

기후변화 대응에 있어서 연안생태계의 역할: 온실가스 저감을 중심으로

2017년 12월 7일

안양대학교 해양바이오시스템공학과 류종성

시작에 앞서 몇가지 용어정리

기후변화 vs. 지구온난화

climate change vs. global warming

지구온난화: 대기 중 이산화탄소 농도가 증가함으로써 지구 온도가 상승한다는 의미를 빗댄 은유적 표현. 이해는 쉬우나 겨울철 폭한이나 다른 기상이변을 설명할 수 없는 단점

기후변화: 지구온난화의 정확한 과학적 표현.

둘 중 어느 것을 사용해도 관계 없으나 알고 쓰자 !

시작에 앞서 몇가지 용어정리

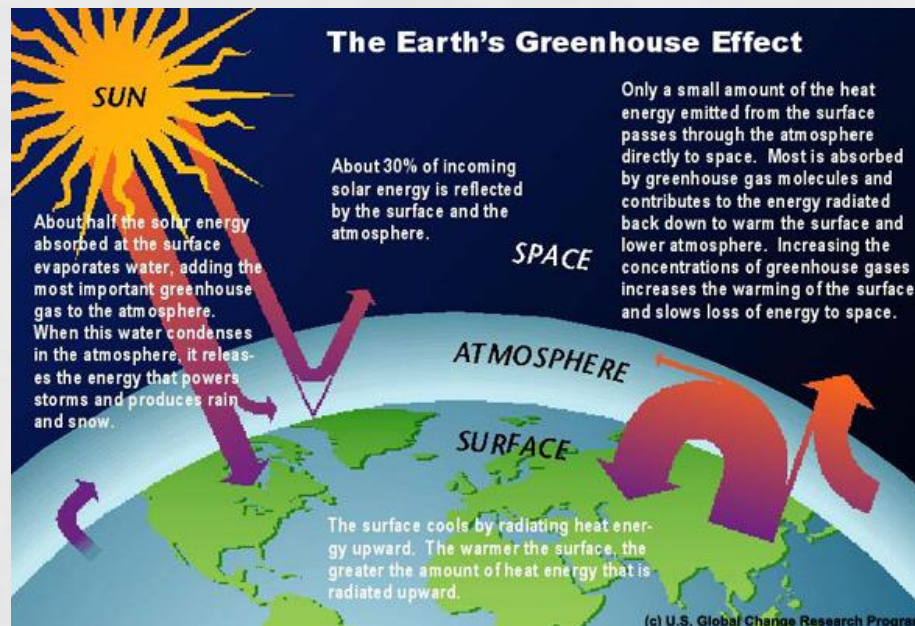
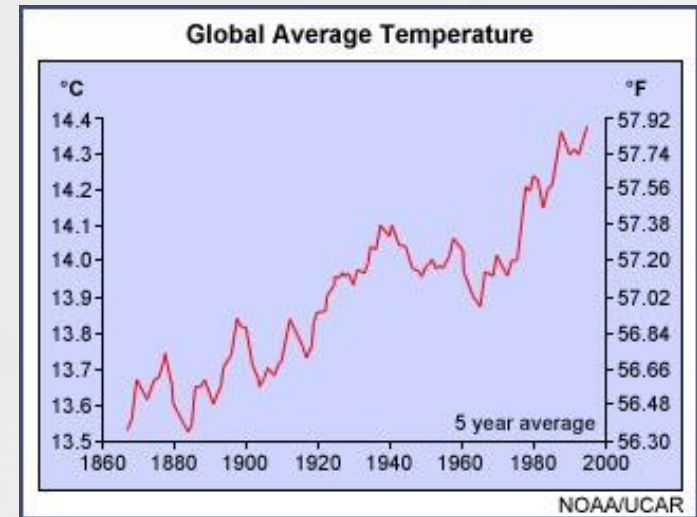
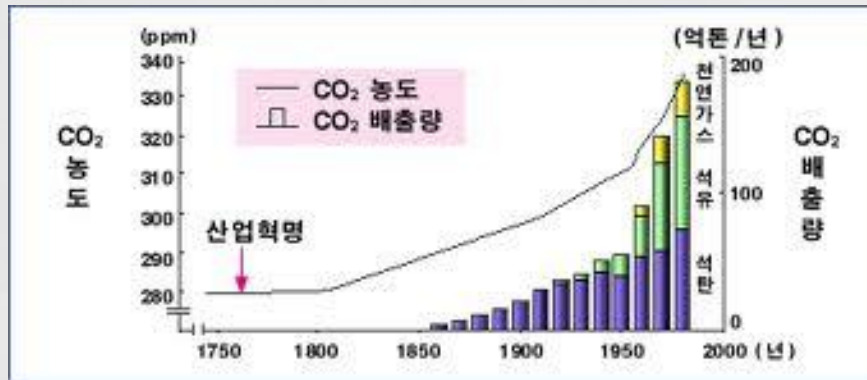
기후 vs. 기상 (climate vs. weather)

기상: 수 분~수 개월 정도 짧은 기간에 변화하는 대기의 조건 = 날씨(예, 내일의 기상조건은 선박운항에 좋지 않습니다)

기후: 특정한 지역에서 기상이 장기간에 걸쳐 변동하는 추세를 설명하는 것(예, 대륙성 기후, 해양성 기후, 온대 기후)

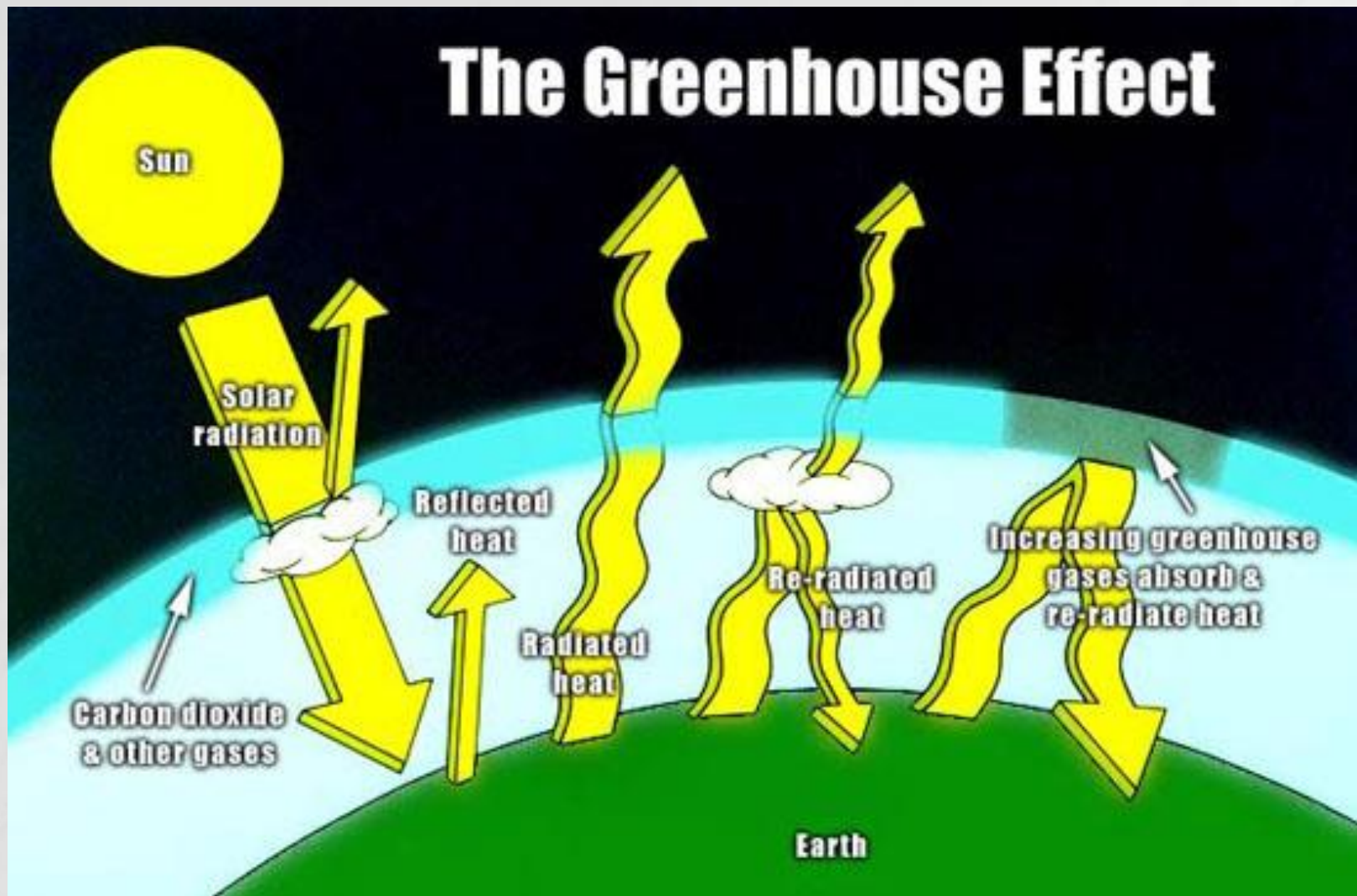
기후변화와 기상이변은 같지 않다.

기후변화의 주범은 대기 중 이산화탄소의 증가



온실효과
(greenhouse effect)

온실효과란?



대기 중 온실가스가 증가하면 지구 기온이 상승한다

대기 중 온실가스의 증가의 원인은 화석연료(석탄, 석유) 사용



온실가스의 종류

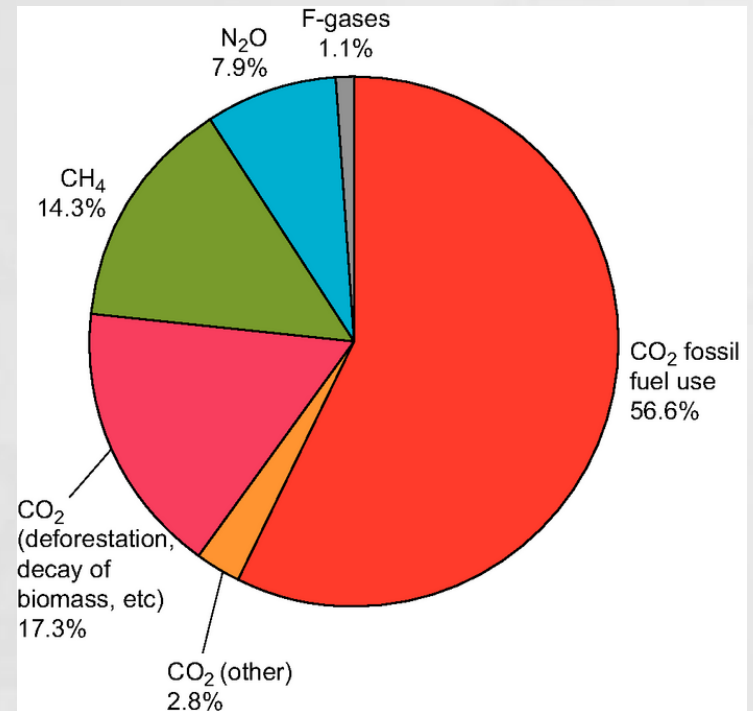
CO₂: 이산화탄소

N₂O: 산화질소

CH₄: 메탄가스

F-gases (fluorinated gases): 인공적으로 합성된 불소계열 기체.

