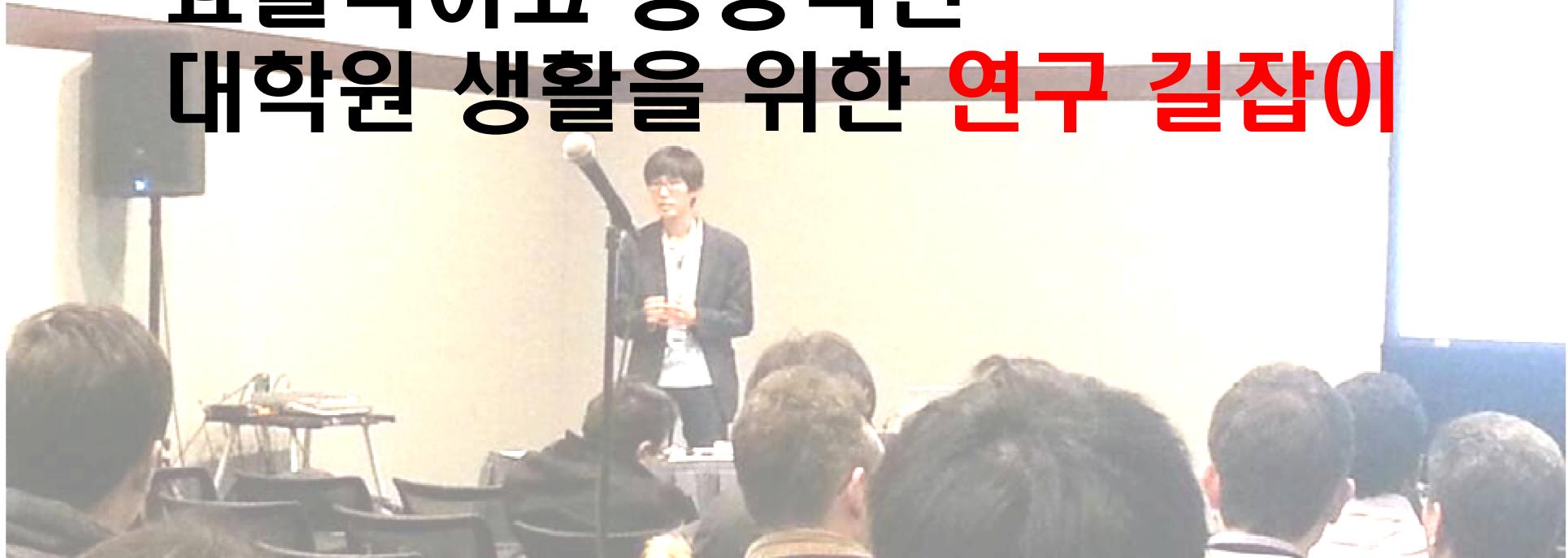


효율적이고 능동적인 대학원 생활을 위한 연구 길잡이



Stanford University 화학과
박사후연구원 권우성

03 POSTECH 화학공학과 입학

07~09 군복무 (카투사)

10 POSTECH 화학공학 학사 (물리 부전공)

11 POSTECH 화학공학 석사 (조기졸업)

13 POSTECH 화학공학 박사 (조기졸업)

개교 이래 최단기 박사 학위 취득 (7 학기)

Synthesis of fluorescent carbon nanoparticles

- Carbon nanodots
- Graphene quantum dots
- Carbon nanotube quantum dots

Related optoelectronic applications

- Organic light-emitting diodes
- Organic solar cells
- Optical transistors



학위 과정 = 고생길?

“가끔은 내가 이걸 왜 하고 있는지 모르겠어요”

- 끝이 보이지 않는 길 – 석사 2년, 박사는?
- 졸업 후 불확실한 미래
- 연구 뿐인 시간표 – 월화수목금금금
- 계획 뿐인 실험
- 교수님의 압박
- Peer pressure
- 너무 많은 잡일
- 어려운 인간관계
- 생활고와 높은 앵겔 지수

자신만의 확고한 목표를 갖자!

군대 가기 싫어서, 사무직은 싫어서, 전문성을 갖추려고,
연구에 뜻이 있어서, 교수가 되려고, …

목표만 있으면 되나요?

뜬구름 잡는 이야기론 2% 부족해

- 목표를 가지고 열정적으로 연구하자?
- 연구 철학이 중요하다?
- 연구는 스스로 하는 거다?
- 부딪히고 깨지면서 배운다?

모두 맞는 이야기지만…

“열심히 하면 뭐해? 잘해야지. – 어떤 교수님의 말씀”

“열심이다” 보다는 “잘한다” 가 대접받는 사회 - 대학원

어떻게 하면 **잘**할 수 있을까?

잘하는 사람?

- 전공 분야의 모든 지식을 가진 사람?
- 최신의 전공 지식을 가진 사람?
- 최고의 실험 기술을 가진 사람?
- Nature, Science 논문을 낸 사람?

잘하는 사람은 스스로 연구하는 사람이다.

- 스스로 공부하고
- 스스로 문제를 찾고
- 스스로 고민하고
- 스스로 해답을 찾는 사람

“박사는 스스로 연구하는 사람이다”

처음부터 잘할 수 있나요?

“대학원 가서 뭐 하는지도 모르는데…”

잘하기 위해서는

- 목표 갖기
- 선행 연구 따라잡기
- 자기만의 IDEA 만들기
- 빨리 실험해보고 빨리 논문 써보기

자기만의 **목표**를 가지고
대학원 생활을 **잘하고 싶은**
대학원 신입생들을 위한 연구 **길잡이!**

STEP 1

연구 계획하기

“대학원 생활 시작이다! 그런데 뭘 어떻게 시작하지?”

입학 그 후...

“형, 교수님이 이거 하래요”

첫 연구 주제는 대부분 **수동적으로** 정해진다.

- 지도교수님의 **해봐** = 가능성 있는 주제 같은데 실제로 어떤지 한 번 해볼래?
- 선배의 **해봐** = 내가 하려던 주제인데 실제로 어떤지 한 번 해볼래?

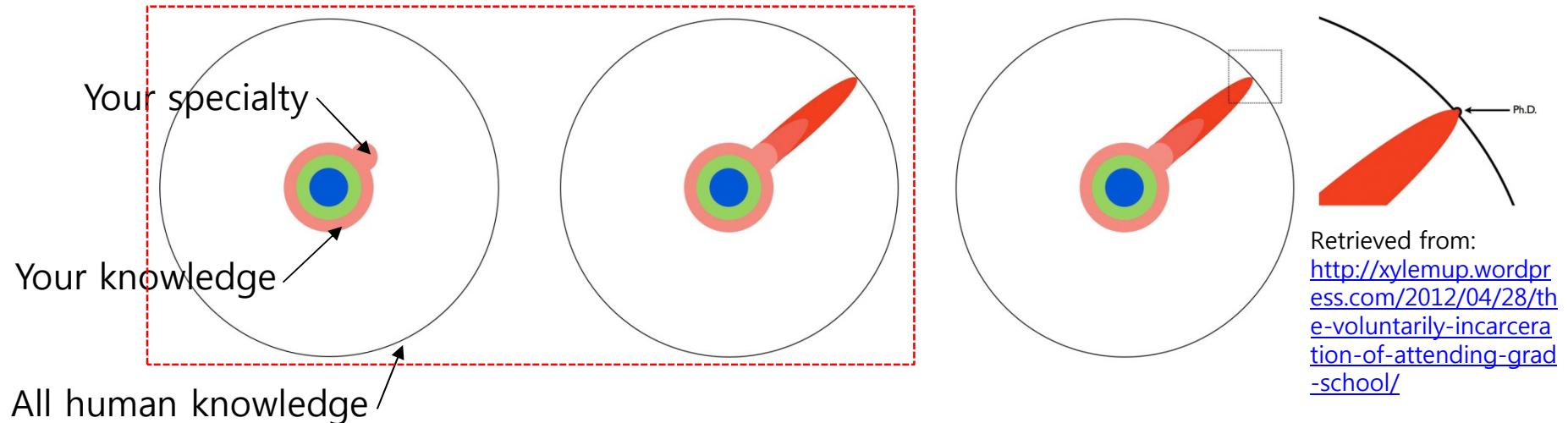
잘 될까?

“우리(연구자)는 아무것도 모른다. 왜냐하면 연구란 그런 것이기 때문이다”

- Albert Einstein

구체적인 연구 계획은 결국 **자신**의 몫, 어떻게 하면 좋을까?

1. 연구 현황 파악하기 (1/10)



연구의 목적은 **새로운 것을 발견하는 것**

- 뭐가 새로운지 어떻게 알지?
- 연구 현황 파악을 위한 공부가 필수
- 각 분야의 최신 Review Paper를 활용하자!

1. 연구 현황 파악하기 [2/10]

Review Paper?

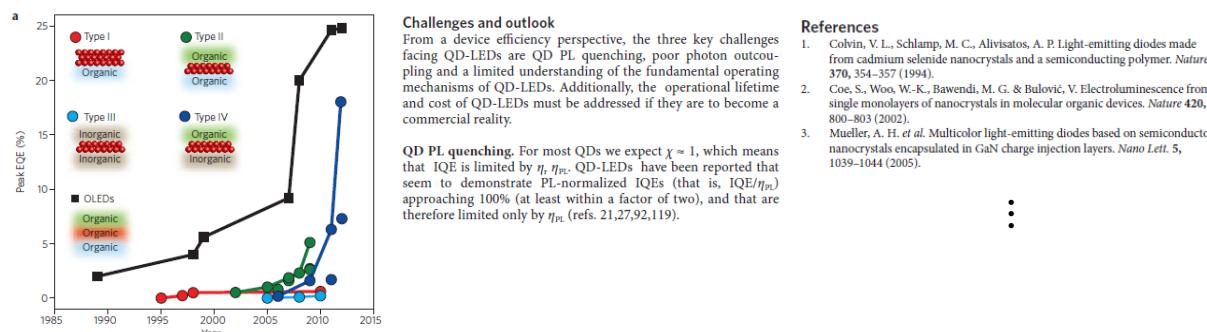
“어떤 분야의 ‘대가’ 가 (일반적으로) ‘저널’ 의 초청을 받아 해당 분야의 **연구 현황**과 앞으로의 **전망**에 대해 기술한 논문”

예시)



Emergence of colloidal quantum-dot light-emitting technologies

Yasuhiro Shirasaki^{1†}, Geoffrey J. Supran^{2†}, Moungi G. Bawendi³ and Vladimir Bulović^{1*}

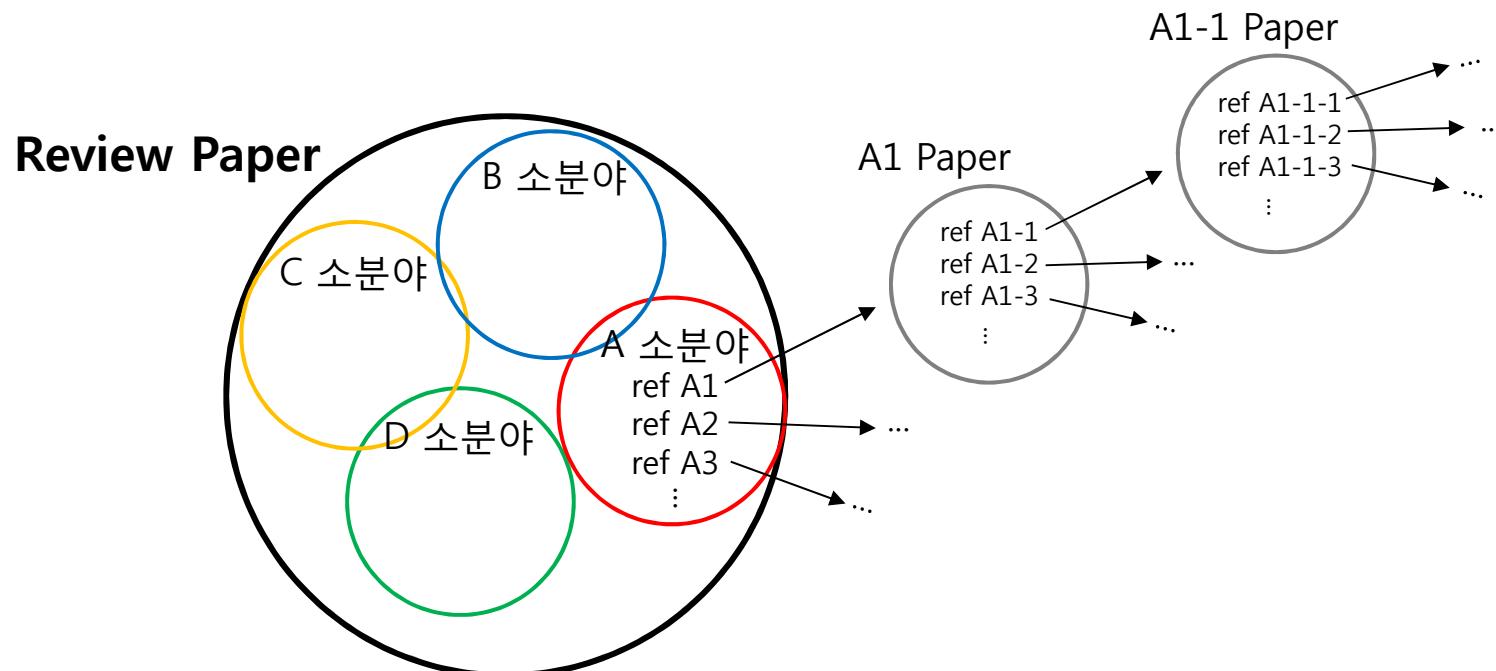


1. 연구 현황 파악하기 (3/10)

Review Paper 활용법

“모든 것을 알려고 하기에는 나는 너무 늙었다.” – Oscar Wilde

- Review Paper를 읽고 대략적인 현황 파악하기
- Reference 가지치기를 통한 소(小)분야 파고들기



1. 연구 현황 파악하기 (4/10)

Reference는 어디에 있나요?

Colloidal quantum dots (QDs) are solution-processed nanoscale crystals of semiconducting materials. The unique size-dependent optical properties of QDs have motivated increasingly active research aimed at applying them in the next generation of optoelectronic and biomedical technologies. Since the first directed QD synthesis three decades ago, QD thin-films have featured in a range of optoelectronic devices, including light-emitting devices (LEDs^{1–4}) solar cells⁵, photodiodes⁶, photoconductors⁷ and field-effect transistors⁸, while QD solutions have been used in a myriad of *in vivo* and *in vitro* imaging, sensing and labelling techniques⁹. The market for QD-based products has been forecast to grow rapidly from 2012 to 2015, with particularly rapid growth in the optoelectronics sector¹⁰.

References

1. Colvin, V. L., Schlamp, M. C., Alivisatos, A. P. Light-emitting diodes made from cadmium selenide nanocrystals and a semiconducting polymer. *Nature* 370, 354–357 (1994).
 2. Coe, S., Woo, W.-K., Bawendi, M. G. & Bulović, V. Electroluminescence from single monolayers of nanocrystals in molecular organic devices. *Nature* 420, 800–803 (2002).
 3. Mueller, A. H. *et al.* Multicolor light-emitting diodes based on semiconductor nanocrystals encapsulated in GaN charge injection layers. *Nano Lett.* 5, 1039–1044 (2005).
 4. Stouwdam, J. W. & Janssen, R. A. J. Red, green, and blue quantum dot LEDs with solution processable ZnO nanocrystal electron injection layers. *J. Mater. Chem.* 18, 1889–1894 (2008).
-
156. Coe-Sullivan, S. *OECD/NNI Symp.*, presenting work from AFOSR grant number FA9550-07-C-0056 (2012).
 157. Chen, J. A High-Efficiency Wide-Color-Gamut Solid-State Backlight System for LCDs Using Quantum-Dot Enhancement Film, *SID Display Week 2012* (2012).
 158. Supran, G. J. S. *et al.* High Efficiency and Brightness Near-Infrared Quantum-Dot LEDs. US patent application no. 61/735,344 (2012).

Reference는 어떻게 보나요?

예시)

Koh, W. K., Saudari, S. R., Fafarman, A. T., Kagan, C. R. & Murray, C. B. Thiocyanate-capped PbS nanocubes: ambipolar transport enables quantum dot based circuits on a flexible substrate. *Nano Lett.* 11, 4764–4767 (2011).

제목

저널
볼륨

페이지

연도

저자

1. 연구 현황 파악하기 (5/10)

Reference는 어떻게 찾나요?

- Google Scholar (scholar.google.com) 등 논문 Search Engine 이용
- 각 저널 홈페이지에서 연도/볼륨/페이지를 이용해 검색

예시)



thiocyanate-capped pbs nanocubes: ambipola ▾ 

Articles (✓ include patents) Case law

[Thiocyanate-capped PbS nanocubes: ambipolar transport enables quantum dot based circuits on a flexible substrate](#)
W Koh, SR Saudari, AT Fafarman, CR Kagan... - *Nano Lett.*, 2011 - ACS Publications
We report the use of thiocyanate as a ligand for lead sulfide (**PbS**) **nanocubes** for high performance, thin-film electronics. **PbS nanocubes**, self-assembled into thin films and with the thiocyanate, exhibit **ambipolar** characteristics in field-effect transistors. ...
Cited by 23 Related articles All 5 versions Save



nano lett. 11, 4764-4767 2011 ▾ 

Articles (✓ include patents) Case law

[Thiocyanate-capped PbS nanocubes: ambipolar transport enables quantum dot based circuits on a flexible substrate](#)
W Koh, SR Saudari, AT Fafarman, CR Kagan... - *Nano Lett.*, 2011 - ACS Publications
... 2. Choi, JJ; Lim, Y.; Santiago-Berrios, MB; Oh, M.; Hyun, B.; Sun, L.; Baranik Goedhart, A.; Malliaras, GG; Abrufia, HD; Wise, FW; Hanrath, T. *Nano Lett.* ... (2009), 9 (11), 3749-3755 CODEN: NALEFD ; ISSN:1530-6984. ...
Cited by 23 Related articles All 5 versions Cite Save



Search **Citation** DOI Subject Search Advanced Search

Nano Lett. 

Volume: 11 Page: 4764 

1. 연구 현황 파악하기 [6/10]

Review Paper 이후의 논문은?

