기후변화에 따른 폭우재해 대응 도시방재방안

2012. 6. 19.

심우배 국가도시방재연구센터장

국토해양부
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs
국토연구원
KRIHS
국가도시방재연구센터

발표 순서

Ⅰ. 최근 기후변화 및 주요 폭우재해 현황과 특성

Ⅱ. 기후변화에 따른 폭우재해 취약성 분석

Ⅲ. 기후변화에 따른 도시의 폭우재해 대응방안

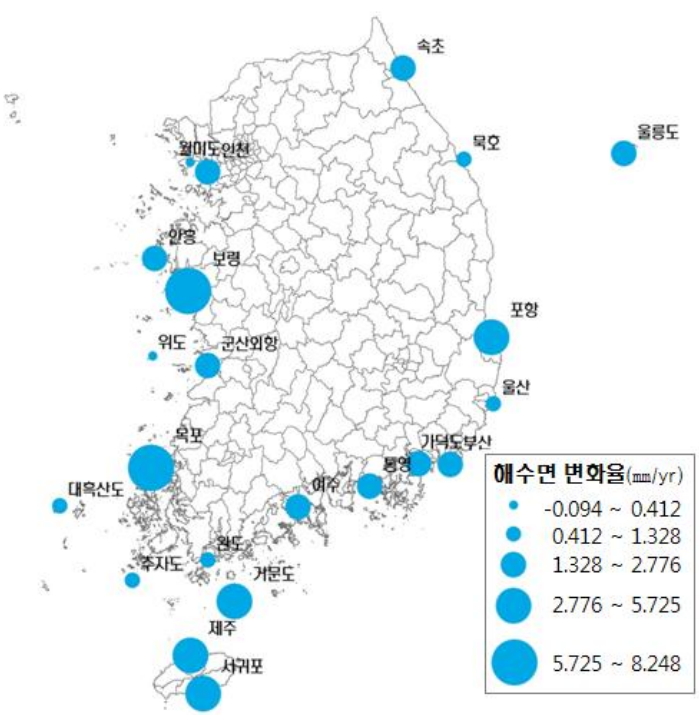
Ⅰ. 최근 기후변화 및 주요 폭우재해 현황과 특성

1. 최근 기후변화 및 주요 폭우재해 현황

❖ 우리나라의 기후변화는 전 세계 추세보다 빠르게 진행(기상청, 2009)

- 지난 100년간(1912~2008년) 우리나라 6대 도시 **평균기온 1.7℃ 상승, 강수량 19% 증가,** 43년간 제주 해수면 22㎝ 상승(매년 5.1㎜)
  - ※ 세계 평균기온 지난 100년간 0.74℃, 해수면은 매년 1.8㎜ 상승(IPCC, 2007)
- **21세기말 우리나라 평균기온 4℃, 강수량 17% 증가**하고, **집중호우일수 증가, 강한 태풍 비중이 높아질 것**으로(19%→26%) 전망
  - ※ 세계 평균 해수면은 2100년 59㎝, 한반도 주변은 69㎝ 상승 전망(IPCC, 2007)

< 조위관측 자료에 의한 연평균 해수면 변화율 >



※ 최근 10년간(1999~2008년) 우리나라 1일 100㎜ 이상 집중호우 발생빈도는 385회로, 70~80년대 222회에 비해 약 1.7배 증가

✓ 폭우(heavy rainfall) 및 폭우재해 정의

- 폭우 : 갑작스럽게 국지적으로 내리는 많은 양의 강우
- 폭우재해 : 지역의 방재시설 능력을 초과하는 폭우에 의해 발생하는 침수, 산사태·토석류 피해

✓ 일본 태풍 탈라스(2011.8~9)

- **2011년 8월 30일부터 9월 5일까지 최대강수량 1,800㎜**, 최대순간풍속 40㎧, 사망· 실종 80여명, 주택침수 1,200동, 정전 1만가구 이상

✓ 파키스탄 북서부지역 집중호우(2010.7)

- 사망 1,600명, 이재민 약 2,000만명 이상, 인더스강 범람, 국토의 20% 침수, **4일동안 최대 415mm**(연강수량 약 690mm)

✓ 대만 태풍 모라꼿(2009.8)

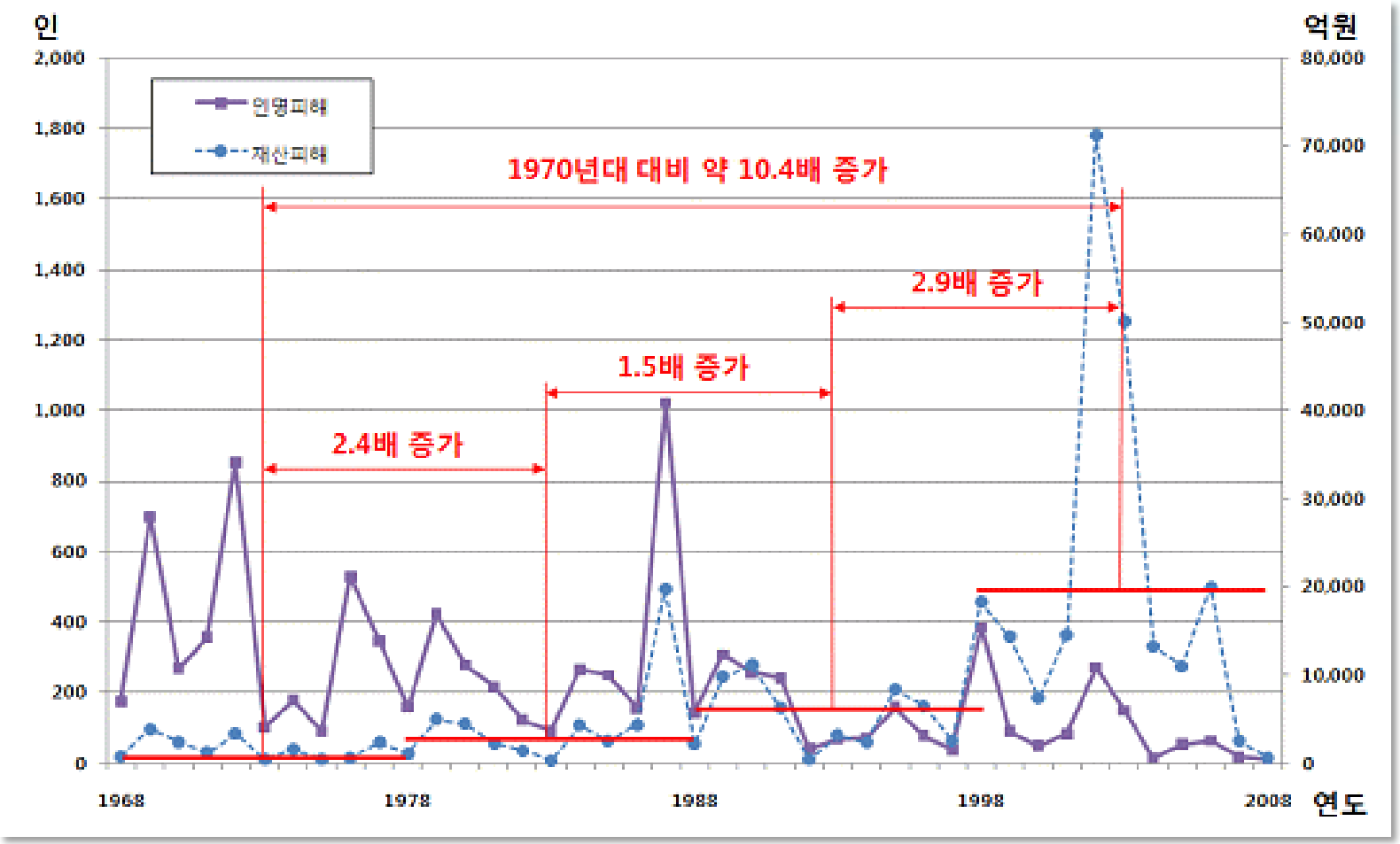
- 사망· 실종 699명, 재산피해 1,640억 대만달러, **24시간 최대강수량 1,500㎜, 4일동안 3,000 ㎜** (연강수량의 76%)

✓ 미국 뉴올리언스 허리케인 카트리나(2005.8)

- 2005년 8월 23일부터 31일까지 강수량 250~457㎜, 폭풍해일 4.5~9.0m, 허리케인 5등급, 사망 1,300여명 이상, 이재민 약 250만 세대, 재산피해 1,000억 달러 이상 추정

✓ 우리나라 연도별 자연재해 피해액 현황(1969~2008년)

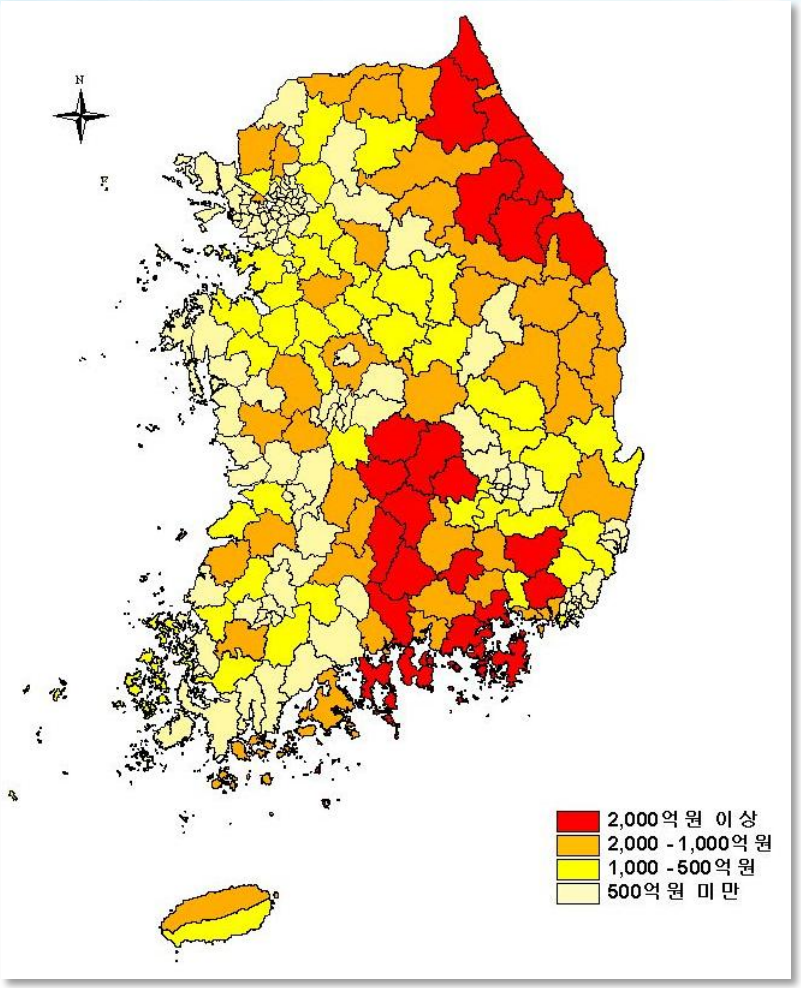
- 자연재해 피해액은 **1970년대 대비 2000년대는 약 10.4배 증가**
- 인명피해는 1970년대 대비 2000년대는 약 78%(358명→ 80명) 감소,
  그러나, **대규모 피해발생시 여전히 많은 인명피해 발생**



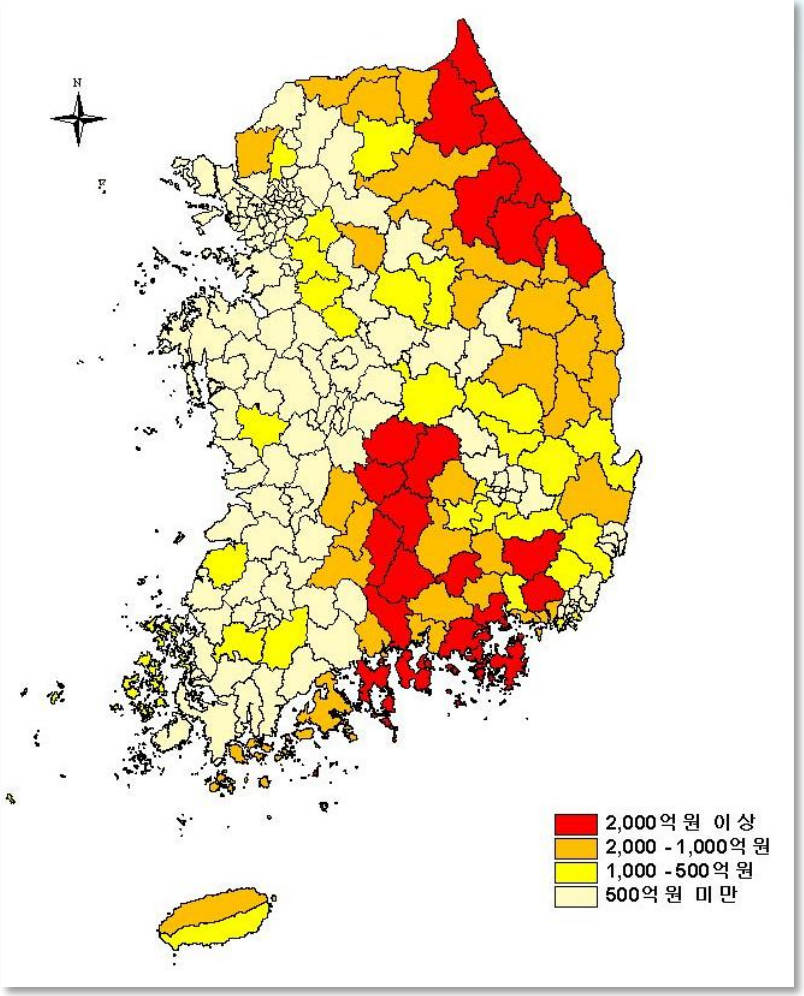
자료) 소방방재청(2009), 2008 재해연보

주) 피해액은 2008년 환산가격

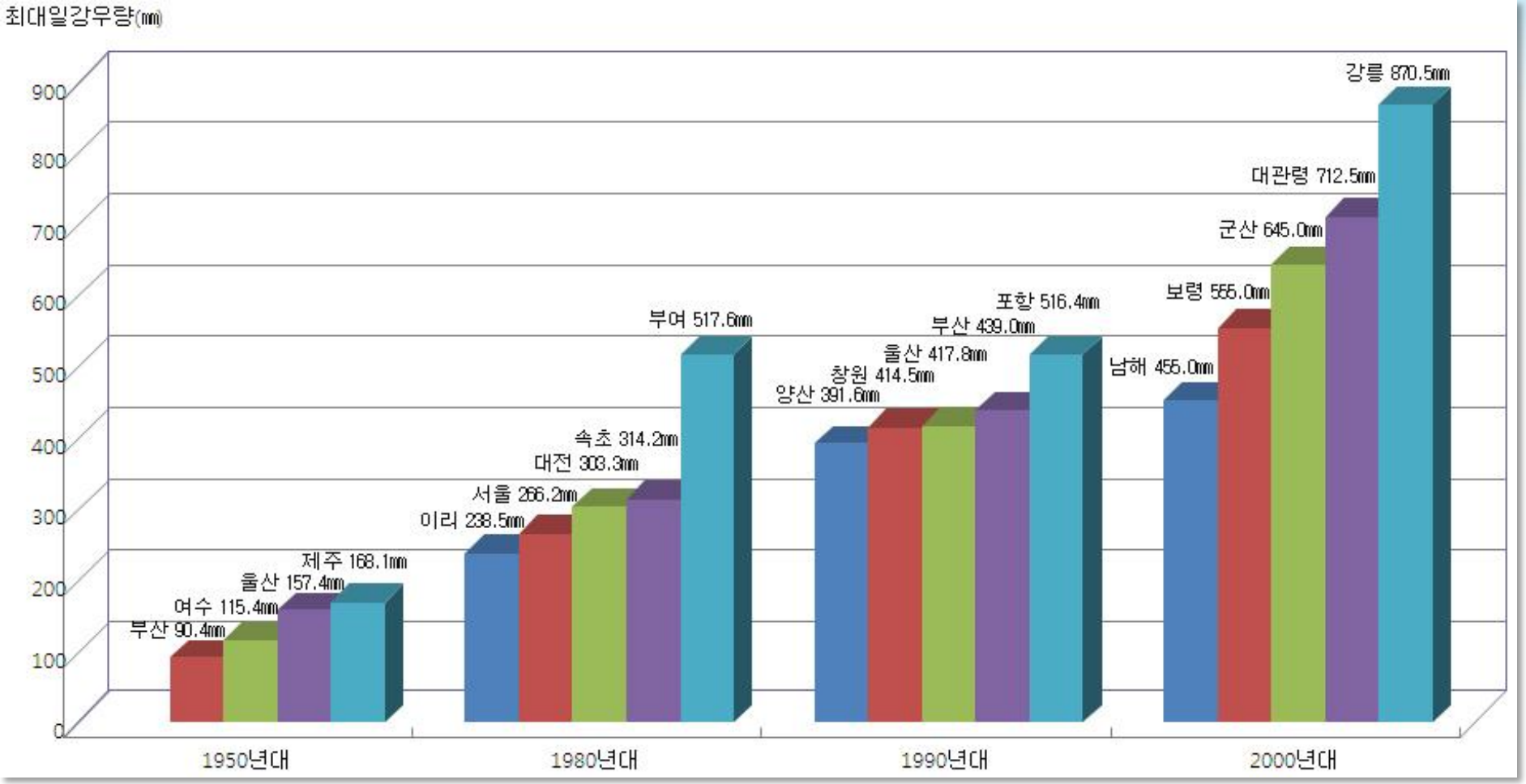
< 최근10년간(’99~’08) 자연재해 총피해액 >



< 최근10년간(’99~’08) 홍수 피해액 >



< 호우 및 태풍 피해 20위 순위 내 연대별 최대일강우량 현황 >



자료) 소방방재청(2008), 2007 재해연보

✓ 집중호우에 의한 침수 및 산사태 피해사례_서울(2011.7.26~28)

