

기후변화의 위협과 적응

【 지속가능한 수자원 관리 】



2015. 5. 19.

우 호 섭

목차

- 1 기후변화란?
- 2 기후변화 시나리오와 기후전망
- 3 기후변화와 수자원관리
- 4 기후변화 적응연구 - 육수생태계
(레질리언스)



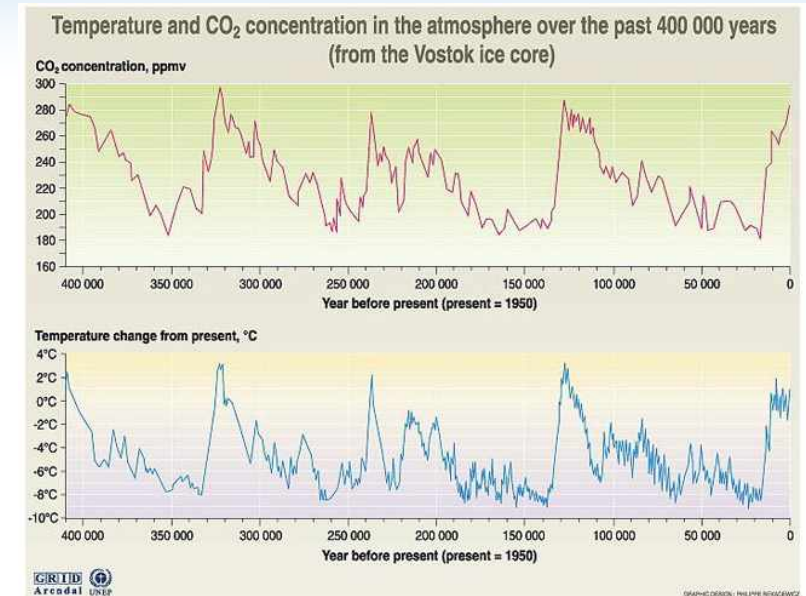
기후변화 개념

- ◆ 지구기후가 자연적, 인위적인 요인에 의해 점차 변화하는 현상
- ◆ 자연적 요인 : 대기, 해양 등 지구 내적환경 변화와 태양과 지구의 상대위치 등 외적 환경 변화 (지질 시간)
- ◆ 인위적 요인 : 인간활동에 의한 지구환경 변화(대기 중 이산화탄소의 증가, 도시화 및 산업화 등) (역사 시간)



기후변화의 증거

- 남극대륙 빙하 아래의 얼음 시료(Vostok ice core)에 대한 분석을 통해 40만년 동안 지구 대기온도와 이산화탄소 농도 분석 결과
- 기상관측 활동의 결과
 - 지난 133년간(1880~2012년) **평균기온 0.85°C 상승**
 - 지난 110년간(1901~2010년) **평균해수면 19cm 상승**
: 특히, 1993~2010년에는 연간 3.2mm 씩 해수면 상승 가속화
 - **지구빙하의 양 감소** 현상 : 지난 34년간 (1979~2012년) 북극 빙하의 연평균 면적은 10년에 3.5~4.1%의 비율로 감소하였을 것으로 추정

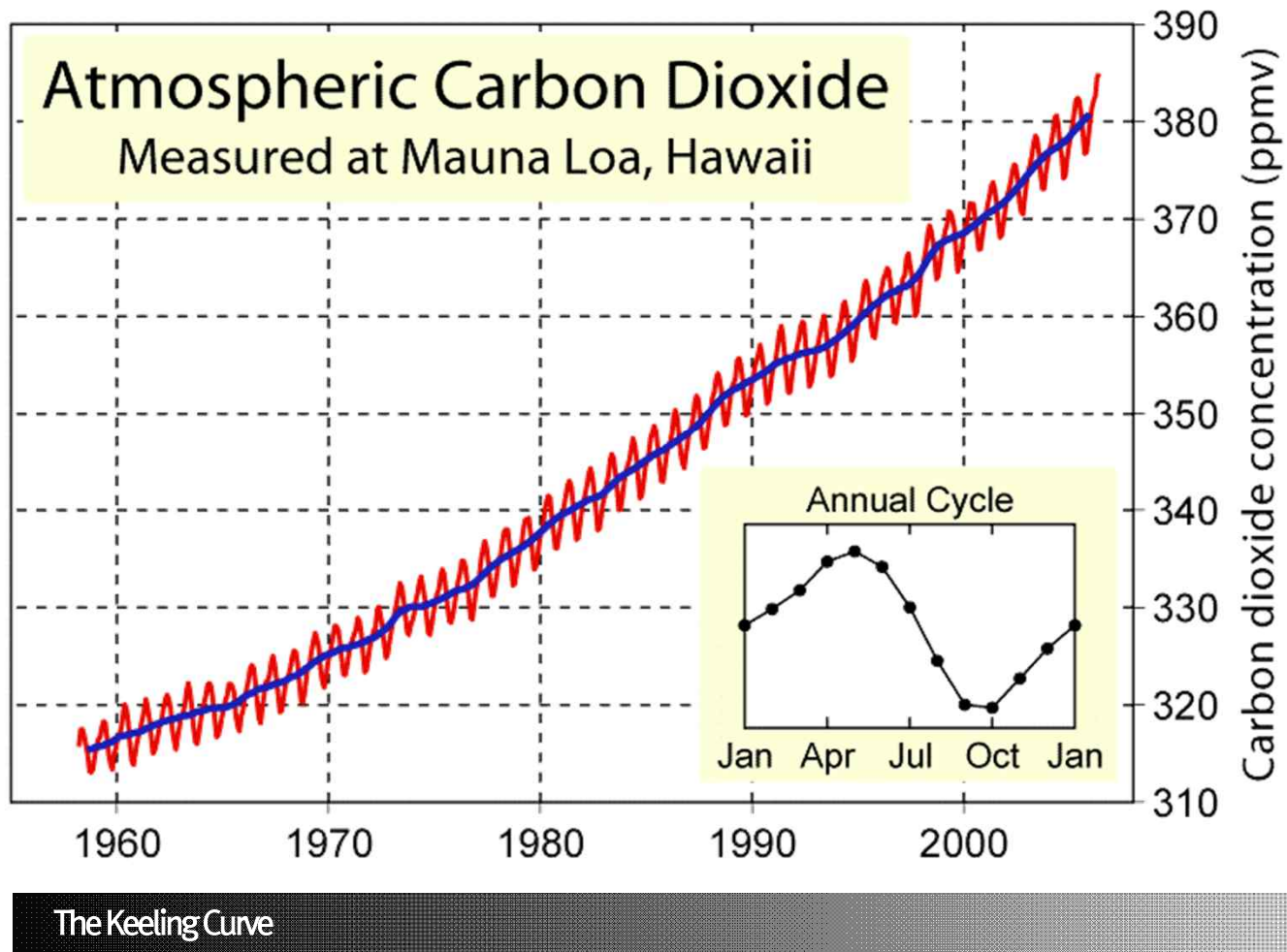


출처 : J.R. Petit et al.(1999), Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Nature 399



출처 : 이창흠(2013), 기후변화 논쟁, 과학적 근거는 무엇인가?, 나라경제.

대기 중 이산화탄소 농도 변화



기후변화에 대한 과학적 논쟁

● 기후변화의 원인을 중심으로 과학자들 간 의견 대립

- 북극 빙하가 사라지는 현상은 인정하나 인간의 활동에 따른 결과인가?
- 지구온난화 등 기후변화를 초래하는 주요 원인이 이산화탄소 농도 증가인가?
- 지구온난화 현상은 지구에서 반복적으로 나타나는 자연적인 현상이 아닌가?

● 그러나 최근 지구기온이 상승하고 기후특성이 변화하고 있다는 점에 대해서는 논란의 여지가 없는 상황

기후변화에 대한 과학자들의 의견 대립

찬성	기후변화	반대
“북극 빙하가 눈앞에서 사라지는데 회의론자들은 무슨 일이 벌어진다고 생각하는지...” 앨 고어 전 미국 부통령	인간 활동이 원인?	“인간의 활동이 이를 일으켰다고 확신할 수 없어” 세라 페일린 전 미국 알래스카 주지사
“모든 국가가 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 노력해야 합니다.” 반기문 유엔 사무총장	이산화탄소가 주범?	“10만 년 주기로 지구 자전축과 공전궤도가 변화하는 것이 기후변화의 원인” 밀루틴 밀란코비치, 세르비아 수학자
“기후변화가 계속된다면 몰디브는 사라질 것입니다.” 무함마드 나시드 몰디브 대통령	온난화 여부	“지구온난화는 100만 년 전부터 약 1500년 주기로 반복되는 자연적인 현상” 데니스 에이버리 허드슨연구소 연구원

출처 : 2010년 4월 21일 동아닷컴 인터넷 기사, ['자연의 경고' 기후변화 현장을 가다] <5> 기후변화 논쟁과 대책

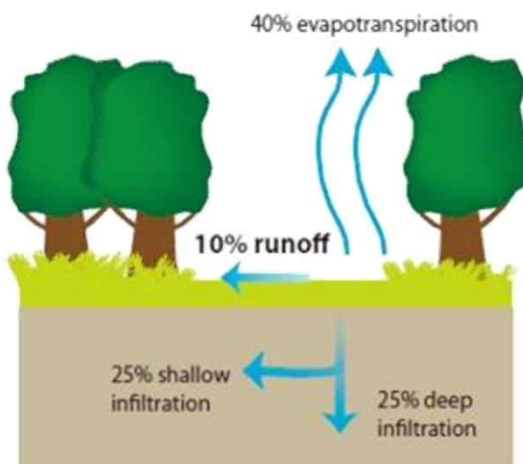


도시열섬 현상도 (지구적)기후변화 인가?