- 거의 모든 논문은 Introduction에 Review Paper를 참조
- Review Paper를 참조한 논문을 검색!

[Emergence of colloidal quantum-dot light-emitting technologies](#)

Y Shirasaki, GJ Supran, MG Bawendi, V Bulović - *Nature Photonics*, 2012 - nature.com

Since their inception 18 years ago, electrically driven colloidal quantum-dot light-emitting devices (QD-LEDs) have increased in external quantum efficiency from less than 0.01% to around 18%. The high luminescence efficiency and uniquely size-tunable colour of ...

Cited by 49 Related articles All 6 versions Cite Save

[Emergence of colloidal quantum-dot light-emitting technologies](#)

Search within citing articles

[Synthesis of Uniform Disk-Shaped Copper Telluride Nanocrystals and Cation Exchange to Cadmium Telluride Quantum Disks with Stable Red Emission](#)

H Li, R Brescia, M Povia, M Prato... - *Journal of the ...*, 2013 - ACS Publications

We present the synthesis of novel disk-shaped hexagonal Cu₂Te nanocrystals with a well-defined stoichiometric composition and tunable diameter and thickness. Subsequent cation exchange of Cu to Cd at high temperature (180°C) results in highly fluorescent CdTe ...

Cited by 1 Cite Save

[Charge transfer and optical properties of wurtzite-type ZnS/\(CdS/ZnS\)_n superlattices](#)

X Zeng, W Zhang, J Cui, M Zhou, H Chen - *Materials Research Bulletin*, 2013 - Elsevier

Abstract ZnS/(CdS/ZnS)_n ($n=2, 4, 8$) superlattices were deposited on sapphire substrate by pulsed laser deposition (PLD) with alternate cadmium sulfide (CdS) and zinc sulfide (ZnS) crystals at 100 C. The prepared samples with an average thickness of~ 30 nm for ...

Cite Save

[Highly efficient blue-green quantum dot light-emitting diodes using stable low-cadmium quaternary-alloy ZnCdSSe/ZnS core/shell nanocrystals](#)

H Shen, S Wang, H Wang, J Niu, L Qian... - ... *applied materials & ...*, 2013 - ACS Publications

High-quality blue-green emitting ZnxCd_{1-x}S_{1-y}Se_y/ZnS core/shell quantum dots (QDs) have been synthesized by a phosphine-free method. The quantum yields of as-synthesized ZnxCd_{1-x}S_{1-y}Se_y/ZnS core/shell QDs can reach 50 to 75% with emissions between 450 ...

Cited by 5 Related articles All 3 versions Cite Save

[QLEDs for displays and solid-state lighting](#)

GJS Supran, Y Shirasaki, KW Song, JM Caruge... - 2013 - dspace.mit.edu

The mainstream commercialization of colloidal quantum dots (QDs) for light-emitting applications has begun: Sony televisions emitting QD-enhanced colors are now on sale. The bright and uniquely size-tunable colors of solution-processable semiconducting QDs ...

Cite Save More

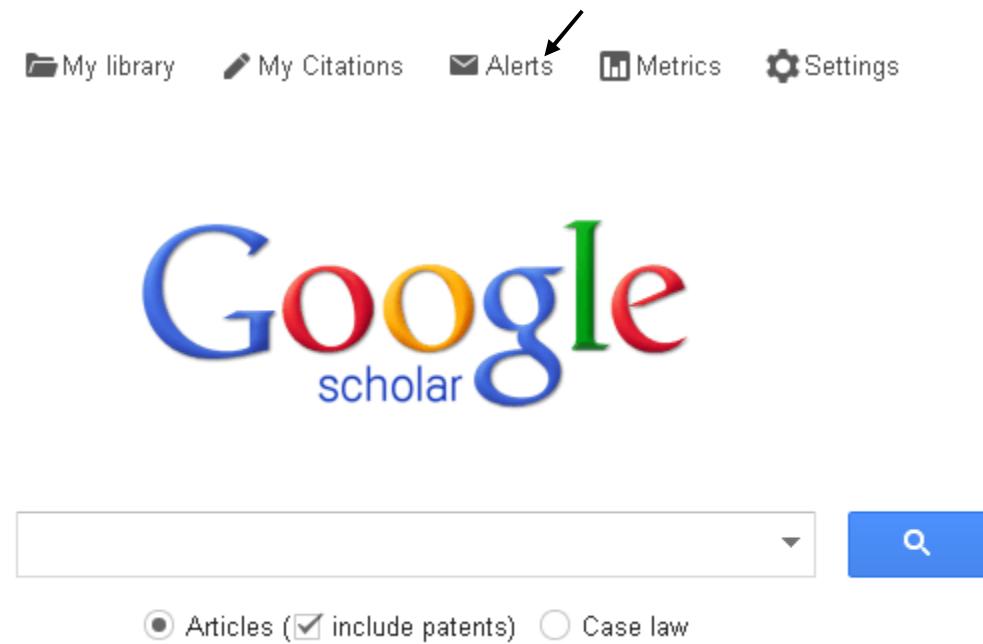
이 Review Paper를
참조한 논문의 목록

※ 오래되고 유명한 Review Paper의
경우 수천 번 인용된 경우도 있음

1. 연구 현황 파악하기 (7/10)

최신 논문 놓치지 않기

- Google Scholar에 Keyword를 등록하자(Google Scholar Alerts)
- 제목에 내 Keyword가 있는 논문을 10~20 편씩 모아 메일로 보내준다



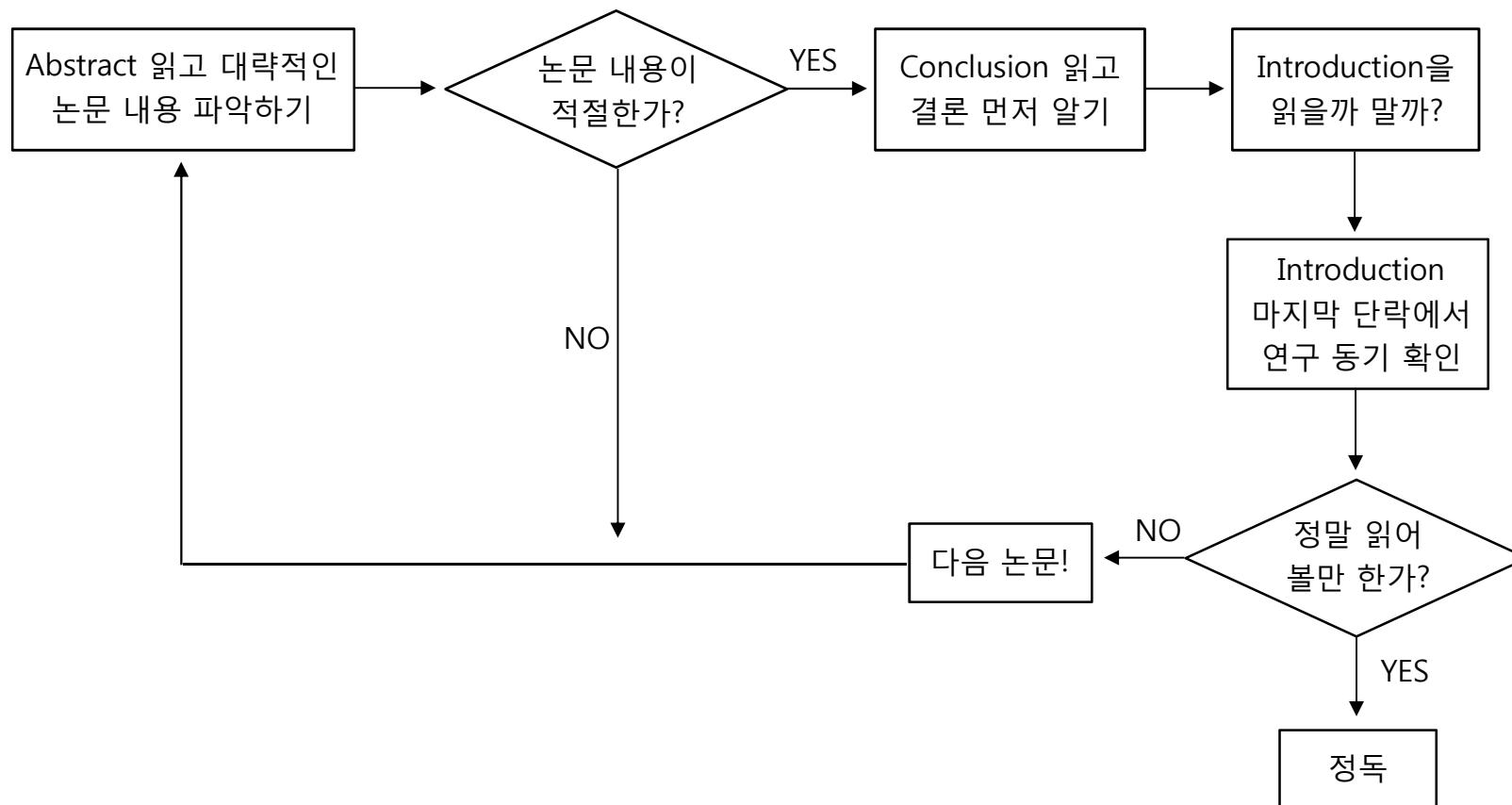
※ 주의: 지칠 수 있음

1. 연구 현황 파악하기 [8/10]

논문 효율적으로 읽는 법

※ 주의: 개인차가 있을 수 있음

- 논문 정도야 뭐! – 처음부터 끝까지 읽는 것이 최고
- 영어도 힘들고, 무슨 소린지도 모르겠고…



1. 연구 현황 파악하기 (9/10)

말처럼 쉬운가요?

- 영어에 (특히 technical English) 익숙하지 않다면 당연히 힘들다
- 읽을 수록 익숙해 지는 법 (읽다 보면 그게 그거), 힘들어도 참고 많이 읽자

이 짓(?)을 언제까지 해야 하나요?

- 이 분야의 **지도**를 그릴 수 있을 때까지
- 개인적인 경험: 최소 100편 정도

“이 분야는 A 연구로부터 시작되어 B 연구를 통해 전환점을 맞이하였고 최근 C, D, E 등의 연구가 진행되었으나 α , β , γ 등의 요소에 대한 연구가 부족하다.”

명심! 현황 파악은 모든 연구의 **시작**이다

왜? 기존 연구의 **빈틈**을 파악할 수 있는 유일한 방법

1. 연구 현황 파악하기 (10/10)

논문 정리 TIP

- Papers, Endnote 등 논문 정리 관련 프로그램 이용
- 편한 대로 폴더 만들어서 관리하기

※ 더 많은 정보는 아래 홈페이지와 연구실 선배들에게!

※ Endnote는 HEMOS에서 다운로드 받을 수 있으며 매 학기 사용법 강좌도 열림

Papers: <http://www.papersapp.com/>

Endnote: <http://www.slideshare.net/hwul/how-to-use-endnote-web-presentation>

2. 연구 방향 정하기 (1/3)

“Life is a matter of direction, not of speed.” – Emanuel Pastreich

현황 파악을 통해 기존 연구의 한계를 파악했다면
어떻게 해결할 것인지 연구 방향을 정하자

중요한 것은 **선택과 집중!**

모든 문제를 한 번에 해결할 수는 없다

- 큰 문제를 작은 문제 여러 개로 쪼개기
- 한 가지만 먼저 해결해 보기
- 쉬운 것부터 해결해 보기
- 가장 급한 문제부터 해결해 보기

:

2. 연구 방향 정하기 (2/3)

“과학자는 9시 출근, 4시 퇴근하는 것이 아니다.
일주일 24시간 내내 생각해야 한다.”
– Louis Ignarro, 1998 Nobel Laureate

선택과 집중 후엔?

- 끊임없이 생각하기
- 논문을 읽을 때도, 랩미팅 때도, 수업 들을 때도, 출퇴근 할 때도…
- 번뜩이는 생각: 이렇게 해보면 어떨까?
- 생각의 구체화 – 생각을 글로 옮기기
- 검색을 통해 관련 논문을 찾아보자 – 남이 먼저 했으면 안되니까

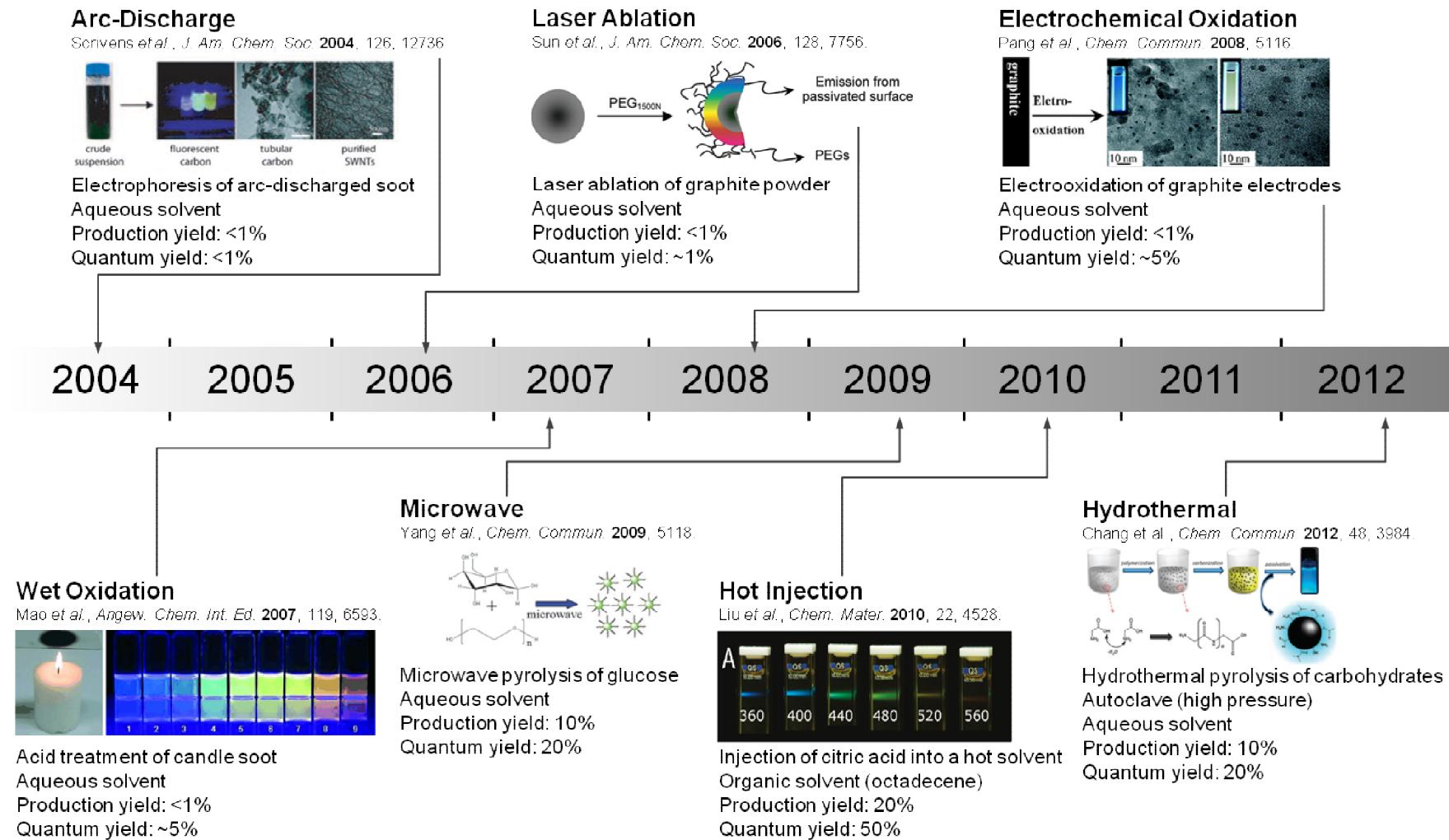
2. 연구 방향 정하기 [3/3]

언제까지? 자신만의 IDEA를 얻을 때까지!
막막하다고?

- 같은 분야의 연구에서 힌트 얻기
- 다른 분야의 연구에서 힌트 얻기
- 실생활에서 힌트 얻기
- 토의 (brainstorming)을 통해 힌트 얻기
- 다른 사람의 발표에서 힌트 얻기 – 월요일 대학원 세미나는 (가끔) 소중하다
- 전혀 다른 각도에서 문제 바라보기 – 다른 분야를 연구하는 친구들
- 꿈에서 계시 받기

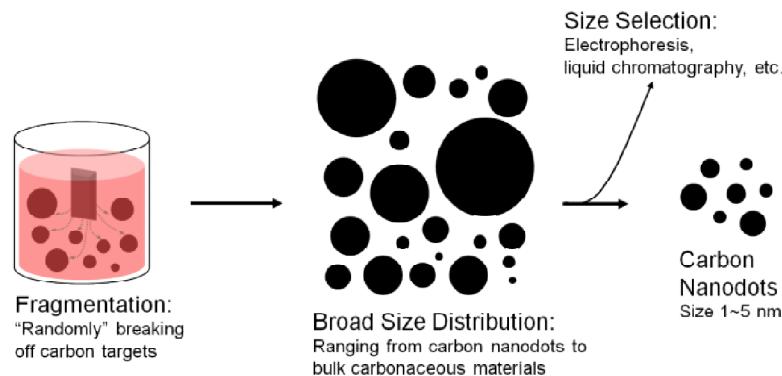
예시) 새로운 탄소 나노입자 합성법 개발에 관한 나의 경험

① 현황 파악 – 과거 주요 연구 정리하기

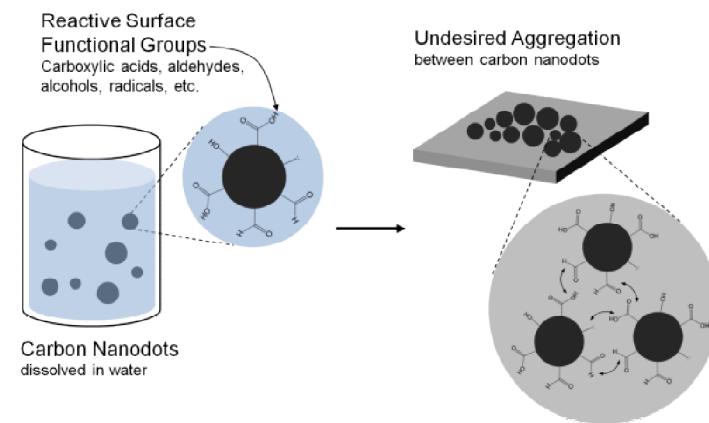


② 현황 파악 – 기존 연구의 한계 파악하기

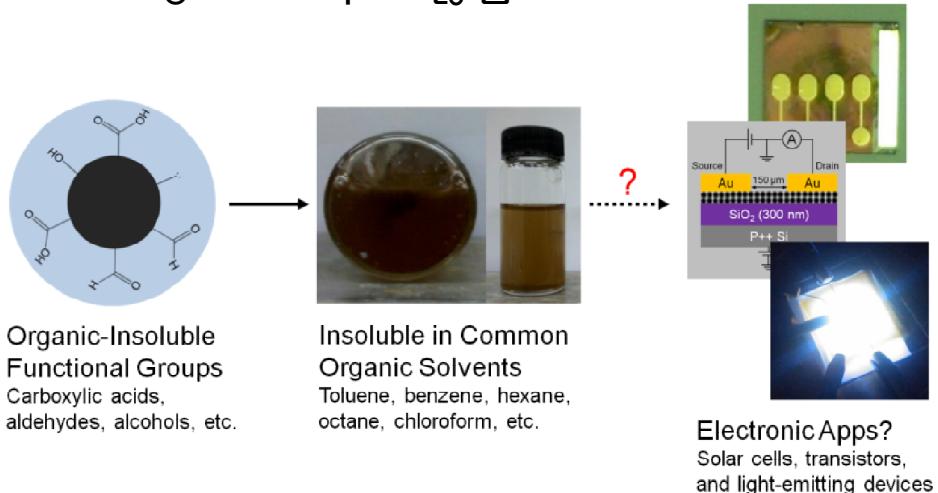
a. 입자의 크기가 균일하지 못함



b. 입자 표면이 불안정



c. 유기 용매에 녹지 않음



d. 이 밖에도 ...

