

PET + MRI = STS

: 의료 영상기술을 통해 본 기술융합혁신의 사례와 그 STS적 함의에 대한 시론적 연구

이준석(서울대)

1. 들어가는 말

2008년 3월, 가천의대 뇌과학연구소(소장 조장희 박사)는 기존의 양전자방출단층촬영장치(positron emission tomography, PET)와 자기공명영상촬영장치(magnetic resonance imaging, MRI)를 결합한 PET/MRI 융합기술의 완성을 발표하였다. PET/MRI의 완성은 STS적으로 현대 기술과 사회에 대해 매우 다양한 통찰과 함의를 우리에게 제공해 준다. 본고에서는 PET/MRI가 어떠한 기술인지 간략히 서술하고 그러한 기술혁신이 한국에서 일어날 수 있었던 과정을 간단히 살펴본 뒤, PET/MRI를 해석할 수 있는 여러 분석적 접근들과 이를 연구하여 STS에서 기대할 수 있는 것들을 시론적으로 제시하도록 하겠다.

2. 본론

2.1. PET, MRI, 그리고 PET/MRI의 구조와 성능

프리젠테이션 동영상 참조

2.2. 핵심 행위자들과 연결망의 구성, 그리고 경계 객체(boundary object)¹⁾

현 가천의대(이사장 이길여) 뇌과학연구소 소장인 조장희 박사(73)는 글로벌화된 현대 생명공학기술의 실천적 양식이 체화되어 있는 듯한 인물이다. 자칫하면 hagiography라는 비판을 받을 수도 있으나, 그의 삶은 과학사적으로도 흥미가 있기에 간단히 본 논문의 핵심 행위자인 조장희의 삶을 서술하도록 하겠다.

1936년 황해도에서 태어난 그는 1960년과 '62년 서울대 전자공학과에서 학사와 석사 학위를 취득하였다. 이후 그는 한국 원자력연구소와 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)의 기금을 받아 스웨덴 옘살라 대학교로 유학, 1966년 응용물리학 전공으로 박사학위를 취득하였다. 이후 그의 삶은 세계적으로 맥락화된 (globally situated) 과학기술자의 모습을 지속적으로 보여주게 된다. 1972년 그는 미국 UCLA 방사선물리학과에서 부교수가 되었으며, 동년부터 4년간('72~'76) 스톡홀름대의 조·부교수직을 겸직하고 있었다. 1979년부터 1985년까지는 콜럼비아 대학에서, 그리고 1985년부터 2006년까지는 UC Irvine의 교수로 재직하였다. 이 때 1978년에서 1995년까지는 한국과학원 시절부터 KAIST 겸임교수를 겸직하고 있었다. 2005년에는 길재단 이길여 이사장의 스카우트로 가천의과학대학교 뇌과학연구소 소장으로 부임하여 현재 15년 계약으로 재직중이다.

그가 부임한 가천의과학대학교는 순수학문과 응용분야 두 개의 방향을 추구하던 두 학교가 융합된 기관이다. 간단히 그 기관사를 살펴보기로 하겠다. 1939년 「경기도립 인천병원부설 간호원양성소」가 설립되었고, 이 기관이 1962년 「경기간호학교」로 승격되었으며, 1973년 「경기간호전문학교」 설립을 인가받아 1979년 「경기간호전문대학」으로 승격하였다. 이후 이길여 이사장이 '94년 취임할 때까지 위치 이전과('86년) 교명변경을 세 차례 하게 된다.('87년 1회와 '93년 2회)²⁾ 이길여 이사장 취임 후인 '95년에는 학교법인이 기존의 「신명학원」에서 「가천학원」으로 변경된다. 1998년에는 「가천의과대학」이 새롭게 의학과 정원 40명으로 개교하였고, 기존의 「경기전문대학」은 동년에 「가천길대학」으로 명칭을 변경하였다. 1999년 「가천의과대학」은 「가천의과대학교」로 다시 명칭을 변경하였고 2005년에 양 대학은 융합을 추진하여, 동년 10월 정부의 승인을 받아 이듬해

