





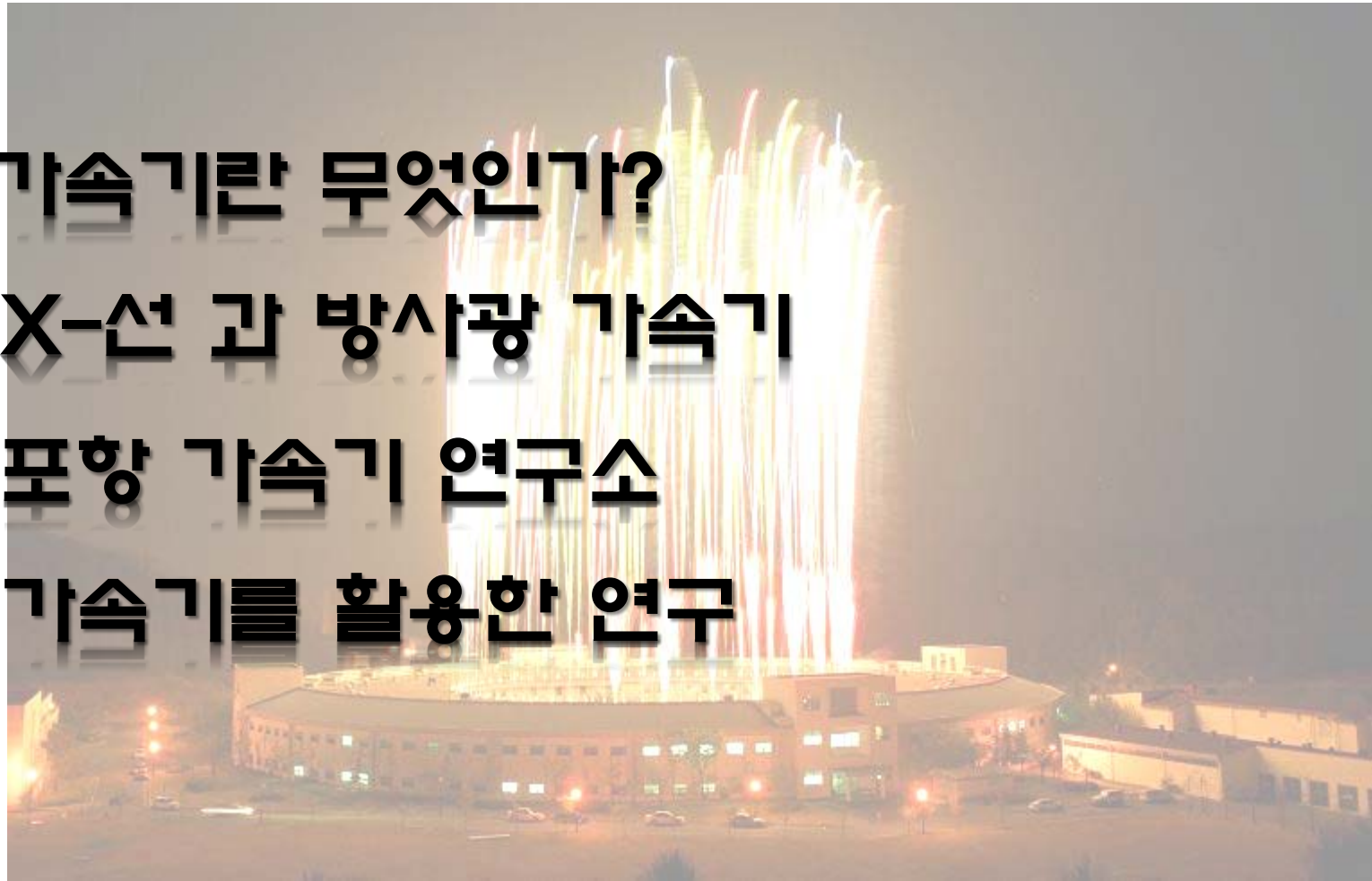
# 방사광가속기를 이용한 첨단분석기술 소개



김 종 현  
산업기술융합센터, 포항가속기연구소

# Contents

-  **O1** 가속기란 무엇인가?
-  **O2** X-선 과 방사광 가속기
-  **O3** 포항 가속기 연구소
-  **O4** 가속기를 활용한 연구



# 1 가속기란 무엇인가?





# 세상은 무엇으로 이루어져 있는가?

우주

생명체

알칼리금속	다른금속	비활성기체
알칼리토금속	다른 비금속	란타넘족
전이금속	할로겐	악티늄족

지각

주기	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
족	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa	VIIIb	IXa	Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb
1	H																	He
2	Li	Be																Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	****	****	****	****	****	****	****	****	****						

6	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
7	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

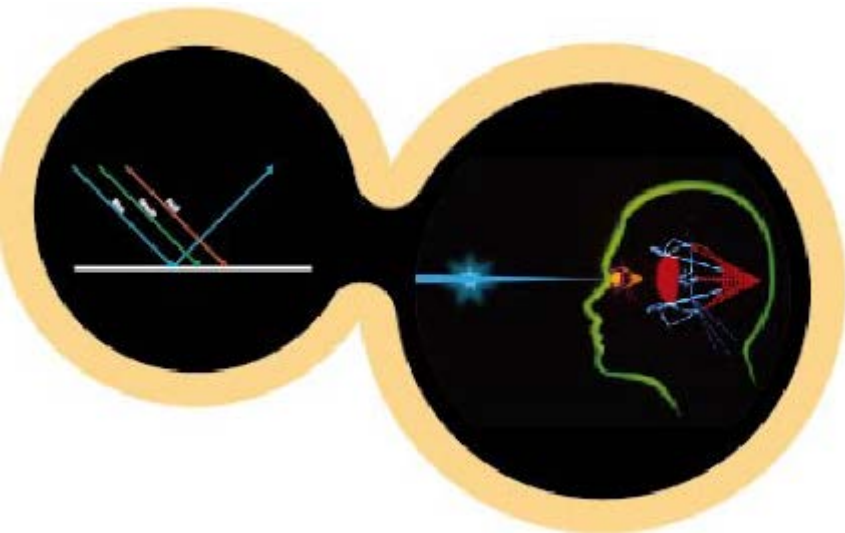




# 빛이란 무엇?

## 인간은 사물을 어떻게 인지하나?

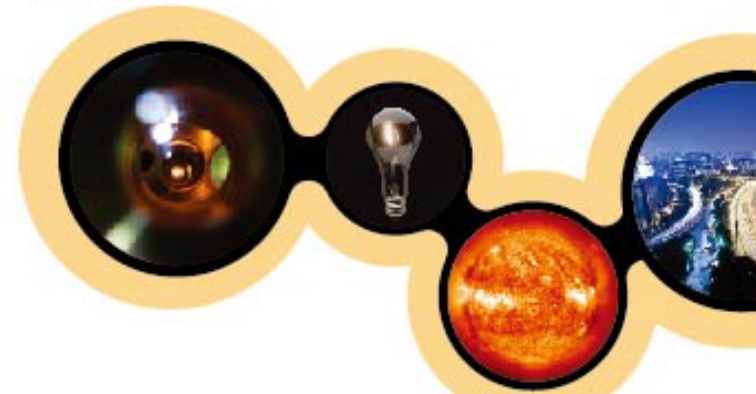
아래 그림과 같이 순수한 푸른색의 물체에 백색광이 입사되면 푸른색만 반사하고 다른색은 모두 흡수한다. 또한 특정 물체의 표면이 장 파장을 반사하고 단파장은 흡수한다면 우리 눈에 반사되어 들어오는 빛은 붉게 보인다. 그리고 무채색의 경우 모든 파장에 대한 동일한 비율로 반사한다. 색상은 인간의 시각적인 인식의 산물로서, 넓은 범위를 가진 전자기파 세계에 비하면 매우 제한된 범위의 파장만을 인지할 수 있다. 이를 가시광 영역이라 하며 대략 400~700nm의 파장을 가진다.



## 빛의 정체는 ?

빛에 대한 연구가 본격적으로 시작된 것은 17세기, 뉴턴은 '빛이란 보이지 않는 작은 입자의 흐름'이라고 주장하였고, 이러한 주장은 오랫동안 정설로 받아들여졌다.

19세기말 영국의 맥스웰과 독일의 헤르츠가 빛이 전자기파의 일종이라는 것을 이론과 실험을 통해 밝혀냄으로써 빛의 본질은 무엇인가의 논쟁은 피동설로 막을 내리는 것 처럼 보였다. 하지만 아인슈타인이 광양자설로 빛이 실제로 알갱이처럼 존재한다는 것을 증명하였고 이에 대한 공로로 1921년 노벨 물리학상을 수상하였다.





# 빛의 성질

## 빛의 원리



1668년  
뉴턴 빛의 입자설 주장  
망원경발명



1690년  
호이겐스 빛의  
파동성 주장



1865년  
맥스웰 전자기학이론

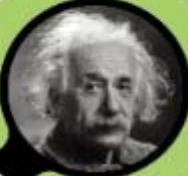
## 빛과 가속기



1892년  
에디슨 전구발명



1895년  
헨트젠 X-선 발견



1917년  
아인슈타인 레이저이론

## 빛의 이중성

과학자들은 빛이 파동의 성질과 입자의 성질 모두를 갖는다는 것을 인정하게 되었다. 이는 우리가 사는 세계와 사물에 대한 근본적인 인식의 전환이 필요하다는 것을 뜻한다.

## 빛의 성질

- 광자라는 알갱이로 이루어져 있다.
- 전자기파의 일종이다.
- 매우 빠른 속도 (299,792 km/s)로 전파된다.

## 빛은 얼마나 빠를까

흔히 빛의 속도는 광속이라고 하는데 과학자들이 정확하게 측정한 값으로 따지면 299,792 km/s이다. 즉 빛은 1초에 약 300,000km를 갈 수 있다.

우리가 쉽게 이해할 수 있는 속도로 따지면,

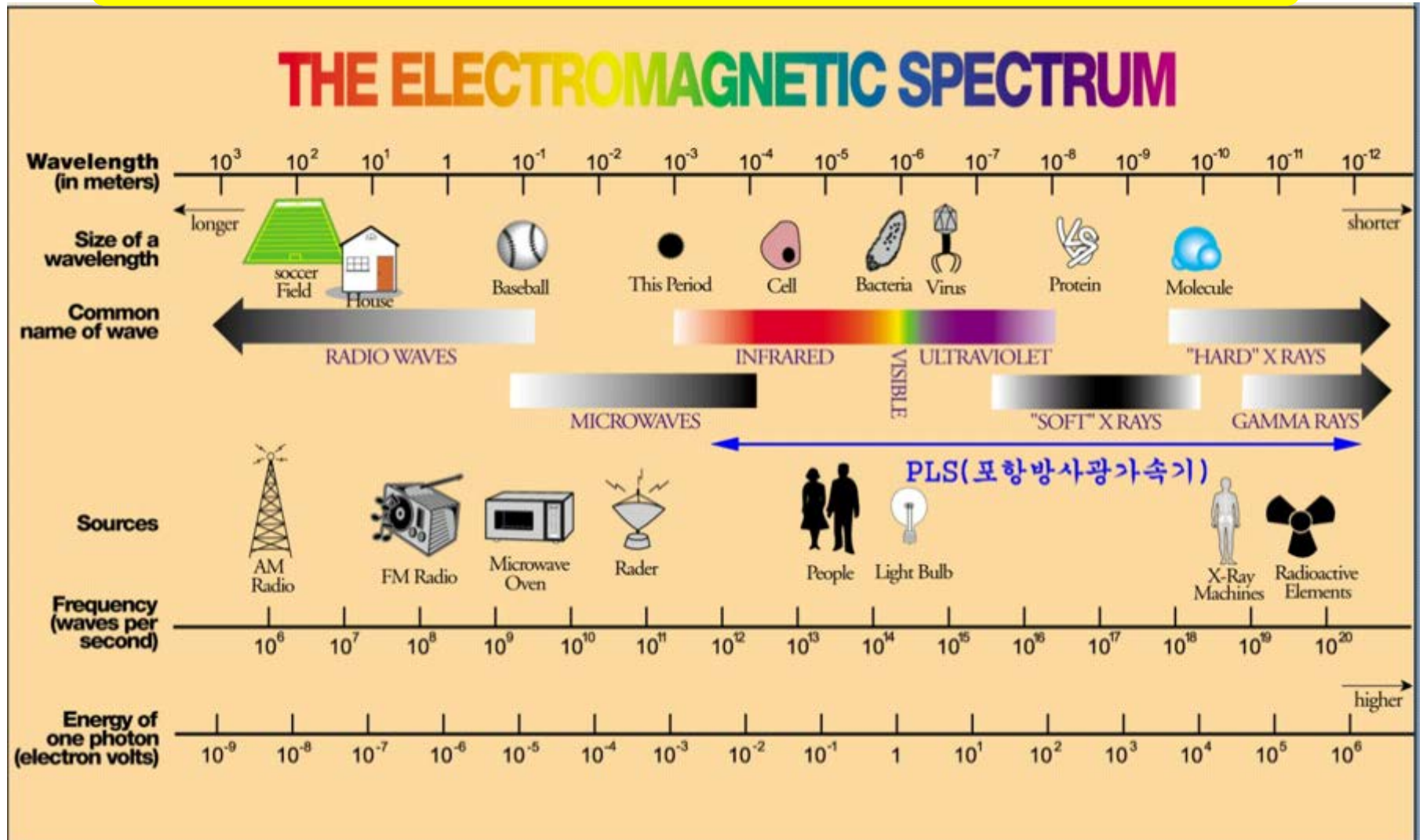
- 마라톤 선수 황영조 (20km/h)보다 45,000,000배
- 고속버스 (100km/h)보다 약 108,00,000배
- 날아가는 총알 (3,500km/h)보다 약 308,600배
- 달착륙선 아폴로 11호를 실은 로켓 발사 속도보다 27,000배





# 빛의 종류

라디오파, 마이크로파, 적외선, 가시광선, 자외선, X-선, 감마선





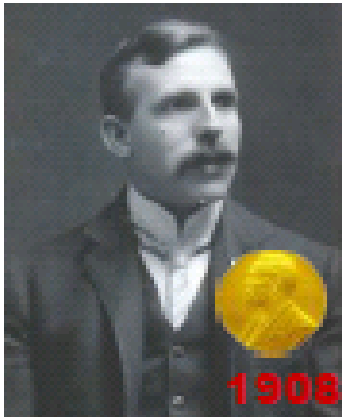
# 작게, 더 작게...



