

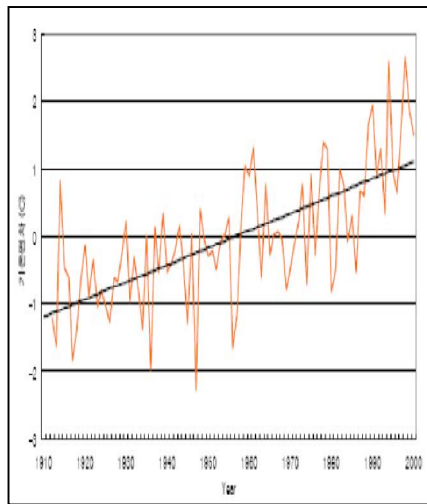
## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

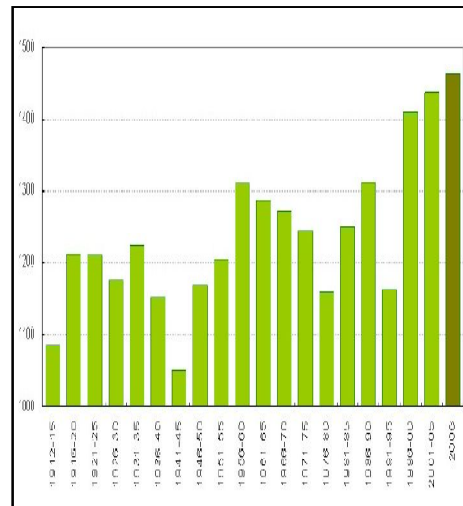
#### 1. 우리나라의 기후변화 영향 및 연구

##### (1) 한반도의 기후변화

① 한반도 기후변화의 과거 추세(기상연구소, 2006; KEI, 2007)



▲ 1910-2000년 기온차(°C)



▲ 1912-2006년 연강수량(mm)

- 강수량 ↑, 강우일수 ↓, 강우강도 ↑,
- 평균기온(Avg. T) ↑,  $\Delta T$  ↑

##### ② Current Research Directions

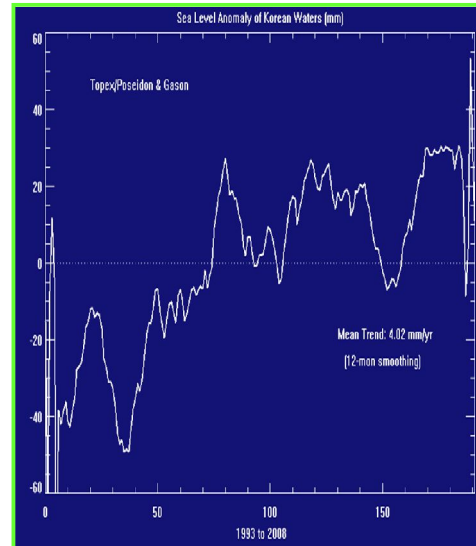
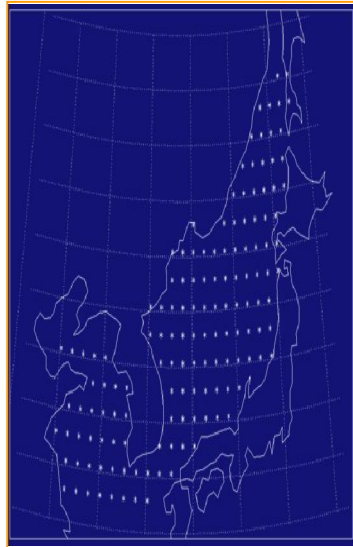
- (Before) Global warming □ Trend (increasing & decreasing)
- (Current) Climate Change □ Spatial-Temporal Variability & Irregularity
- (Commons) Vulnerability, Mitigation & Adaptation
- , Response

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (2) 우리나라 해수면 상승

#### ① 해수면 상승(1993~2008): 4.02 mm/yr

- 분석방법: Topex/Poseidon & Jason, 12-months moving avg.

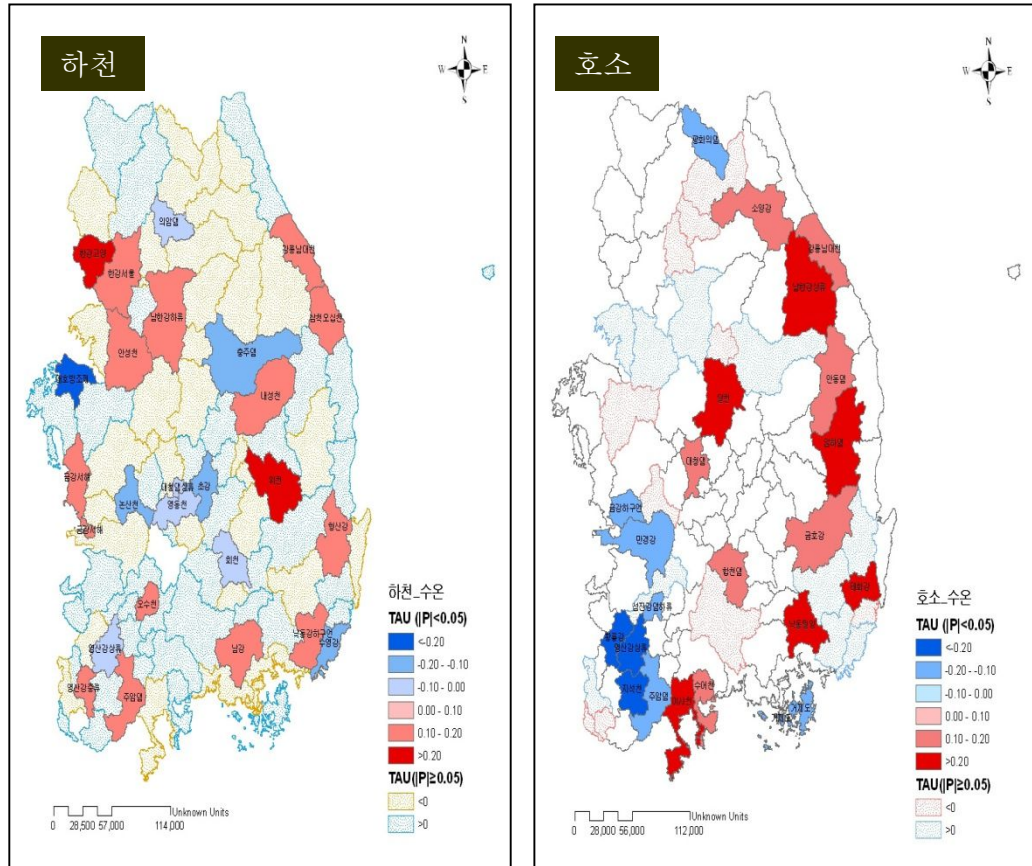


#### ② 기온 증감 경향분석(1989~2008): Mann-Kendall Test

- 거의 모든 지역에서 지난 20여년간 뚜렷한 기온상승 발생
- 전체 기상관측소 68개지점 중 9개소만 감소경향이 나타남
- 통계적으로 의미있는 (95% 신뢰도) 기온 증가 경향을 나타낸 지역은 총 68개소 중 35지점으로 나타남
- 지난 20여년간 연평균 0.034 (+/- 0.054)°C 기온 상승한 것으로 분석됨

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (2) 수온 증감 경향분석(1989~2008): Mann-Kendall Test



- 10개 증권역 감소 (금5)
- 14개 증권역 증가 (한6, 낙5, 섬영3)

- 8개 증권역 감소 (섬/영 5)
- 13개 증권역 증가 (낙6, 한3, 섬영2, 금1)

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (3) 기후변화 관련 물관리 국내 연구(1)

#### ① 우리나라 기후변화와 물 분야 주요 선행연구

- 기후변화영향평가모형 개발 : 물관리 부문을 중심으로(KEI, '03)
  - 물순환, 농작물 성장 및 생태계 평가
- 기후변화에 의한 수자원 영향 예측 및 평가 시스템 구축(프론티어사업단, '04~'07)
  - 기후변화에 의한 수자원 영향평가체계 구축
  - 한반도 10~20km 고해상도 기후변화 시나리오 구축
  - 기후변화에 따른 국내 소유역(1,000km<sup>2</sup>) 규모 수자원 부존량 변동성 규명
- 기후변화 영향 평가 및 적응시스템 구축(KEI, '05~'07)
- 기후변화에 의한 수자원 영향분석 및 평가체계 개발(프론티어사업단, '07~'11)
  - 불확실성이 평가된 유역별 기후변화 시나리오의 구축
  - 식생변화를 고려한 수문예측 기술의 확보
  - 유역별 적용 및 적용결과에 대한 불확실성 분석
  - 기후변화에 따른 수자원 분야의 취약성 평가 및 적응정책의 개발
- 기후변화 대비 국가 물 안보 확보 방안기후변화(국토부, '07~'10)
  - 기후시나리오 downscaling, 유출량 산정 등
- 차세대 홍수방어 기술 개발(국토부, '08~'13)
- 기후변화 대응 물관리 기술 개발(국토부, '09~)
- 차세대 용수공급 시스템(국토부, '09~)

