

파괴적 혁신의 과학기술: 지난 **100**년간의 사례를 바탕으로

국 양

삼성미래기술육성재단
서울대학교 물리천문학부

미국 경제에 대해 → 대한민국 경제에 대해로 바꾸어 읽으면

“미국은 지금 양질의 일자리가 필요하다.” → “**대한민국은 지금 양질의 일자리가 필요하다.**”

“경제 성장의 둔화는 역사적으로 기초연구 결과가 적을 때 발생했다.”

“과학이란 이상한 도박과 같다. 과학의 성공은 수백·수천의 IQ가 좋으며, 호기심 많고, 바른 직업 의식과 연구 윤리를 가진 과학자들이 모여 지속적으로 연구를 수행할 때 이루어 진다. 과학의 성공을 위해서는 일정한 수의 좋은 과학자들과, 장비가 잘 갖추어진 실험실과, 성공에 필요한 연구비가 필요하다. 과학의 성공은 연구가 제안된 후 심사 과정부터 심사자들이 공개적으로 공정하게 심사하고, 성실한 연구 수행의 경우 실패를 인정하여야 한다. 동시에 연구자들에게 자신이 목적했던 분야뿐만 아니라 연구가 진행되는 동안 결눈질할 기회도 주어야 한다. 많은 위대한 발견은 이 결눈질하는 과정에서 태어났다.

“누가 1975년 시작된 PC의 발명으로 Cisco, Amazon, Google, eBay, Facebook 과 같은 회사들이 생겨날 줄 상상이나 했겠는가?”

“누가 1980년 AT&T Bell 연구소에서 시작된 cellular communications technology 라는 개념으로부터 지금과 같은 무선 전화, 통신 혁명을 예측하였겠는가?”

우리나라 과학기술 지원 정책에 대한 평가

1. OECD 과학 및 혁신 보고서 (2011, 2014)
2. 바텔 (Battelle) Global R&D 보고서 (2014)
3. 한국 R&D 정책 분석, University of Maastricht, C. Nauwelaers (2009)
4. 한국연구재단 2014 우수연구 50선
5. 미국 NSF web site

이상적 R&D 환경 구축 모형



- 과학기술 인력에 대한 투자가 가장 중요하다.
- 과학에 대한 투자는 신생 기업 창출을 동시에 고려한다.
- 투자는 기본 개념부터, 상업화 까지 동시에 고려한다.
- 정부는 모든 단계에 대해 투자 하고, 변화에 반응하여야 한다.
- R&D로부터 상업화의 성공은 혁신경쟁력에 비례한다.

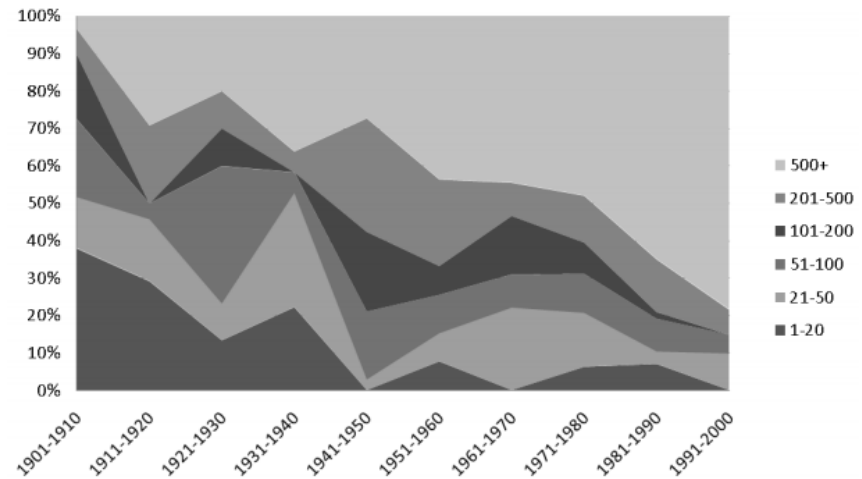
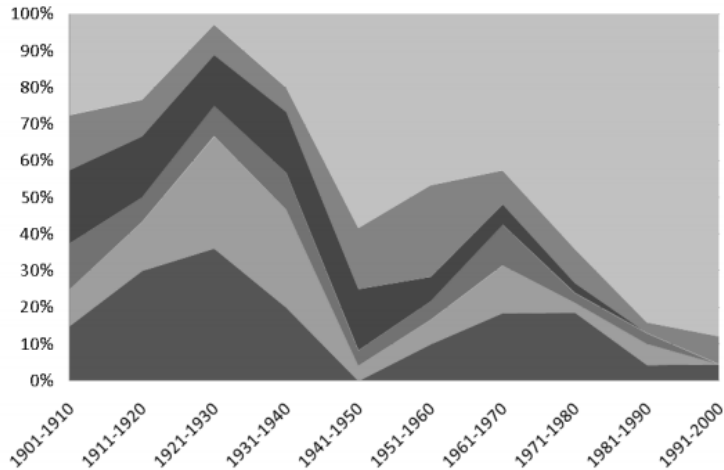
과학 기술 정책 입안, 성과 평가 시 정량적 평가의 문제점

시작 전: 정책 결정 시 통계 숫자를 이용하는 것이 편하나, 실체를 놓치기 쉬움

- 과학서지학은 1940년 대 후반 Derec Price 등의 학자에 의해 시작
- ISI-Thompson, Scopus, Google 이 선두에 있음.
- 화학 50%, 물리학 45%, 생물학 40%, 공학 10%의 학회지가 SCI논문임.
- 폐해: † 중요한 과학 기술 발견을 놓치는 경우가 많음.

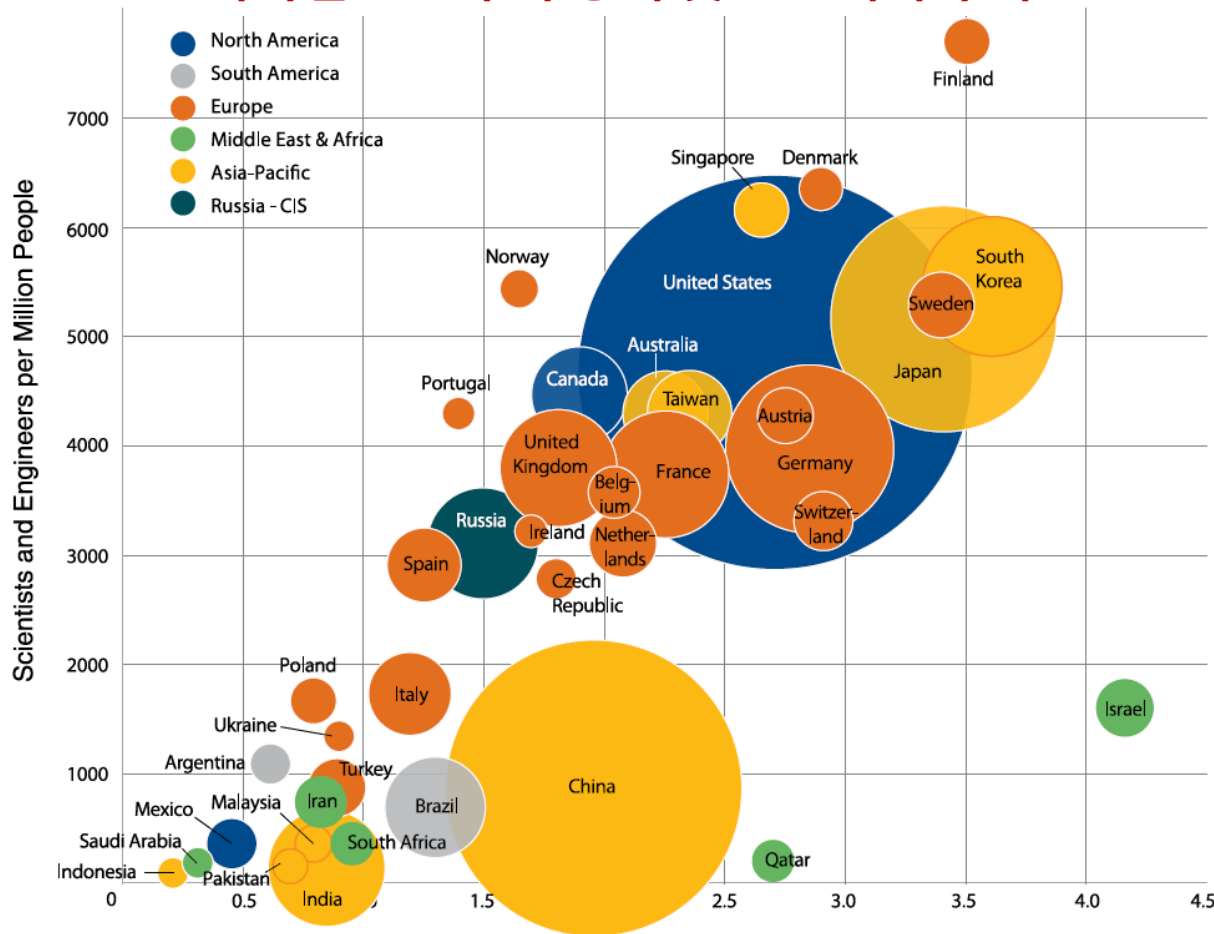
† 과학 기술자의 평가를 정량적으로 하는 경우, 실제 가치보다 인기 있는 논문과 특허에 집중, 남을 따라가는 연구를 하기 쉬움.

예:



대한민국 정부의 과학기술 투자는 세계를 선도하고 있음

국가별 R&D 투자 총액 및 GDP 대비 투자

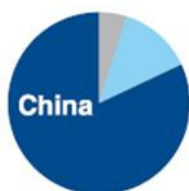


Source: Battelle, R&D Magazine, International Monetary Fund, World Bank, CIA Fact Book, OECD

2014

		GDP PPP Bil, US\$	R&D as % GDP	GERD PPP Bil, US\$
1	United States	16,616	2.8%	465
2	China	14,559	2.0%	284
3	Japan	4,856	3.4%	165
4	Germany	3,312	2.9%	92
5	South Korea	1,748	3.6%	63
6	France	2,319	2.3%	52
7	United Kingdom	2,454	1.8%	44
8	India	5,194	0.9%	44
9	Russia	2,671	1.5%	40
10	Brazil	2,515	1.3%	33