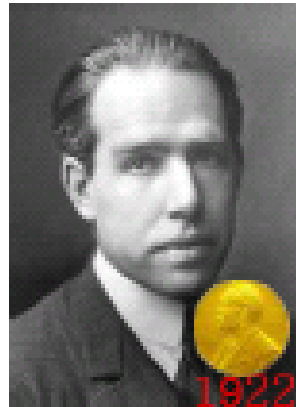
**1867-1934**  
**Maria Curie**



**1856-1940**  
**J.J. Thomson**



**1871-1937**  
**Ernest Rutherford**



**1885-1962**  
**Niels Bohr**

**Maria Curie : 라듐, 폴로늄의 발견**  
노벨물리학상(1903), 노벨화학상(1911)

**J.J. Thomson : 전자의 발견, 노벨물리학상(1906)**

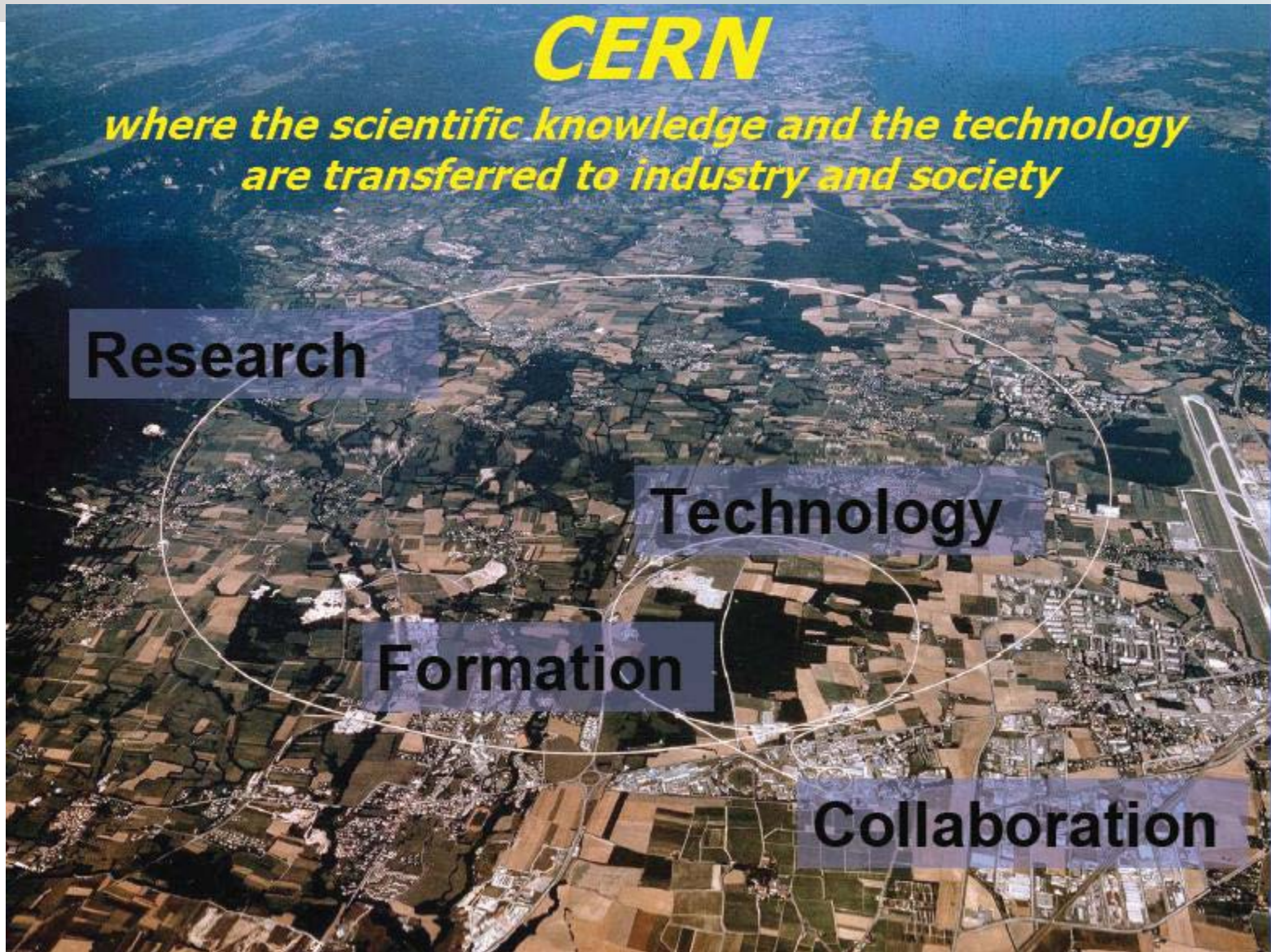
**E. Rutherford : 원자핵 발견, 노벨화학상(1908)**

**N. Bohr : 현대 원자모형, 노벨물리학상(1922)**






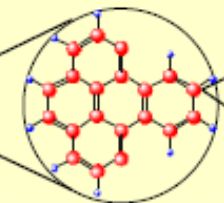
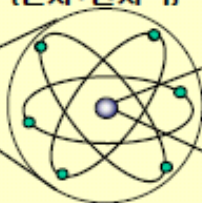

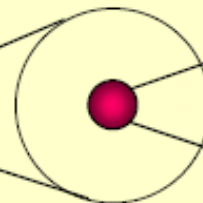
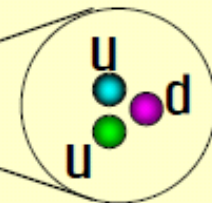
# 가속기? 무엇을 하는 곳인가?







# 극미세 세계의 탐구

구성	물질 	분자 	원자 [전자+원자핵] 	원자핵 [양성자+중성자] 	양성자 	쿼크 
크기 (m)		$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-14}$	$10^{-15}$	$< 10^{-18}$
결합에너지		~eV	~keV	~MeV		~수백 MeV
분석수단	광학현미경		중이온가속기		전자, 양성자가속기	
	전자현미경		방사광가속기			
조작수단			양성자, 전자가속기			
			중이온가속기			





## 가속기의 정의와 종류

**accelerator** : 전자, 양성자, 이온을 가속하여 물질의 구조와 성질을 변화시키고, 새로운 물질(원소, 입자)를 생성할 수 있는 수단을 제공하는 시설

**accelerator** 는 전자, 양성자를 가속하여 그로부터 파생되는 다양한 파장대역의 빛을 생성할 수 있고, 이를 이용하여 물질의 구조와 성질을 관찰할 수 있는 시설

가속기 종류	입자	목적
전자가속기	Synchrotron radiation	the structures and properties of material
	Electron	High energy, nuclear
양성자 가속기	Proton	the material structures, cancer therapy, high energy
	Neutron	material structures
중이온 가속기	Ion (He ~ U)	Astronomy, therapy, nuclear



## 가속기의 정의와 종류



### 충돌형 가속기 Colliding Accelerator

빛의 속도에 가깝게 가속시킨 원자핵이나 소립자를 서로 충돌시켜, 우주를 구성하는 궁극적 입자들의 존재를 밝힌다.



### 중이온 / 양성자가속기 Heavy Ion / Proton Accelerator

중이온 또는 양성자를 빛의 속력에 가깝게 가속시킨 뒤, 이를 표적에 충돌시키면 희귀 동위원소들이 만들어진다.



### 방사광가속기 Light Source

빛의 속도에 가깝게 가속시킨 전자가 강력한 자기장을 지나며 휘어질 때 방출되는 빛(방사광)을 과학기술연구에 이용한다.



# 세계의 가속기

## RHIC in BNL



from 1958

200MeV LINAC, 3GeV synchrotron

The largest heavy particle collision synchrotron

3 Nobel Prize

Users : 1100persons/year,

Construction(operation): \$ 1 billion (\$ 120 million)

Particle physics, nuclear physics

## TEVATRON in FERMILAB



from 1980

The largest proton-anti proton collision synchrotron

120GeV main injector, 8GeV synchrotron

Discovery of Bottom, Top, Quark, Tau neutrino

Users : 2300persons/year,

Operation : \$ 300 million

Particle physics, high energy physics





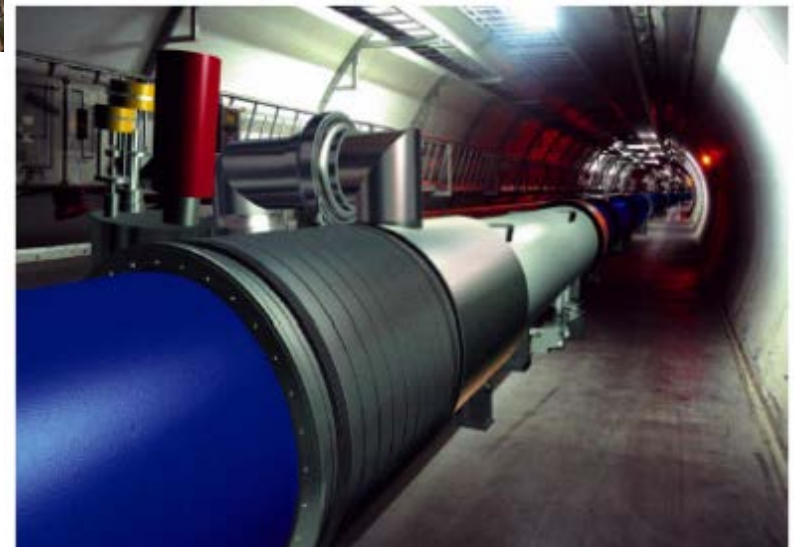
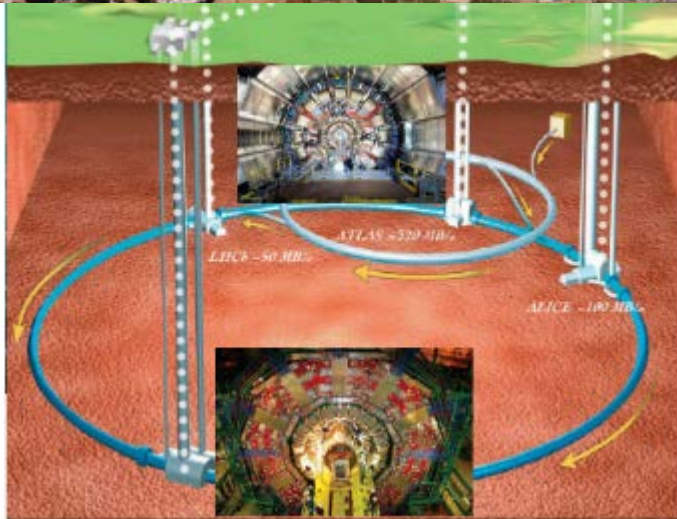
# 세계의 가속기

## LHC in CERN



SPS ~ from 1980, LHC ~ from 2008  
50 MeV LINAC, 1.4 GeV booster, 7000 GeV LHC  
The largest particle collision accelerator  
Discovery of Higgs (2013)  
Users : 8000 persons/year,  
Construction(operation): \$ 4.billion (\$ 300million)

Particle physics, high energy physics





# 세계의 가속기



- ◆ 미국 SNS (ORNL) (2006) (<http://www.sns.gov/>)
  - 38 mA, 1 GeV 대용량 선형 양성자 가속기
  - 1.4 MW 파쇄중성자원
  - 건설비 : 14억불



- ◆ 일본 J-PARC (JAEA/KEK) (2008) (<http://j-parc.jp/index-e.html>)
  - 181 MeV 선형 양성자가속기, 3 GeV RCS, 50 GeV MR 싱크로트론
  - 1 MW 파쇄중성자원, 입자물리학/핵물리학 실험용
  - 건설비 : 1335억엔



- ◆ 스위스 SINQ (PSI) (90년대 중반) (<http://sinq.web.psi.ch/>)
  - 590 MeV 싸이클로트론 (연속빔)
  - 1 MW 파쇄중성자원, 뮤온빔 이용시설
  -



- ◆ 영국 ISIS (RAL) (1985) (<http://www.isis.rl.ac.uk/>)
  - 70 MeV 선형 양성자가속기, 800 MeV 싱크로트론
  - 0.2 MW 파쇄중성자원, 뮤온빔 이용시설
  - 20 kW 제2표적계 설치



- ◆ 중국 CSNS (IHEP) (2008) (<http://csns.ihep.ac.cn/>)
  - 81 MeV 선형 양성자가속기, 1.6 GeV 싱크로트론
  - 0.5 MW 파쇄중성자원, 양성자 빔 이용시설 (의료용, 산업용)
  - 2015년 완공예정



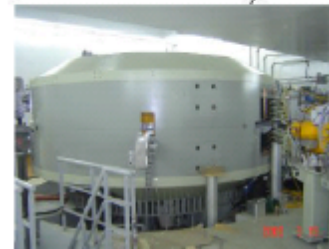
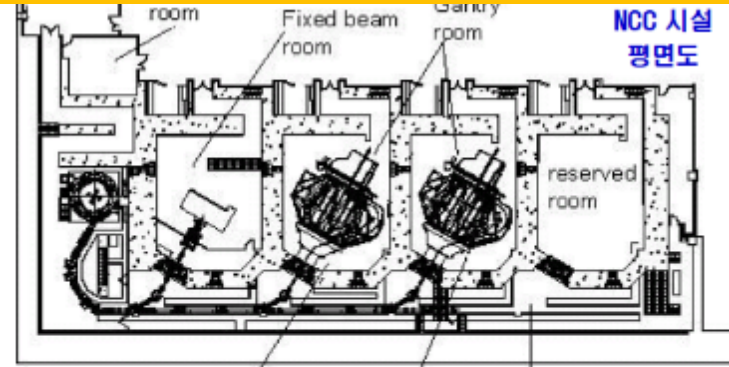


# 한국의 가속기

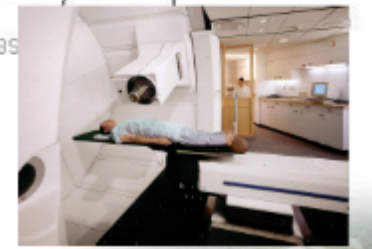
## Proton Accelerator in Gyeongju



## National Cancer Center in Goyang



Cyclotron



Gantry

## Dongnam Inst. Of Radiological & Medical Sciences in Busan

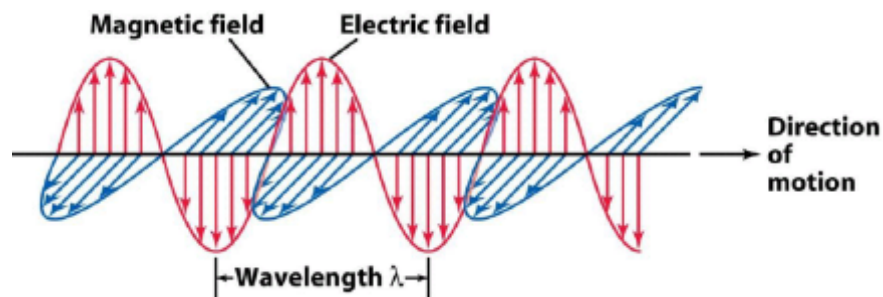




# 2 X-선과 방사광가속기



# 전자기파와 X-선의 발견



$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{J} + \epsilon \mu \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

Wilhelm Conrad Röntgen



Germany (1845-1923)



Hend des Anatomischen Geheimraths von Kolliker in Würzburg.

In Physikalischen Institut der Universität Würzburg  
am 23. Januar 1896 mit X-Strahlen aufgenommen  
von  
Professor Dr. W. C. Röntgen.

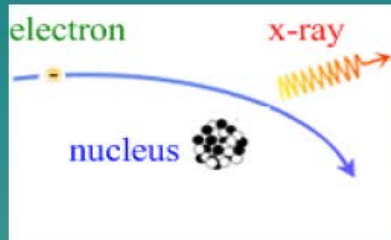
Verlag der Hofischen A. Hof- und Universitäts- und Buchhandlung in Würzburg  
Radiograph of the hand of the anatomist Privy Councillor von Kolliker in Würzburg,  
taken by W. C. Röntgen in Würzburg on January 23, 1896.



# X-선의 발생

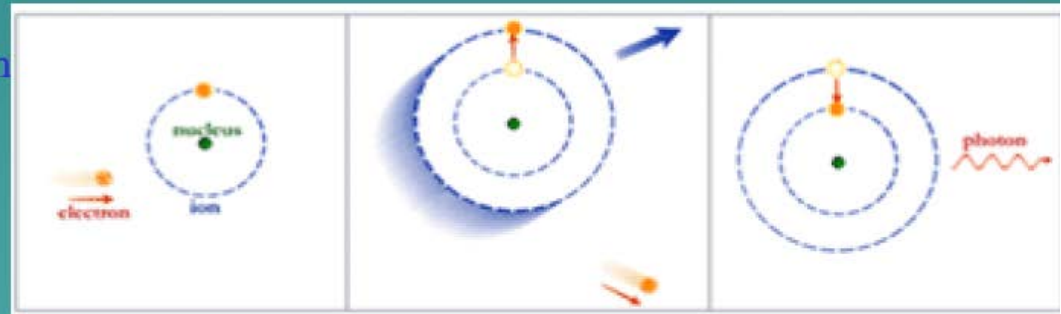
## 1. Bremsstrahlung (braking radiation)

- electrons from an external source are deflected around the nucleus of an atom
- various wavelengths



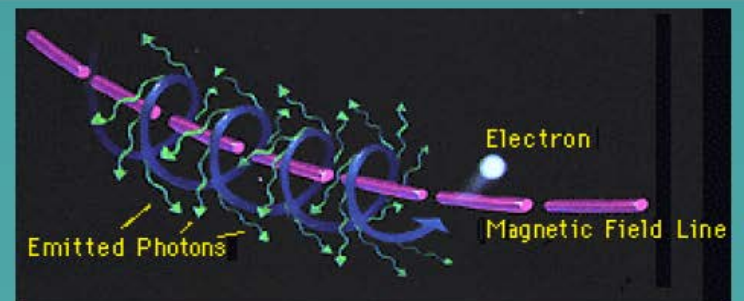
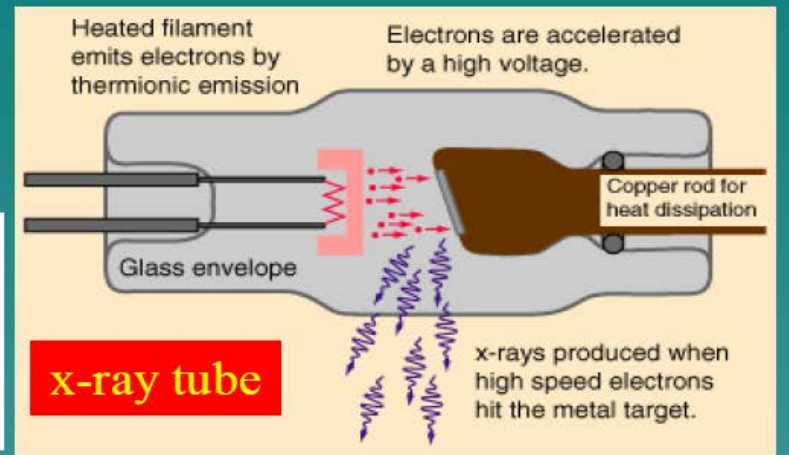
## 2.K-shell emission

- electrons change orbits within atom
- higher-intensity x-rays than bremsstrahlung, and a single wavelength.



