

제8회 국제전기자동차엑스포(The 8th IEVE)

에너지와 기후변화 국제워크숍

2021. 09. 07(화) 10:00 ~ 15:00

제주국제컨벤션센터 삼다홀

기후 위기와 도서·연안의 생태적 불확실성

홍선기

(사)한국섬재단 이사장

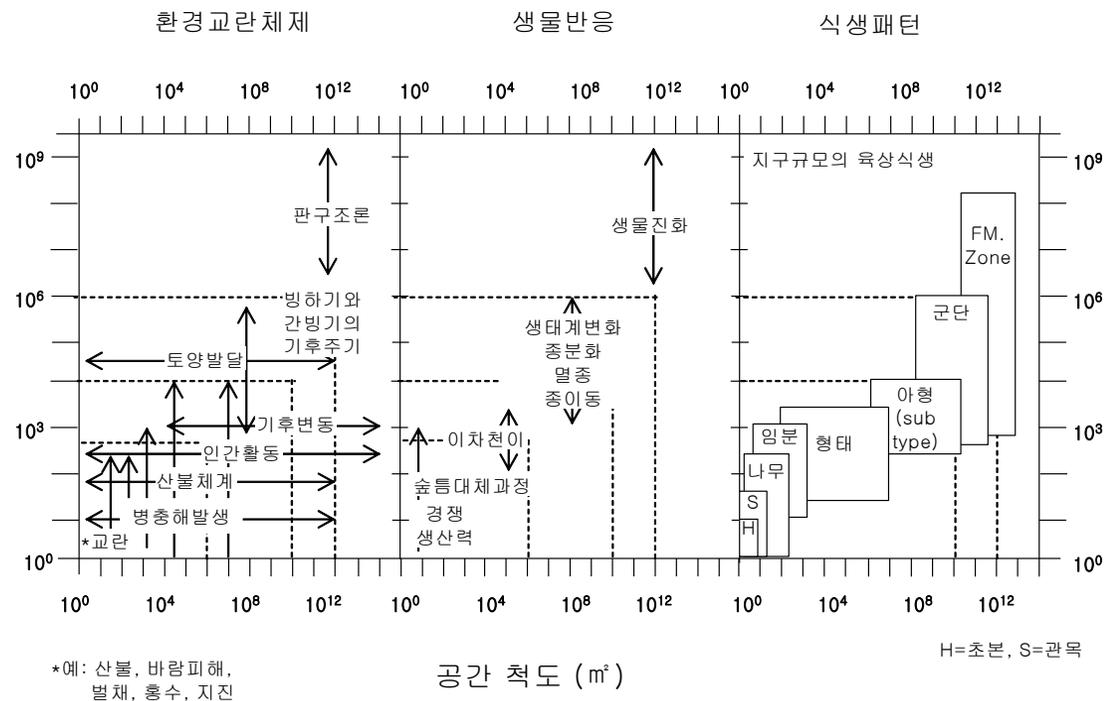
목포대 도서문화연구원 교수/교양학부 교수

순서

1. 서론
2. 기후변화 현상과 불확실성
3. 우리나라 기후변화의 특성과 생활
4. 생태학적 불확실성과 기후 적응
5. 섬 생태계와 취약성(vulnerability)
6. 섬 생태계 서비스와 회복력(resilience)
7. 끝으로, 섬 해안 관리

1. 서론

- 기후변화는 인류가 탄생하기 이전부터 지금까지 지속하여 오고 있는 자연현상이며 또한 생태계를 변화시키는 교란이다.
- 기후변화(climate change)는 다양한 사건으로 나타난다.
 - 지구온난화, 한랭화, 산불, 건조, 사막화, 생물상 변화, 해수면 상승, 해수온도 상승, 외래종 이입, 질병 발생 등을 비롯하여 최근 수년간의 이산화탄소 농도의 급속한 증가는 지나친 화석연료 사용이 지구환경 변화에 어떻게 총체적으로 영향을 미치고 있는지를 잘 알려주고 있는 사건이다.



기후변화와 관련된 교란 체계, 생물학적 반응, 식생 유형의 시.공간적 변화에 대한 도식

1. 서론

➤ 기후변화는 대개 많은 현상과 함께 나타나는데, 이것을 커플링 이벤트(coupling event)라고 한다.

- 온실효과, 지구 온난화, 이산화탄소 및 기타 가스의 증가, 대기 분진의 증가, Z-기류의 변화, 엘리뇨 현상, 이상기후의 발달, 식생대의 이동, 식생형의 소멸 및 출현, 해양수온 변화, 경작지 변화, 토양 침식 증가, 강우체계의 변화, 산불 발생 빈도 증가, 해충의 발생 증가, 해빙, 해수면 상승, 홍수의 광역화 등이 있다.

➤ 이러한 현상은 반영되는 규모에 따라서 경관은 서로 다른 반응이 발생한다.

➤ 우리는 이미 환경사(environmental history)와 고생태 환경의 해석을 통해 기후변화에 적응하지 못하고 소멸된 생태계와 국가들의 운명을 알고 있다

기후변화가 경관에 미치는 영향(Thomas, 2005)

	시간						
	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	10 ²	10 ² -10 ¹	10 ¹ -10 ⁰	10 ¹ -10 ⁻²
기후변화	빙하기 주기, 궤도변화	간빙기	아빙기(亞氷期), 하인리히 사건(HE) 해양동위원소 변화	급속 온난화	태양광 변이	엘리뇨 현상	극도의 변화
기후와 수문학	주요 기온과 강수량 변화	기온 5-7°C, 강수량 소실, 빙하 소멸	한랭, 빙하 진행, 강우 변화, 하천류 감소	강우 증가, 태풍 증가, 침식, 범람	강우 변동, 범람, 가뭄	강우와 범람에 대한 국지적 영향	토양 침식, 범람, 사이클론
식생피복	주요 생물군계 변화 및 대체	주요 생물군계 변화	종 조성과 식생구조의 변화	국소적 변화, 숲의 확장	복잡한 천이 상태	국소적 패턴, 숲 틈 등태	국소적인 토지피복의 파괴
경관 감수성	직접 연관이 없음	지역 식생 유형에 영향	100만 년 범위의 경관 변화	에너지 펄스와 관련	극단적 사건에의 등급과 빈도에 미치는 영향	지역의 태풍 강도에 미치는 영향	침식과 퇴적
경관안정성 개념	직접 연관이 없음	간헐적 반응	불안정한 빙하기	에너지 펄스, 10년 주기 범람	주기적인 사면과 수로의 불안정성	간헐적인 사면과 수로의 불안정성	교란 평형의 역치와 교차상태

