
DRAM 산업의 지식확산, 기술궤적과 산업 주도권의 이동: 특허인용 네트워크 분석과 신습페터주의 기술경제학*

윤 민 호**

목 차

- I. 서론
- II. 방법론
- III. 데이터
- IV. 네트워크 분석
- V. 인용비중 분석
- VI. 결론

* 이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 인문사회연구역량강화사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2010-330-B00093).

** 경북대학교 경제통상학부 전임강사

초록

이 논문에서는 지식확산 패턴, 기술궤적의 특성과 산업 주도권 이동에 초점을 맞춰서 디램(DRAM) 관련 특허의 인용 네트워크를 분석한다. 전반적으로 네트워크 분석의 결과는 기존 문헌들에서 발견된 디램 산업의 여러 특징들을 잘 포착하고 있으며 이는 신승페터주의 기술경제학의 방법론으로서 인용 네트워크 분석의 신뢰성을 보여주고 있다. 먼저 인용 네트워크의 시각화를 통해 세 개의 클러스터를 발견하였다. 클러스터1이 가장 먼저 형성되었고 클러스터2와 3이 뒤따라 형성되었다. 클러스터1은 제품혁신이 주가 되고 미국의 벤처 기업들에 의해 주도되었다. 클러스터2는 제품혁신과 공정혁신이 섞여 있으며 미국과 일본의 대기업에 의해 주도되었다. 클러스터3의 특허들은 대부분이 Micron과 한국, 대만기업들에 의해 출원된 공정 기술 관련 특허들이었다. 이와 같은 클러스터화 현상은 기술적인 단절 현상을 의미할 수 있고, 이것이 바로 Perez and Soete(1988)가 말한 기회의 창으로 작용해서 산업 주도권의 이동이 일어났다고 볼 수 있다. 주경로 분석의 결과 디램 특허 인용 네트워크의 주경로는 미국과 일본 기업에서 출발해서 대만의 국책 연구소인 ITRI를 거쳐서 여러 대만 기업들로 이어지는 것으로 나타났다. 이는 기존 문헌들의 발견과 일치한다. 하지만 주경로는 전체 네트워크의 일부분만을 대표하는 것으로 나타났고 이는 디램 기술 발전에 있어 단절 현상이 있었다는 점을 암시한다고 할 수 있다.

주제어

특허인용 네트워크, 신승페터주의 기술경제학, DRAM 산업, 기술궤적, 지식확산

I. 서론

본 연구에서는 특허 인용 네트워크 분석을 통해 DRAM 산업 지식확산, 기술 궤적의 특성과 산업 주도권의 변화 원인 등을 탐구하고자 한다. 특허 인용 네트워크 분석은 기술경영, 산업 공학 등에서 기술 예측과 분석 도구로서 많이 사용되어 왔다. 하지만 경제학에서 그 이용은 제한적이었다. 본 논문은 신슈페터주의 경제학의 주요 이슈들을 특허 네트워크 분석을 통해 본격적으로 탐구한다는 의미를 지니고 있다.

DRAM 산업은 짧은 시간에 다양한 차원에서 많은 변화를 겪어 왔기 때문에 기술경제학자들의 흥미를 끌어들였다. 이 논문에서는 그 중에서도 특히 기술변화와 그에 따른 산업 주도권의 변화에 초점을 맞춘다. DRAM 산업은 미국의 벤처 기업들에 의해 시작되었지만 본격적인 양산은 주로 1980년대 일본 전자기업들에 의해 이루어졌다. 하지만 1990년대 초에는 한국 대기업들이 진입하여 산업의 주도권¹⁾을 가져왔으며 뒤이어서 대만 기업들이 진입하여 상당부분 시장 점유율을 차지하고 있다.

산업의 주도권이 후발국으로 옮겨가는 현상에 대해서는 많은 논의들이 존재하는데 경제학자들에게 가장 잘 알려진 설명은 Vernon의 제품 생애 주기 이론이다.²⁾ 이 이론은 제품이 점차 표준화, 성숙화 되어감에 따라 생산지가 기술 개발, 소비자 접근성 등이 좋은 선발국에서 비용 우위를 앞세운 후발국으로 옮겨간다는 내용이다. 하지만 일본을 필두로 한국, 대만 등의 후발 공업국들이 성숙 산업이 아닌 첨단 산업에서도 선발국을 제치고 혁신자로 등장함에 따라 제품 생

1) 산업 주도권은 시장 점유율을 기준으로 한 시장 주도권, 기술능력을 기준으로 한 기술 주도권, 그리고 전략적 우위를 기준으로 한 전략 주도권 등으로 해석할 수 있다. 기본적으로 이 논문에서 산업 주도권은 시장 주도권이라고 할 수 있다. 실제 초기 20여 년간 DRAM의 시장 주도권은 급격히 변화하였는데 관련 데이터는 Kim and Lee(2003)를 참조할 수 있다. 본 논문의 결과와 Lee and Yoon(2010)의 분석 결과를 보면 시장 주도권과 기술 주도권은 비슷하게 변화하였다고 볼 수 있다. 하지만 특허로 출원되지 않는 암묵적인 지식 또한 DRAM 산업에서 대단히 중요하고 특허와 인용분석만으로 기업특수적인 기술능력을 평가하기 곤란한 측면은 존재한다. 마지막으로 적시에 대규모 투자가 필요한 DRAM 산업의 특수성을 감안 하려면 전략적인 주도권은 시장 주도권, 기술 주도권과 같이 움직인다고 볼 수 있다.

2) Vernon, R., "International Investment and International Trade in the Product Life Cycle", *Quarterly Journal of Economics*, Vol.80(1966), pp190-207.

에 주기 이론이 한계점을 노출하기 시작하였다. 따라서 특히 신습페터주의 기술 경제학의 관점에서 다양한 이론들이 등장하고 있다.

DRAM 산업에서 산업 주도권 이동의 문제에 대해서는 Kim and Lee의 연구³⁾가 있다. 이 논문은 낮은 누적성, 단선적인 기술발전 경로 등 기술체제의 특성 때문에 복합대기업(Large Diversified Firm)이 전문중소기업(Small Speicilized Firm)보다 유리하다고 주장한다. 따라서 미국의 중소기업으로부터 시작한 DRAM 산업이 한국과 일본의 대기업 중심으로 재편이 되었다는 것이다. 이 설명은 두 가지 한계를 가지고 있는데 첫 번째는 일본에서 한국으로의 산업 주도권 전환과 대만 중소기업들의 약진을 설명하지 못한다는 것이다. 일본과 한국의 DRAM 기업들은 같은 복합대기업들이었는데도 불구하고 일본 기업들이 장악한 DRAM 시장에 한국 기업들이 성공적으로 진입하였다. 그 이후 시장의 진입한 대만 기업들은 전문중소기업이었다.

Mathews는 첨단 장치산업의 특성에서 후발 기업들의 진입 성공 이유를 찾는다.⁴⁾ 장치산업의 특성상 TFT-LCD와 DRAM 산업은 주기적인 호황과 불황의 반복을 겪을 수밖에 없고 불황기는 쉽게 지식, 장비를 낮은 가격에 구할 수 있는 훌륭한 진입 기회를 제공한다는 것이다. 이 설명에 따르면 첨단 장치산업에서는 매 불황기마다 새로운 진입이 있어야 한다. 따라서 이 설명은 한국, 대만으로의 주도권 이동 이후 더 이상 주도권이 이동하지 않는다는 점을 설명할 수 없다는 약점을 가지고 있다고 할 수 있다.

DRAM 산업을 대상으로 하지는 않았지만 Perez and Soete의 기회의 창 이론은 기술 혁신이 활발한 산업에 있어서 후발기업의 진입과 산업 주도권 변화에 대해 또 다른 시각을 제공해 준다.⁵⁾ 이들에 따르면 새로운 기술적 패러다임이 등장할 때 모두가 초심자가 되기 때문에 후발기업에게 기회의 창이 열린다는 것

3) Kim, C. W. and K. Lee, "Innovation, Technological Regimes and Organizational Selection in Evolution of Industry: A 'History Friendly Model' of the DRAM Industry", *Industrial and Corporate Change*, Vol.12 No.5(2003), pp.1195-1221.

4) Mathews, J. A., "Strategy and the crystal cycle", *California Management Review*, Vol.47 No.2(2005), pp.6-32.

5) Perez, C. and Soete, L., "Catching up in technology: Entry barriers and windows of opportunity", in G. Dosi et al. eds, *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publisher, London and New York, 1988, pp.458-479.

이다. Lee, Lim and Song은 실제 TV 산업의 사례를 통해 기술적인 단절이 후발 기업에게 기회의 창이 될 수 있다는 점을 보였다.⁶⁾ 또한 Kim and Lee는 비교적 기술 혁신의 속도가 느린 철강 산업에서도 기술 발전의 단절이 있었고 이 시점이 일본, 한국 기업에게 기회의 창이 되었다는 점을 보였다.⁷⁾

이 논문에서는 Kim and Lee와 Mathews의 주장을 부정하지 않고 DRAM 산업에서 Perez and Soete가 말한 기회의 창이 후발 기업의 진입과 산업 주도권 변화에 있어 주요 원인 중 하나였음을 주장하려 한다. Kim and Lee와 Mathews는 DRAM 산업의 기술체제를 고정 불변의 것으로 보고 있다. 하지만 특허 인용 네트워크 분석 결과 DRAM 산업에서도 기술적 단절이 존재하였으며 그것이 후발 기업의 진입, 산업 주도권의 변화와 관계있음을 보일 수 있었다.