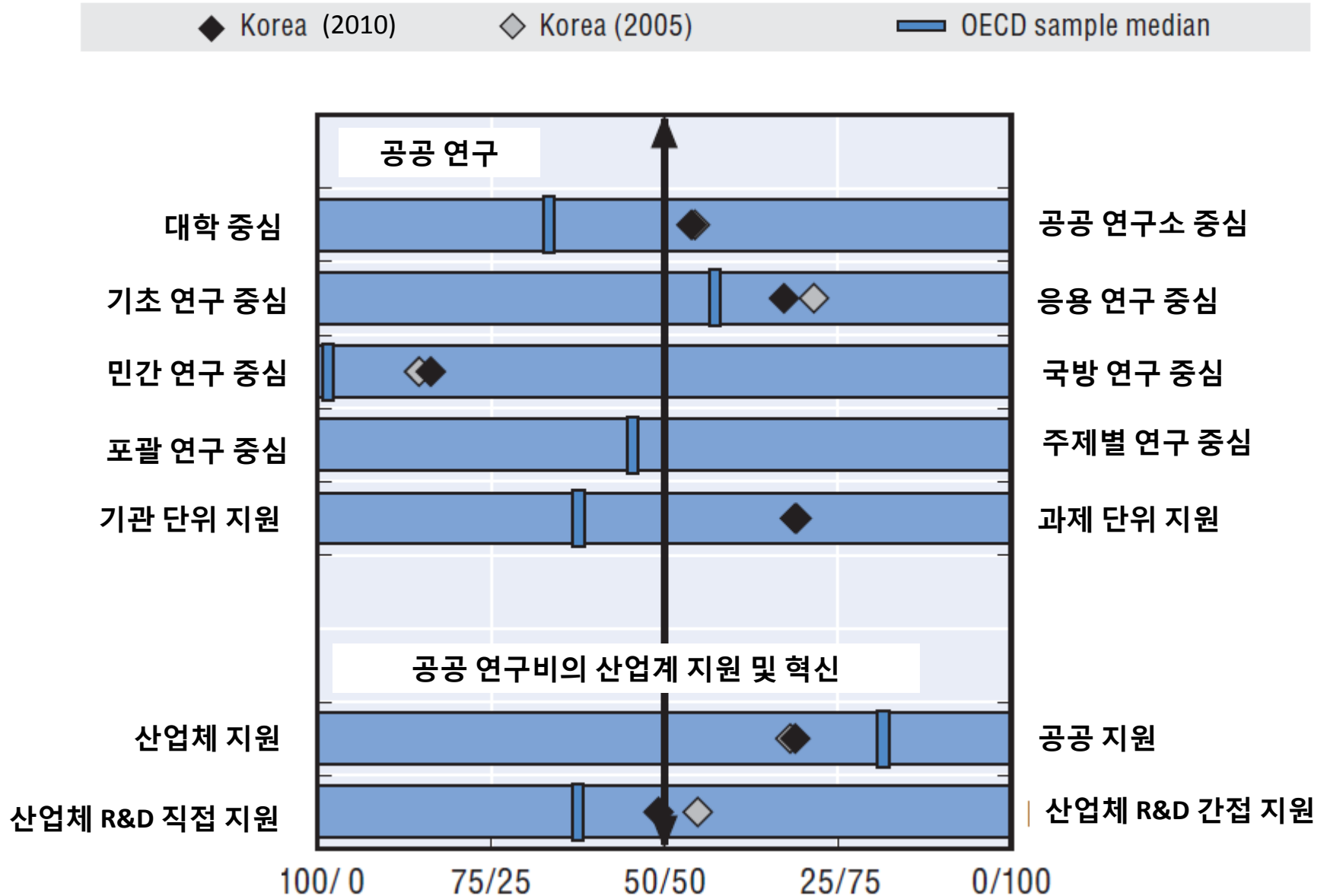
총액 : 세계 5위
GDP 대비: 세계 2위



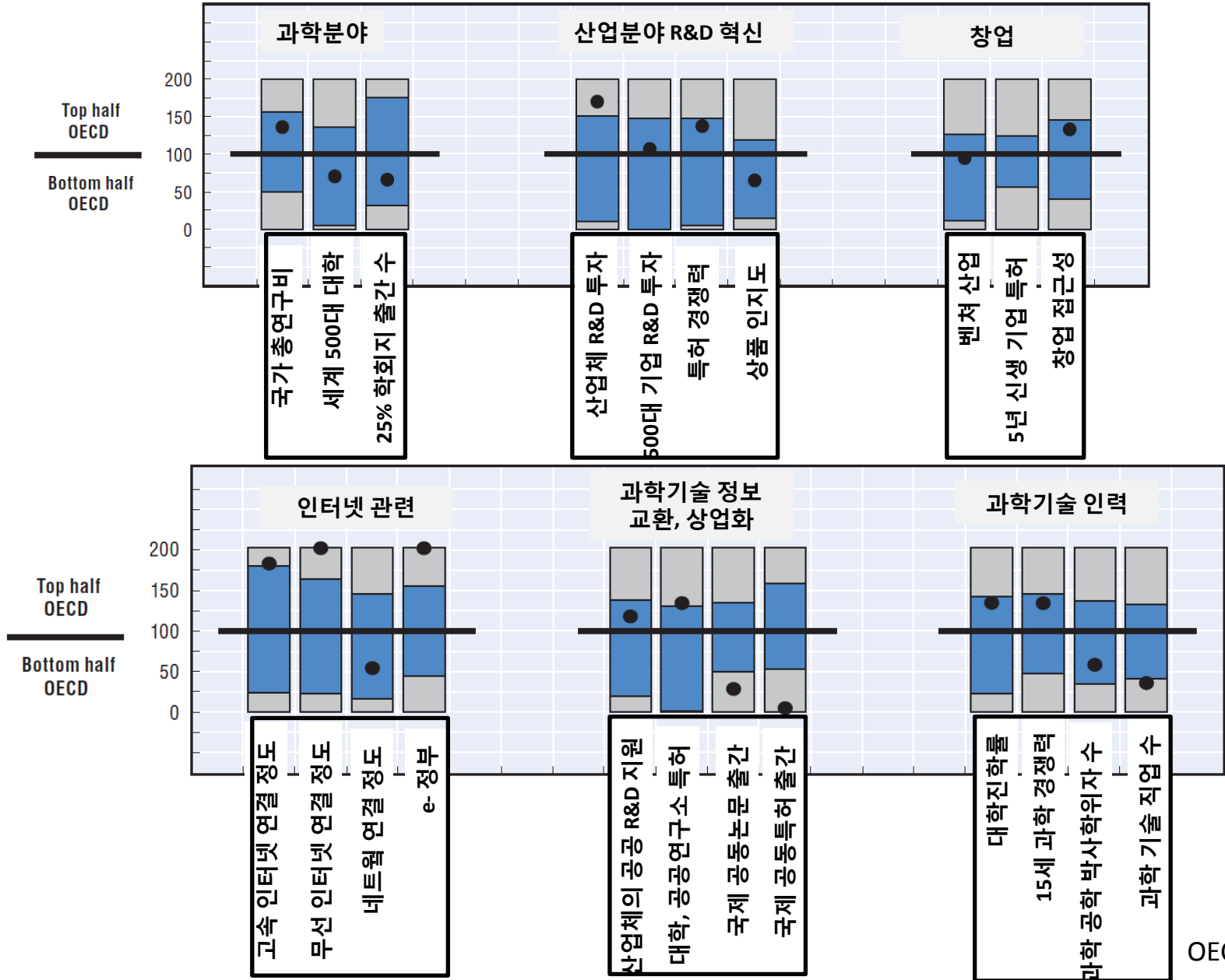
Basic Research Applied Research Development

Battelle 보고서

1. 우리나라 R&D 국가 혁신 경쟁력은 개선을 요함

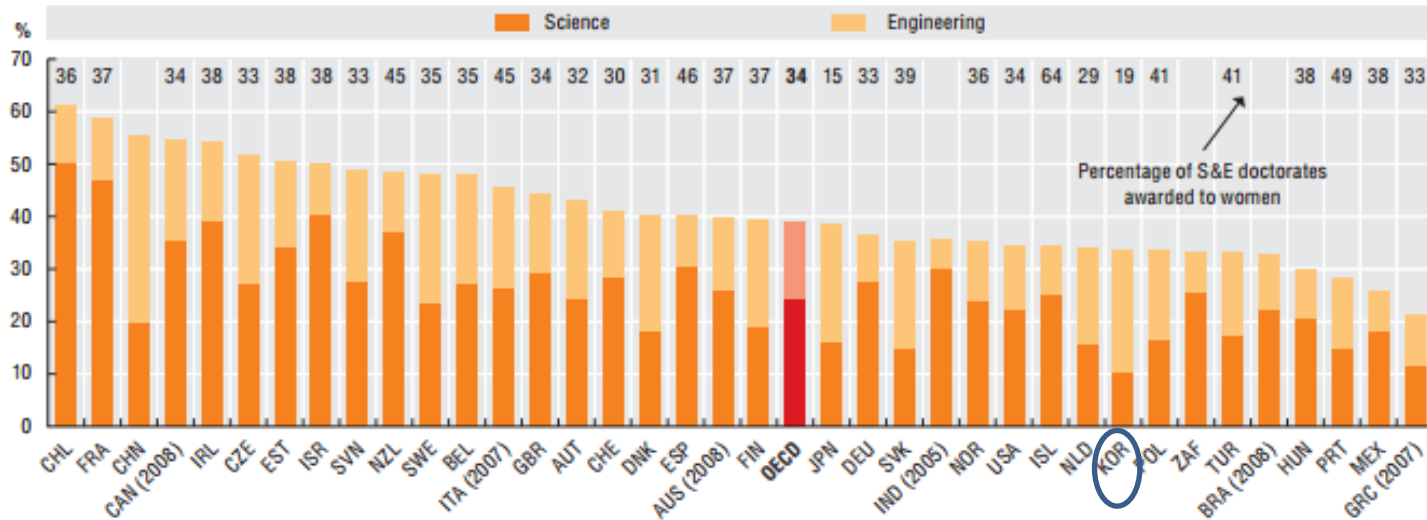


1. 우리나라 R&D 국가 혁신 경쟁력은 개선을 요함

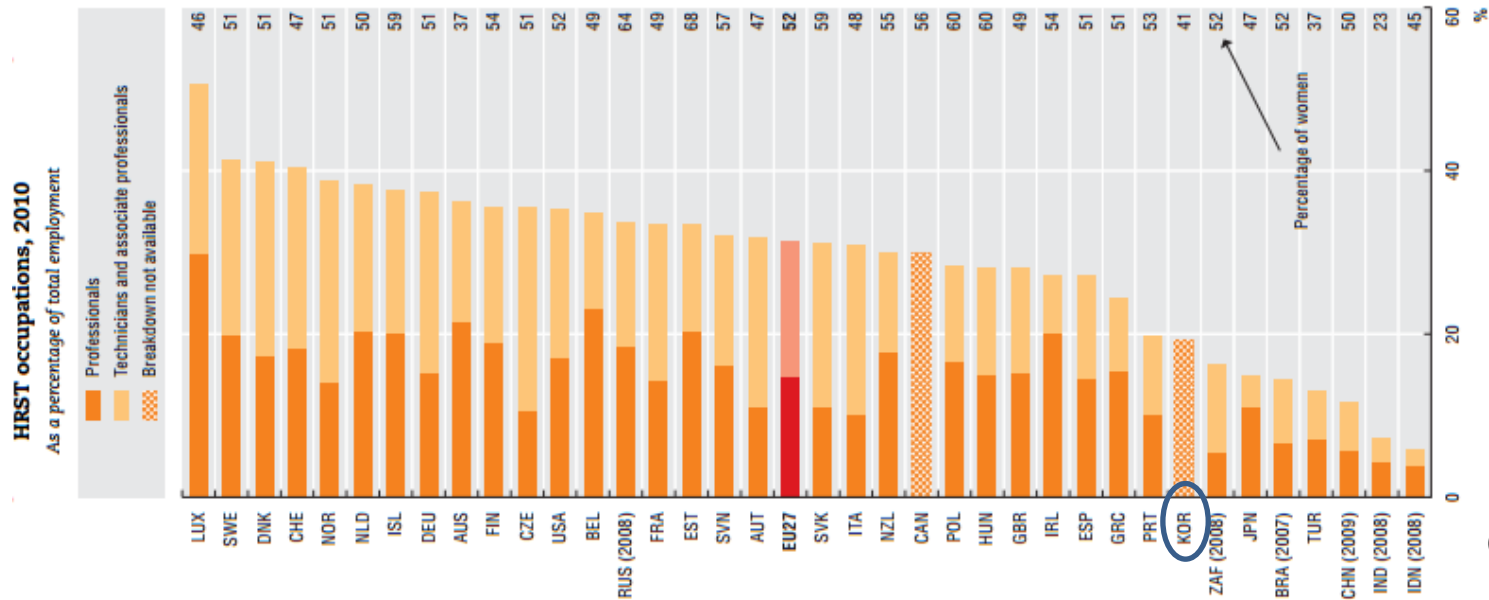


2. 과학기술 고용률도 낮고, 고급인력 배출도 낮음

과학, 공학 박사학위 배출
As a percentage of all new degrees awarded at doctorate level, 2009



