

# **Current and future issues of water quality management**

# Renovation of water infrastructure

---

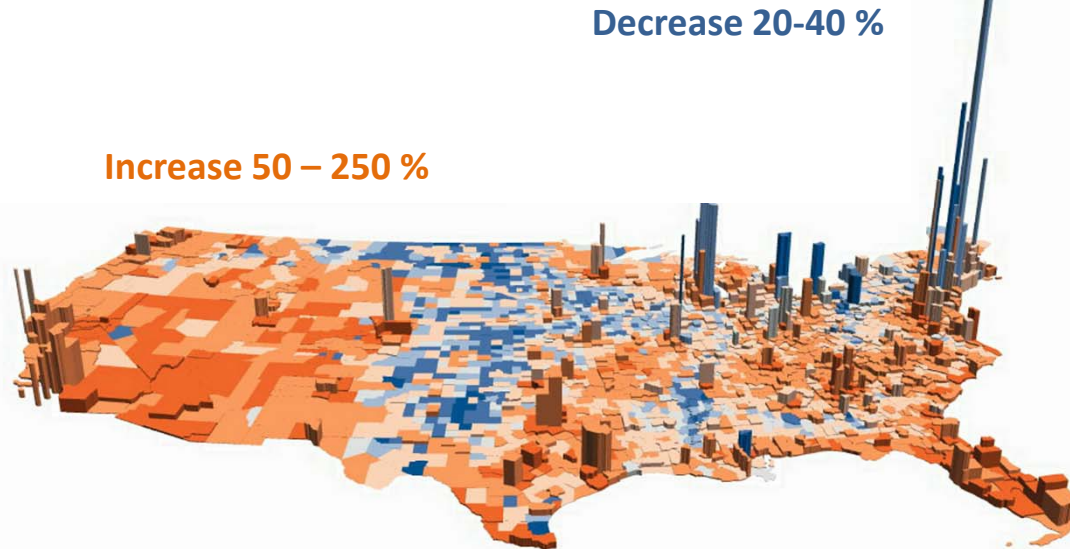
- **Water & wastewater treatment**
  - 50-100 year old infrastructure
  - Mid-20<sup>th</sup> century technology
- **Water crisis**
  - Population increase
  - Ecosystem needs
  - Climate change
  - Reliability, security issues



# Renovation of water infrastructure

---

Population trends in US; 1970 – 2030



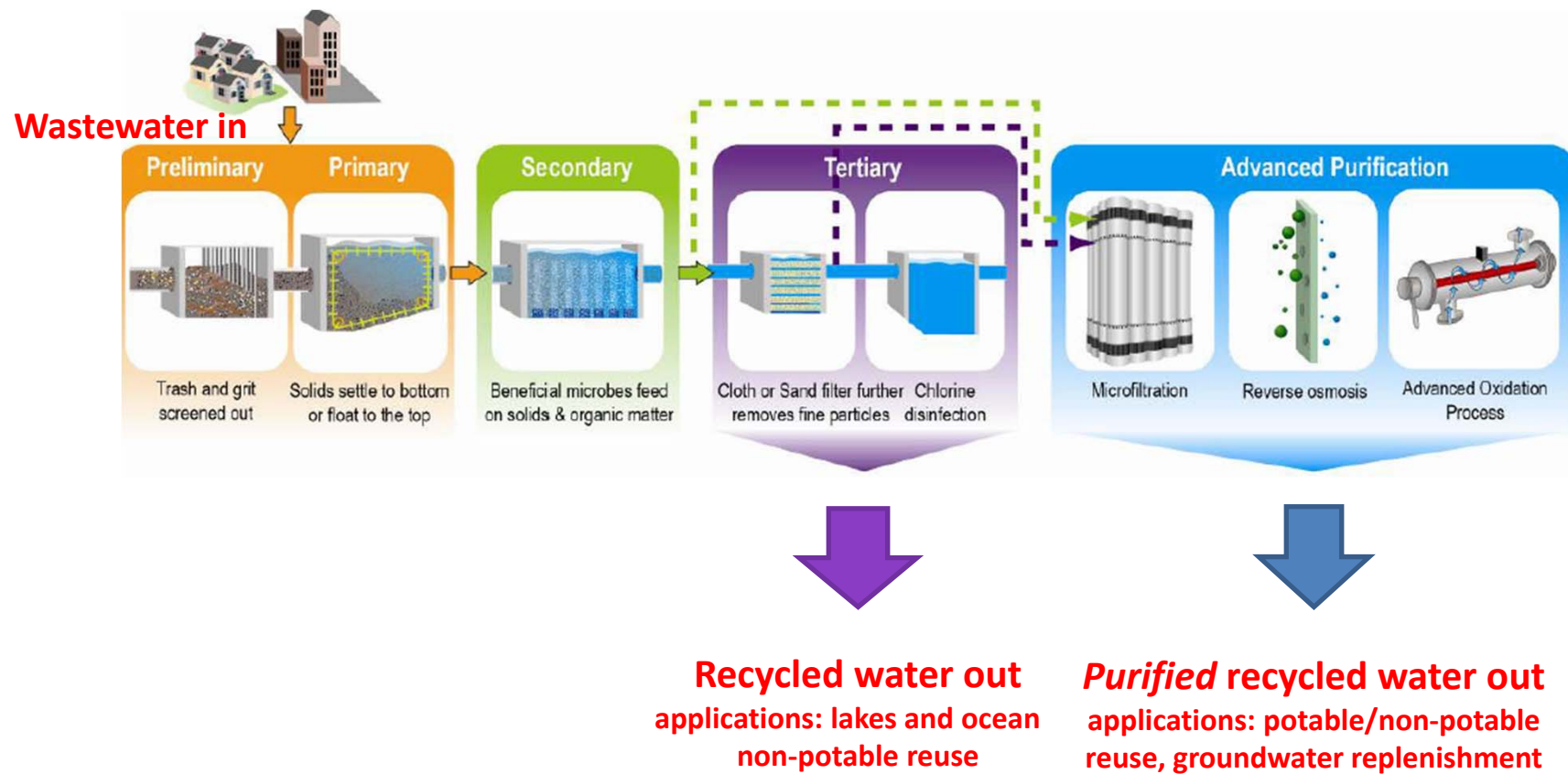
- **Water scarcity a critical issue in**

- Western US
- Australia
- Singapore
- Middle East, Central & Northern Africa, ...