- 낮은 반응수득률 (product yield)
- 낮은 양자수득률 (quantum yield)
- 압력 용기 등 특수 장비 필요
- 불분명한 내부 구조
- 불분명한 광발광 기작

③ 연구 방향 설정 – 초점 맞추기

“모르긴 몰라도 나중에 써먹으려면 최소한 크기가 균일하고 안정해야겠지?”

④ 연구 방향 설정 – 다른 분야의 연구에서 힌트 얻기

금속 나노입자 분야에서는 균일하고 안정한 금속 나노입자 합성을 위해 긴 alkyl chain을 갖는 표면안정제를 이용하고 있음

“탄소 나노입자에 표면안정제를 붙이면 어떨까?”

⑤ 연구 방향 설정 – 구체적인 실험 계획 수립

- 어떻게 붙일까? 탄소 나노입자의 carbonyl과 표면안정제의 amine을 결합
- 용매는? 끓는점이 높아 나노입자 합성에 널리 쓰이는 octadecene
- 어떤 표면안정제가 좋을까? 액상이고 고온에서도 안정한 oleylamine
- 탄소 나노입자의 재료는? 물에 잘 녹고 반응성이 높아 널리 쓰이는 citric acid
- 온도는 몇 도? 200~300 °C가 적당할 것으로 예상
- 반응 시간은? 한 시간부터 열두 시간까지 비교해 보자

3. 지도교수님과 소통하기 (1/4)

잘하는 학생? 주도적인 학생!

- 열심히 공부하고
- 열심히 생각해서
- 스스로 연구 방향까지 정했다. 그런데…

“열심히 조사해서 발표했더니… 교수님은 아무것도 모르시는 것 같아요.”

지도교수님은 얼마나 알고 계신 걸까?

- 학생이 나만 있는게 아니지
- 강의 준비, 학교 업무, 과제 발표, 공무 출장…
- 결국 학생이 연구 내용을 더 잘 아는 것은 당연하다 (왜? 내 연구니까)

지도교수님께 무엇을 기대해야 할까?

- 많은 연구 경험을 통한 약점 잡아내기
- 연구의 큰 줄기, 연구가 나아가야 할 방향

3. 지도교수님과 소통하기 (2/4)

“지도교수님이 자꾸 부정적인 말씀만 하세요.”

왜 격려와 칭찬 보다는 의심과 지적이 돌아올까?

- 연구는 열에 아홉이 꽝
- 지금 의심하고 지금 지적해야 나중에 시간/물자/인력 낭비가 없음

그냥 내 생각대로 밀어붙여?

- 그렇다고 지도교수님을 연구에서 배제해서는 안됨
- 지도교수님의 인정(approval)은 졸업의 가장 중요한 요건
- 조금 힘들고 지치더라도 미리 인정 받아놓자!

3. 지도교수님과 소통하기 (3/4)

내 연구에 대해 지도교수님이 반드시 알아야 할 것들

- 내가 어떤 주제의 연구를 할 계획인지
- 내 연구 분야의 상황이 현재 어떠한지
- 내 연구를 통해 해결하고자 하는 문제가 무엇인지
- 내가 어떤 IDEA를 가지고 문제를 해결할 계획인지
- 내 IDEA의 실현 가능성과 실현 되었을 때 장점은 무엇인지
- 내 연구를 진행하기 위해 필요한 자원(장비/시약/시간 등)은 무엇인지

내가 내 연구를 시작할 준비가 되었다는 사실을 알리자

“이렇게 해 볼까 하는데 어떻게 생각하세요?”

3. 지도교수님과 소통하기 (4/4)

주도적인 연구 = 지도교수님을 내 연구로 끌어들이기

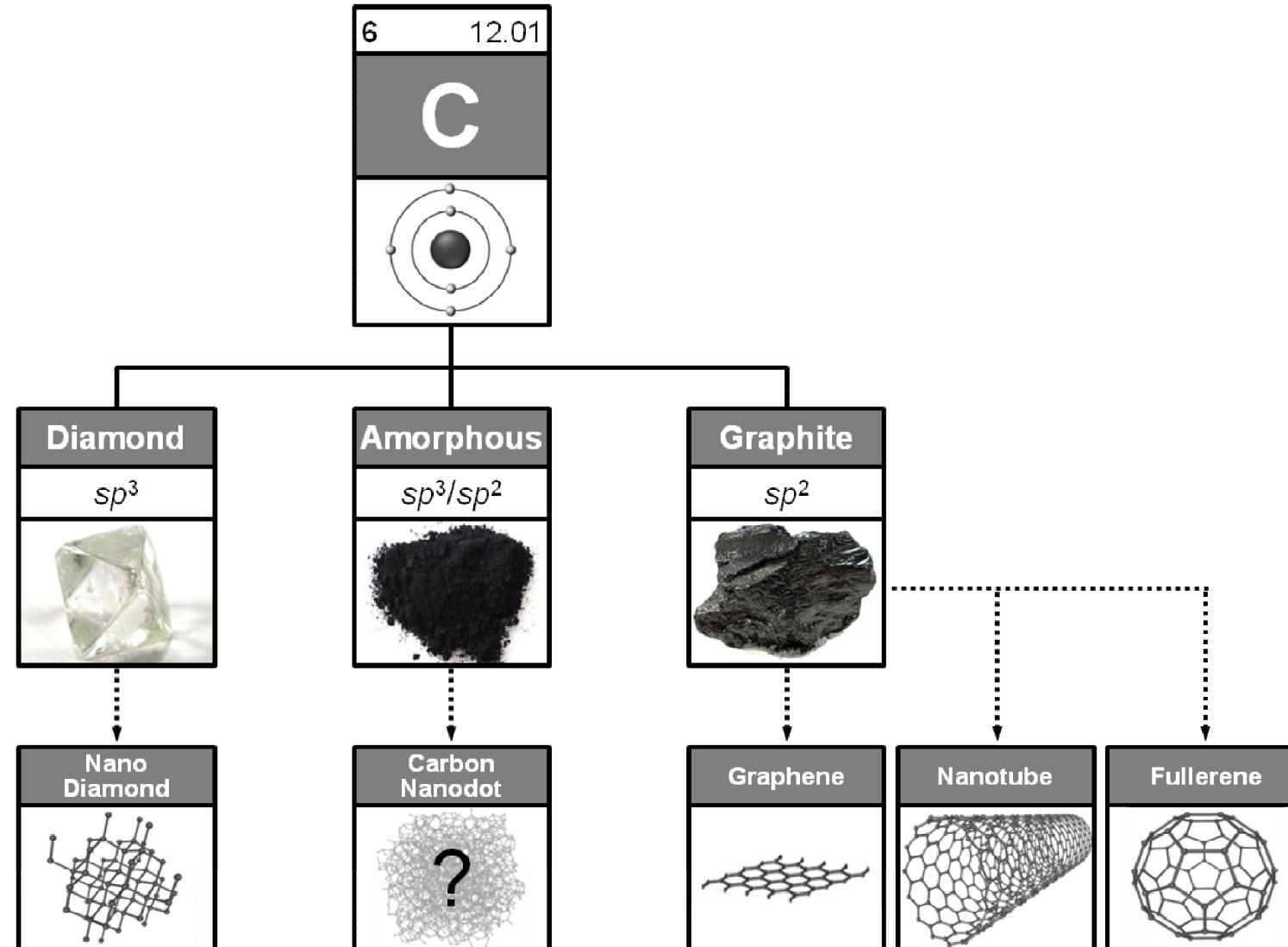
- 어떻게 하면 지도교수님을 설득할 수 있을까?
- 철저히 준비하기
- 지도교수님의 현명함에 기대기 – 좋은 연구는 누가 봐도 좋아 보인다
- 간단한 Preliminary data를 보여드리는 것도 도움이 됨

도저히 의견차가 좁혀지지 않아요

- 지도교수님의 지적 사항을 꼼꼼히 들어보자
- 내 계획에 진정 중대한 오류가 있는가?
- 있다 – 1. 수정/보완해서 다시 말씀 드린다
 2. 깔끔하게 포기한다
- 없다 – 1. 이건 진짜 무조건 되는거니까 몰래 한다 (비추천)
 2. 이건 진짜 무조건 되는거니까 선배에게 지원을 부탁한다
 3. 이건 진짜 무조건 되는거니까 간단한 Pre. data를 마련한다

연구 계획하기 예시

Family Tree: Carbon Nanomaterials



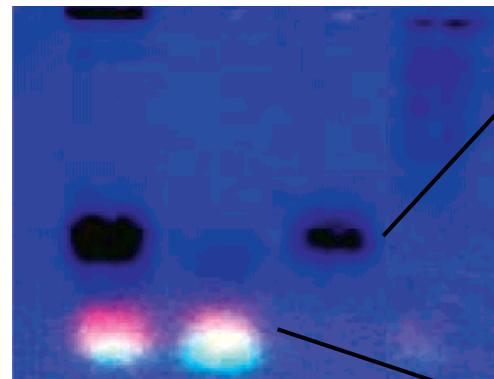
History: Initiation

Prof. Walter A. Scrivens (University of South Carolina)

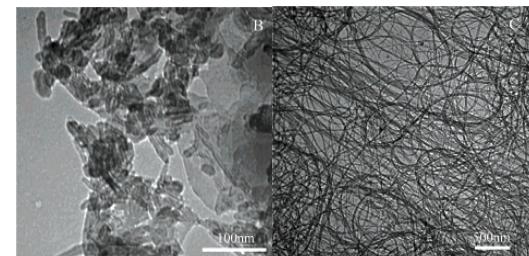
X. Xu, R. Ray, Y. Gu, H. J. Ploehn, L. Gearheart, K. Raker, W. A. Scrivens,
J. Am. Chem. Soc. **2004**, 126, 12736.



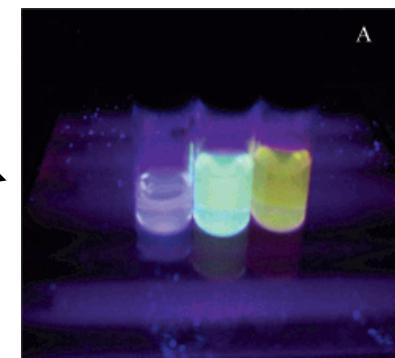
Arc-Discharged Soot
Source: Graphite Rods
Current: AC 7~8 A
Atmosphere: Helium



