

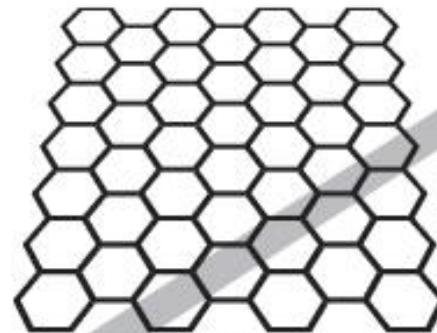
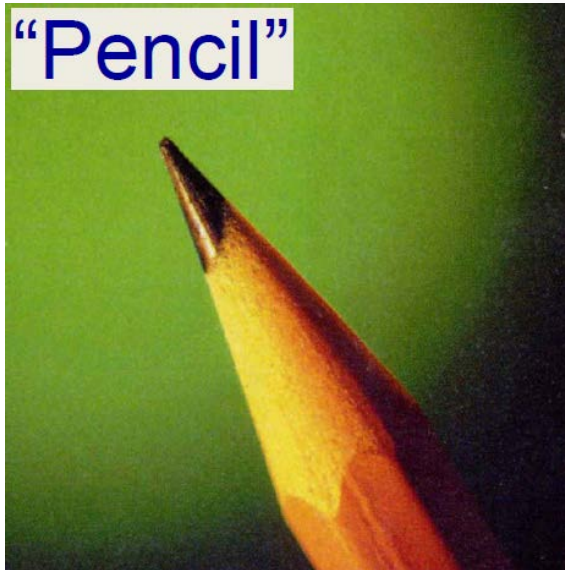
# 탄소소재 개발기술

## (그라핀, Graphene)

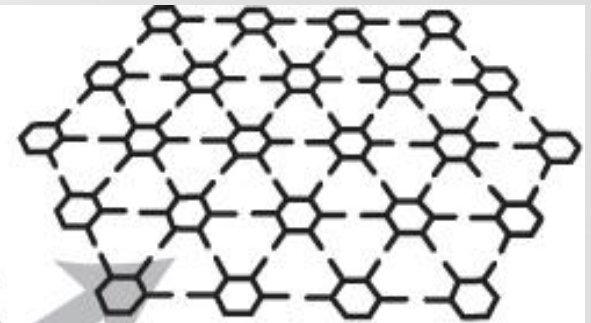


JS 연구소 제공

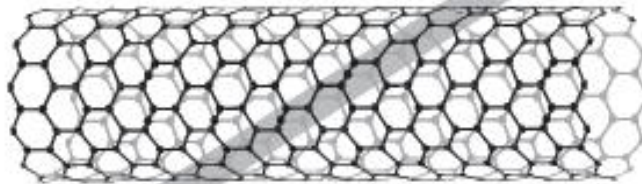
# "Pencil"



Graphene  
2004



Many undiscovered  
allotropes for example  
 $sp$ - $sp^2$ -graphyne  
20??



Carbon nanotubes  
1991



Fullerenes  
1985

# Andre-Geim-and-Konstantin-Novoselov



# 목차

## I. 기술분야

1. 기술의 개요
2. 기술의 적용범위, 응용 제품 및 분야
3. 본 기술의 개발상태
4. 본 기술의 특징
5. 경쟁기술과의 차별점

## II. 시장분야

6. 관련기술의 시장현황 및 규모
7. 시장의 특성

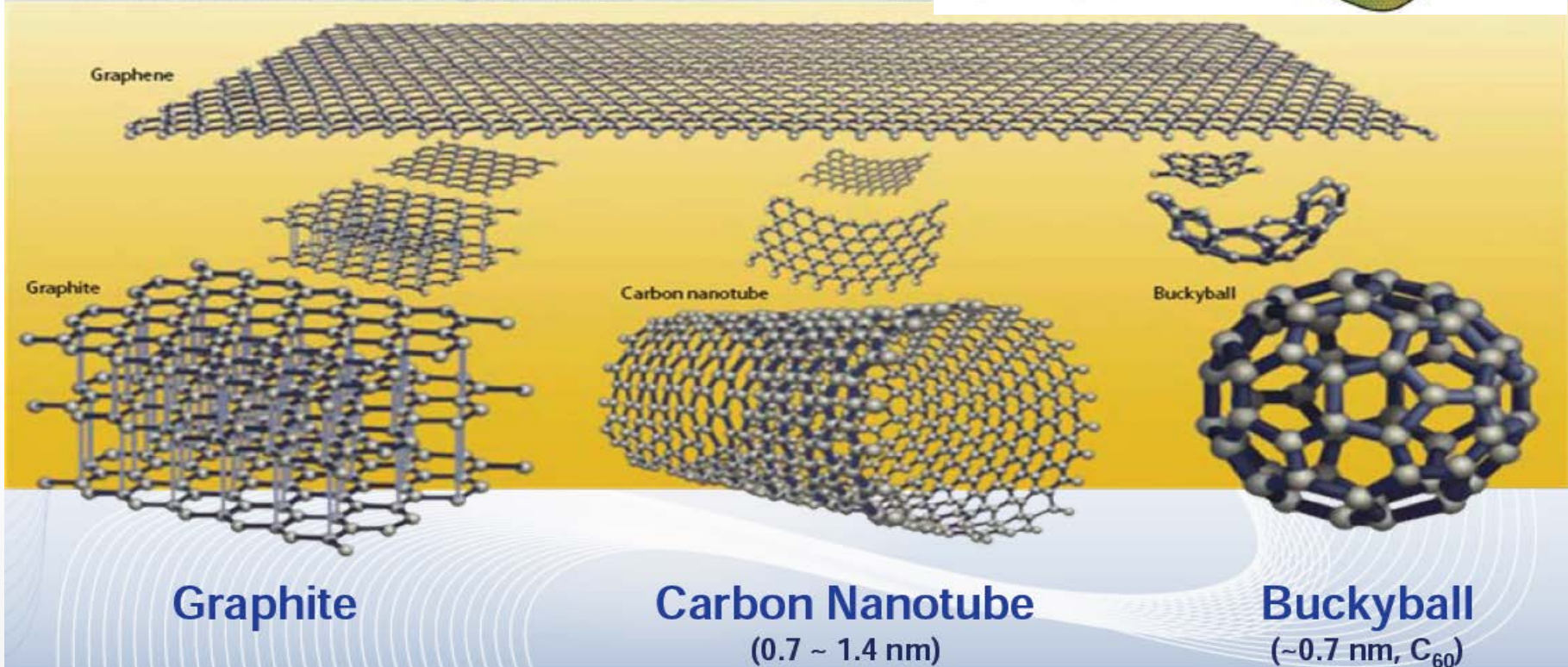
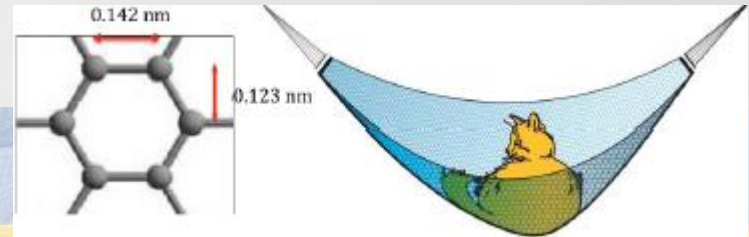
## III. 사업화 분야

8. 기술조건 및 필요조건
9. 지적재산권 현황



# 1. 기술의 개요

**Graphene**  
(0.34 nm)



**Graphite**

**Carbon Nanotube**  
(0.7 ~ 1.4 nm)

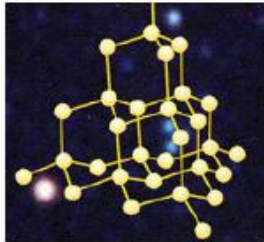
**Buckyball**  
(~0.7 nm, C<sub>60</sub>)

- 1 높은 전하이동도 (실리콘의 100배)
- 2 높은 전류 허용 용량 (구리의 100배)
- 3 뛰어난 열 전도도 및 낮은 발열량

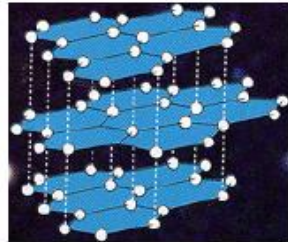
- 4 높은 광투과성 (~97.7%, 전파장영역)
- 5 유연성/신축성
- 6 Si 기반 소자와의 호환 (박막 구조)

- CNT: 흑연 구조의 Sheet가 수~수십 nanometer( $10^{-9}\text{m}$ )의 직경으로 말려있는 3차원 구조체
- SWCNT, DWCNT, MWCNT, Carbon Nanohorn 등이 있음

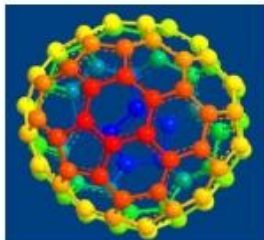
#### ■ 탄소 동소체의 원자 배열 구조



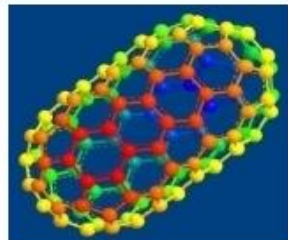
Diamond



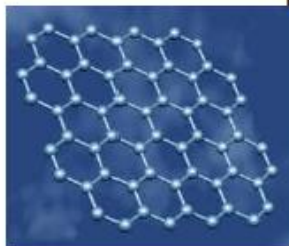
Graphite



Fullerene ( $\text{C}_{60}$ )

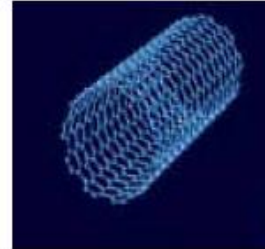


Carbon Nanotube

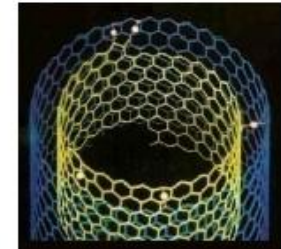


Graphene

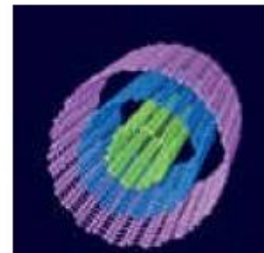
#### ■ 탄소나노튜브 종류



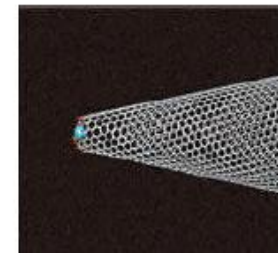
SWCNT  
(Single-Walled CNT)



DWCNT  
(Double-Walled CNT)



MWCNT  
(Multi-Walled CNT)



Carbon Nanohorn



# 그라핀(Graphene)?

## 2004. 10. Graphene Discovery

- Free Standing 2D Atomic Layer

## 2005. 11. Massless Dirac Particle

- Quantum Hall Effect
- Relativistic Quantum Mechanics

- High Mobility
- High Conductivity
- High Heat Conductor
- High Stability
- New Quantum Mechanics
- Device Based on 2D plane

- High Mobility ( $\sim 200,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  @ RT)
- High Conductivity ( $1.0 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$ )
- High Current Density ( $\sim 10^8 \text{ A/cm}^2$ )
- High Heat Conductivity ( $5,300 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ )
- High Chemical Stability
- Mechanical Flexibility
- Transparency



- Relativistic Quantum Mechanics (Massless Dirac Particle)
- New Spintronics



- 2D Thin Film Material



# CNT vs. Graphene

- ◆ 두 소재 모두 우수한 전기적, 기계적 물성 보유
- ◆ CNT는 도체 혹은 반도체 특성을 보이거나, graphene은 도체
- ◆ CNT에 비해 평면 구조인 graphene은 대면적화와 전자 공정 적용에 유리

구 분	CNT	Graphene
상온이동도	$\sim 100,000 \text{ cm}^2/\text{V-s}$	$\sim 200,000 \text{ cm}^2/\text{V-s}$
비저항	$1.6 \times 10^{-6} \text{ Ohm-cm}$	$1.0 \times 10^{-6} \text{ Ohm-cm}$
밴드갭	$0.5 \sim 1.0 \text{ eV}$	$0 \text{ eV}$
최대전류밀도	$10^6 \text{ A/cm}^2$	$10^8 \text{ A/cm}^2$
Young's Modulus	$1 \sim 2 \text{ Tpa}$	$1 \text{ Tpa}$
Tensile Strength	$30 \sim 180 \text{ GPa}$	$130 \text{ GPa}$
Surface Area	$1500 \text{ m}^2/\text{g}$	$2630 \text{ m}^2/\text{g}$
구조	1D	2D



# 1 Kilogram is...

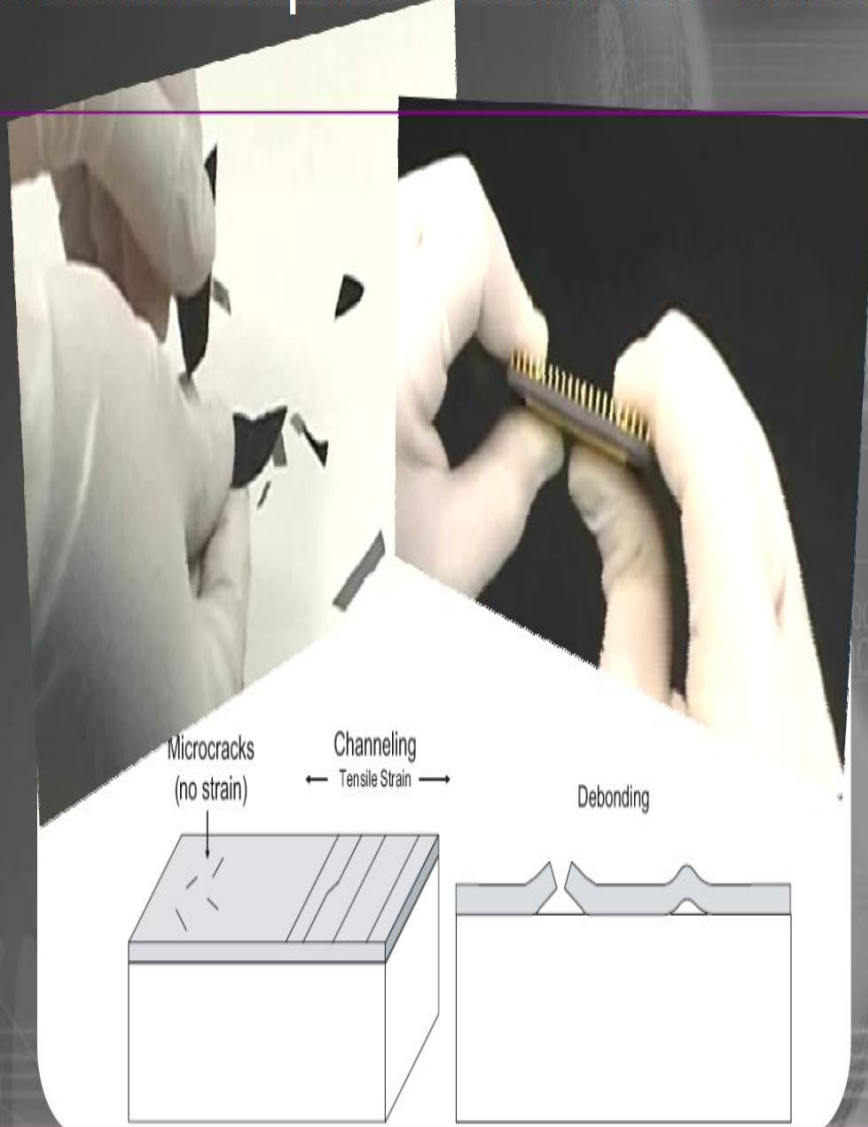


# Mechanical Propertyies

Estimated physical constants of CNTs, CNFs, and NGPs.