신순페터주의 기술경제학은 산업마다 기술 특성의 차이가 있고 그러한 차이가 경쟁 양상 차이의 원인이라고 주장한다. 이러한 산업별 기술 특성의 차이를 기술체제라는 개념으로 구체화하는데 기술체제란 기술기회, 기술의 전유성, 기술발전의 누적성, 지식 기반의 특성 등 기술적 특성들의 조합이다. 기술궤적은 Dosi가 고안한 개념으로 하나의 기술적 패러다임에서 기술 발전의 경로를 의미한다.⁸⁾ 산업마다 기술궤적의 양상, 그리고 기술궤적의 단절 정도가 다를 것으로 예측할 수 있는데 이를 기술체제의 한 구성요소로 생각할 수 있다. 네트워크 분석은 기존의 다른 방법으로는 관찰하기 힘든 기술궤적을 계량화하여 추적할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 기존의 다른 특허 네트워크 분석 논문과 비교를 통해 DRAM 산업의 기술궤적 그리고 기술체제의 특성을 다른 산업과 비교한다.

기술궤적(Technological Trajectory)이라는 개념은 Dosi가 고안한 후 기술경

6) Lee, K, C. Lim and W. Song, "Emerging Digital Technology as a Window of Opportunity and Technological Leapfrogging: Catch-up in Digital TV by Korean Firms", *International Journal of Technology Management*, vol.29 No.1-2(2005), pp.40-63.

7) Ki, J. and K. Lee, "Toward a Theory of Catch-up Cycle and Industrial Leadership: Case of the World Steel Industry", presented at Asia-Pacific Economics Association Conference held in Pusan, 2011.

8) Dosi, G., "Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change", *Research Policy*, Vol.22 No.2(1982), pp.102-103.

제학의 주요한 개념으로 사용되었다. 하지만 기술궤적을 정량적으로 측정하기는 어려웠었는데 Hummon and Doreian⁹⁾의 네트워크 분석 방법론을 Mina et al.,¹⁰⁾ Verspagen,¹¹⁾ Fontana et al.¹²⁾이 경제학에 도입하면서 특히 인용 데이터를 통한 기술궤적 추적이 가능하게 되었다.

Verspagen과 Fontana et al.이 특허 네트워크 분석을 통해 연구한 연료전지, LAN 장치와 DRAM 산업은 공통적으로 첨단 산업이지만 DRAM 산업은 이들 산업과는 다른 특성들을 가지고 있는 것으로 보인다. 본 연구가 기존 네트워크 분석 논문들과 차별화되는 지점은 단순히 기술의 발전 경로만 추적하는 것이 아니라 각 기업들의 기술경로상의 위치를 살펴봄으로써 후발국의 국제적, 국내적 지식확산의 경로를 살펴본다는 것이다. 또한 DRAM 산업은 주요 기업의 구성이 빠르게 변해 왔는데 특허 인용 네트워크 분석을 통해 그 과정과 원인을 살펴볼 수 있었다.

비시장적인 지식의 확산은 기술혁신에 있어 가장 중요한 요소 중 하나이며 신습페터주의 기술경제학은 지식확산의 원인과 양상에 대해 많은 연구를 축적하고 있다. 전통적인 신고전학과 모형에서도 비시장적인 지식확산을 찾아볼 수 있으나 주로 균일한(uniform) 지식확산만을 고려하고 있다는 한계가 있다. 신습페터주의 기술경제학은 지식확산의 다양한 양상과 제도와의 관계, 지리적 한계 등 다양한 측면에 관심을 가지고 있다. 특허 인용은 거의 유일한 지식확산의 자취로서 그 가치를 인정받고 있다.¹³⁾

9) Hummon, N. P. and P. Doreain, "Connectivity in a Citation Network: The Development of DNA Theory", *Social Networks*, Vol.11(1989), pp.39-63.

10) Mina, A., R. Ramlogan, G. Tampubolon and J.S. Metcalfe, "Mapping Evolutionary Trajectories: Applications to the Growth and Transformation of Medical Knowledge", *Research Policy*, Vol.36 No.5(2007), pp.789-806.

11) Verspagen, B., "Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: A Study on the History of Fuel Cell Research", *Advances in Complex Systems*, Vol.10 No.1(2007), pp93-115.

12) Fontana, R., A. Nuvolari and B. Verspagen, "Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: An Application to Data Communication Standards", *SPRU Electronic Working Paper Series*, No.166(2008).

13) Jaffe, A. B., M. Trajtenberg and M. S. Forgy, "Knowledge Spillovers and Patent Citations: Evidence form a Survey of Inventors," *American Economic Review*, Papers on Proceedings(2000), pp.215-218.

DRAM 산업의 특허 인용에 대해서는 Lee and Yoon¹⁴⁾이 기업 수준에서 분석을 행한 바 있다. 이 연구의 가장 특기할 만한 결과는 일본은 미국, 한국은 일본, 대만은 한국 기업의 특허를 인용하는 성향이 강하다는 것과 한국에 비해 대만이 기업 간 지식확산이 활발하다는 것이다. 하지만 이 연구는 네트워크 분석 기법을 쓰지 않고 단순 인용 수를 가지고 분석하였으므로 네트워크 분석을 통해 얻을 수 있는 네트워크 전체의 특성과 네트워크상에서의 기업의 위치 등을 파악할 수 없었다. 본 연구는 Lee and Yoon 연구의 연장선상에서 네트워크 분석을 통해 연구를 확장한다는 의미를 가지고 있다. 그 결과 Lee and Yoon 연구의 발견을 강화하는 여러 증거들을 발견하였는데 이는 특허 인용 네트워크 분석이 신습퓨터주의 기술경제학의 주요 이슈들을 다루는 데 훌륭한 도구가 될 수 있음을 보여주고 있다고 할 수 있다. 동시에 Lee and Yoon의 연구에서는 찾지 못했던 기술궤적의 단절 현상을 발견하였는데 이는 특허 인용 네트워크 분석이 기존의 연구 방법으로서 찾을 수 없었던 여러 기술경제학적 현상들을 찾을 수 있게 해 준다는 점을 보여준다고 할 수 있다.

본 연구에서 본격적으로 정책적 함의를 논의하지는 않으나 DRAM 산업은 한국의 대표 IT 산업으로서 이에 대한 연구가 한국에 많은 시사점을 준다고 할 수 있다. 특히 OLED나 태양광전지 등 DRAM과 비슷한 하이테크 장치산업들이 한국의 신성장 동력 산업이 될 가능성이 높다는 점에서 산업정책 수립에도 많은 함의를 가질 것으로 생각한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2절에서는 네트워크 분석이 생소한 독자를 위하여 방법론에 대해 간단한 개요를 설명한다. 3절에서는 데이터에 대해 설명을 하고 4절과 5절에서 네트워크 분석을 통해 DRAM 산업을 분석한다. 마지막으로 6절에서 분석 결과를 요약하고 그 함의를 논한다

14) Lee, K. and M. Yoon, "International, Intra-national, and Inter-firm Knowledge Diffusion and Technological Catch-up: The US, Japan, Korea, and Taiwan in the Memory Chip Industry", *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol.22 No.5(2010), pp.553-570.

II. 방법론

최근 사회과학에서 네트워크 분석은 통계학과 함께 강력한 실증분석 도구로 자리잡아서 인간 집단, 조직, 시장, 사회, 세계 체계 등을 분석하는 데 널리 사용되고 있다. 네트워크란 기술적으로 말하자면 그래프와 추가적인 정보로 이뤄진 것이다. 그래프는 점(vertex)과 점들을 잇는 선(방향이 없는 경우 edge, 방향이 있는 경우 arc라고 한다)들의 집합이고 여기에 점과 선들에 추가적인 정보를 부여하면 네트워크라고 부른다. 예를 들어 특허 인용 네트워크에서는 특허들이 점이고 인용 관계가 선이 된다. 인용 관계는 방향이 있기 때문에 arc라고 할 수 있다. 여기에 특허의 출원인, 등록(출원) 연도, 기술분류 등의 추가적인 정보들을 포함하기 때문에 특허정보 네트워크는 그래프가 아닌 네트워크가 된다.

네트워크 분석의 목적은 네트워크의 양상(pattern)을 찾아내고 해석하는 것이다. 네트워크 분석은 대상(여기서는 특허)의 개별적 특성보다는 전체 시스템의 모양에 관심을 가진다. 따라서 개별적 특성의 평균이나 상관관계보다는 전체 시스템이 어떻게 구성되어 있고 개별 대상이 네트워크상의 어느 부분에 위치해 있는지를 살펴본다. 다시 말해서 대상의 개별적 특성보다 다른 대상들과 어떤 관련을 맺고 있는지를 더 중요시 한다. 따라서 네트워크 분석은 통계적 기법이 찾아낼 수 없는 다양하고 복잡한 양상을 찾아낼 수 있다. 예를 들어 사회적 관계 속에서 중요 인물을 찾을 때 네트워크 전체를 분석하지 않고 단순 통계로 분석을 하게 되면 친구가 많은 사람만을 중요 인물로 생각하기 쉽다. 하지만 사회적 관계 네트워크에서 어떤 사람은 많은 친구를 가지고 있지만 서로 다른 집단들을 잇는 핵심적인 고리 역할을 할 수 있는데 네트워크를 시각화하여 보면 이러한 관계를 쉽게 찾아낼 수 있다.¹⁵⁾

15) 이 외에도 네트워크 분석은 기존의 방법론으로 찾아내지 못하는 다양한 사회적 관계들을 찾아낼 수 있다는 것이 장점이다. 하지만 네트워크 분석은 복잡한 대상을 그 분석 대상으로 하고 있기 때문에 분석 과정과 해석 과정에서 엄밀성이 떨어지고 자의성이 개입된다는 단점을 가지고 있다. 또한 네트워크 분석의 절차나 방식 또한 아직 상당히 자의적으로 행해지는 것이 사실이어서 과학적 방법론으로 완전히 자리잡았다고 보기는 힘들다. 때문에 엄밀한 통계학적 방법론을 통해 네트워크 분석의 결과를 해석하는 등의 방법론적인 노력들이 행해지고 있다. 이 논문에서는 최대한 다양한 방법을 동원하여 네트워크 분석을 행함으로써 일관성을 확보하고자 하였다.