도시 기후변화

- 도시 열섬 (효과)
- 도시 홍수



태양 반사율, 열 방출, 증발산 등의 변화



IPCC 최근 보고(*Time*, April 14, 2014)

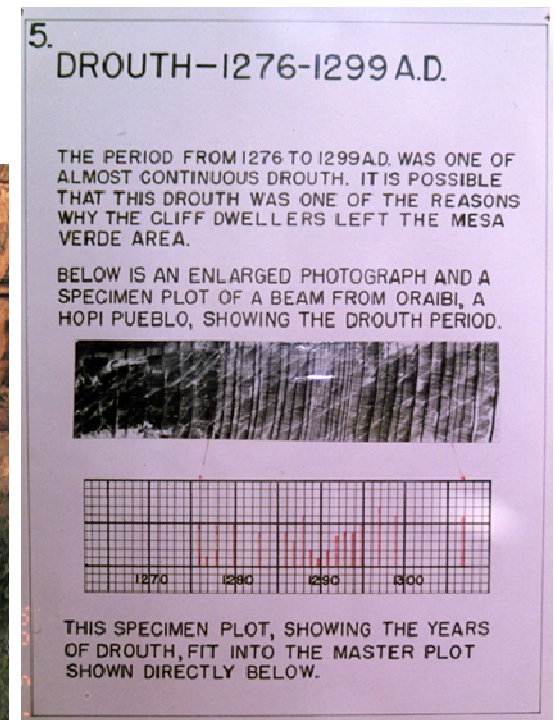
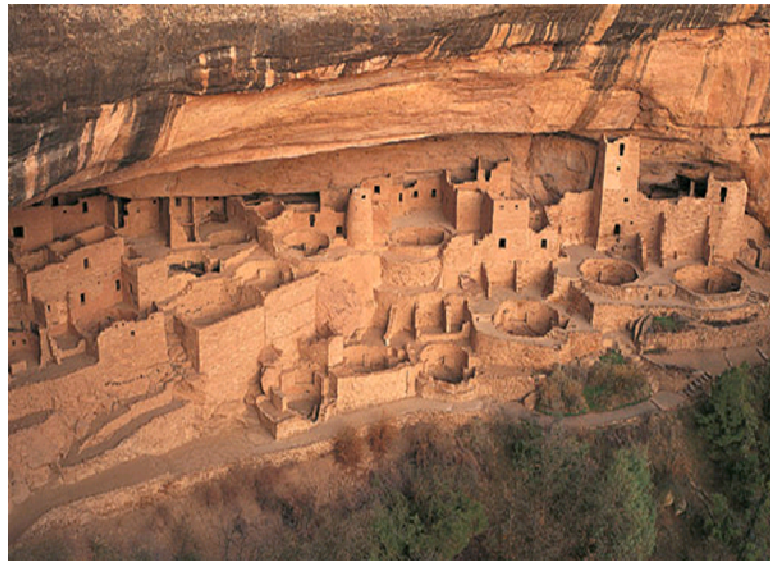
- 기후변화는 이미 철새이동 양상, 생물 종의 사멸, 밀과 같은 작물의 성장저하, 빙산 및 남북극 빙하 용융 등 촉진
- 부족해진 (물, 식량)자원을 두고 분쟁이 커짐에 따라 일부 지역에서 내란 위기 고조
- 기온이 2도 상승하게 되면 지구 경제생산액은 매년 2% 감소
- 기후변화는 영양 부족, 수인성 전염병 등을 촉진시켜 개발도상국에 더 악영향을 줌
- 기후변화 적응 노력만이 문제를 완화시킬 수 있는 방안



기후변화 대응의 중요성

◆ 기후변화에 대한 효과적인 대응 : 인류 생존의 열쇠

- 미국 메사버디 지역의 Indian 사례 : 1276~1299년 대 가뭄을 극복하지 못하고 남쪽 뉴멕시코의 리오그란데 강가로 이주



[Mesa Verde Indian 유적지]



기후변화는 미래의 문제가 아닌 현실의 문제

기후변화로 인한 자연재해 증가

산업혁명 이후 전 지구의
기온은 6.4℃ 상승
해수면 59cm 상승
강수량 20% 증가



기후변화로 인한 자연재난 증가

- 해수면 상승
- 홍수와 가뭄의 위험성 증가

국제사회의 우선과제인 “기후변화” 문제

기후변화 대응을 위한
국제사회의 노력



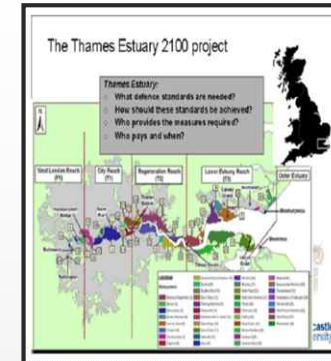
선진국들의 Green 정책을 통한
국제기구 활동의 참여



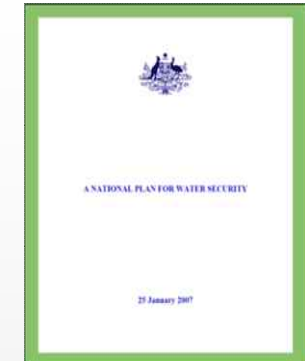
기후변화 대응에 대한 국제적
움직임에 부합하는 노력 필요

(자료): APCC 4차보고서(2007)

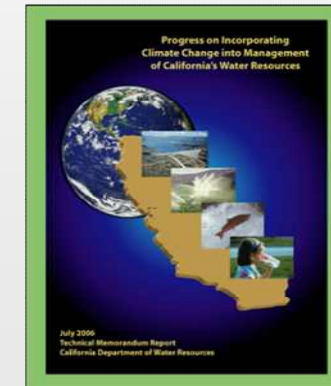
❖ 선진국의 경우 홍수와 물 이용에 대한 취약성 평가 및 수자원 적응정책 개발



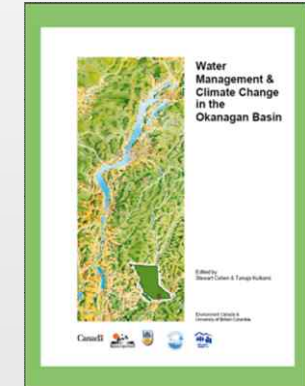
(영국)



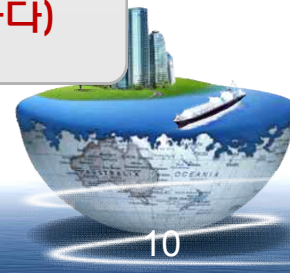
(호주)



(미국)



(캐나다)

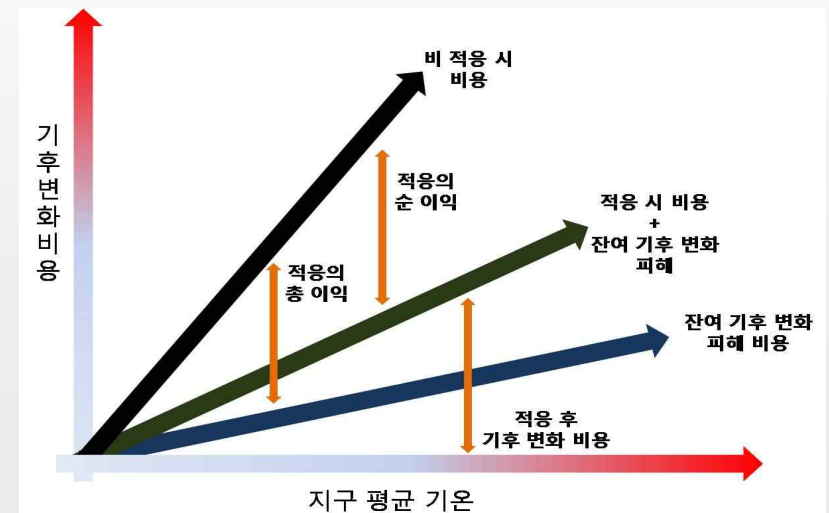


기후변화 적응의 의미 및 필요성

◆ 기후변화 적응 : 기후상태 변화에 적응하기 위해 생태계 또는 사회 · 경제 시스템이 취하는 모든 행동

- 생태적인 적응 : 유기체가 그들의 환경에 적합하도록 진화하는 과정
- 사회 · 경제적 측면 : 기후변화 발생을 기회로 삼는 행동 또는 과정까지 포괄

➡ 기후변화에 의한 외력증가에 따른 취약 분야를 검토하고 효과적인 대응 전략을 준비하여 사회 · 경제적 손실 저감



[기후변화와 적응에 대한 경제적 효과(비용) 사이의 관계]

출처 : 한국환경정책평가연구원(2008)



기후변화 시나리오란?