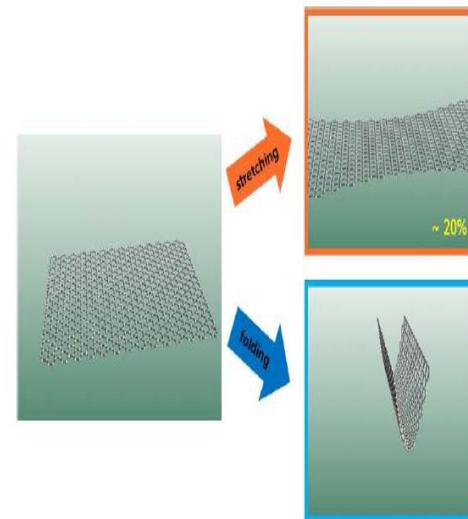
Property	Single-Walled CNTs	Carbon Nano-Fibers	NGPs (Nanoscale Graphene Platelet)
Specific gravity	0.8 g/cm <sup>3</sup>	1.8 (AG) -2.1 (HT) g/cm <sup>3</sup> AG = as grown; HT = heat-treated (graphitic)	2.2 g/cm <sup>3</sup>
Elastic modulus	~ 1 TPa (axial direction)	0.4 (AG)-0.6 (HT) TPa	~ <b>1 TPa</b> (in-plane)
Strength	50-100 GPa	2.7 (AG)-7.0 (HT) GPa	~ <b>130 GPa</b>

# Mechanical Properties of Si and Oxide Materials



# Bendability of current electronic materials

Materials	Fracture Strain	Materials	Fracture Strain
Silicon	~ 0.7%	Poly- ZnO	0.03%
ITO	0.58 ~ 1.15%	Polyimide	4%
Au	0.46%	Graphene	> 15%

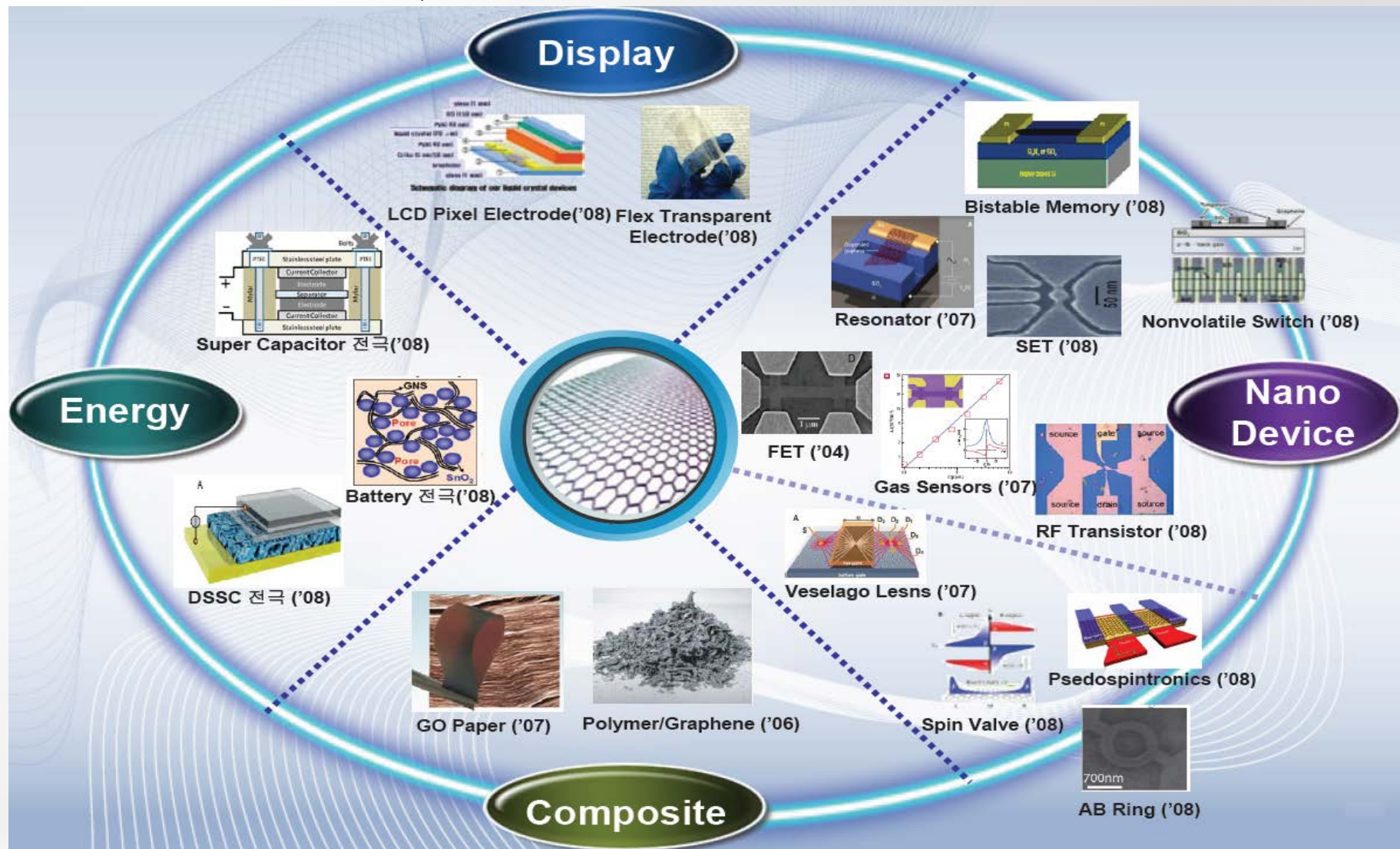




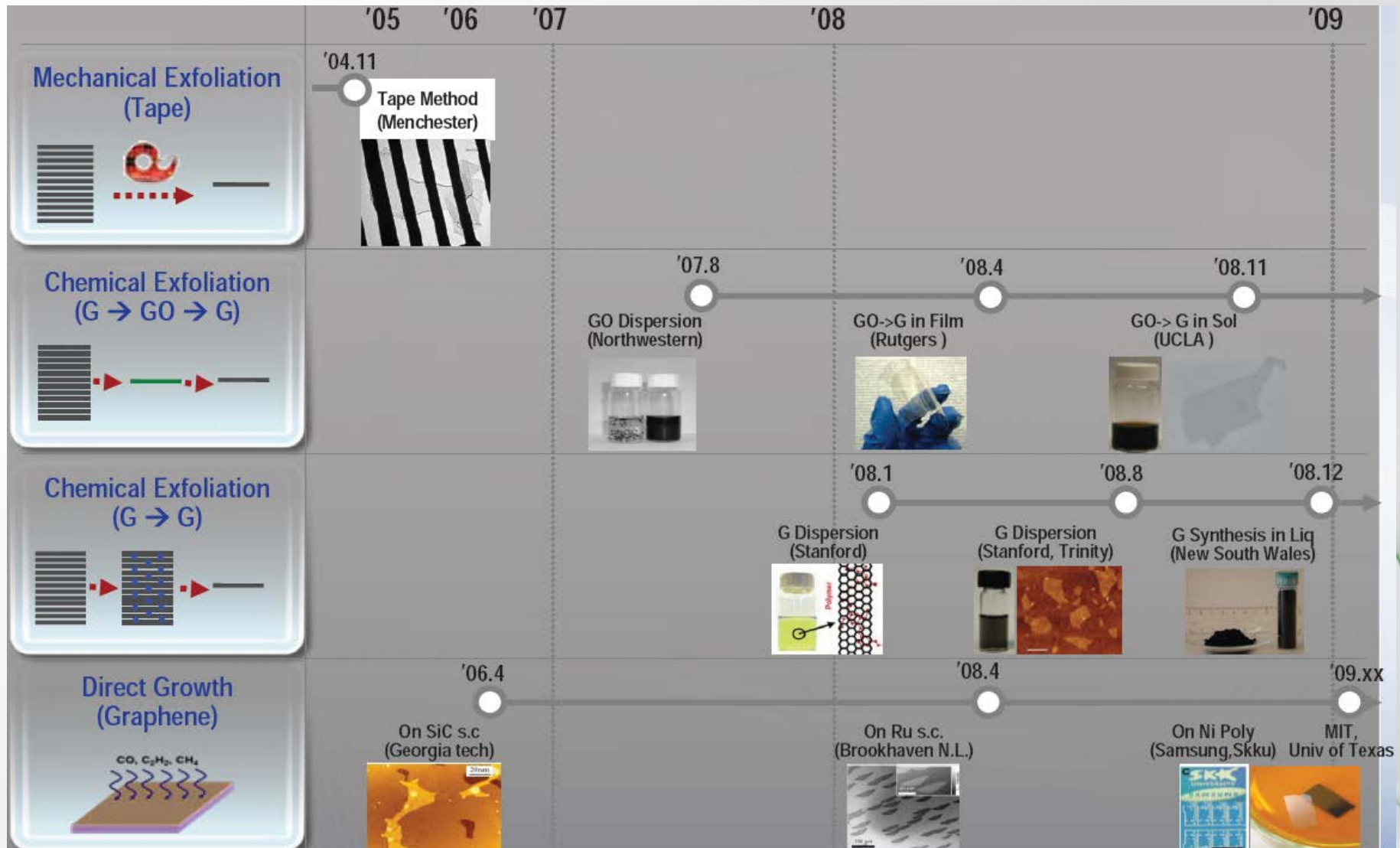
# Nanoparticle Properties

	Exfoliated Clay	Carbon Nanotube	Graphite Nanoplatelets
Physical Structure	<b>Platelet</b> ~1nm x 100 nm	<b>Cylinder</b> ~1nm x 100 nm	<b>Platelet</b> ~1nm x 100 nm
Chemical structure	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO K <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>Graphene</b>	<b>Graphene</b>
Tensile Strength	~ 1 GPa	~ 180 GPa	~10 – 20 GPa
Electrical Resistivity	10 <sup>10</sup> – 10 <sup>16</sup> Ohm cm	~50x10 <sup>-6</sup> Ohm cm	~ 50x10 <sup>-6</sup> Ohm cm
Thermal conductivity	6.7x10 <sup>-1</sup> W/mK	3000 W/m K	3000 W/m K
CTE	8 – 16x10 <sup>-6</sup>	-1x10 <sup>-6</sup>	- 1x10 <sup>-6</sup>
Density, g/cm <sup>3</sup>	2.8 – 3.0	1.2 – 1.4	~2.0

## 2. 기술의 적용범위, 응용제품분야



### 3. 본 기술의 개발상태



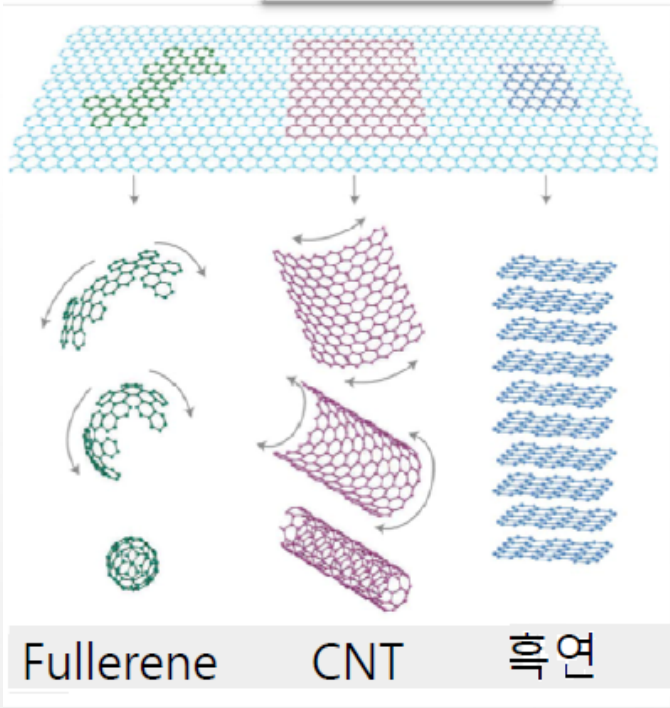
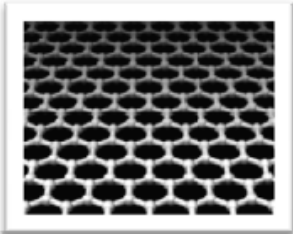


	합성 및 패터닝	물성측정	물성계산	기능소자
2005	美 멘체스터大 ↳ 스카치 테이프를 이용하여 흑연으로부터 단원자층 그래핀을 분리 美 컬럼비아大 ↳ AFM 팁 끝에 패터닝된 흑연 결정을 부착한 후 기판에 옮김	美 멘체스터大 美 컬럼비아大 ↳ 그래핀 단원자층에서 분수 양자홀 효과 측정		
2006	獨 프리츠하버 연구소 ↳ SiC 기판위 그래핀 합성법 및 성질변환 美 노스웨스턴大 ↳ 그래핀 복합재료 합성	美 멘체스터大 美 컬럼비아大 ↳ 고자기장하 상온에서 양자홀 효과 측정 英 캠브리지大 ↳ 라만 분광법을 이용한 단원자층 분석법 제시	美 UC버클리大 ↳ 그래핀 나노 리본이 전기장 하에서 반금속 성질을 보임을 이론적 으로 계산	
2007	美 컬럼비아大 ↳ 전자빔 식각법에 의한 그래핀 나노리본 구조 패터닝 美 노스웨스턴大 ↳ 그래핀 산화물의 합성과 분석	美 컬럼비아大 ↳ 나노리본 구조의 너비에 따라 반도체성질을 제어 가능함을 밝힘 和-고등물성연구소 ↳ 그래핀을 통한 전자 스핀 수송현상을 측정 美 조지아大 ↳ 그래핀 표면에서 전자의 산란과 간섭을 STM으로 확인	美 UC버클리大 ↳ 그래핀 나노 리본의 너비에 따른 반도체 성질 변환 예측 美 멘체스터大 ↳ local gate을 이용한 그래핀 p-n 접합에서의 양자홀 현상을 이론적 으로 예측	美 멘체스터大 ↳ 그래핀의 가스분자흡착과 전도도 변화를 이용 고성능 가스센서 제작 美 컬럼비아大 ↳ 나노구조와 상부게이트를 이용한 트랜지스터 제작 美 IBM 외 ↳ 그래핀 소재 전계효과 트랜지스터시제품 발표 美 코넬大 ↳ 그래핀을 이용한 Electromechanical Resonator 제작
2008	美 스탠포드大 ↳ 열처리한 흑연에 초음파를 가함으로써 수십nm 너비의 그래핀 나노리본 제작 美 UCLA 외 ↳ 그래핀의 용액상 분산법에 대한 기술 개발	和-Delft 大 외 ↳ 두층 그래핀의 전기장에 따른 도체-부도체 성질 제어 효과 측정 美 UC버클리大 ↳ 그래핀의 전기장에 따른 광학전이 에너지 변화 측정	佛 CEA 외 ↳ 그래핀의 단일결합에 의한 전자구조 변화 계산	美 멘체스터大 ↳ 그래핀 양자점 소자 제작 獨 Max Plank ↳ 그래핀 전극을 염료감응형, 유기태양전지 소자에 응용
2009	韓 성균관大 외 ↳ 고품질 그래핀의 대면적 합성 ↳ 신축성 투명 그래핀 전극 개발	日 AIST ↳ 그래핀 가장자리 미세 구조의 전자현미경 분석	美 오하이오大 ↳ suspended 그래핀의 부도체 특성 예측	美 멘체스터大 ↳ 그래핀의 수소화 반응을 이용한 소자 美 컬럼비아大 ↳ 그래핀 양자 이방구조소자

## 최근 그래핀 관련 해외 주요연구개발 현황 요약

## 4. 본 기술의 특징

그라핀 : 이차원 평면에서 탄소가 육각형의 벌집모양의 구조로 서로 이어져 배치된 탄소동소체



- 실리콘보다 전자가 100배 이상 빠르게 흐를 수 있다.
- 구리보다 100배 이상의 전류를 흘려 보낼 수 있다.
- 열전도성이 다이아몬드보다 2배 이상 높다.
- 늘리거나 접어도 전기 전도성을 잃지 않는다.