본 연구에서는 먼저 특허 인용 네트워크를 시각화하여 전체적인 네트워크의 양상을 찾아보고 주경로분석과 인용 비중 분석(citation network analysis)을 통하여 더 자세한 분석을 시도할 것이다.

가장 기본적인 네트워크 분석 방법은 시각화를 통한 패턴 인식이다. 특허 인용 네트워크처럼 점들이 절대적 위치를 갖지 않는 경우 평면상에 (3차원 그래프의 경우 공간상에) 어떻게 점들을 배치할 것인가가 문제가 된다. 이 논문에서는 대규모 그래프를 그리는 데 가장 많이 사용하는 force-based algorithm을 통해 그래프를 시각화하였다. force-based algorithm은 선의 길이, 점의 분포를 균일하게 유지하는 데 좋기 때문에 직관적으로나 미적으로 가장 훌륭한 그래프 그리는 방법으로 알려져 있다.

지면 관계상 여기서는 force-based algorithm의 기초적인 아이디어만을 설명하도록 하겠다. 가장 직관적인 force-based algorithm의 방법으로는 각각의 선에 스프링과 같은 당기는 힘을 할당하고, 각각의 점을 전하(electrically charged particle)로 취급하여 점 사이에 척력을 할당하는 것이 있다. 이 상태에서 전체 그래프를 하나의 물리 시스템처럼 취급하여 시뮬레이션을 하게 되면 연결되지 않은 점들은 서로 밀어내고, 연결된 점들은 서로 당기게 된다. 따라서 점차 많이 연결된 점들끼리는 가까이 모이게 되고, 전체적으로 점들이 고르게 평면 위에 분포하게 된다. 이와 같은 과정을 반복하여 최종적으로 더 이상 움직이지 않는 균형 상태를 얻게 되면 그 상태를 그래프로 그리게 된다.

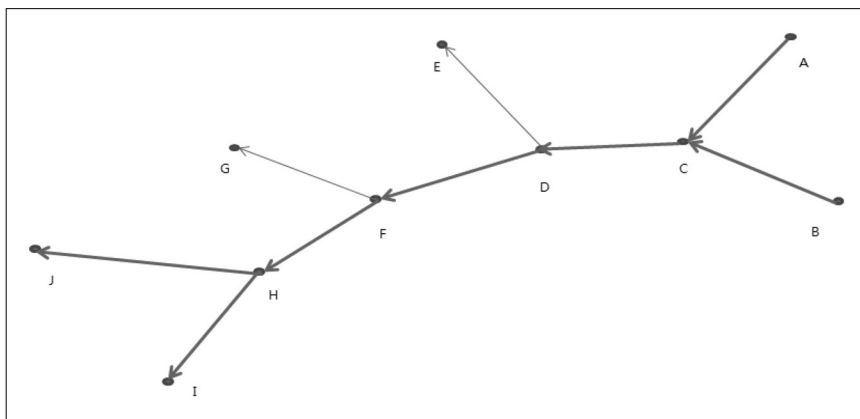
실제로 그래프를 그릴 때에는 어떤 힘을 고려하느냐, 어떻게 가중치를 부여하느냐, 어떤 방식으로 균형 상태를 접근시킬 것이냐 등에 따라서 다양한 방법이 존재할 수 있다. 현재 가장 널리 이용되는 force-based algorithm은 Fruchterman and Reingold와 Kamada and Kawai가 고안한 방법인데 보다 엄밀한 알고리즘의 내용은 지면의 한계상 생략하기로 한다.¹⁶⁾ 본 연구에서는 두 가지 방식을 모두 사용하여서 결과의 일관성을 확인하도록 하였다.

16) Kamada, T. and S. Kawai, "An Algorithm for drawing general undirected graphs," *Information Processing Letters*, Vol.31(1989), pp.7-15; Fruchterman, T. M. J., E. M. Reingold, "Graph Drawing by Force-Directed Placement", *Software- Practice and Experience*, Vol.21 No.11(1991), pp.1129-1164.

인용 네트워크는 시간에 따라 비가역적(irreversible)으로 형성된다는 점에서 다른 네트워크와 차별화된다. 예를 들어 시간적으로 A가 B보다 앞선다면 B가 A를 인용할 수는 있지만 A가 B를 인용할 수는 없다. 또한 B가 A를 인용하였다는 사실은 영원히 변하지 않기 때문에 새로운 구성요소가 추가될 수는 있어도 이미 존재하던 네트워크의 구성요소가 변화하는 일은 없다. 이와 같은 특징 때문에 인용 네트워크는 비주기적(acyclic)이다.¹⁷⁾ 다시 말해서 특허 A에서 나간 화살표는 다시는 A로 돌아오지 않는다. 또한 특허가 자기 자신을 인용하는 경우도 없기 때문에 루프(loop)가 없는 네트워크이기도 하다. 이러한 인용 네트워크의 특성에 맞게 특수하게 고안된 분석 기법이 인용 비중(citation weight) 분석과 주경로(main path) 분석이다.

본 연구에서는 Hummon and Doreian이 제시한 방법론을 통해 네트워크의 주요 경로를 찾을 예정이다. 이 방법은 대규모 네트워크에서 주요 경로를 찾고 시각화한다는 점에서 매우 유용하다고 할 수 있다. 자세한 방법은 Hummon and Doreian의 논문을 참조하고 여기서는 기본적 개념만 설명하도록 하겠다. <그림 1>에서 점은 특허, 선은 인용, 선의 방향은 인용 방향(화살표가 향하고 있

<그림 1> 예제 네트워크



자료: Verspagen(2005)에서 인용

17) 예외로 만약 forthcoming 상태의 문서를 인용할 수 있다면 인용 네트워크가 주기적(cyclic)이 될 수도 있다.

는 점이 인용을 한 특허)을 뜻한다. <그림 1>에서는 굵은 선이 바로 주요 경로를 나타내고 있다. 시작점인 A나 B에서 D까지는 한 가지 경로밖에 없다. 하지만 D에서는 E로 갈 수도 있고, F로 갈 수도 있다. 그런데 이 때 E로 가게 되면 단 하나의 특허밖에 연결을 못하지만 F로 가면 훨씬 많은 수의 특허를 연결할 수 있다. 이렇게 되면 E로 가는 선이 아니라 F로 가는 선을 주요 경로로 판별하게 되는 것이다.

인용 비중의 개념을 설명하기 위해서는 먼저 소개해야 할 개념들이 두 가지 있다. 앞에서 말했듯 인용 네트워크의 선에는 방향성이 있는데 선이 나가기만 하고 들어오지 않는 점을 source라고 하고, 선이 들어오기만 하고 나가지 않는 점을 sink라고 한다. 이 때 한 선(arc) 혹은 점의 인용 비중은 source부터 sink로 가는 모든 경로 중에서 이 선 혹은 점을 지나는 경로들의 비율이다. 따라서 인용 비중이 높은 선 혹은 점은 지식의 흐름을 잇는 매우 중요한 위치에 있다고 할 수 있다.

본고에서는 네트워크 분석 툴로서 현재 사회과학에서 가장 널리 사용되는 Pajek 1.27을 사용하였다. Pajek은 네트워크 분석에 필요한 대부분의 지수들을 계산할 수 있으며, 인용 분석 툴도 강력하다. 하지만 Pajek이 가장 널리 사용되는 이유는 네트워크의 시각화에 가장 유리한 프로그램이기 때문이다.

Ⅲ. 데이터

이 논문에서 사용한 데이터는 1976년부터 1997년까지 미국 특허청(USPTO)에 등록된 특허들 중 제목이나 요약문에 “DRAM”이라는 단어가 들어가는 특허들로 이루어져 있다. 이 방식은 Lee and Yoon의 반도체 산업 연구와 동일하기 때문에 분석 결과를 비교할 수 있다. 특허의 추출은 USPTO 사이트를 이용하였다. 비교적 초기의 특허들을 대상으로 한 것은 이 논문의 초점이 DRAM 산업의 주도권 이동에 있기 때문이다.¹⁸⁾

18) 최근 DRAM 산업에서도 흥미로운 현상들이 많이 관찰되는데 이 논문에서는 1997년 이전의 주도권 변화에 초점을 맞추고 있기 때문에 분석 대상을 1997년 이전으로 한정하였다. 이후의 인용분석은 다른 주제이므로 다른 분석 방법이 필요할 것으로 보고 후속 연구과제로 남겨두었다.

이 연구는 특허 번호 외에 인용, 출원인, 기술분류 등 다양한 특허정보들을 필요로 한다. 하지만 USPTO 웹사이트에서 이를 추출하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 Hall and Jaffe가 구축한 NBER patent citation data를 USPTO에서 추출한 데이터와 연결해서 사용하였다. NBER patent citation data는 특허를 통해 기술 혁신을 연구하는 학자들에게 필요한 대부분의 정보를 쉽게 이용 가능한 형태로 제공하고 있다.

〈표 1〉은 추출한 특허들의 연도별 특허 수를 나타내고 있다. 최초의 특허는 1976년에 등록되었고 특허 수가 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히 특허 수가 1980년대 말에서 1990년대 초에 급격히 증가하고 있다. 실제 최초의 현대적 DRAM은 1970년대에 개발되었지만 수요가 본격적으로 확대되고 현대적인 양산이 시작된 것은 1980년대 말이라는 점에서 연도별 특허 수가 역사를 잘 반영하고 있다고 할 수 있다.

〈표 2〉는 주요 기업의 특허 수를 나타내고 있다. 주요 DRAM 생산 기업들이 모두 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 1997년까지의 특허만 반영했기 때문에 한국, 대만 기업들의 특허 수가 상대적으로 작다. 대만 같은 경우 기업보다 ITRI(대만의 국책 연구소)의 특허 수가 많은 것이 특징적이다. 이는 대만의 초기 DRAM 개발에 있어 ITRI가 핵심적인 역할을 했기 때문이다.¹⁹⁾

〈표 1〉 연도별 특허 수

연도	특허 수	연도	특허 수
1976	1	1991	86
1984	2	1992	85
1985	3	1993	141
1986	4	1994	175
1987	27	1995	184
1988	27	1996	194
1989	39	1997	279
1990	64		

19) Lee and Yoon, 앞의 논문.