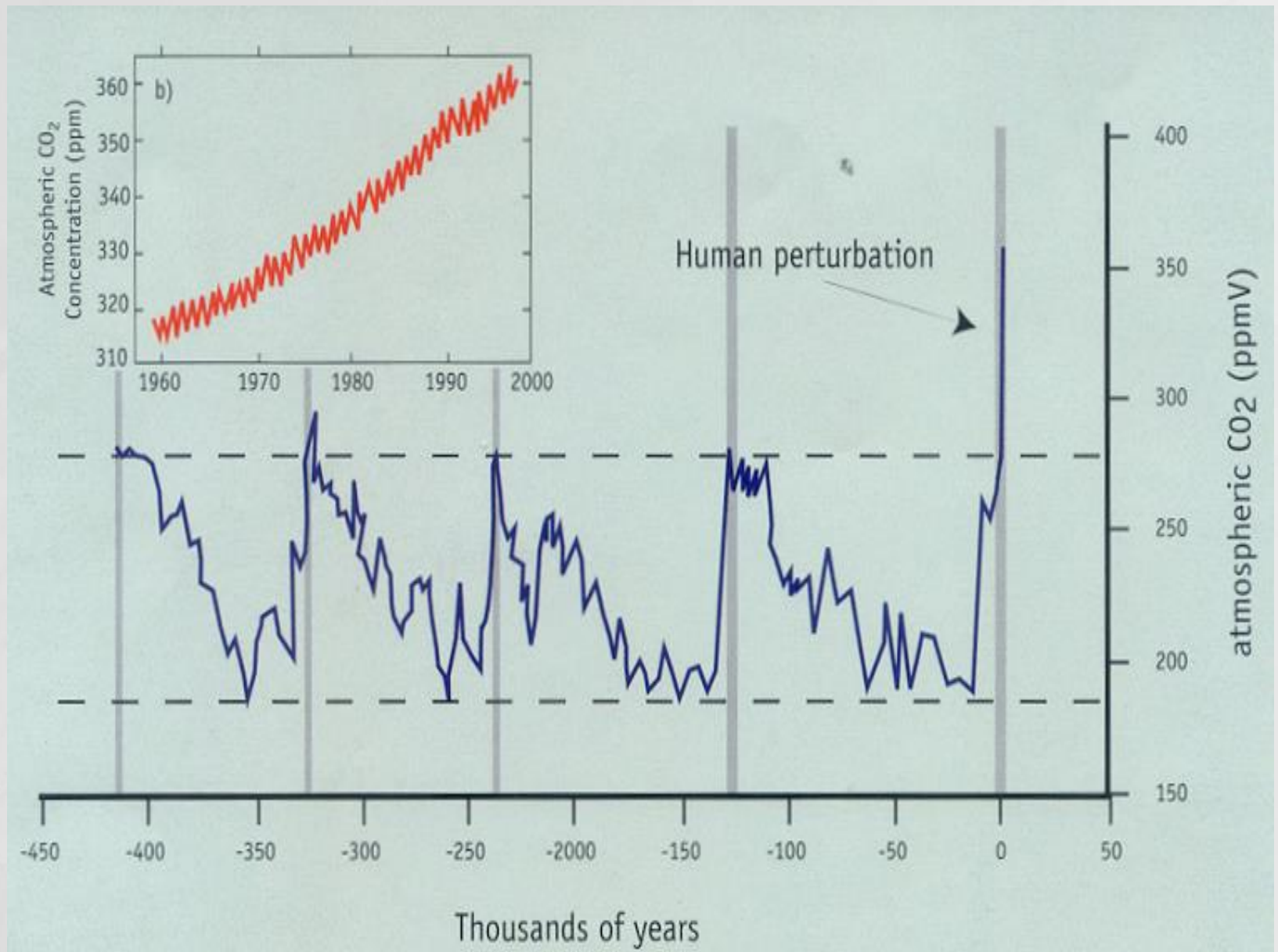
예) HFCs, PFCs, CFCs (프레온가스)



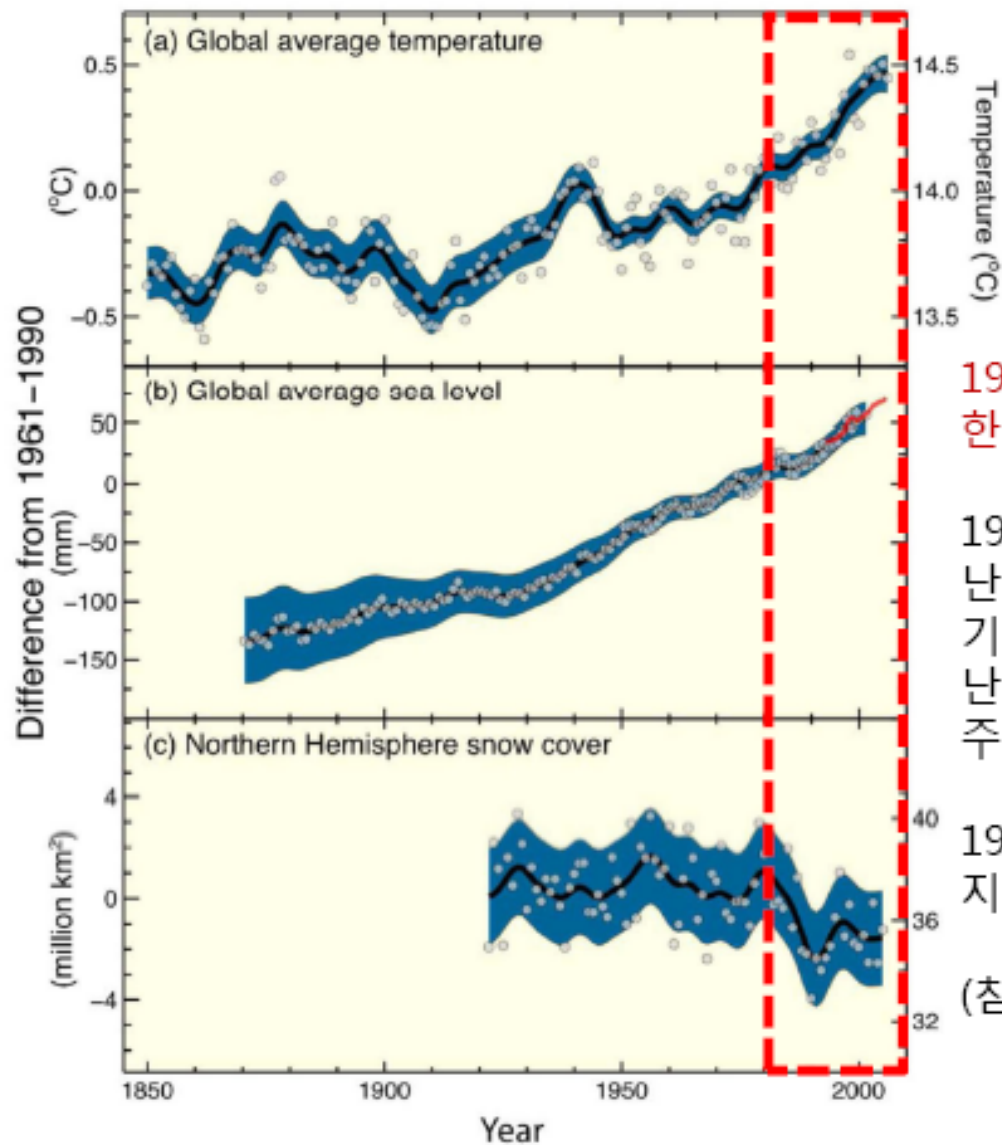
2004년에 배출된 온실가스의 비율

프레온가스(freon): 미국 듀폰사가 인공적으로 생산했던 냉매용 기체. 주성분은 CFCs

대기 중 온실가스 증가가 인간에 의해 발생했다는 증거들



대기 중 온실가스 증가가 인간에 의해 발생했다는 증거들



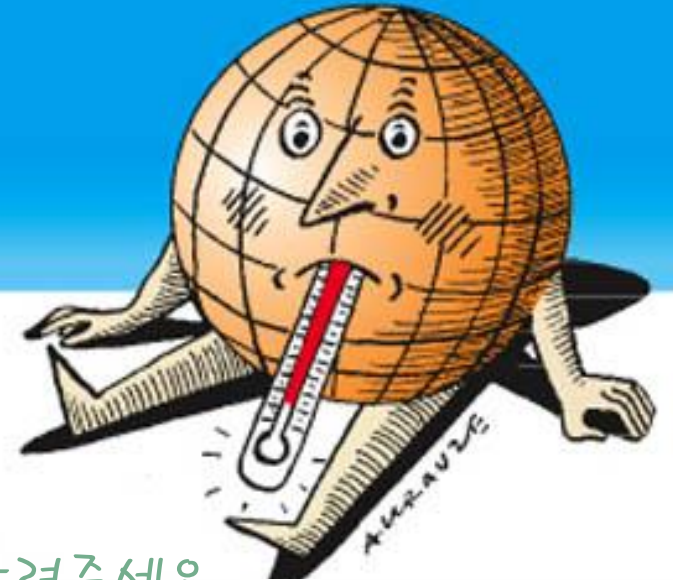
1980년대 이전까지 지구온난화에 관한 과학적 불확실성(논쟁) 존재

1950~1960대 CO₂ 증가로 인한 온난화 예측되었으나, 1940~70년까지 기온하강 추세가 계속됨에 따라 온난화 묵살(일부에서는 빙하기 도래 주장 제기)