1) 본 절의 연구방법론은 해당 행위자들이 언론과 행한 각종 인터뷰자료와 언론매체, 특히 의학신문들에 보도된 기사와 『중앙일보』에 연재된 회고록 등 2차 문헌의 분석을 위주로 하였다. 일간지에 연재된 회고록은 비록 기자의 손을 거쳐 편집되었으나 1차 문헌으로 볼 수 있다는 논의는 차치하고라도, 사회학적인 분석을 하기에는 2차 문헌의 해석으로도 충분하다고 판단되어서이다. 다만 몇 가지 추가확실작업을 위해 개별적인 대면 인터뷰와 참여관찰은 내년 봄에 행할 계획이다.

2) 1987년 「경기간호보건전문대학」으로 교명을 변경하였고, 1993년에는 「경기실업전문대학」으로, 동년 다시 「경기전문대학」으로 2회 교명 변경을 하였다.

인 2006년 3월 「가천의과학대학교」로 통합되기에 이른다. 조장희 박사가 초대 소장으로 취임한 「가천의과학대학교 뇌과학연구소」는 2004년 9월에 「가천길대학」 신축 이전시 설립되었으며, 2006년 4월에 정식으로 개소하였다.

PET/MRI 융합시스템이 개발된 가천의대 뇌과학연구소의 설립에는, 두 명의 핵심 행위자들 - 조장희 박사와 이길여 이사장 -이 연결됨으로써 이루어지게 된다. 이들의 만남은 2004년 (현) 가천의과학대학교의 김영보 교수가 이길여 이사장과 함께 UC Irvine의 조장희 박사를 방문하면서 이루어지게 된다. 이때 이루어진 느슨한 연결망은 이후 2년여의 기간을 거쳐 단단한 결속망으로 전환되기에 이른다. 2004년 방미(訪美)시 김영보 교수와 이길여 이사장은 가천의대의 대표 연구분야를 뇌과학 쪽으로 계획하고 있음을 조장희 박사에게 밝히고 그의 합류의사를 타진하였다. 이에 마침 안식년을 받은 조장희 박사는 그해 중반부터 1년, 그리고 다시 1년을 UC Irvine에서 무급휴가를 받아 서울에서 지내면서 뇌과학연구소의 설립을 지켜보았다. 그리고 2006년 영구 귀국하여 뇌과학연구소의 초대 소장직과 가천의대 석좌교수직을 맡게 된다.

언론과의 인터뷰 등을 참조해 보면, 이때 이길여 이사장이 가천의대의 대표 브랜드를 뇌과학 쪽으로 모색하고 있었던 이유는 “대다수 대학병원에 있는 암 연구동, 신장센터 등을 새로 만들어놔야 미래 지향적이며 첨단 과학이라는 인상을 사회나 국가에 줄 수 없다고 보았기” 때문이다.³⁾ 신규 설립된 지방의대의 이사장으로서 이길여에게는 강력한 문화자본의 획득이 필요했다. 그리고 “세계 수준의 뛰어난 과학자와 충분한 지원이 있으면 얼마든지 세계적 연구성과를 낼 수 있다는 자신감으로” 뇌과학연구소의 설립을 추진한 이길여에게 조장희박사가 개발하게 되는 PET/MRI는 매우 훌륭하게 그 목적을 달성시켜주는 인공물이었다.