- **Growth of mega-cities (>10 million population)**

- It is impossible to maintain balanced water budget with the current paradigm & infrastructure

# Wastewater reuse



# Wastewater reuse

---

- Non-potable commercial, industrial, or agricultural use
- Recreational use
- Irrigation
- Seawater intrusion barrier
- Potable use
  - Indirect potable use
  - Direct potable use (not yet common)



“Purple pipe” system in the U.S.

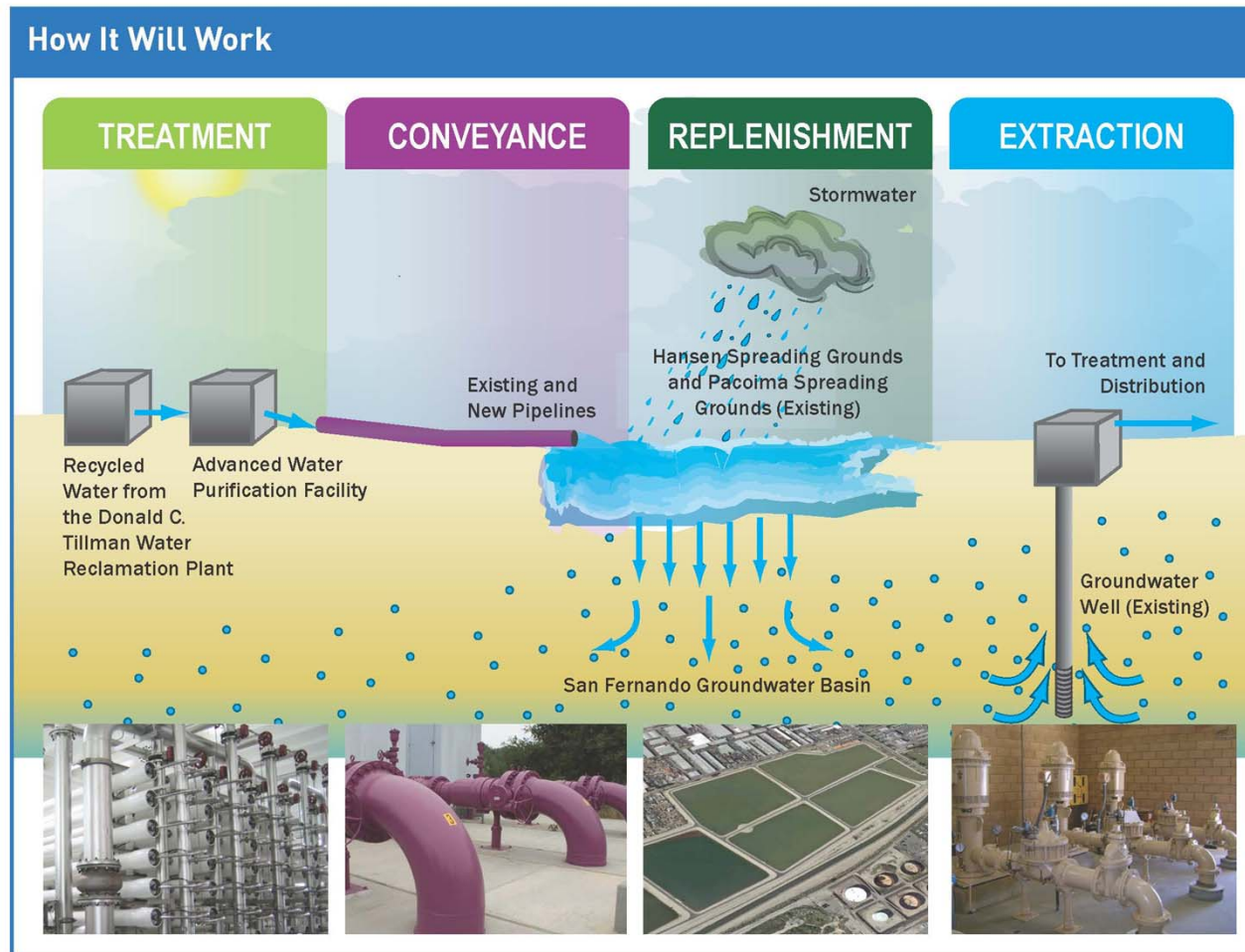


# Example use: Japanese Garden, LA, USA

---



# Example use: LA District, USA



# Wastewater reuse: adv. & disadv.

---

- **Advantages**

- Reliability (in quantity): produced year round
- High quality: good for industrial use
- Cost
  - Generally cheaper capital & operation costs than desalination cost
  - Cost getting comparable to drinking water supply in some dry regions of the world
- In many cases in dry regions, use less energy than importing water

- **Disadvantages**

- Safety/reliability (in quality) concerns
- Cost for distribution
  - Need to install separate distribution system
- The “ick” factor: public opposition