〈표 2〉 주요 기업과 특허 수

기업명	특허 수	기업명	특허 수
Micron	158	Motorola	26
Mitsubishi	130	Fujitsu	24
IBM	104	Matsushita	21
Texas Instrument	85	Sharp	21
Toshiba	62	Mosaid	19
Hitachi	50	Intel	15
Samsung	50	Sony	14
ITRI	40	TSMC	12
NEC	33	AMD	11
UMC	33	Oki	11
Hyundai	32	Siemens	10
Vanguard	29	VLSI	10
LG	26	ETRI	7
기타	278	합계	1,311

〈표 3〉은 미국 특허분류 기준에 따라 기술 분류별로 특허가 얼마나 분포하는지를 나타내고 있다. 대부분의 특허들은 특허분류 257, 365, 438, 711에 속해있

〈표 3〉 주요 특허 클래스

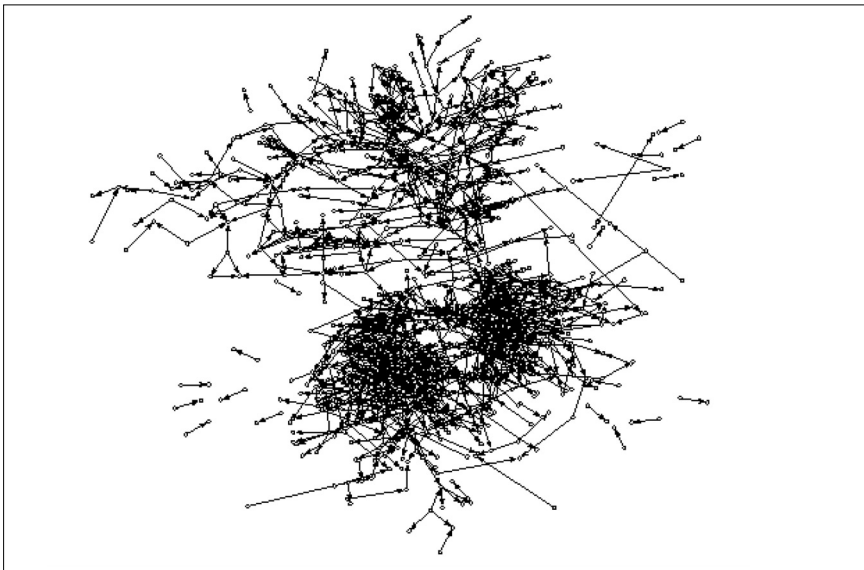
번호	이름	특허 수
257	ACTIVE SOLID-STATE DEVICES	201
365	STATIC INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL	583
438	SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING: PROCESS	370
711	ELECTRICAL COMPUTERS AND DIGITAL PROCESSING SYSTEMS: MEMORY	113
기타		44
합계		1311

다는 것을 알 수 있다.

Ⅳ. 네트워크 분석

〈그림 2〉는 전체 인용 네트워크를 시각화하고 있다. 점은 특허, 선은 인용의 방향을 의미한다. 선의 도착점에 있는 특허가 선의 출발점에 있는 특허를 인용하고 있는 것이다. 다르게 해석하자면 지식이 선의 출발점에서 도착점으로 흘러갔다고 할 수 있다. 직관적으로 이 그림에서 세 개의 클러스터를 발견할 수 있다.²⁰⁾ 편의상 상단의 클러스터를 클러스터1, 우하단을 클러스터2, 좌하단을 클러스터3이라고 부르기로 하자. DRAM 산업의 기술궤적과 산업구조의 진화를 살펴보기 위해 클러스터별로 어떤 기업들이 많은지, 어떤 기술 분류가 많은지,

〈그림 2〉 전체 인용 네트워크

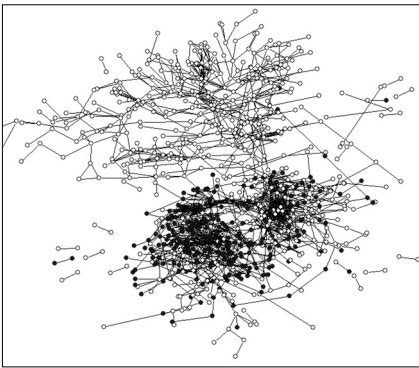


20) Kamada-Kawai와 Fruchterman Reingold, 두 가지 방법으로 그림 그리기를 반복적으로 시행한 결과 안정적으로 세 개의 클러스터를 관찰할 수 있었다.

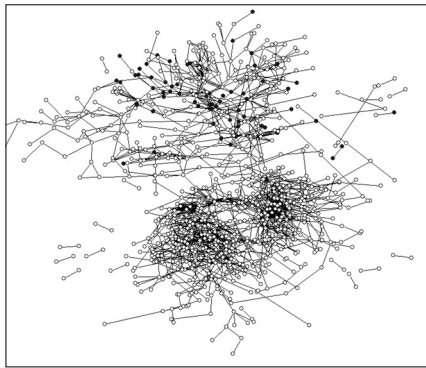
연도별로 어떻게 형성되었는지를 살펴보았다. 클러스터의 특성을 파악하기 위해 많은 그림을 그렸는데 지면 제약상 몇 개의 예만 보이도록 하겠다.

〈그림 3〉은 특허분류 438번의 특허들만 검은색으로 표시한 것이다. 이 그림을 통해 클러스터1에는 특허분류 438이 전혀 없으며 특허분류 438을 가장 많이 포함하고 있는 클러스터는 클러스터3임을 알 수 있다. 〈그림 4〉는 특허분류 711번 특허들을 네트워크상에 표시한 것이다. 특허분류 438번과는 달리 클러스터1에 집중적으로 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 특허분류 438은 가장 공정기술과 밀접하게 관련이 되어 있고, 특허분류 711은 설계기술과 가장 밀접하게 관련되어 있으므로 클러스터1은 설계기술, 클러스터3은 공정기술에 더 많이 관련되어 있다고 할 수 있다.

〈그림 3〉 특허분류 438

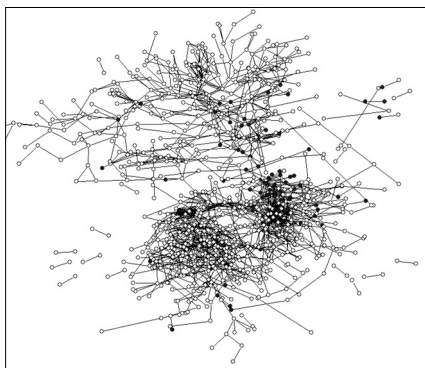


〈그림 4〉 특허분류 711

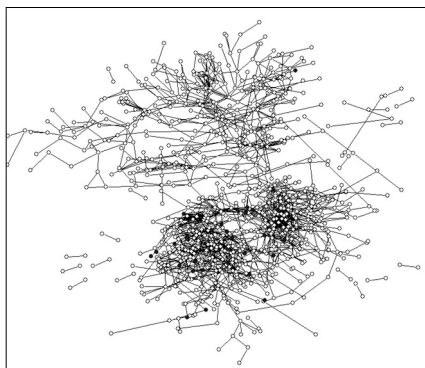


이번에는 IBM의 특허들만 검은색으로 표시해 보았다〈그림 5〉. 이 그림을 보면 IBM은 클러스터3에는 거의 특허가 없는 반면 클러스터2에서 핵심적인 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 〈그림 6〉을 보면 대만의 국가 연구소인 ITRI (Industrial Technology Research Institute)는 IBM과는 달리 주로 클러스터3에 많은 특허를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

〈그림 5〉 IBM의 특허



〈그림 6〉 ITRI의 특허

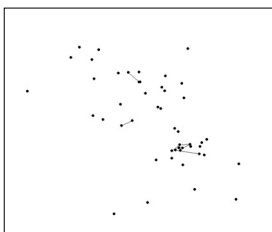


〈그림 7〉은 시간이 감에 따라 네트워크가 어떻게 변화하고 있는지를 보여주고 있다. 예를 들어 (a)는 1983년까지 나온 특허들만 표시하고 있는데 이 때까지는 주로 클러스터1에만 특허들이 존재한다는 것을 알 수 있다. (b)는 1986년까지 나온 특허들만 표시하고 있다. 클러스터1과 클러스터2가 본격적으로 형성되고 있다는 사실을 확인할 수 있다. 1989년이 되면 클러스터1과 클러스터2는 뚜렷하게 관찰되는데 반해 클러스터3은 산발적으로 형성되기 시작한다. 1992년이 되면 비로소 클러스터 1, 2, 3이 모두 확연하게 관찰이 된다. 따라서 우리는 시간이 흐름에 따라 클러스터 1, 2, 3의 순으로 형성이 되었다고 결론을 내릴 수 있다.

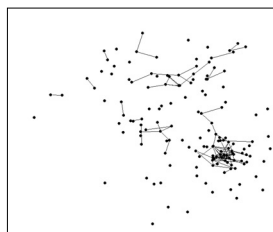
〈그림 7〉 인용 네트워크의 변화



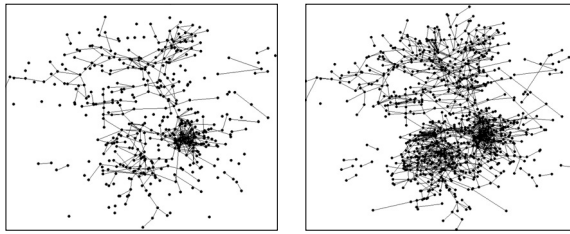
(a) 1983년까지의 인용 네트워크



(b) 1986년까지의 인용 네트워크



(c) 1989년까지의 인용 네트워크



(d) 1992년까지의 인용 네트워크

(e) 1995년까지의 인용 네트워크

이와 같은 방식으로 그림을 그려서 분석한 결과가 <표 4>에 요약되어 있다. 클러스터1은 가장 오래 되었고 90년대로 들어오면서는 활동이 덜 활발한 클러스터로서 최초에 DRAM의 개념을 정립한 미국 기업들과 마이크론, 미쯔비시, 삼성 등 기술력 최상위 기업들이 주로 분포해 있었다. 또한 특허분류상으로 봤을 때 주로 설계 기술이라고 할 수 있다.

