



# 제1회 온드림 임팩트 대학(원)생 학술세미나

어떤 과학으로 아름다운 미래사회를 만들어 갈 것인가?

일시 2015년 11월 21일(토) 11:00 - 17:00  
장소 현대빌딩 별관 B2 (종로구 계동)  
분과 수학/통계학, 물리학, 화학, 지구과학

## 환영의 글

안녕하십니까? 현대차 정몽구 재단 이사장 유영학입니다.

‘제1회 온드림 임팩트 대학(원)생 학술세미나’에 참여하신 여러분을 진심으로 환영합니다.

사회가 빠르게 발전하고 가치관이 변화함에 따라 사회가 요구하는 미래인재상과 교육의 패러다임 또한 크게 바뀌고 있습니다. 그 중 무엇보다도 리더십과 인성, 창의성을 갖춘 인재를 양성하는 것이 우리사회의 지속가능한 발전을 위해 강조되고 있습니다.

이러한 변화 속에서 재단은 2009년부터 장학사업을 통해 우리 사회의 각 분야 핵심 인재들을 발굴하고 양성해오고 있습니다. 기초학문 및 문화예술 분야 등 우수 학생들이 학업에 전념할 수 있도록 학비를 지원하고, 다양한 학술활동에 참여할 수 있는 기회를 제공하고 있습니다.

이와 함께 재단은 장학생들에게 다양한 나눔/봉사활동 참여 기회를 제공하고 독려함으로써 장학생들이 공동체 정신과 배려심을 갖춘 인재로 자라날 수 있을 것을 기대하고 있습니다.

이번 ‘온드림 임팩트 대학(원)생 학술세미나’는 장학생들이 각 분야의 전문가들과 함께 각자의 연구를 통해 어떻게 하면 우리 사회 발전에 기여할 수 있을지, 그리고 살기 좋은 미래사회를 만들어 갈 것인지에 대해 함께 고민해보기 위하여 마련되었습니다.

수학/통계학, 물리학, 화학, 지구과학 등 각 분야 우수 학생들의 학술발표와 전문가들의 강연을 통해 지식의 확장과 발전을 모색하는 소중한 기회가 될 것으로 기대합니다.

감사합니다.

2015년 11월

현대차 정몽구 재단

유영학

## 행사개회

11:00-11:30 이사장님 환영인사

## 기조강연

11:30-12:30 8 [21세기 지식기반사회의 미래인재상] 오세정 교수

## 중식 및 이동

12:30-14:00

## 장학생 및 전문가 발표

14:00-17:00 **수학,통계학**

25 [특이적분작용소 이론의 소개와 그 응용] 권현우 장학생  
44 [스킴(scheme)-대수와 기하의 만남] 김형섭 장학생  
64 [위상공간과 그 응용] 신영광 장학생  
77 [순환 부호를 통한 부호이론에 대한 소개] 두지수 장학생

95 [셈과 결혼문제] 김정환 교수  
97 [수학 기반 스타트업 소개] 김종락 교수

## 물리

110 [Symmetries in theoretical physics] 남궁준 장학생  
128 [팽이의 운동] 강윤구 장학생  
146 [과학 대중화의 과정에서 우리는 어떤 역할을 할 수 있을 것인가] 이세형 장학생  
166 [우주의 근본법칙과 제 3의 눈] 김찬주 교수  
188 [구글신은 모든 것을 알고있다-빅데이터와 복잡계 네트워크] 정하웅 교수

## 화학

195 [An Investigation into Vaccinations' Effectiveness and Their Contributions to Future World Health] 서은진 장학생  
209 [상처가 스스로 치유되는 미래 소재: Self-healing Materials] 왕윤선 장학생  
223 [촉매야, 반응을 부탁해! - 유기합성에서의 촉매의 역할] 정다솔 장학생  
230 [나노 입자의 의학적 응용] 현택환 교수  
255 [이차전지의 현재와 미래] 최장욱 교수

## 지구과학

286 [기후변화에 따른 기상재해 산정] 남채현 장학생  
293 [인류세와 지구환경변화] 변은지 장학생  
309 [관측 및 모델 자료 분석을 통한 과거 천년동안 기후 변동성에 대한 자연 및 인위적 강제력의 역할 연구] 임형규 장학생  
329 [대기화학과 지구환경] 박록진 교수  
342 [대기오염과 기후변화] 김상우 교수

## 기조강연



### [21세기 지식기반사회의 미래인재상]

## 오세정(서울대학교 교수)

#### 경력사항

기초과학연구원(IBS) 초대원장

#### 학력사항

스탠퍼드대학교 대학원 물리학 박사

서울대학교 물리학 학사

#### 수상내역

제2기 한국과학문화재단 닦고 싶고 되고 싶은 과학자

제6회 한국과학상

제4회 한국과학기술단체총연합회 과학기술 우수논문상

## 세션1/ 수학·통계학

### 전문가 발표



#### [셈과 결혼문제]

김정한(고등과학원 교수)

- 연세대학교 석좌교수
- 마이크로소프트 본사 연구소 수석 연구원
- 2006 세계수학자대회 초청강연
- 풀커슨 상 수상(1997)



#### [수학 기반 스타트업 소개]

김종락(서강대학교 교수)

- University of Illinois at Chicago 수학과 박사
- 수학 스타트업 <감성수학 레드> 창업자 및 대표
- 미국 루이빌 대학교 수학과 조교수 및 부교수
- 2005.3: 2004 Kirkman medal (젊은 조합론 학자상. 조합론 및 그 응용 학회(ICA, 캐나다)에서 수여. 유일한 한국인 수상자)

### 장학생 발표

#### [특이적분작용소 이론의 소개와 그 응용]

특이적분연산자 정의와  $L^p$ 유계성을 보이는  
칼데런-지그문드 정리와 편미분방정식과의 연관성  
권현우 (서강대학교 수학과 3학년)

#### [스킴(scheme)-대수와 기하의 만남]

가환환과 아핀 스킴의 관계에 초점을 맞추어,  
대수기하에서 다루는 기본적인 공간 스킴(scheme)소개  
김형섭 (포항공과대학교 수학 석사과정 1학년)

#### [위상공간과 그 응용]

위상공간의 기본적인 정의와 성질을 통해 보는 수학안에 숨겨진 '유통성'  
신영광 (연세대학교 수학과 3학년)

#### [순환 부호를 통한 부호이론에 대한 소개]

정보를 주고 받거나 저장 등의 처리하는 과정에서 발생하는  
오류를 정정하는 코드(ECC)에 대한 소개  
두지수(이화여자대학교 수학과 4학년)

## 세션2/ 물리학

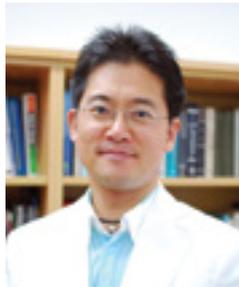
### 전문가 발표



#### [우주의 근본법칙과 제 3의 눈]

김찬주(이화여자대학교 교수)

- 서울대학교 이학박사
- 한국물리학회 백천물리학상 수상 (2006)
- SBS, KEDI, KCUE 공동주관 대학 100대 명강의 선정 (2012):현대물리학과 인간사회의 변혁
- K-MOOC 시범강좌 선정 (2015)



#### [구글신은 모든것을 알고있다 -빅데이터와 복잡계 네트워크]

정하웅(KAIST 교수)

- 서울대학교 대학원 물리학과 이학박사
- 서울대학교 이론물리연구센터 포닥
- 미국 U. of Notre Dam 물리학과 포닥/연구교수
- 동아일보 10년 후 한국을 빛낼 100인 3회선정으로 "명예의 전당"등재

### 장학생 발표

#### [Symmetries in theoretical physics]

이론물리학에서 대칭성 역할

남궁준 (서울대학교 물리학 석사과정 1학년)

#### [팽이의 운동]

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 마찰이 작용하는 팽이의 운동 분석

강윤구 (한양대학교 물리학과 3학년)

#### [과학 대중화의 과정에서 우리는 어떤 역할을 할 수 있을 것인가]

과학 대중화의 필요성과 과학콘텐츠를 통해 살펴본 과학

- 커뮤니케이션 과정에서 우리들의 역할

이세형 (경희대학교 물리학과 3학년)

## 세션3/ 화학

### 전문가 발표



#### [나노 입자의 의학적 응용] 현택환(서울대학교 교수)

- University of Illinois 화학과 박사
- 기초과학연구원(IBS) 단장
- 2012년 호암상 공학상 수상
- Top 100 Chemists of Decade, UNESCO&IUPAC (37th)



#### [이차전지의 현재와 미래] 최장욱(KAIST EEWs대학원 교수)

- 캘리포니아공과대학교 대학원 화학공학 박사
- 2015년 한국과학기술정보연구원(KISTI)주관 제 7회 지식창조대상 수상
- 미국 스탠퍼드대학교 박사후 연구원
- 미국 시카고대학교 박사후 연구원

### 장학생 발표

#### [An Investigation into Vaccinations' Effectiveness and Their Contributions to Future World Health]

서은진 (한양대학교 화학과 2학년)

#### [상처가 스스로 치유되는 미래 소재: Self-healing Materials]

우리 몸의 작은 상처가 스스로 치유되는 것처럼 사물이 스스로 회복될 수 있을까?  
미래의 세상에나 있을 법하게 들이지만 실제로 존재하고 연구되고 있는 자가치유소재  
왕윤선 (KAIST 화학 박사과정 3학년)

#### [촉매야, 반응을 부탁해! - 유기합성에서의 촉매의 역할]

Palladium 촉매를 이용한 다양한 반응연구와 그 의미  
정다솔 (이화여자대학교 화학과 4학년)

## 세션4/ 지구과학

### 전문가 발표



#### [대기화학과 지구환경]

##### 박복진(서울대학교 교수)

- 서울대학교 대기과학 학사
- 메릴랜드대학교 대학원 대기과학 박사
- 하버드 연구원



#### [대기오염과 기후변화]

##### 김상우(서울대학교 교수)

- 서울대학교 지구과학환경과학부 이학박사
- 프랑스 국립기후환경연구소(LSCE) 박사후 연구원
- 미국 대기해양청(NOAA) 방문연구원
- 세계기상기구(WMO) 지구감시프로그램(GAW) 과학자문위원회 위원

### 장학생 발표

#### [기후변화에 따른 기상재해 산정]

기후변동성과 기후변화에 대한 과학적 지식과 방법론으로 재해와 사회에 미치는 영향을 연구하는 것의 필요성

남채현 (서울대학교 지구과학 석사과정 1학년)

#### [인류세와 지구환경변화]

‘인류세’라는 용어가 지니는 의미와 지구환경변화 연구의 중요성

변은지 (서울대학교 지구과학 석사과정 3학년)

#### [관측 및 모델 자료 분석을 통한 과거 천년동안 기후 변동성에 대한 자연 및 인위적 강제력의 역할 연구]

임형규 (포항공과대학교 지구과학 박사과정 1학년)

# 기조강연

[21세기 지식기반사회의 미래인재상]

오세정 (서울대학교 교수)

# 21세기 지식기반[창의] 사회의 미래 인재상

2015년 11 월 21일  
제 1회 온드림 임팩트 학술세미나

## 오 세 정

- 서울대학교 물리천문학부 교수
- (전) 기초과학연구원(IBS) 원장
- (전) 한국연구재단(NRF) 이사장

## 1. 미래 사회의 발전 방향

### 21세기 사회의 발전 방향

#### 정보화 사회 (Alvin Toffler)

농경사회

▶  
산업혁명

산업사회

▶  
정보혁명

정보화사회

▶  
제3의물결

#### 지식기반 사회 (Peter Druker)

지식의 생산(production), 유통(distribution), 활용(use)이  
경쟁력의 핵심요인이 되는 사회



# 목 차

- 1 미래 사회의 발전 방향
- 2 21세기 지식기반(창의)사회에 필요한 인재상
- 3 지식의 융합(통섭)과 학문의 미래
- 4 과학자의 창의성
- 5 한국은 노벨 과학상을 받을 수 있을까 ?
- 6 결 언

## 1. 미래 사회의 발전 방향

### ● 지식기반 사회의 특징

- 생산요소 : 노동+자본+토지 ➡ (노동+자본)+지식
- 새로운 성장주도산업(지식기반 제품과 서비스 교역)의 부상
- 지식·정보·기술확산·네트워크의 중요성 증대
- 고속련 인력에 대한 수요 급증
- “표준화”의 중요성
  - 세계적 “최고”만이 살아남는 구조(예: Microsoft 社)
- 10:90의 사회

2. 지식기반(창의)사회에 필요한 인재상

● 지식기반(창의) 사회에 필요한 인재상

◆ 탄탄한 기초학문의 실력

- 평생 학습사회 (Learning Society)
- 새로운 지식을 받아드릴 수 있는 기초 소양 필요
- 한 분야의 전문가가 되어야 함 (평생직장 ➡ 평생직업)
- 급격한 기술발전에 따라갈 수 있는 기초과학 지식 중요  
(예: 유선통신 ➡ 무선전화)

◆ Global Citizen 으로서의 의식과 책임감

- 외국어 구사 능력
- 다문화 (다문화)를 이해하고 수용하려는 자세
- Global Problems 의 이해와 해결 의지
- 세계인과의 유대감

2. 지식기반(창의)사회에 필요한 인재상

● 지식기반사회(창의) 에 필요한 인재상 (cont'd)

◆ 과학적 지식 풍부

- 금융, 경영, .... 등에서도 고도의 과학적 지식 필요
- Solving Global Problems requires Scientific Knowledge

◆ 창의적이고 적극적으로 변화를 추구하는 성품

- 과거의 單線的 社會조직은 붕괴되고, 다양성의 社會가 출현할 것임
- 자기 나름대로의 독특한 idea와 상상력을 가진 사람 (커다란 꿈)
- 급변하는 社會를 앞서가는 능력이 중요 (변화 선도)

◆ 융합형 인간

- 미래사회 의 문제는 복잡성(Complexity)을 띄게 되어, 학제간 연구가 중요해 질 것임.
- 다양한 전공과 배경을 가진 사람들과 협동할 수 있는 능력 (Networking, RT)

### 3. 지식의 융합과 학문의 미래

#### ● 미래 학문의 발전 방향 – “통섭”

- ◆ “매일매일 우리를 괴롭히는 쟁점들 중 대부분, 예컨대 인종 갈등, 무기 경쟁, 인구 과잉, 낙태, 환경, 가난 등은 자연과학적 지식과 인문·사회과학적 지식이 통합되지 않고는 해결할 수 없다.  
학문의 경계를 드나드는 것만이 실제 세계에 대한 명확한 관점을 제공할 것이다.”  
(Edward. O Wilson, 1998, *Consilience : The Unity of Knowledge* 최재천 역)
- ◆ “나는 이제 우리가 진리의 행보를 따라 과감히 그리고 자유롭게 학문의 국경을 넘나들 때가 되었다고 생각한다. ... 그 동안 우리는 이른바 학제적 (interdisciplinary) 연구하는 걸 한답시고 적지 않은 시도들을 해 왔다. 하지만 우리의 노력의 대부분은 단순히 여러 학문 분야의 연구자들이 제각각 자기 영역의 목소리만 전체에 보태는 다학문적 (multidisciplinary) 유희에 지나지 않았다.  
이제는 진정 학문의 경계를 허물고 일관된 이론의 실로 모두를 꿰는 범학문적 (transdisciplinary) 접근을 해야 할 때가 되었다.”  
(최재천, 2005, *통섭*)

### 3. 지식의 융합과 학문의 미래

#### ● 학교의 사회적 의미 - 학교의 역할은 지식 전수만이 아니다

- Social dimension of university life is an important part of personal development. (William Breckenridge, "The University of 2015", 2002)
- “진실을 말한다면, 직장을 구하는데 있어서 **대학 교육이 갖는 진정한 가치는 대학에서 배운 것보다 대학에서 만난 사람과 더 큰 관계가 있다...** 아이비리그 대학의 교육이 다른 곳보다 뛰어난 점이 있다면, 웅장한 도서관이나 교수들의 능력보가는 대학에서 얻게 되는 인맥 쪽일 것이다.”  
“**특출한 재능을 가진 학생들이 점점 더 몇 개의 명문대학으로 몰리고 있다. 이들은 서로의 재능과 야망을 가지고 서로에게 도움을 줄 뿐만 아니라, 학교를 통해서 얻는 풍부한 인맥은 한층 더 좋은 일자리로의 안내자 역할을 해준다. 이들의 성공은 그 학교 브랜드 가치의 상승을 가져오고, 이 사이클은 지속된다.**”  
(Robert B. Reich, 2001, *부유한 노예*)

3. 지식의 융합과 학문의 미래

● 학교에서 배우고 가르쳐야 할 것

□ Global Leadership

- 국제화 교육 기회 이용
- Global Problems에 대한 관심을 가질 것
- 해외 봉사활동 등을 통한 세계인과의 유대감 고양



□ 기초학문 실력 양성

- 문학, 역사, 철학의 전통적인 인문사회 교양과 기초과학 실력 강화
- 타인과의 소통 (communication) 능력 양성
- 창의력과 상상력 고취



□ 탄탄한 과학적 기초지식 습득

- 문과 학생들에게도 최소한의 과학 교육 필수적
- 에너지, 환경, 보건 문제 등에 관한 의식 고양



3. 지식의 융합과 학문의 미래

● 학교에서 배우고 가르쳐야 할 것(cont'd)

□ 다학제적 (학문 융합적) 소양 함양

- 학문의 경계를 넘나드는 자유로운 태도 기를 것
- 복수전공, 연합전공, 자유전공제 이용
- 궁극적으로 문과와 이과의 전통적 구분을 뛰어 넘어야



□ 배움의 공동체적 환경 형성

- 학교의 역할 (지식의 전수 + 공동체적 생활 환경)
- 토론식 수업과 동료 간의 소통 문화 개선



#### 4. 과학자의 창의성

##### [ 천재과학자 창의성의 예 ]

- 아인슈타인 : 상대성이론  
(시간의 절대성 부정, 시간과 공간이 유기적으로 연관되어 있음을 밝힘 - 4차원의 세계)
- 뉴턴 : 운동법칙, 중력법칙, 미적분  
(근대과학의 효시 : 천상의 법칙과 지상의 법칙이 같다)

그러나 이러한 과학혁명이 일어나려면, 종전 이론에 따라 자연현상을 해석하려는 '정상과학'의 업적이 필요함

#### 4. 과학자의 창의성

##### [ '천재' 과학자들의 특징 ]

: 영감을 얻었을 때의 "Eureka Moment" 가 있음  
(무의식과 의식적 사고의 접합 순간)

- 파인만 : "그것은 자연이 어떻게 돌아가는지 내가 깨달은 순간이었다... 그것은 우아하고 아름다웠다. 그 빌어먹을 것은 광채에 쌓여있었다."
- 하이젠베르크(독일의 물리학자) : "처음에 나는 깊은 각성을 경험했다. 내가 원자 현상의 표면을 뚫고 이상하고 아름다운 내부를 보고 있다는 느낌이 들었고, 자연이 관대하게도 펼쳐 보여준 풍부한 수학적 구조를 탐사하게 되리라는 생각에 거의 아찔함을 느꼈다."
- 와인버그(미국의 물리학자) : 노벨상 아이디어를 얻는 순간을 "Facing Up" 이라는 책에서 자세히 기술

#### 4. 과학자의 창의성 - 보통과학자의 창의성

小柴昌俊

고시바 마사토시



- 입자검출기 "카미오칸데 (Kamiokande)"를 만들어 우주에서 날아오는 소립자의 하나인 중성미자 (neutrino)를 관측함
- "중성미자 천문학"이라는 분야를 창시하여 "우주를 향하는 새 창을 열었다"는 평가를 받음
- 10년 가까이 언제 가능할지 모르는 중성미자 관측을 위해 폐광 1,000 미터 지하에 Kamiokande 실험시설을 건설함 (1987년에 17만광년 떨어진 초신성 1987A 폭발 때의 중성미자 검출에 성공)

#### 4. 과학자의 창의성 - 보통과학자의 창의성

Mendell

멘델



- 1853년 수도원에서 완두콩을 이용한 교배실험을 하여 13년간의 노력 끝에 '멘델의 유전법칙'을 발견하였고, 유전학의 창시자임
- 13년에 걸친 연구결과를 1865년 학회에서 발표하고 1866년 학회지에 "식물 교잡에 관한 실험"이라는 제목으로 게재 하였으나, 당시에는 학계에서 무시되어 사장됨
- 결국 35년 후 네델란드의 그 프리이스(Hugo de Vries), 독일의 코렌스 (Karl Corrence), 오스트리아의 체르마크(Erich Tschermak) 라는 3명의 식물학자가 각자 독자적으로 재발견함으로써 "멘델의 법칙"은 사람들에게 알려지게 됨.

자신의 독창적인 아이디어를 믿었고,  
실험으로 증명하기 위해 오랫동안 집요하게 노력함

#### 4. 과학자의 창의성-보통과학자의 창의성

# barbara McClintock

## 바바라 맥클린토크



- 1983년 이동성 유전인자 (jumping gene)을 발견한 공로로 노벨 생리의학상을 단독으로 수상
- 옥수수 유전학 연구를 1940년 - 1950년대에 수행하고 학회에서 여러 번 발표하였으나, 당시 학계가 그 결과를 인정하지 않 하였을 뿐만 아니라 심지어 적대적인 반응까지 보여 1953년 이후에는 연구 결과를 발표하는 것을 중지
- 그러나 이 연구는 1960년대 이후에 프랑스의 Francois Jacob 과 Jacques Monod 를 비롯한 여러 유전학자들에 의하여 재조명을 받게 되었고, 결국 노벨상을 타게 됨
- 맥클린토크 자신은 “다른 사람들이 인정해 주는 것은 중요하지 않다. 내가 이 연구를 할 때 다른 과학자들이 그 결과를 쉽게 인정해주지 않을 것이라는 것을 알고 있었다. 하지만 자기가 옳다는 것을 확신하고 있을 때, 남들이 어떻게 생각하는지는 중요하지 않았다.” 라고 말한 바 있음.

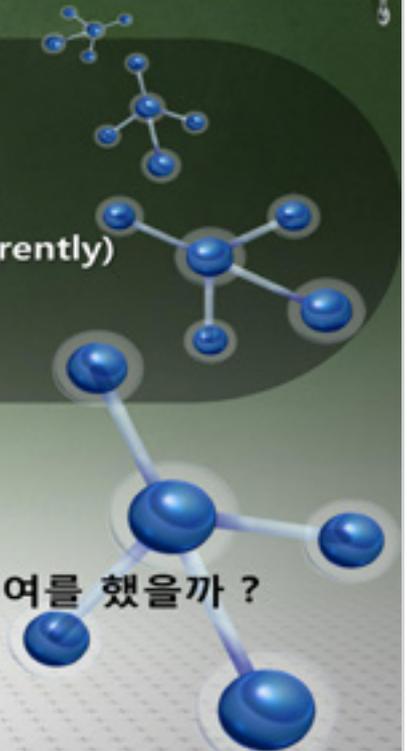
#### 4. 과학자의 창의성-보통과학자의 창의성

### [ '보통' 과학자들의 특징 ]

- 실험이나 관측을 통해 업적을 남김
- 다른 사람이 하지 못한 독특한 생각 (Think Differently)
- 독특한 생각을 우직하고 일관성 있게 추구함

✓ '천재' 과학자 VS. '보통' 과학자

✓ 과연 어떤 사람들이 과학의 발전에 더 큰 기여를 했을까 ?



#### 4. 과학자의 창의성 - 보통과학자의 창의성

요즘 과학분야 창의성에 관심은 많은데, 주로 천재적 창의성에 집중됨  
하지만 '정상과학' 시대에 중요한 과학적 업적을 낼 수 있는  
'보통' 과학자들의 창의성도 이에 못지않게 중요함

##### [ '보통' 과학자들이 위대한 업적을 내는 이유 ]

1. 중요한 문제의 핵심을 꿰뚫어 볼 수 있는 과학적 통찰력 발휘
2. 자신의 독창적인 생각을 꾸준히 추구함

#### 4. 과학자의 창의성 - 현대 과학자들에게 필요한 창의성

과  
거

1. 문제의 핵심을 꿰뚫어 보는 과학적 안목
2. 시각적 이미지와 풍부한 과학적 직관의 이용
3. 본인의 독창적인 아이디어를 우직스러울 만큼 추구하는 '일관성'  
: 혼자 또는 소규모연구팀의 형태

➡ 한 사람의 창조성이 결정적 역할을 하였음

현  
재

**추가적 요소:** 과학의 급속한 발전 및 연구현장이 다양해  
짐에 따라 과학자들의 협동연구가 필요

➡ 과학자들의 '소통의 능력' 이 중요해짐  
(집단지성의 시대)

#### 4. 과학자의 창의성-현대 과학자들에게 필요한 창의성

##### [ 미래 과학자들에게 필요한 것 ]

1. '맞는 답' 이 아닌 '새롭고 독창적인 의견'을 내고  
(유대인들의 '후즈파' 정신)
2. 어릴 적부터 토론하는 습관을 익히고
3. 연구현장에서는 독창적인 아이디어를 추구 할 수 있는 여건을 마련

우리나라에서도 오래 걸리고 실패할 수 있는 과제를  
아이디어만 좋으면 지원할 수 있을 때,  
진정 창의적인 연구결과가 나오고  
그토록 바라던 노벨 과학상도 받을 수 있을 것임.

#### 5. 한국은 노벨상을 받을 수 있을까?

### 한국은 노벨 과학상을 탈 수 있는가?

(한국 기초과학 연구의 수준)

##### 1. 노벨 과학상 수상 분포

- 전세계에서 28개국 이 노벨 과학상 배출

##### 2. 국가별 논문 발표 수

- 세계 12위(2013년) (최근 10년간 증가율 세계 2위)
- 논문당 피인용 횟수는 세계 32위

##### 3. 서울대 화학과·물리학과와 MIT-Stanford 와의 비교

- 교수 1인당 논문 발표수는 비슷하거나 약간 우위
- 피인용도는 60%~70% 수준

##### 4. 개인별 업적

- 일본의 경우 근대 과학 도입 후 3세대 과학자들이 노벨상 수상하였음.

## ● 한국 기초과학 연구의 수준

### 과학기술 논문색인 SCI(Science Citation Index) 개요

- Thomson Reuters에서 수집·정리하는 과학기술분야 학술잡지에 게재된 논문데이터
  - 현재 16,000종의 학술지, 도서 및 학술대회 논문집 등의 Data 보유
  - ※ 이중 SCI는 엄격한 기준에 따라 매년 3,700~5,900여종의 핵심과학저널을 엄선하여 논문색인 구성
- SCI 수록논문은 세계적 권위를 인정받고 있는 것으로 SCI 게재논문수는 한 나라의 기초과학수준을 가늠하는 척도로 활용
  - ※ NSI는 SCI DB를 기반으로 1981년 이후 발표한 논문의 수 및 동논문의 인용정보 통계자료로 재가공한 것으로 국가간 과학기술 성취도 비교등에 사용

量的인 지표: 논문발표 수  
(NSI 데이터베이스 기준)

- 양적 평가: 2013년 현재  
총51,051편 으로 세계 12위

質的인 지표: 논문의 피인용도

- 질적 평가: 2013년도 현재 발표  
논문당 5년주기 평균 피인용횟수는  
4.55회로 세계 32위

## □ 주요국가별 발표논문수 및 순위 [2010~2013]

국가명	2010		2011		2012		2013		Share (%)
	논문수	순위	논문수	순위	논문수	순위	논문수	순위	
미국	338,784	1	354,486	1	373,224	1	378,625	1	27.01
중국	135,375	2	157,545	2	187,766	2	219,281	2	15.64
영국	93,092	3	97,834	3	104,714	3	109,026	3	7.78
독일	88,420	4	93,541	4	100,048	4	102,271	4	7.30
일본	72,882	5	76,099	5	77,827	5	78,447	5	5.60
프랑스	63,601	6	66,283	6	69,316	6	70,732	6	5.05
캐나다	54,756	7	57,263	7	61,342	7	62,804	7	4.48
이탈리아	51,453	8	53,476	8	58,450	8	61,963	8	4.42
스페인	44,688	9	49,095	9	53,967	9	55,096	9	3.93
인도	40,905	10	45,485	10	48,685	12	51,660	11	3.69
한국	39,843	11	44,718	11	49,374	10	51,051	12	3.64
호주	39,559	12	43,441	12	48,965	11	53,296	10	3.80
브라질	31,639	13	34,210	13	38,084	13	38,523	13	2.75
네덜란드	30,948	14	32,975	14	36,238	14	37,570	14	2.68
러시아	26,836	15	28,281	15	28,317	15	29,077	15	2.07
대만	23,834	16	26,648	16	27,639	16	27,699	16	1.98
스위스	22,239	17	24,152	18	26,281	17	27,325	17	1.95
터키	22,163	18	23,294	17	25,374	18	25,510	18	1.82

## □ 세계 주요 대학별 논문수 및 순위 [2008~2011]

순위	대학명	논문수	순위	대학명	논문수	순위	대학명	논문수	순위	대학명	논문수
1	Harvard Univ.	56,995	12	Univ. Penn	22,576	23	Univ. Florida	19,412	34	MIT	17,491
2	Univ. Toronto	31,930	13	Columbia Univ.	22,194	24	Duke Univ.	19,288	35	Zhejiang Univ.	17,379
3	Univ. Tokyo	28,559	14	UC San Diego	21,235	25	UC Berkeley	19,100	36	Katholieke Univ. Leuven	17,273
4	Univ. Michigan	28,402	15	Kyoto Univ.	20,927	26	UC Davis	19,027	37	Univ. Melbourne	17,195
5	Johns Hopkins Univ	27,215	16	Imperial College London	20,812	27	Seoul Natl Univ.	18,960	38	Natl Taiwan Univ.	17,171
6	UCLA	26,674	17	Univ. São Paulo	20,612	28	UC San Francisco	18,790	39	Northwestern Univ.	16,783
7	Univ. Washington	25,562	18	Univ. Minnesota, Twin Cities	20,586	29	Yale Univ.	18,360	40	McGill Univ.	16,767
8	Univ. Oxford	24,707	19	Univ. Wisconsin-Madison	20,304	30	Ohio State Univ.	18,096	99	Yonsei Univ.	11,352
9	Stanford Univ.	24,490	20	Univ. British Columbia	20,221	31	Univ. Copenhagen	17,994	137	Korea Univ.	9,234
10	Univ. College London	23,443	21	Univ. Pittsburgh	19,825	32	Univ. Pierre & Marie Curie	17,914	172	Sungkyunkwan Univ.	8,274
11	Univ. Cambridge	22,622	22	Cornell Univ.	19,448	33	Penn State Univ.	17,581	204	KAIST	7,338

※ Source : CWTS Leiden Ranking 2013

## □ 피인용도 현황

- 2013년 현재 논문당 5년주기별 평균 피인용횟수는 4.55회로 세계32위 세계평균(5.32)의 약 85.5% 수준이지만 지속적으로 수준이 향상되고 있음.

<우리나라 5년주기별 과학기술논문 평균 피인용횟수>

년도	05년-09년	06년-10년	07년-11년	08년-12년	09년-13년
논문1편당 평균인용횟수	3.76	3.87	4.09	4.31	4.55
순위	30	32	30	32	32

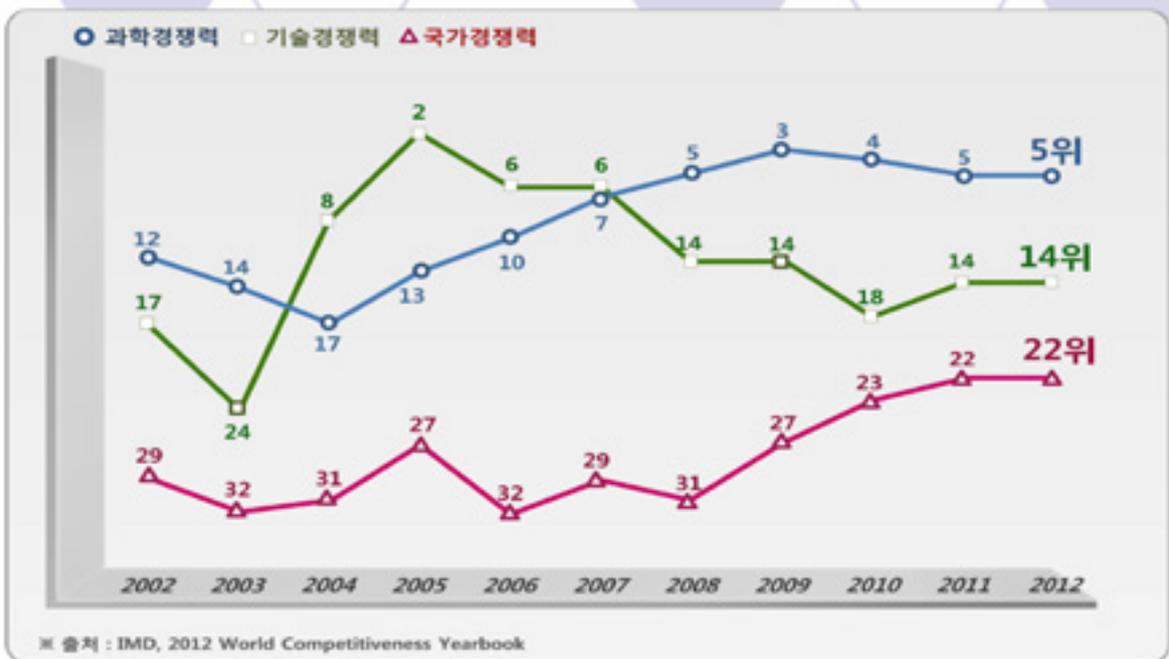
※ 발표논문수 10,000편 이상의 국가를 대상으로 한 것임

※ 참조자료 : 과학기술논문(SCI) 분석 연구 (미래창조과학부, 2014)

## □ 피인용 상위 1% 논문 순위(2001~2011)

Institute	Country	MCP(1%)		Total Papers			Percentage of MCP(%)
		Ranking	# of Papers	Ranking	# of Papers	Citations per paper	
HARVARD UNIV	미국	1	5,322	3	113,116	29.32	4.7
MAX PLANCK SOCIETY	독일	2	2,677	4	82,311	21.59	3.25
STANFORD UNIV	미국	3	2,425	15	56,612	25.15	4.28
UNIV CALIF BERKELEY	미국	4	2,229	17	54,869	22.76	4.06
UNIV WASHINGTON	미국	5	2,206	11	62,045	23.34	3.56
MIT	미국	6	2,158	43	41,615	26.56	5.19
JOHNS HOPKINS UNIV	미국	7	2,070	9	64,108	24.75	3.23
UNIV CALIF LOS ANGELES	미국	8	2,064	8	64,295	22.09	3.21
UNIV MICHIGAN	미국	9	1,842	7	65,808	19.86	2.8
CHINESE ACAD SCI	중국	10	1,787	1	165,613	8.32	1.08
UNIV OXFORD	영국	11	1,768	14	57,159	21.14	3.09
COLUMBIA UNIV	미국	12	1,721	22	51,887	22.41	3.32
UNIV CAMBRIDGE	영국	15	1,593	23	50,351	21.07	3.16
UNIV TOKYO	일본	25	1,230	5	77,157	14.73	1.59
CNRS	프랑스	39	1,030	10	62,397	13.79	1.65
OSAKA UNIV	일본	74	624	26	47,027	14.15	1
SEOUL NATIONAL UNIV	한국	118	500	32	45,025	9.77	1.11
YONSEI UNIV	한국	284	216	122	24,912	9.01	0.87
KOREA UNIV	한국	292	211	169	20,095	7.68	1.05
KAIST	한국	338	189	198	18,414	8.47	1.03
SUNGKYUNGKWAN UNIV	한국	357	172	189	18,655	7.95	0.92
POSTECH	한국	390	173	402	9,982	12.12	1.73

## □ 국제 기구(IMD)가 평가한 한국의 과학기술수준



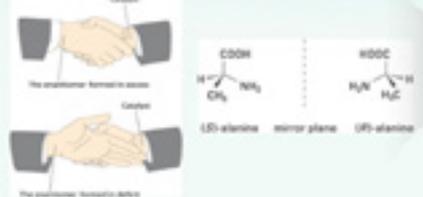
5. 한국은 노벨상을 받을 수 있을까?

노벨상 수상 업적 형태



노요리 료지  
(2001 화학상)

For the development of catalytic asymmetric synthesis

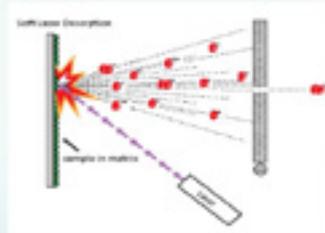


Leading Achievement 형  
(선도적 연구)



다나카 고이치  
(2002 화학상)

For the development of soft desorption ionization methods for mass spectrometric analyses of biological macromolecules



Serendipity 형  
(우연한 발견)

5. 한국은 노벨상을 받을 수 있을까?

에사키 레오나(江山壽 玲於奈 1973 물리학상)의 수상자를 위한 필요조건: Five Don't

- 지금까지 해온 것에 구애 받아서는 안된다.
- 훌륭한 스승을 존경하는 것은 좋지만 빠져들어서는 안된다.
- 필요 없는 일에 집착해서는 안된다.
- 도전을 피해서는 안된다
- 언제까지나 순수한 감성과 지적 호기심을 잃어서는 안된다.

5. 한국은 노벨상을 받을 수 있을까?

**똑똑한 영재(英才)들을 위한 조언**

- 현실에 안주하지 말고 커다란 꿈을 가져라
- 자기가 특별히 잘하는 분야를 개척하라
- 나보다 뛰어난 사람이 있음을 인정하라
- 어떠한 일이 있어도 자신감을 잃지 말라
- 어려운 일이 있으면 친구나 교수의 도움을 받아라  
(남의 도움을 받는 것은 창피한 일이 아니다)
- 타인의 처지를 먼저 생각하는 습관을 길러라

6. 결 언

**결 언**

- **21세기는 변화의 세계, 다양성의 사회가 될 것임.**
  - 지식기반사회, 창의사회, 정보화 사회, Global Society
  - 분야별 전문가가 지배하는 사회
  - 정보, 지식 및 네트워크의 중요성
- **21세기에 필요한 인재상**
  - 창의력과 유연한 사고를 가진 융합형 인재가 필요
  - 탄탄한 기초과학지식 습득이 필수적
  - 시대적 변화를 앞서가는 진취적 자세 중요
  - Global Citizen 으로서의 의식과 책임감
  - 학교에서 폭넓게 배우고 다양한 배경의 친구를 사귄 것

# 세션1/ 수학 · 통계학

[특이적분작용소 이론의 소개와 그 응용]

특이적분연산자 정의와  $L^p$ 유계성을 보이는  
칼데런-지그문드 정리와 편미분방정식과의 연관성

권현우 (서강대학교 수학과 3학년)

# Singular Integral and its application to Partial Differential Equation

Hyun Woo Kwon

Department of Mathematics, Sogang University

November 21st, 2015

## Contents

- 1 Introduction
- 2 Calderón-Zygmund Theory of Singular Integral
- 3 Applications of Calderón-Zygmund Theorem

## Contents

- 1 Introduction
- 2 Calderón-Zygmund Theory of Singular Integral
- 3 Applications of Calderón-Zygmund Theorem

## Introduction

다음과 같은 함수를 생각해보도록 하자.

$$T(f)(\xi) = \int_{\mathbb{R}} f(x)e^{-2\pi i\xi x} dx$$

$T$ 는 함수  $f$ 를 또 다른 함수  $T(f)$ 로 보내주는 '함수를 또 다른 함수로 보내주는 함수'로 볼 수 있다.

$T$ 와 같은 것을 작용소 (operator) 이라고 하고, 특히  $T$ 가 적분과 같은 것으로 정의되었으면 적분작용소 (integral operator) 라 부른다.

### Definition

적당히 좋은 함수  $f$ 에 대하여  $f$ 의 푸리에 변환 (Fourier transform)은 다음과 같이 정의된다:

$$\hat{f}(\xi) = \int_{\mathbb{R}^d} f(x)e^{-2\pi i\xi \cdot x} dx.$$

## Introduction

푸리에 변환의 대표적인 성질은 다음과 같다.

### Proposition

적당히 좋은 함수  $f$ 에 대하여 푸리에 변환은 다음과 같은 성질을 가진다.

- 1  $\frac{\partial^\alpha f}{\partial x^\alpha}(x) \rightarrow (2\pi i\xi)^\alpha \hat{f}(\xi).$
- 2  $-2\pi i x_j f(x) \rightarrow \frac{\partial}{\partial \xi_j} \hat{f}(\xi).$

### Theorem (푸리에 반전공식 (Fourier inversion formula))

적당히 좋은 함수  $f$ 에 대하여 다음이 성립한다.

$$f(x) = \int_{\mathbb{R}} \hat{f}(\xi) e^{2\pi i x \cdot \xi} dx.$$

## 편미분방정식을 풀 수 있는 기본적인 도구

$\mathbb{R}_+^2 = \{(x, y) : x \in \mathbb{R}, y > 0\}$ 이라 하자. 이제 다음과 같은 편미분방정식을 풀어보도록 하자.

$$\begin{cases} \Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 & \text{in } \mathbb{R}_+^2 \\ u(x, 0) = f(x) \end{cases}$$

여기서  $f$ 는 이 방정식을 풀기 위한 적당히 좋은 함수다.  $y$ 를 고정하고  $x$ 에 관하여 푸리에 변환을 취하면

$$-4\pi^2 \xi^2 \hat{u}(\xi, y) + \frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial y^2}(\xi, y) = 0$$

를 얻고  $\hat{u}(\xi, 0) = \hat{f}(\xi)$ 를 얻는다. 이는  $y$ 에 대한 상미분방정식으로 일반해는

$$\hat{u}(\xi, y) = A(\xi)e^{-2\pi|\xi|y} + B(\xi)e^{2\pi|\xi|y}$$

이다. 지수적 증가의 이유로  $B(\xi) = 0$ 이라 두고  $y = 0$ 이라 하면

$$\hat{u}(\xi, y) = \hat{f}(\xi)e^{-2\pi|\xi|y}$$

이다.

## 편미분방정식을 풀 수 있는 기본적인 도구

이제  $u$ 에 푸리에 반전공식을 적용하면

$$u(x, y) = \int_{\mathbb{R}} \hat{f}(\xi) e^{-2\pi|\xi|y} e^{2\pi i \xi x} d\xi$$

를 얻으므로 편미분방정식  $\Delta u = 0$ ,  $u(x, 0) = f(x)$ 의 해를 구체적으로 구했다.

여기서  $u(x, y)$  식에서 함수에 적당히 좋은 조건만 주면 존재성 문제는 크게 없을 것이라 예상할 수 있다.

## Problem: Newtonian Potential

$\Delta u = \sum_{j=1}^d \frac{\partial^2 u}{\partial x_j^2}$ 라 할 때, 다음 편미분방정식

$$\Delta u = f$$

의 해는

$$u(x) = \Gamma * f(x) = \int_{\mathbb{R}^d} \Gamma(x-y) f(y) dy. \quad (1)$$

이라는게 잘 알려져있다. 여기서  $\Gamma$ 는

$$\Gamma(x) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} \log|x| & \text{if } d = 2 \\ \frac{1}{d(d-2)\omega_d} |x|^{2-d} & \text{if } d \geq 3 \end{cases}$$

라 정의한다.

잘 보면  $\Gamma(x)$ 는 원점에서 정의가 되지 않는 함수다.  $u$ 가 과연 잘 정의된 것인지 근본적인 문제가 생긴다.

## Notation

이 발표에서는 실해석 용어를 기반으로 진행을 하나 직관적으로 이해해도 괜찮다.  
가측집합  $A \subset \mathbb{R}^d$ 의 측도를  $m(A)$ 라 한다. 2차원에서는 집합의 넓이, 3차원에서는 부피라고 간주해도 된다.

$1 \leq p < \infty$ 에 대하여 가측함수  $f : \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{C}$ 가  $L^p(\mathbb{R}^d)$ 에 있다는 말은

$$\int_{\mathbb{R}^d} |f(x)|^p dx < \infty.$$

를 말한다.

노름은

$$\|f\|_p = \left( \int_{\mathbb{R}^d} |f(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}.$$

와 같이 정의한다.

## Contents

1 Introduction

2 Calderón-Zygmund Theory of Singular Integral

3 Applications of Calderón-Zygmund Theorem

## Open set in $\mathbb{R}, \mathbb{R}^d$

### Proposition

Every open subset  $\mathcal{O}$  can be written uniquely as a countable union of disjoint open intervals.

### Proposition

Every open subset  $\mathcal{O}$  of  $\mathbb{R}^d$ ,  $d \geq 1$ , can be written as a countable union of almost disjoint closed cubes.

measure의 관점에서는 집합을 간단한 관점에서 쪼갬다는 의미 정도만 있지만, 함수와 연관을 짓고자 할 때는 얻을 수 있는 정보가 많지 않다.

## Rising sun Lemma

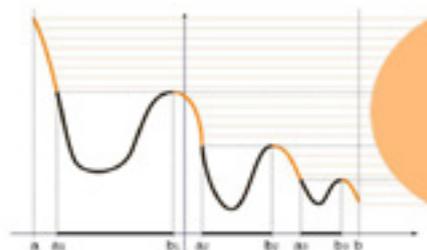
### Theorem (F. Riesz, 1932)

Suppose  $G$  is real-valued and continuous on  $\mathbb{R}$ . Let  $E$  be the set of points  $x$  such that

$$G(x+h) > G(x) \quad \text{for some } h = h_x > 0.$$

If  $E$  is non-empty, then it must be open, and hence can be written as a countable disjoint union of open intervals  $E = \bigcup (a_k, b_k)$ . If  $(a_k, b_k)$  is a finite interval in this union, then

$$G(b_k) - G(a_k) = 0.$$



## Calderón-Zygmund covering lemma

Rising sun lemma의  $\mathbb{R}^d$  버전은 1952년에 Zygmund와 그 제자 Calderón이 증명했다. 이 결과는  $\mathbb{R}^d$ 에서의 Singular integral theory에 아주 큰 역할을 하는 중요한 결과다.



Figure: A. P. Calderón과 Zygmund

## Calderón-Zygmund covering lemma

Theorem (A. P. Calderón and A. Zygmund, 1952)

Let  $f$  be a non-negative integrable function on  $\mathbb{R}^d$  and let  $\alpha$  be a positive constant. Then there exists a decomposition of  $\mathbb{R}^d$  so that

- 1  $\mathbb{R}^d = F \cup \Omega$ ,  $F \cap \Omega = \emptyset$ .
- 2  $f(x) \leq \alpha$  almost everywhere on  $F$ .
- 3  $\Omega$  is the union of cubes,  $\Omega = \bigcup_k Q_k$ , whose interiors are disjoint, and so that for each  $Q_k$ ,

$$\alpha < \frac{1}{m(Q_k)} \int_{Q_k} f(x) dx \leq 2^d \alpha.$$

## Calderón-Zygmund covering lemma: 1st consequences

### Corollary

Suppose  $f, \alpha, F, \Omega$ , and  $Q_k$  have the same meaning as in previous Theorem. Then there exists two constants  $A, B$  (depending only on the dimension  $d$ ), so that

- $m(\Omega) \leq \frac{A}{\alpha} \|f\|_1.$
- $\frac{1}{m(Q_k)} \int_{Q_k} f \, dx \leq B\alpha.$

## Calderón-Zygmund decomposition

Fix  $\alpha > 0$ . Then by Calderón-Zygmund covering lemma, we have

- $\mathbb{R}^d = F \cup \Omega, F \cap \Omega = \emptyset.$
- $|f(x)| \leq \alpha, x \in F.$
- $\Omega = \bigcup_{j=1}^{\infty} Q_j$ , with the interiors of the  $Q_j$  mutually disjoint.
- $m(\Omega) \leq \frac{C}{\alpha} \|f\|_1, \frac{1}{m(Q_j)} \int_{Q_j} |f(x)| \leq C\alpha.$
- $f = g + b$ , where

$$g(x) = \begin{cases} f(x), & \text{for } x \in F, \\ \frac{1}{m(Q_j)} \int_{Q_j} f(x) \, dx, & \text{for } x \in Q_j^{\circ} \end{cases}$$

and  $b$  satisfies

$$b(x) = 0 \quad \text{for } x \in F$$

$$\int_{Q_j} b(x) \, dx = 0 \quad \text{for each cube } Q_j.$$

## Prototype of Singular integral: Hilbert Transform

For a suitable function  $f$ , the Hilbert transform  $H$  is defined by

$$\begin{aligned} Hf(x) &= \text{p.v.} \int_{\mathbb{R}} \frac{f(x-y)}{\pi y} dy \\ &= \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\pi} \int_{|y| \geq \epsilon} \frac{f(x-y)}{y} dy \end{aligned}$$

Here we are in the case of  $\mathbb{R}^1$ , with  $K(x) = \frac{1}{\pi x}$ ,  $\Omega(x) = \frac{1}{\pi} \text{sign} x = \frac{1}{\pi} \frac{x}{|x|}$ .

Basic Philosophy: If we found some properties of kernel  $K$ , we can talk about the boundedness of operator.

## Prototype of Singular integral: Hilbert Transform

- $|K(x)| \leq \frac{1}{|x|}$ .
- $\int_{r < x < R} \frac{1}{\pi x} dx + \int_{-R < x < -r} \frac{1}{\pi x} dx = 0$  for any  $0 < r < R < \infty$ .
- For  $y \neq 0$ , we have

$$\begin{aligned} & \int_{|x| \geq 2|y|} \left| \frac{1}{\pi x} - \frac{1}{\pi(x-y)} \right| dx \\ &= \frac{|y|}{\pi} \int_{|x| \geq 2|y|} \left| \frac{1}{x(x-y)} \right| dx \\ &\leq \frac{|y|}{\pi} \int_{|x| \geq 2|y|} \frac{2}{|x|^2} dx \\ &\leq C \frac{|y|}{\pi} \frac{1}{|y|} \leq C'. \end{aligned}$$

## Calderón-Zygmund kernels

### Definition

Let  $K : \mathbb{R}^d \setminus \{0\} \rightarrow \mathbb{C}$  satisfy, for some constant  $B$ ,

- 1  $|K(x)| \leq B|x|^{-d}$  for all  $x \in \mathbb{R}^d \setminus \{0\}$ ,
- 2  $\int_{|x| \geq 2|y|} |K(x) - K(x-y)| dx \leq B$  for all  $y \neq 0$ ,
- 3  $\int_{r < |x| < s} K(x) dx = 0$  for all  $0 < r < s < \infty$ .

Then  $K$  is called a **Calderón-Zygmund kernel**.

### Example

Define  $K : \mathbb{R}^1 \setminus \{0\} \rightarrow \mathbb{R}$  by

$$K(x) = \frac{1}{\pi x}$$

As saw before, it is a Calderón-Zygmund kernel.

## Calderón-Zygmund Theorem

Theorem (A. P. Calderón and A. Zygmund, 1952)

Suppose that  $K$  is Calderón-Zygmund kernel on  $\mathbb{R}^d \setminus \{0\}$ . For  $f \in L^p(\mathbb{R}^d)$ ,  $1 < p < \infty$ , let

$$T_\varepsilon(f)(x) = \int_{|y| \geq \varepsilon} f(x-y)K(y)dy, \quad \varepsilon > 0.$$

Then

$$\|T_\varepsilon(f)\|_p \leq A_p \|f\|_p$$

with  $A_p$  independent of  $f$  and  $\varepsilon$ . Also for each  $f \in L^p(\mathbb{R}^d)$ ,

$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} T_\varepsilon(f) = T(f)$  exists in  $L^p$  norm. The operator  $T$  so defined also satisfies the inequality

$$\|T(f)\|_p \leq A_p \|f\|_p$$

## Calderón-Zygmund paradigm

The proof of  $L^p$  estimates is in three stages:

- (1)  $L^2$  theory (via Fourier Transform)
- (2) weak  $L^1$ -estimate
- (3) Marcinkiewicz interpolation theorem for  $1 < p < 2$  and duality principle.

## Calderón-Zygmund paradigm

- (1)  $L^2$  theory (via Fourier Transform)

By truncating  $K$ , that is,

$$K_\varepsilon(\xi) = \begin{cases} K(\xi) & \text{if } |\xi| \geq \varepsilon \\ 0 & \text{if } |\xi| < \varepsilon \end{cases}$$

Then  $K_\varepsilon \in L^2(\mathbb{R}^d)$  for the Fourier transforms, we have

$$\sup_{\xi} |\widehat{K}_\varepsilon(\xi)| \leq CB, \quad \varepsilon > 0,$$

where  $C$  depends only on the dimension  $d$ .

$$\widehat{K}_\varepsilon(\xi) = \int_{|x| \leq \frac{1}{|\xi|}} K_\varepsilon(x) e^{-2\pi i \xi \cdot x} dx + \lim_{R \rightarrow \infty} \int_{\frac{1}{|\xi|} \leq |x| \leq R} e^{-2\pi i x \cdot \xi} K_\varepsilon(x) dx \leq CB.$$

## Calderón-Zygmund paradigm

### (1) $L^2$ theory (via Fourier Transform)

Then for  $f \in L^2(\mathbb{R}^d)$ , by Plancherel's theorem, we have

$$\|T_\varepsilon(f)\|_2 = \|K_\varepsilon \hat{f}\|_2 \leq CB \|\hat{f}\|_2 = CB \|f\|_2.$$

So  $T$  is strong type  $(2, 2)$ .

#### Definition

We say a linear operator  $T : L^p(\mathbb{R}^d) \rightarrow L^p(\mathbb{R}^d)$  is of strong type  $(p, p)$  if

$$\|T(f)\|_p \leq A \|f\|_p, \quad f \in L^p(\mathbb{R}^d)$$

where  $A$  does not depend on  $f$ .

## Calderón-Zygmund paradigm

### (2) weak $L^1$ -estimate

Fix  $\alpha > 0$ . Then by Calderón-Zygmund covering lemma, we have

- $\mathbb{R}^d = F \cup \Omega$ ,  $F \cap \Omega = \emptyset$ .
- $|f(x)| \leq \alpha$ ,  $x \in F$ .
- $\Omega = \bigcup_{j=1}^{\infty} Q_j$ , with the interiors of the  $Q_j$  mutually disjoint.
- $m(\Omega) \leq \frac{C}{\alpha} \|f\|_1$ ,  $\frac{1}{m(Q_j)} \int_{Q_j} |f(x)| \leq C\alpha$ .
- $f = g + b$ , where

$$g(x) = \begin{cases} f(x), & \text{for } x \in F, \\ \frac{1}{m(Q_j)} \int_{Q_j} f(x) dx, & \text{for } x \in Q_j \end{cases}$$

and  $b$  satisfies

$$\begin{aligned} b(x) &= 0 \quad \text{for } x \in F \\ \int_{Q_j} b(x) dx &= 0 \quad \text{for each cube } Q_j. \end{aligned}$$

## Calderón-Zygmund paradigm

We will show  $T$  is of weak type  $(1, 1)$ . That is, we will show there is a constant  $C > 0$  such that

$$m\left(\left\{x \in \mathbb{R}^d : |Tf(x)| > \alpha\right\}\right) \leq \frac{C}{\alpha} \|f\|_1.$$

Since  $Tf = Tg + Tb$ , we have

$$\begin{aligned} & m\left(\left\{x \in \mathbb{R}^d : |Tf(x)| > \alpha\right\}\right) \\ & \leq m\left(\left\{x \in \mathbb{R}^d : |Tg(x)| > \alpha\right\}\right) + m\left(\left\{x \in \mathbb{R}^d : |Tb(x)| > \alpha\right\}\right) \end{aligned}$$

With some effort, we easily get

$$m\left(\left\{x \in \mathbb{R}^d : |Tg(x)| > \frac{\alpha}{2}\right\}\right) \leq \frac{2^2 B^2}{\alpha^2} \|g\|_2^2 \leq \frac{2^2 B^2}{\alpha^2} C^2 \alpha^2 m(\Omega) \leq \frac{C}{\alpha} \|f\|_1.$$

## Calderón-Zygmund paradigm I

For each cube  $Q_j$ , let  $y^j$  be the center of  $Q_j$  and  $Q_j^*$  be a cube which has the same center  $y^j$ , but which is expanded  $2d^{\frac{1}{2}}$  times. We have:

1  $Q_j \subset Q_j^*$ ; if  $\Omega^* = \bigcup Q_j^*$ , then  $\Omega \subset \Omega^*$ , and  $m(\Omega^*) \leq (2d^{\frac{1}{2}})^d m(\Omega)$ . If  $F^* = (\Omega^*)^c$ , then  $F^* \subset F$ .

2 If  $x \notin Q_j^*$ , then  $|x - y^j| \geq 2|y - y^j|$  for all  $y \in Q_j$ .

Define

$$Tb_j(x) = \int_{Q_j} [K(x-y) - K(x-y^j)] b_j(y) dy$$

where  $b_j(x) = b(x)$  if  $x \in Q_j$ , otherwise 0. Then

$$\begin{aligned} \int_{F^*} |Tb(x)| dx & \leq \int_{F^*} \sum_j |Tb_j(x)| dx \\ & \leq \sum_j \int_{F^*} \int_{Q_j} |K(x-y) - K(x-y^j)| |b_j(y)| dy dx \\ & = \sum_j \int_{x \notin Q_j^*} \int_{Q_j} |K(x-y) - K(x-y^j)| |b_j(y)| dy dx. \end{aligned}$$

## Calderón-Zygmund paradigm II

By second observation that discussed before, we have for  $y \in Q_j$ ,

$$\begin{aligned} \int_{x \notin Q_j} |K(x-y) - K(x-y^j)| dx &\leq \int_{|x-y^j| \geq 2|y-y^j|} |K(x-y) - K(x-y^j)| dx \\ &= \int_{|x'| \geq 2|y'|} |K(x'-y') - K(x')| dx' \leq B' \end{aligned}$$

by hypothesis. So

$$\int_{F^*} |Tb(x)| dx \leq B' \sum_j \int_{Q_j} |b(y)| dy \leq C \|f\|_1.$$

Hence,

$$m\left(\left\{x \in F^* : |Tb(x)| > \frac{\alpha}{2}\right\}\right) \leq \frac{2}{\alpha} \int_{F^*} |Tb(x)| dx \leq \frac{2C}{\alpha} \|f\|_1.$$

Since  $m((F^*)^c) = m(\Omega^*) \leq (2d^{\frac{1}{2}})^d m(\Omega) \leq \frac{C}{\alpha} \|f\|_1$ . Hence,

$$m\left(\left\{x : |Tb(x)| > \frac{\alpha}{2}\right\}\right) \leq \frac{C}{\alpha} \|f\|_1.$$

## Calderón-Zygmund paradigm

(3) Marcinkiewicz interpolation theorem for  $1 < p < 2$  and duality principle.

**Theorem (Marcinkiewicz interpolation theorem)**

*Suppose  $1 < r \leq \infty$ . If  $T$  is a sub-additive mapping from  $L^1(\mathbb{R}^d) + L^r(\mathbb{R}^d)$  to the space of measurable functions on  $\mathbb{R}^d$  which is simultaneously of weak type  $(1, 1)$  and weak-type  $(r, r)$ , then  $T$  is also of type  $(p, p)$  for all  $p$  such that  $1 < p < r$ .*

Since  $T_\varepsilon$  is weak type  $(1, 1)$  and  $(2, 2)$ , by Marcinkiewicz interpolation theorem,  $T_\varepsilon$  is of strong type  $(p, p)$  for  $1 < p < 2$ .

For  $2 < p < \infty$ , by duality, we are done.

## Contents

- 1 Introduction
- 2 Calderón-Zygmund Theory of Singular Integral
- 3 Applications of Calderón-Zygmund Theorem

## The $j$ -th Riesz transform

### Definition

For  $f \in L^p(\mathbb{R}^d)$ ,  $1 \leq p < \infty$ , the  $j$ th Riesz transform of  $f$  is defined by

$$R_j(f)(x) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} c_d \int_{|y| > \epsilon} \frac{y_j}{|y|^{d+1}} f(x-y) dy, \quad j = 1, \dots, d$$

with  $c_d = \frac{\Gamma(\frac{d+1}{2})}{\pi^{\frac{d+1}{2}}}$ . Thus  $R_j$  is defined by the kernel  $K_j(x) = \frac{\Omega_j(x)}{|x|^d}$ , and  $\Omega_j(x) = c_d \frac{x_j}{|x|}$ .

### Theorem

The  $j$ -th Riesz transform is bounded on  $L^p$  for  $1 < p < \infty$ .

### Theorem

For  $f \in \mathcal{S}(\mathbb{R}^d)$ ,  $\widehat{(R_j f)}(\xi) = -i \frac{\xi_j}{|\xi|} \hat{f}(\xi)$ .

## Priori bound of Laplacian I

### Theorem

Suppose  $f$  is of class  $C^2$  and has compact support. Let  $\Delta u = \sum_{j=1}^d \frac{\partial^2 f}{\partial x_j^2}$ . Then we have the a priori bound

$$\left\| \frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_k} \right\|_p \leq A_p \|\Delta f\|_p, \quad 1 < p < \infty.$$

**Proof.** Note that the Riesz transform is  $L^p$ -bounded for  $1 < p < \infty$ . We will show

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_k} = R_j R_k \Delta f.$$

## Priori bound of Laplacian II

Recall that for any  $f \in \mathcal{S}(\mathbb{R}^d)$ , we have  $(\partial^\alpha f)^\wedge(\xi) = (2\pi i \xi)^\alpha \hat{f}(\xi)$  since

$$\begin{aligned} (\partial^\alpha f)^\wedge(\xi) &= \int_{\mathbb{R}^d} (\partial^\alpha f)(x) e^{-2\pi i x \cdot \xi} dx \\ &= (-1)^{|\alpha|} \int_{\mathbb{R}^d} f(x) (-2\pi i \xi)^\alpha e^{-2\pi i x \cdot \xi} dx \\ &= (2\pi i \xi)^\alpha \int_{\mathbb{R}^d} f(x) e^{-2\pi i x \cdot \xi} dx \\ &= (2\pi i \xi)^\alpha \hat{f}(\xi). \end{aligned}$$

## Priori bound of Laplacian III

Here we used integration by part and the fact  $f \in \mathcal{S}(\mathbb{R}^d)$ . So

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_k} \right)^\wedge(\xi) &= (2\pi i \xi_j)(2\pi i \xi_k) \hat{f}(\xi) \\ &= -4\pi^2 \xi_j \xi_k \hat{f}(\xi) \\ &= \left( -\frac{i \xi_j}{|\xi|} \right) \left( -\frac{i \xi_k}{|\xi|} \right) (-4\pi^2 |\xi|^2) \hat{f}(\xi) \\ &= (R_j R_k \Delta f)^\wedge(\xi). \end{aligned}$$

So by applying Fourier inversion formula, we get

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_k} = R_j R_k \Delta f.$$

for  $f \in \mathcal{S}(\mathbb{R}^d)$ . By taking mollification, this holds for  $f \in C^2$ .

## Priori bound of Laplacian IV

So by Calderón-Zygmund theorem, we get

$$\left\| \frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_k} \right\|_p = \|R_j R_k \Delta f\|_p \leq A_p \|\Delta f\|_p, \quad 1 < p < \infty. \quad \square$$

## A priori estimates

So we obtain a prior bound:

$$\left\| \frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_k} \right\|_p \leq A_p \|\Delta f\|_p, \quad 1 < p < \infty.$$

If we have a priori estimate, we can discuss about the existence of suitably regular solution to elliptic partial differential equation.

## References

-  D. Gilbarg, N. S. Trudinger, *Elliptic partial differential equations of second order*. Reprint of the 1998 edition. Classics in Mathematics. Springer-Verlag, Berlin, 2001.
-  E. M. Stein and R. Sharkey, *Functional analysis: Introduction to further topics in analysis*. Princeton Lectures in Analysis, 4. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2011.
-  E. M. Stein and R. Sharkey, *Real analysis: Measure theory, integration, and Hilbert spaces*. Princeton Lectures in Analysis, III. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2005.
-  E. M. Stein and G. Weiss, *Introduction to Fourier analysis on Euclidean spaces*. Princeton Mathematical Series, No. 32. Princeton University Press, Princeton, N.J., 1971.
-  E. M. Stein, *Singular integrals and differentiability properties of functions*. Princeton Mathematical Series, No. 30. Princeton University Press, Princeton, N.J., 1970.

[스킴(scheme)-대수와 기하의 만남]

가환환과 아핀 스킴의 관계에 초점을 맞추어,  
대수기하에서 다루는 기본적인 공간 스킴(scheme) 소개

김형섭(포항공과대학교 수학 석사과정 1학년)

51 52 53 54

# Schemes—When Algebra Meets Geometry

Hyungseop Kim

POSTECH, Department of Mathematics

November 21, 2015

51 52 53 54

## Contents

- 1 Spaces and their functions
- 2 Affine Schemes—duality between spaces and rings.
- 3 Examples
- 4 Some concluding remarks

## Contents

- 1 Spaces and their functions
- 2 Affine Schemes-duality between spaces and rings.
- 3 Examples
- 4 Some concluding remarks

## Functions on spaces

- Suppose  $X$  is a topological space, such as a smooth manifold.
- To investigate this space, we may try to understand all the "information" arisen from the space – e.g., the continuous (or smooth) real-valued functions  $X \xrightarrow{f} \mathbb{R}$ .

51

52

53

54

## Functions on spaces

- Suppose  $X$  is a topological space, such as a smooth manifold.
- To investigate this space, we may try to understand all the “information” arisen from the space – e.g., the continuous (or smooth) real-valued functions  $X \xrightarrow{f} \mathbb{R}$ .
- The set of all continuous real-valued functions on  $X$  form a *commutative ring with 1*, namely  $\mathcal{C}(X)$ , with respect to the value-wise addition and multiplication.
- For continuous  $X \xrightarrow{\pi} Y$ , we have a *ring map*  $\mathcal{C}(Y) \xrightarrow{\pi^*} \mathcal{C}(X)$  “pulling back”  $g$  to  $\pi^*(g) = g \circ \pi$ . Note that the *direction* is reversed!

51

52

53

54

## Functions on spaces

$$\begin{array}{ccc}
 X & \xrightarrow{\pi} & Y \\
 & \searrow & \downarrow g \\
 & & \mathbb{R}
 \end{array}
 \quad \pi^*(g) = g \circ \pi$$

- Hence we have a *correspondence*  $\text{Top} \rightarrow \text{ComRing}1$ , with the reversed direction of maps.

## Functions on spaces

$$\begin{array}{ccc}
 X & \xrightarrow{f} & Y \\
 & \searrow & \downarrow g \\
 & & \mathbb{R}
 \end{array}
 \quad \pi^*(g) = g \circ \pi$$

- Hence we have a *correspondence*  $\text{Top} \rightarrow \text{ComRing}$ , with the reversed direction of maps.

### Question

- Does  $\mathcal{C}(X)$  completely determine  $X$ ?
- For a given ring  $A$ , can we find a topological space whose ring of functions is  $A$ ?

## Functions on spaces

### Recovering points from the function ring.

- In general, it is not true that the ring of functions completely determine the underlying topological space (although it is true for some good cases, e.g., when the space is CH). However, at least we can recover the *points* from the ring.

51

52

53

54

## Functions on spaces

Recovering points from the function ring.

- In general, it is not true that the ring of functions completely determine the underlying topological space (although it is true for some good cases, e.g., when the space is CH). However, at least we can recover the *points* from the ring.
- Let  $p \in X$  be a point. Then we can associate an obvious *evaluation map*  $ev_p : \mathcal{C}(X) \rightarrow \mathbb{R}$  sending  $f$  to  $f(p)$ . As it is surjective, its kernel should be a maximal ideal, say  $\mathfrak{m}_p$ . For some nice spaces where two points can be separated by functions, these maximal ideals are different whenever points are different.
- Conversely when the space is CH, any maximal ideal  $\mathfrak{m}$  should be of the form  $\mathfrak{m}_p$ .

51

52

53

54

## Contents

- 1 Spaces and their functions
- 2 **Affine Schemes-duality between spaces and rings.**
- 3 Examples
- 4 Some concluding remarks

51

52

53

54

## Naive start fails

So, suppose a commutative ring with 1  $A$  is given.

- It seems reasonable to define the space associated with  $A$  as

$$\text{Specm } A := \{\mathfrak{m} \triangleleft A \mid \mathfrak{m} \text{ is a maximal ideal}\}.$$

But this definition turns out to be problematic.

51

52

53

54

## Naive start fails

So, suppose a commutative ring with 1  $A$  is given.

- It seems reasonable to define the space associated with  $A$  as

$$\text{Specm } A := \{\mathfrak{m} \triangleleft A \mid \mathfrak{m} \text{ is a maximal ideal}\}.$$

But this definition turns out to be problematic.

- If one considers a ring map  $\pi^{\#} : B \rightarrow A$ , the natural choice

$$\pi = \pi^{\#^{-1}} : \text{Specm } A \rightarrow \text{Specm } B$$

does *not* make sense, since in general the inverse image of a maximal ideal need not be a maximal ideal.

51

52

53

54

## Naive start fails

So, suppose a commutative ring with 1  $A$  is given.

- It seems reasonable to define the space associated with  $A$  as

$$\text{Specm } A := \{ \mathfrak{m} \triangleleft A \mid \mathfrak{m} \text{ is a maximal ideal} \}.$$

But this definition turns out to be problematic.

- If one considers a ring map  $\pi^{\#} : B \rightarrow A$ , the natural choice

$$\pi = \pi^{\#^{-1}} : \text{Specm } A \rightarrow \text{Specm } B$$

does *not* make sense, since in general the inverse image of a maximal ideal need not be a maximal ideal.

- However, note that inverse image of *prime ideals* are prime ideals.

51

52

53

54

## The right definition

- For a ring  $A$ , the set of all prime ideals

$$\text{Spec } A = \{ \mathfrak{p} \triangleleft A \mid \mathfrak{p} \text{ is a prime ideal} \}$$

is called the spectrum of  $A$ .

51

52

53

54

## The right definition

- For a ring  $A$ , the set of all prime ideals

$$\text{Spec } A = \{ \mathfrak{p} \triangleleft A \mid \mathfrak{p} \text{ is a prime ideal} \}$$

is called the spectrum of  $A$ .

- For a 'function'  $f \in A$ , the 'evaluation' of  $f$  at  $\mathfrak{p}$  should be defined as " $f(\mathfrak{p}) = \bar{f} \in A/\mathfrak{p}$ . (There's no prevailing field for the values.)

51

52

53

54

## The right definition

- For a ring  $A$ , the set of all prime ideals

$$\text{Spec } A = \{ \mathfrak{p} \triangleleft A \mid \mathfrak{p} \text{ is a prime ideal} \}$$

is called the spectrum of  $A$ .

- For a 'function'  $f \in A$ , the 'evaluation' of  $f$  at  $\mathfrak{p}$  should be defined as " $f(\mathfrak{p}) = \bar{f} \in A/\mathfrak{p}$ . (There's no prevailing field for the values.)

- For each  $f \in A$ , we consider the set

$$D(f) := \{ \mathfrak{p} \in \text{Spec } A \mid \bar{f} \neq 0 \in A/\mathfrak{p}, \text{ i.e., } f \notin \mathfrak{p} \}$$

where the function does not vanish. This is called the distinguished open set associated with  $f$ . It is easy to see that  $D(1) = \text{Spec } A$ , and for  $f, g \in A$ ,

$$D(f) \cap D(g) = D(fg),$$

so they form a base for a topology on  $\text{Spec } A$ , called the Zariski topology.

51

52

53

54

## The right definition

- For a ring  $A$ , the set of all prime ideals

$$\text{Spec } A = \{ \mathfrak{p} \triangleleft A \mid \mathfrak{p} \text{ is a prime ideal} \}$$

is called the spectrum of  $A$ .

- For a 'function'  $f \in A$ , the 'evaluation' of  $f$  at  $\mathfrak{p}$  should be defined as " $f(\mathfrak{p}) = \bar{f} \in A/\mathfrak{p}$ . (There's no prevailing field for the values.)
- For each  $f \in A$ , we consider the set

$$D(f) := \{ \mathfrak{p} \in \text{Spec } A \mid \bar{f} \neq 0 \in A/\mathfrak{p}, \text{ i.e., } f \notin \mathfrak{p} \}$$

where the function does not vanish. This is called the distinguished open set associated with  $f$ . It is easy to see that  $D(1) = \text{Spec } A$ , and for  $f, g \in A$ ,

$$D(f) \cap D(g) = D(fg),$$

so they form a *base* for a topology on  $\text{Spec } A$ , called the Zariski topology.

- For any ring map  $\pi^{\sharp} : B \rightarrow A$ ,  $\pi = \pi^{\sharp^{-1}} : \text{Spec } A \rightarrow \text{Spec } B$  is *continuous*, as  $\pi^{-1}D(g) = D(\pi^{\sharp}(g))$ .

51

52

53

54

## Affine schemes

- Let's return to classical topology for seconds. In general, there are more local functions than global functions: e.g., the function  $x \mapsto \frac{1}{x}$  on  $\mathbb{R} \setminus \{0\}$  cannot be continuously extended to a global function on  $\mathbb{R}$ .
- Hence we would get much more information by considering all the ring of functions  $\mathcal{O}_X(U)$  on each open subset  $U$  of  $X$ . The restriction map  $\mathcal{O}_X(U) \rightarrow \mathcal{O}_X(V) = f \mapsto f|_V$ , ( $V \subseteq U$ ) is an identity when  $V = U$ , and successive restriction is still a restriction (i.e.,  $(f|_V)|_W = f|_W$ ). Such information  $\mathcal{O}_X$  is called a sheaf on  $X$ .

## Affine schemes

- Let's return to classical topology for seconds. In general, there are more local functions than global functions: e.g., the function  $x \mapsto \frac{1}{x}$  on  $\mathbb{R} \setminus \{0\}$  cannot be continuously extended to a global function on  $\mathbb{R}$ .
- Hence we would get much more information by considering all the ring of functions  $\mathcal{C}_X(U)$  on *each open subset*  $U$  of  $X$ . The restriction map  $\mathcal{C}_X(U) \rightarrow \mathcal{C}_X(V) = f \mapsto f|_V$ , ( $V \subseteq U$ ) is an identity when  $V = U$ , and successive restriction is still a restriction (i.e.,  $(f|_V)|_W = f|_W$ ). Such information  $\mathcal{C}_X$  is called a sheaf on  $X$ .

- On  $\text{Spec } A$ ,

$$\mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(f)) := A_f = \left\{ \frac{a}{f^r} \mid a \in A, 0 \leq r \in \mathbb{Z} \right\},$$

$\mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(f)) \xrightarrow{\text{restriction}} \mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(g))$  is the canonical one (as  $f$  is still invertible on a smaller open set).

- The pair  $\text{Spec } A = (\text{Spec } A, \mathcal{O}_{\text{Spec } A})$  is called an affine scheme.

## Duality

- Roughly speaking, a map between affine schemes  $\text{Spec } A \xrightarrow{\pi} \text{Spec } B$  is a continuous map  $\pi$  and (implicitly) a rule of "pulling back" local and germ of functions (i.e., a map of sheaves  $\mathcal{O}_{\text{Spec } B} \rightarrow \pi_* \mathcal{O}_{\text{Spec } A}$  of rings) well. Then we have the following:

### Theorem

The (contravariant) functor

$$\text{ComRing1} \xrightarrow{\text{Spec}} \text{AffSch}$$

sending

$$B \xrightarrow{\pi^*} A \text{ to } \text{Spec } A \xrightarrow{\pi} \text{Spec } B$$

is a dual equivalence.

## Duality

- Roughly speaking, a map between affine schemes  $\text{Spec } A \xrightarrow{\pi} \text{Spec } B$  is a continuous map  $\pi$  and (implicitly) a rule of "pulling back" local and germ of functions (i.e., a map of sheaves  $\mathcal{O}_{\text{Spec } B} \rightarrow \pi_* \mathcal{O}_{\text{Spec } A}$  of rings) well. Then we have the following:

### Theorem

The (contravariant) functor

$$\text{ComRing1} \xrightarrow{\text{Spec}} \text{AffSch}$$

sending

$$B \xrightarrow{\pi^d} A \text{ to } \text{Spec } A \xrightarrow{\pi} \text{Spec } B$$

is a dual equivalence.

- Intuitively, this means thinking about commutative rings (algebraic things) is the same as thinking about affine schemes (geometric things), with directions being changed.

## Indication of the Proof

Instead of giving a clear proof, we glimpse of the close relationship between the ring maps and the map of affine schemes.

- Suppose  $\text{Spec } A \xrightarrow{\pi} \text{Spec } B$  be a map of locally ringed spaces. We know by taking a global section, we obtain a ring map

$$\mathcal{O}_{\text{Spec } B}(D(1))(= B) \xrightarrow{\pi^d} \mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(1))(= A). \text{ We explain } \text{Spec}(\pi^d) = \pi.$$

## Indication of the Proof

Instead of giving a clear proof, we glimpse of the close relationship between the ring maps and the map of affine schemes.

- Suppose  $\text{Spec } A \xrightarrow{\pi} \text{Spec } B$  be a map of locally ringed spaces. We know by taking a global section, we obtain a ring map

$$\mathcal{O}_{\text{Spec } B}(D(1)) (= B) \xrightarrow{\pi^\sharp} \mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(1)) (= A). \text{ We explain } \text{Spec}(\pi^\sharp) = \pi.$$

- A point  $p$  of  $\text{Spec } A$  corresponds to the prime ideal of the global function ring  $A$  consisting of functions vanishing at  $p$ , and similarly the image point  $\pi(p)$  in  $\text{Spec } B$  is the point consisting of  $g \in B$  with  $g(\pi(p)) = 0$ , i.e.,  $g \in \pi(p)$ . As  $\pi$  induces a map of local rings

$$\mathcal{O}_{\text{Spec } B, \pi(p)} \rightarrow \mathcal{O}_{\text{Spec } A, p} = B_{\pi(p)} \xrightarrow{\pi^\sharp} A_p, \mathfrak{m}_{\text{Spec } B, \pi(p)} = \pi^{\sharp-1} \mathfrak{m}_{\text{Spec } A, p}, \text{ and hence } \pi(p) \text{ consists of } g \in B \text{ with } \pi^\sharp(g) \in p. \text{ This precisely means } \pi = \text{Spec } \pi^\sharp.$$

## Indication of the Proof

- It remains to prove  $\mathcal{O}_{\text{Spec } B} \xrightarrow{\pi^\sharp} \pi_* \mathcal{O}_{\text{Spec } A}$  is the same as the sheaf map obtained from the ring map  $B \xrightarrow{\pi^\sharp} A$ . Again from the fact that  $\pi$  is a map of *locally ringed spaces*, one can easily check  $\pi^{-1}D(g) = D(\pi^\sharp(g))$ ,  $g \in B$ .

For each  $g \in B$ , the map  $\mathcal{O}_{\text{Spec } B}(D(g)) \xrightarrow{\pi^\sharp_{D(g)}} \mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(\pi^\sharp(g)))$  is completely determined (forced) by the commutative diagram

$$\begin{array}{ccccc} B & \xlongequal{\quad} & \mathcal{O}_{\text{Spec } B}(D(1)) & \xrightarrow{\pi^\sharp_{D(1)}} & \mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(1)) & \xlongequal{\quad} & A \\ & & \downarrow \text{loc.} & & \downarrow \text{loc.} & & \\ B_g & \xlongequal{\quad} & \mathcal{O}_{\text{Spec } B}(D(g)) & \xrightarrow{\pi^\sharp_{D(g)}} & \mathcal{O}_{\text{Spec } A}(D(\pi^\sharp(g))) & \xlongequal{\quad} & A_{\pi^\sharp(g)}, \end{array}$$

i.e., it should be the localization-induced map. Hence the sheaf map is the same as the one obtained from the spectrum of  $B \xrightarrow{\pi^\sharp} A$ , and the proof is done.

## Contents

- 1 Spaces and their functions
- 2 Affine Schemes-duality between spaces and rings.
- 3 **Examples**
- 4 Some concluding remarks

## Classical varieties

- When solving a polynomial equation  $f_1(x_1, \dots, x_n) = 0, \dots, f_m(x_1, \dots, x_n) = 0$  over a field  $k$ , we naturally consider the shape of the zero set in the affine space  $k^n$ . (For instance,  $x_1^2 + x_2^2 - 1 = 0$  forms a circle in  $\mathbb{R}^2$ .) Roughly, such zero sets are called *varieties*.
- In terms of (affine) schemes, the affine space is represented by  $\mathbb{A}_k^n := \text{Spec } k[x_1, \dots, x_n]$ , and the zero set must be represented as a subset

$$V(f_1, \dots, f_m) := \{p \in \mathbb{A}_k^n \mid f_i(p) = 0 \text{ for all } i, \text{ i.e., } f_1, \dots, f_m \in p\}$$

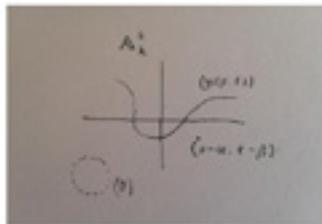
which possesses a natural affine scheme structure, namely

$$\text{Spec } k[x_1, \dots, x_n]/(f_1, \dots, f_m)$$

as expected.

## Classical varieties

- When  $k = \bar{k}$ , Hilbert's Weak Nullstellensatz says maximal ideals of  $k[x_1, \dots, x_n]$  are precisely of the form  $(x_1 - \alpha_1, \dots, x_n - \alpha_n)$ ,  $(\alpha_i \in k)$ , so [closed points of  $A_{\bar{k}}^n$ ] =  $\bar{k}^n$ .
- So the affine plane  $A_{\mathbb{C}}^2 = \text{Spec } \mathbb{C}[s, t]$  contains
  - (1) the "classical points" (=closed points, i.e., maximal ideals) corresponding to  $\mathbb{C}^2$ ,
  - (2) irreducible curves  $p(s, t) = 0$ , and
  - (3) the generic point  $(0)$ .



## Integers

- For a finite extension  $K/\mathbb{Q}$  and its number ring  $\mathcal{O}_K$ , the integral closure of  $K/\mathbb{Z}$ , a prime number  $p$  of  $\mathbb{Z}$  may decompose into a product of several prime *ideals* in  $\mathcal{O}_K$  as  $(p) = p_1 \cdots p_r$ . (For  $K = \mathbb{Q}(i)$ ,  $\mathcal{O}_K = \mathbb{Z}[i]$ , and the prime number 2 splits as  $2\mathbb{Z}[i] = (1 - i)(1 + i)$ .)

## Integers

- For a finite extension  $K/\mathbb{Q}$  and its number ring  $\mathcal{O}_K$ , the integral closure of  $K/\mathbb{Z}$ , a prime number  $p$  of  $\mathbb{Z}$  may decompose into a product of several prime *ideals* in  $\mathcal{O}_K$  as  $(p) = p_1 \cdots p_r$ . (For  $K = \mathbb{Q}(i)$ ,  $\mathcal{O}_K = \mathbb{Z}[i]$ , and the prime number 2 splits as  $2\mathbb{Z}[i] = (1-i)(1+i)$ .)
- In terms of affine schemes, we have a natural map  $\text{Spec } \mathcal{O}_K \xrightarrow{\pi} \text{Spec } \mathbb{Z}$  corresponding to  $\mathbb{Z} \hookrightarrow \mathcal{O}_K$ , and primes  $p_i$  that lie over  $p$  are precisely those in the fibers of the map, i.e., in  $\pi^{-1}(p\mathbb{Z})$ .

Cf. As both rings are Dedekind domains, the corresponding affine schemes can be understood as curves (irreducible 1-dimensional). Stalks are regular local rings of dimension 1, so the theory of valuation, a reminiscence of the classical notion of poles and zeros of meromorphic functions, can take an important role.

## Contents

- 1 Spaces and their functions
- 2 Affine Schemes-duality between spaces and rings.
- 3 Examples
- 4 Some concluding remarks

## Schemes

- Our concept of "spaces" (with a reasonable data of functions) generalizes to the notion of **locally ringed spaces**, which is a topological space  $X$  with a sheaf  $\mathcal{O}_X$  of **rings** whose stalks  $\mathcal{O}_{X,p}$  at each point  $p$  (= the set of germs of functions, i.e., functions defined on some open neighborhood of  $p$ ) are local rings. (The old motivating example  $\mathcal{C}_X$  is such a one— $\mathcal{C}_{X,p} = \ker \text{ev}_p$ .)
- A **scheme** is a locally ringed space  $X = (X, \mathcal{O}_X)$ , which is *locally an affine scheme* – i.e., there is an open cover  $(U_i)_I$  of  $X$  so each  $(U_i, \mathcal{O}_X|_{U_i})$  is isomorphic to  $\text{Spec } A_i$  for some ring  $A_i$ .
- A lot of useful functorial/geometric constructions are now valid in Sch. A very cute example:  $\mathbb{P}_\lambda^n$ , a projective space over  $A$ , is one of the most basic non-affine scheme.

## Cohomology

- Now in some sense, we are able to do a "geometry" under "algebraic" purposes.
- To understand the geometry of schemes (which is already quite vast), we are required to invent some suitable *invariants* related to spaces.

## Cohomology

- Now in some sense, we are able to do a “geometry” under “algebraic” purposes.
- To understand the geometry of schemes (which is already quite vast), we are required to invent some suitable *invariants* related to spaces.
- Sheaf cohomology provides a reasonably powerful invariants  $H^i(X, \mathcal{F})$  associated with each (quasicompact separated) schemes  $X$  and quasicoherent sheaves  $\mathcal{F}$  on  $X$ .

## Cohomology

- Now in some sense, we are able to do a “geometry” under “algebraic” purposes.
- To understand the geometry of schemes (which is already quite vast), we are required to invent some suitable *invariants* related to spaces.
- Sheaf cohomology provides a reasonably powerful invariants  $H^i(X, \mathcal{F})$  associated with each (quasicompact separated) schemes  $X$  and quasicoherent sheaves  $\mathcal{F}$  on  $X$ .
- (A side remark for topology-lovers) Where are fundamental groups? What’s an analogue of singular cohomology on schemes?

## Cohomology

- Now in some sense, we are able to do a "geometry" under "algebraic" purposes.
- To understand the geometry of schemes (which is already quite vast), we are required to invent some suitable *invariants* related to spaces.
- Sheaf cohomology provides a reasonably powerful invariants  $H^i(X, \mathcal{F})$  associated with each (quasicompact separated) schemes  $X$  and quasicohherent sheaves  $\mathcal{F}$  on  $X$ .
- (A side remark for topology-lovers) Where are fundamental groups? What's an analogue of singular cohomology on schemes?

Schemes have very few open sets, so the classical approach won't give useful information (indeed, any constant sheaf on an irreducible scheme will have vanishing higher cohomologies). One has to give a finer "topology" on schemes to construct a useful analogue of those concepts.

## A word

"Should you just be an algebraist or a geometer?" is like saying "Would you rather be deaf or blind?" – M. Atiyah (quoted in [FOAG], p. 17).

## References

-  J. Dieudonné, *History of Algebraic Geometry*, translated by J.D. Sally, The Wadsworth Mathematics Series, Wadsworth, 1985.
-  J. Milne, *Lectures on Étale Cohomology*, Version 2.21, March 22, 2013.
-  J. Neukirch, *Algebraic number theory*, Springer-Verlag, 1999.
-  R. Vakil, *Foundations of Algebraic Geometry*, April 29, 2015 draft. Retrieved from [math216.wordpress.com](http://math216.wordpress.com)

[위상공간 그 응용]

위상공간의 기본적인 정의와 성질을 통해 보는  
수학안에 숨겨진 '융통성'

신영광 (연세대학교 수학과 3학년)

# Topological Space And Their Applications

## 위상공간의 정의와 그 응용

Department of Mathematics, Yonsei University / Shin Yeong-Gwang

2015-Nov-21

열린 구간, 닫힌 구간

### Open and Closed Intervals

$\mathbb{R}$  = the set of all real numbers (실수 전체의 집합)

**Open Intervals (열린 구간)**

$$(a,b) = \{x \in \mathbb{R} : a < x < b\}$$

$$(-\infty, b) = \{x \in \mathbb{R} : x < b\}$$

$$(a, \infty) = \{x \in \mathbb{R} : a < x\}$$

**Closed Intervals (닫힌 구간)**

$$[a,b] = \{x \in \mathbb{R} : a \leq x \leq b\}$$

$$(-\infty, b] = \{x \in \mathbb{R} : x \leq b\}$$

$$[a, \infty) = \{x \in \mathbb{R} : a \leq x\}$$

$$[a,a] = \{a\}$$

$$\mathbb{R} - [a,b] = (-\infty, a) \cup (b, \infty)$$

$$\mathbb{R} - (-\infty, a] = (a, \infty)$$

$$\mathbb{R} - [b, \infty) = (-\infty, b)$$

$$(-\infty, b) \cap (a, \infty) = (a, b)$$

$$\mathbb{R} - (a,b) = (-\infty, a] \cup [b, \infty)$$

$$\mathbb{R} - (-\infty, a] = [a, \infty)$$

$$\mathbb{R} - (b, \infty) = (-\infty, b]$$

$$(-\infty, b] \cap [a, \infty) = [a, b]$$

열린 구간, 닫힌 구간

## Open and Closed Intervals

$\mathbb{R}$  = the set of all real numbers (실수 전체의 집합)

$\cap (-1, 1/i)$	$(i \in \mathbb{N})$	$\cup [1/i, 2]$	$(i \in \mathbb{N})$
$(-1,$	$1)$		$[1, 2]$
$(-1,$	$1/2)$		$[1/2, 2]$
$(-1,$	$1/3)$		$[1/3, 2]$
.....			.....
$(-1,$	$1/100)$		$[1/100, 2]$
.....			.....
$(-1,$	$1/N)$		$[1/N, 2]$
$(-1,$	$1/(N+1))$		$[1/(N+1), 2]$
.....			.....
$(-1, 0]$		$(0,$	$2]$

위상, 위상공간의 정의

## Definition of Topology

A **Topology** on a set  $X$  is a collection  $\mathcal{T}$  of subsets of  $X$  having the following properties:

- ◆  $\emptyset$  and  $X$  are in  $\mathcal{T}$ .
- ◆ Arbitrary union of the elements of any subcollection of  $\mathcal{T}$  is in  $\mathcal{T}$ .
- ◆ The intersection of the elements of any finite subcollection of  $\mathcal{T}$  is in  $\mathcal{T}$ .

A set  $X$  specified with a topology  $\mathcal{T}$  is called a **Topological space**.

$X$ 를 집합이라고 하고,  $\mathcal{T}$ 를 집합  $X$ 의 부분집합들로 이루어진 모임이라고 하자.  
 $\mathcal{T}$ 가 아래의 세 가지 조건을 만족시키면 **위상**이라고 부른다.

- ◆  $\emptyset$  과  $X$ 는  $\mathcal{T}$ 의 원소이다.
- ◆ 만약  $\mathcal{S} \subseteq \mathcal{T}$  라면,  $\cup \mathcal{S} \in \mathcal{T}$ .
- ◆ 만약  $U, V \in \mathcal{T}$  라면,  $U \cap V \in \mathcal{T}$

여기서 위상  $\mathcal{T}$ 가 주어진 집합  $X$ 를 **위상공간**이라고 부른다.

## Open and Closed Subsets

Let  $X$  be a topological space with a topology  $\mathcal{T}$ .

- ◆ A subset  $A$  of the set  $X$  is called an **open subset** of  $X$  if  $U$  is an element of  $\mathcal{T}$ .

(We say  $A$  is open in  $X$  if  $U$  is an open subset of  $X$ )

- ◆ A subset  $A$  of the set  $X$  is called a **closed subset** of  $X$  if the complement  $X-A$  is an element of  $\mathcal{T}$ .

(We say  $A$  is closed in  $X$  if  $C$  is an closed subset of  $X$ )

집합  $X$ 를 위상  $\mathcal{T}$ 가 주어진 위상공간, 집합  $A$ 를  $X$ 의 부분집합이라고 하자.

- ◆ 만약  $A \in \mathcal{T}$  이면,  $A$ 는  $X$ 의 **열린 부분집합**이다.

( $A$ 는  $X$ 에 대해 **열려있다.**)

- ◆ 만약 여집합  $X-A \in \mathcal{T}$  이면,  $A$ 는  $X$ 의 **닫힌 부분집합**이다.

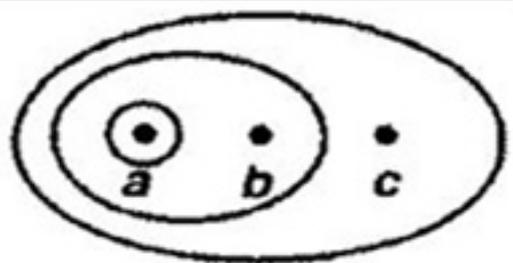
( $A$ 는  $X$ 에 대해 **닫혀있다.**)

## Open and Closed Subsets

### Example

$$X = \{a, b, c\}$$

$$\mathcal{T} = \{\emptyset, \{a\}, \{a,b\}, X\}$$



$$\text{◆ } \emptyset \in \mathcal{T} \quad X \in \mathcal{T}$$

$$\begin{aligned} \text{◆ } & \emptyset \cup \{a\} \quad \emptyset \cup \{a,b\} \quad \emptyset \cup X \quad \{a\} \cup \{a,b\} \quad \{a\} \cup X \quad \{a,b\} \cup X \\ & \emptyset \cup \{a\} \cup \{a,b\} \quad \emptyset \cup \{a\} \cup X \quad \emptyset \cup \{a,b\} \cup X \quad \{a\} \cup \{a,b\} \cup X \\ & \emptyset \cup \{a\} \cup \{a,b\} \cup X \end{aligned}$$

All of the above  $\in \mathcal{T}$

$$\begin{aligned} \text{◆ } & \emptyset \cap \{a\} \quad \emptyset \cap \{a,b\} \quad \emptyset \cap X \quad \{a\} \cap \{a,b\} \quad \{a\} \cap X \quad \{a,b\} \cap X \\ & \emptyset \cap \{a\} \cap \{a,b\} \quad \emptyset \cap \{a\} \cap X \quad \emptyset \cap \{a,b\} \cap X \quad \{a\} \cap \{a,b\} \cap X \\ & \emptyset \cap \{a\} \cap \{a,b\} \cap X \end{aligned}$$

All of the above  $\in \mathcal{T}$

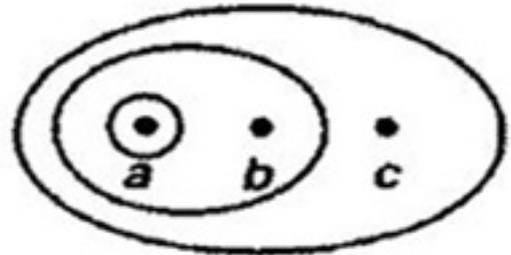
$\therefore \mathcal{T}$  is a topology on the set  $X$ .

## Open and Closed Subsets

### Example

$$X = \{a, b, c\}$$

$$\mathcal{T} = \{\emptyset, \{a\}, \{a,b\}, X\}$$



All subsets of  $X$  are shown in the following:

	Open	Closed
$\emptyset$		
$\{a\}$	Open	Not Closed
$\{a,b\}$	Open	Not Closed
$\{a,c\}$	Not Open	Not Closed
$\{b\}$	Not Open	Not Closed
$\{b,c\}$	Not Open	Closed
$\{c\}$	Not Open	Closed
$X$	Open	Closed

## Open and Closed Subsets

If  $A$  is not open in  $X$ , is  $A$  always closed in  $X$ ?

### Think about...

- ◆ Suppose that all the eastern European countries are under communism.
- ◆ North Korea is not in the eastern Europe.
- ◆ Thus, North Korea is not under communism. (What?)