# Thought experiment - 1

---



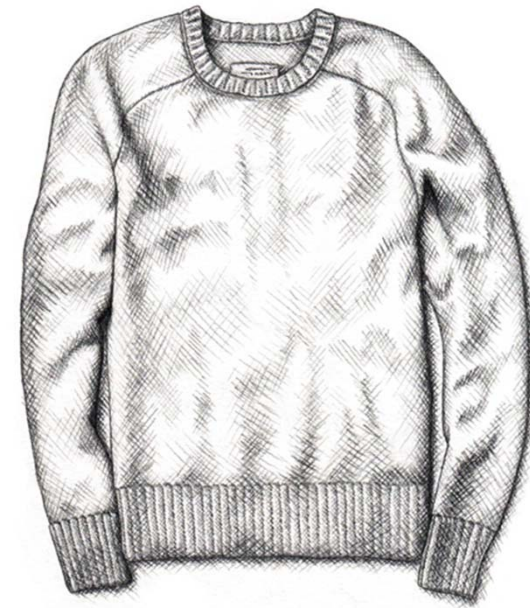
# Thought experiment - 2

---



# Thought experiment - 3

---

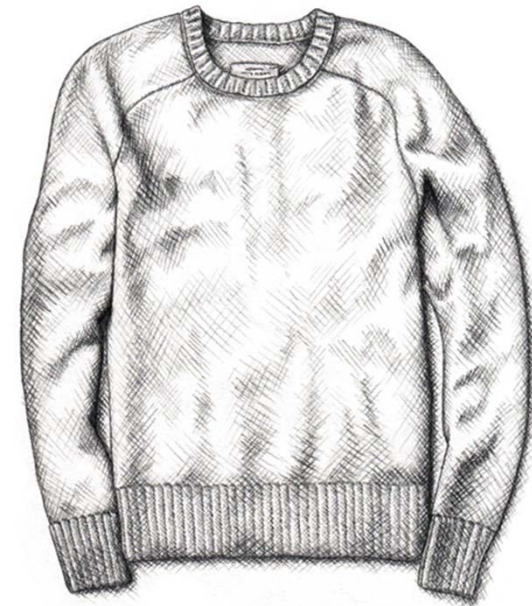


# Thought experiment – 3 (2)

---



Photo © Mary Ellen Mark





# Stormwater treatment & reuse

---

- **Stormwater as a pollutant source: non-point source pollution**
  - Urban stormwater runoff
    - BOD, COD
    - Petroleum spill: gas stations, etc.
    - Roads – PAHs from sealants, gasoline & tire additives (organics & heavy metals), deicing agents
    - Roofs & other installations in contact with stormwater – heavy metals, persistent organic pollutants, etc.
    - Urban herbicides/pesticides
  - Rural stormwater runoff
    - BOD, COD
    - Nutrients
    - Pesticides
    - Hormones, antibiotics, etc.



# Stormwater treatment & reuse

## • 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률

### 제4장 비점오염원의 관리

- 제53조(비점오염원의 설치신고·준수사항·개선명령 등) ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자는 환경부령으로 정하는 바에 따라 환경부장관에게 신고하여야 한다. 신고한 사항 중 대통령령으로 정하는 사항을 변경하려는 경우에도 또한 같다.
1. 대통령령으로 정하는 규모 이상의 도시의 개발, 산업단지의 조성, 그 밖에 비점오염원에 의한 오염을 유발하는 사업으로서 대통령령으로 정하는 사업을 하려는 자
  2. 대통령령으로 정하는 규모 이상의 사업장에 제철시설, 섬유염색시설, 그 밖에 대통령령으로 정하는 폐수배출시설을 설치하는 자
  3. 사업이 재개(再開)되거나 사업장이 증설되는 등 대통령령으로 정하는 경우가 발생하여 제1호 또는 제2호에 해당되는 자
- ② 제1항에 따른 신고 또는 변경신고를 할 때에는 비점오염저감시설 설치계획을 포함하는 비점오염저감계획서 등 환경부령으로 정하는 서류를 제출하여야 한다.
- ③ 제1항에 따라 신고 또는 변경신고를 한 자(이하 "비점오염원설치신고사업자"라 한다)는 환경부령으로 정하는 시점까지 환경부령으로 정하는 기준에 따라 비점오염저감시설을 설치하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 비점오염저감시설을 설치하지 아니할 수 있다. <개정 2014.3.24.>
1. 제1항제2호 또는 제3호에 따른 사업장의 강우유출수의 오염도가 항상 제32조에 따른 배출허용기준 이하인 경우로서 대통령령으로 정하는 바에 따라 환경부장관이 인정하는 경우
  2. 제21조의4에 따른 완충저류시설에 유입하여 강우유출수를 처리하는 경우
  3. 하나의 부지에 제1항 각 호에 해당하는 자가 둘 이상인 경우로서 환경부령으로 정하는 바에 따라 비점오염원을 적정하게 관리할 수 있다고 환경부장관이 인정하는 경우
- ④ 비점오염원설치신고사업자가 사업을 하거나 시설을 설치 운영할 때에는 다음 각 호의 사항을 지켜야 한다.
1. 비점오염저감계획서의 내용을 이행할 것
  2. 비점오염저감시설을 제3항에 따른 설치기준에 맞게 유지하는 등 환경부령으로 정하는 바에 따라 관리·운영할 것
  3. 그 밖에 비점오염원을 적정하게 관리하기 위하여 환경부령으로 정하는 사항
- ⑤ 환경부장관은 제4항에 따른 준수사항을 지키지 아니한 자에 대해서는 대통령령으로 정하는 바에 따라 기간을 정하여 비점오염저감계획서의 이행 또는 비점오염저감시설의 설치 개선을 명할 수 있다.
- ⑥ 환경부장관은 제2항에 따른 비점오염저감계획을 검토하거나 제3항제1호 또는 제3호에 따라 비점오염저감시설을 설치하지 아니하여도 되는 사업장을 인정하려는 경우에는 그 적정성에 관하여 환경부령으로 정하는 관계 전문기관의 의견을 들을 수 있다.
- ⑦ 비점오염원설치신고사업자의 권리·의무의 승계에 관하여는 제36조를 준용한다. 이 경우 "사업자"는 "비점오염원설치신고사업자"로, "배출시설 및 방지시설"은 "비점오염원 또는 비점오염저감시설"로, "허가변경 허가·신고 또는 변경신고"는 "신고 또는 변경신고"로, "임대차"는 "임대차 또는 운영관리주체를 변경"으로, "임차인"은 "임차인 또는 변경된 운영관리주체"로, "제38조, 제38조의2부터 제38조의5까지, 제39조부터 제41조까지, 제42조(허가취소의 경우는 제외한다), 제43조, 제46조, 제47조 및 제68조제1항제1호"는 "제4항·제5항 및 제68조제1항제3호"로 본다.
- ⑧ 제2항에 따른 비점오염저감계획서의 작성방법 등에 관하여 필요한 사항은 환경부령으로 정한다.
- [전문개정 2013.7.30.]