- 인위적인 요인(온실가스 변화 등)에 따른 기후변화를 전망하기 위해 기후변화 수치모델을 이용하여 계산한 미래기후 전망 정보

- 시나리오를 통해 생산되는 기후정보 : 기온, 강수, 습도, 바람 등
- 미래에 기후변화로 인한 영향을 평가하고 피해를 최소화하는데 활용할 수 있는 선제적인 정보

- 기온, 강수량 등 변화를 예측하기 위해 필요한 온실가스 미래 전망

- IPCC 5차 평가보고서 작성을 위해 국제적으로 RCP (Representative Concentration Pathway, 대표농도경로) 시나리오를 미래 온실가스 농도 시나리오로 이용하는 것에 합의
- 온실가스 감축정책 수행여부에 따라 4가지 시나리오 작성 (RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5)

[RCP 시나리오의 종류 (CO₂ 농도 기준은 2100년)]

종류	의미	CO ₂ 농도
RCP2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축을 수행하는 경우	420ppm
RCP4.5	온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 경우	640ppm
RCP6.0	온실가스 저감정책이 어느 정도 실현되는 경우	670ppm
RCP8.5	현재 추세대로 온실가스 배출이 되는 경우	940ppm

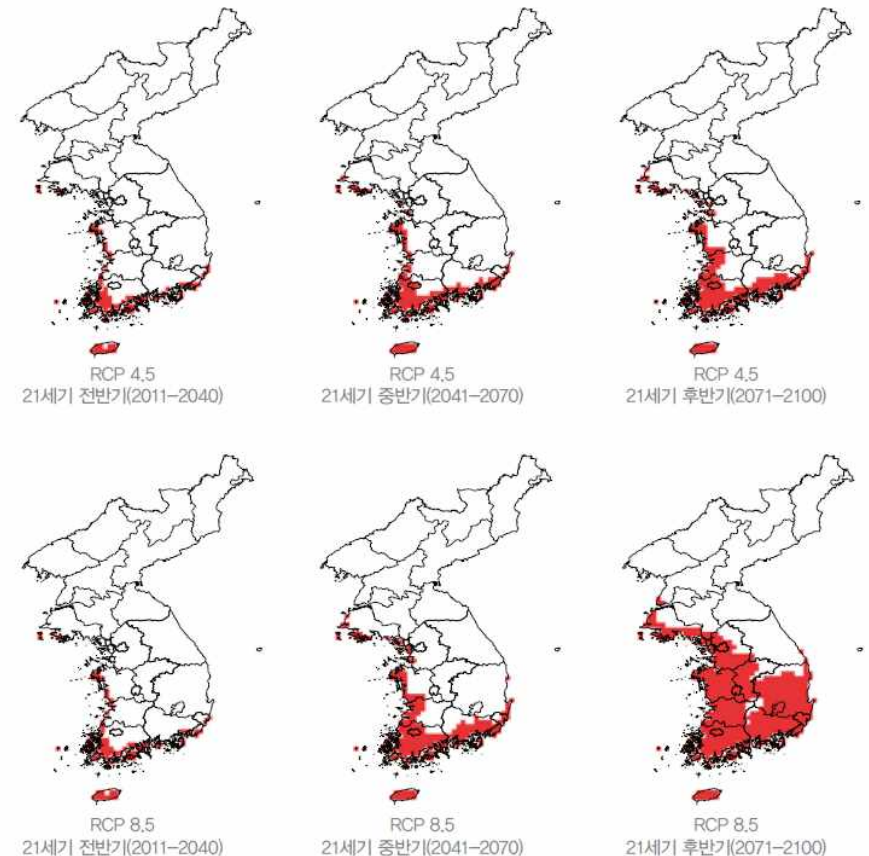
출처 : 기상청(2013), 기후변화 시나리오 지자체 활용과 정책지원



우리나라의 기후변화 전망

기온 변화 전망

- 21세기 한반도의 평균기온은 전 지구 평균기온보다 빠르게 상승할 것으로 전망
 - 온실가스 배출추세를 현재 추세대로 유지할 경우 : 21세기 후반기 기온은 현재 대비 5.3℃ 상승
 - 이는 과거(100년 동안 1.8℃ 상승)보다 3배 빠른 변화이며, 21세기 후반에 평양 기온이 지금의 서귀포 기온(16.6℃)과 비슷해질 것으로 전망
- 연평균 기온의 상승 경향은 남한보다 북한에서 상대적으로 크게 나타날 것으로 전망: 여름이 길어지고 겨울이 크게 짧아질 것으로 전망