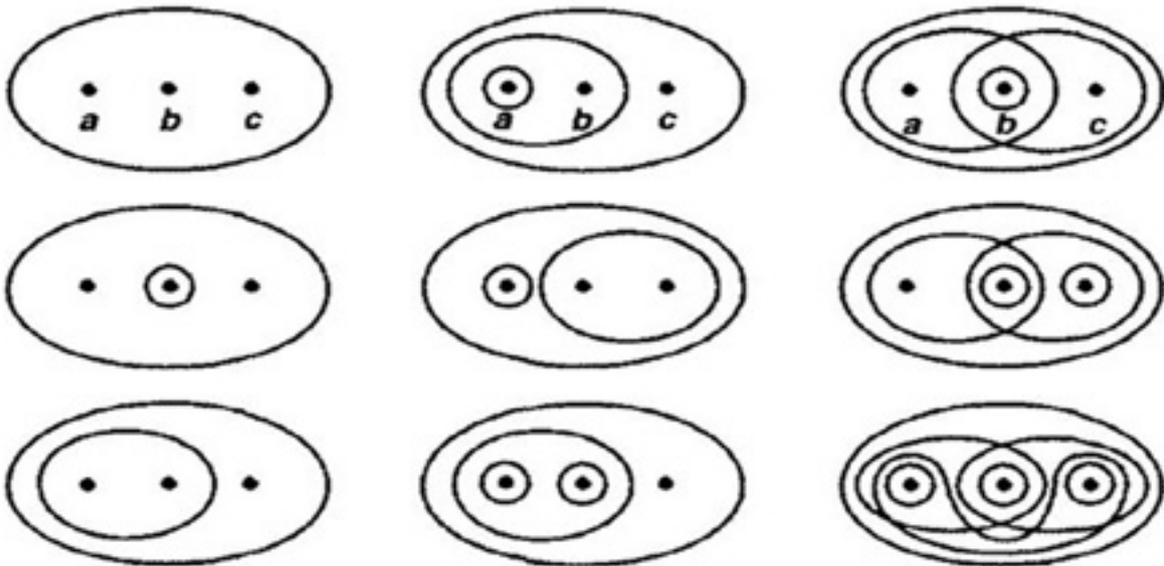
집합  $A$ 가  $X$ 에 대해 열리지 않았다고 해서, 항상  $X$ 에 대해 닫혀 있는가?

### 생각해 보기

- ◆ 모든 동유럽 국가는 공산주의 국가라고 가정하자.
- ◆ 북한은 동유럽 국가가 아니다.
- ◆ 그러므로 북한은 공산주의 국가가 아니다. (옴?)

동일한 집합에서의 위상

## Diverse Topologies on the Same Set



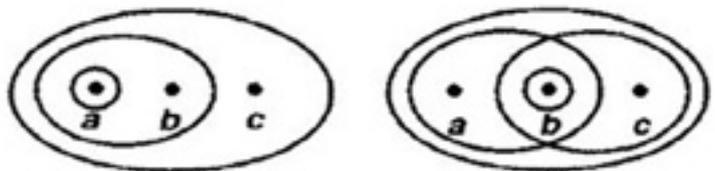
동일한 집합에서의 위상

## Diverse Topologies on the Same Set

**Example**

$X = \{a, b, c\}$

$\mathcal{T}_1 = \{\emptyset, X\}$   $\mathcal{T}_2 = \{\emptyset, \{a, b\}, X\}$



$\{a\}$	open in $\mathcal{T}_1$	not open in $\mathcal{T}_2$
$\{a, b\}$	open in $\mathcal{T}_1$	open in $\mathcal{T}_2$
$\{b\}$	not open in $\mathcal{T}_1$	open in $\mathcal{T}_2$
$\{c\}$	not open in $\mathcal{T}_1$	not open in $\mathcal{T}_2$

## Topology on the Subspace

The definition of the **subspace topology** is omitted for presentation purpose.

$$X = \mathbb{R} \quad Y = [0,1] \quad Y \subset X$$

- ◆ Let  $A$  be open in  $X$  if  $A$  is some union of open intervals.
- ◆ Let  $A$  be open in  $Y$  if  $A$  is the intersection of  $Y$  and some open set in  $X$ . (Then  $Y$  has the **subspace topology** of the topological space  $X$ .)

**Example**

$$A = [0, 1/2)$$

∴  $A$  is not open in  $X$  .      But,  $A$  is open in  $Y$

집합  $X$ 를 위상  $\mathcal{T}_X$ 가 주어진 위상공간,  $Y$ 를  $X$ 의 부분집합이라고 하자.

$Y$ 를 위상공간  $X$ 의 **부분 위상공간**이라고 하면,  $Y$ 의 위상  $\mathcal{T}_Y$ 는 다음과 같이 정의된다.

- ◆  $\mathcal{T}_Y = \{V: V \text{는 } Y \text{의 부분집합, } V=Y \cap U \text{를 만족하는 } U \in \mathcal{T}_X \text{가 존재}\}$

## Basis of a Topology

If  $X$  is a set, a **basis** for a topology on  $X$  is a collection  $\mathcal{B}$  of subsets of  $X$  (called **basis element**) such that

- ◆ For each  $x \in X$ , there is at least one basis element  $B$  containing  $x$ .
- ◆ If  $x$  belongs to the intersection of two basis elements  $B_1$  and  $B_2$ , then there is a basis element  $B_3$  containing  $x$  such that  $B_3 \subseteq B_1 \cap B_2$ .

As a consequence, the subset  $A$  of  $X$  is open in  $X$  if  $A$  is some union of elements of  $\mathcal{B}$ .

$X$ 를 집합이라고 하고,  $\mathcal{T}$ 를 집합  $X$ 의 부분집합들로 이루어진 모임이라고 하자.  $\mathcal{T}$ 가 아래의 세 가지 조건을 만족시키면 **위상**이라고 부른다.

- ◆  $\emptyset$  과  $X$ 는  $\mathcal{T}$ 의 원소이다.
- ◆ 만약  $\mathcal{S} \subseteq \mathcal{T}$  라면,  $\cup \mathcal{S} \in \mathcal{T}$ .
- ◆ 만약  $U, V \in \mathcal{T}$  라면,  $U \cap V \in \mathcal{T}$

여기서 위상  $\mathcal{T}$ 가 주어진 집합  $X$ 를 **위상공간**이라고 부른다.

## Topologies on the Real Space

---

### Example

$X = \mathbb{R}$  = the set of all real numbers

- ◆  $\mathcal{T}_1 = \{\emptyset, \mathbb{R}\}$
- ◆  $\mathcal{T}_2$  = the topology generated by the collection of all open rays  $(-\infty, b)$
- ◆  $\mathcal{T}_3$  = the topology generated by the collection of all open intervals  $(a, b)$
- ◆  $\mathcal{T}_4$  = the topology generated by the collection of all half-open intervals  $[a, b)$
- ◆  $\mathcal{T}_5 = P(\mathbb{R})$  = the Power set of  $\mathbb{R}$  = collection of all subsets of  $\mathbb{R}$

The finest =  $\mathcal{T}_5 \supset \mathcal{T}_4 \supset \mathcal{T}_3 \supset \mathcal{T}_2 \supset \mathcal{T}_1$  = The coarsest

## Meaning of Equivalence

---

$$5 \neq 10$$

$$5 \equiv 10 \pmod{5} \quad \text{!!!!}$$

## Equivalence Relation

A **Relation** on a set  $A$  is a subset of the cartesian product  $A \times A$

An **Equivalence Relation** on a set  $A$  is a relation  $\sim$  on  $A$  having the following three properties:

- ◆ (Reflexivity)  $x \sim x$  for every  $x$  in  $A$
- ◆ (Symmetry) If  $x \sim y$ , then  $y \sim x$
- ◆ (Transitivity) If  $x \sim y$ ,  $y \sim z$ , then  $x \sim z$

집합  $A$  상의 **관계**는 카테시안 곱  $A \times A$ 의 부분집합이다.

집합  $A$  상의 **동치 관계**는 아래의 세 가지 성질을 만족하는 관계를 의미한다:

- ◆ (반사관계) 집합  $A$ 의 모든 원소  $x$ 에 대해  $x \sim x$ 이다.
- ◆ (대칭관계) 만약  $x \sim y$ 이면,  $y \sim x$ 이다.
- ◆ (추이관계) 만약  $x \sim y$ 이고  $y \sim z$ 이면,  $x \sim z$ 이다.

## Partition

A **Partition** on a set  $A$  is a collection of disjoint nonempty subsets of  $A$  whose union is all of  $A$ .

Studying equivalence relations on a set  $A$  and studying partitions of  $A$  are really the same thing. Given any partition  $D$  of  $A$ , there is exactly one equivalence relation on  $A$  from which it is derived.

집합  $A$  상의 **분할**은 공집합이 아니면서 서로소인, 동시에 합집합을 취하면  $A$  전체가 되는 부분집합 (of  $A$ )들의 모임이다.

동치관계를 다루는 것과 분할을 다루는 것은 사실 같은 주제를 연구하는 것과 같다. 집합  $A$ 의 분할  $D$ 가 주어졌을 때,  $D$ 에 의해 유도되는 동치관계는 유일하게 존재하기 때문이다.

## Equivalence Class on $Z$

$Z$  = The set of all integers.

- ◆ Let  $\sim$  be an equivalence relation defined by  
 $x \sim y$  if and only if 5 divides  $y-x$ .
- ◆ Check that  $\sim$  satisfies the three conditions of equivalence relation.

| Class 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| -9      | -8      | -7      | -6      | -5      |
| -4      | -3      | -2      | -1      | 0       |
| 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
| 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
| 11      | 12      | 13      | 14      | 15      |
| etc     | etc     | etc     | etc     | etc     |

## Equivalence Class

**Lemma** Two equivalence classes  $E$  and  $E'$  are either disjoint or equal.

### Proof

Let  $E$  be the equivalence class determined by  $x$ , and let  $E'$  be the equivalence class determined by  $x'$ . Suppose that  $E \cap E'$  is not empty; let  $y$  be a point of  $E \cap E'$ . We show that  $E = E'$

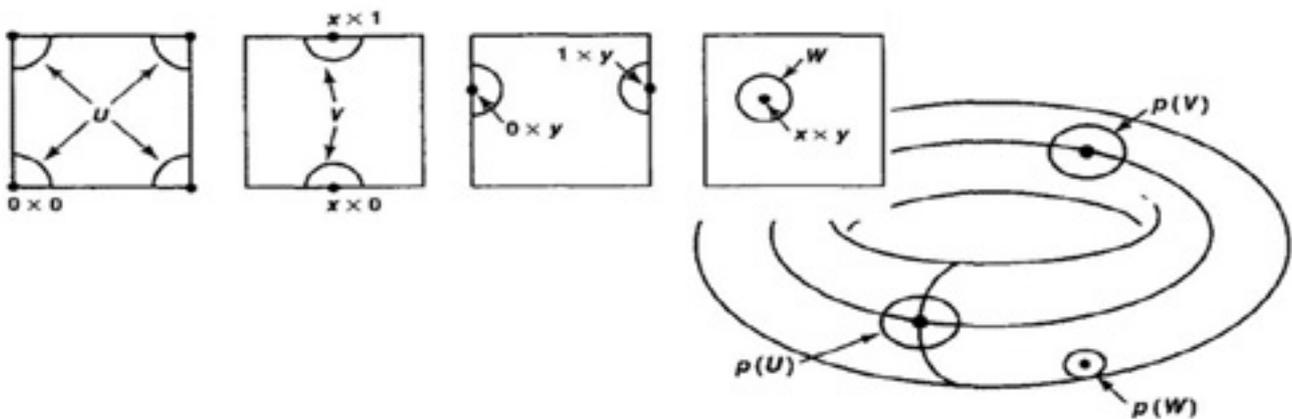
By definition, we have  $y \sim x$  and  $y \sim x'$ . Symmetry allows us to conclude that  $x \sim y$  and  $y \sim x'$ ; from transitivity it follows that  $x \sim x'$ . If now  $w$  is any point of  $E$ , we have  $w \sim x$  by definition; it follows from another application of transitivity that  $w \sim x'$ . We conclude that  $E \subset E'$ .

The symmetry of the situation allows us to conclude that  $E' \subset E$  as well, so that  $E = E'$ .

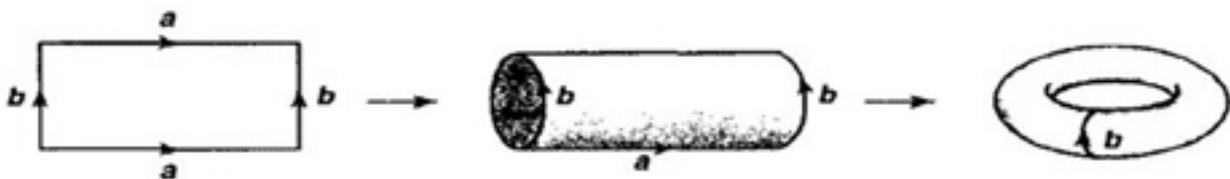
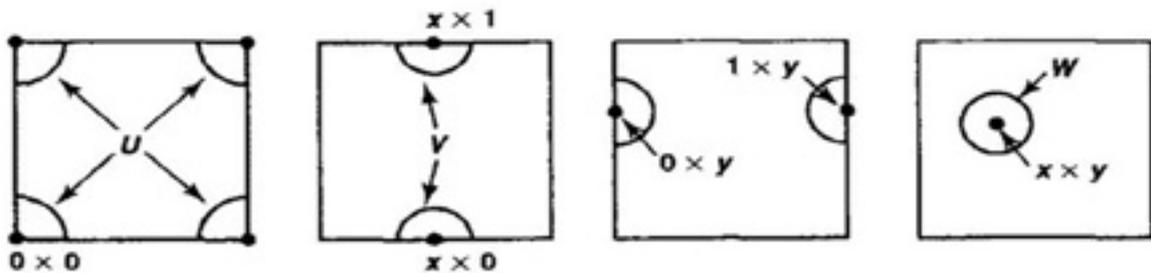
## Quotient Topology

Let  $X$  be a topological space, and let  $X^*$  be a partition of  $X$  into disjoint subsets whose union is  $X$ .

Let  $p : X \rightarrow X^*$  be an onto map that carries each point of  $X$  to the element of  $X^*$  containing it. In the quotient topology induced by  $p$ ,  $X^*$  is called a **quotient space** of  $X$ .



## Quotient Topology



## Further Content for Topology

Closure; Interior; Limit Point;  
 Continuous Function; Metric Space; Quotient Space;  
 Connectedness; Compactness; Completeness;  
 Hausdorff Property; Countability Axioms; Separation Axioms;  
 Urysohn Lemma; Fixed Point Theorem; Tychonoff Theorem

폐포(閉包);	내부;	극한점;	
연속함수;	거리 공간;	쿼션트 공간;	
연결 집합;	옹골 집합;	완비 공간;	
하우스도르프 공간;	핀델리프 공간;	제1 가산공간;	제2 가산공간
거리화 가능 공간;	다양체;	폴란드 공간;	
우리존 중간정리;	고정점 정리;	티코노프 정리	

## Algebraic and Differential Topology

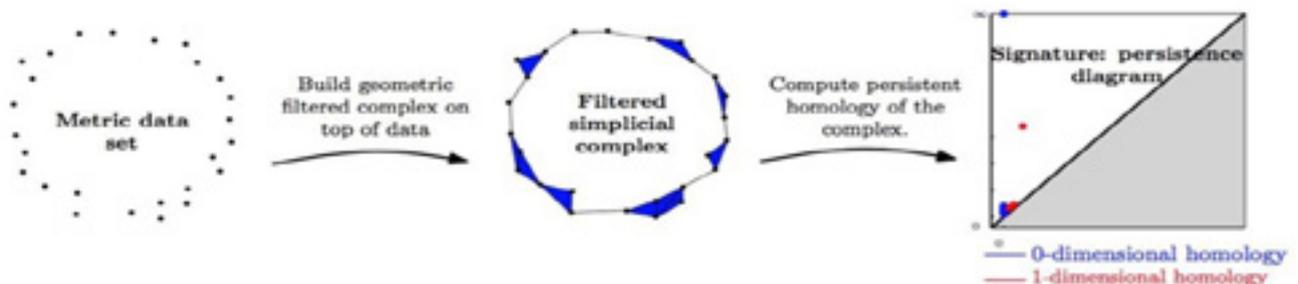
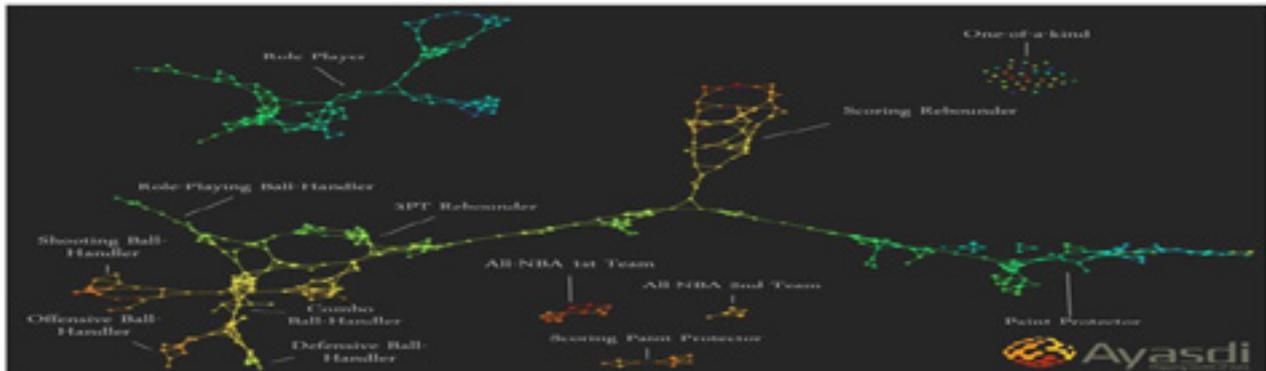
### The Poincare Conjecture

- ◆ Every compact, simply connected, three-dimensional **manifold** is the three-dimensional sphere.
- ◆ This conjecture was proven by Grigori Perelman, who had rejected to win the Fields medal.

### 푸앵카레의 추측

- ◆ 모든 옹골집합이면서, 단순 연결집합이면서, 3차원인 **다양체**는 3차원 구와 같다.
- ◆ 이 추측은 필즈 메달 수여를 거부한 사람으로 유명한 그레고리 페렐만에 의해 증명되었다.

## Topological Data Analysis



## Reference

### [Contents]

- Timothy Gowers, Princeton Companion to Mathematics, Princeton University Press, 2008.
- James R. Munkres, Topology, Prentice Hall, Pearson Education International, 1975.
- Karel Hrbacek, Thomas Jech., Introduction to set theory, Marcel Dekker, Inc., 1999.
- Steen, Lynn Arthur; Seebach, J. Arthur Jr., Counterexamples in Topology, Berlin, New York: Springer-Verlag, 1978.

### [Pictures]

- James R. Munkres, Topology, Prentice Hall, Pearson Education International, 1975.
- <http://www.nuskool.com/learn/lesson/using-topological-data-analysis-to-assess-nba-teams/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Topological\\_data\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Topological_data_analysis)

[순환 부호를 통한 부호이론에 대한 소개]

정보를 주고 받거나 저장 등의 처리하는 과정에서  
발생하는 오류를 정정하는 코드(ECC)에 대한 소개

두지수(이화여자대학교 수학과 4학년)

# Introduction to Coding Theory with Cyclic codes

Ji Soo Doo  
Department of Mathematics, Ewha Womans University

## Contents

1. Introduction to Coding Theory
2. Basic Idea
3. Cyclic codes

introduction

## Coding Theory

### Definition

**Code** is a system of rules to convert information into another form or representation for communication through a channel or storage in a medium

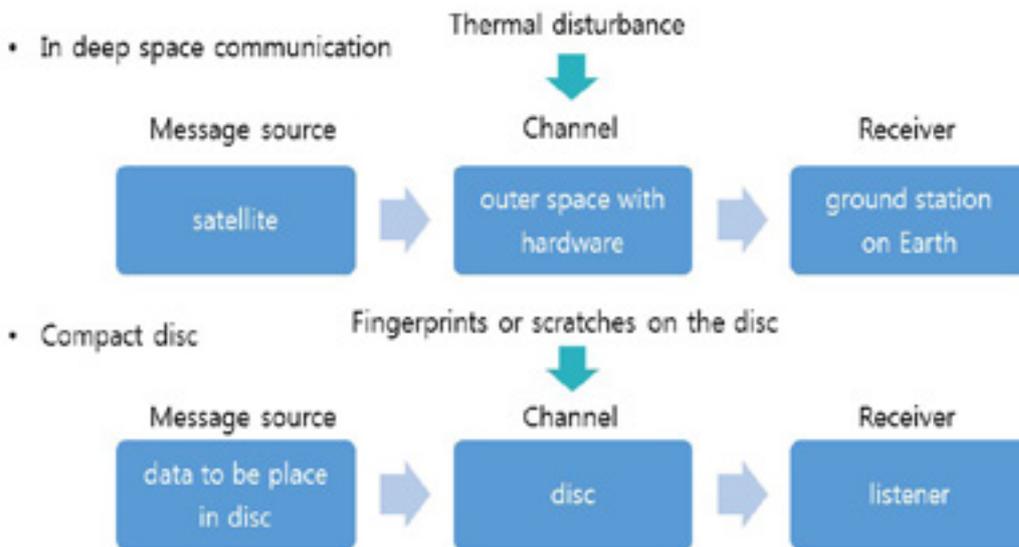
- Data compression
- **Error Correction**
- Cryptographic coding
- Line coding

introduction

## Error Correcting Code (ECC)

## introduction

## Usage of ECC



## Basic Idea

## Basic Idea

## Definition

A **finite field** is a field that contains a finite number of elements. A finite field exists when it contains  $p^k$  elements, where  $p$  is a prime number and  $k$  is a positive integer. Denote a finite field  $\mathbb{F}_q$  when it contains  $q$  elements.

for e.g.  $\mathbb{Z}_p = \{0, 1, 2, \dots, p-1\}$ , where  $p$  is a prime number

## Definition

Let  $\mathbb{F}_q^n$  be the vector space of all  $n$ -tuples over the finite field  $\mathbb{F}_q$ .

An  **$(n, M)$  code  $C$**  over  $\mathbb{F}_q$  is the subset of  $\mathbb{F}_q^n$  of the size  $M$ .

We usually write the vectors  $(a_1, a_2, \dots, a_n) \in \mathbb{F}_q^n$  in the form  $a_1 a_2 \dots a_n$  and call the vectors in  $C$  codewords.

## Basic Idea

## Basic Idea

## Definition

**Linear code** is an error-correcting code for which any linear combination of codewords is also a codeword.

If  $C$  is a  $k$ -dimensional subspace of  $\mathbb{F}_q^n$ , then  $C$  will be called an  $[n, k]$  linear code over  $\mathbb{F}_q$ .

→ Linear codes are easier to describe, encode, and decode than nonlinear codes.

## Definition

Codes over  $\mathbb{F}_2$  are called **binary codes**. The  $[n, 1]$  binary linear code consisting of the two codewords  $\mathbf{0}=00\dots 0$ ,  $\mathbf{1}=11\dots 1$  and is called the binary repetition code of length  $n$ .

## Basic Idea

## Basic Idea

## Definition

- A **generator matrix** for an  $[n, k]$  code  $C$  is any  $k \times n$  matrix  $G$  whose rows form a basis for  $C$ .
- The code has a unique generator matrix of the form  $[I_k \mid A]$  where  $I_k$  is the  $k \times k$  identity matrix is a **standard form**.
- A **parity check matrix** for the  $[n, k]$  code  $C$  is  $(n - k) \times n$  matrix  $H$  defined

$$C = \{x \in \mathbb{F}_q^n \mid Hx^T = 0\}.$$

## Theorem

If  $G = [I_k \mid A]$  is a generator matrix for the  $[n, k]$  code  $C$  in standard form, then  $H = [-A^T \mid I_{n-k}]$  is a parity check matrix for  $C$ .

## Basic Idea

## Example

The matrix  $G = [I_4 \mid A]$ , where

$$G = \left[ \begin{array}{cccc|ccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right] \text{ is a generator matrix in standard form for a } [7,4] \text{ binary code.}$$

By Theorem, a parity check matrix  $H$  is

$$H = [A^T \mid I_3] = \left[ \begin{array}{cccc|ccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right].$$

This code is called the  $[7,4]$  Hamming Code.

## Basic Idea

## Basic Idea

## Definition

- **Distance**  $d(x, y)$  between two vectors  $x, y$  is defined to be the number of coordinates in which  $x$  and  $y$  differ.
- **Weight**  $wt(x)$  of a vector  $x$  is the number of nonzero coordinates in  $x$ .
- Let  $A_i$  be the number of codewords of weight  $i$  in  $C$ . The list  $A_i$  for  $0 \leq i \leq n$  is called the **weight distribution** of  $C$ .

\* The higher the minimum distance, the more errors the code can correct.

## Theorem

If  $x, y$  is the vector, then  $d(x, y) = wt(x - y)$ .

If  $C$  is a linear code, the minimum distance  $d$  is the same as the minimum weight of the nonzero codewords of  $C$ .

## Basic Idea

## Example

Let  $C$  be the binary code with generator matrix

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

The weight distribution of  $C$  is  $A_0 = A_6 = 1$  and  $A_2 = A_4 = 3$ .

Notice that only the nonzero  $A_i$  are usually listed.

## Cyclic Codes

## Advantages of Cyclic Codes

- The encoders and decoders for cyclic codes are simpler compared to noncyclic codes.
- Since the Golay Code, Binary Hamming Code, and code which are equivalent with Reed-Muller are all cyclic code or extended cyclic, studying cyclic code is helpful to understand many other codes.
- If we know some polynomials, then we can get entire codewords.

## Cyclic Codes

## Cyclic Codes

## Definition

A linear code  $C$  of length  $n$  over  $\mathbb{F}_q$  is **cyclic**

$\Leftrightarrow$  for each vector  $\mathbf{c} = c_0 \dots c_{n-2}c_{n-1}$  in  $C$ , the vector  $c_{n-1}c_0 \dots c_{n-2}$ , obtained from  $\mathbf{c}$  by the cyclic shift of coordinates  $i \mapsto i + 1 \pmod{n}$ , is also in  $C$ .

- When examining cyclic codes over  $\mathbb{F}_q$ , we will most often represent the codewords in polynomial form.  
the vectors  $\mathbf{c} = c_0 \dots c_{n-2}c_{n-1} \Leftrightarrow$  the polynomials  $c(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$
- A cyclic code  $C$  is invariant under a cyclic shift.  
 $\Rightarrow$  If  $c(x)$  is in  $C$ , then so is  $xc(x)$  provided we multiply modulo  $x^n - 1$ .

## Cyclic Codes

## Cyclic Codes

- Thus, the proper context for studying cyclic codes is the residue class ring (=factor ring)

$$R_n = \mathbb{F}_q[x]/(x^n - 1)$$

for e.g.

Let  $C$  be a nonzero cyclic code of length 4 over  $\mathbb{F}_2$ .

If  $1001 \in C$ , then  $1100 \in C$ ,  $0110 \in C$ , and  $0011 \in C$ .

In polynomial form, let  $c(x) = 1 + x^3$ .

Then  $xc(x) = x + x^4 = 1 + x$ ,  $x^2c(x) = x + x^2$ ,  $x^3c(x) = x^2 + x^3$  in  $R_4$ .

## Basic Theory of Cyclic Codes

### Definition

Let  $s$  be an integer with  $0 \leq s < n$ .

The  $q$ -cyclotomic coset of  $s$  modulo  $n$  is the set  $C_s = \{s, sq, \dots, sq^{r-1}\} \pmod{n}$ , where  $r$  is the smallest positive integer such that  $sq^r \equiv s \pmod{n}$ .

for e.g.

The 2-cyclotomic cosets modulo 9 are

$$C_0 = \{0\} \quad C_1 = \{1, 2, 4, 8, 7, 5\} \quad C_3 = \{3, 6\}$$

## Basic Theory of Cyclic Codes

We are interested in finding the irreducible factors of  $x^n - 1$  over  $\mathbb{F}_q$  which has no repeated irreducible factors.

### Theorem

$\gcd(n, q) = 1$ , where  $q$  is a prime number. Let  $\alpha$  be a primitive  $n$ th root of unity.  $M_\alpha$  is the monic polynomial in  $\mathbb{F}_q[x]$  of smallest degree which has  $\alpha$  as a root ; minimal polynomial of  $\alpha$  over  $\mathbb{F}_q$

1) For each integer  $s$  with  $0 \leq s < n$ , the minimal polynomial of  $\alpha^s$  over  $\mathbb{F}_q$  is

$$M_{\alpha^s}(x) = \prod_{i \in C_s} (x - \alpha^i), \text{ where } C_s \text{ is the } q\text{-cyclotomic coset of } s \text{ modulo } n.$$

2) Furthermore,  $x^n - 1 = \prod_s M_{\alpha^s}(x)$  is the factorization of  $x^n - 1$  into irreducible factors over  $\mathbb{F}_q$ , where  $s$  runs through a set of representatives of the  $q$ -cyclotomic coset modulo  $n$ .

## Cyclic Codes

## Example

The 2 - cyclotomic cosets modulo 9 are

$$C_0 = \{0\} \quad C_1 = \{1, 2, 4, 8, 7, 5\} \quad C_3 = \{3, 6\}$$

The irreducible factors of  $x^9 - 1$  over  $\mathbb{F}_2$  have degrees 1, 6, 2.

These are the polynomials  $M_1(x) = x + 1$ ,  $M_\alpha(x)$ , and  $M_{\alpha^2}(x)$ , where  $\alpha$  is a primitive ninth root of unity.

Since the only irreducible polynomial of degree 2 over  $\mathbb{F}_2$  is  $x^2 + x + 1$ , the factorization of  $x^9 - 1$  is  $x^9 - 1 = (x + 1)(x^2 + x + 1)(x^6 + x^3 + 1)$ .

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Definition

Let  $R$  be the ring. A nonempty subset  $I$  of  $R$  is called an **ideal** if

- 1)  $I$  is a subring of  $R$ .
- 2)  $r \cdot a \in I$  and  $a \cdot r \in I$  for  $\forall r \in R$  and  $\forall a \in I$ .

## Definition

A **principal ideal** is an ideal  $I$  in a ring  $R$  that is generated by a single element  $a$  of  $R$  through multiplication by every element of  $R$ .

\* We use the notation  $\langle g(x) \rangle$  for the principal ideal of  $R_n$  generated by  $g(x)$ .

## Cyclic Codes

## Basic Assumption

- The characteristic  $p$  of  $\mathbb{F}_q$  does not divide the length  $n$  of the cyclic codes being considered.

$$\Leftrightarrow \gcd(n, q) = 1$$

Thus  $x^n - 1$  has distinct roots in an extension field of  $\mathbb{F}_q$ , and this enables us to describe its roots by  $q$ -cyclotomic cosets modulo  $n$ .

- When writing a codeword of a cyclic code as  $c(x)$ , we mean the coset  $c(x) + (x^n - 1)$  in  $R_n$ .

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Theorem

Let  $C$  be a nonzero cyclic code and there exists a polynomial  $g(x) \in C$ .

- $g(x)$  is the unique monic polynomial of minimum degree in  $C$ .
- $C = \langle g(x) \rangle$
- $g(x) \mid (x^n - 1)$

Let  $k = n - \deg g(x)$  and  $g(x) = \sum_{i=0}^{n-k} g_i x^i$ , where  $g_{n-k} = 1$ .

- The dimension of  $C$  is  $k$  and  $\{g(x), xg(x), \dots, x^{k-1}g(x)\}$  is a basis for  $C$ .
- Every element of  $C$  is uniquely expressible as a product  $g(x)f(x)$ , where  $f(x) = 0$  or  $\deg f(x) < k$ .

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Theorem

$$6. \mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_{n-k} & 0 \\ 0 & g_0 & g_1 & \dots & g_{n-k-1} & g_{n-k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & g_{n-k} & \dots \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} g(x) & \dots & \dots \\ xg(x) & \dots & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & x^{k-1}g(x) \end{bmatrix}$$

7. If  $\alpha$  is a primitive  $n$ th root of unity in some extension field of  $\mathbb{F}_q$ , then  $g(x) = \prod_{\alpha^i} M_{\alpha^i}(x)$ , where the product is over a subset of representatives of the  $q$ -cyclotomic cosets modulo  $n$ .

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Definition

The monic polynomial  $g(x)$  dividing  $x^n - 1$  which generates  $C$  is unique. This polynomial is called **the generator polynomial** of the cyclic code.

## Corollary

The number of cyclic codes in  $R_n = 2^m$ , where  $m$  is the number of  $q$ -cyclotomic cosets modulo  $n$ . Moreover, the dimensions of cyclic codes in  $R_n$  are all possible sums of the sizes of the  $q$ -cyclotomic cosets modulo  $n$ .

## Cyclic Codes

## Example

We showed that  $x^9 - 1 = (1+x)(1+x+x^2)(1+x^3+x^6)$  over  $F_2$ .

Thus there are eight binary cyclic codes  $C_i$  of length 9 with generator polynomial  $g_i(x)$  given in the following table.

$i$	$\dim$	$g_i(x)$
0	0	$1+x^9$
1	1	$(1+x+x^2)(1+x^3+x^6) = 1+x+x^2+\dots+x^8$
2	2	$(1+x)(1+x^3+x^6) = 1+x+x^3+x^4+x^6+x^7$
3	3	$1+x^3+x^6$
4	6	$(1+x)(1+x+x^2) = 1+x^3$
5	7	$1+x+x^2$
6	8	$1+x$
7	9	1

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Definition

- An element  $e$  of a ring satisfying  $e^2 = e$  is called an **idempotent**.
- When  $\gcd(n, q) = 1$ , each cyclic code contains a unique idempotent which generates the ideal. This idempotent is called the **generating idempotent** of the cyclic code.
- Let  $x^n - 1 = f_1(x) \dots f_s(x)$ , where  $f_i(x)$  is irreducible over  $F_q$  for  $1 \leq i \leq s$  and distinct. Let  $\hat{f}_i(x) = (x^n - 1)/f_i(x)$  and  $e_i(x)$  be the generating idempotent of  $\langle \hat{f}_i(x) \rangle$ . Then the idempotents  $\hat{e}_1(x), \dots, \hat{e}_s(x)$  are called the **primitive idempotents**.  
 $\Rightarrow$  The primitive idempotents will produce all the idempotents and therefore all the cyclic codes.

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Theorem

Let  $C$  be a cyclic code over  $\mathbb{F}_q$  with generating idempotents  $e(x)$ . Then the generator polynomial of  $C$  is  $g(x) = \gcd(e(x), x^n - 1)$  computed in  $\mathbb{F}_q[x]$ .

## Theorem

Let  $C$  be a  $[n, k]$  cyclic code and  $e(x) = \sum_{i=0}^{n-1} e_i x^i$  be a generating idempotent of  $C$ .

Then the  $k \times n$  matrix

$$\begin{bmatrix} e_0 & e_1 & e_2 & \cdots & e_{n-2} & e_{n-1} \\ e_{n-1} & e_0 & e_1 & \cdots & e_{n-3} & e_{n-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ e_{n-k+1} & e_{n-k+2} & e_{n-k+3} & \cdots & e_{n-k-1} & e_{n-k} \end{bmatrix}$$

is a generator matrix for  $C$ .

## Cyclic Codes

## Example

The following table gives all the cyclic codes  $C_i$  of the length 7 over  $\mathbb{F}_2$  together with their generator polynomials  $g_i(x)$  and their generating idempotents  $e_i(x)$ .

$i$	$\dim$	$g_i(x)$	$e_i(x)$
0	0	$1 + x^7$	0
1	1	$1 + x + x^2 + \cdots + x^6$	$1 + x + x^2 + \cdots + x^6$
2	3	$1 + x^2 + x^3 + x^4$	$1 + x^3 + x^5 + x^6$
3	3	$1 + x + x^2 + x^4$	$1 + x + x^2 + x^4$
4	4	$1 + x + x^3$	$x + x^2 + x^4$
5	4	$1 + x^2 + x^3$	$x^3 + x^5 + x^6$
6	6	$1 + x$	$x + x^2 + \cdots + x^6$
7	7	1	1

## Cyclic Codes

## Example (using Magma)

## 결과

```
[
  <x + 1, 1>,
  <x^3 + x + 1, 1>,
  <x^3 + x^2 + 1, 1>
]

[7, 6, 2] Cyclic Linear Code over GF(2)
Generator matrix:
[1 0 0 0 0 1]
[0 1 0 0 0 1]
[0 0 1 0 0 1]
[0 0 0 1 0 0 1]
[0 0 0 0 1 0 1]
[0 0 0 0 0 1 1]
x + 1
x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x

[7, 4, 3] Cyclic Linear Code over GF(2)
Generator matrix:
[1 0 0 0 1 1 0]
[0 1 0 0 0 1 1]
[0 0 1 0 1 1 1]
[0 0 0 1 1 0 1]
x^3 + x + 1
x^4 + x^2 + x

[7, 4, 3] Cyclic Linear Code over GF(2)
Generator matrix:
[1 0 0 0 1 0 1]
[0 1 0 0 1 1 1]
[0 0 1 0 1 1 0]
[0 0 0 1 0 1 1]
x^3 + x^2 + 1
x^6 + x^5 + x^3
```

## Cyclic Codes

## Example (using Magma)

## 결과

```
[
  <x + 1, 1>,
  <x^3 + x + 1, 1>,
  <x^3 + x^2 + 1, 1>
]

[7, 4, 3] Cyclic Linear Code over GF(2)
Generator matrix:
[1 0 0 0 1 1 0]
[0 1 0 0 0 1 1]
[0 0 1 0 1 1 1]
[0 0 0 1 1 0 1]

{
  (0 0 0 0 0 0 0),
  (0 0 0 1 1 0 1),
  (0 0 1 0 1 1 1),
  (0 0 1 1 0 1 0),
  (0 1 0 0 0 1 1),
  (0 1 0 1 1 1 0),
  (0 1 1 0 1 0 0),
  (0 1 1 1 0 0 1),
  (1 0 0 0 1 1 0),
  (1 0 0 1 0 1 1),
  (1 0 1 0 0 0 1),
  (1 0 1 1 1 0 0),
  (1 1 0 0 1 0 1),
  (1 1 0 1 0 0 0),
  (1 1 1 0 0 1 0),
  (1 1 1 1 1 1 1)
}
```

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Definition

Let  $C$  be a cyclic code with generator polynomial  $g(x)$ . Then by Theorem,

$g(x) = \prod_s M_{\alpha^s}(x) = \prod_s \prod_{i \in C_s} (x - \alpha^i)$ , where  $s$  runs through some subset of representatives of the  $q - \text{cyclotomic cosets}$ .

Let  $T = \cup_s C_s$  be the union of these  $q - \text{cyclotomic cosets}$ .

Then the set  $T$  is called the **defining set** of  $C$ .

## Definition

The roots of unity  $Z = \{\alpha^i | i \in T\}$  are called the **zeros of the cyclic code**  $C$ , where  $\alpha$  is a primitive  $n$ th root of unity.

## Cyclic Codes

## Example

The following table gives all the cyclic codes  $C_i$  of the length 7 over  $\mathbb{F}_2$  together with their generator polynomials  $g_i(x)$  and their generating idempotents  $e_i(x)$ .

$i$	$\dim$	$g_i(x)$	$e_i(x)$	Defining set
0	0	$1 + x^7$	0	{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6}
1	1	$1 + x + x^2 + \dots + x^6$	$1 + x + x^2 + \dots + x^6$	{1, 2, 3, 4, 5, 6}
2	3	$1 + x^2 + x^3 + x^4$	$1 + x^3 + x^5 + x^6$	{0, 1, 2, 4}
3	3	$1 + x + x^2 + x^4$	$1 + x + x^2 + x^4$	{0, 3, 5, 6}
4	4	$1 + x + x^3$	$x + x^2 + x^4$	{1, 2, 4}
5	4	$1 + x^2 + x^3$	$x^3 + x^5 + x^6$	{3, 5, 6}
6	6	$1 + x$	$x + x^2 + \dots + x^6$	{0}
7	7	1	1	$\emptyset$

## Cyclic Codes

## Basic Theory of Cyclic Codes

## Theorem

Let  $C$  be an  $[n, k]$  cyclic code over  $\mathbb{F}_q$  with zeros  $\mathcal{Z}$  and  $\alpha$  be a primitive  $n$ th root of unity. Let  $\mathcal{Z} = \{\alpha^j | j \in C_{i_1} \cup \dots \cup C_{i_w}\}$ , where  $C_{i_1} \cup \dots \cup C_{i_w}$  are distinct  $q$ -cyclotomic cosets modulo  $n$ .

Let  $L$  be the  $w \times n$  matrix defined by

$$L = \begin{bmatrix} 1 & \alpha^{i_1} & \dots & \alpha^{(n-1)i_1} \\ 1 & \alpha^{i_2} & \dots & \alpha^{(n-1)i_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \alpha^{i_w} & \dots & \alpha^{(n-1)i_w} \end{bmatrix},$$

This theorem implies that the zeros of cyclic code can be used to obtain a parity check matrix.

and  $H$  be a  $w \times n$  matrix obtained by replacing each entry of  $L$  by its corresponding column vector.

$$\begin{aligned} \text{Then } \mathbf{c} \text{ is in } C &\Leftrightarrow L\mathbf{c}^T = 0 \\ &\Leftrightarrow H\mathbf{c}^T = 0 \end{aligned}$$

## Reference

- Fundamentals of Error-Correcting Codes (W.Cary Huffman and Vera Pless, 2003)
- Information Coding Techniques ( J.S. Chitode, 2009)



# THANK YOU

Ji Soo Doo  
Department of Mathematics, Ewha womans University

[샘과 결혼문제]

김정한 (고등과학원 교수)

## [샘과 결혼문제]

김정한 (고등과학원 교수)

예로부터 숫자를 세는 일은 모든 일의 근본이 되어 왔다.

날짜, 연도, 백성의 수, 군사의 수, 경제성장율 등 수 많은 일들이 숫자로 표현되고 있어 수를 사용하지 않고 하루를 지내기는 예나 지금이나 거의 불가능하다.

수를 세는 것처럼 쉬운 일이 없을 듯 하지만 자세히 살펴보면 수를 정확히 세는 일이 어려운 경우가 많다.

한 예로, 선거에서 몇 표 차이로 당락이 바뀌는 경우 두 번, 세 번다시 세는 것을 볼 수 있다.

특히, 최근에는 컴퓨터의 발전으로 경우의 수를 세고 각 경우에 따라 거기에 맞는 명령을 하는 작업이 더욱 중요시 되고 있다.

한 마디로 말하면, 알고리즘은 컴퓨터에게 각 경우에 어떻게 하라는 명령을 수행케 하는 기본논리 이다.

이 강연에서는 알고리즘분야의 흥미로운문제인 “안정된 결혼에 관한 정리 (Stable Marriage Theorem)”를 소개하고 그 문제들을 통하여, 컴퓨터의 셴인 알고리즘의 원리에 대해 생각해 보고자 한다.

[수학 기반 스타트업 소개]

김종락 (서강대학교 교수)

## 수학기반 스타트업 소개

Jon-Lark Kim(김종락)  
Sogang University(서강대)  
feelmathred@gmail.com  
현대빌딩 별관 B1, Seoul  
2015.11.21(토)

### 차례

- 한국에 왜 수학기반 스타트업이 필요한가?
- 수학 스타트업 분류
- 수학 스타트업의 미래 방향



- 나는 부호론과 이산수학을 전공한 수학자였다.
- 2014년 부터 서강대가 LINC(선도적 산학 중점 사업)에 선정되고 그에 따라 오픈이노베이션센터 주임교수로 활동하게 되었다.
- 결과적으로, 나는 “ICT융합 수리적 모델링 협의체”를 구성하였다. 이 협의체는 RainbowWireless, Plus21, OSS Lab, and Encored Technologies로 구성되었다.

- 나를 포함한 수학계의 **산업수학**에 대한 관심 폭발
- 본인이 회사 CEO와 직접 인터뷰한 내용을 소개하고 미래 수학 스타트업이 해야할 것에 대해 논의하고자함.

## Why Math Startups in Korea?

- 한국에는 수학을 전공하거나 복수전공하는 학생이 많이 있다.
- 많은 학생들이 현대, 삼성, LG 등 대기업에 취직하고자 한다.
- 그러나 이러한 기업은 수학 전공자를 고용하는데 인색하다.
- 그와 대조적으로, 많은 스타트업들은 수학 전공자를 필요로 한다.
- 이런 불균형 문제를 해결하는 가장 좋은 방법은 수학 기반 스타트업을 양성하고 이 기업들이 수학전공자를 고용하는 것이다.

## Characterization of Math Startups

### ◆ 빅데이터, 머신러닝:

- Encored Technologies
- ECMiner

### ◆ 수학 소프트웨어:

- CEMWARE
- ECMiner

### ◆ 에듀테크:

- KnowRe
- BaPul
- ClassCube
- Rernote
- Bomb Score
- SpaceEdu

### ◆ 수학 교구 및 게임:

- MathLove
- FeelMath RED

## Selected Startups – ECMiner

- CEO 민광기(우측), 제어 계측 박사



ECMiner = Data Mining Software Company

= Korean's only version of SAS

Found in 2000.

No. of employees : 40

CEO Min says "We want to hire **mathematicians and statisticians.**"  
 "We need mathematical areas such as **Discrete Math, linear and non-linear dynamics, Bayesian rule, and deep learning.**"

## Selected Startups – ECMiner (projects)

**데이터마이닝 분야 국내 선두 기업**  
 15년간 다양한 분야에서 200여 개 프로젝트 수행 경험



## Selected Startups – ECMiner’s clients

**공공/금융/서비스**

국내 대기업(제조사)	공공/금융/서비스	교육기관

## Selected Startups – CEMWARE

### CEO 김광진



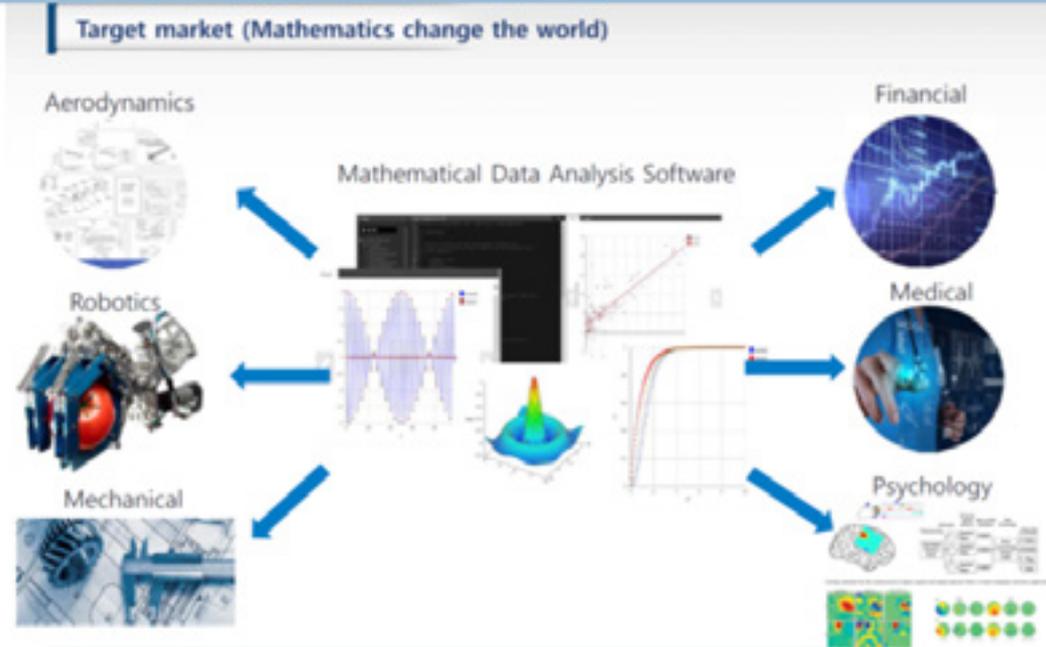
**셈웨어** = Mathematical Data Analysis Software Company

= **Korean's only version of MATLAB**

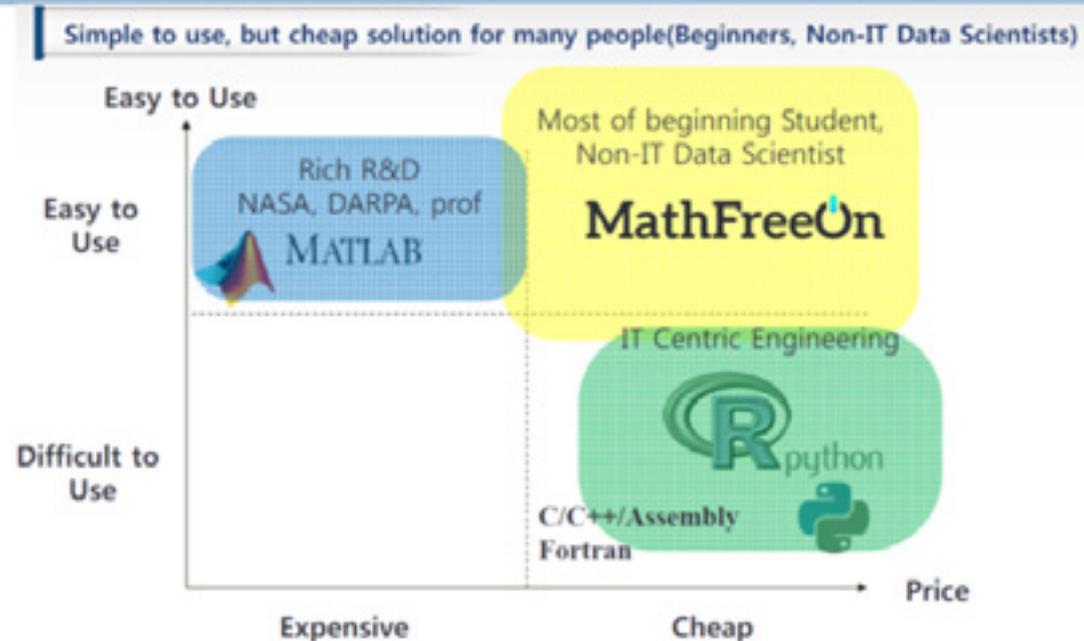
Started in 1990 from a lab of control and measurement engineering in Seoul Nat'l Univ.

CEO Kim says "Our vision is to become world's best company to provide computing software to connect **Mathematics and Engineering.**"

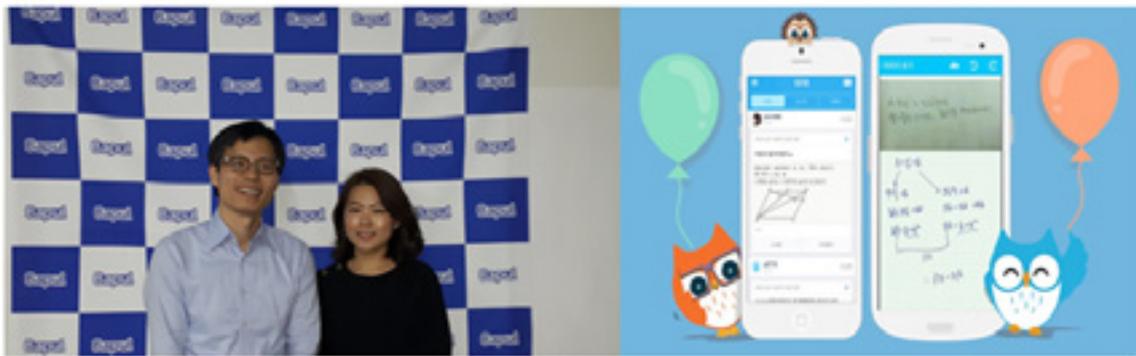
# Selected Startups – CEMWARE



# Selected Startups – CEMWARE: MathFreeOn



## Selected Startups – BaPul(바풀, Solved quickly)



BaPul = Platform for Solving Mathematical Problems among Students  
Founded in 2011 and no. of employees 15

## Selected Startups – BaPul: Statistics



480,000 downloads from 141 countries



4,900 questions/day  
Math questions 84%, English 8%  
Average minutes for answer 15 min.

## Selected Startups – BaPul: Big Data Applied

기초 > 심화 > 진단

**바로퀴즈**

·수학 기초판·

**피타고라스의 정리**  
중3-2

5개의 진단 문제로 수학실력을 진단해드립니다.

바로 퀴즈 시작

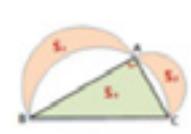
공유하기

공부는 바로풀기

바로퀴즈 수학판

**피타고라스의 정리 (심화)**

난이도 ★★★★★ 정답률 10%



위의 그림에서  
 $S_1 + S_2 = S_3$ 의 성립한다.

O
X

바로퀴즈 수학판

**피타고라스의 정리 (심화)**

바로퀴즈 진단표

개념은 충분히 이해하고 있지만 문제 지문에 대한 이해까지 조금 부족해 보입니다.



모든 문제 풀이에 필요한 기본 개념을 알고 있으나, 지문의 문맥에 대해 깊이 생각하지 않고 답이 나올 것만 같아 문제를 푸는 순간까진 쉽게 풀어서 확인하는 경향에서 개선이 필요합니다.

당신을 위한 맞춤 학습 제안

단원 별 핵심 문제 제공, 문항 별 분석으로 진단 제공 후 공부법, 추천 콘텐츠 제공

## Selected Startups - 감성수학 레드 (FeelMath RED)

### 수학비즈니스 모델

현재 수학계에서 불고 있는 산업수학 열풍을 **수학산업 비즈니스 모델**로 확장하고자 함

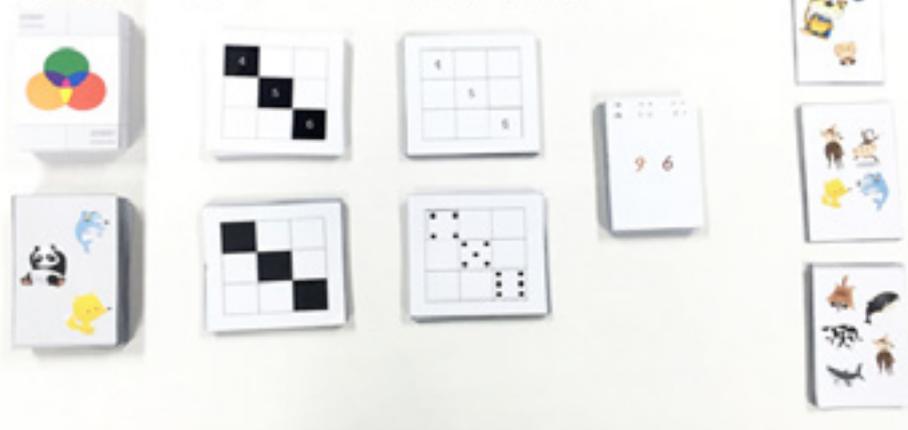


### 학생들의 수학기피 현상 해결 책임감 실현

20년간 수학을 전공한 전문가로서 현재 초중고 학생들의 **수학기피현상에 대한 책임감과 이를 해결하고자 창업을 결심함**

## 사업아이템

### 리틀 데카르트 시리즈 현재 10종의 카드 게임 개발



## 감성수학 교실 개최

### <김종락 박사의 감성수학 교실> 개최



2015.10.17(서강대 캠퍼스)

 **황윤복**님이 새로운 사진 2장을 추가했습니다.  
15년 10월 23일 · 서울 · 24

데카르트가 추구하는 감성수학교실에  
참여요, 김종락교수님의 보드게임에 참여하는 수학에 대해 알려드립니다. 물론  
서 오셔서 정말 열심히 이야기 나누고 게임도 해요. ㅎㅎ



👍 좋아요 🗨 댓글 달기 🔄 공유하기

2월 1일, 1월 1일, 1월 1일, 1월 1일 4명이 좋아합니다.

## 수학기반 스타트업의 미래 방향

- 수학기반 스타트업은 도적적이어야 한다.
- 현재는 수학 교육에 많이 치우쳐 있다.
- 좀 더 다양한 분야, Big Data, IoT, 3D printing, weather prediction, biology, security, etc. 로 확대할 필요가 있다.

## 수학기반 스타트업의 미래 방향

- Pangyo(판교) (Korean silicon valley)는 수학 스타트업에 좋은 기회를 제공할 것이다.



SPARK @ PANGYO on Oct. 7 2015 with Hyungju Park and Choongyeop Choi

## SPARK @ PANGYO highlights Math Startups in November 4 (Wed.)

SPARK @ PANGYO <11월 4일 저녁 7시 경기창조경제 혁신센터 1층> GiGa Hall

시 간	프로그램	내 용	비 고
18:00 - 18:30	Pizza & Chat	Early birds	
18:30 - 18:35	Welcome Message(5')	환영연사, 프로그램 안내	
18:35 - 19:00	Spark theme 1(25')	스타트업의 특허전략 (필립)	
19:00 - 19:30	Spark Theme 2(25')	와이킵이네이더 결합공유(하형석 미미박스 대표)	
19:30 - 19:45	Spark Star-tups(15') 산업수학특집	-이씨마이니 (ECMiner) -생헤어 - 스타트업(한교지역)	
19:45 - 20:30	Fireside chat(45')	수학과 스타트업의 만남 김종락서강대학교수, 알버트, 수학스타트업	
20:30 - 21:00	Startup Town Hall(45')	스타트업 타운홀 미팅	참석자 신청
21:00 -	Spark Networking	네트워킹	참석자 신청

경기창조경제혁신센터 STARTUP CENTRAL

Thanks you very much for your attention!

Q & A

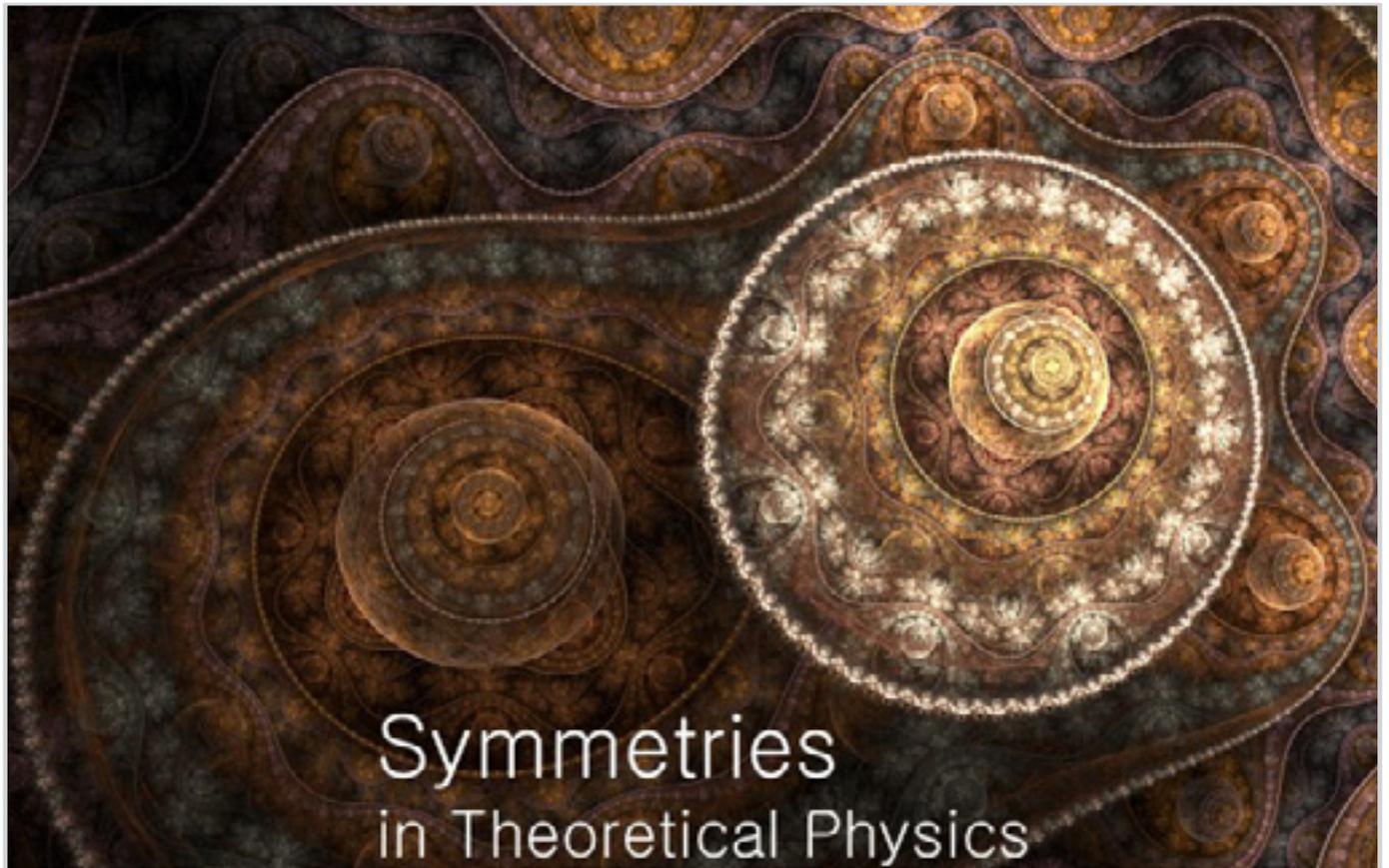
참고사이트: (페이스북) 신기한 수학적 콘텐츠 만들기  
[www.facebook.com/groups/mathcontents](http://www.facebook.com/groups/mathcontents)

# 세션2/ 물리학

[Symmetries in theoretical physics]

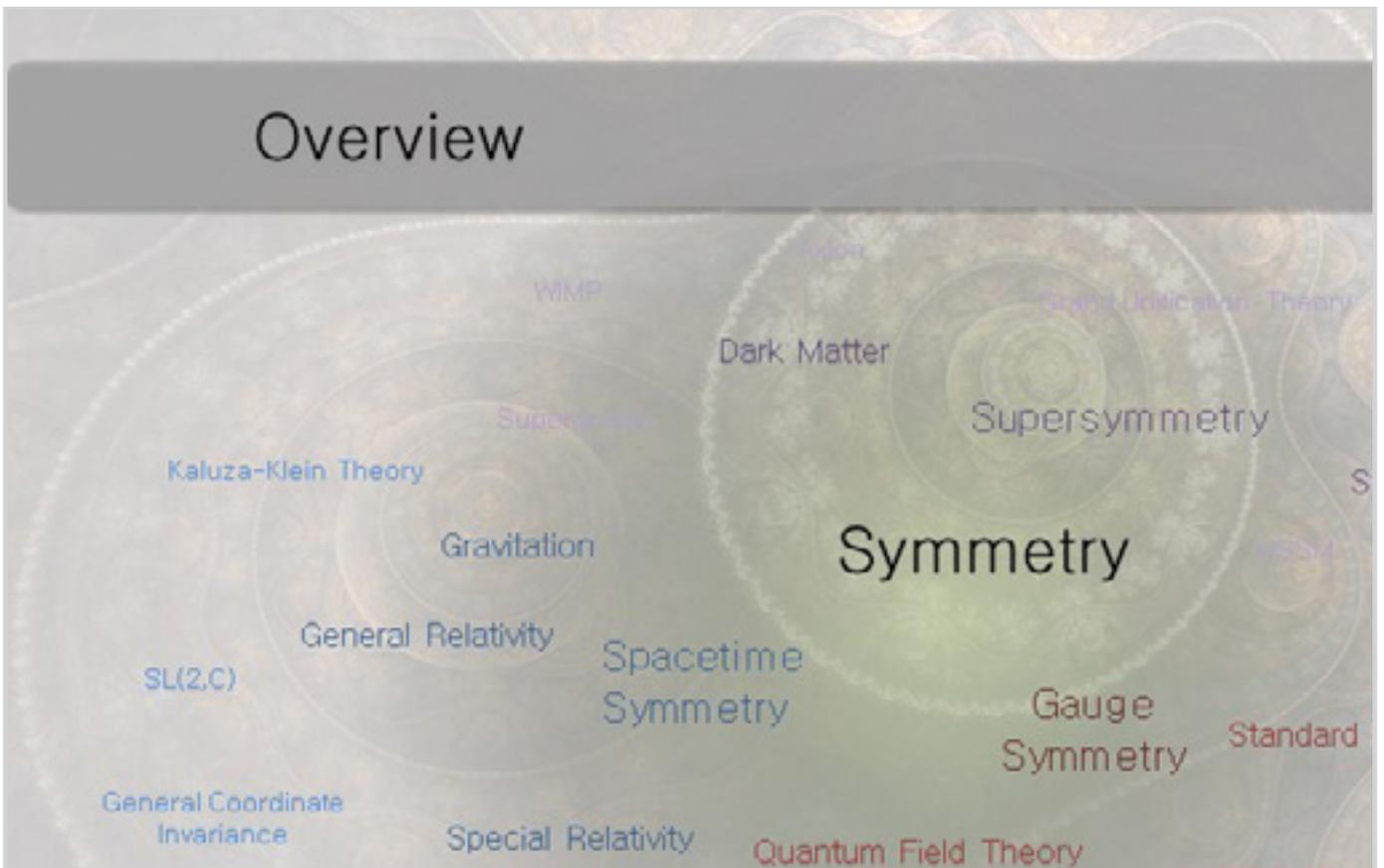
이론물리학에서 대칭성 역할

남궁준 (서울대학교 물리학 석사과정 1학년)



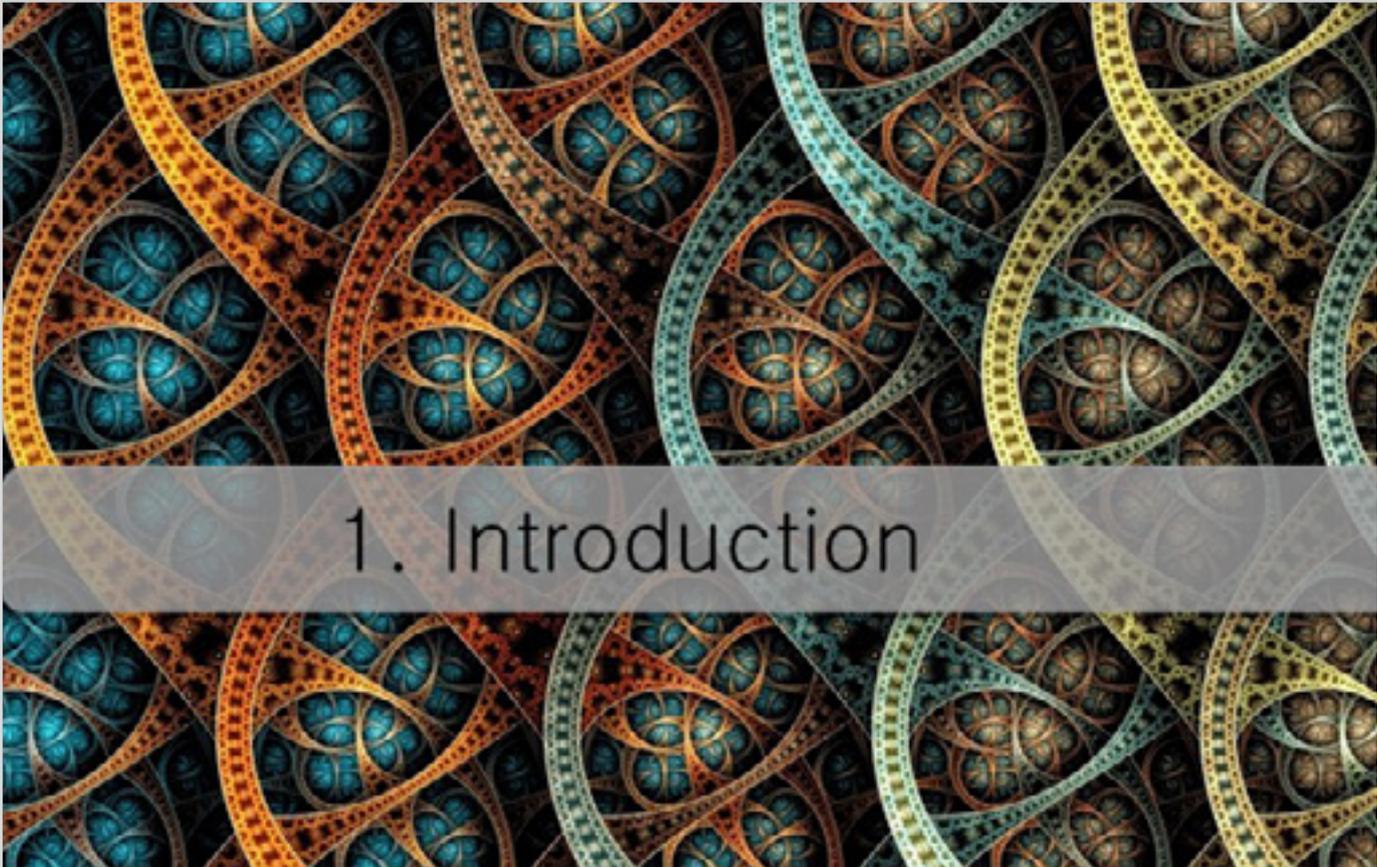
# Symmetries in Theoretical Physics

## Overview



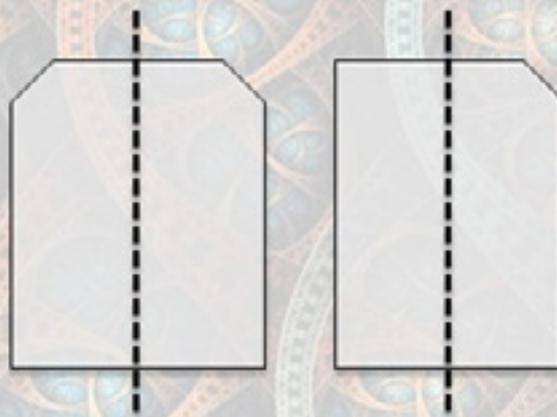
## Contents

1. Introduction
2. Noether's theorem
3. Spacetime symmetry
4. Internal Symmetry



## 1. Introduction

## 1.1. Flip Symmetry



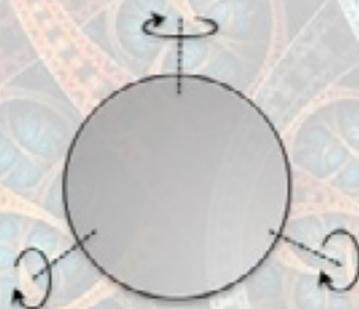
Transformation:  
Flip around vertical  
 $Z_2$  symmetry

Symmetric Asymmetric

## 1.2. Rotational Symmetry



2d Rotation  
 $SO(2)$



3d Rotation  
 $SO(3)$



## 1.2. Rotational Symmetry

Rotational symmetry in N-dimension has  ${}_N C_2$  axes.

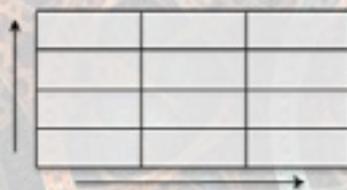
Symmetry group:  
SO(N)

Number of generators

Independent way of  
transformation

N-dim rotational symmetry group SO(N) has  ${}_N C_2$  generators

## 1.3. Translational Symmetry



T(2)

Translational symmetric  
in two direction



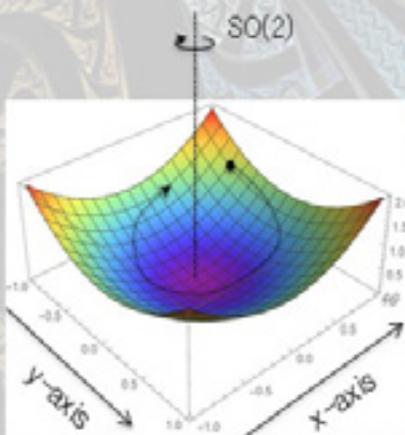
T(1)

Translational symmetric  
in one direction

Translational symmetry group T(N) has N generators

## 2. Noether's Theorem

### 2.1. Rotational Symmetry and Angular Momentum



Potential of the system

$$V = x^2 + y^2$$

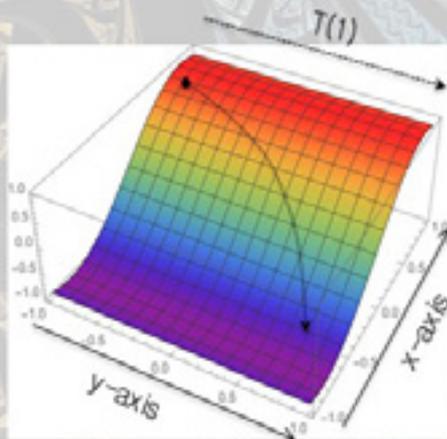
Rotational transformation around z-axis

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$V$  is invariant under the transform

Rotational symmetry around z-axis  
→ Angular momentum around z-axis is conserved

## 2.2. Spatial Translational Symmetry and Linear Momentum



Potential of the system

$$V = x^2 - x^4$$

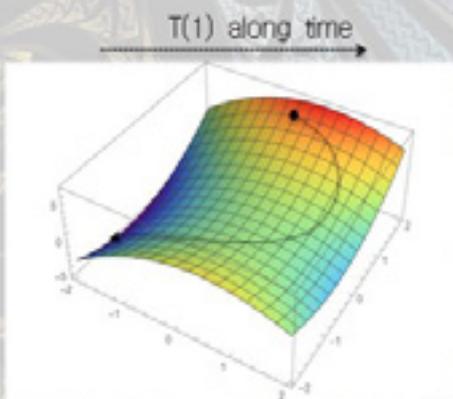
Translation along y-axis

$$x \rightarrow x, \quad y \rightarrow y + a$$

$V$  is invariant under the transform

Translation symmetry along y-axis  
 → Linear momentum along y-axis is conserved

## 2.3. Time Translational Symmetry and Energy



Potential of the system

$$V = y^2 - x^2 + xy$$

Translation along time

$$t \rightarrow t + a$$

$V$  is invariant under the transform

Translation symmetry along time  
 → Energy is conserved

## 2.4. Noether's Theorem

Symmetry → Conserved Quantity

Rotation → Angular momentum

Spatial translation → Linear momentum

Time translation → Energy

Number of symmetry group generators  
= Number of conserved quantities

## 2.4. Noether's Theorem

$$\mathcal{L} = T - V \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_n} = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_n}$$

If Lagrangian is independent of  $q_n$ , (ignorable coordinate)

We have following conserved quantity  $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_n}$

e.g. Free falling mass

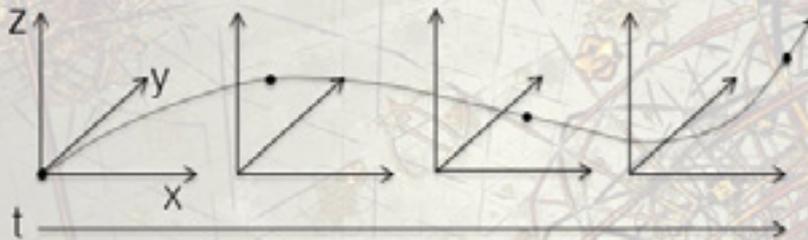


$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - mgy \quad \rightarrow \quad \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{x}} = mg\dot{x} = P_x$$

### 3. Spacetime Symmetry

#### 3.1. 3-dimensional Galilean Symmetry

Euclidean space: 3 dimensional space + 1 dimensional time



Galilean transformation: spacetime translation + space rotation

$$\begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} t+a \\ x+b \\ y+c \\ z+d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} R_{3 \times 3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

### 3.1. 3-dimensional Galilean Symmetry

Consider a single particle in 3 dimensional Euclidean

Space Rotation:  $SO(3) \rightarrow$  Angular momentum: 3

Spacetime translation:  $T(4) \rightarrow$  Energy-momentum: 4

Total 7 number of conserved quantities are possible

$$\text{Gal}(3) = SO(3) \times T(4)$$

Gal(3) has 7 generators

### 3.2. 4-dimensional Lorentz Symmetry

Minkowski space: 4 dimensional spacetime



Lorentz transformation: spacetime translation + spacetime rotation

$$\begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} t+a \\ x+b \\ y+c \\ z+d \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} R_{4 \times 4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

### 3.2. 4-dimensional Lorentz Symmetry

Consider a single particle in 4 dimensional Minkowski space

Spacetime Rotation:  $SO(4)$  Angular momentum: 6

Spacetime translation:  $T(4)$  Energy-momentum: 4

Total 10 number of conserved quantities are possible

$$\text{Poin}(4) = SO(4) \times T(4)$$

Poin(4) has 10 generators

### 3.3. Euclidean VS Minkowski

Spatial rotation

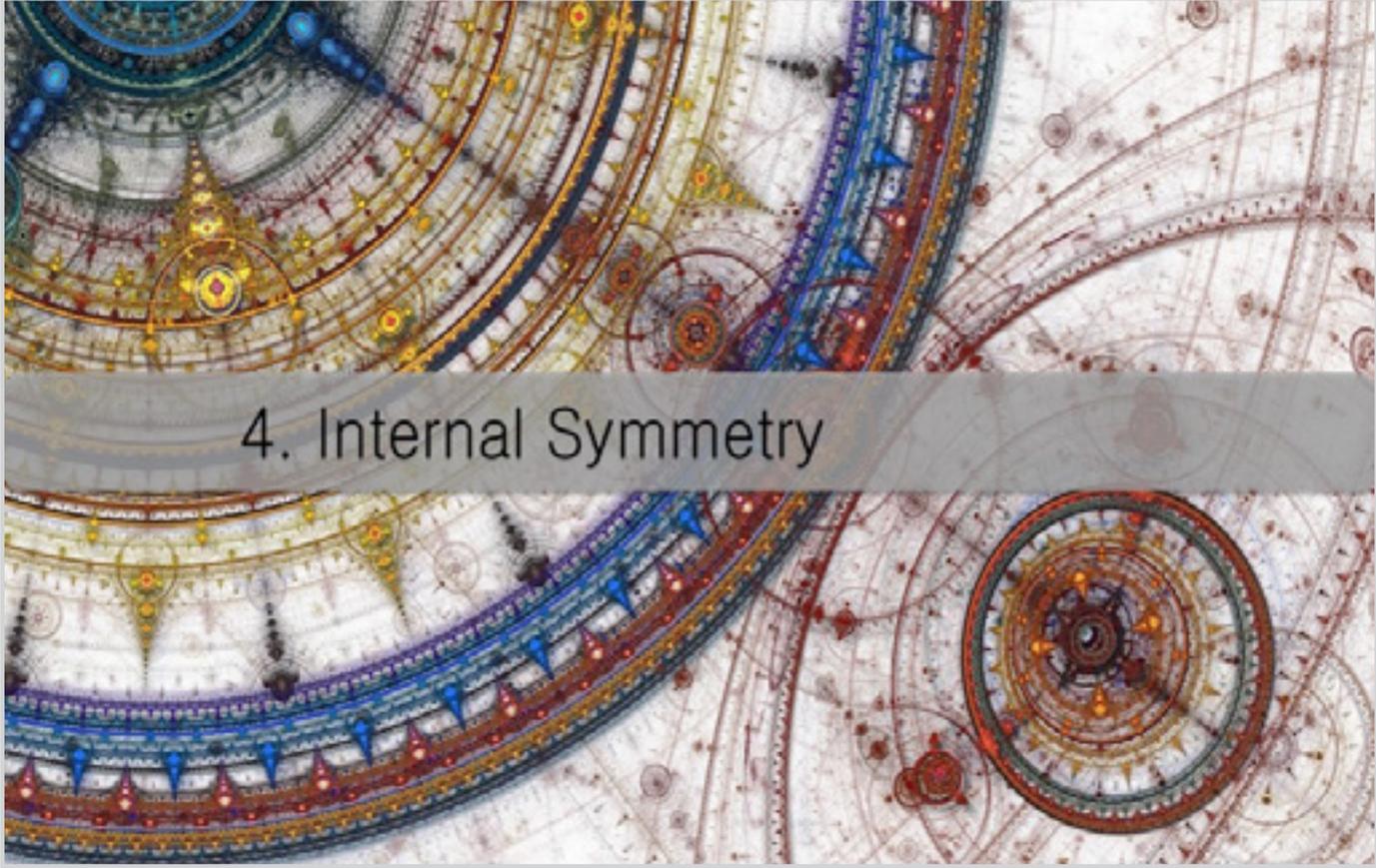
Space Rotation:  $SO(3)$  Angular momentum: 3

Spacetime rotation

Spacetime Rotation:  $SO(4)$  Angular momentum: 6



Additional three angular momenta associated with  
→ Spin angular momentum



## 4. Internal Symmetry

### 4.1. Spacetime VS Internal

Spacetime symmetry: Transformation of coordinates

$$x_n \rightarrow f(x_1, \dots, x_N, t)$$

Internal symmetry: Transformation of fields

$$\psi_n \rightarrow f(x, t, \psi)$$

## 4.2. Global Phase Rotation

Non-relativistic quantum field: Schroedinger field

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + V\psi \quad \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi|^2 dx = 1$$

Let us find the internal symmetry of Schroedinger field

1) Constant shift  $\rightarrow \psi + a \rightarrow$  does not hold due to  $V$

2) Constant scale  $\rightarrow A\psi \rightarrow$  requires  $|A|^2 = 1$

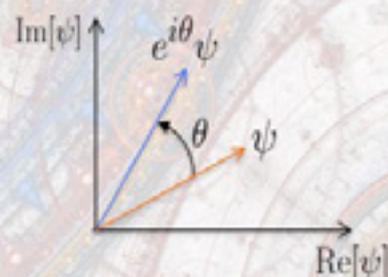
$$|A|^2 = 1 \rightarrow A = e^{i\theta} \quad (\theta \in \mathbb{R})$$

## 4.2. Global Phase Rotation

Internal symmetry of Schroedinger field:

Global phase rotation:  $U(1) \approx SU(2)$

$$\psi \rightarrow e^{i\theta} \psi$$



Conserved quantity for global  $U(1)$  symmetry  
= Probability / Particle number

### 4.3. Local Phase Rotation

In local phase rotation, angle is no more constant, but a function of spacetime.

$$\psi \rightarrow e^{i\theta} \psi \quad \theta = \theta(x, t)$$

Then Schrodinger equation does not hold anymore.

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + V\psi$$

We introduce gauge fields: 1 scalar and 1 vector

$$\phi, \vec{A} \in \mathbb{R} \quad i\hbar \left( \frac{\partial}{\partial t} - i\phi \right) \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial}{\partial x} - iA_x \right)^2 \psi$$

### 4.3. Local Phase Rotation

$$i\hbar \left( \frac{\partial}{\partial t} - i\phi \right) \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial}{\partial x} - iA_x \right)^2 \psi \quad \phi \rightarrow \phi + \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad A_x \rightarrow A_x + \frac{\partial \theta}{\partial x}$$

$$\psi \rightarrow e^{i\theta} \psi \text{ changes } \left[ i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \right] = \left[ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right] + V\psi$$

canceled by ←
→ canceled by  $\vec{y}$

Gauge fields turns out to be electromagnetic potentials.

$$\vec{E} = -\nabla\phi \quad \vec{B} = \nabla \times \vec{A}$$

Local U(1) symmetry → Electromagnetic force

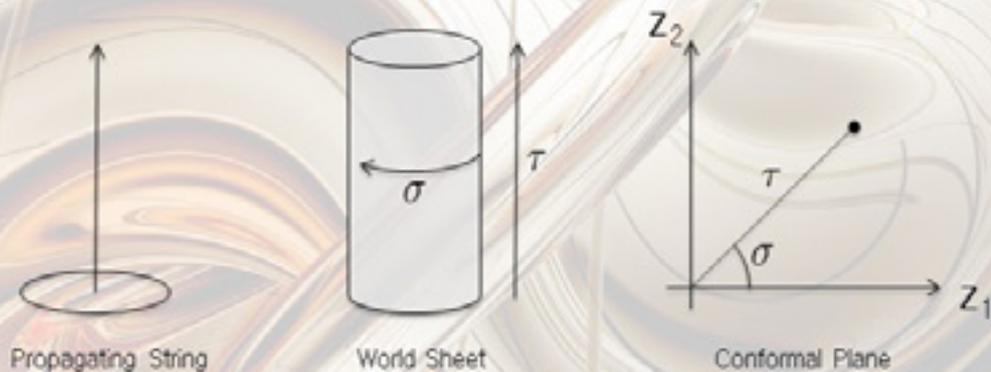


## 5. Advanced Issues



### 5.1. Supersymmetry

## 5.2. Conformal Symmetry



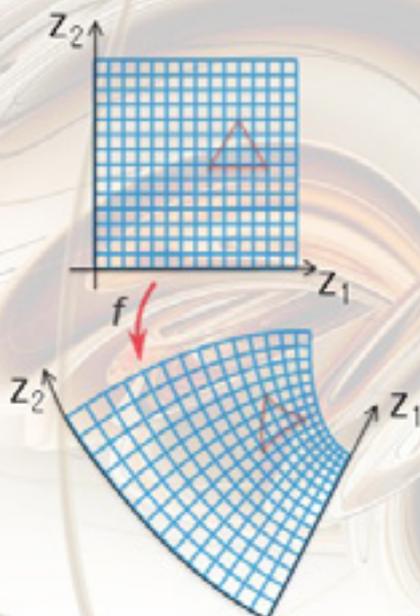
Vibration of the 1d string  $\rightarrow$  Fields living on the 2d world sheet

$$\phi(z_1, z_2)$$

$$\psi(z_1, z_2)$$

$$A^\mu(z_1, z_2)$$

## 5.2. Conformal Symmetry



Conformal transformation:  
Coordinate transformation that  
preserves local angles.

Theory should be invariant  
under the conformal transformation.

Spacetime dimension should be  
 $D=26$  for a bosonic string theory  
 $D=10$  for a super string theory

### 5.3. Anomaly

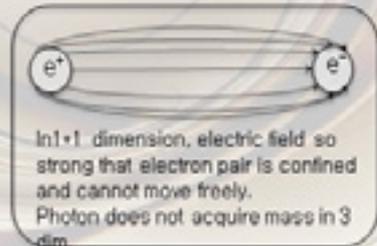
In 1+1 dimension, vacuum is full of electron-antielectron pairs



Photon acquires mass from quantum fluctuation

→ Classically massless,  
but emergent property at quantum level.

$$\text{Photon propagator } \frac{1}{k^2} \left( g^{\mu\nu} - \frac{k^\mu k^\nu}{k^2} \right) \rightarrow \frac{1}{k^2 - m^2} \left( g^{\mu\nu} - \frac{k^\mu k^\nu}{k^2} \right)$$



### 5.3. Anomaly

Emergent properties at quantum level may break classical symmetry.

$$\int [d\psi] e^{-S_c(\psi)} \xrightarrow[\psi \rightarrow \psi' = \psi + \delta_\alpha \psi]{\text{gauge transformation}} \int [d\psi'] e^{-S_c(\psi')} = \int [d\psi] e^{-S_c(\psi) - \alpha \delta S}$$

$S_c(\psi) \rightarrow S_c(\psi') = S_c(\psi)$  Classical action has gauge symmetry ( $\alpha$  independent)

$[d\psi] \rightarrow [d\psi'] = [d\psi] e^{-\alpha \delta S}$  Path integral measure breaks gauge symmetry ( $\alpha$  dependent)

$$\delta S = 2\pi \int d^D x [\hat{A}(\mathcal{M}) \text{ch}(-\mathcal{F})]_D$$

Chem character: breaks gauge symmetry

Dirac genus: breaks Lorentz symmetry

Anomaly should be 0 for a consistent theory.

## 5.3. Anomaly

Green-Schwarz mechanism

$$\int [d\psi] e^{-S_C(\psi)} \xrightarrow[\psi \rightarrow \psi' = \psi + \delta_\alpha \psi]{\text{gauge transformation}} \int [d\psi'] e^{-S(\psi')} = \int [d\psi] e^{-S(\psi)}$$

$S_C(\psi) \rightarrow S_C(\psi') = S_C(\psi) - \alpha \delta S$  Classical action don't have gauge symmetry ( $\alpha$  dependent)

$$[d\psi] \rightarrow [d\psi'] = [d\psi] e^{-\alpha \delta S}$$

Gauge non-invariant classical action + Gauge breaking quantum effect  
 $\rightarrow$  Gauge invariant theory

10 dimensional N=1 Supergravity  $\dim(G)=496 \rightarrow G=SO(32)$  or  $E_8 \times E_8$

$$\delta S = \frac{1}{64(2\pi)^7} \left[ \frac{\dim G - 496}{5670} \text{tr} R^6 + \frac{\dim G + 224}{4320} \text{tr} R^4 \text{tr} R^2 + \frac{\dim G - 64}{10368} (\text{tr} R^2)^3 \right] \quad R = \text{Ricci tensor}$$

$$- \frac{1}{32(2\pi)^7} (\text{Tr} F^2) \left[ \frac{1}{360} \text{tr} R^4 + \frac{1}{288} (\text{tr} R^2)^2 \right] + \frac{1}{1152(2\pi)^7} (\text{Tr} F^4) \text{tr} R^2 - \frac{1}{720(2\pi)^7} \text{Tr} F^6 \quad F = \text{Gauge field strength tensor}$$

Thank you!

Symmetries  
in Theoretical Physics

Nahmgoong June 11.21 in Ondream Seminar  
Seoul National University, Department of Physics and astronomy

## [팬이의 운동]

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 마찰이 작용하는  
팬이의 운동분석

강윤구 (한양대학교 물리학과 3학년)

# Equation of Motion for the Top with Numerical Analysis

Yoongu Kang

Hanyang University Department of Physics  
현대차 정몽구재단 기초과학 장학생  
전국 대학생 물리학과 연합학회 (KUPA)  
Hanyang University *!-action & Inertia*

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

목 차



Equation of Motion for the Top with Numerical Analysis | 이론적 배경

## Euler-Lagrange Equation

### 뉴턴 역학

원인(F)에 따라 결과(a)  
인과론적!

### 라그랑주 역학

Principle of Least Action  
목적론적!