## 3.Accelerator: Synchrotron

Relativistic electron spirals around a magnetic field line







# X-선의 발생

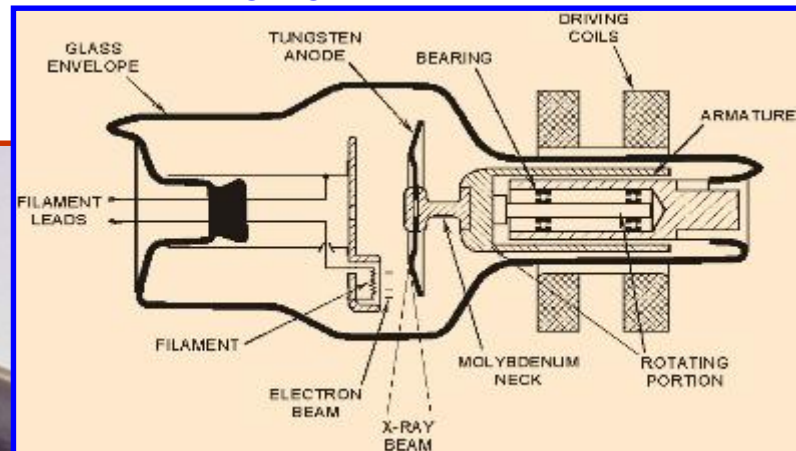
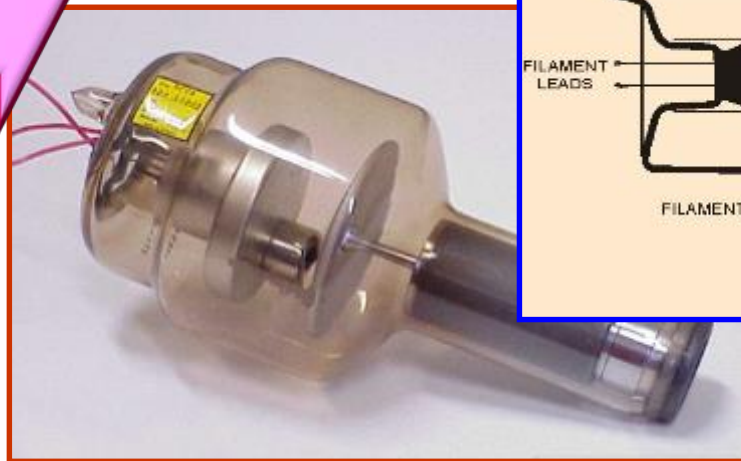
## • X-ray tube

Figure 1-3. Crookes-Hall tube used by Dr. Roentgen for the production of x-rays.



The first tube source X-ray  
(Roentgen )

- For material characterization by x-ray diffraction and medical imaging



Target : Cu, Mo, W, W-Re (Tungsten-rhenium)

- High atomic number
- Heat conductivity
- High melting point..

## • X-ray type

source type	power / ( $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
electron bombardment (impact)	0.01 ~ 0.1
laser plasma	0.01 ~ 1
synchrotron radiation	10 ~ 100



# X-선과 물질의 상호작용

www.Bandicam.co.kr

## 방사광과 물질의 상호작용

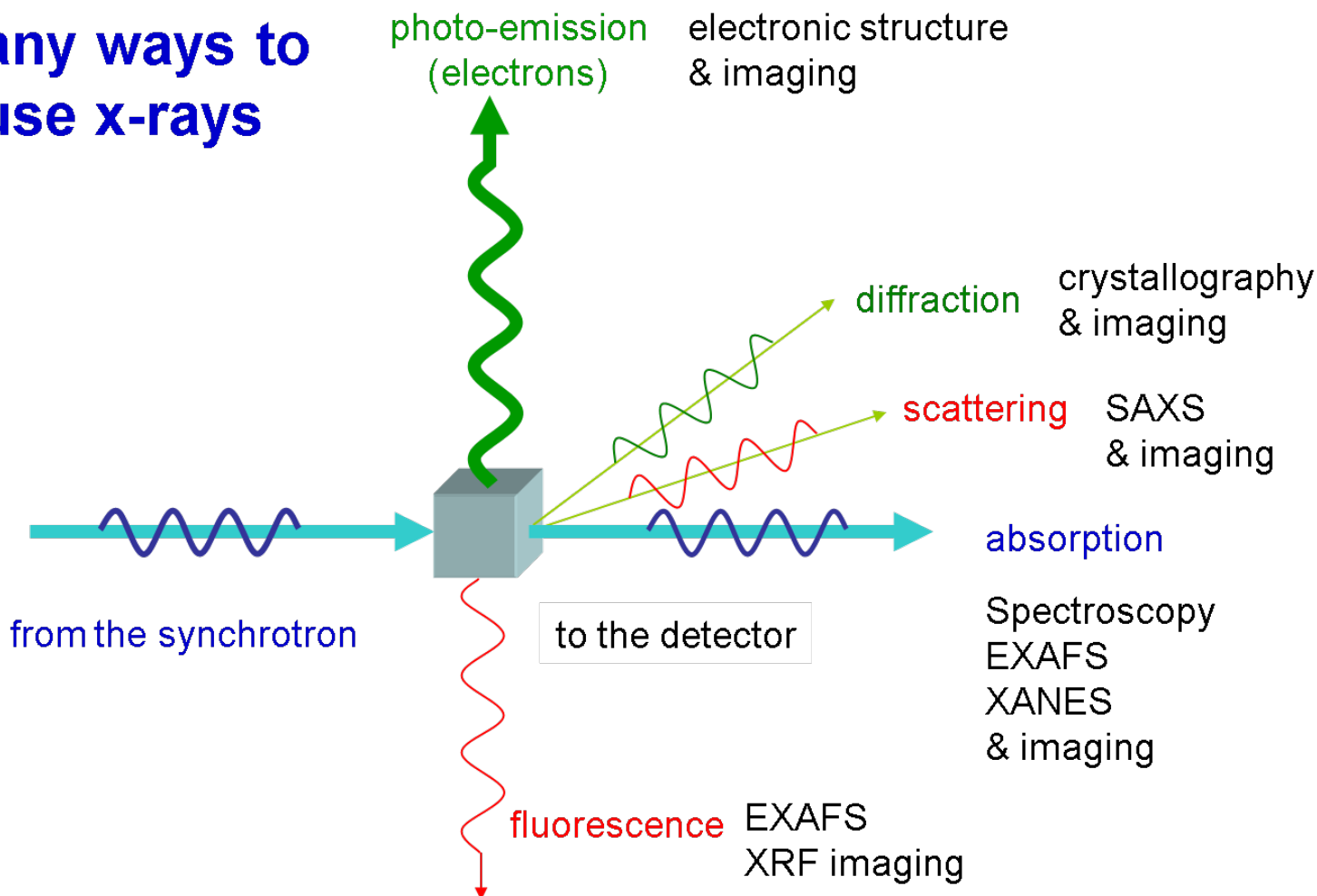




# X-선과 물질의 상호작용

wavelength of the order of 0.1 nm

## Many ways to use x-rays







# X-선 회절 현상의 발견



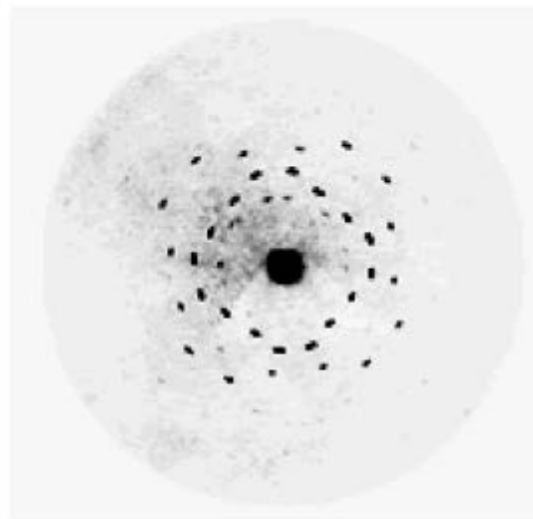
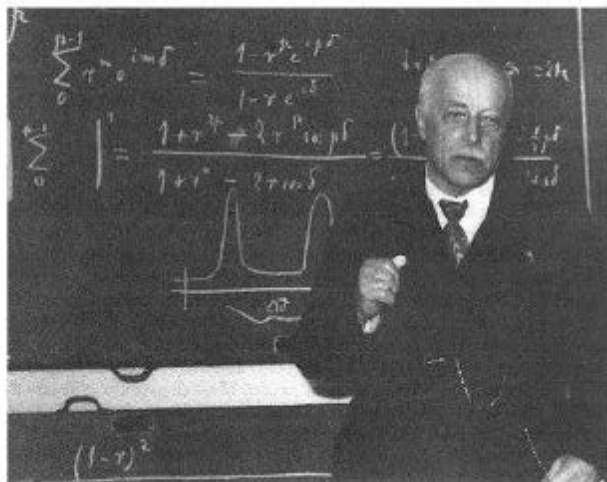
The Nobel Prize in physics 1914

“for his discovery of the diffraction of x-rays by crystals”

Max Von Laue



(1879-1960)  
Germany



Interference pattern observed by von Laue and collaborators using a photographic plate in 1912. The large central spot is due to the unscattered X-ray beam. The dark spots correspond to directions where x-rays scattered from crystal (ZnS) layers interfere constructively.

<http://www.nobel.se/physics/educational/x-rays/what-4.html>



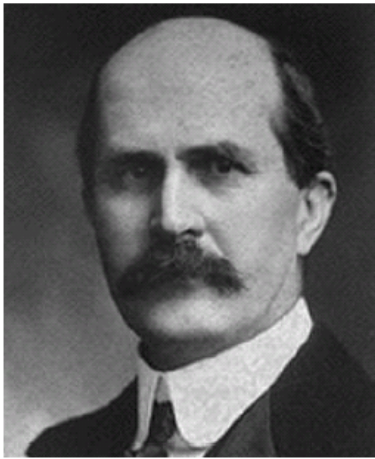
# 결정구조의 해석



The Nobel Prize in physics 1915

“for their service in analysis of crystal structure by means of x-rays”

Sir William Henry Bragg    Sir William Lawrence Bragg



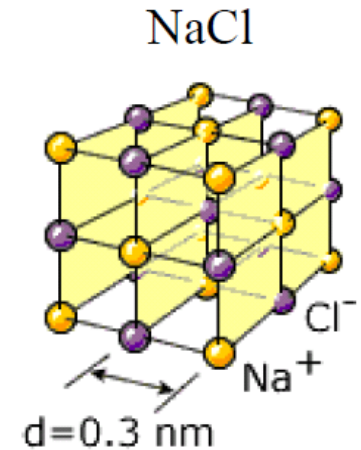
(1862-1942)

United Kingdom



(1890-1971)

United Kingdom



Determining the crystal structure NaCl, ZnS, Diamond,...

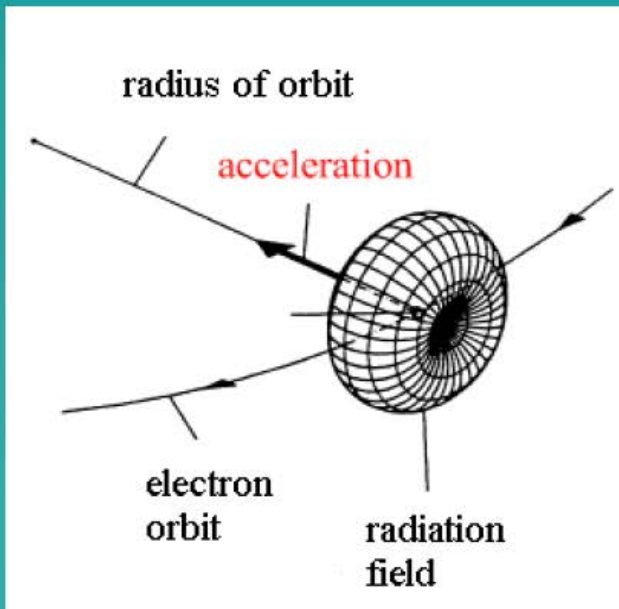
<http://www.nobel.se/physics/laureates/1915/>

<http://www.nobel.se/physics/educational/x-rays/what-6.html>

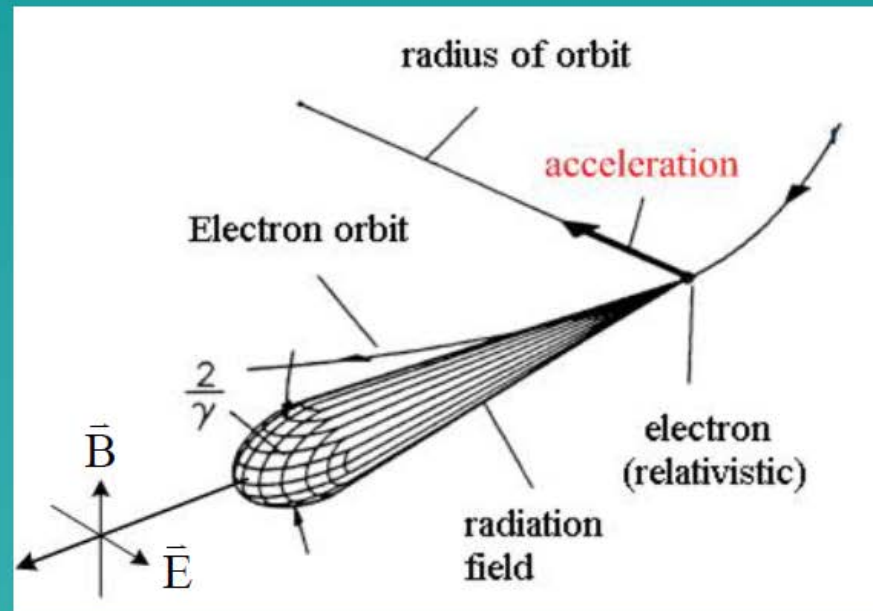


# 방사광

- When electrons are accelerated (e.g. linear acceleration in a radio transmitter antenna) they emit electromagnetic radiation (*i.e.*, radio waves) in a rather non-directional pattern
- Electrons in circular motion are also undergoing acceleration (centripetal)



At low electron velocity (non-relativistic case) the radiation is emitted in a non-directional pattern

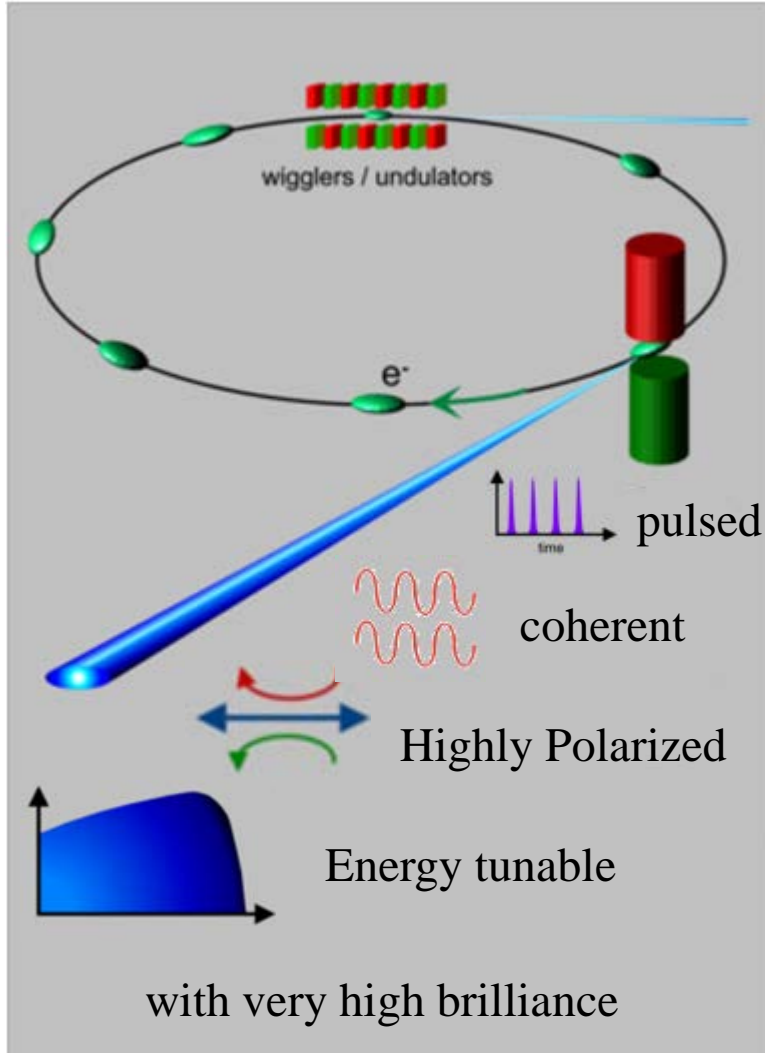


When the electron velocity approaches the velocity of light, the emission pattern is folded sharply forward. Also the radiated power goes up dramatically