1980년초부터 급격한 기온상승으로 지구 온난화 주장 확산

(참고: 기후변화의 정치경제학, 45쪽)

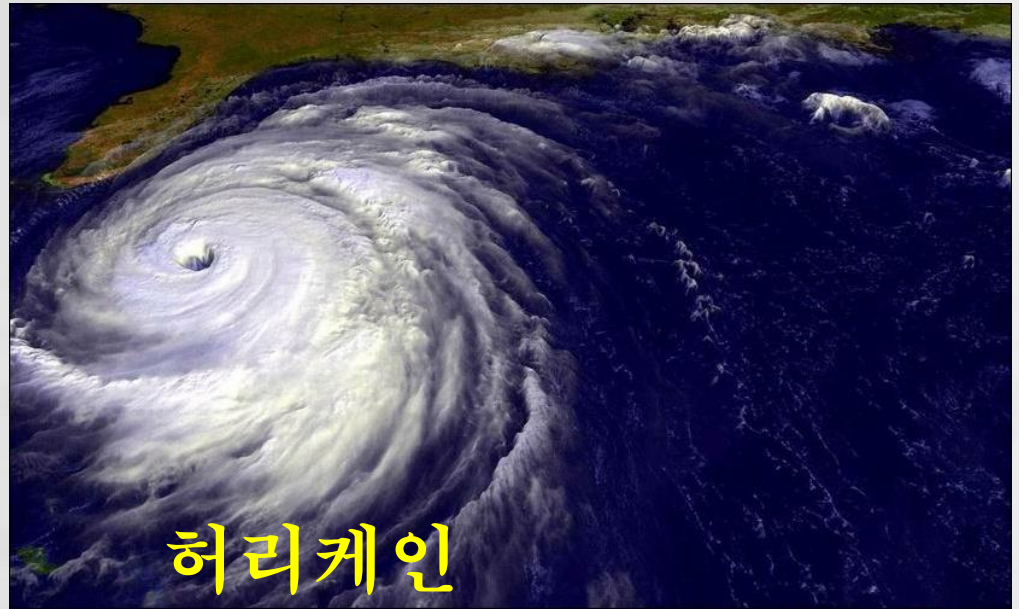
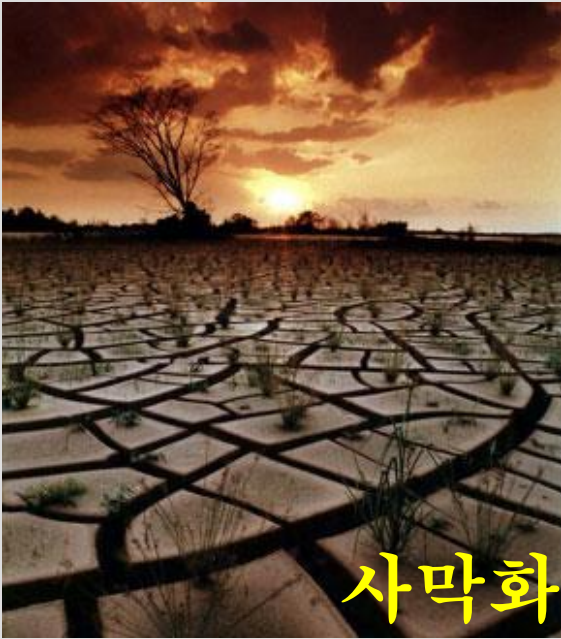
온난화는 계속되고 있다



좀.. 살려주세요...



기후변화가 가져오는 기상이변



기후변화의 원인



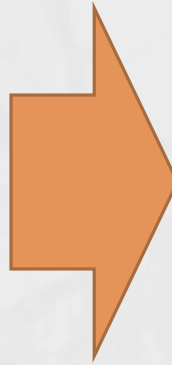
- 산업화로 인한 화석연료(석유, 석탄, 천연가스)의 사용
- 무분별한 개발로 인한 자연생태계 파괴



기후변화의 원인 = 대기 중 이산화탄소 증가



지구는 점점 더워지고 있다



지구는 점점 더워지고 있다

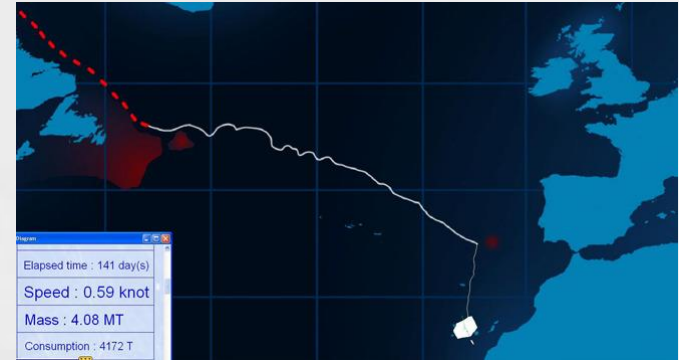


- 2010년 여름 260 km^2 면적의 빙하가 그린란드에서 떨어져 나옴
- 2012년 7월 120 km^2 크기의 빙하가 그린란드에서 떨어져 나옴
- 2012년 7월 그린란드 전체 97% 면적의 빙하가 녹음(과거 30년 간 처음 관찰)
- 2012년 9월 16일 북극해 빙하면적 관측 사상 최소 기록(341만 km^2)
- 현재 북극해 빙하면적은 20세 후반보다 200만 km^2 감소(Kinnard et al., 2011, Nature)

빙하를 식수로: 현대판 봉이 김선달



the IceDream Project

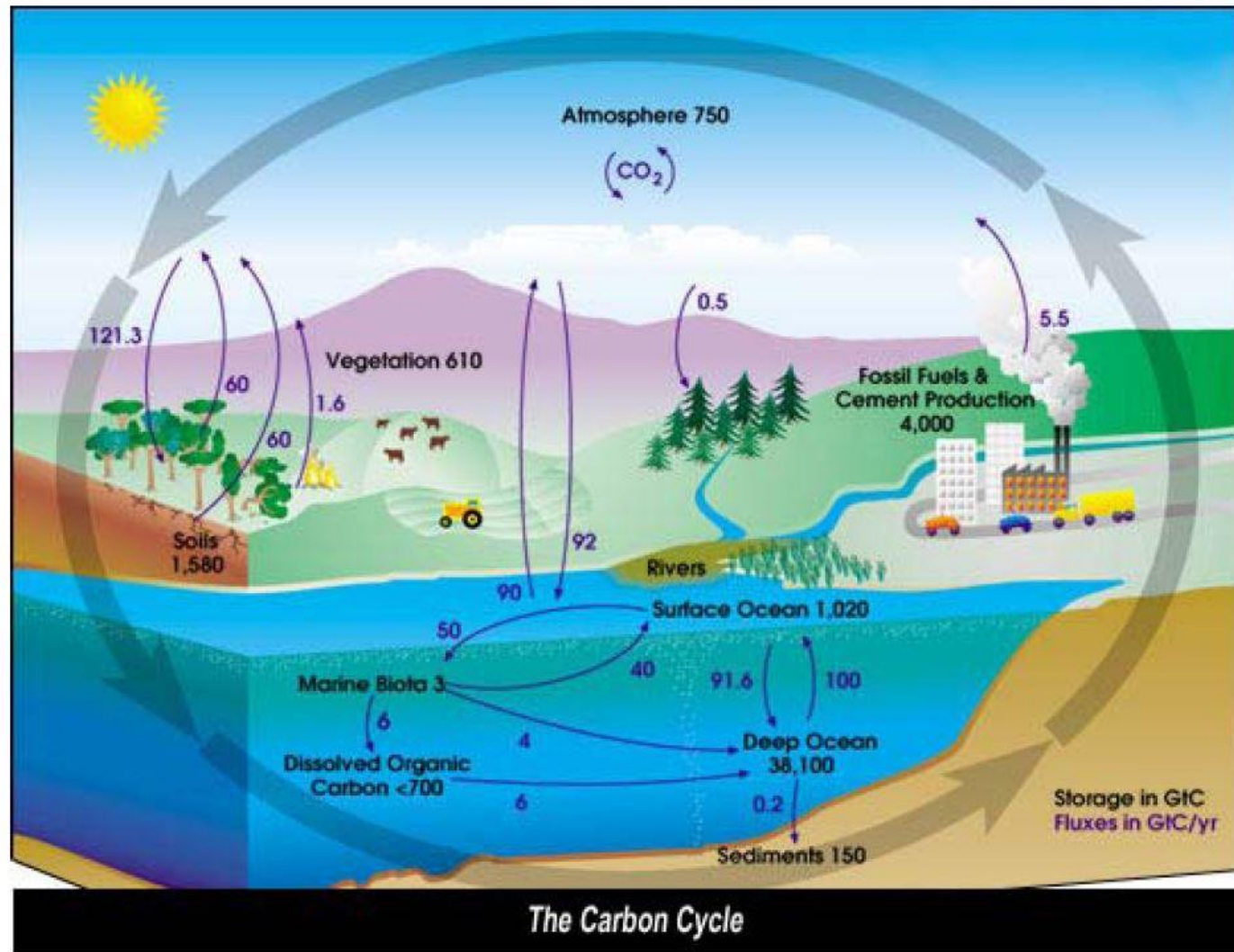


- 매년 15,000개의 빙하가 그린란드에서 떨어져 나옴
- 프랑스 공학자 Georges Mougin의 아이디어(1970년대에 등장)
- 1노트 속도의 tugboat 1대로 7백만톤 빙하를 그린란드에서 북아프리카까지 운반하는데 141일 소요. 빙하 38% 손실(프랑스 Dassault Systemes 시뮬레이션 결과)

북극 빙하로 만든 팔빙수를 맛볼 수 있는 날이 멀지 않았다?