Electrophoresis
Agarose Gel/Glass Bead

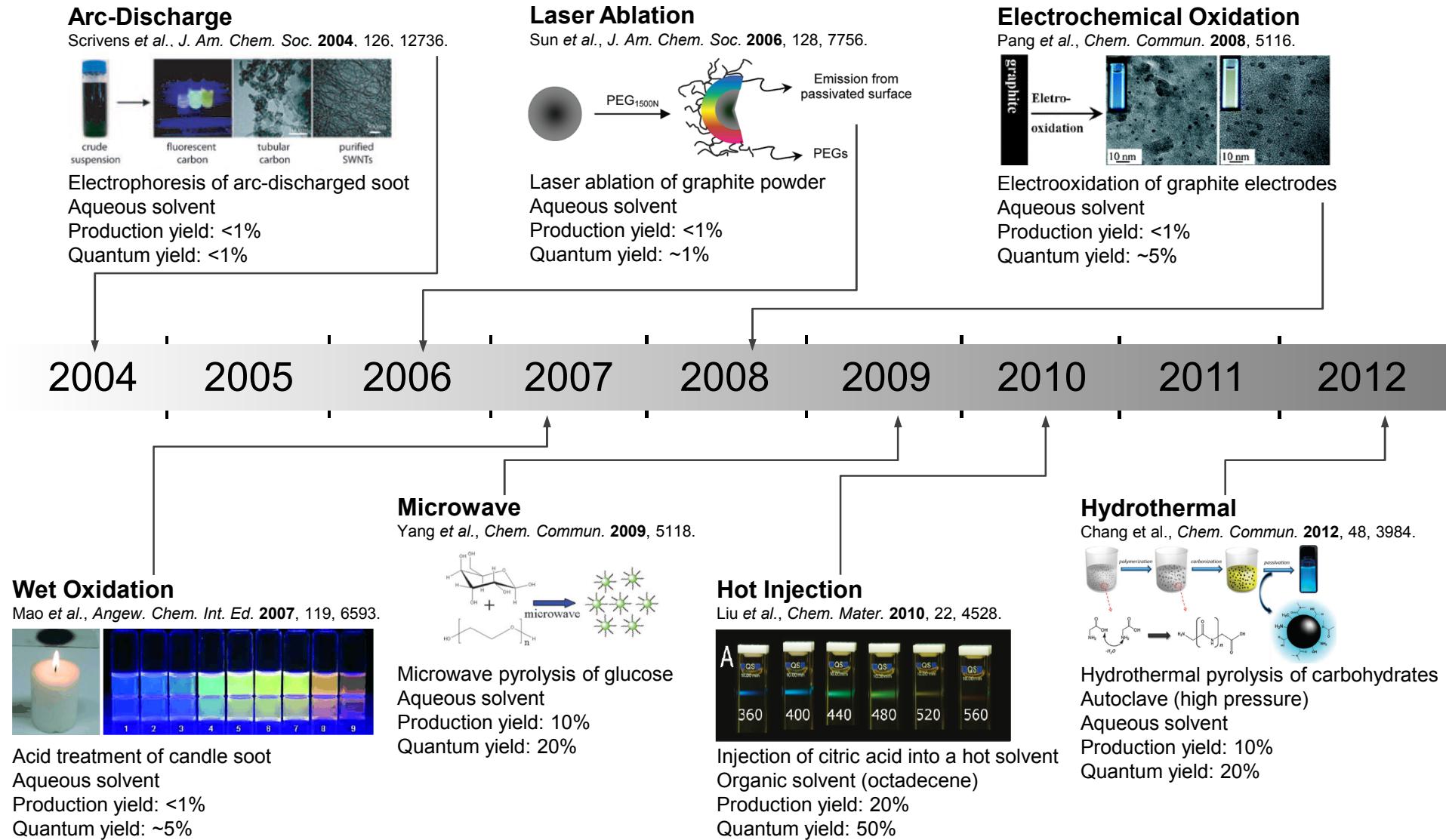


Tubule Carbon /
Carbon Nanotubes



Carbon Nanodots

History: Progress

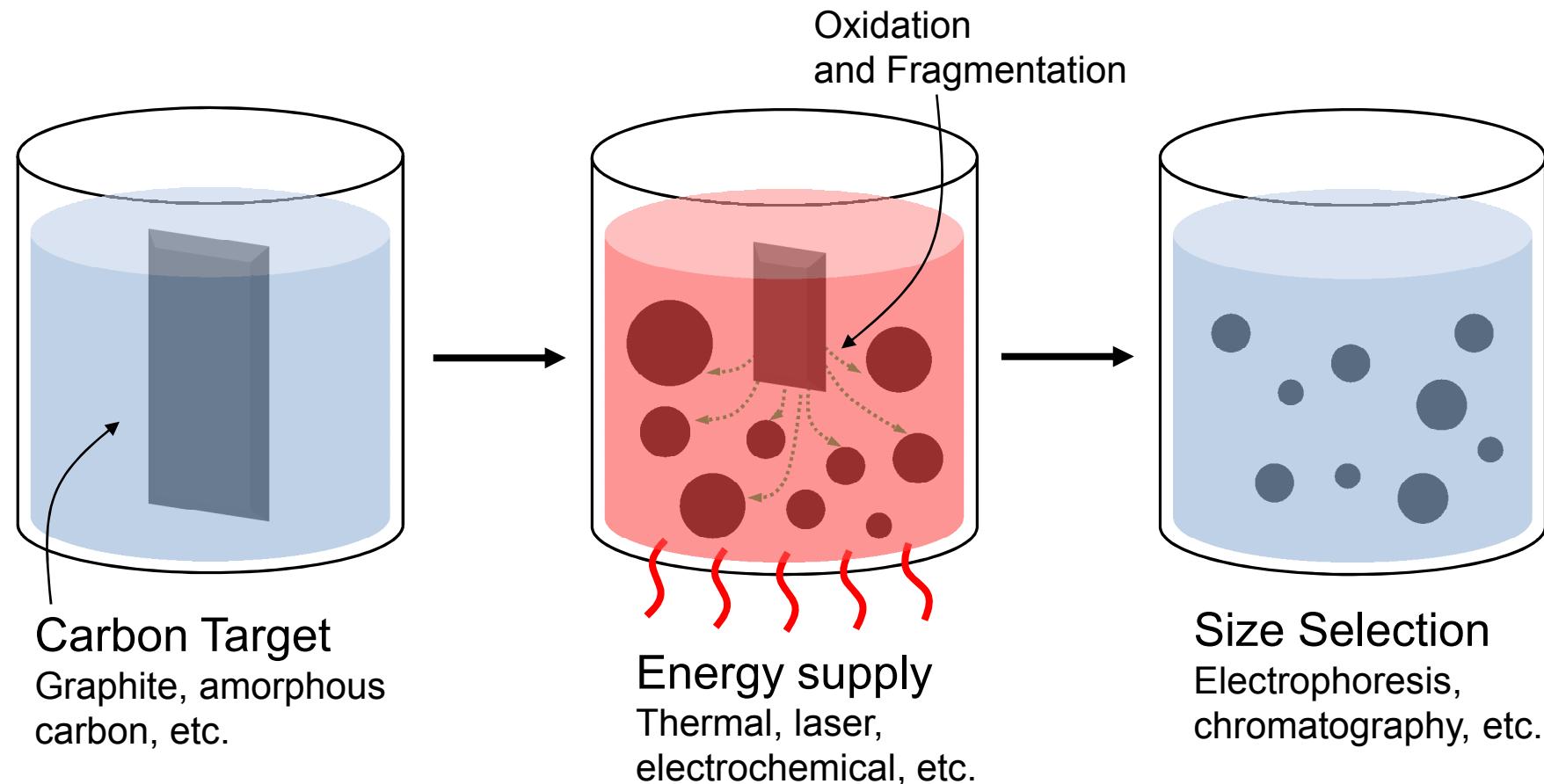


Previous Methods: Top-Down

Source: Bulk Carbonaceous Materials

Concept: “Breaking off” to Nanoparticles

Reaction: Oxidation and Fragmentation

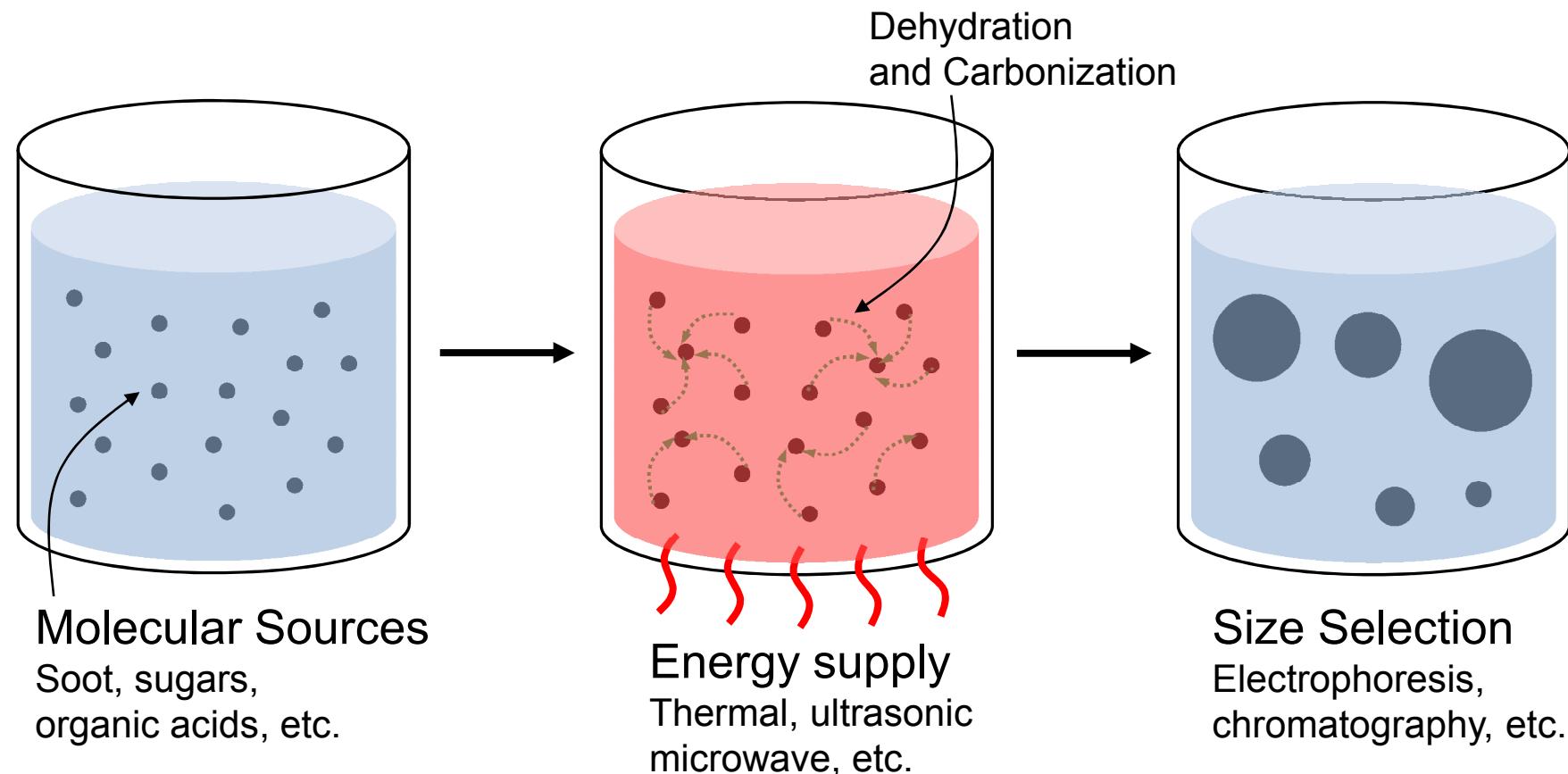


Previous Methods: Bottom-Up

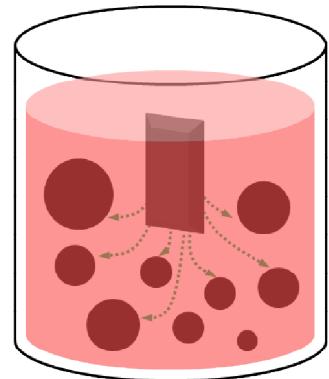
Source: Crude Solution of Molecular Sources (Carbohydrate)

Concept: “Building up” from Molecular Sources

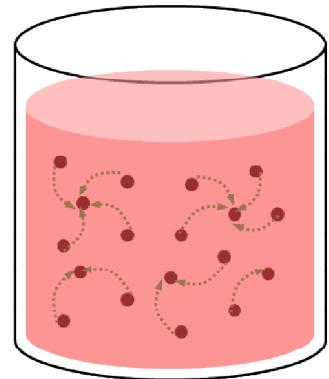
Reaction: Dehydration and Carbonization



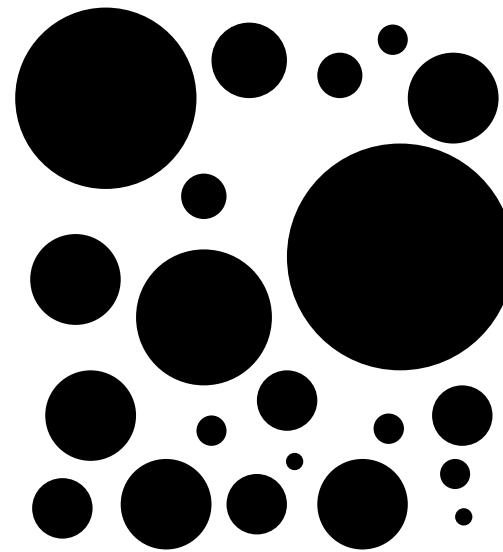
Drawback: Size Tunability



Fragmentation:
“Random” breaking off
carbon targets

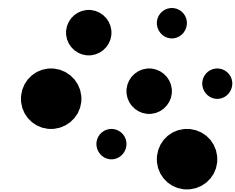


Carbonization:
“Random” pyrolysis of
carbohydrates



Broad Size Distribution:
Ranging from carbon nanodots to
bulk carbonaceous materials

Size Selection:
Electrophoresis,
liquid chromatography, etc.

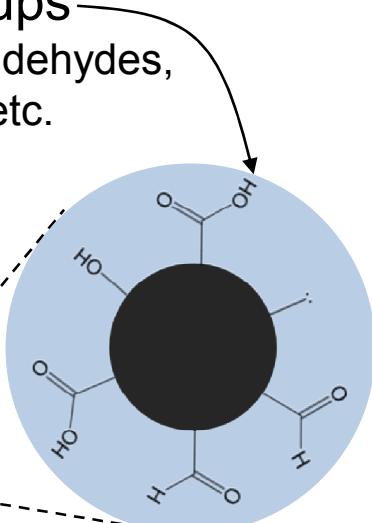
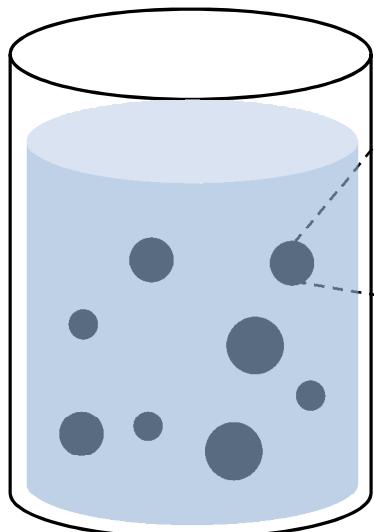


**Carbon
Nanodots**
Size 1~5 nm

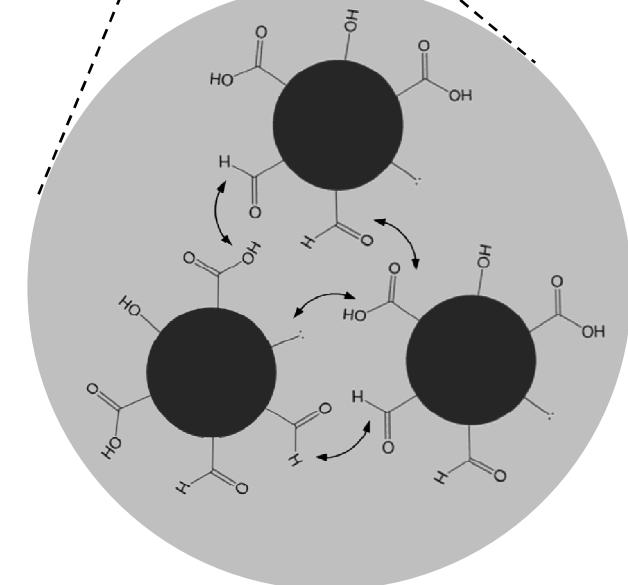
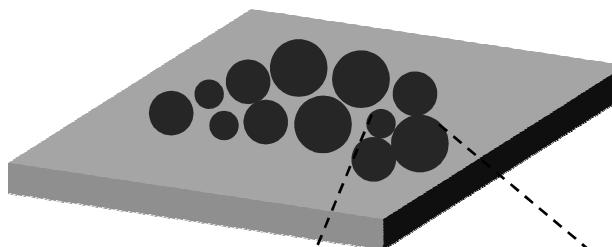
Drawback: Isolation

Reactive Surface
Functional Groups

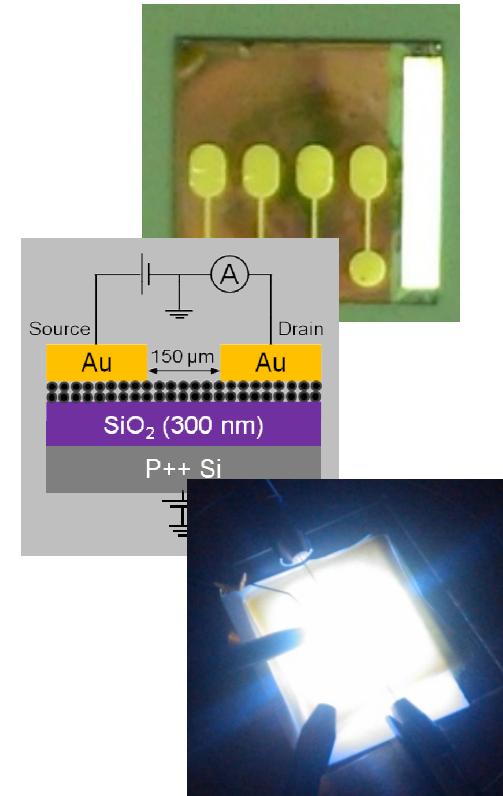
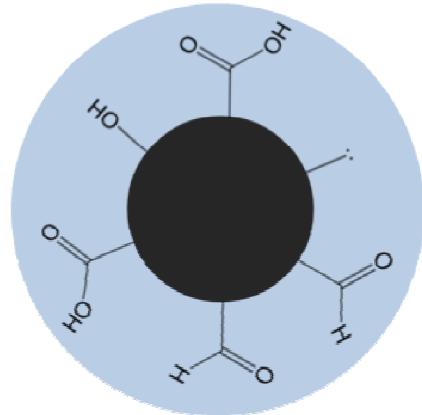
Carboxylic acids, aldehydes,
alcohols, radicals, etc.



Undesired Aggregation
between carbon nanodots



Drawback: Organic Solubility



Organic-Insoluble
Functional Groups
Carboxylic acids,
aldehydes, alcohols, etc.

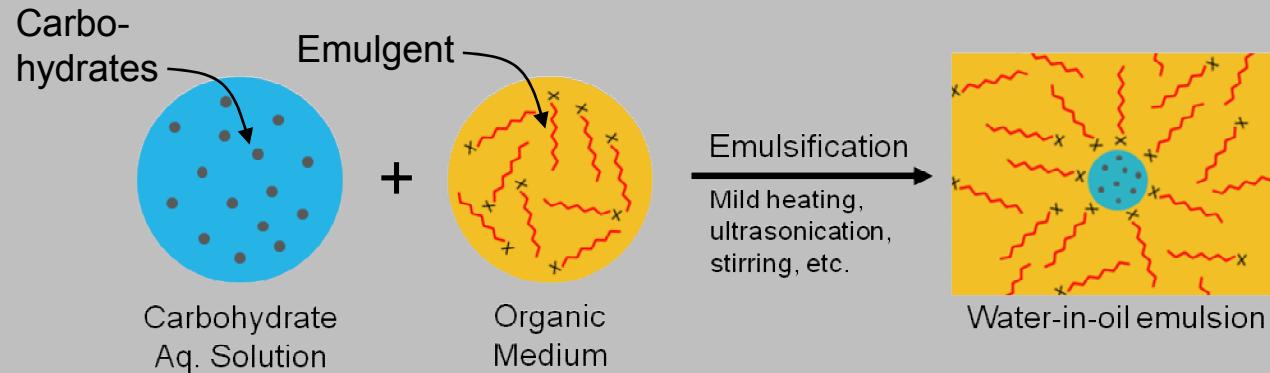
Insoluble in Common
Organic Solvents
Toluene, benzene, hexane,
octane, chloroform, etc.

Electronic Apps?
Solar cells, transistors,
and light-emitting devices

Soft-Template Synthesis

“Soft-Template” = Emulsion:

Water droplets containing carbohydrates formed in an organic medium with the aid of an emulgent



Carbohydrates: Sugars, hydroxy acids, organic acids, etc.

Glucose	$C_6H_{12}O_6$	
Fructose	$C_6H_{12}O_6$	
Glycolic acid	$C_2H_4O_3$	
Citric acid	$C_6H_8O_7$	

Emulgents: Commercial surfactants, alcohols, amines, etc.

Aerosol OT	
Octanol	
Hexadecyl amine	
Oleylamine	

Organic Medium: High-boiling-point hydrophobic solvents

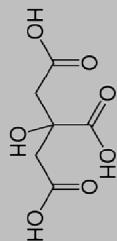
Decane	
⋮	⋮
Octadecene	

Materials

SELECTION RULE: Which materials are the most suitable?

SOURCE:

High Aq. Solubility
Reactive Functional Group
Low Carbonization Temp.



Citric acid	
Formula	C ₆ H ₈ O ₇
Decomp.	~200 °C
Solubility	1 g mL ⁻¹

MEDIUM:

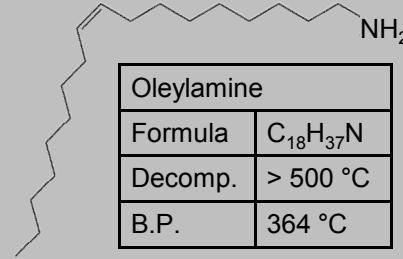
High Boiling Point
High Hydrophobicity
No Reactivity



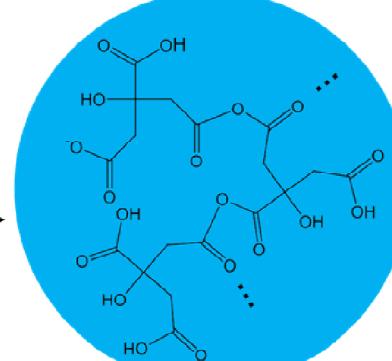
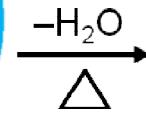
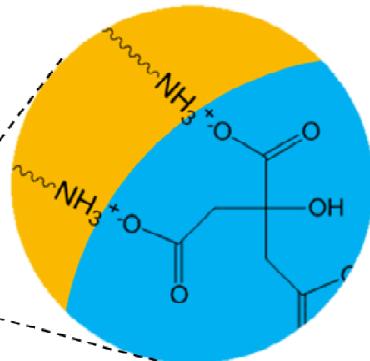
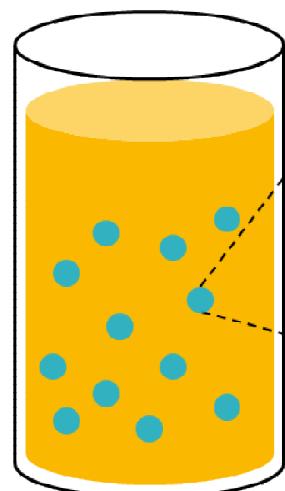
Octadecene	
Formula	C ₁₈ H ₃₆
Decomp.	> 500 °C
B.P.	315 °C

EMULGENT:

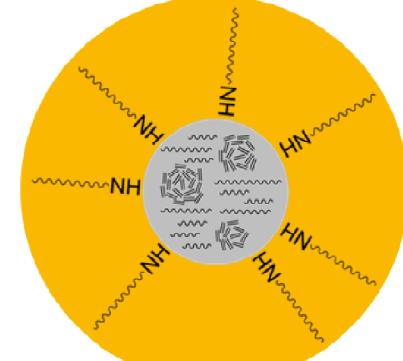
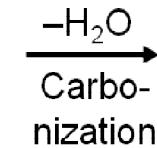
High Thermal Stability
High Solubility
Polar and Reactive Head Group



Oleylamine	
Formula	C ₁₈ H ₃₇ N
Decomp.	> 500 °C
B.P.	364 °C



Intermolecular
dehydration and linking



Oleylamine-capped
carbon nanodots

STEP 2

실험하기

“본격적으로 시작해 볼까? 그런데 생각보다 할게 너무 많네…”

뭐 되는게 없네?