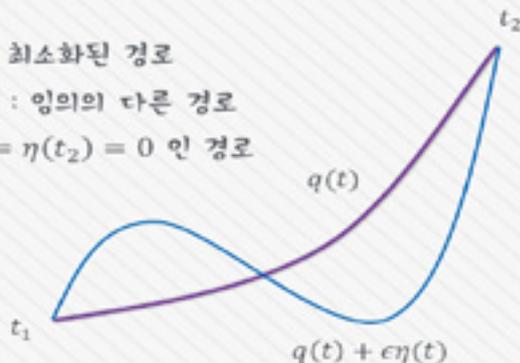
Equation of Motion for the Top with Numerical Analysis | 이론적 배경

## Euler-Lagrange Equation

### 액션

$$I = \int_{t_1}^{t_2} L dt$$

- $q(t)$  : 액션이 최소화된 경로
- $q(t) + \epsilon\eta(t)$  : 임의의 다른 경로
- $\eta(t)$  :  $\eta(t_1) = \eta(t_2) = 0$  인 경로



### 라그랑지안

$$L = T - V = f(t, q, \dot{q})$$

$$\frac{\partial L}{\partial q} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) = 0$$

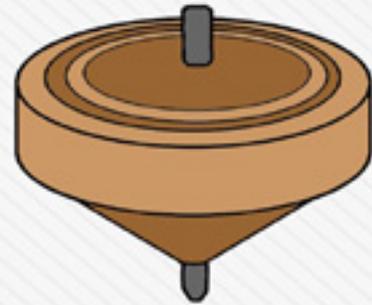
Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

## 이론적 배경

## 오일러 변환

오일러 변환은 다음과 같이 두 번의 회전변환을 통해 정의한다

1. Z축을 중심으로  $\phi$ 만큼 회전변환
2. X'축을 중심으로  $\theta$ 만큼 회전변환

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

## 이론적 배경

## 오일러 변환

오일러 변환을 통해 구한 축으로의 각속도는 다음과 같다

$$\begin{aligned}
 x' \text{ 축의 각속도} &: \dot{\theta} \\
 y' \text{ 축의 각속도} &: \dot{\phi} \sin \theta \\
 z' \text{ 축의 각속도} &: \dot{\psi} + \dot{\phi} \cos \theta
 \end{aligned}$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

## 운동 방정식

## 마찰이 없는 상황

$$\text{무게중심 위치 : } \frac{3}{4}h$$

$$\text{회전축 관성모멘트 : } I_s = \frac{3}{10}mr^2$$

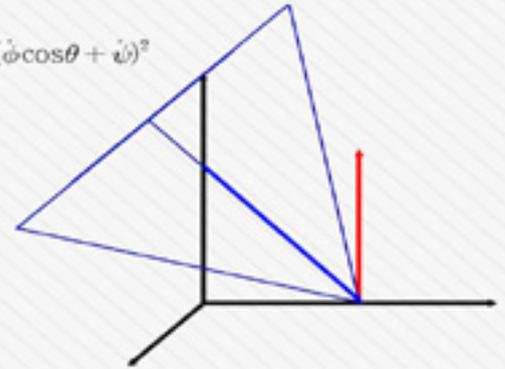
$$\text{수직 관성모멘트 : } I = \frac{3}{20}mr^2 + \frac{3}{80}mh^2$$

$$\text{회전 운동에너지 : } T_{rot} = \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}I\dot{\phi}^2 \sin^2\theta + \frac{1}{2}I_s(\dot{\phi}\cos\theta + \dot{\psi})^2$$

$$\text{무게 중심의 높이 : } \frac{3}{4}h \cos\theta$$

$$\text{위치에너지 : } V = \frac{3}{4}mgh \cos\theta$$

$$\text{병진 운동에너지 : } T_{lin} = \frac{9}{32}mh^2\dot{\theta}^2 \sin^2\theta$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

## 운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

$$\text{회전 운동에너지 : } T_{rot} = \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}I\dot{\phi}^2 \sin^2\theta + \frac{1}{2}I_s(\dot{\phi}\cos\theta + \dot{\psi})^2$$

$$\text{병진 운동에너지 : } T_{lin} = \frac{9}{32}mh^2\dot{\theta}^2 \sin^2\theta$$

$$\text{위치에너지 : } V = \frac{3}{4}mgh \cos\theta$$

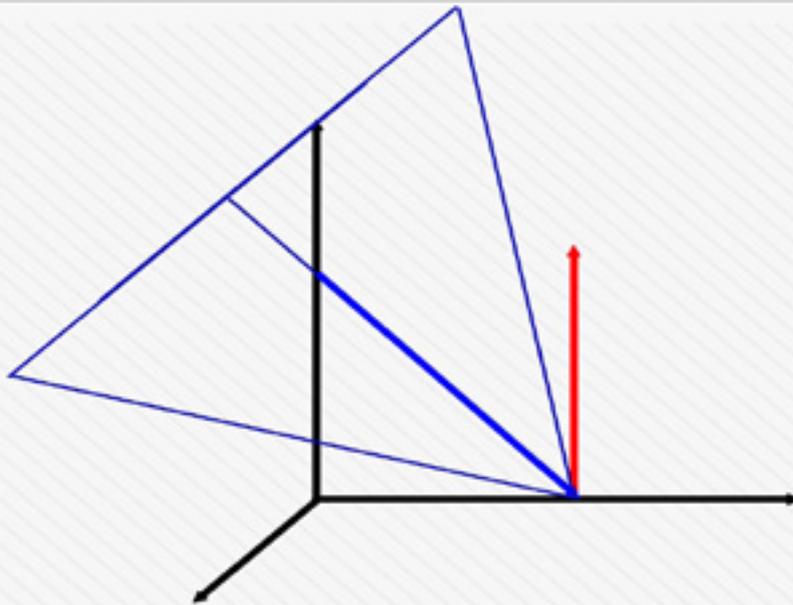
역학적 에너지 :

$$E = \frac{1}{2} \left( \left( I + \frac{9}{16}mh^2 \sin^2\theta \right) \dot{\theta}^2 + I\dot{\phi}^2 \sin^2\theta + I_s(\dot{\phi}\cos\theta + \dot{\psi})^2 \right) + \frac{3}{4}mgh \cos\theta$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

## 이론적 배경

## 외부 토크

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

## 운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

$$\begin{aligned} \left(\frac{dL}{dt}\right)_{rot} &= \vec{N} - \vec{\omega} \times \vec{L} \\ &= \frac{3}{4}hF(\sin\theta, 0, 0) - (I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi}\cos\theta) - I\dot{\phi}\cos\theta)(\dot{\phi}\sin\theta, -\dot{\theta}, 0) \end{aligned}$$

$$\dot{L}_{z'} = I_s \dot{\omega}_{z'} = 0$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

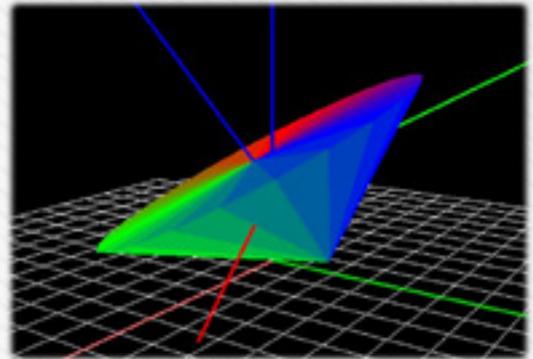
운동 방정식

마찰이 없는 상황

각운동량

$$z'\text{축의 각운동량} : I_s (\cos\theta \dot{\phi} + \dot{\psi}) = L_z'$$

$$z\text{축의 각운동량} : I\dot{\phi} \sin^2\theta + L_z \cos\theta = L_z$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

마찰이 없는 상황

아래의 식을 연립한다.

$$E = \frac{1}{2} \left( \left( I + \frac{9}{16} m h^2 \sin^2\theta \right) \dot{\theta}^2 + I \dot{\phi}^2 \sin^2\theta + I_s (\dot{\phi} \cos\theta + \dot{\psi})^2 \right) + \frac{3}{4} m g h \cos\theta$$

$$z\text{축의 각운동량} : I\dot{\phi} \sin^2\theta + L_z \cos\theta = L_z$$

$$z'\text{축의 각운동량} : I_s (\cos\theta \dot{\phi} + \dot{\psi}) = L_z'$$



$$E = \frac{1}{2} \left( \left( I + \frac{9}{16} m h^2 \sin^2\theta \right) \dot{\theta}^2 + \frac{(L_z - L_z \cos\theta)^2}{I \sin^2\theta} + \frac{L_z'^2}{I_s} \right) + \frac{3}{4} m g h \cos\theta$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

마찰이 있는 상황

시간에 대해 미분한다.

$$E = \frac{1}{2} \left( \left( I + \frac{9}{16} m h^2 \sin^2 \theta \right) \dot{\theta}^2 + \frac{(L_z - L_z' \cos \theta)^2}{I \sin^2 \theta} + \frac{L_z'^2}{I_0} \right) + \frac{3}{4} m g h \cos \theta$$

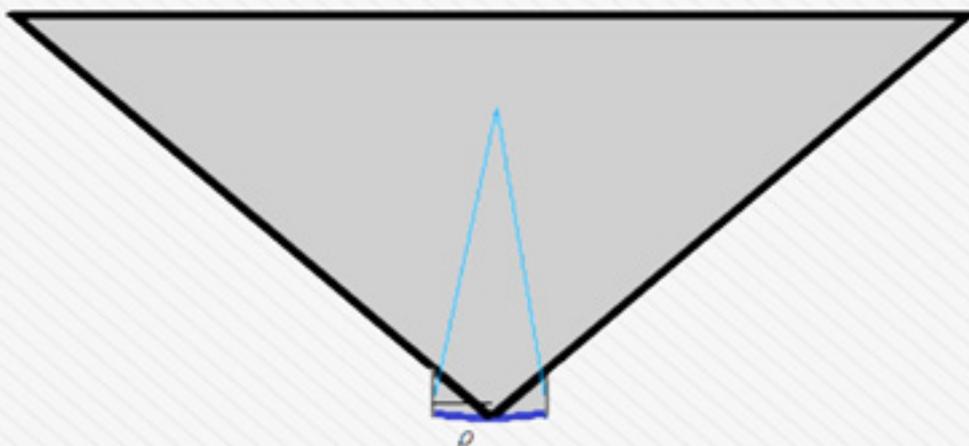


$$\ddot{\theta} = \sin \theta \frac{\frac{3}{4} m g h - \frac{9}{16} m h^2 \dot{\theta}^2 \cos \theta - \frac{(L_z - L_z' \cos \theta)(L_z' - L_z \cos \theta)}{I \sin^4 \theta}}{I + \frac{9}{16} m h^2 \sin^2 \theta}$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

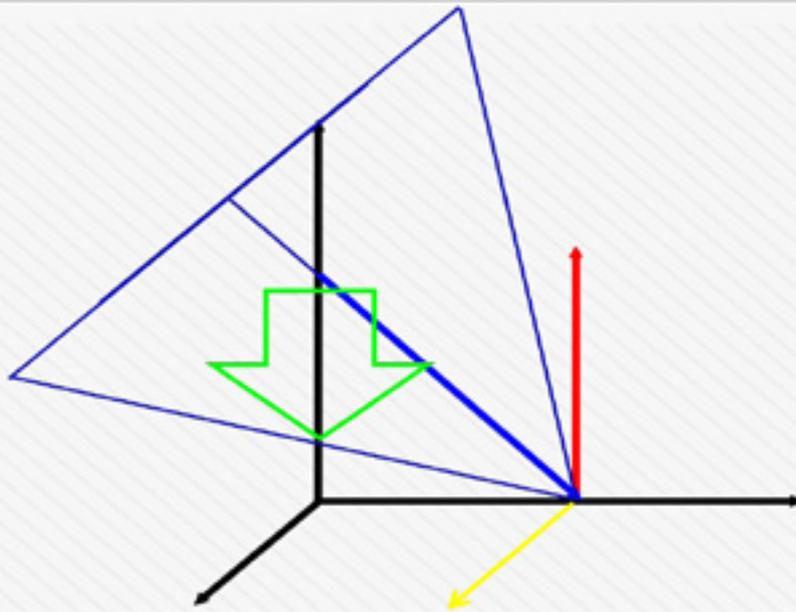
마찰이 있는 상황



Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

이론적 배경

외부 토크



Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

마찰이 있는 상황

팽이가 받는 힘

중력에 의한 토크 :  $\int \vec{r} \times dm\vec{g} = 0 \iff \int \vec{r} dm = 0$

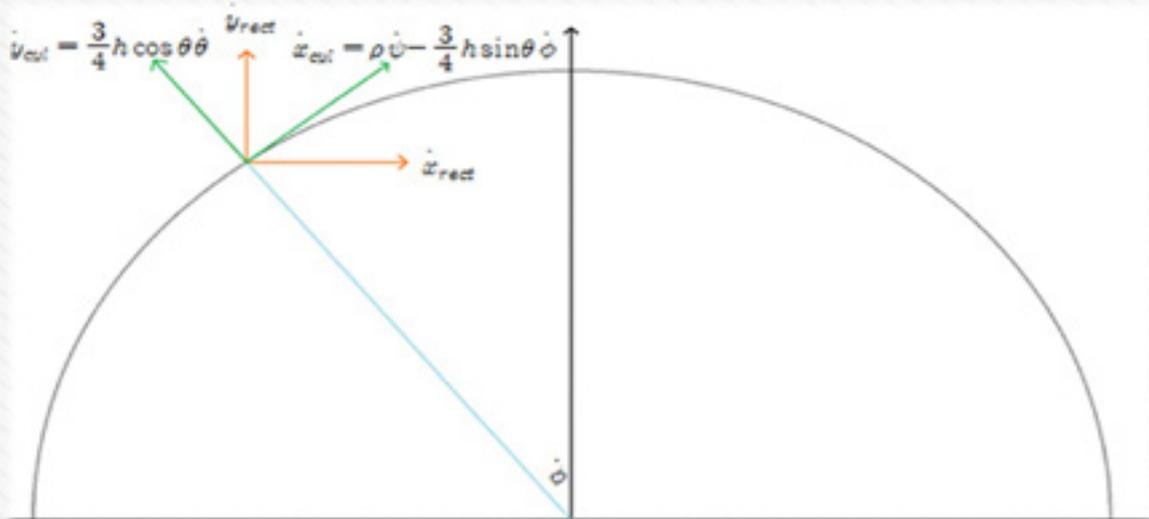
마찰력 :  $|f| = \mu F$

수직항력 :  $F = m \left( g - \frac{d^2}{dt^2} \left( \frac{3}{4} h \cos \theta \right) \right) = m \left( g - \frac{3}{4} h (\cos \theta \ddot{\theta}^2 + \sin \theta \ddot{\theta}) \right)$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

마찰이 있는 상황

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

마찰이 있는 상황

Rectangular Coordinate에서 접점에서의 운동방향

$$v_{x_{cyl}} = \dot{x}_{cyl} + \dot{x}_{rect} \cos \phi + \dot{y}_{rect} \sin \phi$$

$$v_{y_{cyl}} = \dot{y}_{cyl} - \dot{x}_{rect} \sin \phi + \dot{y}_{rect} \cos \phi$$

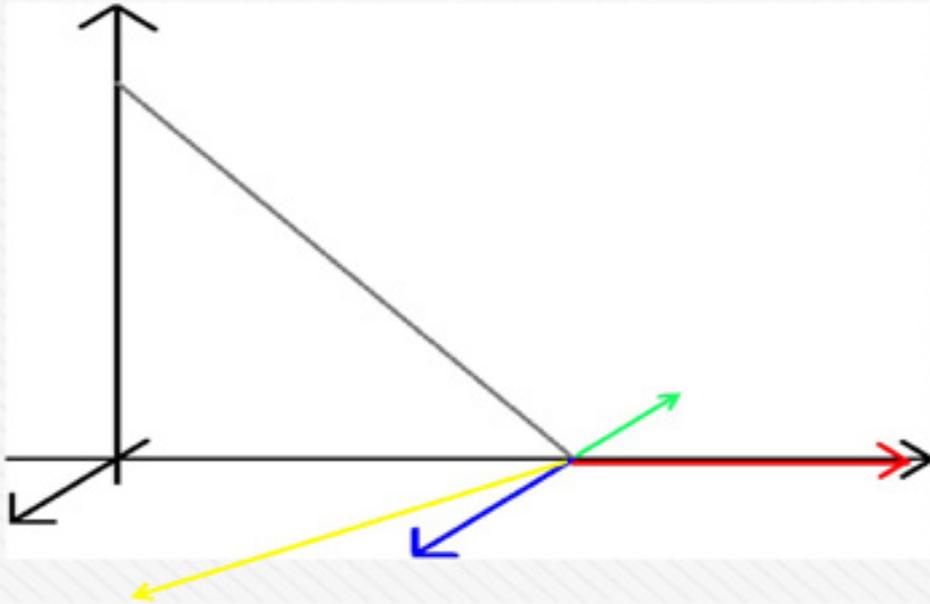
Cylindrical Coordinate에서 접점에서의 운동방향

$$v_{x_{rect}} = \dot{x}_{rect} + \dot{x}_{cyl} \cos \phi - \dot{y}_{cyl} \sin \phi$$

$$v_{y_{rect}} = \dot{y}_{rect} + \dot{x}_{cyl} \sin \phi + \dot{y}_{cyl} \cos \phi$$

$$v = \sqrt{v_{x_{rect}}^2 + v_{y_{rect}}^2} = \sqrt{v_{x_{cyl}}^2 + v_{y_{cyl}}^2}$$

## Cylindrical Coordinate



## 마찰이 있는 상황

마찰력은 각 좌표계에서 다음과 같이 주어진다.

$$\text{Rectangular Coordinate : } f = -\mu F \left( \frac{v_{x_{\text{rect}}}}{v}, \frac{v_{y_{\text{rect}}}}{v}, 0 \right)$$

$$\text{Cylindrical Coordinate : } f = -\mu F \left( \frac{v_{x_{\text{cyl}}}}{v}, \frac{v_{y_{\text{cyl}}}}{v}, 0 \right)$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

마찰이 있는 상황

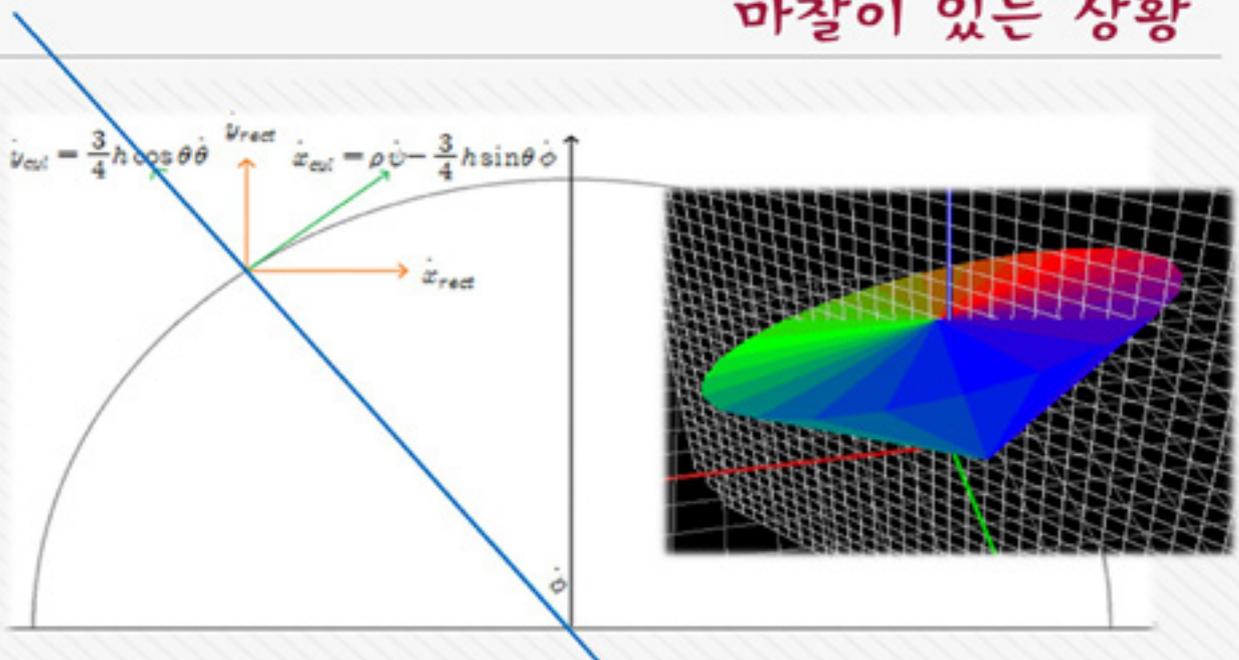
Rectangular Coordinate :  $v_{xy} = \int \frac{f}{m} dt$

Cylindrical Coordinate :  $\frac{dL_z}{dt} = \frac{3}{4} h \mu F \frac{v_{x_{cyl}}}{v} \sin \theta$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

마찰이 있는 상황

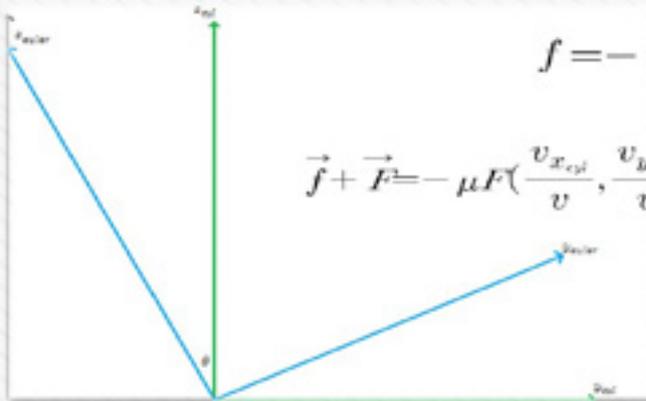


Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

## 오일러 변환



$$\mathbf{f} = -\mu F \left( \frac{v_{x_{cyl}}}{v}, \frac{v_{y_{cyl}}}{v} \cos\theta, -\frac{v_{y_{cyl}}}{v} \sin\theta \right)$$

$$\vec{f} + \vec{F} = -\mu F \left( \frac{v_{x_{cyl}}}{v}, \frac{v_{y_{cyl}}}{v} \cos\theta, -\frac{v_{y_{cyl}}}{v} \sin\theta \right) + F(0, \sin\theta, \cos\theta)$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

## 회전 관성계 벡터변환

$$\left( \frac{dQ}{dt} \right)_{fixed} = \left( \frac{dQ}{dt} \right)_{rot} + \omega \times Q$$

## 마찰이 있는 상황

## 회전 관성계 벡터변환

$$\vec{N} = \left( \frac{d\vec{L}}{dt} \right)_{rot} + \vec{\omega} \times \vec{L}$$

## 마찰이 있는 상황

## 토크

$$\vec{r} = (0, 0, -\frac{3}{4}h)$$

$$\vec{f} + \vec{F} = -\mu F \left( \frac{v_{x_{cm}}}{v}, \frac{v_{y_{cm}}}{v} \cos\theta, -\frac{v_{y_{cm}}}{v} \sin\theta \right) + F(0, \sin\theta, \cos\theta)$$

$$\vec{N} = \vec{r} \times (\vec{f} + \vec{F}) = -\frac{3}{4}h\mu F \left( \frac{v_{y_{cm}}}{v} \cos\theta, -\frac{v_{x_{cm}}}{v}, 0 \right) + \frac{3}{4}hF(\sin\theta, 0, 0)$$

## 마찰이 있는 상황

## 관성력

$$\vec{\omega} = (\dot{\theta}, \dot{\phi} \sin \theta, \dot{\phi} \cos \theta)$$

$$\vec{L} = (I\dot{\theta}, I\dot{\phi} \sin \theta, I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi} \cos \theta))$$

$$\vec{\omega} \times \vec{L} = (I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi} \cos \theta) - I\dot{\phi} \cos \theta)(\dot{\phi} \sin \theta, -\dot{\theta}, 0)$$

## 마찰이 있는 상황

$$\left(\frac{dL}{dt}\right)_{rot} = \vec{N} - \vec{\omega} \times \vec{L}$$

$$= -\frac{3}{4}h\mu F\left(\frac{v_{y_{cyl}}}{v} \cos \theta, -\frac{v_{x_{cyl}}}{v}, 0\right) + \frac{3}{4}hF(\sin \theta, 0, 0) \\ - (I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi} \cos \theta) - I\dot{\phi} \cos \theta)(\dot{\phi} \sin \theta, -\dot{\theta}, 0)$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

## 각 축 방향으로 시간에 따른 운동량의 변화량

$$x' \text{ 축} : \dot{L}_{x'} = I\dot{\omega}_{x'} = -\frac{3}{4}h\mu F \frac{v_{y_{\text{cm}}}}{v} \cos\theta + \frac{3}{4}hF \sin\theta - (I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi}\cos\theta) - I\dot{\phi}\cos\theta)\dot{\phi}\sin\theta$$

$$y' \text{ 축} : \dot{L}_{y'} = I\dot{\omega}_{y'} = \frac{3}{4}h\mu F \frac{v_{x_{\text{cm}}}}{v} + (I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi}\cos\theta) - I\dot{\phi}\cos\theta)\dot{\theta}$$

$$z' \text{ 축} : \dot{L}_{z'} = I_s\dot{\omega}_{z'} = 0$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

## 시간에 따른 역학적 에너지의 변화량

$$E = \frac{1}{2}(I\omega_{x'}^2 + I\omega_{y'}^2 + I\omega_{z'}^2) + \frac{m}{2}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) + V$$

$$\frac{dE}{dt} = I\dot{\omega}_{x'}\omega_{x'} + I\dot{\omega}_{y'}\omega_{y'} + I\dot{\omega}_{z'}\omega_{z'} + \frac{dT_{xy}}{dt} + \frac{dT_z}{dt} + \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = \left(-\frac{3}{4}h\mu F \frac{v_{y_{\text{cm}}}}{v} \cos\theta + \frac{3}{4}hF \sin\theta - (I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi}\cos\theta) - I\dot{\phi}\cos\theta)\dot{\phi}\sin\theta\right)\dot{\theta}$$

$$+ \left(\frac{3}{4}h\mu F \frac{v_{x_{\text{cm}}}}{v} + (I_s(\dot{\psi} + \dot{\phi}\cos\theta) - I\dot{\phi}\cos\theta)\dot{\theta}\right)\dot{\phi}\sin\theta$$

$$+ \frac{9}{16}mh^2 \sin\theta\dot{\theta}(\cos\theta\dot{\theta}^2 + \sin\theta\ddot{\theta}) - \frac{3}{4}mgh \sin\theta\dot{\theta} + \frac{dT_{xy}}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{3}{4}h\mu F \left(\frac{v_{y_{\text{cm}}}}{v} \cos\theta\dot{\theta} - \frac{v_{x_{\text{cm}}}}{v}\dot{\phi}\sin\theta\right) + \frac{dT_{xy}}{dt}$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

역학적 에너지를 미분한다.

$$E = \frac{1}{2} \left( \left( I + \frac{9}{16} m h^2 \sin^2 \theta \right) \dot{\theta}^2 + \frac{(L_z - L_{z'} \cos \theta)^2}{I \sin^2 \theta} + \frac{L_{z'}^2}{I_s} \right) + \frac{3}{4} m g h \cos \theta + T_{xy}$$

$$\frac{dE}{dt} = \left( I + \frac{9}{16} m h^2 \sin^2 \theta \right) \dot{\theta} \ddot{\theta} + \frac{9}{16} m h^2 \sin \theta \cos \theta \dot{\theta}^3$$

$$+ \frac{(L_z - L_{z'} \cos \theta)(L_{z'} - L_z \cos \theta)}{I \sin^4 \theta} \sin \theta \dot{\theta} - \frac{3}{4} m g h \sin \theta \dot{\theta} + \frac{(L_z - L_{z'} \cos \theta) \frac{dL_z}{dt}}{I \sin^2 \theta} + \frac{dT_{xy}}{dt}$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

운동 방정식

## 마찰이 있는 상황

최종 방정식

$$\ddot{\theta} = \frac{\frac{3}{4} m h (\sin \theta - \mu \frac{v_{\text{cyl}}}{v} \cos \theta) (g - \frac{3}{4} h \dot{\theta}^2 \cos \theta) - \frac{(L_z - L_{z'} \cos \theta)(L_{z'} - L_z \cos \theta)}{I \sin^3 \theta}}{I + \frac{9}{16} m h^2 \sin \theta (\sin \theta - \mu \frac{v_{\text{cyl}}}{v} \cos \theta)}$$

Equation of Motion for  
the Top with Numerical  
Analysis

## 참고문헌

전산물리학 / 김준하 / 청문각 / 2011

해석역학 / Fowles / CENGAGELEARNING / 2011

〈사용프로그램〉

IDE / Microsoft Visual Studio 2010

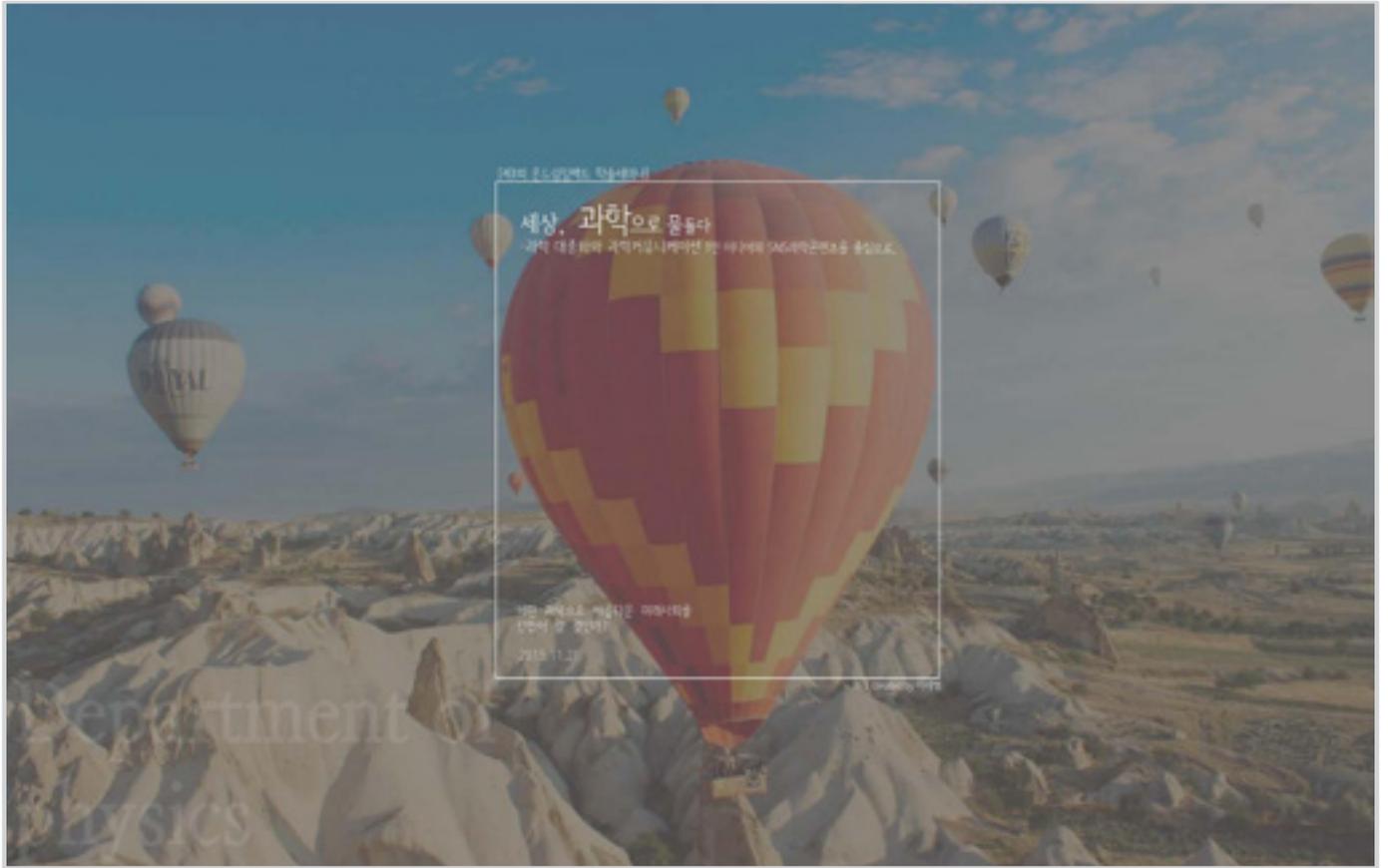
OpenGL glut / [www.opengl.org](http://www.opengl.org)

그래도 팡이는 돈다!  
*Eppur si Mouve*

[과학 대중화의 과정에서 우리는 어떤 역할을 할 수 있을 것인가]

과학 대중화의 필요성과 과학콘텐츠를 통해 살펴본 과학  
-커뮤니케이션 과정에서 우리들의 역할

이세형 (경희대학교 물리학과 3학년)



어떤 **과학으로** 아름다운  
미래사회를 만들어 갈 것인가

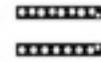


어떻게 **과학으로** 아름다운  
미래사회를 만들어 갈 수 있을까





과학기술이  
우리 생활에  
밀접해 졌다.



과학과 관련한  
일에 대해 **결정**을  
내려야 한다.



Created by Nonika from the Moon Project

## 지하철 환기구 풍력발전 한다

[중앙일보] 입력 2008.05.29 04:00 수정 2008.05.29 21:00 **10** | 102 | 12면 | 37

지하철 1-4호선을 운영하는 서울메트로는 지하철 환기구의 바람을 이용한 풍력발전 설비를 고안했다고 29일 밝혔다. 전동차가 달릴 때 생기는 주행용이나 환기장치 가동으로 생기는 바람으로 풍차 모양의 소형 발전기를 돌려 전기를 만드는 것이다. 지하철 환기구 내부 풍속은 초속 8.5-10m로, 풍력발전이 가능한 풍속인 초속 4m를 훨씬 넘어서 경제성이 있는 것으로 분석했다.



서울메트로, 연명 을지로3가역에 시범 운영

지하철 환기구에 설치되는 발전기는 날개가 1개 조로 돼 있는 일반 풍력발전기와 달리 날개가 2개 조로 구성돼 있다. 인공 날개가 돌면서 나오는 바람으로 바깥 날개를 회전시켜 전력을 한 차례 더 만들기 때문에 최대 70%까지 전기 생산 효율을 높일 수 있다는 것이다.

이 설비의 개발은 2005년 7월 당시 서울메트로 신사업개발단에 근무하던 연강만 부장 등 직원 4명의 아이디어에서 출발했다. 올해 4월 '도시철도 시설을 이용한 발전 시스템'이라는 명칭으로 특허출원했으며, 29일 서울시청에서 열린 '고객 감동 창의경영 사례 발표회'에서 우수 사례로 소개됐다. 서울메트로는 올 연말까지 3호선 을지로3가역 환기구에 발전기를 설치해 시범 운영한 뒤 내년 하반기부터 추가 설치에 들어갈 예정이다.

지하철 1-4호선 구간에서 풍력발전이 가능한 환기구는 모두 586곳으로 조사됐다. 환기구 1곳당 풍력발전기 15기를 설치할 수 있고, 1기당 설치 비용은 340만원이다. 서울메트로는 최장 5년에 걸쳐 약 300억원을 투입해 가능한 모든 곳에 풍력발전기를 설치한다는 계획이다. 이렇게 설치된 발전기 전체를 가동할 경우 연간 6400만kW의 전력을 생산해 매년 77억원의 전기를 생산해 낼 수 있다는 것이다. 풍력발전기는 지하철 환기구 내에 설치되기 때문에 바람에서는 보이지 않아 미관에도 문제가 없다는 것이 서울메트로 측의 설명이다.

## ● '엔터리 기술' 뒤엔 지자체 '묻지마 투자유치'

등록 2009-11-26 09:04

f ↻ ↗ ★ ☺

지하철 통역장엔 등 실면허가능한 사업들 지원  
"혁신규제완화 눈앞에 검은 옷장" 비판 잇달아

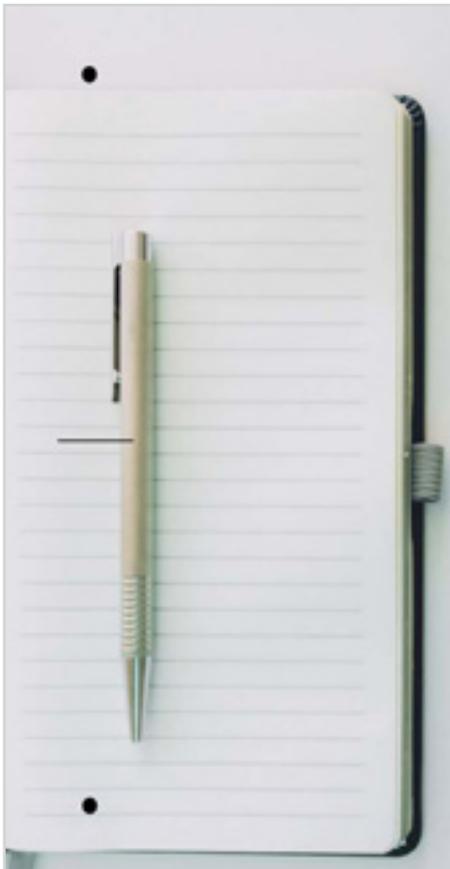
중앙-지방 정부들이 규제완화를 강조하고, 지방정부들이 기업 유치 과정에서 심사 기준을 완화하면서 지방 정부들이 엔터리 기술 개발에 속는 일이 잇따라 벌어지고 있다.

서울시가 투자한 기간인 서울메트로는 지난달 29일 지하철 환기구로 배출되는 배양을 이용한 공학 발전설비를 이르면 내년 하반기부터 가동한다고 밝혔다. 서울메트로는 "연말까지 3호선 을지로3가에 환기구에 공학발전기를 설치해 시범운영하고, 발전시스템이 성공하면 최대 77억원의 수입을 거둘 수 있을 것"이라고 밝혔다. '지하철 공학발전' 기술을 가지고 있다는 o업체는 서울메트로가 이 사업을 위해 300억원을 투자할 것이라고 말하기도 했다. 이 기술을 '말의꿈' 명 사역로 발표했던 서울메트로는 과학계에서 '말의꿈' 제2법칙을 무시한 발상이라고 비판하자, 이달 초 사업 일정을 접었다.

(중략)

김기태 기자 ktd@hani.co.kr

06



### 1985년 왕립학회 보고서 中

대중적 이슈에 대한 결정. "많은 대중적 이슈는 과학 또는 기술적 요소를 포함하고 있다. 따라서 대중들이 결정을 내리는데 지식과 정보를 제공할 필요가 있다."

일상생활 속에서의 과학적 이해의 중요성. "과학과 기술은 개인의 일상에 매우 다양한 방식으로 영향을 미치고 있다. 과학에 대한 올바른 이해는 개인적인 삶에 있어서도 중요하다. 과학적 소양은 일상에서 필수적인 요구가 되고 있다."

### 1996년 월펜데일 보고서

대중의 과학이해가 "특히 우리의 보다 우수한 청소년들이 과학, 공학, 기술 분야로 진출하도록 유도함으로써 국가의 경제적 부와 국민 삶의 질 향상에 기여할 뿐만 아니라 대중들에게 보다 풍부하고 정확한 정보를 제공해줌으로써 과학, 공학, 기술 분야에서 야기되는 대중적인 이슈를 보다 민주적인 절차 속에서 효율적으로 논의될 수 있도록 기여하는 것"이라고 정의하였다.

07



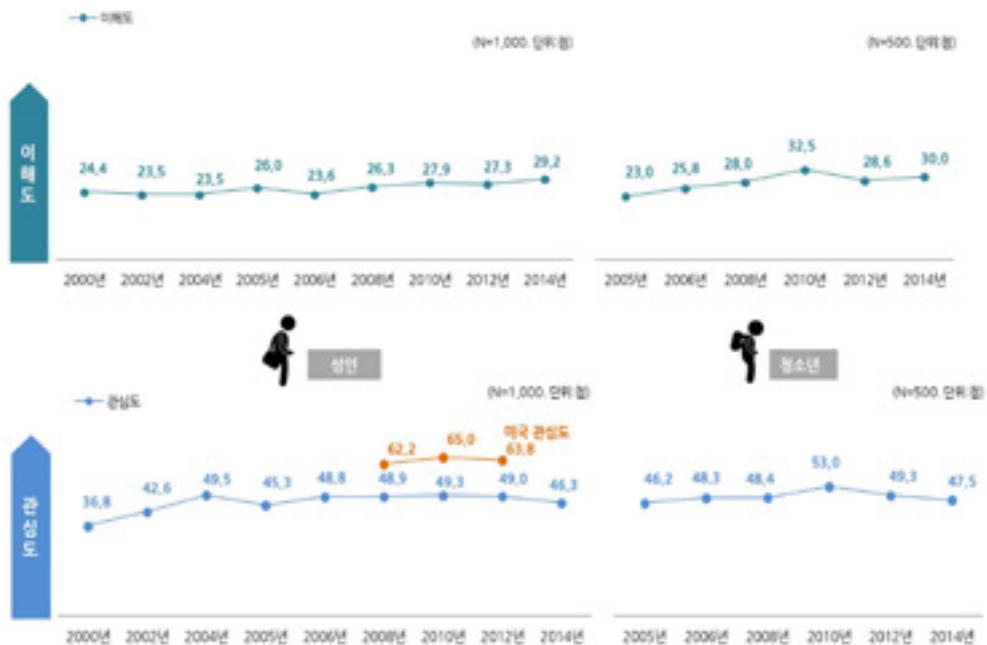
Ⅰ 과학기술의 발달로 인해 개인과 사회의 소통에서 과학커뮤니케이션이 차지하는 비중이 커지고 있다. \_과학커뮤니케이션의 역할, 문제, 그리고 방향

Ⅱ 우리사회에 대중의 과학이해와 과학커뮤니케이션의 문제가 얼마나 중요한 사안이 되었는지는 지난 수년간 우리가 겪은 여러 사태를 통해서 확인해졌다. 그럼에도 불구하고 과학커뮤니케이션의 문제는 여전히 우리가 해결해야 할 우리 사회의 과제로 남아있다. \_과학커뮤니케이션과 미디어의 역할

Ⅲ 과학기술은 우리의 삶 속에 깊이 뿌리박고 있으며, 전문적 지식까지는 아니더라도 과학기술의 기능에 대한 기본적인 소양을 갖추고 있어야, 과학기술에 능동적으로 반응하고 부정적인 측면에 대한 면역력을 키울 수 있다. \_과학방송프로그램의 제작의 한계요인 연구

Ⅳ 과학에 대한 대중의 이해는 그 어느 때보다 중요한 사회적 과제로 부각되었다. \_독일의 과학 대중 활동

● 한국과학창의재단 2014과학기술 이해도조사 中



주) 관심도는 '매우 많다' 100점/'약간 많다' 50점/'별로 없다' 0점으로, 이해도는 '많이 안다' 100점/'조금 안다' 50점/'잘 모른다' 0점으로 환산한 100점 환산값임



**TRADITIONAL VIEWPOINT**

**결핍 모델**

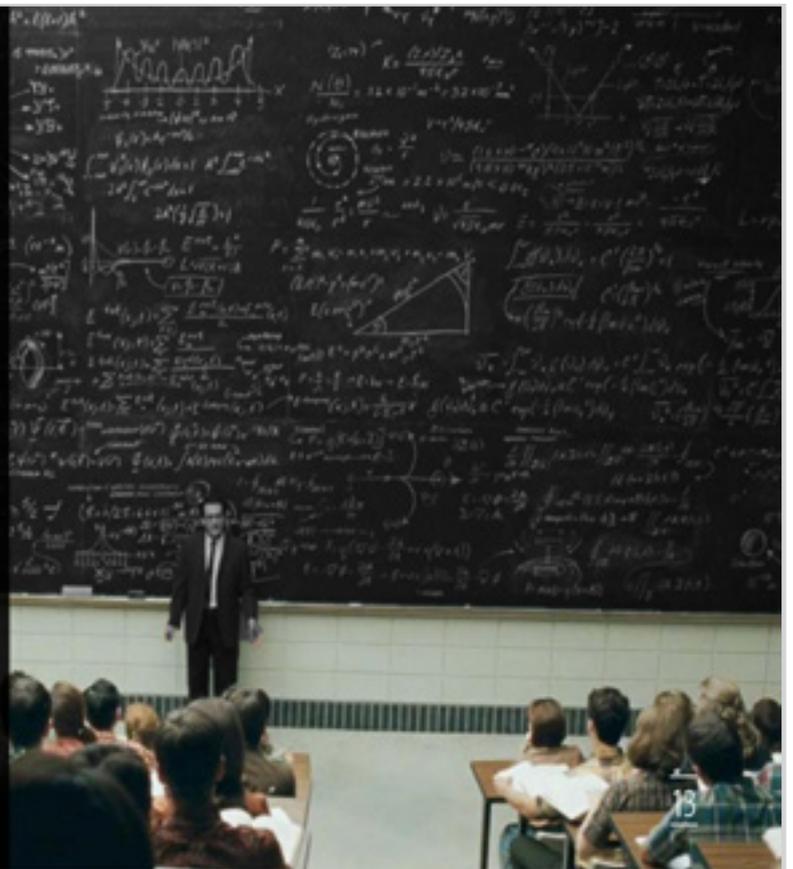
문제는 과학이 아닌 **대중**이다.  
대중은 인지적으로 **결핍** 되어있다.  
대중의 결핍을 과학자가 **'치료'** 해야한다.



  
**Public Understanding of Science**

과학문제가 **사회문제**로 대두되기 시작  
과학기술에 **불신**의 싹이 틔기 시작한다.  
과학기술에 대한 불신의 원인을 **과학기술의 이해 부족**으로 보고 과학에 대한 지지를 다시 회복하고자 하는 움직임.

12



  
**Public Engagement of Science**

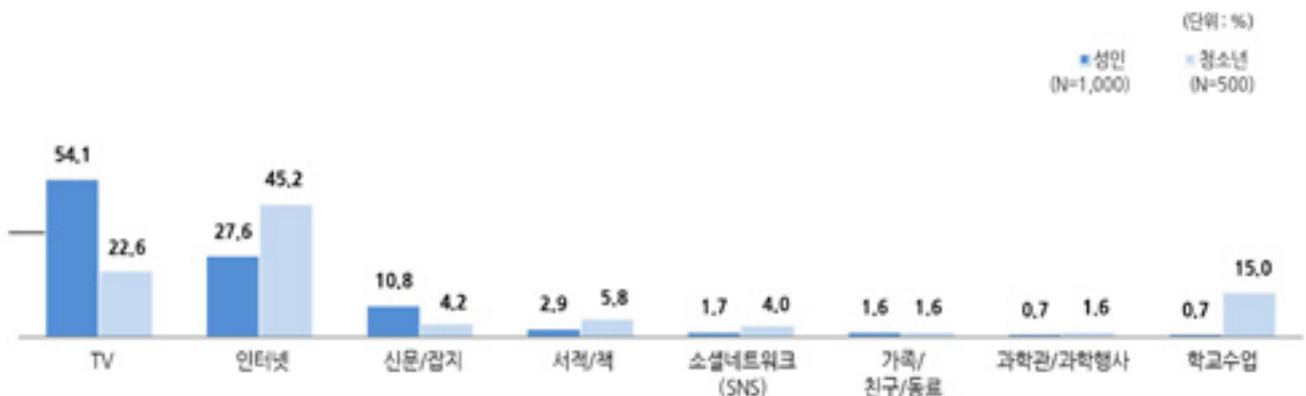
과학 지식 자체에 대한 인식 변화      대중에 대한 인식 변화



13



● 한국과학창의재단 2014과학기술 이해도조사 中



● 한국과학창의재단 2014과학기술 이해도조사 中

(단위:%)

경로	성인(N=1,000)								청소년(N=500)							
	TV	인터넷	신문/잡지	서적/책	소셜 네트워크(SNS)	가족/친구/동료	과학관/과학행사	학교수업	인터넷	TV	학교수업	서적/책	신문/잡지	소셜 네트워크(SNS)	과학관/과학행사	가족/친구/동료
응답자 수	541	276	108	29	17	16	7	7	226	113	75	29	21	20	8	8
가장 쉽고 간편하게 필요한 정보를 찾을 수 있기 때문에	42.3	52.4	35.7	17.4	45.1	20.4	33.2	-	52.2	38.1	22.7	17.2	33.3	65.0	25.0	12.5
정보가 가장 정확하기 때문에	19.7	14.2	15.5	23.8	13.5	41.8	14.7	34.4	19.5	23.0	28.0	62.1	9.5	15.0	12.5	12.5
정보가 가장 신뢰할 수 있기 때문에	13.7	15.4	24.9	27.4	-	30.9	25.4	32.2	10.2	13.3	20.0	13.8	19.0	-	50.0	-
가장 최신의 정보를 찾을 수 있기 때문에	13.2	11.7	12.2	15.9	16.0	6.9	17.4	-	12.8	17.7	5.3	-	23.8	10.0	-	50.0
다양한 관점의 정보를 얻을 수 있기 때문에	6.0	4.4	8.5	15.5	12.9	-	9.2	17.2	4.0	6.2	9.3	3.4	4.8	10.0	-	25.0
정보의 수준이 적절하기 때문에	4.2	1.6	2.1	-	12.4	-	-	16.2	0.4	1.8	14.7	3.4	4.8	-	12.5	-

16

! 특히 TV는 난해한 과학적 원리를 영상을 통해 대중에게 쉽게 소구할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 방송매체를 이용한 과학 대중화의 현실은 양과 질적 측면에서 매우 열악한 수준이다. 과학방송프로그램의 제작의 한계요인 연구

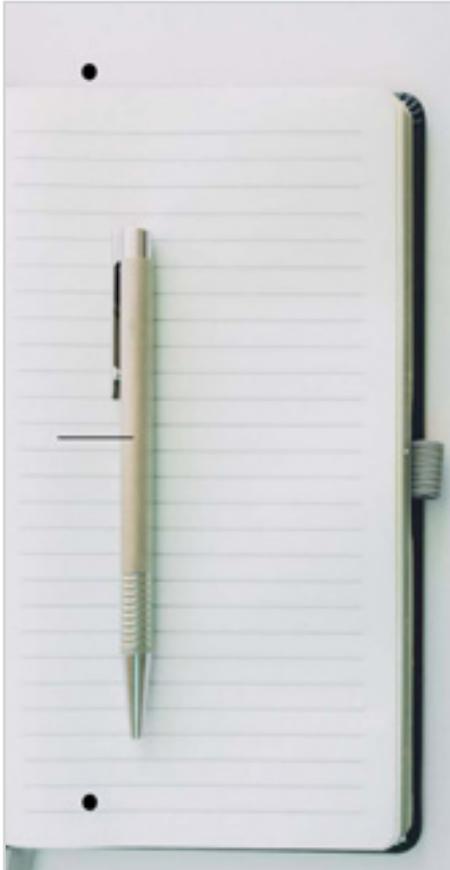
! 영상매체를 이용한 과학대중화의 현실은 양과 질적 측면에서 매우 열악한 수준이다. 과학기술의 급속한 발전과 영향력에도 불구하고 과학프로그램의 비중은 몇 십 년이나 지금이나 매년 비슷하다.

\_과학대중화를 위한 과학 방송 프로그램 제작의 활성화 방안 연구

! 과학콘텐츠는 상업적 이윤에만 치중하는 민간부분의 시장원리에 의해서는 개발, 보급에 한계가 있으므로 정부나 공공기관이 국가지식 인프라 구축차원에서 집중적으로 육성할 필요가 있다.

\_과학대중화를 위한 과학 방송 프로그램 제작의 활성화 방안 연구

17



인터넷 환경에서 ‘공유, 참여, 개방’으로 축약되는 웹 2.0 개념이 확산되면서 누구나 특별한 진입 장벽 없이 정보를 생산·가공하고 의견을 자유롭게 표출할 수 있게 된 때문이다.

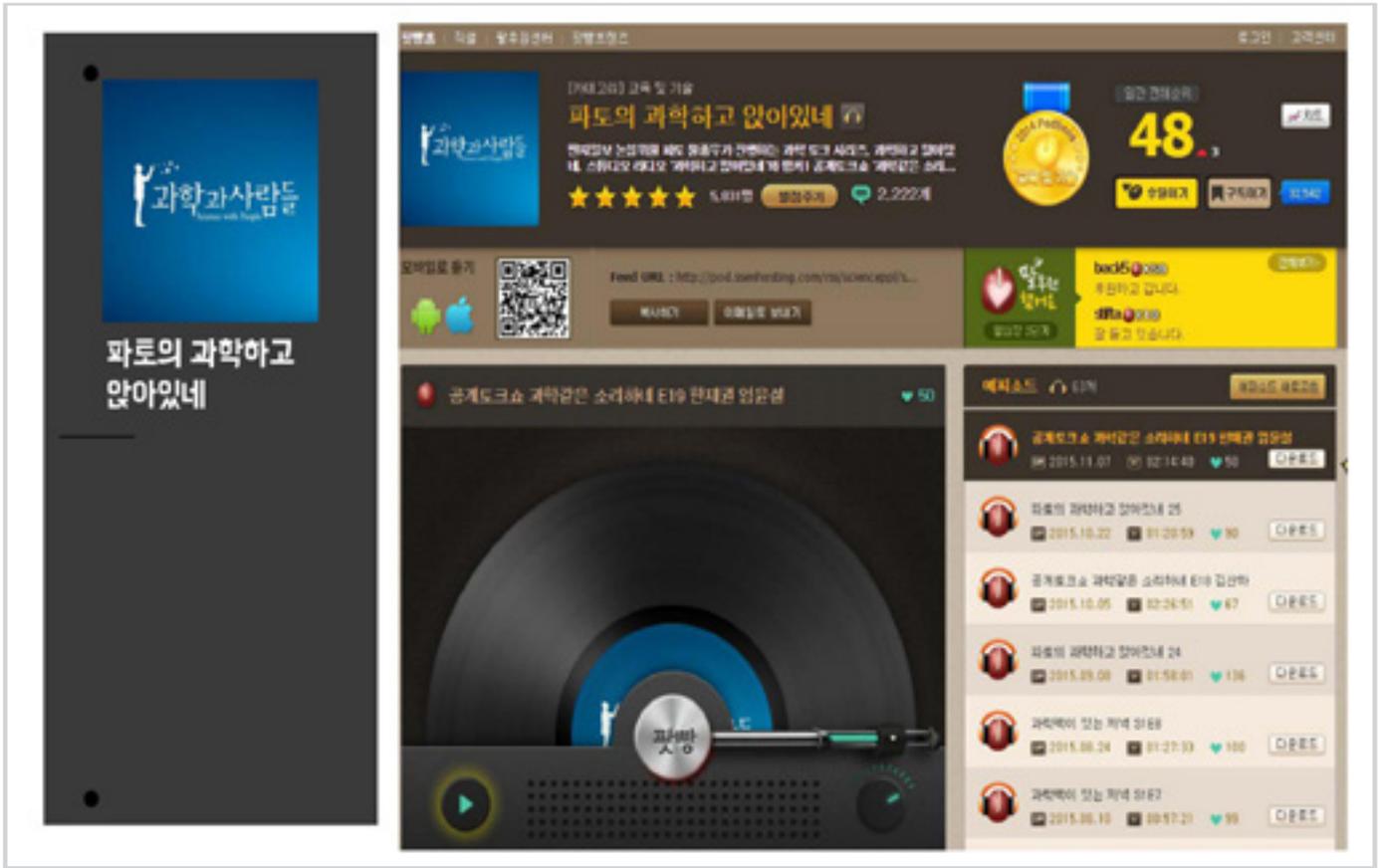
[네이버 지식백과] 1인 미디어 (인터넷저널리즘에서의제의문제, 2014. 4. 15, 커뮤니케이션북스)

1인 미디어의 개념적 정의를 정리하면, 동등하고 수평적인 커뮤니케이션 환경 속에서 인적 관계를 넘히는 사적 공간으로서의 가능성, 개방적이고 분산적인 네트워크의 속성을 기반으로 적극적인 정보 교류를 꾀하는 공적 공간으로서의 가능성을 모두 지닌 매체로서, 이용자가 다양한 네트워크를 이용해 주체적으로 메시지를 생산·배포하는 체계를 포괄적으로 이른다 할 수 있다.

[네이버 지식백과] 1인 미디어 (인터넷저널리즘에서의제의문제, 2014. 4. 15, 커뮤니케이션북스)

## CONTENTS CHECK LIST

- 콘텐츠의 유형은 어떠한가
- 정확한 정보를 전달하는가?
- 콘텐츠 소비자들과의 소통은 잘 이루어지는가?
- 다른 매체와 비교했을 때 강점은 어떤 것인가?





파토의 과학하고  
맞아있네

**[내용구성]**  
2015 노벨 물리학상에 대한 내용

중성미자가 질량이 있다는 것을 발견한 과학자들이 노벨상을 수상했다.

Q1. 뉴트리노(중성미자)는 무엇이고, 질량을 발견했다는 것은 어떤 의미인가?  
 Q2. 중성미자에 질량이 있다는 것을 앞으로 해서 우리가 더 알게 된 사실이 있나?  
 Q3. 이 연구를 통해 밝혀내기 전에도 중성미자가 표준모델과 다르게 질량을 가질 것이라고 의심했었는가?  
 Q4. 이 연구를 위해서 폐광 1000m아래에 슈퍼 가미오칸테를 만들었다는데, 그것은 뭐하는 장비인가?  
 Q5. 슈퍼 가미오칸테는 일본 밖에 없는가?  
 Q6. 이렇게 어마어마한 장비를 단지 중성미자를 검출하기 위해서 세운 것인가?  
 Q7. 우리나라에는 비슷한 연구가 없는가?



파로의 과학하고  
앉아있네





파로의 과학하고  
앉아있네

**과학과사람들**  
11월 20일 오전 9:20 - 9:21

우리 어찌면 외계문명을 찾았을지도 모른다요! 외계행성을 찾는 우주망원경 제플러가 부정기적으로 찾아냈다 어우워졌다 하는 이상한 별을 발견했어요. 공명이 지금까지 22% 나 줄어들기도 한대요. 별빛을 이렇게 많이 가릴 수 있는 천체는 대체 얼마나 커대할까요? 하지만 별상, 소행성, 우주먼지, 블랙홀... 전부 관측 결과에 들어맞지 않아요. 천하대요. 그런 인류가 관측한 우주 속의 이런 현상을 보이는 천체가 발견된 적이 없는 거죠.

그래서 조심스럽게 다루는게 바로 다이슨 스피어 외계인이 자기네 태양의 에너지를 충분히 사용하기 위해 만든 거대한 인공 건조물이 별 주변을 돌고 있는게 아닐까.

이 물론 외상에 보니 그보다는 행성이 부서진 강핵일 가능성이 크다고는 하지만, 여하튼 임 무거운 과학자들이 다이슨 스피어라는 단어를 말할 정도만 해도 대단한 거죠. 초한간 천과 망원경들이 이룩을 통해서 진짜 신호도 찾아볼 계획이랍니다. 저희는 좀 기대해 볼게요. 후근후근.

<http://itechholc.co.kr/archives/42435>



과학하고 앉아있네 24편 최초의 별 관을 듣고 있는데...공공한 것이 생겼습니다. 최초의 별 중에서 큰 것들은 이미 수명이 다해서 없어졌을 테고 작은 것들만 아직도 살아남아 있을 것이라고 하셨어요. 제 질문은 별이 만들어질 때 어느 정도 크기면 갈색왜성이 되지 않고 스스로 핵융합을 하는 작은 별이 될까요? 별이 되기 위한 최소 크기의 별이라면 수명이 어느 정도 될까요?

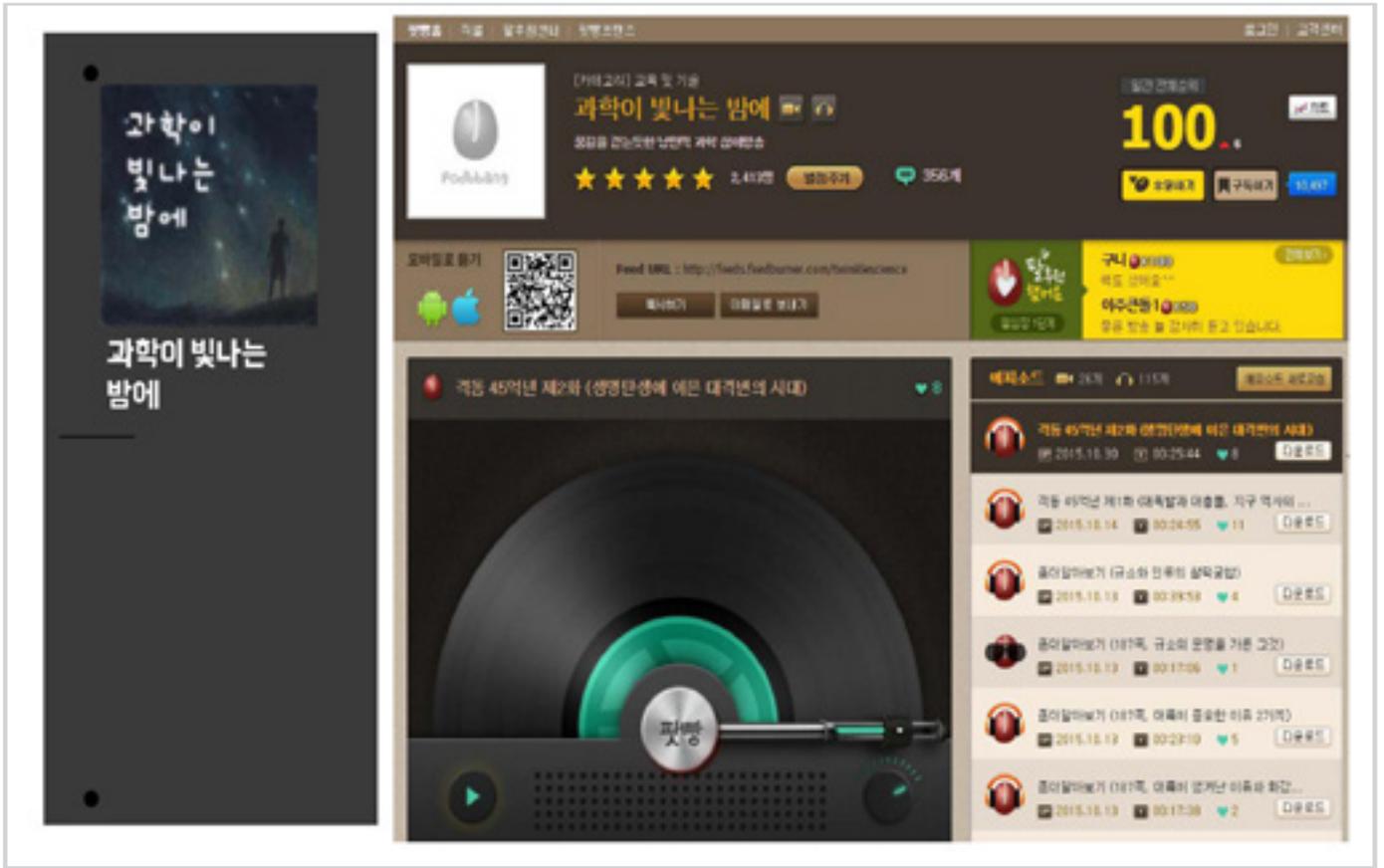
답아요 · 댓글 달기

**과학과사람들**  
11월 21일 오후 9:21 - 9:22

요새 기대하셨습니까. 스텔리오 넷캐스트 과학하고 앉아있네 24 편이 방금 업로드 되었습니다.

이번편은 서울대 물리 천문학부 순성철 교수님과 함께 첫번째 별을 찾는 재기를 나눠보았습니다.

지금 뒷방길 아이튠즈에서 다들방으로 보실어요~



**[내용구성]**

**우주의 탄생 1편 -빅뱅은 현재진행형**

빅뱅이 137억년 전에 시작되었다고 하는데, 왜 137억년일까? 100여 년 전쯤까지는 우주가 특정한 순간에 폭발이 일어나서 시작했다는 것은 말이 안 된다고 생각했었다. 빅뱅을 주장하는 사람을 무시.

에드윈 허블이 또 다른 은하를 발견. 또한 굉장히 빠른 속도로 모든 은하들이 멀어진다는 것을 발견. '모든'은하들이 '멀어지고'있다.

결정적인 증거는 '우주배경복사'. 우주배경복사를 통해서 확고한 위치에 올라섬.

빅뱅이 우주의 모든 것을 설명하지는 못한다.

물질이 어떻게 빅뱅에서 생겨났는가?

지금 우리가 움직이는 에너지가 빅뱅 때 생겨난 에너지 그 자체. 폭발적 에너지의 흐름은 지금도 좀 약해졌다 뿐이지 계속됨.



과학이  
빛나는  
밤에

---

과학이 빛나는  
밤에

## 과학이 빛나는 밤에

http://cafe.naver.com/hsca

전체글보기 | 이이저오이이저 | 카페태그보기 | 카페질문 | 내이제 게시

**카페정보** | **내리침** | **☆**

이이저 **범지기**  
www 2012.08.24 | 228033

**게시판상태**  
게시글 수 1,305

☆ 오가닉인 멤버 3007  
최근 글 270  
이이저이이저 170

**소재** | **제정어제**

**카페 글쓰기**

★ 즐겨찾는 게시판

- 전 전체글보기 (2,280)
- 모 게시판게시도
- 이이저 (1)
- 이이저 (1)

+이전글 | **0** | **0**

**환영인사 및 카페소개** : 카페안내 2012.08.24 23:58

www.ncafe.com/hsca

안녕합니다.  
이이저인 과학이 빛나는 밤에 카페입니다.  
과학을 통해 세상을 좀 더 좋게, 재미있게 보고자 망크스로 만들어서 시작하였고 이 카페도 이이저입니다.  
여기서 말하는 과학에는 자연과학뿐만 아니라 위생적으로 세상을 더 좋게 보고자하는 노력도 포함됩니다.  
이곳을 통해 서로의 지식을 나누고 카페에 세상을 좀 더 풍부하고 깊이있게 만들었으면 좋겠습니다.  
과학이 빛나는 밤에 망크스 주소 : <http://www.kin.naver.com/hsca>

이이저이이저 게시물 1007

이이저이이저

2012.08.24 23:58

25



과학이  
빛나는  
밤에

---

과학이 빛나는  
밤에

**유안용** | 2015-09-04 07:15 | **답글** 신고

질문이 있는데도 확명으로 시작된 우주가 지금도 팽창중이잖아요 그럼 지금도 복사 폭발음이 아닐까 하는생각이 드는군요 제 견해가 틀린건가요?

**수현** | **0**

**범지기** | 2015-09-06 23:52

폭발이란 알은 잘 안스구요. 폭발 당시에 비하면 매우 느린 팽창 중이라고 볼 수 있습니다.

**nuil** | 2015-03-31 16:58 | **답글** 신고

안녕하세요 과학이 빛나는 밤에를 책으로 보고 찾아왔습니다.과서 보니 팽창 분량이 장난치니군요.당 분간 꼭 빠져 보였습니다.내살 아들이 토성에 꽂혀서 지구분이나 다른 행성 사진을 보여 고리는 왜 없 나고 분습니다.당회 뭐라고 답해야 할 지 + +이이저에게 과학을 알려주란 말씀에 100프로 동참하지만 저부터 글부를 해야 할 것 같습니다.앞으로 잘 부탁드립니다.

**수현** | **0**

**이이저이이저** | 2015-04-03 13:16

다른 행성, 가스행에도 미확인이나 고리가 있습니다. 가스행 행성들이 질량이 크니 우주 부스러기들이 모여들어 고리가 된 거죠. 그런데 토성이 특별히 고리가 잘 보이는 이유는 아직 밝혀지지 않았습니니다.  
자세한 내용은 아래 링크를 참고해주세요~  
[http://m.kin.naver.com/mobile/cna/detail.nhn?d1id=1115&d1id=11176&docId=1000419066&b=7Yag7ISd4O4zeOumrCDsnbTsnKA=&enc=uf08jo=n&rank=1&search\\_sor=06spq=0](http://m.kin.naver.com/mobile/cna/detail.nhn?d1id=1115&d1id=11176&docId=1000419066&b=7Yag7ISd4O4zeOumrCDsnbTsnKA=&enc=uf08jo=n&rank=1&search_sor=06spq=0)

161



이웃집 과학자



이웃집과학자 과학자

타겟관련 정보 사진 좋아요 동영상

이웃집과학자 11월 9일 오후 11:27 · 공

달리는 자동차에서 같은 속력 그러나 반대방향으로 공을 던지면 어떻게 될까?

동영상 출처 : <https://www.youtube.com/watch?v=BLuI118nhzc>

27



이웃집 과학자



이웃집과학자 11월 9일 오후 11:27 · 공

달리는 자동차에서 같은 속력 그러나 반대방향으로 공을 던지면 어떻게 될까?

동영상 출처 : <https://www.youtube.com/watch?v=BLuI118nhzc>

동영상을 더 보려면 클릭하세요

27



**이웃집 과학자**

**이웃집과학자**  
11월 3일 오후 8:15 · 온

"가난이 중입핵일까?"

모든 개념이 모여있는 곳, '안드로메다 은하' 은하철도의 주인을 알아가 보듯 유체를 얻기 위해 내달렸던 그곳이다. '은하'란 수많은 별들이 모여진 집단을 의미한다. '우리은하'는 우리가 살고 있는 은하이고 우주적 스케일에서 안드로메다는 상당히 가까운 거리에 위치한 '이웃 은하'다. 참으로 신기한게 중력의 힘이라고 했다. 거대한 별들의 집단인 우리은하와 안드로메다는 '중력'이라는 힘 아래 서로 충돌하여 하나가 될 것이다. 우리는 안 미래에 벌어질 일들을 지켜 볼 수만 없기에 슈퍼컴퓨터를 이용한 예측을 한다. 이 동영상은 그 결과다.

#이웃집과학자 #천체물리 #수치모의실험... 더 보기

0:30 동영상 더 보려면 클릭하세요



0:31 / 4:07

252명이 좋아합니다.

작성순으로 보기



**이웃집과학자**  
11월 4일 오후 12:10 · 수정됨 · 온

멋진 영상이다 ㅎㅎ

#이웃집과학자 #성운 #이런건어떻게만들지



좋아요 댓글 달기 공유하기

2,893명이 좋아합니다.

댓글 245개



**이웃집 과학자**

그래서 저렇게 합쳐지면 어떻게 되요?

좋아요 · 답글 달기 · 11월 4일 오전 3:26

**이웃집과학자** 은하에는 종류가 많습니다. 간단하게 분류를 할때는 성질 새를 가지고 말을 합니다. 우리은하와 안드로메다 은하는 옆에서 봤을 때 납작하다고 해서 원반은하라고 부를 수 있습니다. 원반은하 두개가 충돌 할 경우 거대한 타원은하로 개질상 합니다. 타원은하라는 이름에서 알 수 있듯이 새로 생긴 은하는 둥근 모양을 하게 됩니다.

좋아요 · 답글 달기 · 1 · 11월 4일 오후 12:11 · 수정됨

1 오 그렇구나

감사합니다!!!!

그럼 충돌해서 새로운 은하가 될 만 별들의 소멸 없이 합쳐지지만 하나요? 아니면 그때 지구가 소멸하나요?

좋아요 · 답글 달기 · 1 · 11월 4일 오후 1:03

**이웃집과학자** 별과 별 사이의 공간 (인터스텔라)은 별의 크기보다 훨씬 더 크기 때문에 은하끼리의 충돌이 있을지언정 별과 별의 직접적 충돌은 거의 없을 것으로 보고 있습니다. 현재까지 연구로는 항성계에 미치지 못하는 작은 것으로 보고 있으나 은이 나쁘다면 무슨 일이 벌어질지 미지수입니다. 물론 수 억년 후의 일이니 우린 걱정이 없겠죠.

좋아요 · 답글 달기 · 2 · 11월 4일 오후 2:05 · 수정됨

**이웃집과학자** 태양과 지구사이의 중력이 그걸한 별과 지구사이의 중력보다 훨씬 강하니 지구가 튕겨나갈 확률은 극히 낮겠지만 태양계 아주 바깥 물체들은 모르겠네요

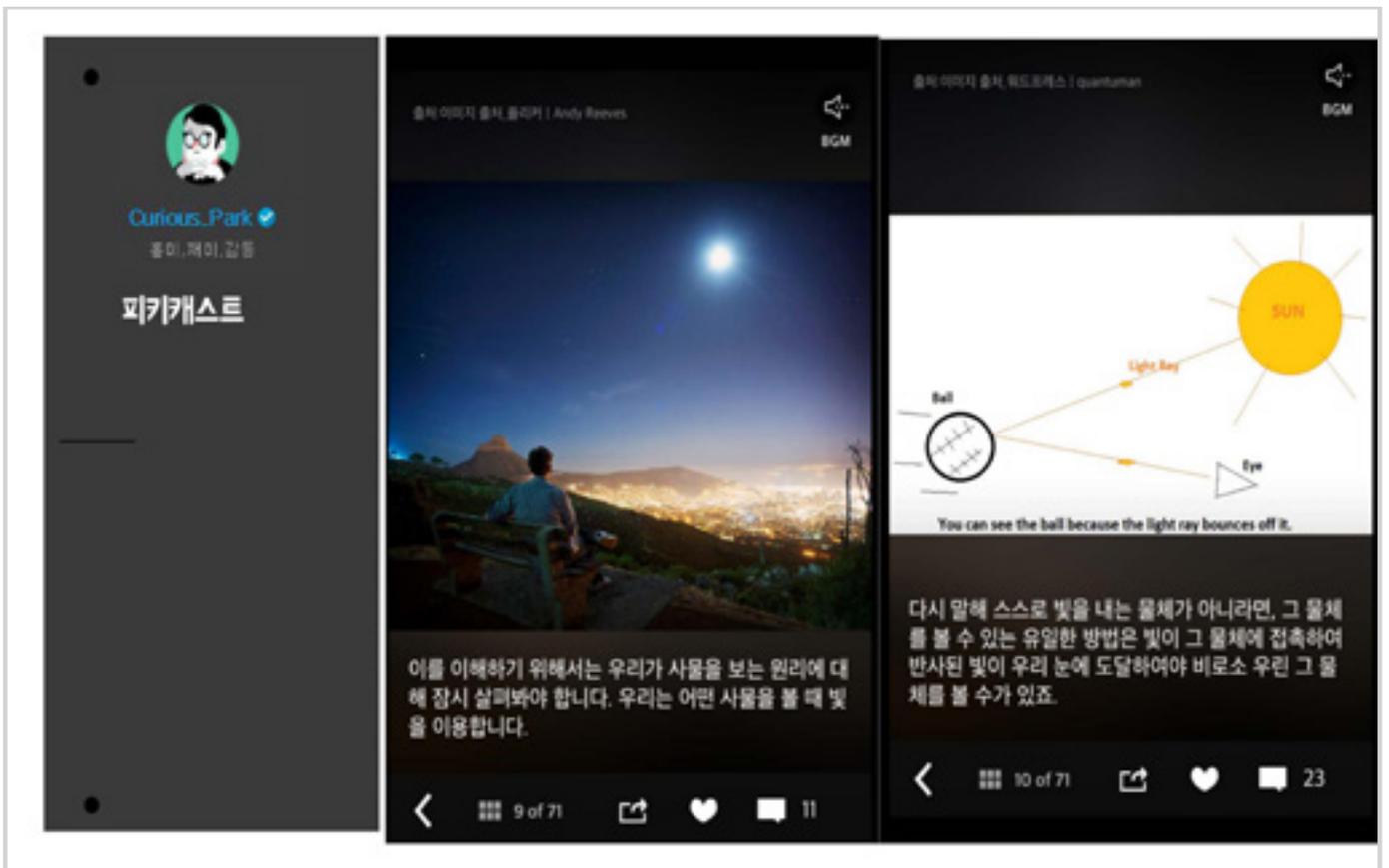
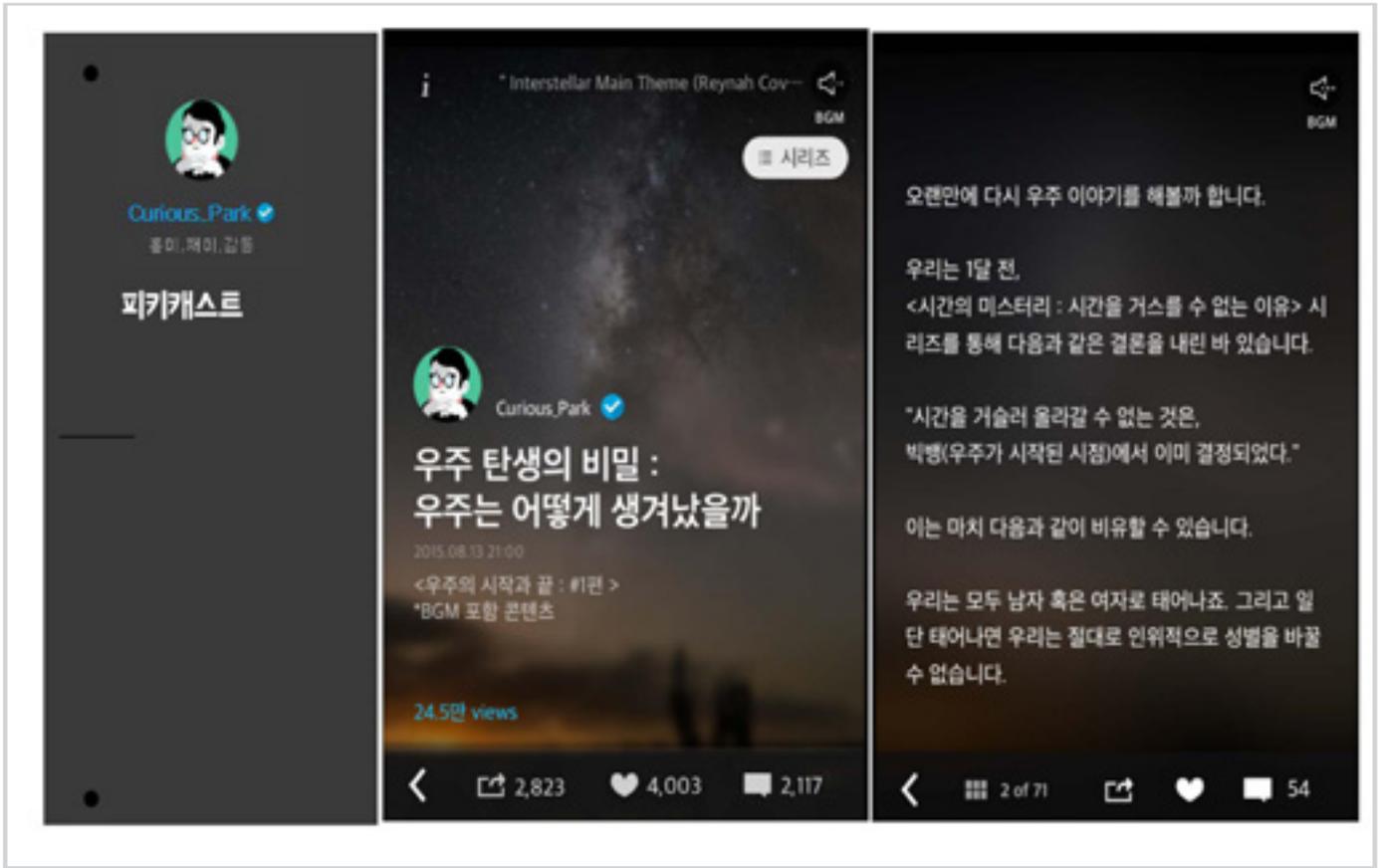
좋아요 · 답글 달기 · 1 · 11월 4일 오후 2:06

감사합니다!!!! 이렇게 물어볼 사람이 있어서 참 좋아요

요 키키

좋아요 · 답글 달기 · 11월 4일 오후 5:48

29





**Curious\_Park**  
홍미, 재이, 갑동

**피카캐스트**

**BEST 가가가만**  
아 그럼 풍상은 하고 있는데 풍선처럼 저렇게 풍상하고 있지는 않다는 건가요? 풍선처럼 풍상한다고 하면 별 사이에 공간 자체도 멀어지지만 풍선의 바람이 들어오는 곳으로 부터 별들이 멀어지는 것도 사실이라서 조금 헷갈렸거든요 실제로 풍선에 점들을 그려서 해봤는데 풍선의 부피  
가 커지면서 입구에 있던 점들이 처음 보다는 입구로 멀어간 것처럼 보이는데... 풍선의 입구도 하나의 별로 봐야하는건가요?  
2015.08.13 21:25

**이우주연상**  
풍선은 단지 풍상하는거에 예시를 보여줄려는거라 입구를 생각하시면 안될것 같아요. 빅뱅이론 이라면 한점에서 터지면서 계속 풍상하는걸로 하는데 그러니까 그 '한점'을 중심으로 상하좌우 관계없이 모두한꺼번에 멀어진다고 보시면 될 것 같아요.  
2015.08.13 21:46

**이웃집\_또터러**  
네 그렇다고 봐요! 우주는 입구가 없는 모양일테니까요! :)  
2015.08.13 21:45

**가가가만**  
음아아 너무 감사해요! 중요한건 풍상한다는 거군요! 우주가 풍선과 같은 모양이 아니라서 제가 헷갈렸는데 확률이 천천히 알려주세요! 감사하네용!!  
2015.08.13 23:56



**BEST 이웃집\_집집이**  
우주 이전에는 뭐가 있었을까  
2015.08.13 21:10  
♡ 좋아요 64개 · 댓글 24개

**thomas\_\_muller**  
집이라는 1차원이 폭발하면서 3차원이된건가...?  
2015.08.14 01:03

**thomas\_\_muller**  
빅뱅이 일어난 초고압의 점이 있었겠죠...  
2015.08.14 01:02

**77t t**  
송중기수님 공감합니다!!!!!! 진짜 '무'라는 개념 자체가 모르겠네요!!! 아예 없다는게 추상적인 도무지 이해가. 없다는것도 어찌한 상황이나 공간 자체가 주어지야할건데 애초에 0인 시점에 무의상태란 뭔지... 진짜 어렵네요!!  
2015.08.14 00:20

**송중기수니**  
'무'라는걸 이해할 수가!!!!!! 작은 점이 폭발해서 우주가 됐다면 그 작은 '점' 자체만으로도 '유'가 아닌가요? 무라는건 참 막연한 개념인듯.. 속시원히 알고싶다 진짜..  
2015.08.14 00:10

CONTENTS

CONCLUSION

대부분 내용을 풀어나감에 있어서 어려운 과학을 어떻게 쉽게 풀어나갈 수 있는지를 많이 고민한 것 같다.

---

다른 매체와 가장 큰 특징은 콘텐츠가 있는 자리에 바로 소통할 수 있는 공간이 마련되어 있다는 점.

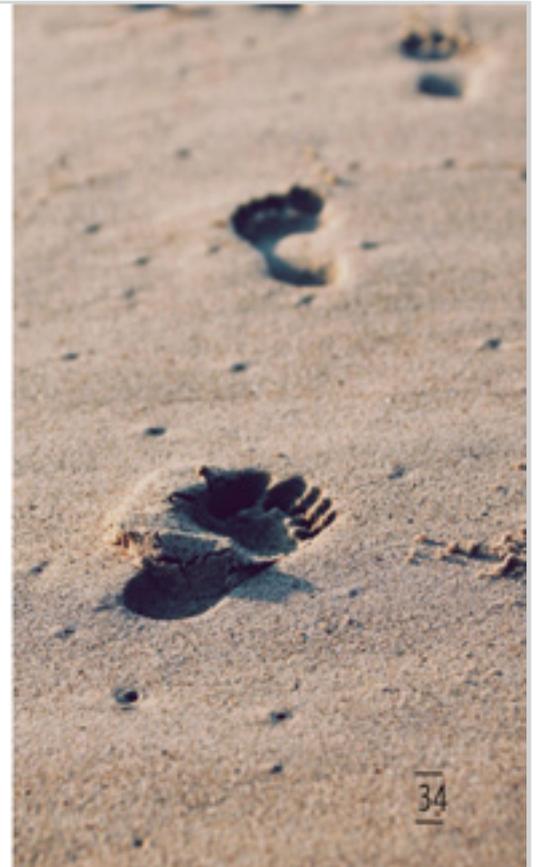
인터넷의 특징으로 지적인 쌍방향성과 전파의 용이함 중 쌍방향성에 해당하는 소통 공간을 적극적으로 활용하고 있지는 않다. 소통 공간의 활용법에 대해 더 고민이 필요하다.

● 그리고 우리는...

과학을 배우고 있는 우리는 어떻게 보면  
일반인과 과학자의 **중간적인 입장**

우리만이 할 수 있는  
**역할**이 있을 것이다!

그 전까지 관심 없던 사람들이  
과학에 대해서 **알하기 시작**하게 하는 것



● REFERENCE

고홍숙 (2013). 과학 방송 프로그램 제작의 한계요인에 대한 연구. 한국방송학보, 27(1), 7-50.

김동광 (2002). 과학과 대중의 관계 변화. 과학기술학연구, 2(2), 1-23.

나도선(2003). 과학문화 확산과 과학자의사회적 책임. 물리학과 첨단기술, 15, 22-25

서지영 (2003). 독일의 과학대중활동. 과학기술정책, (144), 60-69.

이정권, 최명 (2015). 소셜미디어 이용 동기 연구. 한국 언론학보, 59(1), 115-148.

조속경 (2007). 과학커뮤니케이션 : 과학문화의 실행(Practice). 과학기술학연구, 7(1), 151-175.

한국창의재단 (2014). 2014 과학기술이해도 조사 주요 결과.

[우주의 근본법칙과 제 3의 눈]

김찬주 (이화여자대학교 교수)



# 우주의 근본법칙과 제3의 눈

이화여자대학교 물리학과  
김찬주 교수

현대차 정몽구재단 학술세미나  
2015년 11월 21일 (토)

## 물리학의 근본 질문 I

우주를 지배하는 궁극의 물질과 법칙은 무엇인가?

- ✓인류의 역사만큼이나 오래된 “진부한” 질문
- ✓인간이면 누구나 알고 싶어하는 질문

고대: 자연철학  
근대 이후: 물리학  
20세기 초: 현대물리학  
현대: 입자물리학

One Ring to rule them all,  
one Ring to find them,  
one Ring to bring them  
and in the darkness bind them.  
--- *Lord of the Rings*, J.R.R. Tolkien

## 물리학의 근본 질문 II

입자가 많고 복잡하게 모이면 어떤 일이 일어나나?

- ✓일상의 거의 모든 현상을 지배
- ✓현대 과학 문명의 기반
- ✓생명체의 출현 이유

□ 너무나도 많은 현상이 존재하고 그들을 설명하는 많은 개별 이론이 통일성을 가지고 존재한다.

□ 그리고 지금도 끊임없이 새로운 현상이 발견되고 새로운 이론이 제안되고 새로이 현대 문명의 발전을 이끌어간다.

반도체, 초전도체, GPS.....

## 우주의 근본 물질

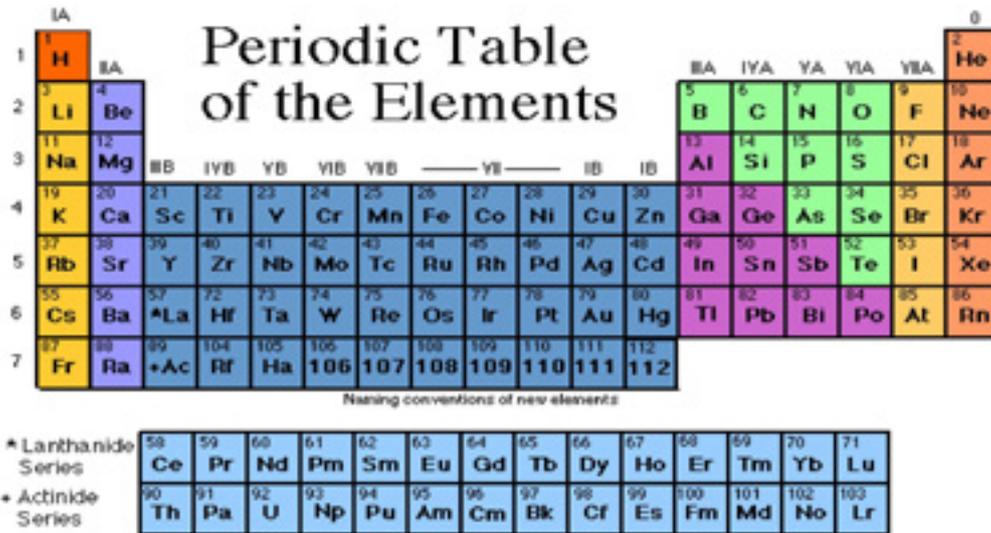
- 고대  
물, 불, 흙, 공기



- 돌턴 - 원자설 (1803년)

ELEMENTS				
○	Hydrogen	1	Strontian	46
⊖	Nitric	5	Barytes	68
●	Carbon	5	Iron	50
○	Oxygen	7	Zinc	56
⊕	Phosphorus	9	Copper	56
⊕	Sulphur	13	Lead	90
⊕	Magnesia	20	Silver	190
⊕	Lime	24	Gold	190
⊕	Soda	28	Platina	190
⊕	Potash	42	Mercury	167

■ 멘델레예프 - 주기율표 (1869년)



모두 92종의 원자가 자연에 존재 → 너무 종류가 많다!

## 원자의 종류가 너무 많다

- 원자의 종류가 너무 많으면 원자를 가장 근본적인 물질이라고 부르기가 민망해진다
- 1900년대의 발견: 내부구조가 있다



원자의 크기: 대략  $10^{-10}m$   
머리카락 굵기의 백만 분의 일

## 현대의 원자모형

1900

원자핵은 양성자와 중성자로 되어 있다

Present Day  
(I am the Very Model of a Modern Major Atom)

쿼크까지 같이 나타낸 원자의 모습

d u u      u d d  
 proton    neutron

양성자와 중성자는 각각 쿼크 세 개로 이루어져 있다

이화여자대학교 김찬주 7 / 42

## 입자물리학과 표준모형

- 입자물리학: 우주의 근본 물질과 근본 법칙에 대해 연구하는 물리학 분야
- 표준모형은 수많은 입자물리학자들이 모여 1970년대에 완성한 양자장론

- 우주는 여섯 종류의 쿼크와 여섯 종류의 렙톤이라는 근본 물질로 이루어져 있다 [페르미온]
- 이들 사이에는 네 가지의 근본적인 힘이 작용한다: 중력, 전자기력, 약력, 강력
- 이 힘을 매개하는 입자들이 있다 [보존]
- 쿼크나 렙톤 등의 근본물질에 질량을 주는 힉스 입자가 있다 [보존]

## 표준모형과 관련된 노벨물리학상

1965 Feynman, Schwinger & Tomonaga	QED (양자전자기학) 이론 확립
1969 Gell-Mann	쿼크 모형 확립
1976 Richter & Ting	J/ψ 입자 발견
1979 Glashow, Salam & Weinberg	전자약력 이론 확립
1980 Cronin & Fitch	CP 대칭성 깨어짐 발견
1984 Rubia & Van der Meer	W, Z 입자 발견
1988 Lederman, Schwarz & Steinberger	중성미자가 두 종류인 것 발견
1990 Friedman, Kendall & Taylor	양성자의 쿼크 구조 규명
1992 Charpak	MWPC 발명 (하전입자검출기)
1995 Perl & Reines	τ 렙톤 / 중성미자 발견
1999 't Hooft & Veltman	표준모형의 재규격화
2002 Davis, Koshiba & Giacconi	우주선(ray)에서의 중성미자/천체물리
2004 Gross, Politzer & Wilczek	강력 이론인 QCD 확립
2008 Nambu, Kobayashi & Maskawa	대칭성 깨짐에 대한 이론 확립
2013 Englert & Higgs	기본입자들이 질량을 가지는 원리 규명
2015 Kajita & McDonald	중성미자의 진동 발견, 질량이 있음 입증

$\leq 0.01$  m Crystal  
 $1/10,000,000$   
 $10^{-9}$  m Molecule  
 $1/10$   
 $10^{-10}$  m Atom  
 $1/10,000$   
 $10^{-14}$  m Atomic nucleus  
 $1/10$   
 $10^{-15}$  m Proton  
 $1/1,000$   
 $< 10^{-18}$  m Electron, Quark

### 쿼크와 렙톤에는 세 개의 세대가 있다

Leptons	u	c	t
	d	s	b
	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$
	e	$\mu$	$\tau$
	I	II	III

The Generations of Matter

Quarks

Leptons

Antiquarks

Antileptons

각 입자의 반물질도 있다

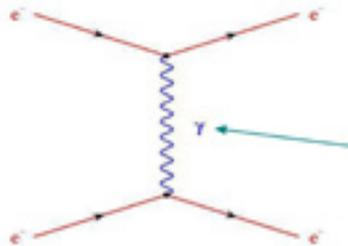
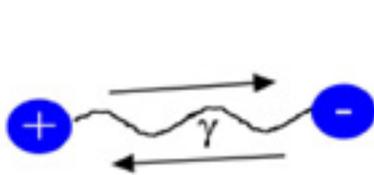
**1세대:** 보통물질을 구성한다

**2,3세대:** 에너지가 크면 생긴다. 1세대와 성질은 비슷한데 질량이 크다.

Who ordered THAT!?!?

입자물리의 세대 문제: 왜 하필이면 3세대가 있는가?

## 매개입자를 통해 힘이 전달되는 과정



광자를 주고받으며  
전자기력을 느낀다

## 네 가지의 근본적인 힘

- 우리 우주에는 네 종류의 근본적인 힘이 있다
  - 중력, 전자기력, 약력, 강력
- 각각의 힘을 전달하는 고유의 입자가 있다

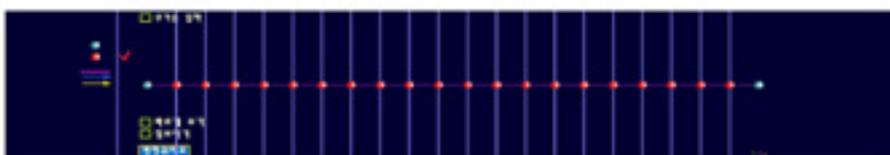
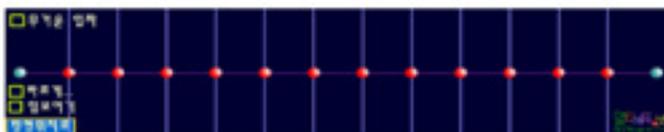
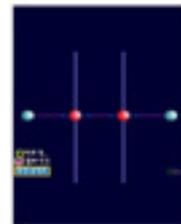
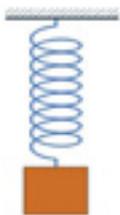
기본 힘	작용	세기	힘의 거리	전달자
강력	쿼크-쿼크	1	$10^{-15}$	글루온
전자기력	전하가 있는 입자	1/137	무한대	광자
약력	쿼크, 렙톤	$10^{-6}$	$10^{-18}$	W, Z보존
중력	질량	$6 \times 10^{-39}$	무한대	중력자

표준모형의 근본물질 = 입자  
양자역학적

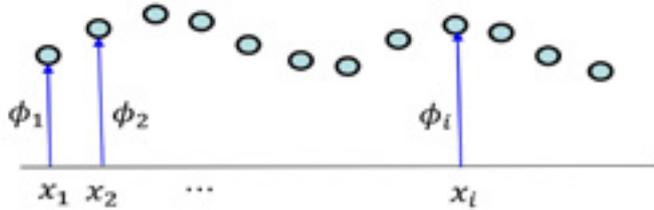


표준모형의 이론적 틀 = 양자장론  
양자역학 + 특수상대성이론

## 단조화 진동 (고전역학)



## 결합된 진동 → 파동



Lagrangian

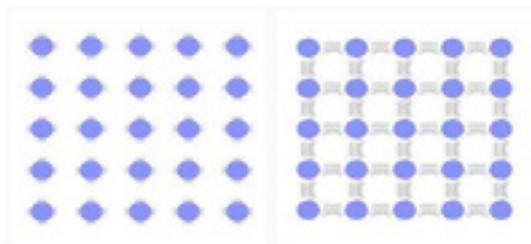
$$L = \sum_i \frac{1}{2} m \dot{\phi}_i^2 - \sum_{ij} \frac{1}{2} k_{ij} \phi_i \phi_j$$



$$L = \int dx \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 - \frac{1}{2} m^2 \phi^2 \right]$$

$\phi(x)$ :  $x$ 번째 진동자가 평형점에서 벗어난 정도

2차원  $\phi(x, y)$



일반적으로,

$$\phi(x)$$

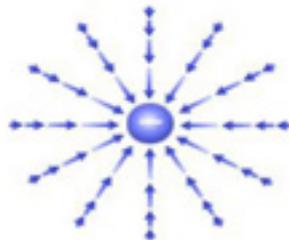
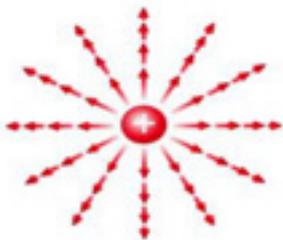
**장(Field):** 공간의 모든 곳에 단조화 진동자가 붙어있다

2차원 장(field)의 예

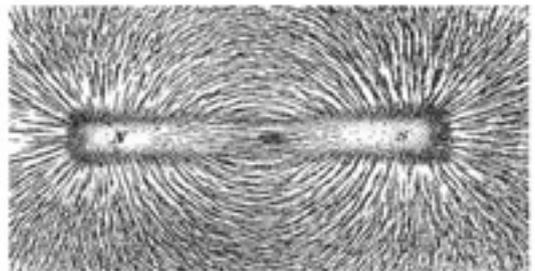


## 빛 = 전자기파(고전 전자기학)

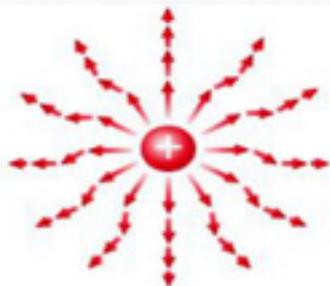
전기장



자기장

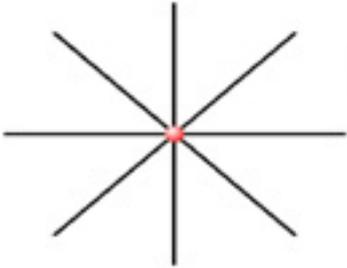


전하의 진동에 의한 전기장의 변화



- 전자기파 = 전기장, 자기장이 만드는 파동
  - 무한히 많은 단조화 진동의 결합
- 맥스웰의 전자기이론: **고전장론**
  - 전자기장의 고전물리학적 이론

### The Electric Field of an Oscillating Charge



Copyright © 2003 David M. Harrison

About this Animation

The value of the speed of light is:  finite  infinite



$\phi(x) \sim \begin{matrix} E(x) \\ B(x) \\ A(x) \end{matrix}$



이화여자대학교 김찬주 19 / 42

## 맥스웰 방정식

운동방정식

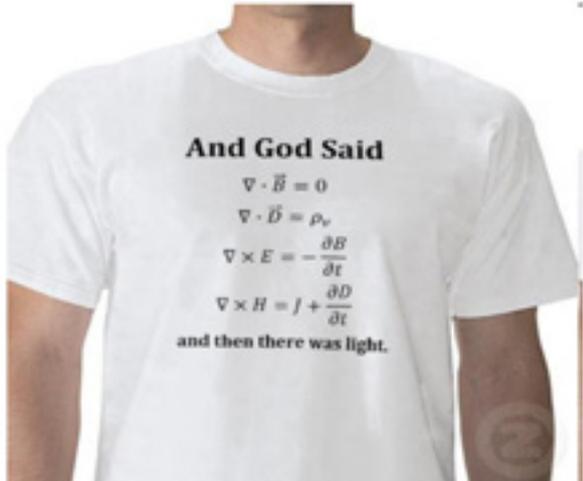
$$m\ddot{x} = -kx$$

↔

$$L = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 - \frac{1}{2}m\omega x^2$$

↔

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(E^2 - B^2)$$



**And God Said**  
 $\nabla \cdot \vec{B} = 0$   
 $\nabla \cdot \vec{E} = \rho_v$   
 $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$   
 $\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$   
 and then there was light.