- **2011년 7월 26일에서 28일까지 3일간 누적강수량은 595㎜**
- 3일간 집중호우로 인한 누적강수량 595㎜는 **평년 연강수량(1,450.5㎜)의 41%** 에 이르는 막대한 양
- **관악구에서는 시간당 111㎜** 로 기상관측사상 최고치 기록(우면산 산사태 18명 사망)

< 올림픽대로 침수 >

< 강남대로 침수 >

< 우면산 산사태 >

< 우면산 산사태로 인한 주택 파손 >

✓ 집중호우에 의한 침수피해사례_서울(2010. 9. 21~22)

- 이틀간 누적강수량 서울 259.5㎜(9.21 강서구 화곡동 시간당 최대강수량 98.5㎜),

  서울시 9,419가구 주택 침수피해 발생(침수주택 중 90% 반지하주택)

< 광화문 일대 도로 침수 >

< 청계천 수위 상승 >

✓ 집중호우에 의한 피해사례_경기도 파주(1996, 1998, 1999)

- 1996년 7월 26~28일까지 3일 동안 강우량 598.7㎜, 1998년 8월 5~8일까지 파주시, 동두천시, 포천군 등에 강우 집중, 1999년 7월 31일~8월 2일까지 3일 동안 강우량 488 ~ 837㎜ 발생, 재산피해(1999년) 3,900억원

< 문산읍 침수피해현황 >

✓ 해안지역 태풍에 의한 침수 및 강풍 피해사례_부산(2003. 9)

- 2003년 9월 11일 부터 13일 09시까지 태풍 매미로 인해 강수량 10~450㎜, 순간최대풍속 60㎧, 조위 146㎝ 상승
- (전국피해) 사망 131명, 이재민 4,089세대 10,975명, 재산피해 4조6천억원, (부산 수영구) 재산피해 92억원

< 부산시 해수범람으로 인한 광안리 해수욕장 주변 도로 및 상가침수 >

< 강풍으로 인한 부산 신항만 대형 크레인 붕괴 >

2. 도시계획시설 방재기준의 문제점

❖ 재해취약지역을 고려한 도시계획시설의 배치기준 미흡

- 폭우, 폭설, 해수면 상승 등 재해취약지역을 고려하여 시설물 설치 제한, 방재대책 마련 등의 기준 미흡

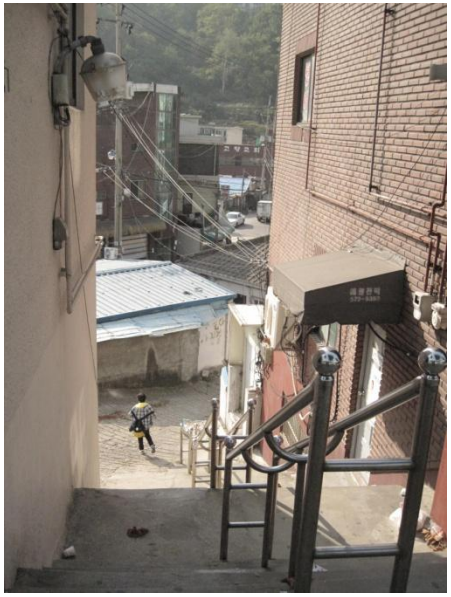
❖ 도시계획시설을 보호하는 측면 위주의 방재기준

- 폭우로 인한 도로 침수방지 측면의 도로배수시설 설치 등 개별 도시계획시설의 기능 보호 중심의 단편적 방재기준

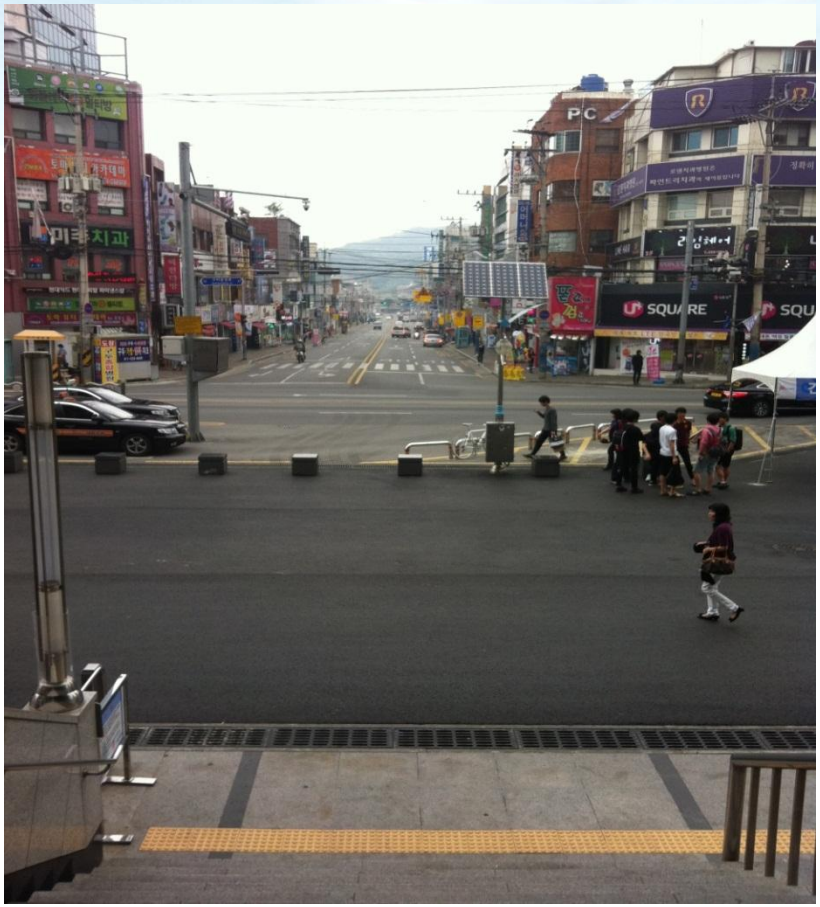
❖ 도시계획시설의 본연의 기능 이외에 방재기능 미흡

- 도로, 광장, 주차장 등 불투수 시설 설치로 인해 주변지역에 미치는 영향 등에 대한 저감대책 부재

< 기반시설 설치에 따른 주변지역 재해영향 가중 사례: 도심지 도로>



< 구미역 광장 사례 >



< 안양시청 광장 사례 >

3. 기후변화에 따른 폭우재해 특성 및 주요 피해원인

❖ 기후변화에 따른 폭우재해 특성

- **전 세계적으로 과거에 유례가 드문 대형 재해 발생**
- 기후변화 재해는 **시간에 대한 불확실성**이 커서 **언제 발생할지 예측하기 어려우므로 시급하게 대비책을 마련**해야 함
- 또한, 기후변화 재해는 **장소에 대한 불확실성**이 커서 **어디서 발생할지 예측하기 어려움**

→ 과거 재해피해지역 뿐아니라 **잠재재해취약지역에서도 대형 재해 발생 우려**가 있으므로, **기후변화 영향에 대비하여 예방적 방재 대책 마련 필요**

❖ 주요 폭우재해 사례의 피해원인

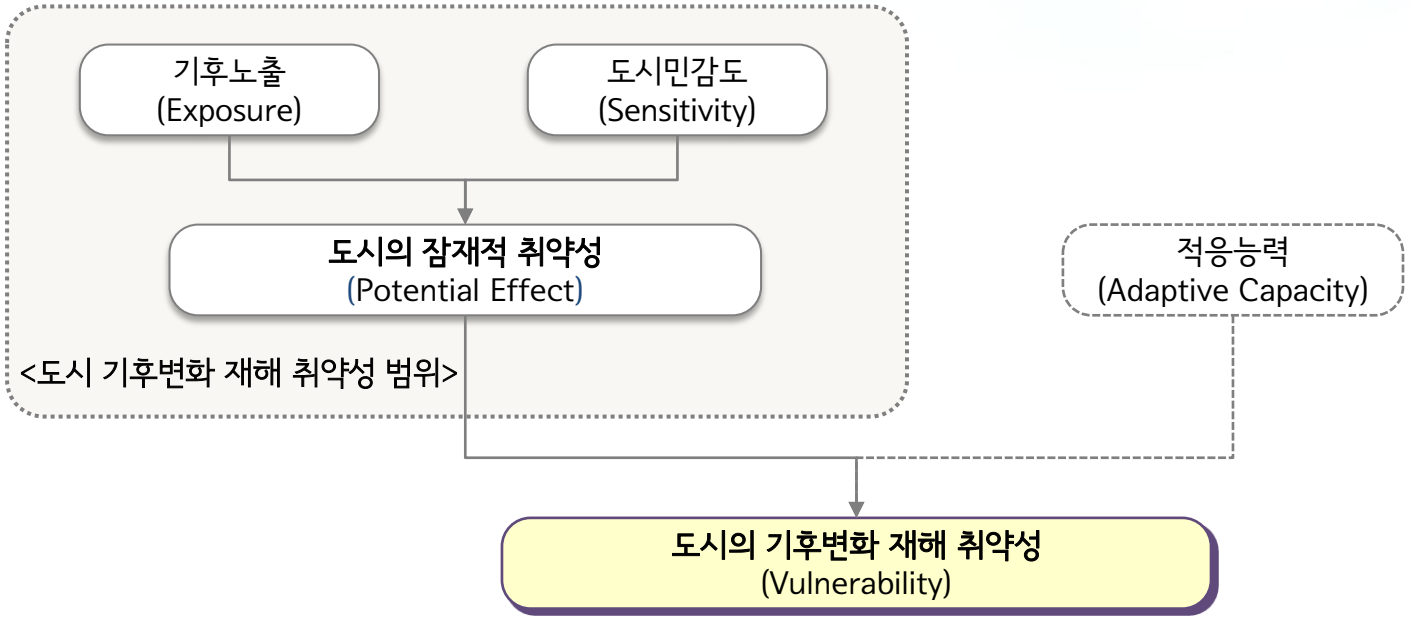
- 주요 재해사례 피해의 **1차적인 원인**은 공통적으로 **기후변화**로 인한 집중호우, 태풍 등의 **대형화**로 인한 것임
- **재해 피해를 가중시키는 주요 원인**은 하천변 · 해안변 저지대, 급경사지 주변 등 **재해취약지역의 밀집 거주 등 방재개념이 미흡한 도시 이용 및 개발, 토지이용, 건물 배치**, 그리고 **도시지역 지표면의 우수저류 · 침투시스템 미흡** 등임

Ⅱ. 기후변화에 따른 폭우재해 취약성 분석

❖ 도시 기후변화 재해 취약성 개념

- 기본적인 골격은 IPCC(2007)의 **취약성 개념을 따름**
  - **적응능력을 제외한 도시의 잠재적 취약성을 분석**하고, 이에 기초하여 적응방안 모색토록 함

※ 적응능력 정량화, 도시의 잠재적 취약성 상쇄지표 도출 어려움



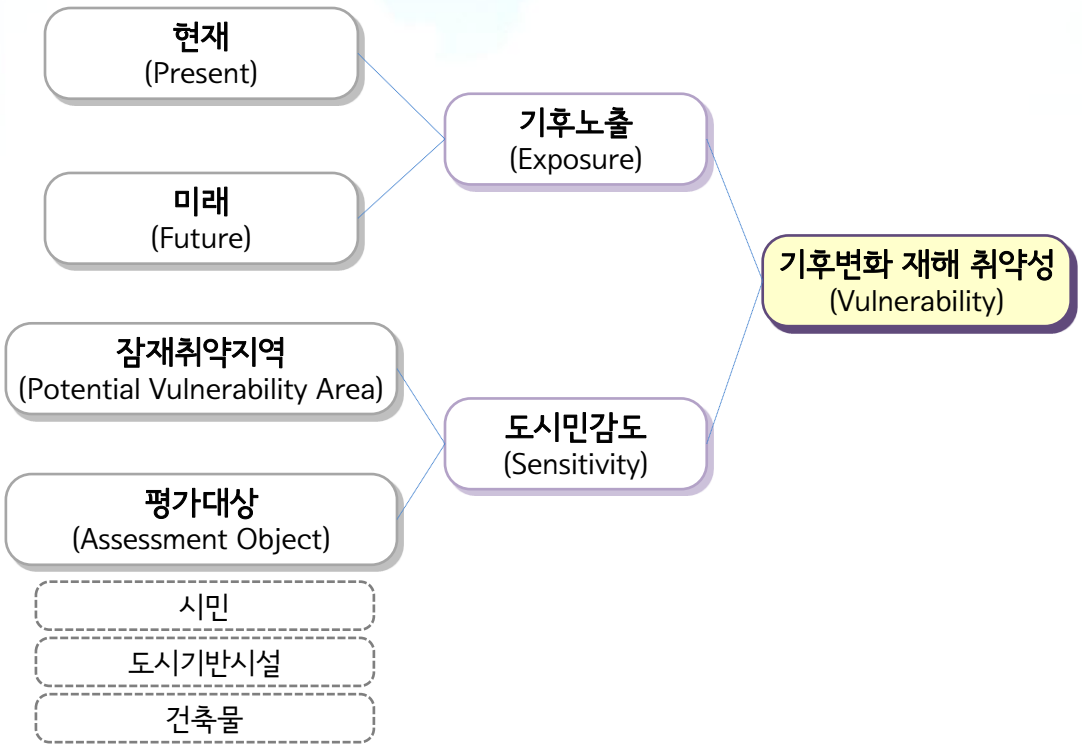
※ 취약성 분석 **결과는 각 지자체의 재해대책 등을 고려하지 않은 것**으로, **기후적 측면과 물리적 특성 측면**에서만 통계자료를 활용하여 분석한 **잠재적 위험지역**으로 보시면 되며, 태풍 등의 이동경로 등에 따른 외력에 따라서는 취약지역이 달라질 수 있음

❖ 기후변화 재해 취약성 분석절차 및 지표

- **기후노출과 도시민감도를 평가·중첩**하여,
  도시간 기후변화 재해 취약성 상대 비교·평가

  ※ Ⅴ등급 일수록 취약한 지역

< 기후변화 재해 취약성 분석 구조 >



※ **미래(2100년)에 대한 취약성**은 물리적 특성의 미래예측에 어려움이 많아 이를 고려하지 않은 것으로, **기후(강수량)적인 측면만 기후변화 시나리오를 적용**하여 분석한 결과임(따라서, **미래에 대한 폭우 전망**으로 보시면 됨