과학, 공학자 직업 비율

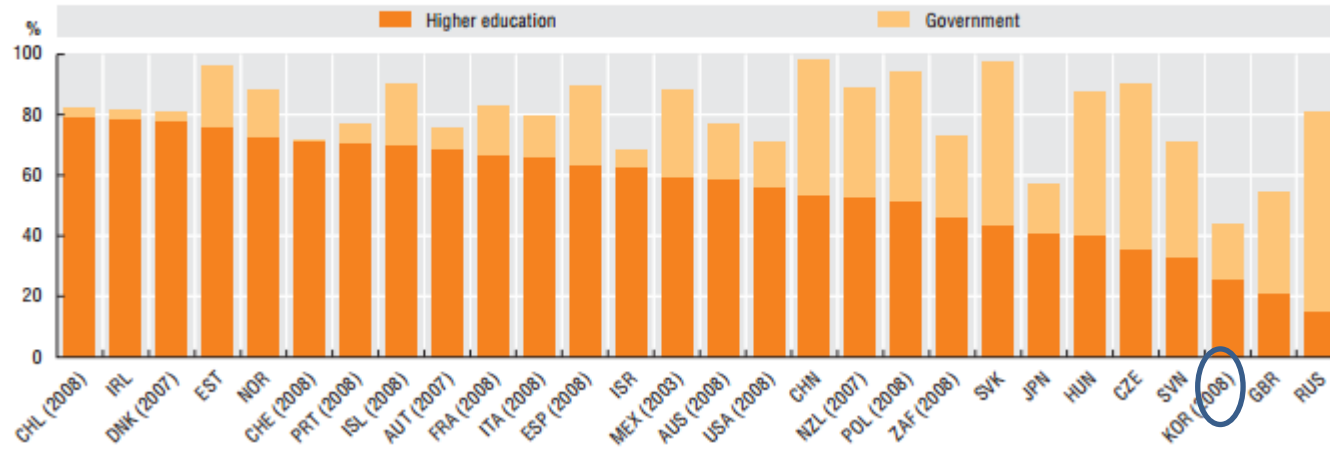


3. 기초연구 경쟁률이 높지 않음

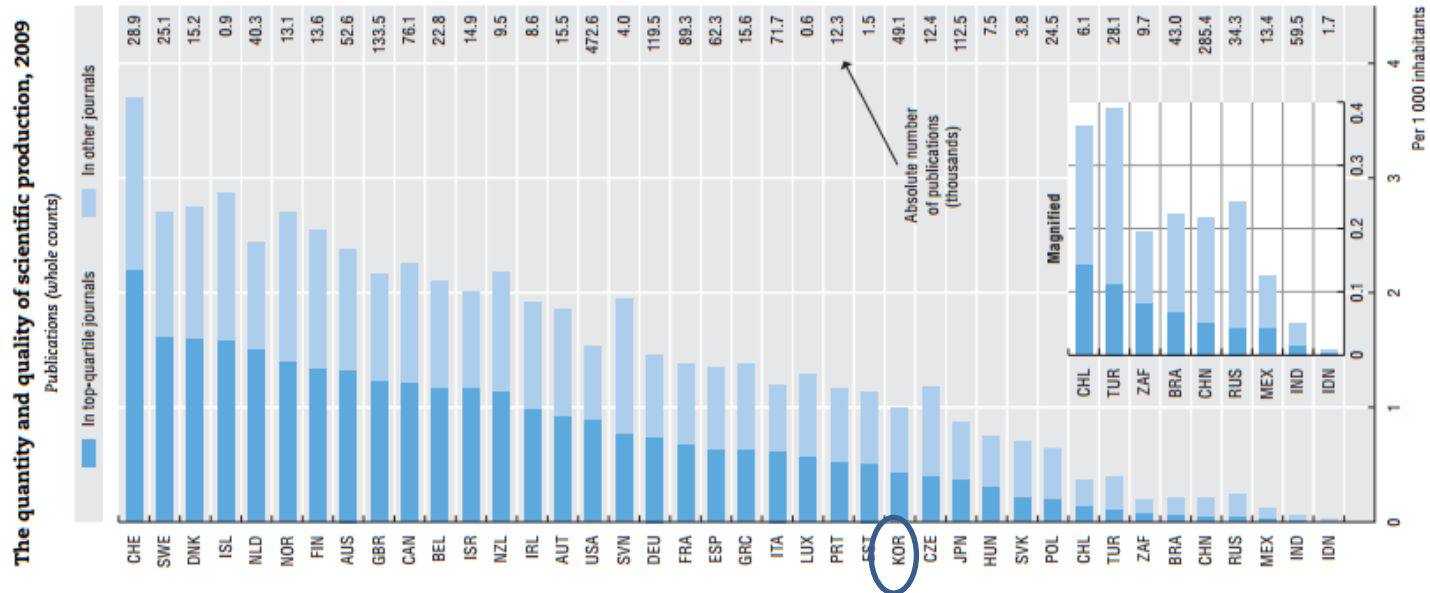
참여기관 별 기초연구 비율

r, 2009

As a percentage of national basic research



논문 발표 수 및 우수 논문 발표 수

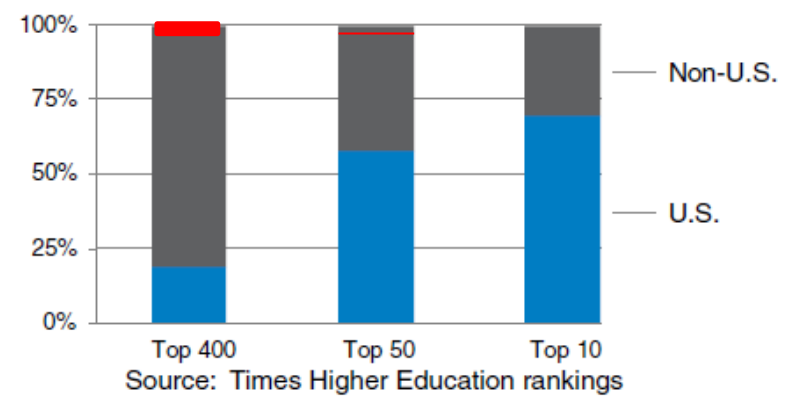


3. 기초연구 경쟁률이 높지 않음

아시아 내의 Nature 출간 경쟁력



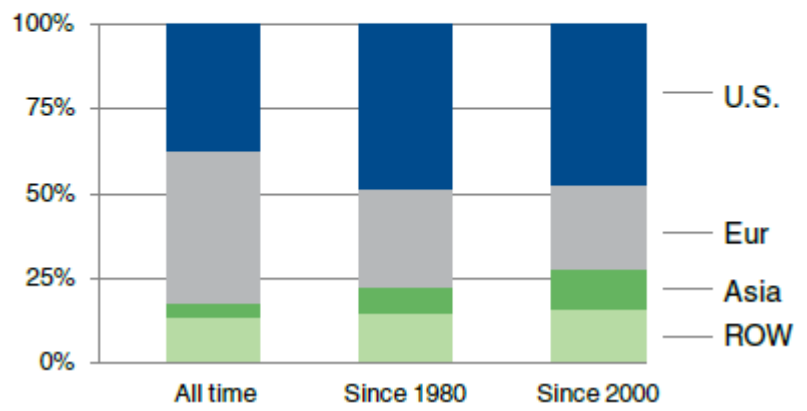
대학 경쟁력



노벨상 수상자

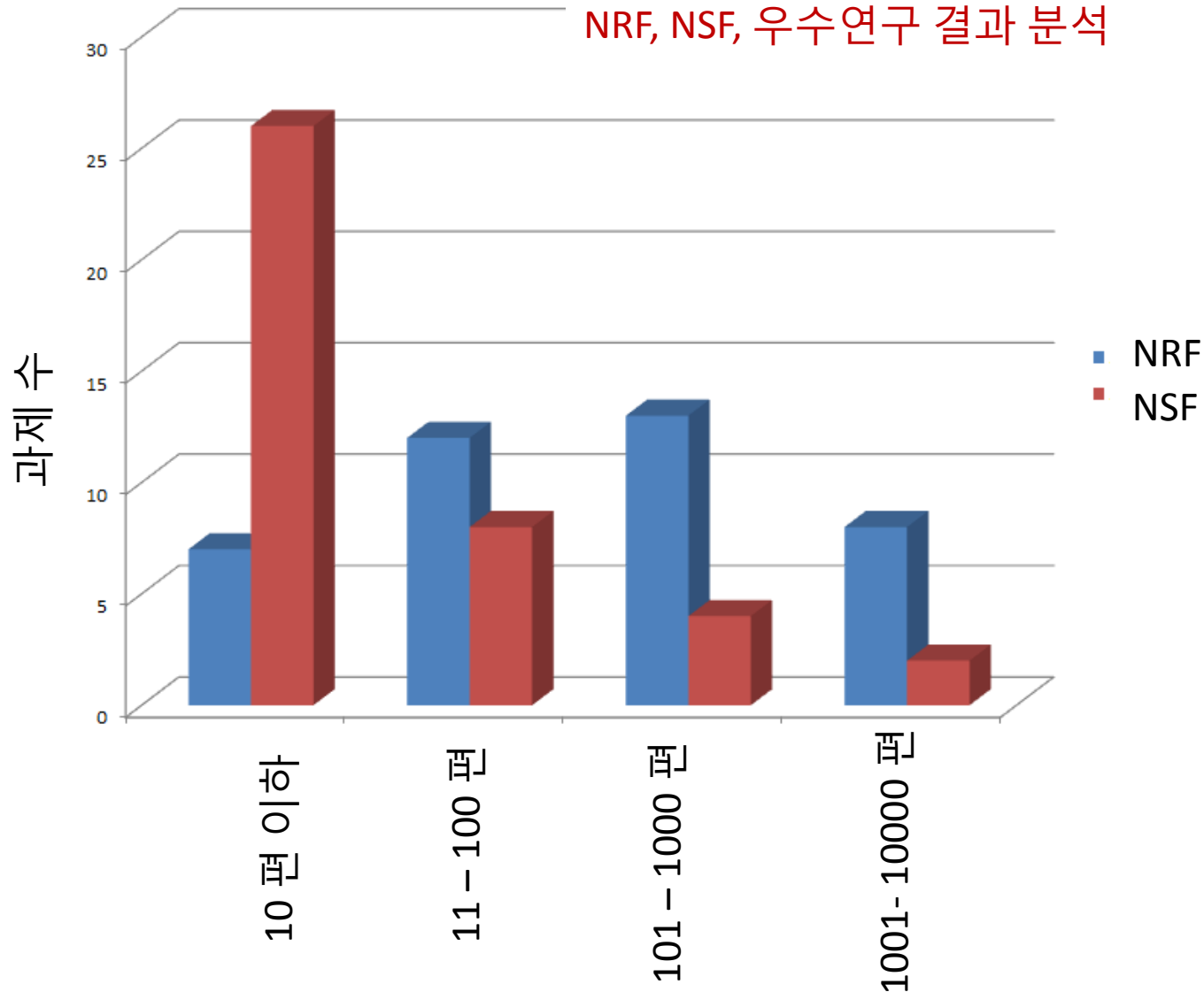
European and U.S. shares accommodating emerging regions

일본: 19, 이스라엘: 8, 인도: 6, 중국: 4, 파키스탄: 1, 대만: 1, 홍콩: 1



3. 기초연구 경쟁률이 높지 않음

우수 50선 연구 결과의 선행연구 비율
(우리는 이미 진행되는 연구를 따라 한다)

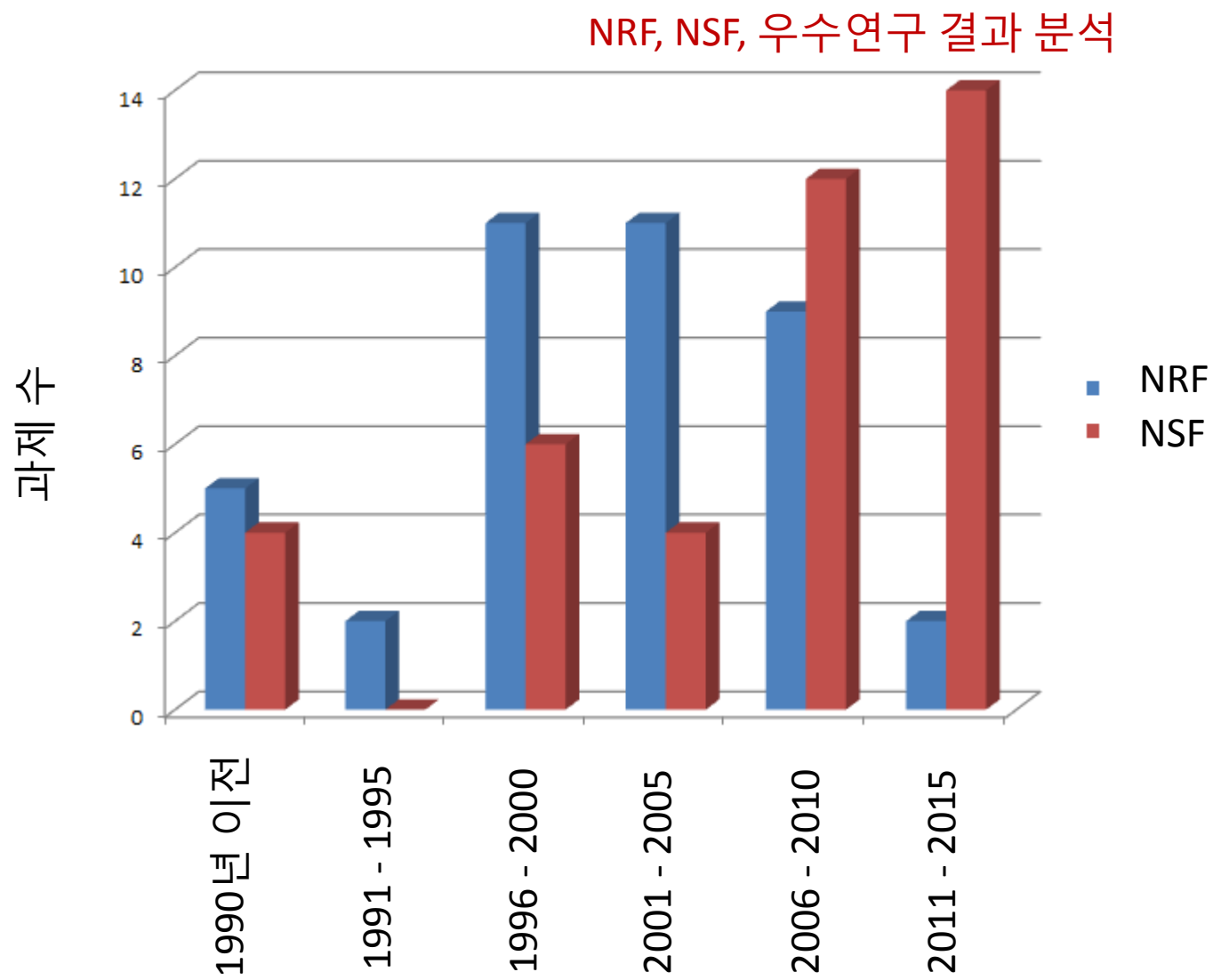


독창성, 창의성이 부족하다?!