# Low Impact Development (LID)

- A new concept of land development
- “An approach of land development that works with nature to manage stormwater as close to its source as possible” (USEPA)
- 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙

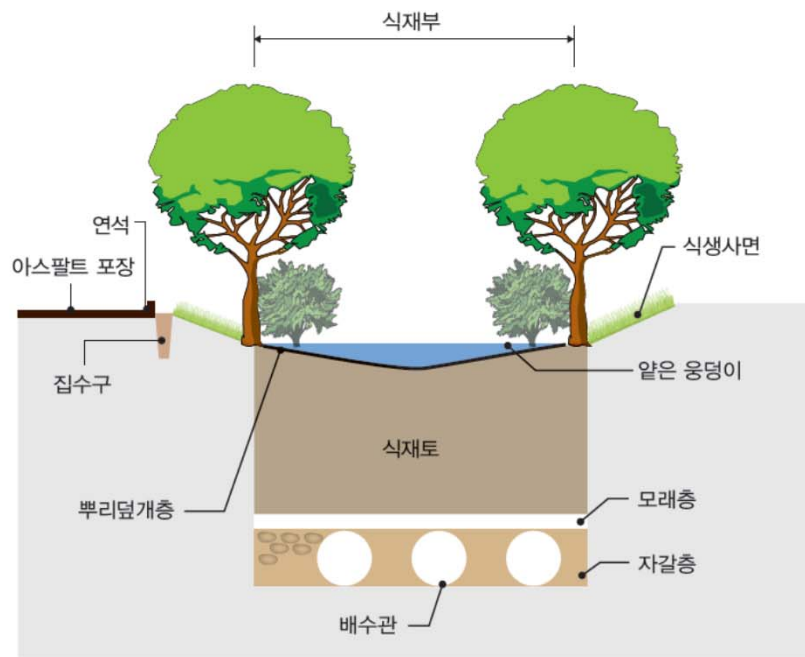
## 제4장 비점오염원의 관리

- 제73조(비점오염원 설치신고의 절차) ① 법 제53조제1항 각 호에 따른 사업을 하려는 자는 다음 각 호의 구분에 따른 기한까지 환경부장관에게 신고하여야 한다. <개정 2010.4.2., 2012.7.20.>
1. 법 제53조제1항제1호 또는 영 제72조제5항제1호에 따른 환경영향평가 대상 사업자 : 「환경영향평가법」 제30조제3항에 따라 승인등을 받거나 사업계획을 확정된 날부터 30일 이내
  2. 법 제53조제1항제2호 또는 영 제72조제5항제2호에 따른 폐수배출시설 설치 사업자 : 폐수배출시설 설치허가 또는 변경허가를 받거나 신고 또는 변경신고를 한 날부터 15일 이내
- ② 법 제53조제1항 각 호 외의 부분 전단에 따라 비점오염원의 설치신고를 하려는 자는 별지 제33호서식의 비점오염원 설치신고서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 유역환경청장이나 지방환경청장에게 제출하여야 한다. 다만, 비점오염원의 설치신고 대상 사업 또는 시설이 둘 이상의 유역환경청 또는 지방환경청의 관할구역에 걸쳐 있는 경우에는 그 면적 또는 길이 등이 많이 포함되는 지역을 관할하는 유역환경청장이나 지방환경청장에게 신고를 하여야 하고, 신고를 받은 유역환경청장이나 지방환경청장은 다른 지역을 관할하는 유역환경청장이나 지방환경청장에게 신고내용을 알려야 한다. <개정 2010.4.2., 2014.12.31.>
1. 법 제53조제1항 각 호에 따른 사업 또는 사업장(이하 "개발사업등"이라 한다)에서 발생하는 주요 비점오염원 및 비점오염물질에 관한 자료
  2. 개발사업등의 평면도 및 비점오염물질의 발생 유출 흐름도
  3. 개발사업등으로 인하여 불투수층에서 발생하는 강우유출수를 최소화하여 자연 상태의 물순환 회복에 기여할 수 있는 기법(이하 "저영향개발기법"이라 한다) 등을 고려한 비점오염저감계획서
  4. 비점오염저감시설 설치 운영 관리계획 및 비점오염저감시설의 설치명세서 및 도면(법 제53조제3항 단서에 따라 비점오염저감시설을 설치하지 아니하는 경우는 제외한다)
- ③ 제1항에 따라 신고를 받은 유역환경청장이나 지방환경청장은 별지 제34호서식의 비점오염원 설치신고증명서를 신청인에게 발급하여야 한다.
- ④ 사업자는 법 제53조제1항 각 호 외의 부분 후단에 따라 대상 사업 또는 시설과 관련한 변경사항에 대하여 관계 법령에 따른 승인인가·허가면허 또는 결정 등(이하 이 항에서 "변경승인등"이라 한다)을 받아야 하는 경우에는 변경승인등을 받은 날(변경승인등이 필요없는 경우에는 변경사실이 발생한 날)부터 15일 이내에 별지 제35호서식의 비점오염원 설치변경신고서에 비점오염원 설치신고증명서의 변경내용을 증명하는 서류를 첨부하여 유역환경청장이나 지방환경청장에게 제출하여야 한다. 다만, 변경사항이 영 제73조제1호에 해당하는 경우에는 30일 이내에 제출하여야 한다. <개정 2010.4.2.>