< 폭우재해 취약성 분석 지표 >

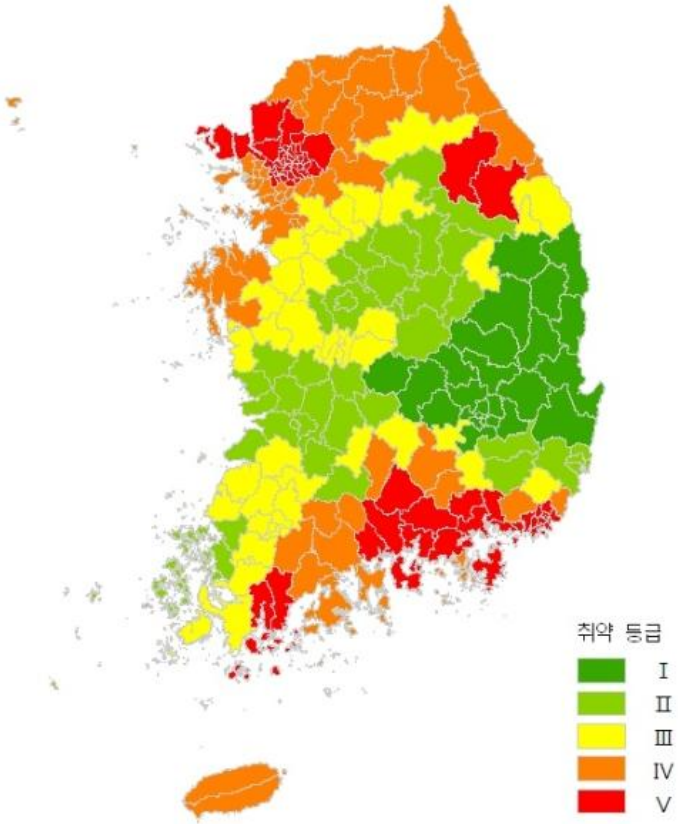
구분			홍수
기후노출			• 연평균 80㎜/일이상 강수일수
잠재취약지역			• 하천길이 • 지자체평균고도이하면적비율 • 급경사지면적비율 • 산사태위험지역면적비율 • 불투수지역면적비율
평가대상	시민		• 65세 이상 노인 및 6세 미만 어린이 인구수
	도시기반시설	도로	• 도로면적
		철도	• 철도면적
		항만	-
		공항	-
		수도공급설비	• 수도공급설비면적
		전기공급설비	-
		가스공급설비	-
		열공급설비	-
		방송통신시설	-
		공동구	• 공동구면적
		유류저장및송유설비	• 유류저장및송유설비면적
		하수도	• 하수도면적
		수질오염방지시설	• 수질오염방지시설면적
	건축물		• 단독주택수 • 반지하주택수

2. 전국 도시(시 · 군 · 구) 기후변화 폭우재해 취약성 분석 및 특성

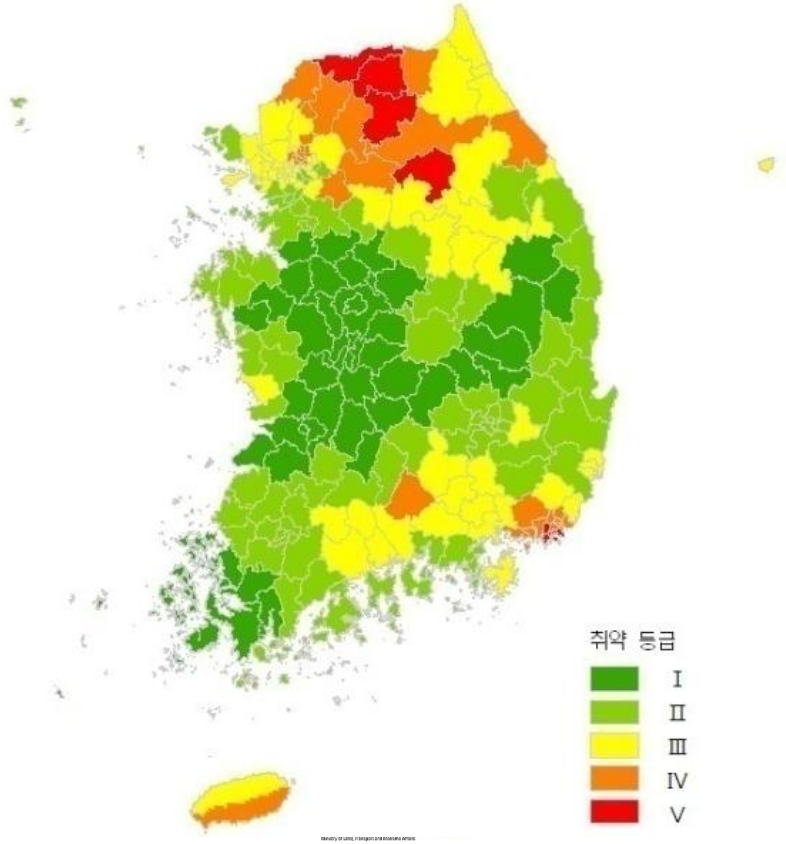
❖ 기후노출

- **현재**는 전국 232개 지자체 중 **123개(53%) 지자체**가 폭우에 대한 **기후노출 취약지역 (Ⅳ, Ⅴ등급) 으로 분석**되었으며, **수도권, 강원권, 호남·영남권의 남해안 일대 지역**이 폭우재해에 대한 기후노출이 높음
- **미래**에는 전국적으로 폭우에 대한 기후노출 지역은 감소하나, **경기·강원 접경지역은 더욱 심화**

<폭우재해 기후노출 : 현재>



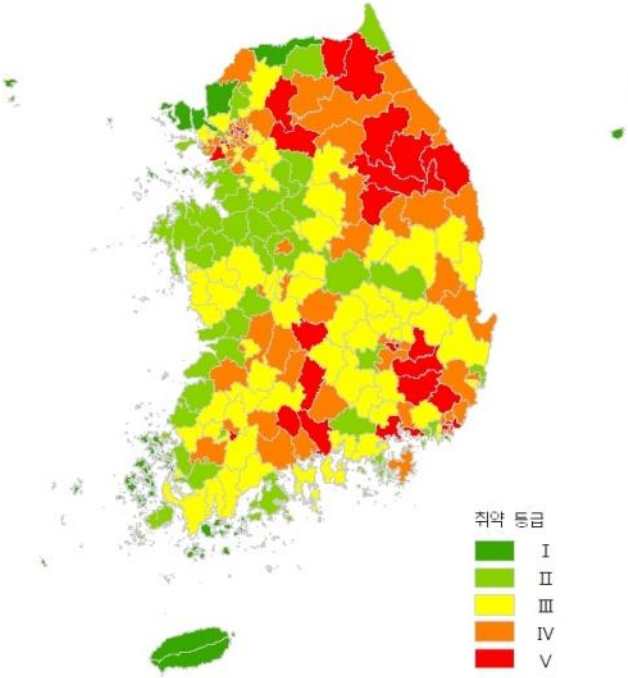
<폭우재해 기후노출 : 미래(2100년)>



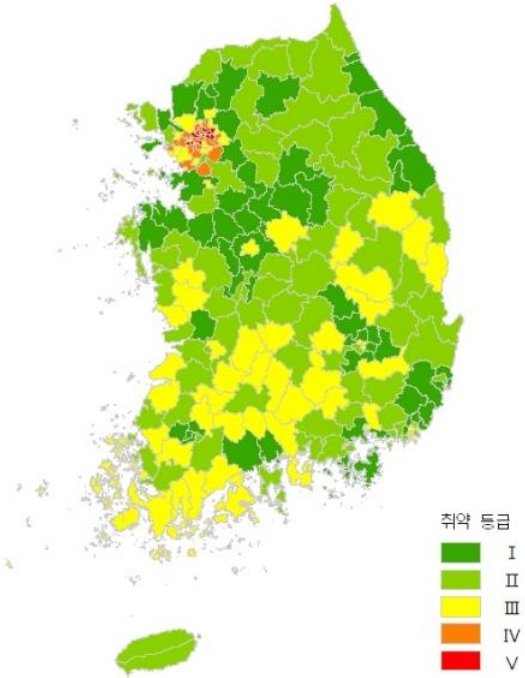
❖ 잠재취약지역, 평가대상, 도시민감도

- 전국 232개 지자체 중 **104개(44.8%) 지자체가 폭우재해 잠재취약지역 Ⅳ, Ⅴ등급으로 분석** 되었으며, **수도권, 영남권, 강원권**의 비중이 높게 나타남
  - 개발이 많이 진행된 **수도권, 영남권은 불투수지역 면적비율이 높아** 잠재취약지역으로 분석
  - **강원권**은 높은 산지비율로 인해 **급경사지 및 산사태 위험지역 면적비율이 전국 평균을 훨씬 상회**
- **폭우재해 평가대상 Ⅳ, Ⅴ등급**은 대부분 개발이 활발하고 인구가 밀집된 **수도권에 집중**
  - 그 외, 부산시 중구는 높은 취약계층 인구수로 인해 영남권의 유일한 취약지역으로 분석
- 폭우재해에 대한 **도시민감도**는 잠재취약지역과 평가대상의 영향으로 **수도권, 강원권** 취약

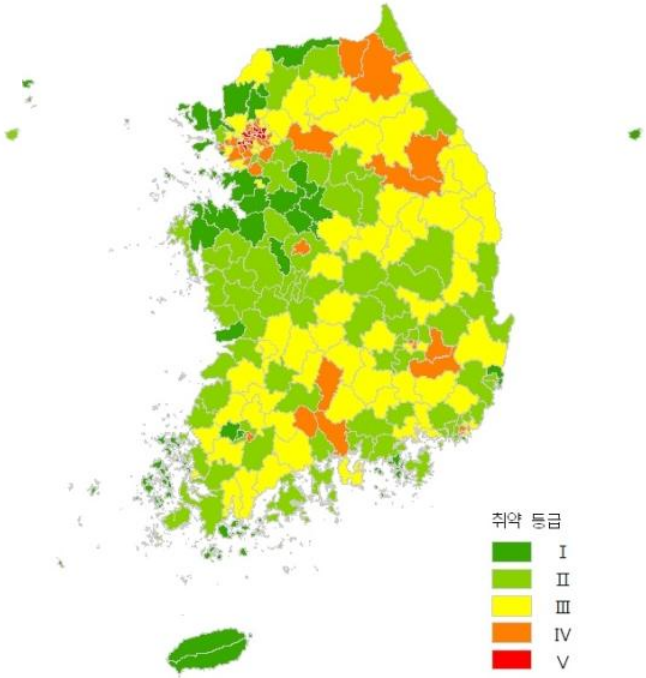
<폭우재해 잠재취약지역>



<폭우재해 평가대상>



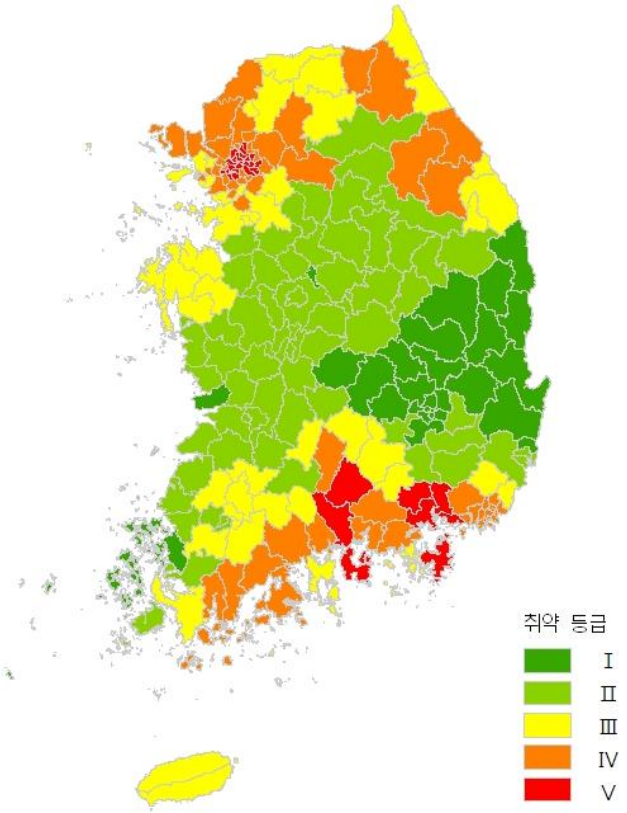
<폭우재해 도시민감도>



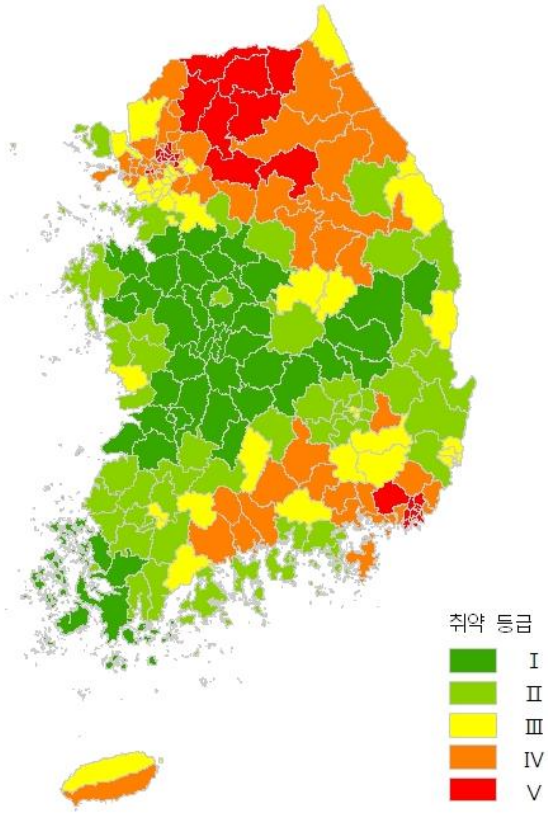
❖ 폭우재해 취약성

- **현재**는 전국 232개 지자체 중 **88개(37.9%) 지자체가 폭우재해 취약지역(Ⅳ, Ⅴ등급)으로 분석되었으며, 서울을 포함한 수도권, 강원권, 호남 · 영남권의 남해안 일대 취약**
- **수도권의 취약성은 미래에도 유지**되며, **특히 경기·강원 북부지역이 취약**하고, 강원권을 중심으로 **전국의 폭우재해 취약지역이 다소 확대**(88개 -> 93개) 됨

<폭우재해 취약성 : 현재>



<폭우재해 취약성 : 미래(2100년)>



< 폭우재해 취약지역 지자체수 변화 >

(단위 : 개수)

구분	현재	미래
전국	88	93
수도권	48	44
강원권	5	14
충청권	-	2
호남권	7	3
영남권	28	29
제주권	-	1

❖ 폭우재해 취약지역(취약성 Ⅳ, Ⅴ등급) 원인분석

- 폭우재해 취약지역은 **현재와 미래 기후노출이 대부분 전국 평균에 비해 높음**
- **수도권은 하천길이, 저지대 비율, 불투수 비율이 높고, 폭우재해에 취약한 시민, 기반시설, 반지하주택의 비중이 높음**
- **강원권은 하천길이, 급경사지 비율, 산사태위험지역 비율이 높게 나타났으며, 침수에 취약한 단독주택 비중이 높음**
- **호남권은 산사태위험지역 비율이 매우 높으며, 침수에 취약한 단독주택 비율이 가장 높음**
- **영남권은 산사태위험지역 및 불투수지역 비율이 높으며, 평가대상 중에서는 폭우재해에 취약한 시민의 비중이 높음**

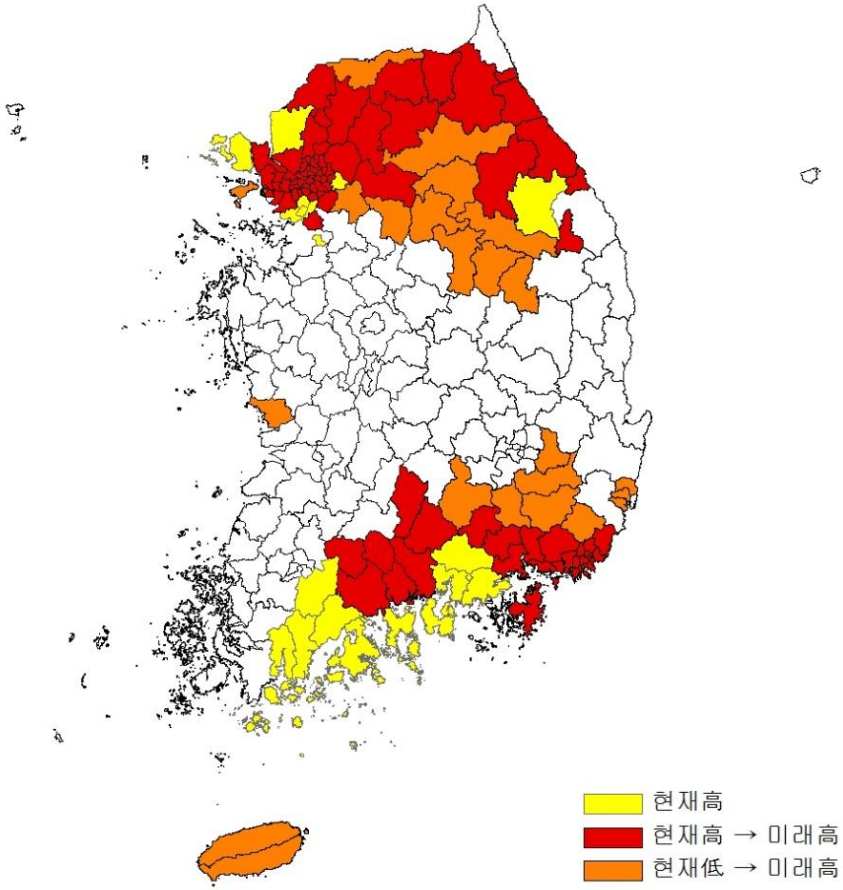
구분	기후노출		잠재취약지역					평가대상			
	현재	미래						시민		건축물	
	연평균 80㎜/일 이상 강수일수(일)	연평균 80㎜/일 이상 강수일수(일)	하천길이(m)	지자체 평균고도이하 면적비율(%)	급경사지 면적비율(%)	산사태 위험지역 면적비율(%)	불투수지역 면적비율(%)	65세이상 노인 및 6세 미만 어린이	기반시설 면적비율(㎡/㎡)	단독주택(호/호)	반지하주택(가구/가구)
전국(88개)	2.515	1.447	21,279	0.604	0.009	0.002	0.175	37,002	0.046	0.448	0.016
수도권(48개)	3.090	1.771	31,359	0.647	0.003	0.001	0.420	56,089	0.136	0.207	0.063
강원권(5개)	2.967	1.860	128,759	0.546	0.046	0.003	0.010	14,506	0.002	0.593	0.003
호남권(7개)	3.071	1.243	10,931	0.495	0.005	0.004	0.036	21,753	0.008	0.717	0.001
영남권(28개)	3.328	2.254	17,547	0.592	0.007	0.003	0.245	52,384	0.043	0.412	0.004