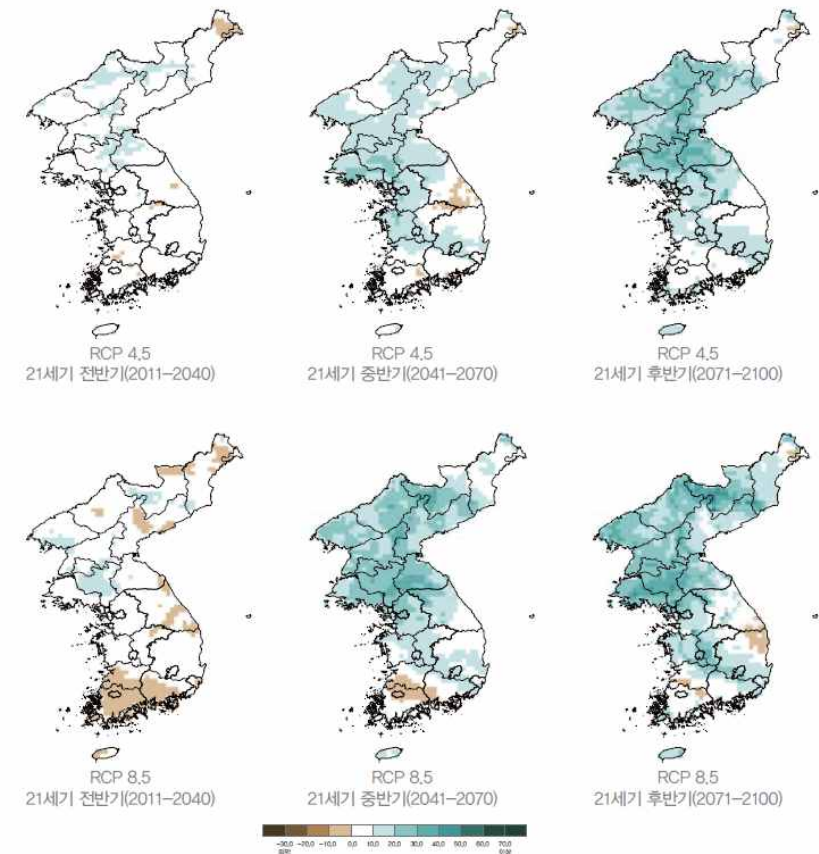


[한반도 내 아열대 기후지역의 미래 변화 전망]
출처 : 기상청(2012), 기후변화 시나리오 이해 및 활용사례집

우리나라의 기후변화 전망

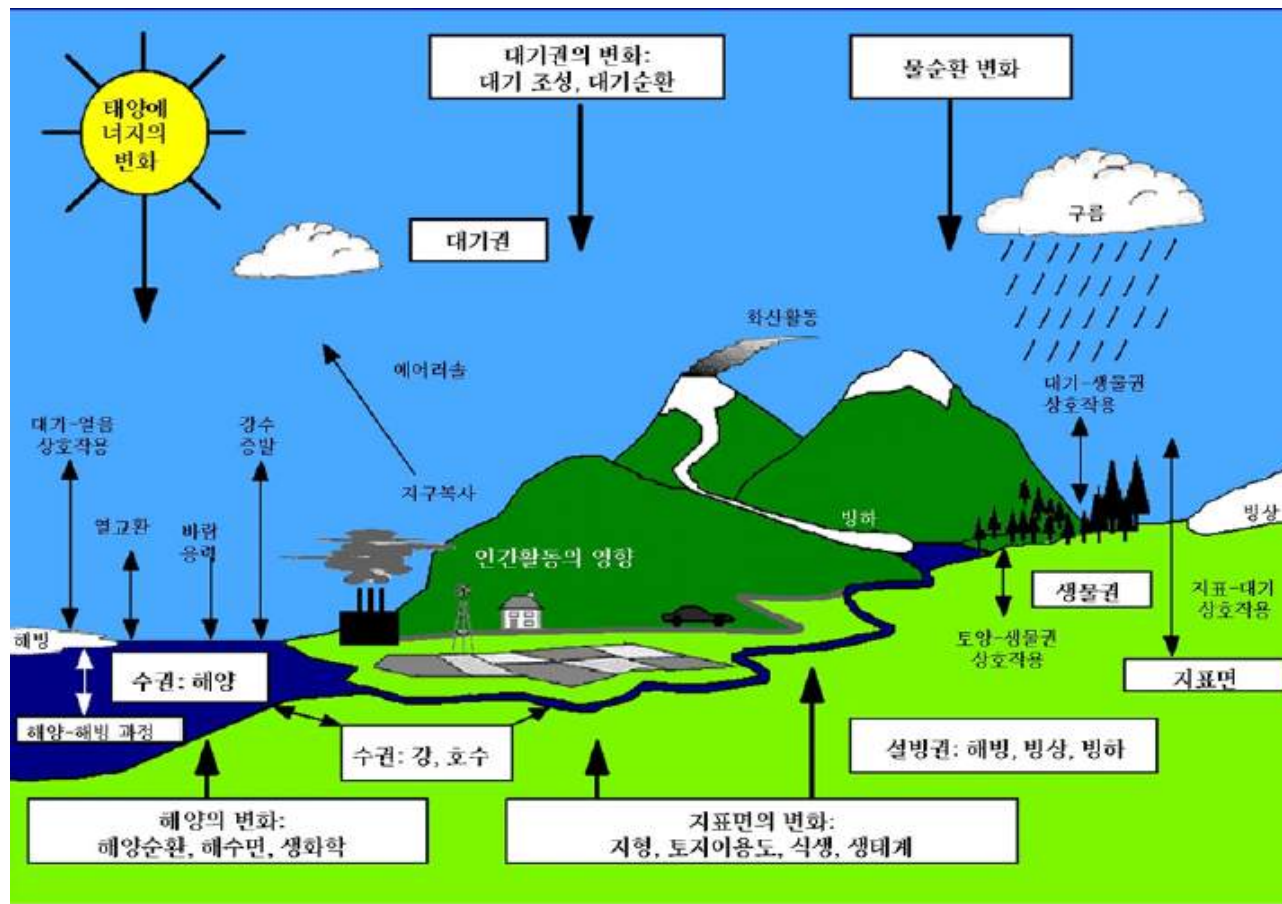
강수량 변화 전망

- 21세기 한반도의 연평균 강수량 증가율도 세계 평균보다 높을 것으로 전망
 - RCP 4.5 시나리오의 경우 21세기 후반부 한반도 연평균 강수량 증가 폭은 동일 기간 전 지구 증가 폭의 3.9배, 동아시아 지역 증가 폭의 3.5배로 전망
- 21세기 후반부 한반도 연평균 강수량은 현재 기후에서 전남과 경남 및 한반도 중부의 연평균 강수량에 해당
 - 연강수량 증가는 북한보다 남한지역에서 뚜렷하게 나타나며, 지역적 편차가 크게 나타날 것으로 전망



[RCP 4.5/8.5에 따른 한반도 연평균 강수량 변화]
출처 : 기상청(2012), 기후변화 시나리오 이해 및 활용사례집

기후변화 영향



(출처: IPCC, 2001) (재이용: 권원태, 2009)



기후변화의 수자원 영향

수문순환 과정에서 기후변화의 영향

- 강수의 변화
- 유출의 변화
- 융설의 변화
- 증발산의 변화
- 홍수 및 가뭄 특성 변화
- 설계 기준의 변화

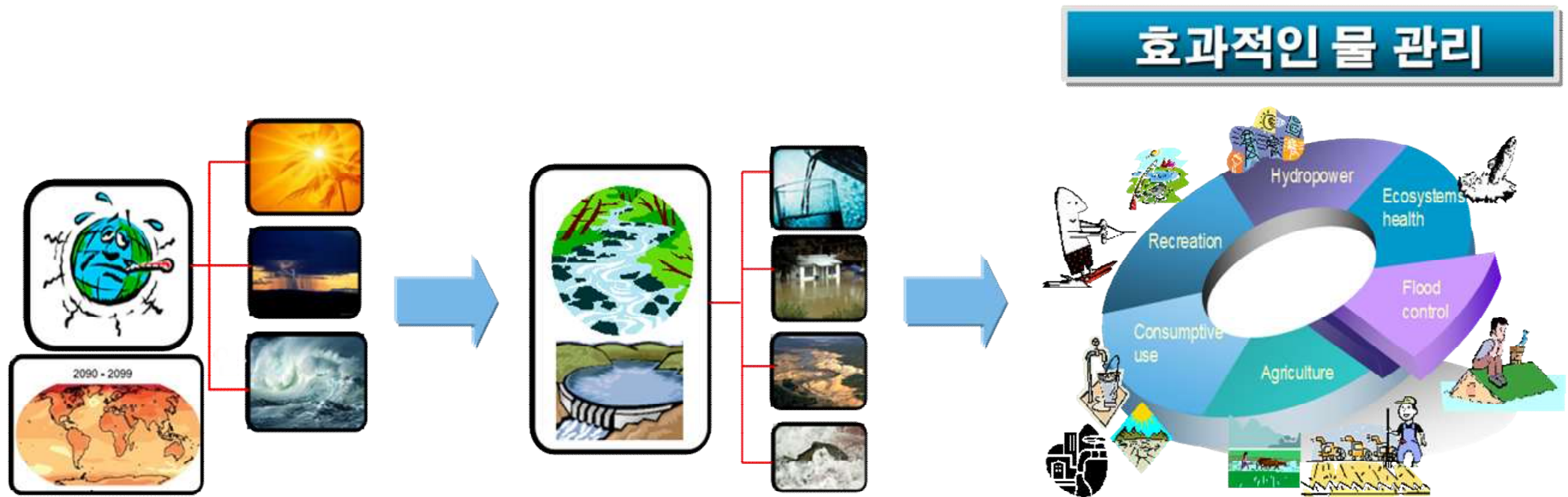


기후변화로 인한 수자원관리 어려움 증대



기후변화와 수자원관리의 접목 필요성

- 기후변화로 인해 강우 발생 시기와 양상이 변화하면서 물순환 특성 변화
- 물 순환의 핵심 요소인 하천유출량은 인간생활(이수/치수/환경)과 밀접한 관계



기후변화가 유역 규모의 강수량, 하천유량 등 물 순환 요소와 물 관리에 미치는 영향을
전망하고 가뭄·홍수 취약성과 위험성을 평가하여 대응하기 위한 물 관리 기술 개발 필요

외국의 대응 전략

기후변화 전망

- 연평균기온 약 2~3℃ 증가
- 1일 최대강수량 최대 1.5배 증가
- 100년 빈도 홍수 발생 가능성 최대 4배 증가



일본

- 갈수기인 여름철 유출량 30% 감소
- 해수면 상승에 따른 치수안전도 저하 (1,000년 → 100년 빈도)