# Low Impact Development (LID)

- **Bioretention (식생체류지)**

- A planted water-permeable regions in which contaminants and suspended matter are removed from stormwater runoff

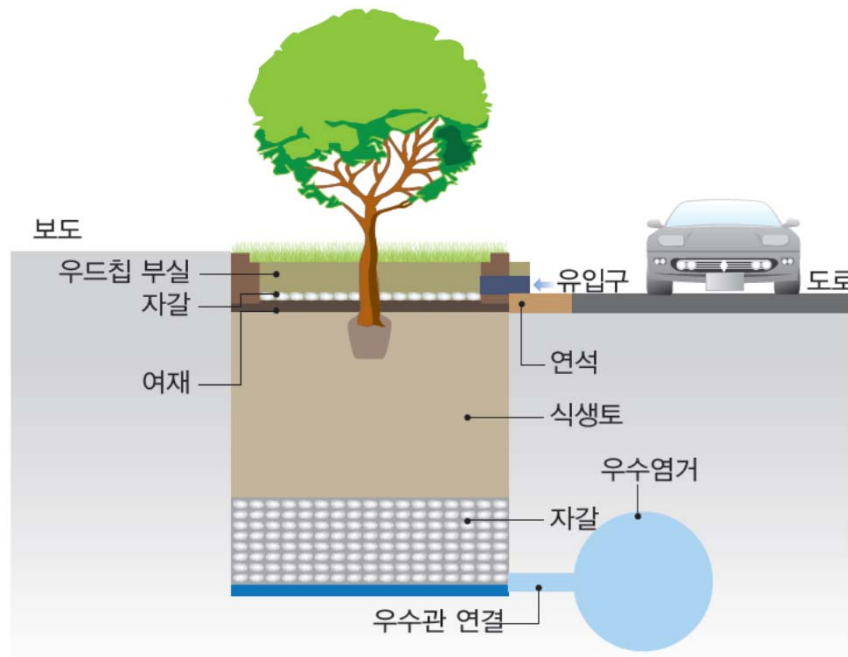




# Low Impact Development (LID)

---

- **Tree box filter (나무여과상자)**
  - Mini bioretention areas installed beneath trees that can be very effective at controlling runoff, especially when distributed throughout the site
  - Runoff is directed to the tree box, where it is cleaned by vegetation and soil before entering a catch basin

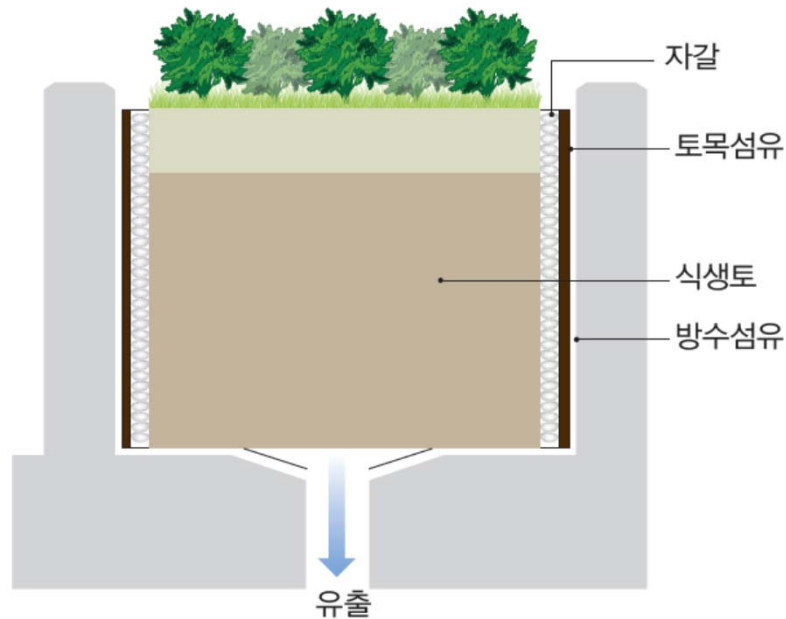


# Low Impact Development (LID)

---

- **Planter box (식물재배화분)**

- A concrete box containing soil media and vegetation that functions like a small bioretention area

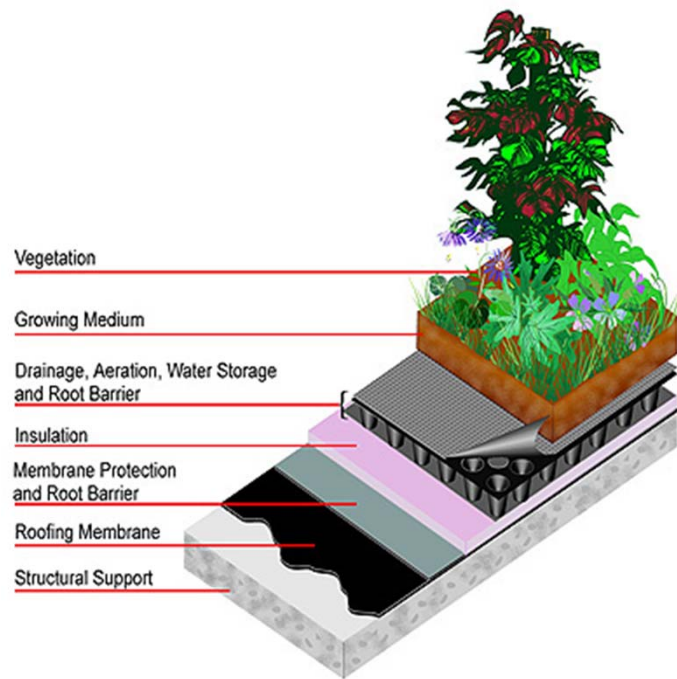


# Low Impact Development (LID)

---

- Green roof (옥상녹화)