이화여자대학교 김찬주 20 / 42

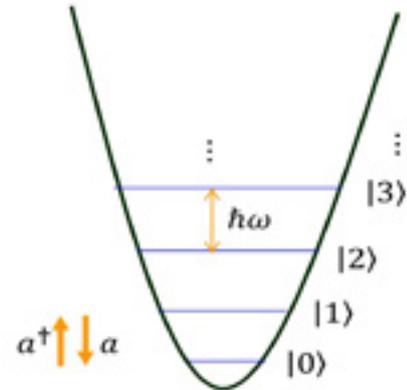
## 단조화 진동 (양자역학)

$$H = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 = \hbar\omega \left( a^\dagger a + \frac{1}{2} \right)$$

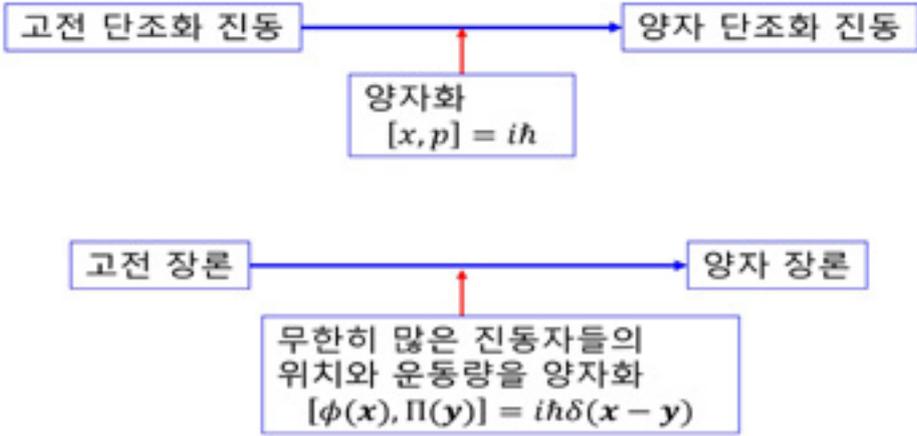
$$E_n = \hbar\omega \left( n + \frac{1}{2} \right), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\begin{aligned} a^\dagger |n\rangle &\propto |n+1\rangle \\ a |n\rangle &\propto |n-1\rangle \end{aligned}$$

$E_0 = \frac{\hbar\omega}{2} (\neq 0)$  : 바닥상태의 에너지  
(~불확정성의 원리)



## 양자장론 = 장의 양자이론



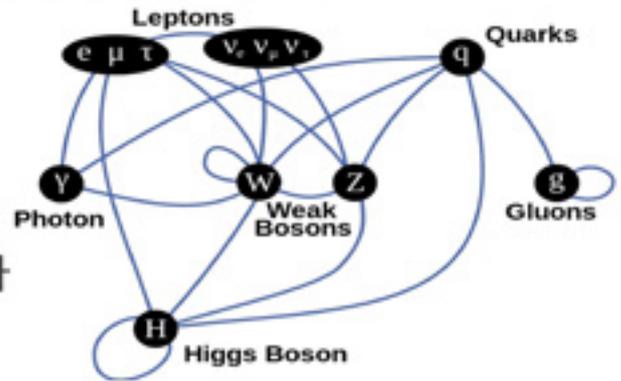
- Normal mode로 분해 → 독립적인 진동자들의 합

평면파 (Plane wave)

$$H = \hbar\omega \int \left( a^\dagger(\mathbf{k})a(\mathbf{k}) + \frac{1}{2} \right) d^3k$$

## 표준모형 다시 보기

- 6종류의 쿼크 장 (quark field)
  - 쿼크를 만들어내는 무한히 많은 단조화 진동자의 모임
- 6종류의 렙톤 장
- 광자 장, 글루온 장, W장, Z장, 중력자 장, 힉스 장
- 우주의 모든 곳에 이런 장들이 깔려있다
- 이들의 상호작용으로 우리가 살고 있는 우주가 되었다
- 무한히 많은 진동자들이 모두 바닥상태 → **진공**



## 불확정성의 원리와 상대론

- 불확정성의 원리에 의하면,
  - 위치와 운동량은 동시에 정확한 값을 가질 수 없다

$$\Delta x \Delta p \geq h$$

$\Delta x$ : 위치의 불확정성  
 $\Delta p$ : 운동량의 불확정성  
 $h$ : 플랑크 상수

- 상대론에 의하면 공간과 시간은 섞인다  
→ 시간이 관련된 불확정성의 원리도 있다

$$\Delta t \Delta E \geq h$$

$\Delta t$ : 시간의 불확정성  
 $\Delta E$ : 에너지의 불확정성

- 짧은 시간 간격  $\Delta t$  동안은 본래의 에너지에서  $\Delta E \sim \hbar/\Delta t$  만큼 에너지가 달라질 수 있다
- 진공 상태에서 아주 짧은 시간 동안 에너지가 커져서 전자와 양전자를 만들었다가 다시 소멸하는 일이 가능하다.
  - 이렇게 입자와 반입자가 가상적으로 생겼다가 소멸되는 입자를 **가상입자(virtual particle)**라 하고 진공에서 이런 일이 일어나는 것을 **진공의 요동**이라 한다
- 진공은,
  - 아무 것도 없는 상태가 아니라 입자가 가득 찬 상태
  - 아무 일도 일어나지 않는 정적인 상태가 아니라 끊임없이 가상입자들이 생성되고 소멸되는 매우 역동적인 상태



色即是空 空即是色

## 표준모형의 Lagrangian

- 기본 구조

$$\mathcal{L} = \sqrt{g}(R - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \bar{\psi}\gamma_{\mu}D^{\mu}\psi + |Dh|^2 - V(|h|) + \psi\psi h)$$

Einstein
Maxwell Yang-Mills
Dirac
Higgs
Yukawa

- 전자약력의 구조

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{GWS} = & \sum_f (\bar{\Psi}_f (i\gamma^\mu \partial_\mu - m_f) \Psi_f - eQ_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_f A_\mu) + \\
 & + \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_i (\bar{a}_L^i \gamma^\mu b_L^i W_\mu^+ + \bar{b}_L^i \gamma^\mu a_L^i W_\mu^-) + \frac{g}{2c_w} \sum_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu (I_f^3 - 2s_w^2 Q_f - I_f^3 \gamma_5) \Psi_f Z_\mu + \\
 & - \frac{1}{4} |\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu - ie(W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 - \frac{1}{2} |\partial_\mu W_\nu^+ - \partial_\nu W_\mu^+ + \\
 & -ie(W_\mu^+ A_\nu - W_\nu^+ A_\mu) + ig' c_w (W_\mu^+ Z_\nu - W_\nu^+ Z_\mu)|^2 + \\
 & - \frac{1}{4} |\partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu + ig' c_w (W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 + \\
 & - \frac{1}{2} M_\eta^2 \eta^2 - \frac{gM_\eta^2}{8M_W} \eta^3 - \frac{g'^2 M_\eta^2}{32M_W} \eta^4 + |M_W W_\mu^+ + \frac{g}{2} \eta W_\mu^+|^2 + \\
 & + \frac{1}{2} |\partial_\mu \eta + iM_Z Z_\mu + \frac{ig}{2c_w} \eta Z_\mu|^2 - \sum_f \frac{g}{2} \frac{m_f}{M_W} \bar{\Psi}_f \Psi_f \eta
 \end{aligned}$$

- Full Lagrangian

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{2} \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - g_s f^{abc} \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - \frac{1}{2} g_s^2 f^{abc} f^{abd} \phi^+ \phi^- \phi^c \phi^d + \\
 & \frac{1}{2} ig^2 (\bar{\psi} \gamma^\mu \psi) \phi^+ \phi^- + G^+ \partial^\mu G^- + g_s f^{abc} \partial_\mu G^+ G^- \phi^c - \partial_\mu W_\nu^+ \partial_\mu W_\nu^- - \\
 & M^2 W_\nu^+ W_\nu^- - \frac{1}{2} \partial_\mu Z_\nu^+ \partial_\mu Z_\nu^- - \frac{1}{2} M^2 Z_\nu^+ Z_\nu^- - \frac{1}{2} \partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2} \partial_\mu H \partial_\mu H - \\
 & \frac{1}{2} m_H^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2} \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - \frac{1}{2} M^2 \phi^+ \phi^- - \Delta_\mu \left[ \frac{M^2}{2} \phi^+ \phi^- \right. \\
 & \left. + \frac{1}{2} (H^2 + \phi^+ \phi^- + 2\phi^+ \phi^-) \right] + \frac{1}{2} g_s^2 \alpha_s - ig_s \partial_\mu Z_\nu^+ (W_\nu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^- W_\nu^+) - Z_\nu^+ (W_\nu^+ \partial_\mu W_\nu^- - W_\nu^- \partial_\mu W_\nu^+) + Z_\nu^+ (W_\nu^- \partial_\mu W_\nu^+ - \\
 & W_\nu^+ \partial_\mu W_\nu^-) - ig_s \partial_\mu (A_\nu (W_\nu^+ W_\nu^- - W_\nu^- W_\nu^+) - A_\nu (W_\nu^- \partial_\mu W_\nu^+ - \\
 & W_\nu^+ \partial_\mu W_\nu^-) + A_\nu (W_\nu^+ \partial_\mu W_\nu^- - W_\nu^- \partial_\mu W_\nu^+)) - \frac{1}{2} g^2 W_\nu^+ W_\nu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \\
 & \frac{1}{2} g^2 W_\nu^+ W_\nu^- W_\nu^+ W_\nu^- + g^2 c_w^2 (Z_\nu^+ W_\nu^+ Z_\nu^+ W_\nu^+ - Z_\nu^+ Z_\nu^+ W_\nu^+ W_\nu^+) + \\
 & g^2 c_w^2 (A_\nu W_\nu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\nu A_\nu W_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w (A_\nu Z_\nu^+ (W_\nu^+ W_\nu^- - \\
 & W_\nu^- W_\nu^+) - 2A_\nu Z_\nu^+ W_\nu^+ W_\nu^-) - g\alpha_s (H^2 + H\phi^+ \phi^- + 2H\phi^+ \phi^-) - \\
 & \frac{1}{2} g^2 \alpha_s [H^4 + (\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^+ \phi^-)^2 H^2] - \\
 & gM_W^2 W_\nu^+ H - \frac{1}{2} g \frac{M_W^2}{c_w} Z_\nu^+ H - \frac{1}{2} ig (W_\nu^+ (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \\
 & W_\nu^- (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+)) + \frac{1}{2} g W_\nu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\nu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \\
 & \phi^+ \partial_\mu H) + \frac{1}{2} g \frac{1}{c_w} (Z_\nu^+ (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H) - ig \frac{M_W^2}{c_w} Z_\nu^+ (W_\nu^+ \phi^- - W_\nu^- \phi^+) + \\
 & ig_s M_A (W_\nu^+ \phi^- - W_\nu^- \phi^+) - ig \frac{1}{c_w} \frac{M_W^2}{c_w} Z_\nu^+ (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + \\
 & ig_s A_\nu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \frac{1}{2} g^2 W_\nu^+ W_\nu^- [H^2 + (\phi^+ \phi^-)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \\
 & \frac{1}{2} g^2 \frac{1}{c_w} Z_\nu^+ Z_\nu^+ [H^2 + (\phi^+ \phi^-)^2 + 2(2c_w^2 - 1)\phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2} g^2 \frac{1}{c_w} Z_\nu^+ \phi^+ (W_\nu^+ \phi^- + \\
 & W_\nu^- \phi^+) - \frac{1}{2} ig^2 \frac{1}{c_w} Z_\nu^+ H (W_\nu^+ \phi^- - W_\nu^- \phi^+) + \frac{1}{2} g^2 s_w A_\nu \phi^+ (W_\nu^+ \phi^- - \\
 & W_\nu^- \phi^+) + \frac{1}{2} ig^2 s_w A_\nu H (W_\nu^+ \phi^- - W_\nu^- \phi^+) - g^2 c_w (2c_w^2 - 1) Z_\nu^+ A_\nu \phi^+ \phi^- - \\
 & g^2 c_w^2 A_\nu A_\nu \phi^+ \phi^- - e^2 (\gamma_0 + m_e^2) e^4 - \nu^2 \gamma_0 \nu^4 - u_1^2 (\gamma_0 + m_u^2) u_1^4 - \\
 & d_1^2 (\gamma_0 + m_d^2) d_1^4 + ig_s A_\nu [-(e^2 \gamma^0 e^4) + \frac{1}{2} (u_1^2 \gamma^0 u_1^2) - \frac{1}{2} (d_1^2 \gamma^0 d_1^2)] + \\
 & \frac{1}{2} g_s^2 Z_\nu^+ [(\nu^2 \gamma^0 (1 + \gamma^5) \nu^2) + (e^2 \gamma^0 (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^2) + (u_1^2 \gamma^0 (\frac{1}{2} s_w^2 - \\
 & 1 - \gamma^5) u_1^2) + (d_1^2 \gamma^0 (1 - \frac{1}{2} s_w^2 - \gamma^5) d_1^2)] + \frac{1}{2} g_s^2 W_\nu^+ [(\nu^2 \gamma^0 (1 + \gamma^5) e^2) + \\
 & (u_1^2 \gamma^0 (1 + \gamma^5) C_{\nu\nu} d_1^2)] + \frac{1}{2} g_s^2 W_\nu^- [(e^2 \gamma^0 (1 + \gamma^5) \nu^2) + (d_1^2 C_{\nu\nu} \gamma^0 (1 + \\
 & \gamma^5) u_1^2)] + \frac{1}{2} g_s^2 \frac{1}{c_w} [ -\phi^+ (\nu^2 (1 - \gamma^5) e^2) + \phi^- (e^2 (1 + \gamma^5) \nu^2) - \\
 & \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} [H (e^2 e^4) + 4e^2 (e^2 \gamma^0 e^4)] + \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} g_s^2 \phi^+ [-m_e^2 (u_1^2 C_{\nu\nu} (1 - \gamma^5) d_1^2) + \\
 & m_e^2 (d_1^2 C_{\nu\nu} (1 + \gamma^5) d_1^2) + \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} g_s^2 \phi^- [m_d^2 (d_1^2 C_{\nu\nu}^+ (1 + \gamma^5) u_1^2) - m_d^2 (d_1^2 C_{\nu\nu}^- (1 - \\
 & \gamma^5) u_1^2) - \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} H (u_1^2 u_1^2) - \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} H (d_1^2 d_1^2) + \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} g_s^2 \phi^0 (u_1^2 \gamma^0 u_1^2) - \\
 & \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} g_s^2 \phi^0 (d_1^2 \gamma^0 d_1^2) + X^+ (\partial^\mu - M^2) X^+ + X^- (\partial^\mu - M^2) X^- + X^0 (\partial^\mu - \\
 & \frac{M^2}{c_w}) X^0 + Y \partial^\mu Y + ig_s W_\nu^+ (\partial_\mu X^0 X^- - \partial_\mu X^+ X^0) + ig_s W_\nu^- (\partial_\mu Y X^- - \\
 & \partial_\mu X^+ Y) + ig_s W_\nu^+ (\partial_\mu X^- X^0 - \partial_\mu X^0 X^+) + ig_s W_\nu^- (\partial_\mu X^- Y - \\
 & \partial_\mu Y X^+) + ig_s Z_\nu^+ (\partial_\mu X^+ X^- - \partial_\mu X^- X^+) + ig_s A_\nu (\partial_\mu X^+ X^- - \\
 & \partial_\mu X^- X^+) - \frac{1}{2} g M [X^+ X^+ H + X^- X^- H + \frac{1}{2} X^0 X^0 H] + \\
 & \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} ig M [X^+ X^0 \phi^- - X^- X^0 \phi^+] + \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} ig M [X^0 X^+ \phi^- - X^0 X^+ \phi^+] + \\
 & \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} ig M s_w [X^+ X^- \phi^+ - X^0 X^0 \phi^-] + \frac{1}{2} \frac{1}{c_w} ig M [X^+ X^- \phi^0 - X^- X^+ \phi^0]
 \end{aligned}$$

## 표준 모형과 문제점

SU(3) X SU(2) X U(1), 중력(일반상대론)  
강력 전자약력

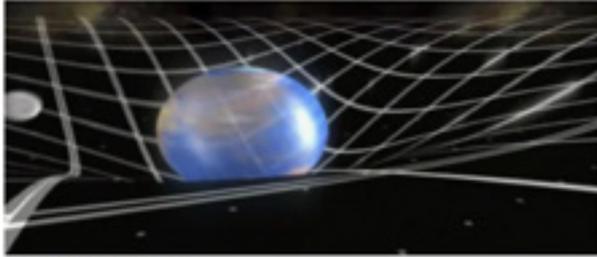
- 입자가 너무 많다
- 근본 힘 사이에 관련이 거의 없다
- 사람이 실험으로 맞춰 줘야 하는 상수가 너무 많다. 그래서 보기에 충분히 아름답지 못하다. 예를 들면,
  - 전자의 질량은 왜 하필이면  $9.10938188 \times 10^{-31} \text{ kg}$  일까?
  - 왜 쿼크나 렙톤은 하필이면 3 세대가 있을까?
  - (만약 신이 있다면) 신은 이 세상을 창조할 때 왜 이런 숫자들을 사용했을까? 필연적인 이유가 있었을까? 등등
  - 이 모든 숫자들을 단 하나의 원리로 정해줄 수는 없을까?
- 그리고, 결정적으로,
 

일반상대론과 양자역학을 결합하는데 실패했다

Parameters of the Standard Model			
Symbol	Description	Renormalization scheme (point)	Value
$m_e$	Electron mass		511 keV
$m_\mu$	Muon mass		105.7 MeV
$m_\tau$	Tau mass		1.78 GeV
$m_u$	Up quark mass	$\mu_{\text{MS}} = 2 \text{ GeV}$	1.9 MeV
$m_d$	Down quark mass	$\mu_{\text{MS}} = 2 \text{ GeV}$	4.4 MeV
$m_s$	Strange quark mass	$\mu_{\text{MS}} = 2 \text{ GeV}$	87 MeV
$m_c$	Charm quark mass	$\mu_{\text{MS}} = m_t$	1.32 GeV
$m_b$	Bottom quark mass	$\mu_{\text{MS}} = m_t$	4.24 GeV
$m_t$	Top quark mass	On-shell scheme	172.7 GeV
$\theta_{12}$	CKM 12-mixing angle		13.1°
$\theta_{23}$	CKM 23-mixing angle		2.4°
$\theta_{13}$	CKM 13-mixing angle		0.2°
$\delta$	CKM CP-violating Phase		0.995
$g$ , or $g'$	U(1) gauge coupling	$\mu_{\text{MS}} = m_t$	0.357
$g_s$ , or $g$	SU(2) gauge coupling	$\mu_{\text{MS}} = m_t$	0.652
$g_3$ , or $g_s$	SU(3) gauge coupling	$\mu_{\text{MS}} = m_t$	1.221
$\theta_{\text{QCD}}$	QCD vacuum angle		-0
$v$	Higgs vacuum expectation value		246 GeV
$m_h$	Higgs mass		125.36 ± 0.41 GeV (tentative)

## 일반상대론과 양자역학의 충돌

**블랙홀:** 매우 많은 물질이 엄청난 밀도로 작은 곳에 모여 있다  
→ 일반상대론과 양자역학을 모두 적용해야 한다



### 일반상대론

- 강한 중력이 작용할 때 적용
- 휘어진, 그러나 매끈한 시공간

### 양자역학

- 미시 세계에 적용
- 시공간의 불확정성  
→ 시공간의 모양 자체가 정해지지 않는다

도영상  
김영웅

## 초끈/M 이론(Superstring/M theory)

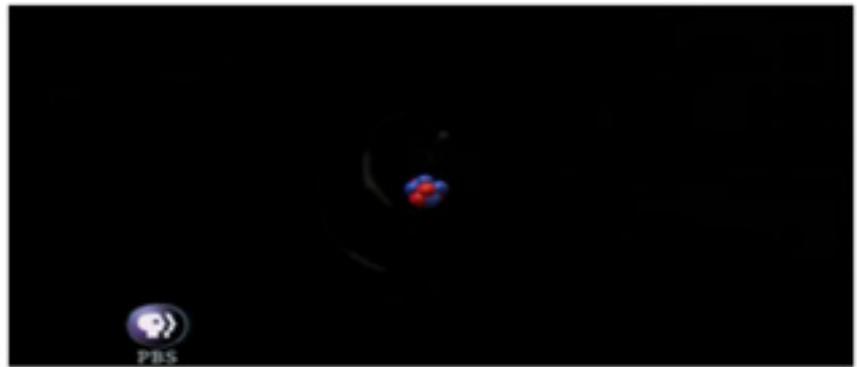
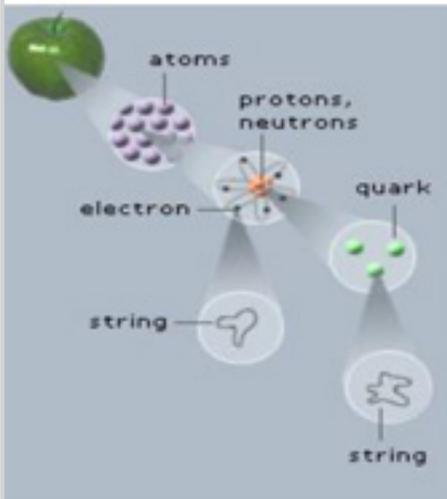
- 모든 힘을 통일하는 유력한 후보
- 특히 중력(일반상대론)과 양자역학을 결합해냈다
- 초끈 이론의 태동: 1970년대
- 1차 초끈 혁명: 1984년 (Green, Schwarz)
- 2차 초끈 혁명: 1995년 (Witten)



## 초끈 이론에 의하면

### ▪ 만물은 끈이다

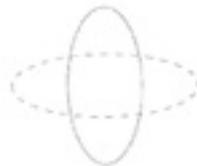
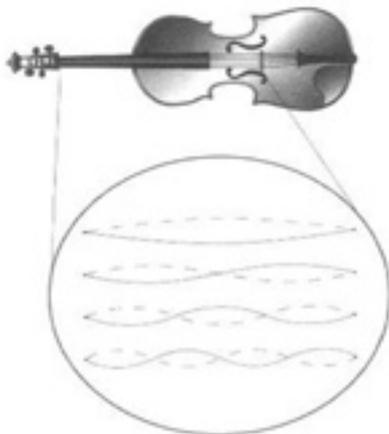
- 전자나 쿼크나 렙톤이나 광자(빛)나 다른 모든 기본 입자가 모두 끈으로 이루어져 있다
- 그런데 끈이 너무 작아서 실험에서는 크기가 없는 입자처럼 점으로 보이는 것이다



### ▪ 열린 끈과 닫힌 끈이 있다

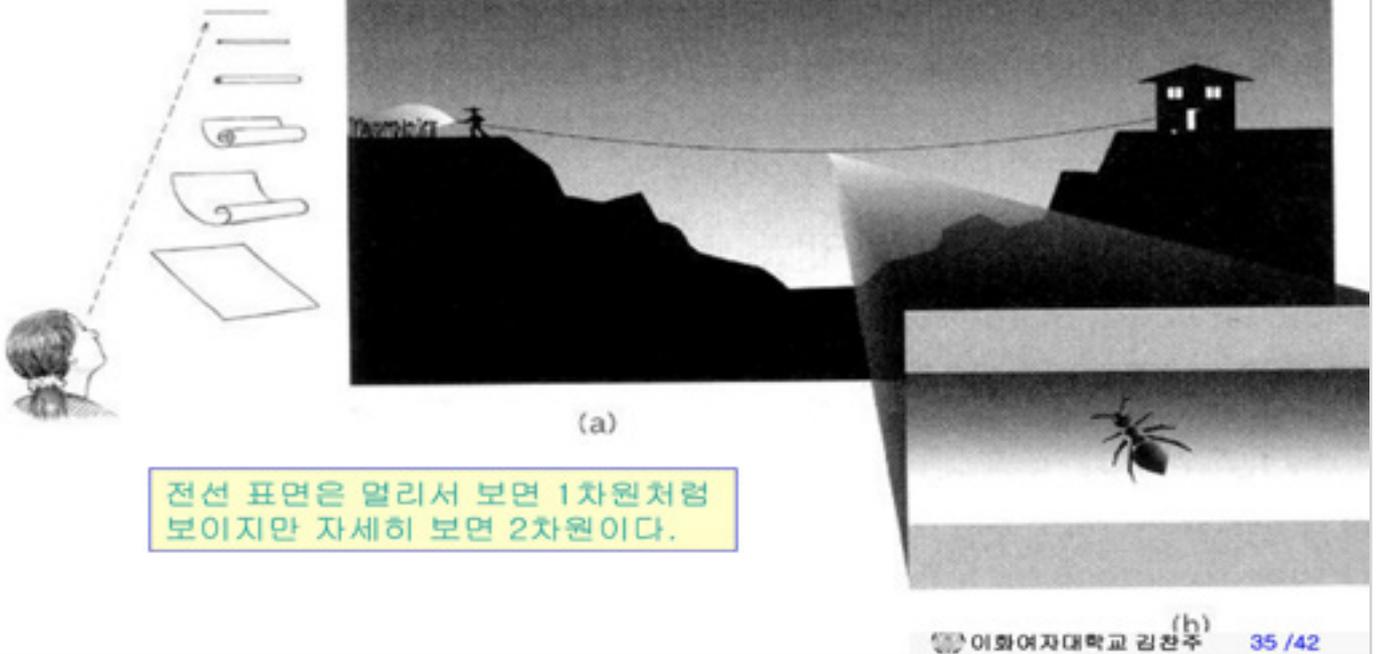


### ▪ 끈이 어떻게 진동하는가에 따라 여러 종류의 입자가 생긴다



▪ 우주는 11차원(=10차원의 공간 + 1차원의 시간)

- 겉보기에는 공간이 3차원밖에 없지만 나머지 7차원은 우리가 보이지 않는 크기로 작게 말려있다

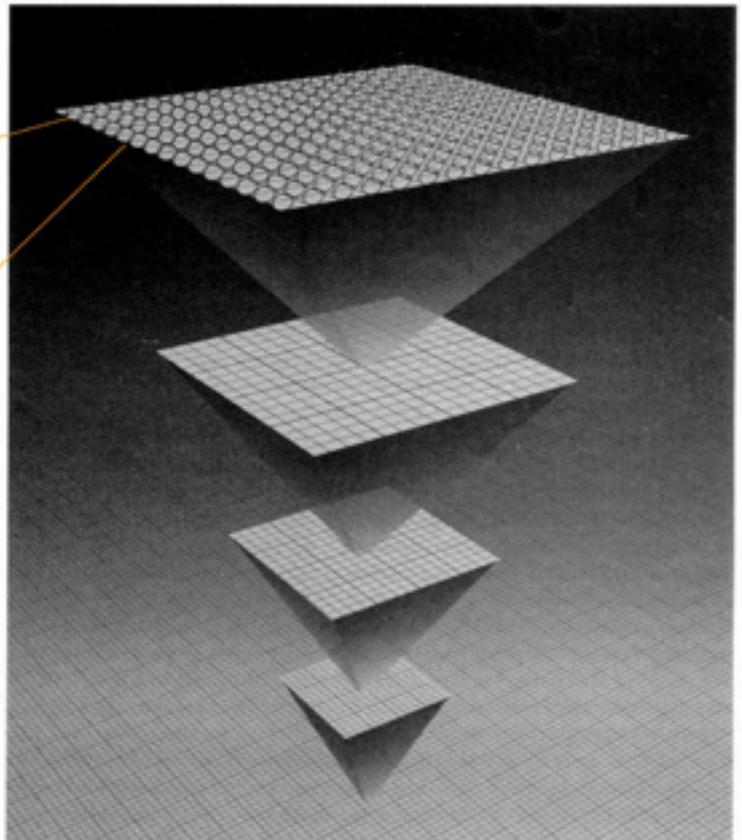


전선 표면은 멀리서 보면 1차원처럼 보이지만 자세히 보면 2차원이다.

- 우주의 시공간도 계속 확대를 거듭하면 작게 말려 있는 7차원이 발견된다

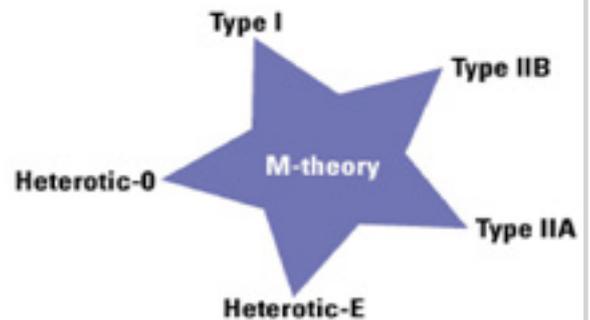


초끈 이론에 의하면 시공간은 이런 모양으로 복잡하게 말려있다



- **조끈 이론에는 정확히 다섯 개의 이론만 가능하다**

- Type I, Type IIA, Type IIB, Heterotic-O, Heterotic-E
- 이들은 모두 대칭성에 의해 연결되어 있다



- **다섯 개의 이론을 모두 통합하는 M-이론이 있다.**

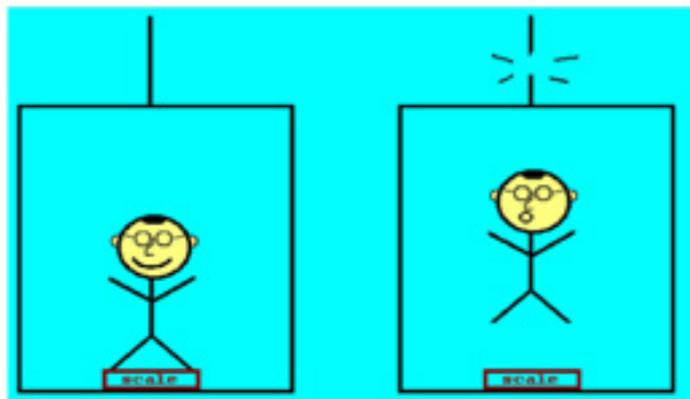
- M은 mother, magic, mystery, matrix 등을 뜻함

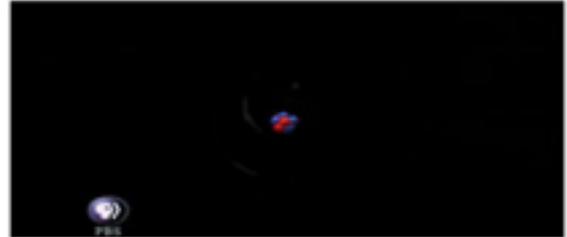
조끈/M 이론은 현재도 연구 중...

**결론:**  
**물리학자의 제3의 눈**



이슬은 나뭇잎에서 굴러 떨어지면서  
매우 복잡한 뉴턴 방정식의 해를 찾아내고 있다





[구글신은 모든것을 알고있다-빅데이터와 복잡계 네트워크]

정하웅 (KAIST 교수)

## [구글신은 모든것을 알고있다-빅데이터와 복잡계 네트워크]

정하웅 (KAIST 교수)

‘원자의 구성입자와 그것들의 상호작용’에 관한 연구로 1969년에 노벨물리학상을 수상한 머리 겔만(Murray Gell-Mann) 박사는 복잡계(Complex Systems)에 대한 연구가 미래에 가장 촉망받는 분야이며 관심을 가지고 연구해야 할 분야라고 주장한다. 겔만 박사는 현재 미국 산타페연구소에 복잡계에 대한 연구팀을 이끌고 있다. 그들의 연구 대상은 정치학, 사회학, 경제학, 생물학, 물리학, 컴퓨터공학 등등 학문의 모든 분야에 걸쳐 있다고 말할 정도로 다양하다. 그럼 이렇듯 많은 사람들이 중요하게 말하고 있으며, 실제로 다양한 분야에서 연구가 이루어지고 있는 복잡계란 과연 무엇일까?

흔히 인용되는 복잡계의 정의도 그 적용 분야만큼이나 다양하지만 공통요소만 정리하자면, 복잡계란 다양하고 많은 수의 구성요소들이 서로간의 상호작용에 의해서 구성요소 하나하나의 특성과는 사뭇 다른 새로운 복잡한 현상이지만, 나름대로의 질서를 보여주는 시스템이라고 할 수 있다.[1]

사실 우리 주변을 둘러보면 거의 모든 것들은 다양하고 수많은 구성요소로 이루어진 복잡계이다. 예를 들어 많은 사람들이 서로의 이해관계에 의해 얽혀 있는 사회, 우리 몸속에서 여러 종류의 물질들이 여러 가지의 생화학반응을 통해 에너지를 만들어 우리를 살아 있게 만드는 생명현상, 또 수많은 컴퓨터들이 여러 가지의 통신수단을 통해 연결되어 있는 인터넷 등이 복잡계의 대표적인 예라 할 수 있다. 신경세포들이 연결되어 구성하는 뇌(Brain) 또한 예외는 아니다. 이렇듯 다양한 복잡계에 대한 연구는 새로운 밀레니엄을 맞아 여러 가지 방법을 통해 활발히 연구되고 있다. 최근 들어 주목받는 새로운 방법론은 네트워크 과학인데, 네트워크 과학이란 복잡계의 구성요소들과 그들 간의 상호작용을 점과 선으로 단순화시켜서, 네트워크 (또는 그래프)로 바꾸어 연구하는 것이다. 특히나 일련의 연구를 통해 전혀 다른 분야에서 발견되는 네트워크들의 모양이 신기할 정도로 거의 똑같다는 것이 알려지면서, 자연스럽게 다양한 연구 대상의 공통점에 대한 관심이 늘어났고, 타학문 분야와의 접촉도 빈번해졌는데 결국, 다양한 학문 분야에 펼쳐져 있던 복잡계의 연구 대상들이 간단히 “네트워크”라는 하나의 주제로 통일되면서, 자연스럽게 학제간 연구로 발전하고 있는 것이다.[2]

‘여섯 단계 분리(Six degrees of separation)’라는 말이 있다. 그것은 온 세상 사람들을 5명만 거치면 다 알 수 있다는 것을 의미한다. 지구의 인구가 60억 명을 넘어섰는데 그 많은 사람들을 5명만 거치면 다 알 수 있는 좁은 세상이라는 것은 정말 놀라울 따름이다. 이는 1967년 하버드대학교 사회학과 스탠리 밀그램(Stanley Milgram) 교수의 편지전달 실험을 통해 처음 밝혀졌는데 1920년대에 헝가리의 작가 커린시의 소설 “연쇄”를 통해 처음 등장했던 ‘여섯 단계 분리’가 처음으로 입증된 셈이다. 이렇듯 여섯 단계의 분리는 엄연히 우리가 살고 있는 세상의 특징으로, 그 이후에도 여러 가지 간접적인 실험을 통해서도 사실임이 계속 확인되고 있다.[3] 우리가 살고 있는 사회는 복잡해 보이지만 사람들이 서로 얽혀있는 네트워크로 해석될 수 있는 결국 좁은 세상 네트워크로 이해할 수 있다. 그럼 좁은 세상이라는 개념이 단지 우리가 살고 있는 사회에만 적용되는 것일까? 최근 들어 이러한 질문에 관한 많은 연구가 진행되면서, 놀랍게도 좁은 세상 현상이 사회만이 아닌 여러 다른 분야에서도 발견되고 있다. 좁은 세상 현상의 대표적인 예를 좀 더 살펴보자.

네트워크란 말이 보편적으로 쓰이게 된 데는 인터넷의 공로가 매우 크다. 그렇기 때문에 인터넷상의 가상세계인 'www'(World-Wide-Web)은 네트워크 연구에서 빼놓을 수 없는 대상이다. 과연 지구상에 몇 개의 웹페이지가 있을까? 1999년 미국의 뉴욕 근처에 위치한 NEC연구소의 리 자일스(C. Lee Giles) 라는 과학자는 전 세계 웹페이지의 개수를 약 10억 개로 추산했다. 물론 'www'의 기하급수적인 증가를 생각하면 현재는 아마도 100억 개 이상일 것으로 쉽게 추측할 수 있다. (2005년 Google이 검색하고 있는 웹페이지만 해도 80억 개를 넘어섰다고 알려져 있다). 하지만 정확한 숫자는 아무도 모르는 것이 현실이다. 논의의 편의상 전체 웹페이지의 숫자를 10억 개로 한정해보자. 그렇다면 10억 개의 홈페이지는 웹서핑을 통해 몇 단계를 거치면 서로 도달할 수 있을까? 1999년 필자의 연구 결과에 따르면 10억 개의 홈페이지는 단지 19번의 마우스 클릭을 통하면 모두 도달할 수 있다. 물론 어느 웹사이트는 2번의 클릭을 통해 다가갈 수 있고, 어떤 웹사이트는 60번의 클릭을 통해 다가갈 수 있다. 그러나 평균적으로 19번이면 웬만한 웹사이트는 도달할 수 있는 좁은 세상이라는 것이 연구 결과의 핵심이다.[4] 60억의 인구를 5명만 거치면 다 알게 된다는 것과 비교하면 다소 비효율적이라고 생각할 수 있다. 그러나 평균적으로 한 사람이 일생 동안 3천 명 정도를 알고 지내는 반면 한 홈페이지에 연결된 링크 수는 평균적으로 7개 정도로 매우 적다. 따라서 19번의 링크로 웬만한 웹사이트에 도달할 수 있다는 것은 상당히 놀라운 사실이다. 아무튼 6명을 통해서나 19번의 클릭을 통해서나 모든 사람이나 모든 웹사이트에 다가갈 수 있다는 사실에서 ㄷ보듯이, 세상은 참으로 좁다. 이러한 좁은 세상 효과 때문에 세상에서 일어나는 일들은 주변 사람들이나 웹을 통해 손쉽게 다가갈 수 있다. 좁은 세상은 비단 인간사회와 인터넷상에서만 찾아볼 수 있는 것은 아니다. 흥미롭게도 박테리아와 같은 아주 작은 세포 안에서도 좁은 세상이 펼쳐지고 있었다. 연구 결과에 따르면, 박테리아와 같은 단핵생물이나 그보다 고등한 진핵생물 할 것 없이 생물체의 신진대사 네트워크의 거리는 그 생물체를 구성하고 있는 화합물의 개수에 관계없이 짧은 거리로 일정했다.[5] 결국 세포 내 신진대사 네트워크도 좁은 세상인 셈이다. 이와 같은 사실은 생명체가 생존하기 위해서 여러 가지 화합물을 만드는 경로를 짧게 유지해서 빠른 시간 내에 필요한 화합물들을 만들 수 있어야 하기 때문이다. 이러한 짧은 경로의 좁은 세상 네트워크를 갖지 못한 생명체는 적응력이 떨어져 자연도태 됐을 것이다. 이처럼 우리가 살고 있는 거의 모든 세상은 매우 좁으며 알게 모르게 서로 링크되어있는 네트워크이다. 이러한 좁은 세상은 어떻게 생겼으며 왜 만들어지는 것일까? 이러한 좁은 세상에서는 무슨 흥미로운 일들이 벌어지고 있을까? 좀 더 깊이 들어가 보자.

앞서 소개한 바와 같이, 우리가 살고 있는 사회를 단순화시키면 사람을 점(點)으로 그 인맥을 선(線)으로 나타낼 수 있다. 이것은 바둑판위에 교차되어있는 선과 점들 유사하다. 그러나 바둑판처럼 생긴 네트워크는 결코 좁은 세상이 되지 못한다. 예를 들어 한쪽 구석에 있는 점 A에서 반대편 모서리에 있는 점 B로 간다고 생각해보자. 이 경우 바둑판의 많은 점들을 거쳐 가야 하므로 짧은 거리에 의해 연결될 수가 없다. 따라서 바둑판 모양의 네트워크는 우리의 좁은 세상을 잘 나타내주지 못한다. 그렇다면 실제 네트워크는 어떻게 생겼을까? 실제 네트워크의 모양을 알아보기 위해 1999년 필자는 미국 노트르담대학교의 라즐로 바라바시(Albert-Laszlo Barabasi) 교수와 함께 다음과 같은 실험을 주도했다. 그 당시 필자는 월드와이드웹을 자동으로 돌아다니며 정보를 모으는 프로그램인 로봇(또는 크롤러, crawler)을 만들어 월드와이드웹의 연결 지도를 얻었다. 즉 각 웹페이지가 어떤 웹페이지와 어떻게 연결(하이퍼링크)되는지를 알아낸 것이다. 월드와이드웹의 지도를 통해 먼저 웹페이지가 평균적으로 19번의 링크만으로 서로 연결돼 있는 좁은 세상이라는 점을 연구팀은 알아냈다. 하지만 더 재미있는 점은 실제 네트워크가 어떻게 생겼는지를 알 수 있었다는 것이다. 실제 네트워크인 월드와이드웹의 지도를 손에 넣었기 때문이었다.[4] 연구를 시작하기 전 연구팀은 기존의 그래프 이론인 무작위적 네트워크 이론의 지배를 받았던 탓에 웹페이지들이 모두 비슷한 갯수의 연결선을 가질 것이라고 예상했다.[6] 아마 독자들도 웹페이지들에 링크된 다른

웹페이지의 개수가 대부분 비슷할 것이라고 예상하기 쉬울 것이다. 그러나 결과는 놀랍게도 각 점들에 연결된 연결수의 분포함수인 “연결선 분포함수”가 포아송(Poisson) 분포가 아닌 멱함수(power-law)라고 불리는 새로운 분포함수를 따르는 것으로 밝혀졌다. 멱함수 분포는 평균 주위에 정점(頂點)이 없고 계속 감소하는 모양을 갖는다 ( $P(k) \sim k^{-\gamma}$ ). 따라서 멱함수 분포를 따르는 네트워크에서는 연결선이 적은 점들이 대부분이지만, 동시에 연결선이 많은 점, 즉 허브들도 적지만 함께 존재한다. 이러한 월드와이드웹의 연결구조는 멱함수 법칙을 따르는 척도 없는 네트워크라 불린다. 더욱 재미있는 점은 척도 없는 네트워크의 구조가 월드와이드웹뿐만 아니라, 여러 네트워크에서 공통적으로 발견된다는 것이다. 네트워크에 관한 연구가 진행되면서, 주변에서 쉽게 발견할 수 있는 여러 가지 네트워크의 예들이 멱함수 법칙을 따르는 척도 없는 네트워크라는 점이 밝혀지고 있다. 우리 몸속의 신진대사망, 할리우드 배우들의 공동출연작 연결을 고려한 사회적 네트워크, 그리고 실제 물리적인 인터넷 연결망도 그랬다. 결국 1959년 이후 네트워크의 구조에 관해 우리의 사고를 지배했던 무작위 네트워크이론은 막을 내리고 좁은 세상을 설명할 수 있는 새로운 척도 없는 네트워크라는 이론이 탄생한 것이다.

코넬 대학의 스트로가츠(Steven Strogatz) 교수에 따르면, 매 10년마다 알파벳 ‘C’로 시작하는 중요한 이론들이 나타났다고 한다. 1960년대에는 사이버네틱스(Cybernetics), 1970년대에는 카타스트로피 이론(Catastrophe theory), 1980년대에는 혼돈 이론(Chaos theory), 그리고 1990년대에는 복잡계 이론(Complexity Theory)이 그것이라고 했다. 물론 약간은 억지스러운 말이지만, 최근 여기저기서 나타나고 있는 복잡계에 관한 폭발적인 관심으로 미루어볼 때, 꼭 틀린 말은 아닌 듯하다. 사실 복잡계에 대한 연구는 영국의 저명한 물리학자들이 20세기를 마무리하며 꼽은 물리학의 10대 미해결 연구과제 중 하나이다. 또한 미국 과학재단(NSF)이 선정한 4대 주요 연구과제 중 하나로 꼽힐 만큼 중요한 연구 분야임에 틀림없다. 경우에 따라서는 연구 분야라고 하기보다는 그 다양한 응용 및 적용 분야로 말미암아 여러 학문 분야에서의 새로운 패러다임으로서 방법론적인 측면이 더 강조되기도 한다. 그 중에서도 지금까지 살펴본 ‘복잡계 네트워크 이론’은 복잡계를 이해하는 새로운 방법론으로 받아들여지고 있으며, 다양한 학문분야에서 주목을 받고 있다. 지금까지 공학자이건 물리학자이건 생물학자이건 그들은 연구대상을 잘게 쪼개서 분석을 하는데 모든 노력을 경주해왔다. 이러한 환원주의적 접근 방식은 19~20세기에 걸쳐 자연이나 사회를 이해하는 데 크게 기여했다. 하지만 잘게 쪼개진 부분에 관한 수많은 정보, 즉 생태계를 이루고 있는 생물들이나 경제활동에 참가하는 개개인에 관한 정보가 아무리 많다고 해도, 전체로 모일 때 생기는 특이한 현상들을 설명해주지는 못했다. 그들은 부분이 서로 복잡한 상호작용으로 연결되어 전체라는 네트워크를 만들어낸다는 생각을 하지 못했다. 이들에게 절실히 필요한 것은 복잡한 네트워크의 구조와 작동원리를 정확히 꿰뚫어볼 수 있는 통찰력이다. 물론 구체적인 구성요소는 각 연구대상마다 판이하게 다르다. 하지만 전체적인 큰 그림으로 본다면 네트워크라는 연결구조에 대한 이해가 먼저 있어야 한다. 네트워크 과학은 각 구성성분의 세부사항 같은 가정과 추측을 최대한 줄이고, 그들의 전체적인 연결구조와 작동원리를 파악하여 제한적이거나 신뢰할 수 있는 결과를 얻어낼 것이다. 네트워크 과학은 이렇게 우리가 보고자 하는 전체를 올바른 방향으로 보게 해주는 길잡이 역할을 할 것이기 때문이다. 물론 지금까지의 네트워크 과학의 발전 단계가 복잡계의 모든 난제에 대한 해답을 정확히 제공할 수준은 아니다. 그러나 네트워크 과학이 세상의 여러 가지 문제에 대한 실마리를 가지고 있는 것은 분명하다. 당장 이러한 난제들이 풀리지 않을지도 모르지만, 복잡계 네트워크 과학은 이것들을 풀어낼 탄탄한 토대를 제공할 수 있을 것이라 믿는다.[7] 더더군다나 최근 접근가능한 정보의 양이 엄청나게 늘어나면서 빅데이터 분야가 각광을 받고 있는데 검색엔진으로 성공한 구글의 사례처럼 정보를 어떻게 활용하느냐에 따라 어렵고 복잡해 보이는 문제들을 쉽게 해결할 수 있는 가능성이 점차 열리고 있다. 예를 들어, 구글 트렌드

([www.google.com/trends](http://www.google.com/trends)) 는 사람들이 어떠한 단어들을 얼마나 검색하는지를 보여주는 서비스이다. 관심있는 단어를 넣으면 2004년부터 현재까지 해당 단어가 얼마나 많은 검색이 이루어졌는지를 보여준다. 최근 영국과 미국의 연구자들이 경제와 관련된 단어들의 검색량 증감과 주가지수의 상관관계를 조사하여 특정단어의 검색량 증감이 주가지수의 증감과 관련이 있음을 보이고 이를 통해 주가를 예측해 높은 수익률을 올릴 수 있다고 Scientific Report지에 발표하였다.[8] 예를 들면 “debt(빚)”라는 단어의 최근 3주간의 검색량과 이번 주의 검색량을 비교하여 검색량이 늘어나면 (주가가 떨어질 것으로 예상) 주식을 팔고, 줄어들면 (주가가 오를 것으로 예상) 주식을 사는 방식을 취하여 최고 326%의 수익률을 달성할 수 있다고 발표했다. 사람들의 관심이 검색어 빈도에 반영되며 이는 사람들의 경제활동과도 연계가 된다는 이 연구는 빅데이터의 다양한 활용성을 잘 보여준다고 하겠다. 또한 구글 검색엔진을 이용, 사람과 사람, 사람과 사물 등 거의 모든 것들의 네트워크를 구성할 수 있는 알고리즘이 발표되기도했는데[9] 두 사람의 이름 혹은 두 단어를 함께 구글에 검색하였을 때 나타나는 웹페이지의 숫자, 즉 구글검색량 (google hits)을 기준으로 공통적으로 등장하는 웹페이지가 많으면 두 단어의 상관관계가 높다고 보고 이를 가중치로 다양한 네트워크를 구성하였다. 아래 보이는 예는 19대 국회의원들의 네트워크를 나타낸 것으로 각 의원들의 상호관계 등을 알기 쉽게 나타내주며 이를 확장하면 사람과 사물, 사물과 사물 등 거의 모든 것들에 대한 네트워크를 공개적으로 구할 수 있는 빅데이터, 검색엔진의 웹데이터만을 가지고도 손쉽게 구성할 수 있다는 데에 큰 시사점이 있다고 하겠다. 이렇듯 빅데이터 분야 또한 따로 떨어져있는 개별 정보들을 연결하여 총체적으로 함께 분석하는 네트워크 과학과 함께 복잡한 21세기를 풀어나갈 활약이 기대된다고 하겠다.[10]

#### 참고문헌:

- [1] 윤영수, 채승병 “복잡계 개론” (삼성경제연구소)
- [2] A.-L. Barabasi, “Linked” (Perseus); Mark Buchanan, “Nexus” (Norton); Duncan Watts, “Six Degrees” (Norton);
- [3] D. Watts, S. Strogatz, “Collective dynamics of small-world networks” Nature 393 440 (1998)
- [4] R. Albert, H. Jeong, A.-L. Barabasi, “Diameter of the WWW” Nature 401 130 (1999)
- [5] H. Jeong, B. Tombor, R. Albert, Z.N. Oltvai, A.-L. Barabasi, “The large-scale organization of metabolic network” Nature 407 651 (2000)
- [6] P. Erdos, A. Renyi, “On the evolution of random graphs” Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci. 5 17 (1960)
- [7] 최재천, 주일우 엮음 “지식의 통섭:학문의 경계를 넘다” (이음)
- [8] <http://www.nature.com/srep/2013/130425/srep01684/full/srep01684.html>
- [9] S. H. Lee, P.-J. Kim, Y.-Y. Ahn, H. Jeong “Googling social interactions:Web search engine based social network construction”, PLoS ONE e11233 (2010)

[10] 정하웅,이해웅,김동섭 공저 “구글 신은 모든 것을 알고 있다” (사이언스북스)

정하웅

한국과학기술원 물리학과 정하웅 KAIST-지정석좌교수는 '복잡계 네트워크'라는 새로운 연구 분야를 개척하며 지금까지 물리학, 생물학, 컴퓨터 관련 『네이처』 (Nature) 5편, PNAS 4편, Phys. Rev. Lett. 8편의 논문을 포함한 통산 누적 피인용회수 14,000여 회가 넘는 90여 편의 논문을 발표해 주목을 받았다. 현재는 물리학, 사회학, 경제학, 미래인터넷, 생물정보학 등에서의 다양한 학제간 연구를 통해 21세기의 과학의 연구 주제로 떠오르고 있는 복잡계(Complex Systems)의 이해에 관해 연구 중이며, 많은 학술 논문 발표뿐만 아니라 과학기술 앰배서더로서 네트워크 과학에 대한 대중강연을 활발하게 펼치며 물리학의 저변확대에도 힘을 쏟고 있다. (hjeong@kaist.ac.kr)

구글을 통해 만든 19대 국회의원 네트워크

# 세션3/ 화학

[An Investigation into Vaccination' Effectiveness and  
Their Contribution to Future World Health]

서은진 (한양대학교 화학과 2학년)

# Vaccines

Seo Eun Jin  
Department of Chemistry  
Hanyang University



Vaccinations = Vaccines



# Contents

- 1. Introduction
  - 1-1. Claim
  - 1-2. About Vaccines
- 2. Main Body
  - 2-1. Research Methodology
  - 2-2. Research Results/Findings
- 3. Conclusion



## 1-1. Claim

Vaccines are **NECESSARY** for the prevention and eradication of diseases and for the promotion of world



## 1-2. (1) What is a Vaccine?

- Vaccine =

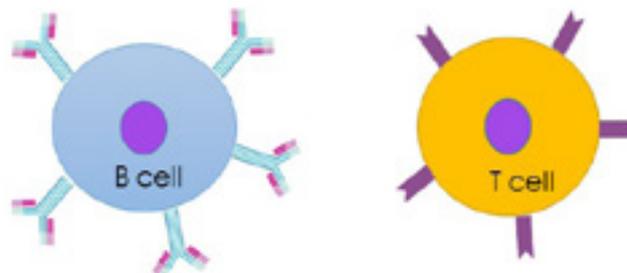
(noun) any **preparation** used as a **preventive** inoculation to confer immunity against a specific disease,

usually employing an innocuous form of the disease agent, as killed or weakened bacteria or viruses, to stimulate antibody production. (dictionary.com)

## 1-2. (2) How does a vaccine work?

### Adaptive Defenses (activated by exposure to specific pathogens)

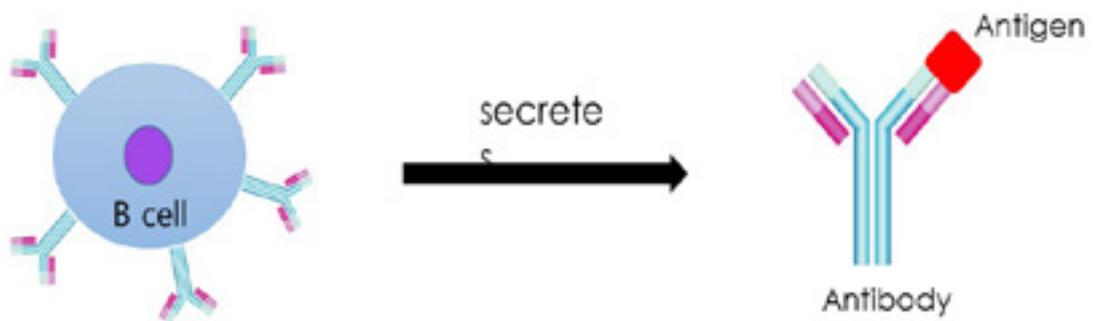
- Lymphocytes



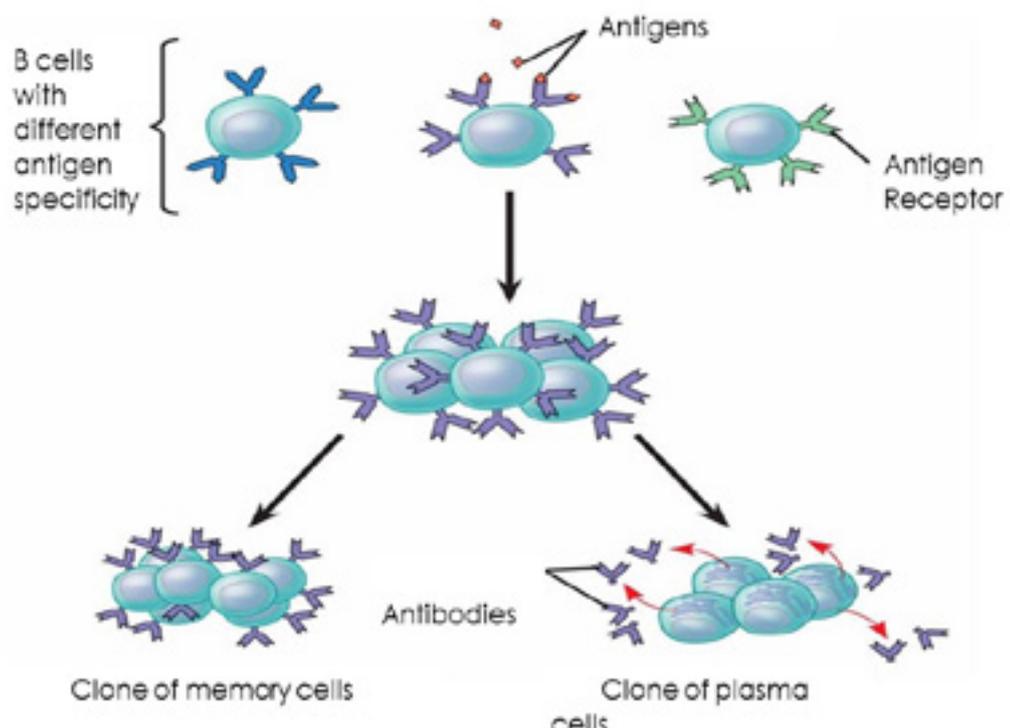
- Antibodies



## 1-2. (2) How does a vaccine work?



## 1-2. (2) How does a vaccine work?



## 1-2. (3) What makes a vaccine so effective?

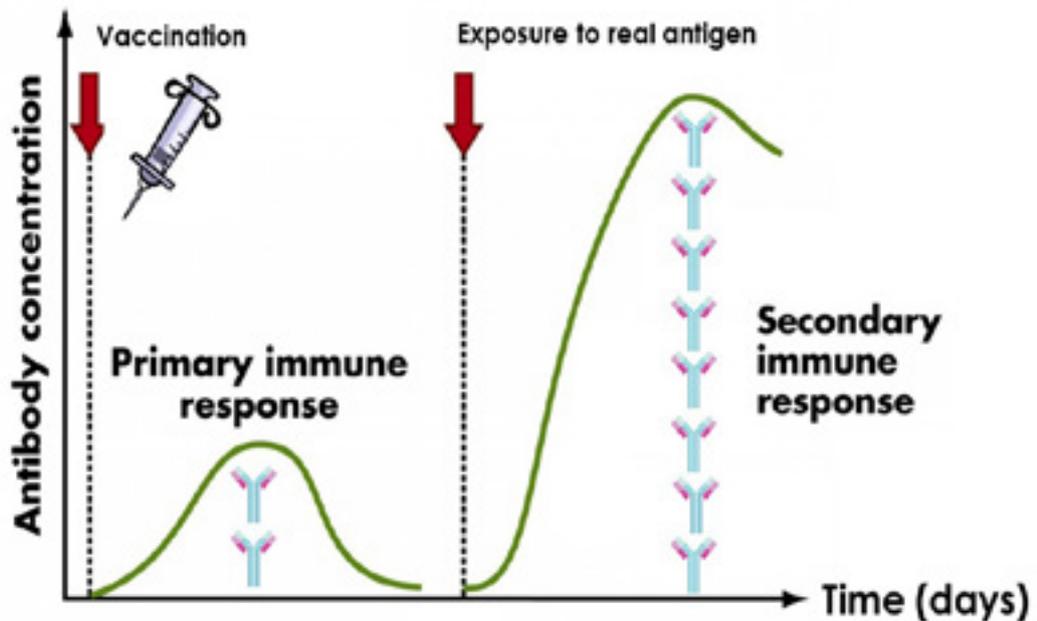


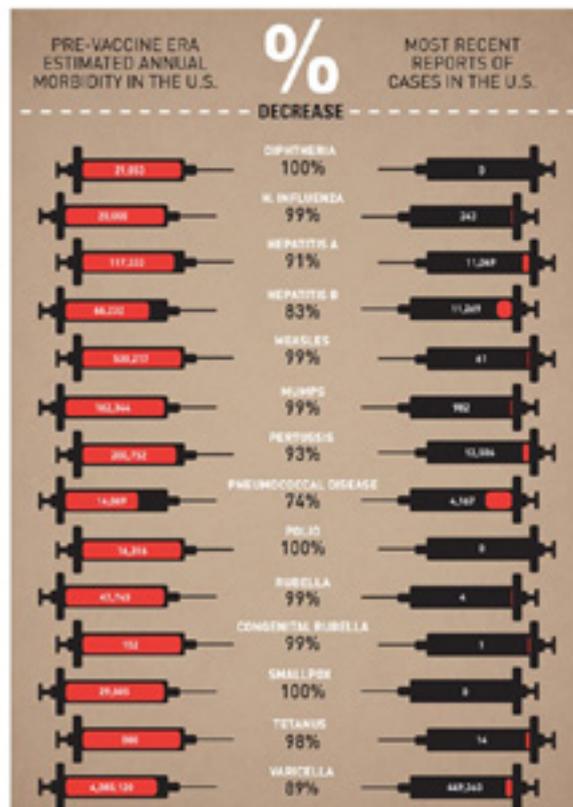
Figure 40-14 Biological Science, 2/e  
© 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

## 1-2. (4) Types of vaccines

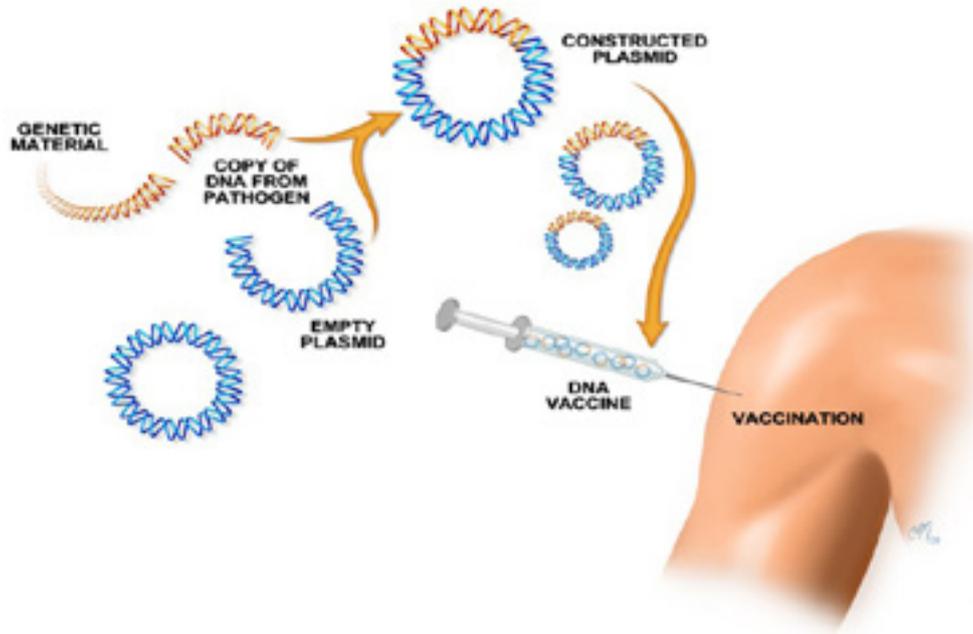
	<b>Live, attenuated vaccines</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Measles, mumps, rubella</li><li>• Varicella (chickenpox)</li></ul>
	<b>Killed, inactivated vaccines</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Hepatitis A</li><li>• Polio (IPV)</li></ul>
	<b>Toxoids</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Diphtheria</li><li>• Tetanus</li></ul>
	<b>Subunit and conjugate vaccines</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Hepatitis B</li><li>• Pertussis</li></ul>

## 1-2. (5) Why is it needed?

DISEASE	PRE-VACCINE ERA ESTIMATED ANNUAL MORBIDITY*	MOST RECENT REPORTS OR ESTIMATES† OF U.S. CASES	PERCENT DECREASE
Diphtheria	21,053	0 <sup>†</sup>	100%
H. influenzae (invasive, <5 years of age)	20,000	31 <sup>†</sup>	>99%
Hepatitis A	117,333	2,800 <sup>†</sup>	98%
Hepatitis B (acute)	66,232	18,800 <sup>†</sup>	72%
Measles	530,217	187 <sup>†</sup>	>99%
Mumps	162,344	584 <sup>†</sup>	>99%
Pertussis	200,752	28,639 <sup>†</sup>	86%
Pneumococcal disease (invasive, <5 years of age)	16,069	1,900 <sup>††</sup>	88%
Polio (paralytic)	16,316	1 <sup>†</sup>	>99%
Rotavirus (hospitalizations, <3 years of age)	62,500 <sup>***</sup>	12,500 <sup>††</sup>	80%
Rubella	47,745	9 <sup>†</sup>	>99%
Congenital Rubella Syndrome	152	1 <sup>†</sup>	99%
Smallpox	29,005	0 <sup>†</sup>	100%
Tetanus	580	26 <sup>†</sup>	96%
Varicella	4,085,120	167,490 <sup>†††</sup>	96%



## How can we improve? DNA vaccines!



### 2-1. Research Methodology

- Survey

November 3<sup>rd</sup> ~6<sup>th</sup>

7 questions ( 3 multiple choice, 3 likert scale, 1 open-ended)

Collected quantitative and qualitative data



## 2-1. Research Methodology

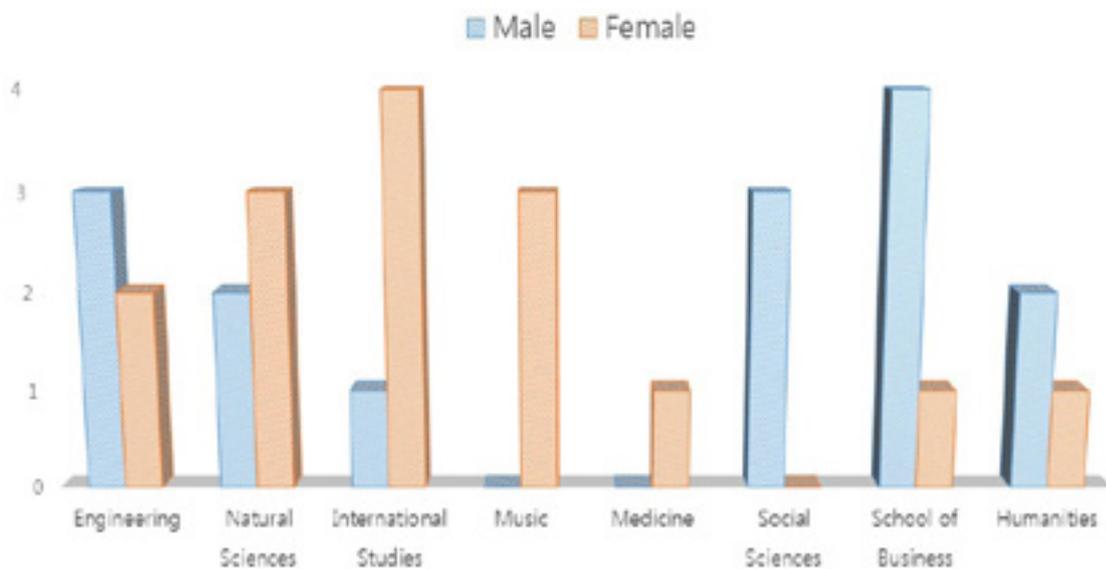
### • Survey Respondents

30 participants (15 female, 15 male, Hanyang University)

Stratified random sampling (different departments, age groups)



### SURVEY RESPONDENTS



## 2-2. Research Results/Findings

- Q1. Have you ever received vaccinations in your life (including vaccines from birth) ?

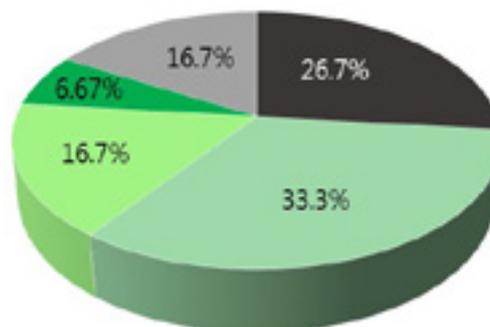


■ Yes ■ No

## 2-2. Research Results/Findings

- Q2. How many times in the last five years have you received vaccinations?

(e.g. flu shots, encephalitis(뇌염) vaccines, cervical cancer(자궁경부암) vaccines)



■ None ■ 1~2 times ■ 3~4 times ■ 5 or more times ■ Don't know/not sure

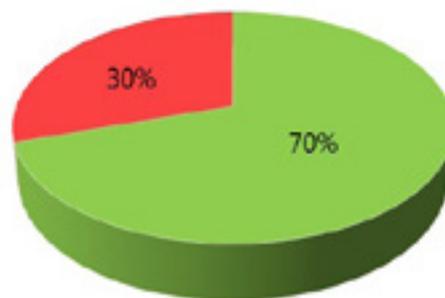
## 2-2. Research Results/Findings

Question	1	2	3	4	5	Average
Q3. How effective is a vaccine in preventing a disease?	Not at all effective 0	Ineffective 1	Neutral 3	Effective 24	Very effective 2	<b>3.9</b>
Q4. How likely is a vaccine to trigger side effects?	Very unlikely 2	Unlikely 13	Neutral 13	Likely 1	Very likely 1	<b>2.5</b>
Q5. How important is it for humankind to receive vaccinations?	Not at all important 0	Low importance 1	Neutral 5	High importance 18	Extremely important 6	<b>4.0</b>

## 2-2. Research Results/Findings

- Q6. Males and females aged 9~26 are recommended to get HPV vaccinations.

Have you received this vaccination?



■ Yes/I have plans to receive in the future ■ No/I don't have plans to receive in the future

### 3. Conclusion

Vaccines don't come without risk.

Nothing does.

Whatever the potential risks of vaccines are,  
they pale in comparison to  
the risk posed by deadly infectious diseases.



### 3. Conclusion

Therefore,

despite oppositions caused by rare side effects,  
the drawbacks of vaccines  
cannot be compared to  
the significant benefits they provide.



### 3. Conclusion

In light of these conclusions, nations should work together to secure sufficient supplies of vaccine that can be distributed globally to improve world health.



"Humans have always used intelligence and creativity to improve our existence. After all, we invented the wheel, discovered how to make fire, invented the printing press, and found a vaccine for polio."

Naveen Jain



Like always,

we will find new, innovative ways to improve existing vaccines.

We will strive to make them safer and better.

Then all members of society will bene



Q&A



[상처가 스스로 치유되는 미래 소재: Self-healing Materials]

우리의 몸에 작은 상처가 스스로 치유되는 것처럼  
사물이 스스로 회복될 수 있을까?  
미래의 세상에나 있을 법하게 들리지만  
실제로 연구되고 있는 자가유소재

왕윤선 (KAIST 화학 박사과정 3학년)

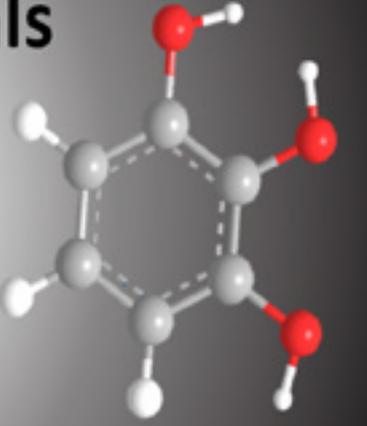
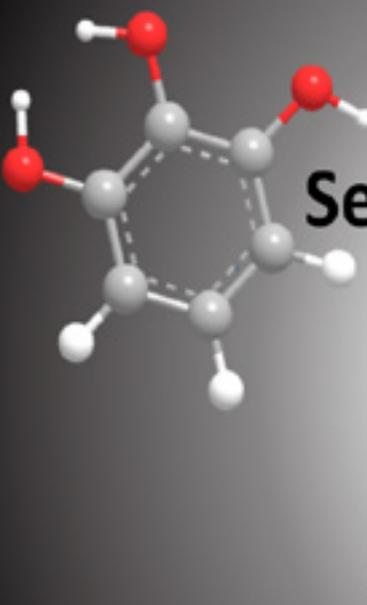
연대자  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation

# 미래 소재 Self-healing materials

**왕윤선**  
KAIST 화학과  
생체 모방 나노 에너지 물질 연구실

제 1회 온드림 임팩트 대학(원)생 학술세미나  
2015. 11. 21. 토  
계동 현대빌딩 대강의실

KAIST  
Bio-Inspired Nanomaterials Laboratory



## 물건이 찢어지거나 깨졌을 때,

연대자  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation



# 테이프, 접착제, 용접 등을 통한 수리

현대자  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation



# 버려지는 물질에 의한 사회적, 경제적 문제

현대자  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation

\* 사회적, 경제적 문제: 자본의 손실, 폐기물 발생 및 처리



국내 하루 폐기물 발생량:  
약 382,000톤

한국폐기물협회, 2014, 전국 폐기물 발생 및 처리 현황

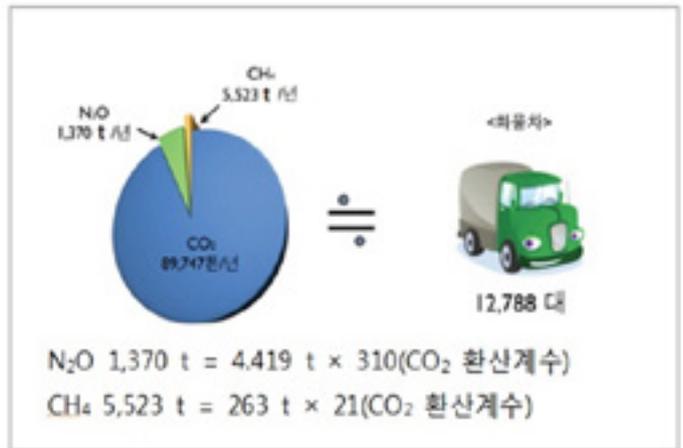
KAIST

# 쓰레기 처리에 따른 환경적 문제

## 버려진 쓰레기로 인한 수질 오염



## 쓰레기 소각으로 인한 대기오염



1일 폐기를 10% 노천소각 시, 배출되는 온실가스량

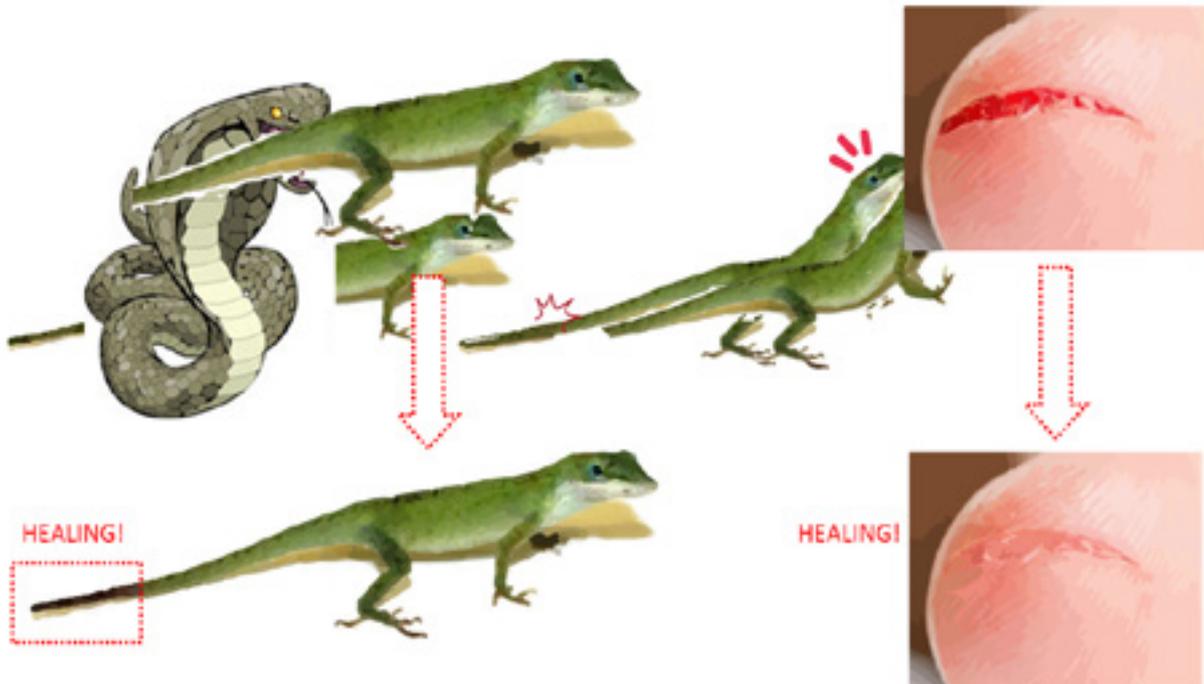
# 터미네이터; 불사의 악당 T-1000



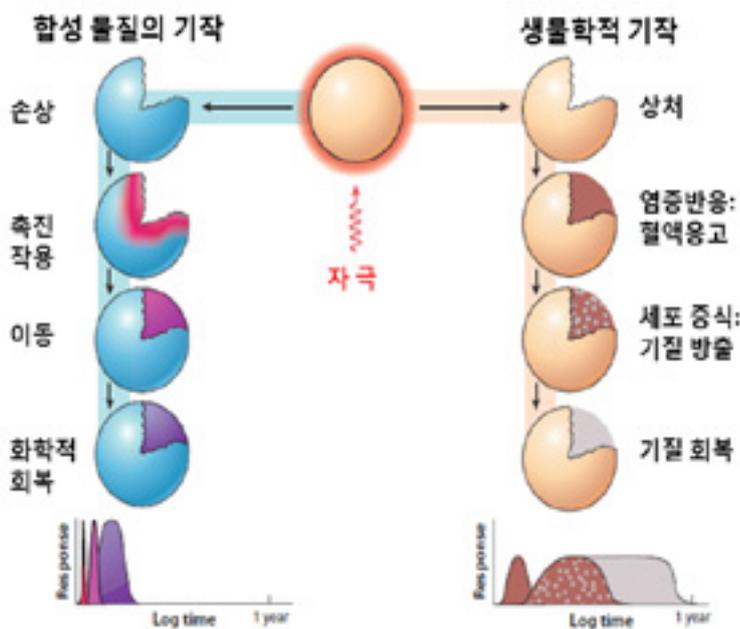
T-1000



# 자연에서의 self-healing 이란?



# 생물체를 모방한 self-healing 시스템



## 합성물질에서의 self-healing이 힘든 이유

- ✓ Healing에 필요한 물질 (혈액을 따라서 healing factor 이동)
- ✓ 상처 감지 시스템 (신경계, 면역반응)
- ✓ 비 자발적 반응 (negative entropy) (자유도가 감소-조직화)
- ✓ 에너지가 필요 (생물체는 에너지 섭취)

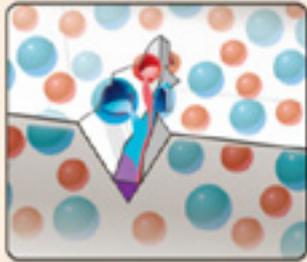
# Self-healing 소재의 방법에 따른 분류

## Self-healing Materials

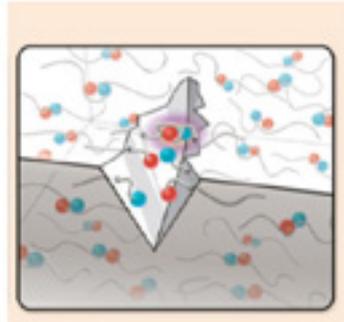
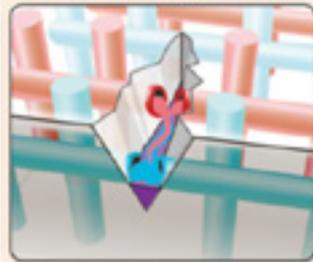
### 1) 외적 (Extrinsic) healing 소재

### 2) 내적 (Intrinsic) healing 소재

(1) 캡슐형



(2) 도관형



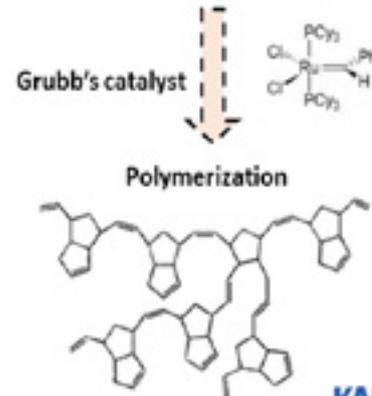
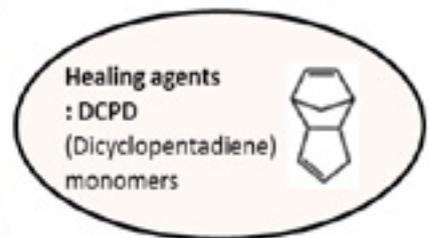
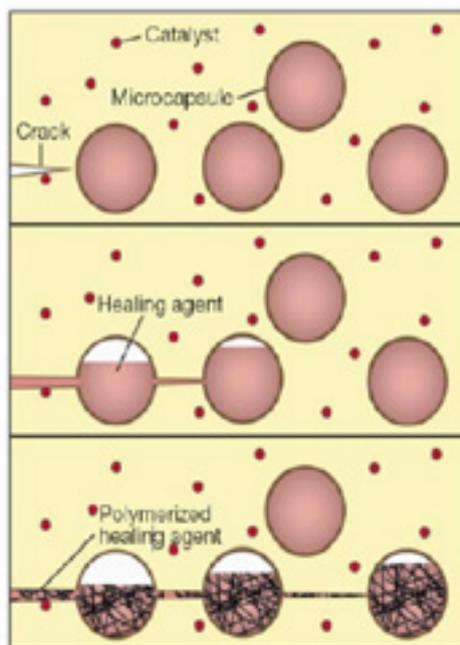
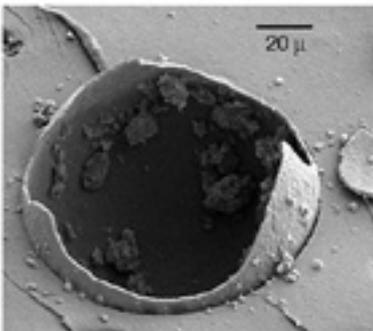
B.J. Blaszczak, S.R. White et al., *annu. Rev. Mater. Res.*, **2010**, 40, 179-211

KAIST

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

# 외적(Extrinsic) Self-healing; 캡슐형

## 캡슐형 self-healing 과정



S.R. White, et al., *Nature*, **2001**, 409, 749-797

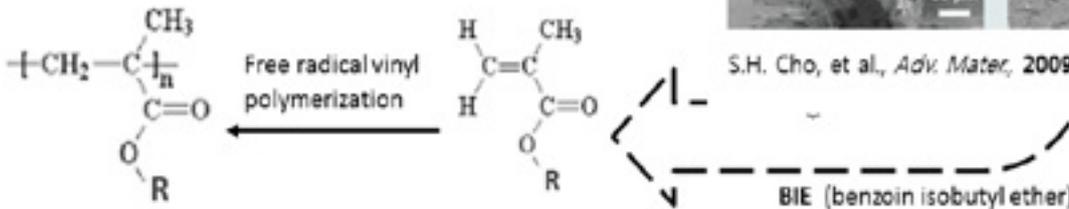
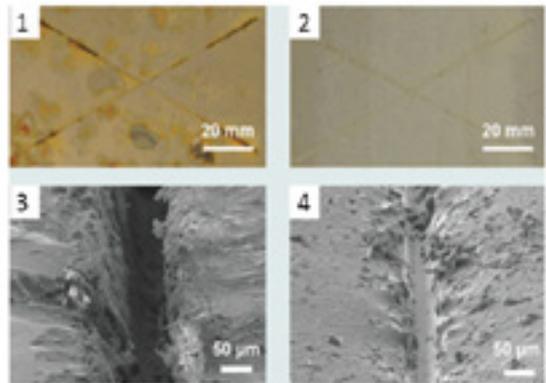
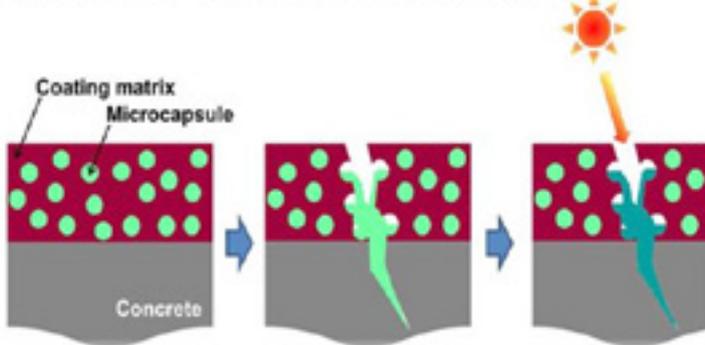
KAIST

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

# 외적(Extrinsic) Self-healing; 캡슐형

햇빛에 의해 치유 되는 Self-healing 시멘트

금속의 부식을 막는 capsule형 코팅



S.H. Cho, et al., *Adv. Mater.*, 2009, 21, 645-649

Y. Song, et al., *Appl. Mater. Interfaces*, 2013, 5, 1378-1384

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

KAIST

# 외적(Extrinsic) Self-healing; 캡슐형



빈센트 반 고흐



공기 중의 산소에 의한 Self-healing



Suryanarayana, et al., *Prog. Org. Coat.*, 2008, 63, 72-78



유화 물감 = 안료 + 오일



아마씨유 (linseed oil) → Healing agent

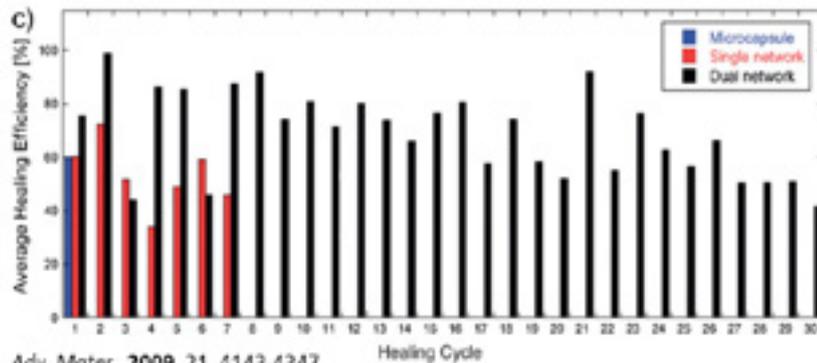
- ✓ 특징: 공기 중의 산소에 의해서 polymerization되어 단단하게 굳음
- ✓ 역할: 안료를 고정시켜줌  
빛에 의한 분해를 막아줌

KAIST

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

# 외적(extrinsic) Self-healing; 도관형

사람의 혈관을 모사한 self-healing 시스템

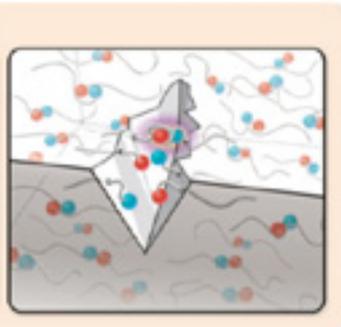


C. J. Hansen, et al, *Adv. Mater.*, 2009, 21, 4143-4347

KAIST Bio-Inspired Nanomaterials Laboratory

# 내적(Intrinsic) Self-healing 분류

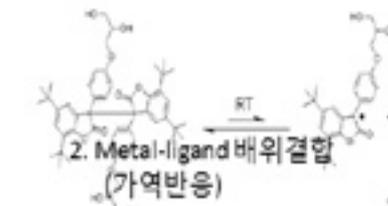
Intrinsic self-healing materials



외부 에너지 종류에 따른 분류

빛

1. Radical 가역반응



열

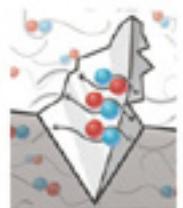
1. [2+4] cycloaddition (가역반응); Diels-Alder reaction

2. 분자의 확산 (제인 재배열)

1. 이온결합 (비공유결합)

2. 수소결합 (비공유결합)

pH



가역적 반응 (공유결합 or 배위결합)



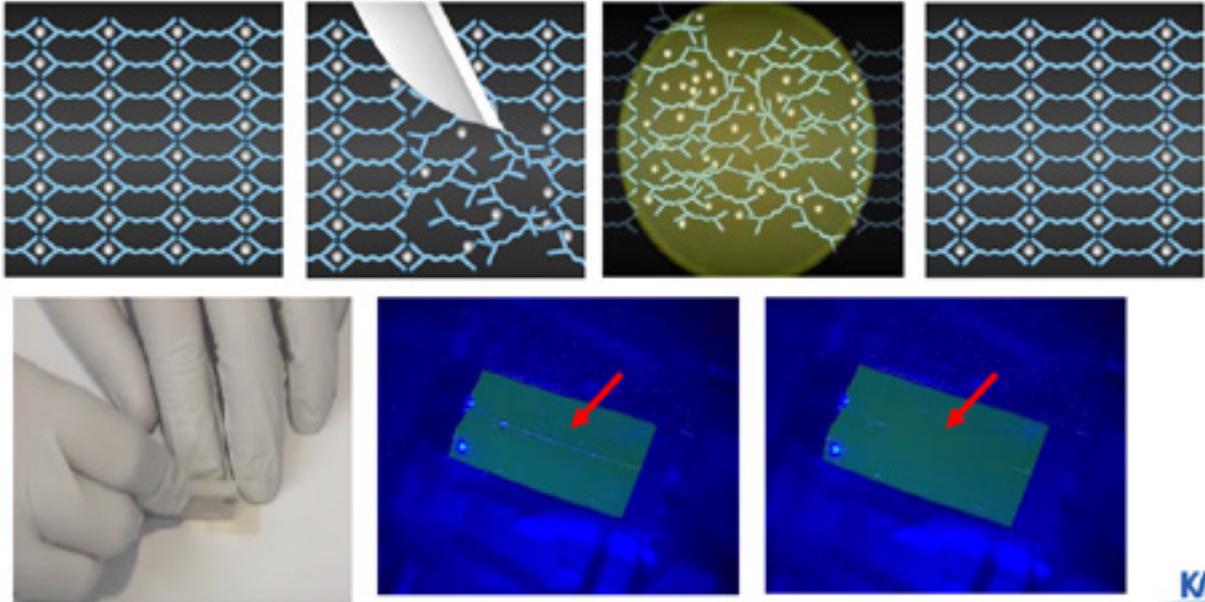
고분자 재배열

Bio-Inspired Nanomaterials Laboratory

# 내적(Intrinsic) Self-healing; 빛 (UV)

연세대학교  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation

## 1. Radical 반응을 통한 self-healing



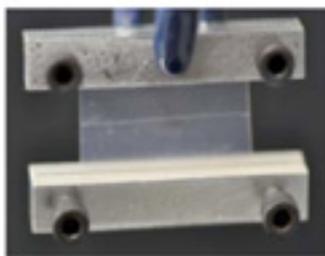
KAIST

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

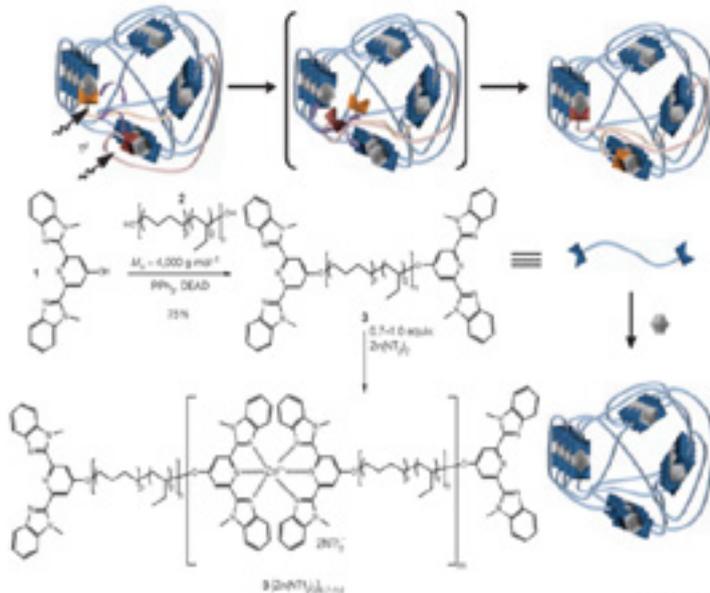
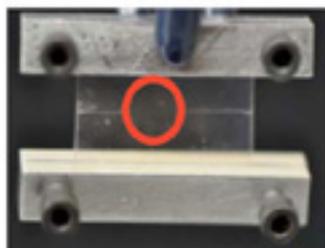
# 내적(Intrinsic) Self-healing; 빛 (UV)

연세대학교  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation

## 2. Metal-ligand의 배위결합을 통한 self-healing



↓ 빛 (320-390 nm)



\*Ligand:  
poly(ethylene-co-butylene) core  
with 2,6-bis(19-methylbenzimidazolyl)pyridine  
(Mebip) ligand

\*Metal: Zn<sup>2+</sup>

KAIST

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

# 내적(Intrinsic) Self-healing; 빛 (UV)

연세대학교  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation



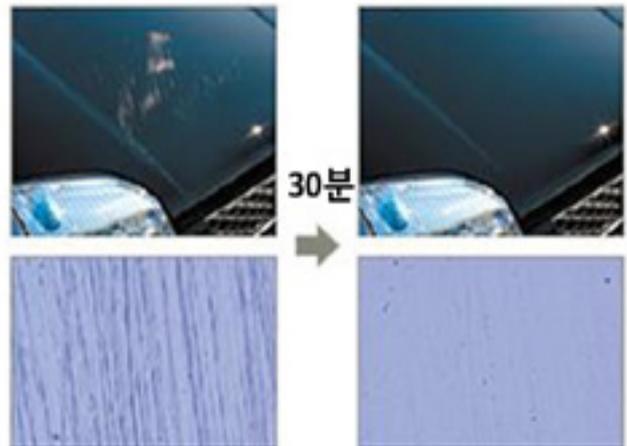
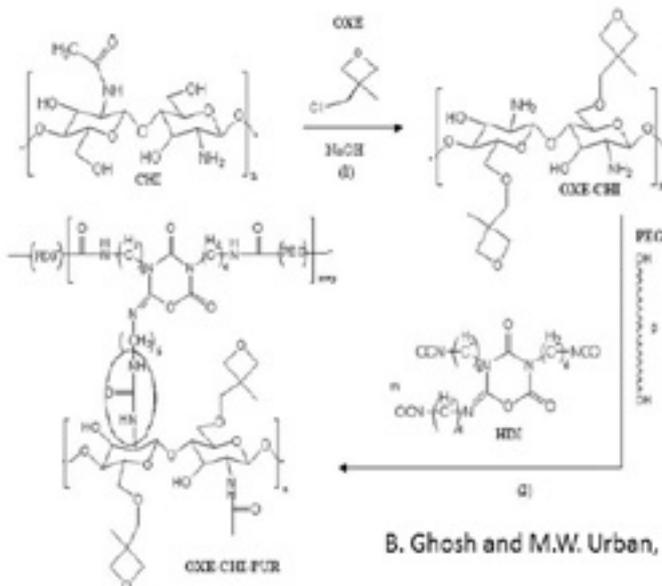
KAIST

Bio-Inspired Nanomaterials Laboratory

# 내적(Intrinsic) Self-healing; 빛 (UV)

연세대학교  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation

\* 햇빛 (UV)를 이용한 Self-healing 코팅제



B. Ghosh and M.W. Urban, *Science*, 2009, 323,1458-1460

KAIST

Bio-Inspired Nanomaterials Laboratory

# 내적(Intrinsic) Self-healing; 고분자 재배열

**G Flex2**



**새것 그대로 셀프 힐링**

내의 G Flex2를 언제나 새것처럼 사용할 수 있다면? 일상에서의 가벼운 충격을 해결하는 G Flex2는 늘 처음과 같은 모습을 보여줍니다. 기념비적이며 혁신적인 생체감응 기술을 경험하세요.

\* 제2차 LG 신형 모바일 전략(2014년 12월)

Scratch  
↓  
Self healing  
↓  
Clean

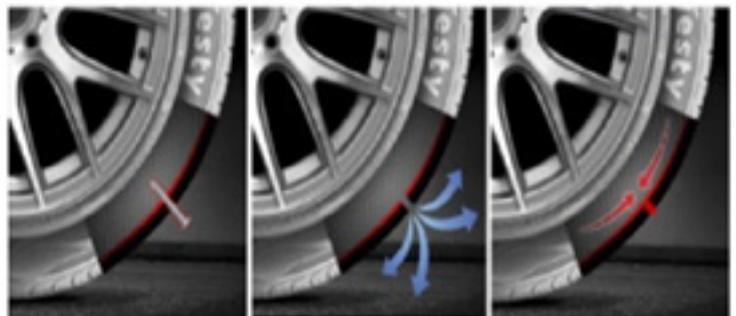
주요 사양: 화면 크기: 5.9인치, 해상도: 1080x1920, 카메라: 1300만 화소, 배터리 용량: 3000mAh



G Flex 2 셀프 힐링 (Self-Healing) 소재

# 내적(Intrinsic) Self-healing; 고분자 재배열

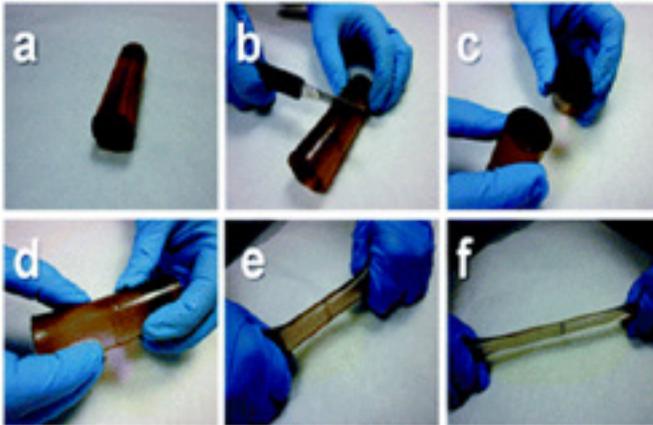
## Self-healing 타이어



5mm 이내의 구멍을 자가 치유하는 타이어

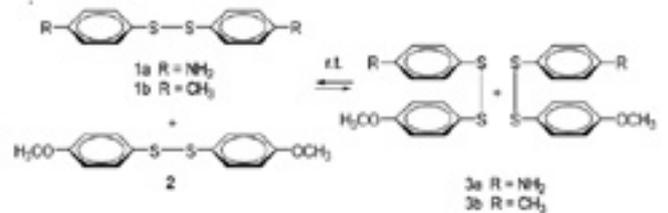
# 내적(Intrinsic) Self-healing; S-S 결합과 수소결합

## Poly(urea-urethane) 고분자

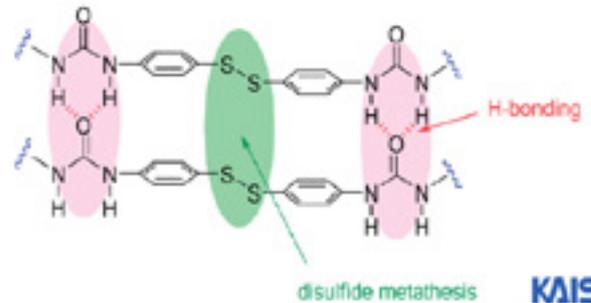


A. Rekonde et al, *Mater. Horiz.*, 2014, 1, 237-240

### \* 가역반응 : thiol기 사이의 교환반응



### \* Healing 과정에 사용된 반응; 가역반응과 수소결합

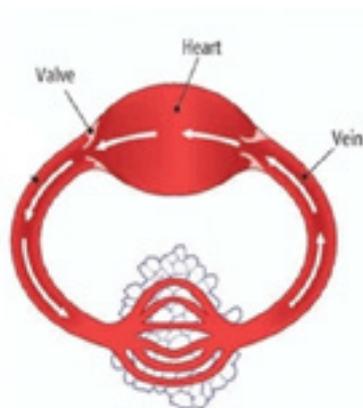
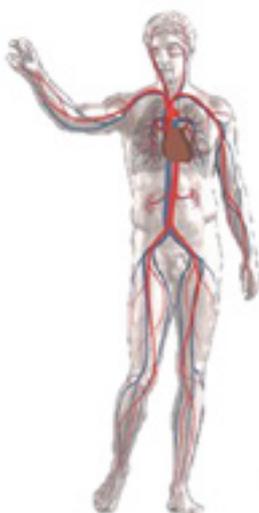


# 새로운 self-healing 연구: 곤충 상처 치유 모방

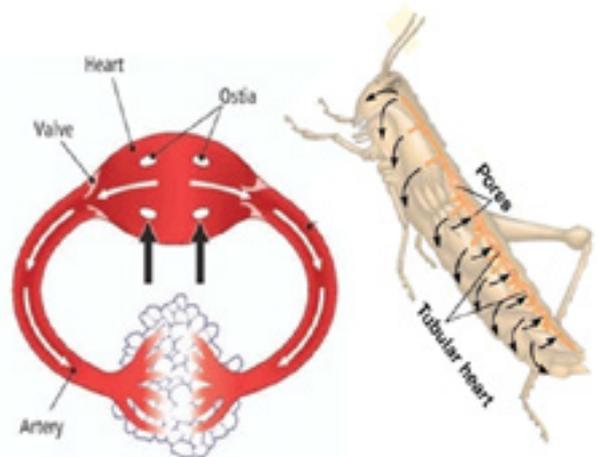
동물의 닫힌 순환계  
(closed circulatory system)

VS

곤충의 열린 순환계  
(open circulatory system)

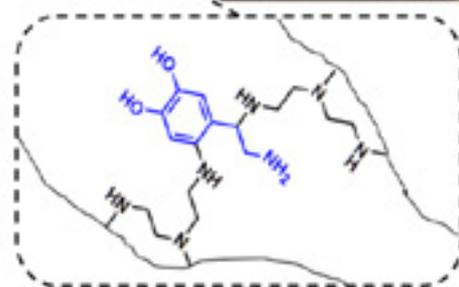
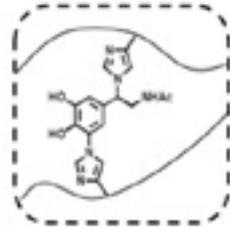
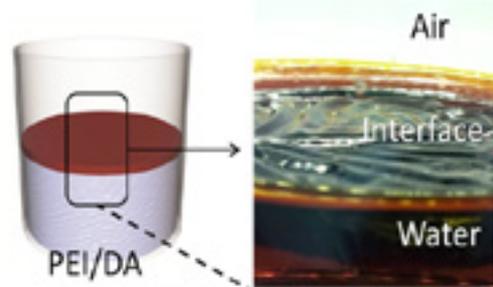
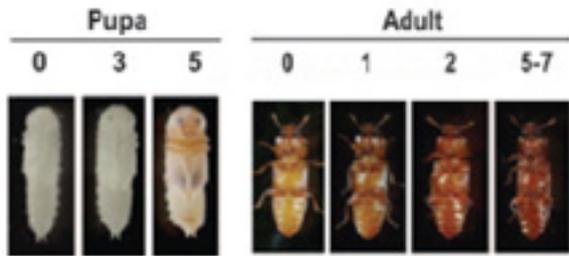


VS



# 새로운 self-healing 연구: 곤충 큐티클 모사

연세대학교  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation



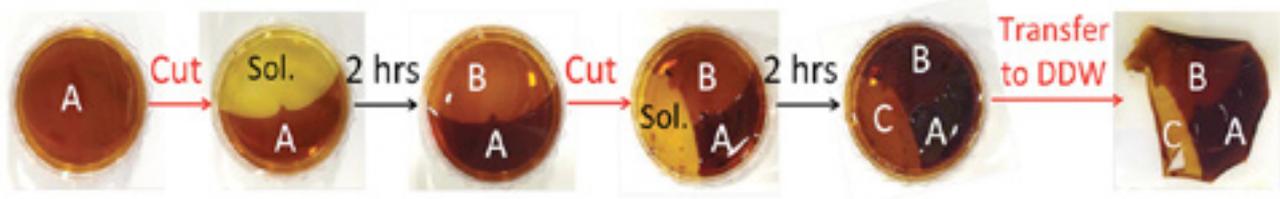
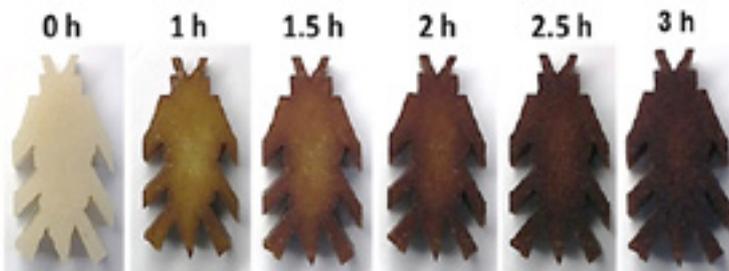
S. Hong et al., *Adv. Mater.*, 2014, 26, 7581-7587

KAIST

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

# 곤충 큐티클 모사 self-healing 필름

연세대학교  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation



KAIST

Bio-inspired Nanomaterials Laboratory

# 곤충 큐티클 모사 self-healing 필름

연대자 정몽구 재단  
Chung Mong-goo Foundation

손상 → 자가 치유 10분 → 2번째 손상 → 자가 치유 10분

KAIST  
Bio-Inspired Nanomaterials Laboratory

# 미래 소재 Self-healing materials

연대자 정몽구 재단  
Chung Mong-goo Foundation

경청해주셔서 감사합니다.  
질문 있으신가요?