영국

- 하천유출량 감소에 따른 물부족 심화
-2050년까지 10~20%, 2100년까지 16~48%



호주

대응 전략

- 기존시설 보강 및 신규 구조물 건설
- 시설기준 상향 및 예방투자 우선

- 시설물의 안전도 상향(5~30%)
- '30년까지 테임즈강 하구둑 2m 증고

- 대규모 해수담수화 추진
- Murray-Darling 유역 관리를 주정부에서 연방정부로 이관

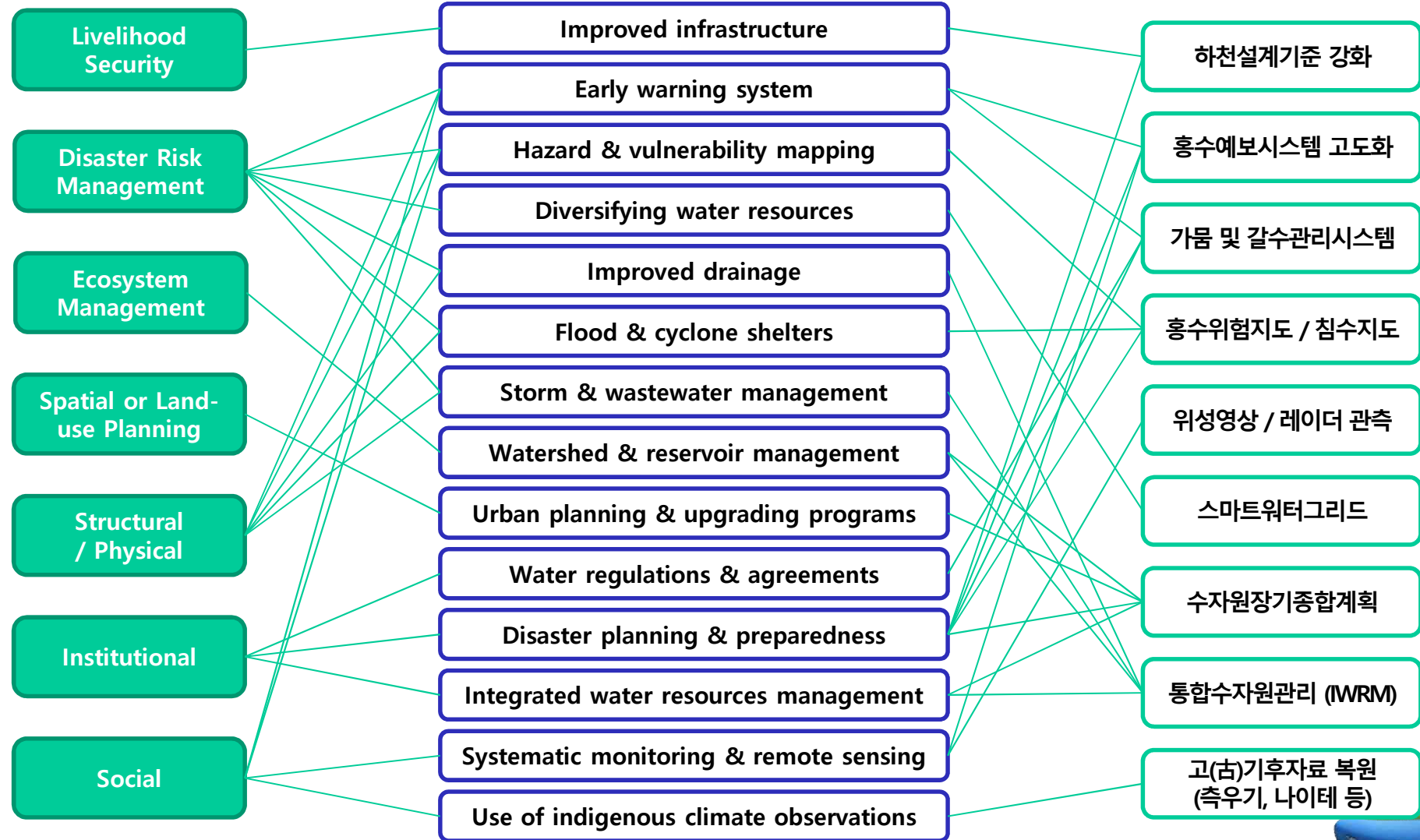


IPCC 5차 보고서 대응 적응정책 방향

[Adaptation Category]

[Adaptation Responses]

[국내 적응정책 방향]

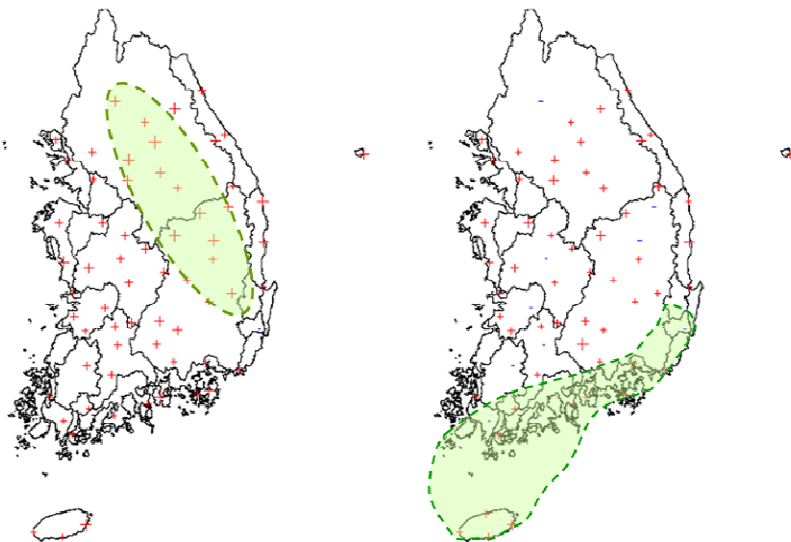


기후변화 적응정책 방향 : 수자원관리

하천설계기준 재검토 및 강화

- 기후변화 시나리오 기반 강수량, 하천유량(홍수량 및 갈수량) 등 수문량에 대한 재검토를 통한 설계기준 영향 분석
- 분석 결과를 이용한 하천설계기준 강화 추진

Heavy rainfall threshold

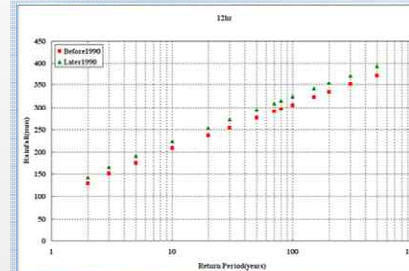


(a) Summer (June-August)

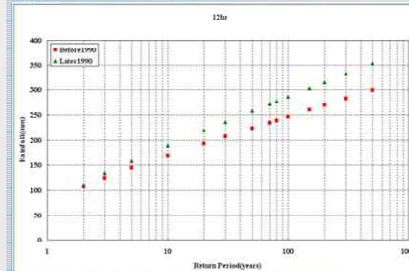
(b) Autumn season
(September-November)

I-D-F analysis

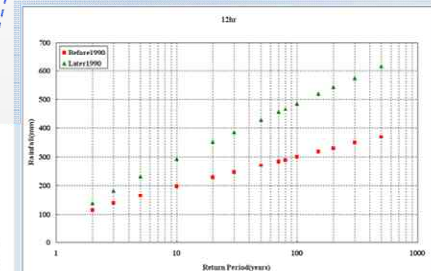
Seoul



Hapcheon



Gangneung



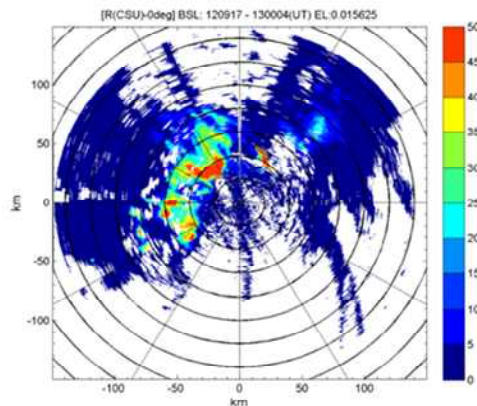
기후변화 적응정책 방향 : 수자원관리

홍수예보시스템 고도화

- 호우일수 및 집중호우의 증가 등 기후변화의 영향에 따라 예상되는 **미래 홍수상황에 대한 대응능력 강화**
- 홍수피해를 사전에 예방 또는 최소화하기 위해 **ICT를 접목한 홍수예보시스템 고도화 추진**
- **위성영상 / 레이더를 이용한 홍수대응 시스템 첨단화** 및 **극한홍수 대응능력 향상**



[KICT 수문레이더]



[레이더 관측]



[국지성 호우 예측]



[홍수 대응]

기후변화 적응정책 방향 : 수자원관리

가뭄 및 갈수관리시스템 구축

- 기후변화로 인한 시공간적 수자원
편중 심화에 따라 홍수와 함께 **미래**
물 부족으로 인한 피해규모 확대 전망
- 이에 효과적으로 대응할 수 있도록
가뭄 및 갈수예보/관리체계 마련
- 물 부족으로 인한 피해 대응을 통해
국민 물 복지 수준 향상

SPI 가뭄지수 (2001년 5월 - 지속기간 3개월)