발표자 분석

3. 기초연구 경쟁률이 높지 않음

우수 50선 연구 결과의 선행연구 시작 년도
(우리는 오래된 연구를 반복한다)



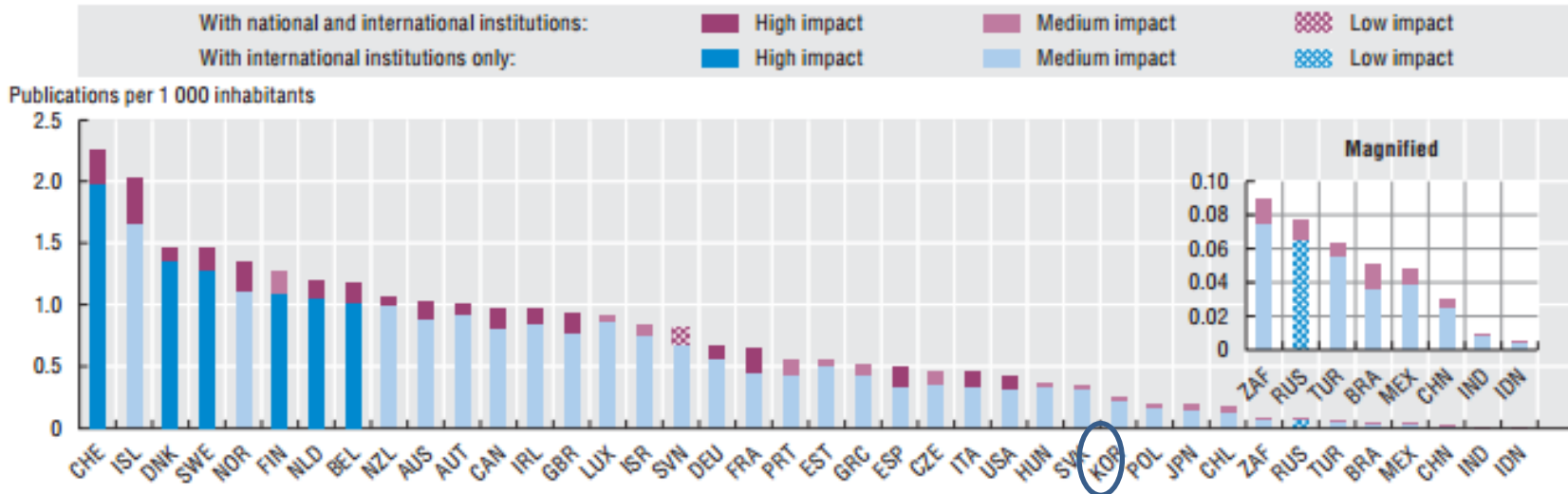
발표자 분석

4. 국제화 지수도 낮음

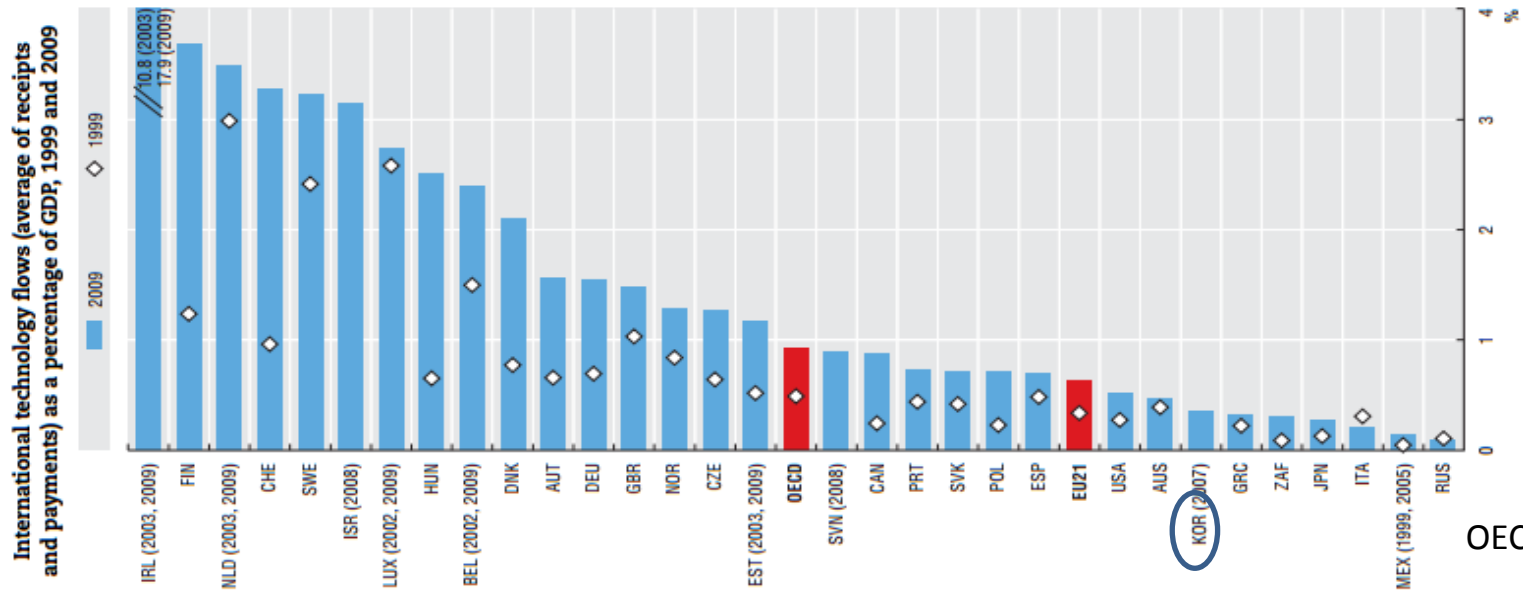
연구 결과 중 국제공동연구의 기여도

2009

Publications by impact and type of collaboration, per 1 000 inhabitants



국제 기술 이전 지수 (1999-2009)



OECD 보고서

4. 국제화 지수도 낮음

국제 공동 발명

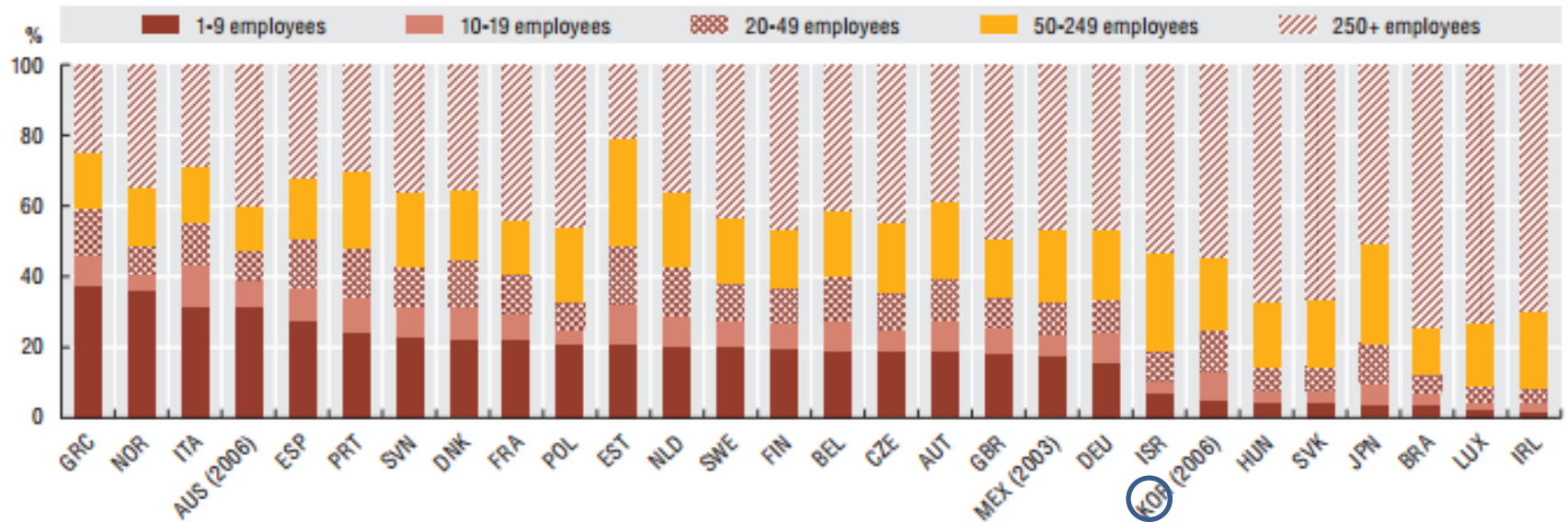
, 2007-09

Co-authorship and co-invention as a percentage of scientific publications and PCT patent applications



기업 분류

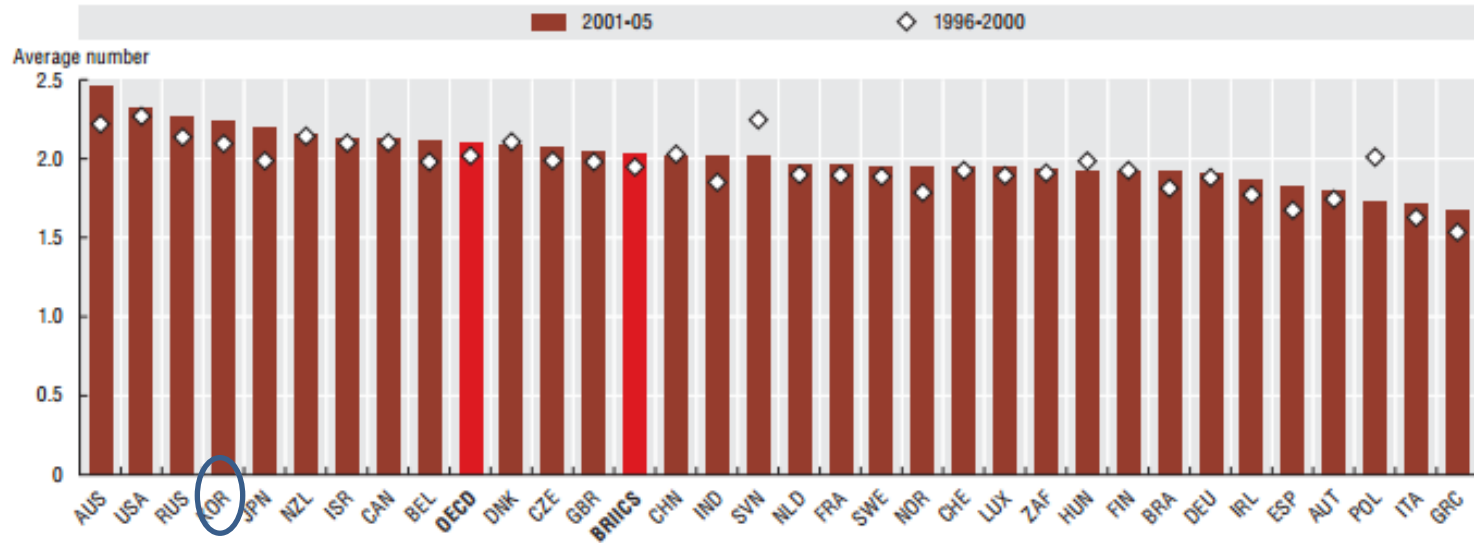
Value added by size class, 2007



5. 국제 특허 출원 양은 많으나, 유용한 특허는 적음

국가별 총 특허 수, 1996-2000 and 2001-05

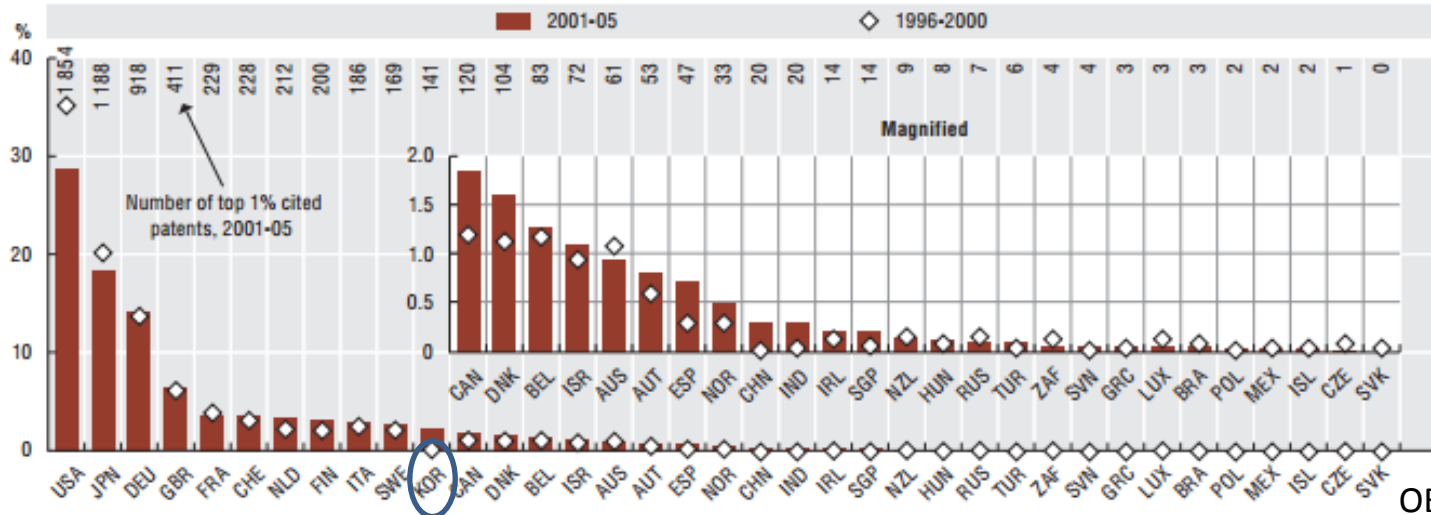
Average number of IPC classes per patent application to the EPO



국가별 특허 인용 지수

(top 1%), 1996-2000 and 2001-05

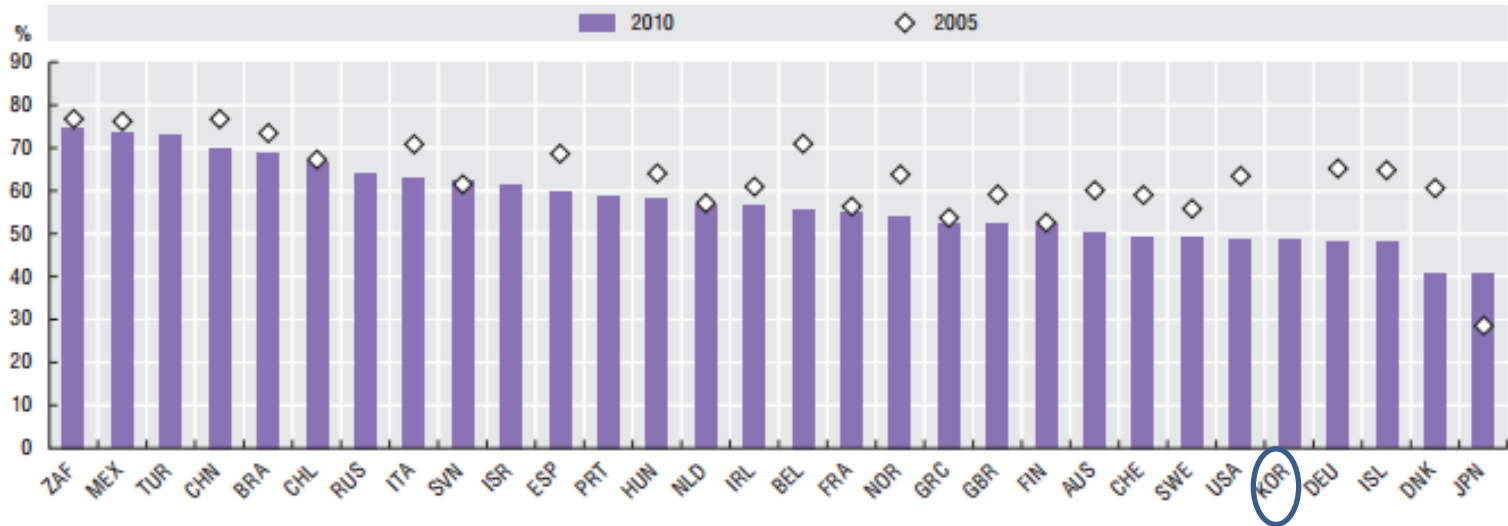
As a share of all EPO patent applications in the top 1% in their field