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (4) 기후변화 관련 물관리 국내 연구(2)

- ① 수자원/수질 부문 기후변화 영향평가 및 적응대책 인벤토리 발굴 연구
  - 국립환경과학원('08~)
- ② 수생태복원사업단('07~'14)
  - 생물서식처 및 생태하천 복원기술
  - 생태용수확보 및 수질정화기술
  - 수변녹지 및 생태벨트조성기술
  - 하천 및 호수 건강성 평가기술
- ③ 수생태 건강성 조사 및 평가
- ④ <기후변화-물 연구 종합>
  - 물분야 수자원(홍수 & 가뭄) 분야 중심
  - 수질 및 생태 분야의 연구는 거의 없음
  - 진행 중인 국가 R&D(물환경 분야)에 기후변화 영향을 분석 및 전망하거나, 기후변화-물환경 분야 연구기획이 필요함
  - '물환경기본계획('11-'20)'의 보완이 요구됨

▶ 생물서식처 및 생태하천 복원기술 외 5개분야 소개

- 사업명 : 수생태복원 및 관리기술개발사업
- 사업기간 : 2007. 12 ~ 2014. 5 (6년 5개월)
- 총연구비 : 841억원(정부585 + 민간256)
- 사업성격 : Eco-STAR Project - 실용화(상용화)
- 참여연구원 : 총684명(79개기관)
- 사업내용

기술구분	중점연구개발 분야	세부과제	연구기간
실용화부분	생물서식처 및 생태하천 복원기술	수생태계내 생물서식처 복원기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5
		자연형 하상복원 및 하도유역화 관리기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5
		자연하안 침출 및 하안변화 유도기술개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5
	생태용수확보 및 수질정화기술	자연 친화적 수질정화기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5
		수생태복원을 위한 용수확보기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.8 ~ '14.5
수변녹지 및 생태벨트조성기술	효율적 비점오염원 관리기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5	
	수변녹지 및 생태벨트 조성기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5	
하천 및 호수건강성 평가기술	호수 수변축이대의 수변생태계 보전기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5	
	온실가스 흡수·저감능이 특화된 습지조성 및 관리기술 개발	'08.12 ~ '14.5	
	수생태 취약성 평가·관리기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.2 ~ '14.5	
공공부분	사회경제 및 교육홍보	호수생태계 통합적 건강성 평가기술 개발 <b>자세히보기</b>	'08.8 ~ '14.5
		수생태계 복원관리를 위한 매뉴얼 발간	'10.6 ~
	시범사업기획	수생태복원사업의 경제성 평가 수생태복원에 관한 교육 및 홍보 프로그램 개발 <b>자세히보기</b> 수생태복원을 위한 법·제도 개선 및 주민참여 방안 연구	'09.6 ~ '12.5 '08.8 ~ '14.5 '10.6 ~
		중·형적 수생태프로그램 조성기술 적용 시범사업	'10.6 ~

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### 2. 기후변화가 물관리에 미치는 영향

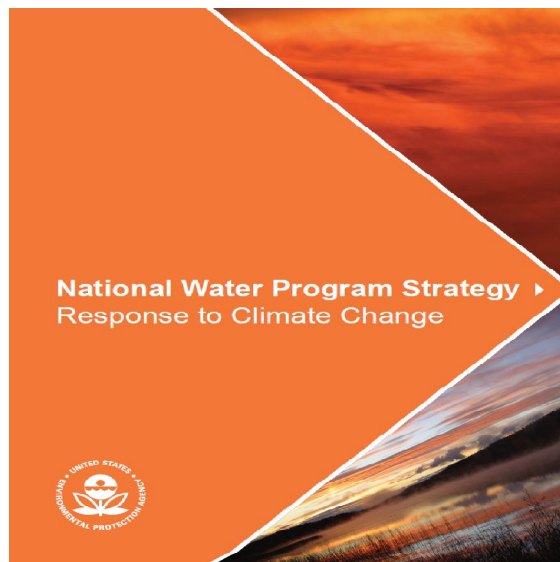
#### (1) 기후변화의 영향 (U.S.-EPA, 2008)

##### ① 물관리 분야 기후변화 주요 인자: 강우 & 기온

- wind speed, solar radiation, dew point
- soil temp., ET, vegetation shift

##### ② U.S. EPA(2008)

- National Water Program Strategy: Response to Climate Change
- 국가 물관리 6개 대응 분야
  1. 수질오염문제의 증가
  2. 유량의 변동과 변화
  3. 먹는물의 공급가능성
  4. 수생태계의 변화
  5. 접경수계의 이동과 변화
  6. 연안지역의 종합적인 영향



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (2) 강우 변화가 물환경에 미치는 영향(전망)

- ① 증가된 강우량으로 지표 및 지하 수자원 가용량이 증가될 수 있음
- ② 강우강도 및 빈도 증가
  - 유출수(storm runoff) 증가
  - 비점오염 관리의 고도화 필요
  - 토사 및 기타 오염물 유출 증가
- ③ 가뭄 등에 따른 공급체계 평가, 가격조정, 분배조정, 수자원보호 필요
- ④ 물 부족 지역에서는 신규(저수지) 및 대체(지하수, 재이용) 수자원 확보 필요
- ⑤ 낮은 지하수 함량과 물이용 증가로 하천유량과 목표수질 달성에 어려움 유발가능

<b>Rainfall and Snowfall Levels/Distribution: Effects on Water Programs</b> (Shaded areas reflect programs most affected by rainfall and snowfall levels)			
Drinking Water Standards	Surface Water Standards	Technology Based Standards	Emergency Planning
Drinking Water Planning	Clean Water Planning	Water Monitoring	Water Restoration/TMDLs
Underground Injection Control Permits	Discharge Permits	Stormwater Permits	Wetlands Permits
Source Water Protection	Nonpoint Pollution Control	Coastal Zone	National Estuaries Program
Drinking Water SRF	Clean Water SRF	Ocean Protection	Combined Sewer Overflow Plans



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (3) 강우강도의 증가가 물관리에 미치는 영향(전망)

- ① 홍수피해 빈도 및 규모 증가,
- ② 홍수로 인한 지표 및 지하수 수질악화 발생
- ③ 극한 강우로 처리시설 용량과 효율의 장애유발
- ④ 극한 강우로 수인성 질병이 증가 예상
- ⑤ 강수량 및 강도의 증가는 보다 큰 토양 침식을 유발할 수 있음
- ⑥ 수생태 조사 및 평가는 고유속 등 기후변화 영향분석에 도움이 될 수 있음
- ⑦ 높은 강우강도에 대한 최적관리기법의 적용이 필요
- ⑧ 습지 등 유출수 제어 및 완충이 매우 높게 중요하게 될 것임

<b>Storm Intensity: Effects on Water Programs</b> (Shaded areas reflect programs most affected by storm intensity)			
Drinking Water Standards	Surface Water Standards	Technology Based Standards	Emergency Planning
Drinking Water Planning	Clean Water Planning	Water Monitoring	Water Restoration/TMDLs
Underground Injection Control Permits	Discharge Permits	Stormwater Permits	Wetlands Permits
Source Water Protection	Nonpoint Pollution Control	Coastal Zone	National Estuaries Program
Drinking Water SRF	Clean Water SRF	Ocean Protection	Combined Sewer Overflow Plans



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (4) 기온 및 수온 증가가 물관리에 미치는 영향(전망)

- ① Shifting aquatic species distribution
- ② Extending the ranges of many invasive aquatic plants
- ③ Affecting fish access, survival & spawning
- ④ Reducing DO and intensifying summer thermal stratification
- ⑤ Increasing pollutant concentration (e.g., Summer P in lakes)
- ⑥ Promoting algal blooms and bacteria, fungi content
- ⑦ More eutrophic reaction due to higher temperature
- ⑧ Increased water use to put stress on water infra. (e.g., WTP)

<b>Air and Water Temperature Increases: Effects on Water Programs</b> (Shaded areas reflect programs most affected by air and water temperature increases)			
Drinking Water Standards	Surface Water Standards	Technology Based Standards	Emergency Planning
Drinking Water Planning	Clean Water Planning	Water Monitoring	Water Restoration/TMDLs
Underground Injection Control Permits	Discharge Permits	Stormwater Permits	Wetlands Permits
Source Water Protection	Nonpoint Pollution Control	Coastal Zone	National Estuaries Program
Drinking Water SRF	Clean Water SRF	Ocean Protection	Combined Sewer Overflow Plans

