상을 의미한다.

Granberg (1995)가 제시한 바와 같이, TI는 기반기술 (generic technologies), 기능적 기술 (functionally-oriented technologies), 그리고 기술적 관례 (technical routines)로 구성

---

6) 이러한 구성요소는 Carlsson의 기술시스템 구성요소와는 차이가 있다. Carlsson은 기술 시스템의 구성요소로서 경제적 능력 (economic competence), 네트워크들, 제도 등 세 가지를 들고 있다. 그러나 Carlsson 교수는 본 연구자와 다른 공동논문을 집필하는 과정에서 자신의 모형을 본 연구에서와 같이 변형하여 사용할 수도 있다는 점을 확인해 주었다.

7) Nelson (1992), Romer (1993) 등도 지식에 기반을 둔 기술관련 공공재 (technology-related public goods)는 기초 연구를 넘어서서 산업현장에서 활용 가능한 광범위한 개념이라는 점을 지적한 바 있다.



○ : 하부구조 또는 조직      □ : 활동주체 혹은 기관  
 ● : 지식 혹은 기술          → : 하부구조, 활동주체, 그리고 기관간의 상호작용 혹은 정보의 흐름

〈그림 1〉 기술시스템

되어진다. 기반기술이란 동일한 기술분야에 있는 모든 기업이 활용할 수 있는 기술을 말한다. 기능적 기술이란 측정, 검사, 감지 등과 같이 특정기능을 수행하는데 활용되어지는 기술의 집합이다. 기능적 기술은 Tassely (1991)의 하부기술 (infratechnologies) 혹은 Porter (1990)의 기능적 연관기술 (functionally-related technologies)과 유사한 개념이다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 TI는 제도적 하부구조와 산업조직에 영향을 줄뿐만 아니라 (관계 2와 4) 그들에게서 영향을 받는다 (관계 1과 3). 예를 들어 측정이나 시험검사방법과 같은 기능적 기술은 정부출연연구소, 대학, 산업컨소시엄, 산업군집 등에 체화되어 있다. 반대로 시스템 내의 기업 혹은 다른 활동주체들은 TI를 활용한다.

Justman and Teubal (1996)에 따르면, TI는 크게 기본기술하부구조 (Basic Technological Infrastructure; BTI)와 첨단기술하부구조 (Advanced Technological Infrastructure; ATI)로 구분되는데, 양자의 기본적인 차이는 지식의 획득가능성 (obtainability)에 있다. 즉 기술능력이 이미 존재하여 외부로부터 획득가능한지, 아니면 창출되어야만 하는지 여부에 있다. 예를 들어 일본의 VLSI 프로젝트가 착수될 당시에 개발대상이 되는 기술을 이미 IBM이 가지고 있었으나, 어떤 일본기업도 그 기술에 접근할 수 없었기 때문에 일본기업 스스

로 개발할 수밖에 없었다는 점에서, 이 프로젝트는 ATI의 구축노력으로 볼 수 있다. 이는 정부의 역할에 대해서도 차이를 가져온다. BTI의 경우에 정부는 기술을 수입하려는 민간기업의 노력을 보완하는 중개역할을 하나, ATI의 구축 시에는 새로운 기술을 창출하려는 민간의 노력을 촉진하는 장려자의 역할을 수행한다. 요컨대 ATI는 단순히 과학지식의 확산을 넘어 엔지니어링 능력의 발전을 포함하는 개념으로 국내외를 막론하고 과학적인 연구결과가 산업현장에 활용되도록 하는 도구가 된다.<sup>8)</sup> 이러한 ATI 구축을 위한 기술시스템이 바로 본 연구의 과제가 된다.

### 2.1.2 산업조직

산업조직 (IO)은 제품 혹은 서비스의 공급자와 사용자가 상호 작용하는 네트워크이다. 전통적인 산업조직이론에 의하면, 잘 정의된 시장에서 동질적인 제품을 생산하는 기업들로 구성된 하나의 산업이 분석단위가 된다. 그러나 기술시스템의 구성요소로서의 산업조직은 이 보다는 더 광의의 개념이며 복잡하다. 그것은 다음 세 가지 네트워크 요소 측면에서 시장 및 시장외적인 상호작용을 포함한다. 첫째는 투입산출의 관계 (input-output relationships)이다. 이는 기술혁신활동에 있어서 생산자-사용자 관계 (Lundvall, 1985; 1988), 수직적으로 통합된 부문 (Pasinetti, 1981), 지원산업과의 연계 (Porter, 1990) 등을 말한다. 둘째는 지역적인 측면으로, 한 지역 내에 위치하는 산업단지 (industrial districts) 혹은 산업군집 (industrial clusters)을 포함한다. 이들은 국가 혹은 범세계적인 체제와 연결될 수도 있다. 셋째는 경쟁과 협력이 모두 필요하기는 하나 경쟁보다는 협력이 강조되는 측면이다. 기술 및 과학의 융합화 추세로 인하여 협력의 중요성은 더욱 커가고 있다. 따라서 기술시스템 내의 산업조직은 협회나 일시적 컨소시엄 등 생산자간의 협력관계를 포함한다. 산업조직 내의 기업들은 산업협회와 같은 공식적인 네트워크뿐만 아니라 전문적인 회의, 책자발간 등과 같은 비공식적인 네트워크에 의해서도 기술적인 지식을 모으고 분배한다.

### 2.1.3 제도적 하부구조

한 기술시스템 내에서 제도적 하부구조 (II)란 기술창출과 확산의 과정을 지원하고 통제하는 제도적인 조정의 집합을 말한다. 우리는 두 종류의 제도적 하부구조를 생각할 수 있다. 하나는 기술특수적인 것이고, 다른 하나는 일반적 환경으로서의 제도적 하부구조이다. 기술특수적 제도적 하부구조는 교육기관, 공공 혹은 민간연구소, 그리고 각종 기술센터를 포함한다. 교육기관, 특히 기술관련 대학들은 교육훈련과 연구라는 두 가지의 기능을 동시에 수행한다.

---

8) BTI와 ATI의 차이점에 대한 자세한 논의는 성태경 (1999)을 참조.

특히 산업계와 대학의 R&D 협력체제는 대학의 전문지식을 산업현장으로 이전시키는 역할을 한다 (관계 5와 6). <그림 1>에는 표시되지 않았지만, 일반적 제도적 하부구조는 기술혁신과정에 내재하는 불확실성과 위험을 낮추어주는 금융시스템과 특허제도를 포함한다. 정치 시스템이나 가치체계도 기술의 창출과 확산에 간접적으로 영향을 미치므로 제도적 하부구조를 형성하는 요소로 볼 수 있다.

재정정책, 정부구매정책, 보조금 등 정부정책은 제도적 하부구조의 직접적인 구성요소가 아니다. 정부는 기술시스템들을 창출하고, 조직하며, 강화시키는 활동주체가 될 수 있다. 따라서 정부는 <그림 1>에 표시한 바와 같이 기술시스템의 또 하나의 구성요소로 취급할 수 있다.

## 2.2 기술시스템의 동태적 측면

어떤 한 기술시스템은 식물이 성장하는 것처럼 시간이 지남에 따라 진화한다. 이러한 동태적인 과정은 시스템 내에 있는 하부구조들 혹은 활동주체들간의 상호작용으로부터 연유한다. Dahmen (1989)에 따르면, 시스템 내의 일련의 구조적 긴장이 발전의 잠재성을 창출한다. 이러한 발전의 잠재성 혹은 시장의 잠재성이 모두 소진될 때, 진화의 동태적인 힘이 사라진다. 이러한 관점에서 기술시스템의 진화과정은 시간의 선상에서 추적될 수 있다. 먼저 기술시스템의 진화과정을 착수하게 하는 누구 혹은 무엇인가가 있어야 하는데, 기업가, 정부, 또는 활동주체간의 집약적인 상호관계<sup>9)</sup>가 이러한 역할을 수행한다.

한 기술시스템이 진화됨에 따라서, 시스템 내에서 다음의 몇몇 기능들이 수행되어야 한다. 우선 새로운 기술을 활용하려는 시도를 촉진하는 노력이 착수되어야 한다. 새로운 유형의 경제적 혹은 기술적 능력이 생성되어야 하며, 이들이 사용자들과 공급자들 사이에서 확산되어야 한다. 뿐만 아니라 다양한 유형의 기관들과 활동주체가 시스템 내부로 들어오게 되며, 이들간의 연계기능이 수행되어야 한다. 이러한 기능을 수행하는 기관을 연계기관 (bridging institution)이라고 부른다. 연계기관의 역할은 기술적 지식을 확산시킬 뿐만 아니라 한 기술시스템 내의 다른 구성요소의 약점과 기술능력의 부족을 보상해 주는 것이다. 또한 혁신활동의 결과로서의 기술적 지식을 축적하고 통합함으로써, 그렇지 못할 경우 기업특수적 기술에 그칠 가능성이 있는 기술을 다른 모든 기업들이 활용할 수 있는 기술이 되게 도

9) 이를 임계모체 (critical mass)라 부르거나 한다. 이는 혁신활동이 일어나기 위해서는 경제활동주체간 어떤 최소수준의 상호작용의 밀도 혹은 빈도가 필요하다는 생각에 바탕을 둔 개념이다. Shapiro and Varian (1999, pp. 13-15)도 네트워크의 외부성을 활용하는 정보기술 분야에서 일정수준 이상의 사용자수가 요구된다는 측면에서 임계모체의 중요성을 강조한다.

와준다. 이러한 일련의 과정을 거쳐 기술시스템이 어떤 시점에 도달하게 되면, 그 기술시스템은 기술하부구조, 산업조직, 그리고 제도적 하부구조 측면에서 성숙하게 되어 자체적으로 수익체증 (increasing returns)을 실현하는 하나의 네트워크가 된다.

### 2.3 반도체의 기술시스템

한 기술시스템은 기술에 의해서 정의되므로 한 국가 내에는 여러 가지 기술시스템들이 존재하며,<sup>10)</sup> 반도체 기술시스템은 그들 중의 하나가 된다. 반도체기술은 웨이퍼제조기술, 설계기술, 웨이퍼가공기술, 조립기술, 검사기술 등으로 구성된다.<sup>11)</sup> 웨이퍼는 얇게 잘려진 실리콘 결정으로, 반도체소자 제조공정에서 한 쪽 면이 거울처럼 광택을 낸 후 가공단계에 이르게 된다. 집적회로 (IC)는 산업용에서 가전제품에 이르기까지 용도가 다양하므로, 용도에 따라 집적회로로서 기능을 발휘할 수 있도록 하는 디바이스를 제작하기 위한 IC설계도가 필요하다. 이때 전자회로기술 및 CAD기술이 이용된다. IC설계도에 따른 전자회로가 실리콘웨이퍼 위에 형성되기 위해서는 마스크원판과 실리콘기판이 제작되어야 한다. 웨이퍼가공의 최종단계는 절연체와 금속성 물질의 필름을 웨이퍼 위에 증착시켜 웨이퍼에 형성된 내부회로를 외부와 전기적으로 연결하는 것으로, 웨이퍼 위에 현상된 회로설계에 대한 시험검사로 마무리된다. 집적도가 높을수록 회로선폭이 작아지기 때문에 고도의 전자계측 및 회로기술이 요구된다. 가공단계를 거친 4~8인치 크기의 웨이퍼 상에는 반도체 칩이 무수히 형성되어 있는데, 이것을 레이저빔이나 다이아몬드 날로 잘라 조립공장에서 개별 칩으로 절단·분리, 불량품을 제거하고 세라믹이나 플라스틱 상자로 밀폐하여 칩의 회로를 보호한 다음, 칩의 회로기판을 부착시켜 칩과 외부연결을 위한 접점을 용접한다. 최종적으로 완제품의 성능에 대한 검사를 실시하는 것으로 IC의 생산공정은 완료된다.

이와 같은 기술에 의해 반도체를 생산하는 제조기업들은 반도체 제조장비기업과 반도체 재료기업들에게는 사용자가 되며,<sup>12)</sup> 가정용 전자, 컴퓨터, 통신장비, 자동차, 로봇, 공작기계, 첨단군사장비, 우주선장비 등에 대해서는 공급자가 된다. 반도체의 활용분야가 다양하기 때

---

10) 한 국가 내에서 어떤 기술분야의 기술시스템은 강한 반면에 다른 기술분야의 기술시스템은 취약할 수 있다. 예를 들어 일본의 경우 기계분야의 기술시스템들은 강하지만, 화학 및 의약분야의 기술시스템들은 약한 것으로 평가되고 있다 (Imai and Yamazaki, 1992).

11) 이 부분은 메모리 기술에 관한 것으로 송위진 (1995)과 배용호 (1995)를 참조하였음.  
한편 ASIC은 IC기술의 시스템화 (예: 시스템 IC와 SOC; System-on-a-Chip)라고 할 수 있다. 그러나 ASIC기술도 역시 설계 및 디자인 등 반도체에 공통되는 기반기술을 필요로 한다. ASIC에 대한 자세한 설명은 황혜란·신태영 (1999)을 참조.

12) 제조공정이 250여 개 정도이며, 400 종류 이상의 제조장치가 사용된다.



문에 반도체는 '산업의 쌀'로 불리면서 한 나라의 정보화와 산업성장 및 생산성향상에 핵심이 되는 산업이 되었다. 반도체 사업에는 대규모설비투자자와 연구개발투자자가 요구되면서도 제품이 수명주기가 짧아서 높은 위험부담이 수반된다. 이는 기술진보의 속도가 매우 빠르기 때문으로<sup>13)</sup> 성공적 시장진입과 생존을 위해서는 단기의 기술개발능력이 필수적이다. 이러한 산업 및 기술특성으로 반도체산업은 국내외를 막론하고 기술 및 자금력을 보유한 일부 선발 기업들에 의해서 지배되는 독과점적 성격을 가지고 있으며, 경쟁과 협력이 공존하는 현상을 보이고 있다.