한편 조장희 박사의 입장에서는 이길여 이사장의 제안이 들어왔을 때 자신의 차세대 연구 분야를 모색해야 하는 상황이었다. 1996년부터 침의 효능에 관해 fMRI를 이용한 연구를 시작한 이후 뇌와 관련된 쪽으로 연구를 진행하던 그는, 이길여 이사장의 초청을 받아들여 가천의대 뇌과학연구소장직을 수락하면서 새로운 연구아이템을 찾아야만 하였다. 또한 그 아이템은 자신이 개시할 수 있는 능력을 갖춘 것이어야 했으며, 또한 동시에 학계의 주목과 사회의 관심도 충분히 끌 수 있는 연구 프로젝트여야 했다. 사립재단에서 설립된 대학의 연구소이다 보니 그 결과물을 상업화하는데 성공할 수 있으면 더욱 높은 가치를 지니고 있었다. 또 그가 받는 연봉(3억원)과 재단측의 파격적인 대우를 고려해 보면, 지나치게 오랜 기간 연구해야만 얻을 수 있는 결과물이기보다는 몇 년 안부터 가시적인 성과물들을 차곡차곡 쌓아갈 수 있는 것이면 더욱 좋았다. 이러한 사

3) 『중앙일보』 2007년 10월 29일자, 2008년 5월 23일자, 10월 22일자, 10월 24일자, 『주간동아』 2004년 10월 21일자(제 456호) 인터뷰 참조. 박방주(2008)에서 직접 인용.

회적·정치경제적인 무언의 맥락 하에 위치 지어진 조장희 박사는 당시 의학계에 새롭게 대두되고 있던 화두인 PET/MRI 융합 시스템의 개발을 첫 프로젝트로 목표하게 된다.

이러한 결정에는 조박사 자신이 PET와 MRI 양쪽의 원리에 모두 익숙한 사람이라는 점이 중요하게 작용하였다. 그는 1973년 원리를 공개하지 않은 채 상용화된 CT의 수학적 해법을 UCLA에서 독자적으로 풀어내었고, 1975년에는 미셸 테어 포고시안과 마이클 펠프스 팀보다 몇 달 뒤늦게 독자적으로 PET를 개발하였으며,⁴⁾ KAIST 재직중에는 MRI를 자체개발하여 금성전자(현재 LG)를 통해 상용화하기도 하였다. 어떻게 보면 조장희라는 '한 명의 행위자 내부에서' 혹은 그가 이끄는 연구소 내에서 PET 연구 프로그램과 MRI 연구 프로그램이 상호 교류를 했다고도 볼 수 있다. 이 경우 한 명의 행위자가 그 내부에 교역지대(trading zone)를 가지고 두 개 이상의 연구프로그램을 운영하여 PET/MRI를 개발한 특이한 사례로 볼 수도 있다. 하지만 PET/MRI의 개발에 대해 더 적합한 설명은 그것이 일종의 경계 객체(boundary object)⁵⁾로 작동하여 조장희 박사측, 가천재단 측, 그리고 그 외 다양한 사회세계(social worlds)간의 합의를 구성하는 인공물의 역할을 했다는 분석이다. 수잔 리 스타와 아델 클락, 제임스 그리스머 등은 경계 객체의 개념을 주장하면서, 서로 다른 사회세계에 속한 행위자들 간의 이해와 번역된 결과를 합치시키기 위해 (재)구성되는 경계객체의 속성을 강조하였다.⁶⁾ 그리고 우리가 살펴본 바에 의하면 PET/MRI는 이러한 경계객체의 특성을 잘 보여주는 실례에 해당하며, ANT를 보완하는 대안으로 현재 주목받는 사회세계이론(SWT)에 하나의 유의미한 사례연구를 제시하는 것으로 생각된다.

2.3. PET/MRI 기술혁신의 해석

본 절에서는 기술혁신에 대한 기존의 선행연구들을 분석하여, PET/MRI의 혁신을 이해하는데 적용할 수 있는 두 가지 분석틀을 제시하고자 한다. 단, 각 분석틀을 적용함에 있어 논점이 될만한 핵심사항들에 대해서 주로 기술하는 것으로써 제한된 시간을 활용하고자 한다.