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (5) 우리나라 기후변화-물(환경) 관리 정책

#### ① 국가 기후변화 적응 종합계획(2008. 12. 24)

- 정부종합(9개 부, 4개 청), 15개 연구기관
- 비전: 기후변화 적응을 통한 안전사회 구축 및 녹색성장 지원
- 단기목표(~' 12)
  - 종합적이고 체계적인 기후변화 적응역량 강화
    - 한반도 시·공간적 취약성 지도 100% 작성
    - 예측·감시 기술 수준 선진국 대비 70% 달성
- 장기목표(~' 30)
  - 기후변화 위험 감소 및 기회의 현실화
    - 과거 10년(1996-2005) 대비 기상재해피해 10% 감소
    - 기후변화 적응 관련 생산 GDP 대비 1 % 달성

#### ② 한반도 시-공간적 취약성 지도 100% 작성

- 의미: 적응 프로그램 시행에 앞서 생태계·수질/수자원·건강·재난 등 취약성 지도 작성
- 현황: 주요하천 유역 홍수발생 가능성 등 일부 분야에 대해 연구수준의 취약성 평가가 수행되고 있음

### (6) 국가 기후변화 적응 종합계획(2008. 12. 24)

#### ① 물관리 부문 영향 및 취약성 평가

- 기후변화에 따른 이수, 치수, 하천환경, 수질 등
- 물관리 부문 영향 및 취약성 평가
- 기후변화에 따른 유형별 홍수 및 가뭄발생 시나리오 수립
- 수질-수자원분야 시공간적 취약성 평가 및 지도 작성

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### ② 기후변화 물관리 적응 프로그램

- 기후변화에 대비한 수자원계획 수립 및 안정적 용수공급
- 기후변화에 따른 물환경관리 대책
- 홍수에 강한 국토기반 조성

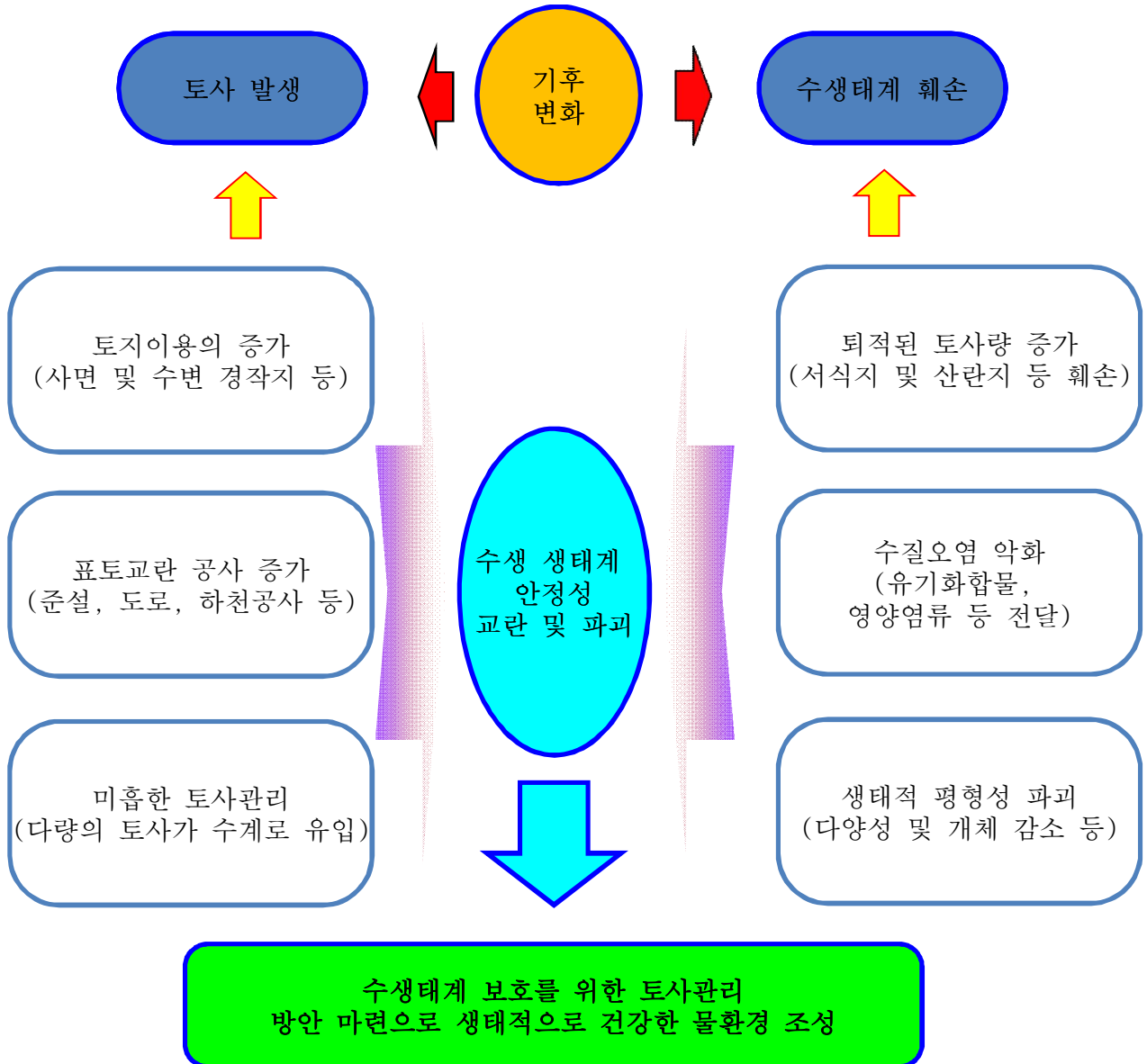
### ③ 기후변화에 따른 물환경관리 대책

- 홍수에 따른 비점오염원 관리 강화
  - 흙탕물 저감” 추진 → 기후변화-토사관리 정책마련
- 기후변화로 인한 하천 및 호소 수질 악화 관리 대책 마련
  - 유량(갈수기) 감소 → 하천 수질악화
  - 수온 상승 → 호소 성층현상 강화, 조류 증가
- 수생태계 영향 조사 및 수생태 건강성 지도 제작
  - 침식과 퇴적에 의한 서식처 변화 등
- 기후변화에 대응하는 능동적 하천관리 추진
  - 생태하천복원사업 추진
  - 수변습지 및 수변생태벨트 조성

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

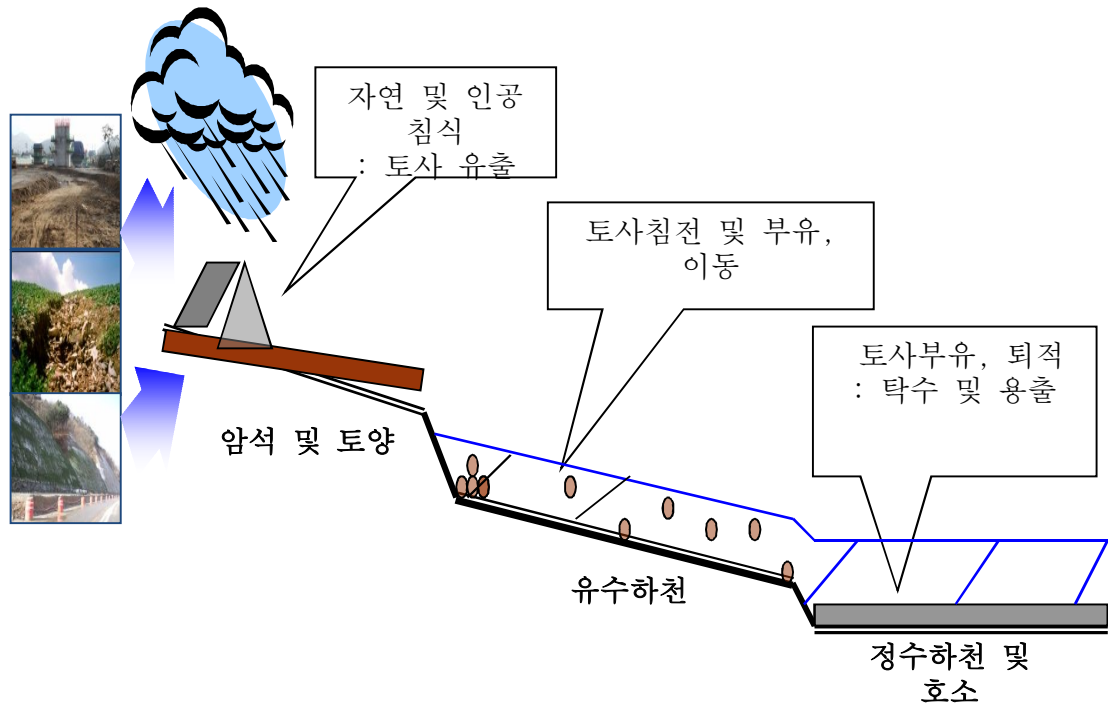
### 3. 기후변화와 토사발생 및 관리

#### (1) 토사관리의 중요성



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (2) Erosion Continuum



Flow Regime	Sheet flow	Flow Transition	Channel flow
		Concentrated flow	
Erosion Continuum	Sheet, (interrill)	Rill << Gully	Stream or bank