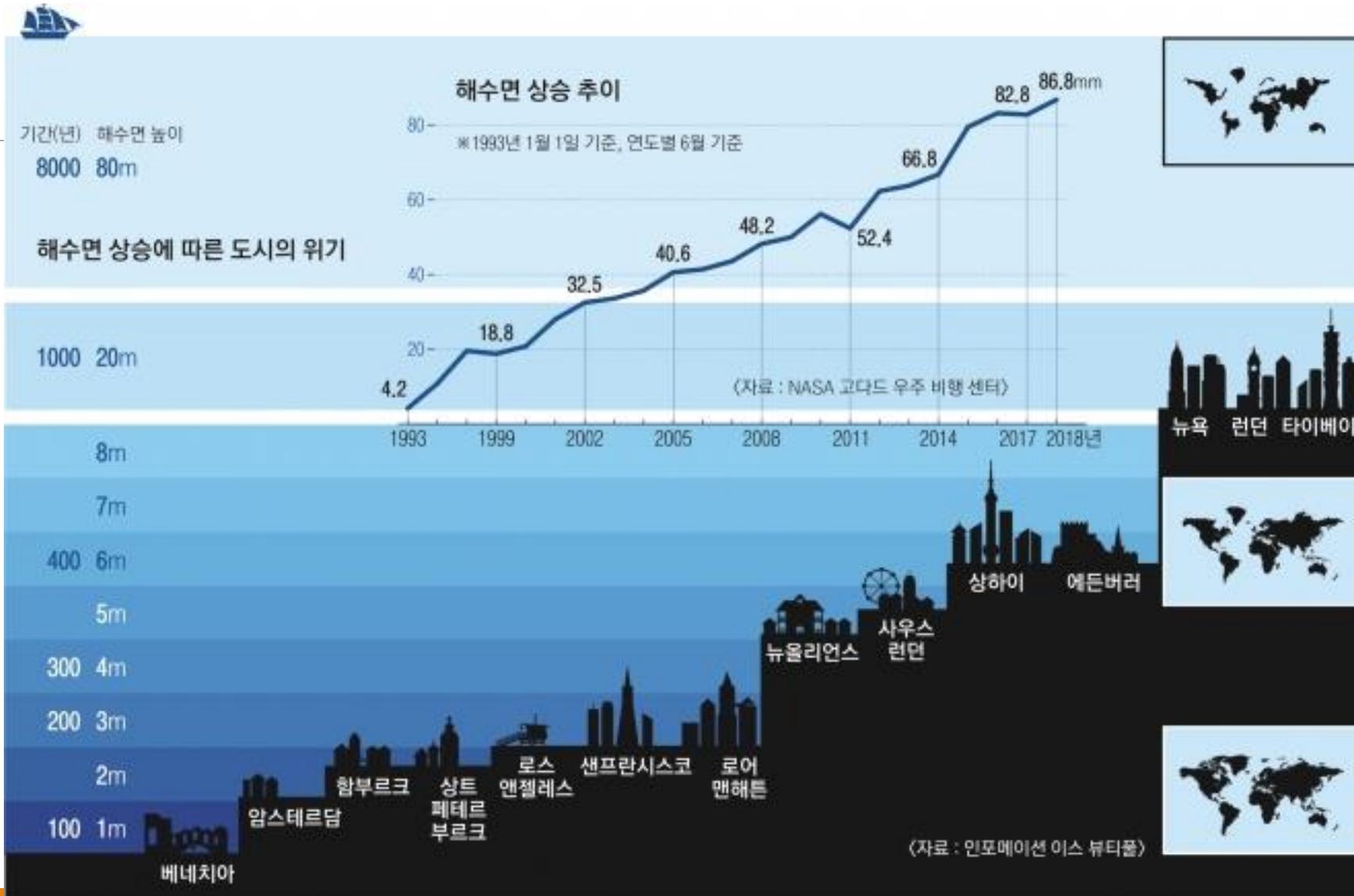
포스트 코로나 시대는 기후 위기의 시대

- 최근 발표된 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 제6차 평가보고서(IPCC AR6, 2021)에서는 2015년 파리기후변화협약을 통해 합의한 온실가스 감축 계획에도 불구하고, 1.5°C 지구 가열화 도달 시점이 2015년 파리협약에서 제시된 기준에서 10년 앞당겨 도래할 것이라고 경고(표)
- 코로나19 확산에 의한 팬데믹과 같은 새로운 지구환경적인 도전과 심각한 기후위기의 상황이 우리나라 섬·어촌 사회에서도 예외일 수 없으며, 해수면 상승, 해수온도 상승에 의한 해양생태계 변화와 도서·연안의 물리적 변형으로 인한 전통적인 섬·어촌의 생업과 산업구조의 취약성(vulnerability)을 개선하고 보다 적극적으로 대응할 필요가 있다.

표. 2013년과 2021년에 발간된 IPCC 평가보고서의 주요 기후관련 항목 비교.