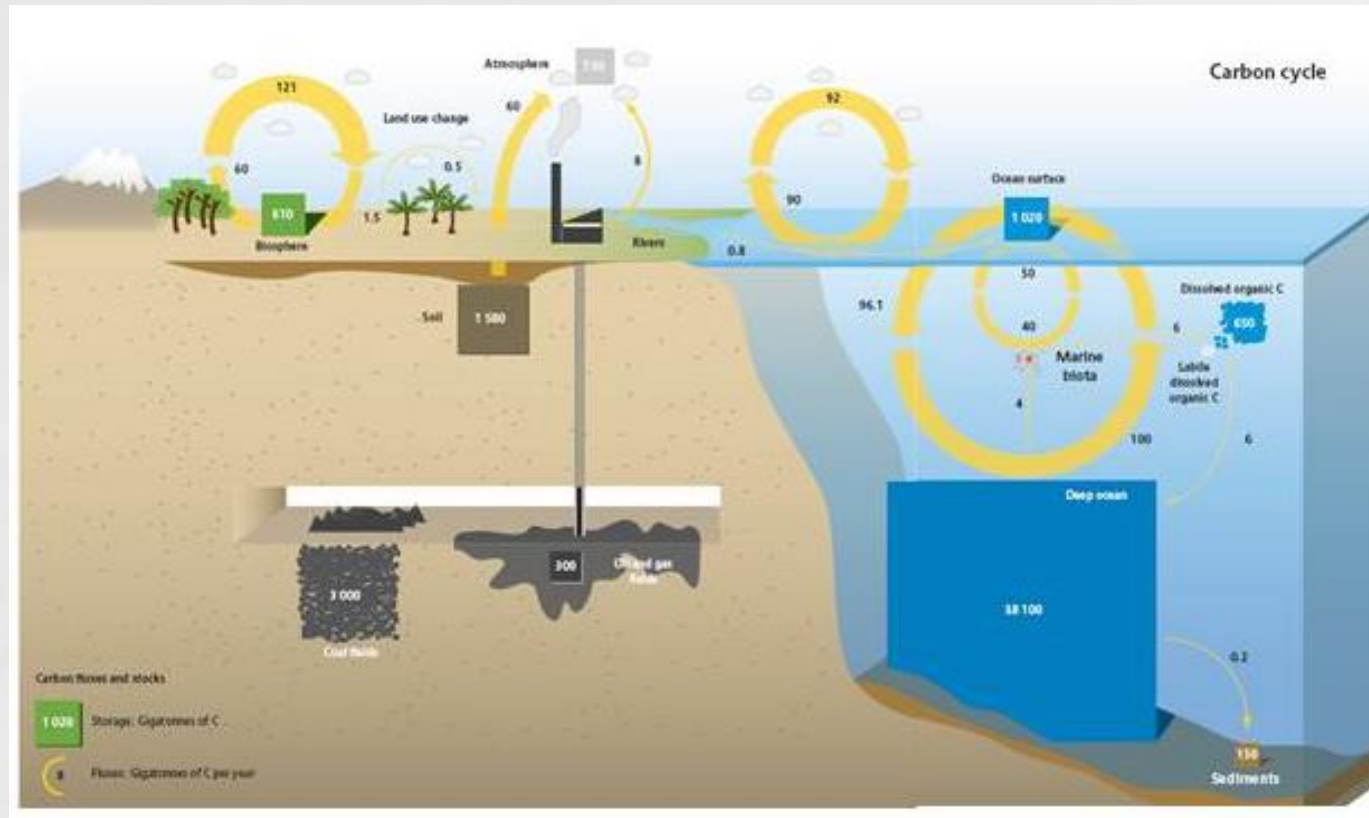
기후변화는 해양에 어떤 영향을 미치는가?

이산화탄소(CO_2)의 대기-해양 순환



기후변화는 해양에 어떤 영향을 미치는가?

해양의 이산화탄소 흡수



- 해양생태계는 대기로부터 매년 96.1 기가톤(giga ton) 탄소를 흡수하고 있음
- 육상생태계는 매년 61 기가톤 탄소를 흡수하고 있음

기후변화는 해양에 어떤 영향을 미치는가?

이산화탄소(CO_2)의 배출 및 제거원

탄소 배출원		탄소 제거원	
화석연료 연소	$5.5 \pm 0.5\text{GtC}$	대기 누적	$3.2 \pm 0.2\text{GtC}$
산림파괴 및 토양유실	$1.6 \pm 0.0\text{GtC}$	해양 흡수	$2.0 \pm 0.8\text{GtC}$
총 인위적 배출량	$7.1 \pm 0.1\text{GtC}$	산림 흡수	$0.5 \pm 0.5\text{GtC}$

GtC = Gigatons of carbon = 10^9 tons = 탄소 10억톤

IPCC, 1996

Average annual budget of CO_2 perturbations for 1980 to 1989.

빙하 녹음과 열팽창으로 인한 해수면 상승

Table 5.1. Characteristics of post-TAR stabilisation scenarios and resulting long-term equilibrium global average temperature and the sea level rise component from thermal expansion only.^a {WGI 10.7; WGIII Table TS.2, Table 3.10, Table SPM.5}

Category	CO ₂ concentration at stabilisation (2005 = 379 ppm) ^b	CO ₂ -equivalent concentration at stabilisation including GHGs and aerosols (2005=375 ppm) ^b	Peaking year for CO ₂ emissions ^{a,c}	Change in global CO ₂ emissions in 2050 (percent of 2000 emissions) ^{a,c}	Global average temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using 'best estimate' climate sensitivity ^{d,e}	Global average sea level rise above pre-industrial at equilibrium from thermal expansion only ^f	Number of assessed scenarios
	ppm	ppm	year	percent	°C	metres	
I	350 – 400	445 – 490	2000 – 2015	-85 to -50	2.0 – 2.4	0.4 – 1.4	6
II	400 – 440	490 – 535	2000 – 2020	-60 to -30	2.4 – 2.8	0.5 – 1.7	18
III	440 – 485	535 – 590	2010 – 2030	-30 to +5	2.8 – 3.2	0.6 – 1.9	21
IV	485 – 570	590 – 710	2020 – 2060	+10 to +60	3.2 – 4.0	0.6 – 2.4	118
V	570 – 660	710 – 855	2050 – 2080	+25 to +85	4.0 – 4.9	0.8 – 2.9	9
VI	660 – 790	855 – 1130	2060 – 2090	+90 to +140	4.9 – 6.1	1.0 – 3.7	5

해수면상승

기온상승

기후변화 시나리오별 미래 해수면상승 및 기온상승 예측

- 1992-2011년 기간 빙하손실량: 그린란드- 2700억톤, 남극대륙- 1350억톤
- 이를 해수면 상승분으로 환산하면 매년 0.6 mm 씩 높아진 셈임
- 해수면 상승속도가 이대로 지속되면 2100년 경에는 현재보다 0.5-1.2 m 상승 (Shepherd et al., 2012, Science)