- A roof of a building that is partially or completely covered with vegetation and a growing medium, planted over a waterproofing membrane



# Low Impact Development (LID)

---

- Green roof (옥상녹화)





# Resource & energy recirculation

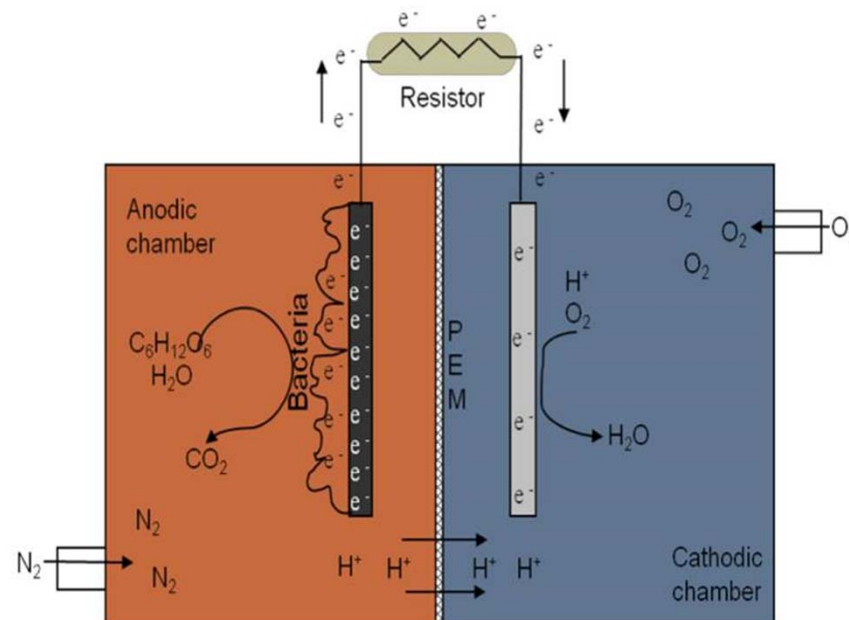
---

- **Wastewater = water + nutrients + reduced carbon (=chemical energy)**
  - Recovering nutrients
    - By composting / sludge application
      - As soil amendment / fertilizer
      - Potential health threats: pathogens, toxic & recalcitrant pollutants, etc.
    - By chemical precipitation
      - ex) struvite;  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
  - Producing valuable materials
    - ex) Bioplastics: PHB (polyhydroxybutyrate)
      - Can be made to high quality plastic products
      - Some microorganisms produce PHB in nutrient-deficient conditions

# Resource & energy recirculation

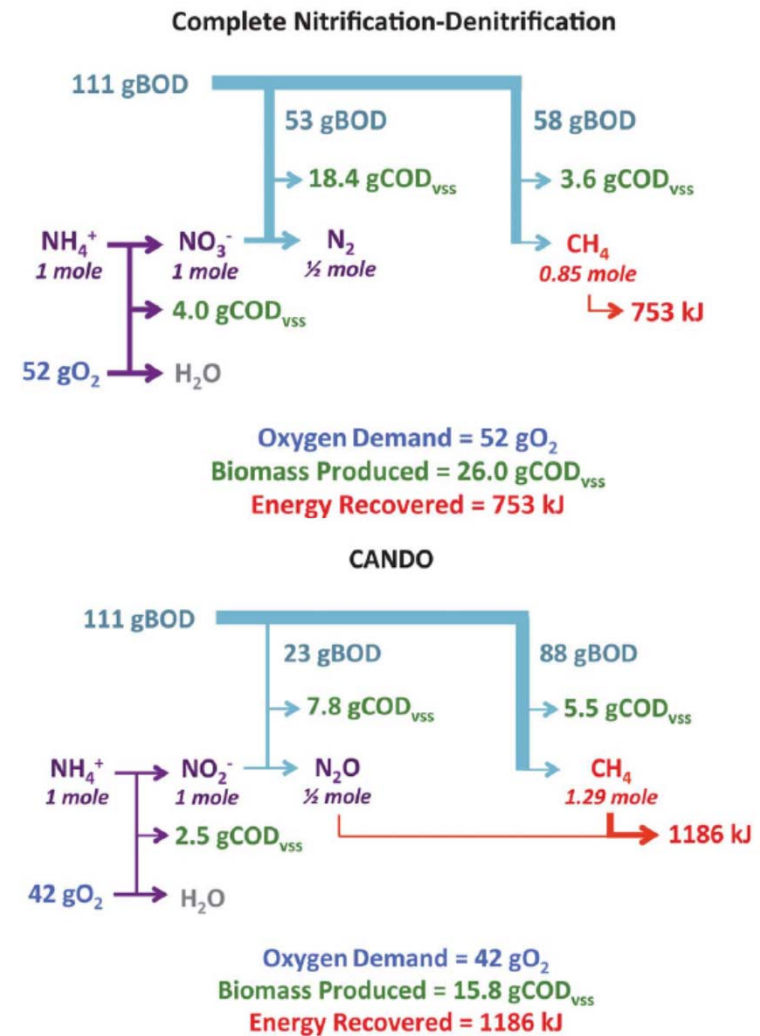
---

- Recovering energy
  - Shoot for energy positive wastewater treatment
  - **Production of methane gas** – anaerobic processes
  - **Microbial fuel cell**
    - Microbial respiration: electron transfer from  $e^-$  donor to  $e^-$  acceptor
    - Use the electron flow of microorganisms to generate electricity