비교요소	AR6 제1실무그룹 보고서 (2021년 발간)	AR5 제1실무그룹 보고서(2013년 발간)
온실가스 농도 (이산화탄소)	410ppm	391ppm
이산화탄소 농도 사례	최근 200만년간 전례없음	최근 80만년간 전례없음
전지구 평균 지표면 기온 (산업화 이전 대비)	1.09°C 상승 (2011~2020년)	0.78°C 상승 (2003~2012년)
전지구 평균 해수면	0.20m 상승 (2018년)	0.19m 상승 (2010년)
2081~2100년(세기말) 전지구 평균 지표면 온도 상승 범위	1.0~5.7°C (산업화 이전 대비)	0.3~4.8°C (1986~2005년 대비)
2081~2100년(세기말) 전지구 평균 해수면 상승 범위	0.28~1.01m 상승 (1995~2014년 대비)	0.26~0.82m (1986~2005년 대비)

해수면 상승과 세계 주요 도시의 운명



2. 기후변화 현상과 불확실성

➤ 기후변화의 원인, 결과에 대한 예측 불확실성 문제의 발생

- 시기와 규모의 예측에서의 불확실성
- 생태학적, 경제적 및 정치적 효과의 예측에서의 불확실성
- 정치적 선택에서 효과와 비용예측에서의 불확실성
- 이러한 불확실성 때문에 정책 충고자들은 어떻게 행동해야 할지에 대한 추천에서 크게 동의를 받지 못한다.

➤ 지구 온난화는 과학자, 정책 분석가 혹은 정치인 사이에서 이러한 불확실성의 처리방법에 대해서 심도 있게 논의 되어 옴

- 기후 완화 : 온실가스 배출감소 및 흡수원 개선
- 기후 적응 : 기후 현상과 그 영향에 대한 생태적, 사회적, 경제적 시스템의 조절

2. 기후변화 현상과 불확실성

- 기후 적응은 개인, 그룹 및 정부에 의한 사회 전체의 행동 - 수세기 동안 적응해 왔지만 최근 갑작스런 기후변화에 대한 도전을 받고 있음
- 기후 위기는 기후변화의 속도와 규모, 시간적 범위와 관련된 비정상적 현상으로 인해 발생 - 미래 예측이 어려운 불확실성에 직면하고 있어 예측 적응이 어려운 상태
- 불확실성의 본질은 다차원적이다(Grafton et al., 2005).
 - 온실가스 배출과 관련된 불확실성
 - 지구 및 지역 규모의 기후 시스템 반응에 대한 불확실성
 - 기후 모델에 대한 불확실성
 - 시공간적 기후 영향 분포와 관련된 불확실성
- 다양한 수준의 기후적 불확실성이 기후 위기에 적응하기 위한 평가를 수행하는데 어려움을 주고 있음
- 관측된 데이터, 기후 모델, 기후 영향을 포함하며, 통계적 불확실성과 시나리오 불확실성에 따른 불완전한 지식이 정책에 투영되는 문제까지 발생하고 있음

3. 우리나라 기후변화의 특성과 생활

➤ 한국환경정책·평가연구원 2010년 보고서 외

- 우리나라의 경우 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 최근 태풍, 파랑, 폭풍 등에 의하여 영향을 받으며, 연안 지역에 사회 경제적 활동이 집중되어 있어 상당한 피해를 주기적으로 경험하고 있다고 한다
- 기후변화와 관련한 취약성 평가의 기존 연구에 의하면 우리나라에 대하여 해수면 1m 상승 시 조석 및 폭풍의 영향을 고려했을 경우 잠재 범람 면적이 2,643km², 잠재 피해 인구 1,225천명으로 예상되고 있다(조광우 등, 2002)
- 지구 온난화에 의한 해수면 상승은 태풍(해일), 파랑, 바람 및 강수 변화와 중첩하여 연안지역의 자연환경 및 사회 경제시스템의 취약성을 유발

➤ 한국환경정책·평가연구원 기후변화 전망 보고서(2020) 외

- 우기의 강수량은 2010년대 중·후반부터 감소하여 서울을 제외한 나머지 지역에서 40년간의 감소 추세
- 기후변화는 온도와 강수 등의 변화로 증발산량 및 토양 수분의 증감을 일으켜 결과적으로 물 순환 변화를 초래
- 한국 국민들은 기후변화에 대한 심각성은 인지하고 있지만, 과연 그 원인은 무엇이고, 또한 향후 어떤 영향이 발생할 것인지, 어떻게 대응할 것인지에 대해서는 대부분의 국민의식은 낮다(2010년도 Pew Research Center)

3. 우리나라 기후변화의 특성과 생활

➤ 기후위기와 한반도 도서해양환경의 변화

- 최근 급속한 기후온난화가 섬·어촌 지역에 영향을 주는 것은 해수면 상승과 해수 온도 상승 등 크게 두 가지로 요약된다.
- 해수온도 상승은 어류의 먹이가 되는 플랑크톤의 발생에 영향을 주기 때문에 먹이 사슬에 의하여 주변 어장 환경도 변하게 된다. 특히 해수 온도가 상승하면서 바다 산성화 속도가 급속하게 진행되어 산호초와 같은 해양기저생태계의 붕괴가 이어질 것으로 경고하고 있다.
- 특히 우리나라의 경우, 동해안 백화현상은 이미 시작되었고, 과거 중요한 어족자원이었던 오징어, 명태 등 주요 어종의 급속한 감소가 이어지고 있다.
- 서남해와 남해의 양식장의 경우, 해수온도의 상승에 의하여 전복 양식장을 비롯하여 어패류 양식에 막대한 피해를 주고 있다.
- 향후 이러한 해수온도 상승에 의한 양식장 피해는 지속될 것으로 판단된다.