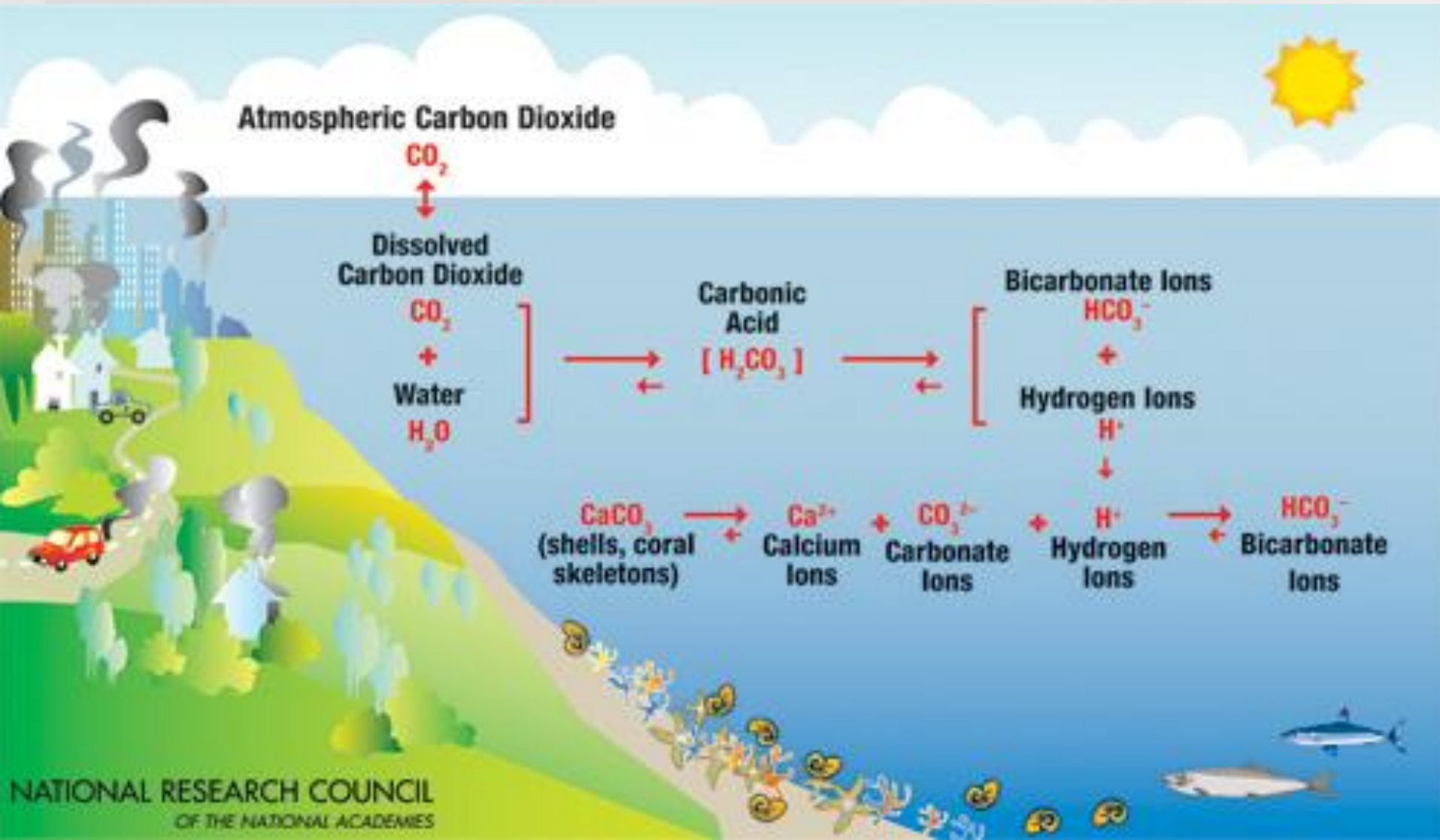
기후변화와 해양산성화



❖ 산성화는 해양을 사막화 시킴



해양산성화의 원리



해양산성화의 피해

- 이산화탄소를 해양이 흡수

- 수소 이온 농도를 상승
- pH를 감소 시킴

- 해양생물의 껍데기 형성 과정 방해
- 산호, 조개 등 생물의 껍질과 뼈대를 이루는 탄산칼슘 감소



산업혁명 이전과 현재 바다의 pH 차이

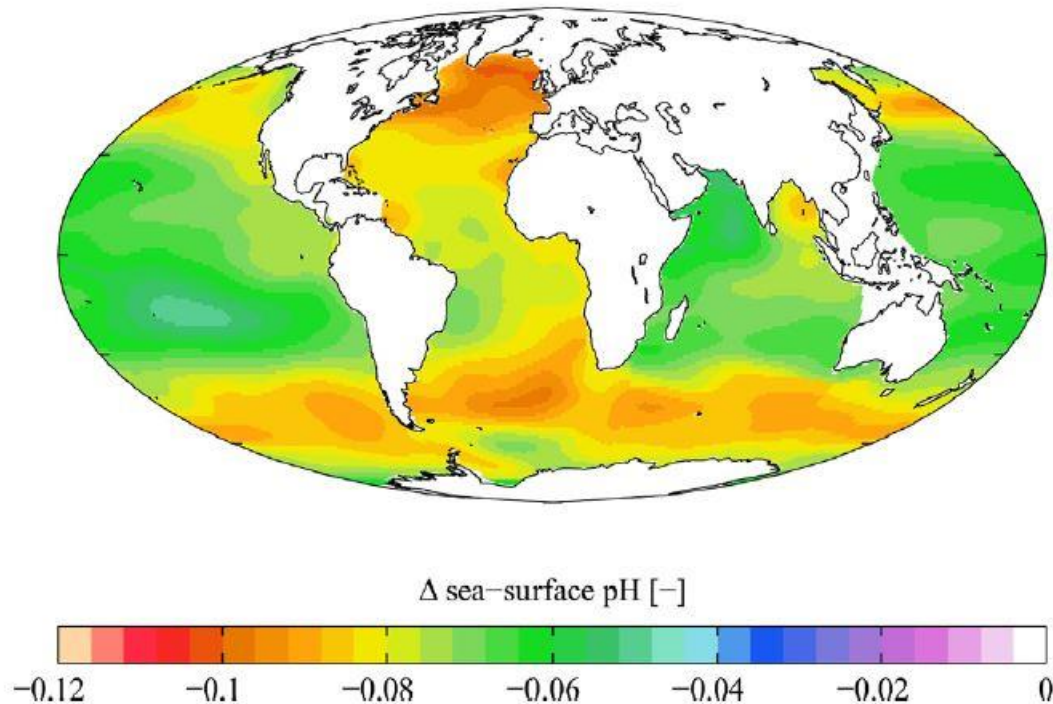
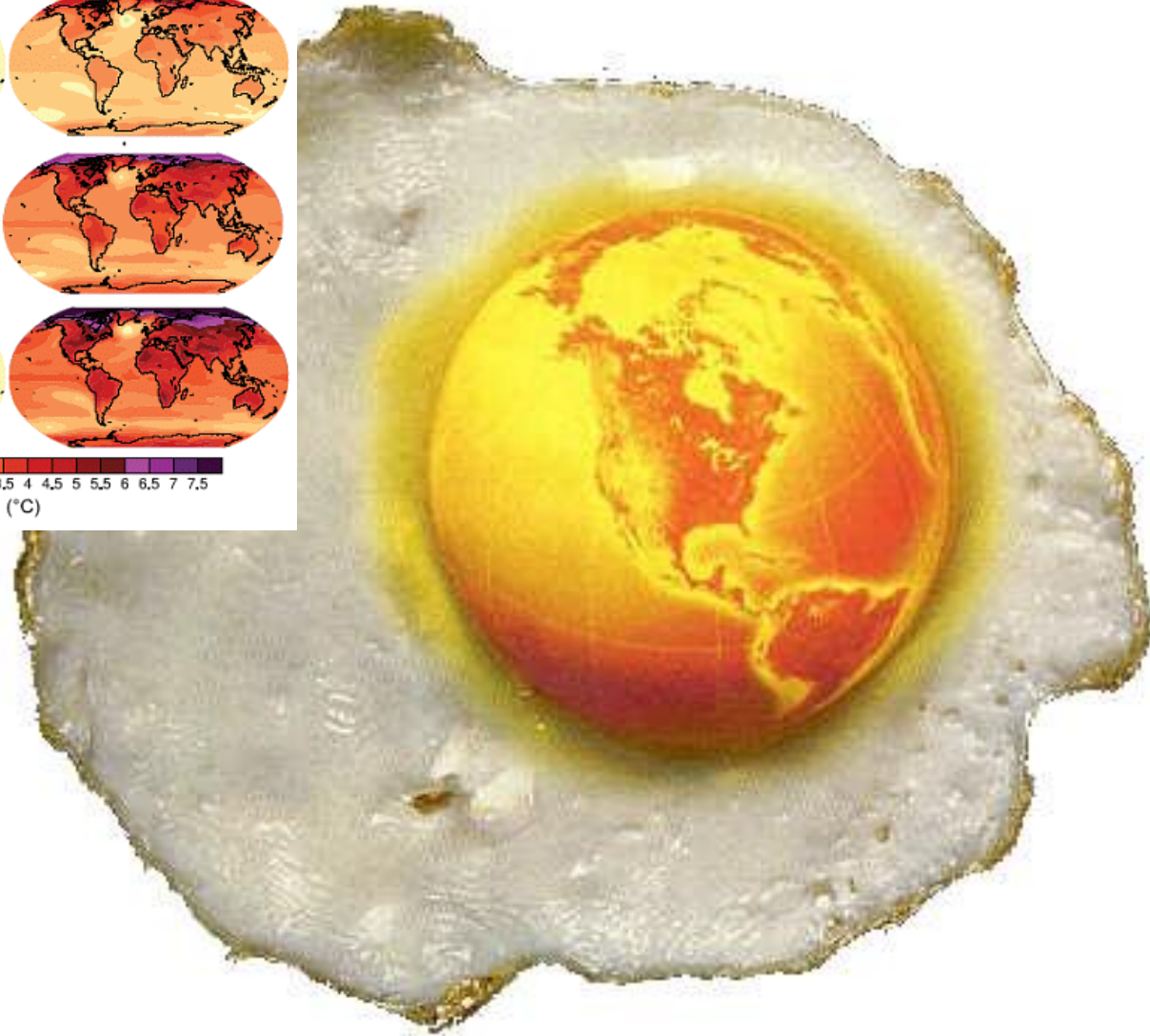
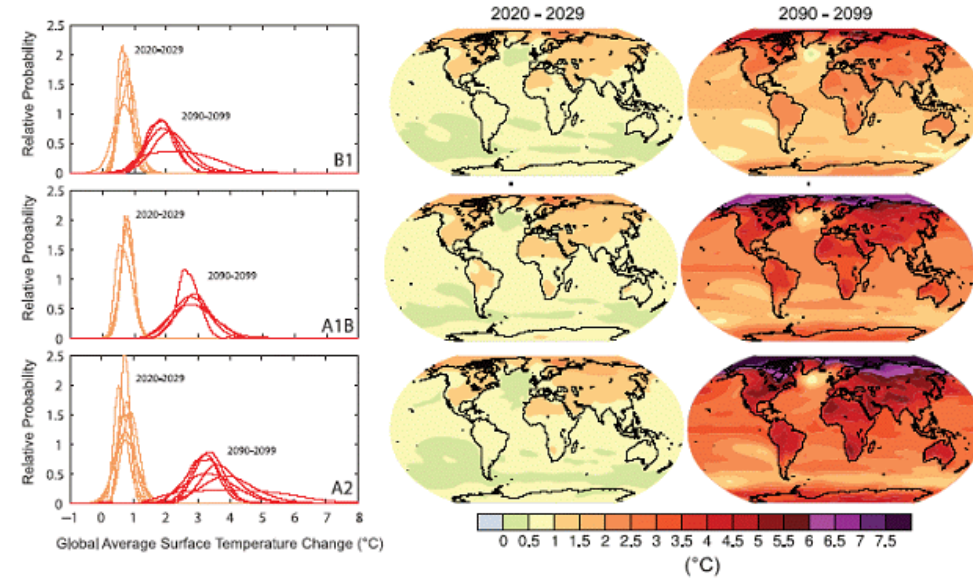


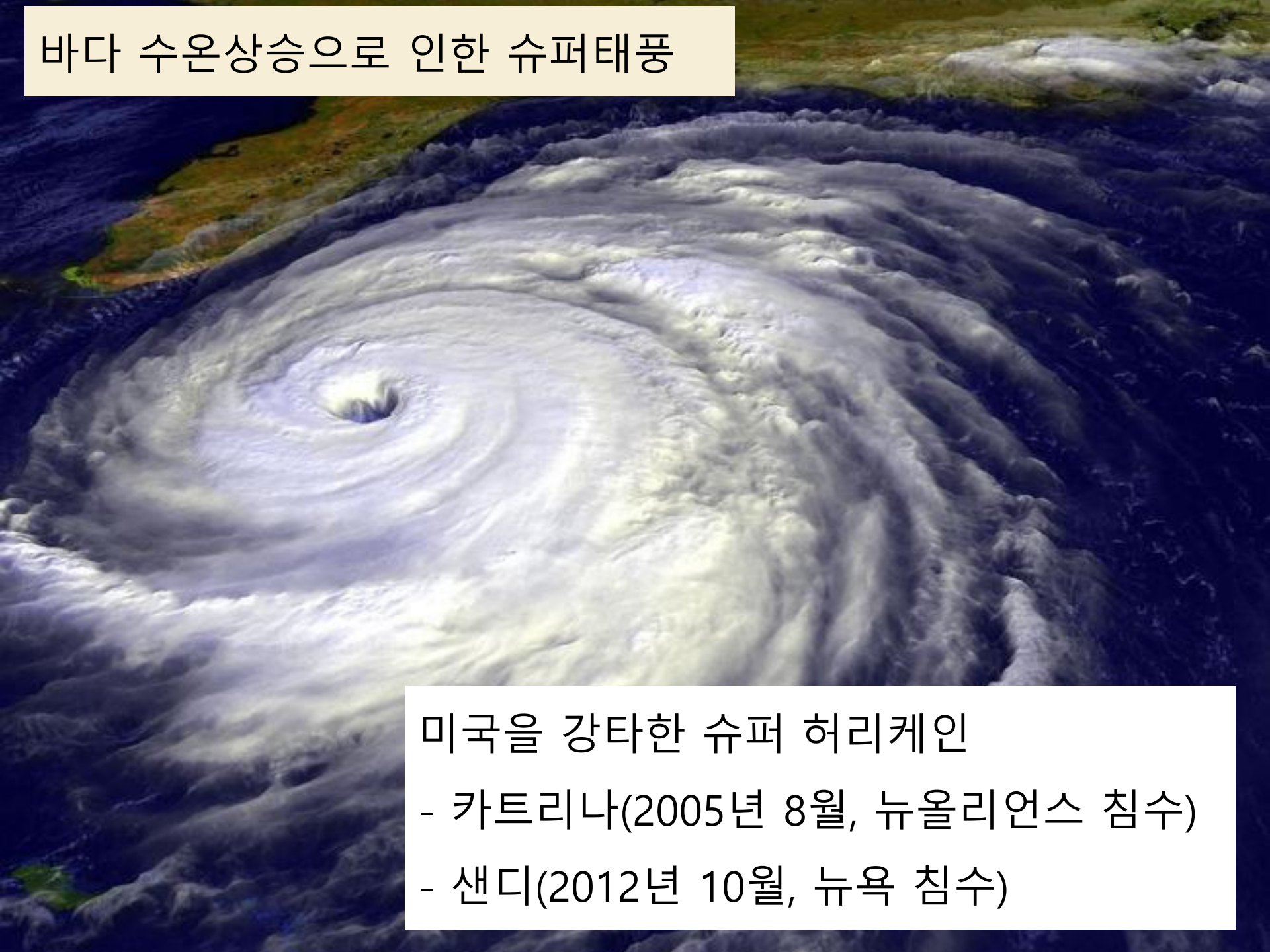
Fig. 7. Estimated change in sea surface pH from the pre-industrial period (1700s) to the present day (1990s). Δ pH here is in standard pH units. This change is caused by the invasion of anthropogenic CO_2 and was calculated using Richard Zeebe's csys package with data from the Global Ocean Data Analysis Project and World Ocean Atlas climatologies. Δ pH is plotted here using a Mollweide projection (using MATLAB and the M_Map package). Note that the GLODAP climatology is missing data in certain oceanic provinces including the Arctic Ocean, the Caribbean Sea, the Mediterranean Sea and the Malay Archipelago. Legend and image courtesy of Andrew Yool.