**Graphene 면 첨가에 따른 장점을  
선 타입 CNT와 병행하여 연구 필요**

# Transparent Electrodes in Modern Electronics

## Indium Tin Oxides (ITO)



**Flat Panel Display**

LCD  
PDP  
OLED



**Touch Screen**



**Solar Cell  
Electrodes  
For Poly Si  
Dye-sensitized  
CIGS**



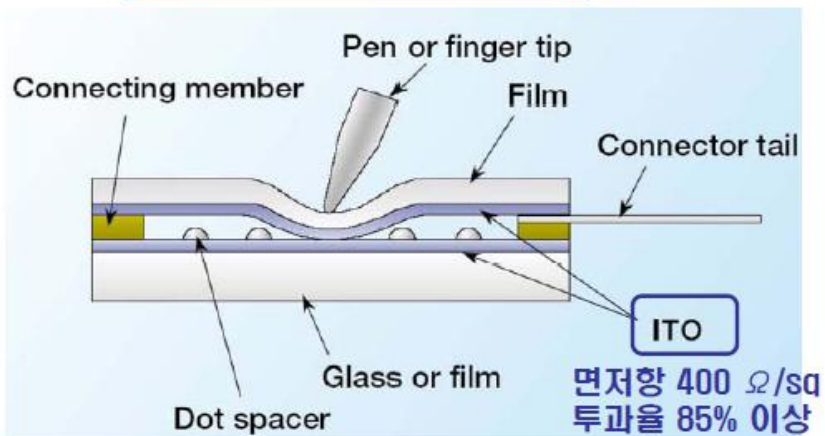
**Transparent  
Display**



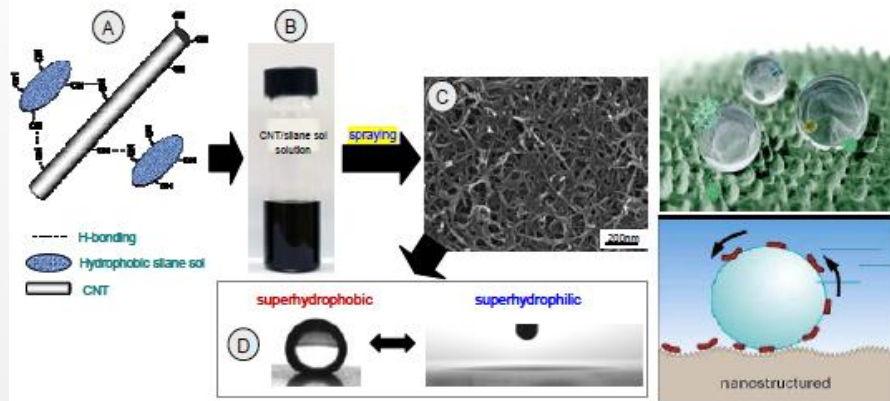
**Flexible  
Display**



## 터치패널 모듈



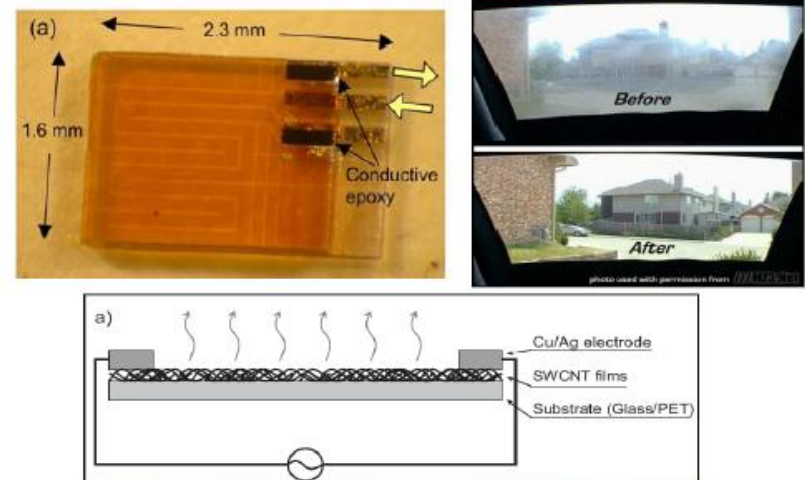
## 초발수 코팅



## 유연 투명전극



## 투명히터





투명전극의 응용분야와 이에 따른 필요 면저항 값

	ITO	Graphene	Remark
History	1907:Invention 1950s~: First generation, Monopolizing market of transparent conducting layer	2004:Discovery Scale up is being performed	Indium(rare-earth material) will not be supplied to market sufficiently
Modulus(GPa)	119	500	Graphene > ITO
Thickness	100~200nm	0.34nm(3 layers)	Graphene > ITO
Transparency	> 90%(t=100nm)	85%	ITO > Graphene
Heat Conductivity(W/mK)	11~12	5000	Graphene > ITO
Failure Strain	1.15%	> 20%	Graphene > ITO
Hardness	-	2 times stronger than diamond, 20~300 times stronger than steel	Graphene > ITO
Chemical Resistance	O.K	O.K	Same
Mobility(cm <sup>2</sup> /V · s)	41.4~46.4	10,000	Graphene > ITO
Sheet Resistance(Ω/sq)	< 50	280(Present level)	Touch Screen : 500 E-paper : 10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup>
Productivity	In Production	Production technique for scale up is needed	ITO > Graphene

## ITO대비 그래핀 투명전극의 장단점 비교



# 차세대 투명 전극소재

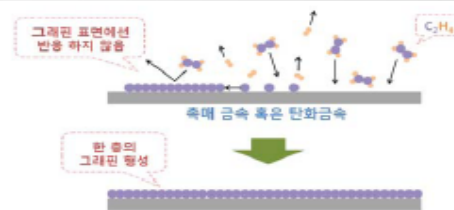
◆ 기존 ITO의 광학적, 기계적 한계 극복 가능한 소재 필요성 증대.

응용제품	주요목표	ITO 투명전극	차세대 투명전극
터치패널	깨끗한 화면	투과율 한계	유연성
		열은 황색	
	크기 대형화	면저항 한계	
	낮은 소비전력	면저항 한계	높은 투명도
	곡면 설치	Brittle함	
FPD (전자종이/OLED)	Flexible	Brittle함	무색
	깨끗한 화면	투과율 한계	
		열은 황색	낮은 면저항
태양전지	높은 변환 효율	면저항 한계	
		청색광 cut off	
유기 EL/조명 등	높은 발광 효율	투과율 한계	
		청색광 cut off	

## 5. 경쟁기술과의 차별점

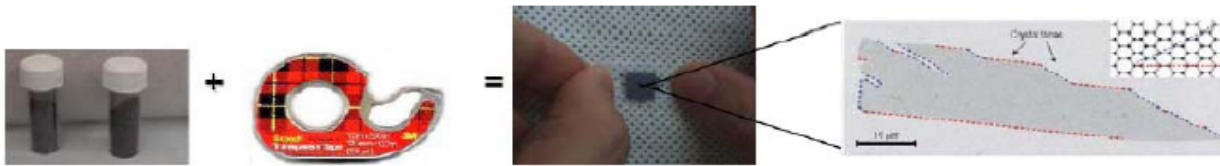
### I. CVD (Chemical Vapor Deposition)

→ 반도체용



### II. Mechanical exfoliation

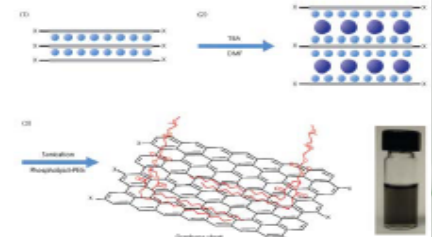
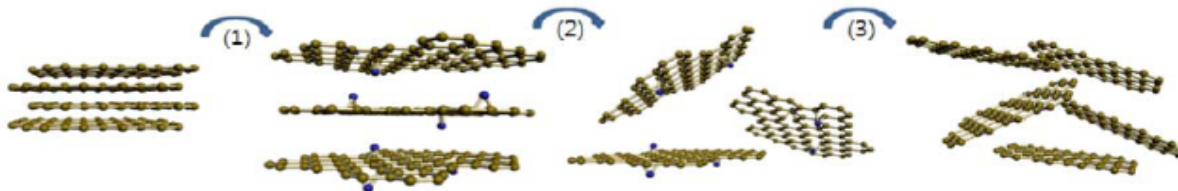
→ 고품질, but 소량/학문적 연구



### III. 흑연분말의 화학적 박리법

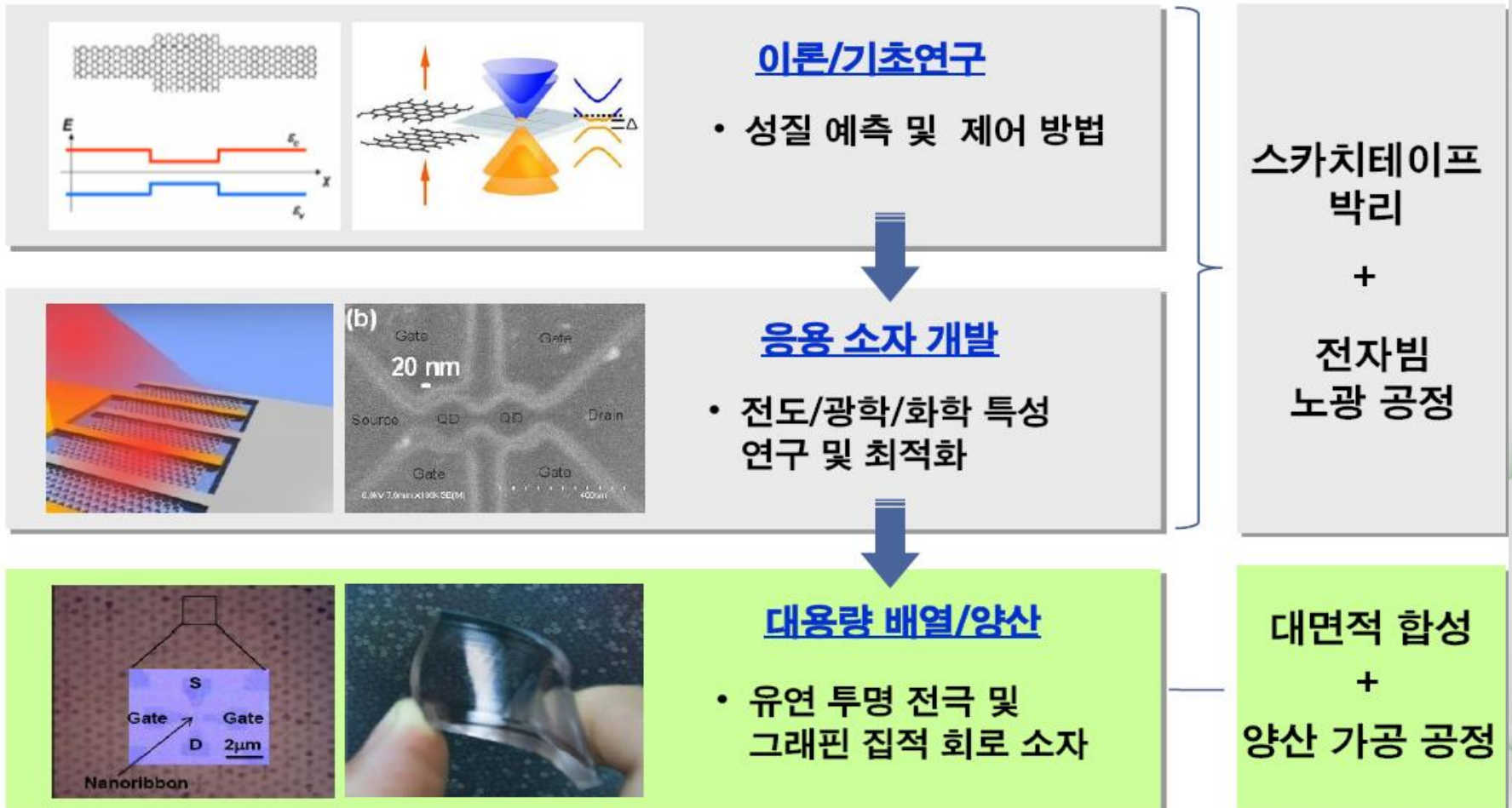
→ 양산가능 (결함을 줄이는 것이 향후 관건)

→ 결함에 무관한 물성을 중심으로 상업적 응용 시도



# 現 기술개발의 한계성

◆ 그래핀 양산을 위해서는 대면적 고품질 합성 및 가공 기술의 확보가 관건

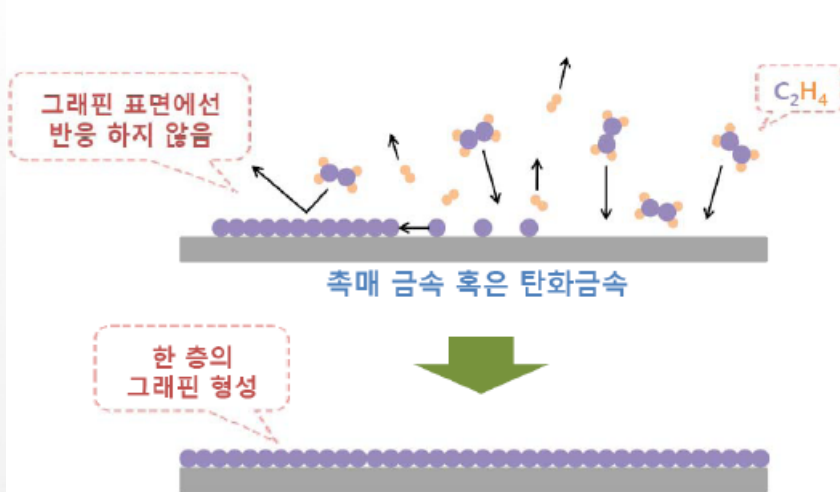




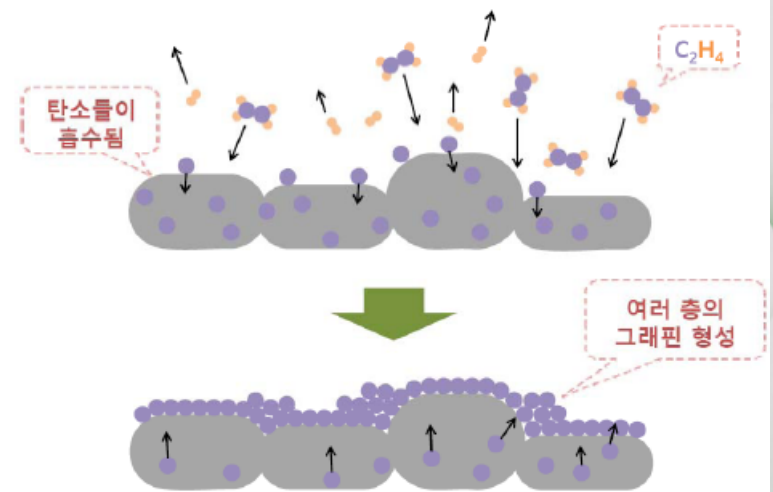
# CVD (Chemical Vapor Deposition)