<표 4> 각 클러스터의 특징

클러스터	주요기업	특허분류	특징
1	IBM, INTEL, MOSAID, MICRON, RAMBUS, 삼성, SUN, 미쯔비시	365, 711	설계기술 중심 선발 기업 중심
2	TI, IBM, MICRON, 삼성, SIEMENS, NEC, 히타치	257, 438, 365	설계, 공정기술 공존 선발 양산업체 중심
3	Micron, 삼성, 현대, ITRI, LG, UMC, TSMC, Vanguard, 미쯔비시	438이 압도적	공정기술 중심 양산업체 중심

클러스터2는 TI(Texas Instrument), IBM, Micron, 삼성, NEC, 히타치 등 선발 양산업체들이 중심이었고 연도로는 클러스터1과 클러스터3의 중간 정도였다. 특허분류로 보자면 설계, 공정기술이 공존하고 있었다. 마지막으로 클러스터3은 가장 최근에 활발한 클러스터이다. 미국의 대표적 디램 업체가 된 마이크론과 한국, 대만의 후발업체 및 국가 연구기관이 중심이고 거의 공정기술 위주였다.

이상과 같은 결과를 통해 DRAM 산업의 기술체제는 고정불변이 아니며 동적

으로 변화하였다는 점을 발견할 수 있다.²¹⁾ 최초에는 설계 기술 중심의 특허 클러스터가 형성되었지만 곧 설계, 공정기술이 공존하는 상당히 독립적인 새로운 클러스터가 형성되었다. 이 시기는 DRAM 산업의 기술체제가 변화함과 동시에 과거로부터 상당부분 단절되는 시기라고 할 수 있다. 따라서 대규모 양산 능력을 갖춘 기업들이 이 시기에 등장하게 되었다. 시간이 흐름에 따라 디램 기술 혁신은 점차 공정혁신 중심으로 바뀌었으며 역시 과거로부터 상당부분 단절된 클러스터3이 형성되었으며 이 시기에 많은 한국, 대만 기업들이 진입하였다. 이 과정에서 Micron이나 삼성과 같이 계속 살아남은 기업들도 있으나 상당수 기업들은 경쟁에서 배제되기 시작하였다.

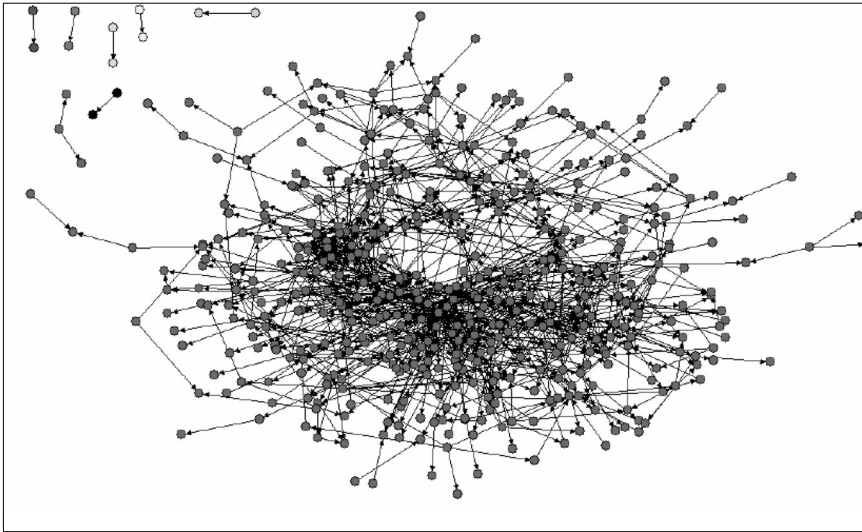
이와 같은 발견은 Perez and Soete가 말하는 기회의 창이 DRAM 산업의 기술발전 과정에서 발생했으며 이 틈이 일본, 한국, 대만 기업이 진입할 수 있는 기회가 되었다는 점을 시사한다. 하지만 Kim and Lee의 조직 차이에 의한 설명, 그리고 Mathews의 산업 경기 순환에 의한 설명이 잘못되었다는 사실을 의미하지는 않는다. 그보다는 이들 설명을 조합하게 되면 각 설명의 약점을 보완하고 좀 더 자세한 설명을 할 수 있다고 할 수 있다. 예를 들어 클러스터1에서 클러스터2로 기술적 패러다임이 바뀔 때 기술체제 또한 바뀌었기 때문에 주로 전문 중소기업 위주였던 산업이 복합 대기업 위주로 재편되었다는 설명을 할 수 있을 것이다.

이와 같은 클러스터링 현상은 Fontana et al.이 다룬 LAN 장치, Verspagen이 다룬 연료전지에서는 발견되지 않는 것으로서 하이테크 장치산업으로서 DRAM 산업의 특징이라고 할 수 있을 것이다. 예를 들어 <그림 8>은 LAN 장치

21) 기술의 구성이 점차 설계에서 공정으로 옮겨 갔다는 것은 단지 가치사슬상에서 상류 부분보다는 하류 부문에서 특허가 많이 출원되었다는 사실을 의미할 수도 있다. 하지만 Monteverde(1995), Macher (2005)에 따르면 DRAM의 경우 설계와 공정이 분리되기 매우 어렵다. 이 둘 간은 가치사슬상에서 상하 관계라기보다는 밀접한 dialogue를 통해서 DRAM의 구조와 공정을 동시에 개발하는 관계다. 따라서 모든 DRAM 회사들은 설계와 공정을 모두 행하지만 수직적으로 분리된 형태를 띄고 있지 않다. 그런데 논문의 분석 결과를 보면 점차 설계보다는 공정의 역할을 중요해지고 있는 것으로 보이는데 여기서 중요한 것은 이와 같은 변화 과정이 단순히 특허 수의 변화가 아니라 특허 네트워크상에서 연속적이 아닌 단속적인 형태로 관찰된다는 것이다. 따라서 물론 이러한 해석은 말씀하신 대로 기술의 내용을 좀 더 자세하게 들여다봐야 완전히 증명될 것이다. 이는 후속연구의 과제로 남겨두고자 한다. 이 논점은 익명의 심사자가 지적해 주었다.

기술의 특허 인용 네트워크를 나타내고 있는데 단일한 중심부와 주변부로 구성되어 있음을 알 수 있다. 다른 산업과의 비교는 다음 절에서 좀 더 자세하게 다룰 것이다.

〈그림 8〉 LAN 장치 기술의 특허 인용 네트워크



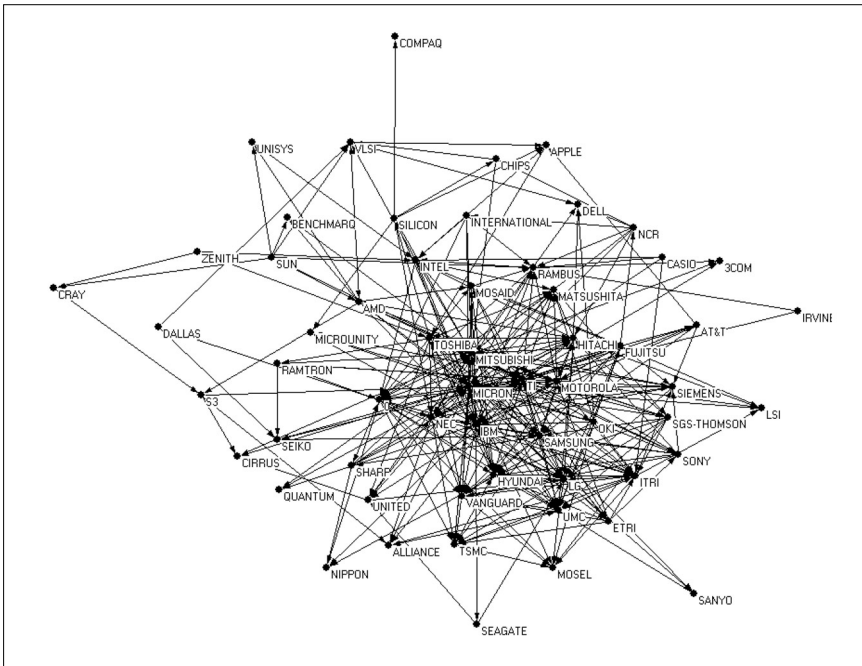
자료 : Fontana et al.(2008)

〈그림 9〉는 기업 간 인용 네트워크를 나타내고 있다. 이 그림은 인용 수에 상관 없이 인용이 있었던 기업 간은 모두 연결해서 그린 것이다.²²⁾ 네트워크 규모가 너무 커서 쉽게 알아볼 수 없으므로 연결된 선의 개수가 3보다 작은 기업들은 제외하고 그림을 그렸다. 그림을 보면 Micron, Mitsubishi, Texas Instrument(TI), IBM 등의 선발국 기업들이 인용 네트워크의 중심 부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 좌상방에는 SUN, AMD, VLSI, APPLE 등의 미국 기업들이 위치하고 있다. 한국 기업들은 핵심지역 바로 옆에 위치하고 그 외곽을 ITRI, UMC, TSMC, Vanguard 등의 대만 기업들이 차지하고 있는 것을 알 수

22) 인용 수와 상관 없이 기업 간 네트워크를 그렸으므로 연결된 수가 많다는 것이 더 인용을 많이 받았다거나 인용을 많이 했다는 것을 의미하지는 않는다.