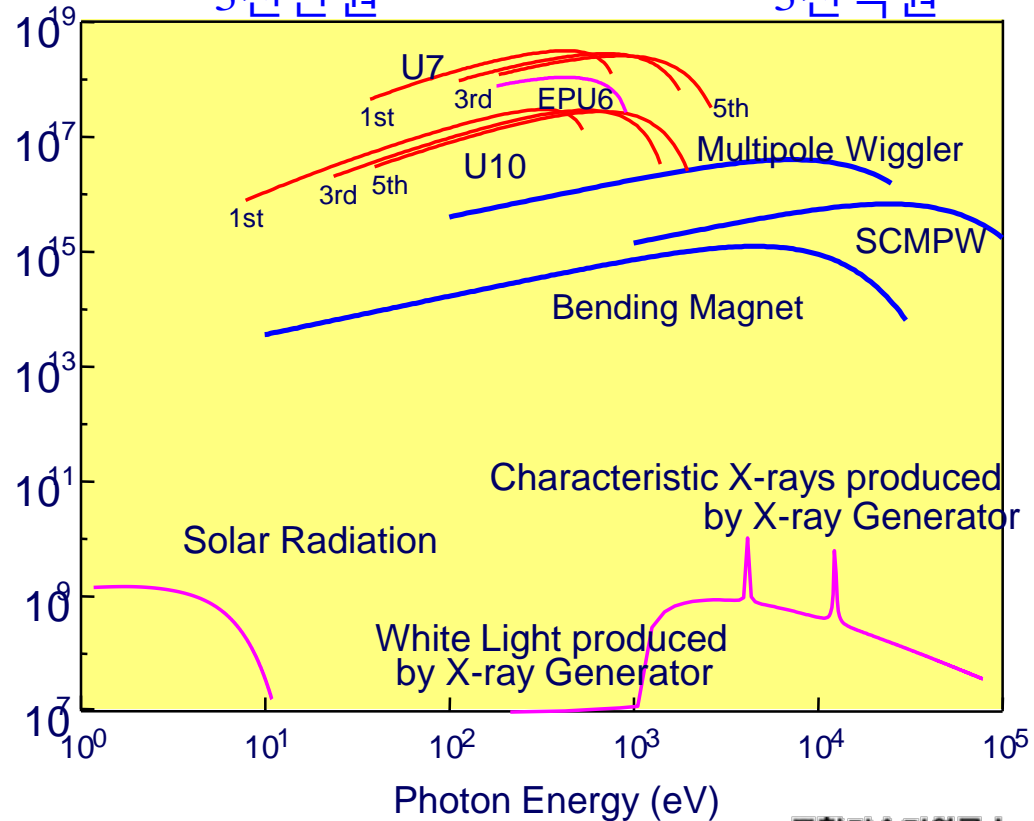


# 방사광의 특징



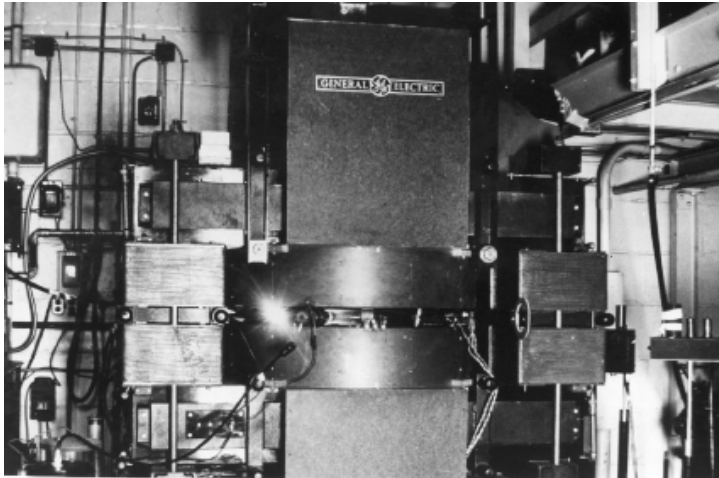
3천만원

3천억원





# 방사광 가속기의 진화



1947년 GE에서 제작한 방사광 가속기

## 제 1 세대 (60년대말, 70년대)

입자물리용 가속기에서의 더부살이

## 제 2 세대 (80년대)

방사광을 목적으로 한 가속기 건설

## 제 3 세대 (90년대 이후)

휘도의 비약적인 향상

삽입장치를 위한 직선 구간 마련

## 제 4 세대 (2000년대 이후)

초고휘도 & 레이저에 버금가는 coherency

## 포항방사광 가속기

건설기간 : 1988 ~ 1994

건설예산 : 3000억

세계에서 5번째로 건설된 3세대 가속기



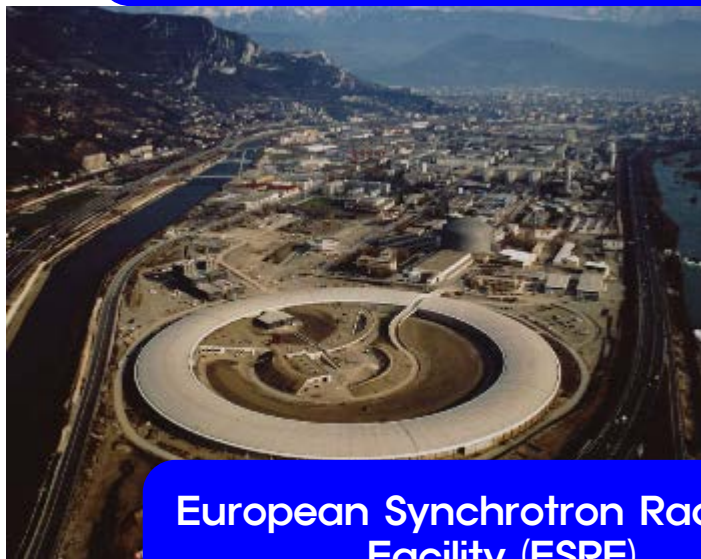
# 세계의 방사광 가속기



Advanced Light Source(ALS)  
Lawrence Berkeley National LAB  
1.97GeV, 197m circumference



Advanced Photon Source(APS)  
Argonne National LAB



European Synchrotron Radiation  
Facility (ESRF)  
6GeV, 884m circumference



Spring-8  
8GeV, 1.44 km circumference





# 세계의 방사광 가속기



2017. 11. 3

# 3 포항방사광가속기





# 포항가속기연구소 연혁



1980

1988. 04. 포항가속기연구소 설립  
1989. 07. 부지조성공사 착공



1990

1991. 04. 방사광가속기 건물공사 착공  
1994. 12. 방사광가속기(PLS) 준공  
1995. 09. PLS 방사광이용연구 개시



2000

2002. 11. 저장링 1/2 구간중축 완료  
2008. 11. 포항가속기연구소 설립 20주년  
2009. 01. 방사광가속기 성능향상(PLS-II) 착수



2010

2010. 12. PLS 운영종료 및 PLS 장치해체  
2011. 06. PLS-II 장치설치 및 시운전 완료  
2012. 03. PLS-II 방사광이용연구 개시  
2013. 05. 4세대 방사광가속기 기공식





# 포항가속기연구소 조직

## 연혁



## 조직



\*170명 (연구93, 기술60, 행정17)

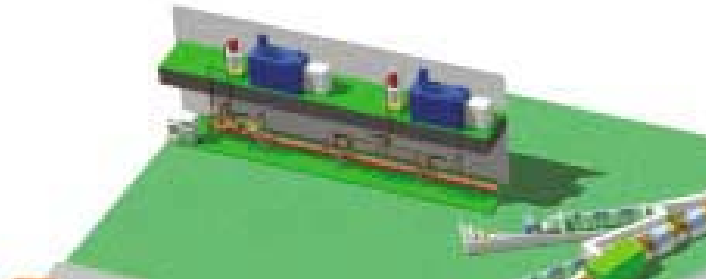
4세대방사광가속기 (PAL-XFEL, 10 GeV)

포항방사광가속기 (PLS-II, 3 GeV)

전체부지 : 651,048 m<sup>2</sup>



## 시설현황



### 빛을 뿜어내는 전자의 질주, 저장링

선형가속기에서 광속에 가깝게 가속된 전자는 둘레길이 280m 원형의 저장링에서 10시간 이상 쉬지 않고 돌게 된다. 이 전자통로 안에서 24개의 2극전자석이 있어서 전자가 이 자석을 지날 때마다 15도씩 방향을 바꾸어 원형 궤도를 돌게 되며, 그렇게 방향을 바꿀 때마다 빛 즉, 방사광을 뿜어내는 것이다.



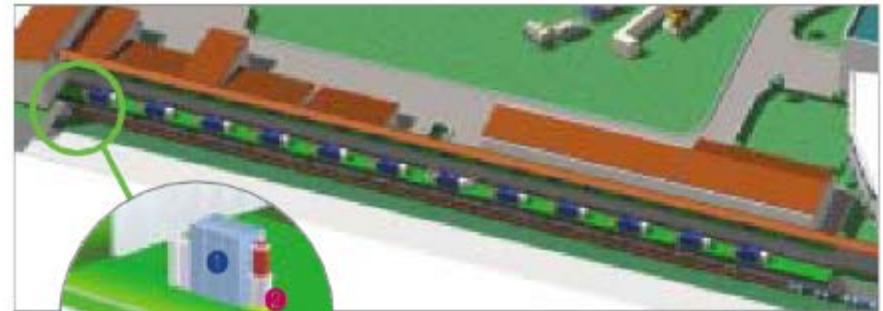
### 빛을 쏘다, 빔라인

전자가 저장링에서 회전하면서 뿜어내는 방사광을 실험장치가 있는 곳까지 이끌어내는 장치이다. 쏘아진 빛을 용도와 목적에 맞게 실험 장소까지 이끌어 주어 신물질의 합금, 고효율 유기 고분자 태양전지 재료 연구, 마이크로 의학용 로봇, 신약 개발 등 다양한 분야에서 다양한 연구가 이루어지도록 한다.

③ 입사장치(Septum Magnet)

### 전자가 빛의 속도를 얻는 곳, 선형가속기

전자가 빛을 발생하기 위해서는 먼저 광속에 가깝게 가속되어야 한다. 가속은 선형가속기에서 이루어진다. 전자총에서 쏘아진 전자는 길이 160m의 선형가속기속에서 전기장에 의해 가속되어 빛의 속도의 99,99997%로 빨라진다. 비로소, 빛을 쏠 준비가 된 것이다.



- ① 모듈레이터(Modulator)    ② 클라이스트론(Klystron)
- ③ 전자총(Electron Gun)    ④ 가속관(Accelerator Column)



제15회 진공기술실무수련회 2017. 11. 3



포항기독교대학교  
산업기술융합센터





# 시설현황



## 주요설비

- 대지 651,048 m<sup>2</sup>(20만평) 건물 19개동 45,377 m<sup>2</sup>(13,726평)
- 선형가속기 : 170m(3.0GeV)
- 저장링 : 12 Cells, DBA, 둘레 281.8m
- 빔라인 : 가동 30기
- 공통지원설비 : LCW, 154kV 수전설비 등

### 선형가속기



전자총에서 발생된 전자를 빛에 가까운 속도로 가속

### 저장링



가속된 전자빔을 원에 가까운 형태로 운동시키면서 방사광을 발생시키는 시설

### 빔라인

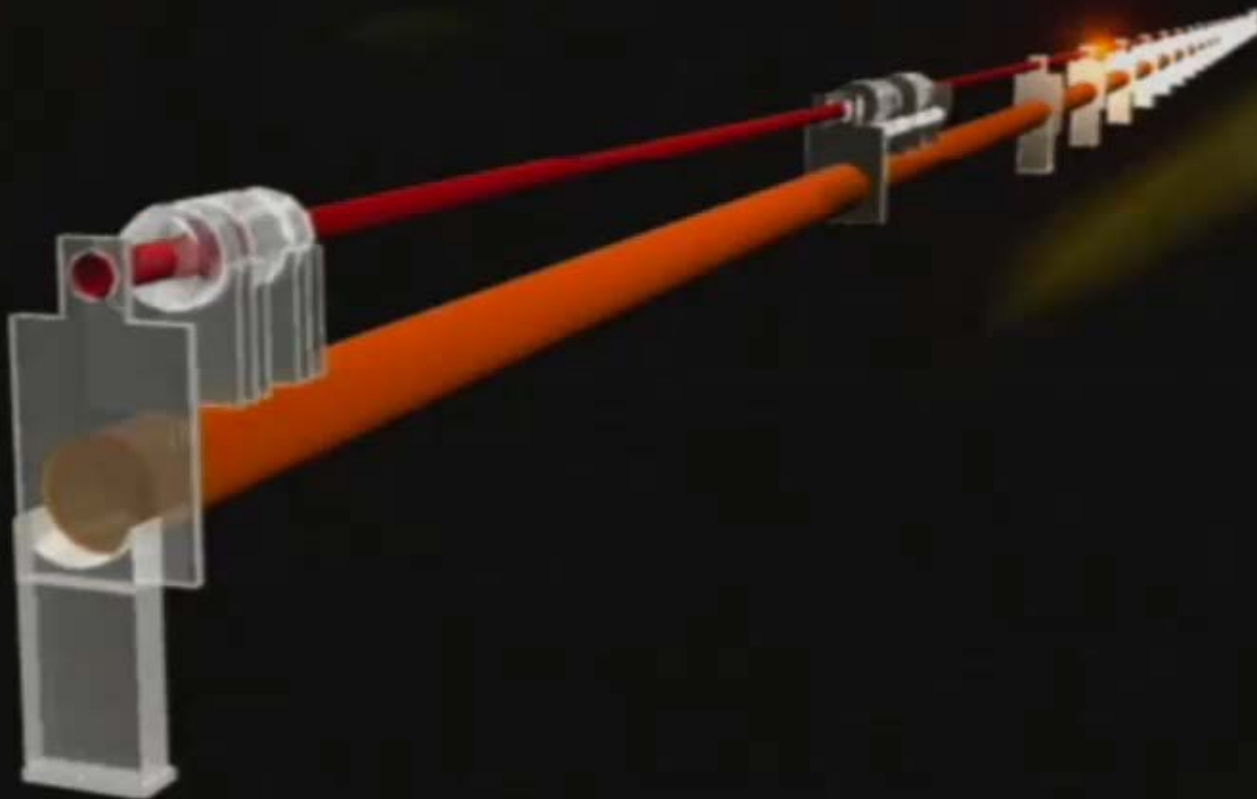


원 운동시 접선방향으로 발생되는 방사광을 이용하기 위한 실험 장치



# PLS movie

www.Bandicam.co.kr





# 활용분야



## 1. 결정학 (Crystallography)

물질을 이루는 기본 원자들의 배열 구조 분석

## 2. 분광학 (Spectroscopy)

물질의 성분 및 화학적 상태 분석

전기적, 자기적, 광학적 성질을 결정하는 전자구조 분석

## 3. 현미경학 (Microscopy)

물질 내부의 미세구조

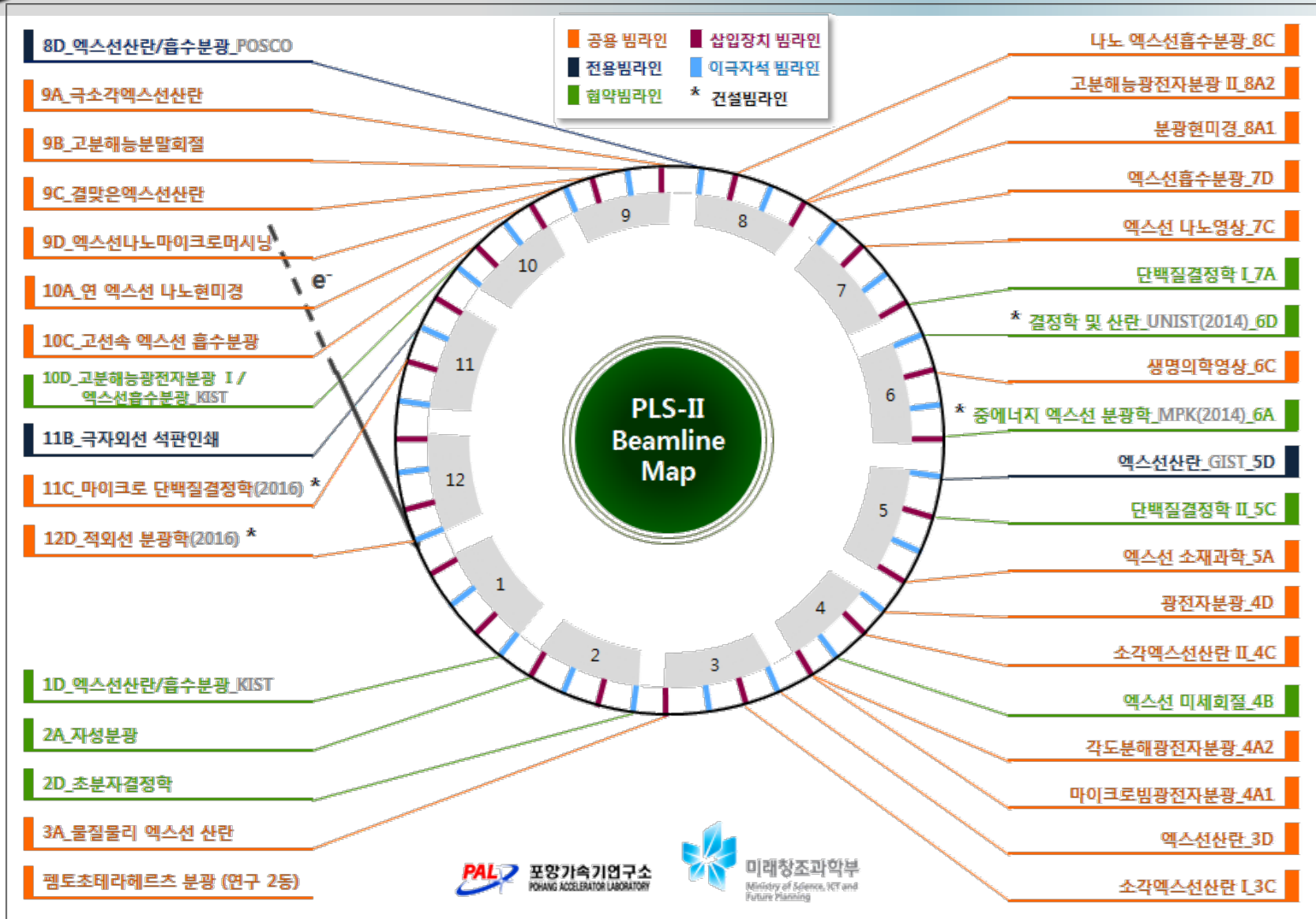
표면구조 및 원소별 분포

## 4. 석판인쇄 (Lithography)

초미세 기계가공(micro-machining)