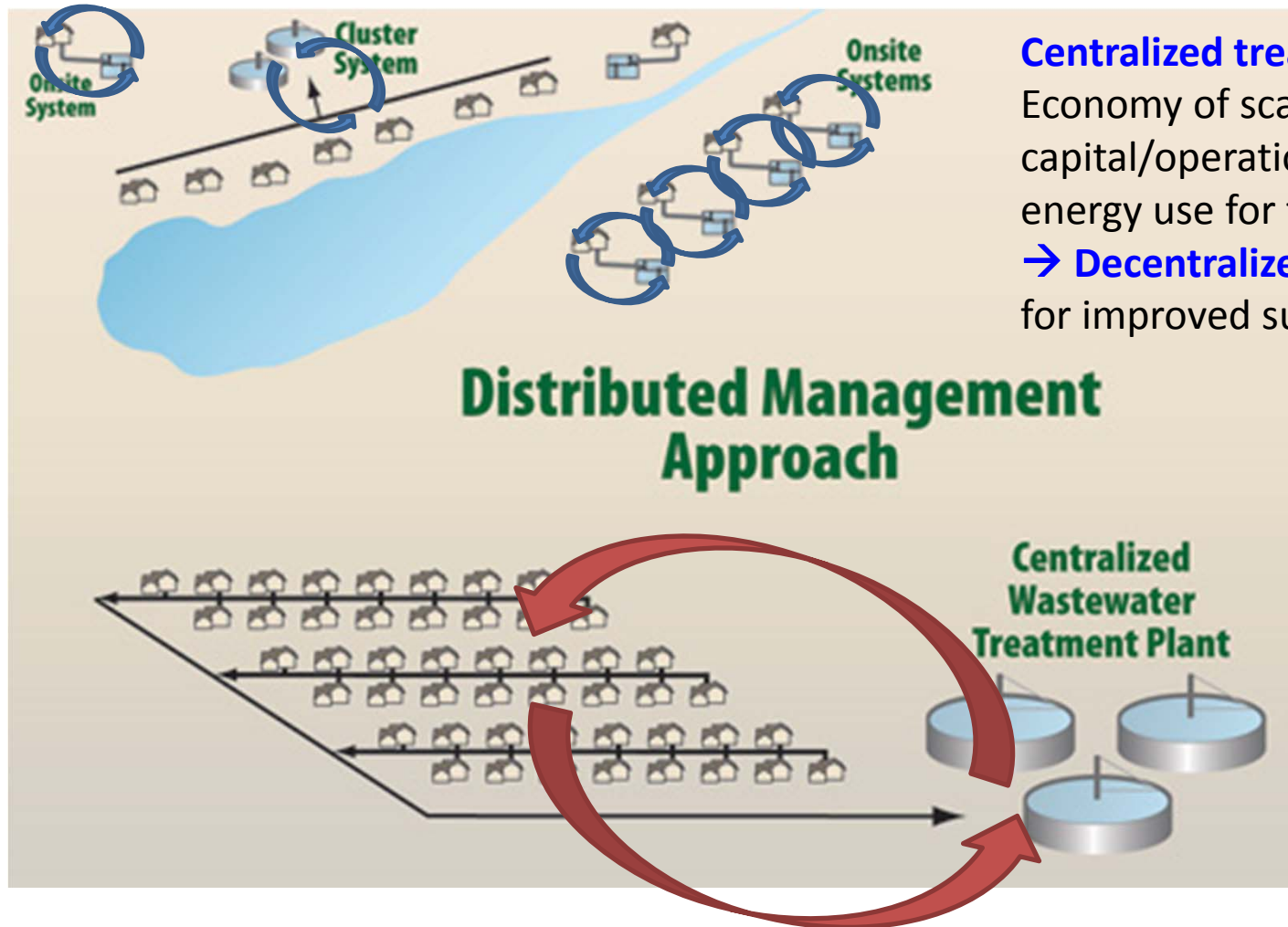
# Resource & energy recirculation

- Recovering energy
  - Other processes are also under development!
  - ex) CANDO: Coupled Aerobic-anoxic nitrous decomposition operation
    - Partial aerobic nitrification of  $\text{NH}_4^+$  to  $\text{NO}_2^-$
    - Partial anoxic denitrification of  $\text{NO}_2^-$  to  $\text{N}_2\text{O}$  (recall Anammox:  $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$ )
    - Use  $\text{N}_2\text{O}$  as a fuel: use chemical energy in NBOD
    - Biomass VSS used for  $\text{CH}_4$  generation through anaerobic process