6. 신생 기업 숫자가 작으며, 기술경쟁력이 낮음

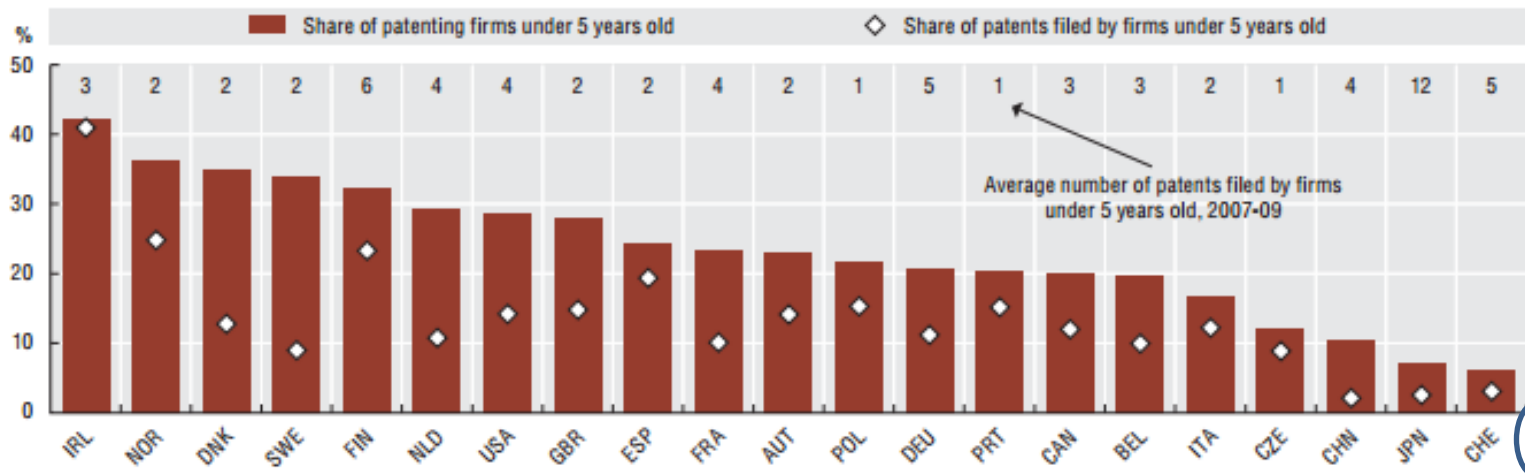
45세 이하의 신생 기업, 2005 and 2010

As a percentage of all entrepreneurs



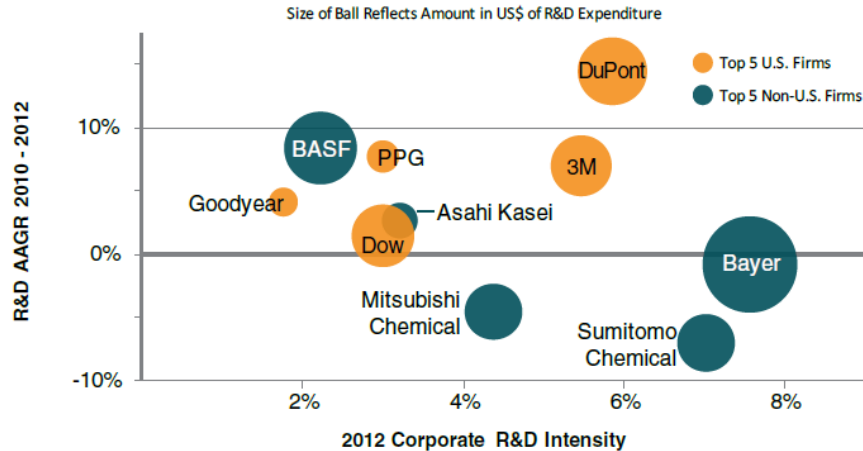
신생 기업의 특허 보유율, 2007-09

Share of young patenting firms and share of patents filed by young patenting firms, EPO and USPTO

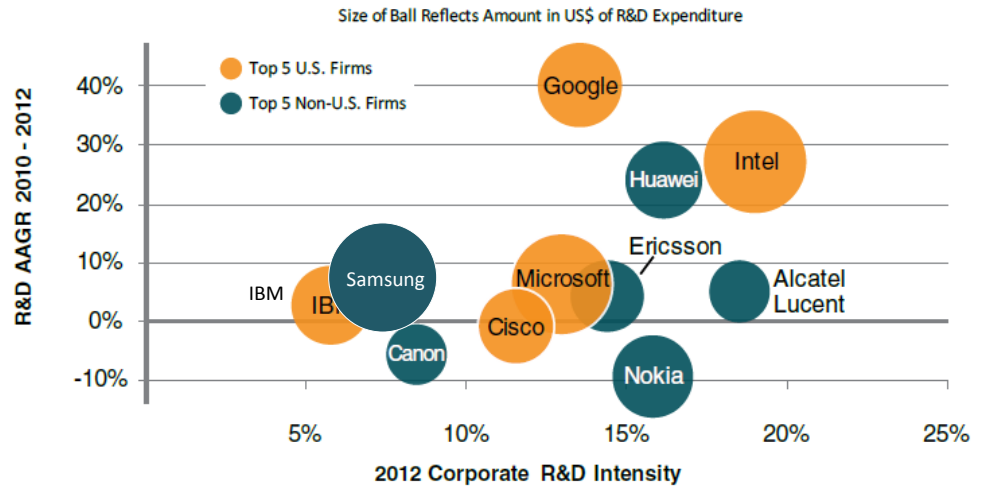


분야별 세계 10대 R&D 회사

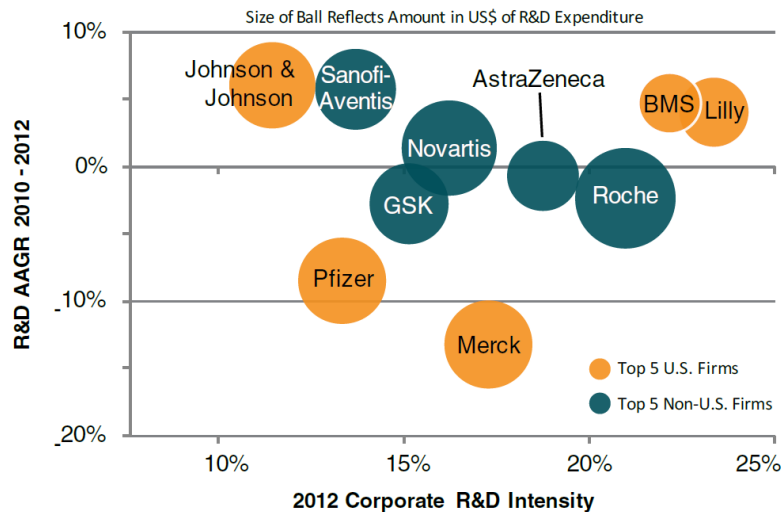
화학-소재 산업



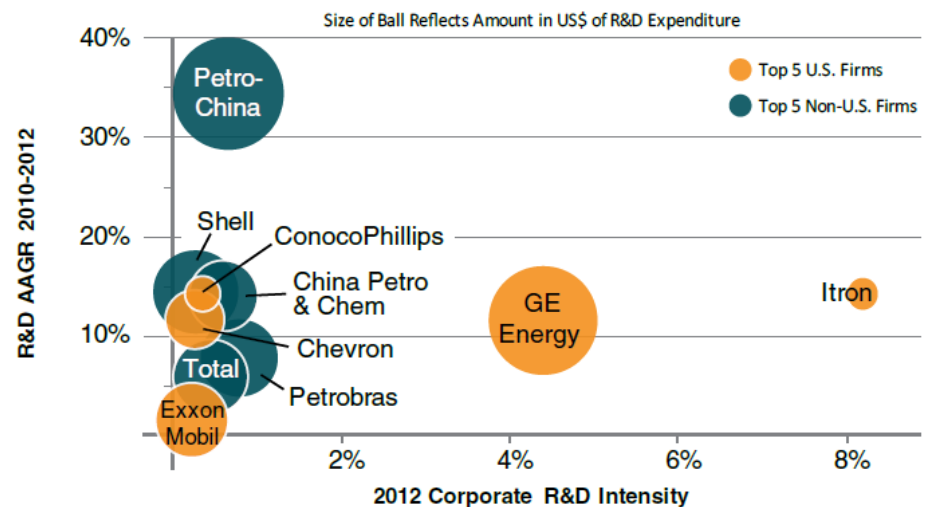
ICT



생명과학-공학 산업



에너지



국가 연구 정책의 도전 시사점

대한민국의 도전과제 - OECD

- 산업체 R&D는 대기업 중심, 중소기업 연구는 미미 함.
- R&D 경영의 효율성과 사업화 효율성이 낮음.
- 기초연구 경쟁력과 대학 연구 경쟁력이 낮음.
- 국외 연구비 수주가 낮으며, 국제 연구 그룹 참여율이 낮음.

World Bank의 대한민국 R&D 지적 사항

- 산학연 사이의 적극적 대화가 필요함.
- 공공 투자에 대한 정당성과 공정성 확보.
- 대기업에 대한 지원은 공공성을 고려.
- 기초연구를 활성화, 연구 저해하는 요소 제거.
- 정부출연연구소의 역할 정의 재고, 산업체 연구 보완 기능보다 공공연구 주력.
- 중소기업 지원 정책의 변화.
- 국제 교류, 공동 출자, 공동 연구, 국제 기구 참여, 국제 평가 활성화
- 담당 부처 간의 공동 정책 추구

정량적 평가의 한계 (US Academy of Science)

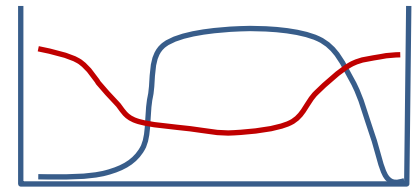
IP를 이용하여 업적을 평가하는 것은 생명·의학 처럼 인용이 중요한 경우와 달리 사회 과학, 환경 등과 같이 인용이 활발하지 않은 분야에서는 중요한 업적을 놓치는 우를 범할 수 있다.

IP를 중요시 하는 경우 많은 과학자들이 불필요하게 높은 IP의 저널에 몰리는 우를 범할 수도 있다. 그러나 가장 중요한 폐해는 IP를 중요시 함으로써, 많은 과학자들이 “me-too-science”를 하게 되는 것이다. IP를 중요시 하는 경우 과학자들이 위험하거나 놀랄만한 발견을 하는 기회를 박탈하게 된다. 도전적 발견의 경우의 성공은 여러 해가 걸릴 수도 있으므로 과학자들은 이 힘든 과정을 피하고, 쉽게 인용이 되는 과학에 몰두하기 때문이다.

The misuse of the journal impact factor is highly destructive, inviting a gaming of the metric that can bias journals against publishing important papers in fields (such as social sciences and ecology) that are much less cited than others (such as biomedicine). And it wastes the time of scientists by overloading highly cited journals such as Science with inappropriate submissions from researchers who are desperate to gain points from their evaluators. But perhaps the most destructive result of any automated scoring of a researcher's quality is the "me-too science" that it encourages. Any evaluation system in which the mere number of a researcher's publications increases his or her score creates a strong disincentive to pursue risky and potentially groundbreaking work, because it takes years to create a new approach in a new experimental context, during which no publications should be expected. Such metrics further block innovation because they encourage scientists to work in areas of science that are already highly populated, as it is only in these fields that large numbers of scientists can be expected to reference one's work, no matter how outstanding.