기후변화와 수온상승

PROJECTIONS OF SURFACE TEMPERATURES



바다 수온상승으로 인한 슈퍼태풍



미국을 강타한 슈퍼 허리케인

- 카트리나(2005년 8월, 뉴올리언스 침수)
- 샌디(2012년 10월, 뉴욕 침수)

지구온난화와 빙하기?

**깨어있어라,
그날이
다가온다!**

투모로우
THE DAY AFTER TOMORROW

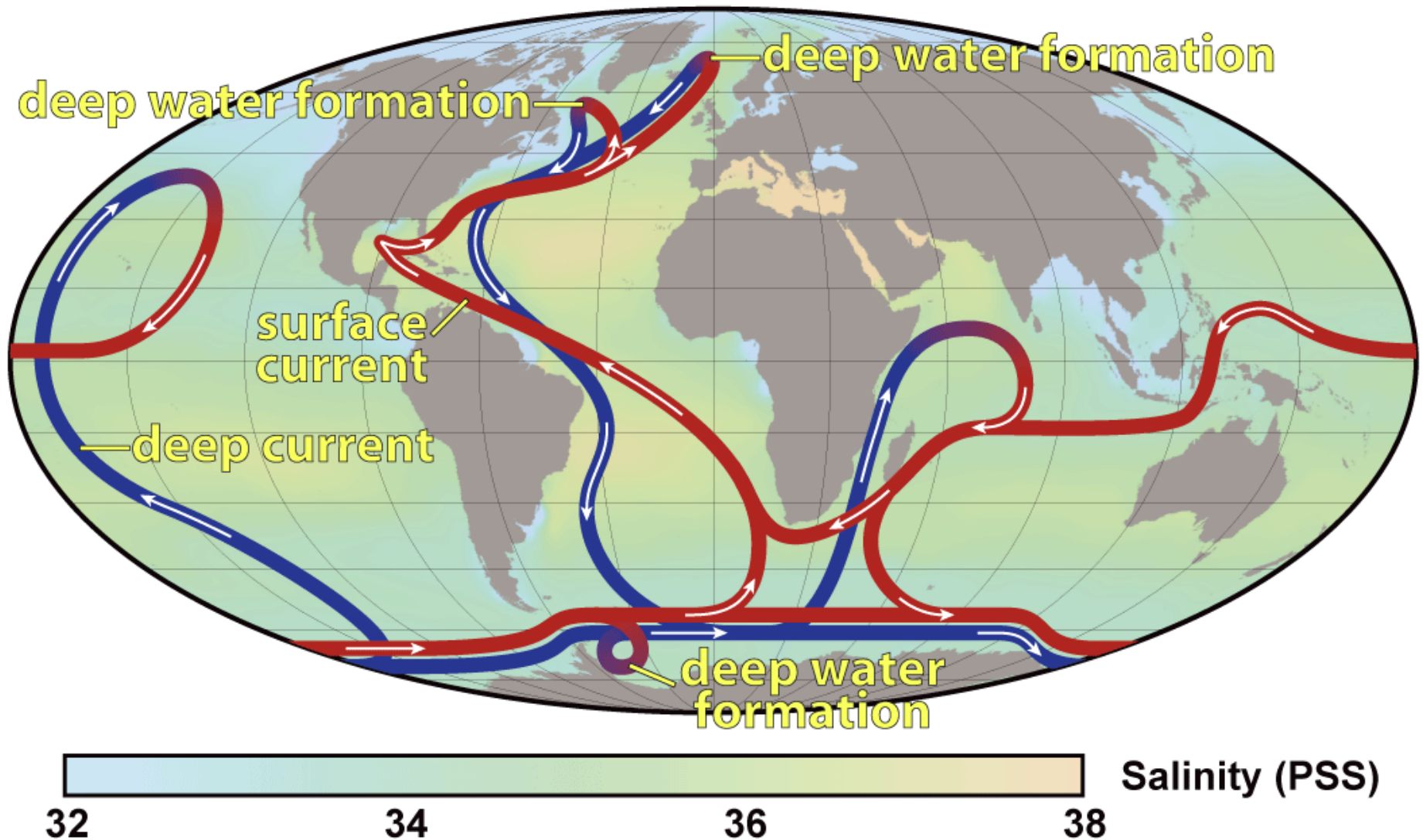
〈인디펜던스 데이〉 폴랜드 에머리히 감독
2004년 6월 4일 대개봉

www.foxkorea.co.kr/tomorrow

www.foxkorea.co.kr/tomorrow

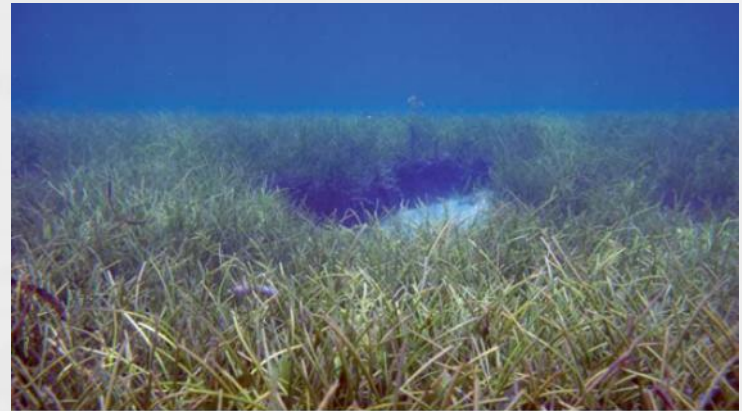
지구온난화와 빙하기?

Thermohaline Circulation



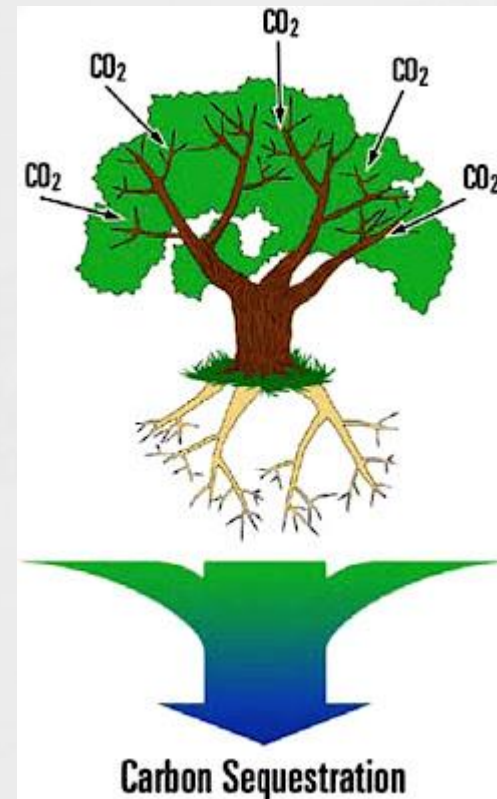
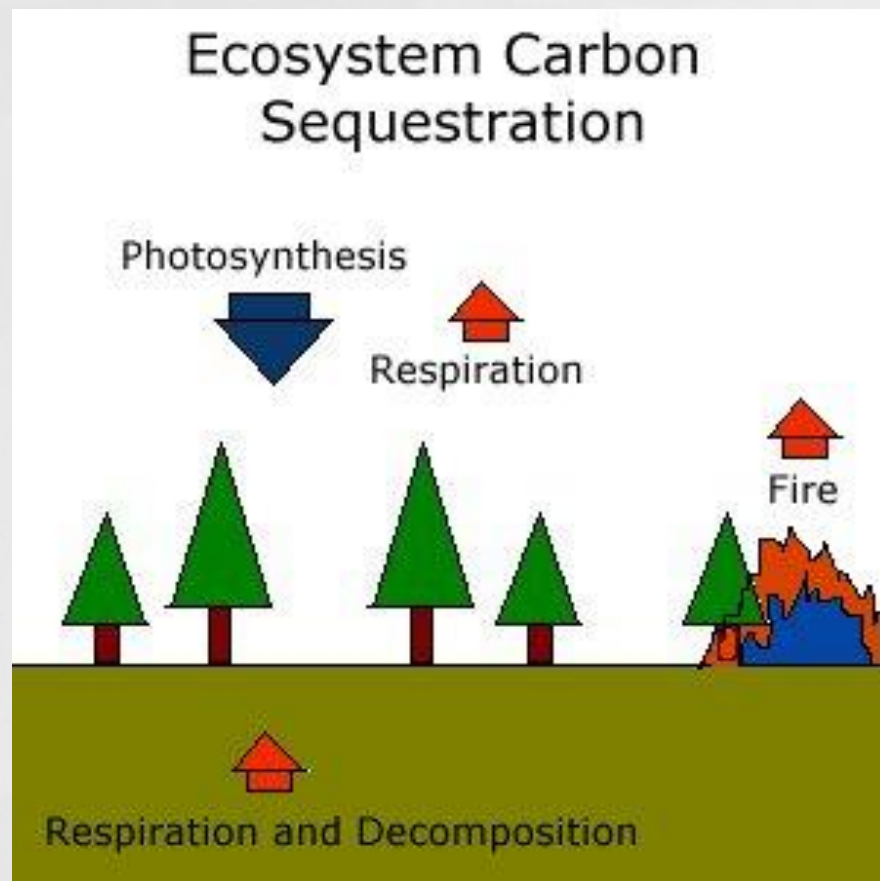
기후변화 막기- 블루카본 보존