반도체 사업의 성공여부는 시장상황의 변화에 대응하여 품질, 가격, 그리고 속도 면에서 경쟁력을 획득 혹은 유지하느냐에 달려 있으며, 이 세 가지 경쟁요소는 모두 반도체의 기술하부구조에 의해서 영향을 받는다. 먼저 소재의 특성에 대한 정확한 지식을 통해서 소재를 이해하고 관리할 수 있는 능력이 새로운 반도체의 창출을 위해서는 필수적이다. 소재기술은 반도체에 있어서는 기반기술로써 반도체 기업들은 이러한 소재들에 대한 기초적 연구에 자원을 투입하지 않는 경향이 있다 (Tassey, 1996, p. 79). 그 이유로는, 첫째 소재에 대한 연구는 반도체 제품기술보다는 타과학기술로부터 도출되며, 둘째 소재의 특성을 규명하는데는 막대한 비용이 소요되며, 셋째 소재에 대한 정보는 제품에 체화되지 않기 때문에 특허로서 권리화하기 어렵기 때문이다.

반도체 사업이 성공하기 위해서는 기능적인 기술 및 기술적 관례들도 필요하다. 우선 R&D단계에서 R&D의 목표가 달성되는지를 파악하기 위하여 전기적 저항이나 열전도와 같은 제품특성이 정확히 측정되어야 한다. 뿐만 아니라 이러한 측정이 광범위하게 수용되게 하기 위해서 모든 기업이 활용 가능한 표준화된 방법에 의해서 수행되어야 한다. 생산단계에서는 생산성과 품질의 향상을 제고시키기 위하여 반도체 제조의 자동화가 필수적인데, 감지기술 (sensor technology)로부터 데이터처리 및 통신표준에 이르기까지 다양한 기능적 기술들이 뒷받침되어야 한다.<sup>14)</sup>

한편 반도체 기술은 첨단기술이기 때문에 기술개발 및 확산과정에서 제도적 하부구조의 구축이 필수적이다. 수월성을 갖춘 대학과 연구소의 발전이 전제되어야 하며, 특히 생산설비 및 R&D에서 대규모 투자가 소요되고 위험도가 높으므로 이를 뒷받침하기 위한 금융시스템이 형성되어 있어야 한다.

13) 반도체기술의 진보속도는 반도체 칩의 처리능력 (processing power)이 18개월마다 두 배로 증가한다는 '무어의 법칙' (Moore's Law)으로 요약된다 (Economist, Sep. 23, 2000).

14) 웨이퍼 가공이 시작된 후 70여 일이 지나야 완제품이 나오기 때문에 불량품 발생의 원인을 찾아내기 어렵고, 운전기술의 경우에도 고도의 세심함과 정교성이 요구된다 (송위진, 1995).

### 3. 미국의 SEMATECH

#### 3.1 기술시스템으로서의 SEMATECH의 창출과 진화

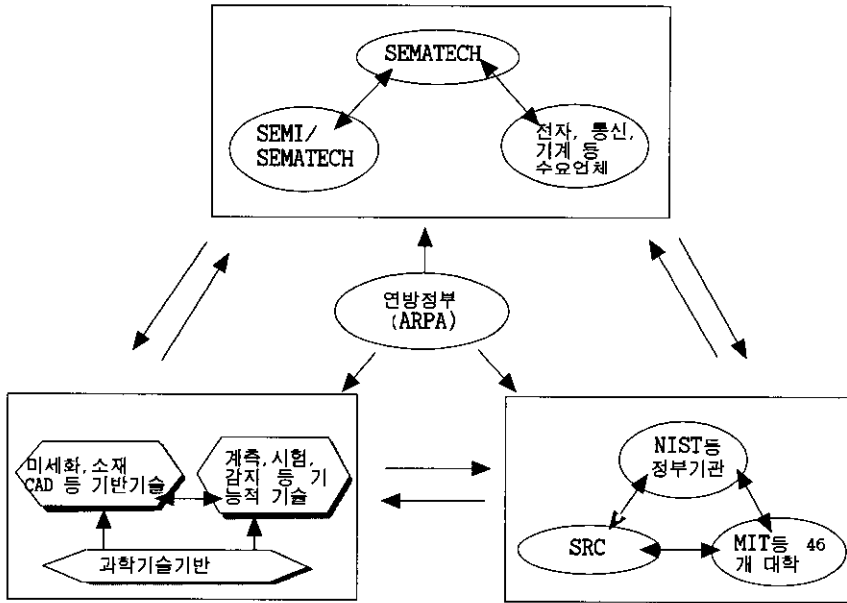
SEMATECH의 기원은 1986년 말로 거슬러 올라간다. 미국은 1947년 트랜지스터 개발 이후, IC와 마이크로프로세서를 개발하는 과정을 거치면서 세계 반도체산업을 주도해 왔다.<sup>15)</sup> 그러나 1980년대 중반 이후 일본의 반도체기업들이 반도체 메모리칩의 세계시장을 선도하게 되자, 미국반도체산업협회(SIA)<sup>16)</sup>의 14개 회원사는 R&D 컨소시엄의 구성을 위한 제안서를 작성하였다. 미국정부도 반도체 분야의 높은 해외의존도가 국방에 미칠 부정적인 영향을 우려하여 국방성 산하의 국방과학위원회로 하여금 정부와 산업계가 공동으로 소유하는 반도체부품 생산설비의 창출을 제안하는 보고서를 작성하도록 하였다. 이 양대 보고서에 의거하여 14개 기업과 정부는 공동으로 1987년부터 1992년까지 6년간 한시적으로 존재하는 SEMATECH를 설립하였다. 정부는 연간 총예산액 2억 달러의 절반을 국방부 산하의 첨단 기술개발처(ARPA)의 출연금으로 지원하였고, 나머지 50%는 참여기업이 출자하였다. 지방 정부로서는 텍사스 주정부가 약간의 출연금을 제공하였다. 하나의 기술시스템으로서의 SEMATECH는 앞에서 설정한 모형에 의해 <그림 2>와 같이 나타낼 수 있다. SEMATECH는 600여명에 달하는 인력으로 구성된 집합체로서 그림과 같은 네트워크를 형성하여 운영하고 있다. 이들 중 300여명은 과학자 및 엔지니어 등 과학기술인력이며, 이들 중 3분의 2는 회원사들로부터 파견된 인력이다.

SEMATECH의 참여기업은 AMD, AT&T, IBM, NCR, LSI로직, 모토롤라, 디지털익셉먼트, 해리스, 휴렛패카드, 인텔, 마이크론테크놀로지, 내셔널세미콘다터, 락웰 인터내셔널, 텍사스인스트루먼트 등 14개로, 반도체뿐만 아니라 컴퓨터 및 통신 분야의 주도기업으로 구성되었다. 이들은 모두 SIA의 회원사라는 점에서 이미 1977년 모토롤라, LSI로직 등 5개사에 의해서 설립된 SIA가 SEMATECH를 배태하고 있었다고 할 수 있겠다. 당시 이 14개 기업들은 미국 반도체 총생산의 80% 이상을 차지하였다. SEMATECH의 설립과 함께, 미국 반도체소재 및 장비(semiconductor materials and equipment; 이하 SME로 표기) 공급자들은 SEMATECH와의 연계를 원활히 하기 위해서 SEMI /SEMATECH를 설립하였다.

---

15) 반도체 기술의 발전과정에 대해서는 배용호 (1995, pp. 129-161) 참조.

16) 이하 기관 및 주요기술용어에 대한 영문표기의 약어(略語)는 논문 말미를 참조.



범례: <그림 1>과 동일

<그림 2> 기술시스템으로서의 SEMATECH

이 조직은 135개 회원사로 구성되었으며,<sup>17)</sup> 11명의 인력이 업무를 전담하고 있다.

SEMATECH의 제도적 하부구조는 반도체연구기업 (SRC)에 의해서 구축되어졌다. 당시 SRC는 31개의 기업, 매사추세츠공대 등 46개 대학, 그리고 국가표준원 (NIST) 등 6개의 정부기관들로 구성된 일종의 연구조직이었다. SEMATECH 참여기업 모두는 SRC의 회원 기업이 되도록 하였고-즉 SRC의 31개 회원기업 중에는 SEMATECH 참여기업 14개 포함-, 1988년에 양 조직은 미국 반도체의 국제경쟁력에 도움이 되는 연구를 수행하는데 협력하며, 이에 관련된 자금의 일체를 SEMATECH가 지원하기로 계약을 맺었다 (SRC, 1988, p. 45). SRC는 기타 반도체관련 대학연구소 및 주의 연구센터와도 네트워크를 구축하였다.

SEMATECH의 당초 목표는 참여기업들의 반도체 제조공정기술능력을 제고시키는 것이었고, 이는 텍사스주 오스틴에 대규모 연구설비를 구축하는 작업으로 이어졌다. 1987년 32주 만에 완공된 연구설비-‘Fab One’이라고 불림-는 이러한 집단적 노력의 긍정적 성과로 평가된 바 있다 (GAO, 1989). 그러나 SEMATECH는 이 연구설비를 활용하는데 있어서 어려움이 발생하자, 당초의 연구방향을 전환하였다. 즉 회원사들이 최첨단 반도체제조공정의 개발이 산업연합으로서의 SEMATECH의 목적에 적절한지에 대해서 의문을 가지게 되고, 공

17) 미국 SME산업은 총 800여 개의 기업으로 구성되어 있으며, 이 중 SEMI/SEMATECH의 135개 회원사들은 미국 총 SME 판매의 85% 이상을 차지하고 있었다.

정기술은 개별 반도체 제조업체의 핵심 경쟁요소이므로 회원사들은 기업생존에 민감한 정보를 공유하기를 꺼려하였다. 또한 회원사간에 기술격차가 있었기 때문에 일부 기술추종기업은 '무임승차자'가 될 수 있다는 우려도 있었다. 이에 따라 SEMATECH는 연구목적을 반도체 제조장비공급자의 기술능력을 제고시키고 (Katz and Ordovery, 1990), 반도체 가공장비의 공급자와 사용자간의 수직적인 협력을 강화하는 쪽으로 전환하였다. 다시 말해서 기술하부구조 구축의 초점이 오스틴의 연구설비를 활용한 최첨단 제조기술의 개발에서 제조장비기술의 개발 및 기술이전으로 전환되었다. 이러한 방향전환은 SEMATECH의 성과에서 잘 반영되고 있다. SEMATECH는 1993년 선폭 0.35 마이크론의 IC를 개발하는데 성공했다고 발표하였는데, 이는 회원사들이 즉시 활용할 수 있는 특정부품 생산에 대한 구체적 기술이라기 보다는 다양한 0.35 마이크론의 IC를 생산할 수 있는 공정 및 장비를 개발하고 통합하는데 활용되는 기술이었다. 요컨대, 0.35 마이크론의 공정기술은 기업특수적인 기술이었다기보다는 산업기반기술, 즉 기술하부구조였다.

SEMATECH는 당초 6년간 한시적으로 운영하기로 예정되어 있었으나, 지금까지도 계속 진화 발전되고 있다. 그 발전단계는 4단계로 구분될 수 있다. 제1단계는 설립 당시에 목표로 했던 1987-92년 기간이다. 앞에서 설명한 바와 같이 SIA와 정부가 SEMATECH를 창출하여, 기술시스템의 구성요소들이 각각 형성되면서 연관관계를 맺어간 단계이다. 이 과정에서 선폭 0.35 마이크론의 IC를 개발함으로써 이 단계는 성공적으로 마무리되었다고 볼 수 있다.

제2단계는 기술하부구조의 구축목표에 대해서 다른 의견을 가진 3개 참여기업이 탈퇴하면 서도, 연장되어 운영된 1993~96년 기간이다. 생산자-사용자간의 수직적인 협력보다는 당초 목적인 반도체 제조사의 수율제고와 비용절감에 관심을 가지고 있었던 LSI로직과 마이크로 테크놀로지가 1992년에 각각 탈퇴하였고, 1993년에는 해리스가 탈퇴하였다. 뿐만 아니라 이 단계는 AT&T와 락웰 등도 탈퇴여부를 고려하는 등 상당히 불안정적으로 운영되던 시기였다 (Grindley *et al.*, 1996, pp. 181-182). 그러나 1994년에 IC의 성능향상을 위해 필요한 반도체에 관한 기술적 요구 및 미래의 기술적 목표를 기술한 국가반도체기술로드맵 (NTRS)이 처음으로 출간되어 시스템의 성과가 가시화 되는 시기였다. 이는 기술하부구조의 집성체로서 (Tassey, 1996), 시스템 내부연계의 가이드라인의 기능을 수행하였다.

제3단계는 정부의 재정지원 없이 독립적으로 운영된 1997~99년 기간이다. 이 단계에 와서 SEMATECH는 회원사들의 출연금에 의해서만 운영자금을 조달하였다. 이로 말미암아 SEMATECH의 활동수준이 1995년 1억 7천만달러에서 1998년 1억 2천만 달러로 감소하였다. 그러나 재정독립은 SEMATECH가 하나의 기술시스템으로서 기술하부구조, 산업조직, 그리고 제도적 하부구조 측면에서 성숙하게 되어 자체적으로 수익체증을 실현하는 하나의 네트워크로 진화된 것임을 의미한다. 이것은 정부로부터 재정지원을 받지 않겠다고 선언한

1996년의 연차보고서에서도 확인된다. 즉 SEMATECH는 회원기업이 설정한 목표 이상의 활동을 수행하였으며, 프로그램들에 대하여 투자액의 4.67배의 수익을 획득했던 것으로 보고되고 있다.<sup>18)</sup>

제4단계는 외국기업들에게도 회원사의 문호를 완전 개방하여 SEMATECH와 International SEMATECH를 통합한 1999년 6월부터 현재까지이다. 이미 1996년에 해외기업이 SEMATECH의 기술에 접근할 경우 문제점을 개선하기 위하여 I300이라는 국제적인 네트워크를 조직하고, 1997년에는 International SEMATECH를 결성하였는데, 1999년 6월에는 원래의 SEMATECH와 International SEMATECH를 통합하였다. 통합 후 SEMATECH의 회원기업은 AMD, 휴렛패카드, IBM, 모토로라, 텍사스인스트루먼트, 인텔, 락웰 등 당초 참여기업 7개사, 추가로 가입한 루센트테크놀로지, 그리고 현대전자 (한국), TSMC (대만), 필립스 (네덜란드), 이피네온 테크놀로지 (독일), STMicroelectronics (이탈리아와 프랑스의 합병회사) 등 해외기업 5개사 등 총 13개 기업으로 증가되었다. 이 단계에 들어와서 SEMATECH는 산업, 지역, 그리고 국가를 넘어서 반도체라는 특정기술을 중심으로 작동하는 하나의 독립적인 기술시스템으로 존재하게 되었다.