“당신이 늘 명중시킨다면 표적이 너무 가까이 있거나 또는 너무 큰 것이다.”

- Tom Hirshfield

모든 실험은 **반드시** 실패한다

- 계획한 것 하고는 너무 다른데? – 같은게 이상함
- 수업에 랩미팅에 바빠 죽겠는데 왜 이렇게 안 되는 거야? – 원래 안됨
- 좋게 생각하기 – 이렇게 쉽게 됐으면 남들이 다 벌써 했겠지

살아남기 위해서 **효율적**으로 실험하기

“실패는 성공의 어머니다.”

1. 실험 설계하기

훌륭한 실험이란?

- 독립변수, 통제변수, 종속변수가 명확한 실험
- 실험군과 대조군이 명확한 실험

Self-Check Q&A

- 어떤 변수들이 있는가?
- 변화시킬 변수(독립변수)는 어떤 것인가?
- 독립변수를 변화시킬 때 기대효과(종속변수)는 무엇인가?
- 기대효과가 기존 연구(대조군)에 비해 나은 점은 무엇인가?

2. 실험 조건 잡기 (1/2)

막막하다고? 선행 연구 참고하기 (Screening)

예시) 나노입자 합성 온도를 정하려는 두 학생

“한 번 다 해보자!”

VS.

“예전 연구를 보니 최소 100 °C
에서 최대 300 °C 정도?”

할게 너무 많다고? 적게 실험하기

예시) 온도가 나노입자의 크기에 미치는 영향을 분석하려는 두 학생

“자세하게 해야지!”

100 °C부터 300 °C까지

10 °C 간격으로 실험하면?

(100, 110, 120, ..., 300 °C)

= 총 21회

VS.

“어떤 온도 범위가 중요할까?”

① 먼저 100 °C부터 300 °C까지

50 °C 간격으로 실험.

(100, 150, 200, 250, 300 °C) 5회

② 200 °C 부터 250 °C 사이의 변화가 큼.
이 범위에서 좀 더 자세하게 실험하면?

(200, 210, 220, 230, 240, 250 °C) 5회

= 총 10회

2. 실험 조건 잡기 [2/2]

실패로부터 배우기

예시) 태양전지 효율을 높이기 위해 A 물질을 이용한 두 학생, 하지만 망함

“이번에도 망했구나.
이젠 뭐 하지? B 할까?”

B 망하면 C 하고, C 망하면 D하고,
D 망하면 E하고... Z 망하면?

VS.

“효율이 오히려 떨어
졌네? 왜 그럴까?”

A에 electron donating group이
있어서 그런 것 같네. 그렇다면
electron withdrawing group이
있는 C를 써보면 어떨까?

“실패의 순간을 어떻게 생각하느냐에 따라서 승리하기까지의 시간이 결정된다”

- David Schwart

3. 루틴(routine)한 실험 피하기

모든 연구에는 **항상/반드시/기본적으로** 해야 하는 분석이 있다

예시) 나노입자를 합성했다면?

- 나노입자의 크기와 물리적 구조 확인을 위한
Transmission Electron Microscopy (TEM)
- 나노입자의 화학적 조성과 화학 결합 상태를 확인하기 위한
Infrared Spectroscopy (IR)
X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)
Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
- 나노입자의 광학적 특성을 확인하기 위한
UV-vis Absorption Spectroscopy
Photoluminescence Spectroscopy (PL)

이 모든 분석을 매 실험마다 반복해야 하나?

- 내 실험의 성패를 확인할 수 있는 딱 한가지 분석법을 찾자
- 내 연구실에서 다른 사람의 도움 없이 간단하게 할 수 있으면 최고!

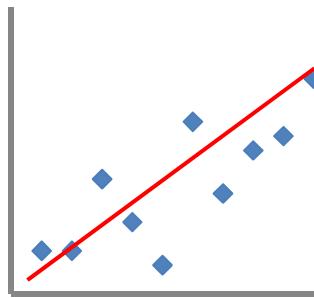
STEP 3

분석하기

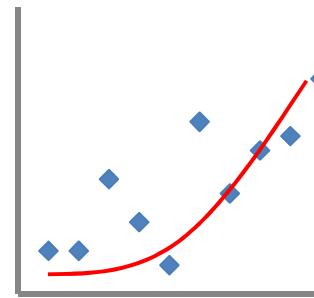
“논문이 눈 앞이다!”

1. 최선의 분석하기

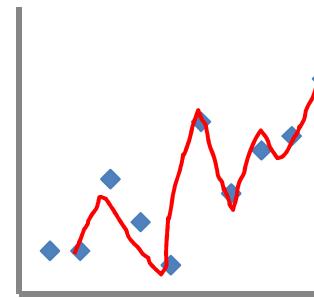
이론의 여지가 없는 분석? 가능하다면 좋겠지만…



What you see:
linear as expected.



What your advisor see:
exponential, a new finding!



What your referee see:
a total mess, meaningless.

실험과 이론의 적절한 조화가 중요하다

- 실험 결과와 이론에 근거한 논리적인 분석 – 말은 쉽지
- 선행 연구 참고하기 – 다른 사람들은 비슷한 결과를 어떻게 설명했나?
- 나만의 가설 세워보기
- 교수님/연구실 동료들과 토론하기
- 부족한 점 인정하기 – 내가 모르면 아무도 몰라

※ 모든 과학의 기초, 물리 수업을 듣자!

역학, 전자기학, 열물리, 양자역학. 가능하다면 수리물리, 고체물리까지.

2. 일관성이 없으면?

“실험은 다 했는데 일관성이 없네?”

같은 실험인데 결과는 다르다

- 장비에 문제가 없는지?
- 조작에 실수가 있었는지?
- 특정한 조건에서 시료(sample)가 변하는지?
- 선배/전문가에게 도움을 구하자!

다른 논문의 결과와 다르다고?

- 다른 논문은 통제변인이 다르기 때문에 일관성의 기준으로 삼을 수 없음
- 상식에 벗어난다고 해서 틀린 것은 아니다 – 새로운 발견의 가능성

예시) 화학과 김광수 교수님 연구실 "광학 한계를 넘은 나노 렌즈"

예시) 나의 경험 "탄소 나노입자의 밴드갭이 크기에 비례(기존 상식은 반비례) 한다는 사실을 증명"

3. 최고의 분석하기?

“이 것만 이렇게 나오면 완벽한데…”

조작의 유혹

- 조작은 하면 안됨 – 연구 윤리
- 조작은 해 봤자 안됨 – 생각대로 된 실험이 있긴 해?
- 조작은 무조건 걸림 – 당신의 거짓말을 믿고 해보는 사람이 반드시 있음
- 조작은 완전 손해 – 다시 연구 할 수 있을까?

최고의 분석이 아닌 **최선**의 분석을 목표로 하자

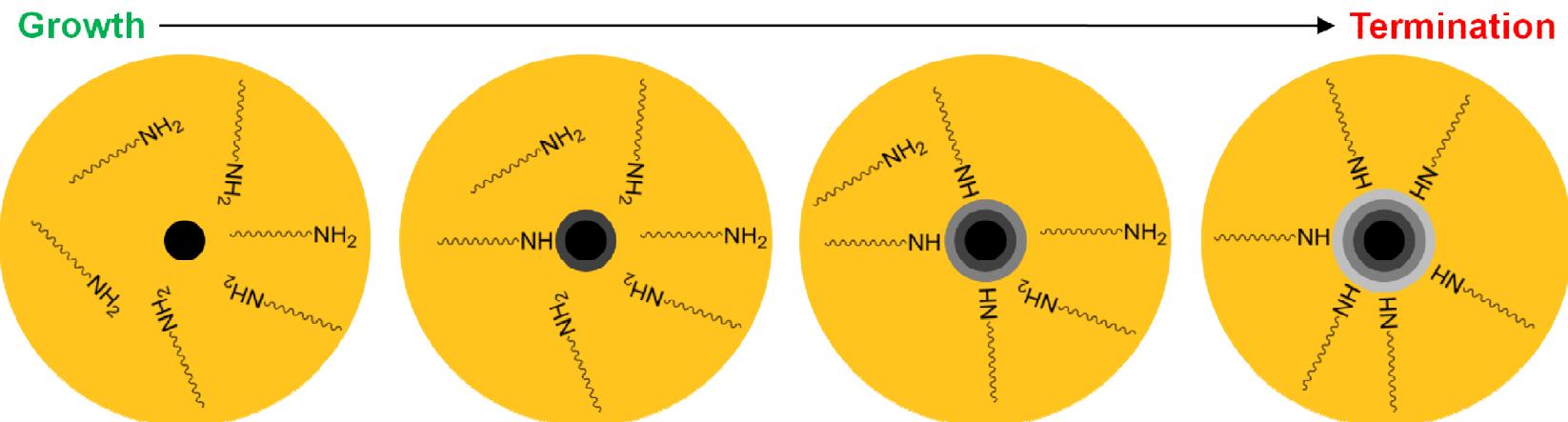
실험/분석하기 예시

표면안정제를 이용한 탄소 나노입자 합성법 실험 및 결과 분석

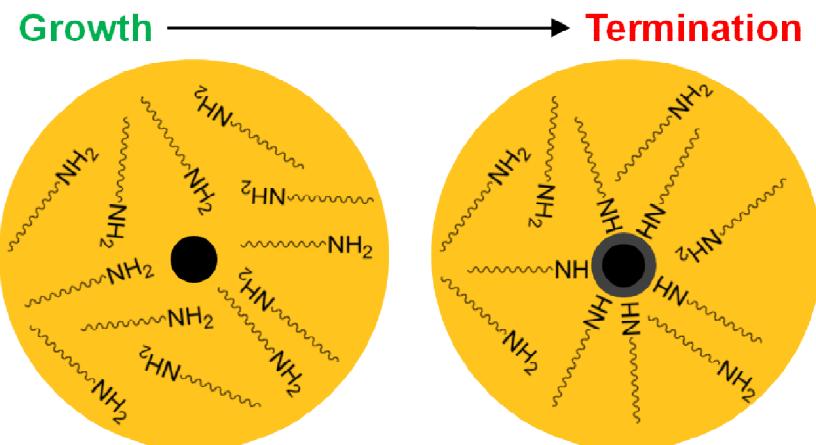
- 독립변수 – 표면안정제 농도
- 종속변수 – 탄소 나노입자 크기
- 기대효과 – 합성 단계에서 크기 조절이 가능한 최초의 방법
 균일한 크기
 안정한 표면

Size Tunability

CASE1: Low Emergent Concentration



CASE2: High Emergent Concentration



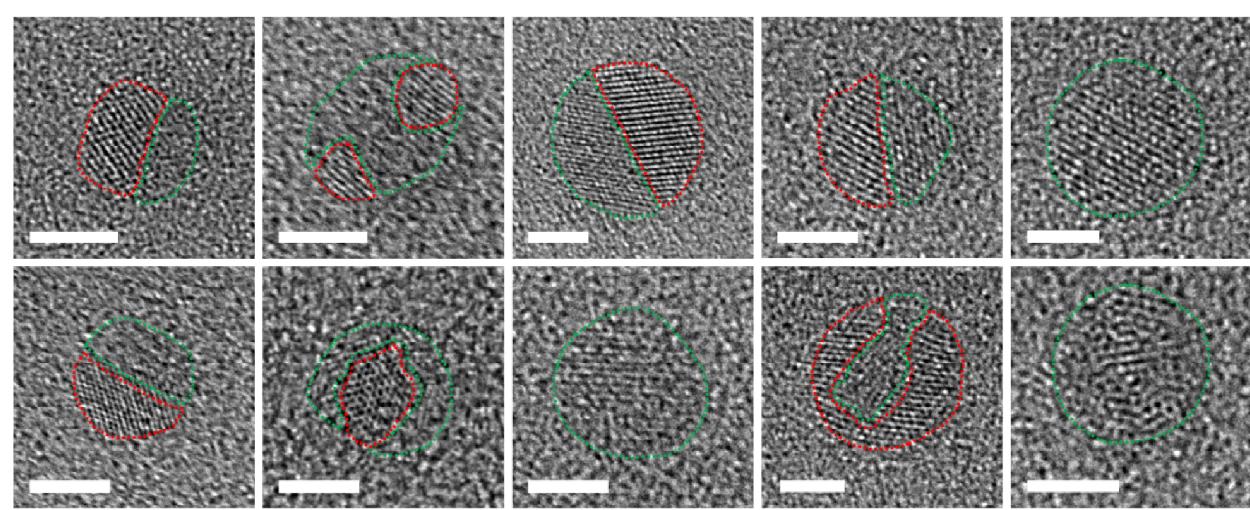
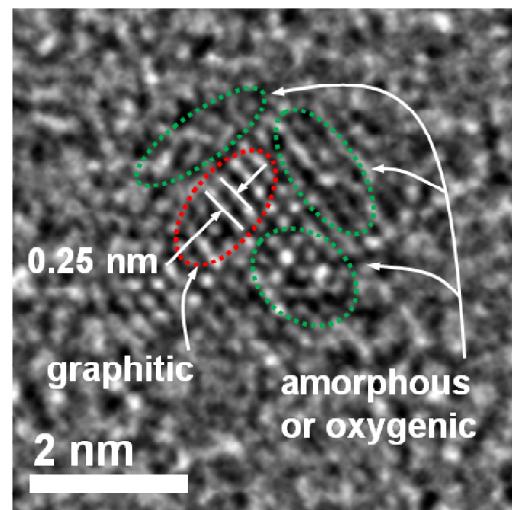
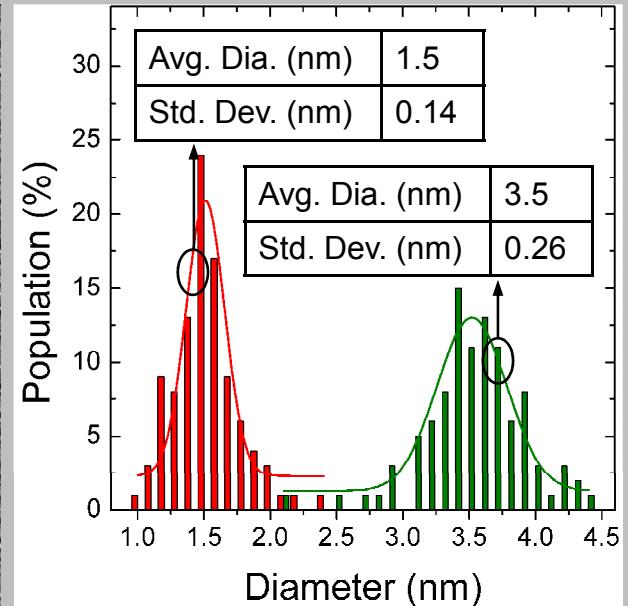
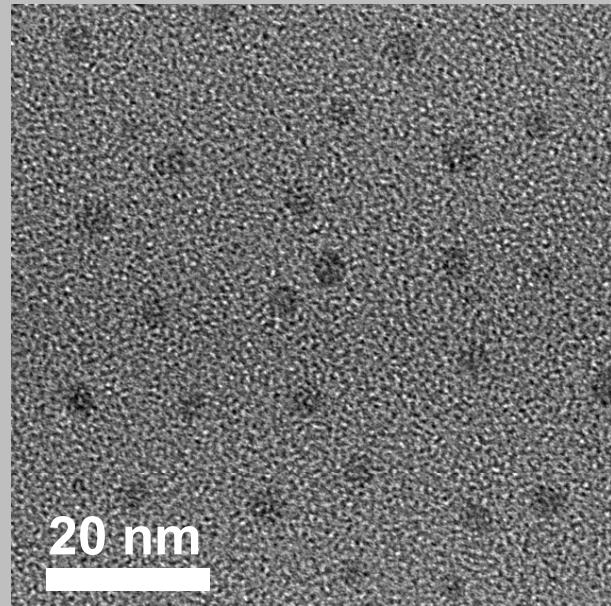
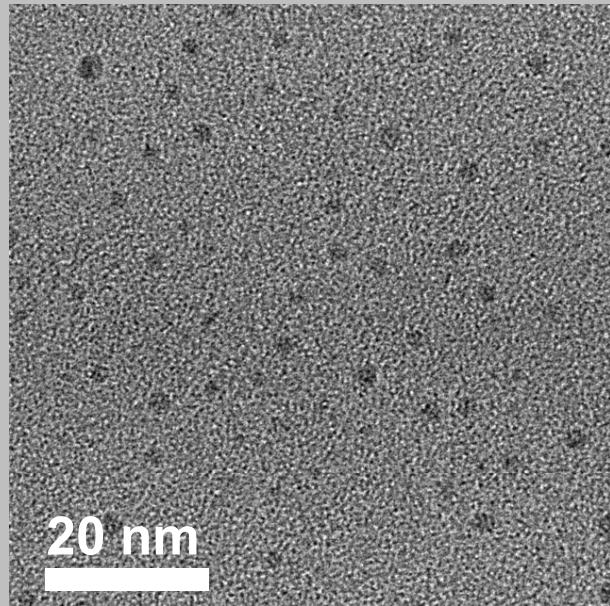
$$r_t \propto [S]^x$$

r_t = termination rate

S = oleylamine

x = reaction order (~ 1)