고온에서 탄소와 카바이드 합금을 잘 형성하거나 탄소를 잘 흡착하는 전이금속을 촉매층으로 이용하여 그래핀을 합성하는 방법

## 그래핀 형성 원리



단결정 촉매금속 CVD

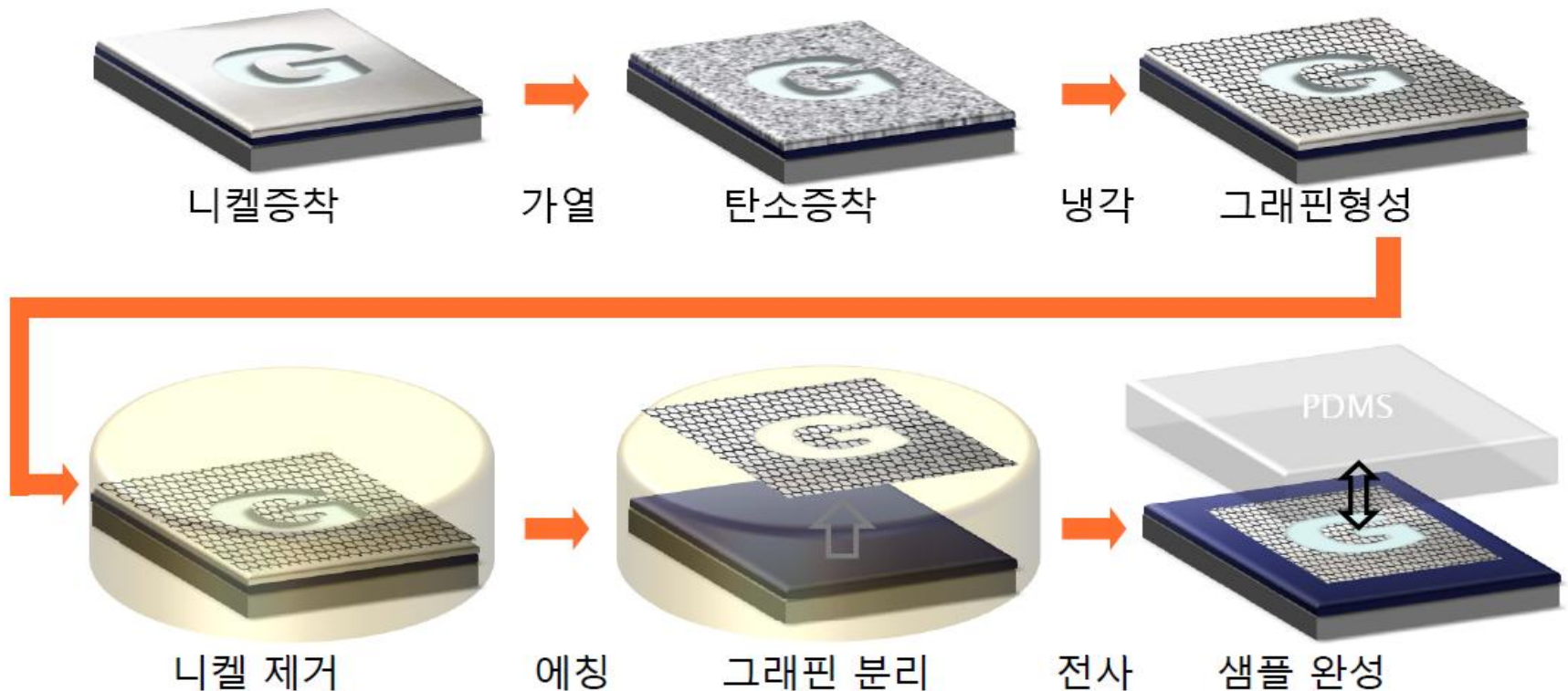


다결정 촉매금속 CVD

# CVD법에 의한 그래핀 Film제작

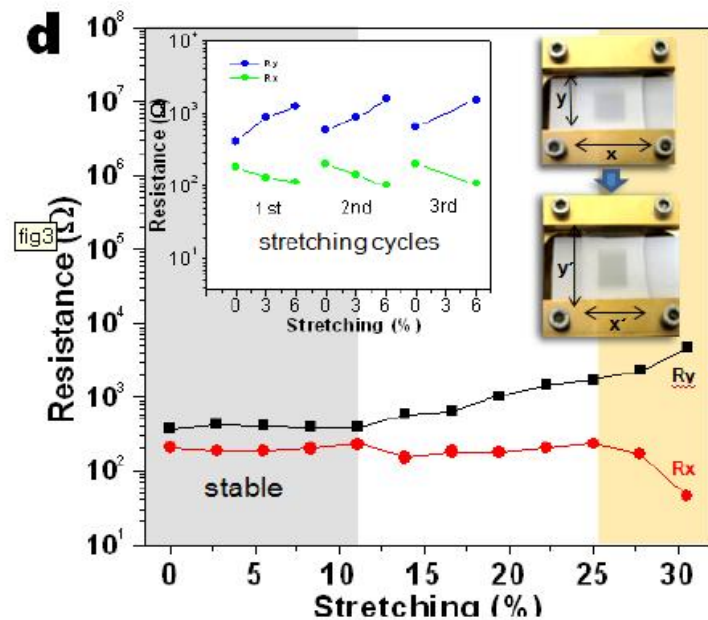
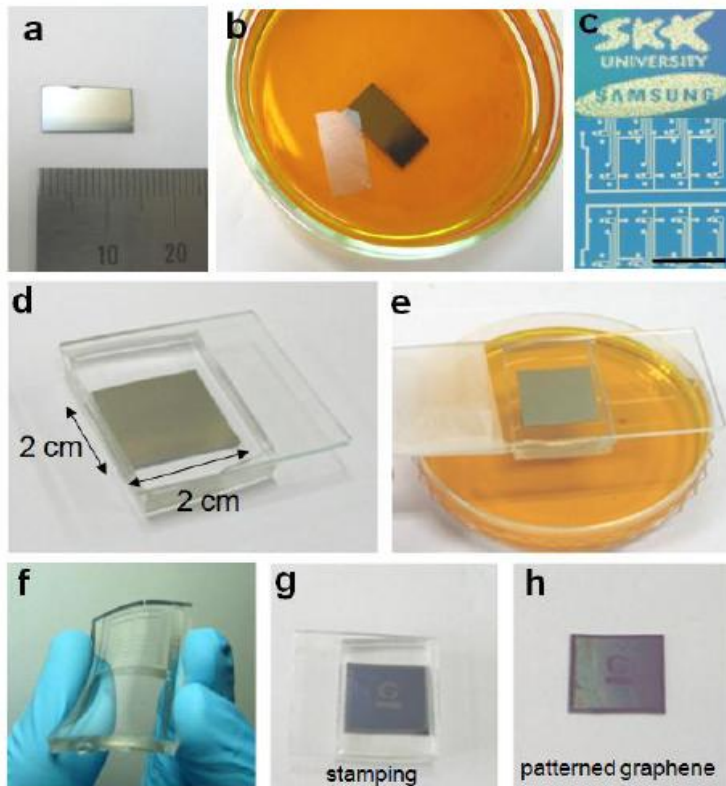
## ◆ 학문적 영역의 그래핀의 실생활 응용 가능성 제시

- 성균관대학교, 삼성전자에서 기존 수백  $\mu\text{m}$  수준의 그래핀을 cm 크기로 제작.
- 흑연에서 기계적 방법으로 분리한 그래핀에 뒤지지 않는 우수한 특성 보유.



◆ 반도체 소자 外 새로운 응용 가능성 제시

- 그래핀 유연 투명전극 응용 및 평가.
- 그래핀은 Bending 및 Stretching에 저항이 안정적.



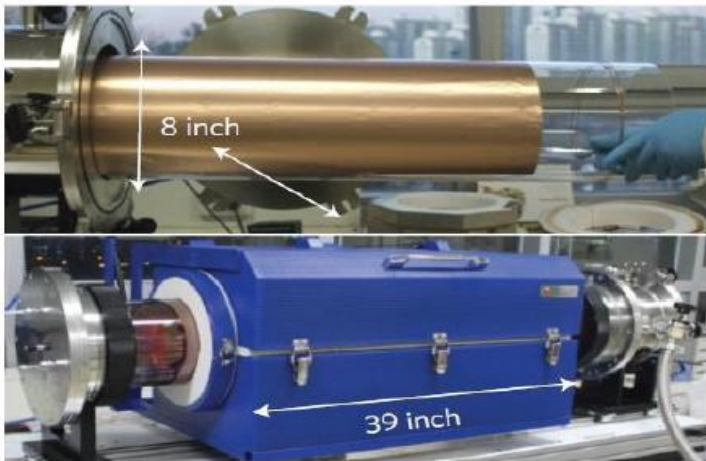
K.S. Kim *et al.* Nature 457, 706 (2009)



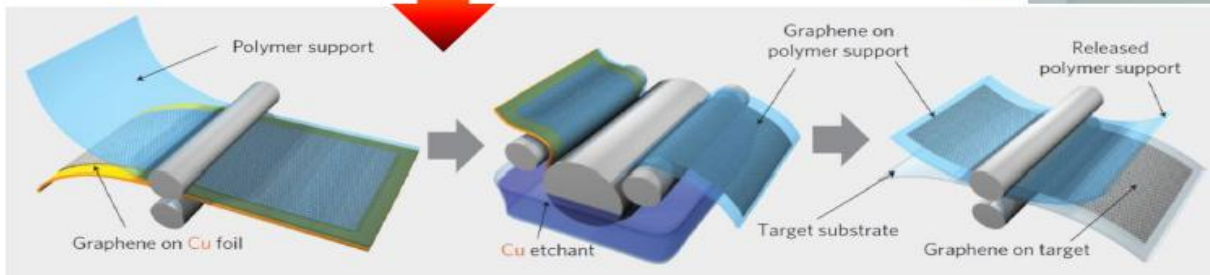
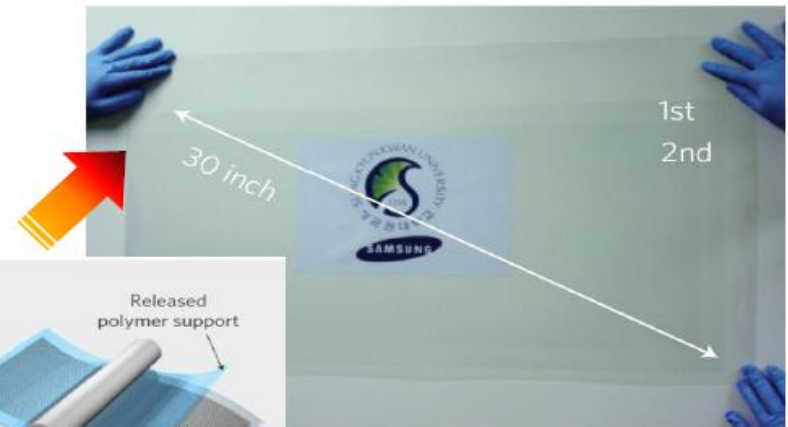
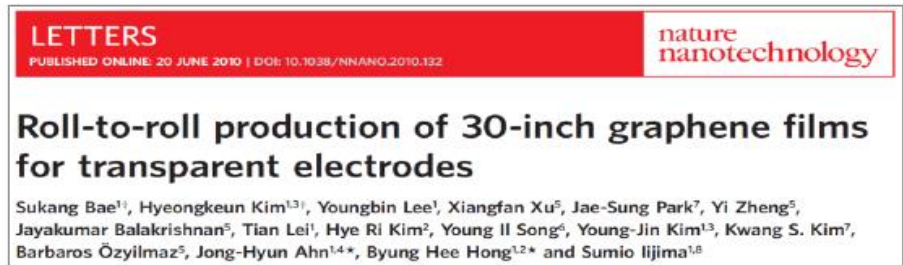
# Cu foil 이용 그래핀 Film 제작

## ◆ 초대면적 그래핀 필름 제작

- 성균관대학교, 삼성테크윈에서 30"급 그래핀 투명전극 제작.
- Cu foil 사용 기존 Wafer 기판 대비 저가 및 대면적화에 유리.



8인치 CVD 장비



Roll-to-Roll 전사 공정

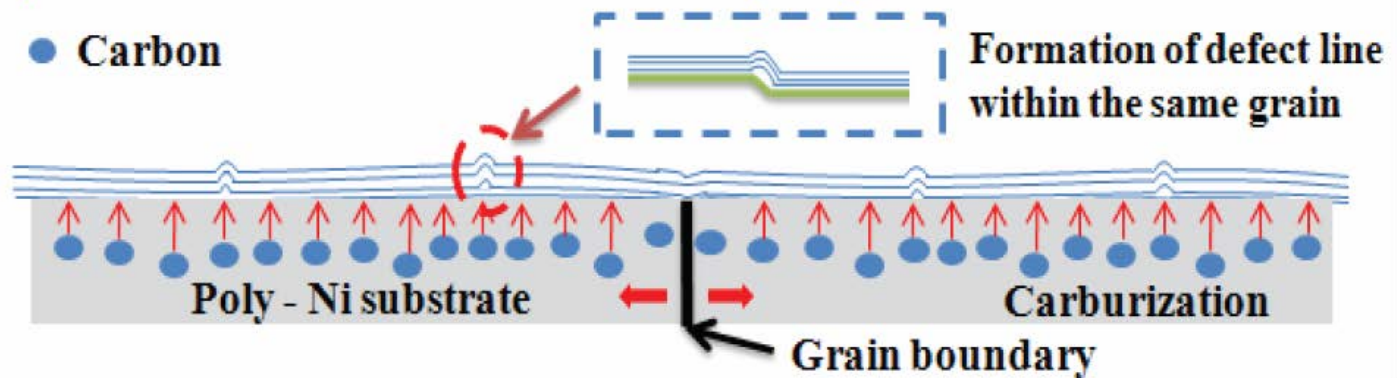
S. Bae *et al.* Nature Nanotech. 5, 574 (2010)

# CVD Growth of Graphene

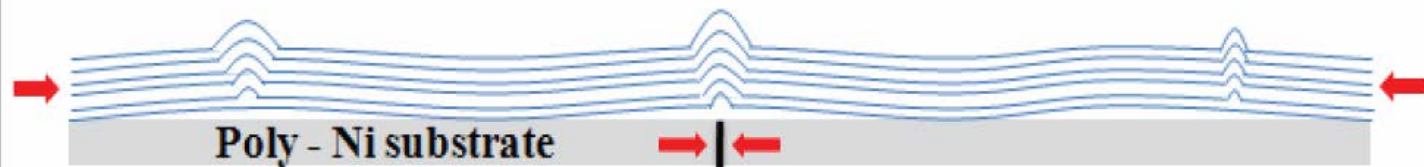
- Step edges and thermal stress induce wrinkle formation