주1) 각 비율은 지자체 행정구역 면적에 의한 비율임
주2) 음영은 권역별 평균 지표값이 전국 평균값 이상임을 표시함

❖ 폭우재해에 대한 미래 취약 여건 변화

- 폭우재해에 대해 전국 평균 이상으로 취약한 지역은 현재 108개(수도권·영남권 집중)에서 미래 111개 (수도권·영남권 집중)로 다소 증가하고, **현재와 미래 모두 취약한 지자체는 88개로 대부분 취약지역이 변하지 않음**
- **현재는 취약하지 않지만 미래에 취약해지는 지자체는 23개로, 영남권, 강원권의 비중이 높음**(특히, 강원 내륙, 경남 내륙 지역임)

<폭우재해에 대한 현재高 취약성과 미래高 취약성 지자체 현황>



< 현재高 취약성과 미래高 취약성에 대한 권역별 지자체수>

(단위 : 개수)

구분	현재高	미래高		현재高 ↓ 미래高	현재低 ↓ 미래高
전국	108	111	▲	88	23
수도권	56	51	▽	48	3
강원권	11	15	▲	10	5
충청권	-	3	▲	-	3
호남권	11	4	▽	4	-
영남권	30	36	▲	26	10
제주권	-	2	▲	-	2

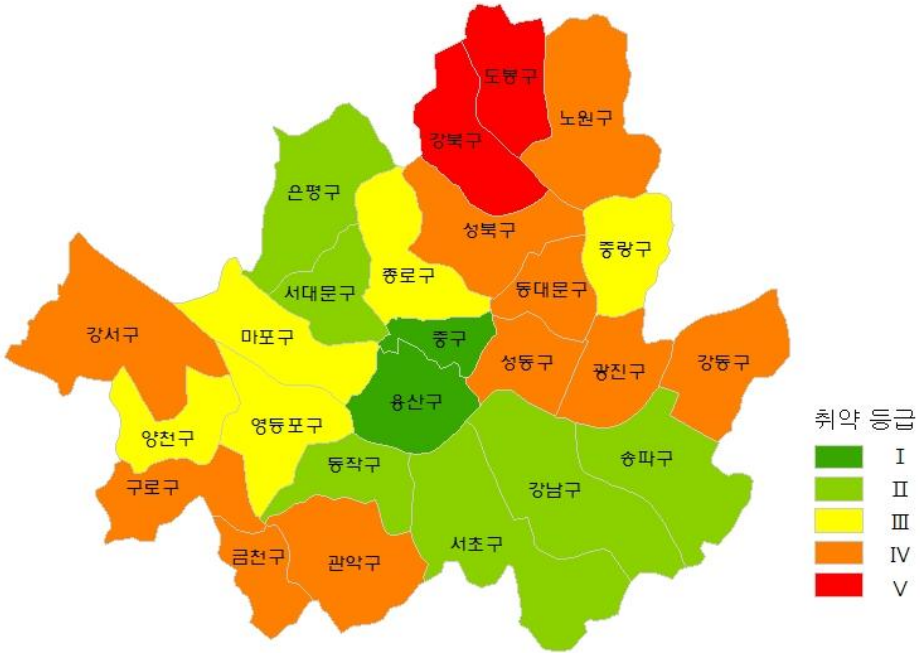
주1) 高, 低는 취약성 표준화지수 값이 전국 평균값 이상, 미만임을 표시함
주2) ▲, ▽는 현재에 대한 미래 취약지역 개수의 증감을 표시함

3. 서울시 기후변화 폭우재해 취약성 분석 및 특성

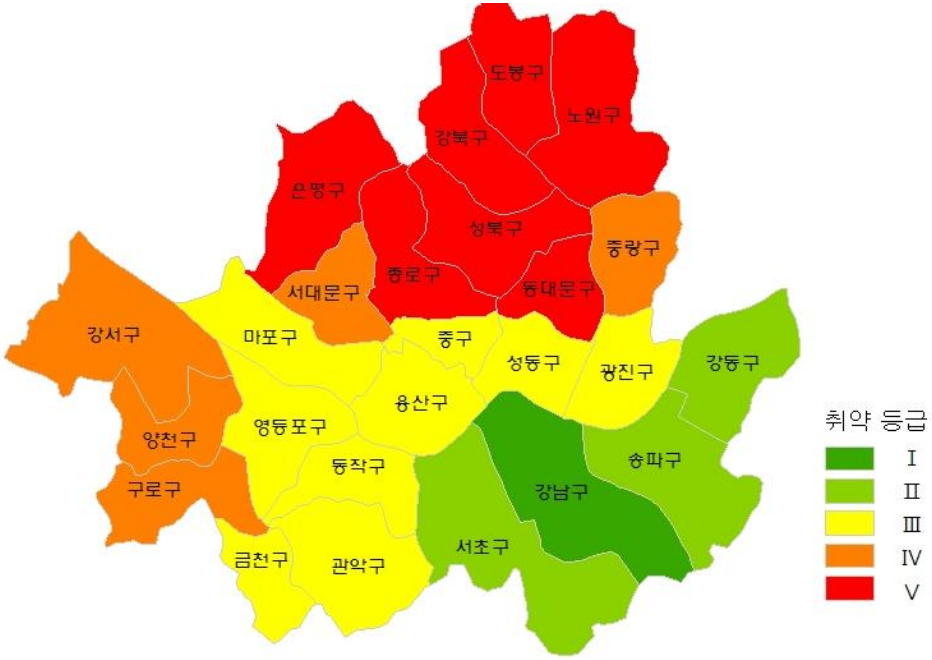
❖ 기후노출

- **현재**는 서울시 25개 지자체 중 **12개(48%) 지자체가 폭우에 대한 기후노출 취약지역 (Ⅳ, Ⅴ등급)으로 분석**되었으며, **서울 동북지역과 서남지역 일부**가 상대적으로 폭우에 대해 기후노출이 높음
- **미래**에는 동북지역에서 **북부지역 전체로 기후노출 취약지역이 확대**되며, 서남지역의 취약성은 유지

<기후노출 : 현재>



<기후노출 : 미래(2100년)>

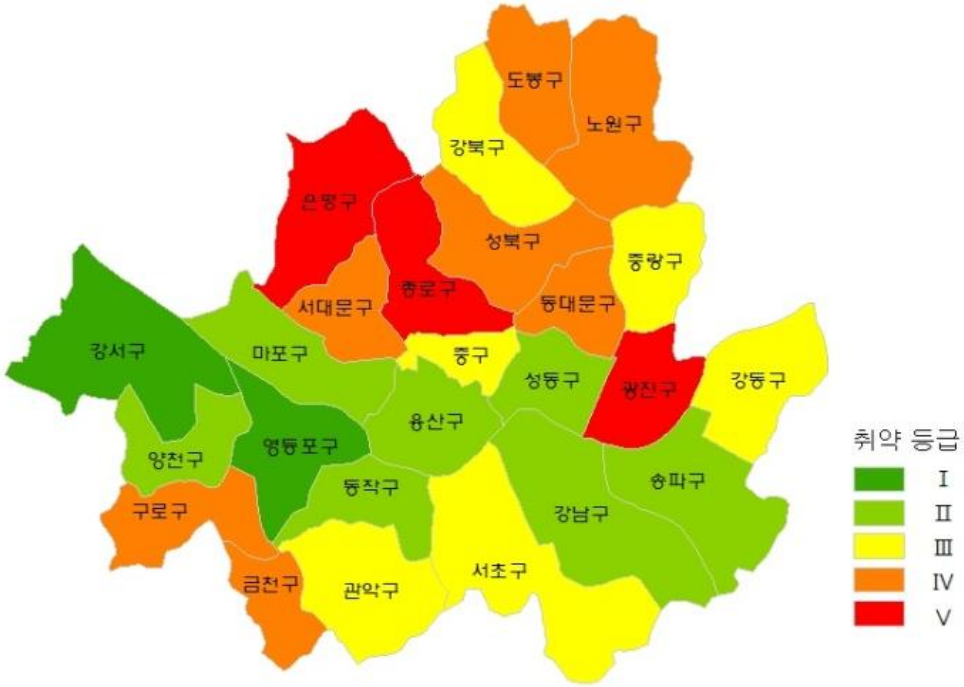


❖ 잠재취약지역

- 서울시 25개 지자체 중 10개(40%) 지자체가 잠재취약지역 Ⅳ, Ⅴ등급으로 분석
- **서울시 북부지역**의 비중이 높게 나타났으며, **서남지역 일부**도 취약

〈하천길이〉

〈폭우재해 잠재취약지역〉

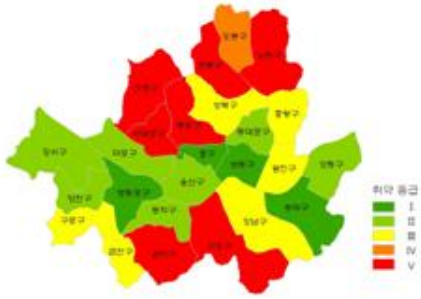


〈지자체평균고도이하면적비율〉

〈불투수면적비율〉

〈급경사지면적비율〉

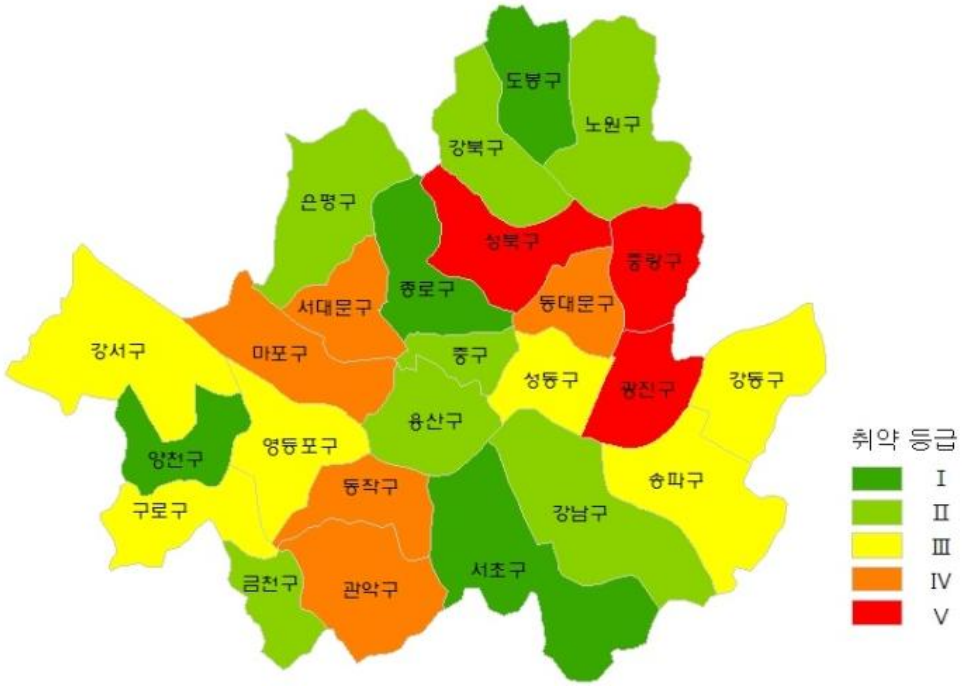
〈산사태위험지역면적비율〉



❖ 평가대상

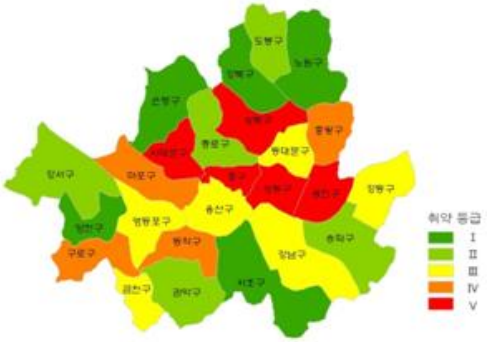
- 폭우재해 평가대상 Ⅳ, Ⅴ등급 지역은 서울시 8개(32%) 지자체로 나타났으며, **중북부지역**의 비중이 높고, 남부지역 일부도 취약

〈폭우재해 평가대상〉



〈시민〉

〈도시기반시설〉



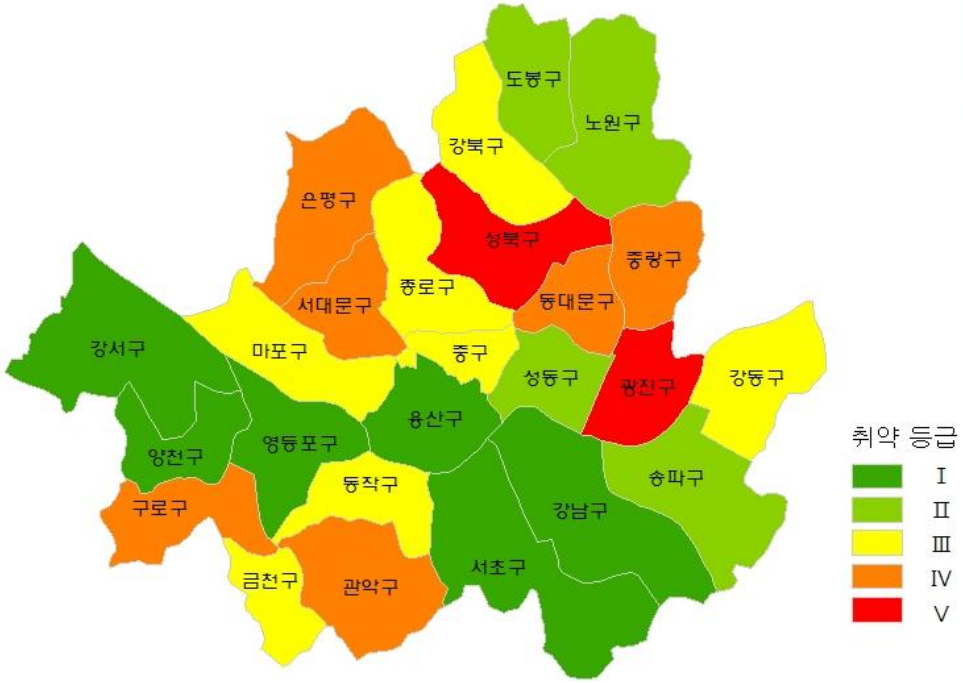
〈건축물〉

❖ 도시민감도

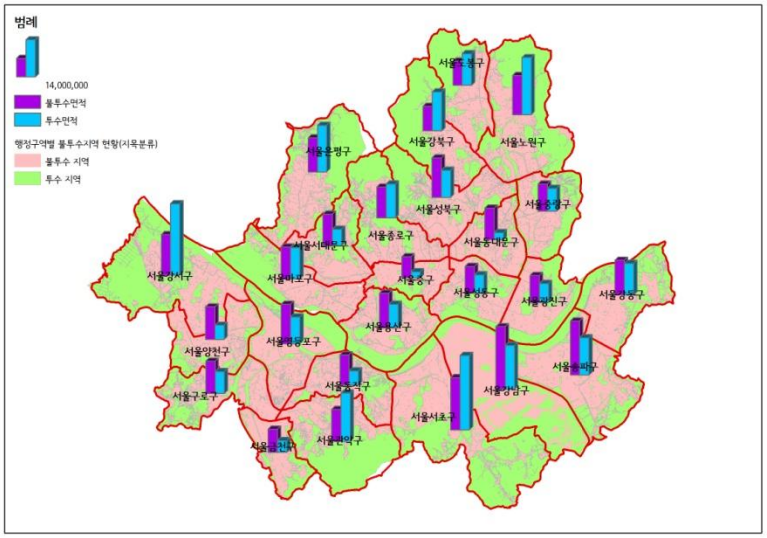
- 도시민감도 취약지역(Ⅳ, Ⅴ등급) 은 서울시 8개(32%) 지자체로 나타났으며,