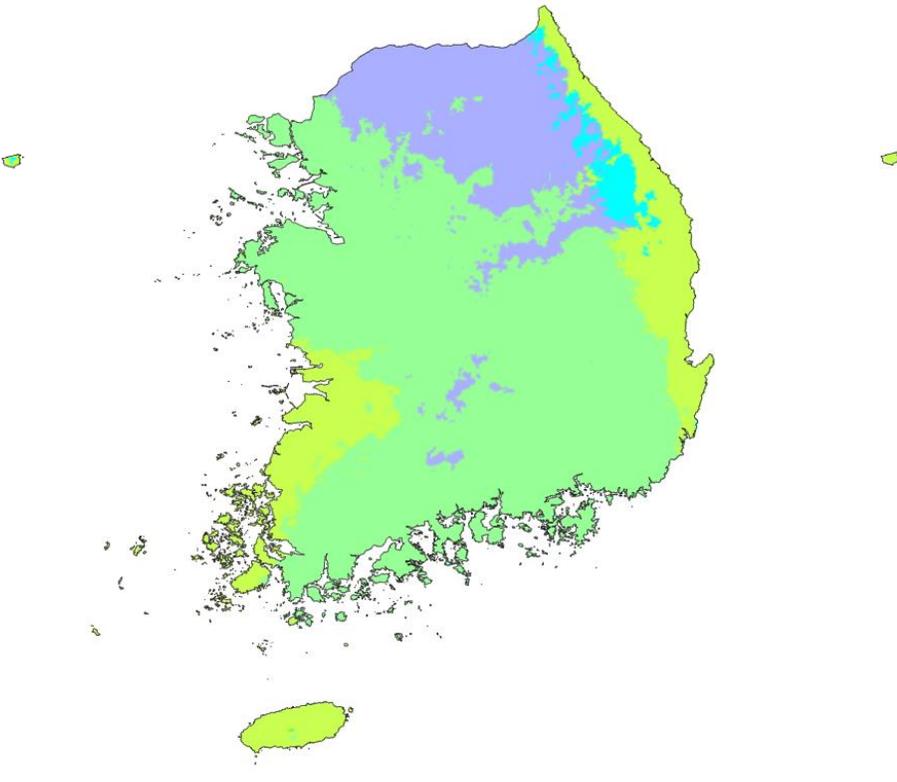
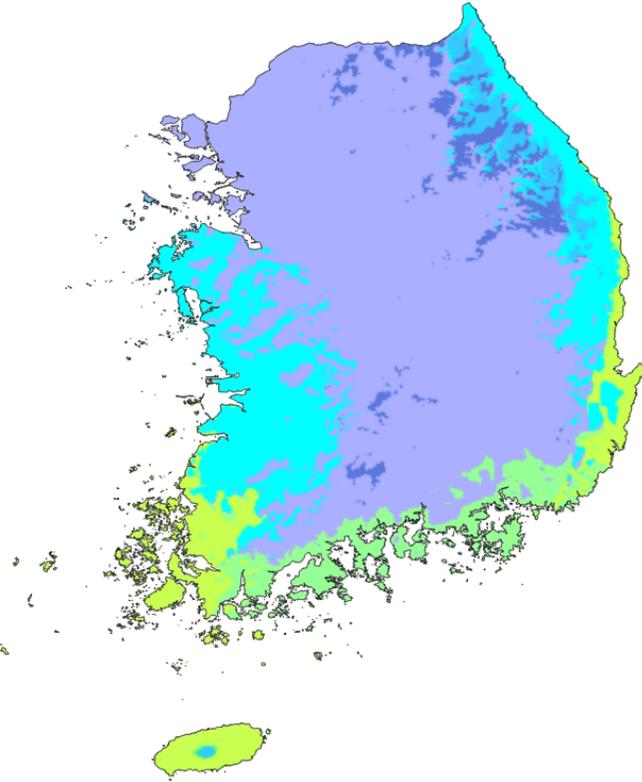
표 . 해수면 상승에 따른 주요 환경변화와 대응전략

해수면 상승에 따른 주요 환경변화	대응 전략
<ul style="list-style-type: none">• 저지대 범람과 습지 이용• 해안침식• 폭풍 해일 및 홍수의 심화• 강 하구 및 담수층으로 해수 침투• 강과 만에서의 조석변화• 퇴적 유형 변화• 해저 생물에 의한 빛 투과 감소	<ul style="list-style-type: none">• 과학적 기후변화 위험관리 체계 마련• 취약 지역, 계층의 보호• 주민 지원 위한 시스템 구축

Köppen-Geiger climate classification map for South Korea

1980-2016

2071-2100



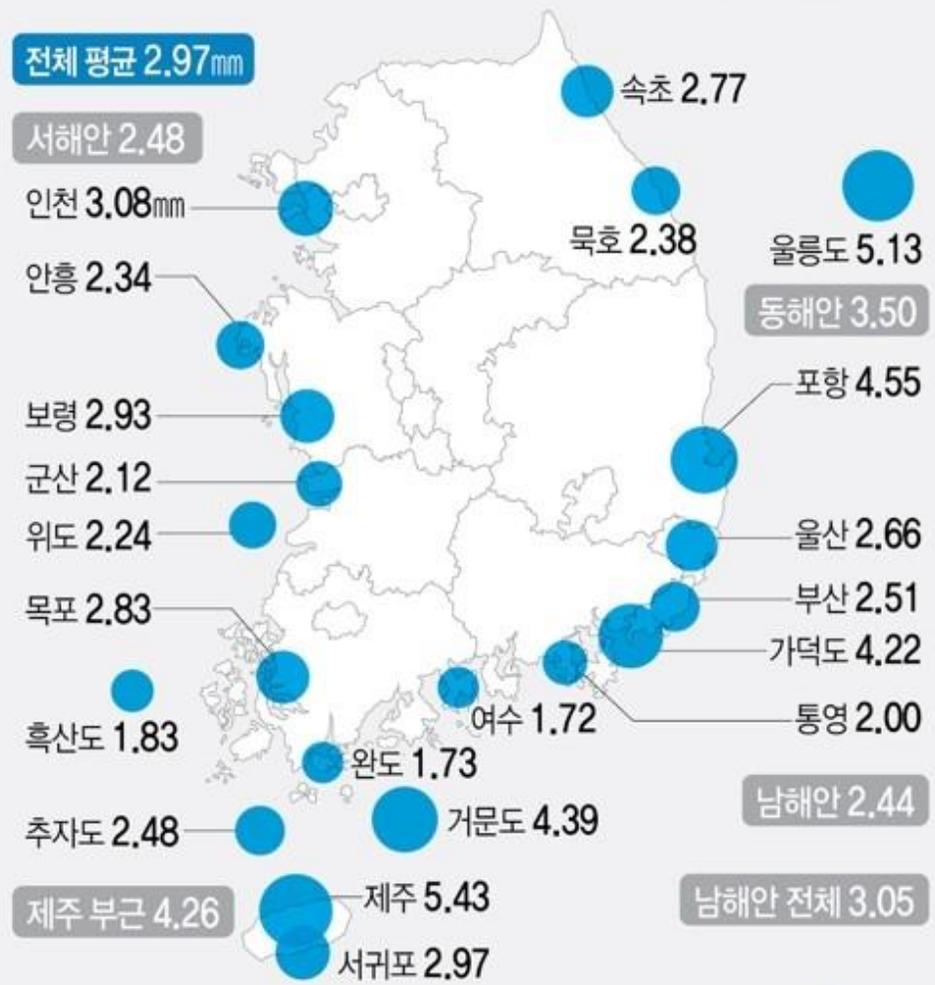
- Temperate, dry winter, hot summer (Cwa)
- Temperate, dry winter, warm summer (Cwb)
- Temperate, no dry season, hot summer (Cfa)
- Temperate, no dry season, warm summer (Cfb)
- Cold, dry winter, hot summer (Dwa)
- Cold, no dry season, hot summer (Dfa)
- Cold, no dry season, warm summer (Dfb)