(a) Nucleation of defect lines on step edges between Ni terraces

● Carbon



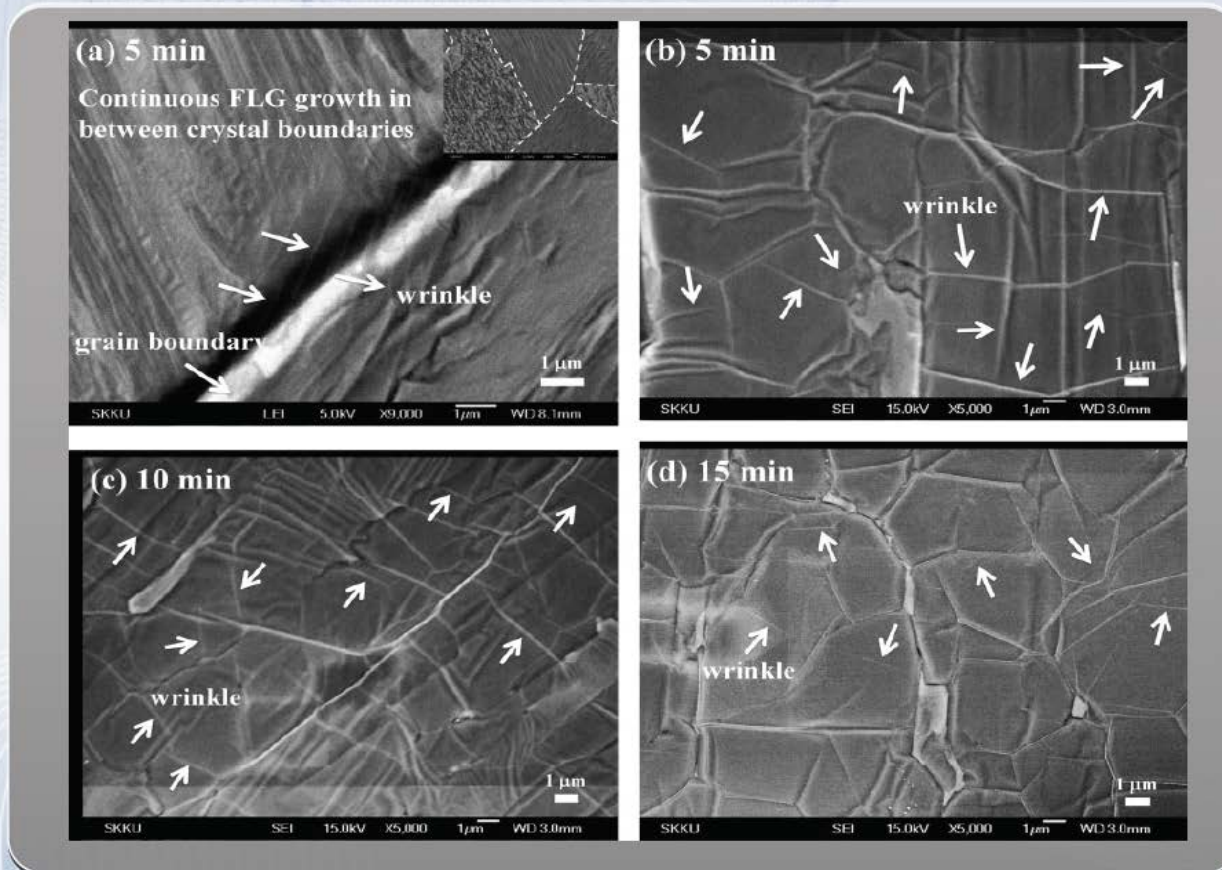
(b) Thermal stress-induced formation of wrinkles





# Wrinkle Study of CVD Grown Graphene

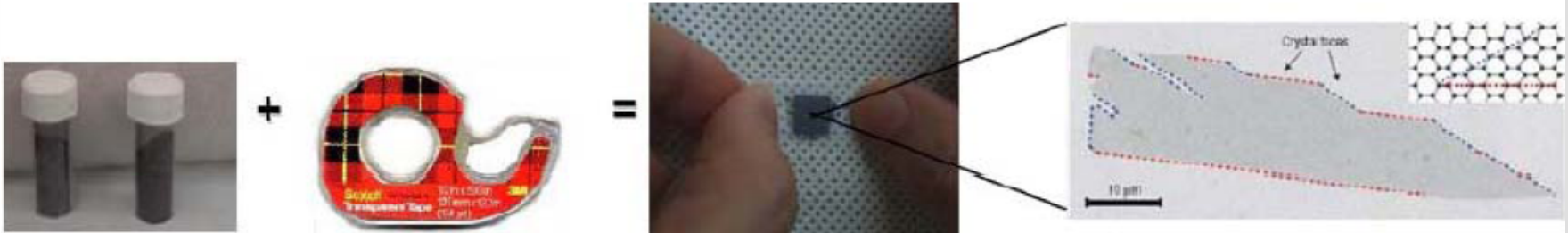
- Different crystal orientation of Ni produces different graphene layers
- Step edge is attributable to the wrinkle formation





# Mechanical exfoliation

- 실제 단층 그래핀 최초 박리 [Novoselov et al. Science(2004)]



스카치 테이프의 접착력을 이용하여 반복적으로 벗겨내 단층 그래핀 분리  
→ AFM을 이용하여 Single layer graphene 존재 확인

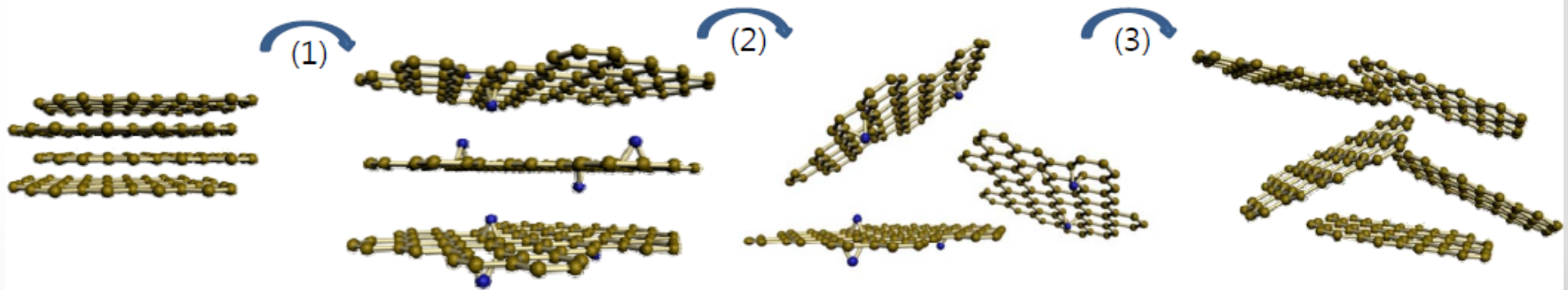
- 실제 단층 그래핀 최초 박리 [P. Kim et al. App. Phys. Lett.(2004)]



주사 탐침에 마이크로 미터 크기의 흑연결정을 붙인 후 기판 위에 미끄러뜨리면서 단층 그래핀 분리  
→ 층간 낮은 마찰계수 이용

# Chemical Exfoliation

1. 산화 흑연으로부터 그래핀 제조. [Wallace group, Nature Nanotech 3, 101 (2008)]

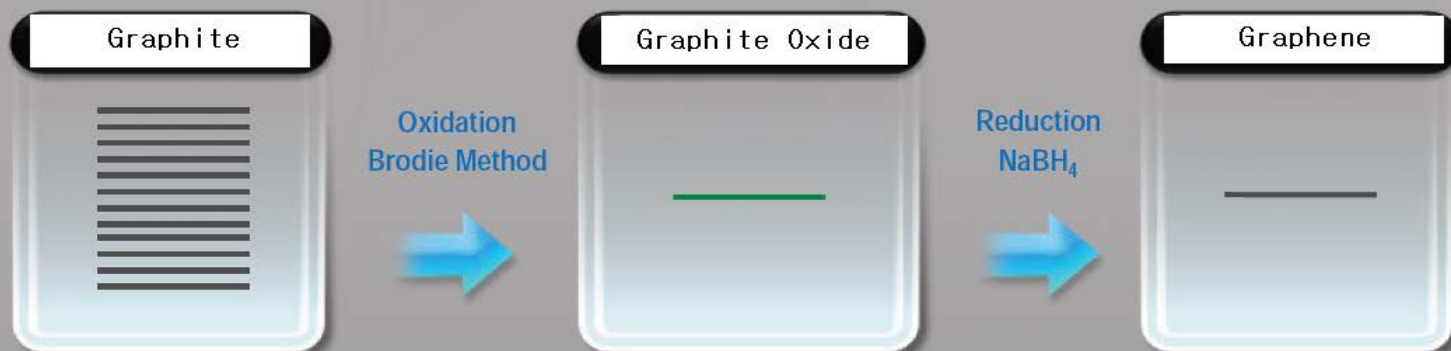


- (1) 흑연의 산화에 의해 층간 거리 증가
- (2) 초음파 처리를 통해 물에서 산화 흑연의 박리 후, 정전기적 반발력에 의해 안정화된 산화 그래핀 콜로이드화
- (3) 하이드라진 환원을 통해 전도성 그래핀 콜로이드로의 조절된 변화

본원 연구 그룹과 실험 방법 거의 동일

# Reduction of Graphite Oxide

- $\text{N}_2\text{H}_4$  reduction but gives high resistance
- Needs more efficient reduction agent



## • Oxidation

Modified Brodie Method: sodium chlorate in nitric acid

## • Reduction

$\text{NaBH}_4$  vs  $\text{N}_2\text{H}_4$



# Reduced Structure

- NaBH<sub>4</sub> has no residual chemical groups in graphene after reduction

NaBH <sub>4</sub> (10mM)			N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (50mM)			
XPS		Sheet resistance (kΩ/sq)	XPS		Sheet resistance (kΩ/sq)	
Total elemental C/O ratio	Hetero-carbon component of C1s (%)		Total elemental C/O ratio	Hetero-carbon component of C1s (%)		
2.8 *	74.1	-	2.8 *	74.1	-	-
4.3	27.9	-	3.9	26.4	1.3	69000
4.9	16.2	79	4.5	19.0	2.1	12000
5.3	13.4	59	5.0	18.6	2.6	3460
			6.2	14.5	2.4	780

\* Graphite oxide

## 보유기술 현황

- I. 2008년 1L급 공정 개발
- II. 2009년 10L급 공정 개발
- III. 100L급 공정 적용 및 제안 중

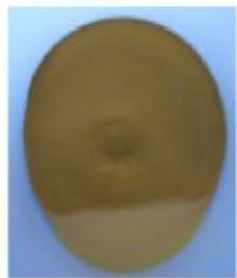


향후 1ton 파일럿 공정 개발 필요

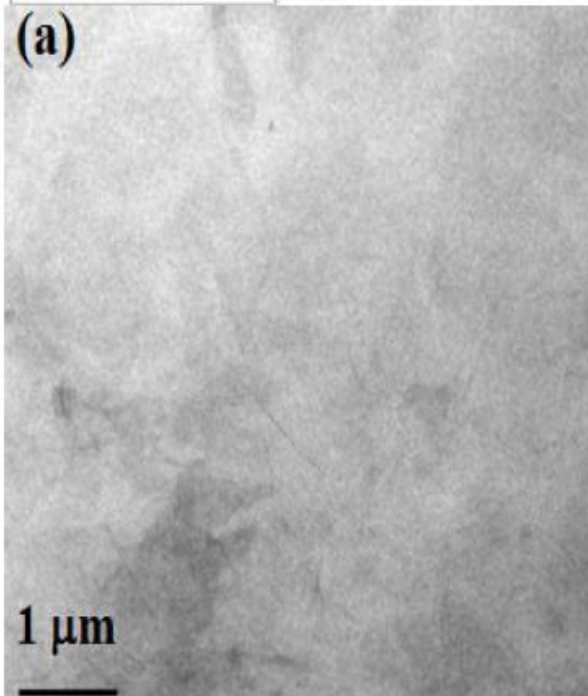
# 공정예시 I

## Graphene Oxide(GO)

천연흑연



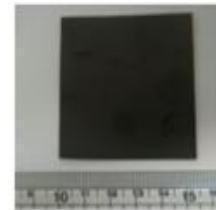
(a)



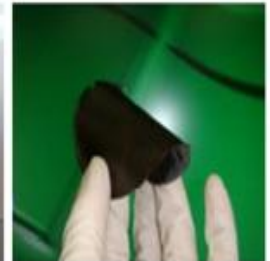
a



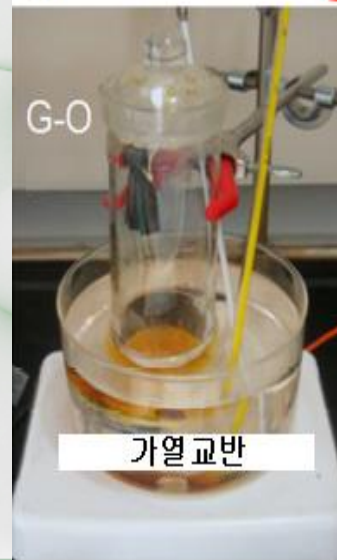
b



c



d



가열교반



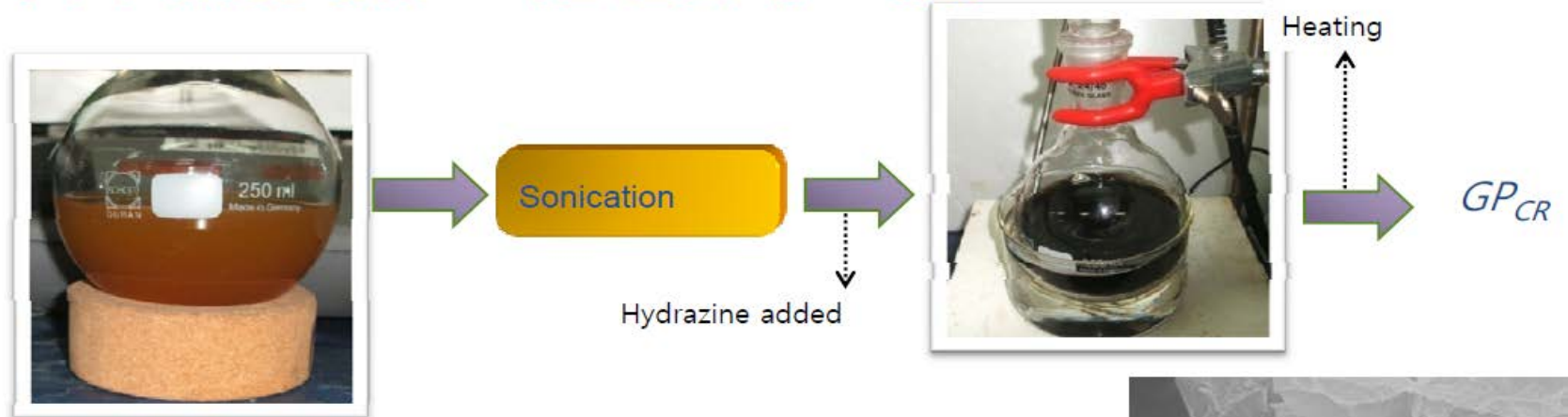
e





## 공정예시 II

### ➤ 화학적 환원을 통한 그래핀 분말 제조 공정

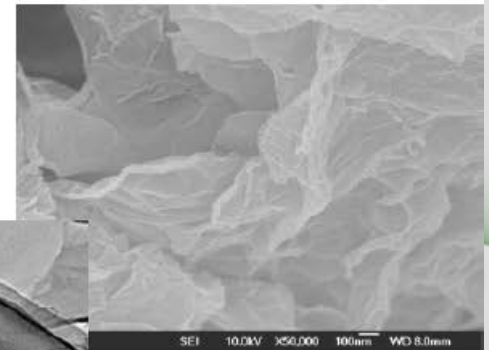
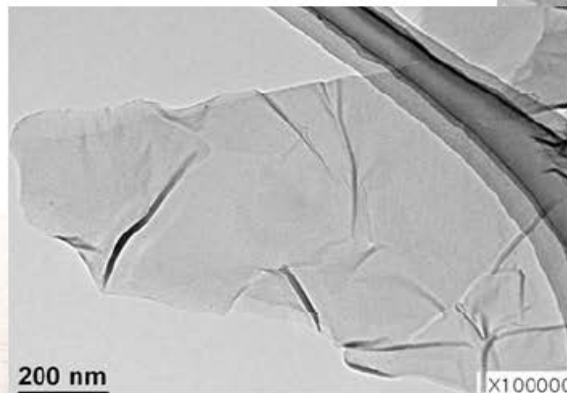