과학기술 정책에 대한 제안

1. R&D 지원 정책은 유지 발전
2. 평가의 능력 향상, 양적 질적 (peer) 평가 병행, 질적 우수성이 강조되는 환경 설정
(대학, 정부출연연구소, 기업연구소)
3. 연구 투자 대비 실적 회수율의 증대 (산업화 가능 지적재산권, 노벨상 급의 연구)
4. 원천 기초의 신중한 선별 --- 외국과 비교 평가
5. Entrepreneurship 고양 - 교육에 의한 사회 변화, 실패하는 기업



용납

기초

응용 산업화

6. 연구생산성을 높일 수 있는 제도 개선, 인력 양성 방향 정립 (내실화, 다양화)
7. 과학기술 정책 전문가 양성:

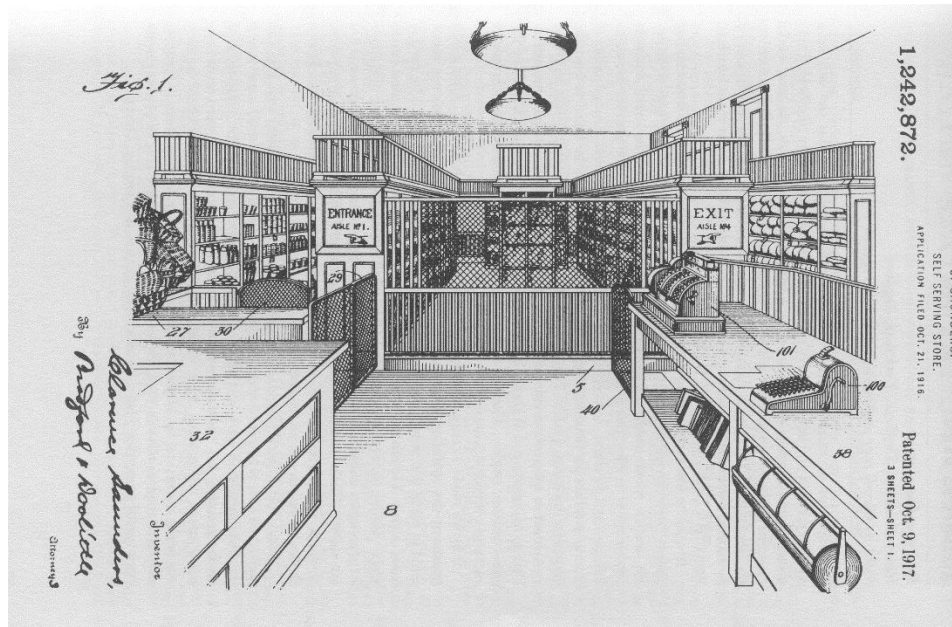
특정 기술이 시작되기 전에 파악할 수 있는 능력 함양

(예: 학계 1인, 산업계 1인, 관계 1인의 공동 장기해외 방문연수로 전문가화)

20세기 미국 발명 사례로부터의 교훈

Entrepreneurship (사업가 정신)

서비스 산업의 특허도 존재함: 슈퍼 마켓, **사업가 정신**



Clarence Saunders, 1916



외부 연구 자금 투자 없음

개인 사업가

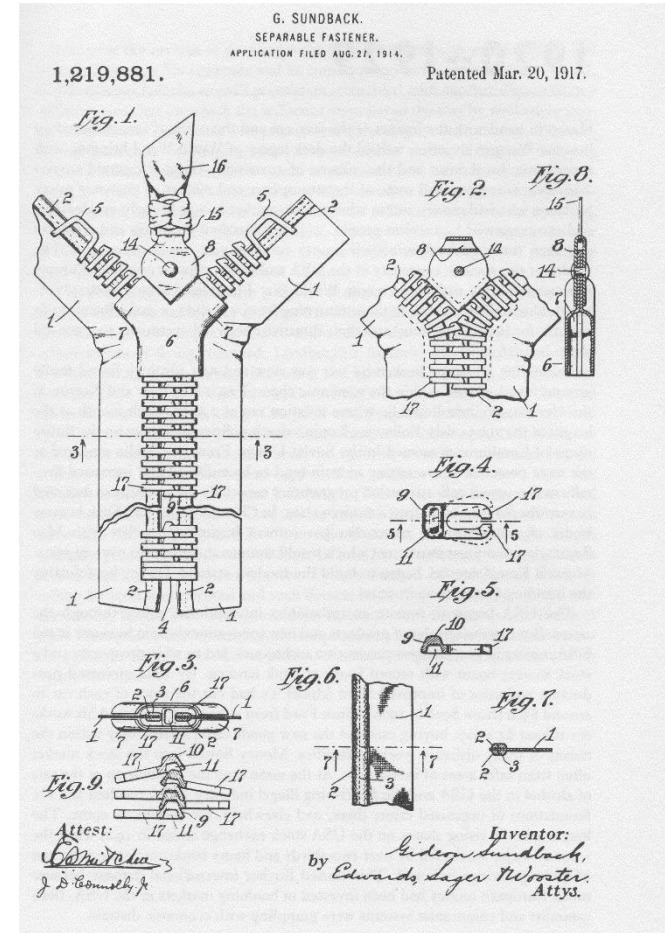
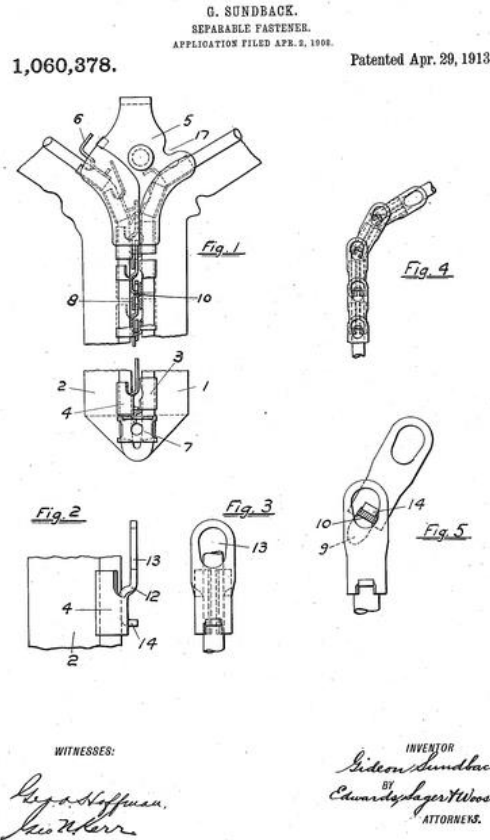
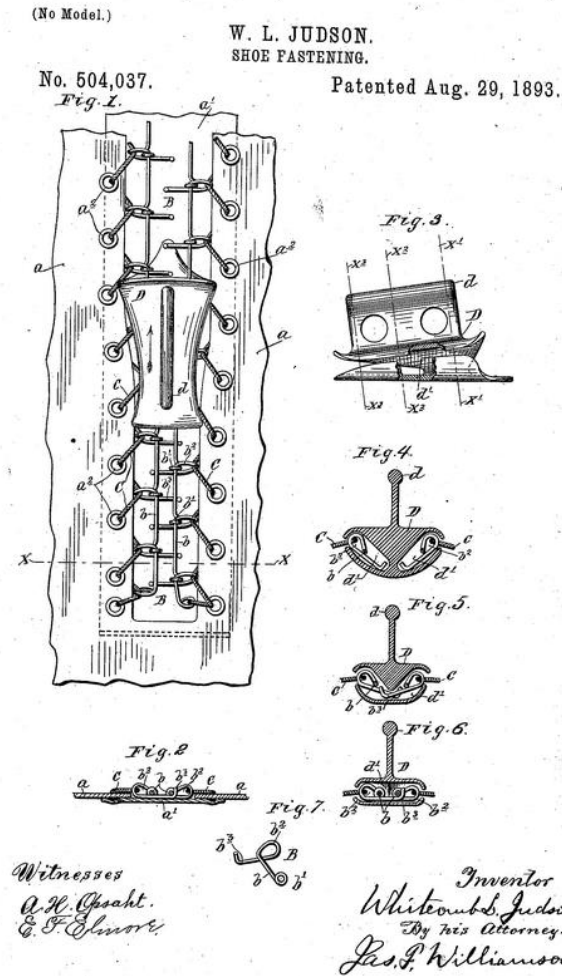
→ 1916년 Memphis에 상점 개점 후 특허

→ 미국 남부 600개 Piggly Wiggly

박리다매 상점 모형

↓
주식에 손을 대며 파산

새로운 이민자가 아이디어 향상: 지퍼: 새로운 인력 Separable Fastener



Sweden 이민자

실패한 디자인

1893 W. Johnson

Gideon Sundback, 1913

Gideon Sundback, 1914

L. Walker, lawyer

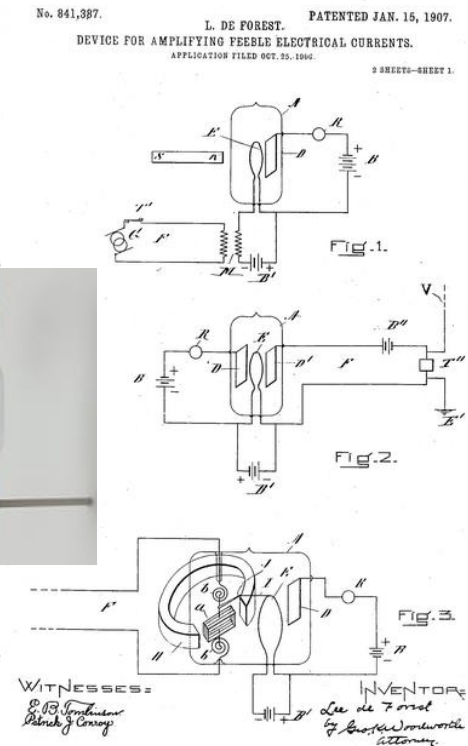
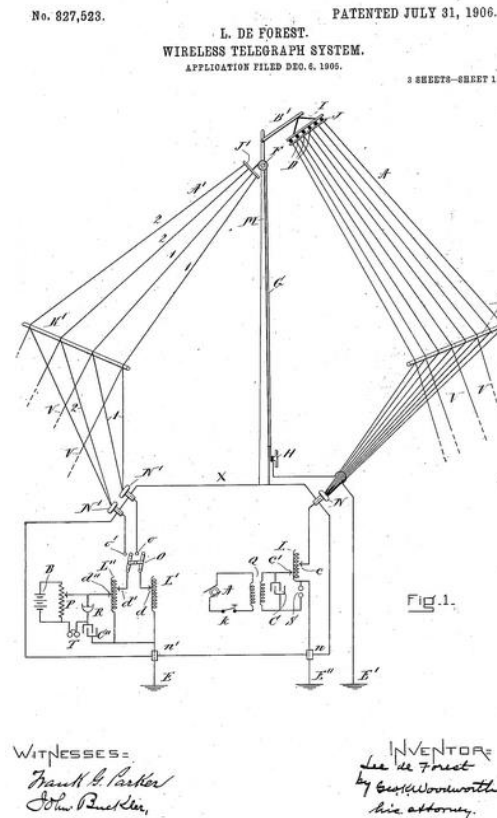
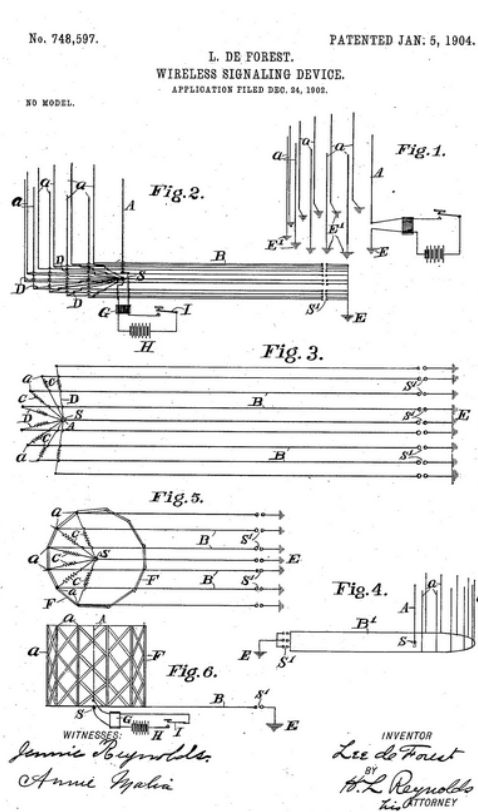
(자금 지원): Hookless Fastener Co.

1차 대전 중, 지갑,
구명복, 조종사복에 사용

Goodrich 고무로 만들

옷에 사용
(1935)

개인 발명가: 전기 신호 증폭, 전달



Dec 24. 1902
L. De Forest
안테나의 발명

Dec. 1905
L. De Forest
무선 텔레그라프 발명

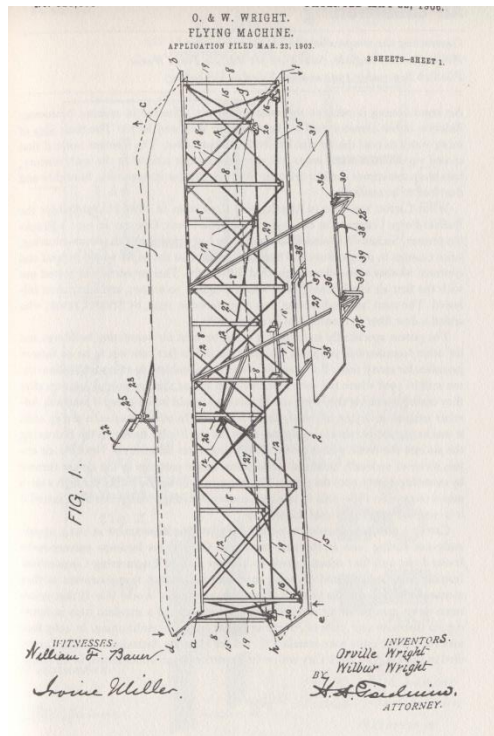
Aug. 1906
L. De Forest
진공관을 이용한 신호 증폭

Father of Radio



Iowa, Yale, PhD in Physics,
1896 G. Marconi 텔레그라프 영향
Western Electric Lab, DeForest Wireless Telegraph Co.