있다. 이와 같은 구조는 클러스터 1, 2, 3으로 이어지는 특허 인용 네트워크의 특징과도 일치한다. 또한 특허 수에서는 대만 기업들이 한국 기업들보다 비슷하거나 오히려 많지만 인용 네트워크에서의 분포를 보면 한국 기업들이 더 핵심적인 위치에 위치하고 있다는 점이 흥미롭다. Lee and Yoon은 보다 최신 기술을 흡수하기 위해, 혹은 보다 학습하기 쉬운 기술을 흡수하기 위해 후발 기업이 가장 앞선 선발 기업의 특허보다는 바로 앞에 있는 선발 기업의 특허를 많이 인용한다는 점을 보였다. 따라서 한국은 일본, 대만은 한국 기업의 특허를 인용하는 성향이 강하다는 것이다. 이러한 결과는 본 인용 네트워크 분석 결과와 일맥상통한다고 할 수 있다.

〈그림 9〉 기업 간 인용 네트워크



이상의 논의를 종합하자면 특허 인용 네트워크 분석은 산업의 역사를 잘 반영하고 있고, 기존 문헌에서 발견되었던 특허 인용의 특징을 포착하는 한 편, 기

존 연구 방법론으로 파악할 수 없었던 기술적 단절 현상을 보여주고 있다고 할 수 있다. 5절에서는 인용비중 분석을 통해 좀 더 구체적으로 이러한 점을 확인하고자 한다.

V. 인용비중 분석

〈그림 10〉은 Pajek의 자동 주경로 분석 기능을 이용하여 찾은 전체 특허 인용 네트워크의 주경로이다.²³⁾ 주경로는 1990년 후지츠의 특허에서 시작하여 마이크로논의 특허들을 거쳐서 ITRI의 핵심 특허로부터 UMC, Vanguard, TSMC 등의 대만 업체들로 이어지고 있음을 알 수 있다. 이러한 발견은 ITRI가 대만 DRAM 산업의 태동기에 핵심적인 역할을 하였다는 Lee and Yoon의 발견과 일치하는 것이다. ITRI는 단순히 기술개발을 보조하는 역할을 한 것이 아니라 인력을 양성하고, 많은 반도체 업체들을 분사하였기 때문에 특허 인용에서도 그러한 성격이 발견되고 있는 것이다.²⁴⁾ 대만은 ITRI와 여타 업체들 간의 인용이 활발할 뿐 아니라 기업 간의 인용도 매우 많다.²⁵⁾ 다른 선발 업체들 간의 인용을 제치고 대만 업체들 중심의 주경로가 탐색된 것은 대만 업체들 간의 지식확산이 활발하기 때문에 네트워크 군집도도 높아졌기 때문이라고 보여진다.

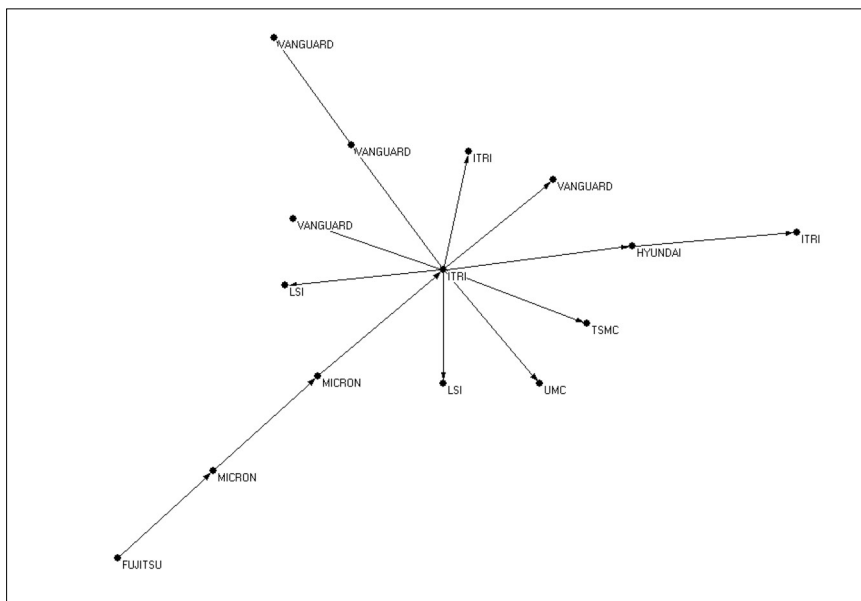
그런데 DRAM 산업에서 주경로 분석은 상당한 한계를 지니고 있다. Fontana et al.과 Verspagen는 LAN 장치와 연료전지의 주경로 분석을 한 후 이를 질적으로 분석하였는바 DRAM에 비해 주경로가 훨씬 길 뿐 아니라 실질적인 기술 발전 경로를 잘 포착하고 있는 것으로 확인되었다. 하지만 DRAM 인용 네트워크는 상당히 이질적인 특허들로 이루어져 있으며 실제로 앞 절에서 살펴본 바와 같이 최소한 세 개의 클러스터들을 확인할 수 있었기 때문에 자동으로 찾은 주

23) 이 그림은 SPC를 통해 그린 그림이다. SLPC의 경우 같은 결과가 나왔고 SPNP의 경우도 거의 비슷한 결과가 나왔다. 다른 그림에서도 거의 비슷한 결과들이 나왔기 때문에 무엇을 쓰나 큰 차이는 없지만 모든 특허들에 중립적인 가중치를 부여한다고 볼 수 있는 SPC의 결과를 채택하였다.

24) Yoon, M., "A 'History-friendly' Model on the Relationship between NISs and Performances in Frontier Industries of Korea and Taiwan", presented in CICALICS 2010 at Zhejiang University, China.

25) Lee and Yoon, 앞의 논문.

〈그림 10〉 주경로

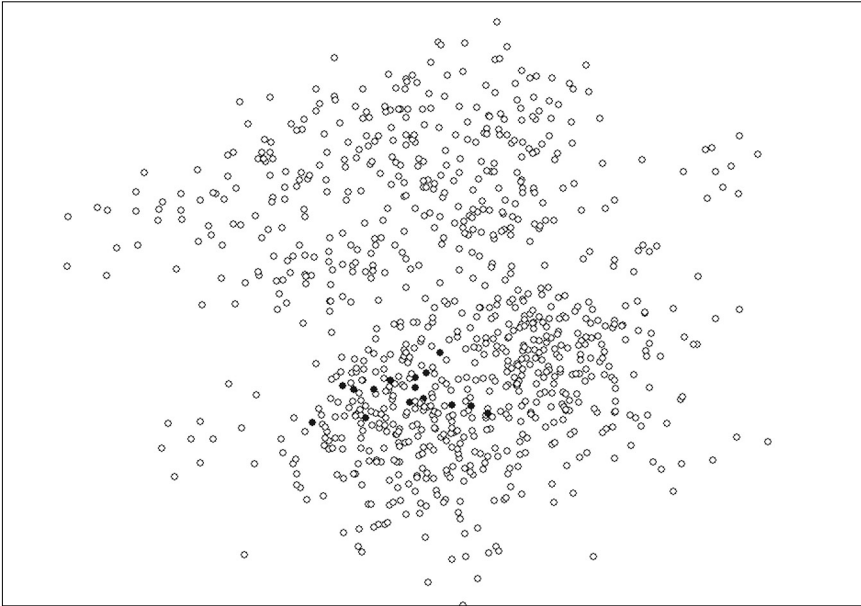


경로가 DRAM 기술의 주경로를 대표한다고 말하기 힘들다. 〈그림 11〉은 전체 인용 네트워크에서 주경로상의 점들을 표시한 것이다. 검은색 점들이 주경로상의 점인데 모두 클러스터3에 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 DRAM 산업의 특성은 앞에서 말한 기술적 단절 현상을 보여주는 또 다른 예라고 할 수 있을 것이다.

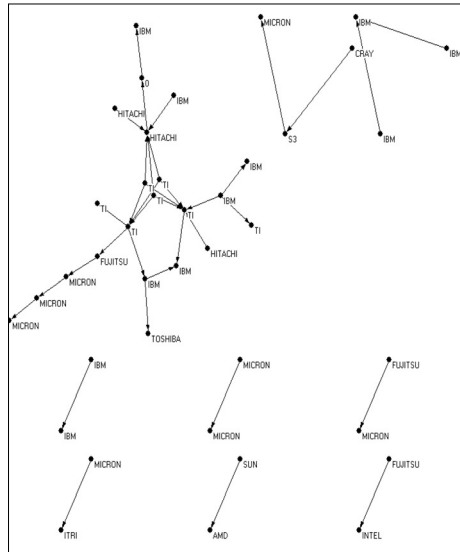
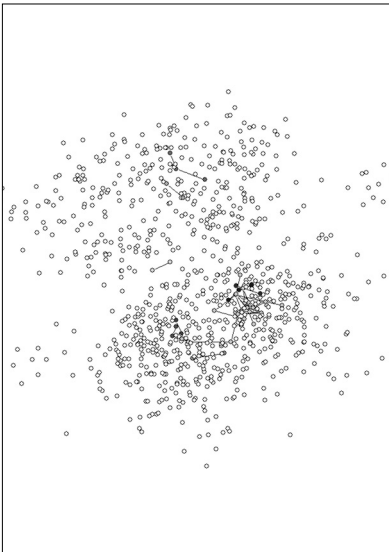
DRAM 산업의 특성을 감안하여 본 연구에서는 다른 클러스터의 주경로도 찾고자 모든 인용에 대해 인용 비중을 계산한 후 일정 값 이하의 인용 비중을 가진 인용들을 모두 지워서 주경로를 찾는 방법을 썼다. 〈그림 12〉는 인용 비중을 계산하여 0.01 이상의 인용 비중을 가진 선들만 표시한 것이다. 그림에서와 같이 실제 인용 비중이 높은 점, 선들은 클러스터2에 많이 모여 있는 것을 볼 수 있다.