### ➤ 열 환원을 통한 그래핀 분말 제조 공정



GO

Thermal treatment  
under  
 $N_2$  flow condition



# 보유기술

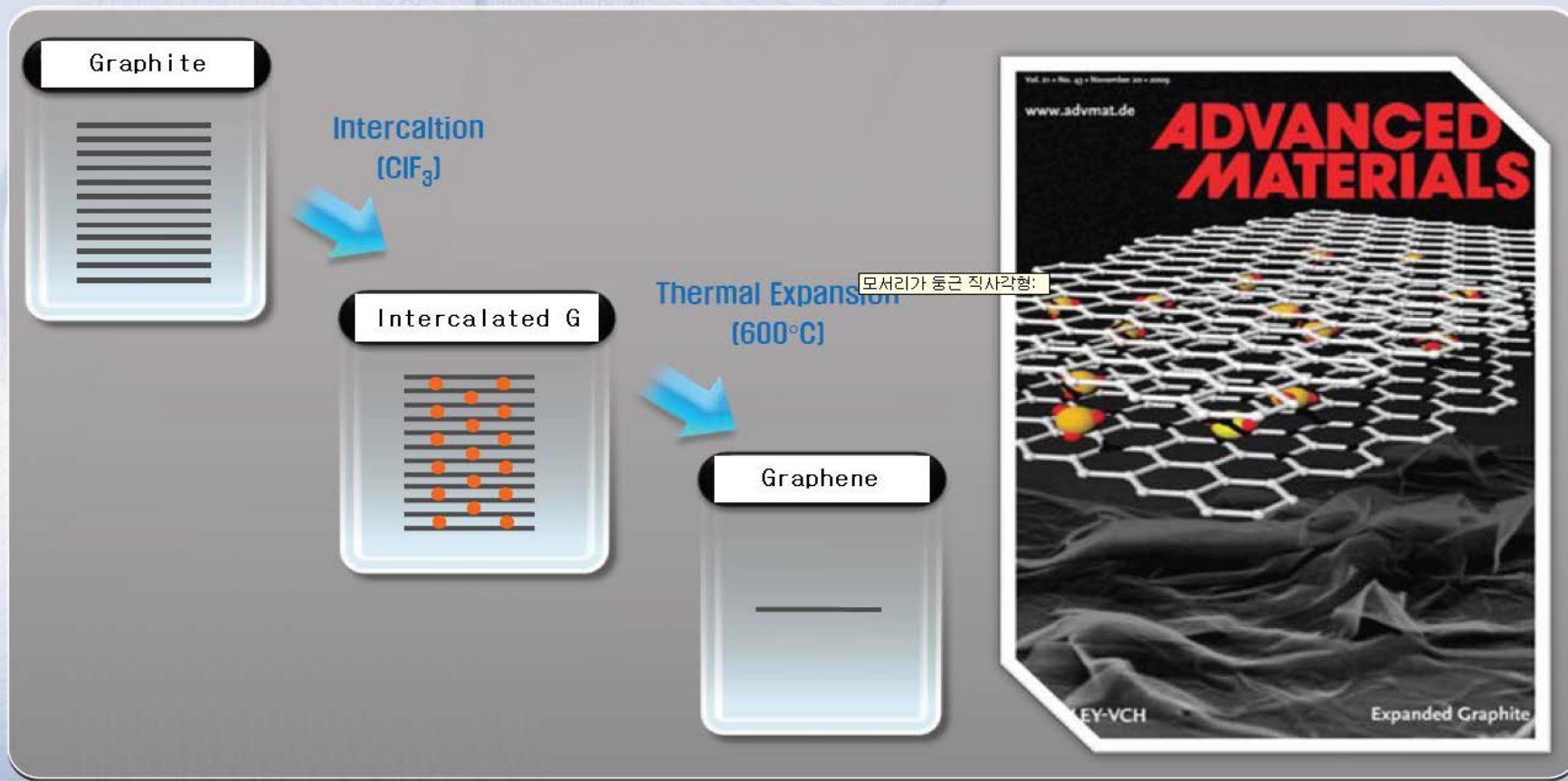
1. 그래핀 분산기술
2. 그래핀 코팅액 제조기술
3. 그래핀 면간 간격 제어기술
4. 그래핀 면적 제어기술
5. 그래핀 두께 제어기술
6. Semi-Graphene 제조 및 활용기술

## 응용화

- 금속, 세라믹, 폴리머(고분자) 복합화 ► 다양한 응용품...
- 방열(열전소재), 전자파차폐제(ESD/EMI), 전극, 히터, 초경량 내구성부품, 태양전지 등 에너지 관련제품...

# One Step Exfoliation of Graphite

- Previous methods need special solvent, dispersant and multi-step
- Developed simple and one step exfoliation process

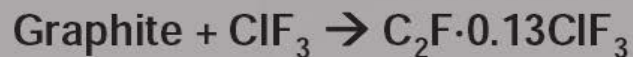




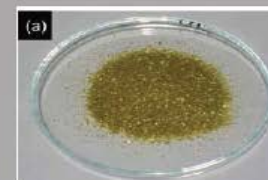
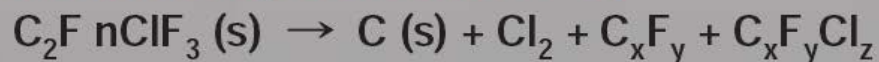
# Structure of Expanded Graphite

- Large inter-plane distance and smaller thickness

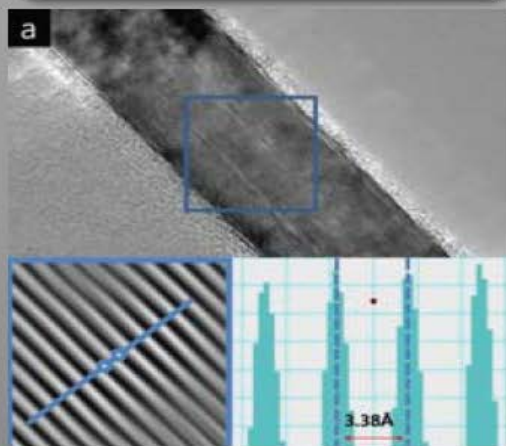
- Intercalation**



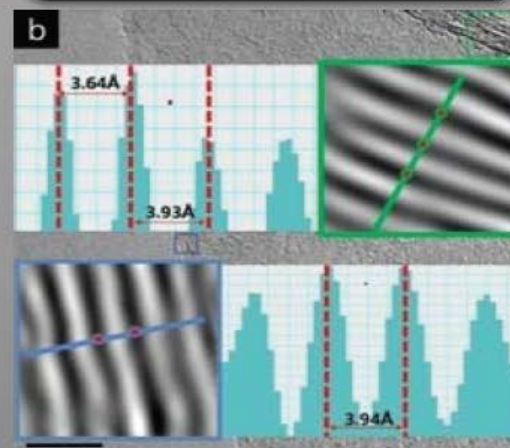
- Thermal Expansion (600 °C)**



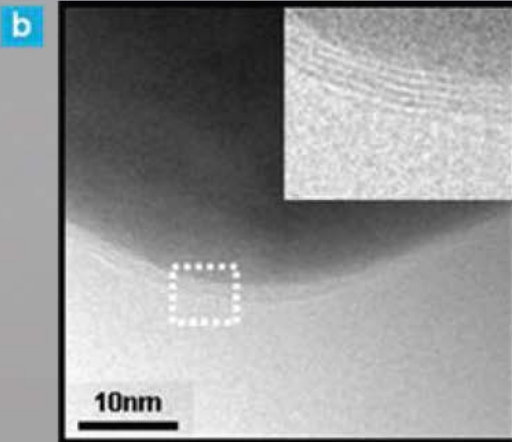
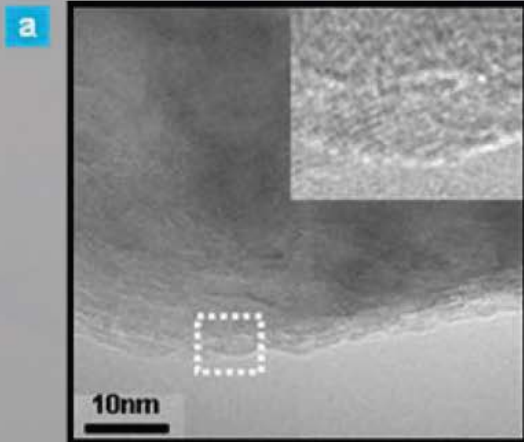
Conventional