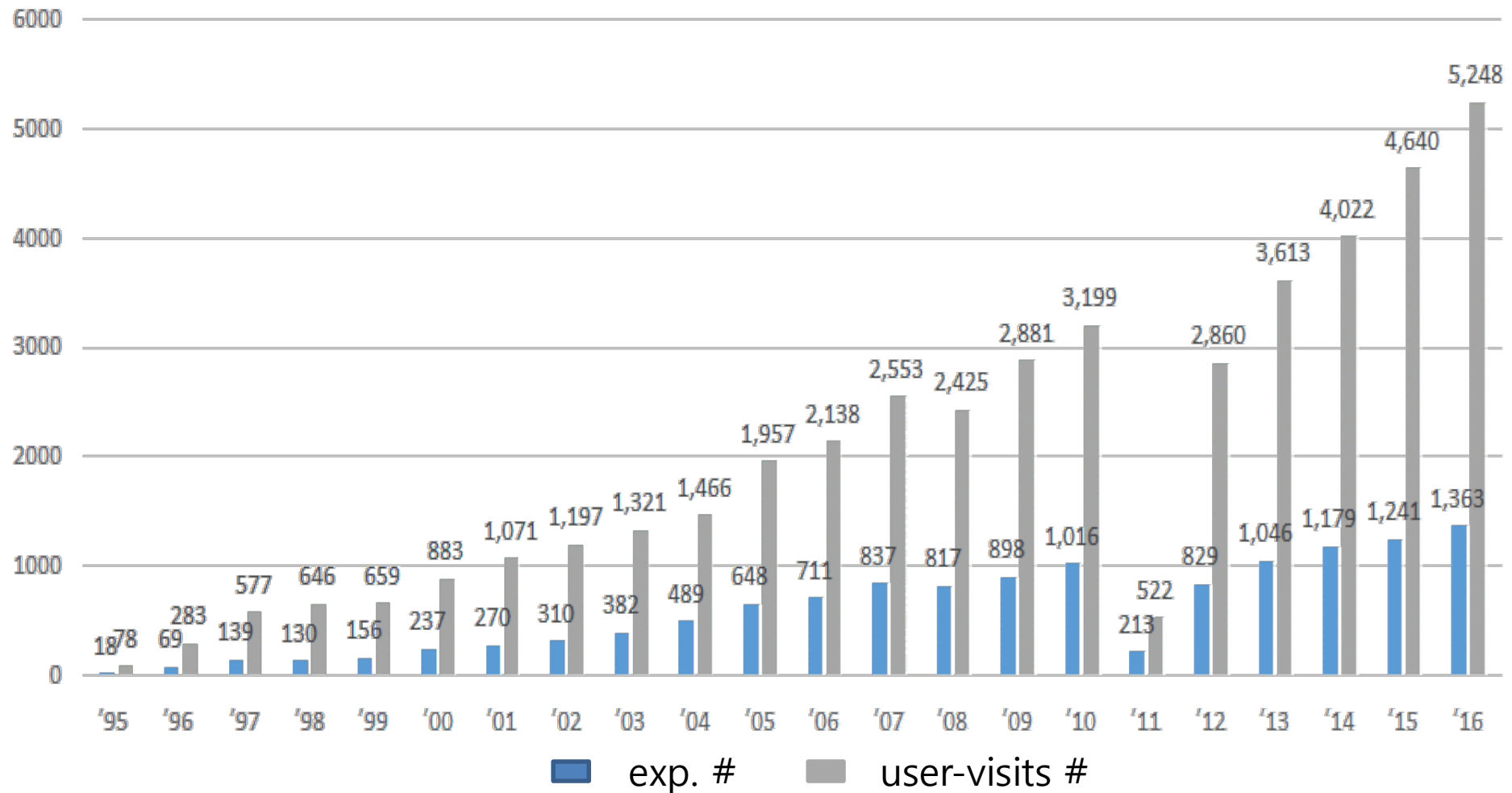
# 빔라인 실험 장치 맵







## 이용 실적





# 4세대 가속기연구소 - XFEL



미국 LCLS, 2009 완공  
에너지 14.3 GeV, 파장 0.15 nm

U.S. LCLS, completed in 2009  
Energy: 14.3 GeV, Wavelength: 0.15 nm



일본 SACLA 2010 완공  
에너지 8 GeV, 파장 0.1 nm

Japan SACLA, completed in 2010  
Energy: 8 GeV, Wavelength: 0.1 nm



유럽연합 European XFEL, 2014 완공(예정)  
에너지 17.5 GeV, 파장 0.1 nm

EU European XFEL, completed in 2014  
Energy: 17.5 GeV, Wavelength: 0.1 nm



# 4세대 가속기연구소 - XFEL

## 파장 (Wavelength)

- 연X-선 : 1 nm ~ 10 nm
- 경X-선 : 1.0 nm ~ 0.1 nm
- ※ 0.06 nm까지 확장 가능

## 광자빔 길이 (Photon Beam Length)

- Nominal : 30 ~ 100 fs (200pC)
- Short : < 5 fs (20pC)
- Ultra short : < 0.5 fs by ESASE scheme

## 삼입장치 빔라인 (Undulator Beamline)

- 경X-선 : 3기, 연X-선 2기

## 선형가속기

(가속관, 클라이스트론, 모듈레이터, 에너지 배가 장치 등)

## 입사기

(전자총, 레이저)

## 경 X-선 삼입장치

## 경 X-선 실험장치

## 연 X-선 실험장치

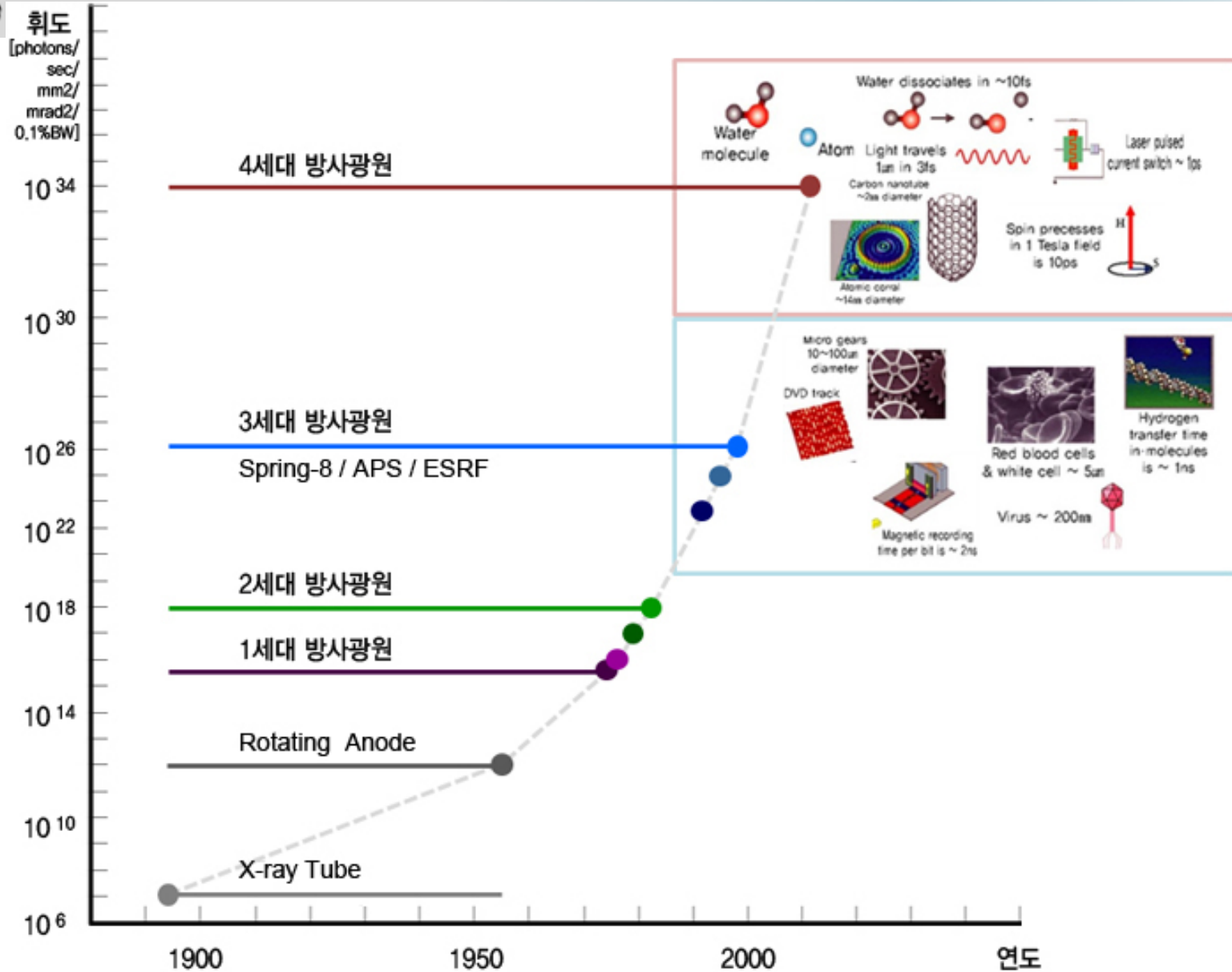
## 건축물 : 총 1,110 m

- 선형가속기 건물 : 780 m
- 삼입장치 건물 : 225 m
- 실험장치 건물 : 105 m







# 더 밝은 빛의 4세대 가속기





# 4세대 가속기연구소 - XFEL

PARAMETER	PLS-II	PAL-XFEL
Overall length of accelerator	 280 m	 1,100 m
Peak brightness	100 Million times brighter than the sun	10 Billion times brighter than the PLS-II
Temporal resolution	Picosecond	Femtosecond
Spatial characteristics	Poor coherence	Excellent coherence
Electron beam energy	3.0 GeV	10.0 GeV
Construction	1988 ~ 1994 (Operation)	2011 ~ 2014 (Under construction)



# 4세대 가속기연구소 - XFEL

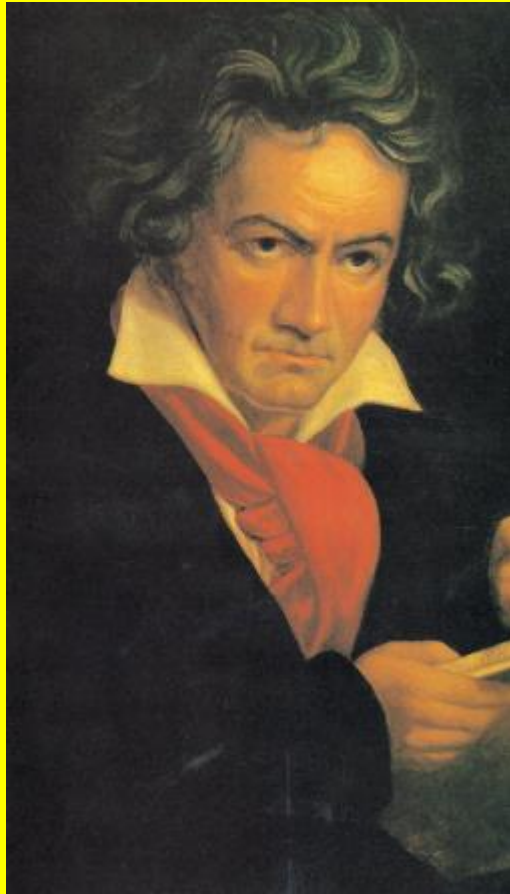




# 4 가속기를 활용한 연구



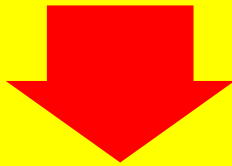
# 베토벤의 죽음 - Spectroscopy



베토벤의 사망원인

간경화?

돌팔이 의사가 처방한 비소?  
매독?



XES로 머리카락 분석

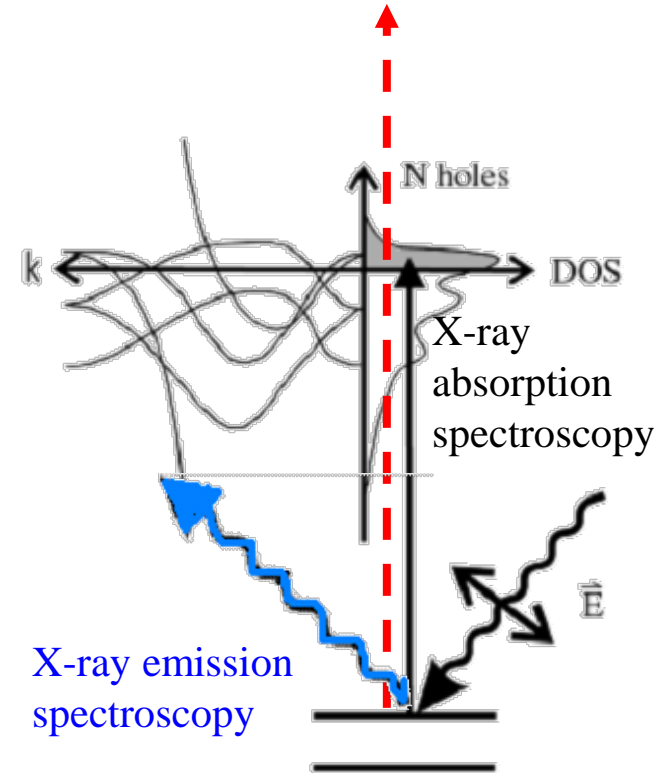
: 동시대인들보다 100배나  
많은 납이 검출됨 → 납중독  
(2000년, APS)

납중독의 원인은?