호기심이 새로운 산업을 창출: 비행기



1903 Wilbur and Orville Wright
(자전거 수리 및 인쇄업)

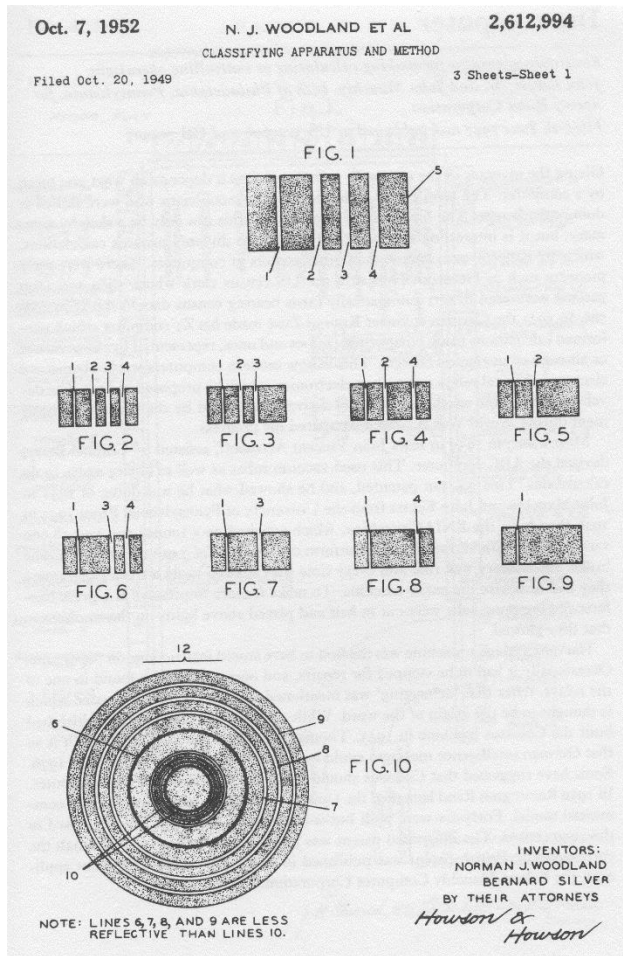
1891-1896 Otto Lilienthal 의 글라이더



1899 **Smithsonian Institute** 자료 요청
1900-1902 첫 쌍날개 와 조절 기능
비행기 설계 제작
Dayton 풍동 시설 도움

1903 Weather Bureau 공식 공동 작업
4 엔진, 12 마력 엔진 장착
비행 전 특허 제출

Drexel 대학원생이 발명 대기업이 인수: 발명가 정신



Norman Woodland, 1949 Student

1947년: 동료 대학원생 (Silver)가 아이디어로 시작
대학원 포기, morse 부호로 만든 후, 특허
출원.

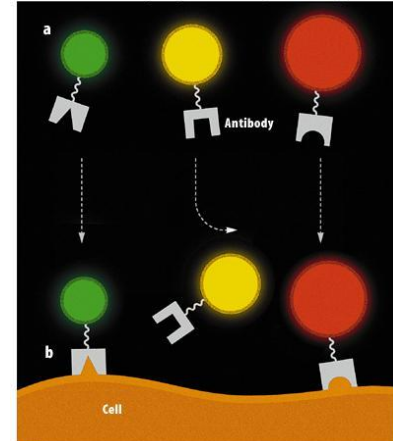
IBM 취직, IBM 특허 매입 시도, 실패

1962년: Philco 에게 매각,
다시 RCA에게 매각

1973년: Universal Product Code 완성, IBM PC와

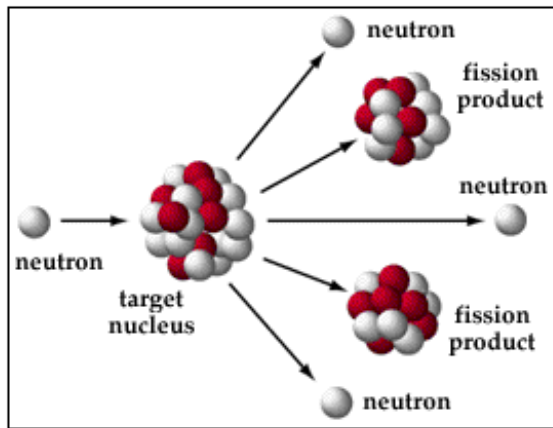
1974년 6월: 슈퍼마켓에 등장

Q-Dot Diagnosis
Colored nanodots can tag biological markers to profile a cell's population

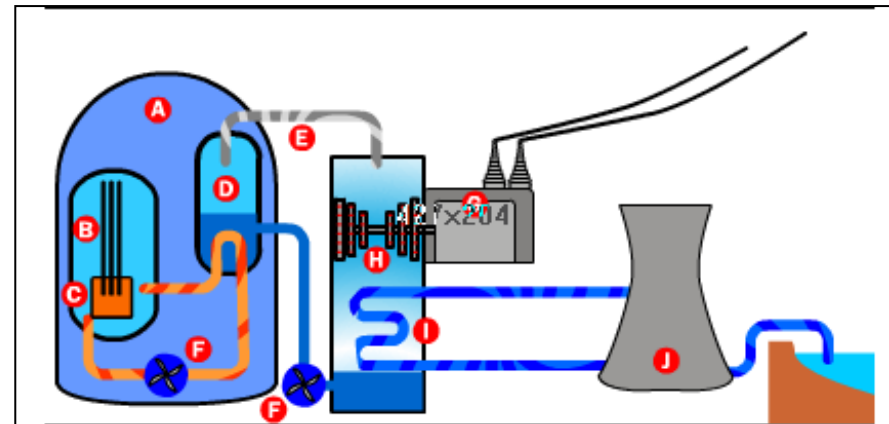
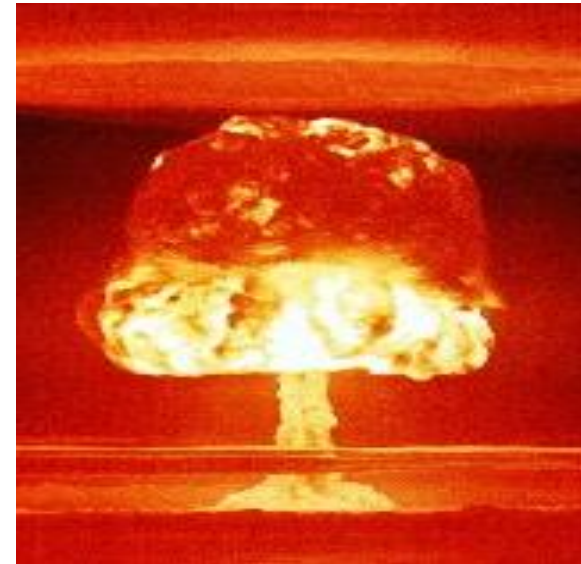


국가 주도 연구

물리학자의 아이디어에서 실용화로: 원자력



Nuclear Fission



20세기 위대한 발명: 원자력

Bibliographic data: GB630726 (A) — 1936-03-30

★ In my patents list ➤ EP Register 📄 Report data error

🖨 Print

Improvements in or relating to the transmutation of chemical elements

Page bookmark [GB630726 \(A\) - Improvements in or relating to the transmutation of chemical elements](#)

Inventor(s):

Applicant(s): LEO SZILARD ±

Classification: - international: [G21G1/02](#)

- cooperative: [G21G1/02](#)

Application number: GB19340019157 19340628

Priority number(s): GB19340019157 19340628

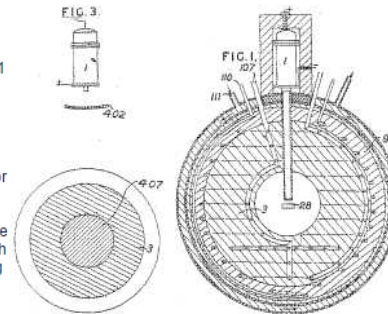
Abstract of GB630726 (A)

Translate this text into 

Albanian

 **patenttranslate** powered by EPO and Google

630,726. Producing neutrons. SZILARD, L. June 28, 1934, Nos. 19157 and 19721. [Class 39 (i)] A neutron chain reaction generates power and produces radio-active isotopes. The reaction takes place in a mass 3, Fig. 1, comprising indium and beryllium, bromine or uranium. Fast deuterons from a canalray tube 1 bombard a deuterium target 28 to produce initiating neutrons which react with In<115> to produce In<112> and "tetra neutrons" of mass about 4.014. These tetra neutrons react with the Be, Br or U to produce double the number of simple neutrons, thereby providing a chain reaction. Emerging neutrons transmute a layer 9 to produce radio-active substances. Alternatively, Fig. 3, the initiating neutrons may be produced by passing cathode-rays through a sheet 402 of Pb or U to generate hard X-rays which react with beryllium in the mass 3 (or an inner mass 407) to yield neutrons. The critical thickness of the layer 3 for a self-sustaining chain reaction is stated to be of the order of 50 cms. Tetra neutrons are stated to be produced when neutrons of 100,000 e.v. to 8 m.e.v. energy react with the In<115>. Power is obtained by heat exchange from water or mercury passing through cooling tubes 107, 110, 111. Other methods of obtaining the initiating neutrons are described in Specification 440,023.



1932 L. Szilard 특허

Sep. 12, 1932 개념 창출
중성자 발견 7개월 후
July 4, 1934 Leo Szilard
특허 출원

May 10, 1932 E. Fermi
우라늄 시편에
중성자 실험 결과 보고
Ida Noddack (독일인) 확인

Oct 22, 1934 E. Fermi
중성자의 조절에 관한
연구 결과 보고

December, 1935
Chadwick
중성자 발견으로 노벨상
수상

1955 E. Fermi
원자로 설계

Dec. 1938
O. Hahn, L. Meitner
우라늄 동위원소 효과
핵분열 발견

1955 E. O. Lawrence
우라늄 235 원심분리기

Jan. 26, 1939 N. Bohr
우라늄 핵분열 결과
Jan 29, 1939 중성자 조절
R. Oppenheimer

2004 J.P. Brusie
우라늄 순도

Feb 5, 1939 N. Bohr
U235, 239에 관한 이론
July 3, 1939 Szilard
흑연 이용 중성자 조절
Dec. 2, 1942 핵분열
실험 성공

1967 A.N. Ayers
압력센싱스위치

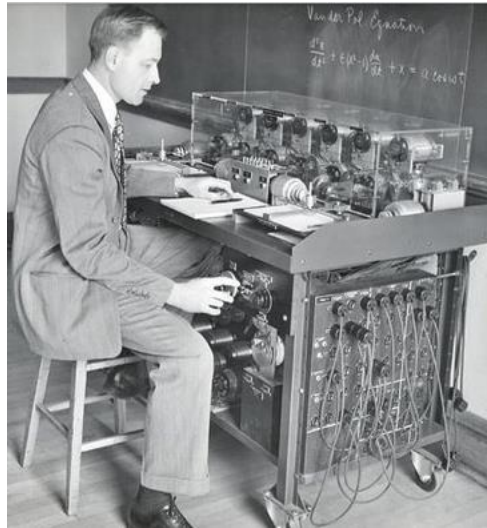
Manhattan Project, not
"The Atomic Bomb Project."
Plutonium as "copper,"
the bomb as "the gadget."