TEM Images

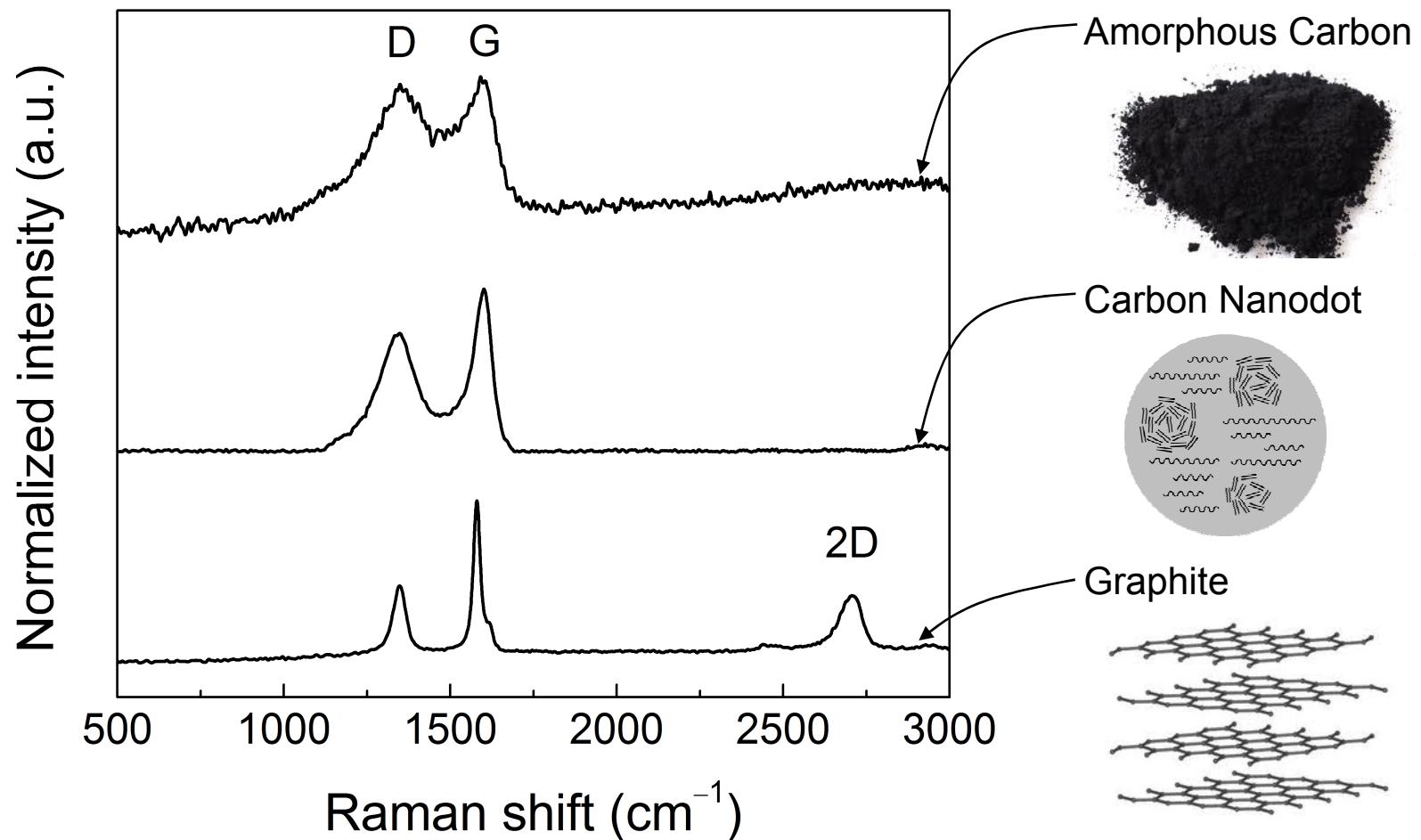


Chemical Structure: Raman Spectroscopy

D Band: Structural Defects, Disordered Graphite, Edge Planes

G Band: sp^2 Carbon, Graphitic Structure

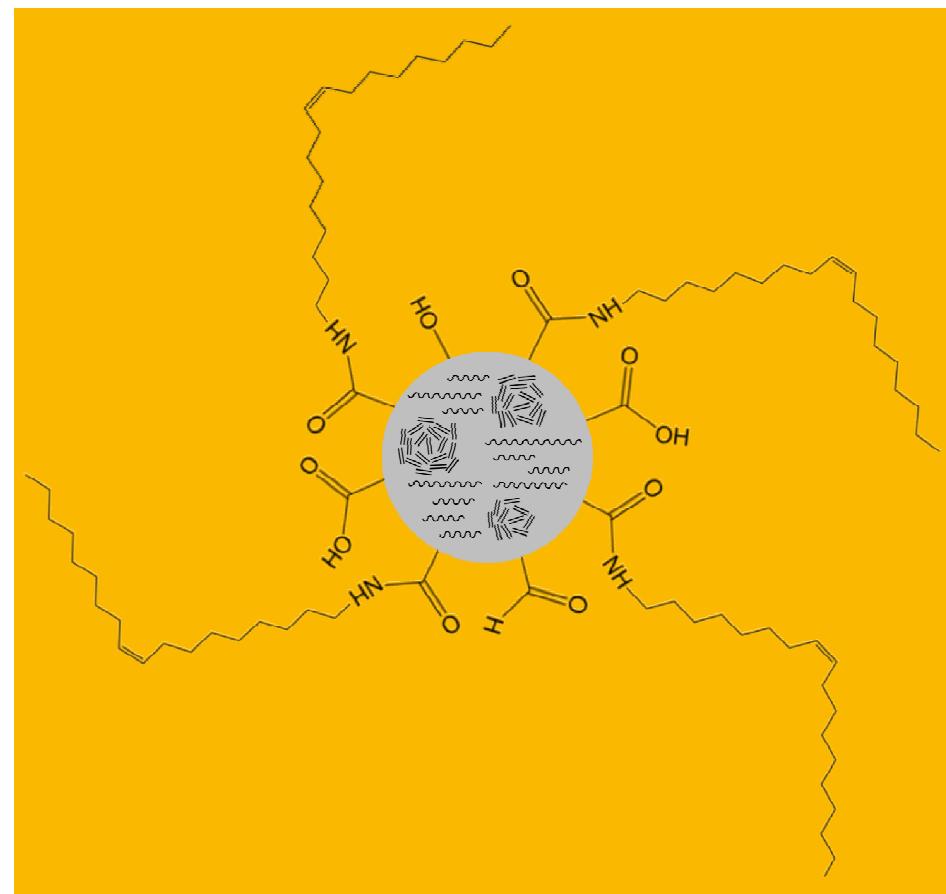
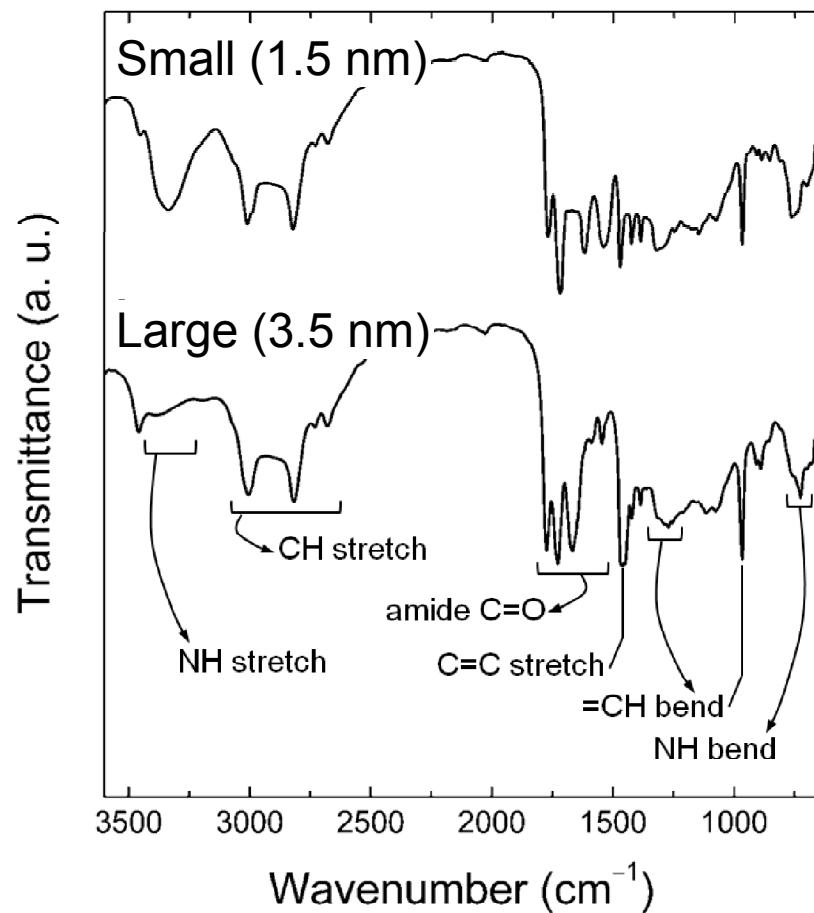
2D Band: Graphite or Graphene Only



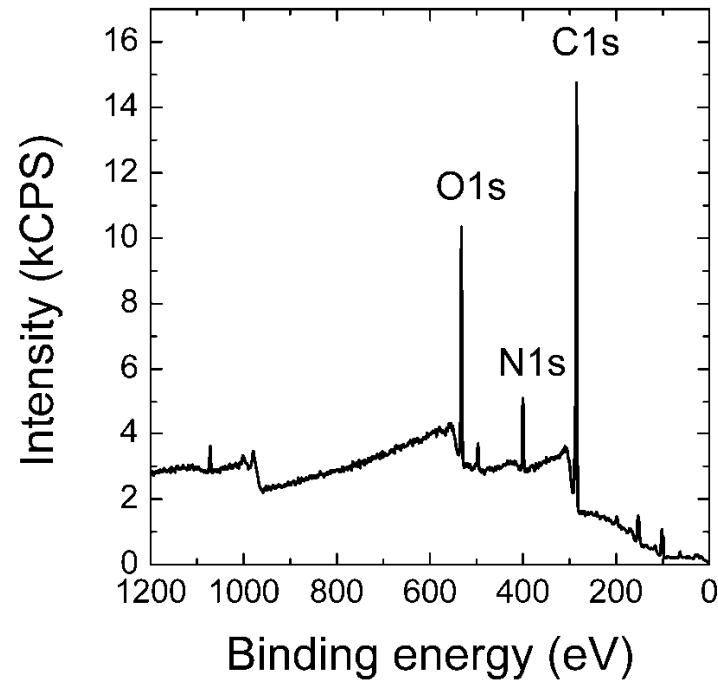
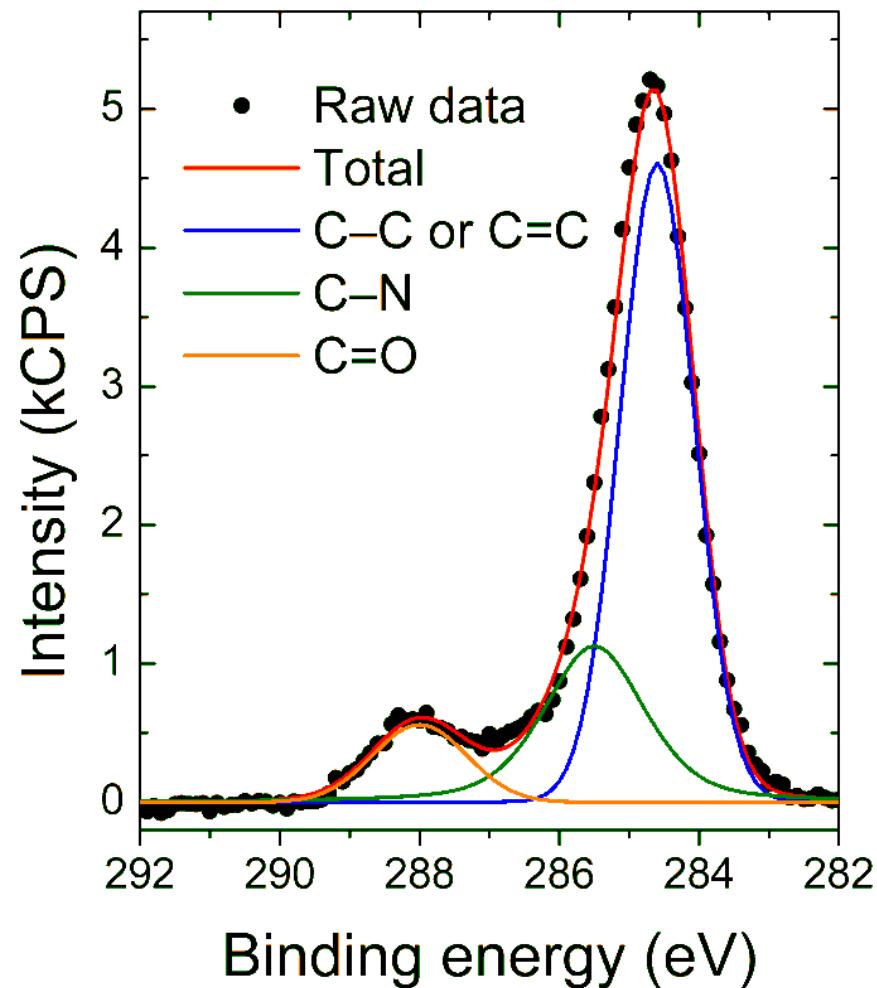
Surface Chemistry: FT-IR

Common Surface Functional Groups:

Alcohols, carbonyls (carboxylic acid, aldehyde), alkenes, amides (from oleylamine), and other unidentified dangling (radical, etc.) bondings



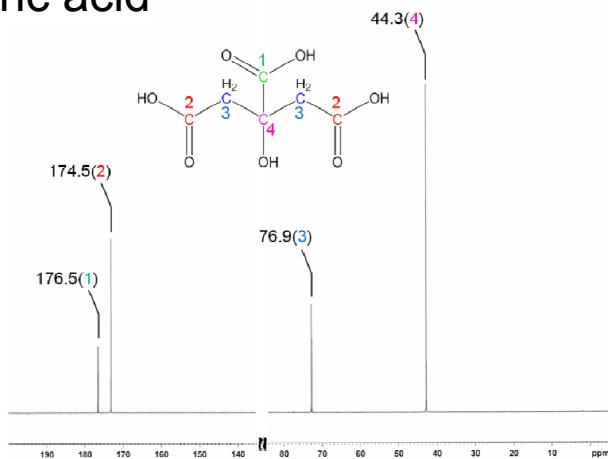
Chemical Structure: XPS



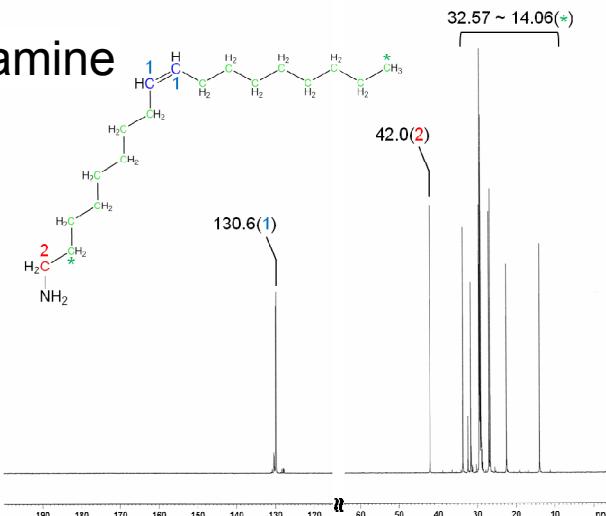
Chemical Composition:
55% carbon (C=C and C-C)
30% oxygen (C=O and C-O)
10% nitrogen (C-N and N-H)
5% other atoms and bondings

Surface Chemistry: ^{13}C NMR

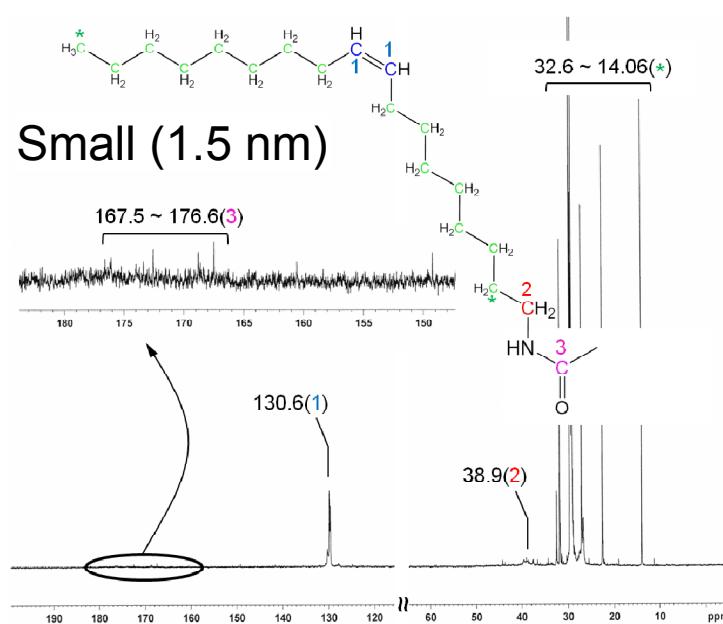
Citric acid



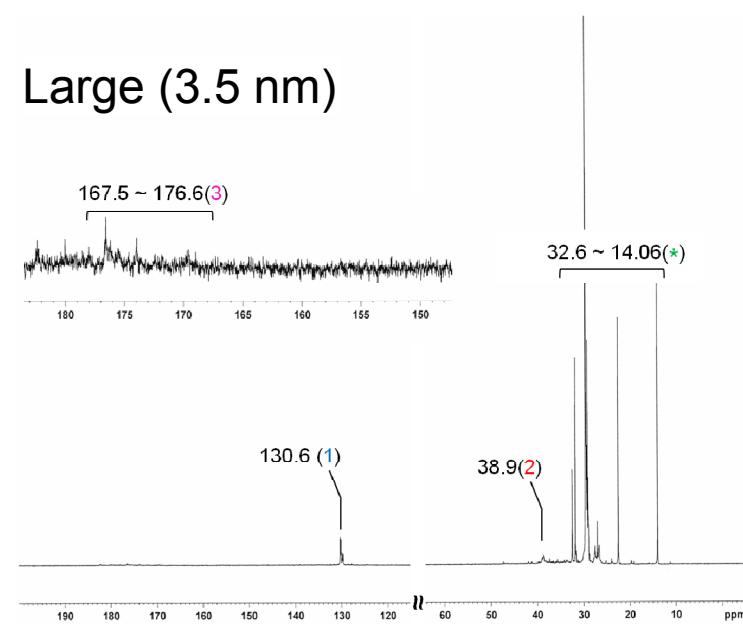
Oleylamine



Small (1.5 nm)