PET/MRI를 해석하는데 적용가능한 첫 번째의 분석틀로 제시하고자 하는 것은 크리

4) 테어 포고시안과 펠프스 팀이 개발한 PET는 육각형 구조로 검출기를 배치해 놓았다. 그에 반해 조장희 박사가 발명한 PET는 현재 일반적으로 사용되는 원형검출기를 차용하고 있었다. 조장희 박사의 또 다른 업적으로는 BGO(Bismuth Germanate Oxide) 소자를 활용한 검출기를 발명한 것이다. 이 역시 현재 일반적으로 PET시스템에 사용되고 있다.

5) 'boundary object'에 대한 적당한 역어가 합의되지 않았으므로 여기서는 임시로 '경계 객체'라고 표현하겠다.

6) Clarke (1991, 2003, 2006), Clarke and Star (2008), Star and Griesmer (1989).

스텐슨이 주장하는 파괴적 혁신(disruptive innovation)의 개념이다. 크리스텐슨(1997)은 기존의 점진적(incremental) 혁신 대(對) 급진적(radical) 혁신의 이분법을 대신하여, 새로운 혁신의 구분기준으로 존속적(sustaining) 혁신과 파괴적(disruptive) 혁신을 제시하였다. 그에 의하면 기술의 발전은 어느 순간 시장에서 실제 사용자가 요구하는 기능 이상의 것을 제공하는(overshooting the market) 능력을 획득하게 된다. 이것을 무시한 채 기존의 방식으로 혁신을 존속시켜 나가는 것이 존속적 혁신이라면, 파괴적 혁신은 파괴적 기술의 도입을 통해 새로운 시장을 창출하는 것을 의미한다. 이때 파괴적 기술은 몇 개의 특성을 가지는데, 첫 째 존속적 기술보다 성능·구조면에서 떨어지고, 둘째, 전혀 새로운 소규모 시장을 창조하면서 발전하며, 셋 째, 존속적 기술보다 보통 저렴하고, 간단하고, 우선 사용하기에 편리하다는 특성을 지닌다. 예를 들어 혼다와 카와사키, 야마하의 할리 데이비슨과 BMW가 지배하던 모터사이클 시장에 파괴적 혁신을 가져왔으며, 트랜지스터는 진공관에 대비해 파괴적 혁신을 가져온 인공물이다. 조장희 박사가 개발한 PET/MRI는 이 파괴적 혁신의 특성을 보인다. PET와 MRI는 MRI의 강한 자기장이 PET의 작동을 방해하기에 하나의 융합된 기계로 만드는 것이 극히 어렵다. 미국의 UC Davis와 독일의 튀빙겐 대학, 그리고 의료기기 생산업체인 General Electric팀이 공동연구를 통해 2008년 초 쥐의 머리가 들어갈 정도 크기의 PET-MRI 융합 시스템 시제품을 발명하였다.⁷⁾ 그러나 이것이 그 정밀함을 유지한 채 실제 사람머리가 들어갈 정도의 크기로 발전하는 데에 얼마의 시간이 걸릴지는 아무도 모른다. 이러한 혁신의 추구는 전형적인 존속적 기술혁신의 궤적이다. 하지만 조장희 팀은 PET와 MRI를 하나의 챔버에 집어넣는 존속적 혁신을 실행하는 대신, 사고의 전환을 통해 PET와 MRI를 별도의 챔버에 설치하고 대신 이 사이에서 환자를 이송하는 레일링 시스템의 개발⁸⁾을 하였다. UC Davis-튀빙겐-GE의 컨소시엄이 목적하는 바인 완전한 PET/MRI 일체형 융합 시스템의 개발을 추구하는 대신, 가천의대-하버드의대-Siemens의 컨소시엄은 기술적으로 떨어지지만 개발비용과 소비자부담이 저렴하고, 개념적으로 더 간단한 파괴적 혁신을 창출하였다.

두 번째 분석들은 송위진(2007a, 2007b, 2007c) 등에 의해 한국에서 주도적으로 개진되고 있는 탈추격 논의이다. Kim(1997)과 이근(2005)은 후발국가의 기술발전을 논하면서, 모방단계에서 벗어나 기술개발을 통해 선진국을 추격하는 기술추격론을 제시하였다. 어터백(1994)의 혁신모델을 기초로 하는 이들의 연구는 송위진에 이르러 탈추격론이라는 개념들로 거의 완성되기에 이른다. 송위진(2007b)은 초기에 탈추격의 세 가지 형태를

7) IEEE proceedings (2008).