## 3.2 시스템내의 상호작용

### 3.2.1 회원기업간의 관계

SEMATECH의 실제활동에는 연방정부 혹은 지방정부보다는 회원사들의 역할이 주도적이었다. SEMATECH라는 시스템의 창출의 필요성이 먼저 업계로부터 제기되었고, 시스템의 구조 역시 14개 회원사들에 의해서 설계되었다. 실제운영에 있어서도 회원사들의 참여 및 자원투입이 적극적인 것으로 평가되고 있다 (Grindley *et al.*, 1996). 회원기업들은 각각 자기기업 매출액의 1%를 회비로 지출하였으며, 경험 많고 영향력 있는 인력을 SEMATECH에 파견하였다. 1992년의 경우 SEMATECH의 임원, 과학자, 그리고 기술자 722명 중 225명이 회원사들로부터 파견된 인력이었으며, 이들은 300여명에 달하는 연구인력의 대부분을 차지하였다. 이에 따라 SEMATECH는 업계에 의해서 제기된 문제들에 실질적으로 초점을 맞출 수 있었다. 포럼을 통하여 회원사들은 토론의 기회를 가질 수 있었으며, 이를 통하여 회원사들은 상호간에 유사한 문제를 가지고 있음을 알게 되었고, 토론과정을 통하여 문제의 원인을 파악하고 문제해결에 효율적으로 접근할 수 있었다.

특히 회원사들은 인텔, 모토로라와 같은 반도체 판매전문업체 (merchant firm)와 IBM,

---

18) SEMATECH의 투자 대비 목표수익률은 300%로 1996년에도 그 목표를 크게 상회한 것이다.

AT&T 등과 같이 컴퓨터 및 통신장비에 필요한 반도체를 생산하는 자체 수요형업체(captive firm)로 나누어져 있었는데, SEMATECH에 참여한 후에는 종전과 달리 양 업체들은 기술지식을 활발히 교류하였다.<sup>19)</sup> 구체적인 예로 종전에 폐쇄적인 전략을 취해온 IBM이 SEMATECH에 참여하여, 판매업체들에게 칩 설계기술을 라이선스하였고, 4M DRAM 라인을 복사하여 개발라인을 구성하는데 도움을 주었다.

그러나 회원사간에 마찰이 전혀 없었던 것은 아니었다. 앞서서도 지적한 바와 같이, 회원사들은 첨단반도체 제조공정의 개발이 과연 산업연합에 적합한 목표인지에 대해서 의문을 제기하였고, 기업간 기술격차로 인한 무임승차의 문제와 기업 내부적으로 민감한 기술에 대한 공유기피 등의 문제가 발생하였다. 이에 따라 SEMATECH의 목표를 반도체제조기술의 개발에서 반도체장비의 개발 및 품질향상으로 전환하는 과정에서 중소 반도체제조업체인 마이크론테크놀로지와 LSI로직이 SEMATECH로부터 탈퇴하였다. 반도체 제조기술에 취약했던 이 두 기업은 SEMATECH가 모든 회원기업이 칩 생산에 직접적으로 활용할 수 있는 첨단제조공정의 개발에 초점을 맞추지 않겠다는 결정을 내리자 이에 반발했던 것이다. 미국 회계사무국(GAO)에 따르면, 마이크론테크놀로지와 LSI로직은 부품공급자와 협력하여 차세대 장비를 개발하기보다는 첨단 반도체제조공법의 개발을 통해서 원가를 낮추고 수율을 제고시키려는 SEMATECH의 당초 설립목표에 더 관심을 가졌던 것으로 알려지고 있다. 특히 이들 기업은 중소기업으로서 매출액의 1% (최소 100만 달러)를 회비로 내는 것이 불공정하다는 생각을 가지고 있었다 (Grindely *et al.*, 1994, p. 729).

### 3.2.2 사용자-생산자관계

SEMATECH가 기업간 컨소시엄이기 때문에 반도체장비의 개발을 지원하는 과정에서 다양한 기술대안들이 고려되지 않거나, 중요한 기술적 경로가 무시될 가능성을 안고 있었다. 그러나 SEMATECH는 상당 부분 이러한 기술들의 사용자들에 의해서 운영되어졌다. 회원사들은 다양한 기술적 대안들을 유지하고 새로운 정보에 대응하여 그들의 선택을 수정하려는 강한 유인을 가진다. SEMATECH는 하나가 아닌 다수의 공급자들과 계약을 맺고, 다양한 기술적 접근방법을 채용함으로써 위험을 분산시키고 있다.

먼저 SEMATECH의 목표가 수평적 협력에서 수직적 협력으로 전환됨에 따라서 반도체 장비제조업체로 구성된 SEMI/SEMATECH와 공식적인 관계가 강화되었다. 이들간의 상호작용은 다음 네 가지 활동영역으로 요약된다. 첫째는 SEMATECH 회원기업과 150여 반도체

---

19) SEMATECH 이전에는 양 업체간의 관계는 협력적이지 못했으며, 기술지식의 이전이 상당히 제한되어 있는 것으로 보고되고 있다. 즉 경영자 및 기술자들의 이동이 판매전문업체간에 활발히 일어났지만 양 업체간에는 매우 제한되어 있었다 (송위진, 1992).

체장비업체들을 연결시켜 주려는 노력이다. SEMI/SEMATECH는 텍사스 오스틴에 본부를 두고 있는데, 기본적으로 SEMI/SEMATECH의 회장은 SEMATECH 위원회의 구성원이 되며, 양 조직은 매분기 정기적으로 공동회의를 개최한다. 또한 일련의 모임과 회의가 경영자간의 상호교류를 위한 포럼을 제공한다. 예를 들어 품질개선협력 (PFTQ)이라는 프로그램은 보다 성과 있는 관계를 증진시키기 위한 비용, 전략, 그리고 재무관행의 관리개선에 초점을 맞추어 왔다.

둘째는 양 조직간의 반도체장비 개발을 위한 공동프로젝트 (JDP)이다. SEMATECH는 SME기업들과 연구개발계약을 맺음으로써 장비개발프로그램을 수행하게 된다. JDP 연구기금을 배정 받은 반도체장비업체는 총 프로젝트 비용의 25%에 해당하는 자금을 지원 받으며, SEMATECH와 그 회원사들로부터 자문을 받는다. 연구제안서를 제출하였으나 탈락한 기업들도 기각된 제안서의 약점과 강점을 토론하기 위하여 SEMATECH의 연구제안서 평가 위원회와 만난다. JDP 활동의 대부분은 장비제조업체에서 이루어지며, 각 프로젝트는 SEMATECH의 기술인력에 의해서 관리된다. SEMATECH의 기술자는 프로젝트에 투입할 시간을 결정하며, 장비제조업체, SEMATECH 그리고 회원기업들간의 정규적인 회의를 개최한다. 또한 SEMATECH는 SEMI /SEMATECH의 회원이 아닌 기업으로부터도 반도체장비의 개발 및 개선제안서를 접수받아, 이들과 공동연구개발에 착수하는 사례도 있었다. 이는 SEMATECH와 SEMI/SEMATECH와의 긴장을 유발하는 요인으로 작용하기도 하였다.

셋째는 양 조직간의 기존 장비들에 대한 장비개선프로젝트 (EIP)이다. 이 프로그램은 미국 반도체제조장비의 신뢰성이 낮다는 비판에 대응하기 위해서 착수된 것이다 (Rice, 1989). EIP는 JDP와 마찬가지로 SEMATECH 회원사의 지원, 장비제조업체의 연구제안서 제출, 그리고 연구제안서를 제출한 장비제조업체에 대한 답변 등의 과정을 포함한다. 초창기에 EIP는 'Fab One'에서 이루어졌으나, 점차 운영장소가 장비업체나 회원사로 전환되고 있다. 각 프로젝트의 전과정은 SEMATECH 기술팀에 의해서 관리되며, 그 결과는 공식적 및 비 공식적 메커니즘을 통해서 회원사들에게 전달된다. SEMATECH는 EIP 참여기업으로부터 장비를 구입하여, 그것을 낮은 가격에 회원사들에게 임대해 주며, 이를 임대한 기업은 실제 운용에 관한 자료를 다른 회원사와 제조장비기업에게 제공한다.

위의 JDP 및 EIP에 투입되는 예산은 1988년의 경우 총예산의 20%였으나, 1991년에 와서는 그 비중이 약 50%로 증가하였다. SEMATECH는 계약창구를 일원화함으로써,<sup>20)</sup> 프

20) SEMATECH는 SME기업들과 개별적으로 연구개발계약을 맺는 것이 아니라, 산업차원에서 SEMI/SEMATECH와 계약을 맺고, 개발 담당기업은 SEMI/SEMATECH에 의해서 지정된다. 즉 양 조직은 개별 업체간의 거래관계가 아닌 산업수준에서의 일대일 대응관계를 원칙으로 한다.

로그래에 참여한 SME기업들은 시제품 판매 시에 SEMATECH의 승인을 얻도록 하고 있으며,<sup>21)</sup> 개발된 장비들을 회원사들이 우선적으로 구매하도록 함으로써 SME업체들의 기술 개발위험을 낮추어 주고 있다. 또한 기술문제에 대한 포럼을 개최하고, 품질관리를 위한 훈련프로그램을 제도화하며, 상호간에 기계 및 장비를 시험 및 검사할 수 있는 기회를 마련하고 있다. 즉 SME기업과의 기술교류와 수직적 연관의 강화를 꾀하고 있다. 그러나 SME기업과의 계약과정에서 SEMATECH는 SME기업의 재정적인 능력을 중시함으로써 비교적 재정능력을 보유하는 대기업 혹은 기업그룹이 선정되는 경향이 있는 것으로 지적되고 있다. 예를 들어 1980년대 초 세계 반도체장비시장에서 선도기업이었던 GCA는 SEMATECH로부터 연구개발계약을 상당부분 수주하였을 뿐만 아니라 회원기업들로부터 주문을 받아 기업 재도약의 계기로 삼을 수 있었다. 이러한 정책은 미국 SME산업에서 빈번한 M&A를 초래하여<sup>22)</sup> 산업집중도를 높인 하나의 요인으로 지적되고 있다 (Grindley *et al.*, 1996, p. 196).

넷째는 반도체기술의 예상되는 기술경로를 보여주는 NTRS의 제공을 통한 SEMATECH와 SME기업간의 관계이다. NTRS는 새로운 선평의 공정기술개발을 위한 목표와 계획표를 보여주고, 예상되는 제품구입주기에 관한 정보를 SME기업에게 제공하며, SME기업의 계획수립을 원활하게 해준다. 이러한 기술예측정보는 기술하부구조로서 동시적인 기술개발을 가능하게 해준다. 즉 SEMATECH의 NTRS는 SME기업들로 하여금 축차적이라기보다는 동시적으로 기술혁신활동에 착수할 수 있게 유도한다.<sup>23)</sup> 뿐만 아니라 SEMATECH라는 기술시스템은 장비의 평가 및 호환에 대한 표준화를 가능하게 한다. 구체적인 예가 장비간의 하드웨어적 혹은 소프트웨어적인 호환을 표준화하기 위한 컴퓨터통합생산 (CIM)이다. 이는 기존의 생산라인에 개선된 기계를 도입하는 과정에서 발생하는 문제점을 해결하기 위한 노력의 일환으로 이루어진 것이다. 장비소유비용추정모델 (COO)도 이러한 시스템적 접근방법의 일환이다. 이는 개별 장비의 구입, 지원, 서비스, 그리고 유지비용을 포함하는 일체의 소유비용을 추정하는 모델로, 회원사들로 하여금 장비비용을 감소시키도록 도와주는 한편, 제조장비업체에게는 제품개발의 초기단계에서 장비제조업체에게 피이드백 (feedback)을 제공한다. GAO (1992)에 의하면, 1992년에 100여 개가 넘는 장비제조업체가 자체 제품개발을 원활히 하기 위해서 COO모델을 요청했던 것으로 보고되고 있다.

21) 이는 개발되는 장비가 업계 전체가 사용하는 표준적인 제품이기 때문이다. 이러한 표준화는 생산비용의 절감효과도 있으나, 기술이 급속히 발전하는 시기에는 자물쇠효과 (lock-in effect)가 있을 수 있다.

22) 1987~89년 동안에 미국 SME산업에서는 60건 정도의 기업인수, 합병, 그리고 청산이 일어났는데, 1989~91년 사이에는 이것이 100건 이상으로 증가하였다 (SEMATECH, 1992).

23) 예를 들어 매스킹 소재기업은 리소그래픽 장비제조업체가 새로운 기계를 개발해야만 신제품의 개발에 착수하게 되는데, NTRS에는 산업계가 공통으로 인식하고 있는 기술개발의 경로가 제시되어 있기 때문에 동시적으로 연구개발에 착수할 수 있다.