오염된 다뉴브강의 물고기  
납유리로 만든 약기

미량 원소분석  
화학적 상태 분석  
전자구조 분석

Photoelectron  
spectroscopy





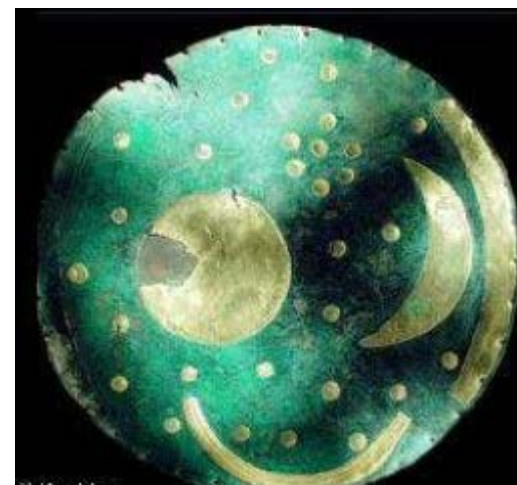
# 고대의 비밀을 파헤쳐라 ! – XRF, XANES,

## The Hiddensee gold jewellery

The Hiddensee gold jewellery

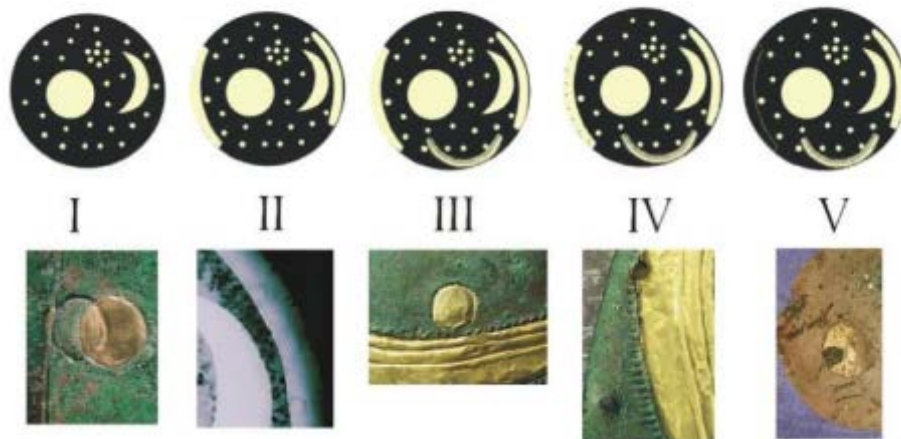


## The Sky disk of Nebra



Different composition found for solder: higher Cu concentrations

→ Use of a special solder alloy  
not solder reaction



The disk was manufactured in several phases





# 찰랑거리는 머리결의 비밀! - IR

## Hair-protective and -beautifying effects of inositol

Inositol, which is an ingredient of rice water, has the capability to repair damaged hair, as well as protect the hair from damage.

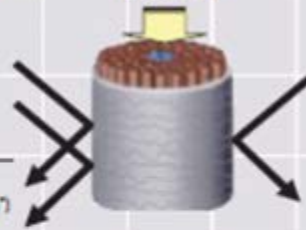


### Protective effects

Damages

- 1) Surface (Hair dye)
- 2) Inside (Permanent wave, "Perm")

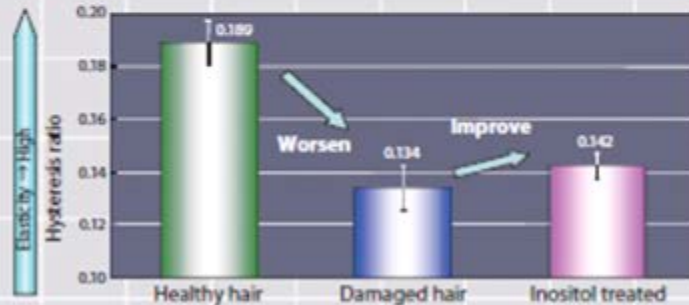
Inositol



### Protective effects

Damage-promoting factor

- 3) Surface friction (While rinsing)



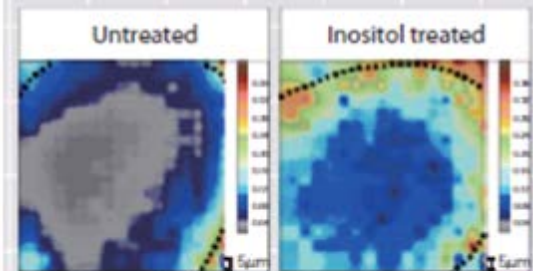
Suppressing the worsening of hair elasticity due to damage from perms (Protection).



Suppressing damage from friction during rinsing (Protection).

## Permeability of inositol into the hair

Numbers in the legend of the figures below represent the absorption intensity of infrared synchrotron radiation. A larger number indicates that there are more chemical bonds specific to inositol. The figure on the right, in which warm colors are highly visible, shows that the inositol concentration is higher along the outer contour of the hair (dashed line). This is the first-ever quantitative visualization of the penetration and persistence of inositol, a hair-protecting ingredient, into the hair.



Inositol stays inside the hair even after rinsing, resulting in continuing protective hair-beautifying effects!

## Development of hair-care products

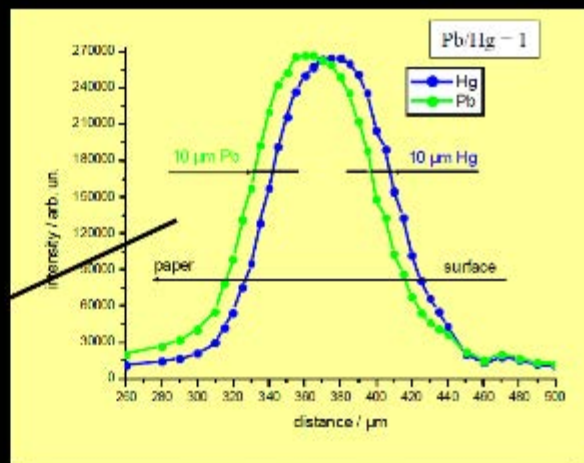


# 고대 그림 및 반 고흐 그림의 비밀 - XRF



## Non-destructive investigations of paint layers with 3D $\mu$ XRF

Kanngießer, Malzer, Reiche *Nucl. Instr. Meth. B* 2003



→ two paint layers of 10  $\mu$ m thickness



Museum of Indian Art, SM Berlin I 5004(3)

Photographs of (top) Bank of the Seine (middle) View of Arles with Irises (bottom) Flowers in a blue vase by Vincent van Gogh,

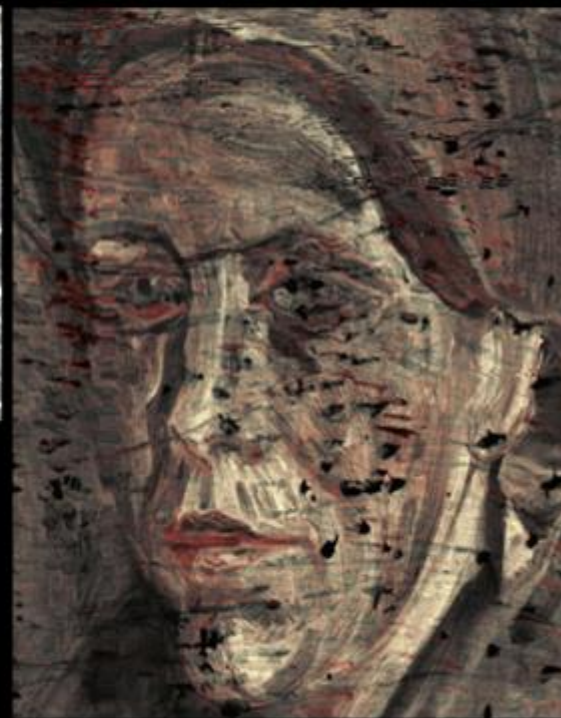




# 반 고흐 그림의 비밀

## 고흐의 숨겨진 초상화

고흐의 작품 'Patch of Grass' 에서 숨겨진 여인을 찾다



고흐가 덧칠해 그린 'Patch of Grass'에 묻혀 있던 한 여인의 얼굴을 찾아냈으며 당시, 고흐는 돈을 아끼기 위해 기존 그림 위에 덧칠하거나 캔버스 뒷면에 그림을 그린 것으로 알려졌다.

Patch of Grass ; 1887년 고흐가 동생 테오와 함께 파리에 살았을 때 그린 그림

〈 복원된 여인의 이미지 〉  
색상전체까지 완벽하게 복원이 가능해짐

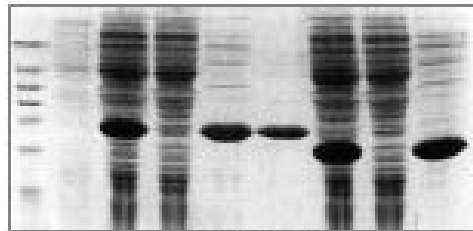




# 질병을 정복해라 !!! - 단백질 구조 분석



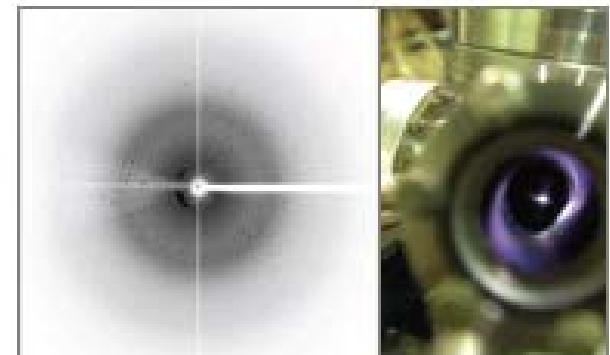
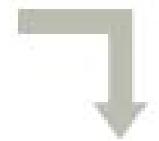
유전자 조작



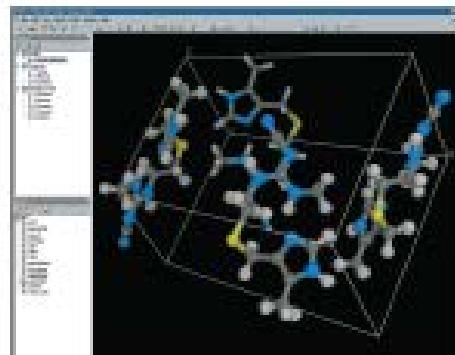
단백질 정제



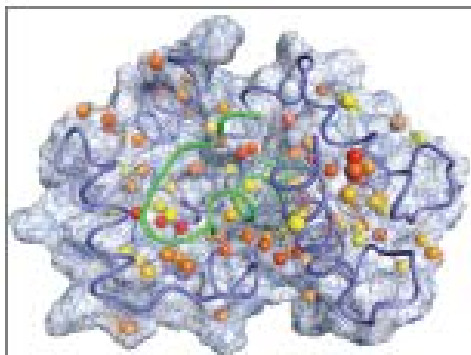
단백질 결정화



방사광을 이용해 회절무늬 획득



컴퓨터로 구조분석



3차원 단백질 구조



# 질병을 정복해라 !!! – 단백질 구조 분석



2003년 크리스탈 지노믹스

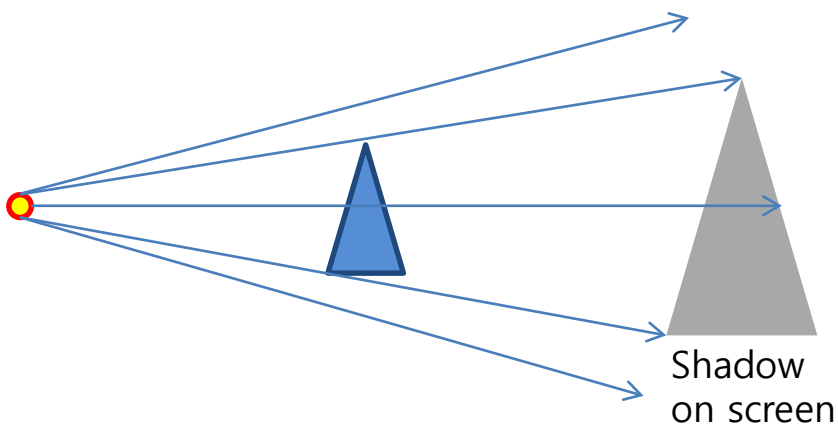


2005년 중앙대, 성균관대



# 파괴 없이 내부를 관찰하다 - X-선 현미경

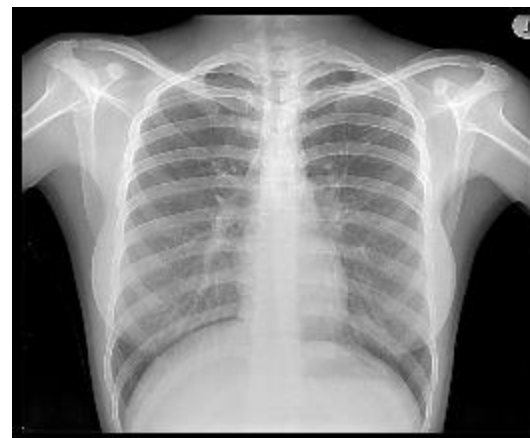
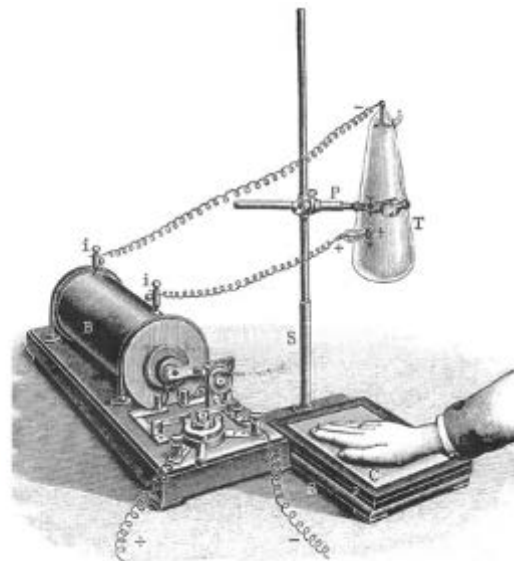
X-ray Projection Imaging: 100 nm-100  $\mu\text{m}$



Wilhelm Roentgen  
(1845 – 1923)



Mrs. Roentgen's  
hand (1895)

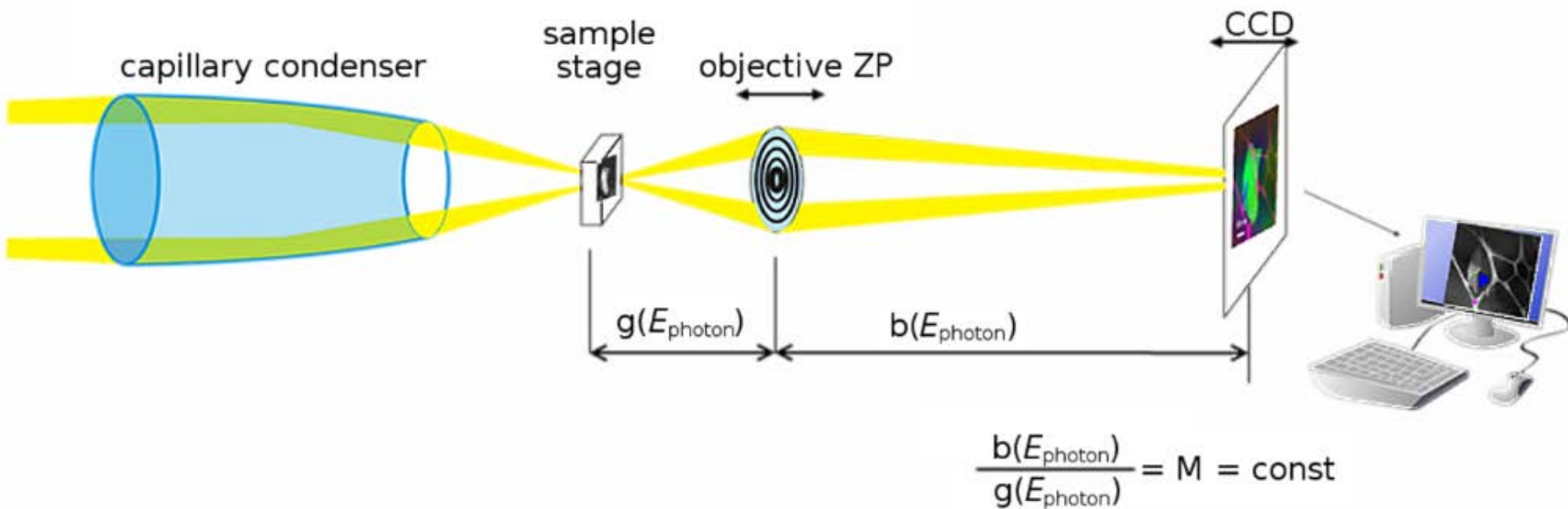






# 파괴없이 내부를 관찰하다 - X-선 현미경

## Transmission X-ray Microscope (TXM): 10-100 nm



Beilstein J. Nanotechnol. 2012, 3, 345–350.