  중북부지역, 남부지역 일부 취약

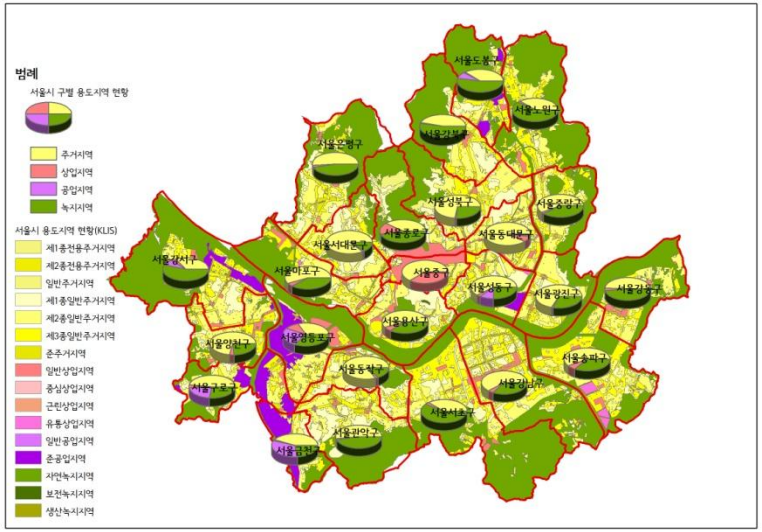
<폭우재해 도시민감도>



<불투수면적>



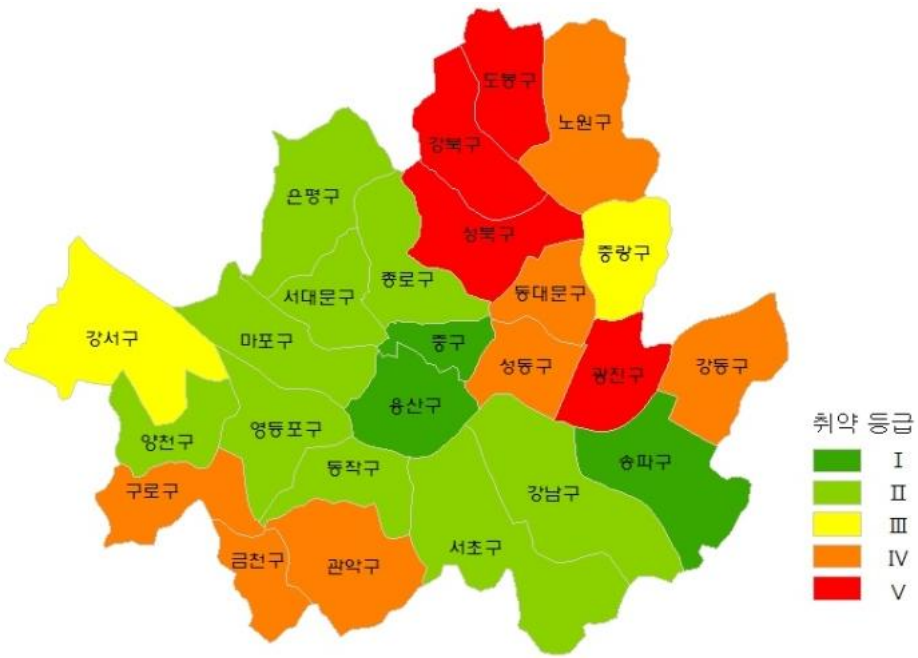
<용도지역>



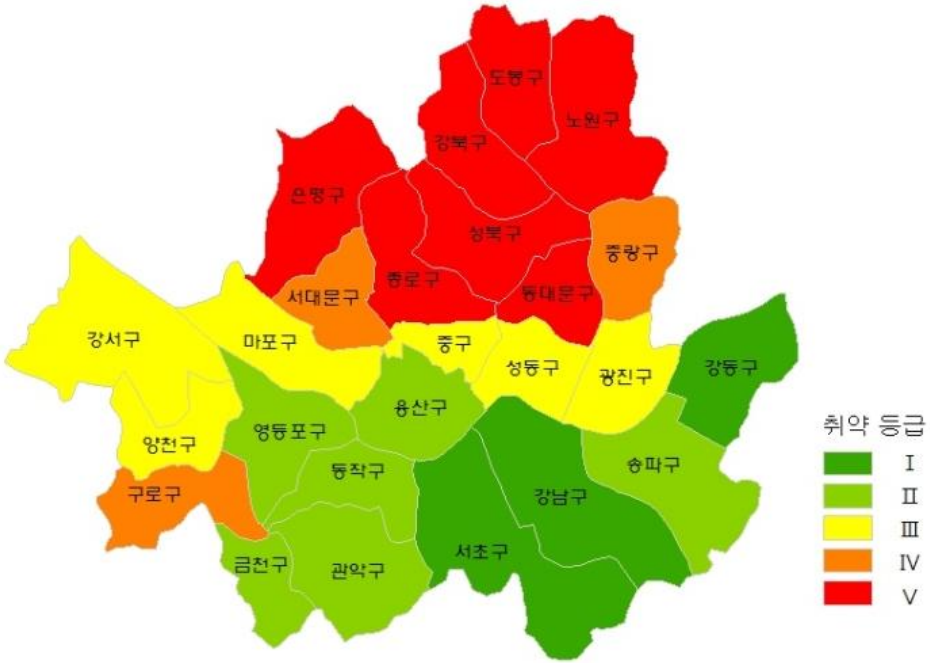
❖ 서울시 폭우재해 취약성

- 현재는 서울시 25개 지자체 중 **11개(44%) 지자체가 폭우재해 취약지역(Ⅳ, Ⅴ등급)으로 분석**되었으며, 서울시 **동북지역과 서남지역 일부가 폭우에 상대적으로 취약**
- **미래**에는 서울시 **동북지역에서 북부지역 전체로 취약성이 확대**되며, **서남지역의 취약성은 다소 축소**

<폭우재해 취약성 : 현재>



<폭우재해 취약성 : 미래(2100년)>



❖ 서울시 폭우재해 취약지역(취약성 Ⅳ, Ⅴ등급) 원인분석

- **현재 기후노출은 모든 취약지역이 서울시 평균보다 높으며**, 미래는 대부분의 북부지역이 전국 평균에 비해 높게 나타남
- **광진구**는 저지대, 산사태위험지역, 불투수지역 비율이 높고, 침수에 취약한 기반시설, 단독주택 및 반지하주택의 비중이 높음
- **성북구**는 저지대, 산사태위험지역, 불투수지역 비율이 높으며, 폭우재해에 취약한 시민, 기반시설, 단독주택 비중이 높음
- **강북구**는 급경사지 및 산사태위험지역 비율이 매우 높으며, 침수에 취약한 단독주택 및 반지하주택의 비율이 높음
- **도봉구**는 저지대, 급경사지 및 산사태위험지역 비율이 매우 높음

구분	기후노출		잠재취약지역					평가대상			
	현재	미래						시민		건축물	
	연평균 80㎜/일 이상 강수일수(일)	연평균 80㎜/일 이상 강수일수(일)	하천길이(m)	지자체 평균고도이하 면적비율(%)	급경사지 면적비율(%)	산사태 위험지역 면적비율(%)	불투수지역 면적비율(%)	65세이상 노인 및 6세 미만 어린이	기반시설 면적비율(㎡/㎡)	단독주택(호/호)	반지하주택(가구/가구)
서울시	3.29	1.80	5,284	0.654	0.002	0.001	0.571	56,002	0.175	0.184	0.088
성동구	3.48	1.70	1,850	0.674	0.000	0.000	0.627	44,971	0.266	0.192	0.084
광진구	3.46	1.60	0	0.836	0.001	0.001	0.751	45,786	0.305	0.271	0.150
동대문구	3.38	2.20	9,896	0.696	0.000	0.000	0.776	54,239	0.192	0.274	0.092
성북구	3.59	2.20	0	0.714	0.001	0.001	0.739	73,399	0.267	0.244	0.080
강북구	3.87	2.20	0	0.633	0.008	0.002	0.356	54,340	0.054	0.256	0.133
도봉구	3.94	2.20	2,995	0.710	0.009	0.001	0.435	52,546	0.104	0.110	0.081
노원구	3.63	2.20	0	0.718	0.004	0.002	0.403	83,715	0.079	0.050	0.030
구로구	3.48	1.90	6,200	0.698	0.000	0.001	0.690	60,495	0.253	0.136	0.052
금천구	3.50	1.60	7,200	0.717	0.002	0.001	0.671	33,295	0.168	0.223	0.106
관악구	3.41	1.60	8,941	0.657	0.001	0.002	0.421	70,143	0.120	0.235	0.115
강동구	3.60	1.40	46,800	0.530	0.000	0.000	0.515	60,468	0.169	0.122	0.107

주1) 각 비율은 지자체 행정구역 면적에 의한 비율임

주2) 음영은 권역별 평균 지표값이 전국 평균값 이상임을 표시함

Ⅲ. 기후변화에 따른 도시의 폭우재해 대응방안

✓ 기후변화에 따른 폭우재해 대형화 대응방향

시민자율방재 및 대피체계 구축 등
도시계획 · 설계를 통한 종합적 대응능력 제고
재해 예 · 경보시스템 대응능력 향상
재해취약지역을 중심으로 방재시설물 기준 상향

재해 예 · 경보시스템

우수유출저감시설(저류지 등)

하천/하수도/펌프장 등 전통적인 방재시설물

유출감소

하천 · 하수도
부하경감

기후변화에 따른
재해규모 증가

기존재해 규모

재해규모

재해대책

1. 기존 방재시스템을 토탈방재시스템으로 확대 · 전환 필요

❖ 기후변화 영향으로 폭우재해 대형화·일상화 되고 있어 도시의 모든 구성요소가 대응하여 위험을 분담하는 토탈방재시스템 구축 필요

- **하천, 하수도 등 전통적인 방재시스템과 병행**하여 **도시의 토지이용-기반시설**(공원, 녹지, 도로 등) **- 단지-건축물-시민 등이 모두 연계·대응하는 시스템 구축**

➡ **공간계획을 활용한 종합적 대응을 통해 도시 토탈방재시스템 구축**

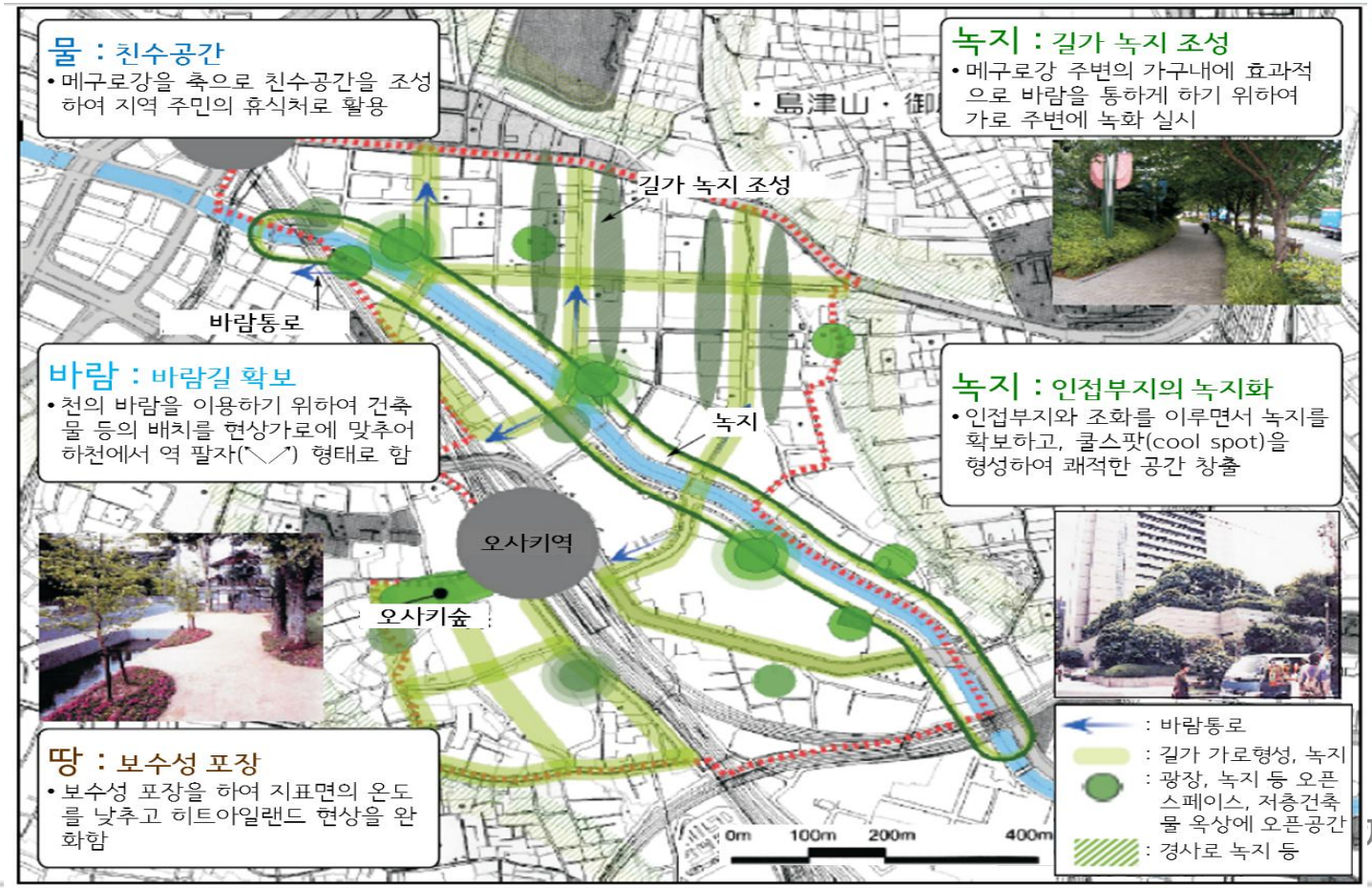
- 상습침수지역 등 **재해취약지역은 가급적 개발을 억제**하고 **보전계 용도지역으로 지정**
- 재해취약지역이지만 개발로 인한 편익이 큰 지역에 대해서는 **시가지 정비사업과 연계하여 재해위험 경감**
- 하천변, 해안변, 급경사지 주변지역 등 **재해취약지역은 적정공간 이격(set-back)**하여 **재해위험을 근원적으로 방지**
- **단지조성시 저영향개발**(LID, Low Impact Development), **지속가능도시배수체계**(SUDS, Sustainable Urban Drainage System), **바람길, cool spot** 등을 적용하여 **도시 열섬현상 완화** 및 **물순환도시 조성**
- **상습침수지역내 건축물은 필로티 구조 및 저류지 설치, 옥상 및 벽면 녹화 시행**

< 도시의 폭우재해 대비 토탈방재시스템 예시 >

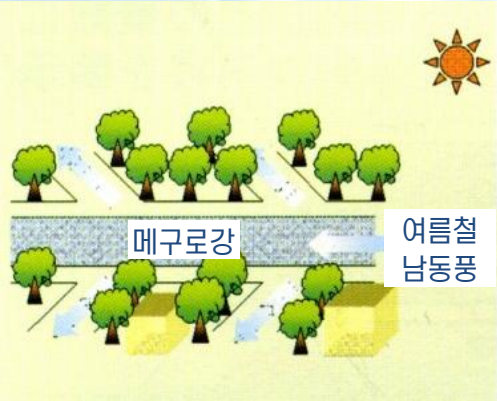
✓ 도시재정비를 통한 종합적 대응 사례 : 동경 시나가와구(水, 土, 緑 기법 적용)