왕윤선  
연락 정보: [wysaou@kaist.ac.kr](mailto:wysaou@kaist.ac.kr)  
연구실 홈페이지: [www.sticky.kaist.ac.kr](http://www.sticky.kaist.ac.kr)

KAIST  
Bio-Inspired Nanomaterials Laboratory

[촉매야, 반응을 부탁해!-유기합성에서의 촉매의 역할]

Palladium 촉매를 이용한 다양한 반응연구와 그 의미

정다솔 (이화여자대학교 화학과 4학년)



이화여자대학교 화학나노과학과 정다솔

01

## Chemistry

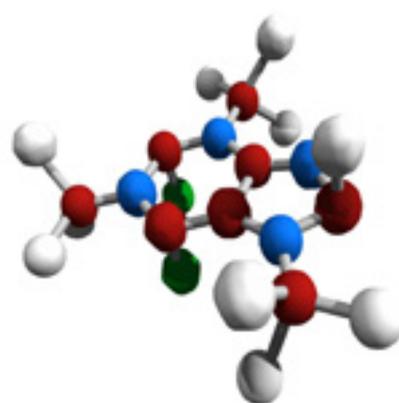
- 우리는 생활 속 여러 곳에서 화학의 흔적을 찾아볼 수 있습니다.
- 새로운 물질을 합성하여 기아, 에너지고갈, 환경오염, 난치병 등의 문제를 해결하는 데에 이바지하고 있습니다.



## 02

Organic  
Chemistry

- 유기화학은 탄소와 수소를 포함하는 탄소화합물에 대한 구조, 성질, 반응을 연구하는 학문입니다.
- 다루는 화합물은 탄소화합물뿐만 아니라 산소, 질소, 황, 인, 할로겐 등의 원소를 포함하기도 하며, 현재는 유기금속화합물, 전이금속 화합물까지 폭넓게 다루고 있습니다.
- 식품, 의약 및 화장품, 정유, 에너지, 전지, 반도체 등 여러 가지 분야에 응용됩니다.



## 03

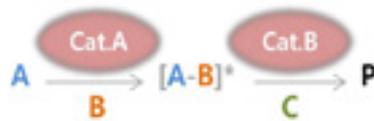
Catalysis  
Research  
Laboratory

- The main theme of our research is development of sustainable synthetic methods
- Development of new catalytic and tandem reactions, new support materials, and new immobilization methods
- Understanding molecular level interactions between catalysts and support material.
- Understanding reaction mechanism

## 03

Catalysis  
Research  
Laboratory

## • Supported Multi-Function Catalyst (SMFC)



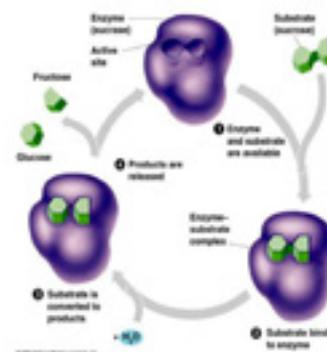
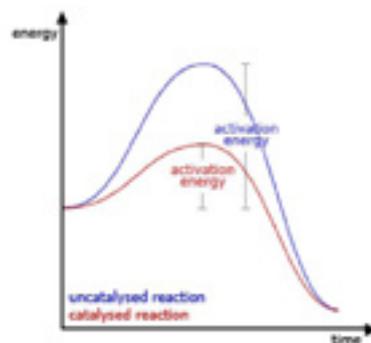
- Multi-steps in a one-pot operation
- Use a single solvent
- Single-workup & purification
- Use a reactive intermediate
- Catalyst recovery & reuse
- Green solvent(H<sub>2</sub>O, ionic liquids)

1. Environmentally benign
2. Energy effective
3. Minimize waste generation

## 04

## Catalyst

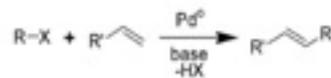
- Catalysis is the increase in the rate of a chemical reaction.
- With a catalyst, reactions occur faster and require less activation energy.
- Because catalysts are not consumed in the catalyzed reaction, they can continue to catalyze the reaction of further quantities of reactant.
- Often only tiny amounts are required.
- Heterogeneous Catalysts, Homogeneous Catalysts, Enzymes.



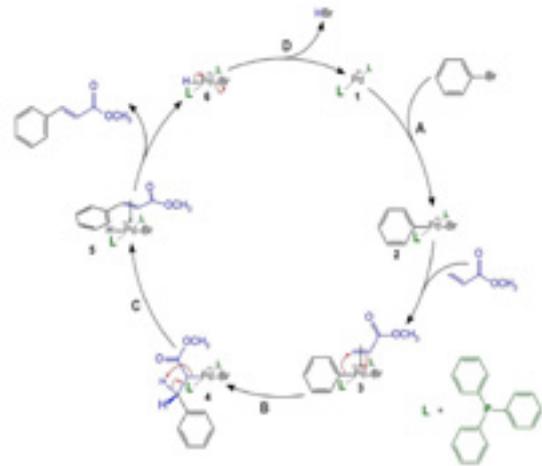
05

Heck  
Reaction

- The Heck reaction is the chemical reaction of an unsaturated halide with an alkene in the presence of a base and a palladium catalyst to form a substituted alkene.
- Heck was awarded the 2010 Nobel Prize in Chemistry for the discovery and development of this reaction.
- Carbon-carbon bond-forming reaction that followed a Pd(0)/Pd(II) catalytic cycle



**Richard F. Heck**  
(awarded the 2010 Nobel Prize in Chemistry)



06

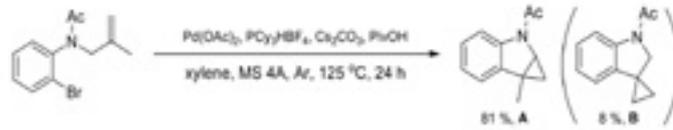
## Research

- C-H activation depending on other type of solvent in Palladium-Catalyzed Intramolecular Heck-Type Reactions

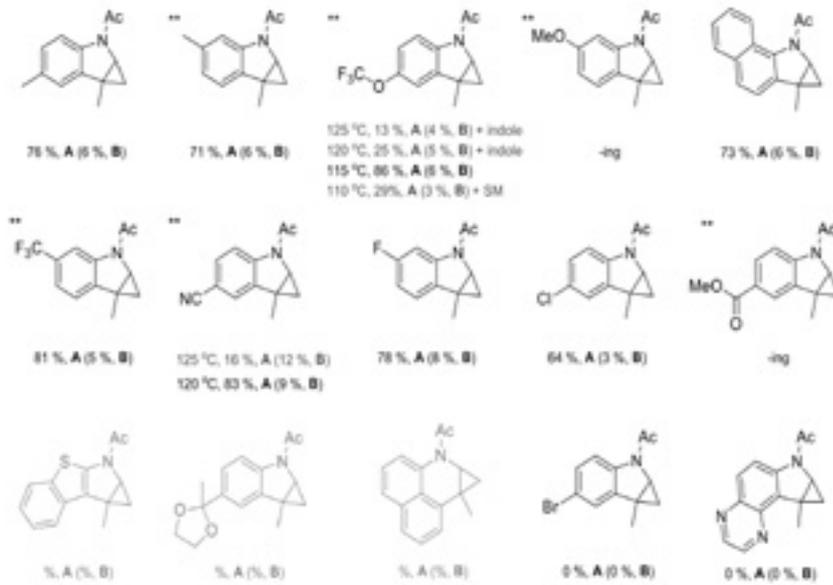


06

Research

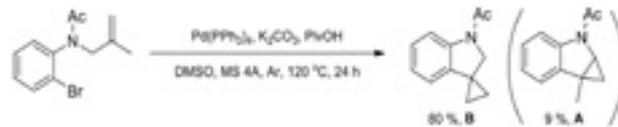


\*\* this month

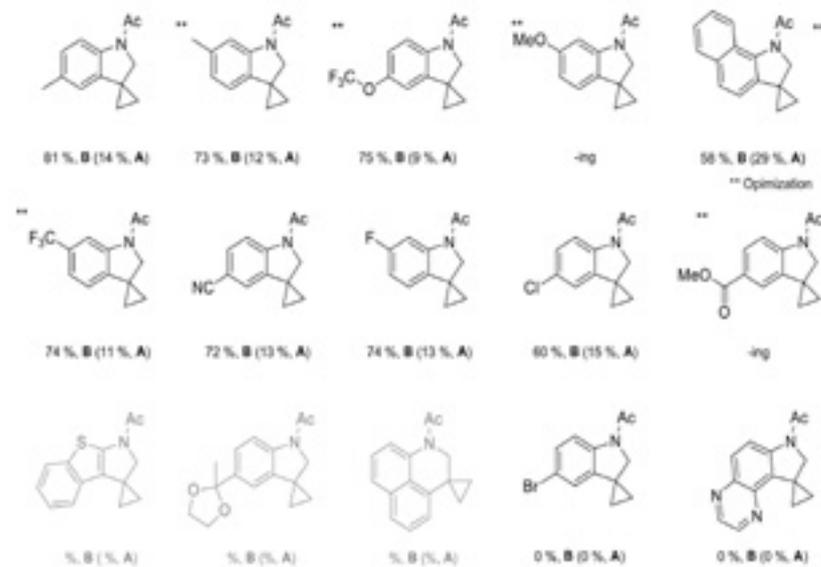


06

Research



\*\* this month



Thanks to..

- 현대차 정몽구 재단
- 촉매반응연구실
  - Prof. Sang-gi, Lee
  - Dr. Zi-sheng, Chen
  - Dr. Young Ok, Ko
  - Dr. U-bin, Kim
  - Zi, Xuan
  - Da Jung, Jung
  - Hyun Ji, Jeon
  - Jae Sung, Lee
  - Joo Hyun, Lee
  - Mi Soo, Kwak

현대차  
정몽구 재단  
Chung Mong-Koo Foundation



[나노 입자의 의학적 응용]

현택환 (서울대학교 교수)

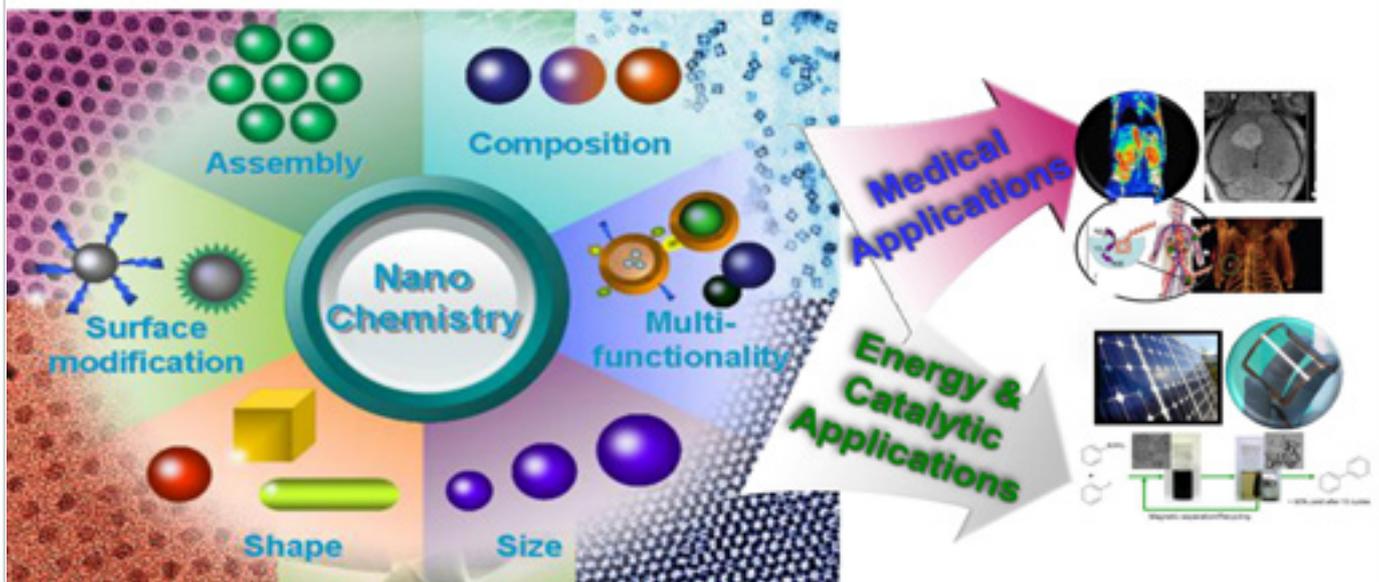
# DESIGNED CHEMICAL SYNTHESIS AND ASSEMBLY OF UNIFORM-SIZED NANOPARTICLES FOR MEDICAL AND ENERGY APPLICATIONS

Taeghwan HYEON (현택환; 玄澤煥)

Center for Nanoparticle Research, Institute for Basic Science (IBS),  
and School of Chemical and Biological Engineering,  
Seoul National University (SNU), Seoul 151-742, Korea

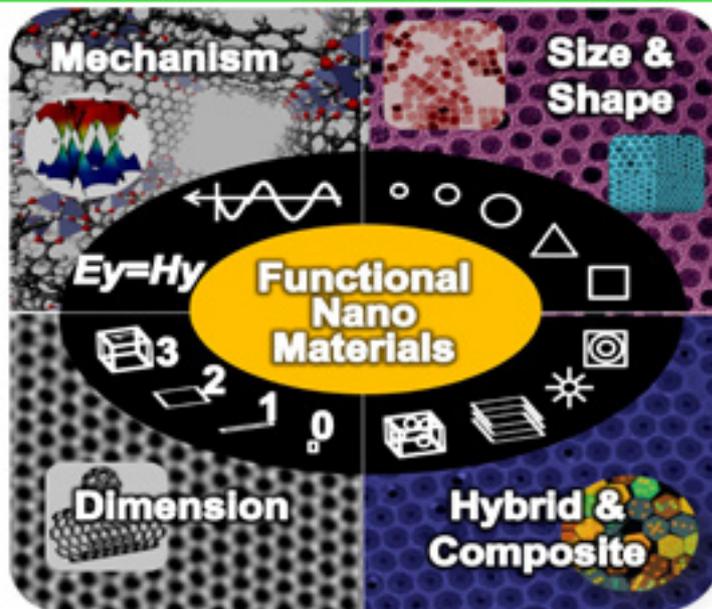


## Hyeon Research



# Part I.

## Chemical Synthesis of Uniform-sized Iron Oxide Nanocrystals



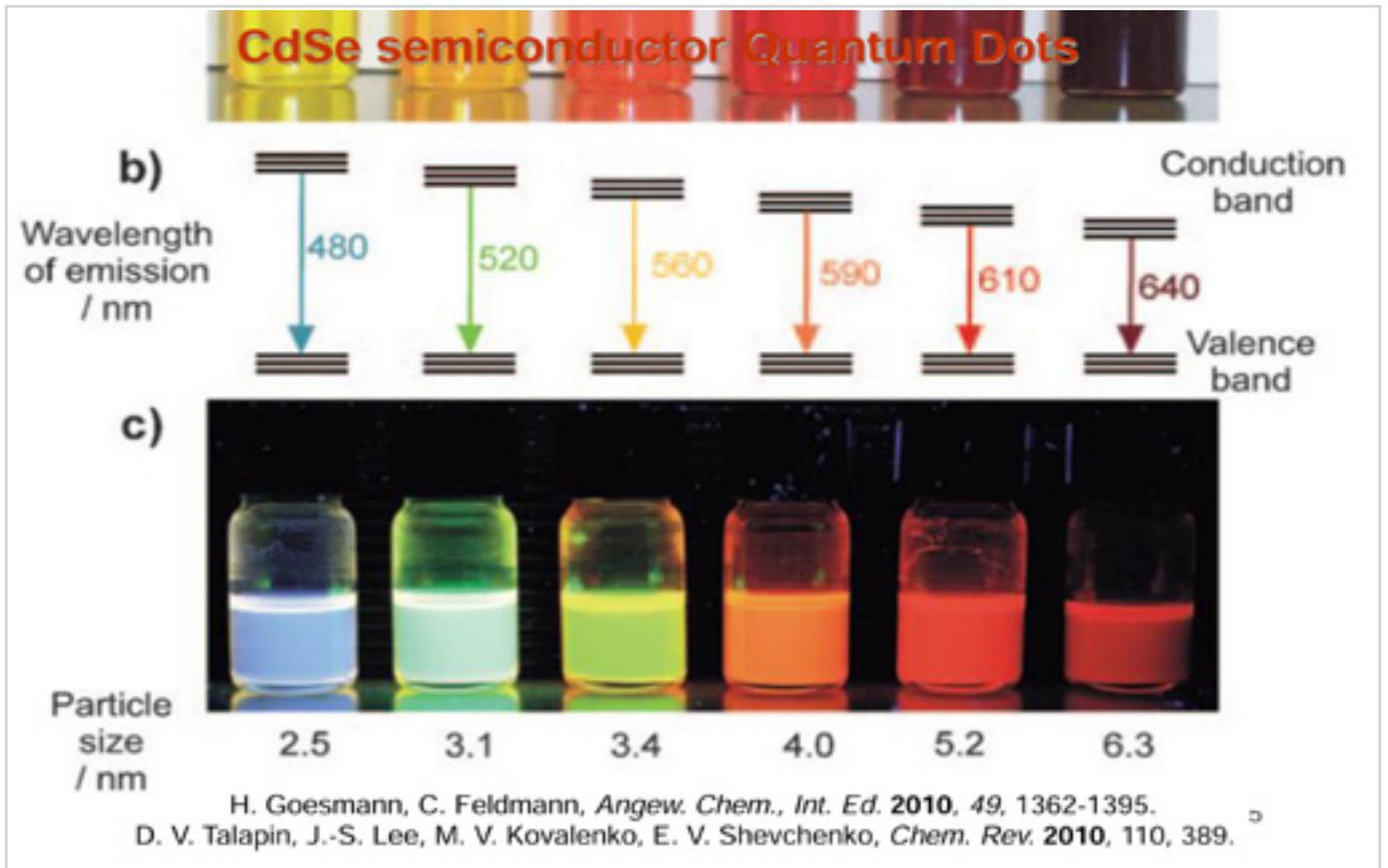
### Why is Size Uniformity of Nanoparticles Important?

- Physical properties of nanoparticles are directly dependent on the particle size.

- For various applications, uniform-sized nanoparticles are critical.

J. Park et al. *Angew. Chem. Int. Ed. (Invited Review)* **2007**, 46, 4630.

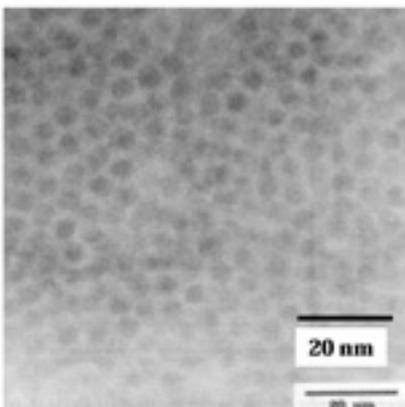
S. Kwon and T. Hyeon, *Acc. Chem. Res.* **2008**, 41, 1696.



## Synthesis of Monodisperse Nanocrystals Using Hot-injection methods

**MIT**

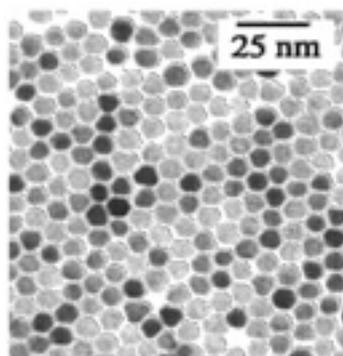
**5.1 nm CdSe**



Murray, Norris and Bawendi, *J. Am. Chem. Soc.* **1993**, *115*, 8706

**UC-Berkeley**

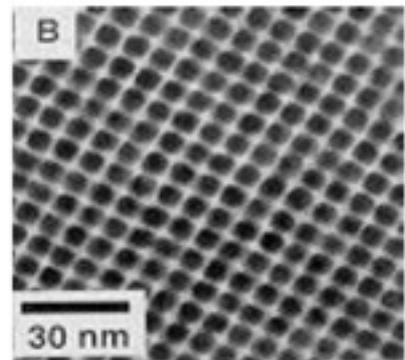
**8.5 nm CdSe**



Peng and Alivisatos, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, *120*, 5343

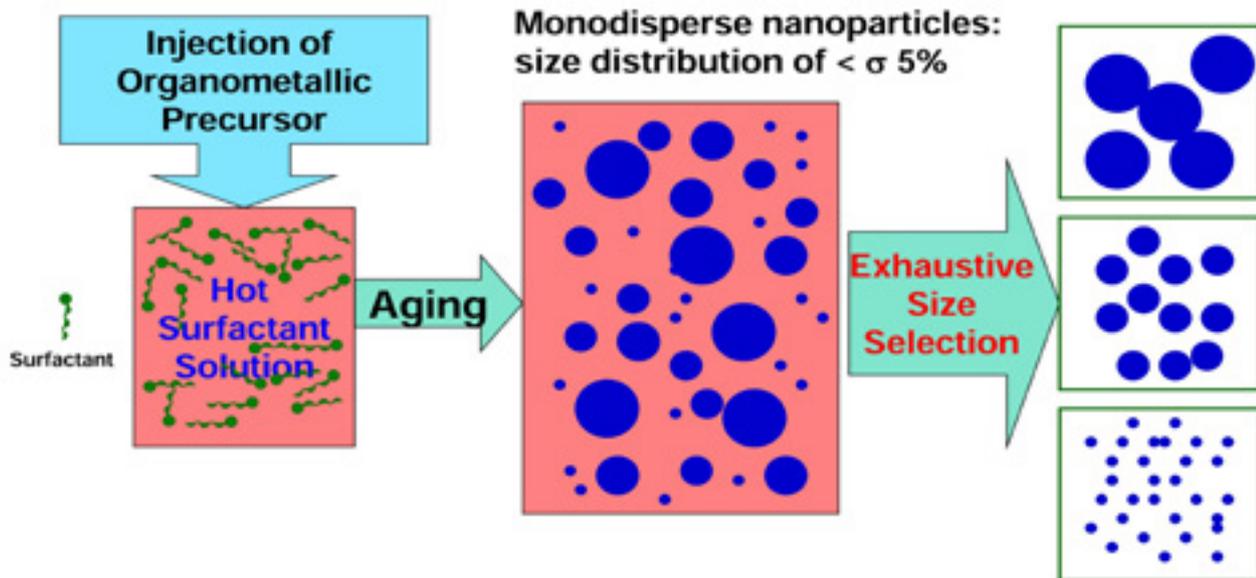
**IBM Watson**

**5 nm Fe-Pt alloy**



Sun and Murray, *Science* **2000**, *287*, 1989.

## Conventional Synthesis of Monodisperse Nanocrystals



J. Park, et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, 46, 4630; S. Kwon & T. Hyeon *Acc. Chem. Res.* **2008**.

7

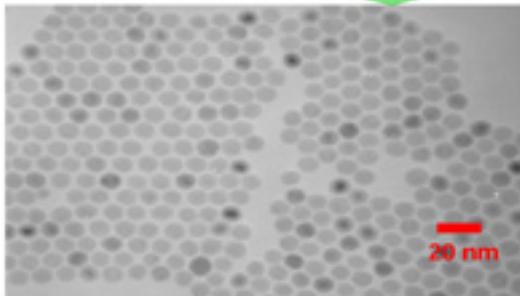
## Heat-up Process: Direct Synthesis of Monodisperse 11 nm Magnetite Nanocrystals Without Size Sorting Process

0.2  $\mu\text{m}$

T. Hyeon et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, 123, 12798

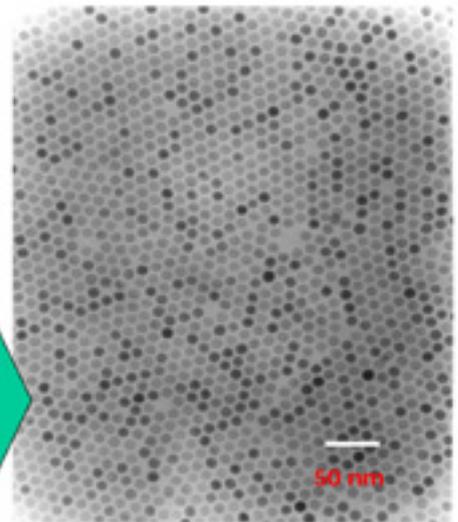
## Heat-up Process to produce Uniform Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocrystals by slowing heating Fe-oleate complex to 320 °C

Slowly heating Fe-oleate complex from R.T. to 320 °C followed by Aging for ~ 10 min



11 nm Fe nanoparticles

Controlled Mild chemical Oxidation Using Me<sub>3</sub>NO



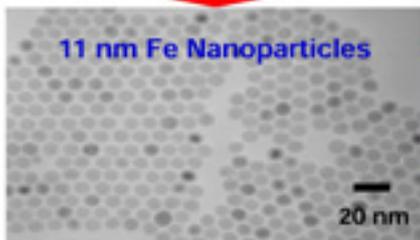
11 nm Iron oxide Nanocrystals

Main problem: expensive & toxic precursor Fe(CO)<sub>5</sub> (\$ 2000 USD/Kg)

Synthesis of Fe-Oleate complex from the reaction of Fe(CO)<sub>5</sub> & Oleic acid

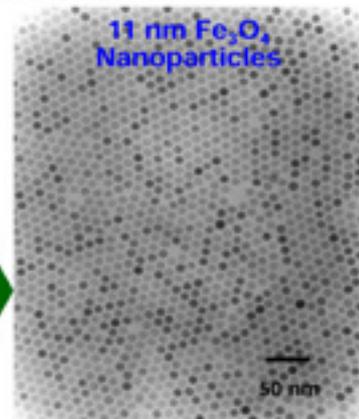
Thermolysis of Fe-oleate complex

11 nm Fe Nanoparticles



Controlled Oxidation

11 nm Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles

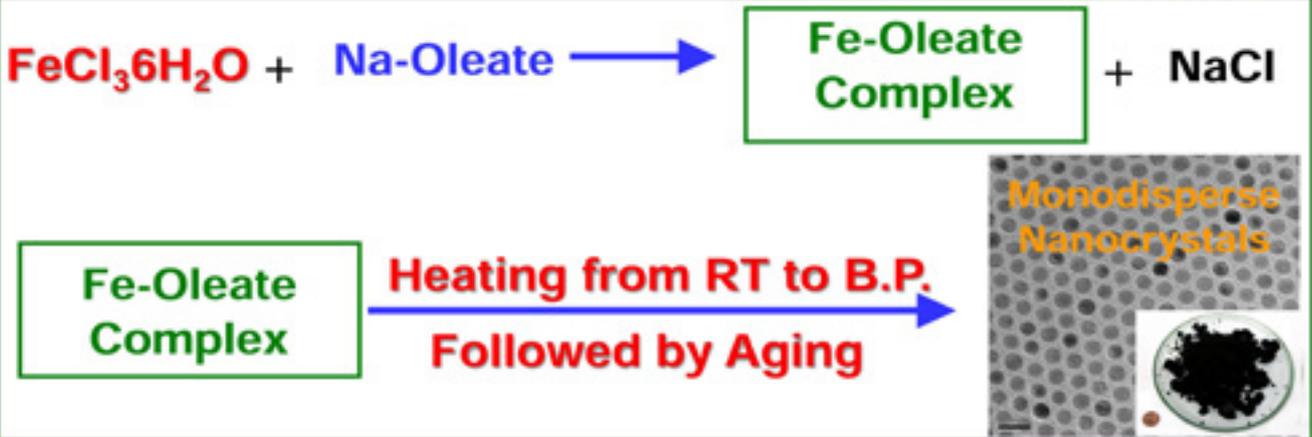


T. Hyeon *et al.* *J. Am. Chem. Soc.* 2001, 123, 12798

## 40 gram of Monodisperse Magnetite Nanocrystals are produced using $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$



Now UNIST



J. Park et al. *Nature Mater.* 2004, 3, 891.

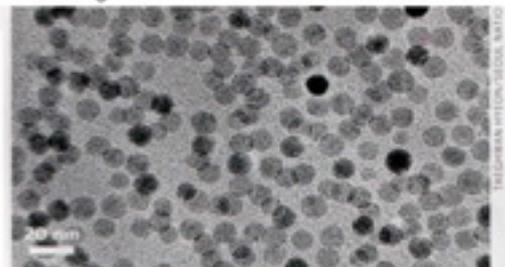
## > 1 kg of 11 nm $\text{Fe}_3\text{O}_4$ Nanocrystals



Chem. & Eng. News, August 24, 2009  
 SCIENCE & TECHNOLOGY CONCENTRATES  
<http://pubs.acs.org/cen/news/87/i34/8734news10.html>

### NANOCRYSTALS BY THE KILOGRAM

Kilogram-scale batches of uniform-sized nanocrystals can be prepared via a simple synthesis procedure, according to researchers in South Korea. The availability of a low-cost method for making bulk quantities of monodisperse (single-sized) nanocrystals may speed up development of nanotechnology applications. Several methods for preparing monodisperse nanocrystals have already been reported, but typically those methods yield gram quantities of product and require size-sorting steps. Taeghwan Hyeon, a professor of chemical engineering at Seoul National University, reported that his research group, in collaboration with Wan-Jae Myeong and coworkers at Hanwha



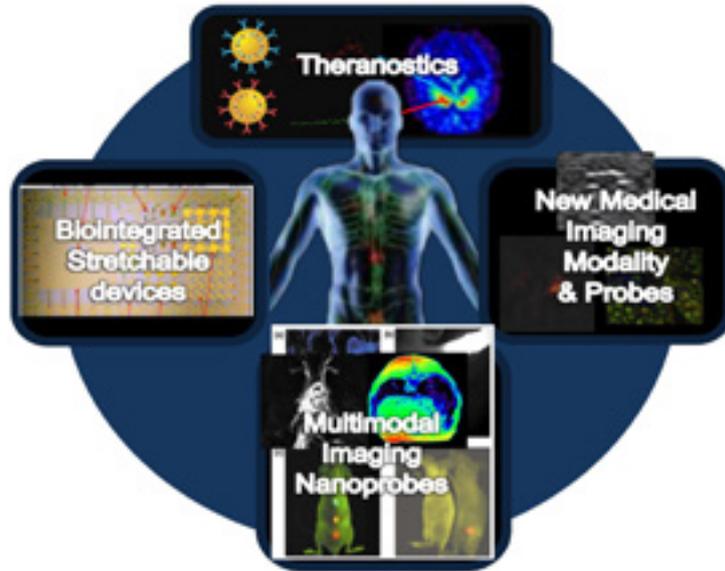
TEM analysis shows that these  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetite) crystals, which were made via a kilogram-scale preparation method, are highly uniform in size and shape.

Chemical, also in Seoul, have synthesized kilogram-scale batches of uniformly sized 11-nm-diameter magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) crystals via a procedure they developed. The method, which takes less than seven hours

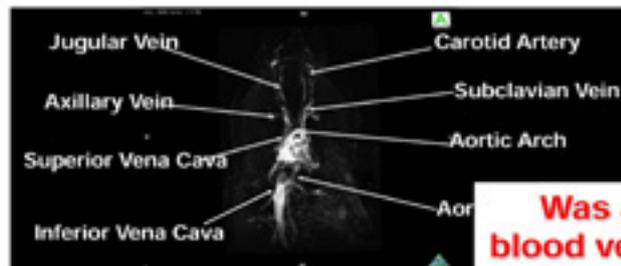
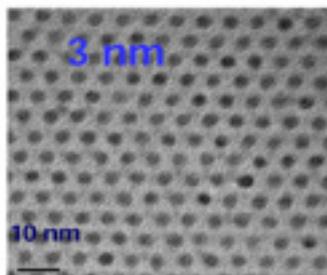
**Hanwha Chemicals Co**  
**- Pilot Plant of 100ℓ reactor**  
**- kg/batch for < 7 hour**



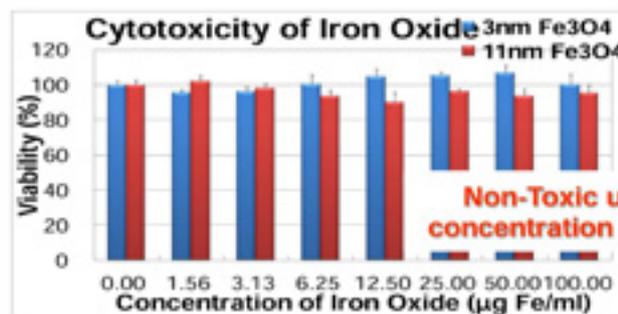
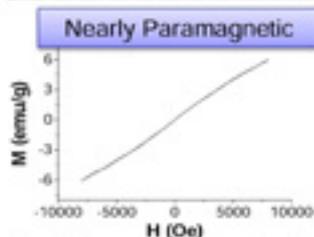
## Part II. Providing New Medical Diagnosis Tools and Therapeutic Methods using Nano



## New non-toxic T1 MRI contrast agent using paramagnetic 3 nm Iron Oxide Nanoparticles



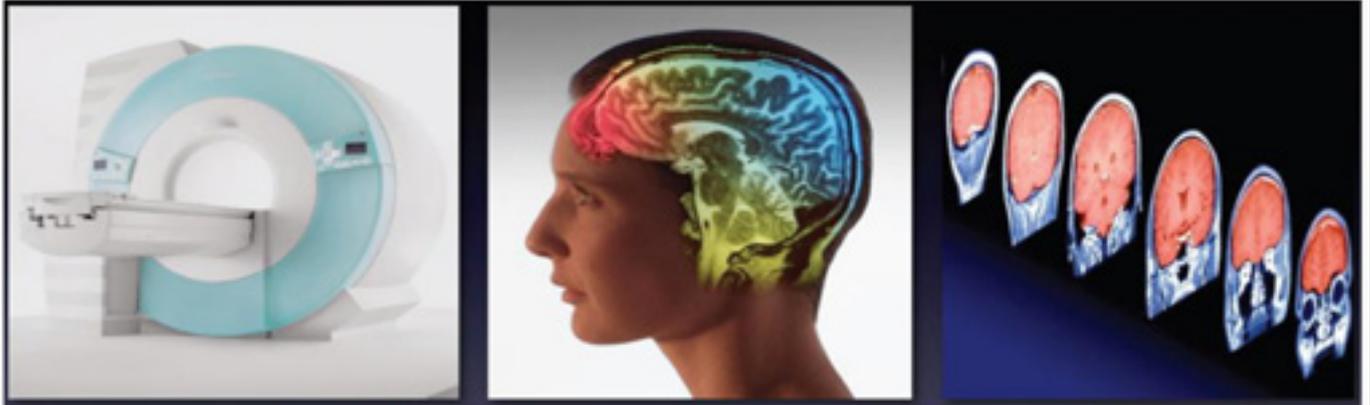
Was able to image blood vessel of < 200  $\mu\text{m}$



Non-Toxic up to very high concentration of 100  $\mu\text{g Fe/ml}$  !

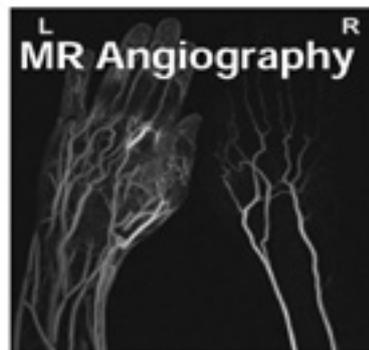
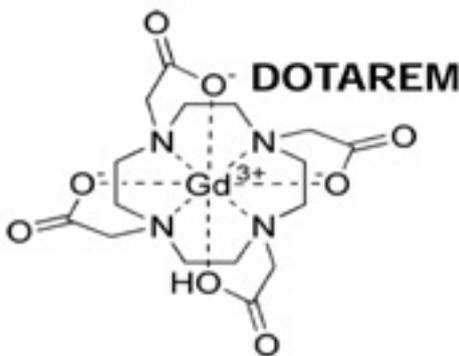
B. Kim et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2011, 133, 12624.

## Magnetic Resonance Imaging (MRI)



- Anatomical details in noninvasive & real-time
- High resolution (vs. PET)
- High sensitivity (vs. CT)
- **Safer than PET&CT**

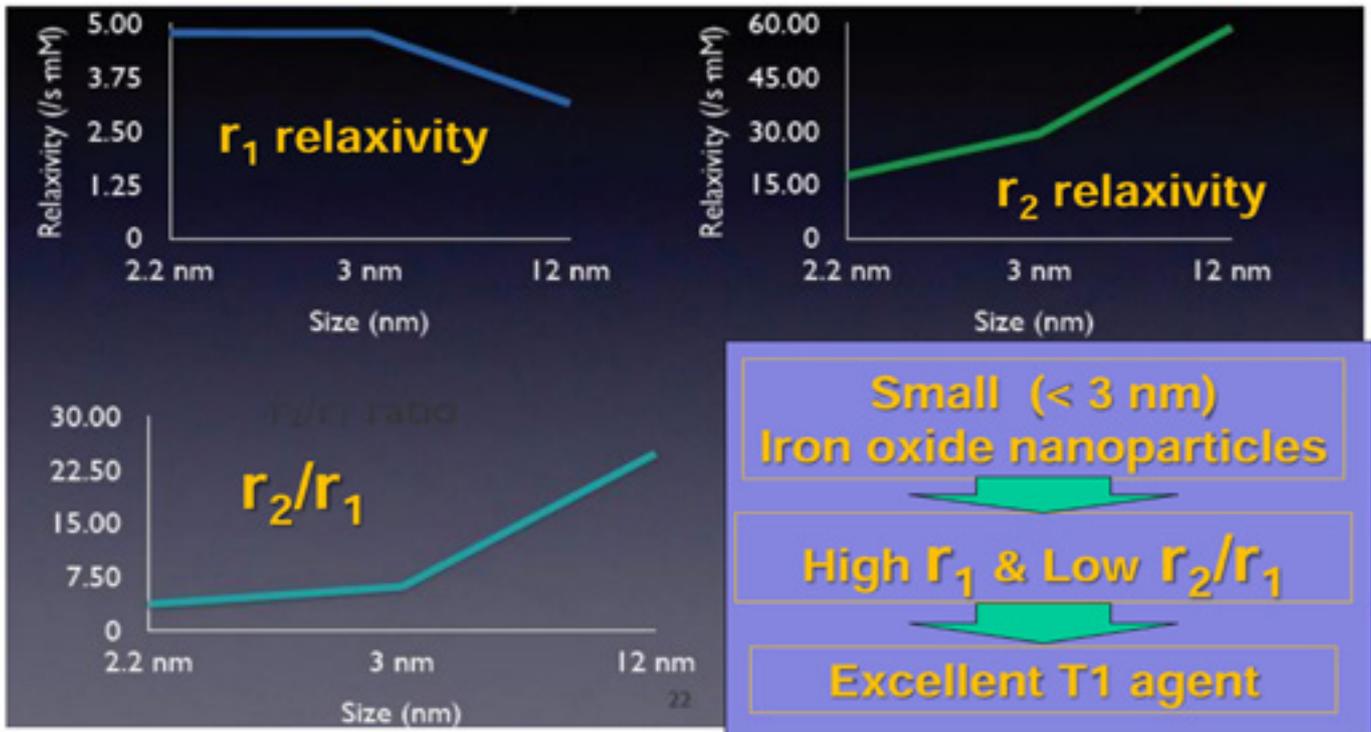
## T1 MRI Contrast Agents using Paramagnetic Gd-complexes



**Toxic Gd<sup>3+</sup>: Nephrogenic systemic fibrosis (NSF)**

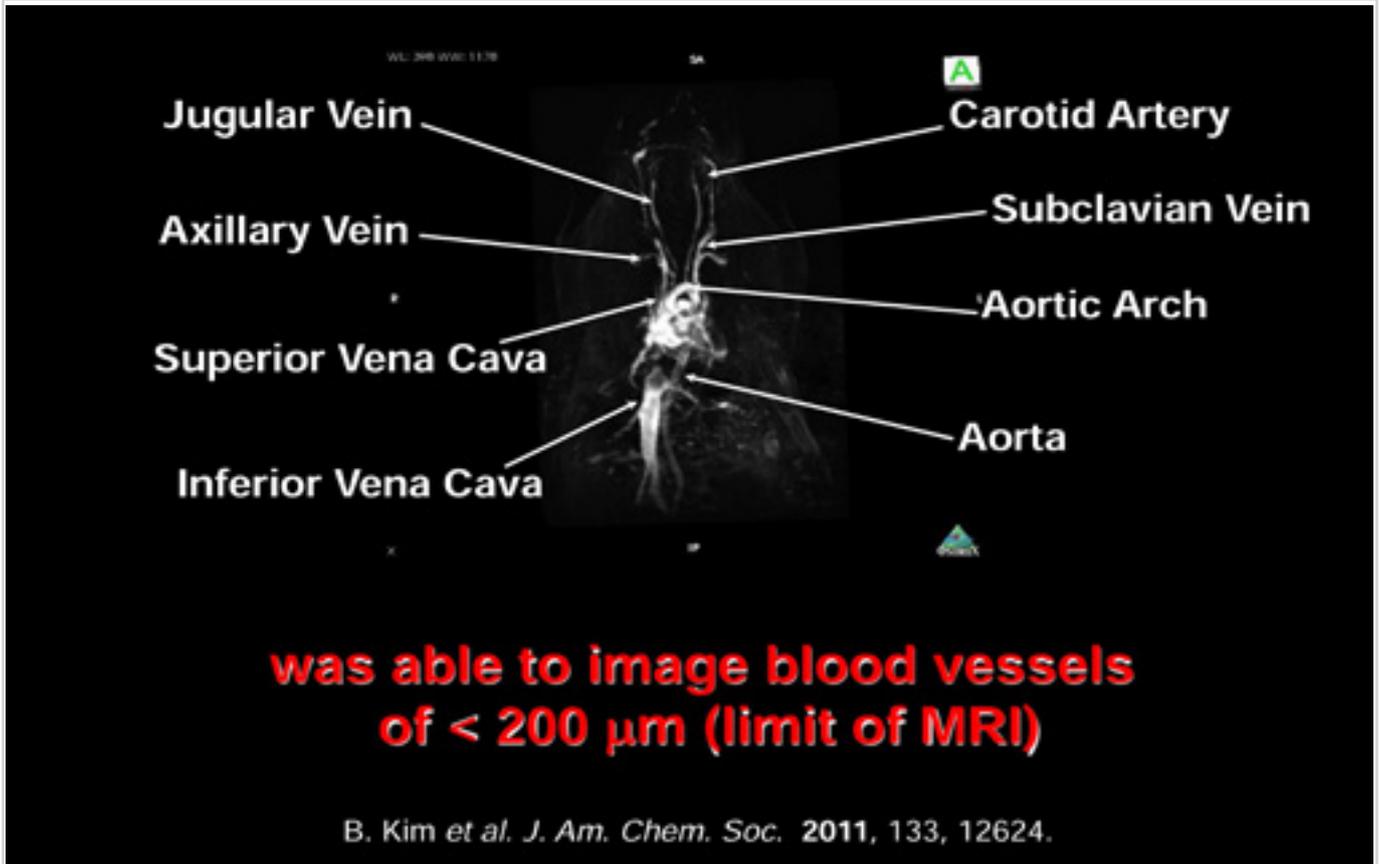
**➔ New Non-toxic MRI contrast should be developed !**

## Relaxivity versus Size



## In vivo MR blood pool Imaging





## Paramagnetic T1 MRI contrast agents

### INDICATIONS AND USAGE

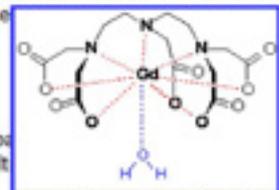
MultiHance is indicated for intravenous use in magnetic resonance imaging (MRI) of the central nervous system (CNS) in adults and children over 2 years of age to visualize lesions with abnormal blood brain barrier or abnormal vascularity of the brain, spine, and associated tissues.

### IMPORTANT SAFETY INFORMATION

#### WARNING: NEPHROGENIC SYSTEMIC FIBROSIS

Gadolinium-based contrast agents (GBCAs) increase the risk for NSF among patients with impaired elimination of the drugs. Avoid use of GBCAs in these patients unless the diagnostic information is essential and not available with non-contrast MRI or other modalities. NSF may result in fatal or debilitating systemic fibrosis affecting the skin, muscle and internal organs.

- The risk for NSF appears highest among patients with:
  - chronic, severe kidney disease (GFR  $< 30 \text{ mL/min/1.73m}^2$ ), or



renal function. For patients with impaired renal function, use the glomerular filtration rate (GFR) to determine the appropriate dose and allow a sufficient period of time for elimination of the drug before repeat imaging (5.1)†

MultiHance dose and allow a sufficient period of time for elimination of the drug before repeat imaging (5.1)†

MultiHance may cause allergic reactions, including anaphylaxis, and/or cutaneous manifestations, especially in those patients with a history of a severe allergic reaction to any contrast agent.

<http://usa.braccoimaging.com/>

YOUR INFORMATION RESOURCE FOR MRI SAFETY, SIDE EFFECTS, AND PATIENT MANAGEMENT

**MRIsafety.com**

THE DEVELOPMENT OF THIS SITE WAS SUPPORTED BY AN UNRESTRICTED EDUCATIONAL GRANT PROVIDED BY BRACCO

**Safety Information**

[www.mrisafety.com/safety\\_article](http://www.mrisafety.com/safety_article)

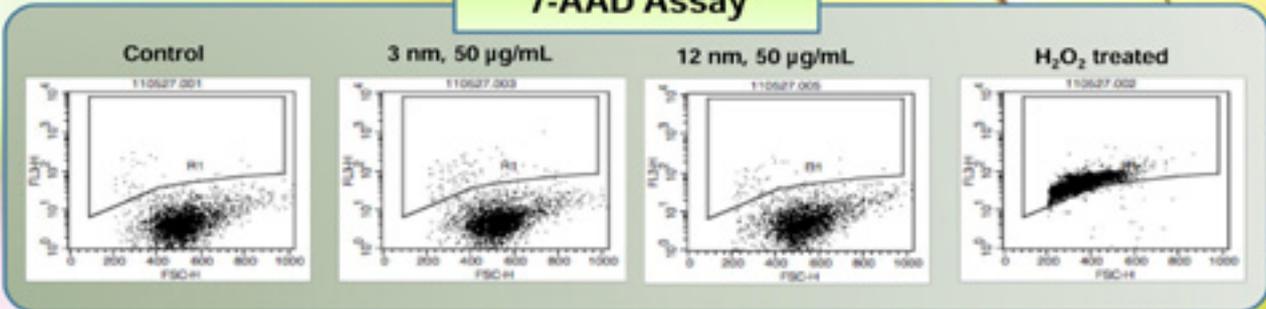
**MRI Contrast Agents and Nephrogenic Systemic Fibrosis (NSF)\***

†Please consult full Prescribing Information for MultiHance including boxed WARNING contained within this website.

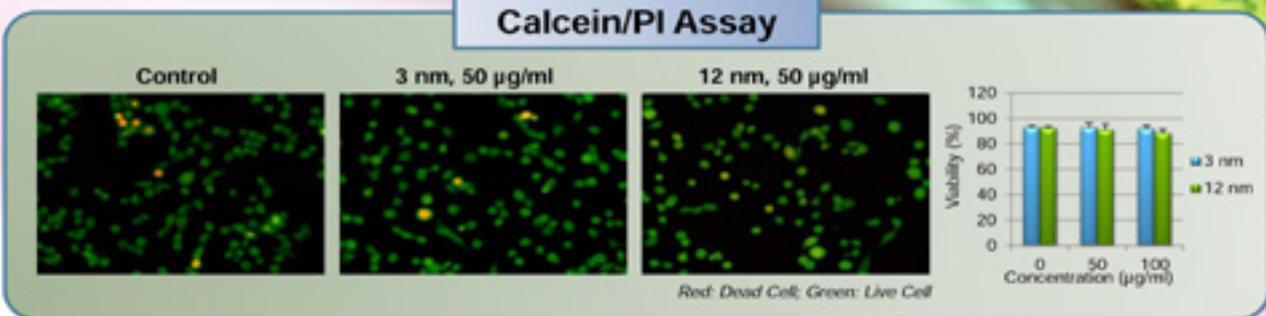
**Free Gd<sup>3+</sup> is toxic!!! High dose of Gd ions can cause nephrogenic systemic fibrosis (NSF) in impaired kidney.**

# Toxicity Evaluation

## 7-AAD Assay



## Calcein/PI Assay



21/53

# Development of Hepatocellular Carcinoma Targeted Nanomedicine

Taeghwan Hyeon

Daishun Ling



Kam Man Hui

Hongping Xia

Collaboration of SNU/IBS and National Cancer Center Singapore

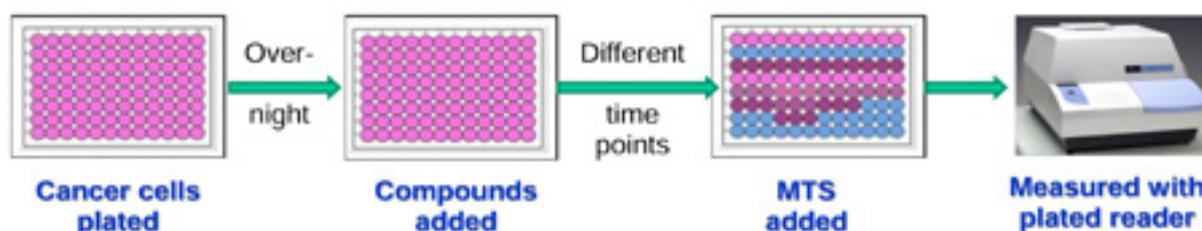
## Liver Cancer (Hepatocellular Carcinoma, HCC) is Extremely Nasty!!!

**Development of New Targeted Therapy for Liver Cancer (HCC) using Nanotechnology**

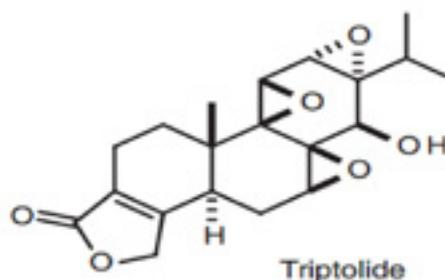
- Maximizing therapeutic efficiency
- Minimizing side-effect

[http://www.hopkinsmedicine.org/liver\\_tumor\\_center/conditions/cancerous\\_liver\\_tumors/hepatocellular\\_carcinoma.html](http://www.hopkinsmedicine.org/liver_tumor_center/conditions/cancerous_liver_tumors/hepatocellular_carcinoma.html)

**We screened > 1000 candidates including anti-cancer drug & natural product library**

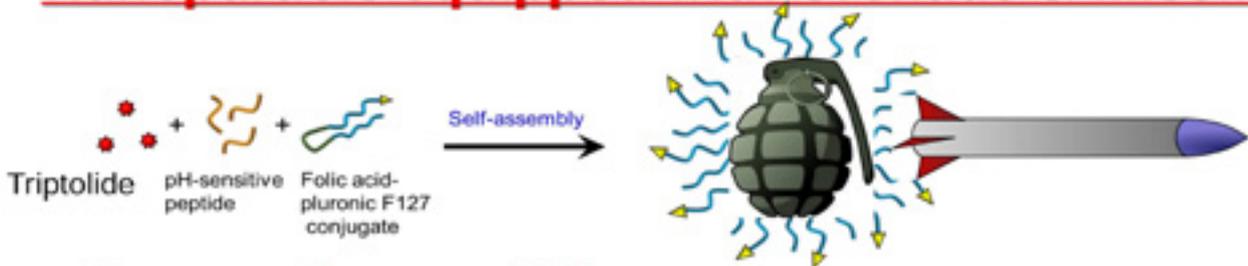


**Triptolide showed the best therapeutic effect!**

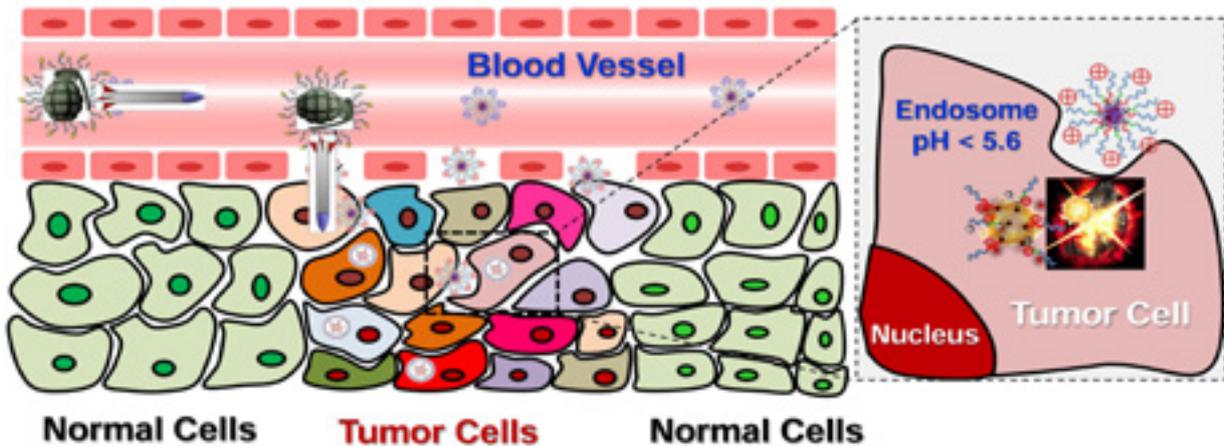


the thunder god vine; *Tripterygium wilfordii*; Lei gong teng

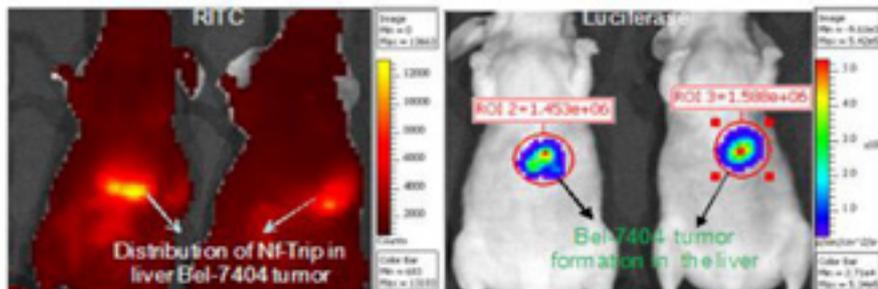
## Nanoparticle equipped with Grenade & Missile



**Tumor cells are acidic & Leaky Blood Vessel**

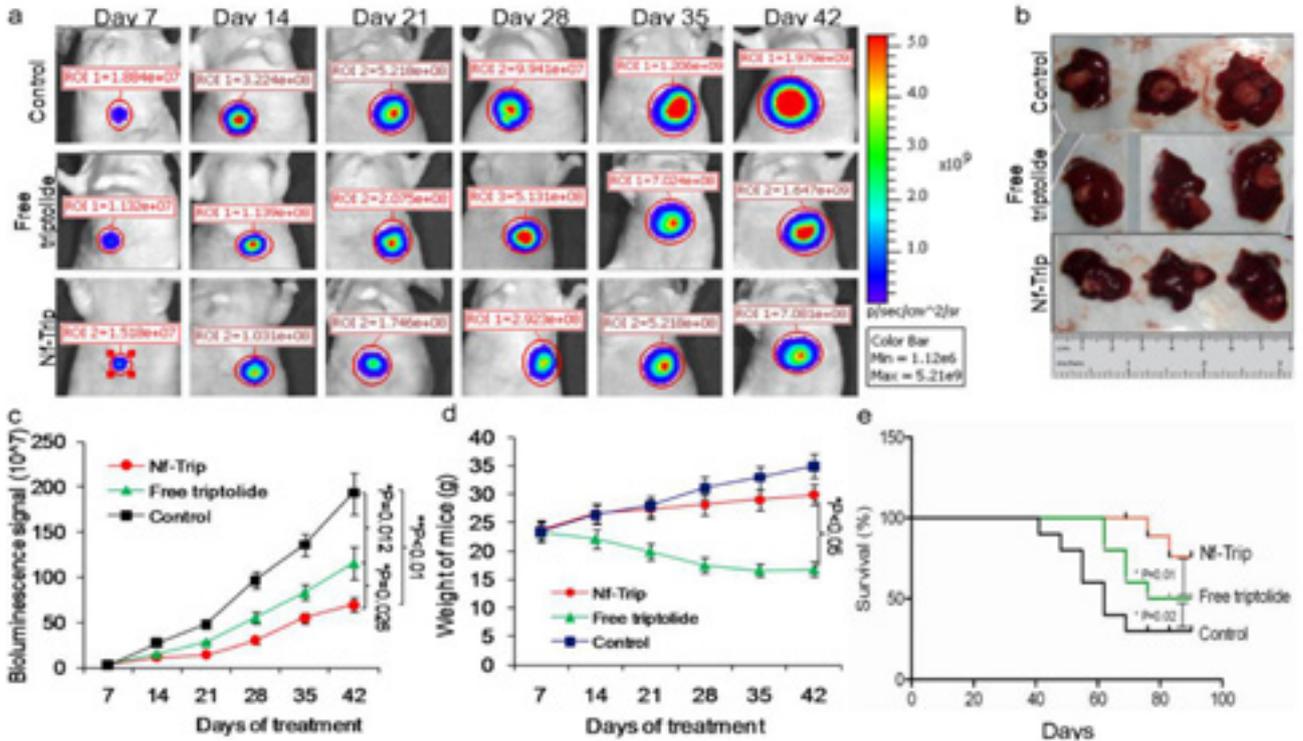


**Missile Targeting is working!!!**  
**→ Selective Targeting to Liver Cancer**

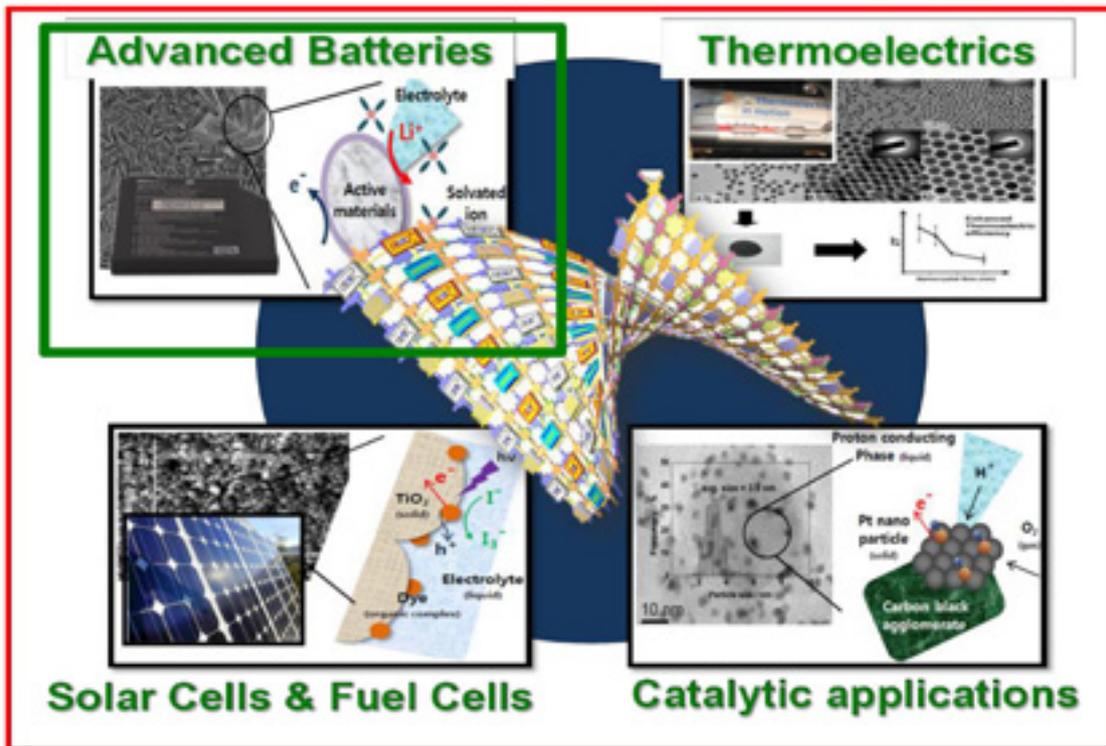


20 h after NF-Trip i.v. injection

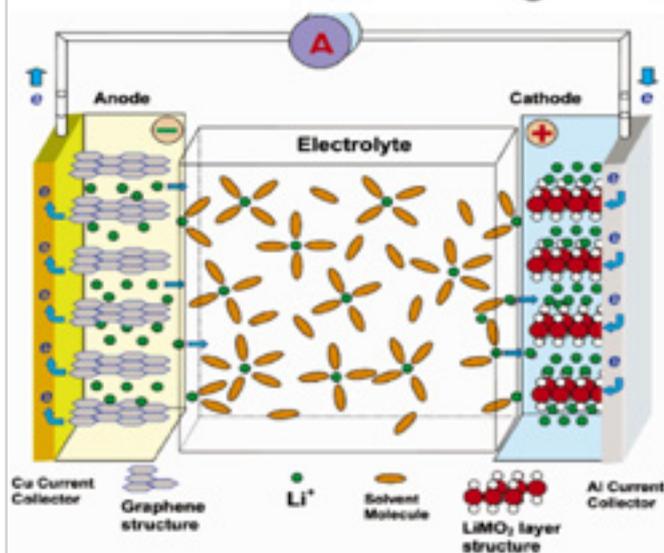
## Nf-Trip suppresses tumor growth of HCC orthotopic model



## Part III. NANO for ENERGY



## Lithium-ion battery Advantages of Li-Ion Batteries



• **POWER:** High energy density means greater power in a smaller package.

160% greater than NiMH  
220% greater than NiCd

• **HIGHER VOLTAGE:** a strong current enables to power complex mechanical devices.

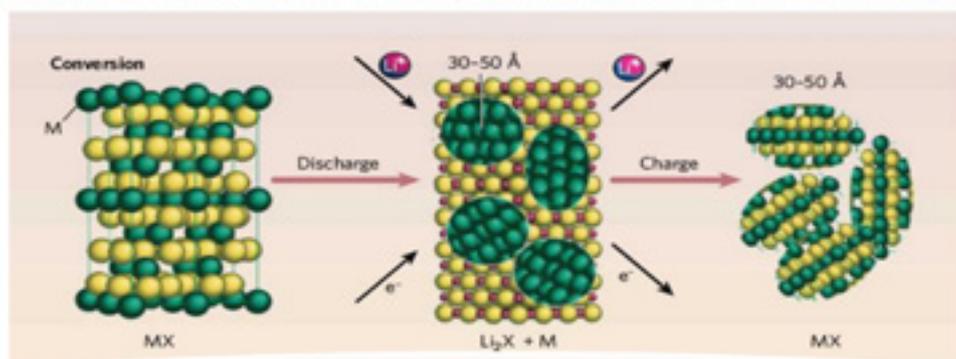
• **LONG SHELF-LIFE:** only 5% discharge loss per month.

10% for NiMH, 20% for NiCd

Kang Xu et al., *Chem. Rev.*, 2004, 104, 4303.

29

## Metal oxides as anode materials for Li ion battery



### Advantages

- High theoretical specific capacity  
ex. graphite : **372 mAh g<sup>-1</sup>**  
magnetite : **928 mAh g<sup>-1</sup>**
- Abundance and low price
- Environmental affinity

### Limitations

- Limited lithium diffusion kinetics
- Poor cycling performance due to **severe aggregation and volume changes**

M. Armand and J.-M. Tarascon *Nature* 2008, 451, 652.

30

# Hollow Nanoparticles

**Pd**  
*Am. Chem. Soc. 2002,*  
100 nm

**Carbon**  
*Adv. Mater. 2002,*  
200 nm

**Magnetite**  
*Nanolett. 2008,*  
50 nm

**Au NP in Carbon**  
*Nanolett. 2002*  
50 nm

**Review**  
**K. J. An & T. Hyeon**  
*Nano Today 2009, 4, 359*

## Nano-Alchemical (?) Fabrication of Hollow Iron Oxide Nanocapsules for Simultaneous MRI and Drug Delivery

**β-FeOOH nanorods (stone)**

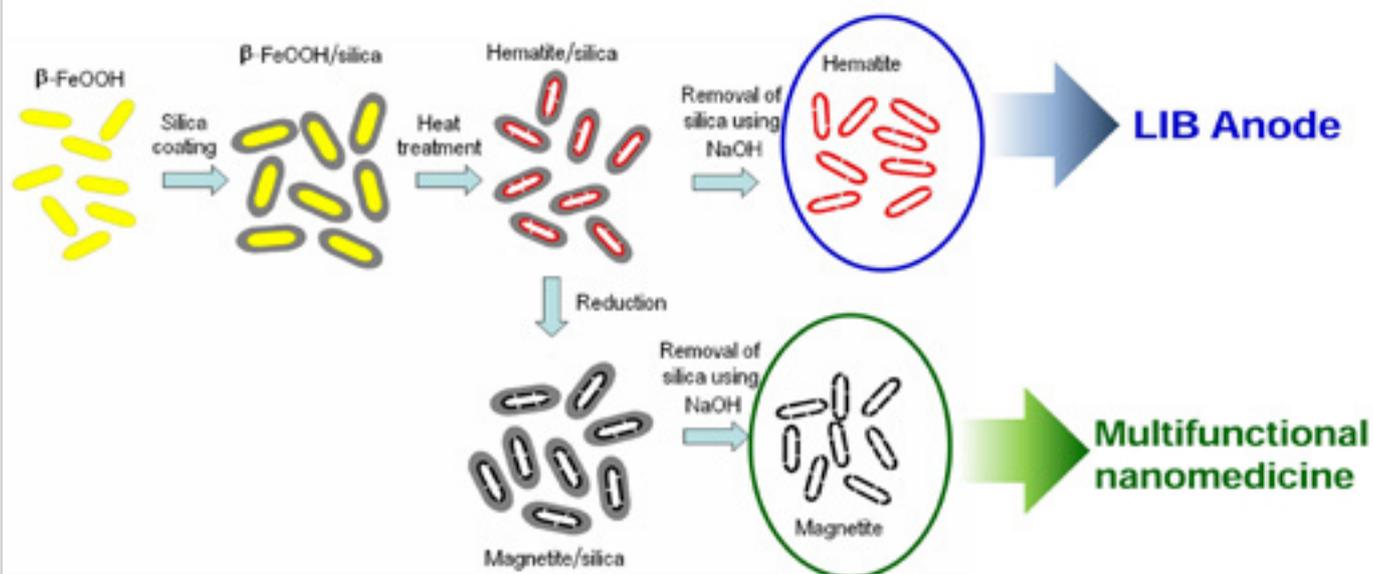
**NANO-ALCHEMY**

**Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocapsules (gold)**

**Yuanzhe Piao**  
**Now SNU**

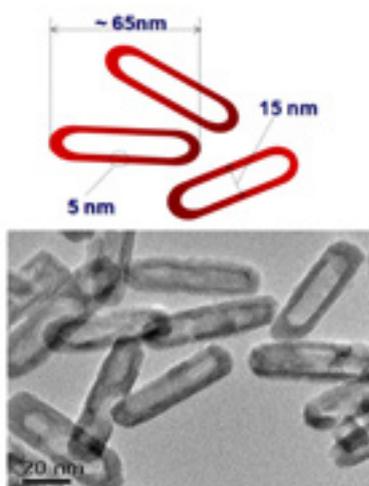
Y. Piao et al., *Nature Mater.* 2008, 7, 3242.

## Wrap/Bake/Peel Process for Nanostructural Transformation from FeOOH Nanorods to Iron Oxide Nanocapsules



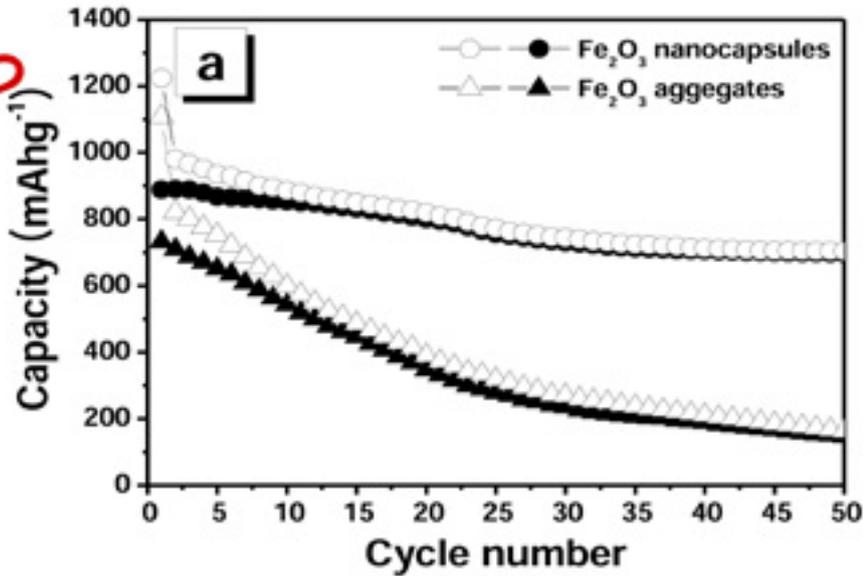
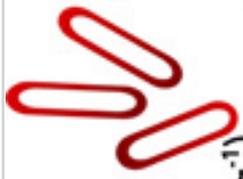
33

## Hollow Hematite Nanocapsules for LIB Anodes



- High surface area: Enhanced Capacity
- Very thin shell thickness  $\rightarrow$  Short lithium diffusion length; Fast charge/discharge
- Hollow nanostructure  $\rightarrow$  increased stability during charge/discharge cycles

## Cycling Performance of Hematite Nanocapsules

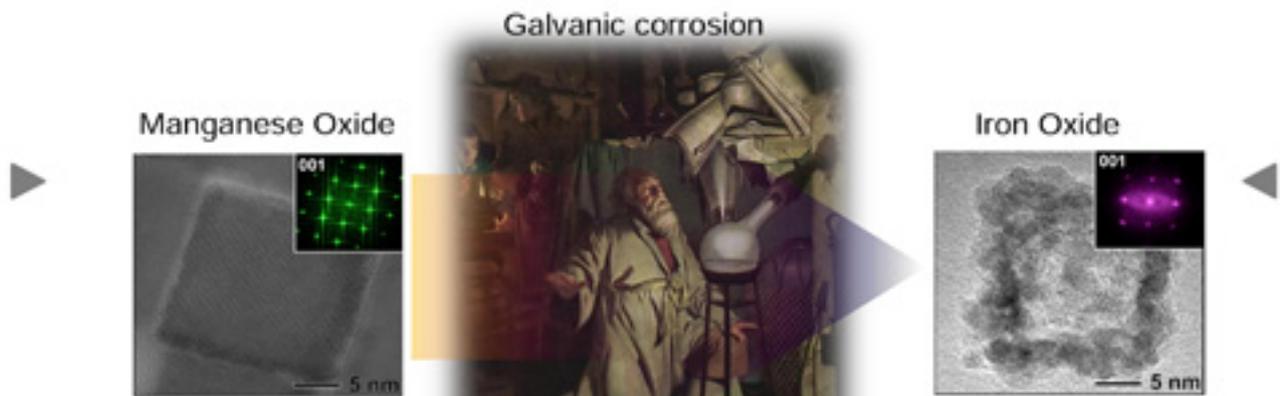


High capacity of 888 mAh/g in 1<sup>st</sup> cycle; 740 mAh/g after 30 cycles

H. S. Kim, et al., *Electrochem. Comm.* 2010, 12, 382.

35

## Galvanic Replacement Reactions in Metal Oxide Nanocrystals

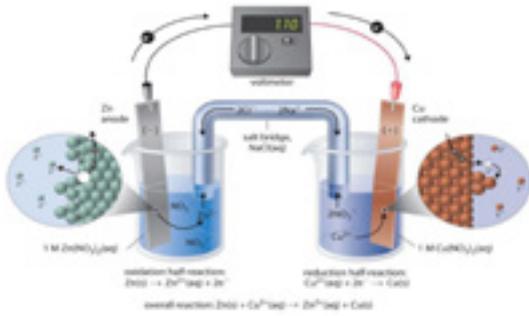


In collaboration with  
Prof. Yung-Eun Sung@Chem/SNUBioEng

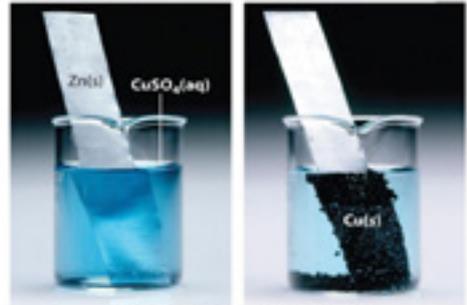
Myoung Hwan Oh, et al., *Science* 2013, 340, 964.

# Galvanic Corrosion

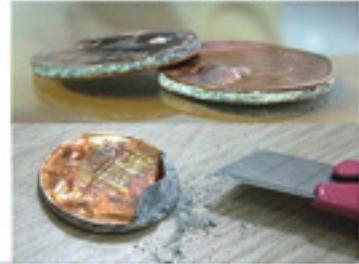
## Galvanic Cell



## Galvanic Corrosion



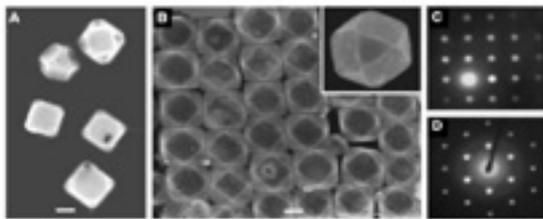
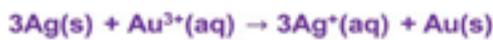
## Corroded Coin: copper+zinc



## Ionization Tendency of Metals

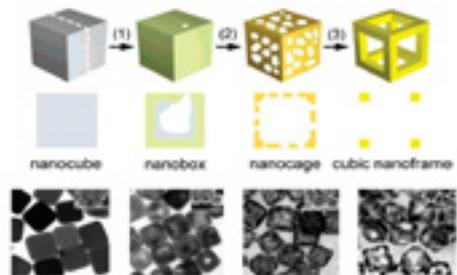


# Galvanic Replacement Reactions in Metal Nanocrystals



Sun, Y., et al. *Science* **2002**, 298, 2176.

## Mechanism in morphological change

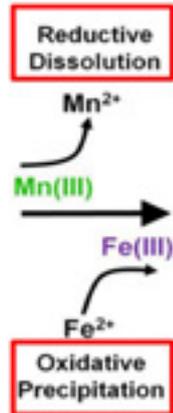
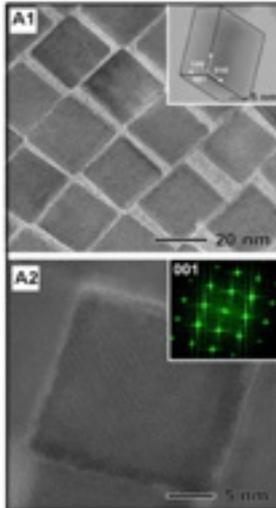


Lu, X., et al. *Nano. Lett.* **2007**, 7, 1764.

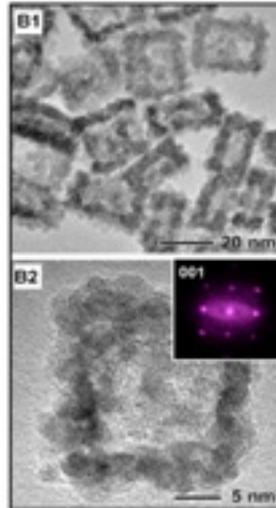


## The First Galvanic Transformation Reaction in Metal Oxide Nanocrystals

### Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocrystals



### γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanocages

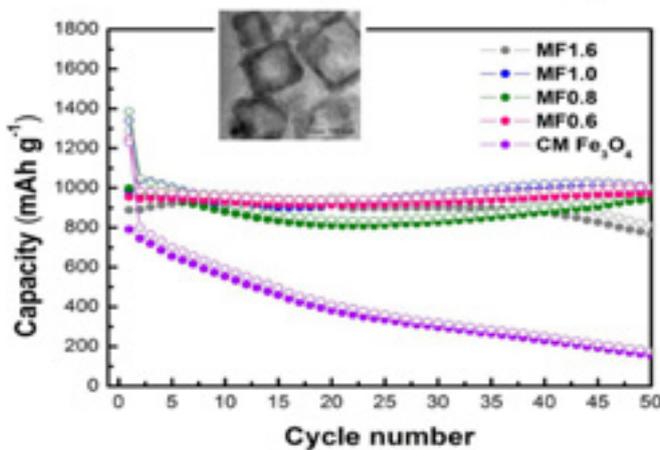


Standard reduction potential(V)	Multivalent ion pairs
1.87	Co <sup>2+</sup> /Co <sup>3+</sup>
1.67	Pb <sup>2+</sup> /Pb <sup>4+</sup>
1.61	Ce <sup>3+</sup> /Ce <sup>4+</sup>
1.51	Mn <sup>2+</sup> /Mn <sup>3+</sup>
0.77	Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup>
0.16	Cu <sup>+</sup> /Cu <sup>2+</sup>
0.15	Sn <sup>2+</sup> /Sn <sup>4+</sup>
0.00	Ti <sup>3+</sup> /Ti <sup>4+</sup>
-0.40	Cr <sup>2+</sup> /Cr <sup>3+</sup>

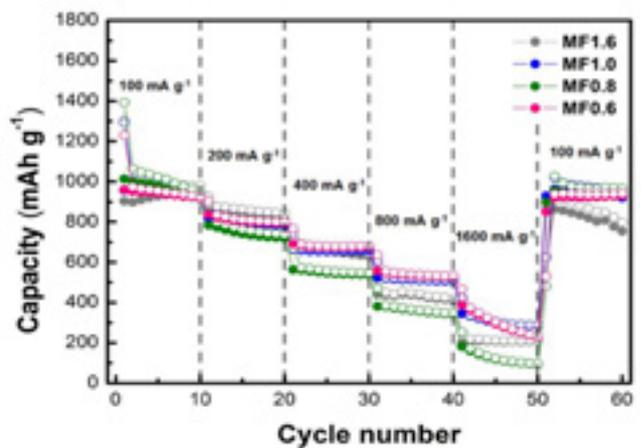
Myoung Hwan Oh, *et al.*, *Science* 2013, 340, 964.

## LIB Anode Performance of Hollow Fe-Mn-Ox Nanoparticles

### Current density of 100 mA g<sup>-1</sup>



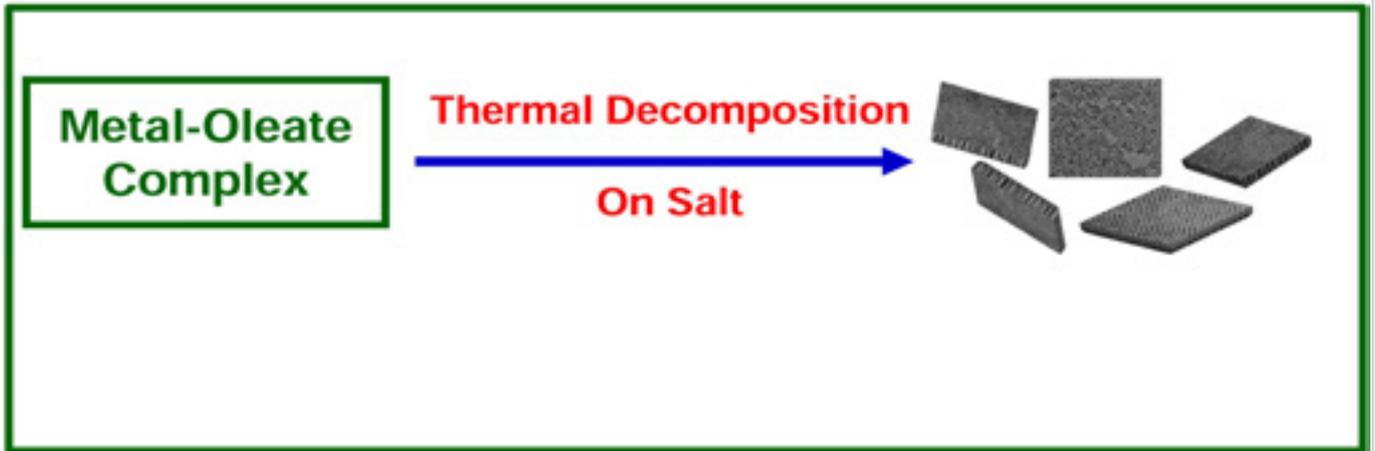
**Good capacity retention**



**High rate capability**

Myoung Hwan Oh, *et al.*, *Science* 2013, 340, 964.

## Self-assembled Ferrite/Carbon Hybrid Nanosheets for High Performance LIB Anodes

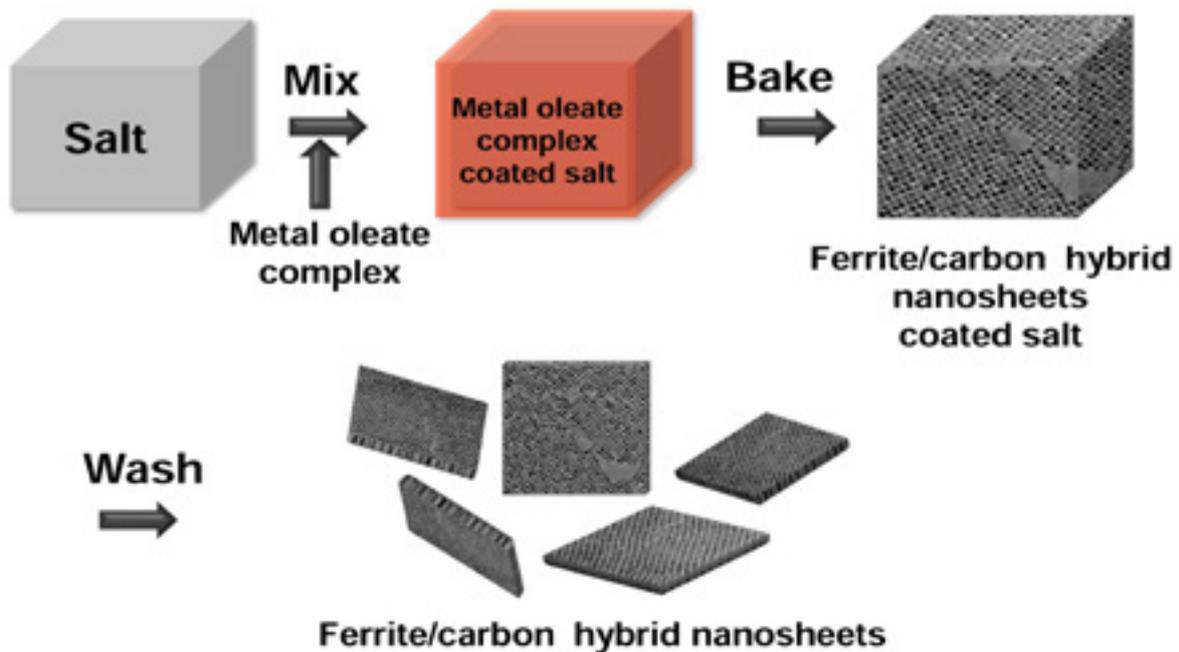


In collaboration with  
Prof. Yuanzhe Piao@CovergenceS&T/SNU

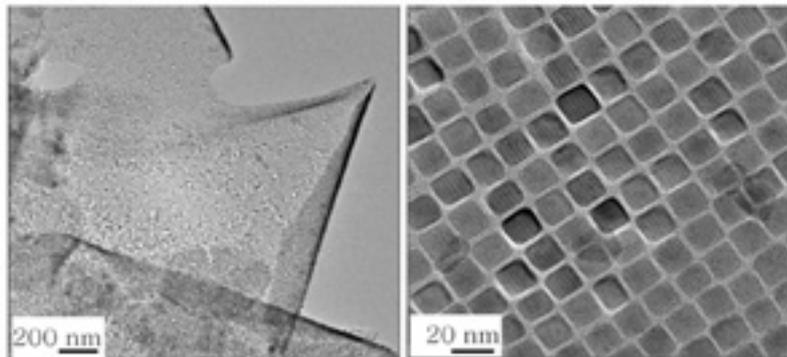
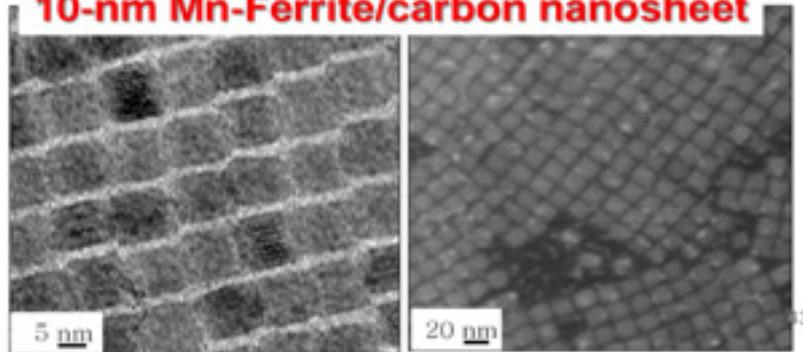
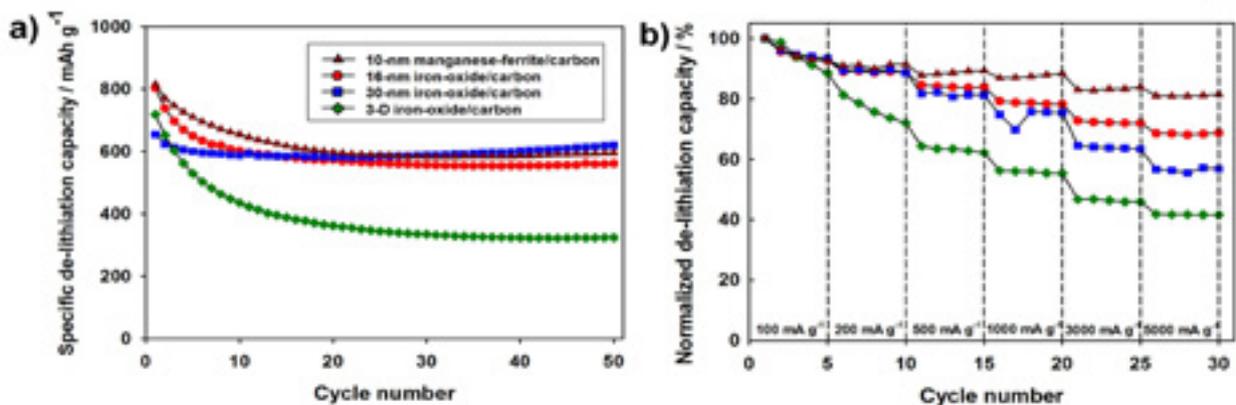
Byungchul Jang, et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, 134, 15010.

41

## Mix/Bake/Wash Process for Synthesis of Self-assembled Ferrite/Carbon Hybrid Nanosheets

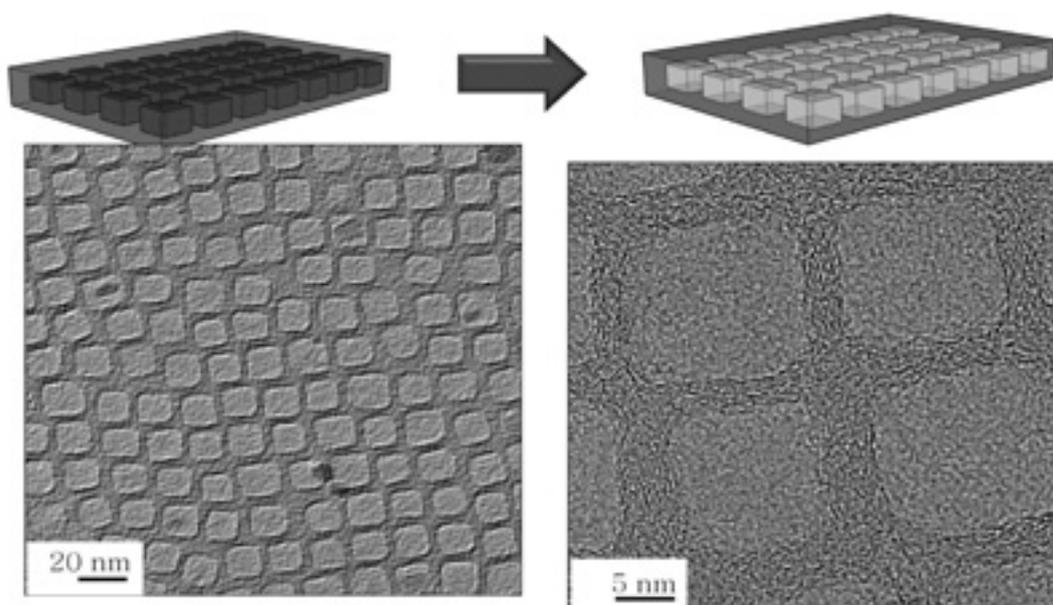


42

**16-nm iron oxide/carbon nanosheets****10-nm Mn-Ferrite/carbon nanosheet****(a) Cycle and (b) Rate Performance of Ferrite/carbon Hybrid Nanosheets**

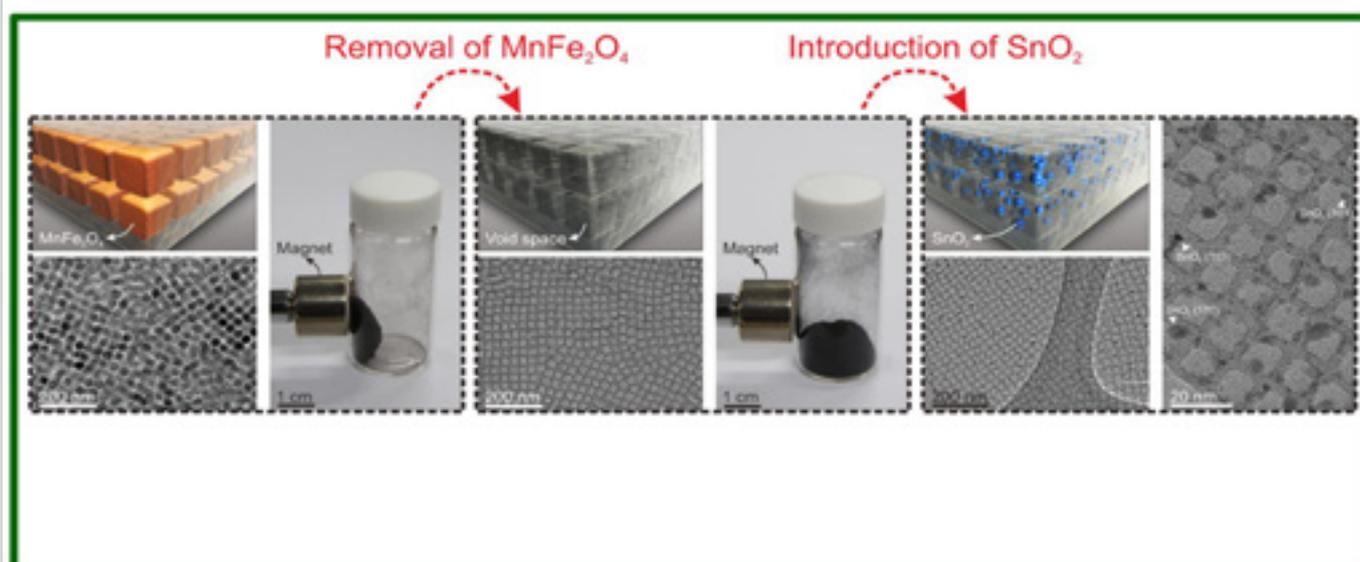
**At a very high rate of 5000 mA g<sup>-1</sup>, 81.5% of original capacity was retained for the manganese-ferrite/carbon nanosheets**

## Using Ferrite/carbon Hybrid Nanosheets, the carbon nanofoams were easily obtained



45

## Metal Oxide/Carbon Hybrid Nanosheets for High-Performance LIB anodes



S.-H. Yu, et al., *J. Am. Chem. Soc.* 2015, 137, 11954.