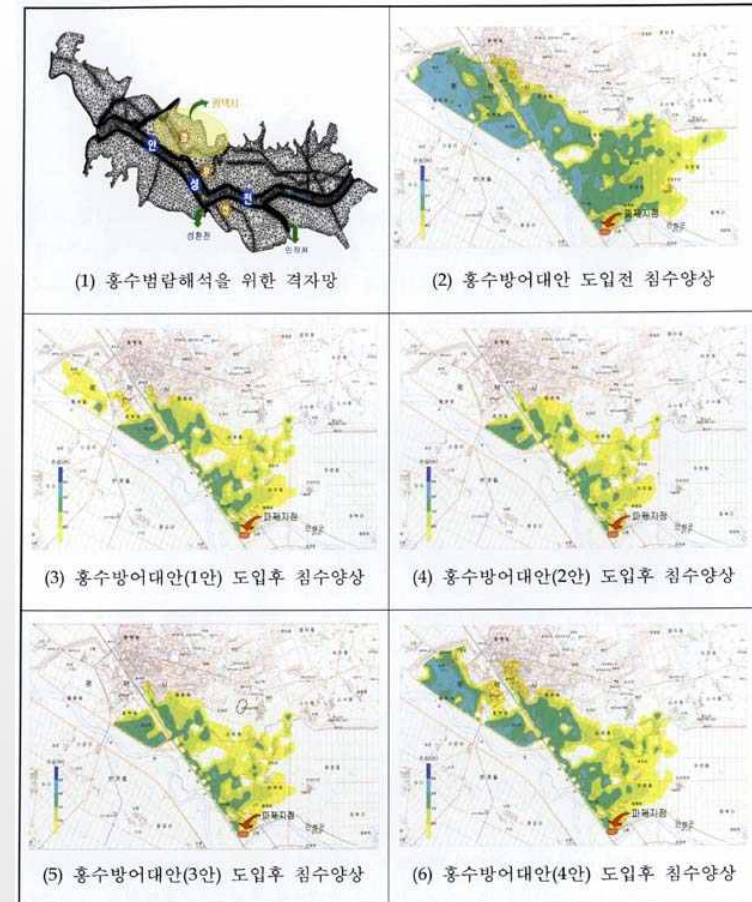
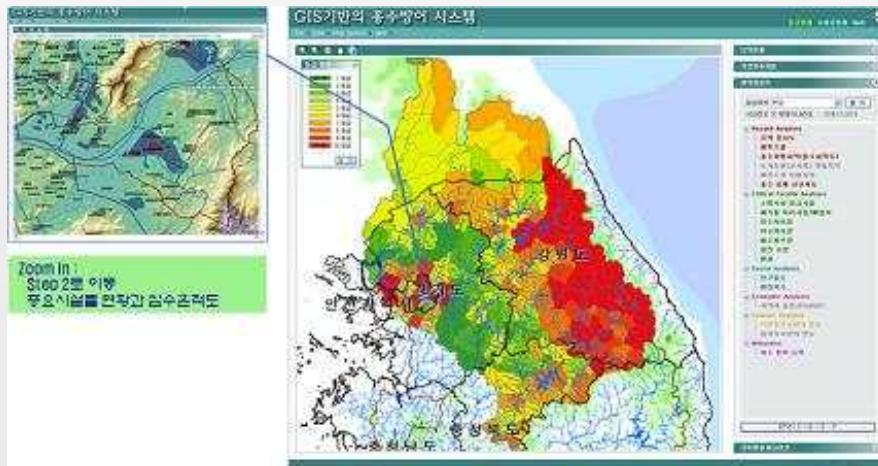
Drought distribution in 2001



기후변화 적응정책 방향 : 수자원관리

홍수위험지도의 제작 및 활용

- 극한홍수로 인해 **예상되는 홍수피해 위험지역과 침수 예상지역에 대한 지도를 작성**
- 국가 홍수재해 대응 정책 수립 및 대책 추진에 활용
- 국토개발계획 수립 과정에서 작성된 지도의 활용 · 연계 추진



출처 : 국토해양부(2008)



기후변화 적응정책 방향 : 수자원관리

기후변화를 고려한 수자원장기종합계획 수립

- 향후 20년을 대상으로 수립 중인 수자원장기종합계획에 기후변화에 따른 수문특성 변동 상황을 고려할 수 있도록 반영
- 기후변화 기반 장기적인 국가 수자원관리 마스터플랜의 수립

유역통합수자원관리(IWRM) 체계의 실현

- 수량-수질, 유역관리 등 효과적인 통합수자원관리체계의 실현을 통해 기후변화로 인한 미래 수자원관리 불확실성에 효율적으로 대처
- 유역 내 통합수자원관리 실현을 위한 범부처간 협력관계 구축



기후변화 적응연구 : 육수생태계

기후변화의 육수생태계 영향(IPCC 4차 평가보고서 확대해석)

- ◆ 토양유실 및 하천/호소 퇴적 변화
- ◆ 수온상승으로 인한 서식종 변화 및 오염효과 확대(조류 성장 등)
- ◆ 유황변화 및 수질악화로 인한 수생생태계 부정적 영향
- ◆ 담수자원의 감소

적응대책 연구방안(안)

- ◆ 장기적, 체계적 현장 조사관찰 → 생물 지표종 선정 및 모니터링 기술 개발
- ◆ 생태계 영향예측 모델링을 위한 물리/생물적 원형/준원형 실험 및 수치모형 개발 병행
⇒ 온난화 현상에 대한 생태계 구조의 기능의 반응/적응의 관찰/모의



자연공생연구센터 - 일본

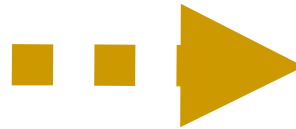


- ✓ 일본 토목연구소에서 나고야 지방에 1998년에 만듬(ARRC: Aqua Restoration Research Center)

From Yuichi Kayaba (IAHR 2005)

연구사례: 하안식생의 기능

- ✓ 자연상태 하안을 콘크리트 호안으로 바꾸게 되면 수생 생태계 영향은?
- ✓ 왜?
- ✓ 그 반대로 하면?

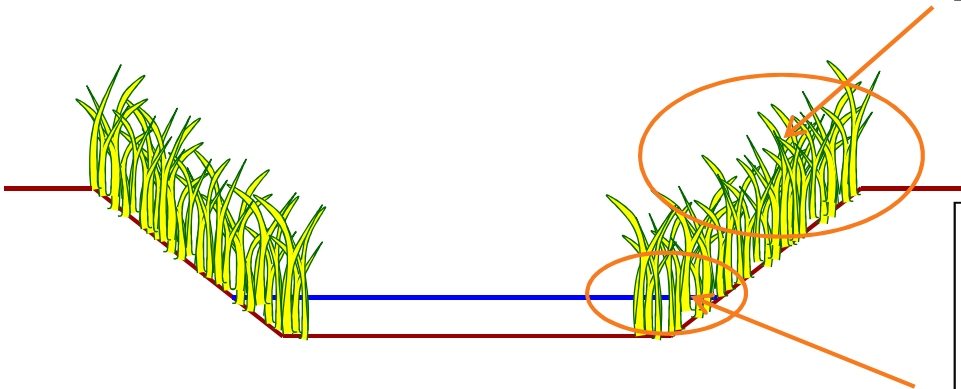


IR 2005

하안식생의 기능

하안 위 식생

→ 포식자로부터 직접관찰 모면



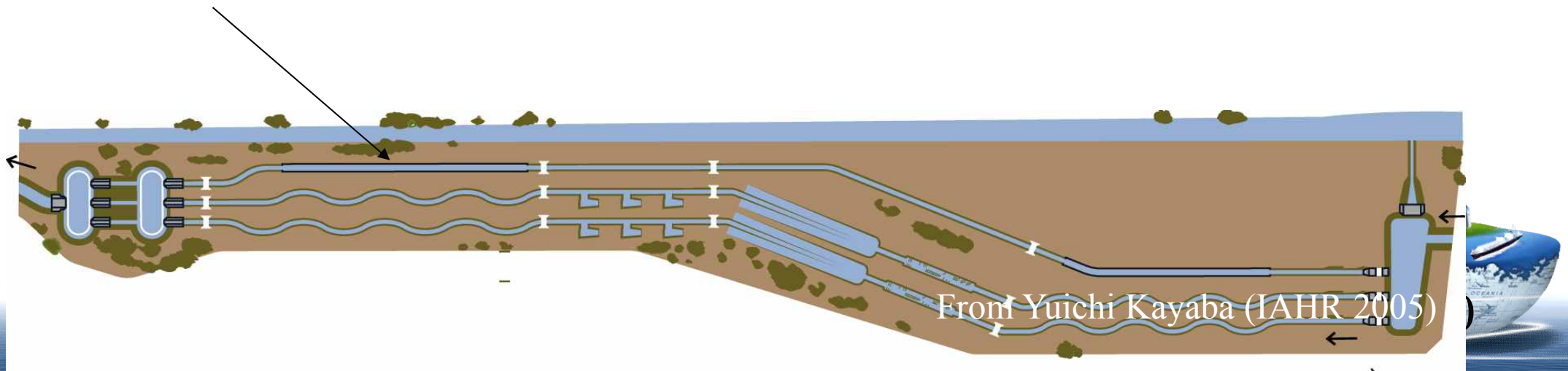
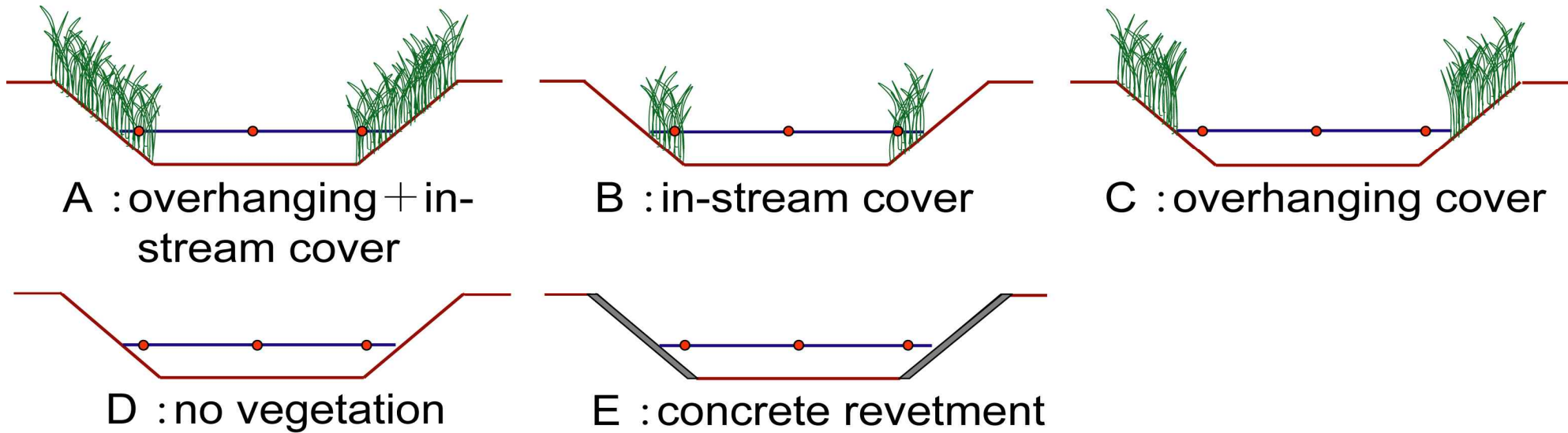
물가 식생

→ 홍수 시 유속을 저감하고, 포식자로부터
직접관찰 모면
→ 수온상승 저감



IR 2005

Experimental Design



Method

❖ Study period:

- Autumn (September–October 2002)
- Basically adult fish inhabits in this season.