- 블루카본의 정의: 연안에 서식하는 식물과 퇴적물을 포함하는 식물생태계가 저장하고 있는 탄소
- 맹그로브숲(mangrove forest), 잘피밭(seagrass meadow), 염습지(salt marsh) 등이 포함됨



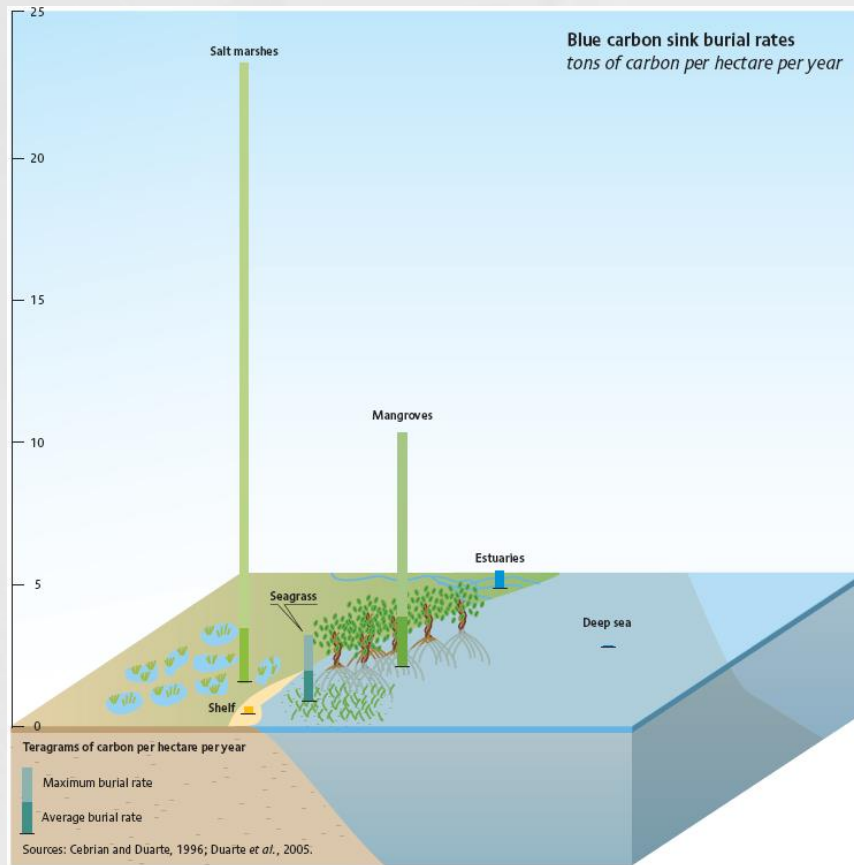
기후변화 막기- 블루카본 보존

- 탄소격리(carbon sequestration): 탄소가 대기과 완전히 격리되어 있는 상태를 말함
- 광합성을 통해 식물체에 저장된 탄소가 땅 속에 묻혀 대기과 완전히 격리되어야만 기후변화 저감에 기여할 수 있음

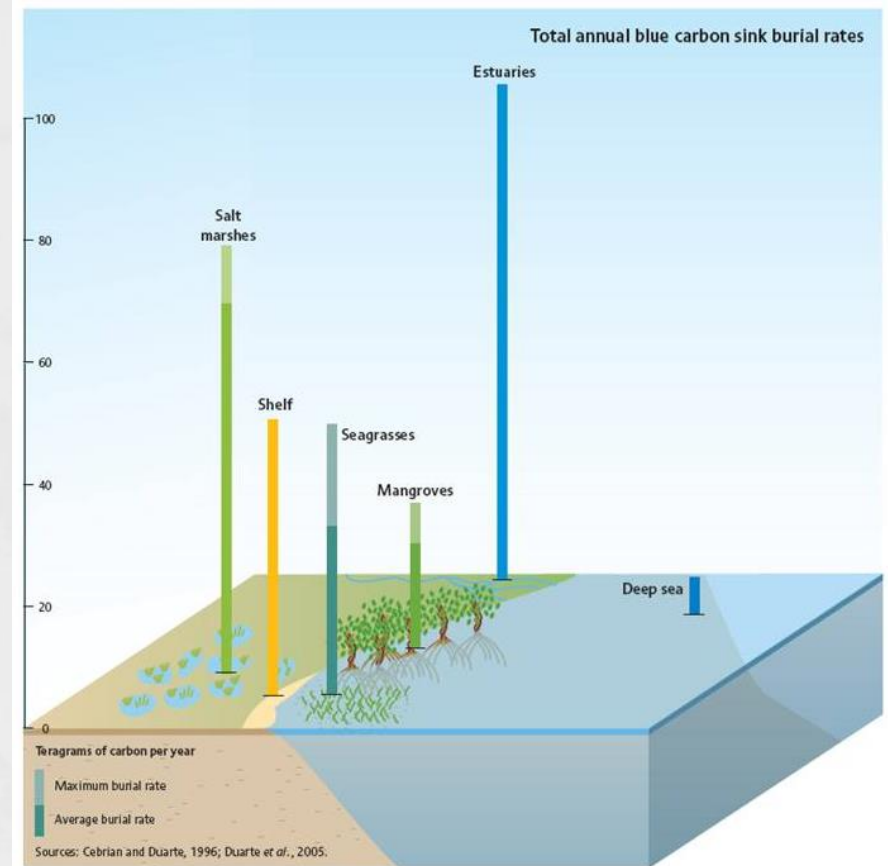


기후변화 막기- 블루카본 보존

- 해양생태계는 대기로부터 매년 96.1 기가톤(giga ton)을 흡수하고 있음(Nellmann et al., 2009)
- 이 중 블루카본 서식지는 해양 전체면적의 0.5%이나 탄소흡수량은 해양 전체의 50~71%
- 탄소 흡수속도는 육상 밀림보다 최대 50배 빠름



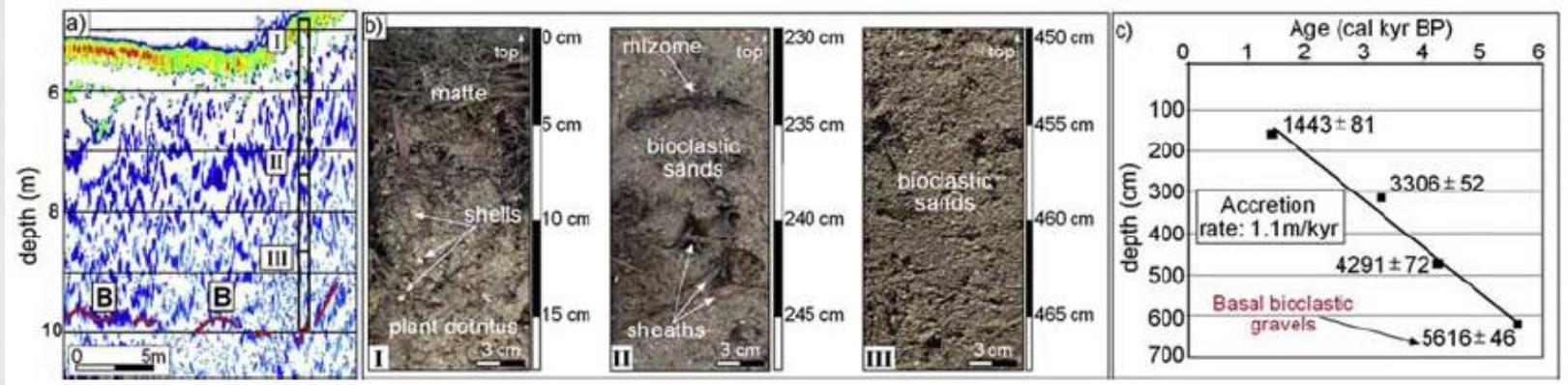
단위면적 당 블루카본의 탄소격리 속도
(C ton/hectare)



연간 블루카본의 탄소격리 속도(C ton/year)

기후변화 막기- 블루카본 보존

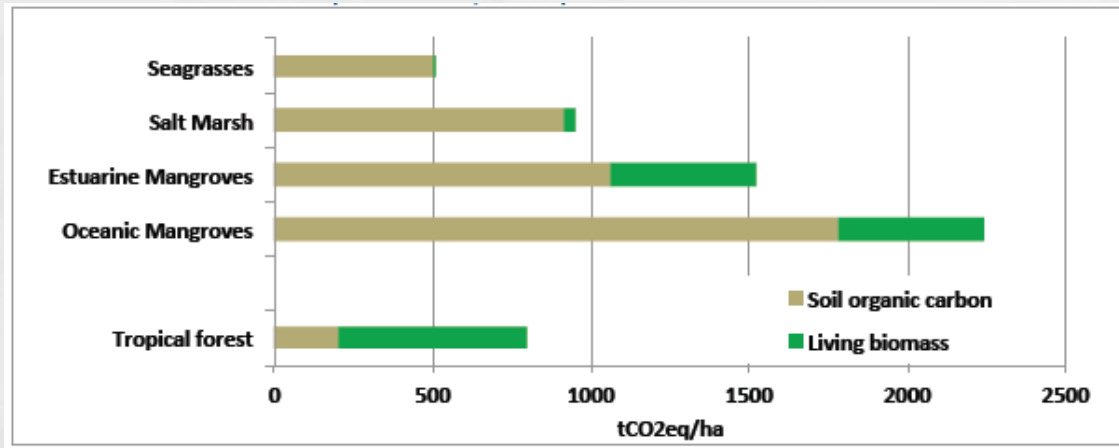
- 블루카본은 육상밀림과는 달리 수천 년 동안 탄소를 격리시킬 수 있음(Duarte et al., 2005; Lo lacono et al., 2008)
- 육상밀림은 길어야 수백 년 정도 탄소를 격리시킬 수 있음(Chambers et al., 2001)