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (3) 토양침식 인자와 특성

#### ① 토양침식 인자

- $f = (\text{climate, hydrology, topography, landcover, soil type})$
- 자연적
  - 강우특성: 강우인자 (강우강도, 지속시간) ← 기후변화 상관
  - 유출특성: 지형인자, flow regime 등
- 인위적
  - 토지이용 및 (농업)행위의 형태
  - 개발사업 & 나지 등을 제외하면 생활계 등에서 토사 부하량은 미비
- 자연적 + 인위적
  - 토양수분, 토지피복
  - 관리기법의 유무

#### ② 유역조건에 따른 토사(sediment)발생의 특성

- TN & TP, Sediment @ 산림, 농업 유역: Q비점오염원 > Q점오염원
- TN & TP @ 도시 유역: Q비점오염원 < Q점오염원
- Sediment @ 도시 유역: Q비점오염원(개발지역 등) >> Q점오염원(solids)

#### ③ 기타 토사발생의 특성

- 수생태계 선순환을 위한 일정 토사-영양물질 이송의 필요
  - 과대한 토사발생은 수생태계에 악영향
- 토사와 결합된(bounded) 비점오염물질과 수질악화
  - 소양강, 임하댐, 도암댐 유역 등의 탁수 문제
  - 미량오염물질 등

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (4) 기후변화와 토양 침식

#### ① Nathalie et al.(2003)

- Rhine River Basin
- UKHI Climate Scenario
- 토양침식이 유역평균 12%가 증가될 것으로 전망

#### ② Thodsen et al. (2008)

- Two Danish Rivers
- HIRHAM regional climate scenario
- Mean annual SS transport: 17~27% 증가
- Mean monthly changes: -26~+68%
- Winter SS 증가, 여름~초가을 SS 감소

#### ③ Nunes et al.(2009)

- Mediterranean watersheds
- 기후변화에 따른 토양수분 조건이 토양침식에 민감



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (5) 토사발생 예측기법

#### ① 토사발생 예측 모델(1): Integrated

- ANSWERS (Beasley and Huggins, 1982)
- AGNPS (Young et al., 1989)
- CREAMS (Knisel, 1980)
- EPIC (Williams et al, 1983)
- WEPP (Flanagan et al., 1995)
- LISEM (deRoo et al., 1996)
- EUROSEM (Morgan et al., 1998)
- SWAT (Arnold et al., 1994)
  - More data-intensive, 정량적 검보증 단계, uncertainty?, 취약성 평가에 어려움,

#### ② 토사발생 예측 모델(2): Index-based

- USLE (Wischmeier and Smith, 1978)
- RUSLE (Renard et al., 1994)
- AS2 (Montgomery and Diertrich, 1991)
- Wetness Index (WTI, Moore et al, 1988)
- nLS (McCuen and Speiss, 1995, Kim, 2006)
- Less data-intensive, 정성적 검증단계, uncertainty?, 취약성 평가에 용이,
- 그러나 기후변화 인자(강우특성 등)을 고려한 지표(index) 연구는 미흡함

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (6) Kinematic Eq' n & 침투유량 도달시간(Tc)

#### ① Singh(2001)

- Kinematic theory & Equation은 홍수와 해석위해 개발됨
- 침투유량 도달시간(Times of Concentration)은 유출곡선해석의 일반적인 평가법

$$t_{cc} = \frac{L_c}{V_c}$$

#### ② 유역(출구)에서 침투유량 도달시간(Tc\_wsh)

- $Tc_{wsh} = Tcc + Tco + Tci$
- Tcc: avg. channel travel time
  - L: flow length
  - V: flow velocity
- Tco: times of concentration for overland flow
- Tci: times of concentration for impoundments
  - tlag: hydrograph lag time

$$t_{ci} = \frac{t_{lag}}{Q6}$$

#### ③ 홍수 및 우수에 의한 비점오염 토사발생은 flow regime (Tco)와 상관관계가 밀접함(Poosen et al, 2003)

$$t_{co} = \frac{L_{ov}}{V_{ov}}$$

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (7) 침투유량 도달시간(Tc)

① Tco(Tc): times of concentration for overland flow

$$t_{co} = \frac{L_{ov}}{V_{ov}} \quad \text{if } V_{ov} = \frac{1.49}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

$$\text{if } R_h = i \times t_{cc}$$

- n: Manning' s coefficient
- $R_h$ : hydraulic radius
- i : rainfall intensity
- L: flow length
- S : slope
- a, b, c: parameters

$$t_{co} = \frac{a(nL)^c}{i^b (\sqrt{S})}$$

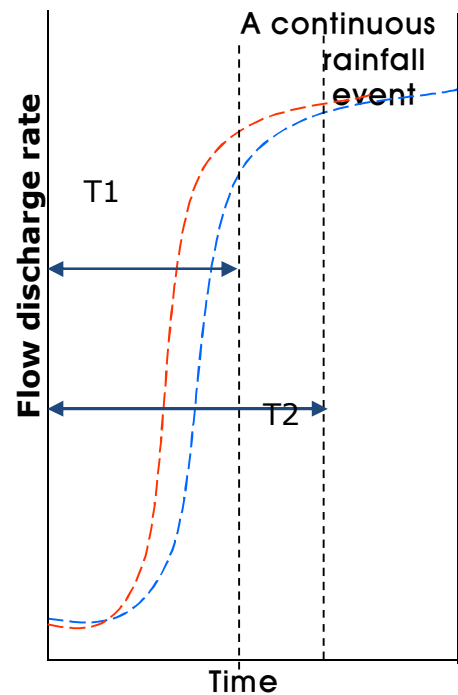
$$t_{co} = \frac{0.938(nL)^{0.6}}{i^{0.4} (\sqrt{S})} \quad \text{• in English Unit}$$

Landcover

Elevation(DEMs)

Elevation(DEMs)

Climate (Precip.) & Scenario



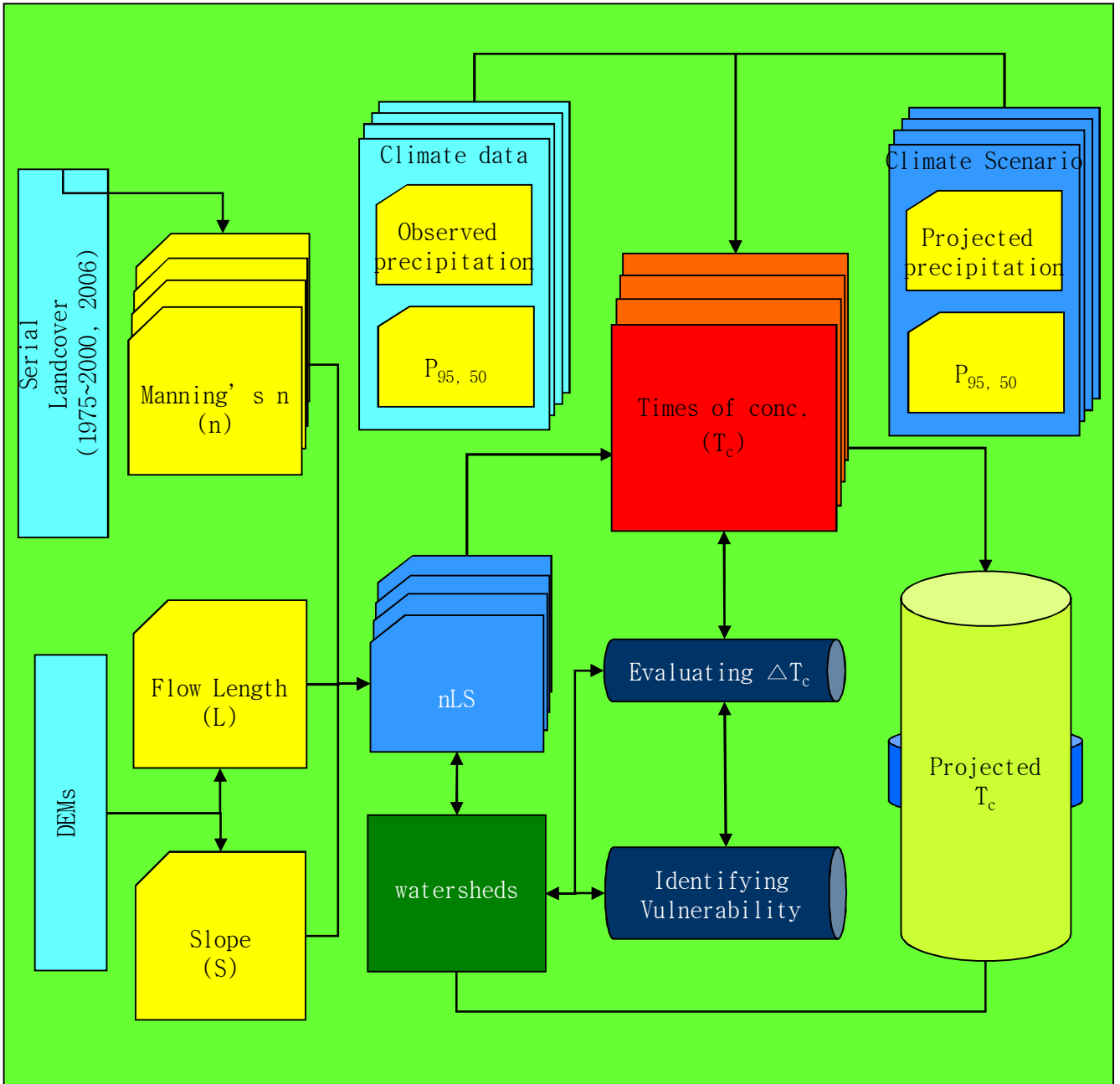
## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (8) Data and Method