Beck, H.E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. - "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution". *Nature Scientific Data*. DOI:10.1038/sdata.2018.214. Köppen-Geiger climate classification map for South Korea

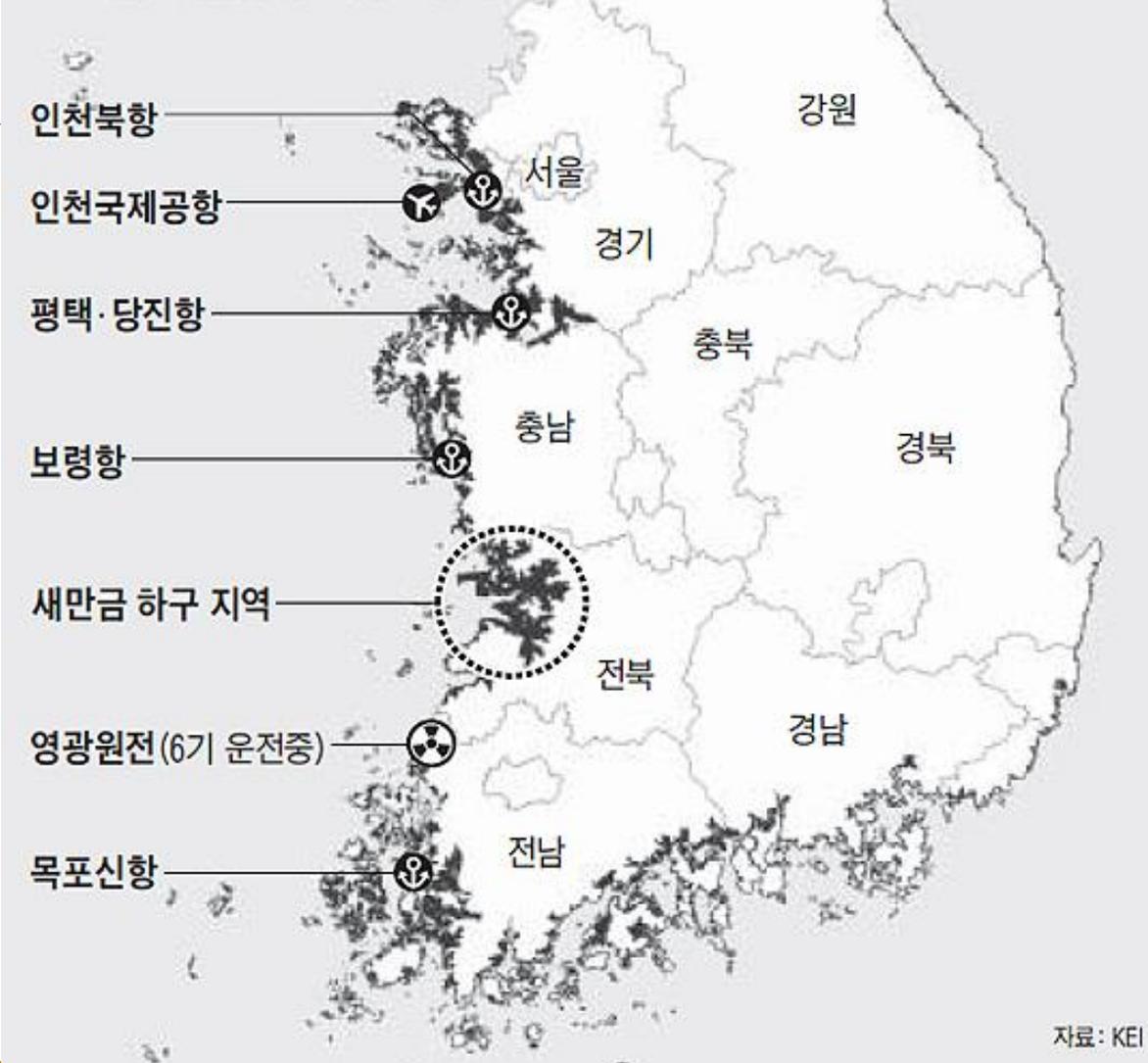
우리나라 해수면 상승률

우리나라 해수면 상승률

1989~2018년까지 30년간 연안 조위관측소 자료 분석 결과, 연 평균 상승률



2100년 해안침수 가능 지역

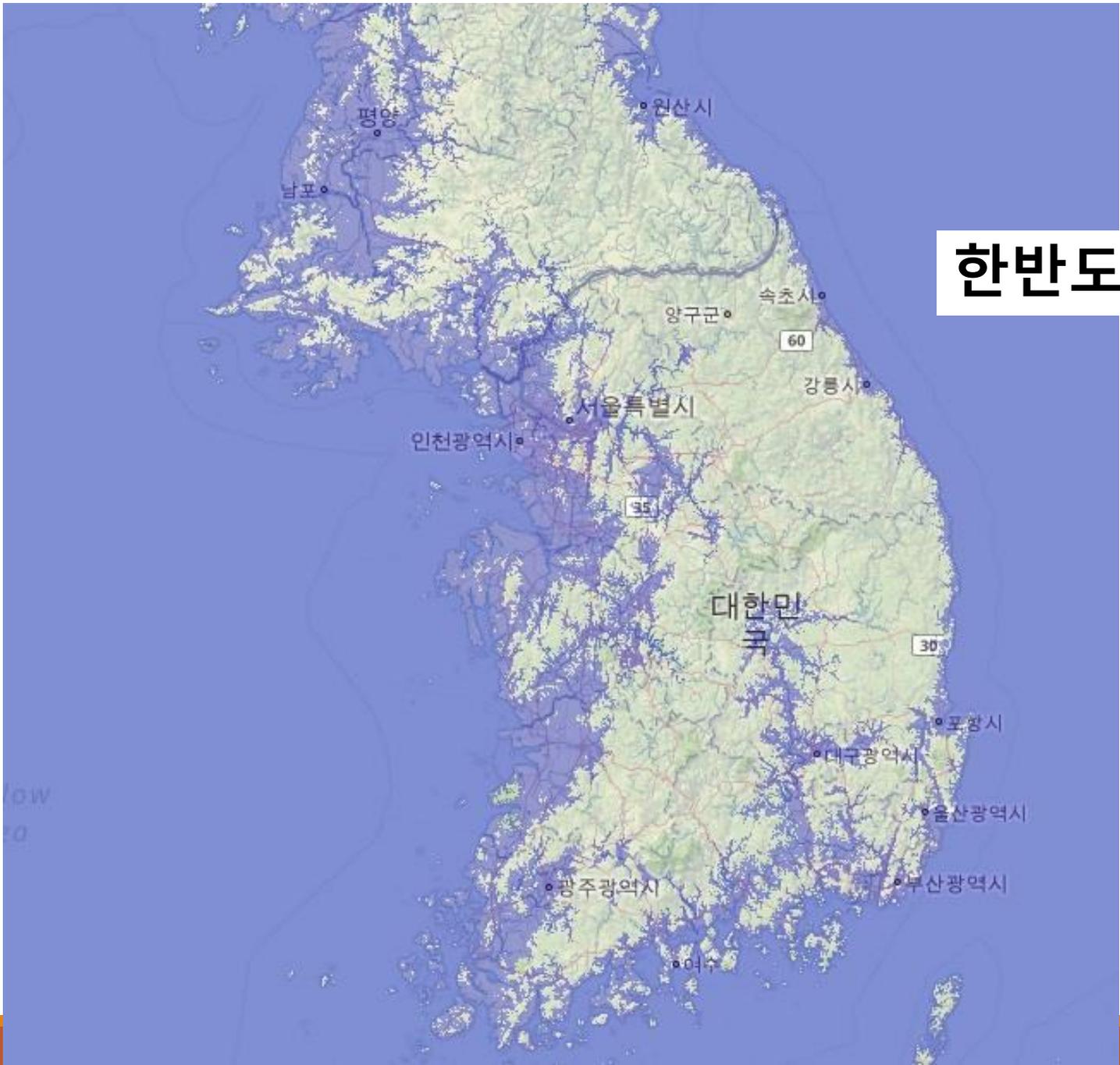


자료: KEI

자료/ 해양수산부 국립해양조사원



김지영 인턴 / 20191219 트위터 @yonhap_graphics 페이스북 tune.kr/LeYN1



한반도 해수면 상승 9~10m의 경우

제공: <http://flood.firetree.net/>

4. 생태학적 불확실성과 기후 적응

- 기후가 생태 시스템에 주는 영향에 대해서는 지역별로 많은 학술적 보고가 이뤄졌다(Peterson 등 1997). 대체로 크게 세 가지 관점에서 정리할 수 있다.
 - ① 대기 시스템의 변화 : 온실가스 배출량을 신속하게 줄이는 사회경제적 재편은 거의 불가능
 - ② 회복 탄력성(resilience) : 지금까지 생태학자들이 신뢰해 온 '생태적 회복력(ecological resilience)'에 대한 정도(범위, 빈도, 강도) 이상의 지구적 영향으로 인하여 회복력이 미치지 못하는 상황