❖ Fish survey

- Population estimate (electrofishing)
- Stomach contents



Electrofishing



Method

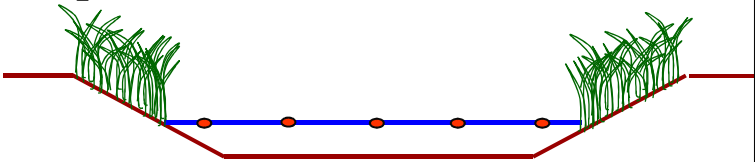
❖ Habitat measurements:

- Depth, Current velocity, Substrate type
- Relative photon flux, Canopy shade

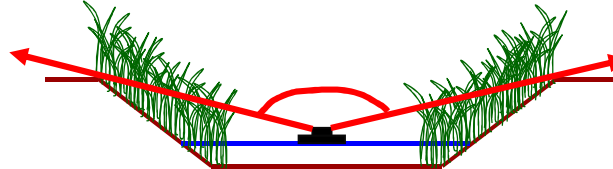
❖ Resource sampling:

- Drift / Deposited POM + Benthic invertebrates & Algae

Depth, velocity, substrate:
5 points and 5 transects

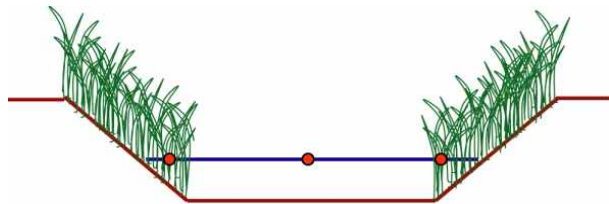
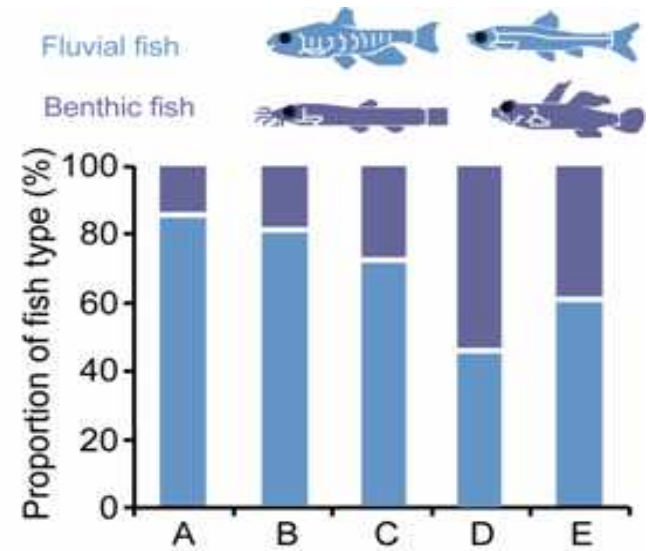
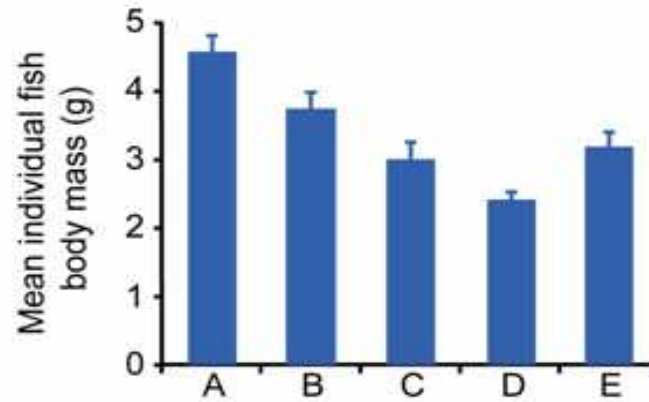
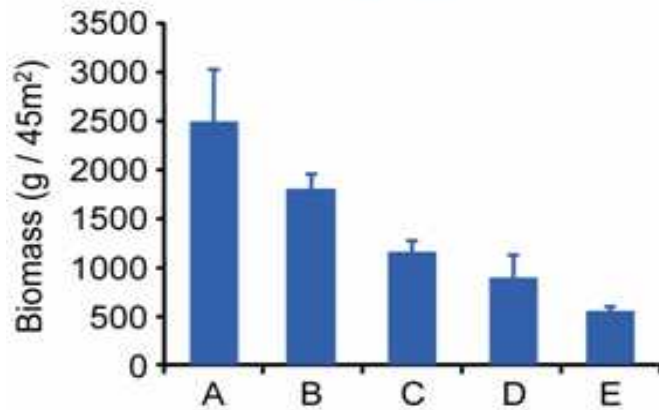