46

## Hollow Structure + Assembled Structure



- Fast electron transport
- Efficient ion transport
- Facile strain relaxation

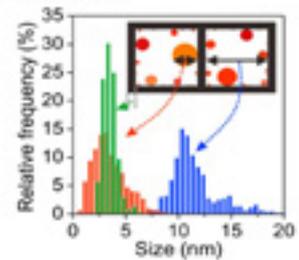
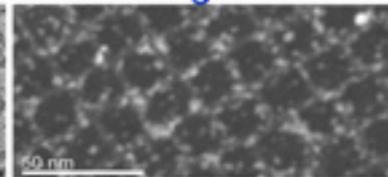
47

## Characterization and Electrochemical Properties of SnO<sub>2</sub>/Carbon Hybrid Nanosheets

TEM image

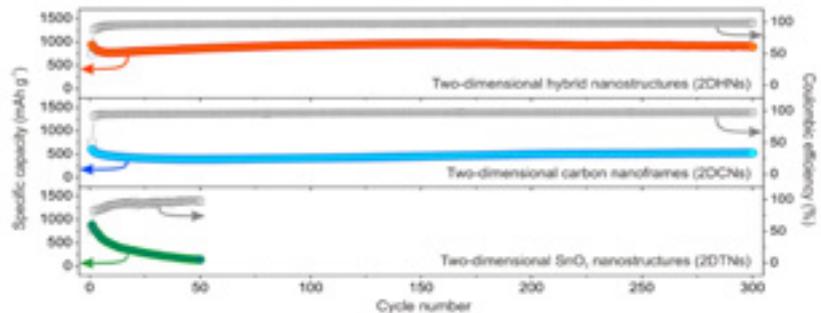


STEM image



Cycle performances

**0.8% loss  
during 250 cycles!**



**Two-dimensional SnO<sub>2</sub>/carbon hybrid nanostructures exhibit → high cyclic stability during 300 cycles (~ 6 months data collections!).**

S.-H. Yu, et al., *J. Am. Chem. Soc.* 2015, 137, 11954.

[이차전지의 현재와 미래]

최장욱 (KAIST EEWS대학원 교수)

## 이차전지의 현재와 미래

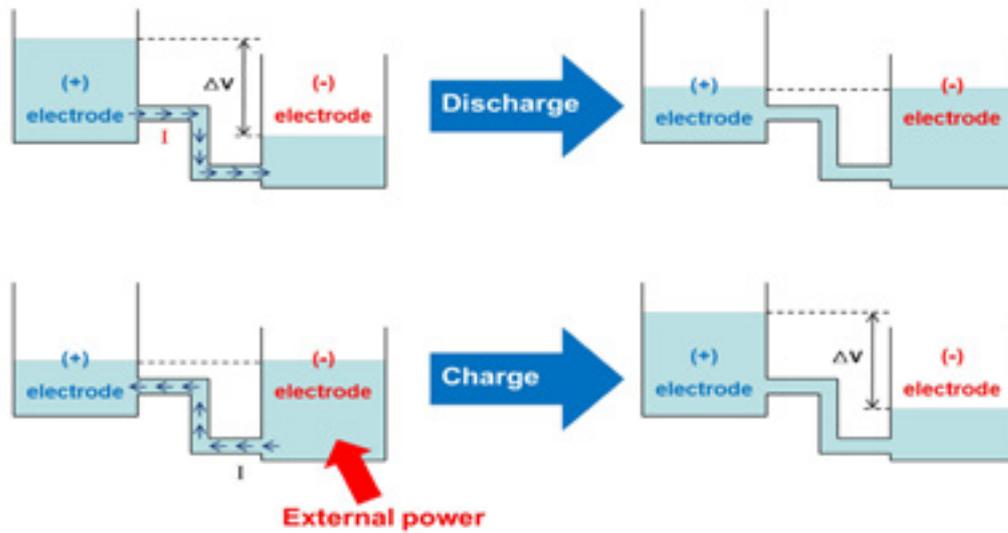
2015년 11월 21일

최장욱 교수  
카이스트, EEWS 대학원

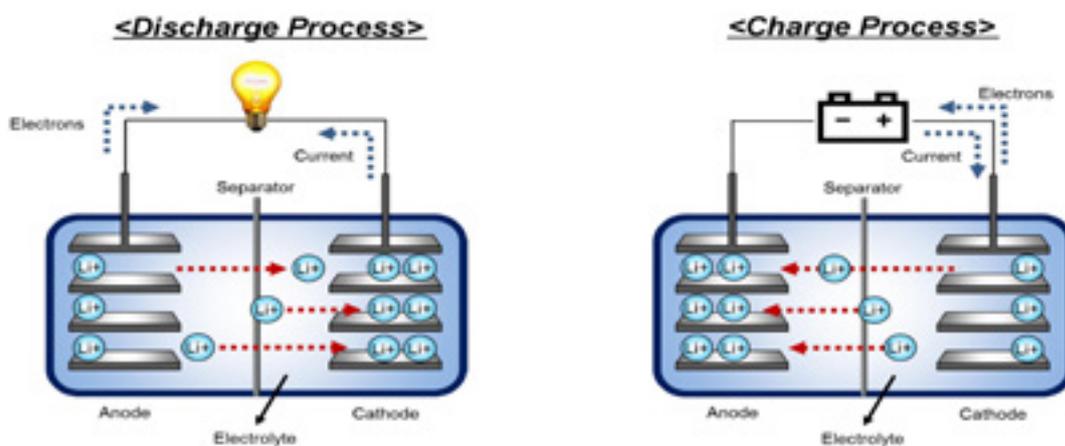
## 1. Battery Basics

## What is the battery?

*A battery is a device that converts chemical energy into electrical energy.*

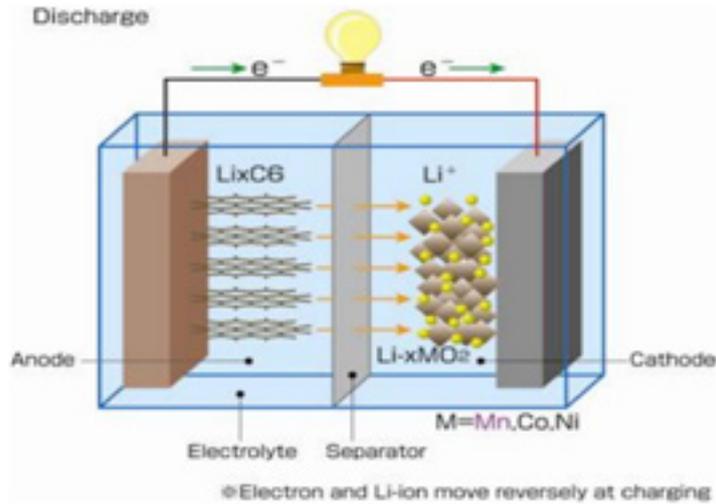


## What is the Li-ion battery (LIB)?



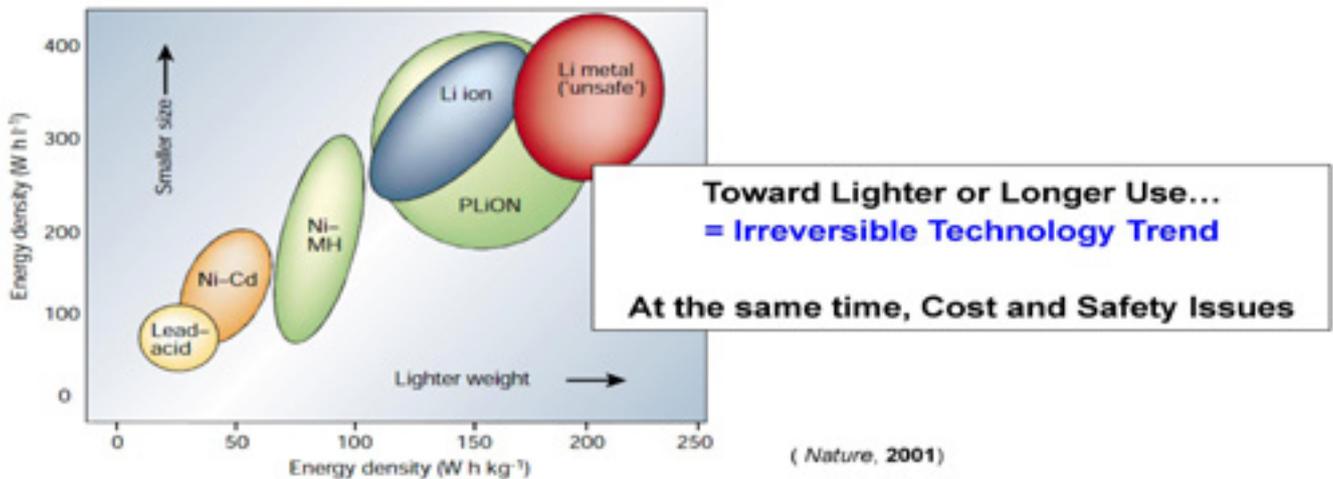
Fundamental Mechanism: *Intercalation Chemistry*

## Cell Configuration



- Energy, Power, Cycle Life, Safety
- Material for each Component & Relations between Components

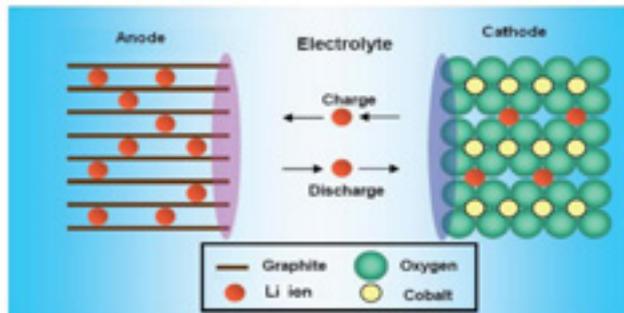
## Various secondary batteries vs. Li-ion battery



	Nickel metal hydride	Lithium-ion
<b>Advantage</b>	Eco-friendly High safety Low cost	High energy density (High voltage, 3.7V) Low self discharge rate ( 2% /month )
<b>Disadvantage</b>	High self discharge rate ( 20%/month ) Low cycling efficiency at high temperature	Low safety High cost

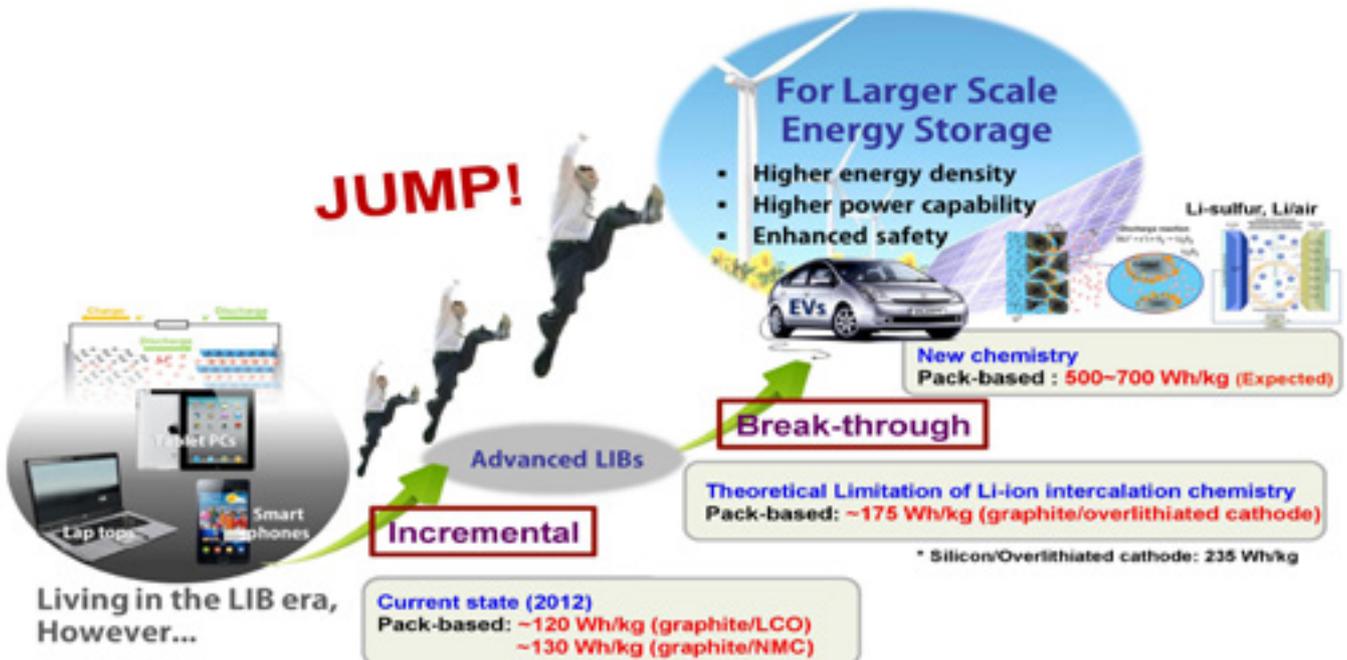
## Secondary Battery History

- early 1970s : First lithium metal primary battery ( $\text{Li}/(\text{CF})_n$ , 2.8 V vs.  $\text{Li}/\text{Li}^+$ )
- 1976 : **First lithium metal secondary battery** demonstration ( $\text{Li}/\text{TiS}_2$ , 2.1 V vs.  $\text{Li}/\text{Li}^+$ )
- 1980 : Discovery of  $\text{LiCoO}_2$  (3.8 V vs.  $\text{Li}/\text{Li}^+$ )
- 1981 : Application of **graphite** to anode (SONY): **intercalation compounds**
- 1991 : Commercialization of lithium ion secondary battery (**Hard C/ $\text{LiCoO}_2$** ) (SONY)



## Optimization of Intercalation-based Materials

## Future direction of battery technology



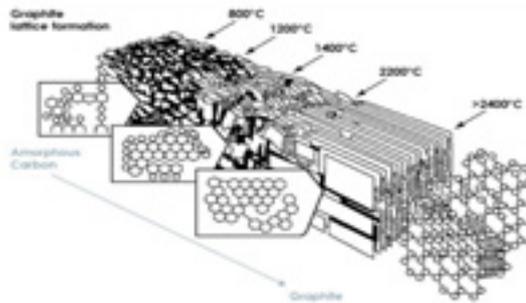
## Current Anode Materials

- Commercialized carbonaceous materials
- **Major anode materials** for LIBs (**Soft / Hard / graphite**)

### Soft Carbon



- Low crystallinity
- Facile Li-ion diffusion
- High rate capability



Source: Marsh 1991

### Graphite



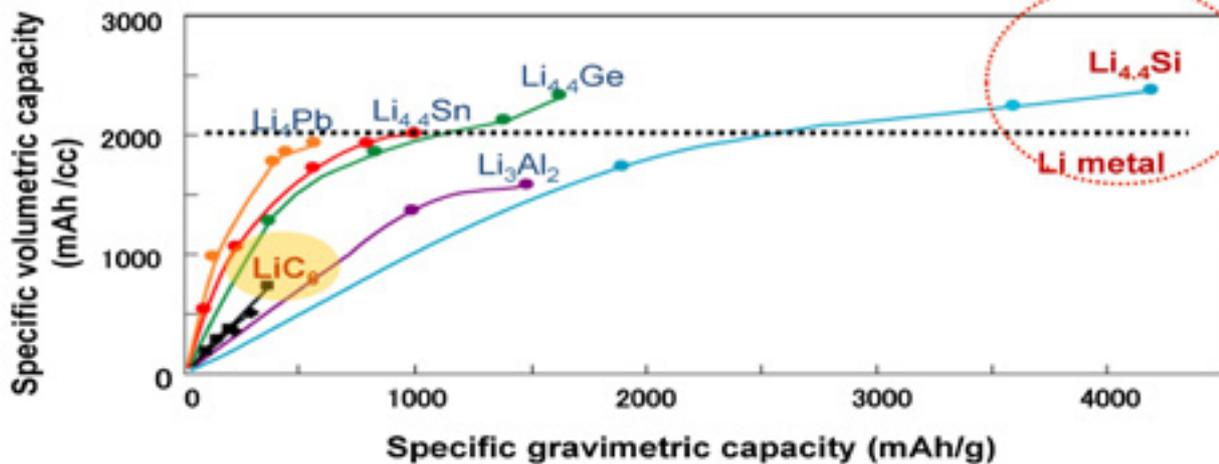
- High crystallinity
- High density
- Low rate capability



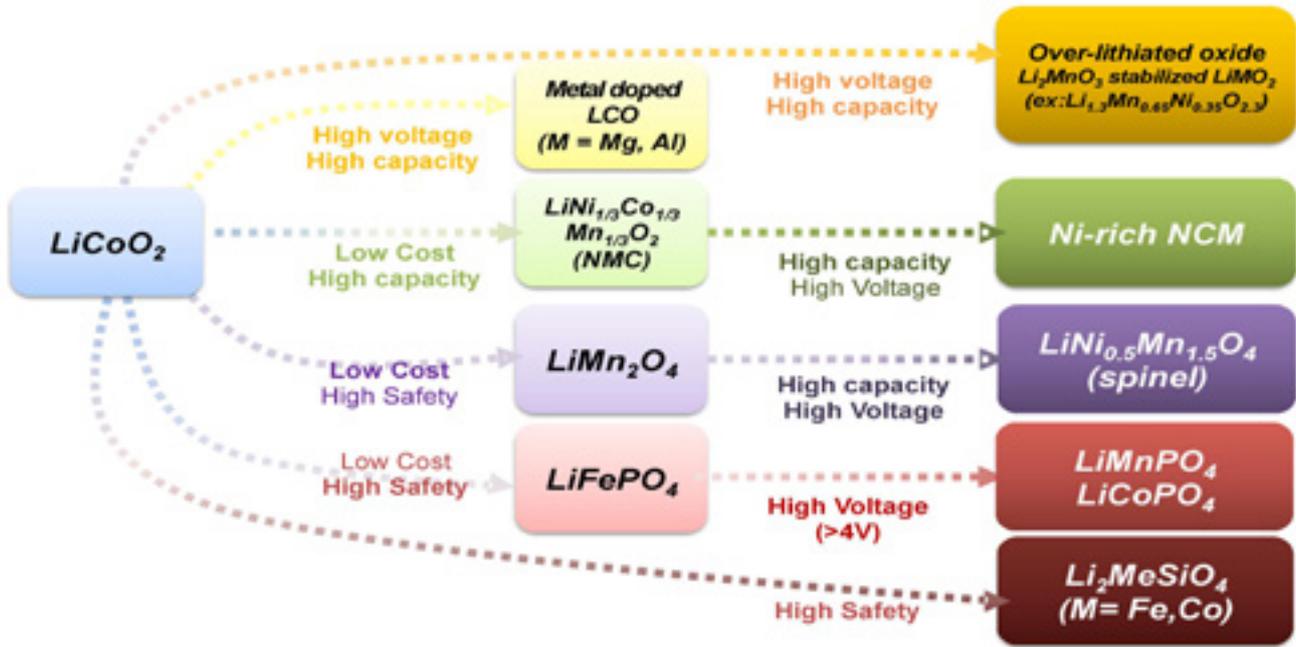
- The specific capacity of carbonaceous anode: ~ 370 mAh/g
- However, For xEV applications, the specific capacity should be improved !!

## Future Anode Materials: New Chemistry

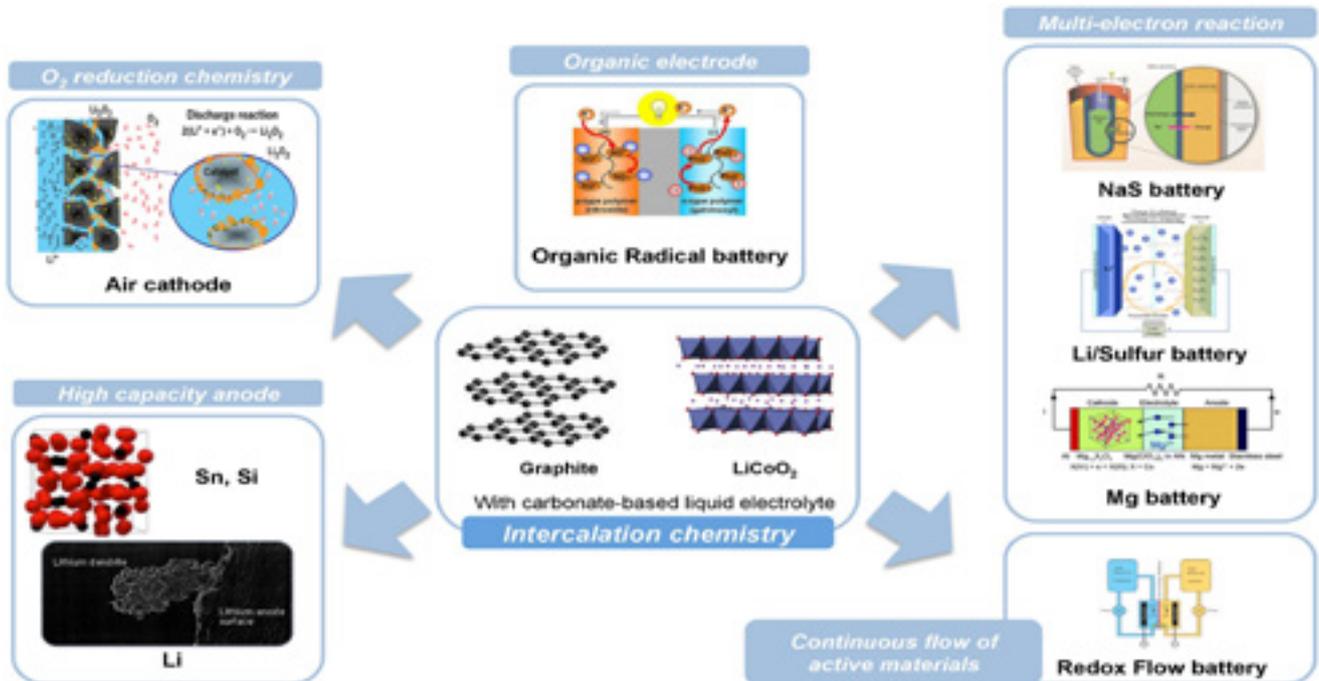
**Si is the very next material!**



## Current and Future Cathode Materials



## New electrochemistry of batteries



## 2. History: Legendary Scientists

### World Map of Battery Researchers (Cathode Area)



## What We Learned from History: Importance of Basic Research

### Original Patents



#### Anode: 2D Graphite

**In 1984  
Yazami  
CNRS, France**

**Insertion compounds of graphite with improved performances and electrochemical applications of these compounds**

May 25, 1984  
The present invention relates to insertion compounds with improved performances for electrochemical applications. They are characterized in that they are obtained from a graphite with a specific surface area of at least  $m^2/g$ , and a granulometry at most equal to  $4 \mu m$ . The graphite used is the graphite  $NI_{3,sub.2}$  first stage obtained from such a graphite used as constituting agent of the cathode of a lithium battery and it gives

All commercialized after ~10 years  
of optimization  
(from University to Industry)

#### Cathode 1: $LiCoO_2$ 2D Layered

**In 1980,  
Goodenough  
Oxford Univ., UK**

[24] ELECTROCHEMICAL CELL WITH NEW FAST ION CONDUCTORS

[14] Inventors: John B. Goodenough, Kaichi Mizushima, both of c/o United Kingdom Atomic Energy Authority, 11 Charles II St., London SW1Y 4QP, England

#### Cathode 2: $LiMn_2O_4$ 3D Spinel

**In 1983,  
Goodenough  
Oxford Univ., UK**

[14] SOLID STATE CELL WHEREIN AN ANODE, SOLID ELECTROLYTE AND CATHODE EACH COMPRISE A CUBIC-CLOSE-PACKED FRAMEWORK STRUCTURE

[15] Inventors: Michael M. Thackeray, Pretoria, South Africa; John B. Goodenough, Oxford, England

#### Cathode 3: $LiFePO_4$ 1D Olivine

**In 1996,  
Goodenough  
UT Austin, US**

CATHODE MATERIALS FOR SECONDARY (RECHARGEABLE) LITHIUM BATTERIES

Inventors: John B. Goodenough, Austin, Tex.; Akshaya K. Padhi, Lathrop, Ill.; K. S. Nanjundaswamy, Epsom, Mo.; Christian Masquelier, Dougogne, France

## Summary of Cathode Development

- ✓ Main stream in battery research
- ✓ Importance of original patents
- ✓ One genius can change the field
- ✓ Hope that 'next Goodenough' comes out from Korea
- ✓ Other technologies are also critical (separator, electrolyte, etc.)

## **Better Batteries**

- ✓ **Higher energy density: longer use per each charge**
- ✓ **Higher power density: better acceleration (for EVs)**
- ✓ **Longer cycle life: longer life time (1 year vs. 5 year)**
- ✓ **Safety: never catch a fire!**
- ✓ **Form factor: towards flexible and wearable**

17

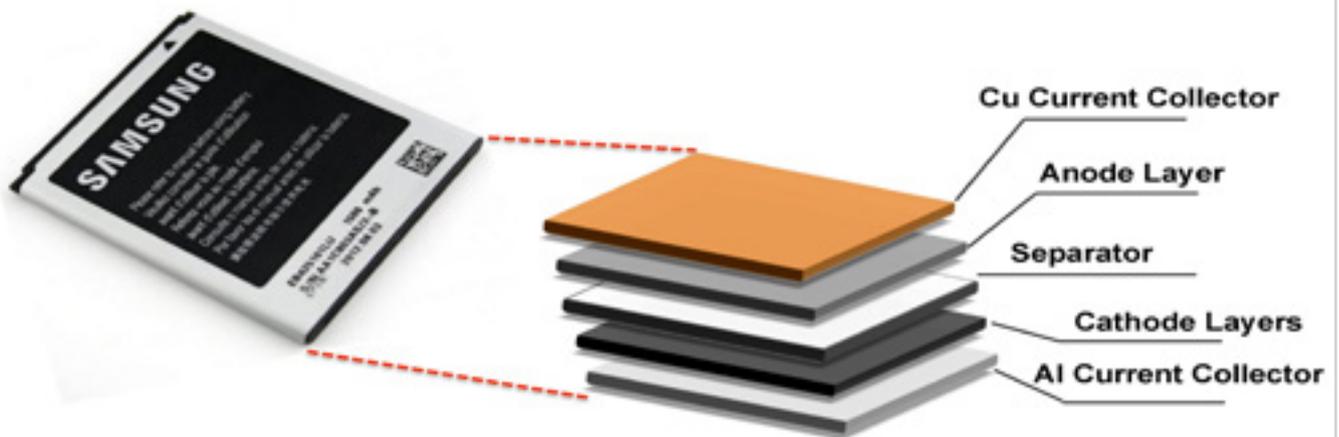
## **3. Wearable Rechargeable Batteries**

## Wearable Electronics



- 다양한 웨어러블 기기 출시
- 대응 전원 기술 전무
- 플렉시블 & 에너지 밀도 (제한된 부피)

## Basic Structure of Li-ion Battery



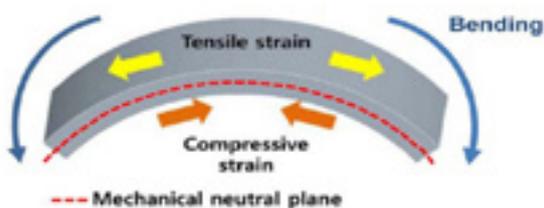
### Basic Structure of Commercial Li-ion Battery

- Metal current collectors transport electrons to the outlet.
- Only Li ions can pass through separator (Electric insulator).

## Available Approaches for Wearable LIBs

### Current Approach 1. Thin Film Batteries

#### Bendable Inorganic Thin-Film Battery: Vacuum-based Sputtering Process



#### Limitations

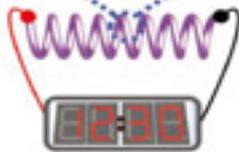
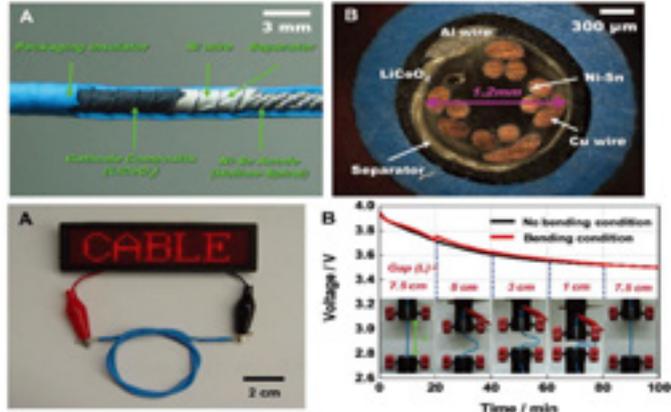
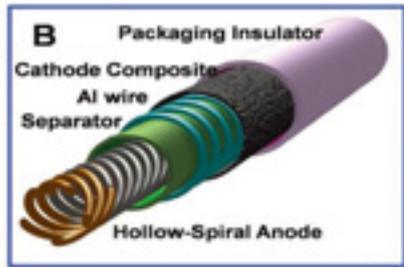
- Small Bending Tolerance
- Low Energy Density
- High Cost Process
- Li Metal Counter Electrode

*Nano Lett.* 2012, 12, 4810–4816

22

## Current Approach 2. Cable-type Batteries

### Cable-Type Battery Based on Hollow Multi-helix Electrodes



Flexible Cable-type Battery



#### Limitations

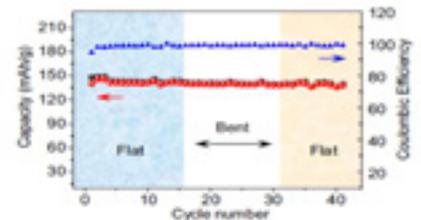
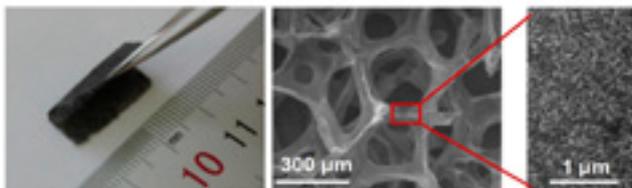
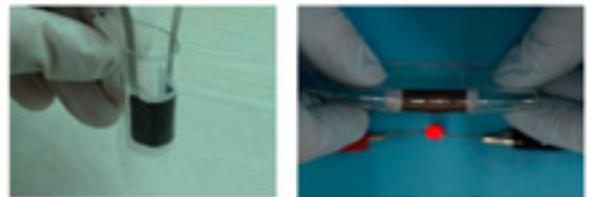
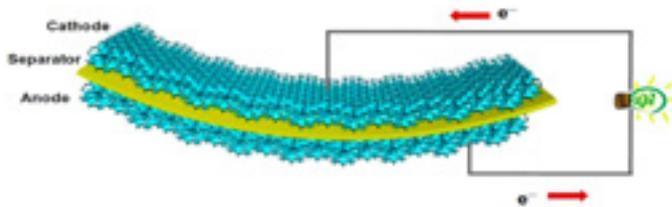
- Limited Energy Density
- Complex Fabrication Steps
- Cyclability

LG Chem. *Adv. Mater.* **2012**, *24*, 5192–5197

23

## Current Approach 3. Free Standing Electrodes

### Flexible Free Standing Graphene-based Electrodes



#### Limitations

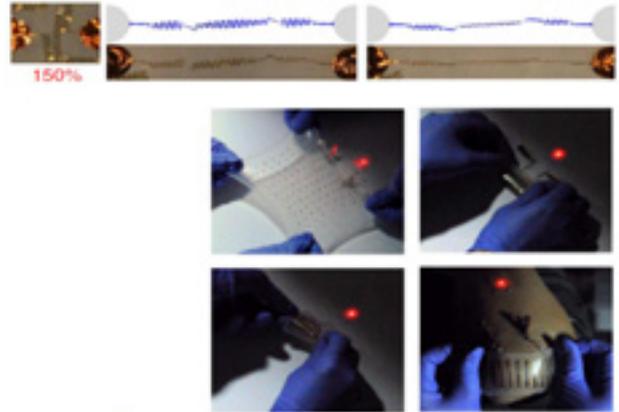
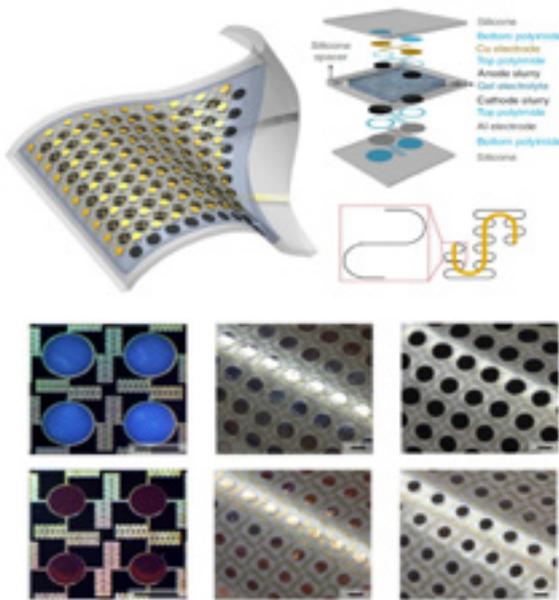
- Low Energy Density
- Complex & Expensive Process
- Limited Mechanical Tolerance

PNAS **2012**, *109*, 43, 17360-17365

24

## Current Approaches 4. Stretchable Battery

### Stretchable Battery Integrated with Wireless Recharging System



#### Limitations

- Limited Energy Density
- Complex & Expensive Process
- Hard to Scale-up

*Nature Commun.* **2013**, *4*, 1543

25

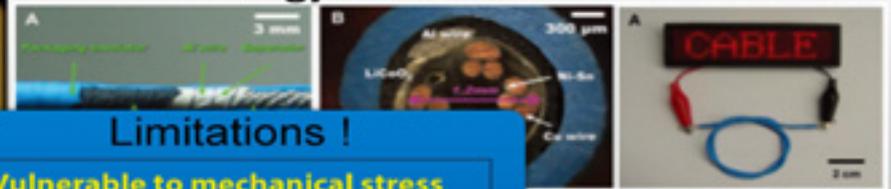
## Various Approaches for Flexible Batteries

### Strategy I: Thin film



*Nano Lett.*, **2012**, *12*, p 10-11

### Strategy II: Cable



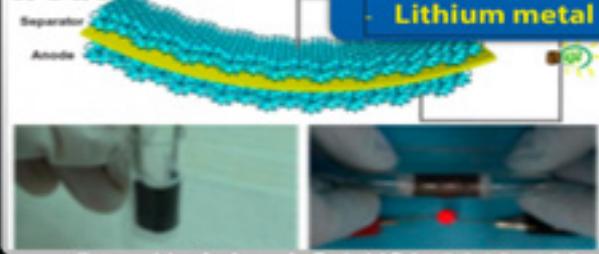
*Nature Commun.*, **2012**, *24*, pp 5192-5197

divided into small

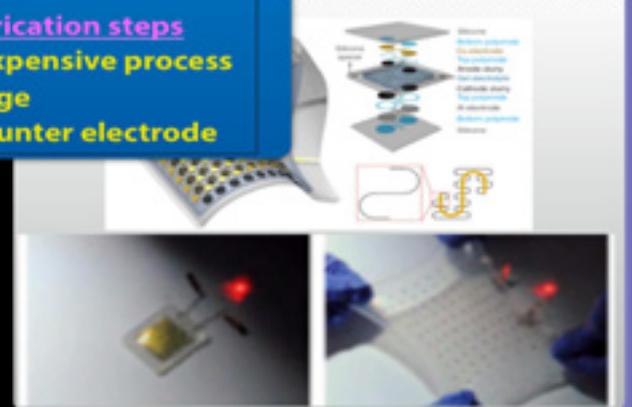
#### Limitations !

- **Vulnerable to mechanical stress**
- **Low energy density**
- **Cyclability**
- **Complicated fabrication steps**
- **Complicated & expensive process**
- **Electrolyte leakage**
- **Lithium metal counter electrode**

### Strategy III: Nanorod



*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **2012**, *109*, p 17360-17365



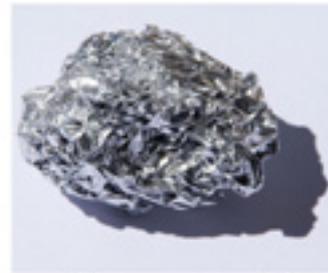
*Nature Commun.*, **2013**, *4*, 1543

## Current Limitation of Li-ion Battery

- *Low Mechanical Stability of Metal Foil*
- **Loss of Electrical Contact / Ripping, etc.**



Al Foil



- When crumpled



**The Right Strategy Should be....**

- *To switch the current collector with flexible materials.*
- *To switch other battery components to support flexible motions*

**Research at KAIST**

## Required Properties of Wearable Battery Components



### (1) Substrates Should ...

- Be Highly Electric Conductive & Flexible.
- Have Mechanical & Electrochemical Stabilities.



### (2) Binder Should ...

- Have Good Wettability & Adhesion.
- Be Electrochemically Stable.

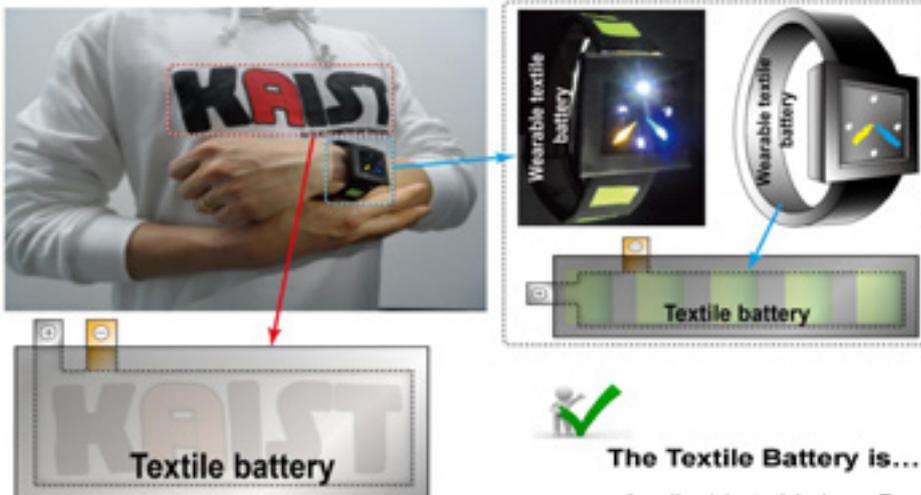


### (3) Separator Should ...

- Have Good Wettability & Ionic Conductivity.
- Have Thermal & Electrochemical Stabilities (Short-circuit free)

## First Target Applications of Wearable Textile Battery

### The First Target Applications

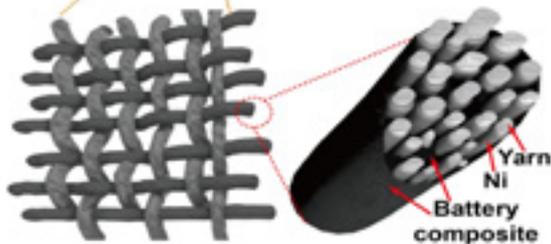
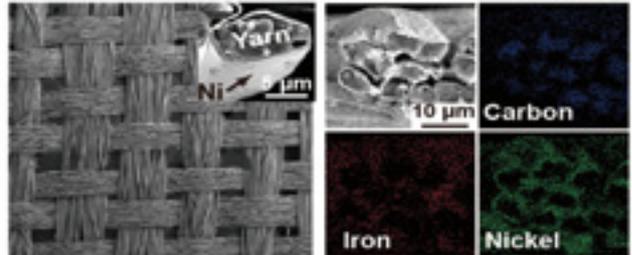
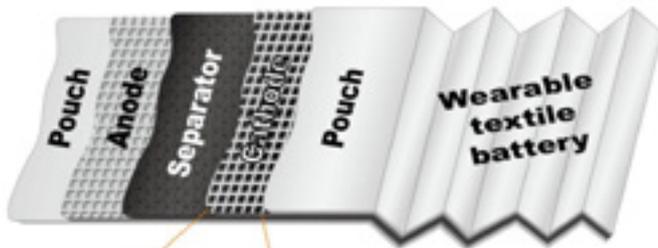


### The Textile Battery is...

- Applicable to Various Portable Electronic Devices
- Adaptable to Existing Cell Assembly Line

## Conductive Textile based Electrodes

### Basic Cell Configurations

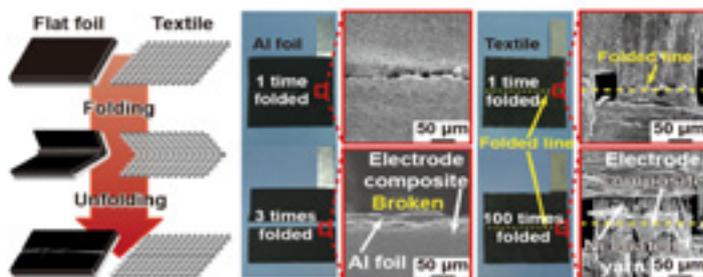


- Nickel Electroless Deposition ( $\sim 0.35 \Omega/\text{sq}$ )
- Conformal Coating of Ni
- Textile substrate gives outstanding mechanical strength with high surface area.

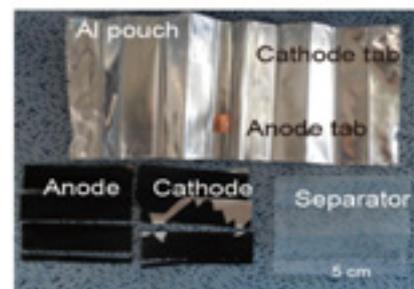
*Nano Lett.* 2013, 13, 5753-5761

## Mechanical Tests for Textile Substrates

### Folding Test

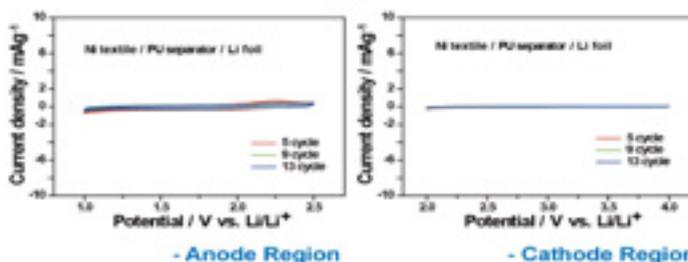


### Conventional Battery



- Cell Components after Folding Test

### Electrochemical Stability Tests for Textile Substrates



The Ni-coated textile substrate can...

- Release the stress due to its 3D structure
- Stay stable in Li-ion electrochemical environments

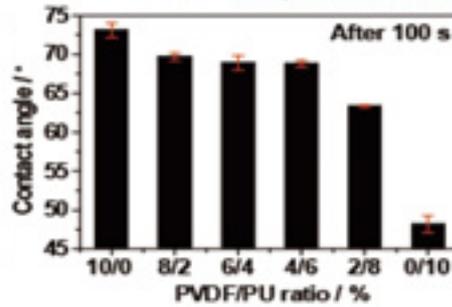
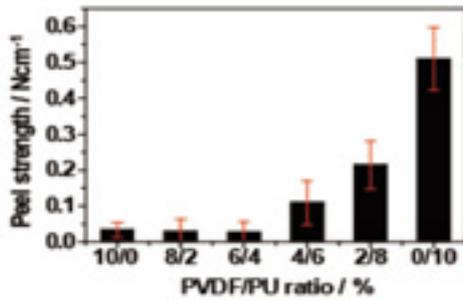
*Nano Lett.* 2013, 13, 5753-5761

## Polyurethane as Binder & Separator

### PU as an Electrode Binder



Superior Adhesion & Wettability  
compared to PVDF

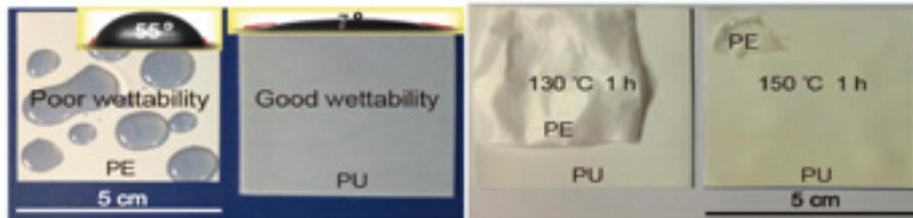


※ PVDF = Commercial LIB Binder

### PU as a Separator Material



Superior Thermal Stability & Wettability  
compared to PE

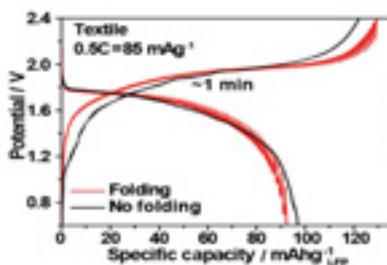


※ PE = Commercial LIB Separator

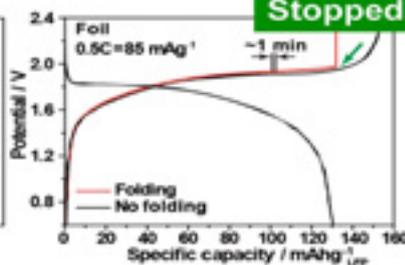
*Nano Lett.* 2013, 13, 5753-5761

## Electrochemical Performance (LTO // LFP Full-Cells)

### 1<sup>st</sup> Charge-Discharge Profiles under Folding Motions



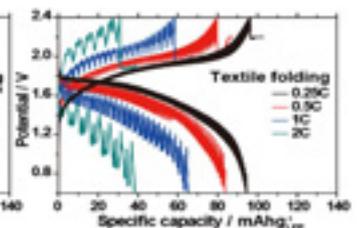
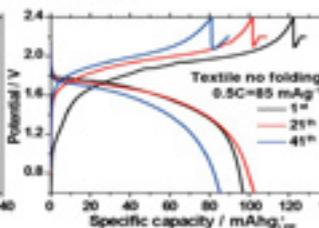
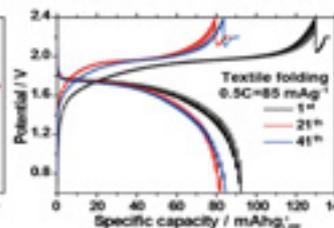
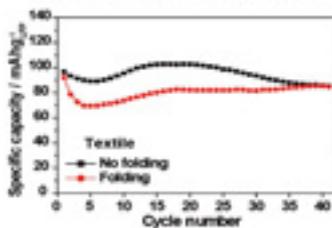
- Textile Based Battery



- Foil Based Battery



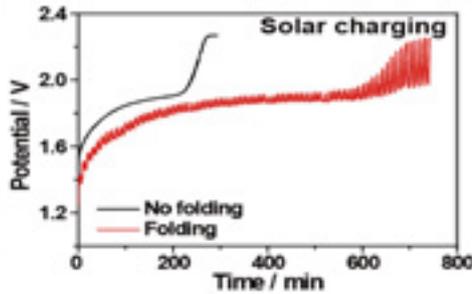
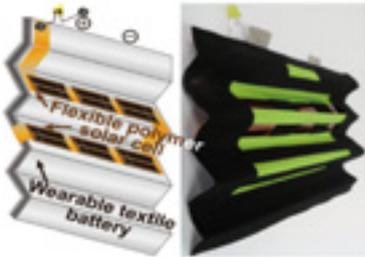
### Rate and Cycling Tests of the Wearable Textile Battery



*Nano Lett.* 2013, 13, 5753-5761

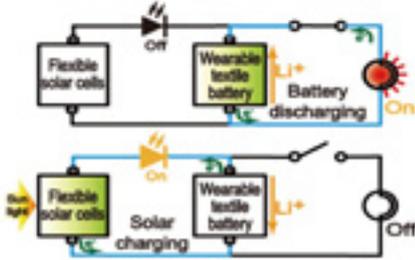
## Solar Charging Capability

### Wearable Textile Battery Charged by Solar Cell



- Textile Battery with Solar Charging

### Wearable Textile Battery Discharge



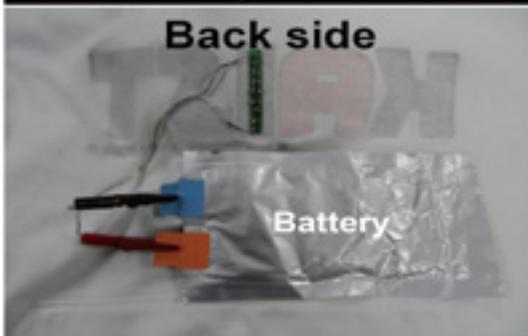
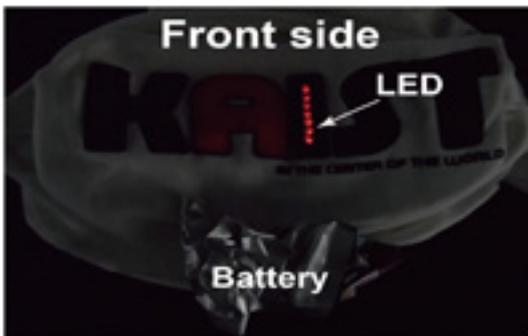
Textile Battery is...

- Integrated with flexible solar cell
- Well charged by solar energy
- Rechargeable anywhere

*Nano Lett.* 2013, 13, 5753-5761

Collaboration w/ Prof. Jung-Yong Lee

## Wearable Textile Battery Embedded in Clothes



Single 65 ~ 260 mAh  
 1.85 V  
 6 x 15 = 90 cm<sup>2</sup>  
 5 ~ 20 mg/cm<sup>2</sup>

*Nano Lett.* 2013, 13, 5753-5761

36

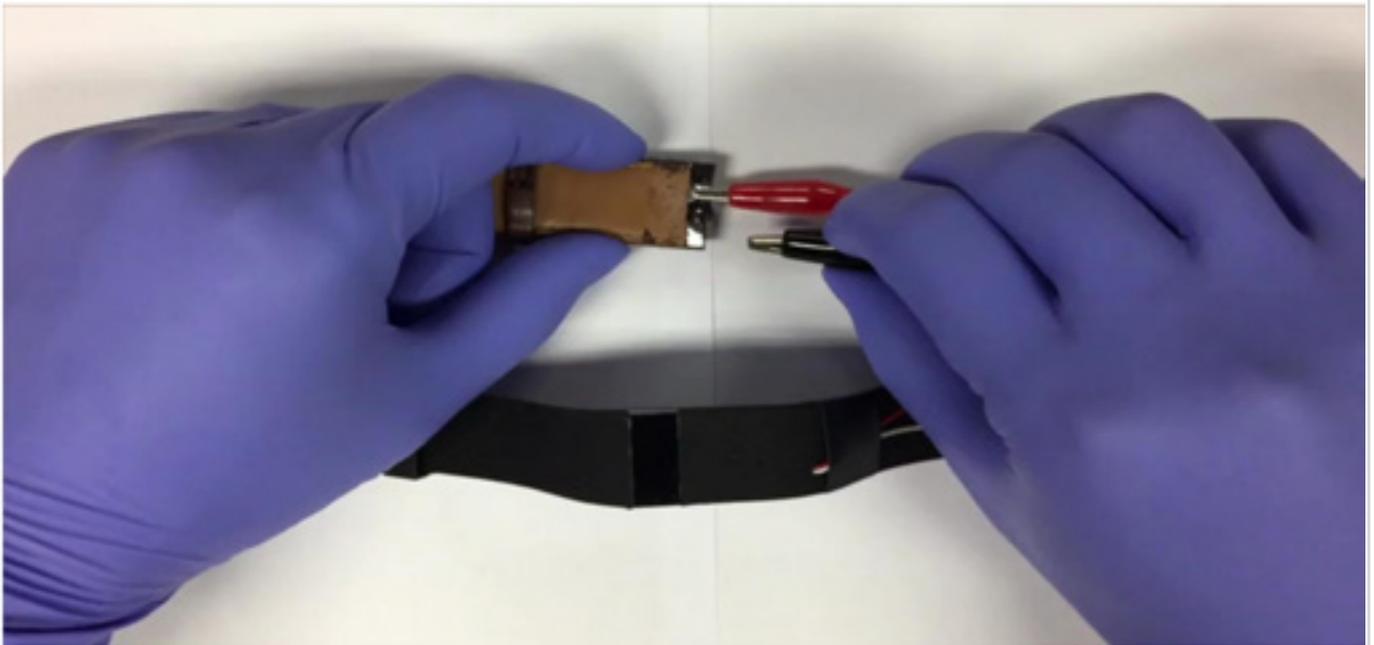
## Wearable Textile Battery Strap for Wrist Watch



Single 20 ~ 30 mAh  
1.85 V  
 $1.5 \times 7 = 10.5 \text{ cm}^2$   
15~20 mg/cm<sup>2</sup>

*Nano Lett.* 2013, 13, 5753-5761

37





## Target Applications of Multi-Stacked Wearable Battery



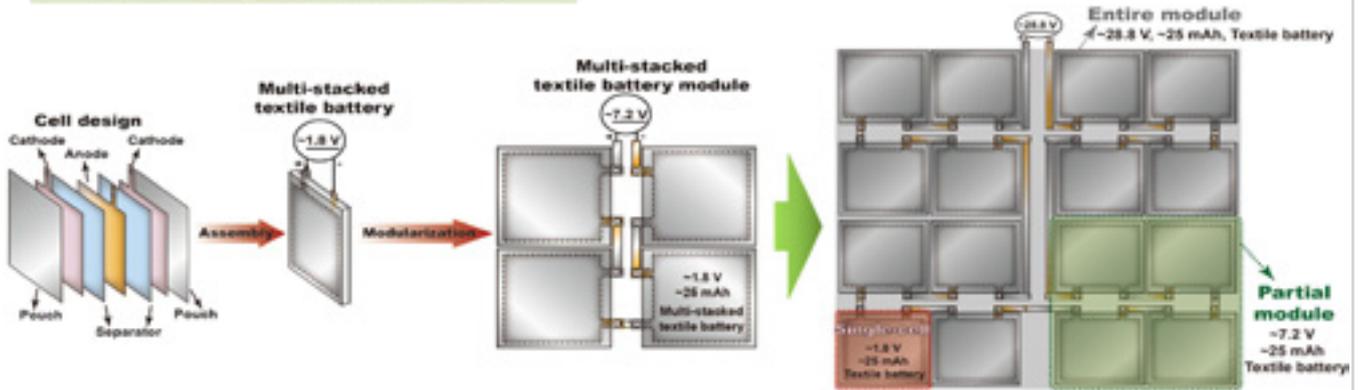
**The Multi-Stacked Textile Battery is...**

- Applicable to large scale applications (tent, blind, military, etc.)
- Improved energy density & output voltage.

*J. Mater. Chem. A* 2014, 2, 10862-10868

## Basic Concept of Multi-Stacked Wearable Battery

### From Single-Cell to Module



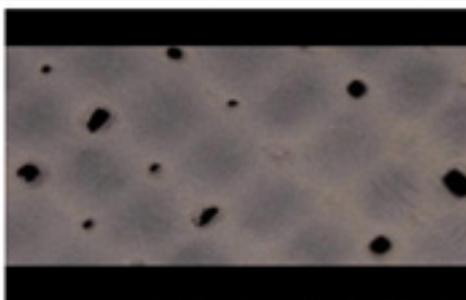
### The Multi-Stacked Textile Battery ...

- Consists of 2 sheets of cathode & 1 sheet of anode for high energy density.
- Additional degrees of freedom in module design (Voltage, Capacity, etc.)

*J. Mater. Chem. A* 2014, 2, 10862-10868

## The Effect of Woven Method on Electrode Stability

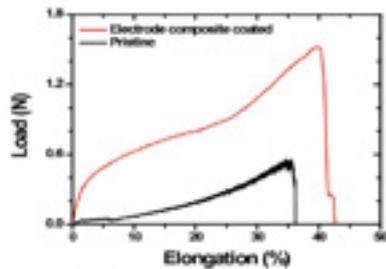
### Structural Changes during Tensile Motions



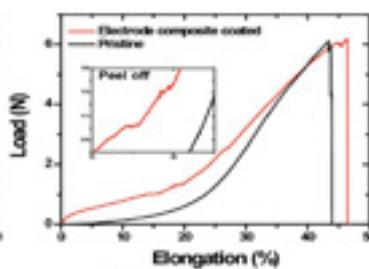
- Loosely-Woven Textile substrate



- Finely-Woven Textile substrate



Loosely-Woven



Finely-Woven



Loosely-woven textile substrate can release the stress more efficiently compared to finely-woven textile substrate

*J. Mater. Chem. A* 2014, 2, 10862-10868

## Far Future: Integration onto Skin

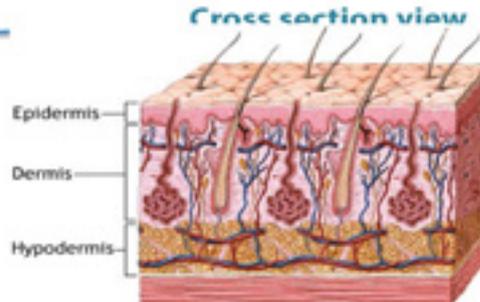
# Inspiration

Gesture command: Iron Man



# Background

What is a structure of the skin??



Top view



# Background

What is properties of the skin??



Epidermis (상피)

Dermis (진피)

Table 1.1: Summary of in vivo measured Young's moduli of the entire skin.

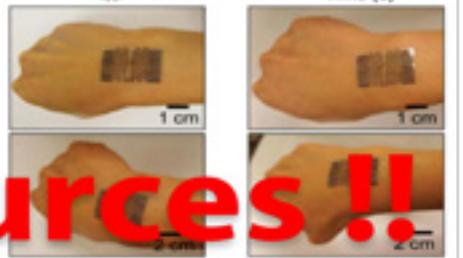
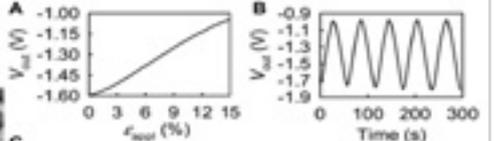
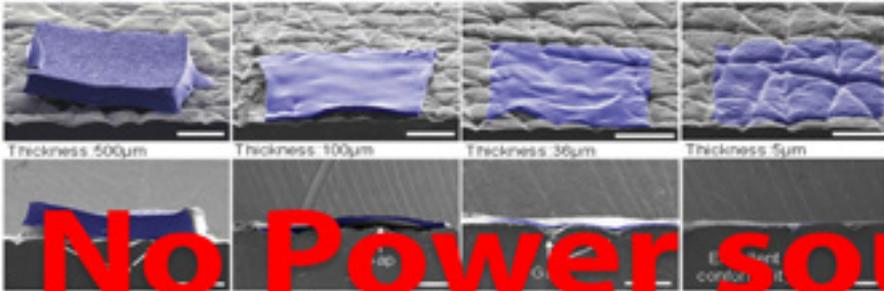
method	Modulus [MPa]	test region	reference
tensile	$E_{\parallel} = 20$	leg	Manschot (1985)
	$E_{\perp} = 4.6$	leg	Manschot (1985)
torsion	$E = 0.42$	dorsal forearm (<30 yr)	Agache et al. (1980)
	$E = 0.85$	dorsal forearm (>30 yr)	Agache et al. (1980)
	$E = 1.12$	ventral forearm	Escoffier et al. (1989)
suction	$E = 0.13-0.26$	various anatomical sites	Barel et al. (1995)
indentation	$E = 1.99 \cdot 10^{-3}$	male thigh	Bader and Bowker (1983)
	$E = 1.51 \cdot 10^{-3}$	male forearm	Bader and Bowker (1983)
	$E = 1.09 \cdot 10^{-3}$	female forearm	Bader and Bowker (1983)

Nylon: 3,000,000 kPa  
Rubber: 10,000 kPa

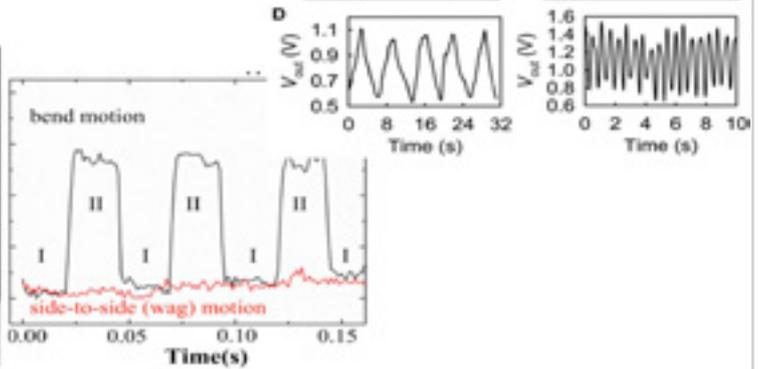
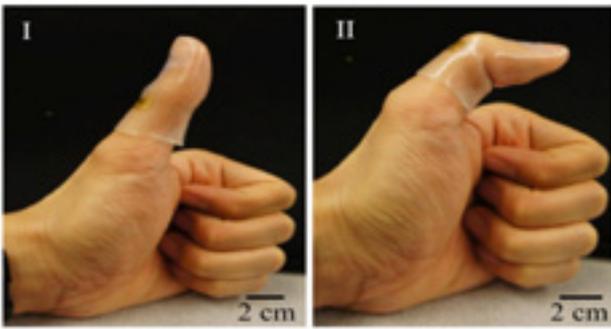


# Realization

What did people do?: J. Rogers Group @ UIUC



**No Power sources !!**



# Material Search

Starting materials for a skin battery case

Before

Intermediate

After



**Ecoflex is very flexible and elastic!!**

Epidermis (상피)

Dermis (진피)

Modulus: 140 – 600 kPa  
Thickness: 0.05 – 1.5 mm

Modulus: 2 – 80 kPa  
Thickness: 0.3 -3 mm

Ecoflex(특수분장용 고무): 10 - 100 kPa

# Material Search

## Making smaller thickness - Why?

### Young's modulus (E)

$$E \equiv \frac{\text{tensile stress}}{\text{extensional strain}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{A_0\Delta L}$$

$E$  is the Young's modulus (modulus of elasticity)

$F$  is the force exerted on an object under tension

$A_0$  is the original cross-sectional area through which the force is applied

$\Delta L$  is the amount by which the length of the object changes

$L_0$  is the original length of the object.

	Epidermis	Dermis	Al	Cu	Si	Metal oxide	Ecoflex
Modulus (kPa)	140-600	2-80	$69 \times 10^6$	$117 \times 10^6$	$130-185 \times 10^6$	$14-103 \times 10^6$	10-100

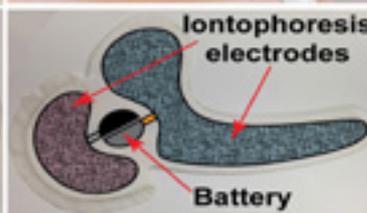
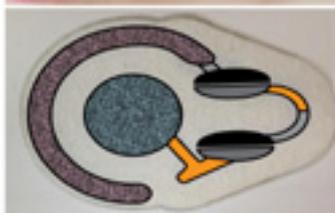
## Smaller Thickness → Smaller Force

Skin-adaptable batteries still require new materials for all battery components including cases.

## Thin Flexible Batteries: before Stretchable Batteries

### First Target Applications

#### Health care



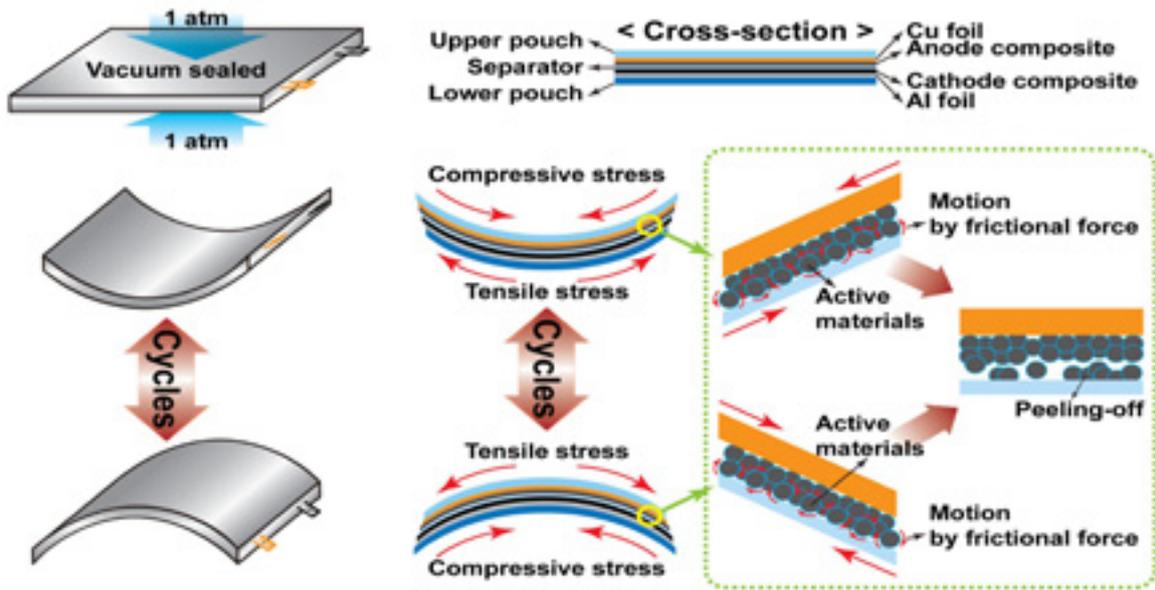
#### Small IT device



## Thin Flexible Batteries: before Stretchable Batteries

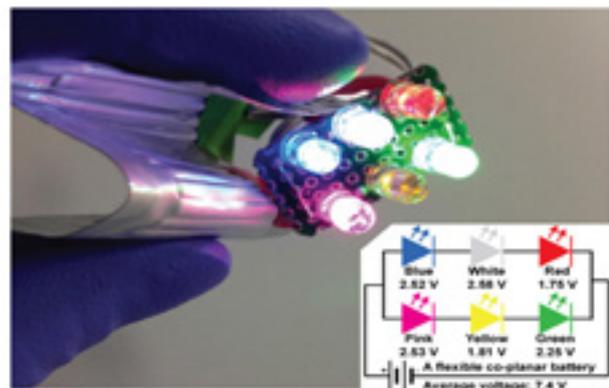
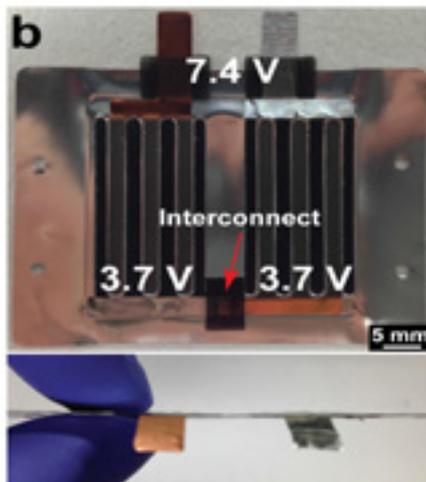
How can we make thinner? **Beyond Co-facial Structure**

### Co-facial geometry batteries



## Co-planar Structure (Thickness < 0.5 mm)

Anode/Cathode on the same plane

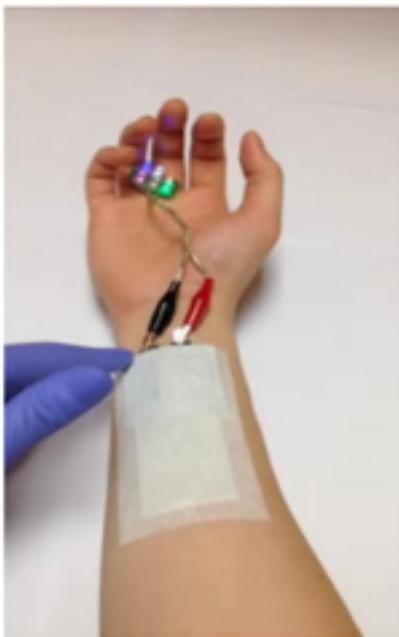


**Co-planar → Thinner & Better for Bending Motions**  
**Pouch Inter-electrode Barriers**

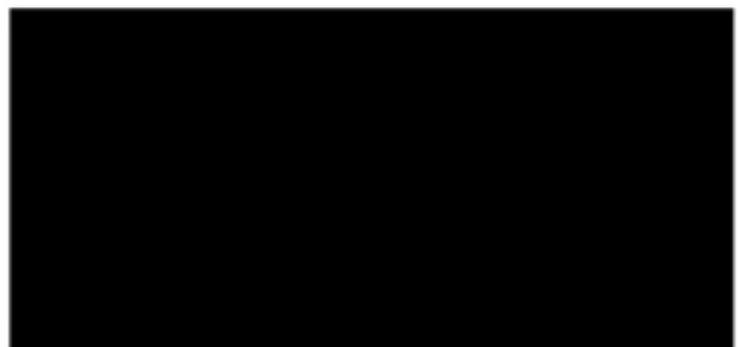
## Bending Tests



*Nano Lett.* 2015, 15, 2350-2357



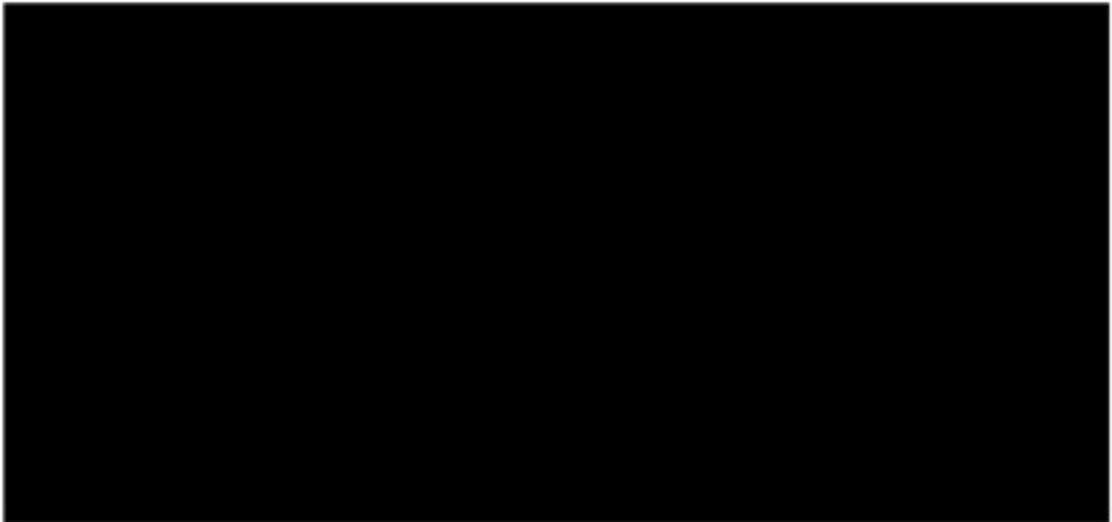
**Medical Patch**



**Mechanical Stability**

*Nano Lett.* 2015, 15, 2350-2357

## Wireless Recharging Demonstration



전자기유도 방식 & Solar Charging

*Nano Lett.* 2015, 15, 2350-2357

## Beyond Watches

### Simple & Versatile Battery Technology



outdoor clothes



smart watch  
health band



beats solo



military



outdoor  
building  
display, etc.

## Thanks to...



**Thank You for Your Attention!!!**

# 세션4/ 지구과학

## [기후변화에 따른 기상재해 산정]

기후변동성과 기후변화에 대한 과학적 지식과 방법론으로  
재해와 사회에 미치는 영향을 연구하는 것의 필요성

남채현 (서울대학교 지구과학 석사과정 1학년)

# 기후변화에 따른 기상재해 산정 - 태풍의 예

2015. 11. 21.

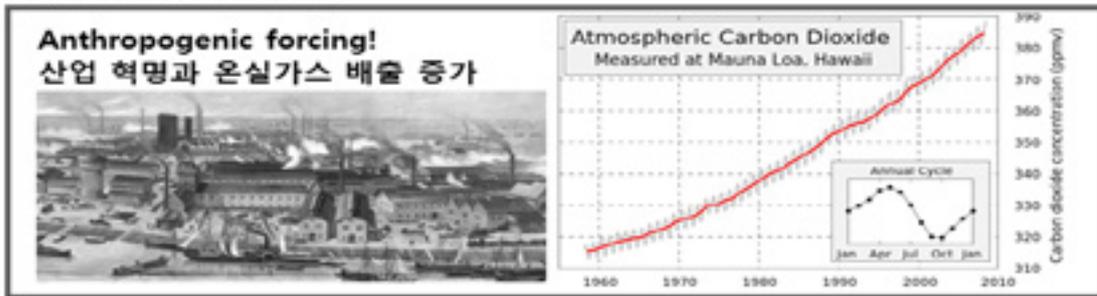
서울대학교 지구환경과학부  
남채현

2

## 기후변화와 인간 사회 경제 활동



Q. 지구온난화의 원인은?



Q. 지구온난화의 결과는?

**다시 우리 인류 사회의 문제로 돌아온다!**

지구 온난화로 인한 우리 사회의 손익은 어느 정도 인가?  
= 여러 경제학자들이 최근 30여 년 간 활발히 연구하는 주제!

그러나, 각 전망들의 불확실도가 매우 크고 서로 상충되고 있다

# 지구온난화의 편익 비용 분석



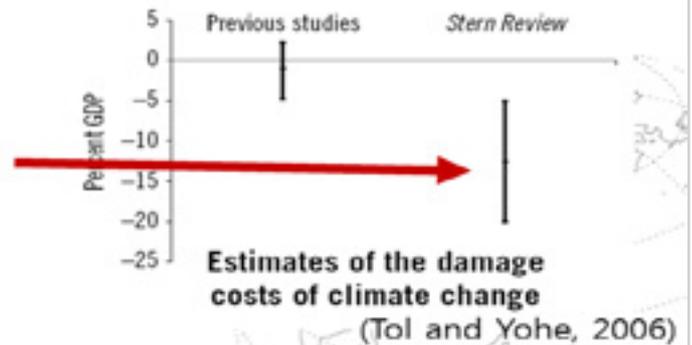
[지구온난화의 총체적 경제 효과 추정 결과]

(Smith et al., 2001)

1990년 대비 온도 증가	world GDP 변화
2°C 이하	대다수 연구가 소폭 증가 예상 (주로 농업 생산량 증가 때문)
2°C 이상 3°C 이하	소폭 감소 혹은 소폭 증가 예상
3°C 이상	거의 많은 연구가 총체적 손실 예상

➡ 그러나, 이러한 연구들은 지구 온난화로 인한 극한 기상과 재해 손실을 제대로 다루지 못하고 있음

Stern(2006)은 재해 위험도 분석을 바탕으로 한 경제 효과 추정 결과, 이전 연구들과는 달리 World GDP가 큰 폭으로 감소할 것이라고 전망함.



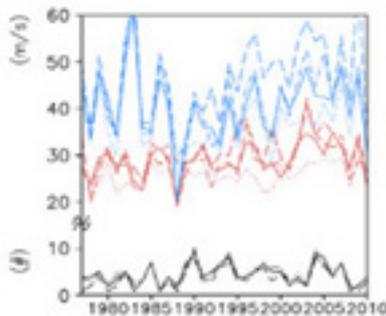
# 지구온난화와 기상재해의 관계



## 온난화로 인해 재해기상이 증가한다

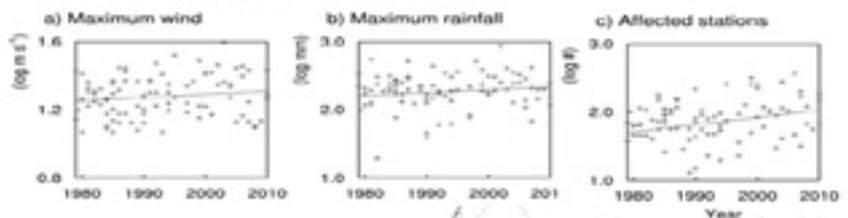
- IPCC (2007) “집중호우와 열파의 빈도가 증가했고, 가뭄 지역이 확장되고 있으며, 태풍 활동도 증가하고 있다”
- UN- ISDR (2009) “자연 재해 발생 횟수가 매우 가파르게 증가하고 있다.”

### 동아시아 상륙 태풍 강도 증가



(Park et al., 2014)

### 관측소(station) 자료 기반 한반도 상륙 태풍 강도 증가 (바람과 강수, 영향 스테이션 수)



(Park et al., 2015)

— RSMC  
 - - - JTWC  
 - - - HKO  
 - - - STI

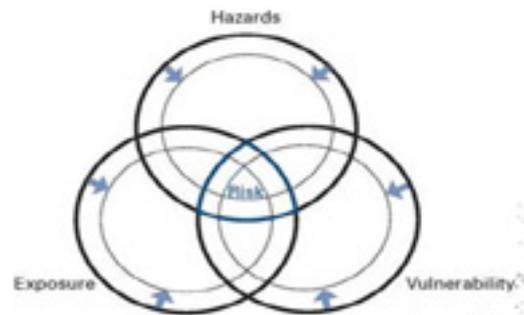
## 재해 연구의 복합적 성격



- 재해로 인한 피해(Risk)는 Hazard(위험요소), Exposure(노출도), Vulnerability(취약성)이 복합적으로 작용.

[재해 피해 저감 관리 다이어그램]

(예시) 발생 태풍의 강도(Hazard)가 증가해도 그 사회가 태풍에 노출(Exposure)이 되지 않으면 재해로 인한 피해는 없고, 사회의 대비능력(Vulnerability)이 증가하면 피해가 크게 증가하지 않을 수 있다.



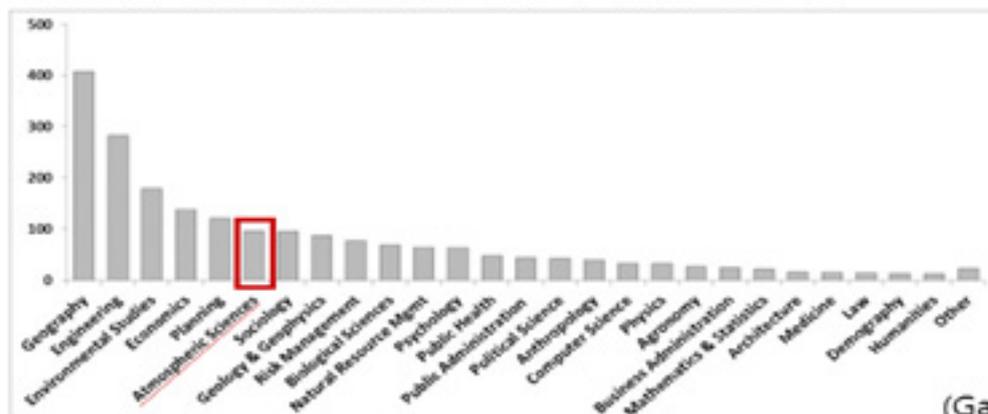
➔ **통합적 연구가 필요하다!**

## 현재 기상 재해 연구의 한계



- 재해 연구는 본질적으로 여러 학제 간 통섭이 필요하지만 현재 이 그 복합성으로 인해 충분히 잘 이루어지고 있지 않다.
- 특히 대기과학 분야가 매우 약세를 보임.

[각 연구분야별 학제간 통섭을 통한 재해 연구 논문 수]



(Gall et al., 2015)



# 통합적 연구 1: 한국 태풍 피해 추정 모델 개발

$$D_{i,2005} = Y \times W_i^\alpha \times R_i^\beta \times S_i^\gamma \times I_i^\delta$$

Y : 회귀분석 상수  
W : 바람  
R : 강수  
S : 영향 스테이션 수  
I : 1인당 소득

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  : 회귀분석 계수  
i : 각 태풍  
y : 각 연도

	Wind + Rain + NAS + IC	Wind + Rain + NAS	Only Wind	Only Rain	Only NAS
Homeless	0.34	0.28	0.05	0.28	0.12
Casualties	0.44	0.36	0.13	0.36	0.14
Property losses	0.52	0.52	0.26	0.43	0.41

→ 분석 결과, 선행 연구들과 달리 바람만 인자로 분석하는 것이 아니라 **강수와 영향 스테이션의 수까지 예측인자로 추가하는 경우, 태풍피해 변동성을 더 잘 설명함.**

Park et al. (2015) Evidence of reduced vulnerability to tropical cyclones in the Republic of Korea. *Environmental Research Letters*

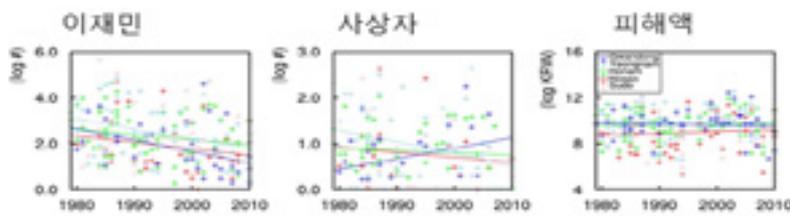


# 기상-통계적 방법으로 사회적 적응과 취약성 감소에 대한 증거를 찾다

	Wind	Rain	NAS	Income per capita
Homeless	1.14	2.38*	0.96*	-1.30*
Casualties	1.10*	1.76*	0.27	-0.96*
Property losses	2.37*	1.52*	1.02*	-0.41

\* : 95% 신뢰수준에서 유의함

- 강수는 모든 피해 지수에 대해 유의한 변수로 나타남.
- 1인당 소득과 모두 음의 상관관계 보이는 것이 태풍 피해에 대한 사회적 적응의 증거임.



다섯 지역: 관동, 영남, 호남, 호서, 수도권

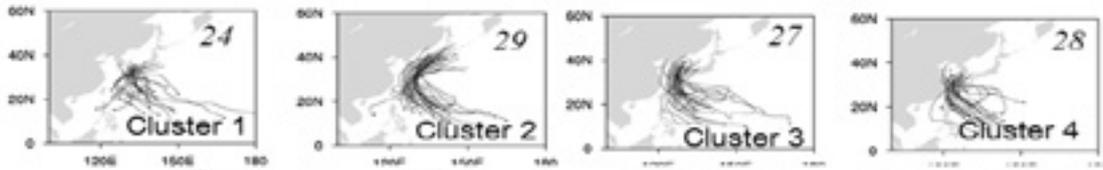
- 다섯 지역으로 나눈 분석에서도 태풍에 대한 노출도와 사회적 변수(인구, 산업 양식 등)의 차이에도 불구하고 모두 피해 감소 경향이 관찰됨.
- 태풍피해에서 나타난 적응 효과에 기여한 요인이 **방재 노력에 따른 취약성 감소**일 가능성 시사

Park et al. (2015) Evidence of reduced vulnerability to tropical cyclones in the Republic of Korea. *Environmental Research Letters*

# 통합적 연구 2: 태풍진로별 피해분석



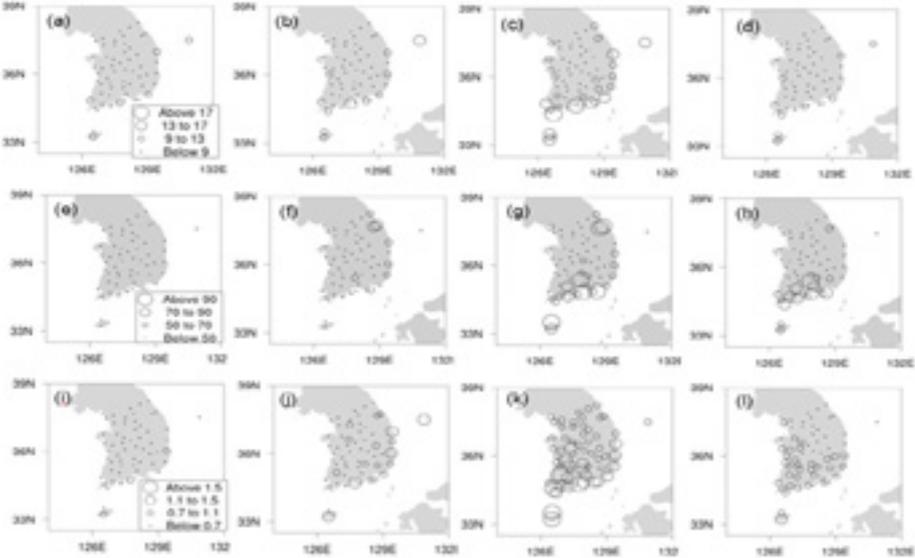
- C1: 짧은 동쪽
- C2: 긴 동쪽
- C3: 긴 서쪽
- C4: 짧은 서쪽



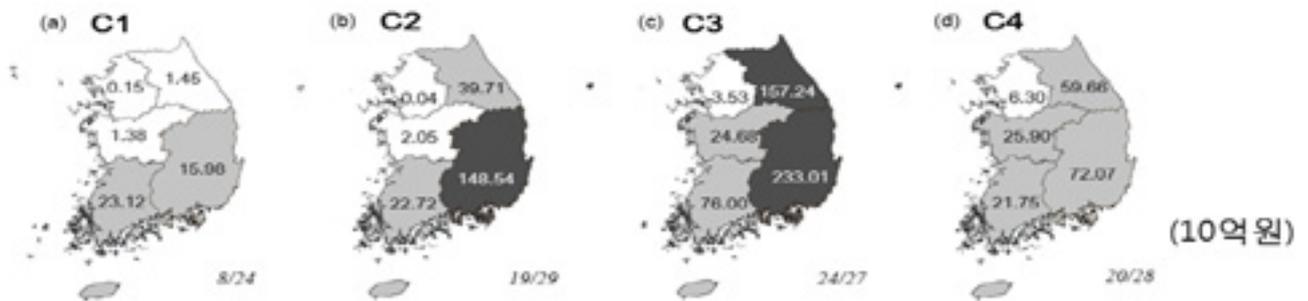
**바람 강도 (m/s)**  
 전반적으로 해안가에서 강한 바람  
 TS 진로 길이가 긴 C2, C3 강한 바람.

**강수 강도 (mm)**  
 남서 해안으로 접근한 C3, C4가 전면 수렴대 형성과 지형 효과로 인해 많은 강수 야기.

**노출도 (스테이션 수)**  
 진로 유형을 모양과 가장 유사한 공간 패턴을 보임.



# 진로 군집별로 피해가 다르고 피해와 가장 유 관한 인자가 다르다



	영향 스테이션 수	바람	강수	R <sup>2</sup>
C1 (6)	2.20	0.79	-1.20	0.94
C2 (17)	<b>0.49</b>	<b>0.63</b>	0.15	0.80
C3 (18)	0.24	<b>0.48</b>	<b>0.38</b>	0.80
C4 (16)	<b>1.00</b>	-0.10	0.18	0.59
All (57)	<b>0.57</b>	<b>0.45</b>	<b>0.27</b>	0.67

- 관통한 C3는 바람과 강수의 최대 강도(Hazard)가 피해와 관련한 인자
- 한반도를 스쳐간 C2, C4는 영향 스테이션 수 (Exposure)가 가장 주요한 인자

95%에서 유의미한 계수



# 결론

- 기후변동성과 기후변화 만에 대한 과학적 지식은 한 스텝에 불과하다.

**우리는 기후변화가 어떻게 우리 사회에 영향을 미칠 것이며, 왜 이러한 방식으로 우리가 영향을 받고 있는지에 대해서도 알아야 한다!**

- 기후변화에 대한 과학적인 지식과 방법론을 가지고 재해와 사회에 미치는 영향까지 연구하는 것이 필요하다.
- 이러한 연구들을 통해 접근 태풍의 진로와 강도에 따른 피해 예보, 방재 대책 수립이 가능하고 직접적인 사회 손실을 저감시킬 수 있다.



# 감사합니다



## [인류세와 지구환경변화]

‘인류세’라는 용어가 지니는 의미와 지구환경변화 연구의 중요성

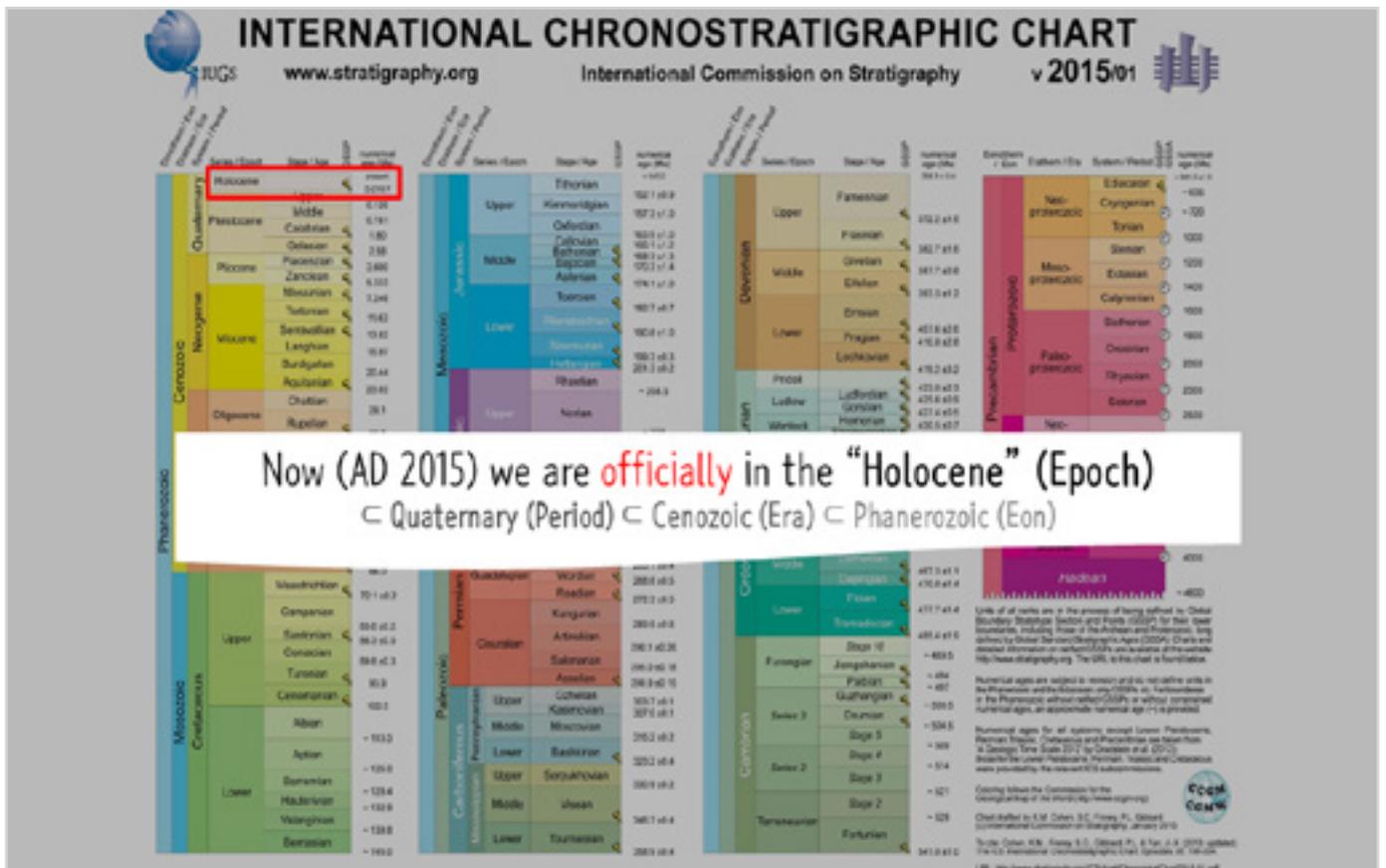
변은지 (서울대학교 지구과학 석사과정 3학년)

# 인류세와 지구환경변화

- '인류세'라는 용어가 지니는 의미
- 지구과학 연구를 계속할 이유

제1회 온드림 임팩트 대학(원)생 학술세미나  
어떤 과학으로 아름다운 미래사회를 만들어 갈 것인가?

현대차 정몽구 재단 기초과학(지구과학) 석박사장학생  
서울대학교 병하/고기후 연구실 석사과정 변은지





**Welcome to the Anthropocene**

Jon Berkeley

“Humans have changed the way the world works. Now they have to change the way they think about it, too.”

- The Economist, May 26<sup>th</sup> 2011

Anthropo, meaning “Human”  
-cene, the standard suffix for “epoch” in geologic time



<http://www.digitrends.com/india/world-population-to-10-7-billion-by-year-10-billion-2011>

The Earth's geological conditions are **profoundly altered** by human activities



<http://img.ayrpk.com/multimedia/wikimedia/commons/1/10/WelcometoFabulousLasVegas.jpg>

Becoming a **popular scientific term** used by Scientists, Public, and Media



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Welcome\\_to\\_Fabulous\\_Las\\_Vegas.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Welcome_to_Fabulous_Las_Vegas.jpg)

<http://www.atgnc.com/news/anthropocene-information.asp>

“The Holocene has terminated.”  
 - the ‘Anthropocene’ Working Group



<http://www.theatlantic.com/photo/2015/07/70-years-since-trinity-when-we-blasted-nuclear-bombs/96702/>

Defining the Anthropocene:  
 “Alternatives” to the current geological time scale

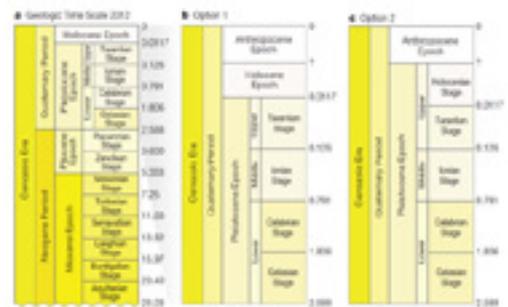
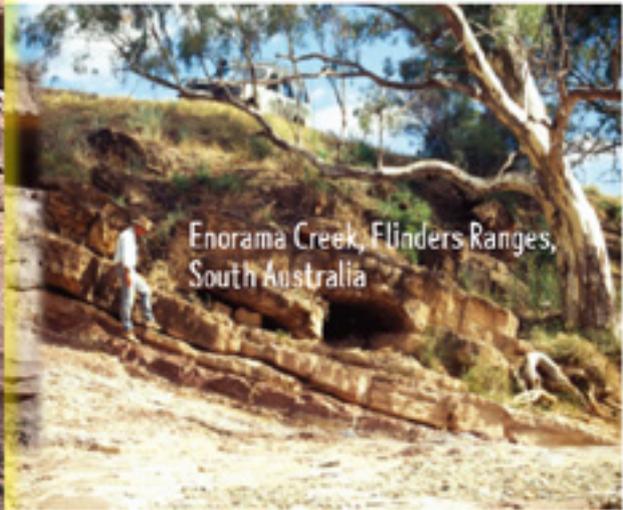
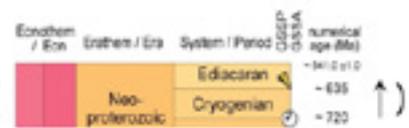


Figure 1: Lewis and Maslin (2015)



Scientific justification:

"GSSP, Global (Boundary) Stratotype Section and Point" e.g. (



Formal definition for the base of the Holocene  
 "1492.45 m depth with in the NGRIP ice core"

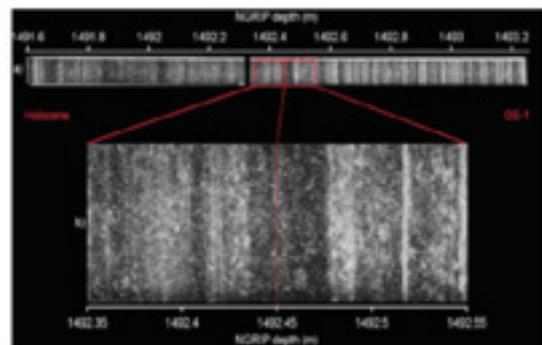


Figure 4: Walker et al. (2009)

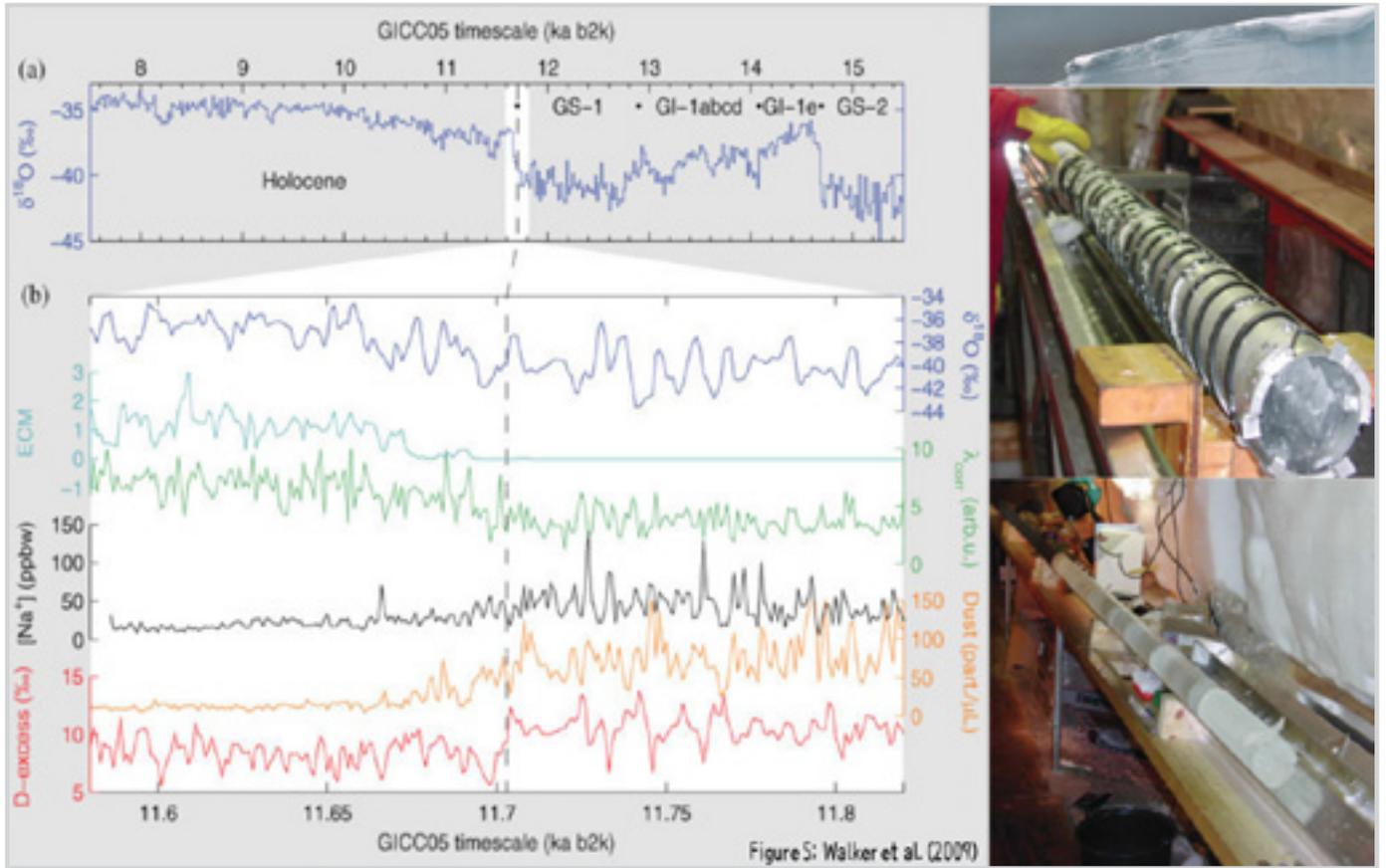


Figure 1: Walker et al. (2009)

Where and what could be the golden spike for the Anthropocene?