 - ③ 생태 시스템의 재편 : 생태 시스템 변화는 인위적인 영향에 의하여 더욱 증폭되어 발생하기 때문에 지역, 생태계, 생물종에 따라서 변화의 예측은 매우 불규칙
- 세 가지 생태 시스템의 변화는 결국 사회 시스템에도 직간접적으로 영향을 주게 된다. 특히 생물 개체군 변화에 의한 생태계 구조의 재편은 문화적, 경제적, 생태적인 수준에서 인간에게 영향을 미치게 된다.
- 생태 시스템의 단순화로 인하여 미래의 새로운 조건에 인간이 대응할 능력이 감소한다.

5. 섬 생태계와 취약성(vulnerability)

- 인류는 오랫동안 직·간접적 기후변화 결과에 노출됐다.
- 다른 생물종과 달리 인간은 미래를 계획하고, 기술에 투자하고, 변화를 완화해 적응하는 방법을 배울 수 있다. 그러나, 기후변화에 의한 생태학적 영향은 불균등하게 분산되어 발생하기 때문에 이 영향에 대응하여 적응하기는 쉽지가 않다.
- 기후변화에 대한 무지, 부족한 인프라, 비효율적인 거버넌스 등은 기후변화에 대처하는데 취약점으로 나타난다.
- 특히 섬 지역은 온도와 강우, 그리고 해수면의 변화를 유발할 것으로 예상하는 기후변화에 가장 취약한 시스템 중 하나이다
- 기후변화에 의한 섬 지역의 취약성은 육상 생태계 뿐 아니라 수산업과 연관된 해양환경까지 확대되고 있다
- 세계식량기구(FAO, 2018)의 보고에 의하며, 기후변화 이슈는 수산업에 의존하는 섬 국가나 연안 지역의 경제적 손실과 함께 수산물의 가용성 및 무역에 상당한 변화를 줄 것으로 평가하고 있다.
- 해양생태계 변화에 의한 어획량의 감소는 섬 국가와 연안 지역 간 경제적 불균형을 유발시키고, 세계적 식량안보와 빈곤 문제를 발생시키게 된다.