한편 SEMATECH와 SEMI/SEMATECH의 관계는 항상 원활했던 것만은 아니었다. 먼저 SEMATECH 회원사간에 존재하던 전유성 문제가 SME기업과 SEMATECH 회원사간에도 존재하였다. SEMATECH의 당초 목표였던 반도체제조기술의 공동개발이 경쟁기업과의 정보교환의 문제를 가져온다는 점이 반도체칩 제조업체에 의해 제기된 것과 마찬가지로, SME기업과 SEMATECH 회원기업과의 기술정보교환으로 말미암아 어떤 기업의 고유의 정보가 다른 경쟁기업들에게 노출된다는 문제가 제기되었다. 예를 들어 SME기업인 인백스는 SEMATECH가 경쟁기업에게 자기 기업의 중요한 기술정보를 준다는 사실에 대해서 범 정문제화 한 바 있다 (Burrows, 1992).

### 3.2.3 해외기업과의 관계

초기에는 SEMATECH에 대한 외국기업의 참여가 제한되어 있었으나, 기본적으로 범세계적인 사업영역을 가지는 반도체산업에서 이러한 규제를 유지하는 것이 어렵게 되었다. 반도체장비 공급업체와 반도체 제조업체 공히 업체간의 국내 및 국제적 경쟁에서 애로를 경험하게 됨에 따라 해외기업, 특히 일본의 경쟁기업들과 합작을 개별적으로 시도하게 되었다.<sup>24)</sup> SEMATECH 회원사의 합작사례로는 AMD와 후지쯔, AT&T와 미쯔비시, AT&T와 NEC, IBM과 도시바, 모토롤라와 도시바, 텍사스인스트루먼트와 히타치 등을 들 수 있으며, SEMI/SEMATECH에 소속된 SME기업의 경우에는 어플라이드머티리얼과 코마쯔, 이튼과 스미토모, 램서치와 동경전자, 베리안과 동경전자 등이 대표적이 예들이다. 이러한 해외기업과의 제휴는 미국기업들에 여러 가지 의미를 가진다. SEMATECH의 회원기업들이 이러한 제휴관계 내에서 SEMATECH가 개발한 기술이 해외제휴기업에게 흘러가는 것을 통제할 수 있었지만, 국제적인 합작은 SEMATECH로부터 해외기업을 배제하는 효과를 약화시켰다. 한편 이러한 합작은 미국 SME기업들에게 해외시장에 접근할 수 있는 하나의 수단이 되었다. 즉 해외기업과의 제휴관계에 있는 미국기업이 상대기업이 미국의 장비를 사용하도록 하게 함에 따라서, 해외 칩생산기업은 미국 공급자로부터 장비를 계속 구입하였다.

결국 이러한 국제적인 제휴는 1993년 SEMATECH가 해외기업의 간접적인 참여에 대한 규제를 완화하도록 하는 요인으로 작용하였고, 1996년에는 하부시스템으로서 국제적인 조직인 I300I를 설립하였다. 즉 I300I는 해외기업이 SEMATECH의 기술에 접근할 경우 문제점

24) 회원사들은 SEMATECH 외부에서도 자유롭게 독립 혹은 공동연구를 수행할 수 있었다. 예를 들어 IBM은 모토롤라와 X-레이 석판기술 분야에서 공동연구를 수행하였다. 이는 외국기업과의 관계에서도 마찬가지였다. 이는 SEMATECH이 가질지도 모르는 자물쇠효과 (lock-in effect), 즉 시스템으로서의 SEMATECH가 오히려 R&D의 속도를 늦출 수도 있다는 우려를 해소하는 하나의 방법이었다. 시스템이 가지는 자물쇠효과에 대해서는 Shapiro and Varian (1999) 참조.

을 개선하기 위한 새로운 네트워크이다. I300I는 미국 6개사, 독일, 프랑스, 네덜란드 등 각 1개사, 한국 3개사, 대만 1개사 등 모두 13개 기업이 참여하는 조직으로 2000년까지 0.25 미크론 가공장치의 성능측정방법을 규정하고, 공장자동화 등 공장활동의 표준을 설정하는 기능을 수행해 왔다. 이는 세계 모든 기업이 통일하여 사용할 수 있는 기술적 관례들로서,<sup>25)</sup> 우리의 모형에서 보면 기술하부구조를 직접적으로 체화하는 조직이다. 현재 I300I는 해체되었으나, 그 기능은 웨이퍼의 개발을 위한 첨단장비개발국(ATDF)으로 이관되어 계속되고 있다.

또한 1998년에는 International SEMATECH가 결성되었다. 이 역시 SEMATECH의 하부시스템으로서 10개의 미국기업과 현대전자, TSMC, 지멘스, 필립스, STMicroelectronics 등 5개의 외국기업, 총 15개 기업으로 구성되었고, 1999년에는 기존의 SEMATECH와 International SEMATECH가 통합되어, International SEMTECH라는 명칭으로 운영되고 있다. International SEMATECH에서는 해외기업들이 미국기업들과 동일한 회원자격으로 활동하고 있다. 그러나 이 과정에서 해외기업들에게 동일한 회원자격을 주는 것에 반대하던 모토롤라 등은 탈퇴하였다.

### 3.2.4 R&D 네트워크

SEMATECH는 SRC와의 협력을 통해 연구개발 네트워크를 구축하고 있다. SRC는 SEMATECH와 마찬가지로 SIA에 의해서 설립된 기관으로 SEMATECH의 회원사는 모두 SRC의 회원이 된다. 양 기관의 임무는 상호보완적이다. SRC의 연구초점이 5년 이상의 장기적인 첨단기술에 맞추어진 반면에 SEMATECH는 반도체 제조장비분야에서 실제적으로 활용 가능한 핵심기술을 개발하는데 관심을 가진다. SRC의 연구개발비는 SEMATECH에서 지원한다.

SRC는 연구전문조직으로, SRC 프로그램은 참여자들이 상호 협력하고 연구목적 및 제품을 공유하는 것을 요구하며, 이를 위해서 이사회, 기술자문국, 대학자문위원회, 기술회의, 프로그램 평가, 그리고 대학, 정부기관, 기업간의 상호작용을 유도하는 각종 기구를 두고 있다. 연구분야는 컴퓨터디자인 및 시험(CADTS), 집적회로 및 시스템(ICSS), 나노구조 및 연계(NIS), 소재 및 공정(MPS) 등 크게 네 개로 나누어져 있으며, 이를 하나로 통합하기 위해 학제적연구프로그램(CSR)을 운영한다. 따라서 SRC는 반도체의 기술하부구조를 형성하는 핵심기관이라 볼 수 있다.

---

25) NEC, 히다찌, 도시바, 후지쯔 등 일본의 10대 반도체 기업들은 별도로 SERIT이라는 별도의 기구를 만들어 I300I에 대응되는 연구를 진행해 왔다. 한국의 삼성전자는 I300I에 참여하였으나, 이를 탈퇴하고 SERIT에 가입하였다.

SRC는 대학의 연구능력을 최대한 활용하려는 기관으로, 특히 산업조직과 대학을 연결해주는 매개체이다. 대학들은 연구제안서를 제출하여 심사에 통과되면, 계약을 통해서 연구를 수행하게 된다. 뿐만 아니라 SRC는 차세대 반도체 전문가를 양성하는 프로그램도 운영한다. 이 과정에서 SRC 회원사의 대표는 연구분야조정위원회 (SACCs)와 기술자문국 (TABs)에 참여하며, SRC가 산업의 요구에 부응한 연구를 하도록 유도하기 위하여 산업계의 연계인력 (industrial liaisons)으로 하여금 대학에서 제출한 연구제안서, 수행과정, 연구결과 등을 평가하고, 반도체분야의 전문가양성 프로그램에 자문을 하며<sup>26)</sup>, 또한 연구결과가 실제로 활용되도록 하는 기술이전계획을 결정한다.

SRC는 미국 전역을 대상으로 수월성센터 (Center of Excellence)라는 대학과 연구기관이 제휴한 연구개발거점망을 통하여 그 지역에 대한 기술이전을 해주고 있다. 1988년의 경우 미시간대학 (제조공정자동화), 스탠포드대학 (제조공정시스템), 카네기멜론대학 (CAD) 등 9개의 대학에 수월성센터를 설치하여, 1,000만 달러를 지원하였다. 이들은 주정부에 의해 지정되는데, 각 지역별로 연구영역을 분담하여 연구를 진행한다.<sup>27)</sup> 한편 SRC교육연합 (SRCEA)이라는 하부조직을 통해서 반도체 분야의 학생과 연구를 연결짓는 일을 수행한다. SRCEA는 SIA의 재정지원 하에 공대학부생프로그램 (UEP)과 인적자원개발프로젝트 (HRNP)를 운영한다.

### 3.2.5 연계기관

SEMATECH 시스템에서 SEMATECH라는 조직 자체가 시스템의 구성요소간, 그리고 활동주체 및 기관간의 연결고리를 제공하고 있으며, SIA, SEMI /SEMATECH, SRC, NTRS, 마이크로일렉트로닉스개발사무국 (OMP) 등도 그러한 기능을 수행한다. 먼저 SIA는 산업협회로서 SEMATECH의 창출도 SIA와 국방부의 협력에 의해서 이루어진 것과 같이 정부기관과 산업계를 연계시켜 준다. 또한 SIA는 반도체기술개발과 관련된 프로그램에 재정을 지원해줌으로서 기관간 연계기능을 수행한다. 예를 들어 SIA는 SRCEA에 자금을 지원함으로써 대학과 산업계를 이어주고 있다.

SEMI/SEMATECH는 산업조직 내에서의 사용자와 공급자를 연결시켜주는 기능을 수행한다. 즉 앞에서 언급한 바와 같이, 이 조직은 정기공동회의, 포럼, SEMATECH로부터의 연구계약수주 및 개발기업의 지정 등을 통하여 150여 개의 반도체장비 제조업체를 사용자로

26) SRC는 대학의 재학생들에게도 연구기금을 지급하며, 인턴십의 기회를 제공하고, 고용의 기회도 제공해 준다.

27) 에리조나주는 불량품 평가 및 통제, 캘리포니아주는 리소그래피, 매사추세츠주는 유연IC 제조를 위한 웨이퍼 가공, 뉴저지주는 첨단 플라즈마에치 가공, 뉴멕시코주는 소재, 뉴욕주는 다면금속화, 북캐롤라이나주는 웨이퍼가공, 텍사스주는 제조시스템, 위스콘신주는 X-레이 리소그래피를 각각 담당하였다.

서의 SEMATECH에 연결시켜 준다.

SRC는 대학과 산업계를 연결시켜 주는 역할을 수행한다. 이 과정에서 산업계의 연계인력이 핵심역할을 수행하며, 수월성센터도 중요한 연계수단이 된다. 더 나아가서 SRC에는 NIST, 국가과학재단 (NSF), 국가안보국 (NSA), 국방원자력국 (DNA) 등 정부기관이 회원으로 되어 있기 때문에 정부와 업계, 그리고 대학을 연결하는 역할도 수행한다.

NTRS는 IC의 성능향상을 위해 필요한 반도체에 관한 기술적 요구 및 미래의 기술적 목표를 정리한 것으로,<sup>28)</sup> 공식적 기관은 아니지만 시스템 내에서 기관간의 연계기능을 수행한다고 볼 수 있다. NTRS는 미세화 능력, 100나노미터 이하의 리소그래피기술, 신소재 및 구조, 칩에서의 기가헤르츠 (Giga Hz) 주파대의 동작, 계측 및 시험, 그리고 R&D에 대한 도전 등 6가지 기술적 과제를 체계적으로 담고 있는 지침서이다. 우리의 모형에서 보면, 이는 기술하부구조의 집성체로서 (Tassey, 1996, p. 80), 시스템 내부연계의 가이드라인의 기능을 수행한다. 즉 SEMATECH, SRC, SIA, SEMI /SEMATECH, 대학, 정부기관 등 모든 반도체 관련기관들은 이 지침서를 따르는 것이 해당 기관은 물론 국가적으로도 유리할 것이라는 공통된 의견을 가지고 있다. Teece (1986)는 이러한 산업전반에 걸친 기술예측활동은 '체계적인 기술혁신' (systematic innovation)을 유도한다고 지적한 바 있다. 따라서 NTRS는 SEMATECH시스템의 기술하부구조일 뿐만 아니라 이러한 연계기능을 수행한다는 점에서 기술시스템 작동의 핵심체라고 할 수 있겠다.

정부기관과 산업계를 연결시키는 사례로는 NIST내의 OMP를 들 수 있다. 정부기관인 NIST는 반도체기술의 개발 및 표준화를 위해 국가반도체소재프로그램 (NSMP)을 운영하고 있기 때문에 SIA, SEMATECH, SRC 등과 연계를 맺고 있다. 이러한 연계는 OMP의 인력이 NIST의 대표로서 NTRS의 작성을 위해 SIA위원회에 참여함으로써 이루어진다.

## 4. 한국의 VLSI 프로그램

### 4.1 기술시스템으로서의 VLSI 프로그램의 창출과 진화

미국의 SEMATECH가 생성되는 거의 같은 시기인 1986년에 한국에서도 반도체기술의 개발을 위한 시스템이 창출되었다. 이는 4M DRAM의 개발을 비롯한 일련의 VLSI 프로그램으로, 먼저 정부에 의해서 계획이 성안되었다. 정부는 당시 반도체기술이 일본과 미국에

---

28) NTRS는 1994년에 초판이 발행되었고, 1997년에 제 2판이, 1999년에는 International TRS가 출간되었다.