8) 대한민국특허청(KR) 등록특허공보(B1), 「PET-MRI 퓨전영상시스템」, 등록번호: 10-0791021, 등록일자: 2007년 12월 26일, 공고일자: 2008년 1월 7일, 특허권자: 가천의과학대학교 산학협력단 & 동보시스템 주식회사, 발명자: 조장희·이철욱·김영보·윤자원·안형진·김동성·심홍.

아키텍처 혁신형 하나와 원천기술 창조형 두 가지로 구분하였으나, 후에 이를 발전시켜 기술심화형 혁신·제품차별화형 혁신·신기술기반형 혁신의 세 가지로 세분화시켰다.(송위진 외, 2007a) 필자의 견해로는 신기술기반형 혁신이 크리스텐슨의 존속적 혁신과 유사하다면, 제품차별화형 혁신은 파괴적 혁신에 해당한다. 그리고 이것을 잘 보여주는 사례가 바로 PET/MRI의 기술혁신이다. 상술하였듯이 2008년 현 시점은 PET/MRI의 시장에 아직 지배적 설계(dominant design)가 형성되지 않은 시기이다. 따라서 UC Davis-튀빙겐대-GE 컨소시엄처럼 자체 개발한 원천기술을 토대로 시장에 진입을 하려한다면 이는 신기술기반형 혁신이자 존속적 혁신을 추구하는 것이다. 하지만 가천의대 컨소시엄처럼 기존의 선진 원천기술을 신속히 응용하는 아키텍처혁신을 이룩하여 새로운 기술체계를 개척한다면 이는 (크리스텐슨의) 파괴적 혁신이자 (탈추격논의에서의) 제품차별화형 혁신에 해당한다.

3. 나가는 글 - 가능한 추가적 논의들

본고에서는 한국에서 이루어진 PET/MRI의 기술개발이 STS에 어떠한 유의미성을 제공할 수 있을지에 대한 시론적 분석을 행하였다. 시간상 서술하지 못하였으나, PET/MRI 융합 시스템은 상술한 사항 외에도 몇 가지 시사점을 더 우리에게 제공해준다.

첫째, 가천의대-하버드의대-지멘스의 컨소시엄은 글로벌화되는 BT의 특성을 우리에게 잘 보여준다. (Ong and Collier, 2005) 또한 이것은 최근 가중되는 과학의 상업화 논의와, 대학-기업-정부의 삼중나선을 통해 대학에서 행해지는 상업화된 과학기술연구의 분석 맥락에도 잘 적용되는 사례이다. (Mirowski, 2002a, 2002b; Rudy et al, 2007; Slaughter and Rhoades, 2004). 다만 좀 더 상세히 보자면 조장희 박사의 연구프로젝트는 단순히 글로벌한 상황뿐 아니라 탈추격 레짐에 들어선 한국이라는 국지적인 맥락도 함께 보아야 한다. 조장희가 석사학위 취득후 스웨덴으로 전공을 바꿔 유학을 가게된 데에는 IAEA의 기금이 결정적인 작용을 하였다. IAEA의 이러한 지원은 전후(戰後) 핵의 평화적 사용이라는 글로벌한 맥락에서 이해해야 한다. 아울러 그가 다시 최근 한국으로 귀국하여 BT연구에 몰입하게 된 배경에는, 김대중 정권의 IT이후 차세대 성장동력으로 BT를 선택한 노무현 정권의 로컬한 선택과 맥락이 존재하였다. PET/MRI를 개발하기 위해 가천의대에서 선행된 연구들에는 정부의 적지 않은 기금이 포함되어 있었다.(가천의과대학교, 2006) 많은 예산을 BT연구에 투입하기로 한 정부의 정책결정은 조장희의 PET/MRI 개발에 간과할 수 없는 상황적 맥락으로 작용하였으며 궁극적으로

PET/MRI라는 인공물에 이러한 정체가 임베드되어 있다고 말할 수 있을 것이다. 이러한 시각으로 바라볼 때 우리는 PET/MRI라는 생명공학기술 인공물이 단순히 global하지도 않고 그렇다고 local하지도 않은, glocality의 속성을 가지고 있음을 필자는 주장하고자 한다.