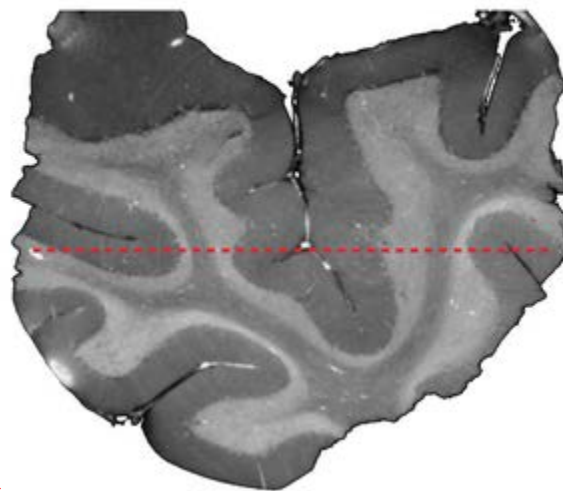


# X-선 현미경 - 파괴없이 내부를 볼 수 있다면?

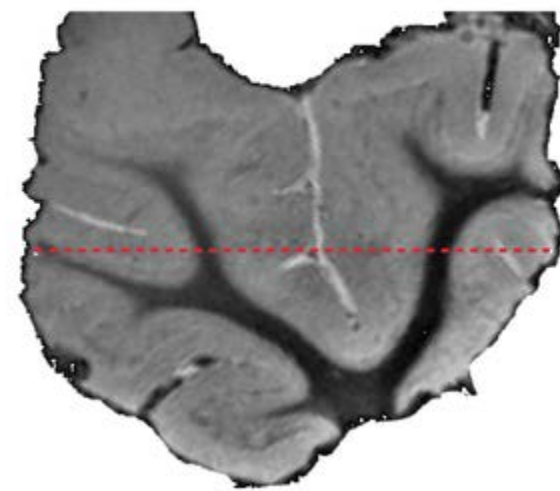
Histology



PC- $\mu$ CT



$\mu$ MRI



Schulz et al., Scientific reports (2013) DOI:10.1038

	Histology	방사광 굴절차 영상	$\mu$ MRI
영상 해상도	6 $\mu$ m	20 $\mu$ m	210 $\mu$ m
영상획득 시간		총 노출시간 25 분	400 분
이용한 장치 특성		23 keV	9.4 T



# X-선 현미경 - 파괴없이 내부를 볼 수 있다면?

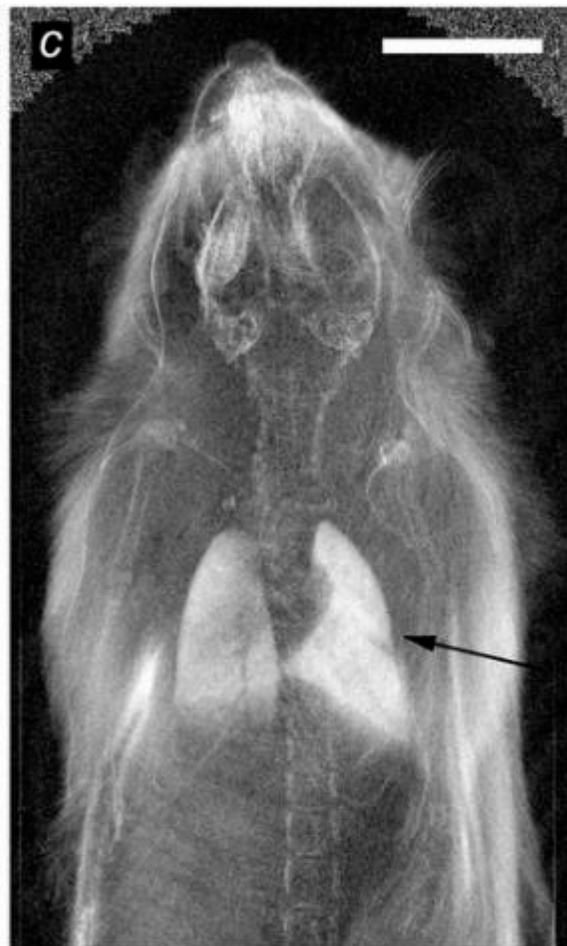
Transmission (absorption)



Phase



Dark-field (scattering)

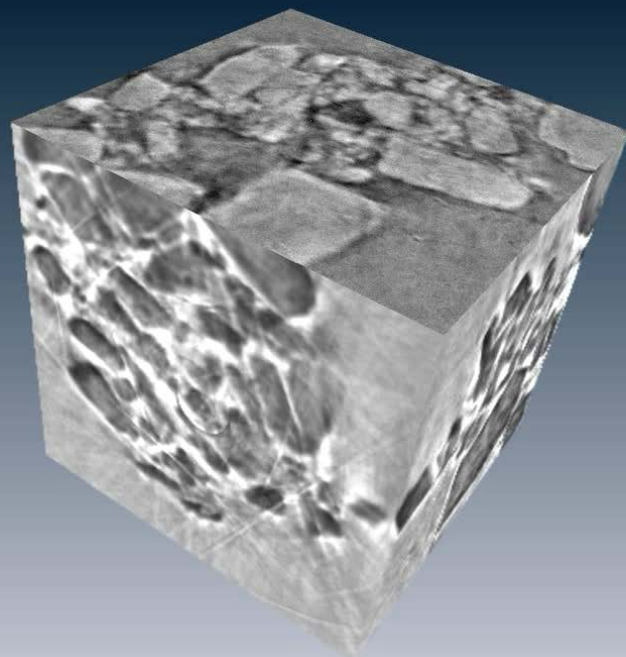
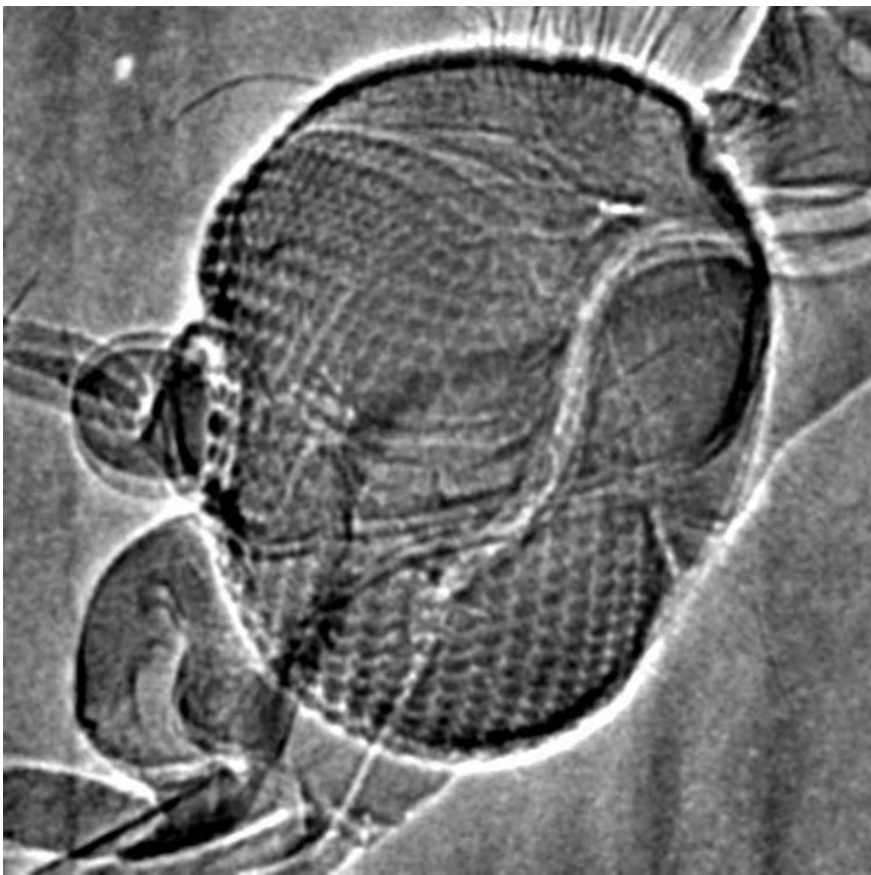


M. Bech et al., "In-vivo dark-field and phase-contrast x-ray imaging", Scientific Reports 3, Article number 3209 (2013))





# X-선 현미경 - 파괴없이 내부를 볼 수 있다면?

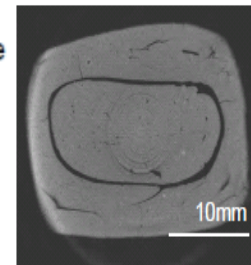




# X-선 현미경 - 불가사의는 없다 !



Sealed tablet – tax records inside  
D.Owen, Univ Cornell,



Sectional slice



## Time line

~10,000BC Nomadic to settlement transition in Euphrates delta

Small settlements – easy living – wild grains and wild animals are domesticated

Small – organized by the memory and verbal traditions of preliterate humans

3000-4000BC – rainfall reduction, irrigation over distance requires organization

- human administration is required -age of early civilization

~3100BC – first real human writings appear on clay tablets as record of goods in Cuneiform script

The clay tablets do not recycle – many found in landfills, some are sealed.

Could smash them open to read the inside – but the trend is not to these days.

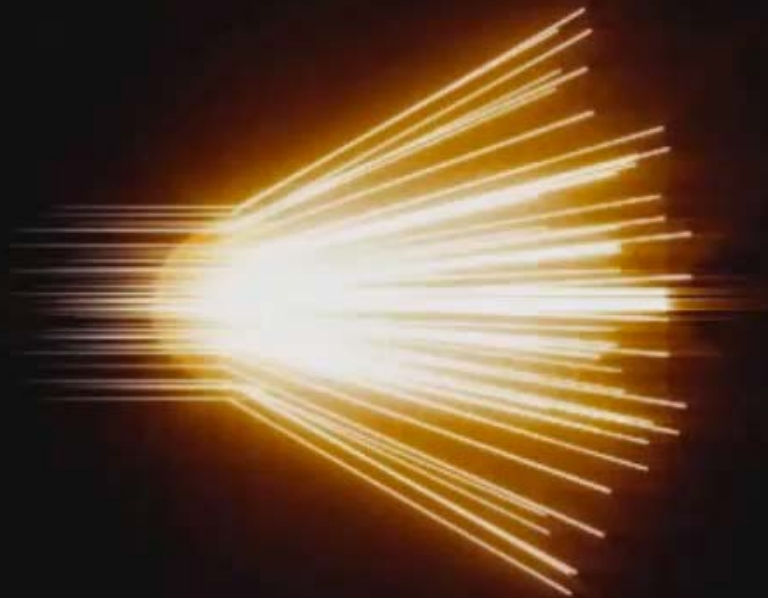
The internal script reads:- "1 bushel (by royal standard) and 40 liters of barley, the deficit from the field of Iridu, Lubaba received in the year the city of Urbilum was raided" (= 2nd year of king Amar-Suena, 2044 B.C.E.)

Part of knowledge accumulation as to how early civilization started.



## 잠깐! 4세대 가속기 활용

Scientific Application (Cell Imaging) [www.Bandicam.co.kr](http://www.Bandicam.co.kr)



The bright X-ray pulse provides the image of small objects.





# 리소그래피로의 응용



semiconductor

Display

MEMS

Memory device

system LSI

CCD, CMOS, LED,  
photodiode...

LCD

PDP

OLED, e-paper, ...

Surface  
micromachining

Bulk  
micromachining

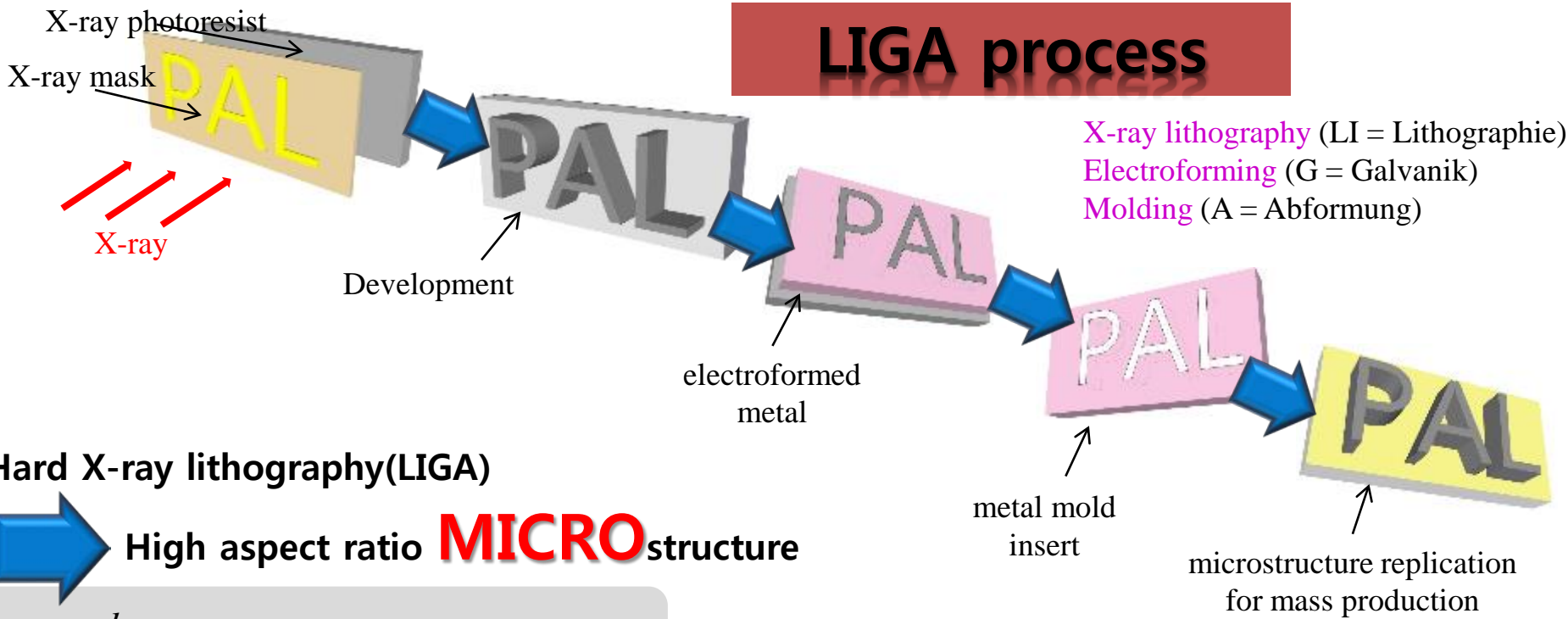
LIGA



# 리가 공정이란?



## LIGA process



Hard X-ray lithography(LIGA)