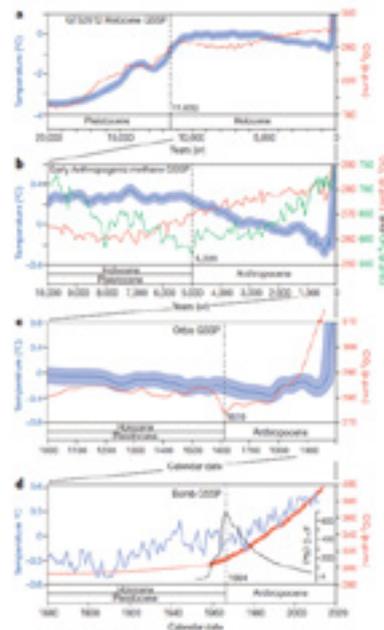
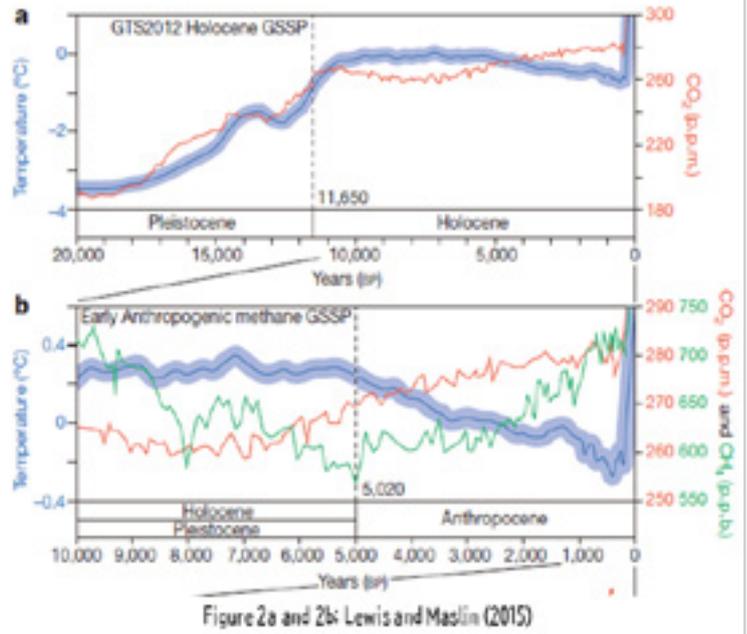
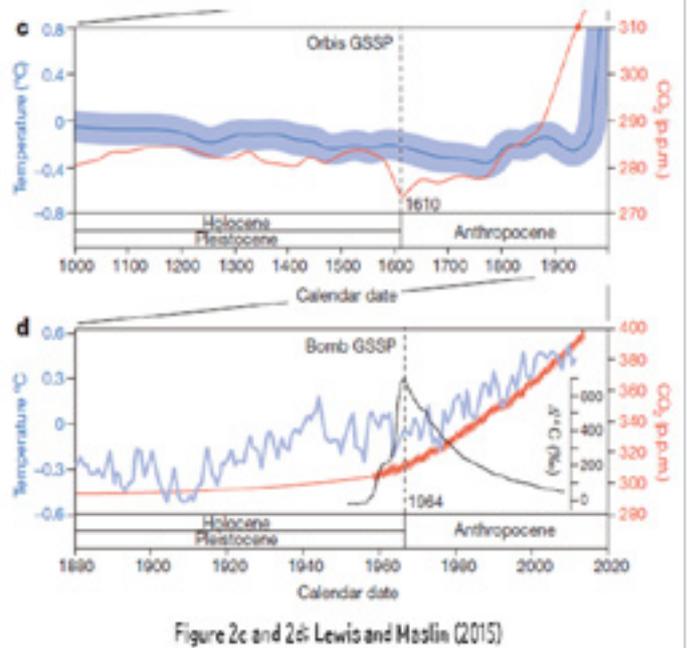


Figure 2: Lewis and Maslin (2015)

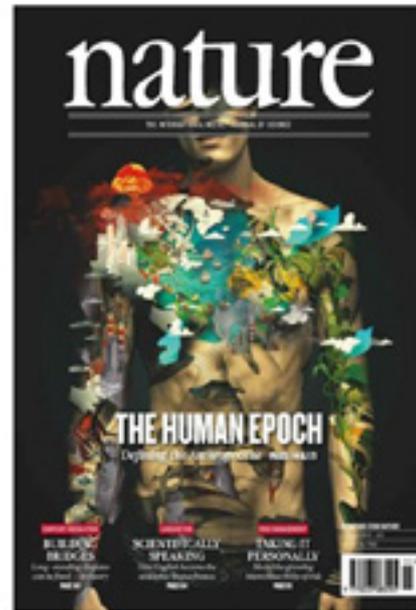
An early start date? It may 'normalize' global environmental change.



A later start date? Historical 'responsibility' for CO<sub>2</sub> emissions to particular countries.



Anyway, the formal establishment of an Anthropocene epoch means . . .



<http://www.nature.com/news/2013/0519/nature01075.jpg>

## The human epoch

*Official recognition for the Anthropocene would focus minds on the challenges to come.*

**G**eologists are used to dealing with heavy subjects, so who better to decide on one of the more profound debates of the time: does human impact on the planet deserve to be officially recognized? Are we living in a new geological epoch — the Anthropocene?

This is no idle conundrum. Although the term has long been used informally to refer to the current, human-dominated phase of Earth's history, a working group of the International Commission on Stratigraphy, the body that defines the divisions of geological time, is studying the case for making it official (see *Nature* 473, 133; 2011).

The Anthropocene would be a peculiar addition to the geological timescale. So far, it is more a prediction than a fact of Earth's history, because many of its defining features are only starting to register in the rock record. And the driving force behind the geological transition it labels is not a continental rearrangement, massive volcanism or an extraterrestrial impact — forces that have reshaped the planet in the past. Yet the Anthropocene does deserve proper recognition. It reflects a grim reality on the ground, and it provides a powerful framework for considering global change and how to manage it.

Human activity is set to leave an indelible mark on the geological record. Deforestation, mining and road building have unleashed tides

**NATURE.COM**  
To comment online,  
click on Editorials at:  
[go.nature.com/doiup](http://go.nature.com/doiup)

of sediment down rivers and onto the ocean floor. Fossil-fuel use and land clearance have already emitted perhaps a quarter as much carbon into the atmosphere as the great

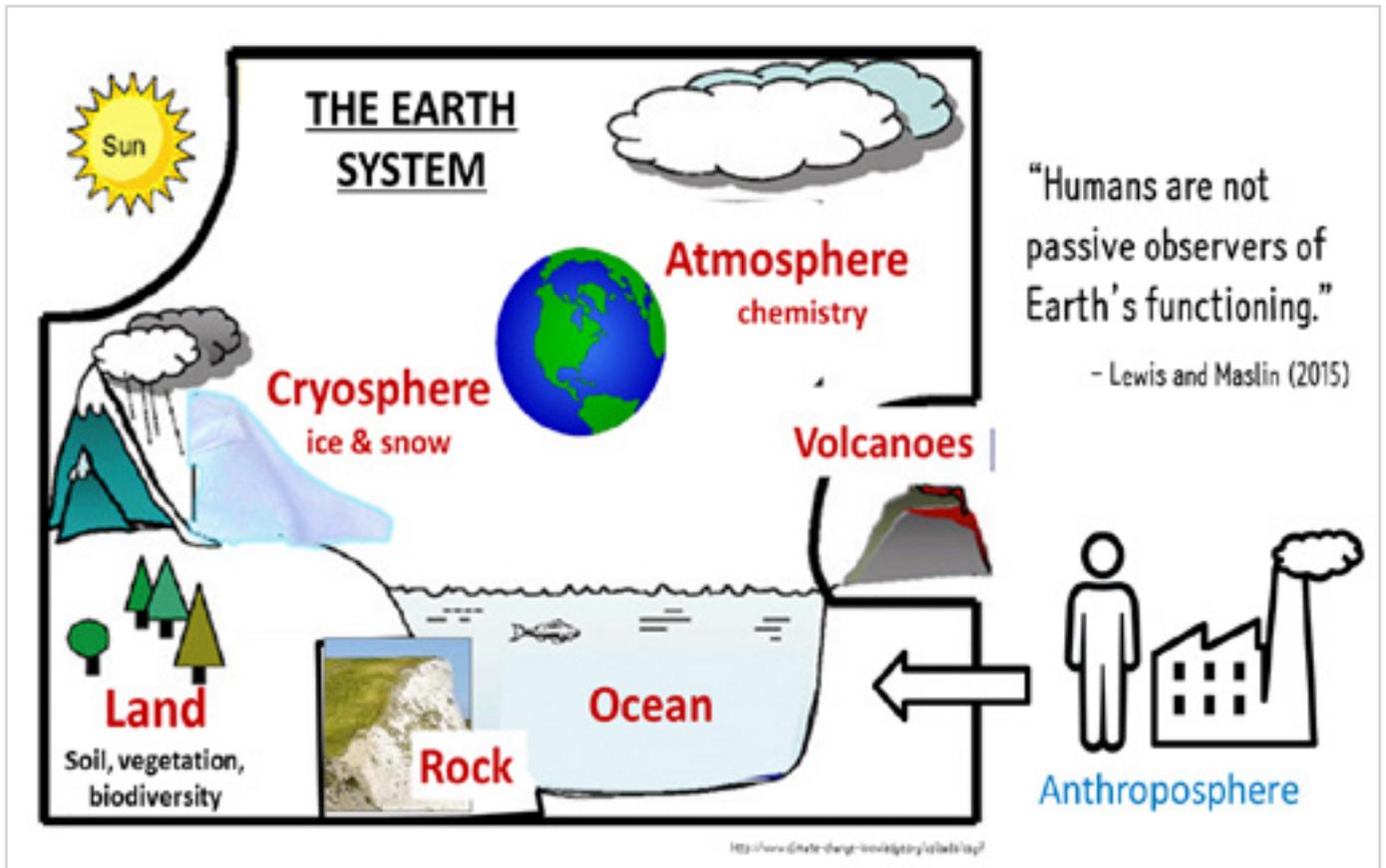
etery crises of the past 55 million years ago. Recording a global carbon of the oceans as they are from deep sediments, extinction in Earth's markers to the record.

But is it too soon to largely benign epoch geological time? What timescale have on the it wise for stratigraphy as a weapon for those fate of the planet?

The scale of the unified approach to surely quash these cool by climate change or Earth and its biosphere the dispersal of species concept would invite cage a mindset that will transformation now o

Humans may yet en are a geological glitch. ruption. But the first step is to recognize, as the term Anthropocene invites us to do, that we are in the driver's seat. ■





## The human epoch

*Official recognition for the Anthropocene would focus minds on the challenges to come.*

Geologists are used to dealing with heavy subjects, so who better to decide on one of the more profound debates of the time: does human impact on the planet deserve to be officially recognized? Are we living in a new geological epoch — the Anthropocene?

This is no idle conundrum. Although the term has long been used informally to refer to the current, human-dominated phase of Earth's history, a working group of the International Commission on Stratigraphy, the body that defines the divisions of geological time, is studying the case for making it official (see *Nature* 473, 133; 2011).

The Anthropocene would be a peculiar addition to the geological timescale. So far, it is more a prediction than a fact of Earth's history, because many of its defining features are only starting to register in the rock record. And the driving force behind the geological transition it labels is not a continental rearrangement, massive volcanism or an extraterrestrial impact — forces that have reshaped the planet in the past. Yet the Anthropocene does deserve proper recognition. It reflects a grim reality on the ground, and it provides a powerful framework for considering global change and how to manage it.

Human activity is set to leave an indelible mark on the geological record. Deforestation, mining and road building have unleashed tides

of sediment down rivers and onto the ocean floor. Fossil-fuel use and land clearance have already emitted perhaps a quarter as much carbon into the atmosphere as was released during one of the greatest planetary crises of the past, the Palaeocene–Eocene Thermal Maximum 55 million years ago. Now, as then, corals and other organisms are recording a global carbon-isotope shift. The increasing acidification of the oceans as they absorb carbon dioxide will dissolve carbonate from deep sediments, and what is likely to be the sixth great mass extinction in Earth's history will gather speed, adding vivid new markers to the record.

But is it too soon to declare an end to the Holocene, the stable, largely benign epoch that has lasted just 11,700 years — a heartbeat in geological time? What impact will an official change in the geological timescale have on the funding and status of Holocene studies? And is it wise for stratigraphers to endorse a term that comes gift-wrapped as a weapon for those on both sides of the political battle over the fate of the planet?

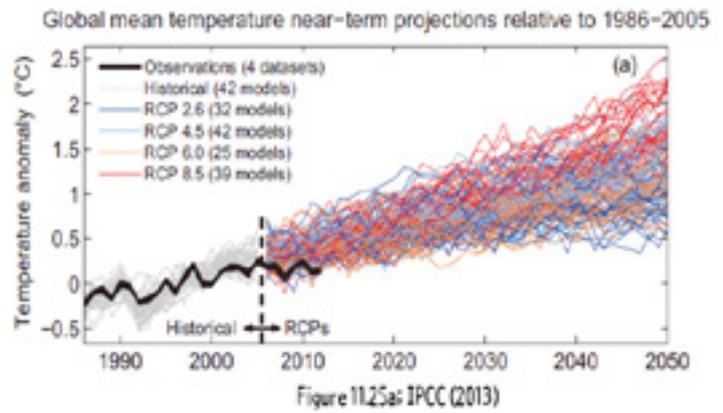
The scale of the changes already under way and the real value of a unified approach to studying human influences on the planet should surely quash these concerns. The Anthropocene is defined not just by climate change or extinctions, but by a linked set of effects on Earth and its biosphere, from perturbations in the nitrogen cycle to the dispersal of species around the globe. Official recognition of the concept would invite cross-disciplinary science. And it would encourage a mindset that will be important not only to fully understand the transformation now occurring but to take action to control it.

Humans may yet ensure that these early years of the Anthropocene are a geological glitch and not just a prelude to a far more severe disruption. But the first step is to recognize, as the term Anthropocene invites us to do, that we are in the driver's seat. ■

► **NATURE.COM**  
To comment online,  
click on Editorials at  
[go.nature.com/1d8np](http://go.nature.com/1d8np)



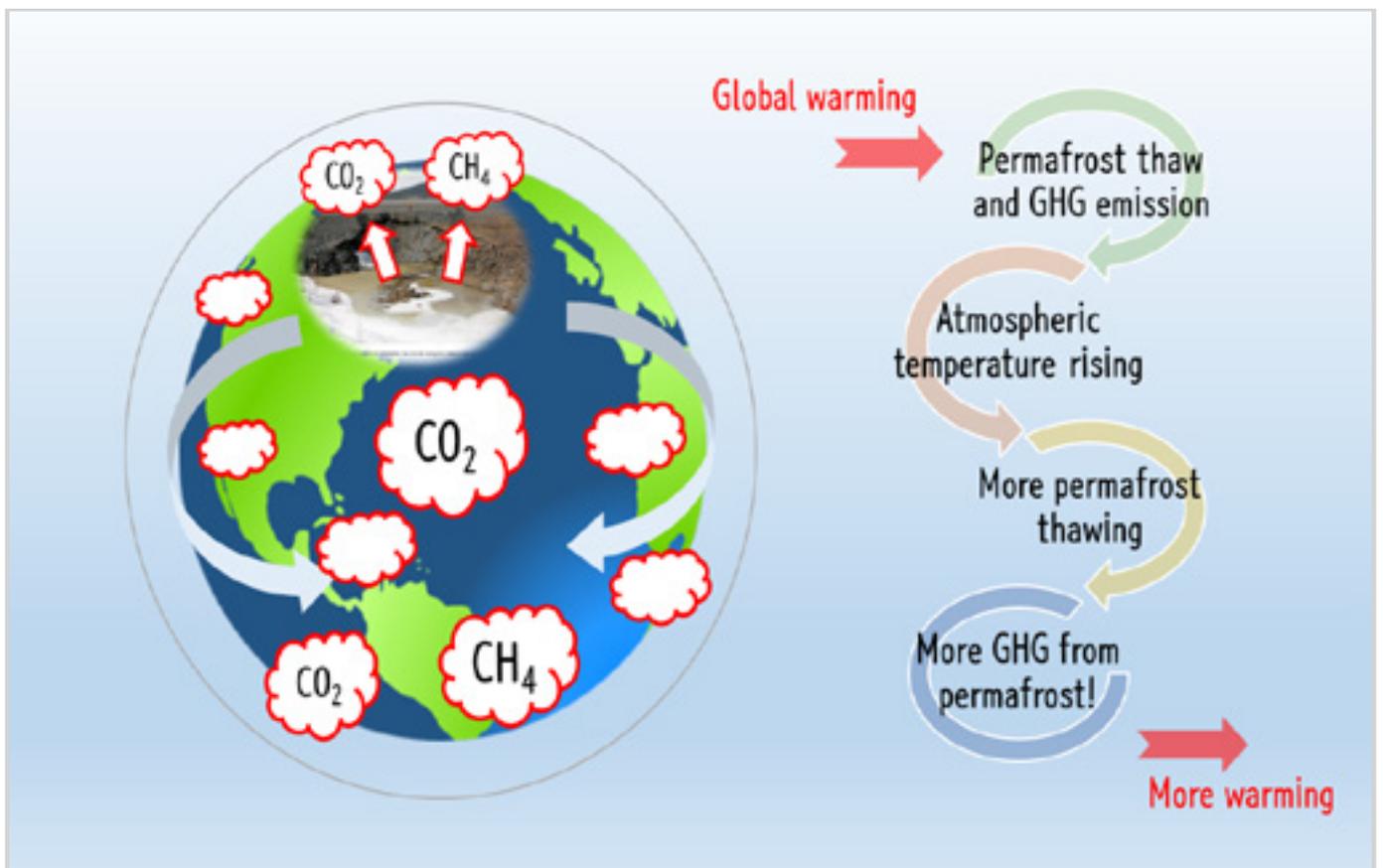
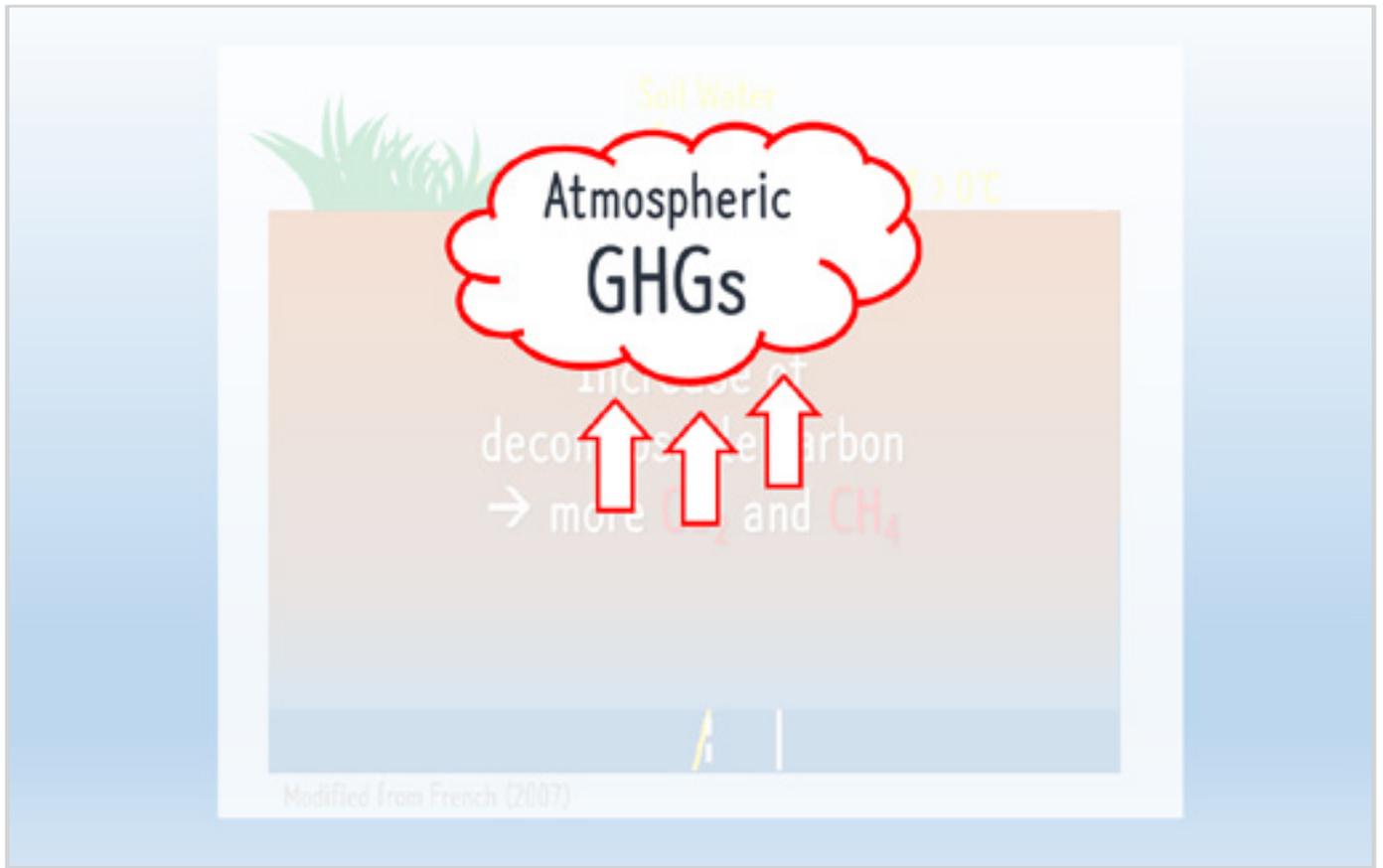
Still unknown mechanism possibly control the Earth's future climate.



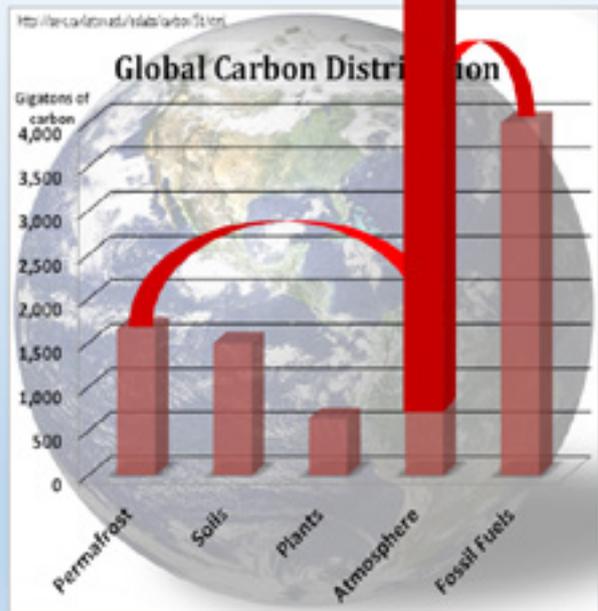
Unknown mechanism?  
e.g. Permafrost Carbon Feedback







Permafrost carbon ~1700 Pg  
Two times larger than that in the atmosphere



Who knows how it will happen?

### Why do we study history?

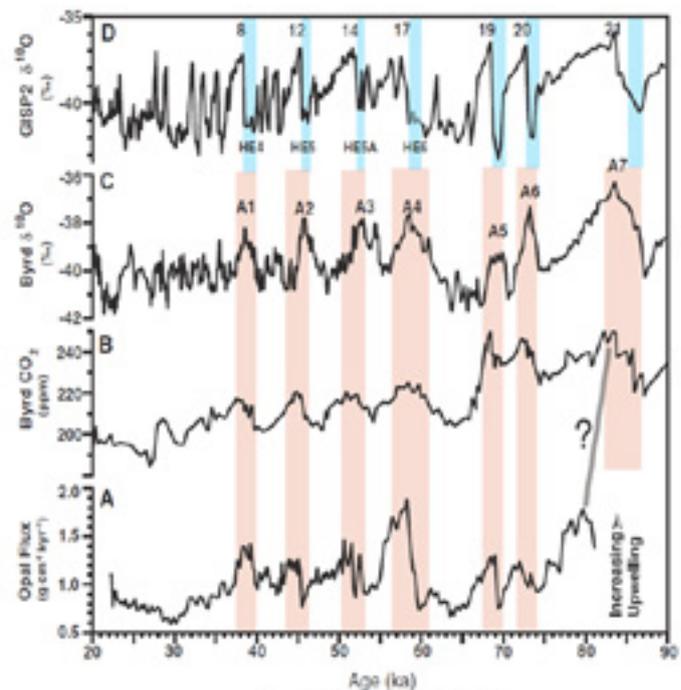
**H**istory is important because it helps us to understand the present. If we will listen to what history has to say, we can come to a sound understanding of the past that will tell us much about the problems we now face.

- David Crabtree

**U**nderstand Change: studying history allows us a look into what causes change. The events leading up to both World Wars help us understand how a small event can set off a large series of changes.

- Kelly Marcus

**Paleoclimatology:** paleo-, "old-" or "ancient-" climatology, "the scientific study of climate"



## Earth Science ;)

“Two billion years ago, cyanobacteria oxygenated the atmosphere and powerfully disrupted life on earth, but they didn’t know it. We’re the first species that’s become a planet-scale influence and is aware of that reality. **That’s what distinguishes us.**”

– Joseph Stromberg

## References

- 양병찬, “인류세(Anthropocene)를 둘러싼 논쟁” <http://www.ibric.org/myboard/read.php?id=257374&board=news>
- Working Group on the Anthropocene <http://quaternary.stratigraphy.org/workinggroups/Anthropocene/>
- The Economist, “Welcome to the Anthropocene” <http://www.economist.com/node/18744401>
- David Crabtree, “The Importance of History” <http://msc.gutenberg.edu/2001/02/the-importance-of-history/>
- Kelly Marcus, “7 Reasons Why It is Important to Study History ...” <http://lifestyle.allwomenstalk.com/reasons-why-it-is-important-to-study-history>
- Joseph Stromberg, “What is the Anthropocene and Are We in It?” <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/what-is-the-anthropocene-and-are-we-in-it-164801414/>
- International Commission on Stratigraphy, [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)
- Lewis, Simon L., and Mark A. Maslin. “Defining the anthropocene.” *Nature* 519, 7542 (2015): 171–180.
- Walker, M., et al. “Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records.” *Journal of Quaternary Science* 24,1 (2009): 3–17.
- Anderson, R. F., et al. “Wind-driven upwelling in the Southern Ocean and the deglacial rise in atmospheric CO<sub>2</sub>.” *science* 323, 5920 (2009): 1443–1448.
- Stocker, T. F., et al. “IPCC, 2013: climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.” (2013).

[관측 및 모델 자료 분석을 통한 과거 천년동안  
기후 변동성에 대한 자연 및 인위적 강제력의 역할 연구]

임형규 (포항공대학교 지구과학 박사과정 1학년)



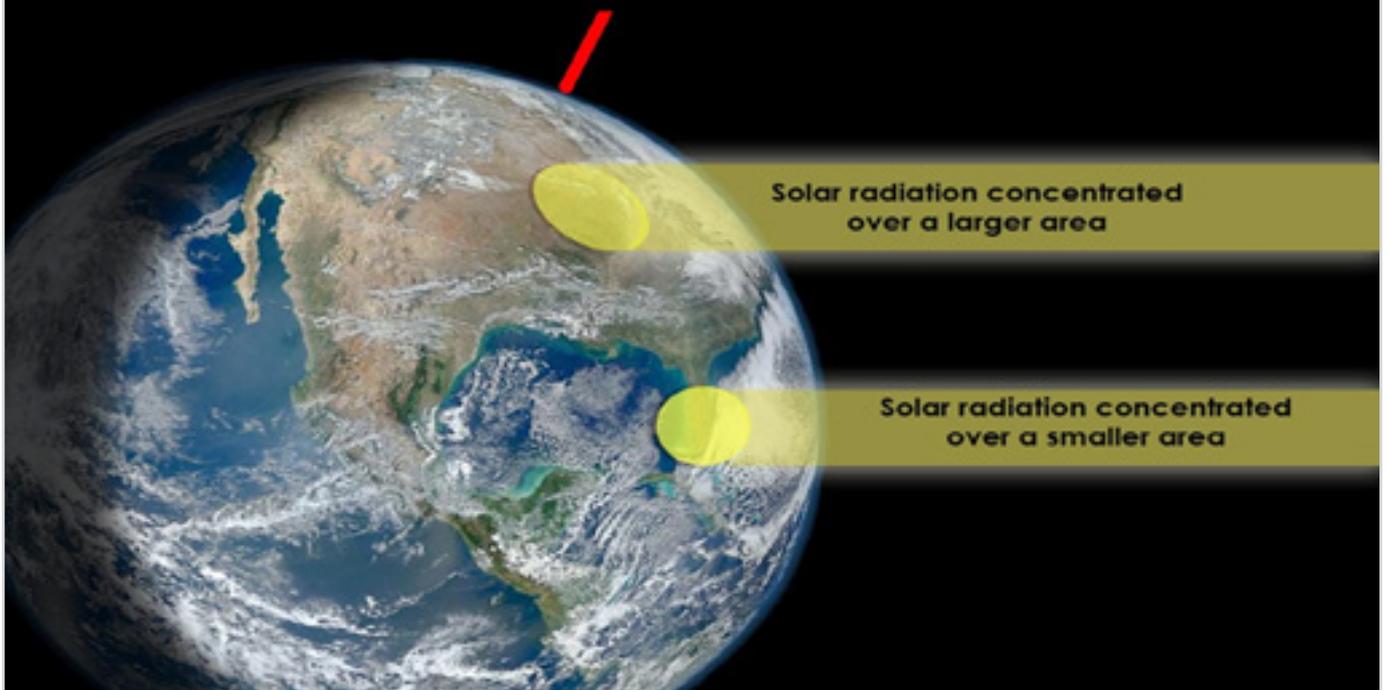
## 관측 및 모델 자료를 통한 과거 천년동안 기후 변동성에 대한 자연 및 인위적 강제력의 역할 연구

Study of a role of natural versus anthropogenic forcing on the climate variability over the past millennium in the observations and model

포항공대 환경공학부 임형규

POSTECH

## Angle of Solar Radiation

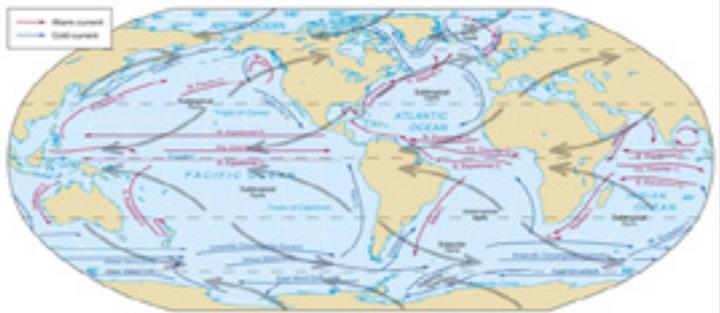
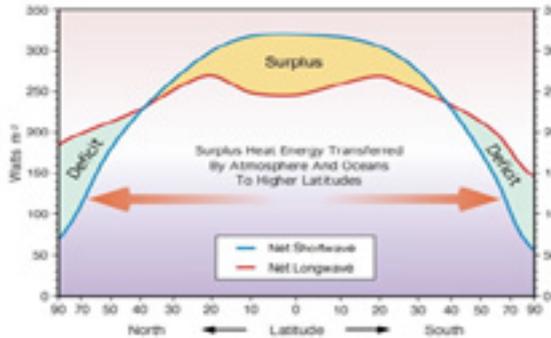


POSTECH

# Ocean circulation and Climate



- ❖ Ocean circulation is in reality a very complex system, as the flows are not steady in time or space to redistribute heat energy.



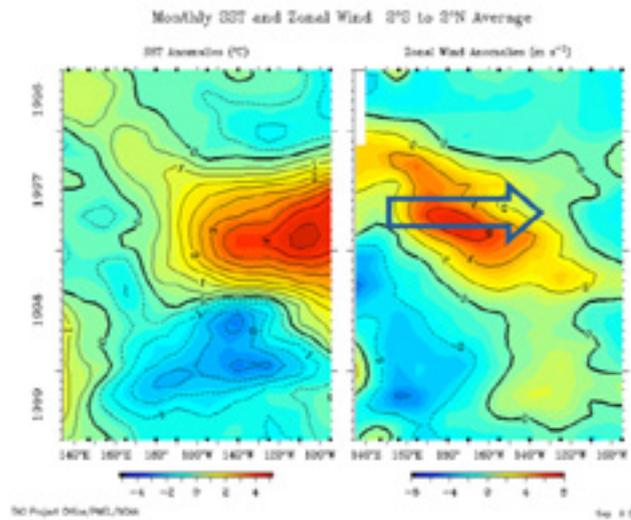
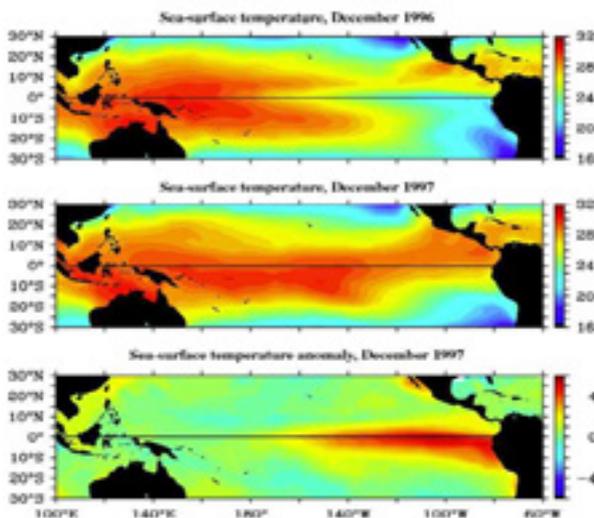
- ❖ They are **turbulent flows** that show variability on largest scale of the ocean basins to smallest scales (i.e. ENSO, PDO, NAO, AO...)

POSTECH

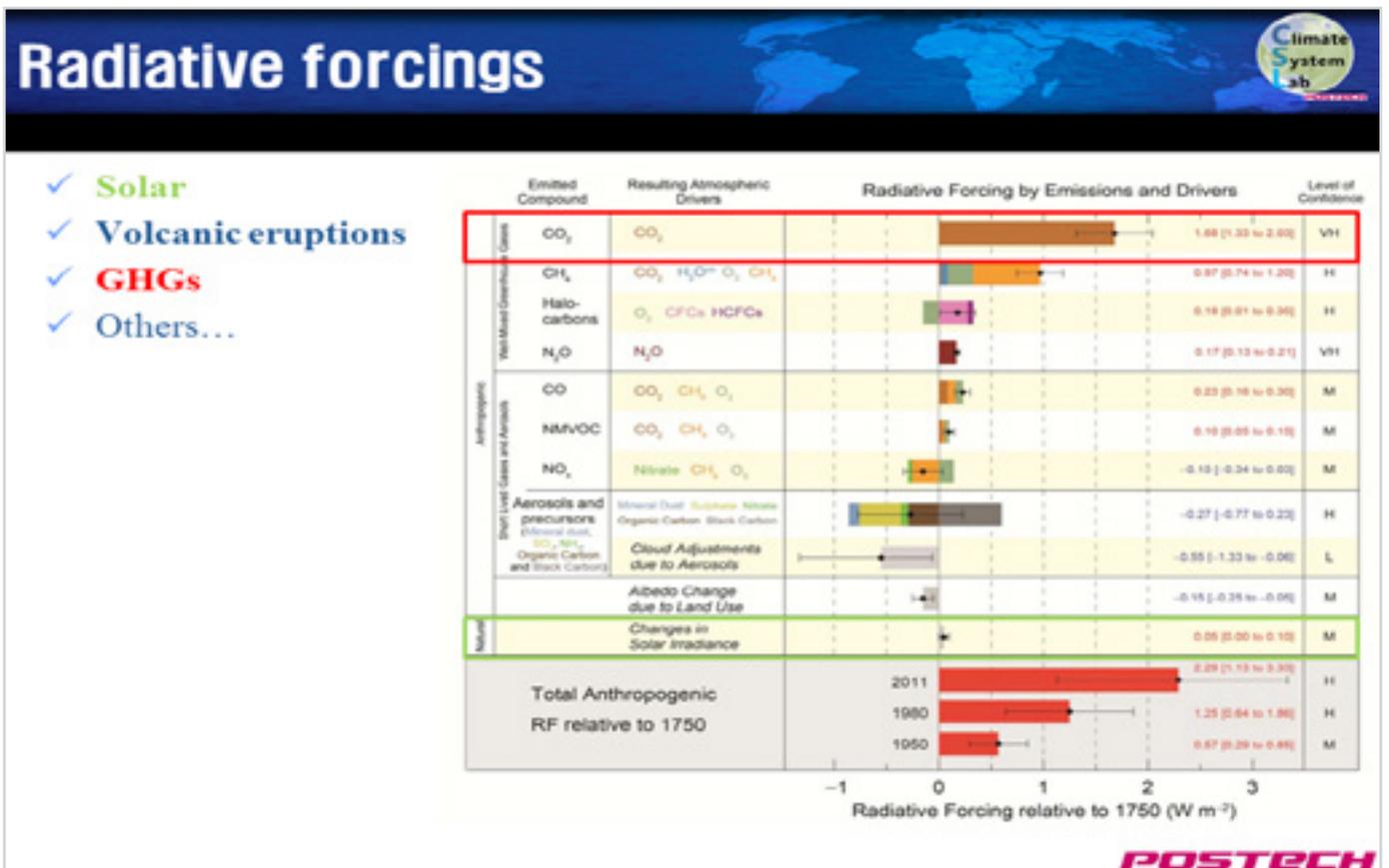
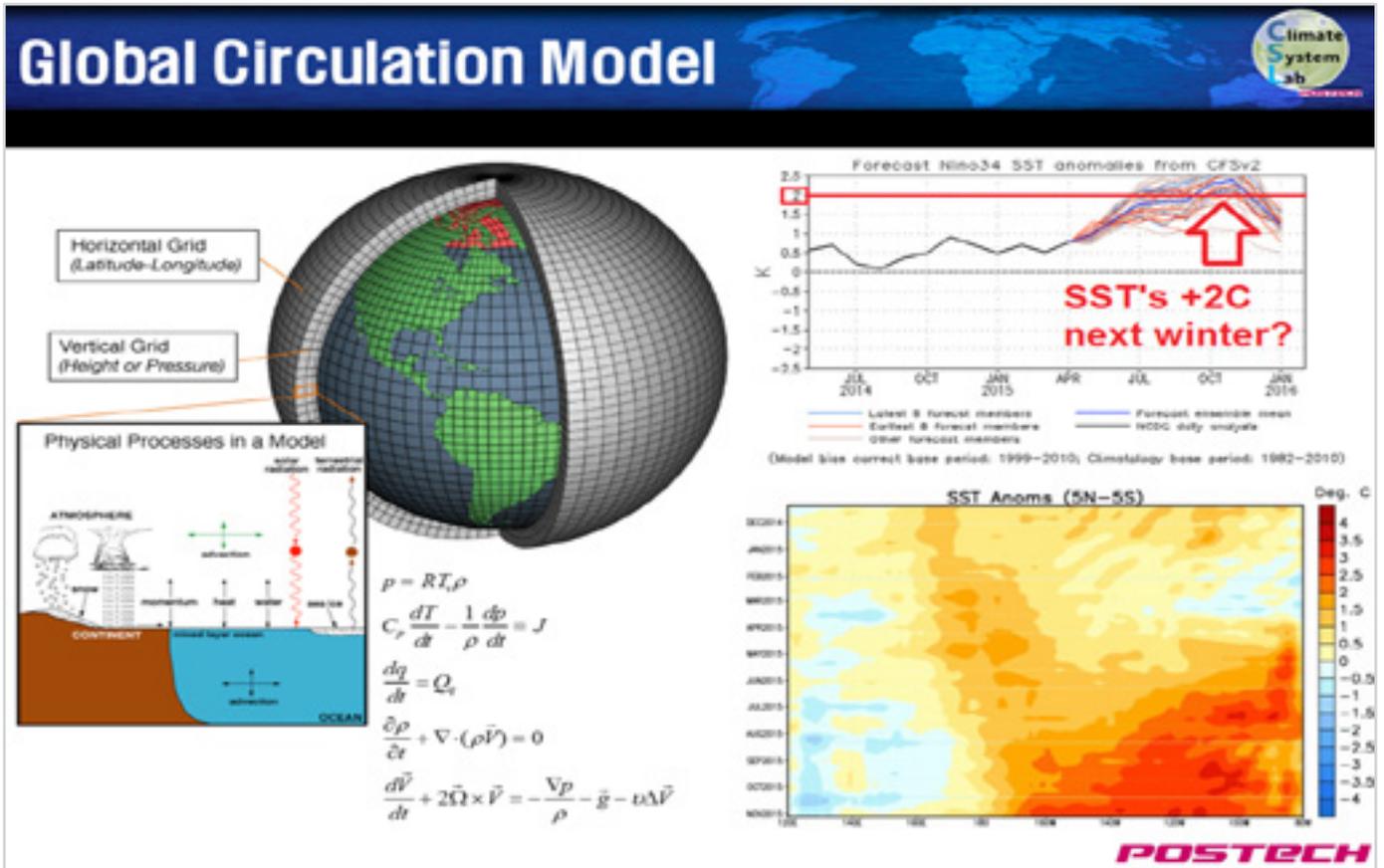
# ENSO (El Nino and Southern Oscillation)

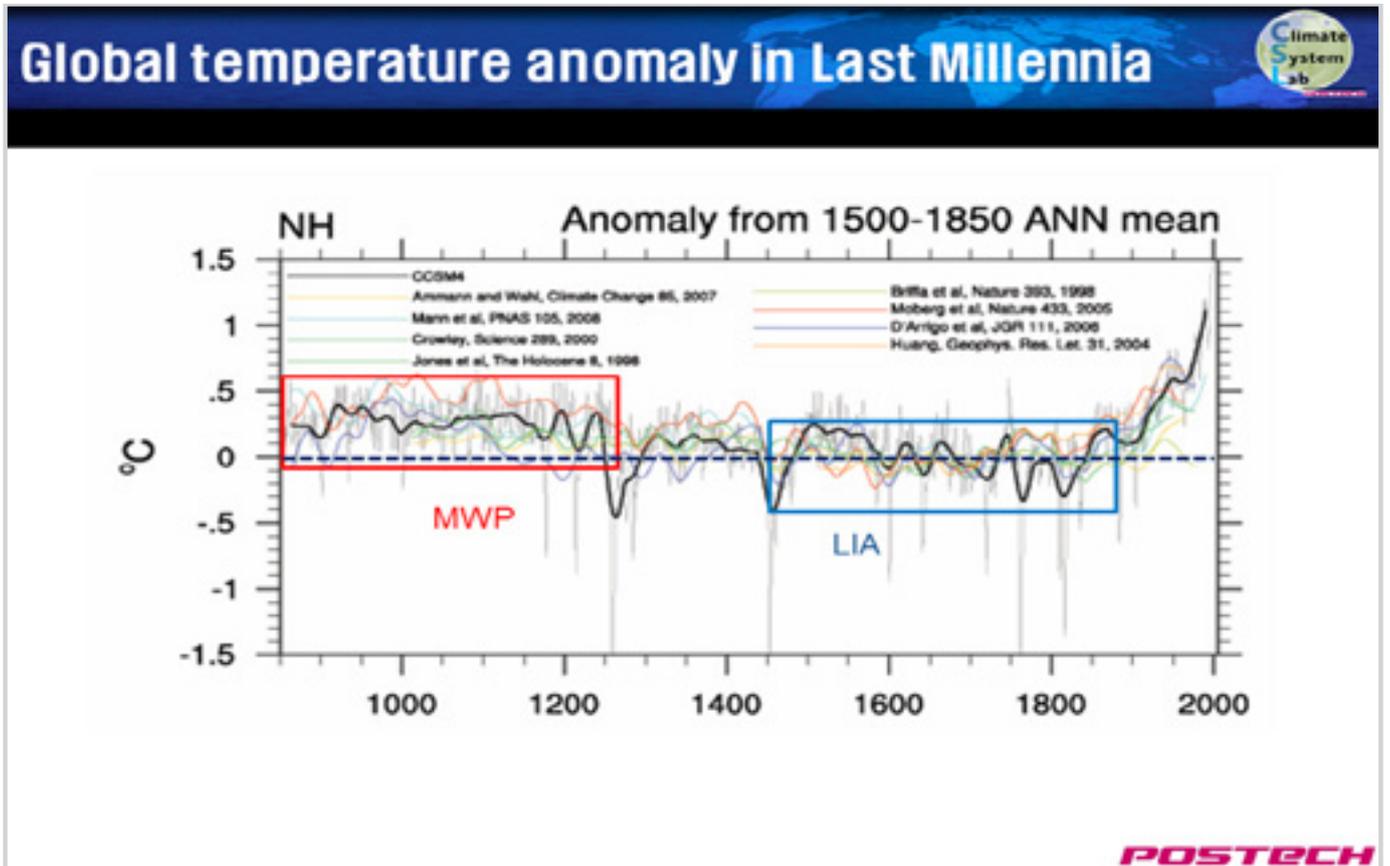
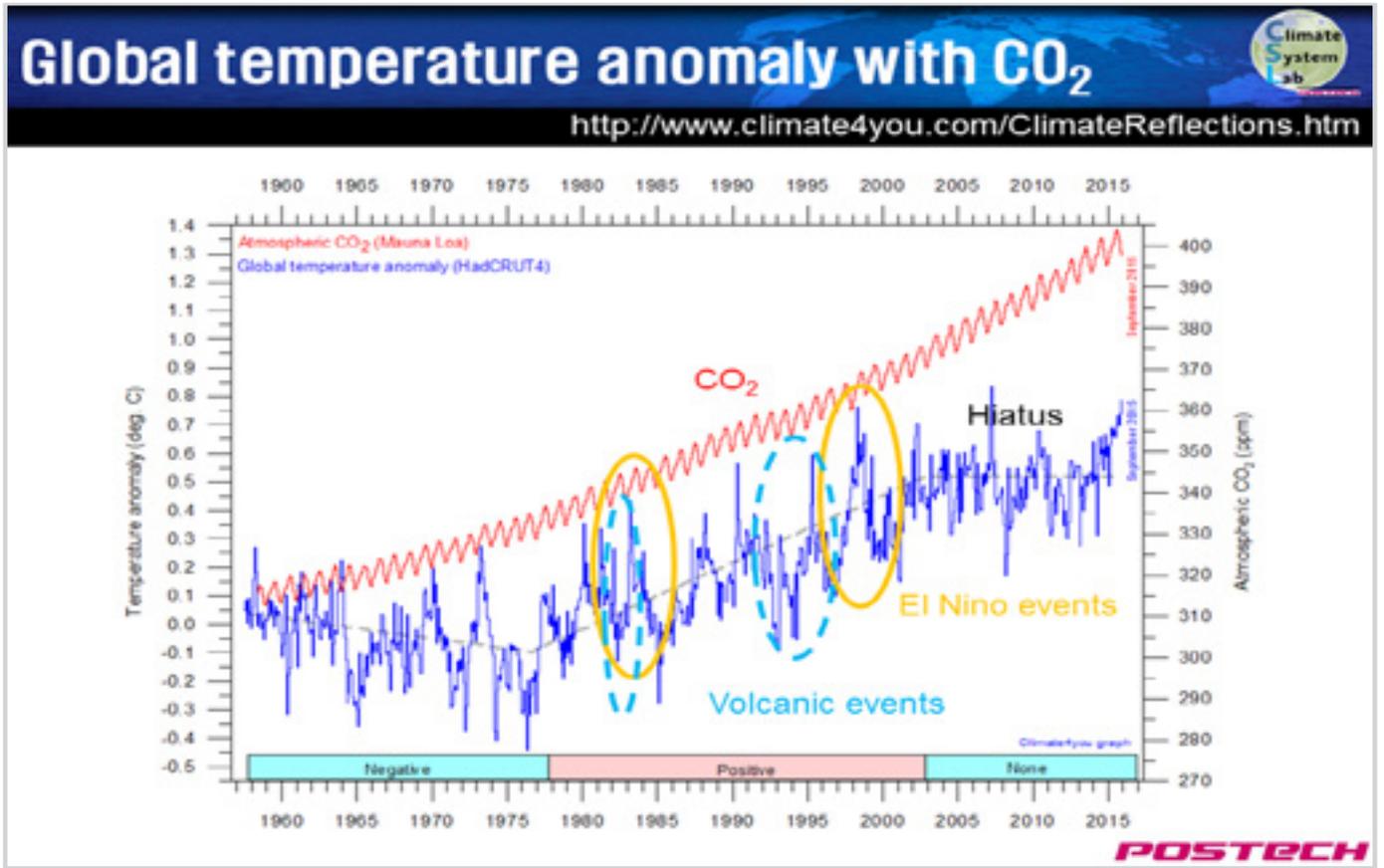


- ❖ ENSO is an irregularly periodical climate variations in sea surface temperatures over the tropical eastern Pacific Ocean.



POSTECH







## *Radiative forcing?*

*1. Long term : Solar & Anthropogenic forcings*

*2. Short term : Volcanic forcing*

POSTECH

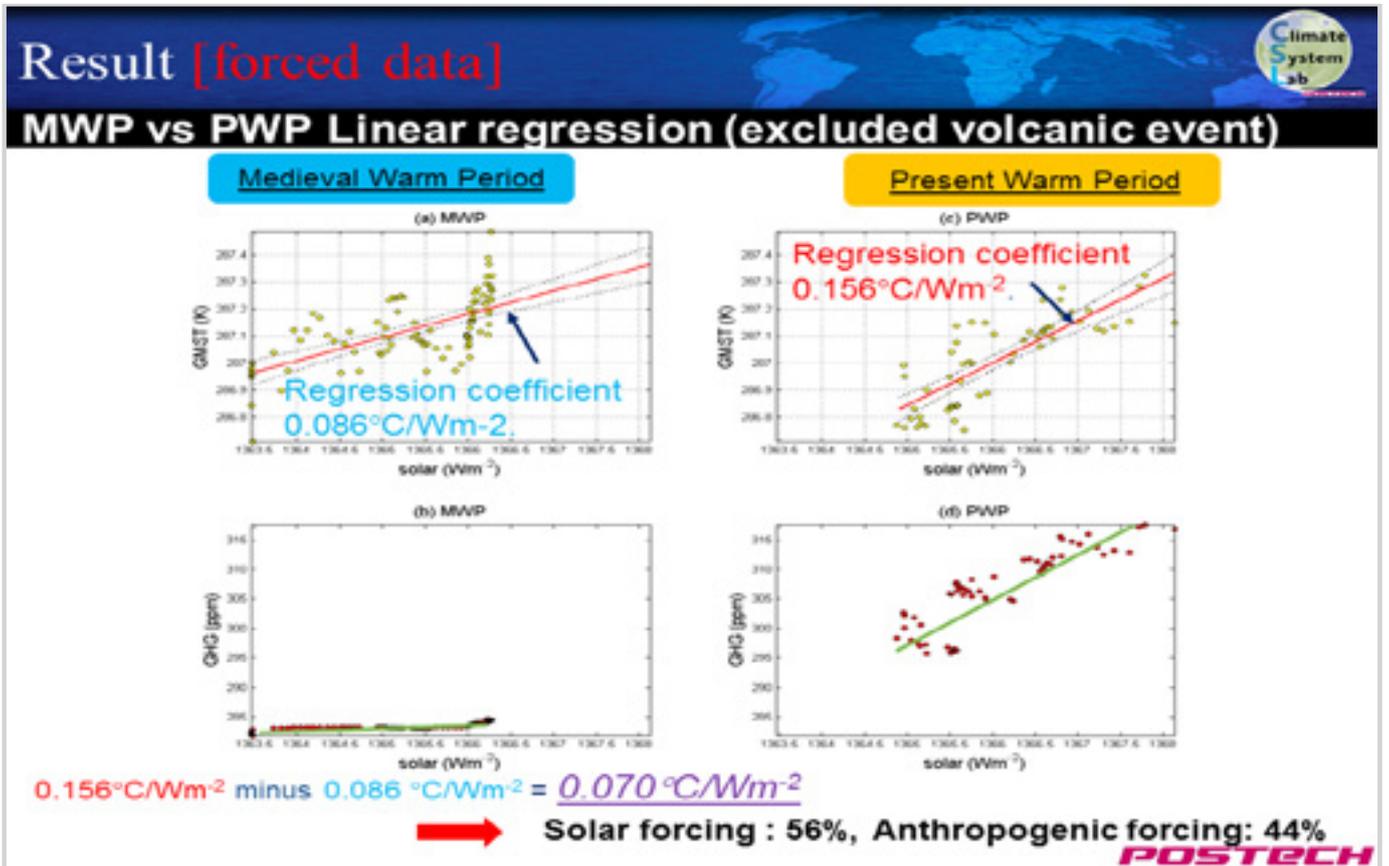
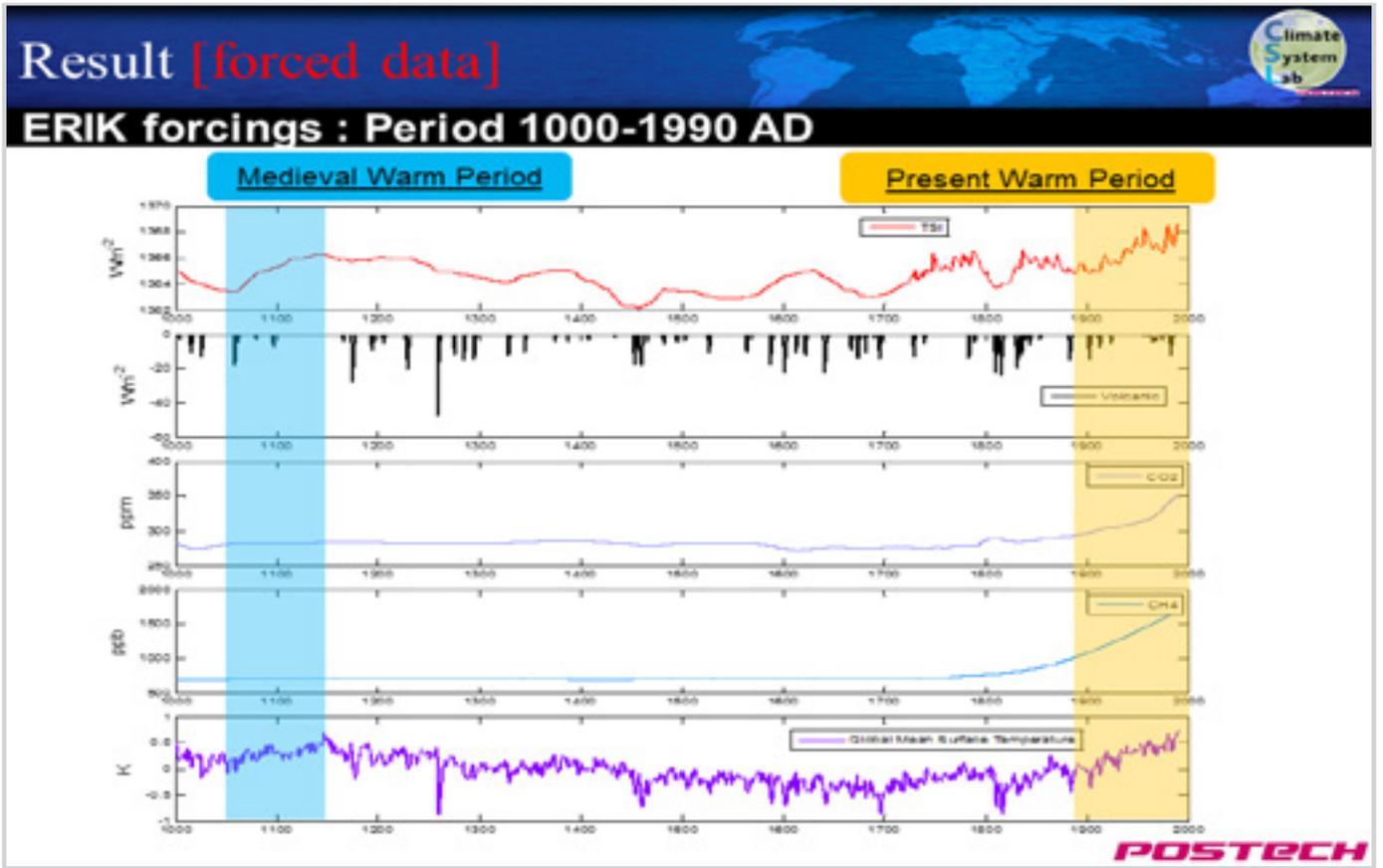
## Section 1



*1. Contributions of solar and greenhouse gases forcing during the present warm period [Lim et al. 2014]*

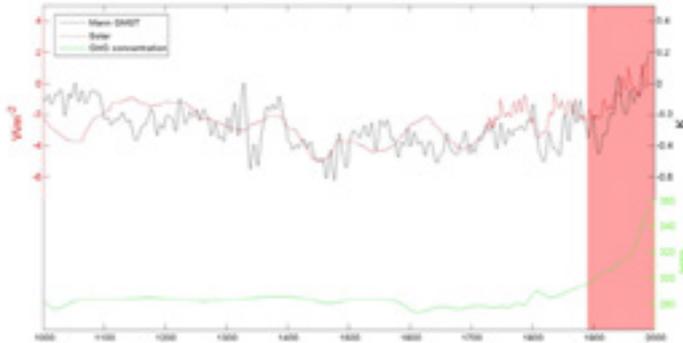
*2. Threshold of the volcanic forcing that leads the El Niño-like warming in the last millennium: results from the ERIK simulation [Lim et al. 2015]*

POSTECH



## Result [unforced data]

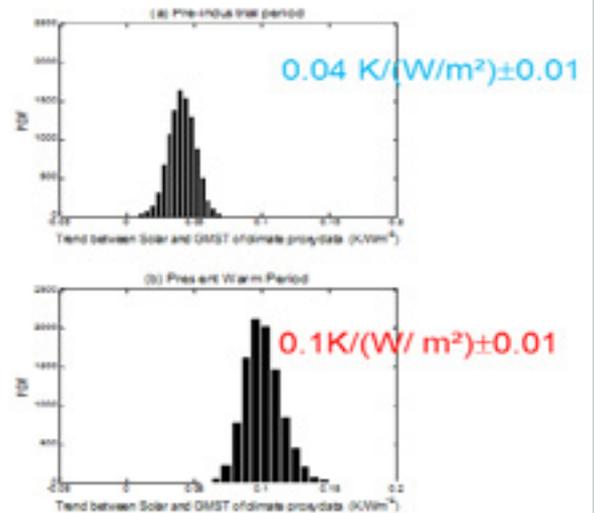
## Pre-industrial vs PWP Linear regression in proxy



**Figure.** Time series of anomalous global mean surface temperature in the global climate proxy network dataset (black line) from Mann et al. (2009), total solar irradiance (red line) from Crowley (2000) and GHG concentration (green line) in the period of 1000-1990, respectively. Red box indicates the present warming period (i.e., 1891-1990). Anomalies for the global mean surface temperature and total solar irradiance are defined relative to the 1961-1990 reference period mean. Note that the y-axis for the anomalous global mean surface temperature and the GHG concentration is indicated on the right side.

$$0.1^{\circ}\text{C}/\text{Wm}^{-2} \text{ minus } 0.04^{\circ}\text{C}/\text{Wm}^{-2} = \underline{0.06^{\circ}\text{C}/\text{Wm}^{-2}}$$

**Solar forcing : 30~50%, Anthropogenic forcing: 50~70%**



**Figure.** Probability density function of linear regression coefficients of solar forcing versus GMST of (a) pre-industrial period (1000-1800) and (b) Present warm period (1891-1990) in the global climate proxy network dataset using Monte Carlo approach. See the text for the details of methodology.

**POSTECH**

## Conclusion

- By analyzing a millennium simulation of a global climate model and global climate proxy network dataset
- The important contribution of solar forcing to the increase in global mean surface temperature

Natural Forcing (Solar)  
obs 30-50% & model 56%

+

=

Global Mean Surface Temperature  
(GMST)

Anthropogenic Forcing (GHG)  
obs 50-70 & model 44%

- 태양상수 변화가 전 지구 평균기온에 미치는 영향은 생각보다 크다.

**POSTECH**

## Section 2



1. Contributions of solar and greenhouse gases forcing during the present warm period [Lim et al. 2014]

2. Threshold of the volcanic forcing that leads the El Niño-like warming in the last millennium: results from the ERIK simulation [Lim et al. 2015]

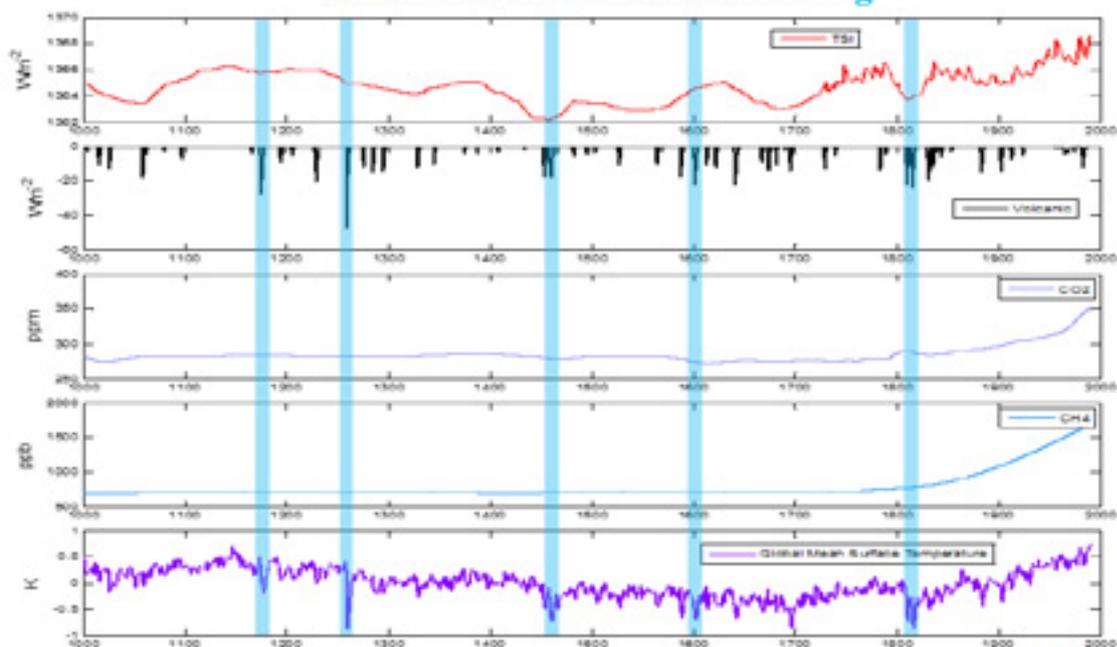
POSTECH

## Result [forced data]



### ERIK forcings : Period 1000-1990 AD

Volcanic events -> Global cooling

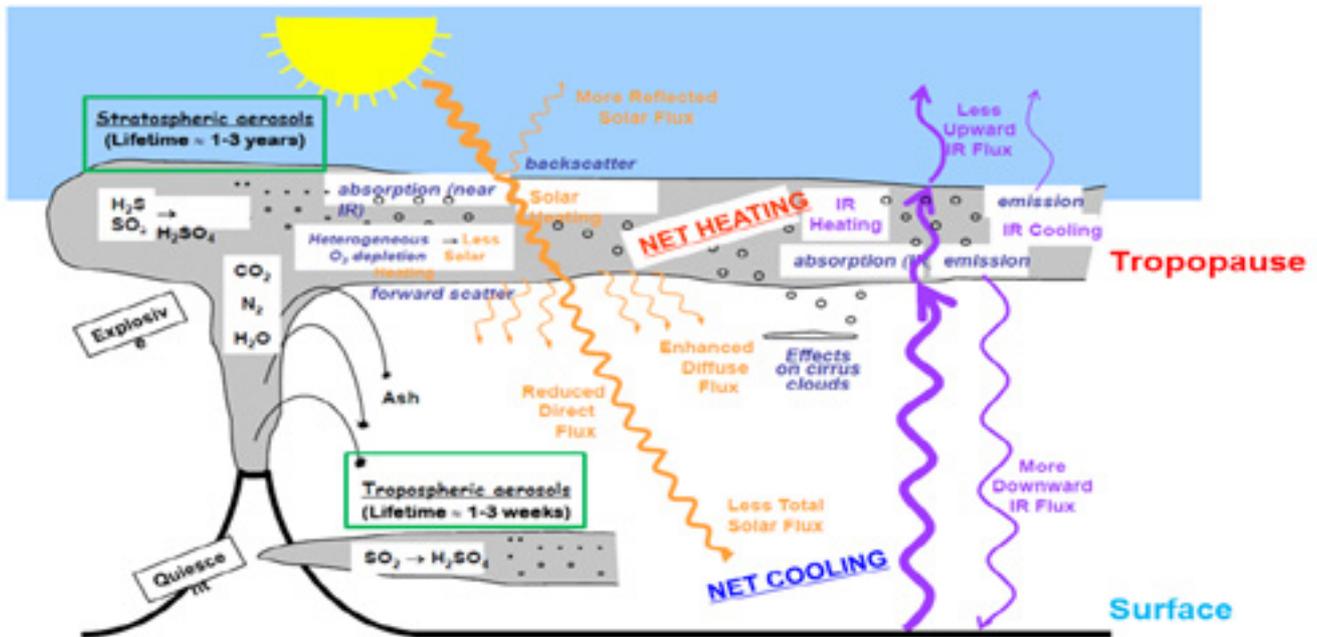


POSTECH

# Volcanism



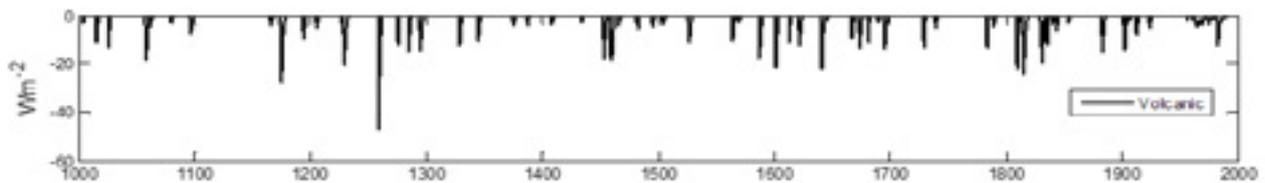
Robock and Mao, 1995



Georgiy Stenchikov

POSTECH

# Volcanic event in last millennia



Group	Year ( $W/m^2$ )	Case number
Level 1 0 - -5 ( $W/m^2$ )	1027(-4.8), 1062(-4.8), 1495(-4.8), 1580(-4.8), 1675(-4.8), 1780(-4.8), 1830(-4.8), 1166(-4.4), 1276(-4.4), 1330(-4.4), 1375(-4.4), 1387(-4.4), 1460(-4.4), 1623(-4.4), 1836(-4.4), 1016(-4), 1177(-4), 1346(-4), 1408(-4), 1481(-4), 1504(-4), 1528(-4), 1565(-4), 1614(-4), 1682(-4), 1840(-4), 1195(-3.6), 1668(-3.6), 1004(-3.2), 1080(-3.2), 1227(-3.2), 1643(-3.2), 1811(-3.2), 1817(-3.2), 1689(-3), 1098(-2.8), 1231(-2.8), 1434(-2.8), 1570(-2.8), 1603(-2.8), 1844(-2.4), 1206(-2), 1063(-1.6), 1167(-1.6), 1376(-1.6), 1388(-1.6), 1406(-1.6), 1467(-1.6), 1496(-1.6), 1505(-1.6), 1645(-1.6), 1790(-1.6), 1841(-1.6), 1005(-1.2), 1061(-1.2), 1228(-1.2), 1435(-0.8), 1571(-0.8), 1646(-0.4)	59
Level 2 -5 - -10 ( $W/m^2$ )	1194(-9.60), 1667(-9.60), 1016(-9.0), 1602(-9), 1642(-9), 1010(-8), 1230(-7.6), 1097(-7.4), 1832(-7.2), 1039(-6.8), 1461(-6.8), 1261(-6.4), 1434(-6.4), 1843(-6), 1286(-5.6), 1483(-5.6), 1205(-5.2), 1296(-5.2), 1696(-5.2), 1739(-5.2)	20
Level 3 -10 - -15 ( $W/m^2$ )	1295(-14.52), 1695(-14), 1674(-13.48), 1783(-13.48), 1729(-13.28), 1026(-13.08), 1588(-12.64), 1329(-12.52), 1622(-12.4), 1275(-11.8), 1835(-11.8), 1015(-11.16), 1527(-11.16), 1613(-11.16), 1681(-11.16), 1345(-10.6), 1564(-10.48), 1176(-10.4)	18
Level 4 -15 ~ -20 ( $W/m^2$ )	1831(-19.44), 1460(-18.12), 1058(-18.04), 1587(-17.88), 1260(-17.6), 1453(-17.6), 1459(-16.8), 1285(-15)	8
Level 5 -20 ~ -25 ( $W/m^2$ )	1815(-23.92), 1641(-22), 1809(-22), 1601(-21.72), 1229(-20.36)	5
Level 6 Over -25 ( $W/m^2$ )	1259(-47.28), 1175(-27.76)	2

POSTECH

## Result



## SST Cooling and EP warming with volcanic events

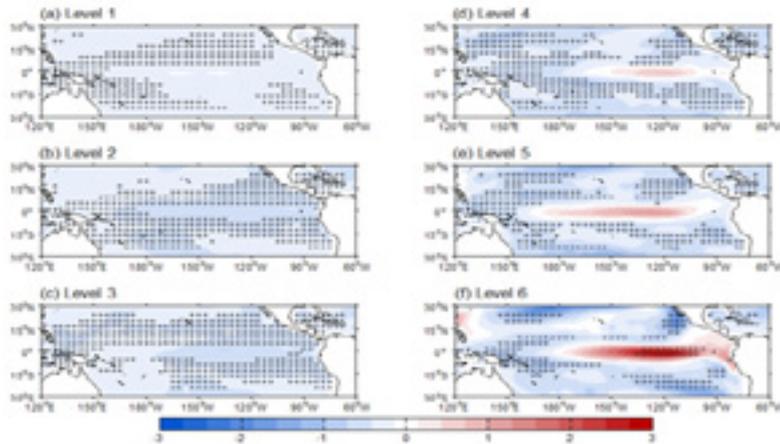


Figure. The composite SST anomalies over the tropical Pacific Ocean in the groups of (a) level 1 (#59), (b) level 2 (#20), (c) level 3 (#18), (d) level 4 (#8), (e) level 5 (#5), and (f) level 6 (#2) during boreal winter D(0)JF(+1) in the last millennium; the plus marks are 95% significance levels.

Group	NINO3 SST index
Level 1	-0.03°C
Level 2	-0.44°C
Level 3	-0.49°C
Level 4	0.48°C
Level 5	0.82°C
Level 6	2.23°C

Table 2. The averaged NINO3 (150°W-90°W, 5°N-5°S) SST index based on the anomalous composite SST from level 1 to level 6 in the ERIK simulation.

POSTECH

## Result

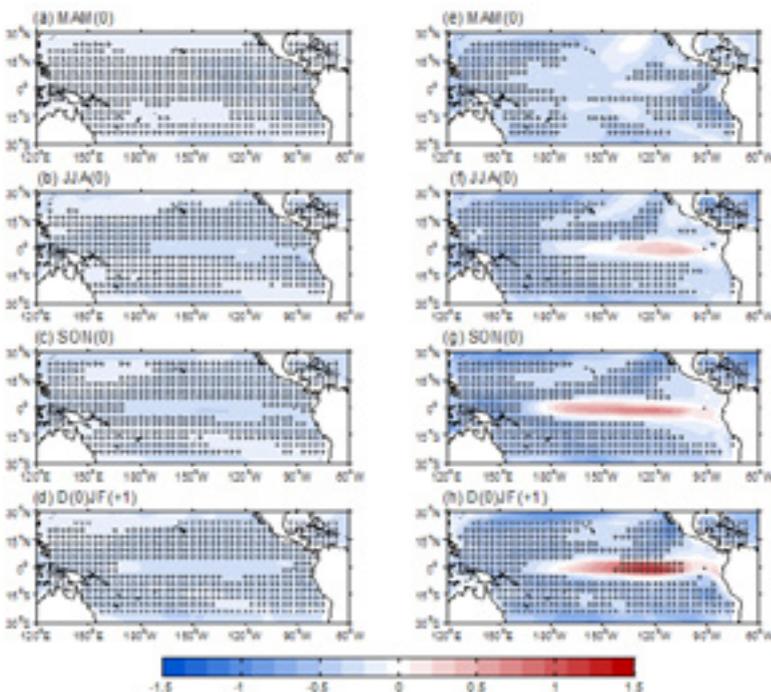
Seasonal composite at volcanic event over 15W/m<sup>2</sup>

Figure. The seasonal evolution of the composite anomalous SST from spring to winter when the volcanic forcing is below 15 W/m<sup>2</sup> (a-d) and when the volcanic forcing is above 15 W/m<sup>2</sup> (e-h). Note that any month in the volcanic eruption year is identified by the suffix (0) whereas any month in the following year of volcanic eruption by the suffix (+1). Plus marks denotes the statistical significant at 95% confidence level.

POSTECH

# Result

## Volcanic response over $-15W/m^2(15 \text{ cases})$

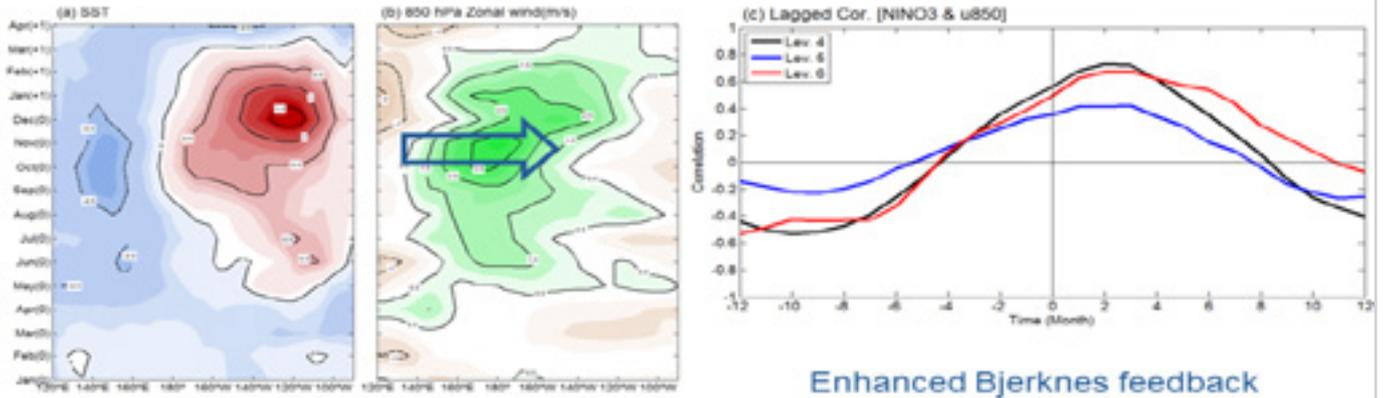
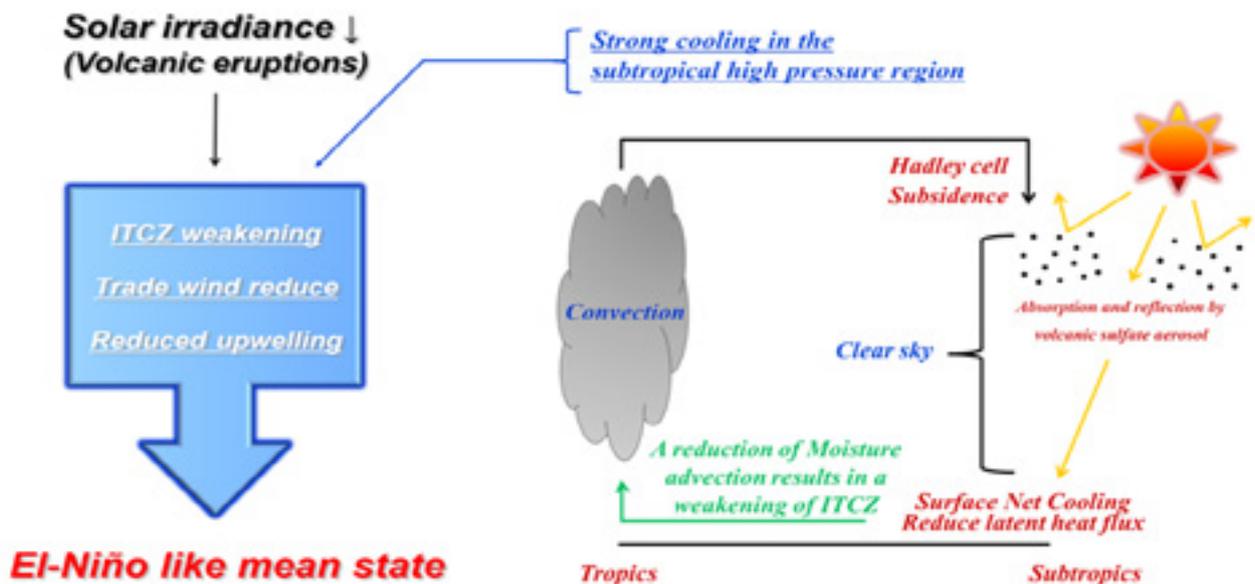


Figure. The composite meridional mean structure ( $2N^{\circ}$ - $2S^{\circ}$ ) of the anomalous (a) SST, (b) 850 hPa zonal wind(m/s) above Level 4 from January (0) to next April (+1) and (c) lag-correlation between the NINO3 index ( $150^{\circ}W$ - $90^{\circ}W$ ,  $5N^{\circ}$ - $5S^{\circ}$ ) and 850 hPa zonal wind of western Pacific region ( $120^{\circ}E$ - $170^{\circ}E$ ,  $5N^{\circ}$ - $5S^{\circ}$ ).

POSTECH

# Conclusion



- Possibility : Critical level (Threshold) is working on the natural variability of ENSO.

POSTECH

## Discussion



### External Radiative forcing?

#### 1. Long term : Solar & Anthropogenic forcings

*: The important contribution of solar forcing induce the GMST*

#### 2. Short term : Volcanic forcing

*: Disterbance possibility of natural variability like ENSO*

POSTECH



# Thank you

POSTECH

## ERIK simulation? (Min et al 2005a, b)

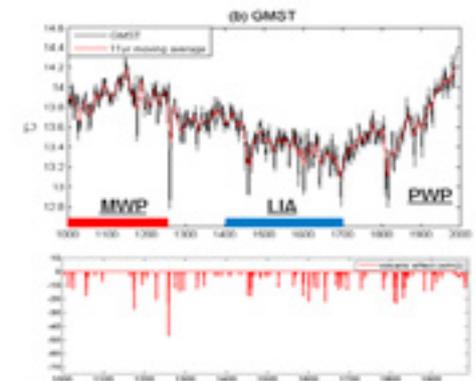
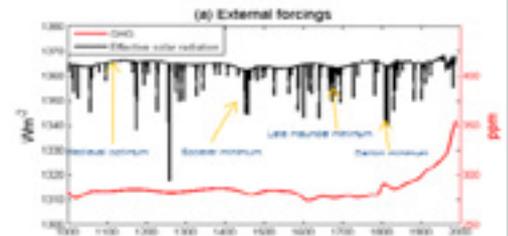


## CMIP3 : ECHO-G Model(Max-Plank institute)

- ECHAM4 & HOPE-G Coupled Model
- ECHAM4 : Spectral Atmospheric Model [Resolution : T30(3.75° x3.75°), vertical (19levels above 200hPa)]
- HOPE-G : Global Ocean Circulation Model [Resolution : horizontal(2.8° x2.8°), vertical (20levels)]
- ECHAM4 and HOPE-G are coupled through the coupler OASIS3

## ERIK simulation (AD 1000~1990)

- Variable : 2m\_airtemp, SST, u850, v850, slp, precipitation, net\_heatflux
- Solar[Clowley, 2000]
- Volcanic[Robock and Free, 1996]
- CO2[Etheridge et al., 1996], CH4[Blunier et al., 1995]



MWP : Medieval Warming Period(950 - 1250), LIA : Little Ice Age(1400 - 1700)

## ENSO responses in ERIK

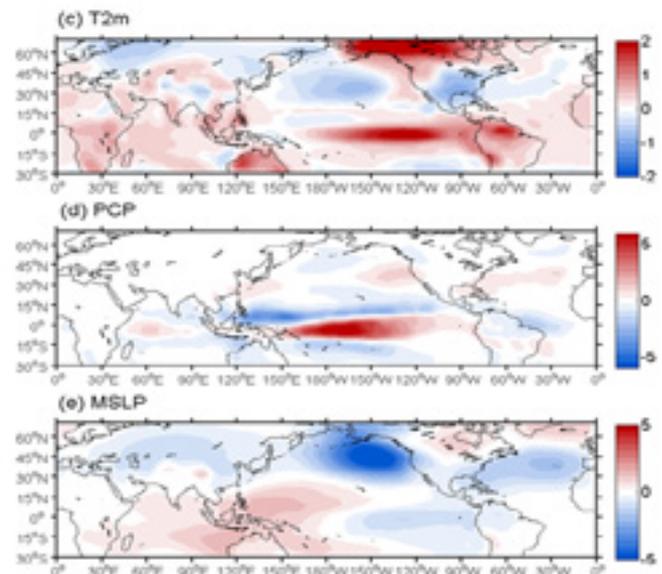
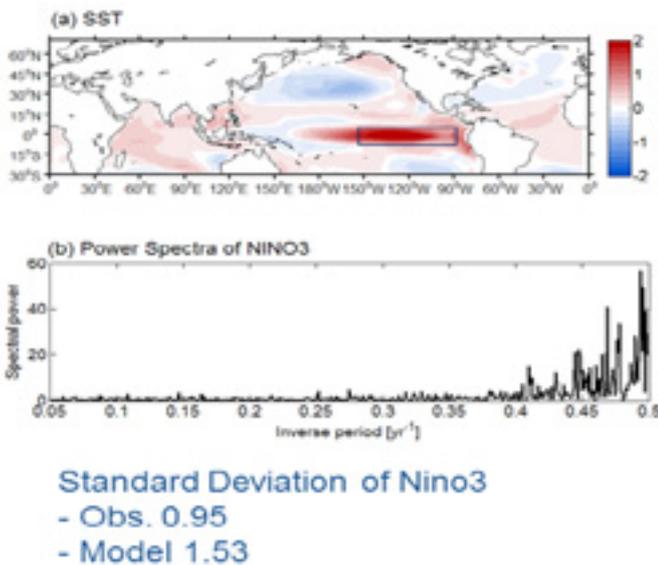


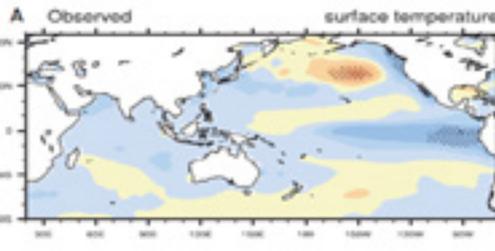
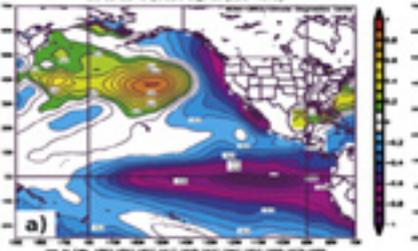
Figure. The composited SST (°C) in El Niño events simulated in the ERIK simulation (a) and the spectral density of the Niño3 SST index. Figures 1c-e are the same as in Fig. 1a except the near-surface temperature (°C), precipitation (mm/day) and sea level pressure (hPa). The El Niño event is defined when the Niño 3.4 SST index during winter is above 1°C in ERIK

POSTECH

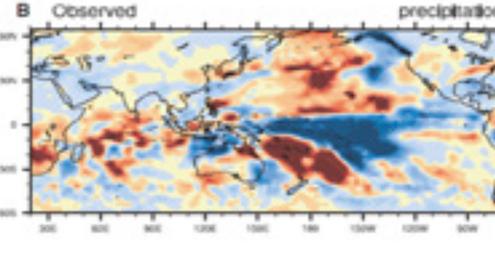
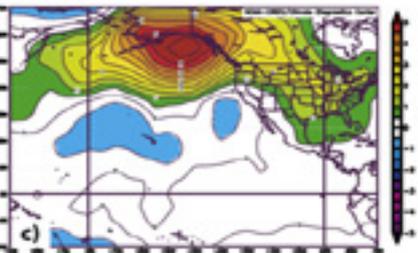
# Mechanism

V. Loon et al., 2007 & Meehl et al., 2009

ERSST



SLP



Q) Blocking of incoming solar irradiance influence to ENSO variability at volcanic event?

POSTECH

# Result

## Evap-PRCP

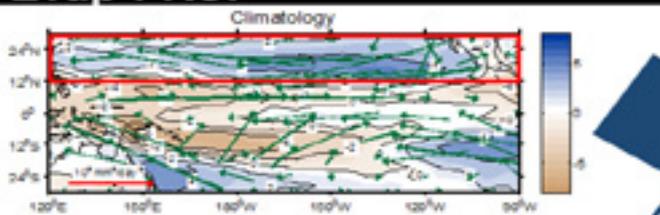


Figure. The E-P (shading, Evaporation minus precipitation (mm/day)) and E-P flux (arrow, mm<sup>2</sup>/day<sup>2</sup>) climatology

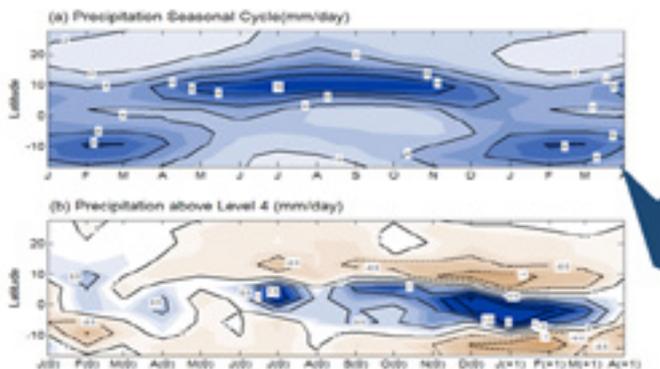


Figure. The zonal (120°E-90°W) mean (a) climatological seasonal cycle of precipitation and (b) the composite precipitation anomaly in the tropical Pacific from January (0) to next April (+1) of the volcanic events above level 4.

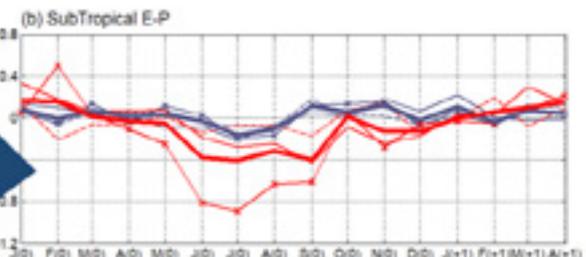
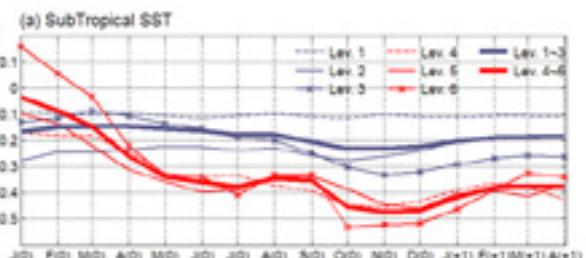


Figure. The composite time evolution of the anomalous (a) SST and (b) difference of evaporation (E) and precipitation (P) (i.e., E minus P) in the subtropical Pacific (120°E-90°W, 15°N-30°N) from January (0) to next April (+1) of each volcanic Levels.

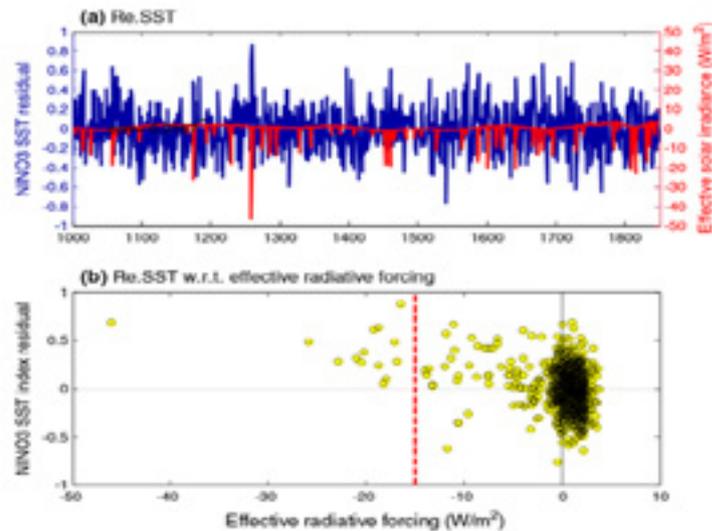
POSTECH

## Result



Threshold of the volcanic forcing that leads the El Niño-like warming in the last millennium...

**Fig. 9** a Time series of residual NINO3 SST index (blue) and effective solar irradiance anomaly (red). b Scatter plot of the residual NINO3 SST index and the effective radiative forcing. Red dashed line in b indicates  $-15 \text{ W/m}^2$ . See the text for the definition of the residual NINO3 SST index.



POSTECH

## 후역사...(I)



2011.08 첫 번째 writing 시작...

2012.01 Submit CC -> Reject I

2012.04 Submit GRL -> Reject II

2012.09 Submit AR -> Reject III

2013.01 Submit TAC -> Reject IV

2013.02 멘봉... 석사졸업

2013.10 Submit JAST -> Reject V

2013.11 Submit MAP -> revision -> Accept 2014.03 !

*Meteorol Atmos Phys* (2014) 126:71–79  
DOI 10.1007/s00703-014-0324-6

ORIGINAL PAPER

### Contributions of solar and greenhouse gases forcing during the present warm period

Hyung-Gyu Lim · Sang-Wook Yeh ·  
Ji-Won Kim · Rokjin Park · Chang-Keun Song

Received: 14 November 2013 / Accepted: 31 March 2014 / Published online: 12 June 2014  
© Springer-Verlag Wien 2014

POSTECH

## 흑역사...(II)



Clim Dyn  
DOI 10.1007/s00382-015-2799-3

### Threshold of the volcanic forcing that leads the El Niño-like warming in the last millennium: results from the ERIK simulation

Hyung-Gyu Lim<sup>1</sup> · Sang-Wook Yeh<sup>2</sup> · Jong-Seong Kug<sup>1</sup> · Young-Gyu Park<sup>3</sup> ·  
Jae-Hun Park<sup>3,4</sup> · Rokjin Park<sup>5</sup> · Chang-Keun Song<sup>6</sup>

Received: 5 December 2014 / Accepted: 8 August 2015  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

## 처음부터 잘쓰자!!!

2012.07 두 번째 writing 시작...

2013.11 submit JC -> 또 Reject... 난 글렀나...

2014.11 submit CD -> 2015.8 accept!

POSTECH

## Obs [Last Millennium]



### ➤ Observation data

- Surface temperature : Global climate proxy network dataset [Mann et al., 2009]
- Hadisst, sunspot number(NOAA)

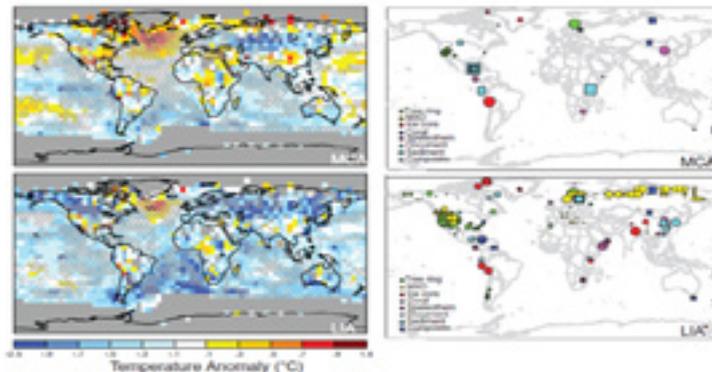
### ✓ Dendroclimatic data

- 105 maximum latewood density(MXD) : gridbox(5° x5°)
- 920 tree-ring composite series : International Tree Ring Data Bank
- 5 additional tree-ring based series (local temperature reconstructions and regional composite chronologies)

### ✓ Proxy dataset

- 3 marine sediment series(from two locations)
- 14 speleothem series(from 7 locations)
- 32 ice core series(from 26 locations)
- 19 lacustrine series(from 12 locations)
- 15 marine coral series(from 10 locations)
- 19 historical documentary series(from 15 locations)

**Fig. 2.** Reconstructed surface temperature pattern for MCA (950 to 1250 C.E.) and LAI (1400 to 1700 C.E.). Shown are the mean surface temperature anomaly (left) and associated relative weightings of various proxy records used (indicated by size of symbols) for the low-frequency component of the reconstruction (right). Anomalies are defined relative to the 1961–1990 reference period mean. Statistical skill is indicated by hatching [regions that pass validation tests at the  $P = 0.05$  level with respect to  $RF$  (CI) are denoted by / (I) hatching]. Gray mask indicates regions for which inadequate long-term modern observational surface temperature data are available for the purposes of calibration and validation.