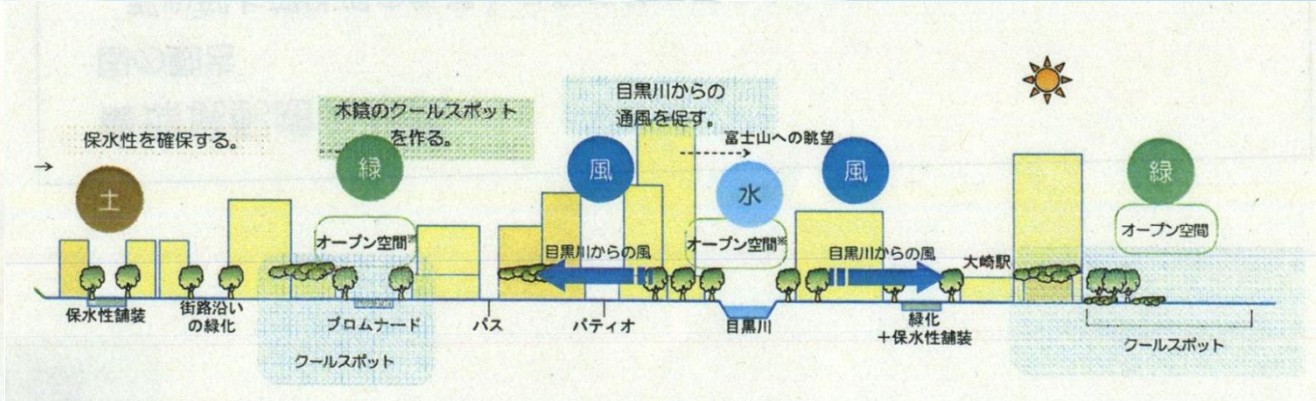
- 공장 이전적지 등 오사키역 주변지역 **도시재생과 연계**하여 **메구로강을 활용한 바람길 확보 및 도시 열섬 완화**
  - 도쿄만의 남동풍은 메구로강을 따라 올라오기 때문에 **건축물, 도로 등을 역팔자(↖↗) 형태로 배치, 강 가로 주변 녹지 조성, 건물 옥상·벽면 녹화, 보수성 포장** 등을 통해 지표면 온도 낮춤
  - 점진적인 지구 개발시 자투리 녹지 등을 막기 위해 **소규모 개발지를 통합**하여 cool spot(**녹지, 광장 등 오픈스페이스**) **조성**

< 메구로강을 활용한 바람길 확보계획 >



< 메구로강을 활용한 바람길 확보 및 水, 土, 緑 기법 적용 개념도 >

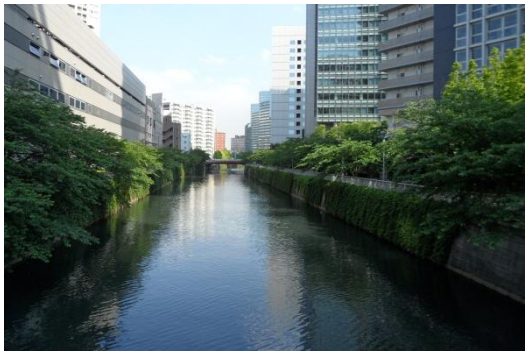




< 메구로강을 활용한 친수공간 조성 >

< 거리 녹화 >

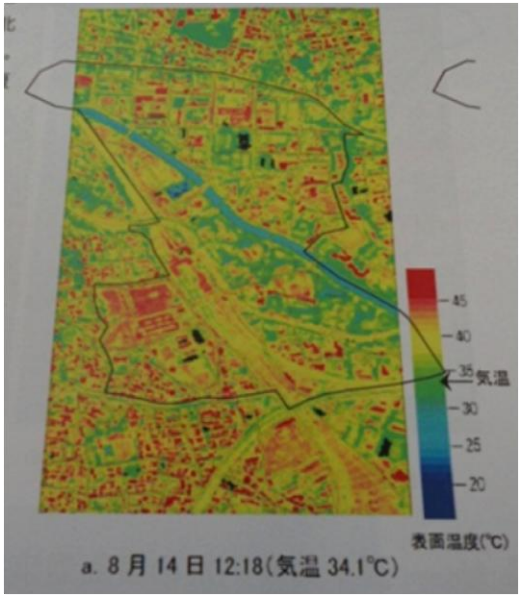
< 호안 녹화 >



< 투수성 포장 >

< 건물 벽면 녹화 >

< 메구로강 주변 온도 분포 >



✓ 도시재정비를 통한 종합적 대응 사례
: 도쿄 아라카와구(수퍼제방 도입)

- 스미다강변 저지대 연약지반에 주 ·상 ·공업지역이 혼재하여 밀집된 지역에 **수퍼제방을 조성**하여 **홍수에 대응, 수변환경 향상, 지진에 강한 시가지 형성**

< 수퍼제방 정비(스미다강) >

- 평성 7년(1995년) 1월에 발생한 한신아와지 대지진에 의한 하천시설 피해를 교훈삼아 **제방, 수문 등의 내진강화**, 해발 0m 이하 **저지대에 외곽제방, 수문 등의 대책** 마련

< 제방의 내진대책 >

✓ 분산 ·점진적 도시정비를 통한 물순환형 도시 조성 사례 : 오레곤주 포틀랜드시(LID 적용)

- 도시화로 인해 증가되는 **도시침수, Wilamette River 범람 등**에 의한 피해와 비점오염 저감을 위해 **다양한 LID 프로그램을 점진적 실행**
- 빗물정원, 생태저류지, 옥상녹화, 생태수로, 지붕홈통 분리 등 다양한 LID 기법 적용

< 생태수로 >

< 생태저류지 >

< 도로변 저류 >

< 옥상녹화>

< Treebox >

✓ 도시재정비를 통한 종합적 대응 사례 : 영국 바킹 & 대거넘 자치구

- 영국 런던 동부 템즈강 하구에 위치한 Barking & Dagenham 지역은 **폭우, 폭염, 가뭄이 주요 위험요소**로 분석됨에 따라 **도시재생시 SUDS, 옥상녹화 등을 적용하여 도시열섬 완화, 폭우·폭염·가뭄에 통합적 대응**
- 하천변 저지대 보호를 위한 40% 이상의 오픈스페이스, 옥상녹화, 빗물저장시설 설치

< 사업예상도>

< 생태저류지>

< 놀이이설과 결합된 저류시설>

< 인공습지>

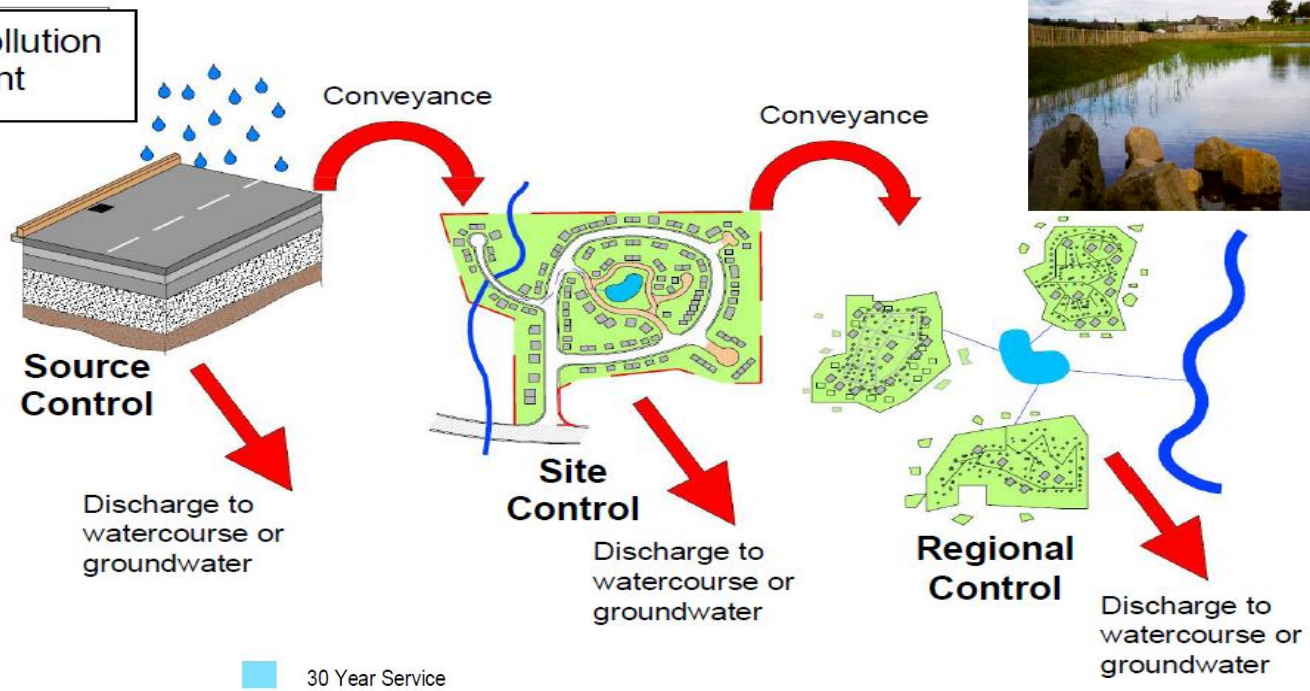
< 단지 내 저류시설>

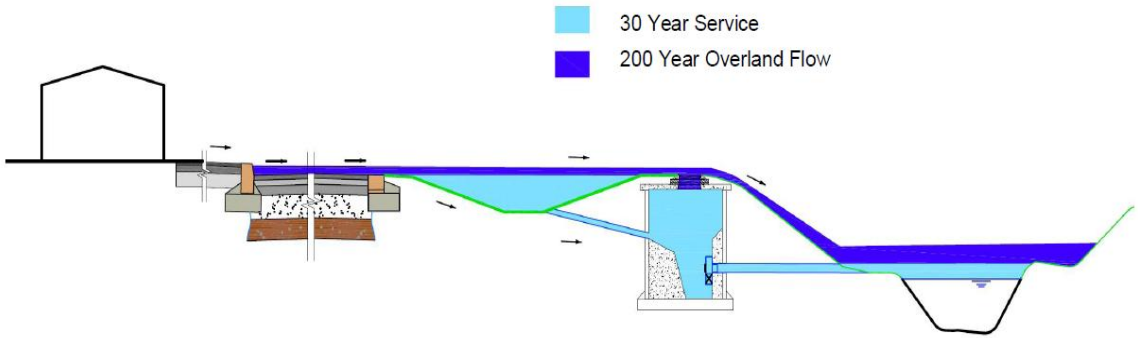
< 단지 내 전경>

✓ 영국의 지속가능도시배수체계(SUDS)

- **SUDS의 주요 실천수단** : 투수성 포장, 생태수로, 생태저류지, 연못 및 습지 등(지상)/침투트렌치, 관거 등(지하)

  ※ LID는 발생원 중심이지만 SUDS는 "건물관리-발생원관리-지구관리-지역관리" 등 유출경로 전반에 걸쳐 관리하는 시스템임

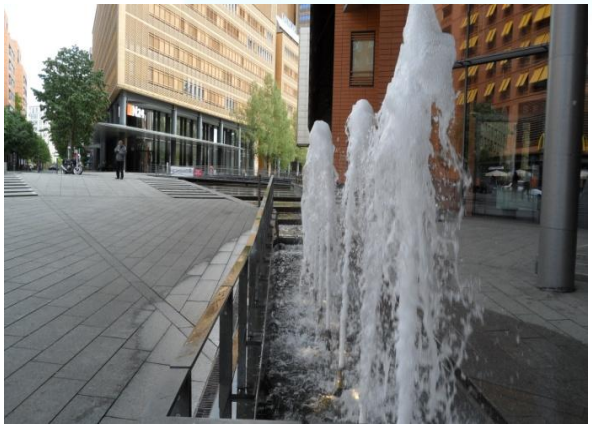




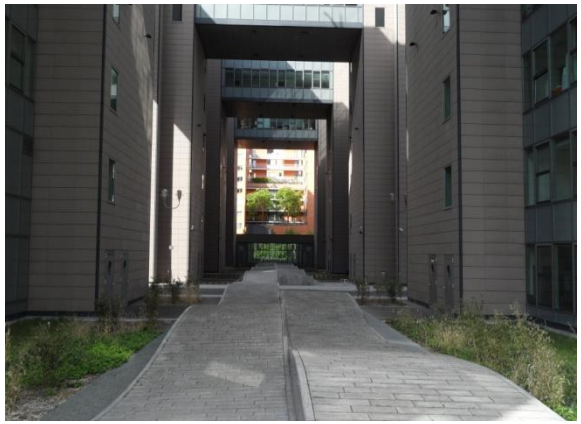
✓ 지구단위계획을 통한 종합적 대응 사례 : 독일 베를린 포츠담 광장(우수저류시스템 구축)

- 포츠담광장 우수저류시스템은 **홍수시 우수를 저류**하여 하천의 부하를 줄이고, **수환경을 조성**하여 **여름철 온도를 낮추거나 습도 조절 등 도시 미기후 조성, 도시 에메니티 공간 창출 및 오픈스페이스 확보** 등의 목적을 가짐

< 포츠담 광장 내 우수 저류 및 수환경 >



< 포츠담 광장 내 오픈스페이스 이용 및 옥상녹화 >



✓ 도시개발을 통한 종합적 대응 사례 : 독일 프라이부르크 리젤펠트(바람길, 우수관리시스템 등)

- 질적으로 우수한 주거환경을 목표로 조성된 도시로, **녹지 및 오픈스페이스, 생태수로 등을 활용**하여 **바람길 조성, 분산식 우수관리시스템 구축, 건축물의 높이, 방향, 배치** 등을 통해 폭풍에 대비

< 리젤펠트 전경 >

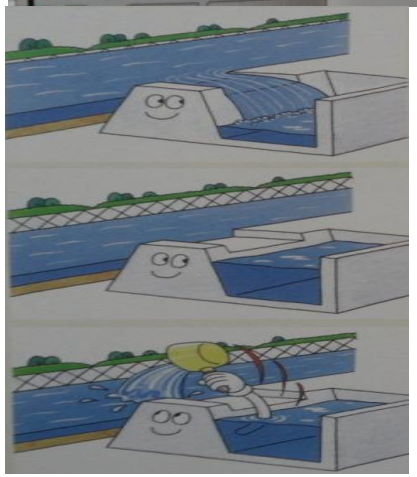
< 생태 수로 >

< 도시 녹화 >

< 주택 우수 침투 및 배수로 >

✓ 지구단위계획/하천계획 연계 사례 : 도쿄 시나가와구(지하 홍수조절지 조성)

- 시장이전에 따라 시장적지의 활용 및 주변 시가지의 계획적인 정비를 유도하여 주택, 상업, 업무, 도시산업 등 복합시가지 형성 및 **상습침수피해 대비를 위한 지하 홍수조절지 조성**
- 도쿄도 **하천부서**에서 시장적지에 침수피해 대책으로 **메구로강변 에바라조절지 계획**
- 시나가와 **도시개발과**에서 **지구단위계획 수립 ·결정**(1996.5) : 하천부서의 **에바라 홍수조절지 계획 ·반영**
- **도영주택 지하에 홍수조절지 설치**, 설계용량 : 20만㎥, 사업기간 : 1991.9 ~2002.9



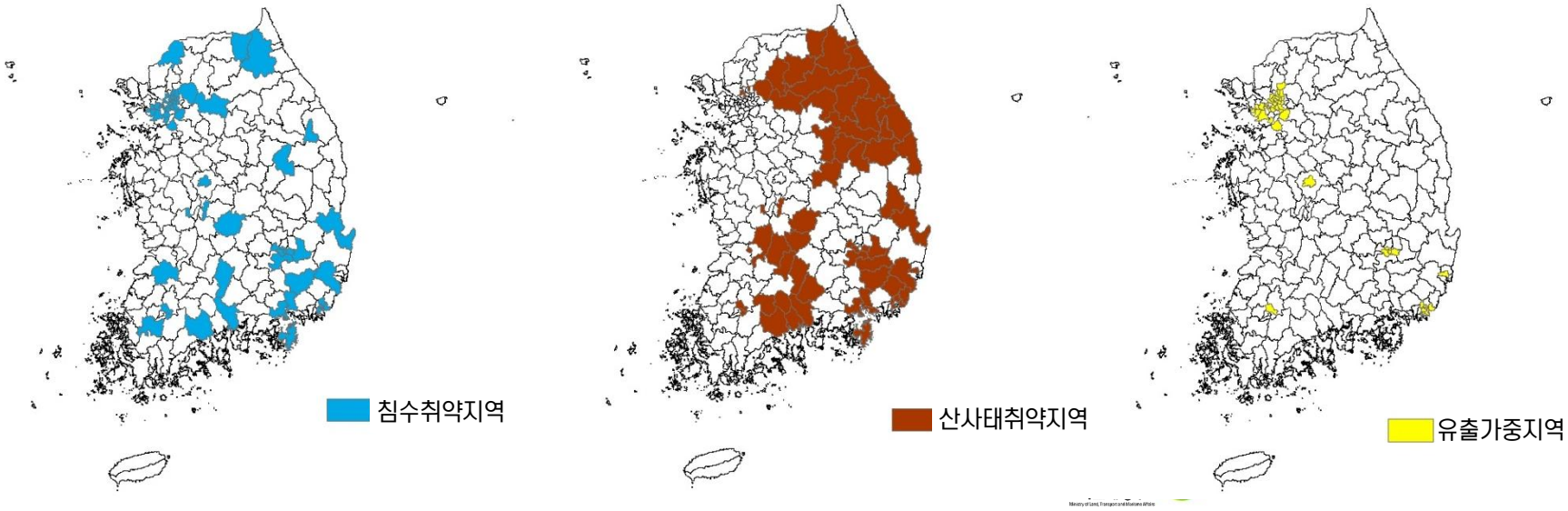
2. 지역별 취약특성을 고려한 맞춤형 적용대책 마련

❖ 잠재취약지역 지표와 연계하여 지역을 유형화하고, 지역 유형별 취약특성을 고려한 맞춤형 적응대책 마련 및 도시구성요소(시민, 기반시설, 건축물 등)에 대한 개선사업 발굴