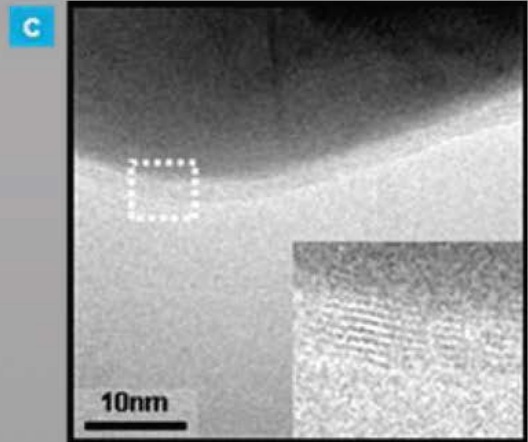
This Process



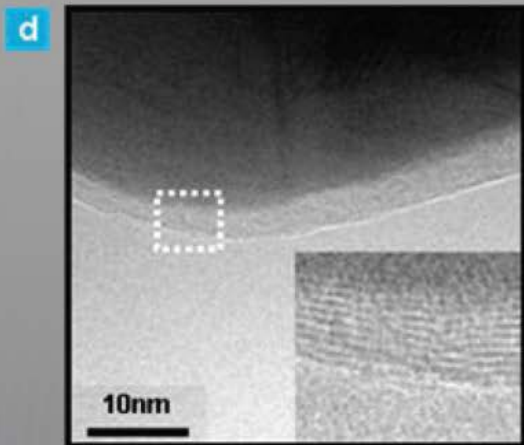
# In-situ TEM Observation on Hot Stage



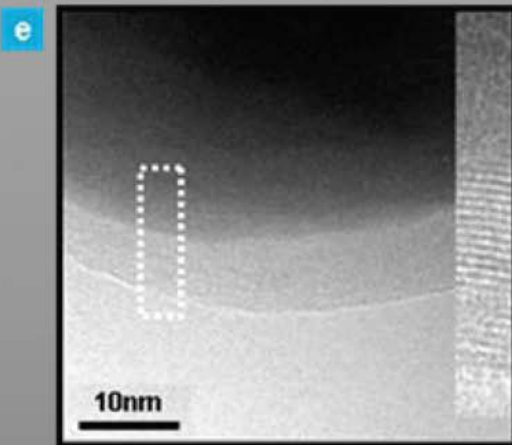
5 layers



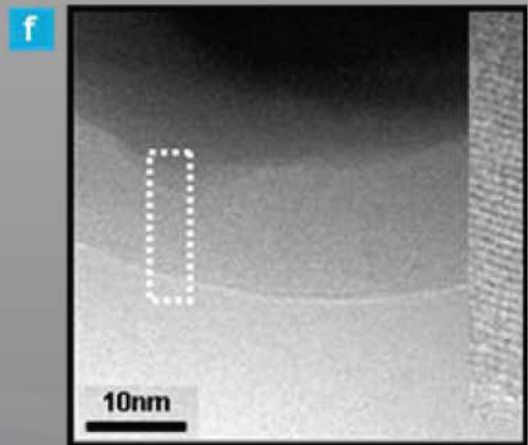
7 layers



10 layers



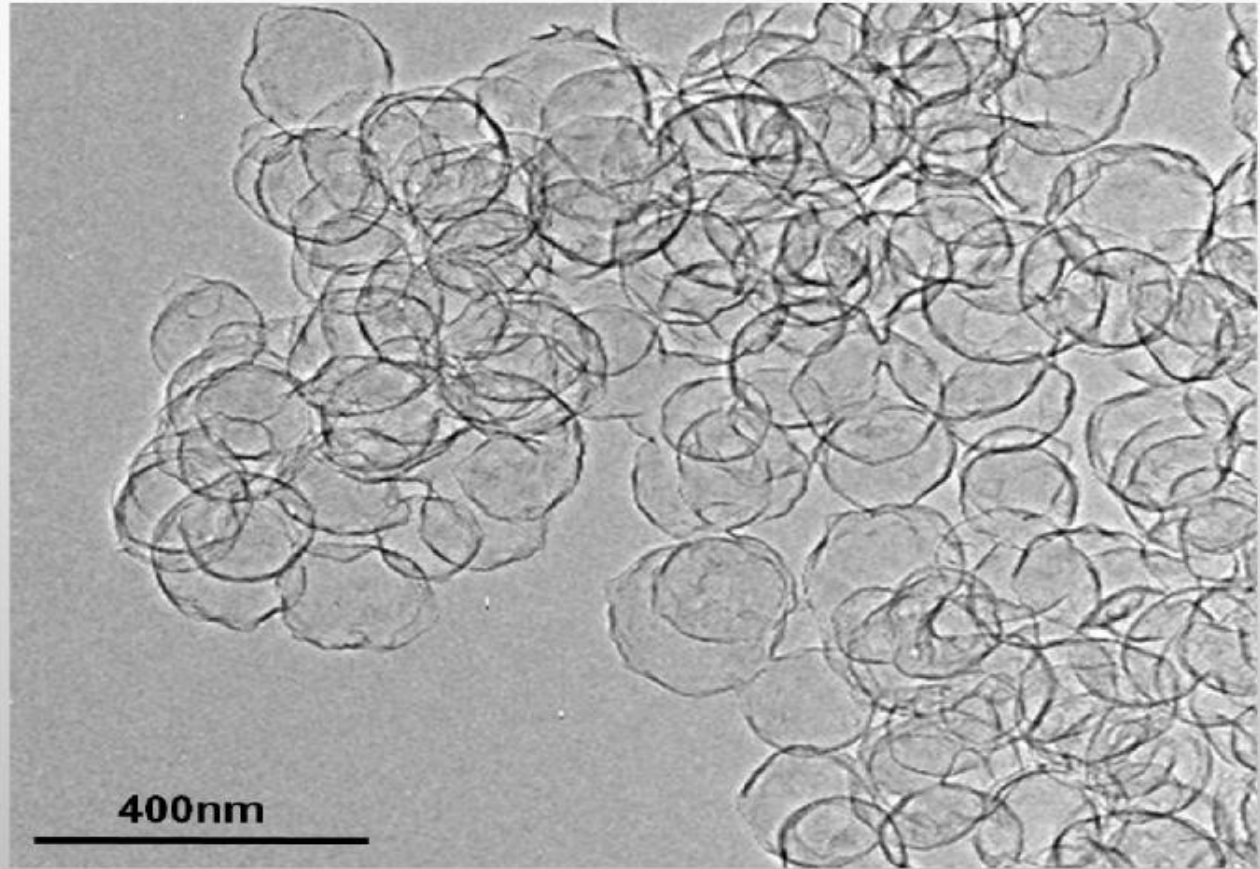
22 layers



37 layers

# 3-Dimensional Graphene Structure

For Giant Bucky Ball





# 목차

## I. 기술분야

1. 기술의 개요
2. 기술의 적용범위, 응용 제품 및 분야
3. 본 기술의 개발상태
4. 본 기술의 특징
5. 경쟁기술과의 차별점

## II. 시장분야

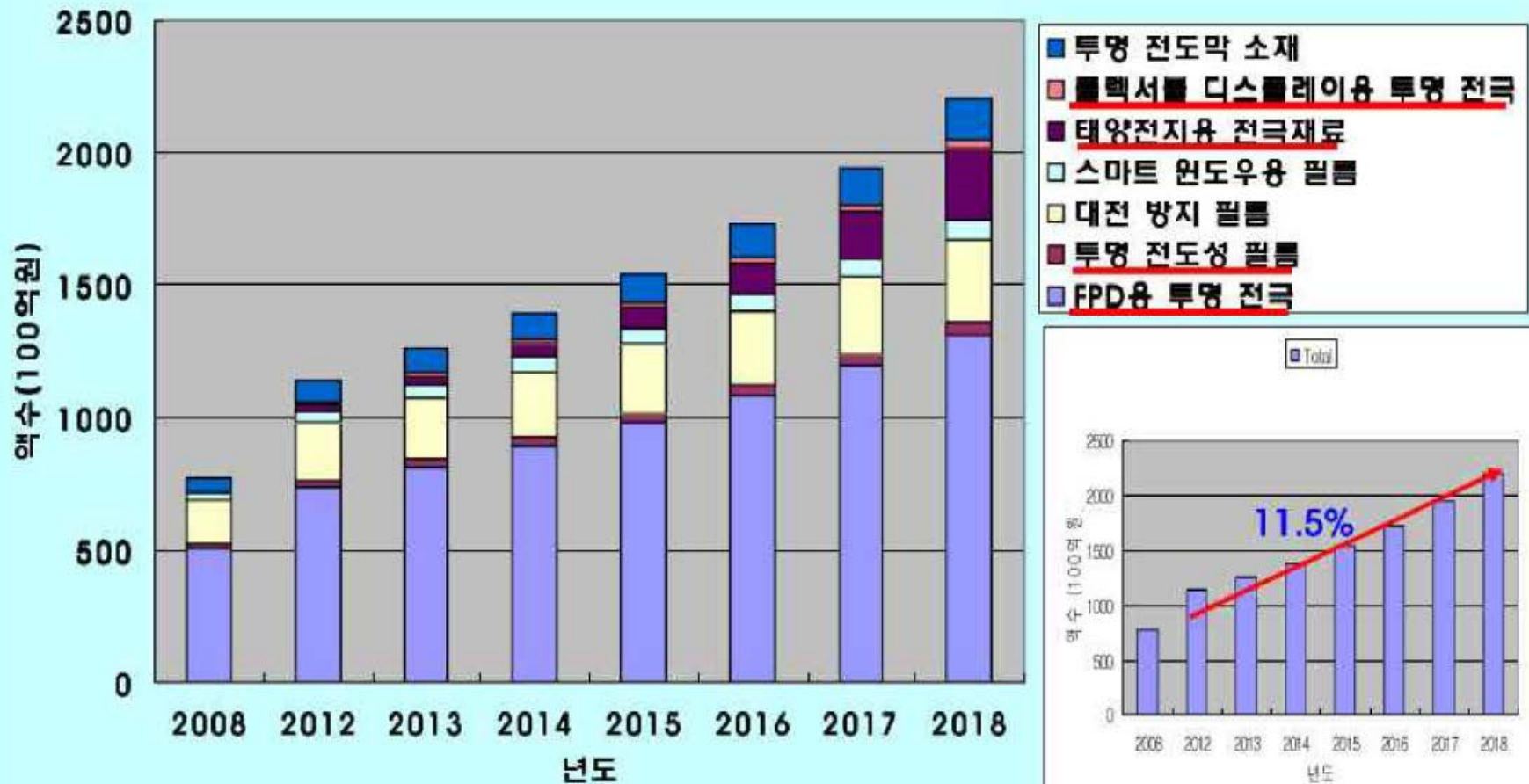
6. 관련기술의 시장현황  
및 규모
7. 시장의 특성

## III. 사업화 분야

8. 기술조건 및 필요조건
9. 지적재산권 현황

## 6. 관련기술의 시장현황 및 규모

Graphene(CNT) 박막 응용 분야 및 시장 예측



그래핀 응용분야 및 시장예측

# Cost Comparison

**SWCNT ~ 100 \$ / g**

**MWCNT ~ 300\$/Kg**

**Milled VGCF – 80 – 100 \$ / lb**






**Fibril VGCF – 40 – 50 \$ / lb**

**xGnP (expected) ~ 10 – 20 \$ / lb**



# 소재합성 업체동향

- ◆ 최근, 화학적 합성에 의한 분말 또는 CVD 방식에 의한 웨이퍼 상의 대면적 그래핀을 공급하는 업체가 증가 추세이나,
- ◆ 아직 Roll-to-Roll 방식의 합성 장비를 공급하는 업체는 없는 상황

업체명	업체정보	현황
 firstnano a Division of CVD Equipment Corporation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CVD Equipment Corp.가 '05년 인수</li> <li>• 나노튜브, 나노와이어 등의 소재합성장비 제작업체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '10년 8월 Graphene laboratory사와 대면적 CVD 그래핀 제조/마케팅 제휴</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '06년도 설립, 프린스턴대의 연구자들이 자체 개발한 "Vor-X" 그래핀 포물라 보유</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '09년 세계 최초 그래핀 사용제품 Vor-ink EPA (미국 환경 보호청) 승인</li> <li>• Vor-X는 그래핀에서 층을 분리하여 다루기 쉽게 만든 것으로 강도 및 전기전도도 우수</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다양한 그래핀 관련 용품을 실험용으로 제작 및 판매하는 업체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콜롬비아대의 그래핀 관련 기술을 상용화하려는 목적으로 설립</li> <li>• 화학적, CVD 합성 그래핀 판매, 응용 소자 상업화 연구 중</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '07년 설립, 세계 최초의 전자소자 실험 등급의 그래핀 공급 업체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그래핀을 기계적 박리에 의해 Si/SiO<sub>2</sub> 기판상에 올려 판매 (연 매출 \$100,000 이하로 추정)</li> </ul>
 ANGSTRON MATERIALS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 07년 설립, Dr. Bor Jang0이 리더 (카본 나노 물질 배터리, Super Capacitor, 연료전지 제조의 선구자 )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화학적으로 합성된 Nano Graphene Platelets 대량 생산 (연매출 \$290,000)</li> </ul>

# 신규 투명전극 개발동향

## ◆ 개발 동향

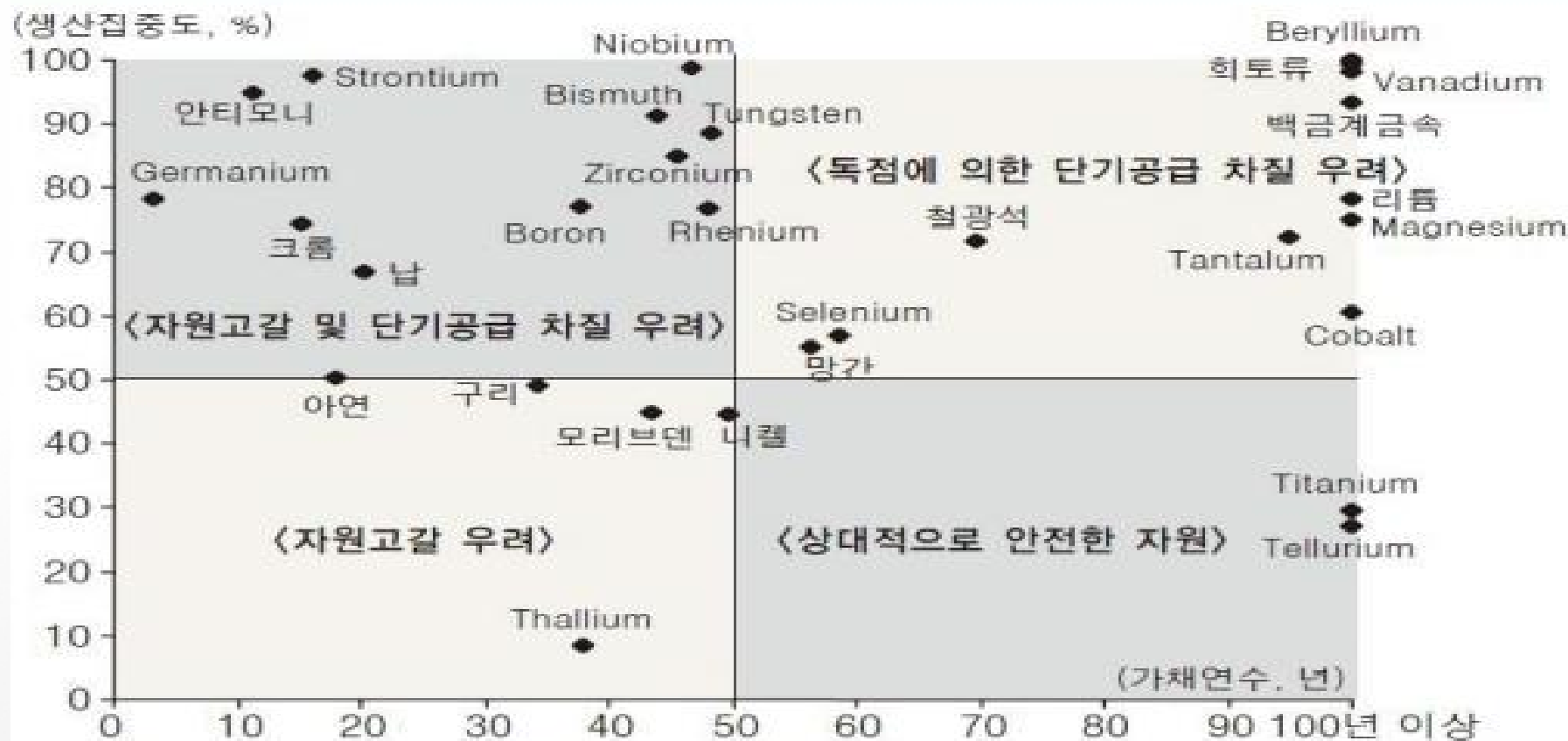
- 미·일을 중심으로 신규 투명전극 소재 개발 진행 중.
- 기존 진공 스퍼터 방식 대체를 통한 Low cost化를 추진하고 있으나, 대부분 특성면에서 미흡.

종 류		기존 ITO 막	신규 투명 전극 재료					
			도포형 ITO	Ag 와이어 잉크	ZnO	Ag 와이어	도전성 고분자	CNT
업 체		Nitto Denko (日)	TDK (日)	Cambrios (美)	Nitto Denko (日)	Fuji film (日)	H.C.Starck (獨)	Eikos (美)
시트 저항값		350Ω/□	700Ω/□	250Ω/□	45Ω/□	0.2Ω/□	260Ω/□	200Ω/□
광학특성	투과율 (AR 없음)	88%	88%	91%	86.80%	80% 이상	약 85%	약 85%
	색감	조금 황색·갈색	거의 무색	거의 무색	거의 무색	거의 무색	조금 청색	거의 무색
내구성	굴곡성	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent
	내환경성	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Excellent
제조 프로세스		고온 진공 프로세스(스퍼터)	도포와 전사	도포나 인쇄	상온 진공 프로세스(스퍼터)	도포, 인쇄 (롤 투 롤)	도포나 인쇄	도포나 인쇄
실용화 시기		양산중	제품화. 이미 터치 패널 등에 채용	제품화. 터치 패널 메이커가 채용	ZnO 필름은 이미 제품화. 터치 패널 메이커가 채용	샘플 출하 중. 이르면 2009년 판매 예정	샘플 수준	2009년 판매 예정

## 7. 시장의 특성

- 2008년 세계 투명전극 시장은 7조 7000억 규모.
- 2018년 22조원으로 성장전망.
- 그라핀 투명전극은 터치센서, 태양전지 등에 사용되는 기존 투명전극소재인 ITO의 대체 소재로 응용.
- 우수한 기계적 물성을 이용하여 OLED 디스플레이, 태양전지 등 플렉서블 전자소자의 활용기대.
- 신탄소소재인 그라핀은 CNT보다 전기전도성, 강도, 열전도성 등에서 우수함을 인정받아 다양한 분야에서 상용화 관심.
- 특히 디스플레이 분야에 강점이 있는 우리나라 특성상 국내 수요도 수천억원에 이르지만 원천기술 부족으로 아직 대부분 수입에 의존하는 실정이어서 경제적 파급효과는 더 클 전망.
- <http://sbscnbc.sbs.co.kr/read.jsp?pmArticleId=10000068033>

## 〈그림〉 금속 자원별 공급 불안정성 평가



주 : 2009년 세계생산량과 확인매장량으로 시산

자료 : U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2010

△LG경제연구원이 지난달 15일에 발표한 ‘잠재적인 경쟁력 위협요인, 금속 자원 리스크’ 보고서 정리, 희소금속의 중요성과 우리가 나아갈 방향을 짚어 볼수 있다.