# Decentralized treatment

---



## Centralized treatment:

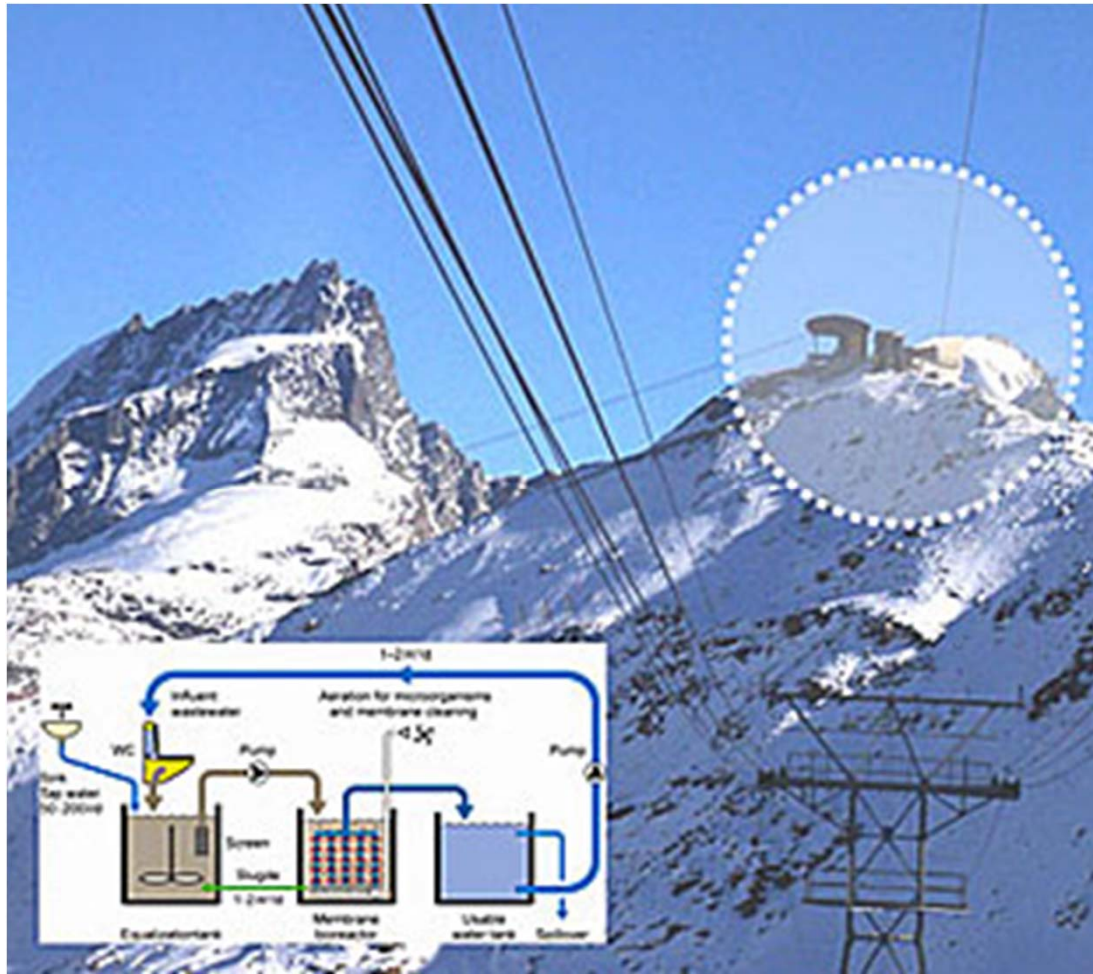
Economy of scale but high capital/operation cost & energy use for transport

→ **Decentralized treatment** for improved sustainability!



# Decentralized treatment

---



Swiss Alpine Club (EAWAG)

- A better decentralized treatment should incorporate:
  - Energy & resource recirculation
  - Source separation

# Decentralized treatment

---

- **Issues to overcome:**
  - Maintenance/reliability issues
    - Difficult to hire technicians with professional knowledge to operate systems
    - Chemical/physical treatment getting attention again
  - Deposition of suspended matter in sewer systems
    - Improved community scale water recirculation → reduced water out through sewer systems
    - Reduction of flushing water to remove deposits in the sewer systems → putrefaction & scaling issues
  - Harmonization with centralized treatment
    - Find optimal solution – depends on local conditions!

# Look around the world!

---

- **Developing countries still suffering basic water/sanitation problems**

## **WHO (2015):**

- 2.5 billion people lack access to improved sanitation
- 1 billion people practice open defecation, 9 out of 10 in rural areas
- 748 million people lack access to improved drinking-water and it is estimated that 1.8 billion people use a source of drinking-water that is faecally contaminated
- Hundreds of millions of people have no access to soap and water to wash their hands



# Look around the world!

---

- Consider application of “appropriate technology” in developing countries
- Non-technical issues
  - Political issues
  - People’s behavior
    - Acceptance
    - Cultural issues
    - Education
  - We are not scientists but [engineers](#)!

## Hands, Water, and Health: Fecal Contamination in Tanzanian Communities with Improved, Non-Networked Water Supplies

AMY J. PICKERING,<sup>†</sup> JENNIFER DAVIS,<sup>†,§</sup>  
SARAH P. WALTERS,<sup>†</sup>  
HELENA M. HORAK,<sup>†</sup>  
DANIEL P. KEYMER,<sup>†</sup> DOUGLAS MUSHI,<sup>||</sup>  
RACHELLE STRICKFADEN,<sup>†</sup>  
JOSHUA S. CHYNOWETH,<sup>†</sup> JESSIE LIU,<sup>†</sup>  
ANNALISE BLUM,<sup>†</sup> KIRSTEN ROGERS,<sup>†</sup>  
AND ALEXANDRIA B. BOEHM<sup>\*,†</sup>

*Emmet Interdisciplinary Program in Environment and Resources, School of Earth Sciences, Stanford University, Stanford, California 94305, Environment and Water Studies, Stanford, California 94305, Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, California 94305, Woods Institute for the Environment, Stanford University, Stanford, California 94305, and Sokoine University, P.O. Box 3038, Morogoro, Tanzania*

*Received November 20, 2009. Revised manuscript received February 15, 2010. Accepted February 27, 2010.*

Almost half of the world’s population relies on non-networked water supply services, which necessitates in-home water storage. It has been suggested that dirty hands play a role in microbial contamination of drinking water during collection, transport, and storage. However, little work has been done to evaluate quantitatively the association between hand contamination and stored water quality within households. This study measured levels of *E. coli*, fecal streptococci, and occurrence of the general *Bacteroidales* fecal DNA marker in source water, in stored water, and on hands in 334 households among communities in Dar es Salaam, Tanzania, where residents use non-networked water sources. Levels of fecal contamination on hands of mothers and children were positively correlated to fecal contamination in stored drinking water within households. Household characteristics associated with hand contamination included mother’s educational attainment, use of an improved toilet, an infant in the household, and dissatisfaction with the quantity of water available for hygiene. In addition, fecal contamination on hands was associated with the prevalence of gastrointestinal and respiratory symptoms within a household. The results suggest that reducing fecal contamination on hands should be investigated as a strategy for improving stored drinking water quality and health among households using non-networked water supplies.