또한 PET/MRI의 연구는 사회학·철학·STS를 포함하는 인문사회분야에서 포화상태에 이르고 있는 '몸'과 '시각적 재현성'에 대한 담론을 새로운 시각으로 볼 기회를 제공해 준다. 기술철학자 Don Idhe(2002)는 현상학적 분석을 통해, 인간의 몸을 body one과 body two로 구분함에 이어, 기술을 통해서 체험 및 지각 가능한 세 번째 영역의 '몸'을 논의하였다. PET/MRI 시스템은 바로 인간의 지각과 몸에 대한 체험 영역을 새로운 차원으로 확장하는 기기이다. 방사선 의료기기를 사용하여 환자를 진료하고 치료함에 있어, 사진판독의는 전통적으로 환자를 직접 대면하지 않은 채 진료를 하였다. 그들은 사진만 보며, 사진이 그들에게는 리얼리티의 영역으로 작용한다. 오히려 그들에게 환자의 몸 자체는 부가적인 물질로 작용하며, 진실(환부, 병변의 해석 등)을 파악하는데 하등의 연관을 갖지 못한다. 또 판독의는 푸코적인 의미의 응시(gaze)를 통해 사진에 내재된 병소와 병원체에게 시선의 권력을 행사한다. 이 때 판독의는 PET/MRI라는 행위소를 동원(mobilize)하여 그의 네트워크에 집연(集連 혹은 결절, punctualize)시킴으로써 자신의 동맹군이 두개골 내부에 숨어 있으려 하는 종양이나 울혈(鬱血)보다 강한 힘을 가질 수 있도록 네트워크를 조정한다. 이 과정을 좀 더 살펴보면 현재 Don Idhe 등을 중심으로 STS학계에서 이루어지고 있는 현상학과 ANT를 결합하려는 시도의 실마리를 발견할 수 있을 가능성을 염두에 두지 않을 수 없다.

이상 최근 국내에서 이루어진 PET/MRI 기술융합시스템의 혁신을 중점으로 몇 가지 시론적 논의를 제시하였다. 좀 더 정교하게 다듬는 이론적 작업과 많은 경험적 데이터의 확충이 요구되지만, 현재까지 이루어진 기초적인 연구결과로 볼 때 PET/MRI는 국내·외 과학기술학계에서 최근 논의되고 있는 사항들에 유의미한 기여를 할 수 있을 것으로 사료되며 많은 연구자들의 관심과 공동연구가 희망된다.