5. 섬 생태계와 취약성(vulnerability)

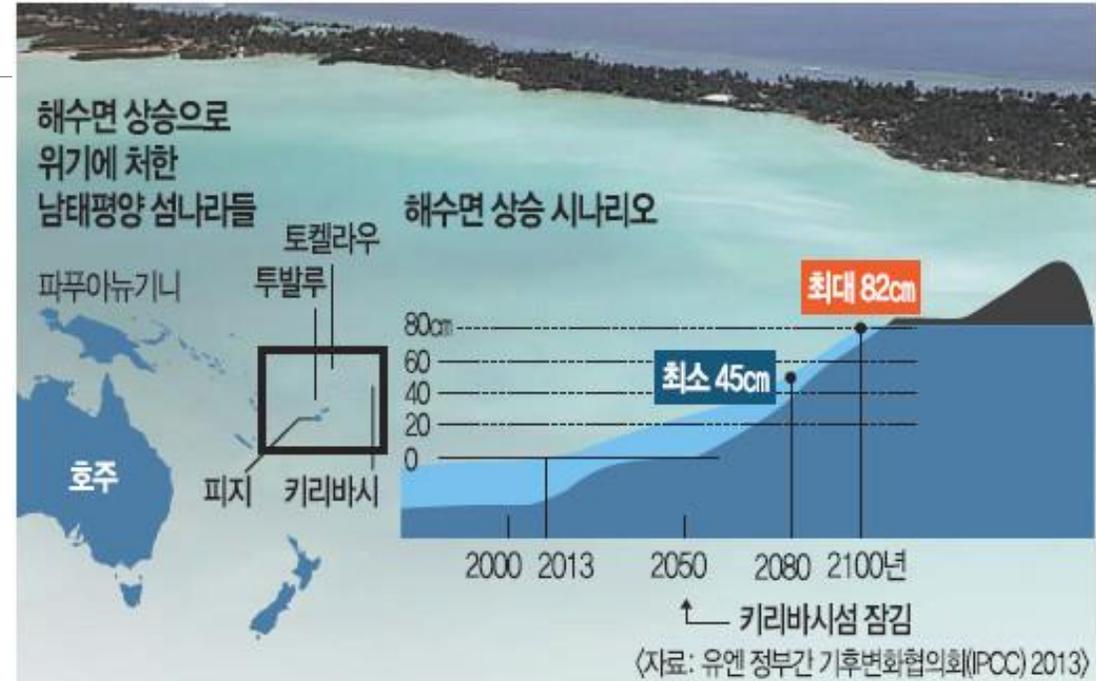
소규모 도서국가(SIDS)는 전 세계 온실가스 배출량의 1% 미만을 차지하지만, 기후변화와 해수면 상승의 잠재적인 악영향에 가장 취약한 영역에 속한다(United Nations Environment Programme, 2014).

기후변화 및 해수면 상승에 관한 연구의 많은 부분이 태평양 섬 지역을 대상으로 진행되었다.

해양성 기후대의 특성에도 불구하고, 열대성 저기압, 극심한 홍수와 가뭄의 반복, 계절 기간의 불규칙한 변화 등이 상기후를 겪고 있다.



투발루의 해수면 상승



6. 섬 생태계 서비스와 회복력(resilience)

- 섬은 각각 다양한 생태계를 가진 시스템이고, 인간에 대한 생태계 서비스가 제공된다(표).
- 지리적으로 유사한 위도에 있는 섬을 결합하여 분석하면 생태계의 유사성을 인식할 수 있다. 크기가 작고 수가 많은 섬에 사는 사람들은 일반적으로 환경, 경제적, 사회적으로 더 취약하다.
- 취약성(vulnerability) 개념에 대한 부정적인 선입견을 우려한 일부 섬 국가에서는 더욱 긍정적인 접근 방식을 주장했다.
- 회복력(resilience)이 향상하면 취약성이 감소한다는 회복력 개념을 수용하면서 섬 시스템의 취약성을 개선하고자 했다.

생태계 서비스		사례
공급 서비스	식량	식량안보, 생계어업, 음식, 야생동식물, 식량 생산체계, 토지이용변화, 도서 해양계획
	원재료	재생가능 생물자원, 에너지 자원, 동물 식량, 해저 미네랄
	유전자원	야생자원, 경작식물과 가축, 유전자 조작, 생물공학연구
	의료자원	새로운 화학물질, 약재, 새로운 의료기기
	서식처	물리적이거나 생물학적인 서식처, 육지와 도서 연안 계획(국립공원, MPAs), 비어업 지역과 윤작어업
	관상용 자원	산호 등 귀중한 물질, 패션, 의상, 축제, 의례, 관광상품, 수집품
조절 서비스	가스 조절	인위적 교란, 기후변화, 토지이용변화, 이산화탄소/산소 균형 조절, 오존층의 보호, 황산화물 수준 조절, 청정하며 신선한 공기의 공급, 질병 예방
	기후 조절	산림황폐, 조림, REDD, 가뭄, 연안 해양계획
	연안 보호	홍수, 쓰나미, 해수면 상승, 태풍, 가뭄, 건축
	물 조절	자연적 관개 형태, 저수 용량 변화, 하천 조절, 적절한 수송 기능
	물 공급	저수 용량, 농업이나 산업, 가정에 물 공급
	토양 보유력	식생 피복 변화, 뿌리 시스템 변화, 토양 안정화, 침식과 퇴적
	토양 형성	홍수, 해수면 상승, 복원
	양분 조절	제한 영양소, 건강한 생태계, 온실가스/기후와 물 조절
	쓰레기 조절	수질 정화, 유기/무기 순환
	꽃가루 수분	토지이용변화, 도로 개발, 공기의 질, 해충과 질병 조절
	생물학적 조절	해충과 질병 조절
문화 서비스	레크레이션/관광	힐링, 휴식, 회복의 공간, 산책이나 하이킹, 캠핑 등 활동
	심미적	풍치, 경관, seascape
	과학과 교육	환경교육
	종교와 역사	도덕과 유산의 가치