의해 주도되는 상황에서 국내전자산업의 원천기술을 확보하기 위해서 반도체연구조합의 결성과 공동연구개발체제의 필요성을 인식하고, 이를 반도체산업 종합육성대책에 명시하였다.<sup>29)</sup> 민간기업들 역시 4M DRAM<sup>30)</sup>을 개발하기 위해서는 기업간 협력체제가 필요하다는 데 인식을 같이 하고, 반도체 3사인 삼성전자(당시는 삼성반도체), LG반도체(당시는 금성반도체), 현대전자 등이 반도체연구조합을 설립하였다.

VLSI 프로그램은 과학기술처, 정보통신부(당시는 체신부) 등 정부기관의 지원과 함께 반도체연구조합, 한국전자통신연구소(ETRI), 대학 등이 함께 참여하는 네트워크였다. 반도체연구조합의 회원사인 삼성전자, LG반도체, 현대전자 등 반도체 3사는 설계 및 공정기술개발을 담당하고 각 기업의 기술 및 설계능력에 따라서 개발을 분담하였다. ETRI는 연구총괄기관으로 연구개발의 진행을 관리하고, 설계 및 기본기술개발을 지원하는 역할을 수행하였다. 서울대부설 반도체공동연구소와 한국과학기술원(KAIST) 등은 연구인력을 지원 및 양성하고, 기본기술에 대한 기초연구를 담당하였다. <그림 3>에는 우리의 모형에 근거하여 하나의 기술시스템으로서의 VLSI 시스템을 요약해 놓았다.

반도체연구조합은 1986년 VLSI 시스템의 창출과 함께 설립되었다. 회원사인 삼성전자, LG반도체, 현대전자 등 반도체 3사는 자신의 재벌에 소속되어 기업간 연합은 존재하지 않았으며, 1991년에 가서야 반도체산업협회가 설립되었다. 당시 반도체 3사는 웨이퍼제조업체로 시장점유율은 삼성전자가 75%, 현대전자가 18%, 그리고 LG반도체가 7%를 각각 차지하였다.<sup>31)</sup> 개별소자 및 혼성IC 조립업체로는 아남산업, 모토롤라코리아, 한국광전자, 삼성전기 등이 있었으며, 아남반도체설계, 한국실리콘, 인텔코리아 등 주문형반도체(ASIC)의 설계 및 제조업체들이 형성되어 있었다(한국산업은행, 1990, p. 24). 한편 반도체제조업의 공급자로서 한국반도체장비협회는 1989년에 설립되었으며, 1991년에 반도체산업협회로 통합되었다.

연구총괄기관인 ETRI는 1976년에 설립된 한국전자기술연구소를 모체로 하여, 1985년에 전기통신연구소를 통합하여 만들어진 정부출연연구소이다. 이 연구소는 한국의 반도체산업이 발전하기 시작하는 시기에 연구시설 및 인력을 확보하고, 해외기술교류를 통해서 연구기반을 확충해 왔고, 실제로도 연구개발활동을 통해 산업계를 지원하여 왔다. 구체적으로

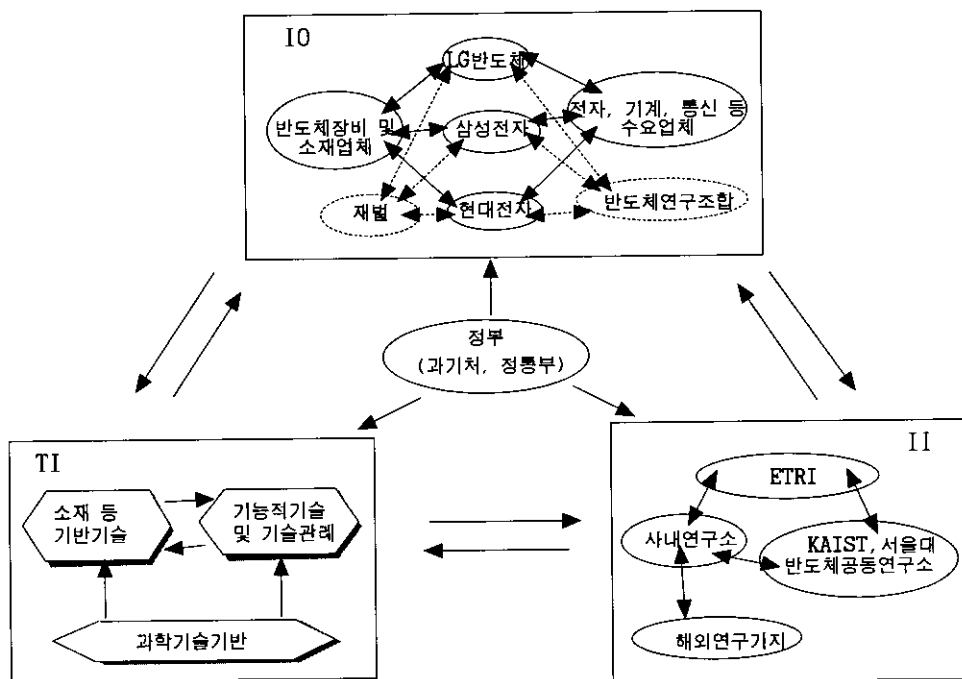
29) 사실 한국 반도체산업의 생성은 정부의 체계적인 지원보다는 삼성그룹 창업자의 기업 가정신과 재벌시스템에 의해서 이루어진 것으로 분석되고 있는 반면에, 대만의 반도체산업은 정부의 체계적인 지원 하에서 생성 및 발전되어온 것으로 분석되고 있다 (Chang, 1999).

30) 이 당시 한국은 이미 64K DRAM과 256K DRAM의 개발을 마친 상태였다. 한국의 반도체 기술의 발전과정에 대해서는 조현대(2000)를 참조.

31) 1986년에 대우그룹은 지멘스사를 인수하였고, 대우통신은 반도체사업에 막 진입하였다.

ETRI는 VLSI 프로그램 이전에 CAD에 의한 회로설계, 마스크제작, 3인치 웨이퍼가공기술 등을 주도해 왔다 (한국전자통신연구소, 1988). 1966년에 설립된 KAIST도 해외에서 연구인력을 유치하여 반도체분야의 연구능력을 보유하고 있었고, 서울대 반도체공동연구소는 1988년에 운영에 들어갔다. 대학 전체적으로는 1985년에 전자공학과를 설치한 대학이 41개 대학에 이르러, 반도체관련 기술인력의 공급기반도 확충되어 있던 상태였다 (교육개발원, 교육통계시스템).

이와 같이 창출된 4M DRAM급의 시제품개발을 위한 VLSI 시스템 (1986~89년)은 그 이후의 16M/64M DRAM 개발사업 (1989~93년), 차세대반도체개발사업 (1993~97년), 주문형반도체개발사업 (1997~2001년), 시스템 2001사업 (1998~2003년), 그리고 정보통신핵심부품개발사업 (2000~04년)의 발판을 마련하였다. 다시 말하면 4M DRAM 프로그램은 협력과 네트워크 구축의 경험을 제공했다는 점, 그리고 시스템에 참여한 중심적인 활동주체와 기관들이 계속 협력관계를 유지했다는 점에서 그 기술시스템이 다른 프로그램을 통하여



범례: 앞의 그림과 동일

<그림 3> 기술시스템으로서의 VLSI 프로그램

계속 진화 발전되어 왔다고 볼 수 있다.<sup>32)</sup> <그림 3>은 4M DRAM 개발을 위한 기술시스템을 보여주는데, 이후에 이어지는 프로그램에서는 기술개발목표의 내용이 달라지고, 새로운 활동주체 혹은 기관들이 참여하게 된다. 먼저 1989~93년 기간동안에 유지된 16/64M DRAM 개발을 위한 기술시스템에는 시제품개발이 최종목표로, 참여기관 및 기업이 29개(기업체 7개, 연구소 3개, 대학 19개)로 크게 확대되었다. 총연구비는 1,900억원으로 정부가 750억원의 재정을 지원하였고(과기처 250억원, 정보통신부 150억원, 통상산업부 250억원), 나머지 1,150억원은 기업에 의해서 조달되었다. 공동연구는 종전과 마찬가지로 ETRI에 의해서 관리되었다. 1993~97년에 시행된 차세대 반도체개발사업은 정부의 선도기술개발사업<sup>33)</sup> 11개 사업 중 하나의 분야로 추진되었다. 메모리 분야의 기술개발이라는 점에서 종전의 경우와는 궤를 같이 하나, 연구총괄기관이 ETRI가 아닌 산학연으로 구성된 차세대반도체연구개발사업단이 맡도록 하였다. 또 하나의 다른 점은 종전과 달리 연구개발의 목표를 제품개발에 두지 않고, 공정기술, 장비기술, 소재기술 등 기반기술에 두었다. 제품개발은 개별 기업이 수행한 결과, 1994년 8월 삼성이 256M DRAM 미국 휴렛패카드에 세계 최초로 납품하였다(홍성범, 1995). 1997~2001년까지의 주문형반도체개발사업에서는 종전의 메모리에서 비메모리분야로 기술개발의 목표가 전환되었다. 전자부품연구소 등 3개의 연구소, 서강대 등 16개 대학, 그리고 8개 기업이 참가하였으며, 전자부품연구소가 공동연구를 총괄하였다. 주문형 반도체의 기반기술은 KAIST의 반도체설계교육센터를 중심으로 하여 연구되도록 하였고, HDTV용 반도체기술은 민간기업들이 개발하도록 하였다.

## 4.2 시스템내의 상호작용

이 절에서는 4M DRAM 프로그램을 중심으로 하여 기술시스템 내에서의 구성요소간, 활동주체간, 그리고 기관간의 상호작용을 분석하고, 시스템을 유지시키는 유인메커니즘을 찾아 보고자 한다.

### 4.2.1. 생산자간의 관계

삼성전자, 현대전자, 그리고 LG반도체는 반도체연구조합회원사로서 기술특성에 따라서 개별연구, 분담연구, 그리고 합동연구를 수행하였다. 제품개발은 회원기업별로 개별연구에

32) ASIC분야에서의 기술시스템은 활동주체의 유형, 시장환경, 핵심기술능력, 그리고 정책의 초점 등이 메모리 분야에서의 기술시스템과는 다를 수 있다(황해관·신태영, 1999, p. 37). 예를 들어 ASIC는 메모리 분야에 비해 투자능력보다는 설계능력이 중요하다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 메모리 분야에서 형성된 공동연구 네트워크의 통과 경험은 계속 진화되는 것으로 볼 수 있다.

33) 이는 'G7' 혹은 'HAN' (Highly Advanced National) 프로젝트로도 불려진다.

의한 단독개발에 의해 이루어지도록 하였으며, 회원기업들이 공동연구개발에 참여하면서 나름대로 애로기술로 나타난 공정들은 각각 담당하여 개발하도록 하였다. 반도체기술의 개발 과정에서 가장 큰 공통애로요인이었던 설계기술은 회원기업의 연구인력을 파견하여 동일장소에서 합동 개발하도록 하였다. 구체적으로는 삼성반도체가 디바이스기술 등 9개 과제를 담당하였으며, LG반도체는 검사 및 신뢰도 기술 등 6개 분야, 그리고 현대전자는 조립기술 등 6개 과제를 담당하였다. 각 기업에 공통되는 기술개발과제는 리소그래피 및 에치기술 등 차세대 제품개발을 위한 초미세가공기술의 핵심기술이었으며, 이는 반도체개발에 필수적인 기반기술이었다. 설계기술은 반도체연구조합 회원사와 ETRI의 합동연구과제로 되어 있었다. 요컨대 리소그래피 및 에치기술, 그리고 설계기술 등 기술하부구조의 구축과 연관된 분야는 공통분담 혹은 합동연구에 의해서 진행되도록 되어 있었다.

그러나 실제로 합동연구는 기대했던 대로 이루어지지 않은 것으로 평가되고 있다 (배용호, 1995; 조현대, 2000). 그 이유로는 현대전자와 LG반도체에 비해 삼성전자의 기술이 월등하여 회원기업간의 기술격차가 존재했다는 점, 회원기업간의 노하우 (know-how) 유출에 대한 우려 등 불신감이 없지 않았다는 점, 그리고 연구주관기관이었던 전자통신연구소가 반도체 3사에 비해서 기술능력이 크게 앞서지 못함에 따라서 리더십이 부족했다는 점이 지적되고 있다.

이에 따라 기술개발은 주로 분담연구와 단독연구를 통해서 수행되었다. 이는 협력과 경쟁이 공존하는 상황에서 기술개발이 이루어졌음을 의미한다. 구체적으로 총괄기관인 ETRI는 기업간 연구성과에 따라서 정부가 지원하는 보조금을 차등 지원하는 유인메커니즘을 채택하였다. 이에 더하여 반도체 3사가 속해 있는 삼성, 현대, LG라는 재벌시스템간에 내재하는 경쟁도 경쟁적인 연구활동을 부추기는 요인으로 작용하였다 (Chang, 1999).

기술협력은 주로 기술교류회와 평가위원회라는 모임을 통해서 이루어진 것으로 보고되고 있다. 기술교류회는 4M DRAM의 공동개발과정에서는 67회, 16M DRAM의 공동개발과정에서는 88회가 개최되었다. 기술교류회는 연구책임자와 참여기업의 임원진을 배제하고 순수 연구인력만 참여시킴으로써, 자유로운 토론분위기 속에서 정보교류가 이루어졌다. 이 과정에서 연구자간 공식적 및 비공식적 유대관계가 맺어졌는데, 이는 곧 인적 네트워크의 형성을 의미한다. 평가위원회도 4M DRAM과 16M DRAM의 공동개발과정에서 각각 16회와 31회가 개최되었다. 기술평가 역시 실효성을 거두기 위해서 기술개발을 담당한 기업을 배제하고 학계와 다른 기업체가 그것을 평가하는 방식을 취했다. 이 과정에서 평가위원회의 구성원들은 타기업의 기술성과에 대한 정보를 공유할 수 있었다. 특히 평가위원회는 기술적 열위에 있던 현대전자와 LG반도체에게 삼성전자의 앞선 기술을 학습할 수 있는 기회를 제공하였던 것으로 평가되고 있다 (Kim, 1998).