Parameter	Data (Provider)	Period (Method)
Manning' s n	Landcover (WAMIS, EGIS)	-대분류:1975~2000 -중분류:2000, 2006 -McCuen (1998)
Slope	Digital Elevation Models (DEM, WAMIS)	-Slope percent (m/m)
Flow length	DEMs	-W/O 'fill process' -Flow accumulation * resolution (30m)
Precipitation (daily-basis)	21 weather stations around Han River Basin	-KMA & KICT -Observed: #~2006 -Projected: 2001~2090 -IDW interpolation method

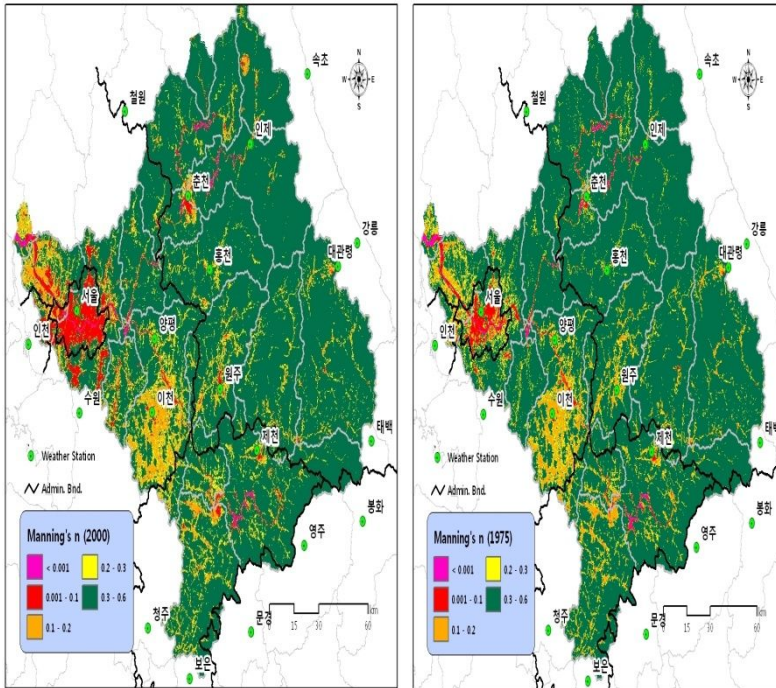
2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