< 폭우재해 잠재취약특성을 고려한 지역 유형화 예시 >

폭우재해 잠재취약지역 지표	하천길이	지자체평균고도 이하면적비율	급경사지 면적비율	산사태위험지역 면적비율	불투수지역 면적비율
폭우재해 잠재취약특성	하천범람피해	내수침수피해	산사태피해	산사태피해	우수유출 가중
지역 유형화	침수취약지역		산사태취약지역		유출가중지역

< 폭우 잠재취약지역(Ⅳ, Ⅴ등급)에 대한 지역 구분 예시 >



✓ 폭우재해에 대한 지역 유형별 취약특성을 고려한 개선사업 예시

■ 침수취약지역 / ■ 산사태취약지역 / ■ 유출가중지역

구분	적응사업	지역 유형	적응사업	지역 유형
자연자원 활용사업	• 녹지축 확보사업(공원 ·녹지, 산림 등 활용) • 수변축 조성사업(하천, 자연적인 우수유출경로 등 활용) • 바람길 조성사업(하천, 계곡, 가로수 등 활용, cool spot(오픈스페이스) 확보)	■ ■ ■ ■ ■ ■	• 광역 방재거점 및 방재축 조성사업(간선교통, 공원 ·녹지, 하천 등 활용) • 하천변 및 연안 완충지대 조성사업(공원 ·녹지, 방풍림 등) • 기후변화를 고려한 적합한 수종 선정 및 식재사업	■ ■ ■ ■
시가지 정비사업	• 도시물순환정비사업(SUDS 적용 등) • 반복적 재해발생지역 시가지 재생사업(상습침수지역 등)	■ ■ ■	• 도시열섬지역(hot spot) 관리 및 정비사업	
기반시설 정비사업	• 분산식 우수관리시스템 구축사업(LID 적용 등) • 하천 수방능력 제고사업(제방승고, 강변저류지, 준설 등 통수능력 확대) • 복개하천 복원사업 • 방조시설 정비사업(해안방호벽, 방파제, 해안침식방지 등) • 사방시설 정비사업 • 우 ·오수 처리 및 재활용 사업 • 용출수 및 지하수 보전사업 • 하수도 용량 증대 및 저류사업	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	• 도로 재해개선사업(투수성 ·차열성 및 태양광반사포장, 지하저류지 등) • 도로 결빙방지사업(우 ·오수, 지하수, 폐열 등 활용) • 도로변 급경사지 스노우펜스(snow fence) 설치사업 • 절개지(산사태위험지역 등) 생태녹화사업 • 도시공원 내 저류시설 설치사업 • 도시하천 유역종합치수계획 수립사업	■ ■ ■ ■ ■ ■
건축물 정비사업	• 침수대비 필로티(piloti) 건축사업 • 옥상 및 벽면녹화사업 • 자연적 ·인위적 캐노피(canopy) 조성사업 • 패시브 냉 ·난방시스템 구축사업	■ ■ ■	• 우수, 하천수 등을 이용한 냉 ·난방시스템 구축사업 • 중수도시스템 설치사업(생활하수, 우수 등 재활용) • 건축물 빗물차단시설 설치사업	 ■
시민 보호사업	• 침수흔적지도 작성 ·보급사업 • 기후변화 재해취약성등급지도 작성 ·보급사업 • 주민대피지도 작성 ·보급사업	■ ■ ■	• 대피소 및 대피로 확보사업 • 재해약자 조사 및 관리사업(재해약자 현황파악, 대피도우미 지정 등)	■ ■

3. 기후변화 영향을 고려한 도시기반시설 방재기능 강화

❖ 재해취약지역을 중심으로 상·하류 영향을 고려하여 하천, 하수도 등의 설계용량을 상향 조정

- **재해취약지역** 중 인구가 밀집되어 있거나 반드시 보호해야 되는 **중요한 곳은 지역특성을 고려하여 대규모 우수관로, 지하하천 등의 대책 마련**

❖ 기후변화 재해 취약성 분석에 따른 재해취약지역을 고려하여 도로, 철도 등 도시기반시설 배치

❖ 재해저감에 효과적인 도시기반시설에 방재기능을 부여하여 주변지역에 재해경감

- 공원, 녹지, 공공청사, 학교 등 **공공시설을 중심으로 본연의 기능 이외에 우수저류 및 침투기능 부여**

❖ 재해취약지역 내 도로, 광장 등 불투수 포장으로 주역지역에 재해위험을 가중시키는 시설에 대한 방재기준 강화

- **저지대 주거지 등으로 노면수 유입 우려**가 있는 경우에는 **해당 시설물 설치자가 지하저류지 등 설치**

✓ 기후변화 대응을 위한 도시기반시설 방재기능 강화 사례 : 일본 후쿠오카시(레인보우 플랜)

※ 레인보우 플랜 : 집중호우에 대비한 치수 및 침수대책에 의해 시민의 생명, 재산, 안전·안심 생활을 지키고 무지개를 즐길 수 있는 도시로 만들고 싶다는 마음을 담은 빗물처리긴급계획

● 개요

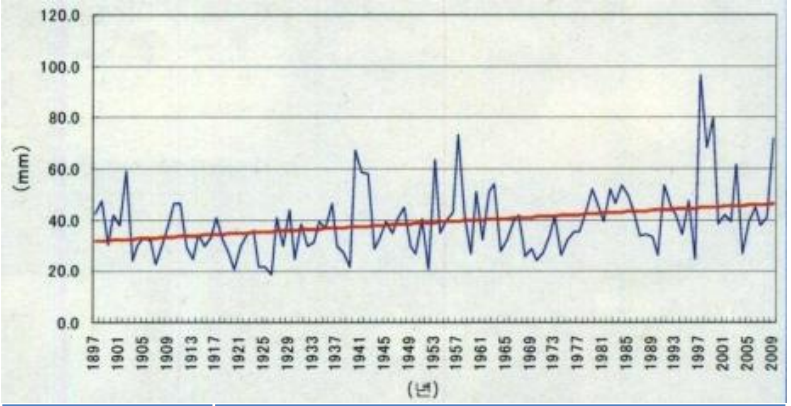
- 후쿠오카시는 최근 집중호우로 인해 시의 2대 도시 중심부인 하카타역지구, 덴진지구를 비롯한 시내 곳곳에서 막대한 수해가 발생하여 **종합적인 수해대책 및 기후변화에 대비한 새로운 침수대책** 추진

● 후쿠오카시 주요 수해현황

구분	후쿠오카 시내 침수피해 건물수		
	방바닥 위	방바닥 아래	합계
2009.7.24	256	868	1,124
2003.7.19	909	850	1,759
1999.6.29	1,024	2,137	3,161
1997.7.28	48	765	813
1991.6.10	106	402	508
1985.6.29	80	683	763
1980.8.31	1,219	3,437	4,656
1979.7.2	429	2,933	3,362
1973.7.31	3,875	14,106	17,981

※ 방바닥 높이가 40㎝ 정도임

< 후쿠오카 1시간 최대 강수량(1987~2009) >



구분	1시간 최대 강우량(㎜)		
	후쿠오카	다자이후	하카타
2009.7.24	72	84	116
2003.7.19	20	104	-
1999.6.29	80	77	-

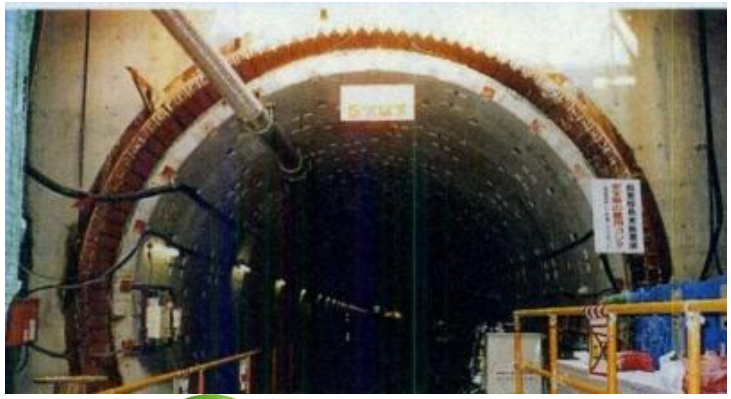
- 후쿠오카시 종합적인 수해대책
  - **하천개수** : 하도정비
  - **유역대책** : 저수지를 홍수조절지로 전용, 하수도 정비(빗물처리)·유수지 정비, 빗물 저류관 정비, 침수 배수로, 투수성 포장 정비, 호별 빗물저류시설에 대한 보조
  - **피해경감대책** : 홍수 해저드맵 작성·공표, 강우량, 하천수위 등 정보 제공
- 후쿠오카시 하수도의 빗물처리긴급계획(2000년)
  - (목적) 지역을 중점화한 긴급적인 빗물처리계획을 조속히 추진하여 침수피해 경감
  - (기본방침) 이전부터 실시하고 있는 빗물배수시설 정비에 추가하여 할 수 있는 곳부터 가능한 대책을 조기에 실시해서 침수피해 경감
  - **(처리수준 상향) 52.2㎜/hr(5년 빈도 강우) → 59.1㎜/hr(10년 빈도 강우)**

    ※ 삿포로시 34.2㎜/hr(10년 빈도 강우)
  - **(중기대책) 빗물간선 배수로 정비**, 펌프장 정비
  - (단기대책) 흙자루에 의한 대응, 배수 펌프차 도입

< 배수펌프차 >

< 빗물 간선 배수로 정비 >

공사기간 10년(2012.6 완공예정), 직경 5m, 연장 1.7km
50% 국고보조



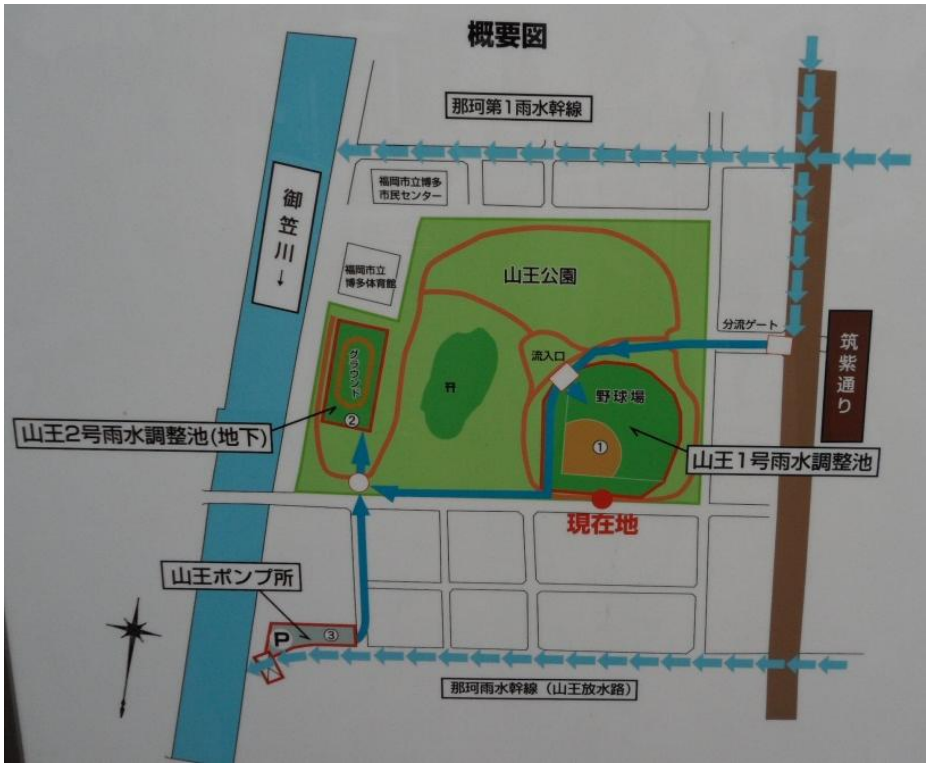
최근 수해 및 기후변화 대비 새로운 도시치수·침수대책

- 치수대책 : 미카사 강 개수(400㎥/s → 890㎥/s)

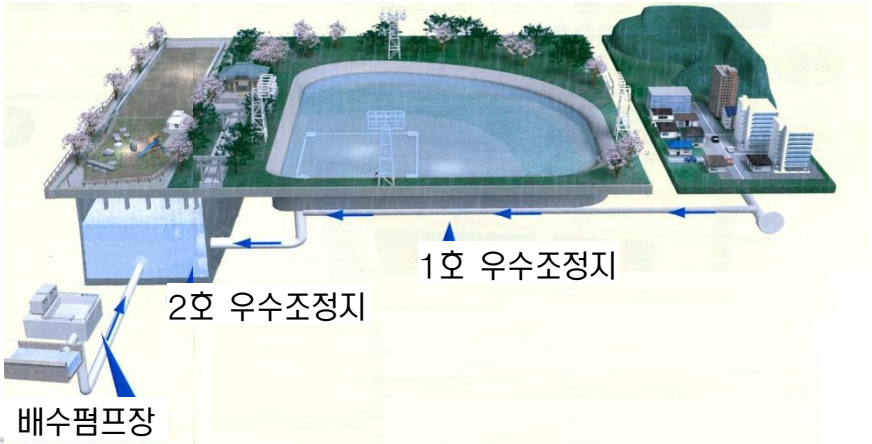
- 주요 도심지인 하카타역 주변지구의 침수대책
  - **(처리수준 상향)** 빗물처리계획 기준을 **10년 빈도 59.1㎜/hr에서 1999년 실적 강우 79.5㎜/hr 로 상향**
  - (주요 대책) 저류시설(**산노우 유수지**, 빗물저류관 등), 침투시설(침투 배수로 등)

산노우 유수지

- **공원을 활용하여 지상 및 지하 우수조정지 설치**
  - 1호 지상 우수조정지는 평상시 야구장으로 사용하고, 홍수시 우수저류시설로 사용
  - 1호 지상 우수조정지, 2호 지하 우수조정지 총 28,000㎥ 저류 가능
- 2005년 공사 완료(공사기간 3년) 후, 현재까지 2009년 집중호우로 2회 사용
- 총 사업비 26억엔, 하카타역지구긴급침수대책사업으로 추진(국고 50% 지원)



구분	저류량
1호 우수조정지	면적 : 8,900㎡ 저류용량 : 13,000㎥ / 유효수심 : 1.5m
2호 우수조정지	크기 : 78.1m×34.8m 저류용량 : 15,000㎥ / 유효수심 : 6.4m
배수펌프장	펌프능력 : 약 2.0㎥/s 저류용량 : 2,500㎥