Large (3.5 nm)



Optical Property

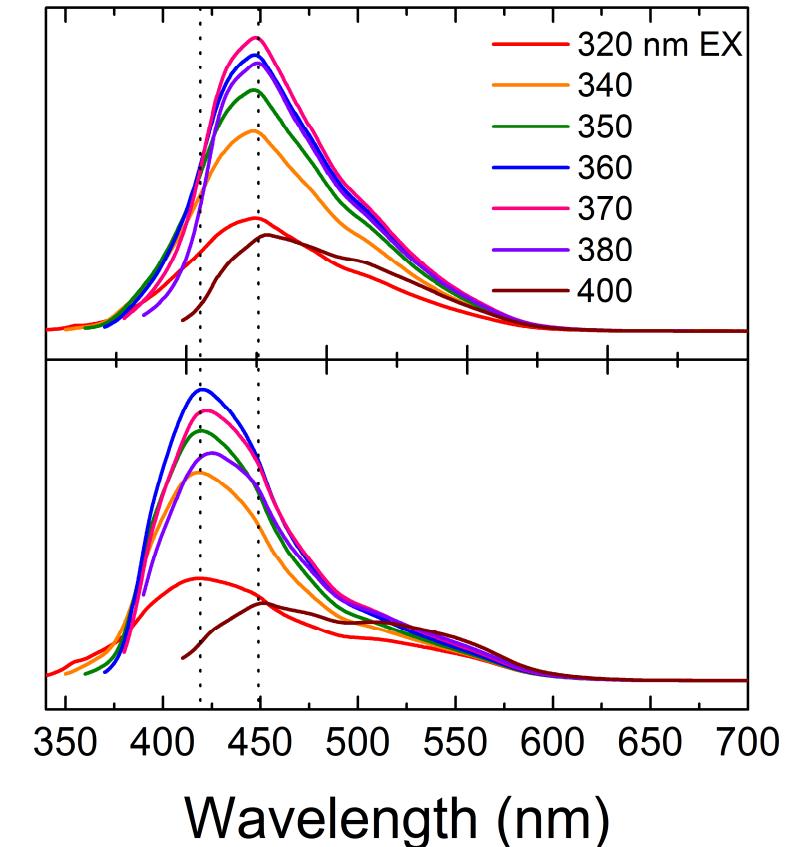
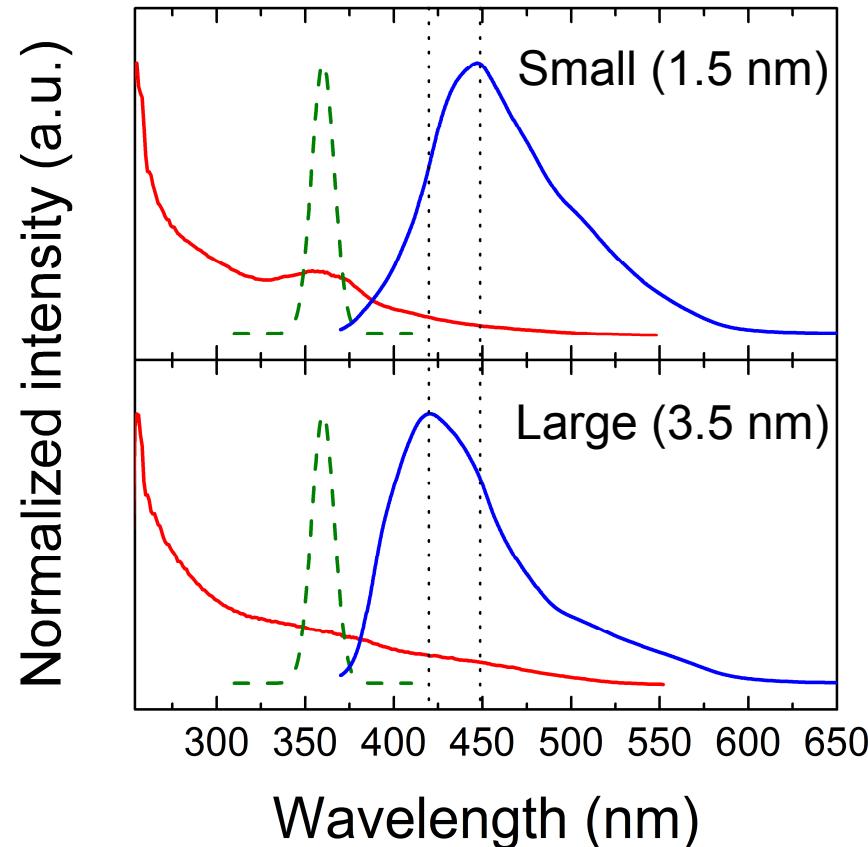
UV-Vis Absorption and Photoluminescence (PL)

NOTE1: "Inverse" PL Shift = "The larger the size, the shorter the PL emission"

NOTE2: Very Broad PL Bands

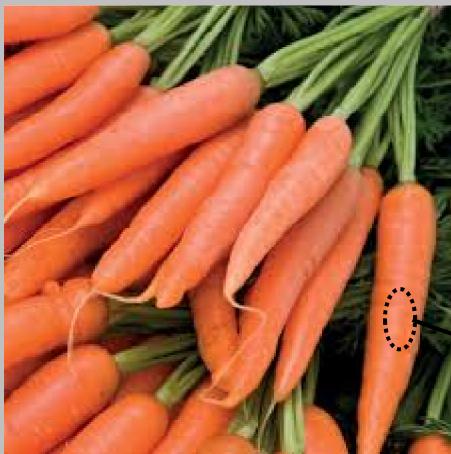
NOTE3: Excitation-Dependent PL

} Complicated Structure and Various Energy Gaps

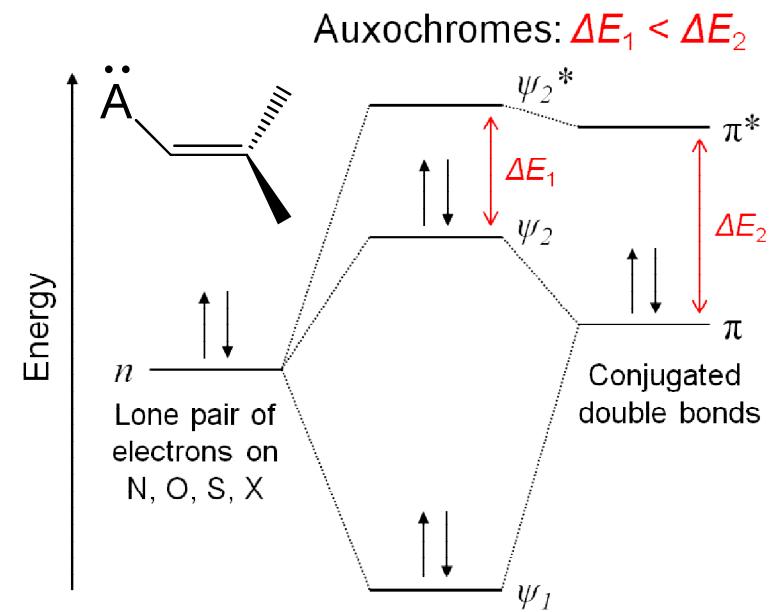
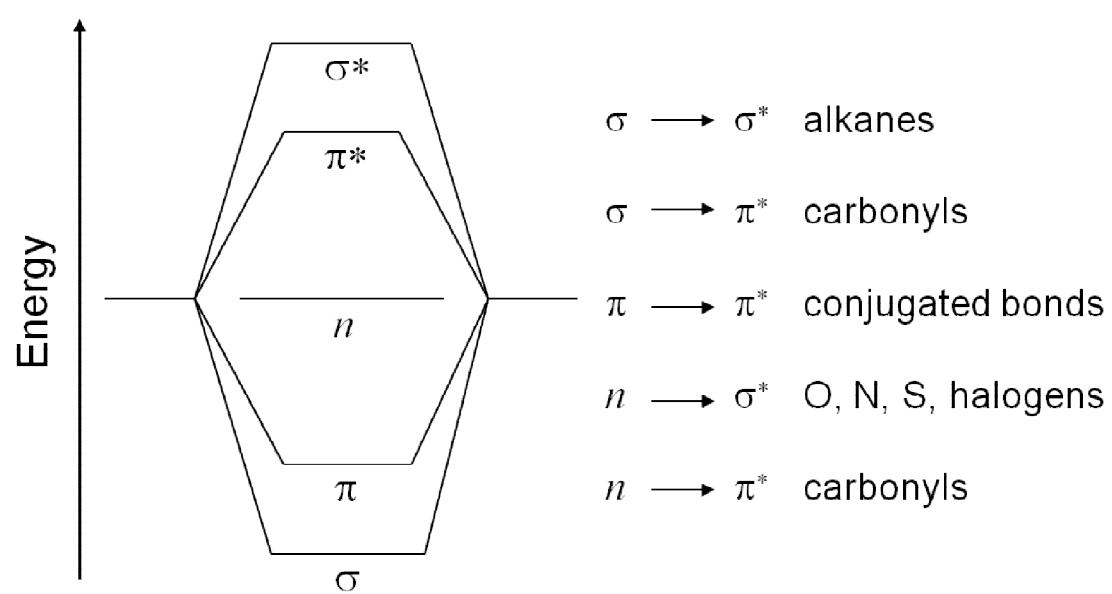
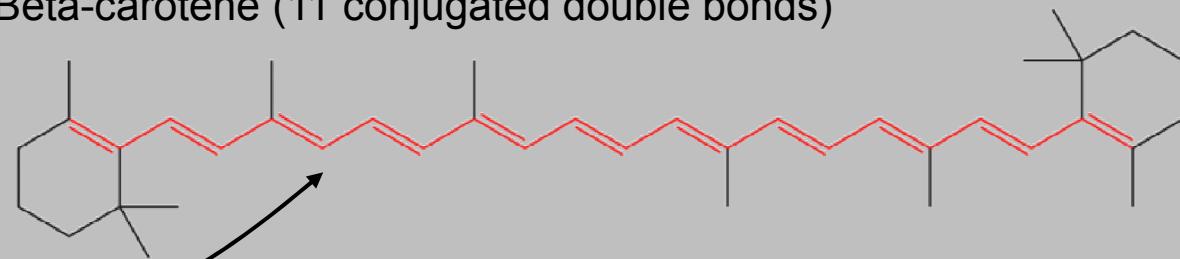


Chromophore

Chromophore: Molecule Responsible for Color



Beta-carotene (11 conjugated double bonds)



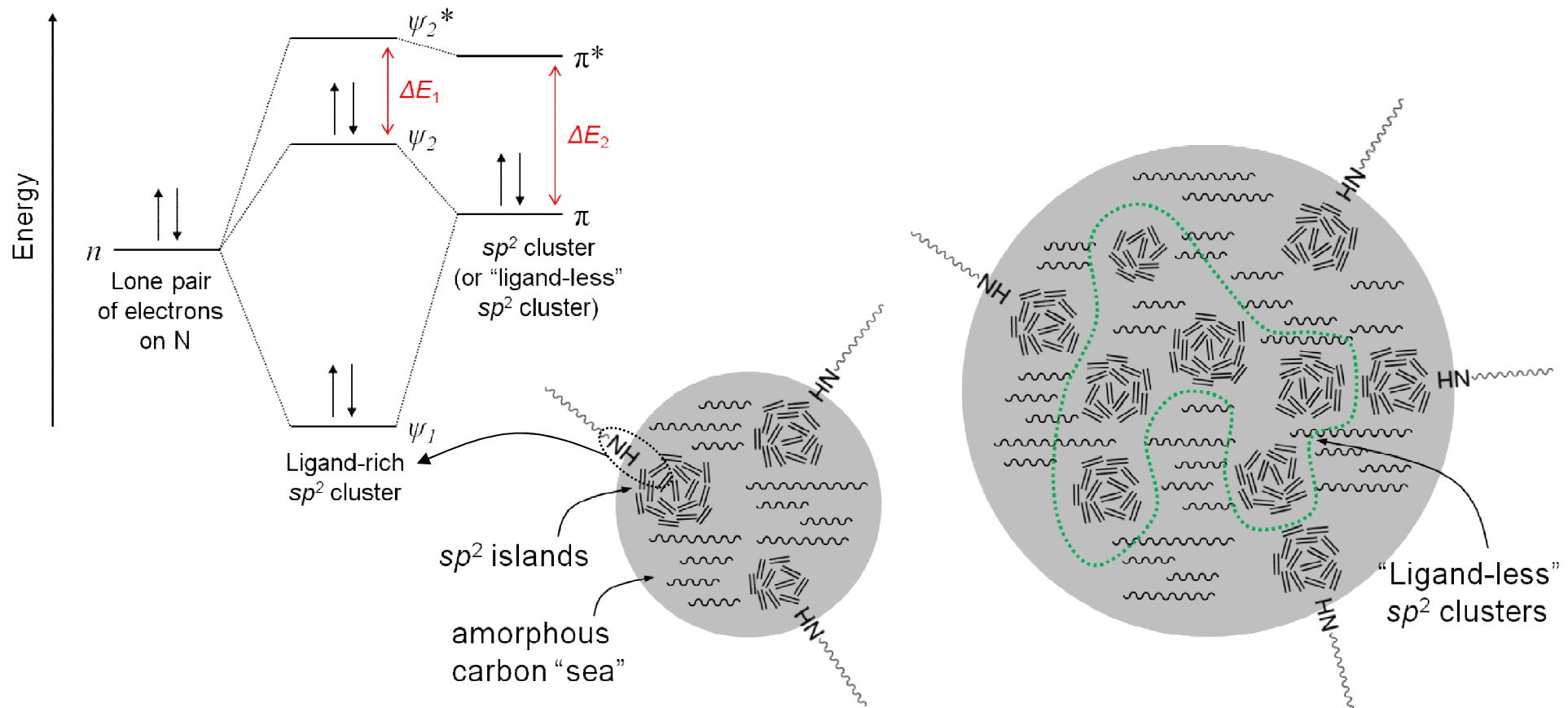
Energy Structure

“Chromophores” = Pi Orbitals Absorbing UV-Visible Light

Many sp^2 bondings (or sp^2 islands) can serve as chromophores

Nitrogen as Auxochrome: Donating the lone pair of electrons to reduce energy gaps

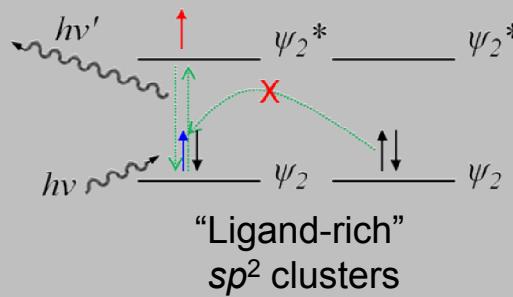
“Ligand-Rich” vs. “Ligand-Less” sp^2 clusters



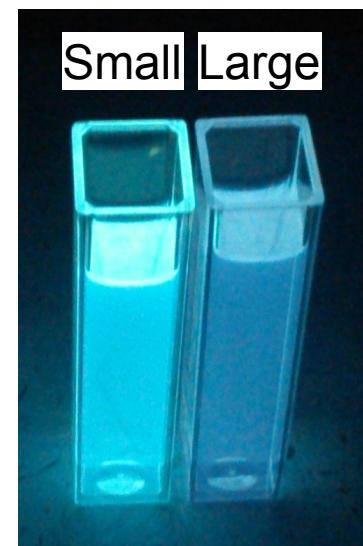
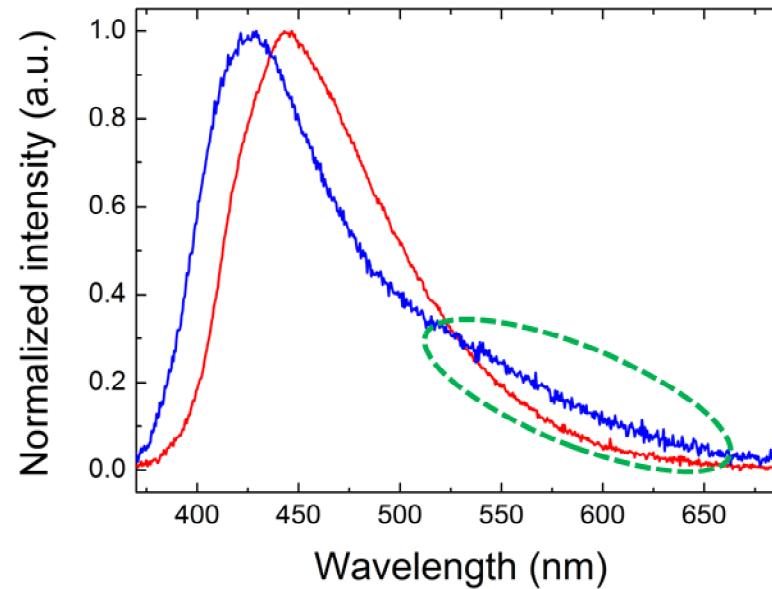
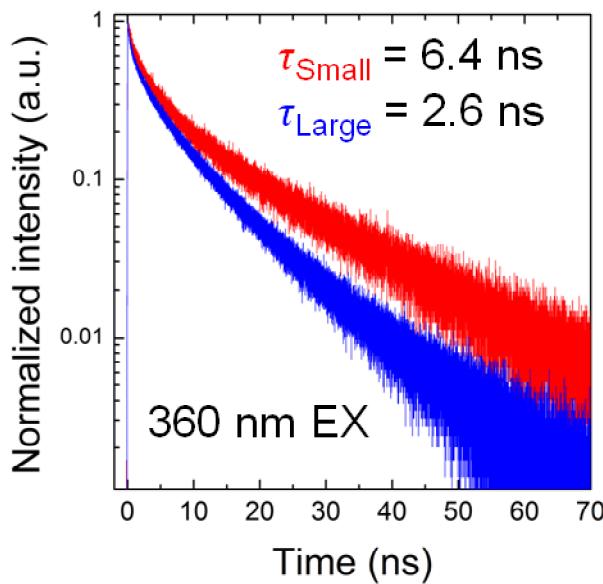
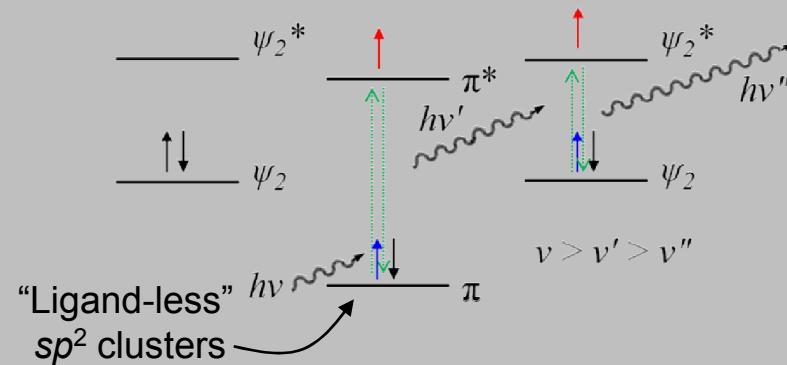
Energy Structure: Energy Transfer

Energy Transfer between “Ligand-Rich” and “Ligand-Less” sp^2 clusters

CASE1: Small Carbon Nanodots
Many of sp^2 clusters are “Ligand-Rich”



CASE2: Large Carbon Nanodots
Just a Part of sp^2 clusters are “Ligand-Rich”



STEP 4

논문쓰기

“처음 쓸 땐 다 힘든 법.”