## 4.2.2 사용자-생산자 관계

한국의 반도체장비시장은 1983년 삼성전자가 64K DRAM 양산을 위해 기흥공장을 건설하기 위하여 장비를 수입하면서 형성되기 시작되었고, 1985년 한국전자가 트랜지스터용 생산장비를 자체 제작한 것을 계기로 개발의 움직임이 나타났다. 따라서 4M DRAM의 개발계획에 반도체장비업체의 역할을 부여하기에는 반도체장비산업의 기반이 미약하였다. 삼성전자에 이어 현대와 LG가 반도체산업에 참여하고, 4M DRAM 개발이 진행되면서 국내 장비개발과 생산에 대응하는 내수기반이 구축되었다. 이를 반영하여 1988년 반도체장비협회가 설립되었다. 그 이후 16M/64M DRAM의 개발과정에서도 반도체제조업체들이 여전히 중심을 이루었으나 공동연구에 반도체장비업체들도 참여하게 되었다. 1991년에는 반도체장비협회는 해체되어 반도체 산업협회의 창립과 함께 흡수 통합되어졌다.

16M/64M DRAM의 개발에서는 반도체 장비업체의 성과가 보고되고 있다. 화인반도체와 대보정밀에 의해 반도체장비인 ECRetcher와 PR코우터/디벨로퍼가 각각 개발되었다. 소재분야에서는 럭키소재에 의해 8인치 대구경 실리콘웨이퍼가 개발되었고, 금호석유화학에 의해 엑시머레이저 레지스트재료와 초고집적 반도체가공용 X-ray 레지스트재료가 개발되었다.

## 4.2.3 해외기업과의 관계

반도체 3사가 VLSI 프로그램을 공동으로 추진하기 이전에 기술획득은 주로 해외로부터의 기술과 인력의 수입에 의해서 이루어졌고, 프로젝트의 추진과정에서도 해외 기술시스템들과의 연계는 유지 및 확대되었다. 1974년 국내 최초로 웨이퍼가공과 LSI의 생산을 추진한 한국반도체(주)가 미국 오하이오 주립대학을 졸업하고 모토롤라에서 근무한 경험이 있는 강기동 박사에 의해서 설립되었고, 삼성반도체가 이 기업을 1977년 인수한 이후에도 그로부터 기술을 습득한 사실에서 볼 수 있듯이 (Byun and Ahn, 1989; Kim, 1997), 반도체 기술의 학습과정에서 해외에서 박사학위를 마치고, 우수 반도체업체에서 경험을 가진 한국인들의 역할을 빼놓을 수 없다.<sup>34)</sup> 한편 기술의 수입은 첨단 반도체제조장비의 수입, 라이선싱, OEM, 해외기업의 인수, 해외 연구개발기지의 설립 등 다양한 방법을 통해서 이루어졌다. 특히 반도체분야에서 해외 연구개발기지의 설립은 기술시스템이 어떤 지역에 국한되지 않는다는 것을 보여 주고 있다. 삼성은 1979년 당시 국내 최대 반도체기업이었던 페어차일드(Fairchild)를 인수하였고, 1983년에는 미국 실리콘벨리에 연구개발기지를 설립하였다. 현대

34) 예를 들어 삼성은 이임성 박사 (스탠포드대학, GE와 IBM 근무), 이상준 박사 (미네소타 대학, 컨트롤데이터 근무), 이일복 박사 (미네소타대학, 인텔 근무) 등을 특별 채용하였다. 이러한 측면에 대한 자세한 분석은 Chang (1999) 참조.

는 텍사스인스트루먼트와 OEM계약을 통해 기술을 습득한 바 있고, 미국 산타클라라에 현지 연구개발기지를 설립하였다 (자세한 설명은 Kim (1997)과 Kim (1998)을 참조).

이러한 해외 기술시스템과의 다양한 연계는 공동개발 프로그램을 수행하면서도 진행되었다. 4M DRAM의 경우 삼성전자의 독자적 시제품개발 이후 현대전자와 LG반도체는 결국 해외기업으로부터 기술도입에 의해 시제품을 개발하였다. 1990년에 들어와서도 해외기업과의 연계는 활발하게 진행되었다. 삼성전자는 총 13건의 해외기업과의 계약 중 직접투자 1건, M&A 2건, 그리고 전략적 제휴 (strategic alliance) 10건을 기록하였고, 현대는 직접투자 2건과 전략적 제휴 3건 등 총 5건을 기록하였다. LG반도체는 직접투자 1건, 합작투자 1건, 그리고 전략적 제휴 3건 등 역시 5건을 기록하였다 (조현대, 1997). 재벌은 우수인력이 고용하고 있었기 때문에 이러한 관계 속에서 반도체 3사는 기술을 효과적으로 습득했다 (Kim, 1997). 1999년에는 현대전자가 International SEMATECH의 정식회원으로 가입함으로써, 해외 기술시스템과의 연관성이 체계화되었다.

#### 4.2.4. 재벌시스템의 역할

한국 반도체의 기술발전과정은 반도체 3사가 소속되어 있는 개별 재벌에 크게 의존해온 것으로 평가되고 있다. 심지어 ‘삼성시스템’, ‘현대시스템’, ‘LG시스템’으로 불릴 정도로 생성부터 독립적으로 상호 분리되어 발전되어 왔다 (Kim, 1998).<sup>35)</sup> 이는 VLSI 프로그램이라는 기술시스템 내에서도 예외가 아니었다. 앞서서도 지적한 바와 같이 당초 계획했던 협동연구와 연구자교류가 제대로 이루어지지 않은 것도 재벌 상호간의 배타적 경쟁문화가 깔려 있었기 때문이었다.

그러나 하나의 하부시스템으로서의 재벌의 역할도 없지는 않았다. 우선 재벌들은 높은 위험이 내재하고, 대규모 투자가 요구되는 반도체 사업에 계열 반도체기업이 장기간 투자하는 것을 가능케 하였다. 이러한 재벌의 대규모 투자는 정부주도의 금융시스템과 재벌위주의 산업정책에 의해서 뒷받침되었다 (Kim, 1998). 뿐만 아니라 동일 재벌 내의 가전제품, CNC공작기계, 산업용로봇 등 반도체의 사용자 기업들이 일차적인 수요처가 되었고, 사용자 기업과의 공동제품개발도 이루어졌다. 예를 들어 삼성전자와 삼성중공업과의 공동기술개발이 그 대표적인 예이다. 삼성중공업은 기계제조업체로 양사는 CNC컨트롤러를 공동 개발하였는데, 그 결과 삼성전자는 CNC컨트롤러, PLC, 디지털 서보모터 등을 생산하게 되었으며, 산업용로봇 분야에서는 선도기업이 되었다.

---

35) Chang (1999)에 의하면, 이러한 발전과정은 대만의 경우와 대비되는 것으로 분석하고 있다. 즉 대만의 경우는 정부가 반도체 산업지구인 Hsinchu SBI Park를 조성하는 등 적극적인 역할을 한 반면에, 한국의 정부는 단지 전반적인 재벌정책을 통하여 반도체산업을 간접적으로 지원한 것으로 보고 있다.

#### 4.2.5 산학연 협동

4M DRAM 개발을 위한 VLSI 프로그램에는 서울대 반도체공동연구소, KAIST 등 8개 대학이 참여하였다. 참여대학의 연구진들은 학생들과의 협동연구를 통해 기초연구에 주력하는 역할을 담당하였다. 서울대 반도체공동연구소의 경우 4M DRAM 개발을 위한 VLSI 프로그램이 추진된 시기인 1987년, 1988년, 1989년에 각각 3건, 10건, 9건의 연구과제를 수행하였으며, 동기간에 전무하던 박사를 1명과 14명의 석사를 배출하였다. 1989년에는 공정교육생 154명, 설계교육생 91명을 배출하였다 (<http://www.isrc.snu.ac.kr>). KAIST는 일찍이 해외인력의 흡수 등을 통해 연구기반을 갖추고 있었으나, 대학 내에 반도체 관련 독립조직 없이 공동연구개발에 참여하였다. 그러다가 1995년에 반도체설계교육센터 (IDEC)를 설립하면서부터 비메모리분야의 설계인력 육성에 핵심적인 역할을 담당해 오고 있다. IDEC는 1997년에 부산대, 전남대, 광운대, 한양대 등에 지역센터를 개소하고 동시 원격강의 프로그램도 실시하고 있다.

#### 4.2.6 연계기관

VLSI 시스템의 연계기관은 과학기술처, ETRI, 반도체연구조합 등이었다. 과학기술처는 기술정책을 수행하는 주무부서로 산업계, 학계, 연구기관, 다른 정부기관 (정보통신부)간의 자원을 동원하고, 기관간의 연계를 계속 유지시켜주는 기능을 수행하였다. 이러한 기능을 수행함에 있어서 정부당국은 전문가적인 입장에서 각 기관들을 연계시켰다기보다는 대규모 R&D자금을 통해서 유인을 제공하는 데 그쳤다. 그러나 기업간 상호협력의 경험이 없을 뿐만 아니라 대학들이 변화에 유연하게 대응하지 못하는 실정에서, 과학기술처와 정보통신부에 의해 제공되는 대규모 자금의 제공 없이는 VLSI 프로그램은 성립되지 못했을 것이다.

ETRI는 정부출연연구기관으로 VLSI 프로그램의 총괄관리기관이었다. ETRI는 1978년부터 이미 반도체소자개발사업을 시작하였으며, 1980년대에 들어와서는 수입에 의존하던 반도체제조에 필수적인 마스크를 생산하여 전자산업을 지원한 바 있다. VLSI 프로그램과 관련하여서는 기초기술 및 기초연구를 담당하는 한편, 연구진척도를 점검하였으며 기업간 연구참여방법 및 연구결과를 관리하였다. 구체적으로 기업간 경쟁체제를 도입하여 연구성과에 따라서 연구비를 차등 지원하였으며, 중복투자를 방지하고 기업간 기술확산을 위하여 연구결과를 공유하도록 하였다. ETRI의 이러한 역할은 16D/64D DRAM의 개발프로그램으로도 이어졌다. 즉 반도체 3사와 서울대 반도체공동연구소 이외에도 장비 및 재료관련업체, 지역별 반도체관련대학, 그리고 화학연구소 등 신규로 참여하는 기관들을 연결하는 역할을 담당하였다. 반도체연구조합은 1986년에 결성된 이래로 공동연구에 참여하는 회원기업의 협력

을 유도하고, 정부와 업계의 관계를 조율하는 창구역할을 담당하였다. 그러나 기술개발은 주로 기업간 상호 경쟁과 협력에 의해서 이루어졌다는 점에서 반도체연구조합은 실질적이라기 보다는 형식적인 참여당사자로 보는 것이 더 타당하다. 반도체연구조합을 통한 재정지원은 정부의 직접지원에 따른 미국과의 무역마찰을 염두에 둔 것으로, 당시의 연구조합법에 의하면 연구조합은 산업기술향상금을 지원 받을 수 있으며, 장비구입 시 관세면제 등 세제상의 혜택을 받을 수 있었다.

## 5. 미국과 한국의 접근방법 평가

앞에서 우리는 첨단기술인 반도체 분야의 기술시스템으로서의 미국의 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램을 각각 분석하였다. SEMATECH는 전통적으로 산업에의 개입을 꺼려왔던 미국에서 정부가 직접 산업을 지원하는 드문 사례이지만, 이를 계기로 다른 첨단분야의 기술시스템들이 구축되고 있다.<sup>36)</sup> 한국은 경제발전 초기부터 다양한 산업지원정책 및 수단을 동원해 왔으나, 첨단기술에 대해서 정부가 적극적으로 지원하기 시작한 것은 VLSI 프로그램으로부터라고 할 수 있다. 이제 미국의 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램을 중심으로 기술시스템의 구축 및 첨단기술하부구조정책에 대한 접근방법의 유사점과 상이점을 비교 평가해 보고자 한다.

### 5.1 시스템의 창출과 진화

SEMATECH와 VLSI 프로그램의 창출은 모두 정부의 계획에 의해서 이루어졌다. 즉 정부가 기술시스템을 창출한 사례들이다. SEMATECH의 창출과 운영에는 산업계의 영향력이 크게 작용하였지만, 과연 정부의 재정지원이 없었더라면 이 시스템이 창출되었겠는가 라는 점에서 정부가 시스템의 창출자라고 볼 수 있겠다. 한국의 VLSI 프로그램을 작동시킨 동인도 기업, 대학, 연구소 등 경제주체간의 밀접한 상호관계 혹은 특정기업가의 기업가정신이 었기보다는 정부의 종자돈 (seed money)이었다. 그러나 그 이후의 시스템 진화과정은 다르다. 미국의 SEMATECH는 1997년 정부의 자금지원이 없이 시스템이 독립적으로 운영되면서 산업계 상호간의 네트워크가 시스템을 유지시키는 유인메커니즘이 된 것으로 볼 수 있다. 물론 인텔 등 선도적인 반도체 제조기업들의 역할도 무시할 수는 없겠지만, SEMATECH

---

36) 미국 정부가 지원하는 다른 기술시스템들로는 자동차, 디스플레이, 차세대전지 등이 있다.

회원기업간의 협력과 참여유인이 그 바탕이 되었다. 그리고 이러한 유인이 International SEMATECH에 와서는 국경의 제한 없이 확대되었다. 한국은 4M DRAM의 개발을 위한 VLSI 시스템이 16M/64M DRAM의 개발로 이어지고, 차세대반도체기술개발, 주문형반도체기술개발, 시스템 2001사업 등으로 이어지고 있기는 하나, 여전히 정부의 재정지원 하에 불연속적으로 운영되고 있다.