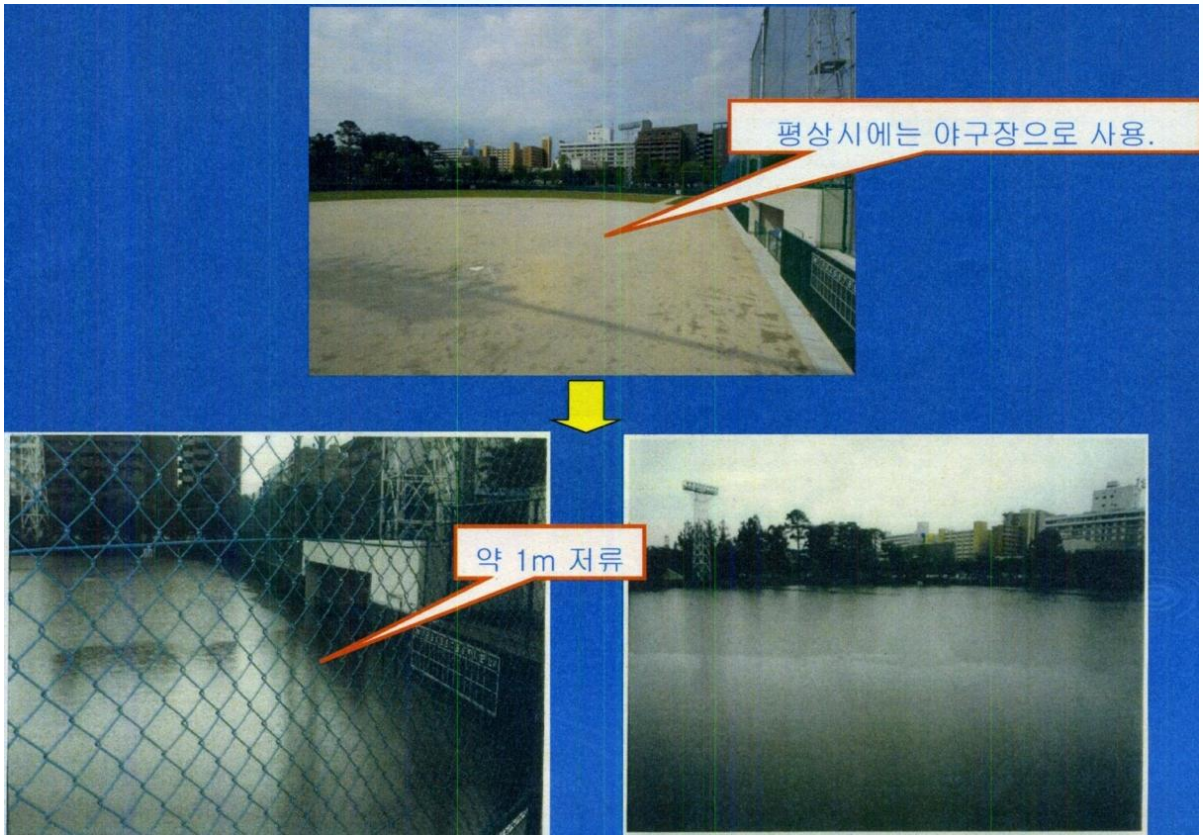


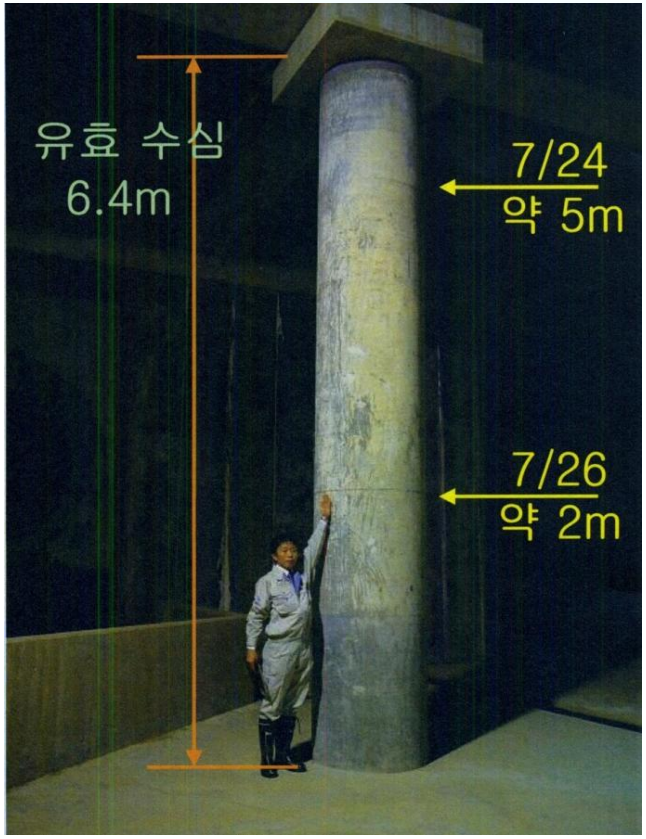
< 1호 지상 우수조정지 >

< 2호 지하 우수조정지 >

< 배수펌프장 >

- 2009년 7월 수해현황
  - 시간최대강수량 116.0㎜(7/24), 일강우량 239.5㎜(7/24)
  - 침수피해 : 방바닥 위 256호, 방바닥 밑 866호, 전체 1,122호 침수

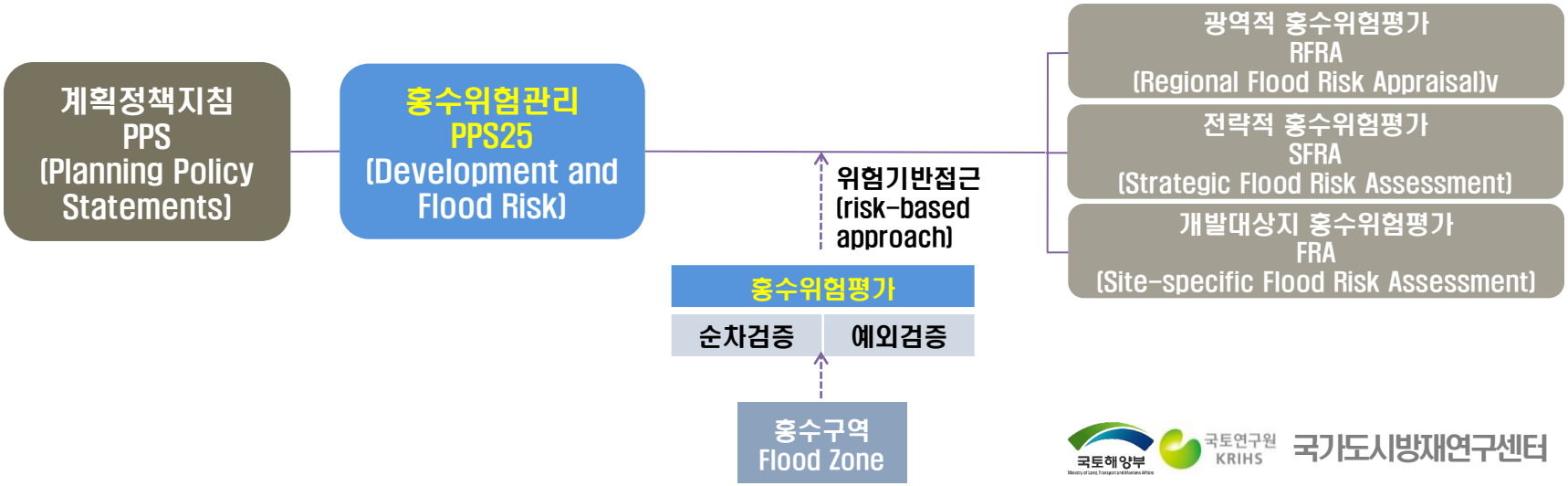




✓ 재해취약지역을 고려한 도시기반시설 배치 사례

: 영국의 국토·도시계획에서의 홍수위험관리(PPS(Planning Policy Statements) 25)

- **PPS 25**(Development and Flood Risk)는 **공간계획 수립과정에서 홍수위험을 고려**함으로써 보다 안전하고 지속가능한 개발 달성
  - 계획의 위계에 상응하여 적절한 '**홍수위험평가**'가 명확한 지침에 의해 시행
    - **순차검증과 예외검증을 통해 개발입지 및 토지이용계획에 반영**
      - ➢ 순차검증(Sequential Test) : '홍수구역(Flood zone)'에 근거하여 실시, 개발사업 후보지는 순차검증 결과 홍수위험 최소지역에 우선적으로 할당
      - ➢ 예외검증(Exception Test) : 순차검증 적용 결과 합리적 가용지가 없거나 홍수위험지역 이지만 지속가능한 개발 측면이 월등히 우세한 경우, 예외검증을 통해 엄격한 홍수위험관리 방안 마련을 전제로 하여 개발 허용



홍수구역의 구분 및 설치가능 용도 구분

- 홍수방어시설을 고려하지 않은 경우의 연간 홍수확률에 의해 구획되는 지리적 지역들로서 환경청이 제공하는 범람원지도에 근거함

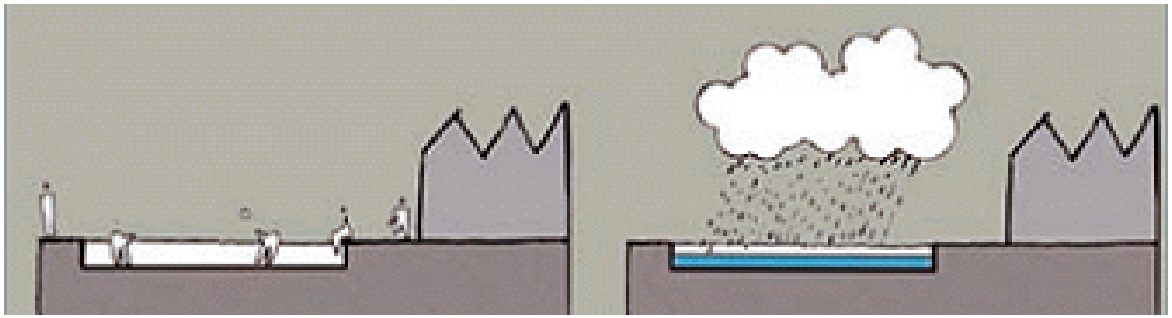
구분	홍수위험도	설치가능 용도				
		필수인프라 (Essential Infrastructure)	물과 부합하는 개발용도 (water-compatible Development)	취약도 낮음 (less vulnerable)	취약도 다소 높음 (more vulnerable)	취약도 매우 높음 (highly vulnerable)
홍수구역1 (Low Probability)	• 연간 침수확률 1/1,000 미만인 지역 • 홍수위험도 낮음	○	○	○	○	○
홍수구역2 (Medium Probability)	• 연간 침수확률 - 내륙 : 1/1,000 이상 1/100 미만 - 해안 : 1/1,000 이상 1/200 미만 • 홍수위험도가 중간 정도임	○	○	○	○	예외검증 필요
홍수구역3a (High Probability)	• 연간 침수확률 - 내륙 : 1/100 이상 - 해안 : 1/200 이상 • 홍수위험도 높음	예외검증 필요	○	○	예외검증 필요	X
홍수구역3b (Functional Floodplain)	• 기능적 홍수터(functional floodplain, 홍수발생 시 물이 흐르거나 저류되는 지역) • 연간 침수확률 1/20 이상인 지역 또는 극한 홍수(0.1%)로 설계된 지역	예외검증 필요	○	X	X	X

구분	시설 · 용도의 예
필수인프라 (Essential Infrastructure)	• 필수적인 교통시설(광역대피경로 포함), 전략적인 유틸리티시설(발전시설 등)
물과 부합하는 개발용도 (Water-compatible Development)	• 홍수통제시설 • 토석류 작업장 • 국방성(MOD)의 방위시설 • 물을 기반으로 한 레크레이션시설(숙박시설 제외) • 펌프장 및 우수이송시설 • 부두, 수운지원시설 • 수변입지가 필요한 선박관련시설, 어업관련시설 • 수상구조대시설 • 어메니티 오픈스페이스, 자연보호, 야외운동 및 레크레이션 등을 위한 필수시설 • 위 용도에 필요한 요원들을 위한 필수적인 보조주거 및 숙박시설(구체적인 예.경보 및 대피계획에 따름)
취약도 낮음 (Less Vulnerable)	• 판매, 금융, 전문서비스, 음식점, 사무실, 일반산업, 보관 및 집배송시설, '취약도 다소 높음(More Vulnerable)' 용도에 해당되지 않는 비주거시설, 여가시설 • 농업 및 임업용도에 사용되는 토지 및 건물 • 광물작업 및 처리시설(토석류 제외) • 폐기물처리시설(매립 및 유해물질 처리시설 제외) • 상수처리시설, 하수처리시설(오염통제조치를 갖춘 경우)
취약도 중간 (More Vulnerable)	• 병원 • 주택, 기숙사, 유흥업소, 호텔 등 • 매립시설, 유해물질 등 폐기물관리시설 • 요양시설, 보호시설, 사회복지시설, 교정시설 등 집단주거시설 • 보건시설, 교육시설 등 비주거용도 • 단기체류지 및 캠핑장(구체적인 예.경보 및 대피계획에 따름)
취약도 매우 높음 (Highly Vulnerable)	• 홍수 시에도 운영되어야 하는 경찰서, 구조대, 소방서, 지휘센터, 통신시설 • 비상대피시설 • 영구적인 주거용도로 사용되는 이동식 주택 • 지하주택 • 유해물질 보관시설

✓ 재해저감에 효과적인 도시기반시설에 방재기능 부여 사례 : 네덜란드 로테르담

< 공원 우수 저류 >

< 광장 및 주차장 우수 저류 >

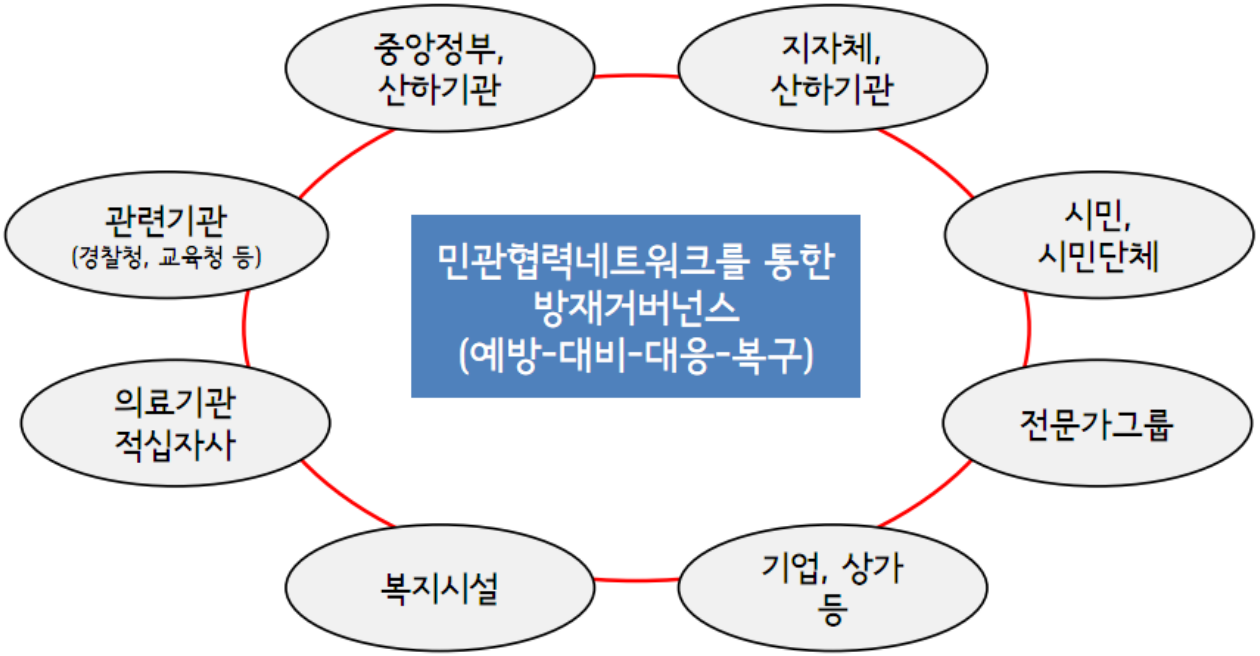


자료) 네덜란드 Waterplan Rotterdam 2

4. 주민 참여 및 협력적 방재 거버넌스 구축

- ❖ 현재 관 주도의 안전관리와 책임성이 강조되고, 주민들의 참여와 역할, 책임은 부족한 실정
- ❖ 지역실정에 대해 가장 잘 아는 지역 주민의 적극적인 참여가 중요
- ❖ 중앙정부, 지자체, 기업, 주민, 전문가 등으로 구성되는 협력적 방재거버넌스 구축 필요
  - 다양한 이해관계자의 참여와 협력, 특히, 주민 참여와 자율적인 방재능력 강화를 위해 정보제공, 홍보, 교육프로그램 개발 등 필요

※ 서울 재난관리 거버넌스 발족(2012. 5. 14)



5. 폭우재해 대비 사전점검 및 대피체계 구축

❖ 여름철 호우기간 전에 방재시설물 기능 점검 및 재해발생 우려시설·지역 사전점검

- 저지대 취약 **하수관거 우기전 집중 준설, 빗물받이 내 우수유입 장애 이물질 제거, 침수취약주택 물막이판·수중펌프 등 보급,** 지하철 차수판 보강 등 **다중이용시설 관리 강화**
- 급경사지 노후옹벽, 대규모 공사장 등 **폭우재해 발생 우려시설 및 재해취약지역 사전점검 및 모니터링**
- 특히, **하천변 저지대, 급경사지 주변에 거주하는 주민**은 **재해위험요소가 있는 경우 구청, 시청 등에 신고하고, 안전하게 대피할 곳을 미리 파악**해 두며, **호우시 집주변의 빗물받이 덮개 및 이물질 제거**

❖ 재해취약지역을 중심으로 주민의 안전하고 신속한 사전대피체계 구축

- **재해취약지역내 학교 등 공공시설의 수용공간을 고려**하여 **사전에 주민 대피장소를 지정하고, 반상회 등을 통해 홍보**

  ※ 예 : A학교 1-1반 교실은 B아파트 OO동 주민 대피소

- 독거노인, 장애인 등 **재해약자에 대한 대피도우미**(지역자율방재단, 관련 공무원 등 활용) **사전지정 제도** 마련

감사합니다.

이제는 토탈방재 입니다

도시방재는 생활복지 입니다