이 그림을 좀 더 보기 쉽게 하기 위해서 인용 비중이 높은 경로 상의 점들만 따로 모아서 그림을 그려보았다(그림 13). 인용 비중이 높은 점들만 추출한 결과 9개의 컴포넌트들이 관찰되었다. 가장 긴 주경로는 전체 네트워크에서 관찰

〈그림 11〉 전체 네트워크에서 주경로 상의 점



〈그림 12〉 인용비중이 0.01 이상인 인용 〈그림 13〉 인용비중이 0.01 이상인 인용

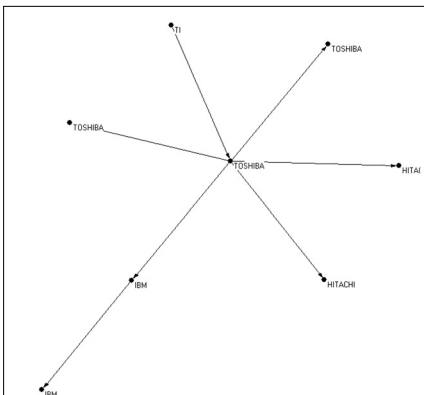


해 보면 대부분 클러스터2에 위치하고 있으며 약간의 점들이 클러스터3에 위치하고 있다. 이 컴포넌트들의 점들을 보면 IBM, TI, 히타치, 후지츠, 도시바, 마이크론 등의 핵심적인 기업들이 위치하고 있는 것을 볼 수 있다.

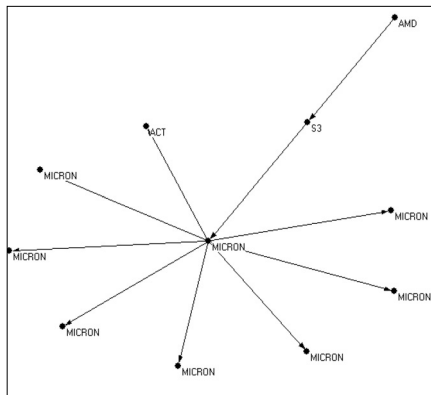
아래쪽 여섯 개의 컴포넌트들은 클러스터2 또는 클러스터3에 위치하고 있는 것들이다. 여기서 특기할만한 컴포넌트는 Micron에서 ITRI로 이어지는 것이다. 한국 기업들이 대만 기업들보다 앞서서 진입하였고 기술력에서도 앞섰지만 인 용 네트워크에서는 보이지 않는 반면 ITRI가 보이는 것은 역시 ITRI가 대만의 DRAM 산업에 있어서 차지하는 중요한 역할 때문인 것으로 보인다. 오른쪽에 있는 두 개의 컴포넌트는 모두 클러스터1에 위치하고 있다. 이들 특허들은 대부분 대량 생산은 하지 않은 미국 벤처 업체의 것들이고 마이크론은 지식의 흡수 자로서만 등장한다.

〈그림 14〉부터 〈그림 17〉까지는 기술분류별로 주경로를 찾은 것이다. 257은 클러스터2에서의 지식의 흐름과 비슷한 양상을 보인다. 365의 경우가 재미있는데 클러스터1에서 클러스터2의 마이크론 특허로 흐름이 이어진 뒤 마이크론의 특허로부터 여러 마이크론 특허들이 파생되는 모습을 보인다. 이와 같은 경로를 통해 클러스터2가 형성되었을 것으로 추정된다. 438의 경우 일본, 미국 기업으로부터 ITRI로 연결된 후 여러 대만 기업들에 다시 연결된다. 이는 역시 국가 주

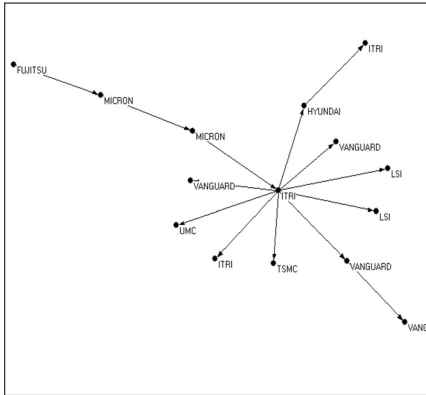
〈그림 14〉 기술분류별 주경로: 257



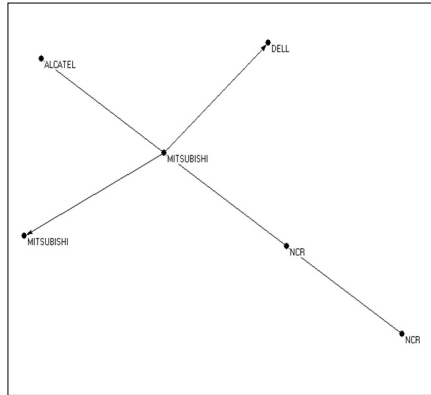
〈그림 15〉 기술분류별 주경로: 365



〈그림 16〉 기술분류별 주경로: 438



〈그림 17〉 기술분류별 주경로: 711



도로 시작된 대만 반도체 산업의 특징을 보여주는 것으로 판단된다.²⁶⁾ 711의 경우 현재 주요 양산업체들이 아닌 기업 사이의 경로를 보여주고 있는 것이 특징이다.

VI. 결론

본 연구에서는 특히 기술궤적과 산업구조의 변화에 초점을 맞춰 특허인용 네트워크를 분석하였다. 가장 먼저 전체 인용 네트워크를 시각화한 결과 세 가지 클러스터가 관찰되었다. 시간적으로 보자면 클러스터1, 2, 3의 순으로 DRAM 산업의 주요 기술 발달 경로가 변화하였다. 클러스터1은 설계기술 중심이고 미국의 선발 기업이 중심이었다. 클러스터2는 설계, 공정기술이 공존하고 선발 미국과 일본의 선발 양산업체 중심이었다. 마지막으로 클러스터3은 공정기술 중심이고 살아남은 미국의 양산업체인 Micron과 한국, 대만 업체들이 중심이었다. 이와 같은 네트워크의 진화 양상은 산업의 역사와 일치한다. 또한 DRAM 산업의 기술체제가 변화하면서 상당한 기술적 단절이 있었고 이것이 Perez and

26) Lee and Yoon, 앞의 논문.

Soete가 말한 기술 패러다임 전환기의 기회의 창으로 작용해서 DRAM 산업에서 주도권 전환이 일어났다고 할 수 있다. 하지만 반대로 주도권 전환 때문에 단절이 생길 수도 있는데 이 부분은 후속 연구를 통해 확인이 필요할 것이다.

기업 간 네트워크에서는 한 쪽 외곽에 미국 선발 기업, 핵심지역에는 미국, 일본의 주요 양산기업들, 다른 한 쪽 외곽에 대만 기업들이 위치하며 한국 기업들은 핵심지역과 대만 기업들 사이에 위치한다. 이와 같은 네트워크 구조는 기존 문헌에서 지적한 반도체 산업의 특성과 일치하는 것이다.

인용비중 분석 결과 후지쯔, 마이크론을 거쳐서 ITRI로 이어지고 ITRI에서 여러 대만 기업들로 이어지는 경로가 주요경로인 것으로 나타났다. 이와 같은 경로는 ITRI가 대만 반도체 산업의 모태라는 점을 감안한다면 산업의 역사와 잘 부합한다고 할 수 있다. 하지만 이와 같은 주경로는 전체 네트워크를 잘 반영하지 못하고 매우 국소적이라고 할 수 있다. 이는 앞선 문헌들이 분석한 LAN 장치나 연료전지의 인용 네트워크와는 차별화되는 점이며, 앞서 얘기한 기술의 단절 현상과 연관된 것으로 보인다.

클러스터별로 단절되어 있는 특성을 감안하여 인용비중이 일정 수준 이상인 선들을 주경로로 설정해서 분석하였다. 그 결과 클러스터2에 있는 선발 기업들 간의 지역 네트워크가 전체 네트워크에서 핵심적인 역할을 하고 있음을 발견할 수 있었다. 한국, 대만 기업들은 아직 이 핵심 지역 네트워크에 포함되지는 못했다. 클러스터1에 있는 컴포넌트들은 모두 미국 기업들 간의 인용들로만 이루어져 있었다.

이 논문에서는 특허인용의 네트워크 분석을 통해 기존 DRAM 산업 연구들이 보여줬던 결과들을 재확인함과 동시에 기존 분석 방법에서는 포착하지 못했던 새로운 정형화된 사실들을 발견할 수 있었다. 따라서 이 논문을 통해 특허 인용 네트워크 분석이 향후 신산업의 기술경제학의 주요 분석 방법론으로 사용될 수 있는 잠재력이 있음을 보여주고 있다고 할 수 있다.

기존의 문헌들²⁷⁾은 주로 DRAM 산업의 연속성·누적성을 강조해왔다. 하지만 이 논문에서는 특허인용분석을 통해 DRAM 산업과 같은 첨단 장치산업에 있

27) Monteverde K., "Technical Dialog as an Incentive for Vertical Integration in the Semiconductor

어서도 기술의 단절성으로 인한 기회의 창이 존재할 수 있다는 사실을 발견하였다. 따라서 충분한 금융능력과 조직능력을 지닌 후발국이라면 첨단장치산업에서도 추격의 기회를 포착할 수 있다고 말할 수 있다. 또한 기존의 연구들에 따르면 첨단 장치산업에 필요한 대규모 투자 조달 능력, 위험 부담능력 등은 국가에 의해 대체 가능하기 때문에 첨단 산업에 진입하고자 하는 개발도상국에게는 이러한 기술적 기회가 보편적으로 도약의 기회가 될 수 있을 것으로 보인다. 실제 DRAM과 TFT-LCD 산업에서 대기업 집단 위주인 한국뿐 아니라 대만기업들도 높은 성과를 보여준 바 있다.