# 목차

## I. 기술분야

1. 기술의 개요
2. 기술의 적용범위, 응용 제품 및 분야
3. 본 기술의 개발상태
4. 본 기술의 특징
5. 경쟁기술과의 차별점

## II. 시장분야

6. 관련기술의 시장현황 및 규모
7. 시장의 특성

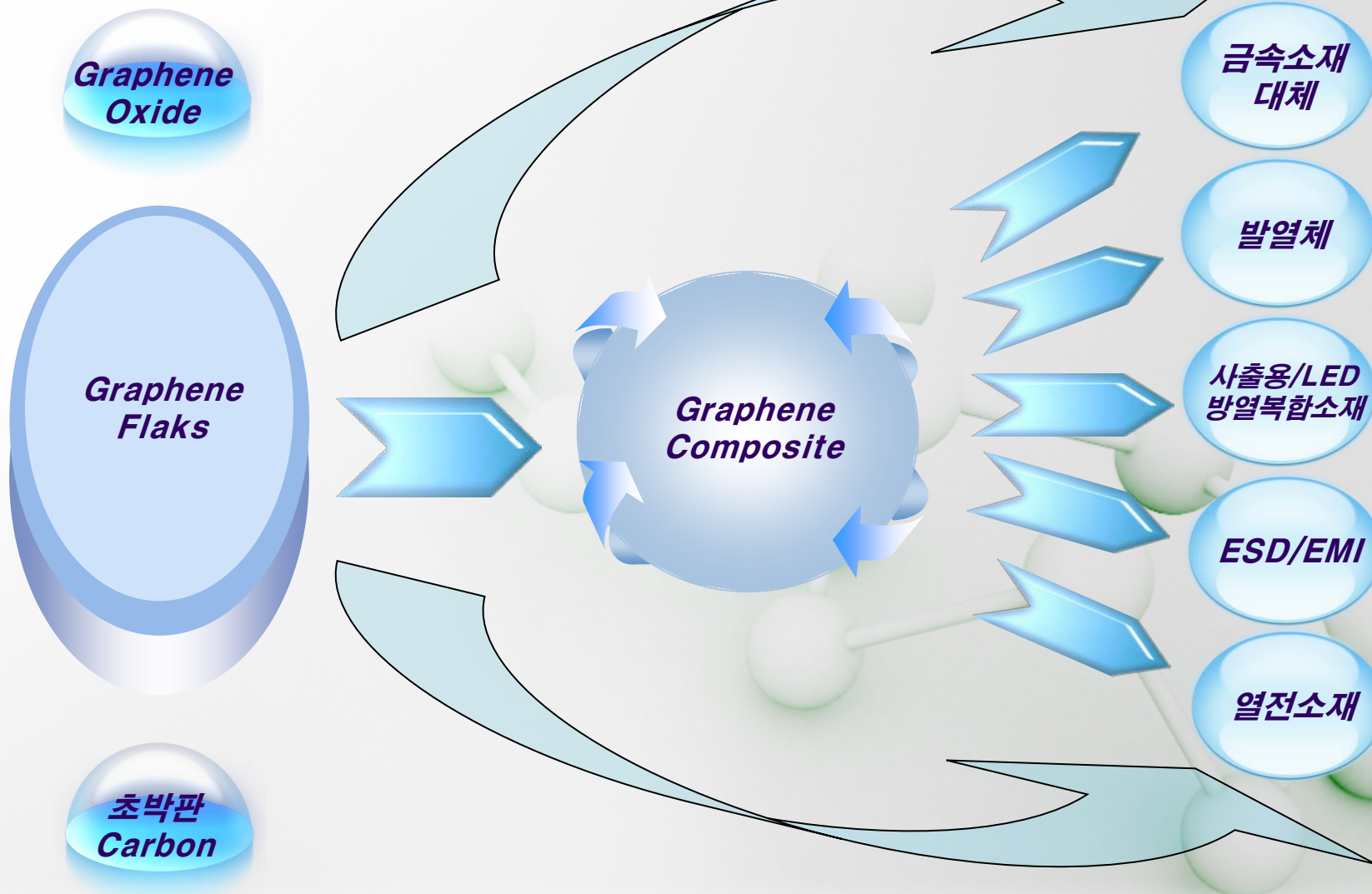
## III. 사업화분야

8. 기술조건 및 필요조건
9. 지적재산권 현황

## 8. 기술조건 및 필요조건



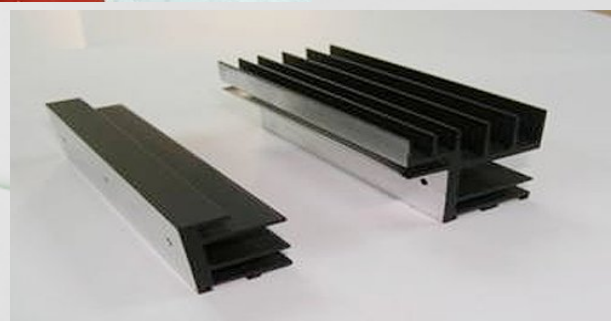
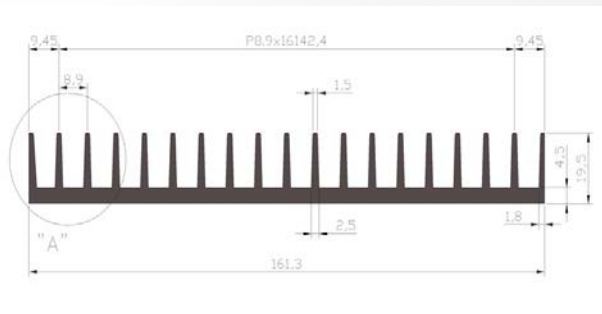
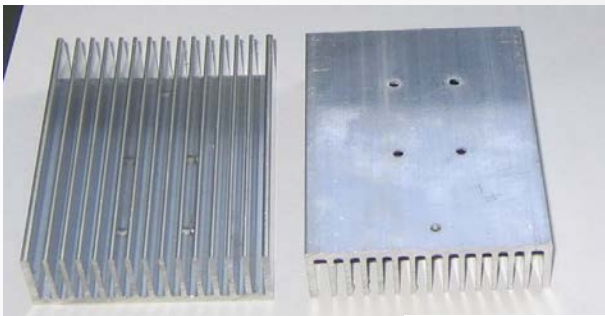
# 사업화 전략



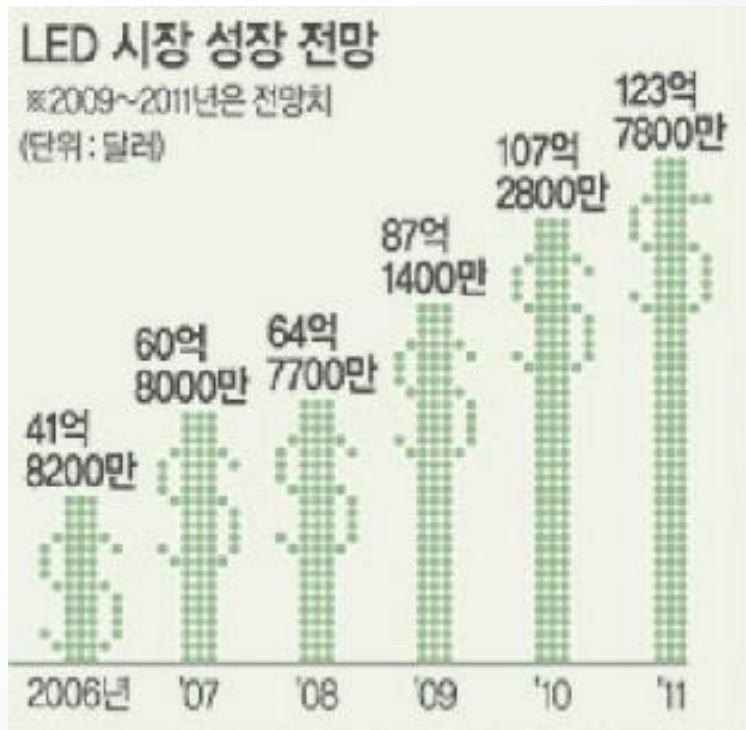




# 사출용/LED 방열복합소재, 열전소재



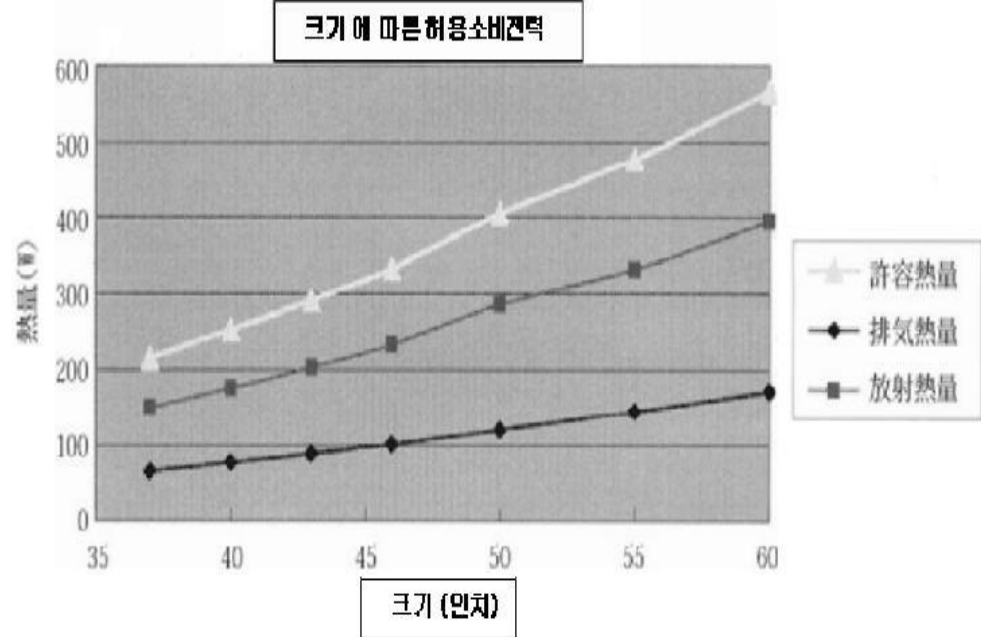
△방열판 온도 10~20%낮춰 방열판 표면적 30% 축소...컴팩트한 고출력 LED설계 가능.  
PDP·LCD전원부, 컴퓨터부품·전기차 구동모터 등 열 발생 전기·전자제품 전반 적용.



자료: 광기술원, 대우증권 리서치 센터

표. 노트 PC에서 사용하고 있는 대표적인 히트싱크 재료와 열전도율

재료	열전도율(w/m.K)	비중(g/cm2)	비고
ADC12	92	2.68	알루미늄다이캐스팅
A5052	140	2.68	관금
알루미늄다이캐스팅	170~210	2.65~2.72	주조품
A6063	220	2.69	압출재료
C1020	389	8.89	동
납땜	47	8.9	



(케이스의 온도 25°C, 케이스의 통과율 37%, 케이스 외장의 방사율 0.65에서)

그림. PDP 제품크기에 따른 허용 소비전력 예측

표. NotePC 사용되는 대표적인 열전도성 재료

材料	熱伝導率 [W/m·K]	두께 [mm]	備考
실리콘 윤활유	0.8~4.7	—	일반적
실리콘 러버	0.9~6.5	0.4~5.0	필요한 열전도량과 틈새에 맞추어 선택
삼변화 재료	2.0~5.1	0.06~0.2	삼변화 티업, 50도 전후에서 삼변화, 알루미늄 상자가 붙은 것
저융점 합금	18~21	0.15	60~110°C 전후에 녹아 CPU에 밀착

## 투명전도성필름(TCF)용 시장 전망

구 분	단위	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
ITO-TCF 시장 규모 <sup>1)</sup>	억원	5,800	7,000	8,200	9,600	11,200	13,200

1) Displaybank(2009) : Core Components Industry Trends of Touch Screen Panel - ITO Film 참조

## 디스플레이용 ITO Target 시장 전망

구 분	단위	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
디스플레이용 ITO 시장 규모 <sup>2)</sup>	억원	5,240	5,460	5,900	6,290	6,680	7,190

2) Displaybank(2009) : In-depth Analysis - Display Use ITO Target Industry Trends 참조



## 전도성 고분자 복합체용 MWCNT 시장 전망

구 분	단위	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
세계 전도성 복합체 시장 <sup>1)</sup>	MT	559,440	589,680	619,920	650,160	680,400	710,640

1) "Conductive Polymers", The Freedonia Group(Jun. 2006) 참조

## 방열 복합체 시장 전망

구 분	단위	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
방열 소재 시장 전망 <sup>2)</sup>	억원	117,000	143,000	195,000	234,000	273,000	330,000

2) 2007년 대덕특구 산업시장정보(탄소나노튜브) 및 2008년. 비즈니스전략연구소 관련 자료 재구성 등 참조

## Lamp 시장 전망

구 분	단위	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
LCD용 대형 BLU 시장 전망 <sup>3)</sup>	억원	18,900	19,200	19,400	19,700	20,000	20,300
조명용 Lamp 시장 전망 <sup>4)</sup>	억원	207,100	217,900	232,300	248,600	264,500	281,800

3) 후지키메라, 2007 액정 관련 시장의 현상 및 장래 전망 참조

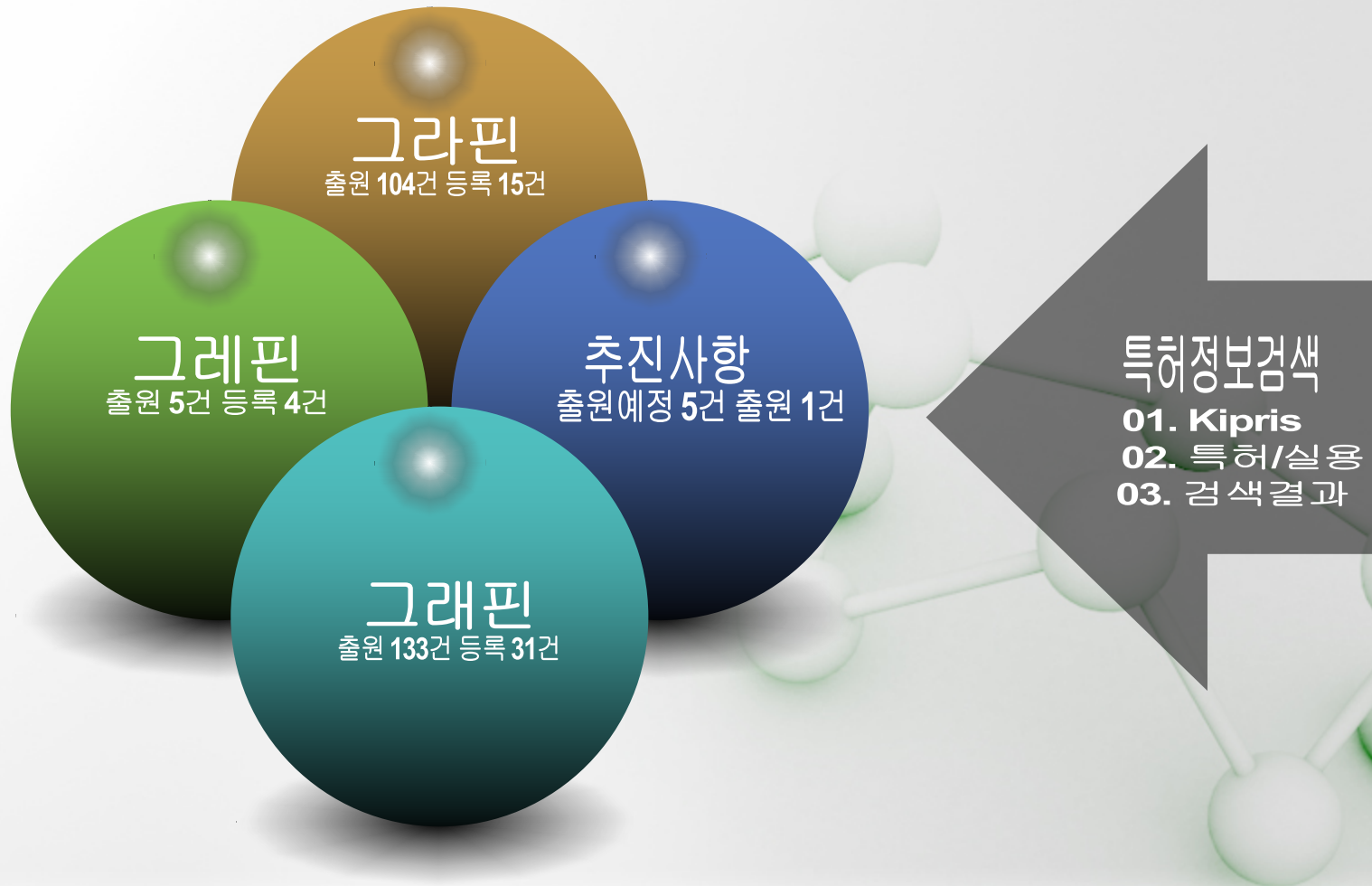
4) 2008년 한국조명기술연구소 자체 분석 자료 (Strategies Unlimited 2003~2007, The Freedonia 2006, LED Journal April 2008 - 참고)

## 방열코팅제 – 개발중인 방열코팅제

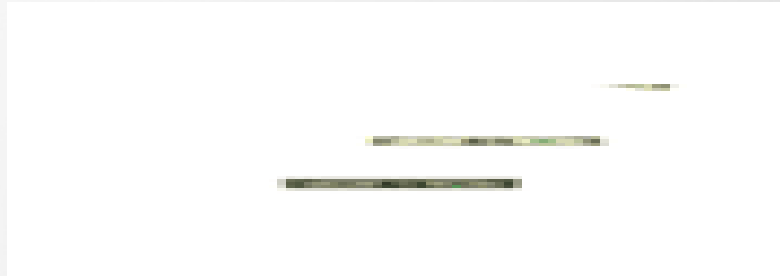


△이 코팅제는 방사체 나노분말(가장 왼쪽 검은색 분말)에다 유기바인더(오른쪽 두번째 묽은 색 용액)를 결합한 나노복합체(세번째 회색분말)로 제조

## 9. 지적재산권 현황



# Thank You !



Optoelectronics  
(touch screens,  
LCDs, etc )