POSTECH

# ERIK uncertainty



[Michael E. Mann et al. 2007]

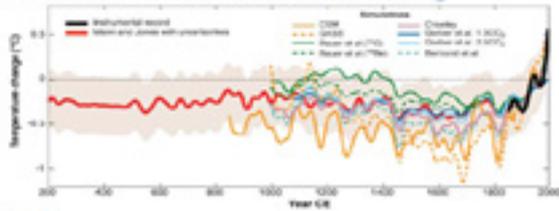
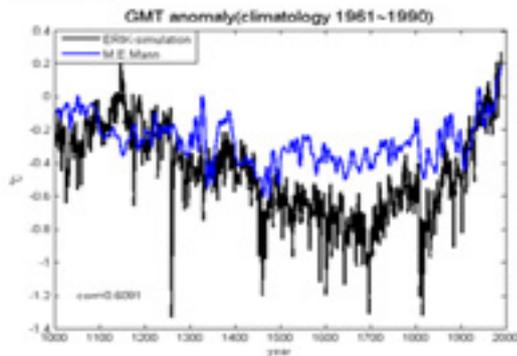


Figure 7  
Model-based estimates of NH temperature variations over the past two millennia. Series have been assembled to highlight variations on timescales greater than 80 years. The simulations employ a range of climate models with differing assumptions on radiative forcing and coupling between different estimates of radiative forcing histories, including natural (solar + volcanic) and modern anthropogenic (greenhouse gas and sulfate aerosol) inputs. Shown for comparison are the instrumental NH record (1850-2000) and an empirical proxy-based estimate of NH mean temperature change with its 95% uncertainty band (shaded). From Jones & Mann (2004), © ICA.



[Liu et al 2009]

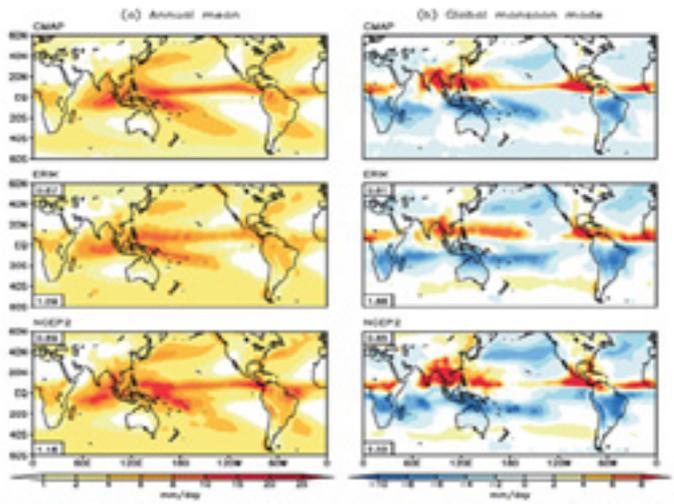


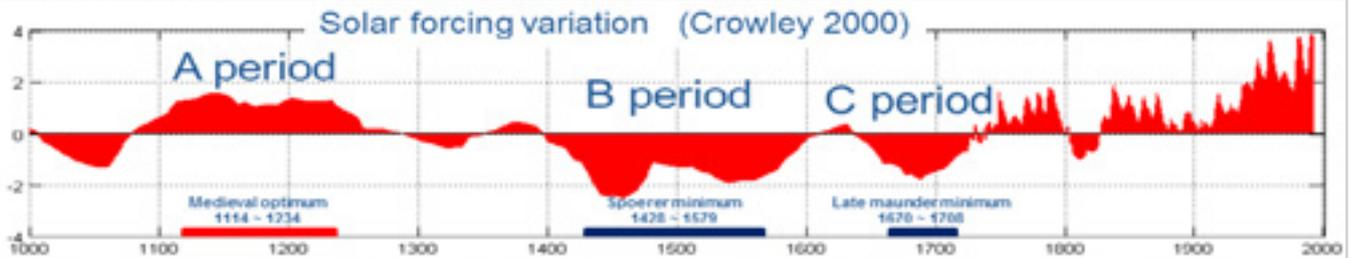
FIG. 5. Comparison of climatology of global precipitation (mm day<sup>-1</sup>) (a) annual mean and (b) global maximum mode (EAS minus DJFM leading EOF mode of monthly-mean annual cycle) for (top) CMAP, (middle) ECHO-G-ERIK run, and (bottom) NCEP-2 Reanalysis. CMAP and NCEP-2 Reanalysis climatological data were derived for the period 1979-2004. ERIK 25-yr climatology was derived for the period AD 1961-90. The numbers shown in the upper-left corners and the lower-left corners indicate pattern correlation coefficients and RMSEs with the CMAP data, respectively.

POSTECH

# Future work : Multi decadal time scale

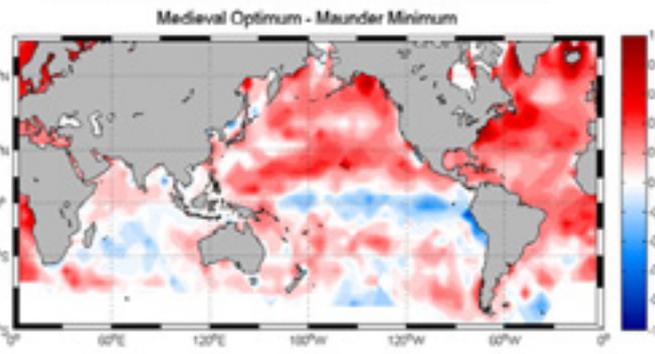
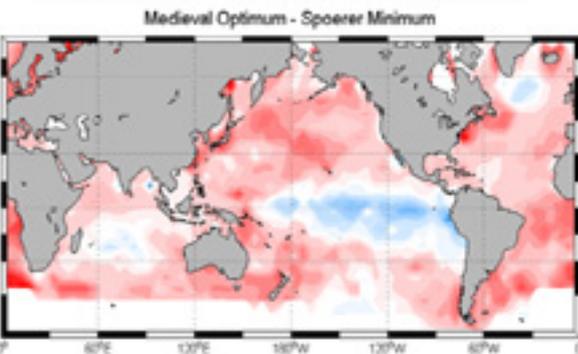


## Global climate proxy network dataset

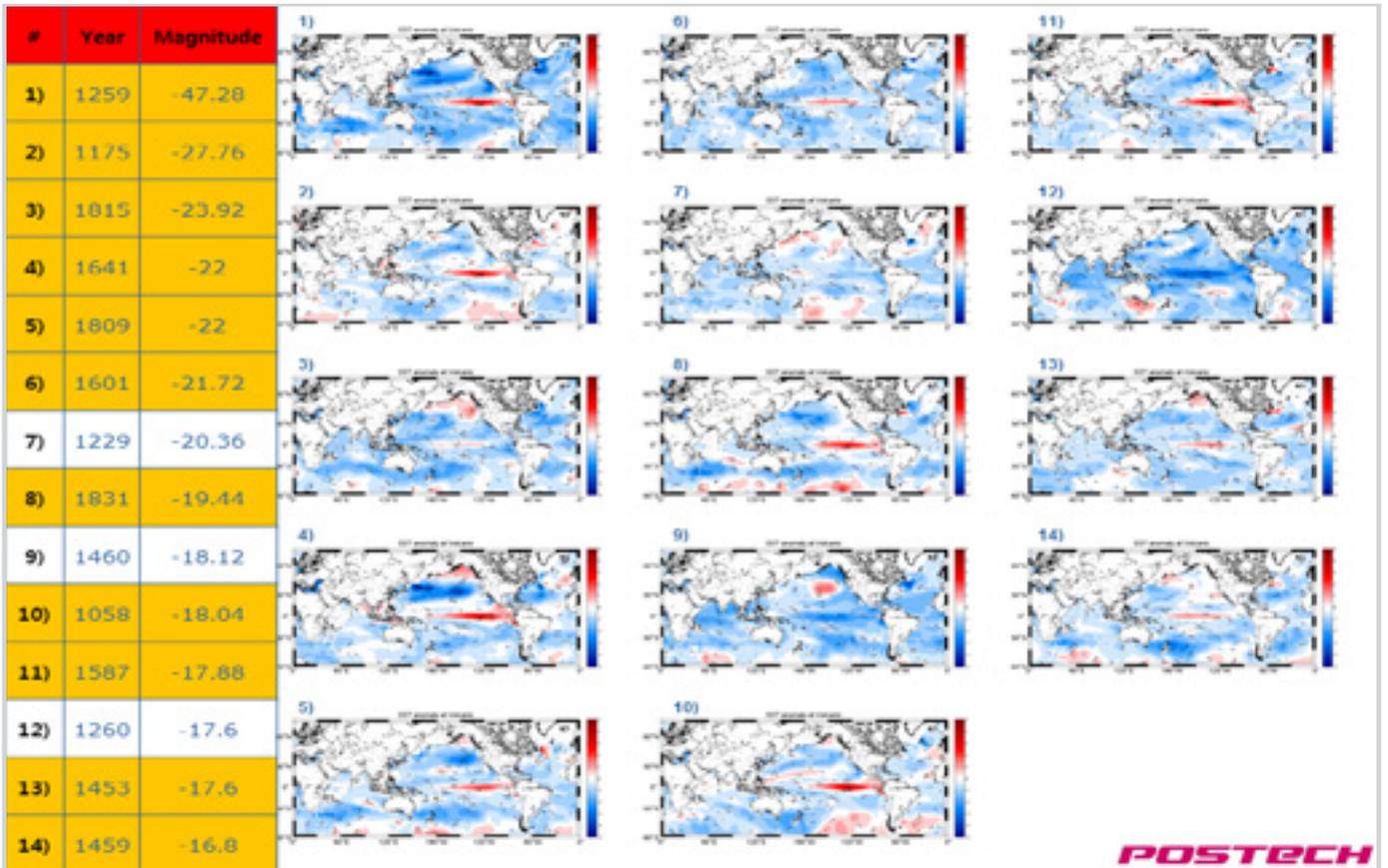
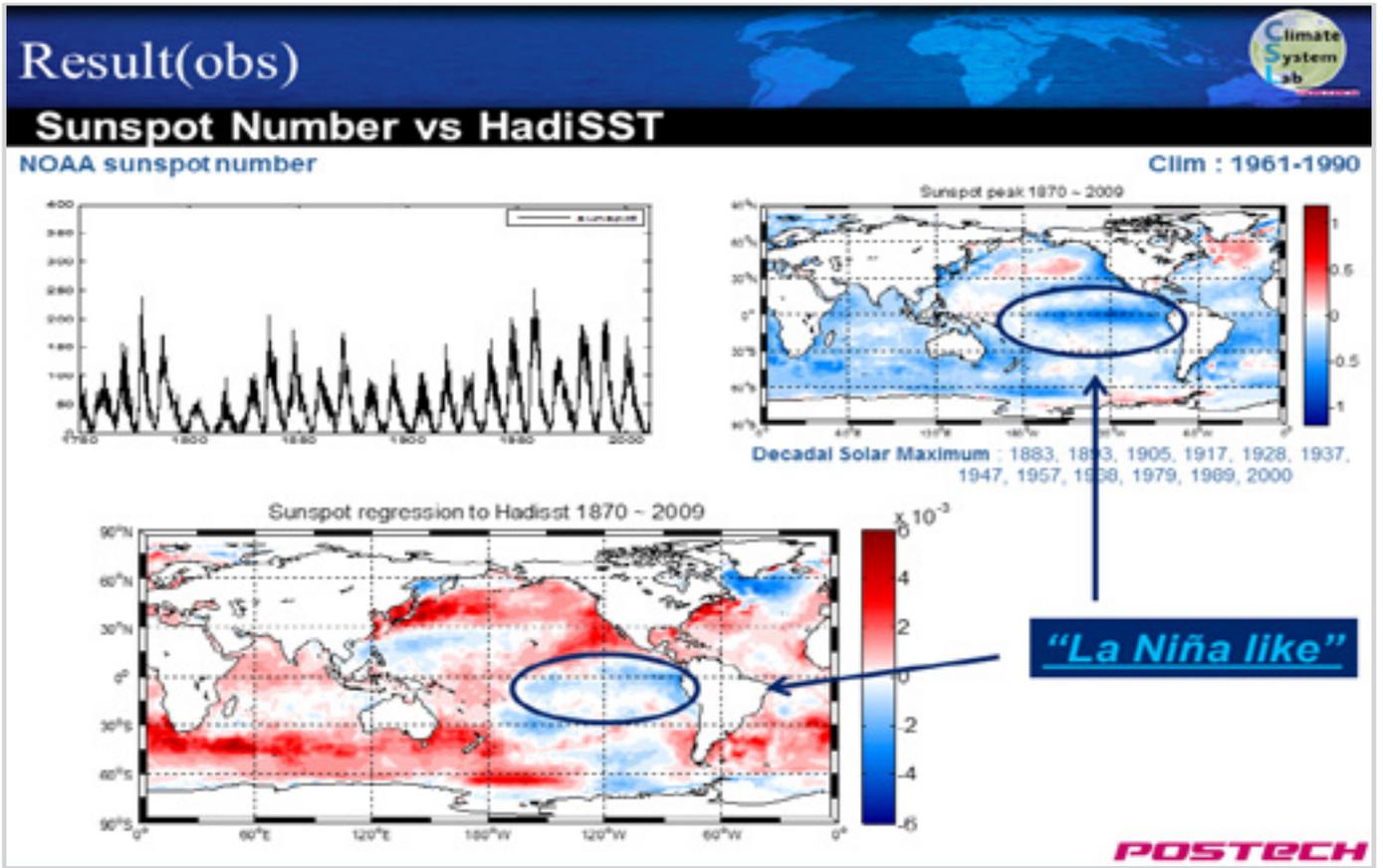


A period minus B period

A period minus C period



POSTECH



# Appendix



표 2.14. 체류시간, 복사강제력 효율성, CO<sub>2</sub>에 관계가 있는 직접적(CH<sub>4</sub> 제외) 지구온난화 지수, 오존고갈물질과 이와 대체제, 자료는 다른 방법으로 결정되지 않은 경우에 IPCC/TDAP2005의 것을 취한다.

산업에서 사용하는 명칭 및 일반적인 이름(년)	화합식	1.4x10 <sup>-2</sup> W/m <sup>2</sup> /ppm 시간 규모단위로 제시된 지구온난화 지수					
		체류시간 (년)	복사강제력 효율성 (Wm <sup>-2</sup> sub <sup>-1</sup> )	GAR* (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
이산화탄소	CO <sub>2</sub>	See above*	1.4x10 <sup>-2</sup>	1	1	1	1
메탄	CH <sub>4</sub>	12 <sup>a</sup>	3.7x10 <sup>-2</sup>	21	72	25	7.6
아산화질소	N <sub>2</sub> O	114	3.00x10 <sup>-2</sup>	310	289	290	153
몬트리올 의정서에 의해 조항된 물질							
CFC-11	CClF <sub>3</sub>	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CClF <sub>2</sub>	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF <sub>3</sub>	640	0.25	10,800	10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub>	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF <sub>2</sub> CCF <sub>2</sub>	300	0.31	8,040	10,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,700	0.18	5,310	5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CB <sub>2</sub> F <sub>3</sub>	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CB <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>	16	0.3	4,750	4,750	1,890	575
Halon-2402	CB <sub>2</sub> F <sub>2</sub> CB <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	20	0.33	3,680	3,680	1,640	503
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH <sub>3</sub> Br	0.7	0.01		17	5	1
Methyl chloroform	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	12	0.2	1,500	5,160	1,810	540
HCFC-123	CH <sub>2</sub> ClCF <sub>3</sub>	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClCF <sub>3</sub>	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH <sub>3</sub> CClCF <sub>2</sub>	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH <sub>2</sub> ClCF <sub>2</sub>	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CH <sub>3</sub> CClCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CClCF <sub>2</sub>	5.8	0.32		2,030	595	181
Hydrofl uorocarbons							
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200



[대기화학과 지구환경]

박록진 (서울대학교 교수)

# 대기화학과 지구환경

박 록 진  
서울대학교 지구환경과학부

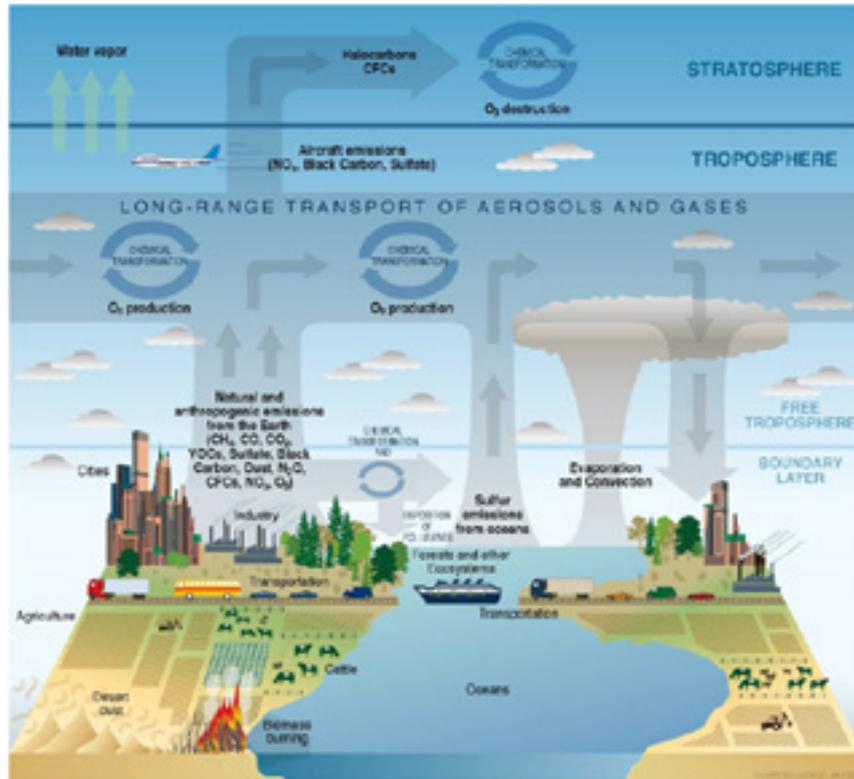
제 1 회 온드림 임팩트 대학(원)생 학술세미나, 현대빌딩 별관, 2015년 11월 21일 (토)

## 대기화학이란 어떤 학문인가?

Air chemistry is a branch of atmospheric sciences in which the chemistry of the earth's atmosphere (chemical composition of air) is studied

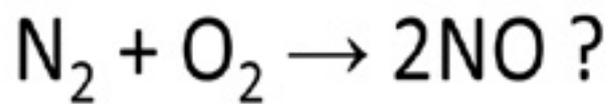
*(<http://en.wikipedia.org/wiki/>)*

## WHY DO WE STUDY CHEMICAL COMPOSITION OF AIR?





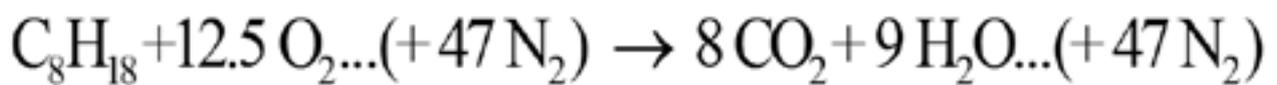
자동차에서 질소화합물은 어떻게 생기나?



자동차에서 질소화합물은 어떻게 생기나?



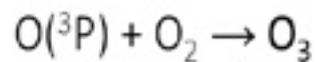
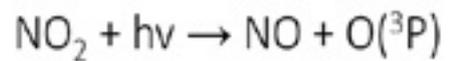
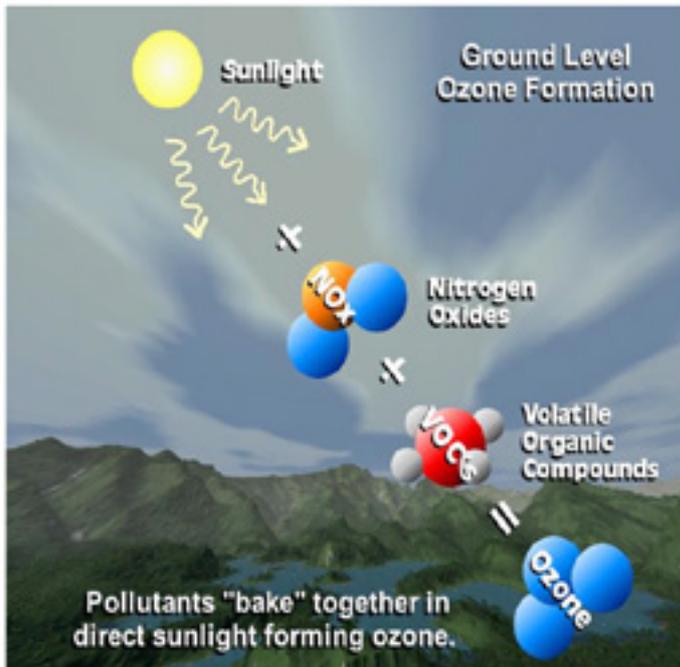
at  $T > 1500^\circ\text{C}$



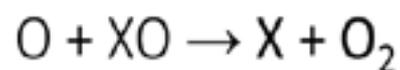
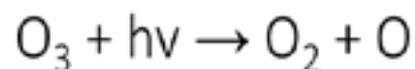
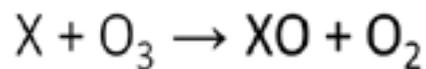
자연에서 발생하는 질소화합물은 어디서?



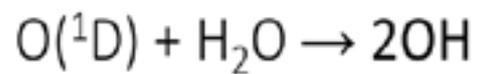
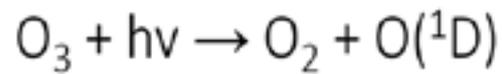
## 질소산화물의 대기중 화학적 변화



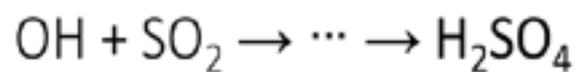
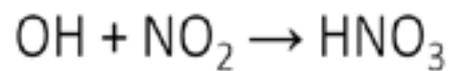
## 대기화학에서 오존의 역할



## OH의 생성

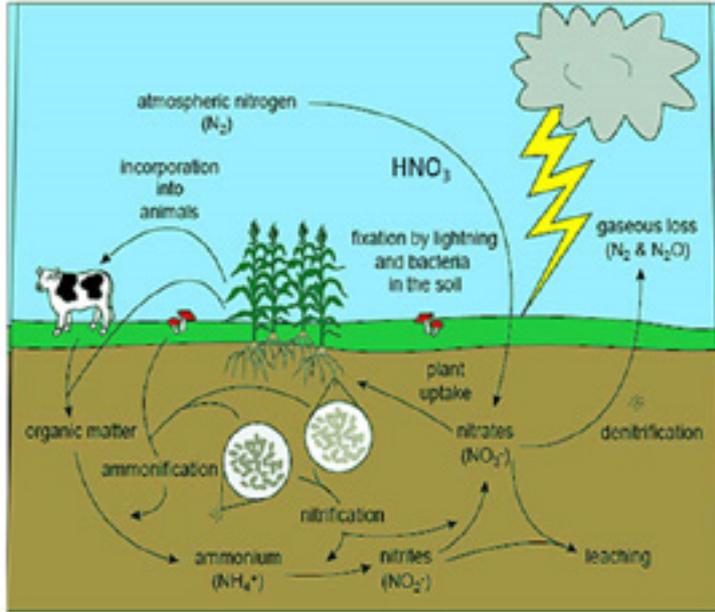


## 대기중의 OH의 소멸

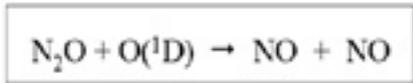


## 주요도시의 빗물의 산도 (pH)





1970 - Paul Crutzen proposes that  $\text{NO}_x$  from bacterial  $\text{N}_2\text{O}$  can participate in atmospheric chemistry as  $\text{NO}$  formed in the stratosphere



"Influence of Nitrogen Oxides on Atmospheric Ozone Content"  
*Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 96 (1970):320.

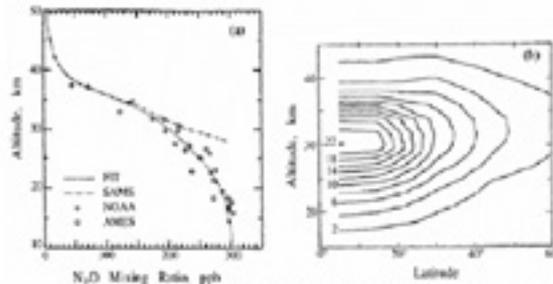
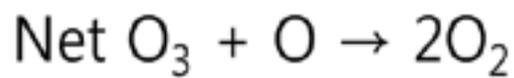
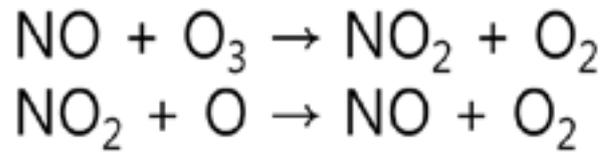
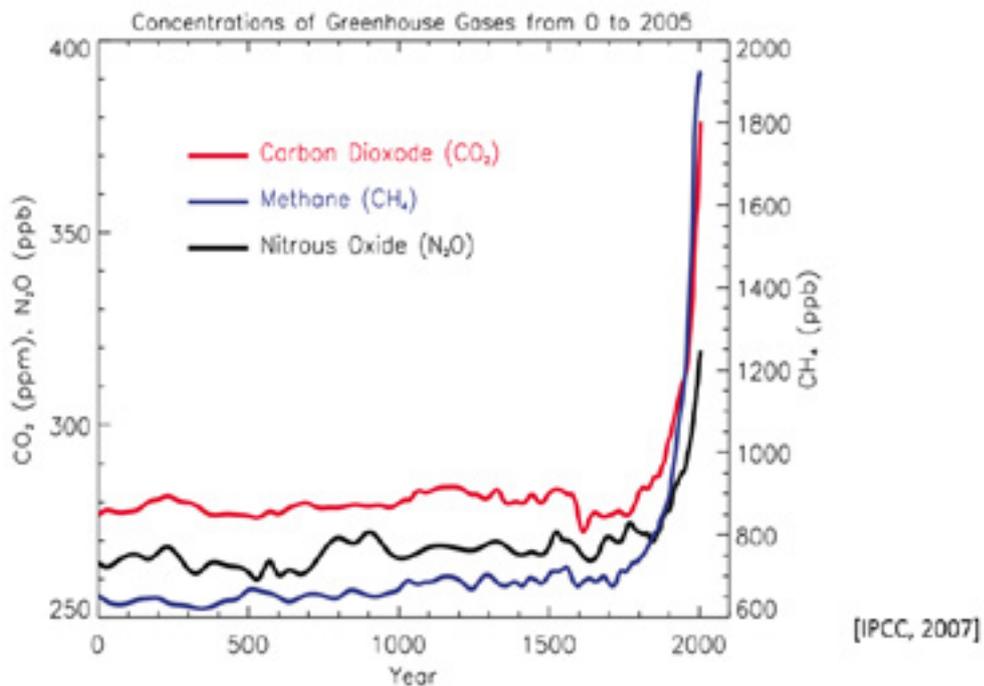


FIGURE 6.7. Vertical profile of  $\text{NO}_2$  concentration in spring of 1966. Circles down to 30 km from measurements at 0° N and 0° N, squares represent aircraft measurements between 1.0° S and 1.0° N. Dashed curve refers to the average of available measurements at 0° N, England, between 1970 and 1984. This compilation of data was generated by Minschwaner et al. (1975), which the only real source of data can be found. The dotted curve indicates the vertical profile used by Minschwaner et al. to estimate the lifetime of  $\text{NO}_2$ . The calculated diurnally averaged loss rate for  $\text{NO}_2$  (in units of  $10^6 \text{ yr}^{-1}$ ) as a function of altitude and latitude is given. The loss rate includes both photolysis and reaction with  $\text{O}(^1\text{D})$  (Minschwaner et al. 1975).

## NO에 의한 성층권 오존의 파괴



## N<sub>2</sub>O의 농도변화



GB2008

McELROY AND WANG: EMISSIONS OF N<sub>2</sub>O AND NO<sub>x</sub> FROM ORGANIC WASTE

GB2008

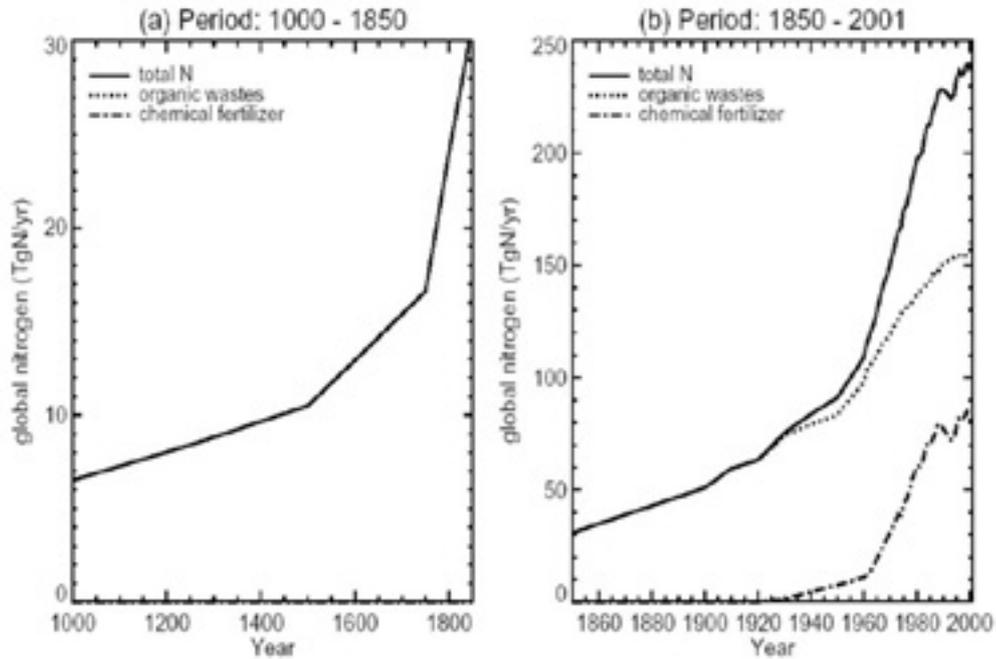
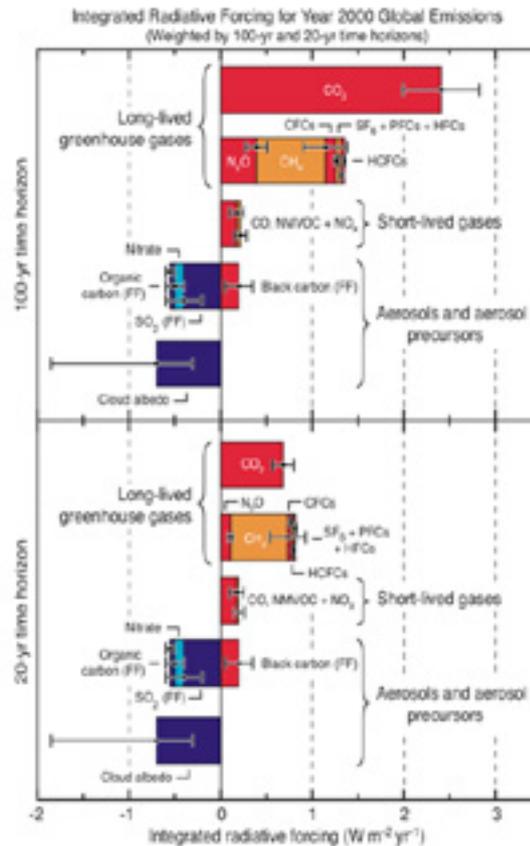
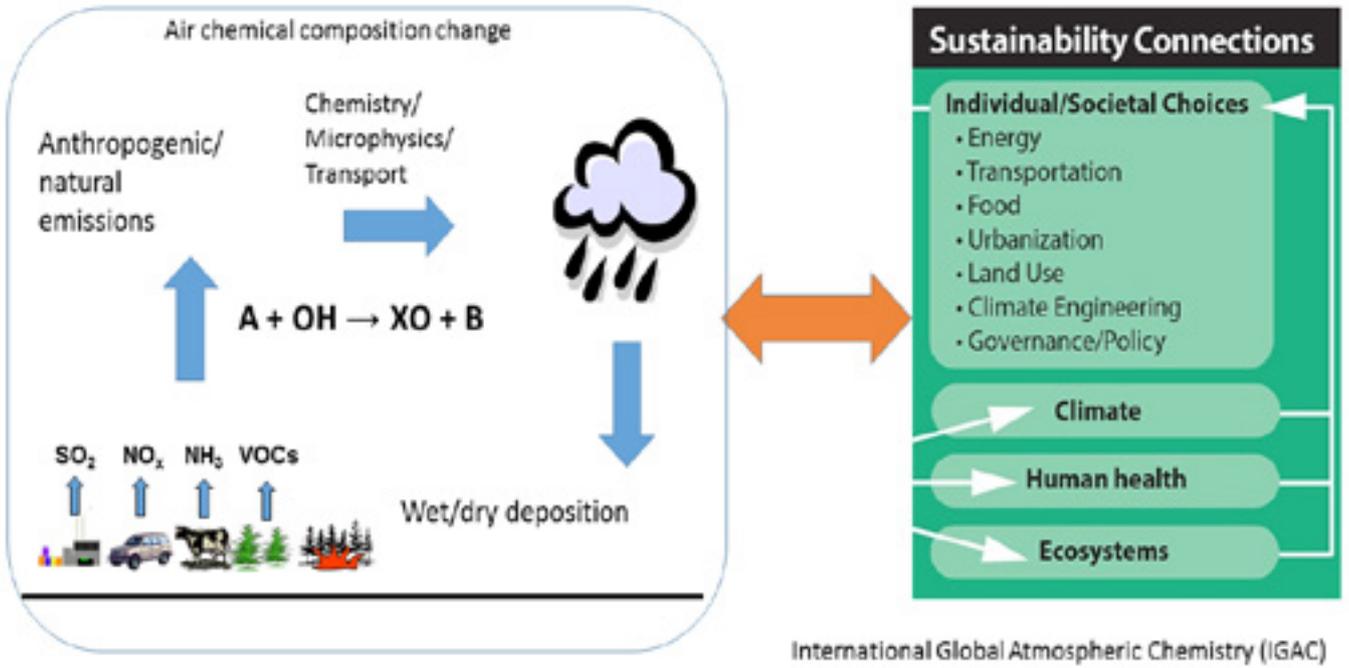


Figure 1. Amount of N processed through the agriculture/animal/human food chain for the periods (a) 1000-1850 and (b) 1850-2001.

## Integrated Radiative forcing (복사강제력)



# 대기화학의 주된 연구 대상





**School of Earth and Environmental sciences at SNU**  
**Atmospheric Chemistry Modeling Group**



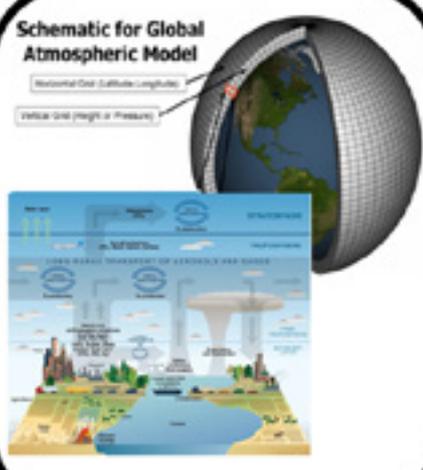
대기화학모델링연구실에서 하는 연구는?

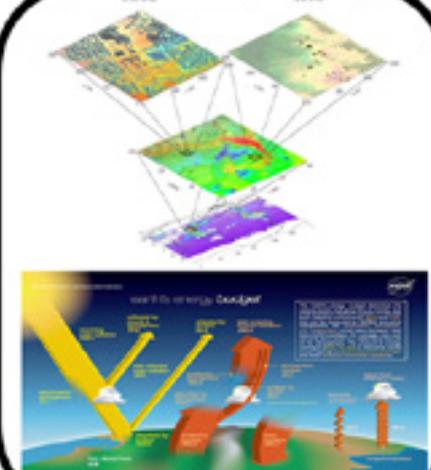
**전지구적 오존 및 미세먼지  
거동 파악 및 예보**

**단기체류 기후변화 유발물  
질의 기후 효과 분석**

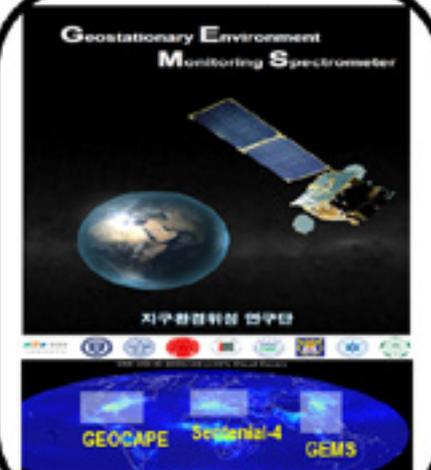
**인공위성(GEMS)을 통한 동  
아시아 오염물질 감시**

**Schematic for Global Atmospheric Model**





**Geostationary Environment Monitoring Spectrometer**



지구환경위성 연구단

GEOCAPE Sentinel-4 GEMS

감사합니다  
Thank you~!

[대기오염과 기후변화]

김상우 (서울대학교 교수)

# 대기오염과 기후변화



Waterloo Bridge, Cloudy Weather (1900) by Claude Monet

김상우 (서울대학교 지구환경과학부)

## 오늘과 내일의 날씨(Weather)

**“난 기상학이야” “그런 과도 있니? 그럼 내일 날씨 맞힐 수 있어?”**  
영화 ‘오버 더 레인보우’ 에서 영화배우 이정재(기상캐스터)가 나누는 대화 중 일부



**“날씨는 끊임없이 변화하는 자연현상”**

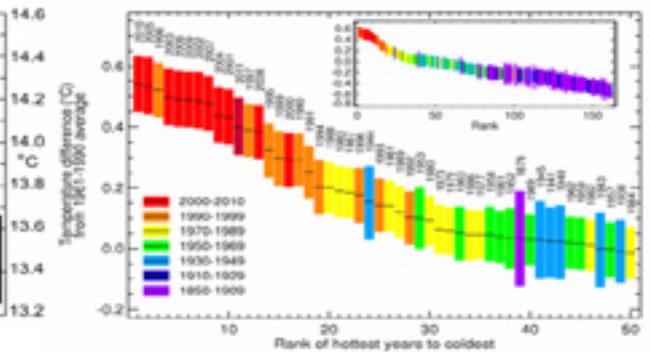
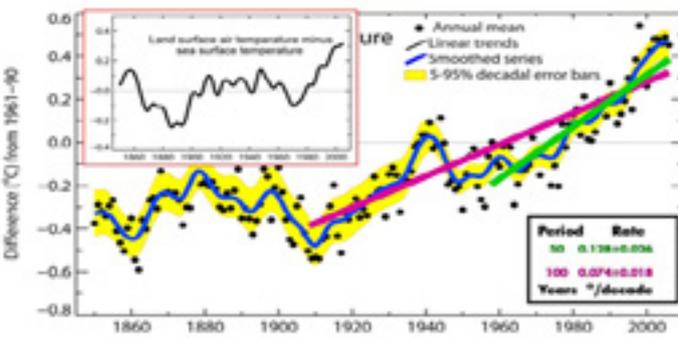
**溫故而知新 可以偽師矣** [온고이지신 가이위사의]

이미 배운 내용을 잘 익히고 새로운 것들을 계속 알아간다면 다른 사람의 스승이 될 수 있음

# 날씨(Weather) vs. 기후(Climatology)



"Weather" in Las Vegas (18 December 2008)



1973



1977



2001



2005



2006



2010

뉴스 보도전문채널

지구 온난화 따뜻한 겨울 이어진다  
2007.12.26

지구온난화 영향... 점점 겨울 같잖은 겨울

'칼날' 무더진 겨울추위

영하 10도 이하 일수 급감 2007.11.29

지구온난화의 영향으로 겨울이 점차 따뜻해지고 있다.

2007.11.27

사회·날씨

영남지방, 역대 12월 적설량 최고기록 갈아치워... 대구 60년만에 12월 폭설 2012.12.28

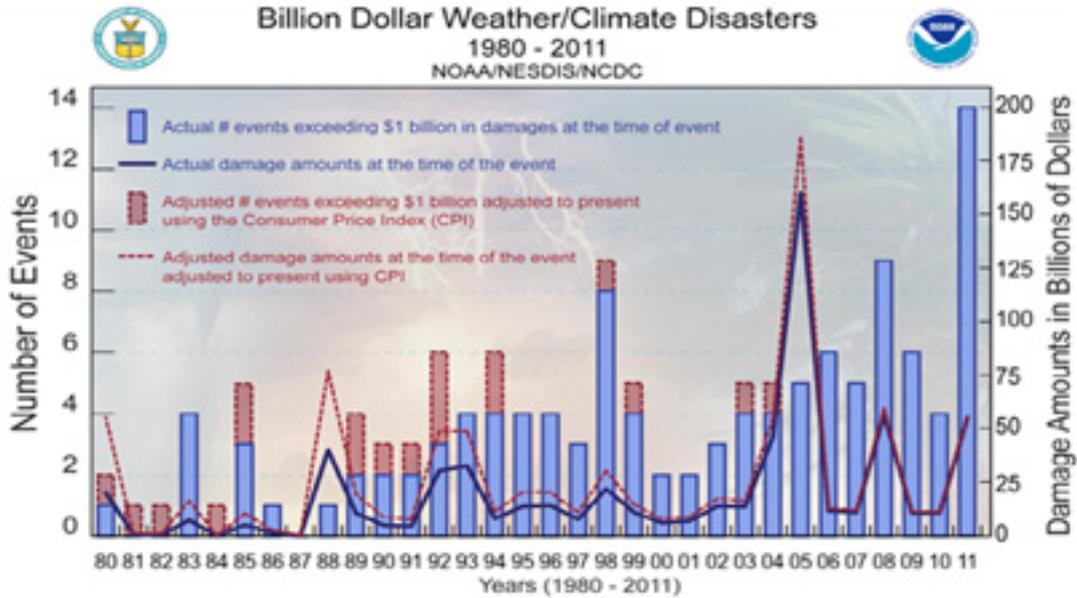
[날씨] 27년 만의 최고 한파 기록... 체감온도 -22도 2013.01.04

종합

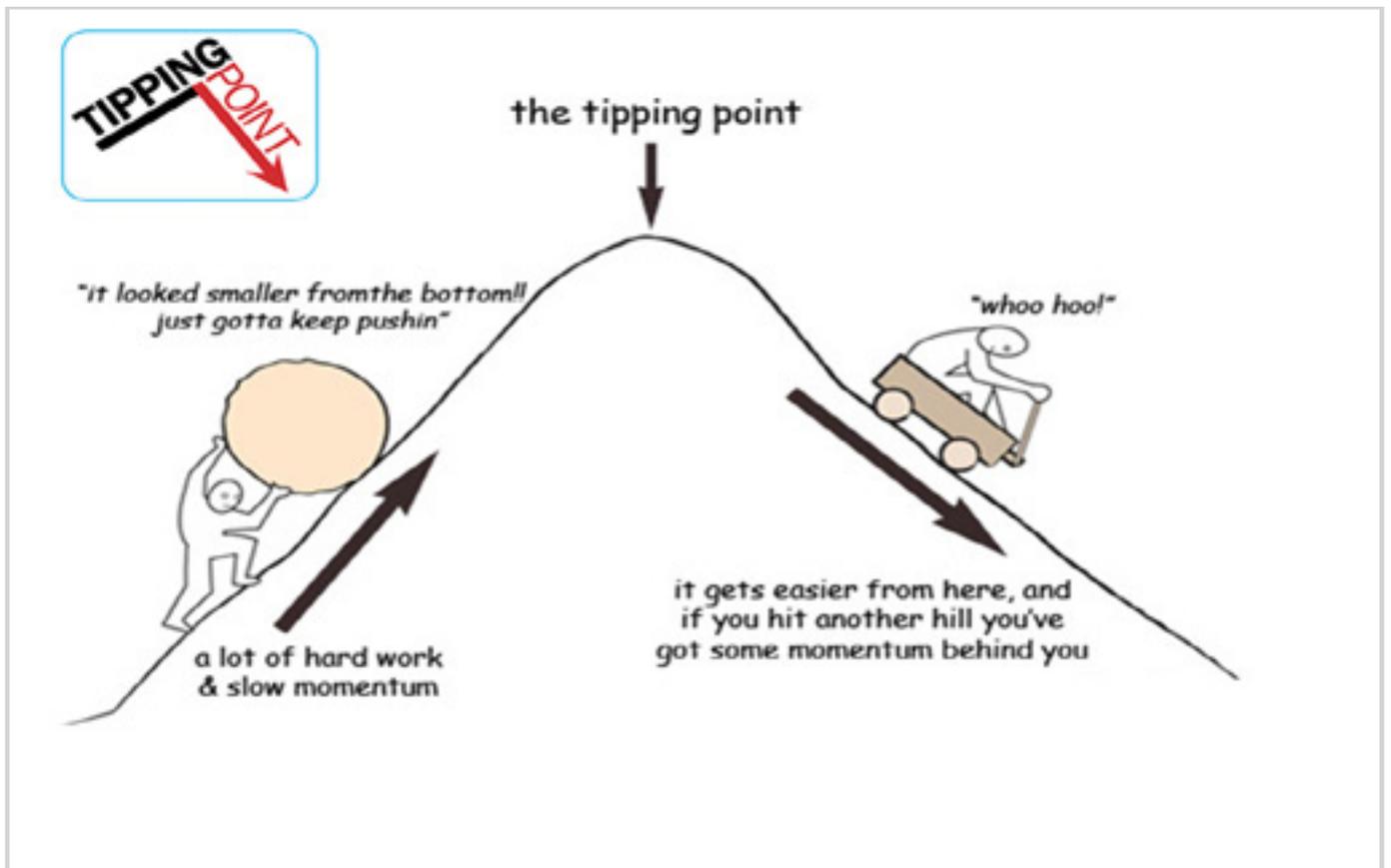
기록 갈아치운 올여름 더위·폭우  
서울 8월5일 평균 31.8도 1위 2012.09

올여름 40년래 세번째로 더웠다 2012.09

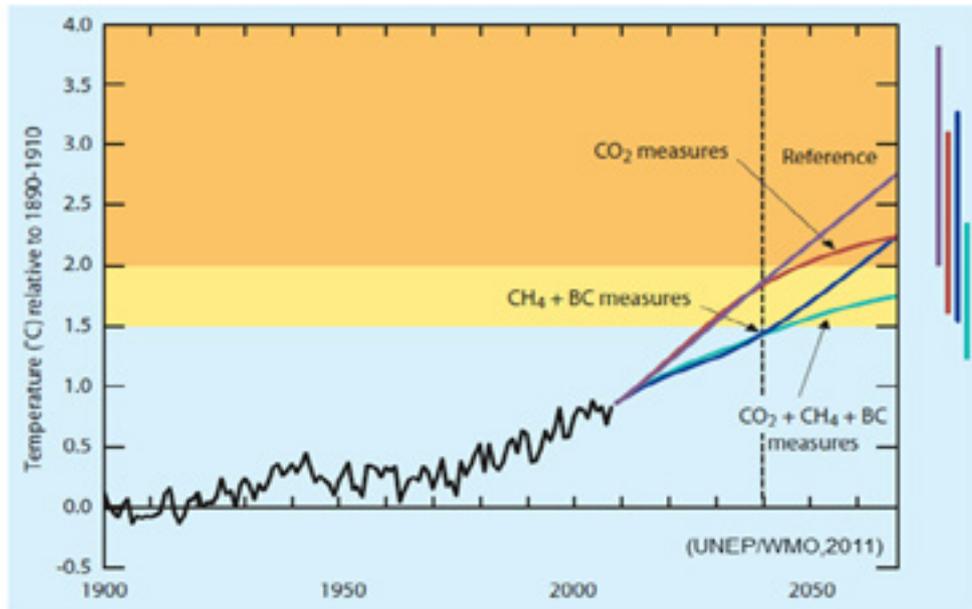
## 미국의 기상 재해 증가



- 날씨/기후는 더 이상 환경적 요인이 아닌, 주요한 **경제적 요소**로 농업, 건설업, 소매업, 전기, 에너지, 보험업, 제조업 등에 막대한 영향

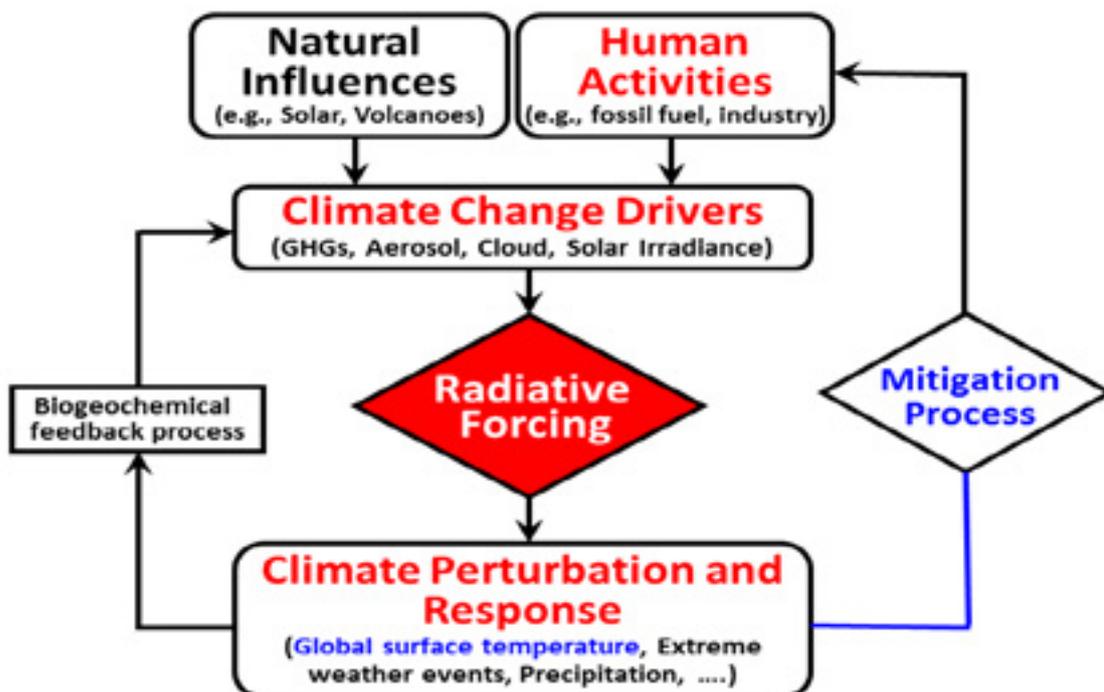


## Pathway to limiting global warming to 2°C

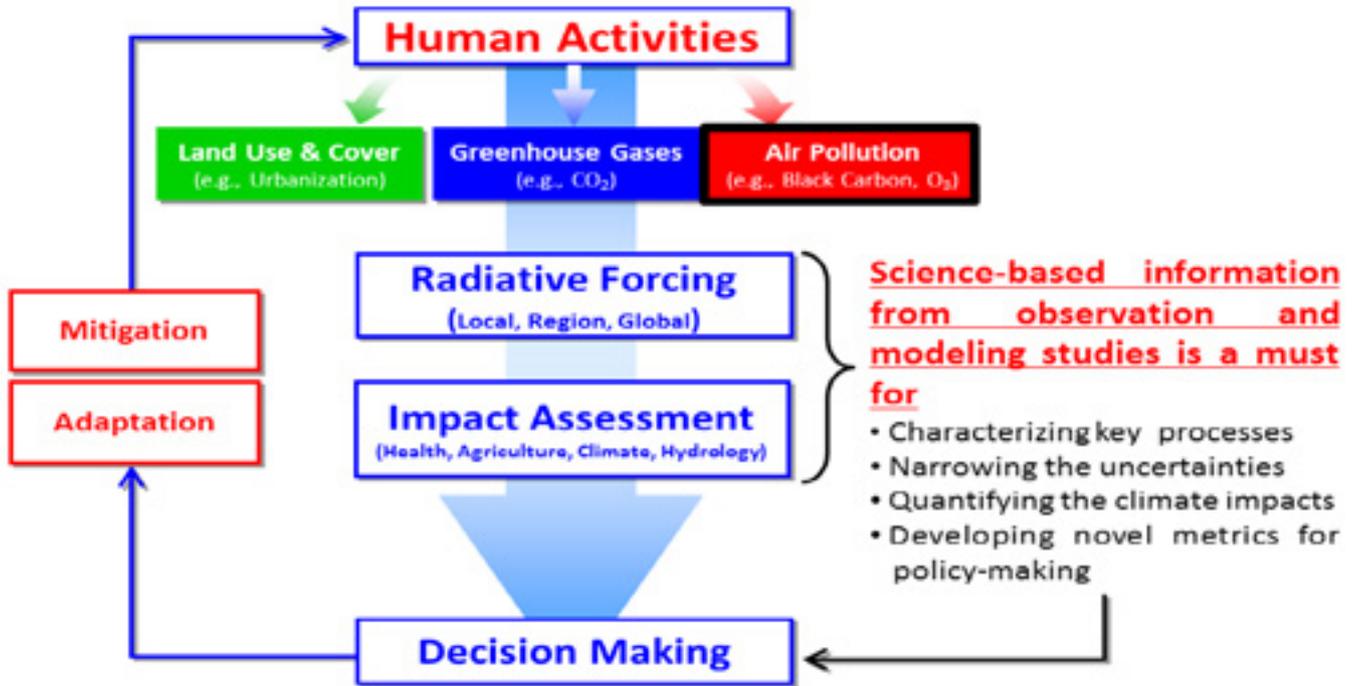


- Reduce CO<sub>2</sub> by at least 50% before 2050.
- Reducing BC (Black Carbon) may be fastest way to slow global warming.

## Components of the Climate Change Process

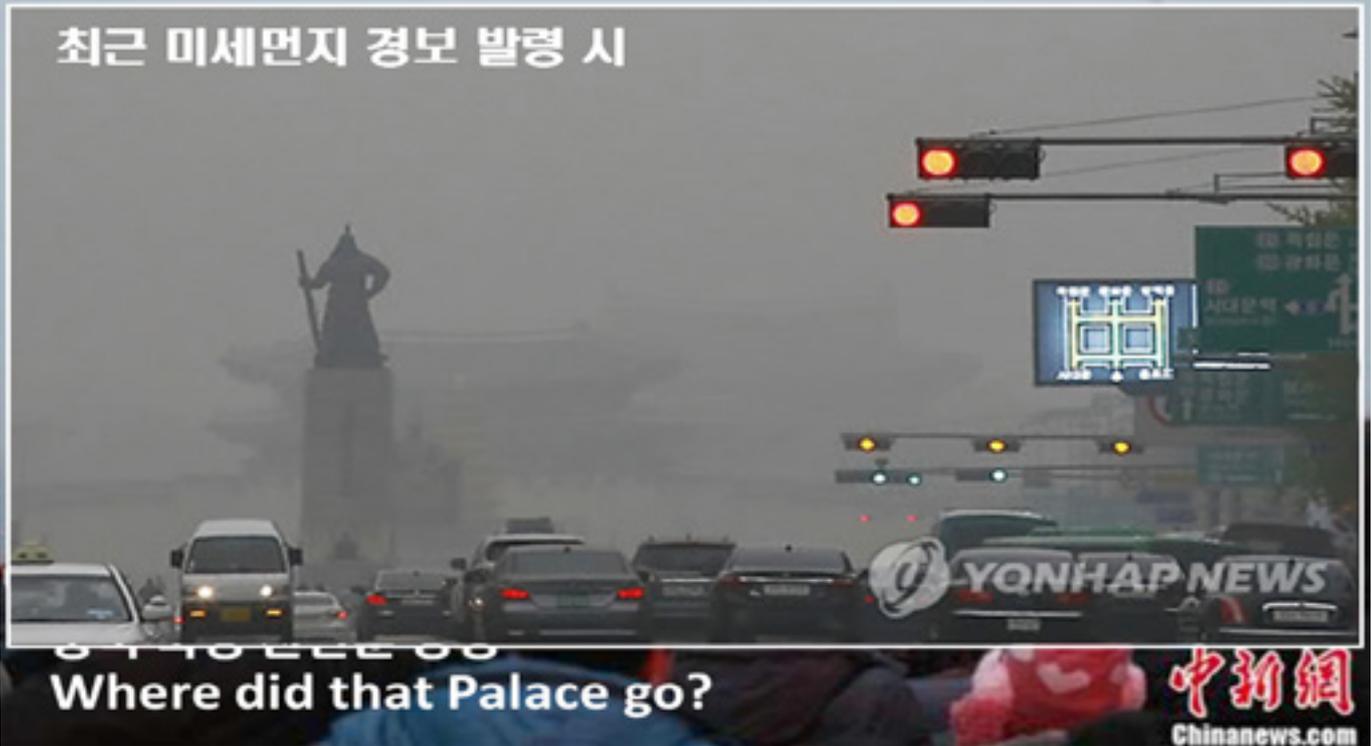


## Components of the Climate Change Process

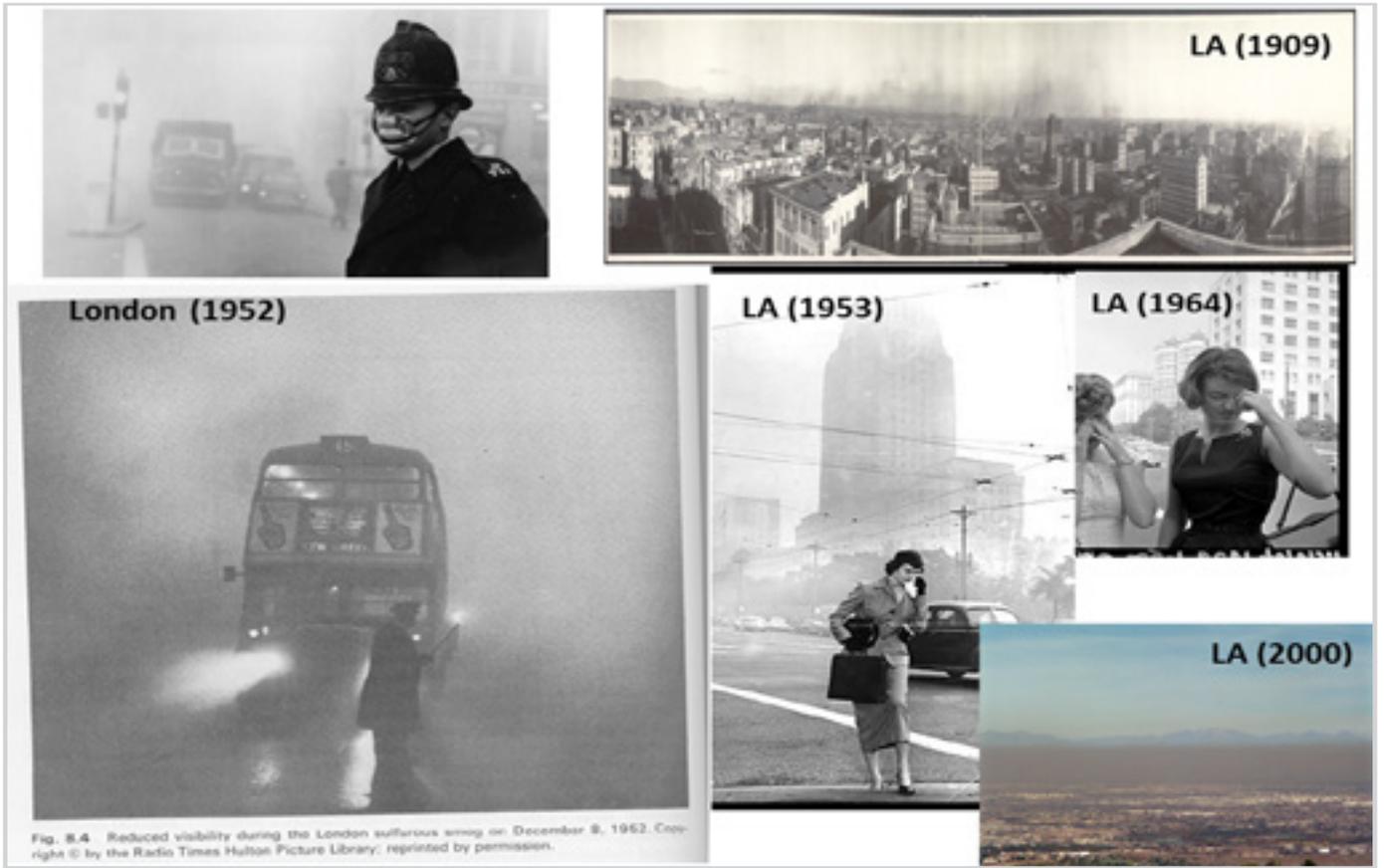


## 대기오염

최근 미세먼지 경보 발령 시







## 히말라야에 위치한 네팔 카트만두



Super emitter- unregulated



Traffic Congestion



Garbage burning



After 24-h



Poorly maintained roads

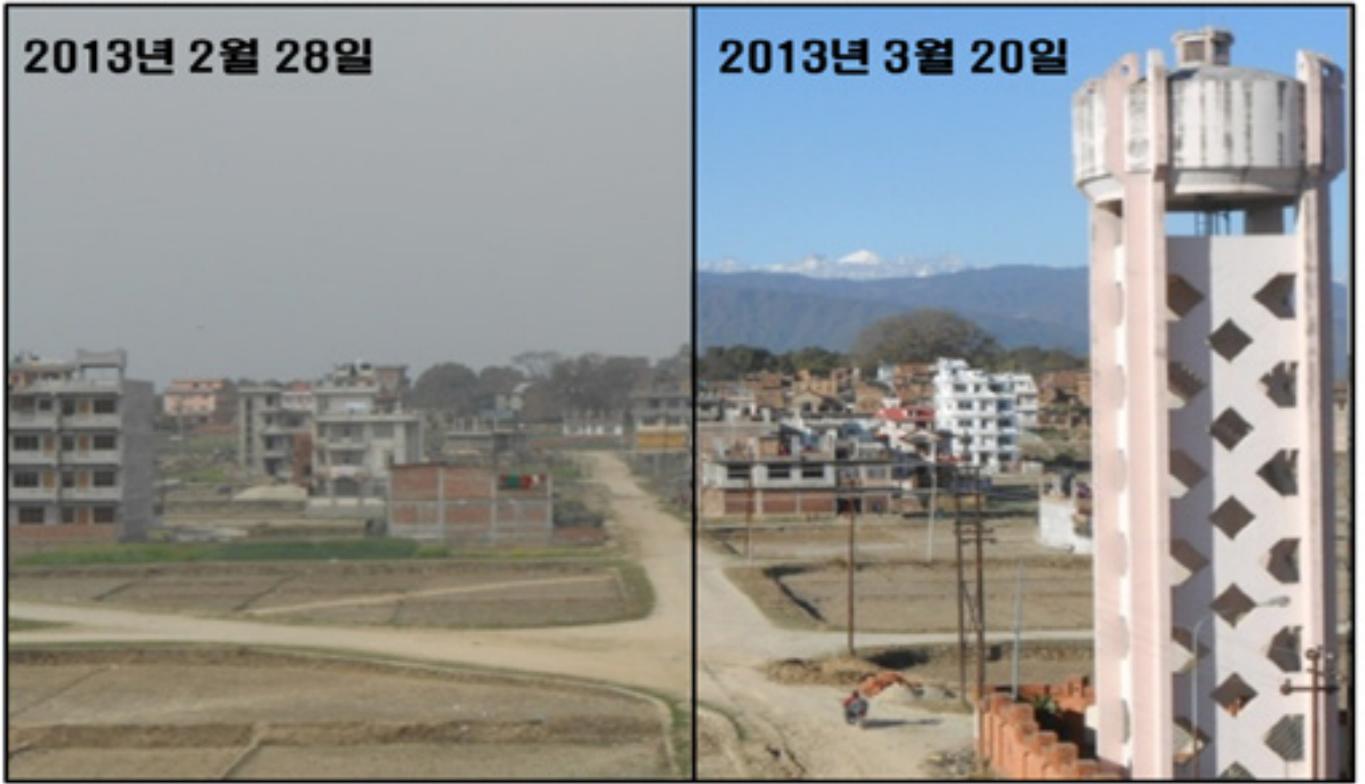


Brick Kilns

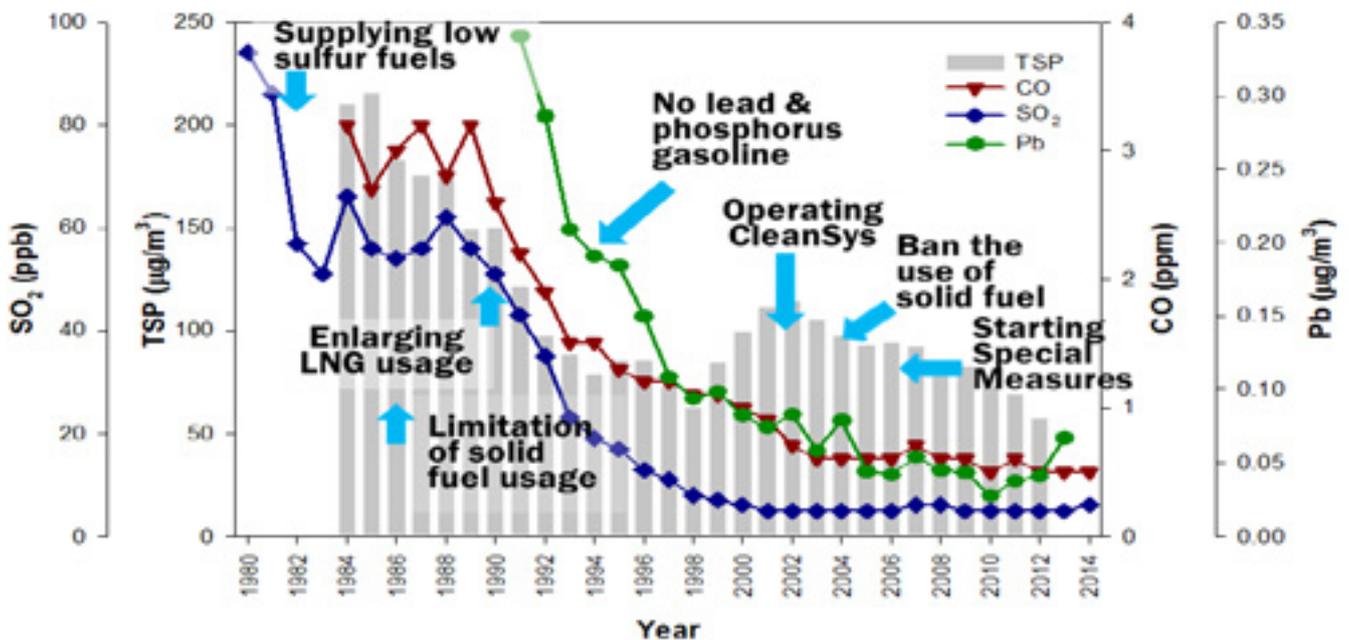


Forest fire

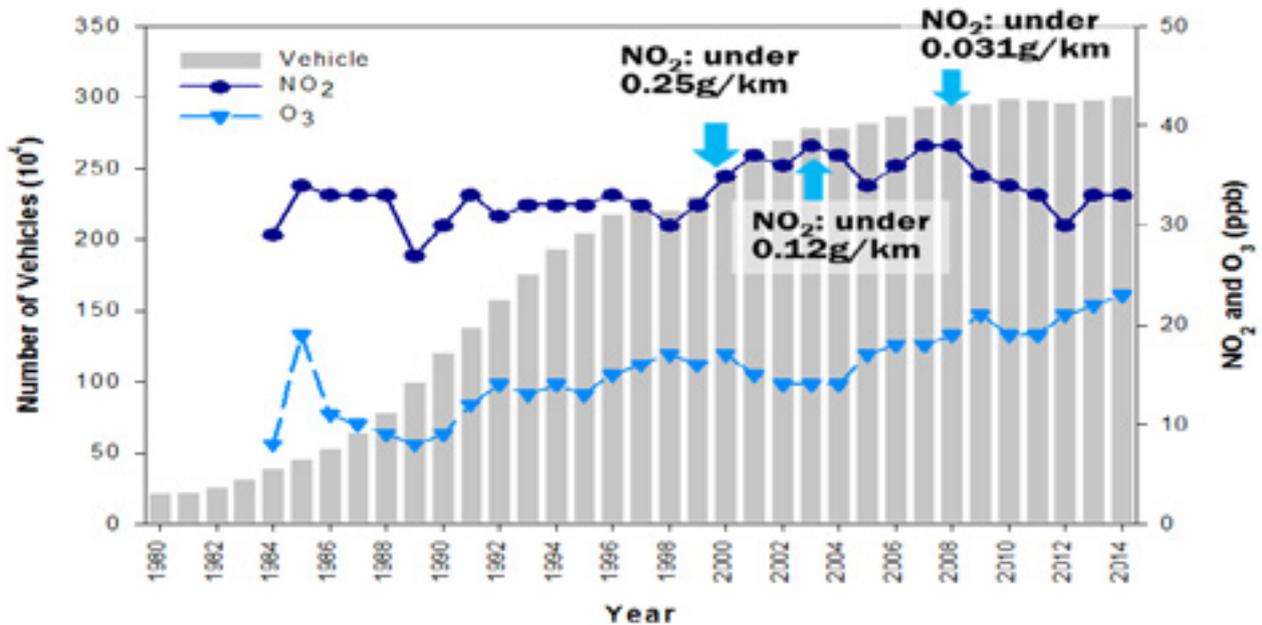
## 네팔 카드만두의 미세먼지에 의한 시정감쇄



## 서울지역의 1차 대기오염물질 농도변화 (1980-2014)



## 서울지역의 자동차 수와 이산화질소 및 오존의 농도 변화 (1980-2014)



## 대기오염물질과 기후변화

Parasol 효과

태양복사

일부 반사

↑ 황산염, 질산염  
원소탄소, 유기탄소  
↓ 금속/토양 성분 등

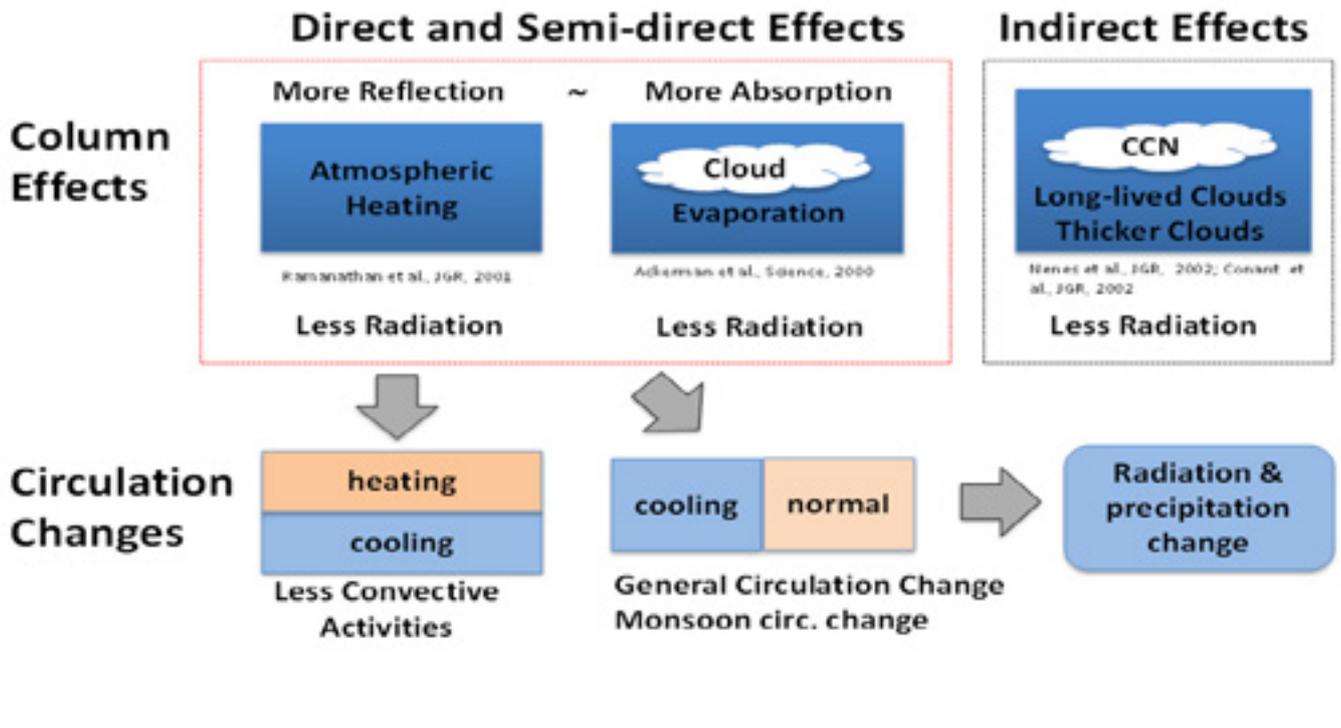
대기오염물질에 의한  
일부 대기 흡수

**대기가열: 온난화에 기여**

지표 도달

**지표 냉각에 기여**

# 대기오염물질의 기후 영향

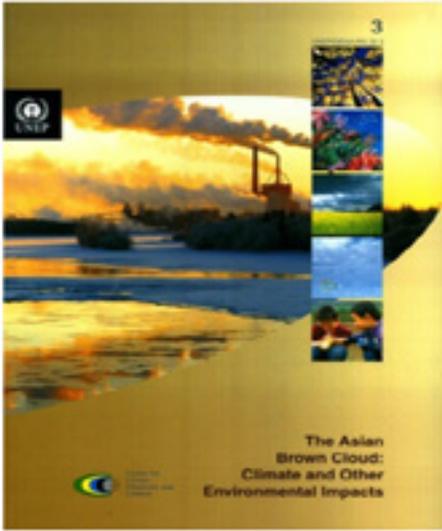


## 대기오염의 주요 배출원

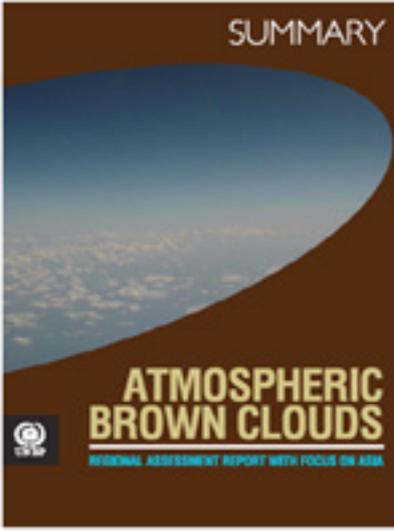




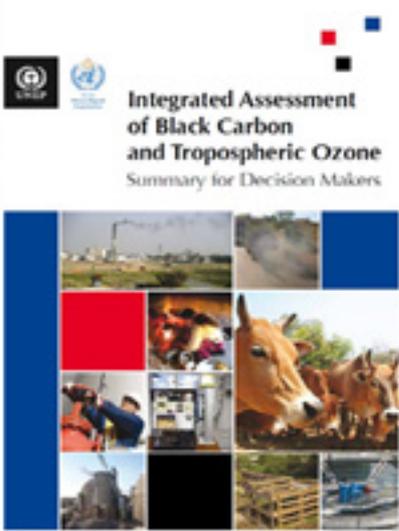
**Atmospheric Brown Clouds (ABC):  
A Climate Mitigation Journey that began in 2000**



**Preliminary Assessment Report (Aug 2002)**



**The First Impact Assessment Report (Nov 2008)**



**Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone (Feb 2011)**



**CLIMATE & CLEAN AIR COALITION**  
TO REDUCE SHORT-LIVED CLIMATE POLLUTANTS

 Diesel
  Oil & Gas
  Waste
  Bricks
  HFCs
  Cookstoves
  Agriculture
  SNAP
  Finance
  Assessments
  Urban Health

<http://www.ccacoalition.org>

## What are Short-Lived Climate Pollutants?

Short-lived Climate Pollutants	ANTHROPOGENIC SOURCES	LIFETIME IN ATMOSPHERE	IMPACTS / MITIGATION	<div style="background-color: #ffff00; width: 50px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <b>SLCP IMPACTS</b>
	↑		LOCAL    REGIONAL    GLOBAL ●    ○    ⊕	
			● ○ ⊕	
			● ○ ⊕	
			● ○ ⊕	
<b>Black Carbon (BC)</b>		Days	● ○ ⊕	Harm public health  Reduce food security  Warm the atmosphere  Increase ice and snow melting  Disrupt weather patterns 
<b>Methane (CH<sub>4</sub>)</b>		12 years	● ○ ⊕	
<b>Tropospheric Ozone (O<sub>3</sub>)</b>		Weeks	● ○ ⊕	
<b>Hydrofluorocarbons (HFCs)</b>		15 years <small>(shortened by usage)</small>	● ○ ⊕	
<b>Long-lived Climate Pollutants</b>				
	↓		● ○ ⊕	
<b>Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>)</b>	Rapid, deep, and persistent cuts in CO <sub>2</sub> and other long-lived greenhouse gases are necessary to stabilise global temperature rise in the long term.	Up to 80% <100 years Up to 25% >1,000 years	● ○ ⊕	



**CLIMATE & CLEAN AIR COALITION**  
TO REDUCE SHORT-LIVED CLIMATE POLLUTANTS

 Diesel
  Oil & Gas
  Waste
  Bricks
  HFCs
  Cookstoves
  Agriculture
  SNAP
  Finance
  Assessments
  Urban Health

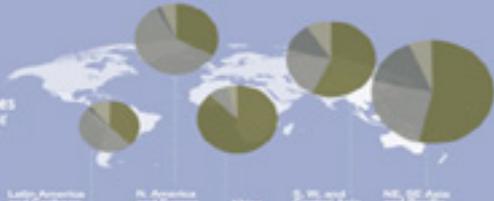
<http://www.ccacoalition.org>

## Black Carbon (BC) and Co-pollutants from Incomplete Combustion

Black carbon particles are formed from the incomplete combustion of biomass and fossil fuels. It is a powerful climate forcer and dangerous air pollutant.

### EMISSIONS

Main BC-rich sources by region and sector (2005)



### PRIMARY BLACK CARBON-RICH SOURCES

BC is always emitted with co-pollutant particles, some of which have a cooling effect on climate. The ratio of BC to co-pollutants varies by source and determines if a measure has a net warming or net cooling effect.



### IMPACTS

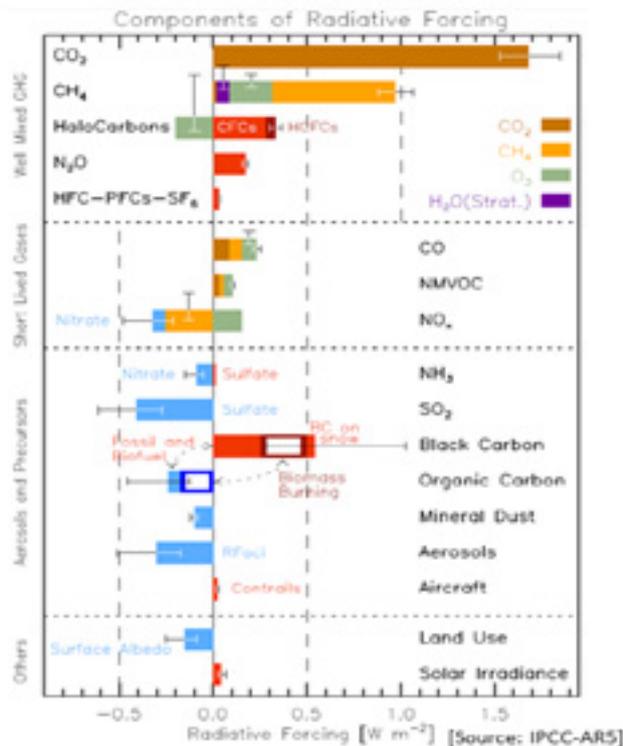
Suspended in the atmosphere, BC particles contribute to **global warming** by absorbing energy and converting it to heat.

BC is a dangerous local air pollutant which can also be transported across the globe.



- Recently identified as **#2 most important climate forcing agent**.
- Associated with asthma and other respiratory problems, heart attacks and lung cancer.

# 대기오염(에어로졸) 기후 효과



## Non-CO<sub>2</sub> climate warmers

Contribution to 2005 forcing relative to CO<sub>2</sub> (1.66 Wm<sup>-2</sup>)

### Greenhouse Gases

- Ozone (troposphere) : 20%
- Methane : 30%
- Halocarbons : 20%

### Particles (aerosols)

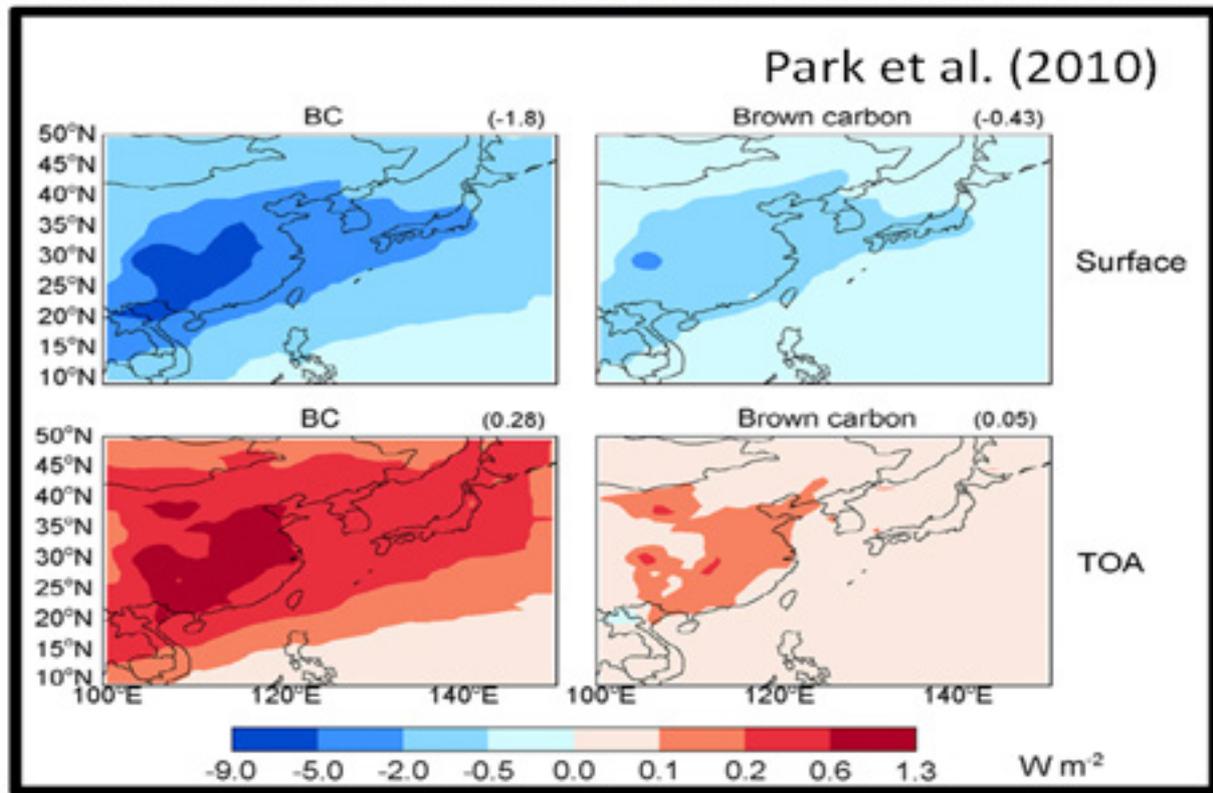
**Black Carbon : 27% to 55%\***  
**(Soot/smoke)**

**Total Non-CO<sub>2</sub> : 97% to 125%**

- All numbers except the red are IPCC values.
- Long-lived N<sub>2</sub>O not included.

\*Ramanathan and Carmichael, *Nature Geoscience*, 2008.

## Global distribution of BC sources and radiative forcing



## Unmanned Aerial Vehicles Research

- Weight - 23 kg (takeoff)
- Wingspan - 2.7 meters
- Cruise velocity - 35 m/s
- Scientific Payload - 5 kg
- Flight duration - 5 hours
- Ceiling altitude - 4.5 km
- Autonomous (Manual) Launch and flight with DGPS
- Radio/Satellite communication link



Aerosol Concentration and Distribution  
Incoming & Reflected Solar Radiation

Cloud Drop Size & Concentration  
Total Liquid Water Content



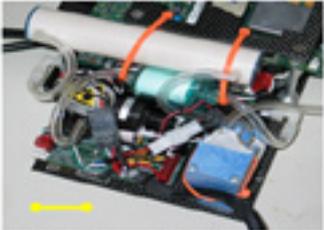
Aerosol Concentration and Distribution  
Incoming & Reflected Solar Radiation



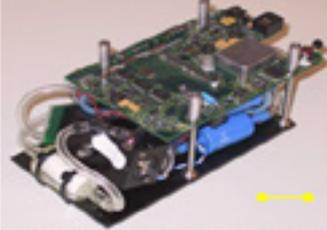
Courtesy of V. Ramanathan

## Ultra-light Miniaturized UAV Instruments

[=] 1 inch



**Optical Particle Counter (580 g)** →  
N<sub>OC1</sub>: 0.3 < D<sub>p</sub> < 3 μm



**Condensation Particle Counter (870 g)**  
→ N<sub>OC1</sub>: D<sub>p</sub> > 3 nm



**Aethalometer (820 g)**  
→ absorbing aerosol



**T/RH probe (50 g)**  
→ Temperature & RH



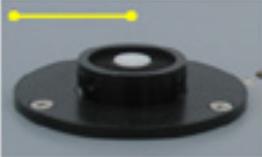
**Aerosol inlet & splitter (150 g)**  
→ unbiased aerosol sampling



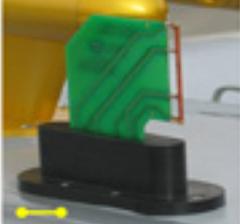
**Cloud Droplet Spectrometer (1.4 kg)**  
→ distr. 1 < D < 50 μm



**Pyranometer (190 g)**  
→ irradiance 0.3 – 2.8 μm



**PAR radiometer (45 g)**  
→ irradiance 400 – 700 nm



**LWC probe (450 g)**  
→ Cloud water (g m<sup>-3</sup>)



**Gust probe (400 g) & video camera (280 g)**  
→ turbulence & cloud targeting

## Cheju ABC Plume Monsoon Experiment (CAPMEX)



**Jeju International Airport**

**ABC Gosan Observatory (Aug - Sept)**

**Mt. Halla (1950m)**

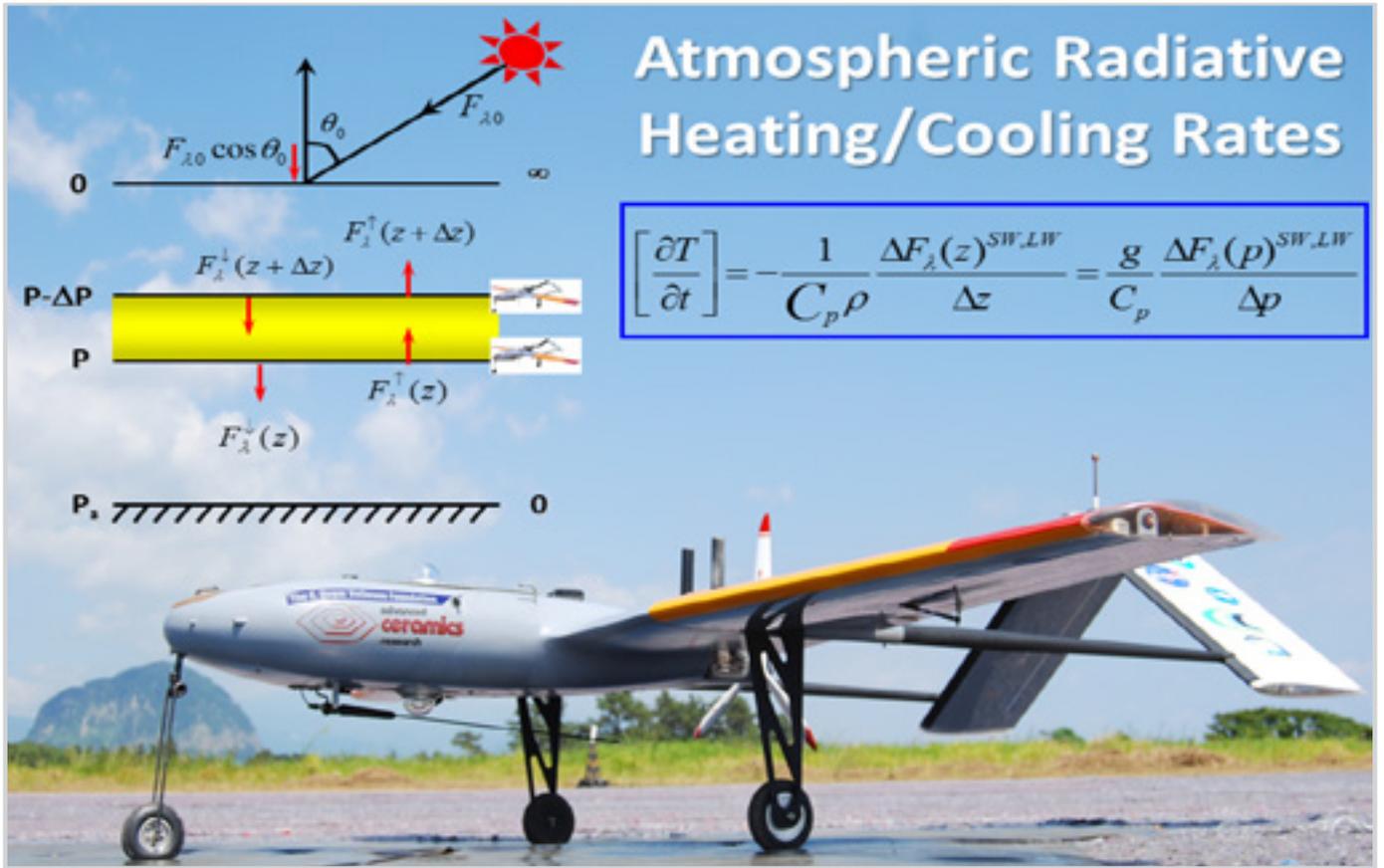
**Jeong-Seok Airport Phase-1: Aug. 9 – 25**

**Sangmo-Ri Airfield Phase-2: Aug 27 - Sept 11 Phase-3: Sept 16 - 30**

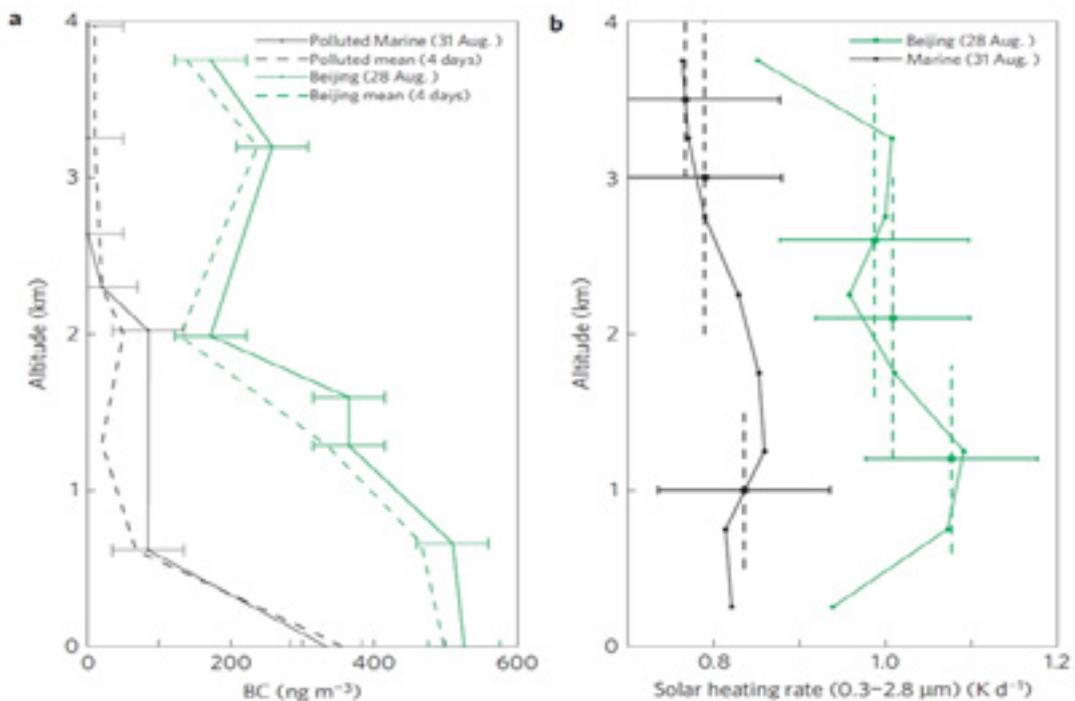
**Flight Zone**

China, Korea, Japan, Jeju

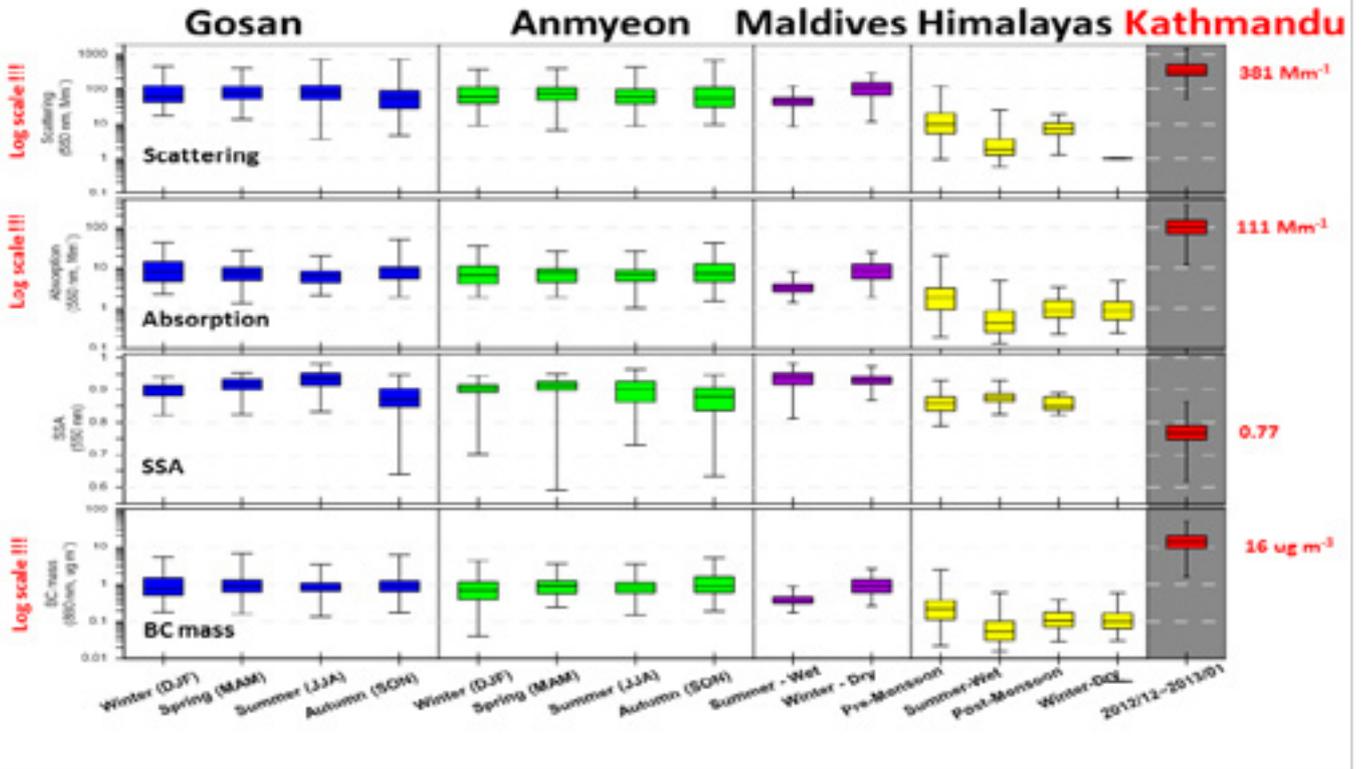
**The campaign was in part motivated by the mitigation of pollution from Beijing and surrounding areas during the 2008 summer Olympics.**



### 중국발 미세먼지에 포함된 블랙카본에 의한 대기 가열



# 에어로졸의 특성



# 감사합니다



## 삶은 개구리 증후군

미지근한 물에 개구리(변온동물)를 담가 놓고 서서히 가열하여 개구리가 미세한 수온의 차이를 느끼지 못하고 여유 있게 헤엄치고 다니다가 물이 끓으면 아무런 대응도 못한 채 그대로 삶아지도록 하는 프랑스의 개구리 요리 '그래이뉴어'





현대차  
**정몽구 재단**  
Chung Mong-Koo Foundation