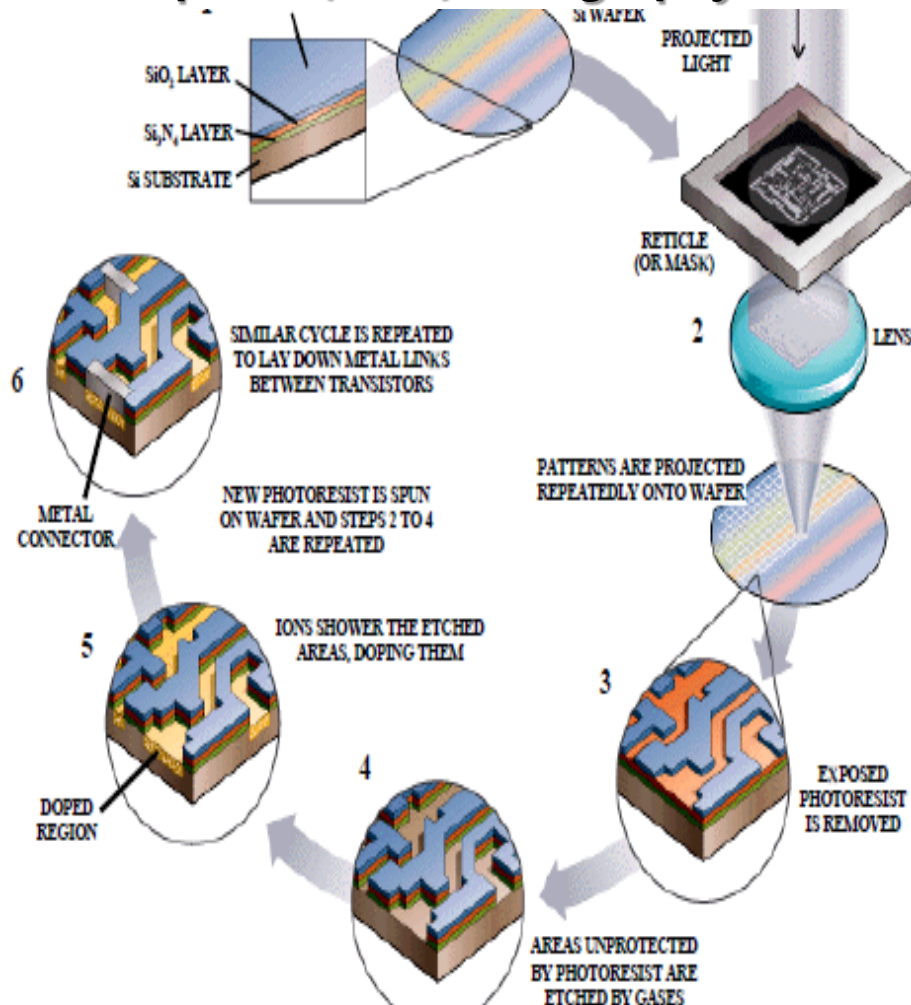
High aspect ratio **MICRO**structure

$$\lambda = \frac{hc}{E} \rightarrow \text{wavelength (0.6 \sim 3 \text{\AA})}$$



# 현재의 리소그래피 기술

## Current manufacturing → optical (laser) lithography



G. D. Hutcheson, et al., Scientific American, 274, 54 (1996).

## Deep UV → Excimer laser sources

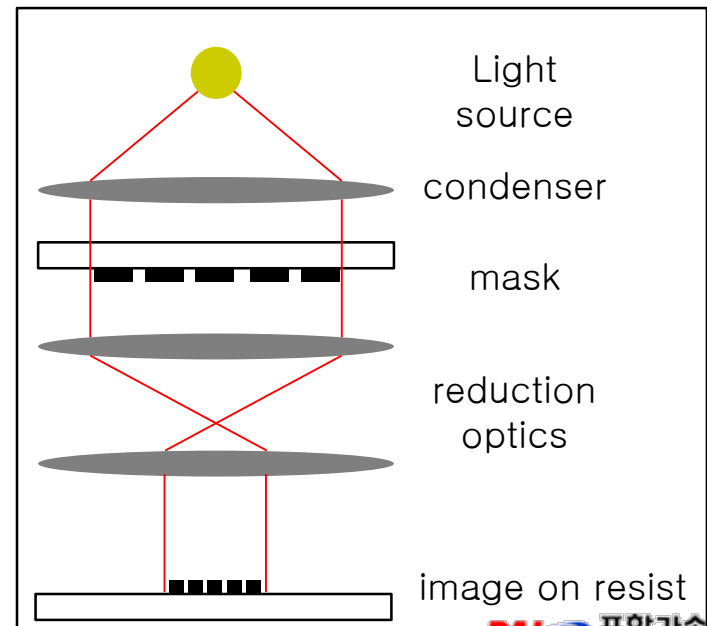
XeF → 351 nm

XeCl → 308 nm

KrF → 248 nm

ArF + immersion lithography

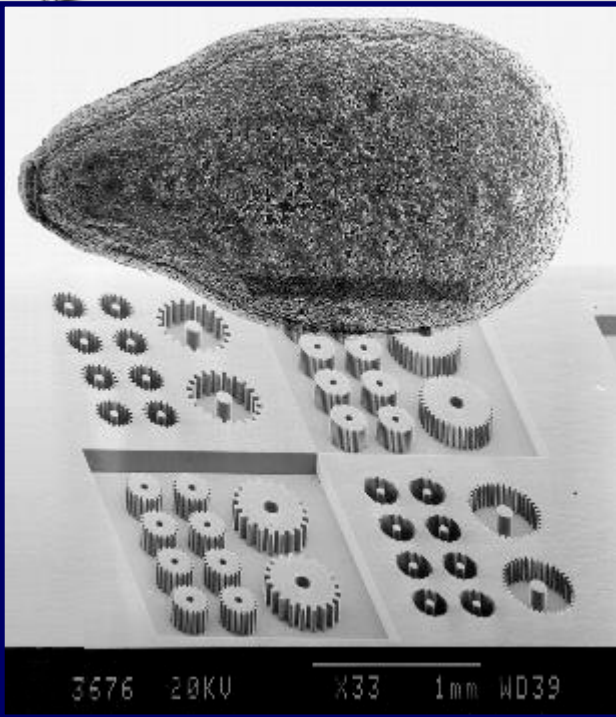
F2 → 157 nm







# 혈관 로봇과 마이크로 헬기 - LIGA !



TINIEST FLYING HELICOPTER OF THE WORLD



Take-off at 40,000 rpm.

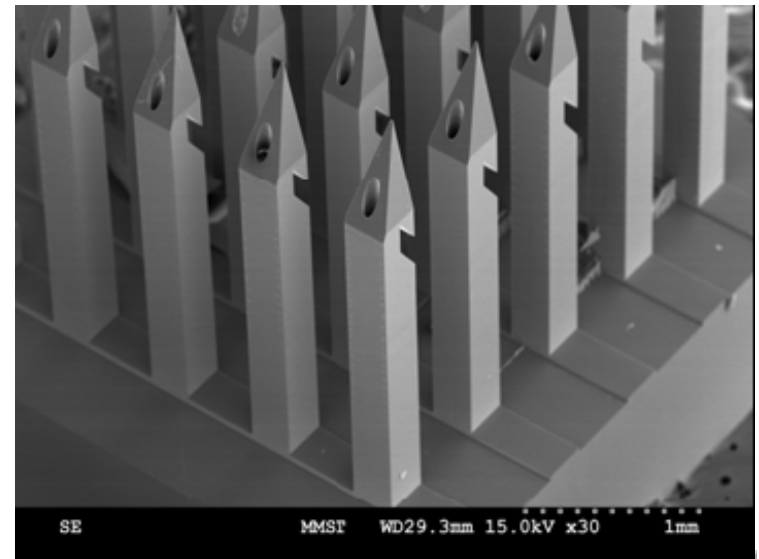
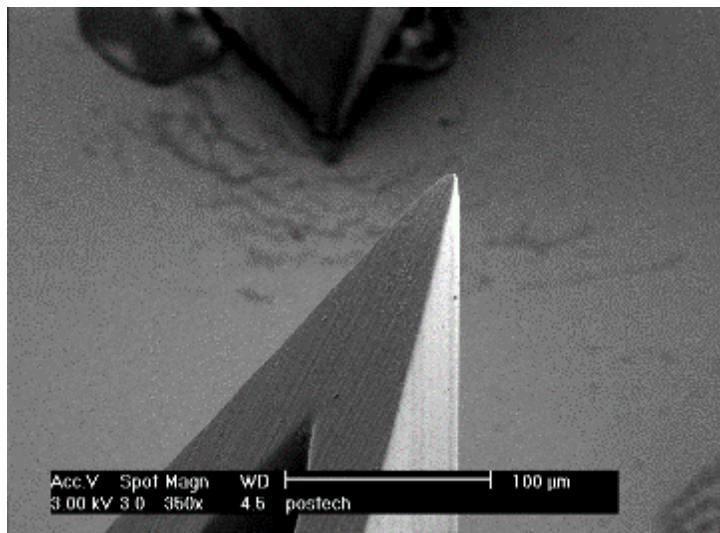
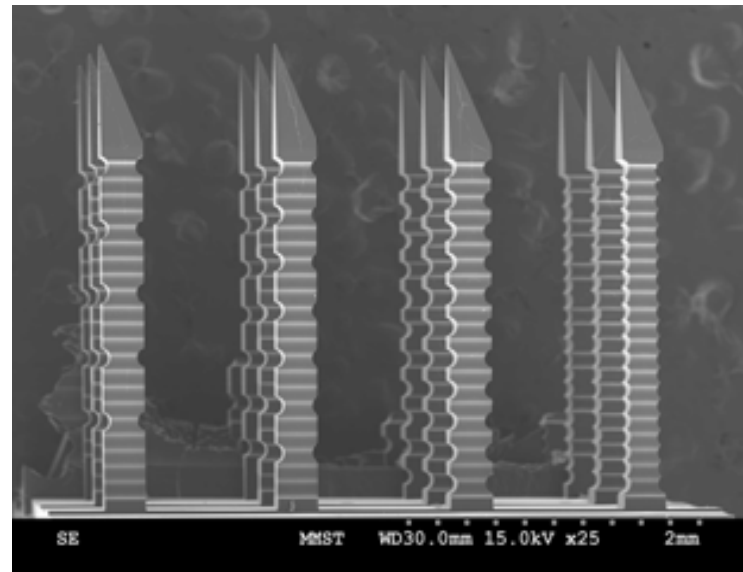
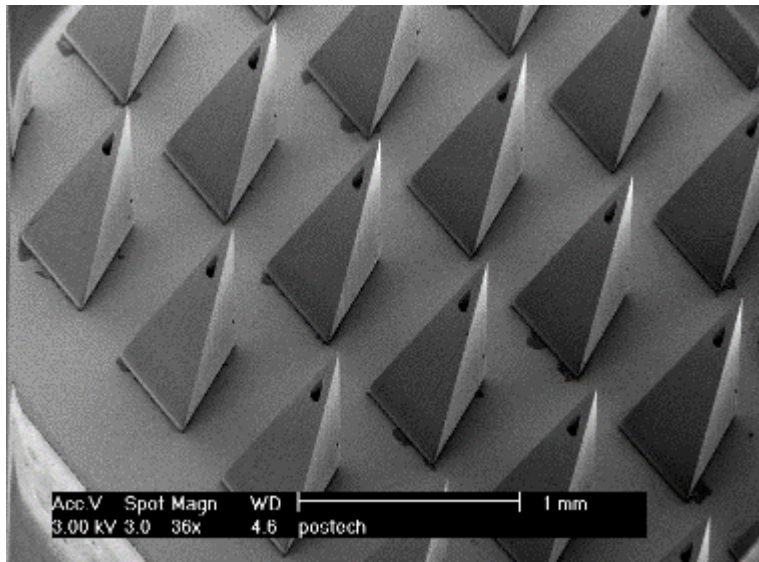


Helicopter (IMM, Germany)  
A length of 24 mm and a weight of 0.4 g  
The helicopter take off at 40,000 rpm





# 아프지 않은 주사기 ? - LIGA

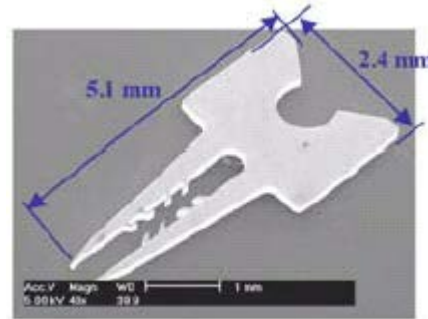
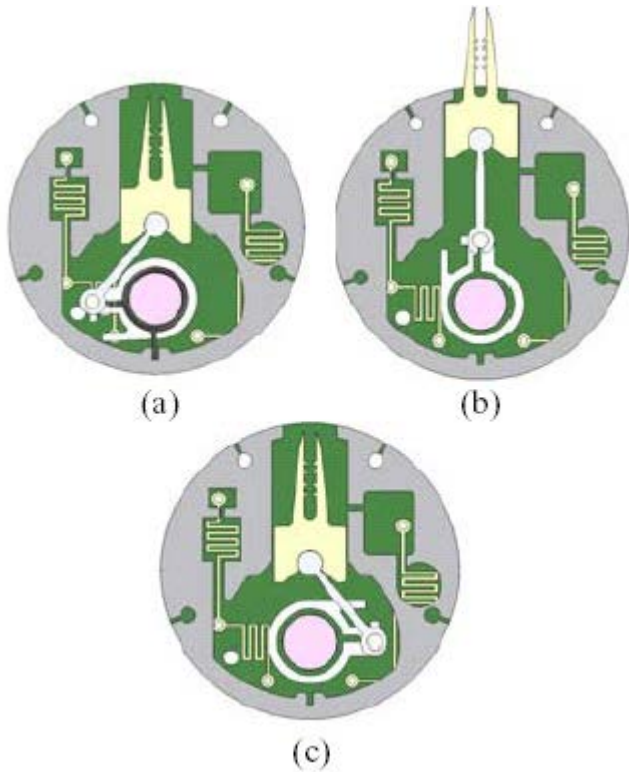




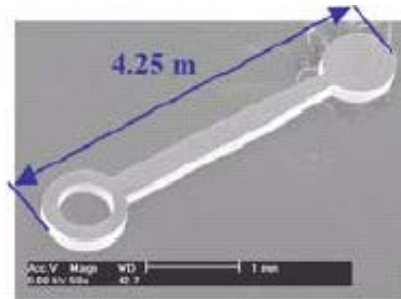
# 조직 검사는 내시경 해야 하나? - LIGA

fabricated actuator components

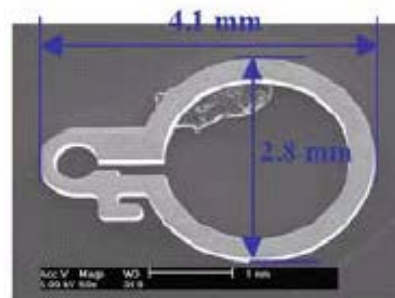
Schematics of micro biopsy actuator



(a)



(b)



(c)

assembled actuator







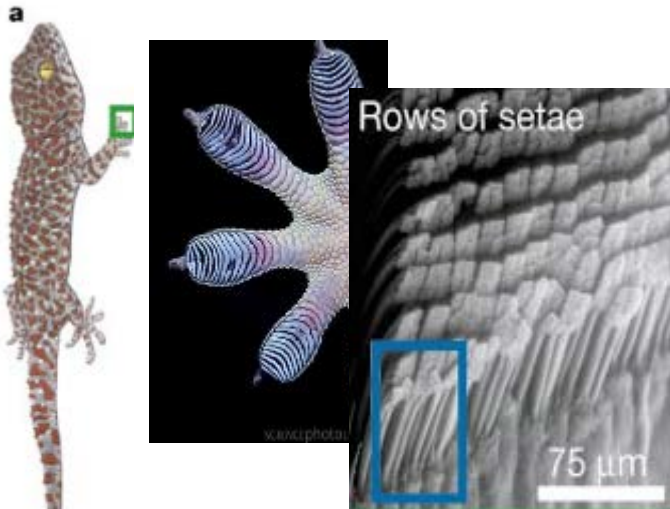
# 암벽 등반의 챔피언 - 게코 도마뱀 ? - LIGA

## ● Bio mimetic application

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lotus3.jpg>

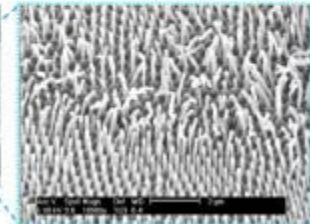
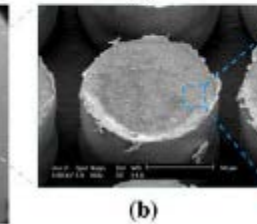
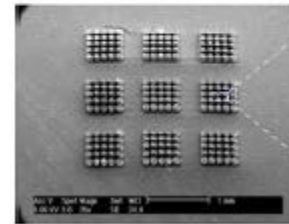
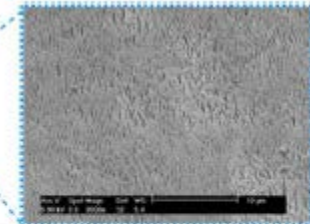
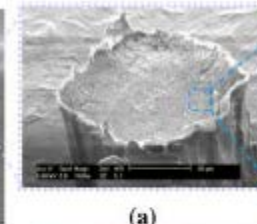
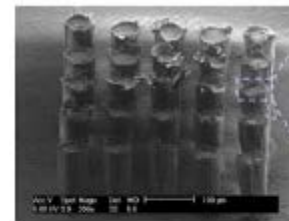
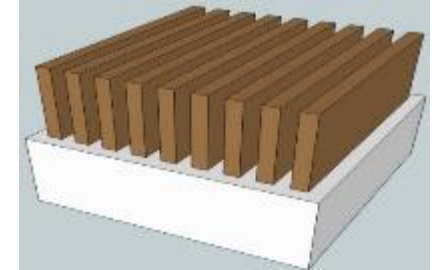
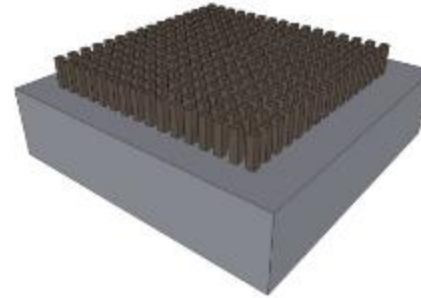


<[http://www.hk-phy.org/atomic\\_world/lotus/lotus01\\_e.html](http://www.hk-phy.org/atomic_world/lotus/lotus01_e.html)>



<<http://www.sciencephoto.com/media/150976/enlarge>>

<NATURE | VOL 405 | 8 JUNE 2000>



Sub-micro/nanostructure with combined other nanotechnique

Functional devices with high aspect ratio



## Summary

- 세계에는 전자가속기, 양성자가속기, 중이온 가속기 등 다양한 형태와 종류의 가속기 시설이 존재한다.
- 전하를 띤 입자(전자)의 가속으로 파생되는 방사광은 X-선에서 자외선, 적외선 등 다양한 파장대역을 포함하여 이를 이용하여 다양한 연구를 진행할 수 있다.
- 국내 유일의 방사광가속기인 포항가속기연구소는 여러 종류의 빔라인을 이용, 생명과학, 재료, 화학, 물리, 마이크로 기계부품 가공 등 다양한 연구를 수행한다.

감사합니다!

Q&A