Canopy shade (%) =
 $\text{Vegetation area} / \text{All sky}$

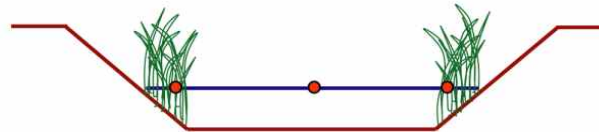


Results / Fish

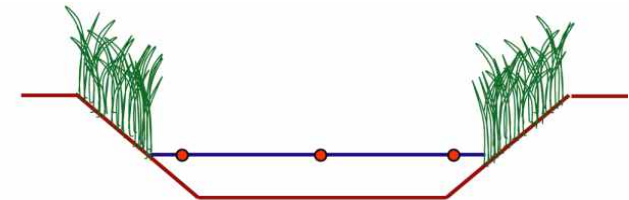
Fish



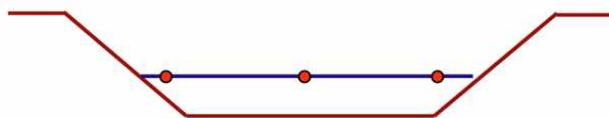
A : overhanging + in-stream cover



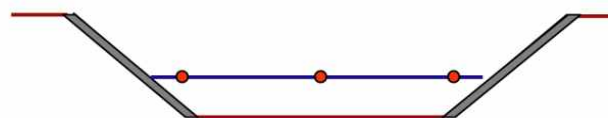
B : in-stream cover



C : overhanging cover



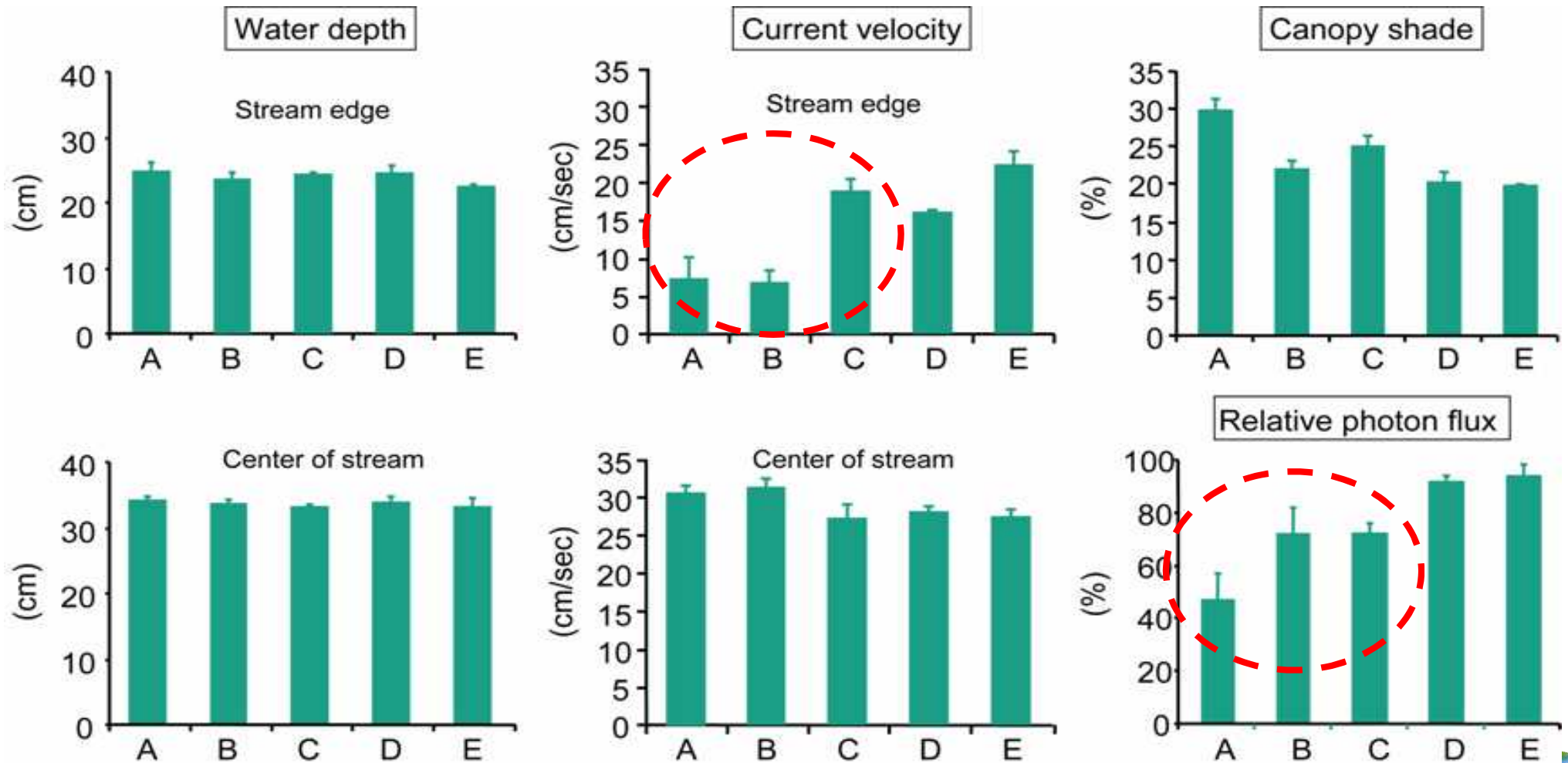
D : no vegetation



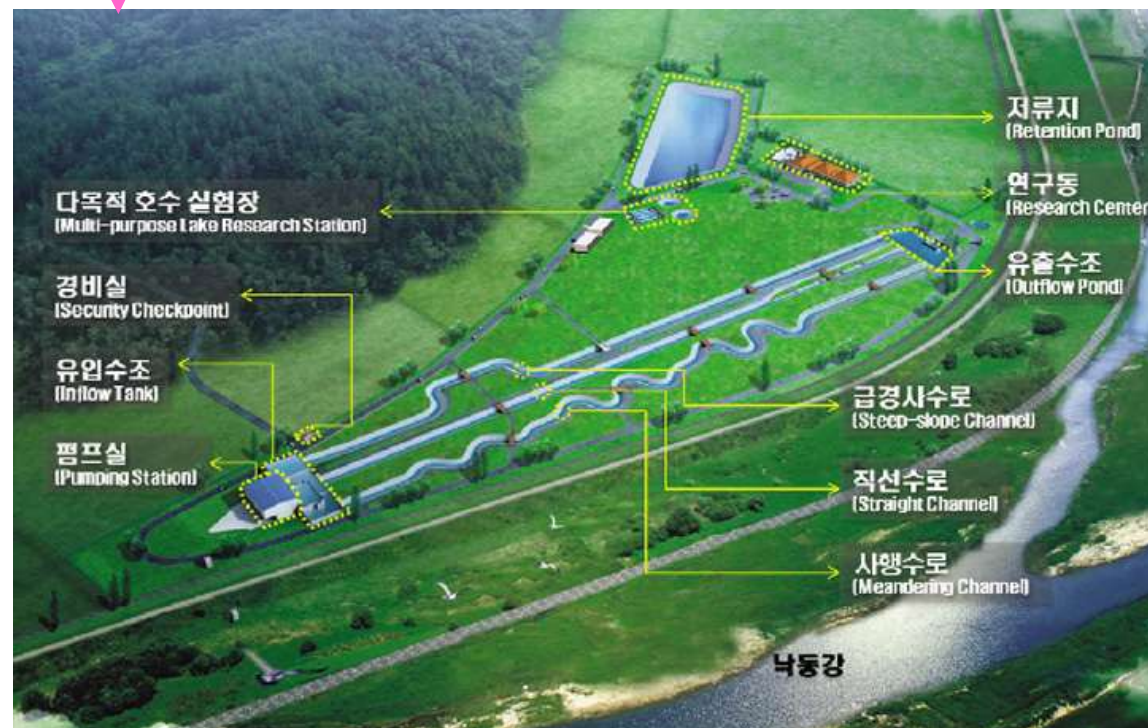
E : concrete revetment



Results / Habitat Char



안동하천실험센터 (KICT)



주요 시설



펌프장



낙동강 변 취수장



배수장



급경사 수로



직선수로



곡선수로



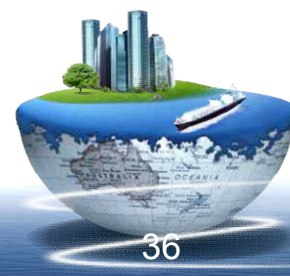
저류지 겸 호소실험장



다목적 호소실험장



연구동



Measurement Equipment

Water level measurements



Ultrasonic wave meter, Rader, Pressure type sensor, ...

Flow velocity measurements



1D velocity meter (propeller type, price-cup type), 3D Micro-ADV, ...

River bed measurements



3D scanner (range: max. of 400 m; accuracy of ± 3 mm), RTK GPS, Total Station, Laser Level, ...

Others



Weather Station, Drag force meter, ...

AREF 2014

제1회 안동하천실험포럼

The 1st Andong River Experiment Forum

일 시. 2014년 4월 29일 (화) April 29, 2014

장 소. 한국건설기술연구원 하천실험센터, 경북 안동
River Experiment Center,
Korea Institute of Construction Technology,
Andong, Korea

International Steering Committee

- Dr. Hong-Koo Yeo (Co-chair, Korea Institute of Construction Technology, Korea)
- Dr. Peter Goodwin (Co-chair, The University of Idaho, USA)
- Dr. Ana Maria da Silva (Queens University, Canada)
- Dr. Chang-Lae Jang (Korea National University of Transportation, Korea)
- Dr. Ho-Jeong Kang (Kansai University, Korea)
- Dr. Dong-Su Kim (Dankook University, Korea)
- Dr. Won Kim (Korea Institute of Construction Technology, Korea)
- Dr. Claudio Meier (The University of Concepcion, Chile)
- Dr. Marian Muste (The University of Iowa, USA)
- Dr. Ellis Penning (i-HYDROLAB, Delft, Netherlands)
- Dr. Byung-Man Yoon (Myoungji University, Korea)

주 회:  **KICT** 한국건설기술연구원
Korea Institute of Construction Technology

공동주관:  **KWC** 한국수자원학회
Korea Water Resources Association

 **KICP** 응용정책공학회
Korea Applied Policy Association



우리의 하천은 변하고 있다!

White River



- 하외마을 앞 낙동강 사주는 그 자체로서 역사이고 문화이다

Turning into

Green River



- 서서히 식생으로 덮이고 있다
- 화이트 리버 ⇒ 그린리버
- 왜? 그 영향은?



금모래빛의 크고 작은 하천들이 식생으로 덮이고 있다



왜? 기후변화 영향? 문제는?



레질리언스 – 기후변화 관련

정 의

- (예측 불가한) 외부충격을 감내하고 기능적인 관계의 통합성을 유지하는 것
- 또는 사회-생태시스템이 충격에 의한 변화를 수용할 수 있는 시스템 능력을 키우는 새로운 방안을 창조하거나 그 방향으로 진화하는 기회로 삼는 것

기후 레질리언스 vs. 기후 적응

- 레질리언스가 충격을 흡수하면서 스스로 새롭게 변화하는 두 가지 기능을 포괄하는 것 자체가 “기후변화에 적응” 하는 것과 차별화
- 적응: 지금 있거나 앞으로 나타날(예측 가능) 변화를 흡수하도록 도와주는 과정이나 행동 (기후변화에 대응하기 위한 의도적인 의사결정과정/변화에 국한하여 사용됨)



Sustainability & Resilience

- Sustainability is a **risk-based**, FAIL-SAFE, long-term, life-cycle management concept?
- Resilience is a SAFE-FAIL management concept beyond (known) risk probabilities, and focuses on unknown, unexpected (stochastic) “shocks” that are high-consequence, low-probability events.

(From Prof. Suresh Rao, Purdue Univ, at O-Jeong Eco-Resilience Institute Symposium)

(May 7–8, 2015, Korea Univ)



감사합니다 !