(9)  $T_c$  를 이용한 토사 취약성 평가 연구개요도

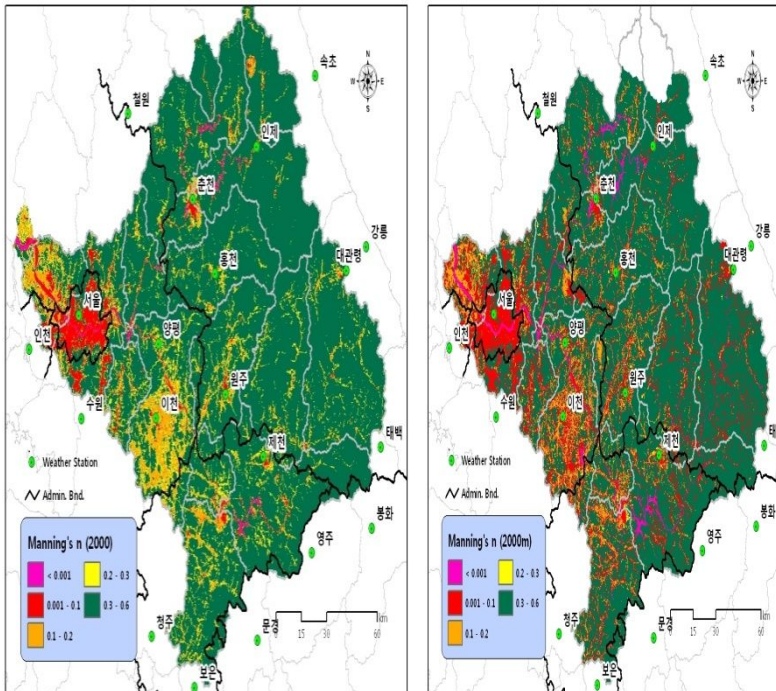


•연구대상지: 한강 유역의 176개 표준유역

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가



- Manning' s n
- 大:1975 ~ 2000, 6개 dataset
- 中: 2000, 2006, 2개



- Manning' s n for overland flow

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (10) 과거 강우자료 분석

#### ① 과거 일일(daily) 강우자료

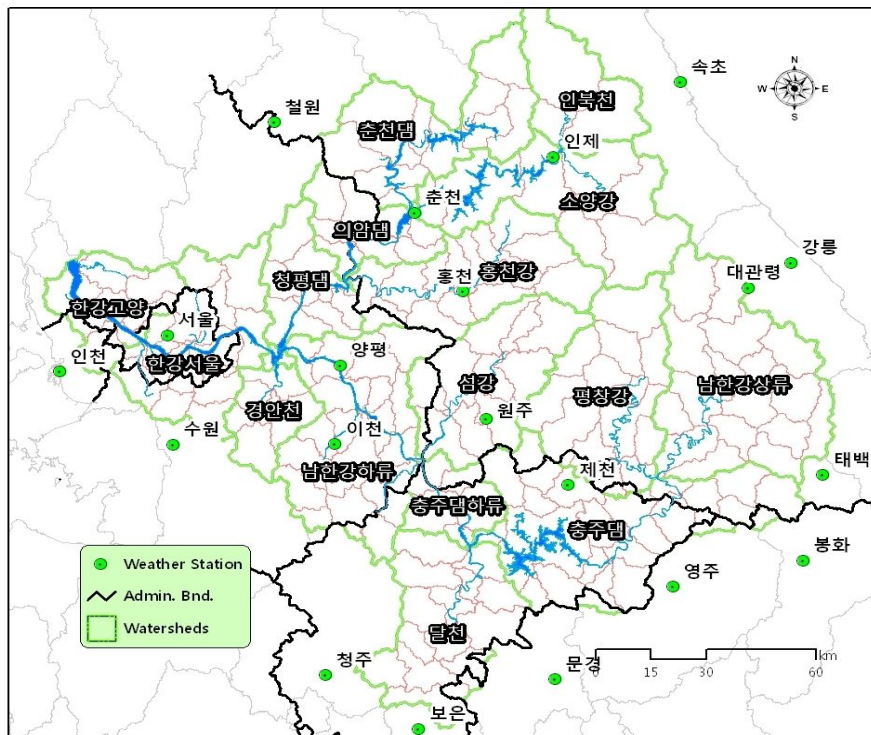
- 한강유역 주변의 21개 기상관측점

#### ② 관측기간

- # ~ 2006년
- 45년(강릉, 서울 등)~18년(철원, 봉화)
- 평균 34년

#### ③ 평가대상 강우자료

- 6~9월 중
- 95 percentile
- 50 percentile

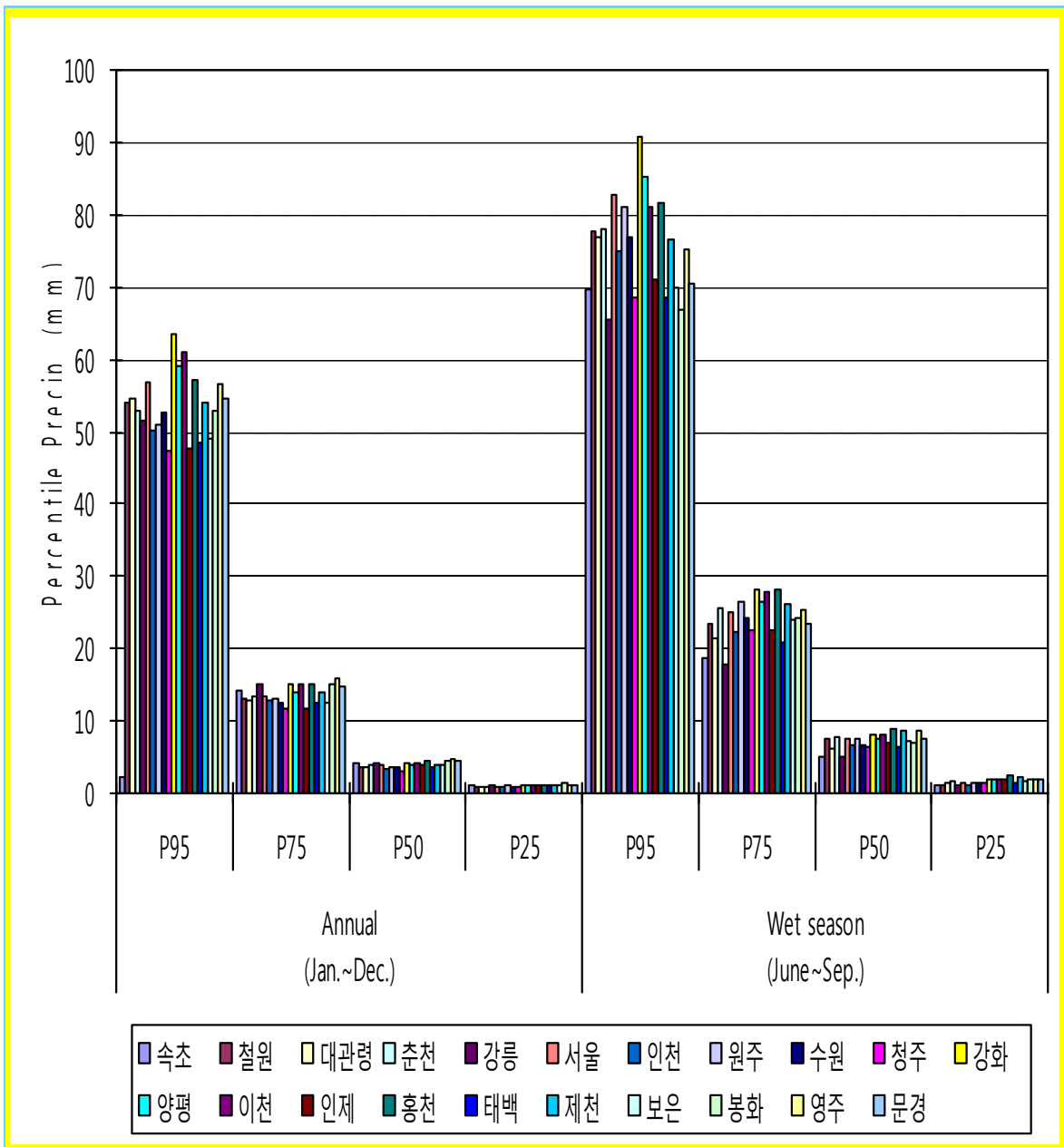




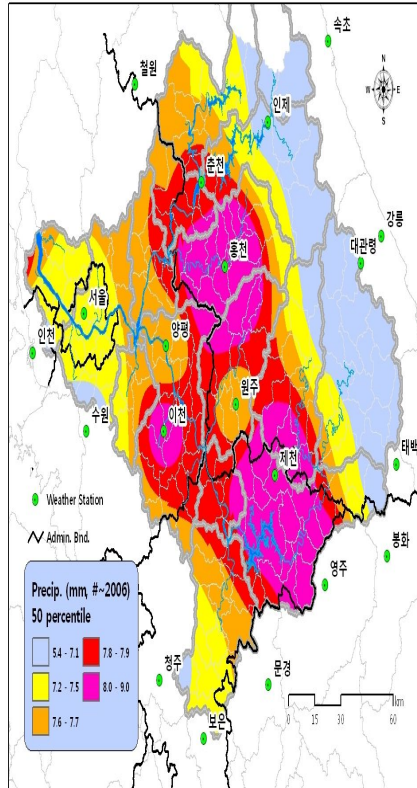
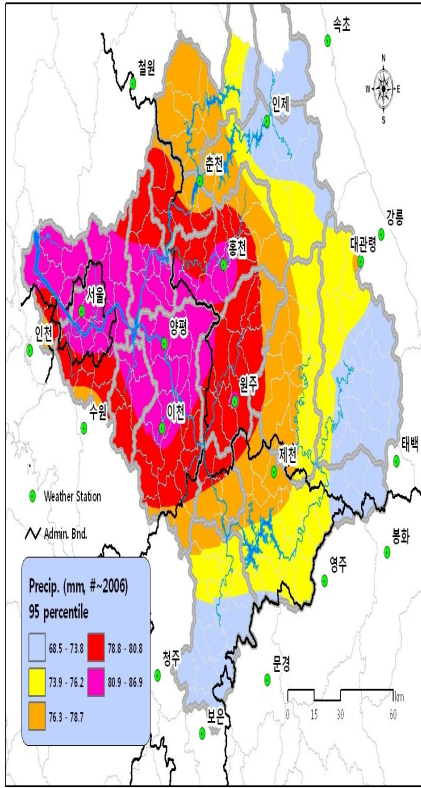
## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (11) 과거 강우자료: 95 & 50 Percentile

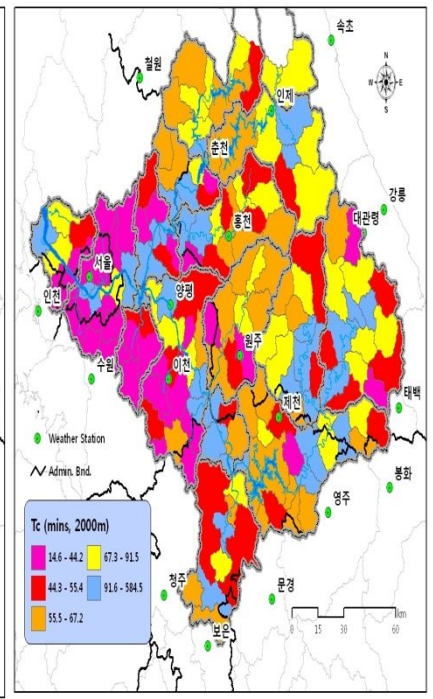
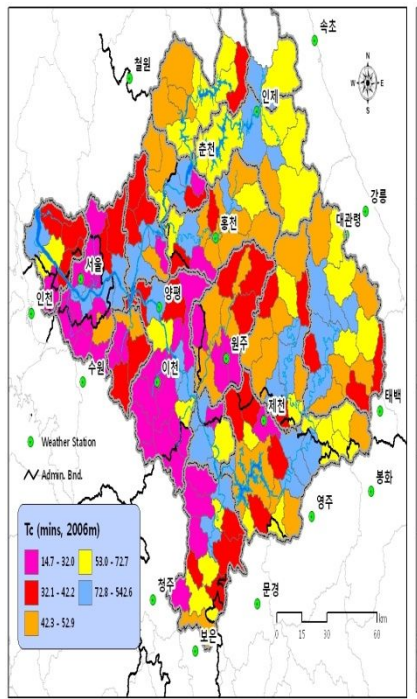
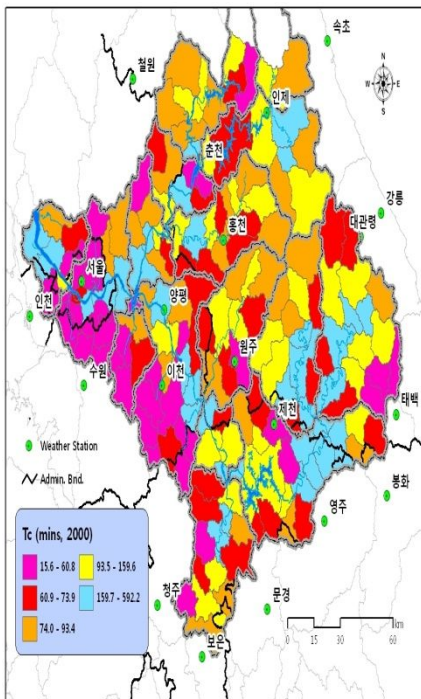
- ① 토사취약에 미치는 홍수, 우수 등의 영향평가를 위하여  
Wet season(6~9월)의 일일 강우자료(Percentile)를 활용