참고 문헌

- 가천의과학대학교 (2006), 『「뇌기능 활용 및 뇌질환 치료기술 개발사업: 뇌영상 신호분석 기자재 개발 및 실용화에 관한 연구」 과제 보고서』 (과학기술부), 과제관리번호 NA-2.
- 박방주 (2008), 『한국의 뇌과학자, 세계의 정상에 서다』 (궁리).
- 성균관대학교 (2003), 『「양전자방출단층촬영장치의 성능평가 기준 개발」 용역연구개발사업최종보고서』 (식품의약품안전청).
- 성균관대학교 (2005), 『「방사선 의료기기 핵심기술개발」 과제 산하 「핵의학 기기 핵심 기술 개발」 세부과제 보고서』 (과학기술부).
- 송위진, 박동오, 강윤재 (2007a), 『탈추격형 기술혁신의 불확실성 대응 전략』 (과학기술정책연구원).
- 송위진, 성지은, 김연철, 황혜란, 정재용 (2007b), 『탈추격형 기술혁신체제의 모색』 (과학기술정책연구원).
- 송위진, 이준석 (2007c), 「탈추격 단계에서 기술·경제적 불확실성과 대응: 개념적 틀의 개발」, 『과학기술학연구』 제 7권 제 1호: 5-31쪽.
- 이근 (2005), 『기술경제학의 다양한 접근을 종합한 기술추격론의 재구성』 (과학기술정책연구원).
- 이창환, 권영일, 배상진, 김기일 (2002), 『국가전략산업분석 BW126: 영상의료기기』 (한국과학기술정보연구원).
- Bud, R. and D. Warner (eds.) (1998), *Instruments of Science An Historical Encyclopedia* (New York and London: The Science Museum, London and The National Museum of American History, Smithsonian Institution).
- Christensen, C. (1997), *The Innovator's Dilemma* (Boston, MA: Harvard Business School Press).
- Clarke, A. (1991), "Social Worlds/Arenas Theory as Organization Theory," in David Maines (ed.) *Social Organization and Social Process* (Hawthorne, NY: Aldine de Gruyter): 119-58.
- _____ (2003), "Situational Analyses: Grounded Theory Mapping After the Postmodern Turn," *Symbolic Interaction* 26 (4): 553-76.
- _____ (2006) "Social Worlds," in *The Blackwell Encyclopedia of Sociology* (Blackwell), 4547-49.
- Clarke, A. and S. L. Star (2008), "The Social Worlds Framework: A Theory/Methods

- Package" in E. Hackett, et al. (eds.) *The Handbook of Science and Technology Studies* (3rd ed): 113-37.
- Ihde, D. (2002), *Bodies in Technology* (Univ. of Minnesota Press).
- Kevles, B. (1997), *Naked to the Bone: Medical Imaging in the 20th Century* (New Brunswick, NJ: Rutgers Univ. Press).
- Kevles, B. (2003), "The Physical Sciences and the Physician's Eyes," in Nye, M (ed.) (2003), *The Cambridge History of Science, Vol. 5. The Modern Physical and Mathematical Sciences* (Cambridge Univ. Press): 615-33.
- Kim, L. (1997), *Imitation to Innovation* (Harvard Business School Press), [김인수 저, 임윤철·이호선 역, 『모방에서 혁신으로』 (시그마 인사이트, 2000).]
- Mirowski, P. (2002a), *Science Bought and Sold* (Univ. of Chicago Press).
- Mirowski, P. (2002b), *Machine Dreams: Economics Becomes a Cyborg Science* (Cambridge Univ. Press, 2002).
- Nye, M (ed.) (2003), *The Cambridge History of Science, Vol. 5. The Modern Physical and Mathematical Sciences* (Cambridge Univ. Press).
- Ong, A. and S. Collier (eds.) (2005), *Global Assemblages* (Blackwell Publishing).
- Rudy, A. et al. (2007), *Universities in the Age of Corporate Science* (Temple Univ. Press).
- Slaughter, S. and G. Rhoades (2004), *Academic Capitalism and the New Economy* (Johns Hopkins Univ. Press).
- Star, S. L. and J. Griesemer (1989), "Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39," *Social Studies of Science* 19: 387-420. Reprinted in M. Biagioli (ed) (1999), *The Science Studies Reader* (New York: Routledge): 505-24.
- Utterback, J. (1994), *Mastering the Dynamics of Innovation* (Harvard Business School Press), [제임스 어터백 저, 김인수·김영배·서의호 역, 『기술변화와 혁신전략』 (경문사, 1997).]
- 대한민국특허청(KR) 등록특허공보(B1), 「PET-MRI 퓨전영상시스템」, 등록번호: 10-0791021, 등록일자: 2007년 12월 26일, 공고일자: 2008년 1월 7일, 특허권자: 가천의과학대학교 산학협력단 & 동보시스템 주식회사, 발명자: 조장희·이철욱·김영보·윤자원·안형진·김동성·심홍.