해저에서 시추한 퇴적물의 단면. 퇴적물 속에 많은 양의 생물사체가 묻혀 있음.
퇴적속도는 천 년에 약 1.1 m 쌓임

기후변화 막기- 블루카본 보존

- 블루카본의 대부분은 생물체가 아닌 퇴적물에 포함되어 있음
- 염습지와 잘피밭의 경우 전체 탄소의 95-99%가 퇴적물에 저장
- 맹그로브숲은 전체 탄소의 50-90%가 퇴적물에 저장



연안 블루카본 서식지의 탄소 구성비율

기후변화 막기- 블루카본 보존

- 블루카본 서식지는 매년 2-7% 파괴되고 있음
- 도시개발, 항만건설, 농지개간, 양식장 등 개발압력이 심해지면서 50년 전에 비해 파괴속도가 약 7배 증가함
- 개발에 의한 육상밀림 파괴속도보다 최대 4배 빠름



전 세계 연안의 잘피밭 분포



전 세계 연안의 염습지 분포

기후변화 막기- 블루카본 보존

- 도시개발, 항만건설, 농지개간, 양식장 등 개발압력이 심해지면서 50년 전에 비해 파괴속도가 약 7배 증가함
- 개발에 의한 육상밀림 파괴속도보다 최대 4배 빠름
- 블루카본의 보존으로 전 세계 국가가 감축해야할 탄소량의 10%를 대신할 수 있음
(Nellemann et al., 2009)



전 세계 연안의 잘피밭 분포

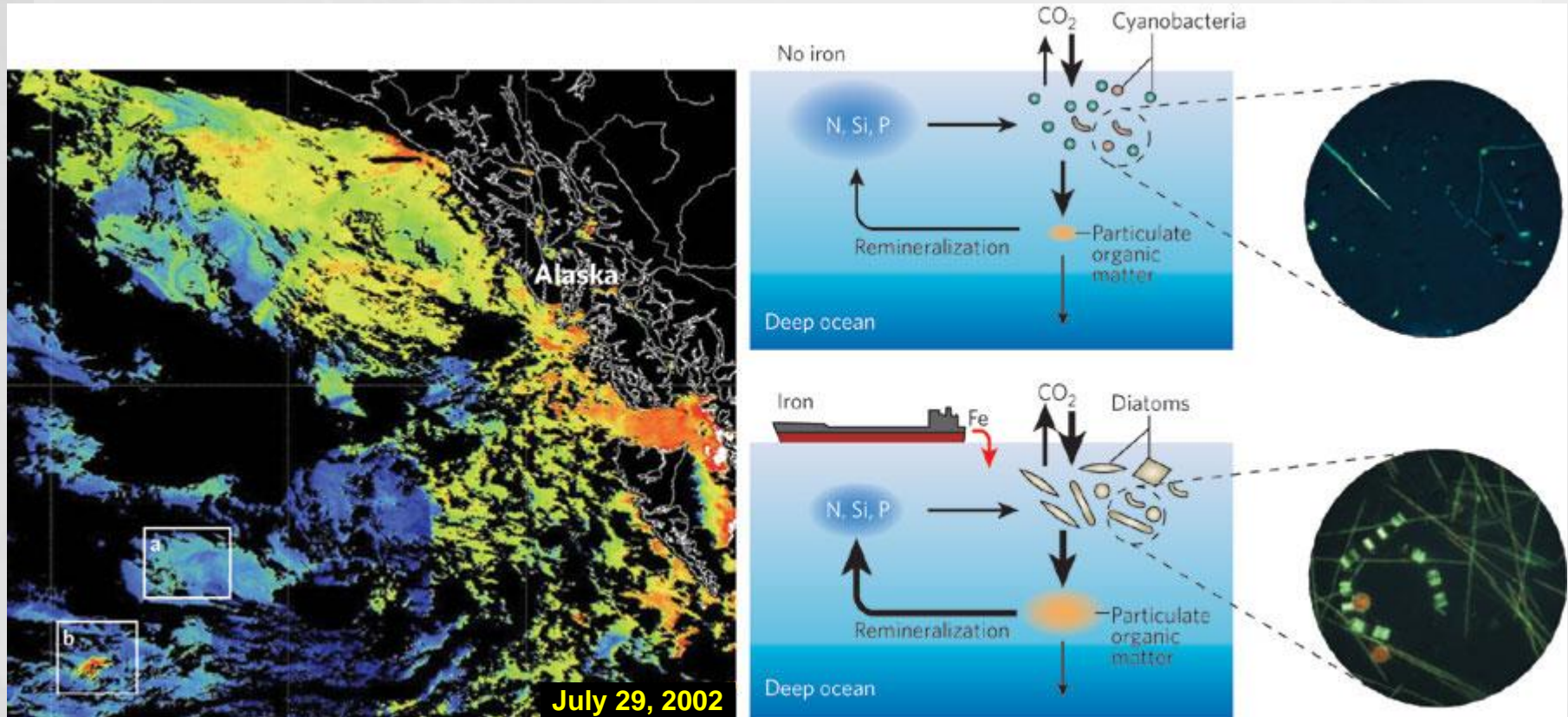


전 세계 연안의 염습지 분포

기후변화 막기- 해양철비옥화(Ocean Iron Fertilization)

Ocean Iron fertilization

바다에 철분을 공급하여 규조류 광합성을 증가시켜 대기 중 이산화탄소를 흡수하여 지구온난화를 완화시키려는 지구공학(geoengineering)적 시도



바다에 철분을 공급한 후 19일이 지났을 때 인공위성 사진
(Subarctic Ecosystem Response to Iron Enrichment Study)

기후변화 막기- 해양철비옥화(Ocean Iron Fertilization)

- 1990년 미국 해양화학자 John Martin 박사가 제안
- 철분이 제한요소(limiting factor)로 작용하는 해역에 철분을 투여하면 식물플랑크톤 대번식을 유도
- 이를 통해 대기 중 이산화탄소를 저감
- 이 가설은 수많은 과학논쟁을 불러일으킴(2007~2008, Green Peace vs. Climos)

그린피스 2007년 기술보고서

A scientific critique of oceanic iron fertilization as a climate change mitigation strategy

Michelle Allsopp, David Santillo and Paul Johnston
Greenpeace Research Laboratories Technical Note 07/2007
September 2007

- 검증되지 않은 방법임
- 생태계 붕괴 예상

Climos 2008년 반박논문

A Response to Concerns about Ocean Iron Fertilization Raised by Greenpeace

Margaret Leinen PhD, Kevin Whilden, and Dan Whaley

Climos, Inc.

May 15, 2008

- 현재 규모의 연구로는 결과를 예측할 수 없음
- 대규모 연구가 필요

기후변화 막기- 해양철비옥화(Ocean Iron Fertilization)

POLICYFORUM

ENVIRONMENT

Ocean Iron Fertilization—Moving Forward in a Sea of Uncertainty

Ken O. Buesseler,^{1*} Scott C. Doney,¹ David M. Karl,² Philip W. Boyd,³ Ken Caldeira,⁴ Fei Chai,⁵ Kenneth H. Coale,⁶ Hein J. W. de Baar,⁷ Paul G. Falkowski,⁸ Kenneth S. Johnson,⁹ Richard S. Lampitt,¹⁰ Anthony F. Michaels,¹¹ S. W. A. Naqvi,¹² Victor Smetacek,¹³ Shigenobu Takeda,¹⁴ Andrew J. Watson¹⁵

It is premature to sell carbon offsets from ocean iron fertilization unless research provides the scientific foundation to evaluate risks and benefits.

•2008년 Science 논문의 결론: OIF의 이득과 폐해를 충분히 검토해야 한 후 기술채택 여부를 결정해야 함



지금은 어떤 결론?

ARTICLE

doi:10.1038/nature11229

Deep carbon export from a Southern Ocean iron-fertilized diatom bloom

Victor Smetacek^{1,2*}, Christine Klaas^{1*}, Volker H. Strass¹, Philipp Assmy^{1,3}, Marina Montresor⁴, Boris Cisewski^{1,5}, Nicolas Savoye^{6,7}, Adrian Webb⁸, Francesco d'Ovidio⁹, Jesús M. Arrieta^{10,11}, Ulrich Bathmann^{1,12}, Richard Bellerby^{13,14}, Gry Mine Berg¹⁵, Peter Croot^{16,17}, Santiago Gonzalez¹⁰, Joachim Henjes^{1,18}, Gerhard J. Herndl^{10,19}, Linn J. Hoffmann¹⁶, Harry Leach²⁰, Martin Losch¹, Matthew M. Mills¹⁵, Craig Neill^{13,21}, Ilka Peeken^{1,22}, Rüdiger Röttgers²³, Oliver Sachs^{1,24}, Eberhard Sauter¹, Maike M. Schmidt²⁵, Jill Schwarz^{1,26}, Anja Terbrüggen¹ & Dieter Wolf-Gladrow¹

- 2012년 7월 Nature 논문
- 2004년 남빙양 167 km² 면적의 해역에서 실험
- OIF 실험 중에서 가장 규모가 큰 장기간 연구
- 철분을 투입하고 5주에 걸쳐 해양생태계 변화를 관측하고 탄소입자가 가라앉는 경로를 추적
- 철을 뿌린 후 4주가 지나면 표층 규조류 대번식이 최고조에 이르고 규조류 사체들이 빠르게 바닥으로 가라앉는 것이 관찰



OIF로 식물플랑크톤 대번식을 유도하는 방법으로 수백 년 이상 이산화탄소를 대기로부터 격리시킬 수 있는 가능성이 있음

기후변화 막기- 이산화탄소를 줄여라

어떻게?

전기플러그 뽑기
자전거 타기
쓰레기 안버리기
나무심기
물건아껴쓰기
엘리베이터 안타기
등등..



온실가스 감축노력- 교토의정서 & 포스트 교토체제



누가?
얼마나?
어떻게?



지구와 바다,
우리 힘으로 함께 지켜요...

감사합니다