## 5.2 시스템의 신축성

SEMATECH는 VLSI 프로그램보다 신축적이며 안정적인 시스템이다. 먼저 신축성 면에서 SEMATECH는 중앙집권적인 하나의 조직으로서 하나의 기술전략을 수립하고, 수행하며, 더 나아가서 그것을 수정할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 SEMATECH는 당초의 목적과 연구분야를 상황변화에 맞게 수정하여 왔다. 이는 일부 회원사의 탈퇴를 가져 왔을 뿐만 아니라 시스템의 성과를 평가하기 어렵게 하나, 하나의 중요한 강점으로 지적되고 있다 (Grindley, *et al.*, 1996, p. 185). 반면에 한국의 VLSI 프로그램은 연구목표가 분명하게 정해져 있으나, 느슨한 시스템이다. 특히 SEMATECH에 상응하는 반도체연구조합은 형식적인 연계기관의 역할을 할 뿐 실질적인 조직이 아니다. 따라서 VLSI 시스템은 그 운영목표가 SEMATECH보다는 더 단기적이며,<sup>37)</sup> 공동연구의 목적이 고정되어 있다. 그러나 시스템의 성과가 명확하게 평가될 수는 있다.

## 5.3 네트워크

SEMATECH는 다양한 외부기관들이 참여하는 복잡한 네트워크이다. SEMATECH 시스템은 미국 및 해외의 반도체제조업체 반도체장비업체, SRC, 대학, 연구소, NIST 등 광범위한 활동주체 및 기관들이 참여하는 조직체이다. 특히 R&D 활동의 초점이 반도체제조업체 간의 수평적 협력에서 반도체장비업체와 반도체제조업체 (사용업체)간의 수직적 협력으로 전환될 정도로 사용자-공급자관계가 밀접하다. 활동주체 및 기관간의 연계, 그리고 하부구조간의 상호작용을 가능하게 하는 역할 (bridging institutions)은 SIA, SEMI/SEMATECH, SRC 등이 담당하였다. 이와 달리 한국의 VLSI 프로그램은 상대적으로 단순한 기술시스템이다. 물론 16M/64M DRAM, 차세대반도체개발사업, 그리고 주문형반도체 개발사업 등으로 시스템이 진화되면서 새로운 활동주체 및 기관들이 시스템 내로 들어오지

---

37) 그렇다고 SEMATECH가 장기적인 연구목표를 가지고 있다는 것은 아니다. 즉 SEMATECH는 기초연구보다는 장비업체를 위한 기술개발이라는 단기적 목적을 가지고 있었다. 따라서 이는 상대적인 평가이다.

만, 기본적으로 정부는 종자돈을 제공하고 ETRI 등 정부출연연구소가 연구과제의 수행을 관리하는 정도에 그친다. 연계기관으로서의 반도체연구조합도 소극적인 역할을 수행하는 데 그쳤다. 반도체장비업체들로 구성되었던 한국반도체장비협회가 한국반도체산업협회로 통합 흡수되면서 SEMATECH와 같은 공식적인 사용자-공급자간의 관계도 형성하지 못하였다. 특히 반도체 3사가 속해 있던 재벌은 공동연구시스템에 통합되기보다는 외부 시스템으로서 하나의 독립적이고 영향력 있는 시스템으로서 존재하여 기술시스템의 발전과정에서 장애요인으로 작용한 측면도 없지 않다.

#### 5.4 기술하부구조

SEMATECH 시스템과 VLSI 시스템은 모두 기초연구를 수행하고, 기반기술개발에 초점을 맞추고 있다. SEMATECH는 당초 목표인 차세대반도체제조기술의 개발보다도 기반기술 및 반도체장비기술의 개발에 집단적 노력을 기울이고 있다. VLSI 시스템도 직접적인 제품기술 및 단위공정기술의 개발은 물론 기초기술, 장비기술, 재료개발기술 등 기술하부구조의 구축을 목표로 하고 있다. 4M 및 16M/64M DRAM개발에서는 반도체 시제품의 개발을 목표로 삼았으나 공동연구의 수행과정에서 제품기술개발은 각 기업이 담당하였으며, 차세대 반도체개발사업에서는 제품개발은 공동연구와 관계없이 각 기업체에서 수행하고 선행기초기술개발, 차세대 리소그래피기술, 재료기술, 장비기술 등 기술하부구조의 구축을 목표로 삼았다. 한편 SEMATECH는 NTRS를 작성하여 지식의 집합체로서의 기술하부구조를 가시화한 반면에, 한국에서는 최근에 이러한 노력의 필요성이 지적되고 있는 정도이다.

#### 5.5 제도적 하부구조

SEMATECH 시스템과 VLSI 시스템은 공히 외관상 다양한 협력기관들로 구성된 제도적 하부구조를 갖추고 있다. 그러나 실질적 내용 면에서 상당한 차이를 보이고 있다. SEMATECH의 경우에는 SRC라는 반도체 특수적이면서도 전국적인 망을 가진 연구 및 인력훈련 전담기관을 비롯하여 NIST 등 기술표준화 관련 정부기관, 그리고 연구의 수월성을 보유한 일반대학 등이 SEMATECH가 창출되기 훨씬 이전부터 발전해 왔다. 그러나 VLSI 프로그램의 경우에는 KAIST가 1966년에 설립되었으나 반도체 분야에 대한 연구는 미진하였고, 서울대 반도체공동연구소도 프로그램이 착수된 후에야 공식적인 활동을 시작하였다. 시스템의 유지와 성패의 관건인 협력문화 면에서도 많은 차이를 보이고 있는데, 이는 양국의 가치체계의 차이에 기인하는 것으로 해석할 수 있다. SEMATECH의 경우에는 공식회의

나 연구발표 토론회에 의사결정권을 가진 경영진이 참여하여 기술개발과정을 조율하는 반면에, 한국의 VLSI 프로그램에서 기술교류회는 연구책임자와 임원진을 제외하고 순수연구인력만 참여하고 발표자료를 비공식화하는 방식으로 이루어졌다. 이는 연구책임자와 임원진을 배척시키면 연구인력이 자신이 속한 기업의 입장을 고려하게 되어 기술교류가 활발하게 이루어질 수 없다는 판단에서였다. 물론 이러한 방법이 연구자간의 개인적 혹은 비공식적 유대관계를 공고히 하여 기술확산에 기여하였다는 평가도 있으나 (배용호, 1995), 기본적으로 상호간의 불신이 있었기 때문에 여겨진다. 또 하나의 예로 대우가 16M DRAM 공동개발에 참여의사를 밝혔으나 대우는 축적된 기술이 없어 기존 반도체 3사와 기술격차가 심하다는 이유로 제외시켰는데 (김형국, 1991, p. 439), 이 역시 협력문화의 미흡에 기인한 것으로 볼 수 있다. 특히 SEMATECH의 평가위원회는 연구제안서를 제출하였으나 탈락한 기업 혹은 대학들과 기각된 제안서를 재검토하는 회의를 개최하고 있는데, 이는 피이드백이 미약한 한국의 문화와는 매우 대조적이다.<sup>38)</sup>

## 5.6 정부의 역할

앞에서 언급한 바와 같이, 양국 정부는 각각 SEMATECH와 VLSI 프로그램의 창출과 운영에 필요한 재정을 지원해 왔다. 미국의 연방정부는 SEMATECH가 1997년 재정독립을 하기 전 8년 동안 연간 예산의 절반을 지원하였으며, 한국정부도 4M DRAM을 비롯한 일련의 VLSI 프로그램에 재정을 지원해 오고 있다. 이러한 양국 정부의 기술시스템에 대한 재정 지원은 다음과 같은 점에서 합리화된다. 첫째, 정부가 재정적으로 지원한다는 사실 자체가 기업간 공동연구계획에 대한 신뢰도를 부여함으로써, 개별기업들이 공동연구에 참여하도록 하는 요인으로 작용하였다. 이는 정부가 기술하부구조정책을 수행함에 있어서 촉매제 역할을 담당할 것이라 할 수 있다. 둘째, 반도체기술에 대한 양국의 재정지원은 국가의 정책목표에 일치하였기 때문이다. 미국의 경우에 전통적인 기술분가접근방법 (technology spin-off)에서 민군겸용기술 (dual-use technology)의 개발로 정책초점이 바뀌는 과정에서 (Branscomb, 1993), 상업적으로는 물론 군사적으로 크게 활용이 예상되는 반도체에 대해 재정을 지원하는 것은 자연스러운 일이었다. 한국정부도 1970년대 중화학공업육성정책에 따른 중부투자 및 과잉공급으로 산업합리화를 위한 구조조정이 불가피한 상황에서 반도체산업을 전략산업으로 선정하고 (김형국, 1991, p. 433), 구체적인 방안으로 기업간 공동연구를 지

38) 한국의 경우에는 연구제안서가 기각될 때, 탈락된 측에서 평가과정을 요구해도 무시해 버리거나 또는 탈락된 측에서 평가결과를 전혀 인정하지 않아 거래가 일회에 그치는 경우가 대부분이다. SEMATECH처럼 공정성, 투명성, 그리고 신뢰감을 기하려는 태도 및 가치관이 공동연구나 협력이 한번에 그치지 않고 계속되게 하는 원동력이라고 본다.

원하게 된 것이다. 셋째, 기술시스템의 한 구성요소이자 집단적 활동의 결과인 기술하부구조의 공공재적 성격 때문에 정부의 재정지원이 요구되는 측면이다. SEMATECH의 경우 회원기업이든 비회원기업이든 공히 활용할 수 있는 핵심적인 산업기반기술을 창출하였으며, 한국의 VLSI 프로그램도 최소한 관련기업들은 공동으로 활용할 수 있는 기술을 생산하였다.

그러나 정부역할에 있어서의 문제점도 없지 않았다. SEMATECH의 경우에는 정부의 창구였던 국방부 산하 ARPA는 운영에 대해서 구체적으로 통제하는 일은 없었으나, 연구목표가 장기적이고 기초적인 연구에서 벗어나 장비개발로 이행되는 데 대하여 전격적으로 동의하지 않았다 (Katz and Ordovery, 1990). 또한 국방성 정책입안자와 SEMATECH 회원사들의 목표, 즉 군수-민수 겸용기술의 개발이 잘 조화를 이루지 못한 것으로 지적되고 있다 (Alic *et al.*, 1992). 예를 들어 1988년 ARPA는 정부자금지원을 지연시켰는데, 이는 SEMATECH는 상용칩의 개발을 강조한 반면, ARPA는 주문형 반도체와 X-레이 석판인쇄기술 등을 중시하였기 때문이었다. 결국 SEMATECH가 양보함으로써 이 문제가 해결되었다. 이러한 일련의 이유로 결국 SEMATECH는 1994년 11월에 1997 회계연도부터는 정부의 재정지원을 받지 않겠다는 발표를 하게 되었다. 한국의 경우에는 연구목표가 명확했기 때문에 미국과 같은 문제는 없었다. 다만 정부가 ETRI를 통하여 연구를 총괄하게 하는 과정에서 기술력이 가장 앞선 삼성과의 마찰이 일어나는 정도에 그쳤다.

## 6. 요약 및 정책시사점

본 논문에서는 Carlsson and Stankiewicz의 기술시스템과 Tassej의 지식으로서의 기술하부구조 개념을 활용한 모형을 설정하여, 미국의 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램을 각각 살펴보고 비교·평가하였다. 즉 기술시스템의 관점에서 SEMATECH와 VLSI 프로그램의 창출 및 진화, 시스템의 구성요소인 산업조직, 제도적 하부구조, 기술하부구조의 형성, 각 활동주체 및 기관간의 상호작용, 그리고 정부정책의 역할 등을 분석하고, 양 시스템에서의 유사점과 차이점을 도출하였다. 양 시스템간의 가장 핵심적인 차이점을 든다면, SEMATECH는 기술시스템의 구성요소인 산업조직, 기술하부구조, 그리고 제도적 하부구조 등의 형성 측면에서 볼 때 수익체증을 실현하는 하나의 네트워크로 진화되어 온 반면에, 한국의 VLSI시스템은 그렇지 못하다는 것이다. SEMATECH는 창출 이후 13여 년간 내부적으로는 회원기업이 탈퇴하고, 정부의 재정지원을 받지 않게 되는 어려움도 겪었으나, 해외기업에게 회원자격을 완전 개방하는 등 하나의 독립적인 기술시스템으로 진화하였다. 한국의 VLSI시스템은 단계별로 설정한 목표를 성공적으로 달성하는 성과를 거두어 오기는 하였으



나, 여전히 정부의 재정지원에 의존하여 불연속적으로 운영되고 있을 뿐만 아니라 기업간 협력 및 상호 작용하는 네트워크의 강도가 매우 낮은 상태에 있다. 그러나 반도체분야의 후발주자인 한국에 있어서 VLSI 시스템은 재벌시스템의 활용, 재외한국인 반도체전문가의 역할, 정부의 지속적 재정지원 등 고유의 전략적 및 효율적인 요인도 없지는 않았다.

지금까지의 분석을 토대로 첨단기술하부구조 혹은 기술시스템에 대한 정책방향 및 시사점을 도출해 낼 수 있다. 첫째, 양국의 경험은 공히 반도체와 같은 첨단분야에서 기술시스템이 창출되기 위해서는 정부의 촉매제적인 역할이 필수적이라는 것을 보여준다. 이는 기술하부구조가 가지는 공공재적인 특성에 기인하며, 정부가 특정 기술시스템 혹은 기술하부구조의 구축을 목표로 하고 있고, 아울러 다른 관련기업들도 공동으로 투자할 것이라는 기대를 형성시켜 주어야 기업간 협력과 조정이 착수된다는 것이다. 특히 첨단기술분야에 대해서는 정부가 기술시스템에 대한 '비전'을 제시하거나 최소한 신뢰성 있는 공식선언을 해야 하며, 이는 정부 재정지원의 크기에 관계없이 효과를 갖는다.