현재 DRAM 산업에서는 한국이 주도권을 지니고 있고 대만, 일본, 미국 업체들이 전략적 추격자의 입장을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 Pajek에서 주경로를 분석했을 때 선발국 업체에서 ITRI 다시 대만 업체들로 이어지는 경로가 주경로로 판별되었다. 이러한 결과는 네트워크가 단순히 기술적인 원인으로 형성되는 것이 아니라 본문에서 논의하였듯이 기업들의 경쟁관계, 국가의 정책 등과 관련되어 형성되기 때문이지 실제 DRAM 기술이 그러한 경로를 따라 발전한 것이라고 할 수는 없다. 이러한 발견은 주경로가 실제 기술 경로를 잘 반영하였던 기존 연구들과는 상당히 다른 것이다. 따라서 주경로 분석은 기술적인 면 뿐 아니라 다양한 변수들을 고려하여 행해져야 하며 이 논문에서는 실제 다른 방법으로 주경로를 탐색해 보았다.

한국 기업 중에는 삼성이 인용 네트워크상에서 상당히 핵심적인 부분에 근접해 있고 후발 기업임에도 세 가지 클러스터에 비교적 골고루 특허를 보유하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 두 가지 함의를 가진다고 할 수 있다. 첫째는 삼성의 연구개발 단계가 선발 기업과 비슷한 수준으로 올라갔다는 것이고, 둘째는 삼성은 다른 후발업체들과는 달리 다양한 분야의 연구개발을 행하고 있다는 점이다. 따라서 DRAM 산업에서 한국의 산업 주도권은 단순한 비용 우위가 아닌 다양한 기술능력에서 나온다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 기존 문헌과는 달리 DRAM 산업의 단절적 특성을 강조하였

Industry", *Management Science*, v.41 n.10(1995), pp.624-1638; Lee and Yoon, 앞의 논문; Kim and Lee, 앞의 논문; 이근 외 기술과 진화의 경제학 연구회, 한국산업의 기술능력과 경쟁력, 경문사, 1997 등.

다. 이와 같은 발견은 DRAM 산업의 누적적 특성 때문에 소수 기업이 지배하게 된다는 기존의 통념과는 다른 것이다.²⁸⁾ 최근의 DRAM 산업은 소수 기업이 지배하고 산업 주도권의 이동도 거의 없다고 할 수 있다. 하지만 이 논문이 대상으로 한 시기까지 DRAM 산업은 공식적으로는 소수 기업의 지배가 계속되었지만 통시적으로 보자면 그렇지 않았다. 본 논문은 이러한 현상을 설명하고자 기술의 단절적 특성을 강조하였다. 하지만 본 논문이 다루고 있는 시기에도 공식적으로 보자면 소수 기업의 지배가 계속 되었다.

그 이유는 다음과 같다. 먼저 DRAM 산업은 대규모 장치산업인데다 기술개발 역시 대규모의 시행착오를 거쳐야 하기 때문에 적기에 대규모 투자가 필요하다. 따라서 성공적으로 진입할 수 있는 기업 수가 매우 제한적일 수밖에 없다. 또한 본 논문에서 살펴 본 기술적 단절이나 혹은 Mathews가 말하는 주기적 특성으로 인해 새로운 기업이 산업 주도권을 가져간다고 하더라도 제품의 차별화가 어렵고, 동적, 정적 규모의 경제가 매우 크게 작용하기 때문에 급속히 새로운 강자에게 시장의 주도권이 쏠리게 되어 있다. 이러한 이유로 산업의 주도권이 옮겨간다고 해도 항상 몇몇의 대규모 기업이 시장을 지배하게 되는 산업구조가 유지되는 것이다.

본 연구에서는 가장 널리 사용되는 사회 네트워크 분석 툴인 Pajek을 사용하였다. 하지만 특허 인용 네트워크는 다른 사회 네트워크에 비해 훨씬 규모가 크기 때문에 좀 더 자유로운 분석을 위해서는 더 성능이 좋은 분석 툴이나 일반적인 프로그래밍 언어를 사용할 필요가 있을 것으로 보인다. 또한 특허 네트워크 분석은 다른 사회 네트워크와 다른 문제의식으로부터 출발하기 때문에 이에 맞는 다양한 지표와 분석방법이 개발되어야 할 것이다. 마지막으로 좀 더 엄밀한 분석을 위해서는 네트워크 분석과 통계학적 개념을 접목시키는 방법들이 유용할 것으로 보인다.

28) 이 논점은 익명의 심사자가 지적해 주었다.

참고문헌

〈국내 단행본〉

이근 외 기술과 진화의 경제학 연구회, 한국산업의 기술능력과 경쟁력, 경문사, 1997.

〈해외 학술지〉

- Breschi, S., F. Malerba and L. Orsenigo, “Technological Regimes and Schumpeterian Patterns of Innovation”, *The Economic Journal*, Vol.110(2000), pp.388-410.
- Dosi, G., “Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change”, *Research Policy*, Vol.22 No.2(1982), pp.102-103.
- Fontana, R., A. Nuvolari and B. Verspagen, “Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: An Application to Data Communication Standards”, *SPRU Electronic Working Paper Series*, No.166(2008).
- Fruchterman, T. M. J., E. M. Reingold, “Graph Drawing by Force-Directed Placement”, *Software-Practice and Experience*, Vol.21 No.11(1991), pp.1129-1164.
- Hall, B. H., A. B. Jaffe and M. Trajtenberg, “The NBER Patent Citations Data File: Lessons, Insights and Methodological Tools”, *National Bureau of Economic Research Working Paper*, No.8498(2001).
- Hummon, N. P. and P. Doreain, “Connectivity in a Citation Network: The Development of DNA Theory”, *Social Networks*, Vol.11(1989), pp.39-63.
- Jaffe, A. B., M. Trajtenberg and M. S. Forgy, “Knowledge Spillovers and Patent Citations: Evidence form a Survey of Inventors”, *American Economic Review*, Papers on Proceedings(2000), pp.215-218.
- Ki, J. and K. Lee, “Toward a Theory of Catch-up Cycle and Industrial Leadership: Case of the World Steel Industry”, presented at Asia-Pacific Economics Association Conference held in Pusan(2011).
- Kamada, T. and S. Kawai, “An Algorithm for drawing general undirected graphs”, *Information Processing Letters*, Vol.31(1989), pp.7-15.

- Kim, C. W. and K. Lee, "Innovation, Technological Regimes and Organizational Selection in Evolution of Industry: A 'History Friendly Model' of the DRAM Industry", *Industrial and Corporate Change*, Vol.12 No.5(2003), pp.1195-1221.
- Lee, K. and M. Yoon, "International, Intra-national, and Inter-firm Knowledge Diffusion and Technological Catch-up: The US, Japan, Korea, and Taiwan in the Memory Chip Industry", *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol.22 No.5(2010), pp.553-570.
- Lee, K, C. Lim and W. Song, "Emerging Digital Technology as a Window of Opportunity and Technological Leapfrogging: Catch-up in Digital TV by Korean Firms", *International Journal of Technology Management*, vol.29 No.1-2(2005), pp.40-63.
- Mathews, J. A., "Strategy and the crystal cycle", *California Management Review*, Vol.47 No.2(2005), pp.6-32.
- Mina, A., R. Ramlogan, G. Tampubolon and J.S. Metcalfe, "Mapping Evolutionary Trajectories: Applications to the Growth and Transformation of Medical Knowledge", *Research Policy*, Vol.36, No.5(2007), pp.789-806.
- Monteverde K., "Technical Dialog as an Incentive for Vertical Integration in the Semiconductor Industry", *Management Science*, Vol.41 No.10(1995), pp.1624-1638
- Perez, C. and Soete, L., "Catching up in technology: Entry barriers and windows of opportunity" in G. Dosi et al. eds. *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publisher, London and New York, 1988, pp.458-479.
- Vernon, R., "International Investment and International Trade in the Product Life Cycle", *Quarterly Journal of Economics*, Vol.80(1966), pp.190-207.
- Verspagen, B., "Mapping Technological Trajectories as Patent Citation Networks: A Study on the History of Fuel Cell Research", *Advances in Complex Systems*, Vol.10 No.1(2007), pp93-115.
- Yoon, M., "A 'History-friendly' Model on the Relationship between NISs and Performances in Frontier Industries of Korea and Taiwan", presented in CICALICS 2010 at Zeijian University, China.

Technological Regime and the Shift of Industrial Leadership in the DRAM Industry: A Patent Citation Analysis

Minho Yoon

Abstract

This paper analyzes the citation network of DRAM-related patents focusing on technological change and the shift of market dominance. As a whole, the results of the analysis is consistent with characteristics of the DRAM industry which founded by existing literatures. This founding indicates that a citation network analysis can be an effective in studying technological and industrial change. In addition, through a citation network analysis, we found some features of the DRAM industry that were not found by existing literatures. By visualization of the citation network, three clusters are observed in the citation networks. Cluster 1 formed first, and cluster 2 and 3 followed in order. Cluster 1 is characterized by product innovation, and dominated by American venture firms. Mixture of product and process innovation is characteristics of Cluster 2. Large American and Japanese firms lead formation of Cluster 2. Patents of Cluster 3 are mostly related with process innovation and granted by Micron, Korean large firms and Taiwanese firms. Clusterization means discontinuity of technological change, which can be the reason of the shift of market dominance. The result of main path analysis reveals that the main path of the network goes from Japanese and American firm to Taiwanese firms via ITRI (Industrial Technology Research Institute), Taiwanese government research unit, which is consistent with stylized facts found by existing literatures on the DRAM industry. However, the main path covers only

small area of the network. This also can be evidence of technological discontinuity.

Keywords

DRAM industry, Patent Citation Network, Network Analysis