1. 논문의 구성 요소

일반적인 과학 논문의 구성 요소 (세부 사항은 저널별로 상이)

- Title – 제목
- Authors – 저자들
- Abstract – 요약 (Introduction + Results + Conclusions)
- Introduction – 서론 (연구 주제의 역사, 동기, 목적 소개)
- Results & Discussion – 본론 (실험 결과 분석/토의)
- Conclusions – 결론 (Results 요점 정리, 연구의 의의)
- Experimental – 실험 방법 (구체적인 실험 방법)
- Acknowledgements – 감사의 글 (돈 또는 도움 주신 기관 또는 분들)
- References – 참조문헌 (참고한 논문 목록)

2. 논문 쓰는 순서 (1/2) ※ 개인차가 매우 심함. 자신만의 스타일을 만들자.

1. **Title** – 논문의 제목은 곧 논문의 목표! 어려워도 제목을 먼저 정해보자.
2. **Introduction** – 실험이 조금 진행되고 괜찮은 결과가 나오기 시작하면 남는 시간을 이용해 조금씩 작성하자.
※ 처음 쓸 때 가장 어려운 부분! 다른 사람이 쓴 Introduction을 많이 읽어보면 도움이 된다.

참고 문헌이 가장 많이 쓰이는 곳 또한 Introduction.
참고 문헌은 참고한 곳에 바로바로 메모해 놓자.
3. **Results & Discussion** – 실험과 분석에는 시간이 걸린다. 결과가 모두 모일 때 까지 기다리는 것 보다는 얻은 결과부터 분석해서 차곡 차곡 정리해 놓자.
4. **Conclusions** – 내가 어떤 연구를 했는지, 어떤 핵심적인 결과를 얻었는지, 내 결과의 의미는 무엇인지 기술.

※ 다른 연구자들이 Abstract 다음으로 많이 읽어보는 부분이다.

2. 논문 쓰는 순서 [2/2]

5. **Experimental** – 자세하고 친절하게 실험 방법을 기술.

6. **Abstract** – 논문 전체의 요약. 연구 목적, 동기, 결과, 의미를 기술.

※ Abstract는 내 논문의 얼굴. 거의 모든 사람이 논문을 읽을 때 Abstract를 먼저 본다.

7. **Authors, Acknowledgements** – **교수님과 상의**해서 논문 저자를 결정하자. 개인적인 부탁으로 다른 연구실 학생이 참여했다면 내가 나서서 쟁겨야 한다 (교수님이 모르시는 경우가 대부분). 실험을 도와주셨지만 저자는 아니다? 그럼 Acknowledgements를 이용하자.

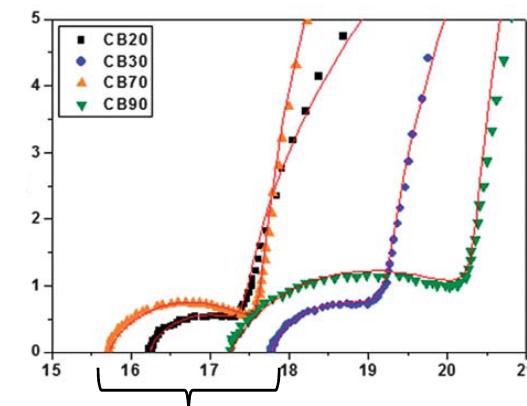
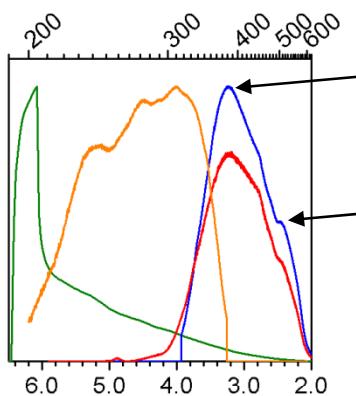
※ 별로 안 중요한 것 같지만 굉장히 중요하다. 도움 주신 분들은 잊지 말고 꼭 쟁겨야 한다.

8. **References** – 참고 문헌 편집은 가장 마지막에. 저널별로 양식이 상이하다.

※ 참고 문헌이 많을 경우 Endnote 등을 이용하면 훨씬 수월하게 작업할 수 있다.

3. 논문 쓸 때 유용한 TIP

영어를 잘 해도 논문 쓰기는 어렵다



좀 더 잘 쓰고 싶으면?

- 많이 써보기
- 많이 읽고 탐나는 표현은 따로 적어두기
- 아래 사이트 참고하기 (Technical English 표현법 모음)

<http://www.phrasebank.manchester.ac.uk/introductions.htm>

4. Submission

“Letter? Article?”

- Letter (= Communication)

뛰어난 (놀라운) 발견에 대한 짧은 논문.

발견했다는 사실 자체의 중요성이 높은 경우. 대부분 분량 제한이 있음.

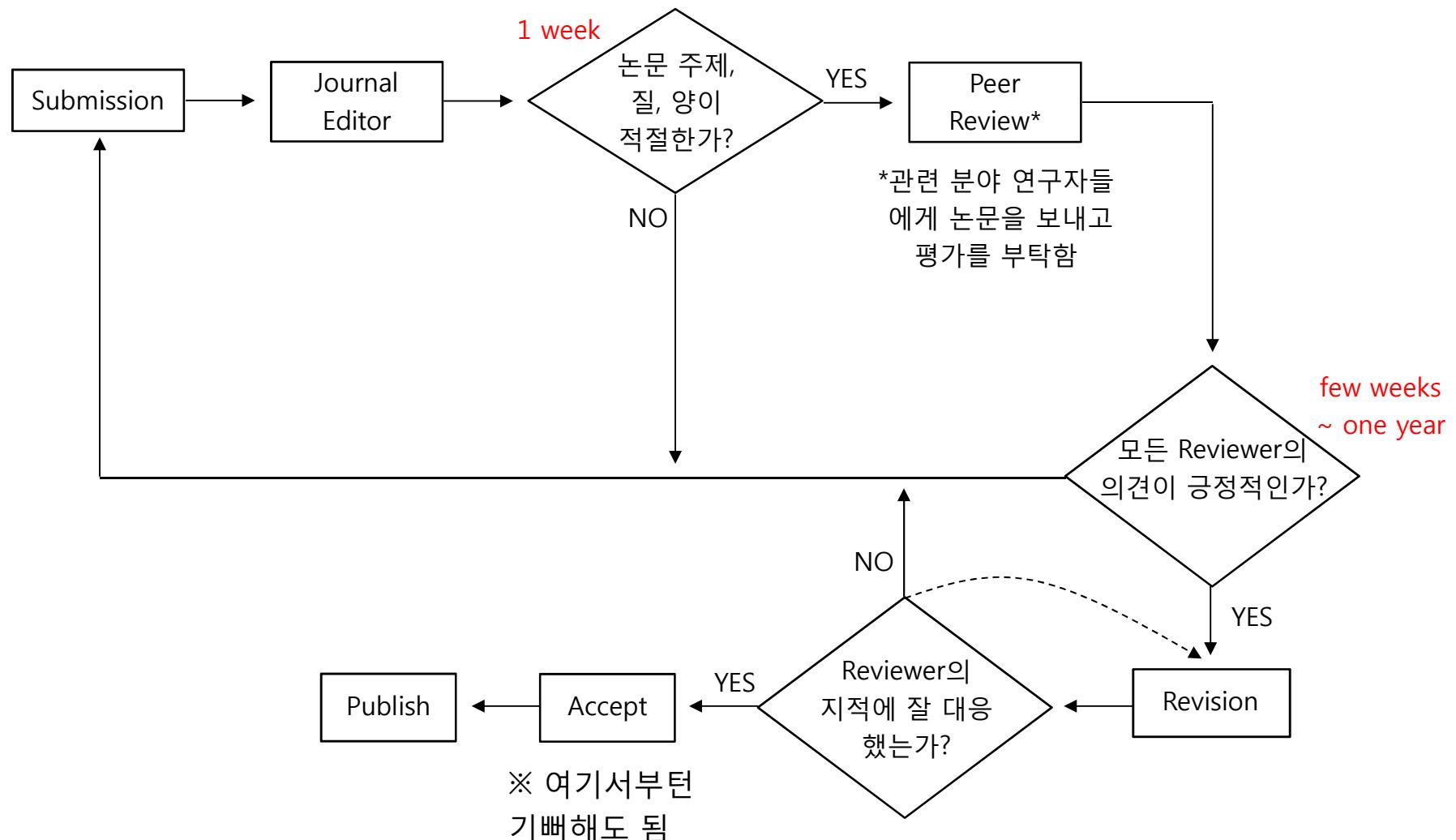
- Article (= Full paper)

특정 분야의 중요한 문제에 대한 깊이 있는 고찰과
해결책을 담은 상대적으로 긴 논문.

“어디에 낼까요?”

- Nature, Science 외에도 세상에는 수많은 저널이 있다.
- 내 연구를 객관적으로 평가해 보자. 어떻게?
- 선행 연구를 읽으며 감을 잡자. “이 정도는 이 저널이군!”

5. Peer Review



6. 빨리 Accept 받기

운이 필요하긴 하지만…

- 주제가 잘 맞는 저널에 내기
- 적절한 수준의 저널 찾기 – 일단 Nature부터?
- Supporting Information 활용하기 – 약점을 보완하자
- Full paper에 비해 Letter의 process가 더 빠른 편

STEP 5

효율적으로 연구하기

“다시 한 번 명심해야 할 것들”

1. 학위 Defense의 마지막 슬라이드

Period: 3.5 Years (1.5 for MS / 2.0 for PhD)		
Salary	$\text{₩}1,500,000 \times 12 \times 3.5 = \text{₩}63,000,000$	
Equipment	Fluorometer	$\text{₩}100,000,000 / 3 \sim \text{₩}30,000,000$
	Spectrophotometer	$\text{₩}5,000,000 / 3 \sim \text{₩}2,000,000$
Analysis Fee	TEM, SEM, XPS, etc.	$\text{₩}20,000,000$
Material Cost	Chemicals, Glass, etc.	$\text{₩}17,000,000$
Total	$\text{₩}132,000,000$	

of Papers (1st Author): 11 (3.14 papers per year; ₩12,000,000 per paper)

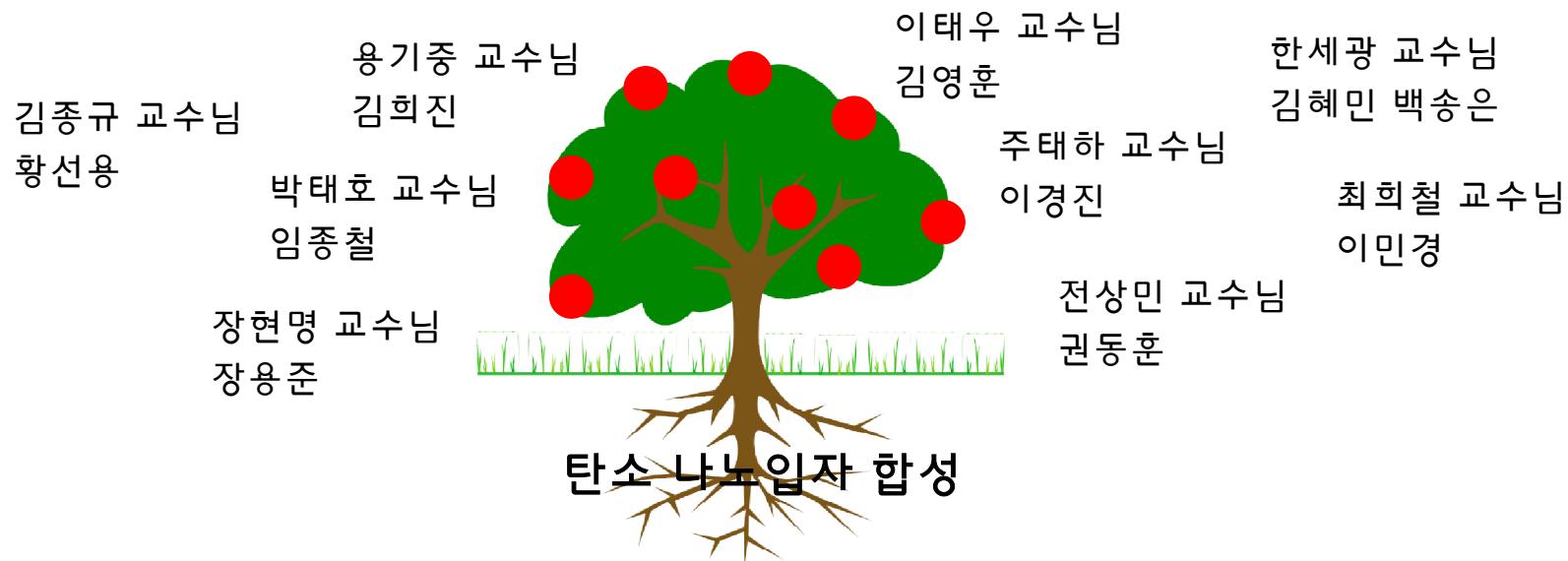
Total Impact Factor: ~70

Total Citation: ~50

2. 효율적인 연구를 위해

나만의 연구 나무 만들기

- 일관성 있는 연구, 이야기(story)가 있는 연구
- 첫 연구부터 지금 하고 있는 연구까지 한 그루의 나무처럼 – 뿌리와 열매
- 뿌리 = 나만 할 수 있는 일, 내가 제일 잘할 수 있는 일 (나의 전문성)
- 열매 = 뿌리가 튼튼하면 알아서 주렁주렁 (연구 결과)
- 혼자라면? 절대 하지 못했을 일



그리고, 나무를 어디에 심을 것인가는? 1년차에 정해진다.

3. The Feynman Algorithm

Feynman 교수의 문제 해결법

1. Write down the problem.
2. Think real hard.
3. Write down the solution.

- 문제를 쓴다.
- 열나게 고민한다.
- 답을 쓴다.

끊임없이 공부하고 끊임없이 생각하기.

4. 보람 느끼기

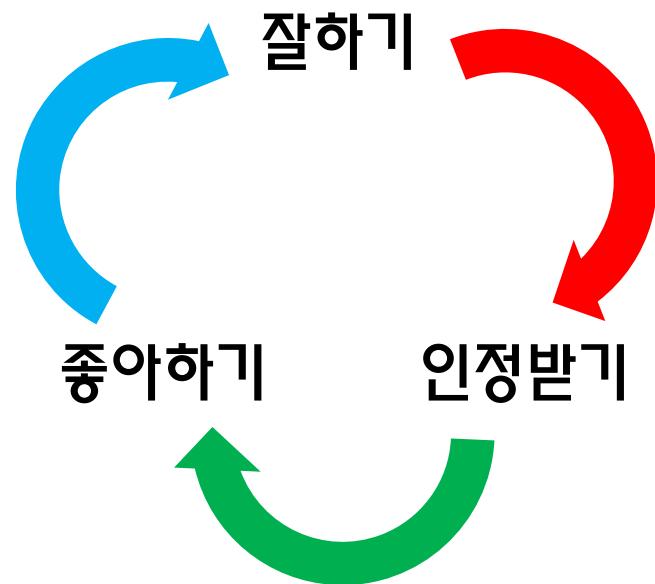
회사 생활에 보람을 느끼기 힘든 이유?

- 일이 재미없다
- 열심히 해도 내 일이 아닌 것 같은 기분
- 특히 분쟁 사례 – 세계 최초의 청색 LED (나카무라 슈지 vs. 니치아 공업)
- 나카무라 슈지의 책 – "좋아하는 일만 해라"

열심히 했으면 보람이 있어야지!

- 대학원 생활의 보람, 어디서 찾으면 좋을까?
- 프로 운동 선수들 – 스포츠는 곧 기록
- 내 연구 = 내 결과 = 내 논문 = 내 업적
- 내가 열심히 했다는 사실을 누구나 알 수 있다면?
- 논문이 곧 보람이다

Positive Feedback Loop



필독 자료

권창현 교수님 (뉴욕주립대) 글

- 박사과정 학생이 유의해야 하는 점
<http://thoughts.chkwon.net/phd-students/>
- 지금 알고 있는 것을 그 때도 알았더라면
<http://thoughts.chkwon.net/phd-advisor-story/>
- 지도교수에게 좋은 이메일 보내는 방법
<http://thoughts.chkwon.net/good-questions-by-email/>

최윤섭 박사님 (KT 종합기술원) 발표 자료

- 내가 대학원에 들어왔을 때 알았더라면 좋았을 연구 노하우
<http://www.slideshare.net/pelexus/ss-11919783> (원본)
<http://www.slideshare.net/pelexus/2013-ust-ot> (개정증보판)

오욱환 교수님 (이화여대) 글

- 학문을 직업으로 삼으려는 젊은 학자들을 위하여
<http://home.ewha.ac.kr/~oookwhan/essay/essay2-toyoung.htm>

Feedback/Questions

- Facebook: Woosung Kwon
- Slideshare: <http://www.slideshare.net/oxtoby112/ss-28589665>

Acknowledgements

- 이시우 교수님, 전상민 교수님
- 김우석, 김혜민