둘째, 일단 기술시스템이 창출되면, 정부정책의 초점이 단순히 시장실패를 보정하는 것에서 벗어나 시스템의 보강 내지는 시스템실패에 대한 처방에 두어져야 한다. 다시 말해서 개별프로그램에 대한 금융지원 혹은 조세지원보다는 시스템의 구성요소가 잘 형성될 뿐만 아니라 활동주체나 참여기관들간의 보다 빈번하고도 밀접한 접촉이 이루어질 수 있는 네트워크의 구축을 중시해야 한다. 정부는 시스템의 구성요소간 혹은 기관간의 연계기능을 수행하는 연계기관 (bridging institution)을 지원할 뿐만 아니라, 스스로도 그러한 기능을 수행해야 한다.

셋째, 잘 기능하는 기술시스템은 세 구성요소의 '동등한' 취급을 의미하지는 않는다. 다시 말해서 정부는 기술하부구조의 구축에 초점을 맞추어 제도적 하부구조와 산업조직을 형성시키는 관점을 견지해야 한다. 이는 지식으로서의 기술하부구조는 시스템 내의 다양한 제도 및 연계 속에 체화되며, 이러한 제도 및 연계에 의해서 생산된 지식은 원활하게 배분되어야 하기 때문이다. 이러한 의미에서 기술시스템의 구축 및 운영에 관한 정책을 기술하부구조정책이라고 할 수 있는 것이다. SEMATECH의 경우에는 NTRS라는 기술지침서를 발간하여 기술하부구조를 가시화 하였을 뿐만 아니라 이 지침서 자체가 기관 및 활동주체간의 교량역할을 수행하고 있다. 이 점은 전통적으로 기술하부구조나 대학보다는 산업 혹은 기업지원에 초점을 맞춰온 한국의 산업 및 기술정책에 대해서 시사하는 바가 크다고 하겠다.

넷째, 정책의 최종목표를 재정적으로도 독립할 수 있는 기술시스템의 운영에 맞추는 것이 바람직하다. 즉 시스템의 민영화과정이다. SEMATECH 경우에는 ARPA와의 마찰 등으로 인해 정부로부터 독립하였으나, 기본적으로는 민간기업간 기술협력의 필요성이 없었더라면 이는 불가능했을 것이다. 첨단분야의 기술은 Dosi (1988)가 언급한 바와 같이 상호 연관되

고 보완적인 지식으로 구성되어 있기 때문에 기본적으로 기술협력의 필요성은 존재한다. 특히 정보기술분야에서는 시스템의 구축 및 지속과 이로 인한 네트워크의 외부성을 향유하지 못하고는 기업의 생존이 어렵다는 점이 강조되고 있다 (Shapiro and Varian, 1999, pp. 13-17).

다섯째, 기술시스템이 다양하고도 적절한 기회의 창에 접근할 수 있도록 해야 한다. SEMATECH가 해외기업에게 완전한 회원권을 부여하여 Interantional SEMATECH로 진화하고 현대전자가 여기에 참여한 사례가 이를 말해 준다. 한국의 반도체 3사가 해외에서 교육받고 취업경험이 있는 전문인력을 활용하고 해외에 연구개발기지를 설립한 것도 기회의 창을 다양화시킨 예이다. 대만의 경우에는 국내에 과학단지를 조성하여 반도체 기술시스템을 구축하였다 (Chang, 1999). 이와 같이 국내적이든 국제적이든 특정 기술시스템에 적절한 기회를 포착하여 활용하는 노력이 요구된다.

마지막으로 SEMATECH와 한국의 VLSI 프로그램은 어떤 한 기술시스템이 장기적인 연구보다는 산업계에서 단기적으로 활용할 수 기술개발에 효과적이라는 주장을 뒷받침하는 사례들이다. 그러나 과연 첨단기술분야에서 순수하게 장기적인 연구 및 기초기술개발에 초점을 맞춘 기술시스템의 구축과 진화가 가능한지, 그리고 이러한 기술시스템이 정부의 재정지원 없이도 운영될 수 있는지에 대해서는 의문의 여지가 있다.

<기관 및 기술용어의 약어 (略語)>

ARPA Advanced Research Projects Agency  
ASIC Application Specific Integrated Circuit  
ATDF Advanced Tool Development Facility  
CAD Computer Aided Design  
CADTS Computer Aided Design and Test Science  
CIM Computer Integrated Manufacturing  
COO Cost of Ownership model  
CSR Cross-Disciplinary Research  
DNA Defence Nuclear Agency  
EIP Equipment Improvement Project  
ETRI Electronics and Telecommunications Research Institute  
GAO General Accounting Office  
HRN Human Resource Needs Projects  
IC Integrated Circuit  
ICSS Integrated Circuit and System Science  
IDEC Integrated Circuit Design Education Center  
I300I International 300mm Initiative  
JDP Joint Development Program  
KAIST Korea Advanced Institute of Science and Technology  
MPS Material and Process Science  
NIS Nanostructure and Interconnect Science  
NIST National Institute of Standards and Technology  
NSA National Security Agency  
NSF National Science Foundation  
NSMP National Semiconductor Metrology Program  
NTRS National Technology Roadmap for Semiconductors  
OMP Office of Microelectronics Program  
PFTQ Partnering for Total Quality  
SACCs Science Area Coordinating Committees  
SIA Semiconductor Industry Association  
SRC Semiconductor Research Corporation  
SRCEA Semiconductor Research Corporation Education Alliance  
TABs Thrust Technical Advisory Boards  
UEP Undergraduate Engineering Program  
VLSI Very Large Scale Integration

## 〈참 고 문 헌〉

- 김택권·문정인 (1995), 「미국의 기술개발 지원제도」, STEPI.
- 김형국 (1991), “반도체산업구조조정정책과 정부·민간기업관계의 재정립,” 강민외, 「국가와 공공정책」, 법문사, pp. 410-446.
- 배용호 (1995), 「한국 반도체산업의 기술흡수와 연구개발-삼성전자의 사례연구」, 서울대 박사학위논문.
- 배용호 (1997), “반도체산업의 기술혁신과 기술능력의 발전: DRAM을 중심으로,” 이근 외, 「한국산업의 기술능력과 경쟁력」, 서남한국경제연구 4, 경문사.
- 성태경 (1999), “기술하부구조 (TI)와 기술하부구조정책 (TIP): 그 개념 및 우리나라 중소기업부분에의 적용,” 「한국경제연구」, 제3권, pp. 153-181.
- 송위진 (1992), “미국 반도체산업의 새로운 실험,” 「과학기술정책동향」, 제2권, 제34호, STEPI.
- 송위진 (1995), 「반도체산업의 장기발전을 위한 기술혁신전략」, STEPI.
- 조현대 (1997), 「기술추격국의 기술획득과 전략적 제휴: 모형개발과 사례분석」, STEPI.
- 조현대 (2000), “기술역량의 네 가지 요소와 기술추격 주자의 기술역량 발전양상: 분석의 틀과 한국 반도체산업의 기술발전사례,” 「기술혁신연구」, 제8권, 제2호, pp. 171-202.
- 한국산업은행 (1990), “반도체,” 「한국의 산업(하권)」, 한국산업은행, pp. 7-58.
- 한국전자통신연구소 (1988), 「10년 자료집」, 한국전자통신연구소.
- 홍성범 (1995), 「기술혁신체제의 모형화와 기술진화: 한국의 DRAM 반도체 및 TDX 개발 사례」, 고려대학교 박사학위논문.
- 황혜란·신태영 (1999), 「한국 반도체/컴퓨터산업의 혁신체제의 진화과정 및 개선방안」, STEPI.
- Alic, J. A., L. M. Branscomb, H. Brooks, A. B. Carter, and G. L. Epstein (1992), *Beyond Spinoff: Military and Commercial Technologies in a Changing World*, Boston: Harvard Business School Press.
- Bozeman, B., A. Link, and A. Zardkoohi (1986), “An Economic Analysis of R&D Joint Ventures,” *Management and Decision Economics*, pp. 263-266.
- Branscomb, L.(ed.) (1993), *Empowering Technology: Implementing a U.S. Strategy*, Cambridge: MIT Press.
- Breschi, S. and F. Malerba (1995), “Sectoral Innovation Systems: Technological

- Regimes, Schumpeterian Dynamics and Spatial Boundaries," Paper Prepared for the Systems of Innovation Research Network Conference, Soderkoping, Sweden, 7-10 Sep.
- Burrows, P. (1992), "Bill Spencer Struggles to Reform SEMATECH," *Electronic Business*, 18 May, pp. 57-62.
- Byun Byung Moon and Ahn Byung Hoon (1989), "Growth of Korean Semiconductor Industry and Its Competitive Strategy in the World Market," *Technovation*, Vol. 9.
- Carlsson, B., (ed.) (1995), *Technological Systems and Economic Performance: The Case of Factory Automation*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Carlsson, B. (ed.) (1997), *Technological Systems and Industrial Dynamics*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Carlsson B. and R. Stankiewicz (1991), "On the Nature, Functions and Composition of Technological Systems," *Journal of Evolutionary Economics*, Vol. 1, No. 2, pp. 93-118.
- Chang, Se Myung (1999), *Institutions and Evolution of Capability: The Case of Technological Catching-up in Semiconductors*, Ph.D. Dissertation, Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio.
- Cooke, P., M. G. Uranga, and G. Etxebarria (1997), "Regional Innovation Systems: Industrial Organization Dimensions," *Research Policy*, Vol. 12, pp. 475-491.
- Dahmen, E. (1989), "Development Blocks in Industrial Economics," in B. Carlsson (ed.), *Industrial Dynamics*, Boston: Kluwer Academic Publishers, pp. 109-121.
- Dosi, G. *et al.* (1988), *Technological Change and Economic Theory*, London and New York: Pinter Publishers.
- The Economist (2000), "A Survey of the New Economy," 23 Sep., pp. 5-40.
- Edquist, C. (ed.) (1997), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, Washington: Pinter Publishers.
- Freeman, C. (1987), *Technology policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, London: Pinter Publishers.
- Granberg, A. (1995), "Mapping an Evolving Technology Cluster: The Composition and Structure of Factory Automation," in B. Carlsson (eds.), *op. cit.*, pp. 89-117.
- Grindley, P., D.C. Mowery, and B. Silverman (1994), "SEMATECH and Collabora-

- tive Research: Lessons for the Design of High-technology Consortia," *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 35, No. 4, pp. 723-758.
- Grindley, P., D.C. Mowery, and B. Silverman (1996), "The Design of High-technology Consortia: Lessons from SEMATECH," M. Teubal *et al.* (eds.), *op. cit.*, pp. 173-216.
- Imai, K.I. and A. Yamazaki (1992), "Dynamics of the Japanese Industrial System from a Schumpeterian Perspective," Paper Presented to the International J.A. Schumpeter Society, Kyoto, Japan, 19-22 August.
- Justman, M. and M. Teubal (1996), "Technological Infrastructure Policy(TIP): Creating Capabilities and Building Market," in M. Teubal *et al.* (eds.), *op. cit.*, pp. 1-58.
- Katz, M.L. and J. A. Ordover (1990), "R&D Cooperation and Competition," *Brookings Papers on Economic Activity*, pp. 137-203.
- Kim, Lin Su (1997), *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning*, Boston: Harvard Business School Press.
- Kim, S. Ran (1998), "The Korean System of Innovation and the Semiconductor Industry: A Governance Perspective," *Industrial and Corporation Change*, Vol. 7, No. 2, pp. 275-309.
- Lundvall, B. A. (1985), *User-Producer Interaction*, Aalborg: Aalborg University Press.
- Lundvall, B. A. (1988), "Innovation as an Interactive Process: From User-Supplier Interaction to the National System of Innovation," in G. Dosi *et al.* (eds.), *op. cit.*, pp. 349-369.
- Mowery, D. C. and N. Rosenberg (1989), *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Nelson, R.(1988), "Institutions Supporting Technical Change in the United States," in G. Dosi *et al.* (eds.), *op. cit.*
- Nelson, R. (1992), "National Innovation Systems: A Retrospective on a Study," *Industrial and Corporate Change*, Vol 1, No.2, pp. 351-364.
- Pasinetti, L. (1981), *Structural Change and Economic Growth: A Theoretical Essay on the Dynamics of the Wealth of Nations*, Cambridge: Cambridge University Press.

- Porter, M. E. (1990), *The Competitive Advantage of Nations*, New York: The Free Press.
- Porter, M. E. (1998), "Clusters and the New Economics of Competition," *Harvard Business Review*, Vol. 76, No. 6, pp. 77-90.
- Rice, V. (1989), "What's Right with America's IC Equipment Makers?," *Electronic Business*, 15 May, pp. 28-34.
- Romer P. (1993), "Implementing a National Technology Strategy with Self Organizing Industry Investment Board," *Brookings Papers: Microeconomics 2*, pp. 345-399.
- Saxneian, A.L. (1994), *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- SEMATECH (1988, 1992, 1999), *Annual Report*.
- Shapiro, C. and H. R. Varian (1999), *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*, Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- SRC(1988), *Annual Report*.
- Tassey, G. (1991), "The Functions of Technology Infrastructure in a Competitive Economy," *Research Policy*, Vol. 20, No. 4, pp. 345-361.
- Tassey, G. (1996), "Infrastructures and Economic Growth," M. Teubal *et al.*(eds.), *op. cit.*, pp. 59-86.
- Teece, D.J. (1986), "Profiting from Technological Innovation: Implication for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy," *Research Policy*, Vol. 15, pp. 285-305.
- Teubal, M., D. Foray, M. Justman, and E. Zuscovitch (eds.) (1996), *Technological Infrastructure Policy: An International Perspective*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- GAO (1989), *The SEMATECH Consortium's Start-up activities*, Washington, D. C.
- GAO (1992), *SEMATECH's Technological Progress and Proposed R&D Program*, Washington, D. C.