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

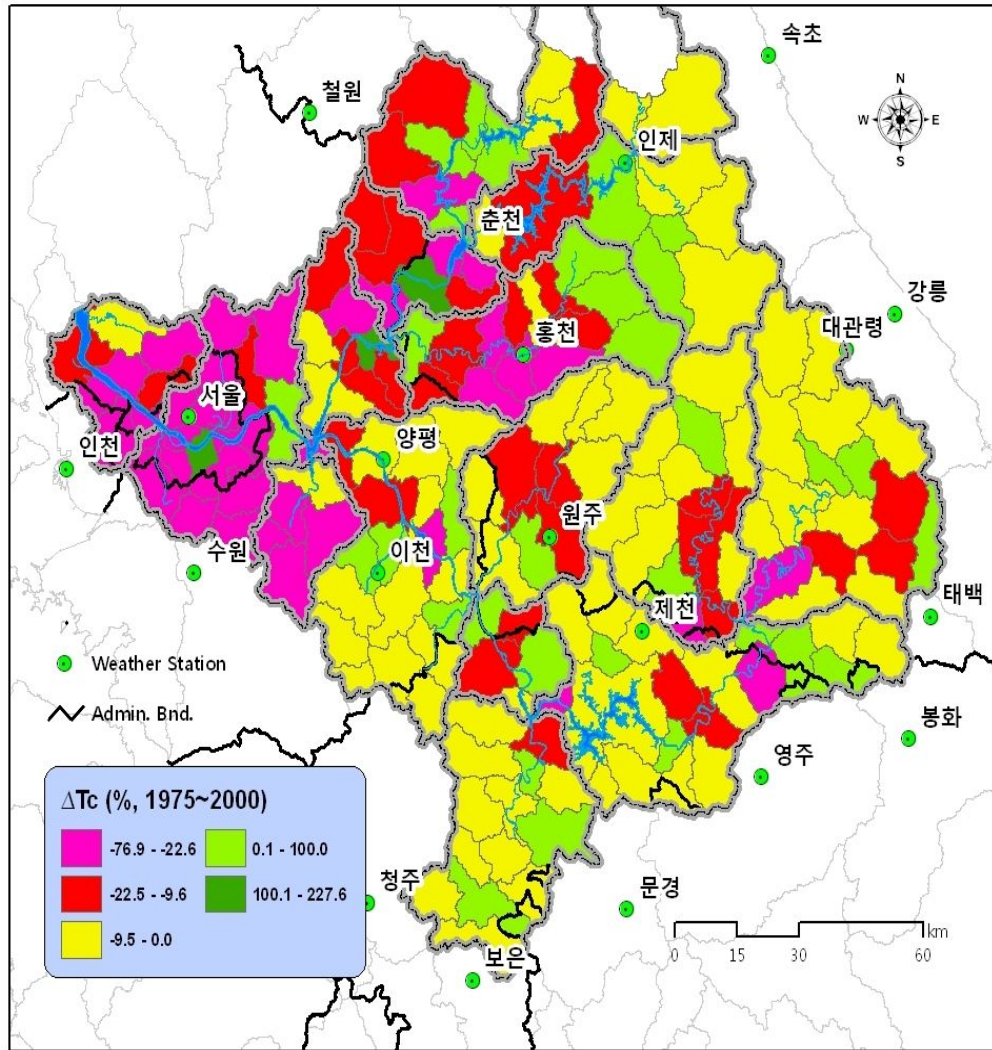


- Interpolation: IDW
- S.R.: 100m
- RMSE
- 10 & 5km, 100m
- 150 random point
- Quantile Classification



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

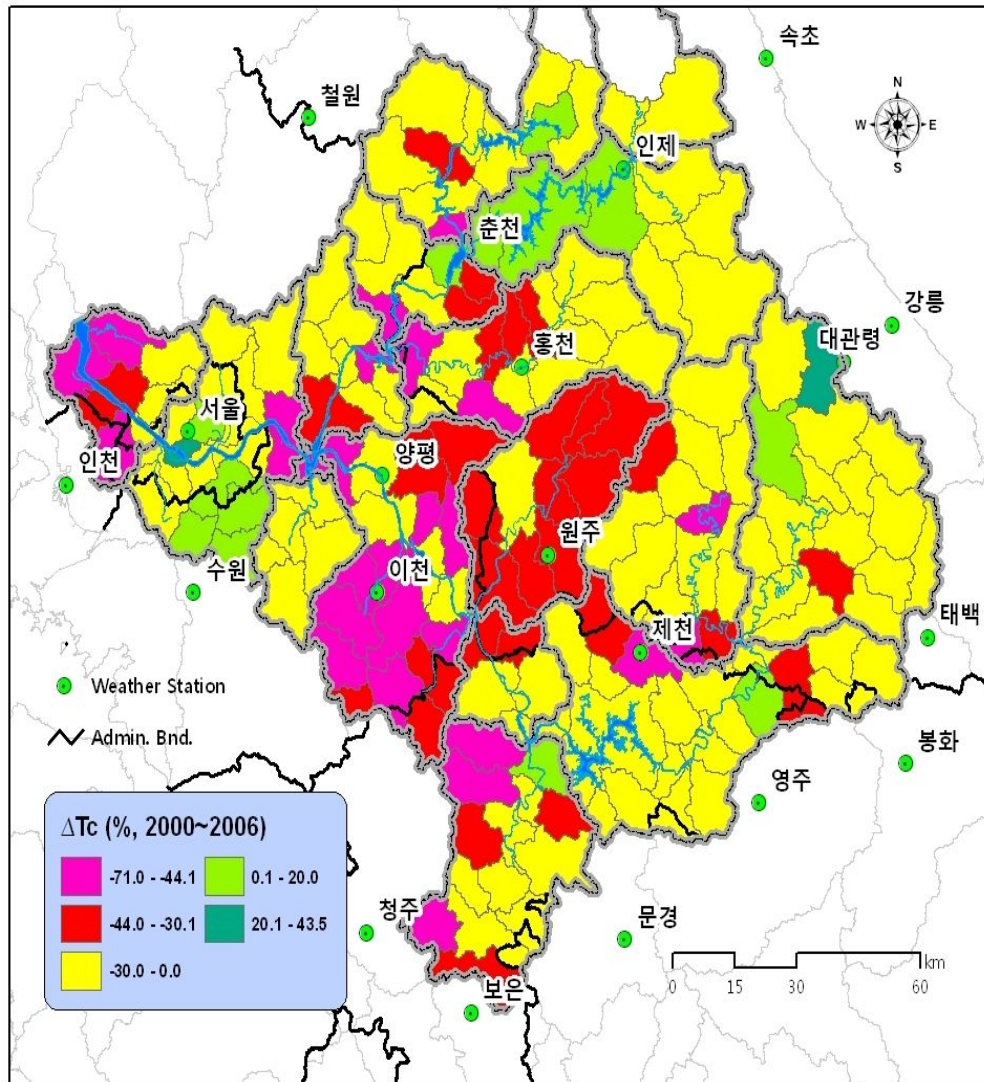
(12) 토사 취약성 지도(1975~2000, 대분류)





## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

(13) 토사 취약성 지도(2000~2006, 중분류)

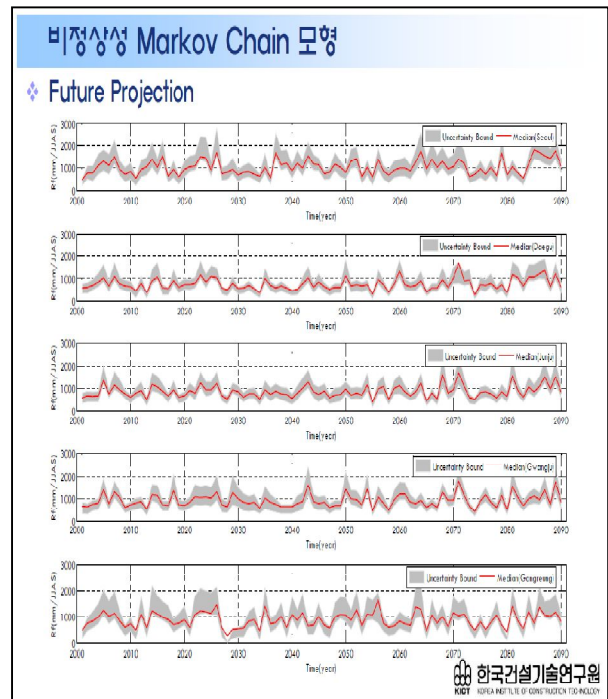
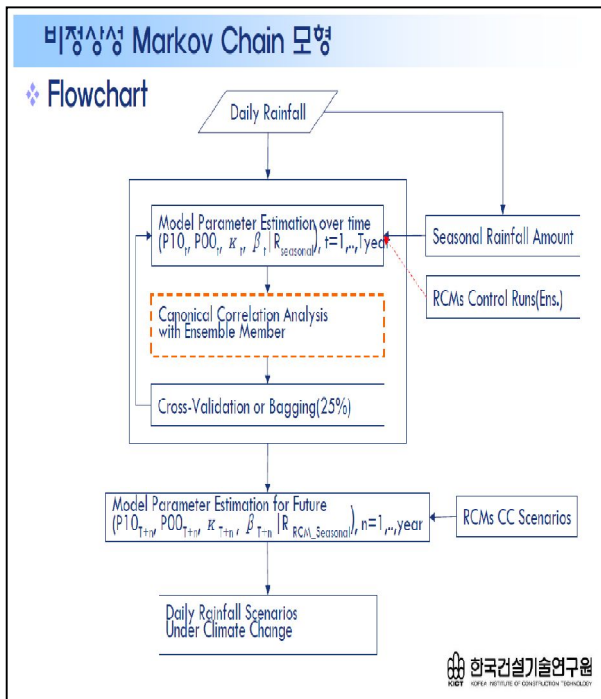


## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (14) 일(daily) 강수량 시나리오

#### ① 통계학적 Downscaling (A2 시나리오)

- Dynamic 기후모형(Markov 모형 등) 추정값
- 월 및 계절 강수량을 고려하여 모형의 매개변수 추정, Cross-validation으로 변수 신뢰성 확보

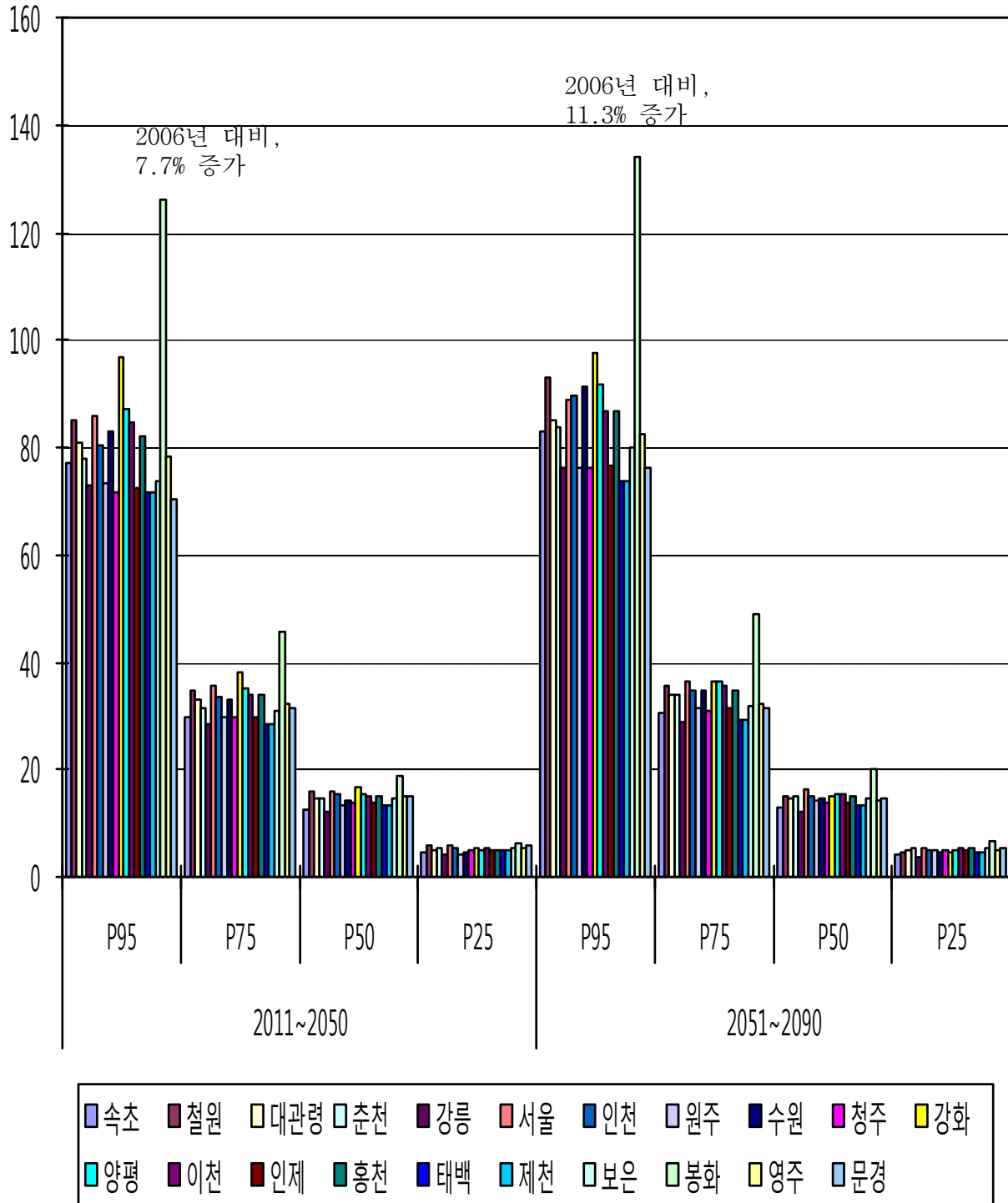


## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

### (15) 일(daily) 강수량 시나리오

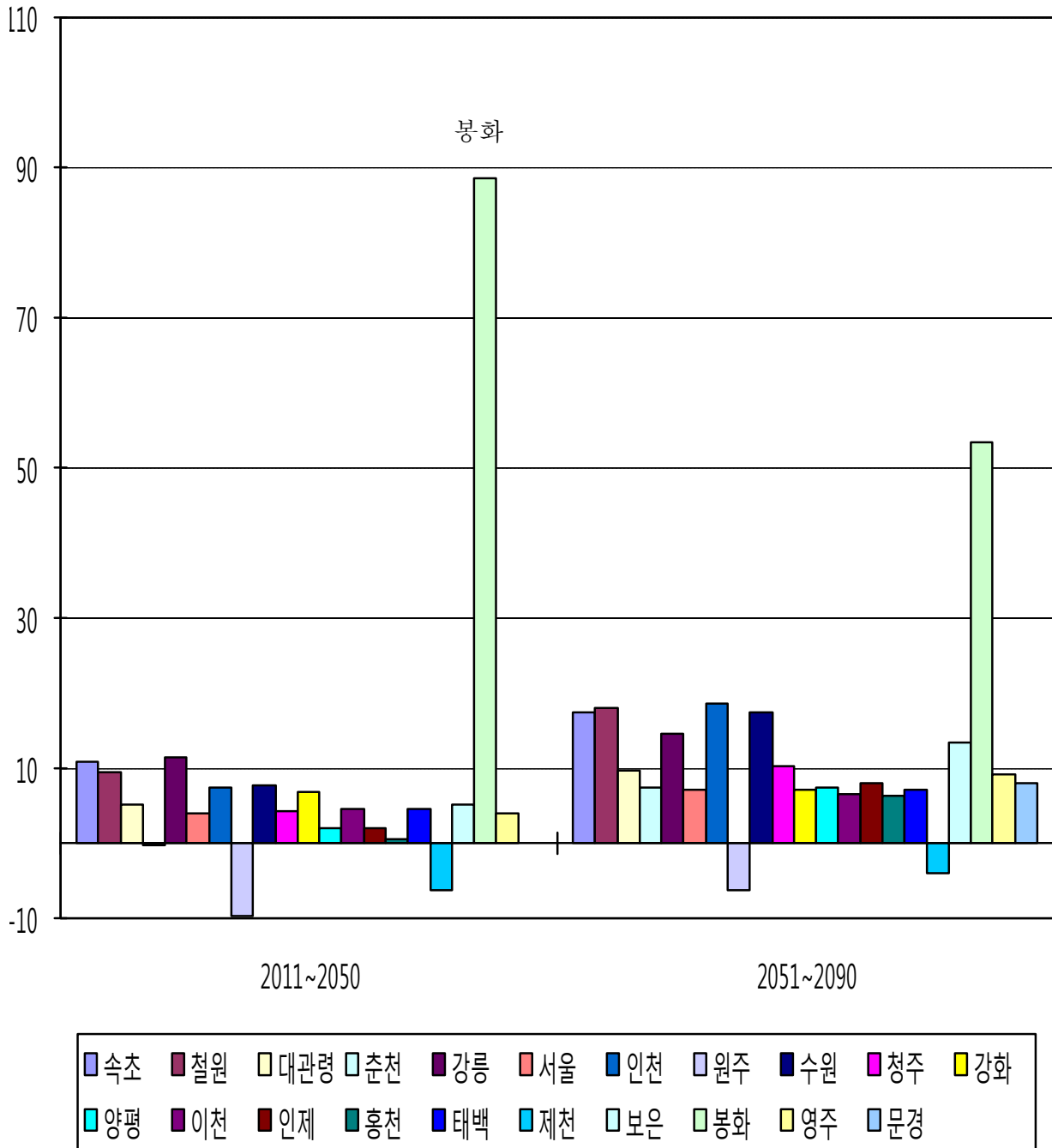
- ① KMA RCM(A2 E.S.)
- ② 한강유역 21개 기상관측지점
- ③ Control run
  - 1970~2000
- ④ Projection(6~9월)
  - 2001~2090
  - 50개의 앙상블
- ⑤ 평가 연도 및 방법
  - 2010~2050(40년), 2051~2090
  - 각 앙상블의 P95, P50 을 먼저 구하여
  - 해당 기간 일 강수량에 대한 50개 앙상블의 평균 P95, P50 을 산정후 Tc 계산에 적용
  - Manning' s n은 2006년을 기준으로 적용

## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가





## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가



## 2차시. 기후변화에 따른 토사발생의 취약성 평가