대기업 주도 연구

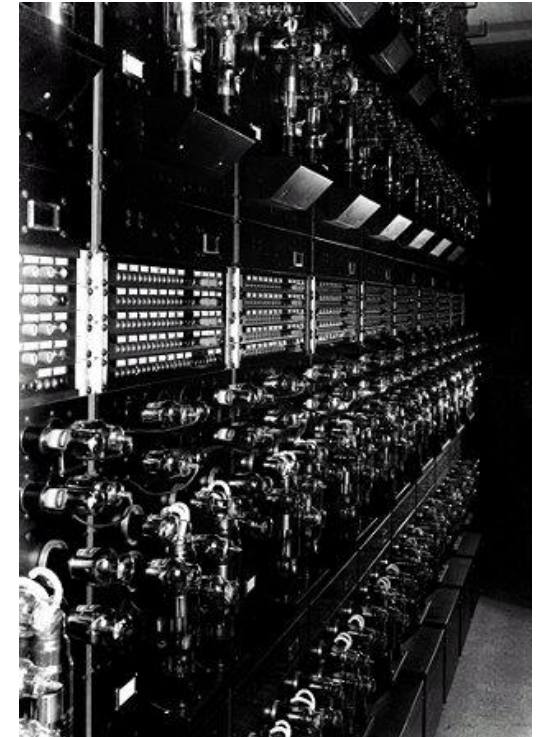
정보화 시대의 시작: 진공관을 이용한 아날로그 컴퓨터



1925, Vannevar Bush,
MIT
면적 적분



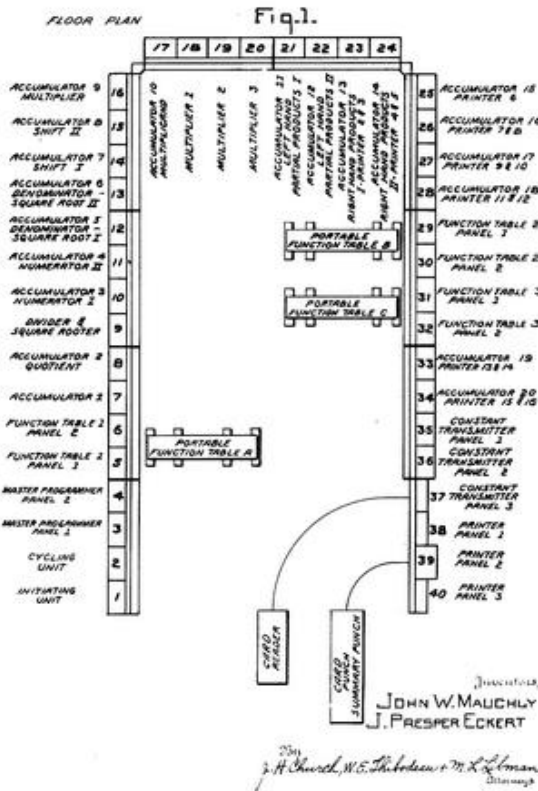
1927, Harold L. Hazen
MIT
2차 미분방정식



Rockefeller
Differential Analyzer
MIT, 1945

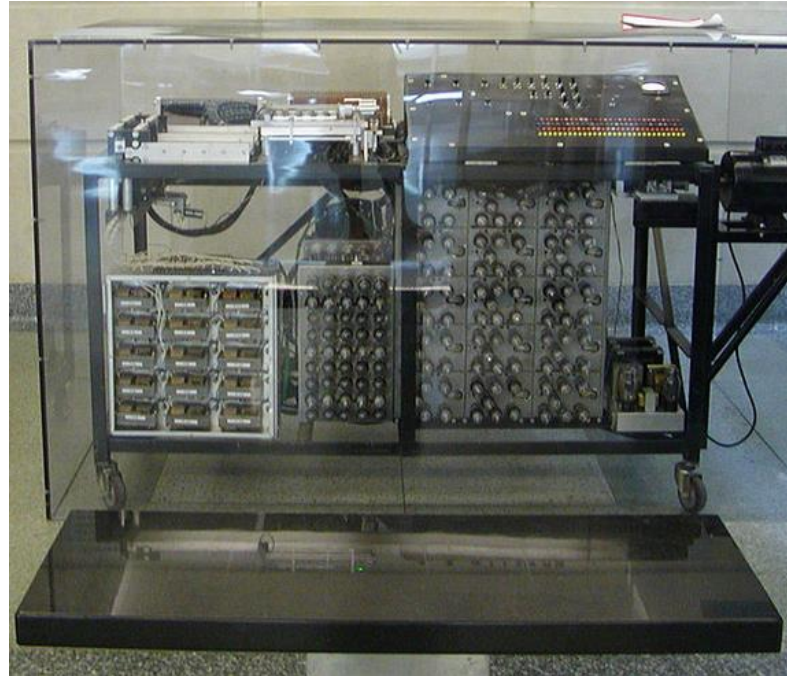
2000 vacuum tubes,
weight 100 tons,
used 200 miles of wire,
150 motors and thousand of
relays

정보화 시대의 시작: 진공관을 이용한 아날로그 컴퓨터



1964, J.P. Eckert, J. Mauchly
Army; Sperry Rand Co.
June 1943, Univ. Penn, 1947년 완성

17,468 vacuum tubes, 7,200 crystal diodes,
1,500 relays, 70,000 resistors, 10,000 capacitors

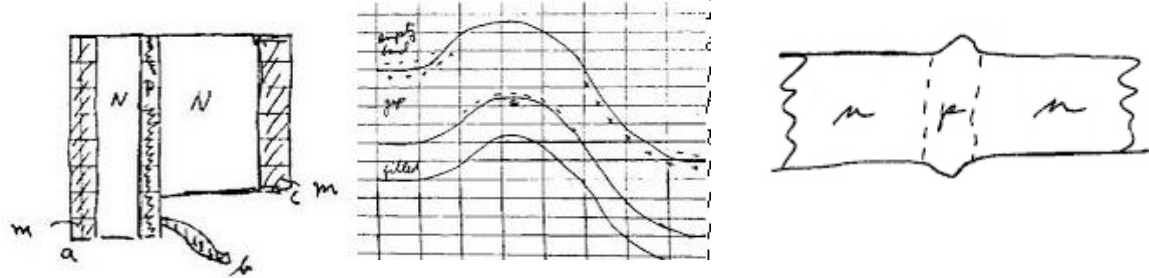
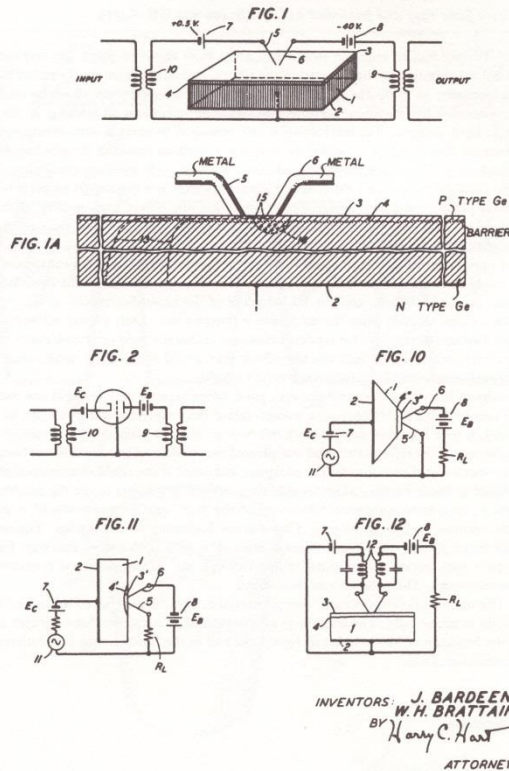


Atanasoff–Berry computer
Dec. 1943, Iowa State Univ.
Not programmable

1973 법적 무효
federal court case *Honeywell v. Sperry Rand*

정보화 시대의 시작: 반도체와 트랜지스터

Oct. 3, 1950
J. BARDEEN ET AL
THREE-ELECTRODE CIRCUIT ELEMENT UTILIZING
SEMICONDUCTIVE MATERIALS
Filed June 17, 1948
2,524,035
3 Sheets-Sheet 1



- Conductivity of Metal Sulfides: Faraday (1833)
- Temperature Dependent conductivity AgS: J. Hittori (1870)
- Photoconductivity of Se: W. Smith (1873)
- 정류 작용 관찰 Metal Sulfide: F. Braun (1874)
- CuO 에서의 정류 작용: A. Schuster (1874)
- Light Emitting Diode in zincite: O. Loslev (1923)
- 실리콘의 비금속성: G. Pickard (1922)
- CuO를 이용한 정류: L. Grondahl (1922)
- 실리콘 pn junction: R. Ohl (1927)
- Germanium 발견: C. Winckler (1886)
- 반도체라는 이름 사용: Koenigsberger (1911)
- 반도체 전자구조 규명: A. Wilson (1931)
- point contact transistor: Shockley, Bardeen, Brattain (1947)
- 반도체 도핑 현상 발견: Pearson and Bardeen (1949)

John Bardeen
Walter Brattain
AT&T Bell Lab
1948



Bell 연구소	Mervin Kelly	
	O. Buckley	\$417,000
	W. Shockley	
	J. Bardeen	
	W. Brattain	\$7,047,000

정보화 시대의 시작: Integrated Circuit **신입 사원의 아이디어**

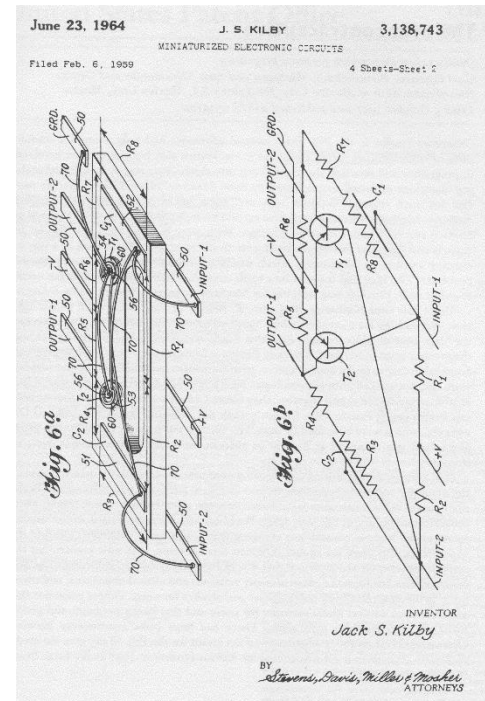
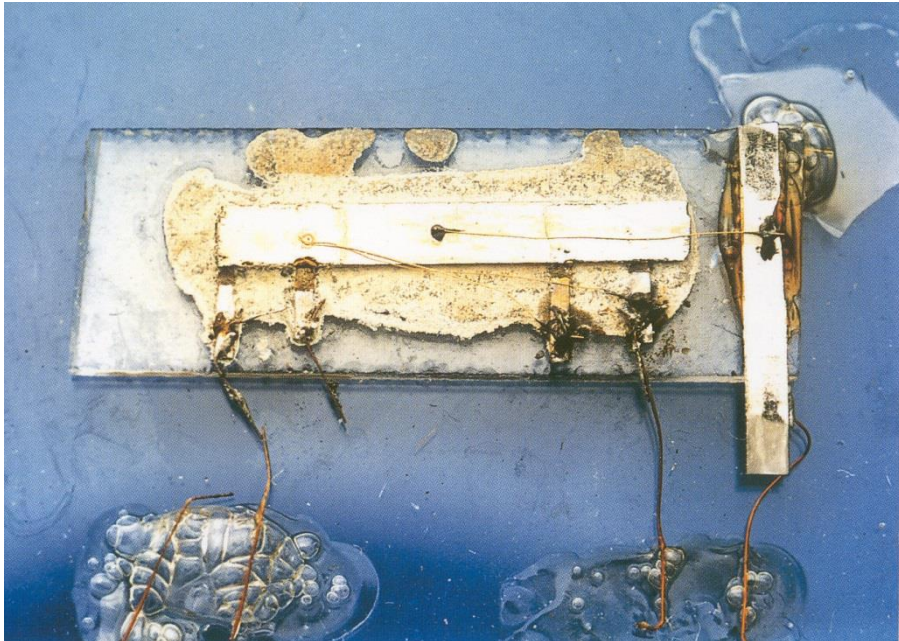
Geoffrey W.A. Dummer가 처음 실리콘 위에 집적회로 제안, 1952 학회에서
Jack Kilby, U of Wisconsin 졸업 후 Texas Instrument에 고용

소자 소형화에 투입

고용 첫 해, 기존 소자를 모아 회로를 만드는 것보다
같은 기판 (Ge) 위에 저항, 캐패시터, 트랜지스터를
만드는 아이디어 제안. Sep. 12, 1958, 데모 회로 구축

1959년 2월 Fairchild Robert Noyce 유사 회로 보고

미국 법원은 두 발명을 모두 인정



정보화 시대의 시작: Integrated Circuit

Name	Signification	Year	Transistors number	Logic gates number ^l
LSI	<i>large-scale integration</i>	1971	500 to 20,000	100 to 9,999
MSI	<i>medium-scale integration</i>	1968	10 to 500	13 to 99
SSI	<i>small-scale integration</i>	1964	1 to 10	1 to 12
ULSI	<i>ultra-scale integration</i>	1984	1,000,000 and more	100,000 and more
VLSI	<i>very large-scale integration</i>	1980	20,000 to 1,000,000	10,000 to 99,999

Patent wars of 1962–1966

- Texas Instruments v. Westinghouse
- Texas Instruments v. Sprague
- Raytheon v. Fairchild
- Hughes v. Fairchild
- Texas Instruments v. Fairchild
- Japan v. Fairchild (NEC, MITI committee)
- Japan v. Texas Instruments (NEC, Sony, Sharp)

정보화 시대의 시작: Personal Computer

Microprocessor 개발 이전

Minicomputer : LINC, PDP-8, VAX, Alto (Digital Equipment Corporation, Data General, Prime Computer, Xerox) (1962-1973)

Simon (1950) -IBM 610 (1948-1957)-Olivetti Programma 101(1965)-MIR(1965-1969)-Kenbak-1(1971)

Microprocessor 개발

Intel 4004, Intel 8008, Altair 8800, Motorola 68000, Z80

Datapoint 2200 (Intel 8008)



Micral N (Intel 8008)

Xerox Alto (1973)-GUI



IBM 5100 (1975) - business 응용 시작

정보화 시대의 시작: Personal Computer

Altair 8800 (1975)



Homebrew Computer Club – Silicon Valley
(1975)

Commodore PET (1977) - MOS 6502 processor
8 kB DRAM, a built-in Datassette, Chiclet keyboard



Apple II, Steve Wozniak, Steve Jobs
(1977)



Macintosh

TRS-80, (Zilog Z80 processor)-Radio Shack 1977



정보화 시대의 시작: Personal Computer

Atari 400/800 (1978) - Sinclair (ZX80) (1973-1981) - TI-99 (1979) - VIC-20 and Commodore 64 (64K DRAM, 1981)

IBM PC 5150 - Intel 8088 CPU, 64K DRAM, Bill Gates ROM Basic, Key board, monochrome, floppy disc, MSDOS



삼성미래기술육성사업에서는

1. 우리나라 연구 발전에 기여하고자, 기초과학 (수리, 물리, 화학, 생명), 소재, ICT 및 융합과제에 10년간 1.5조 연구비 투자
2. 세계 유일 또는 세계 최고의 독창적인 파괴적 혁신과제만을 지원
3. 실패를 용납하며 (10% 예상 성공률), 결눈질을 할 수 있는 연구
4. 성격에 맞게, 형식과 절차를 간소화
5. 지금까지의 R&D 업적보다, 아이디어를 중시하여 선정
6. 선정 평가는 국내외 전문가들에 의한 익명, peer 평가
7. 성공 과제만을 평가한 후, 연속 과제 또는 사업화로 전환