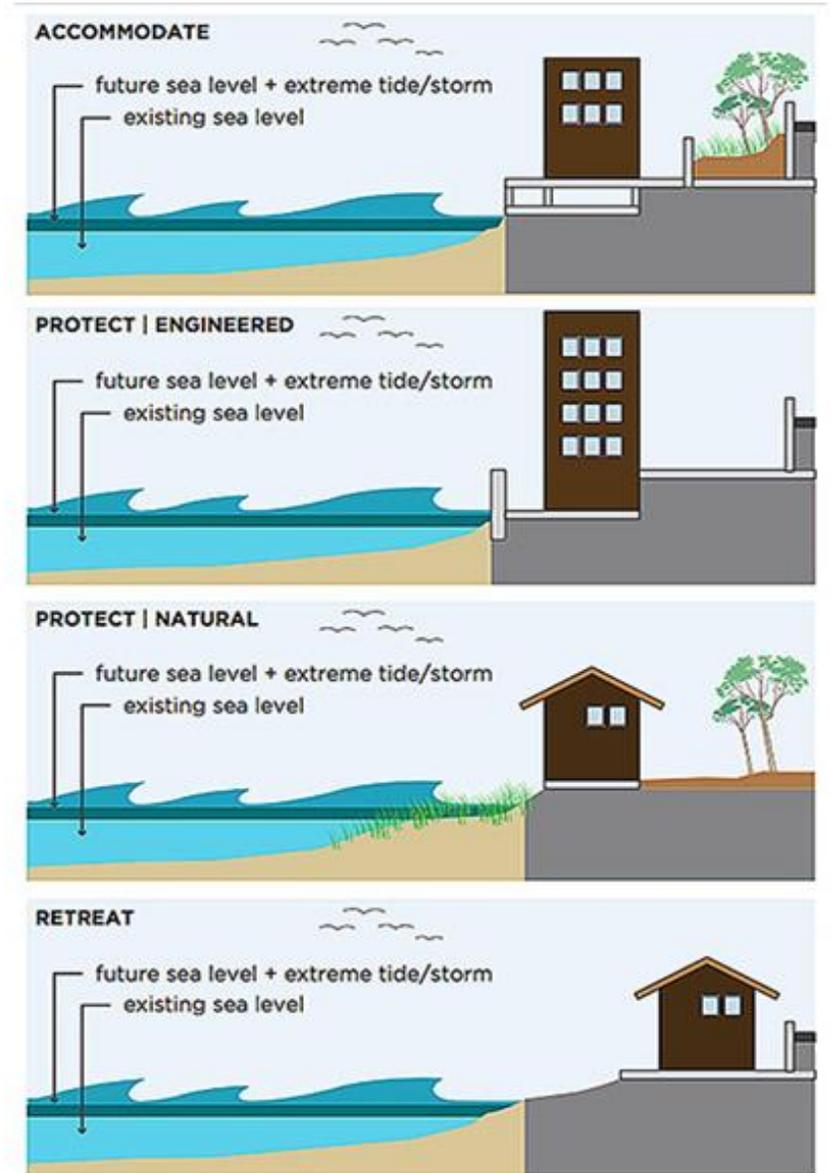
(출처: United Nations Environment Programme, December 2014. Guidance Manual on Valuation and Accounting of Ecosystem Services for Small Island Developing States.)

6. 섬 생태계 서비스와 회복력(resilience)

섬 공동체는 그들의 취약성을 인식함으로써 적절한 조치와 프로그램을 통해 탄력성(resiliency)을 구축할 수 있다

우수한 거버넌스, 건전한 거시 경제, 시장 개혁, 노동 생산성, 사회적 결속력, 에너지 효율성 증가, 폐기물 관리 촉진, 담수 자원 관리 개선, 환경 보호 및 지속가능한 환경 관리, 그리고 생물다양성과 천연자원의 지속 가능한 이용 등 다양한 방안들이 기후변화에 취약한 사회경제적 회복력 증진에 역할을 할 수 있다.

- 적응(accommodate): 해수면 상승을 예측, 거주지 수면 조정, 식재 등 자연적 보호기능 강화
- 기술공학적 보호(protect/ engineered): 방조제와 보를 구축하여 해수면 상승을 방어함
- 자연적 보호(protect/ natural): 연안사구 관리, 식재 등을 통한 자연적 방식의 해수면 상승 방어
- 후퇴(retreat): 연안지역에서 후퇴



해수면 상승에 대응하는 도서지역 거주지 개량
(출처: http://www.beachapedia.org/Climate_Change_Adaptation)

7. 끝으로, 섬 해안 관리

➤ 해안 지역을 보호하기 위해 어떤 형태의 해안 관리를 선택하든 어려운 결정을 내릴 수밖에 없다. 고려할 수 있는 네 가지 주요 방안이 있다.

- 1. 방어선 유지 - 기존 해안 방어선 유지함
- 2. 선 전진(Advance the line) - 해상에서 새로운 방어 시설을 구축하여 바다의 에너지를 분산시키고 기존 방어에 대한 스트레스를 줄이는 방법
- 3. 선 후퇴(Managed Retreat) - 위험 지역 주민들을 옮기고 바다가 원래 땅을 되찾게 하는 방법
- 4. 인위적 간섭없이 방임 - 범람하게 하고, 즉시 처리하는 방법(일반적으로 인구가 없는 지역에서 사용되는 접근 방식)



경청해 주시어 감사합니다.

