

# 물 재이용 기술동향 및 적용시 고려사항

이 원 태

 한국건설기술연구원



# 1. 어떤 물을 마시겠습니까?



## 2. 어떤 물을 마시겠습니까?

수도물

재생수  
(하수재이용수)

# 어떤 물을 마시겠습니까?



수도물



재생수



# CONTENTS



**1 물 수요관리의 중요성**



**2 물 재생 및 재이용 기술 동향**



**3 물 재이용시 고려사항**



# 기후변화와 물 문제

## ■ 기후 변화 및 수자원 사용량 증가

- 지구온난화
- 가뭄
- 급격한 인구 증가



## ■ 세계 물 부족 인구 (UN World Water Report, 2004)

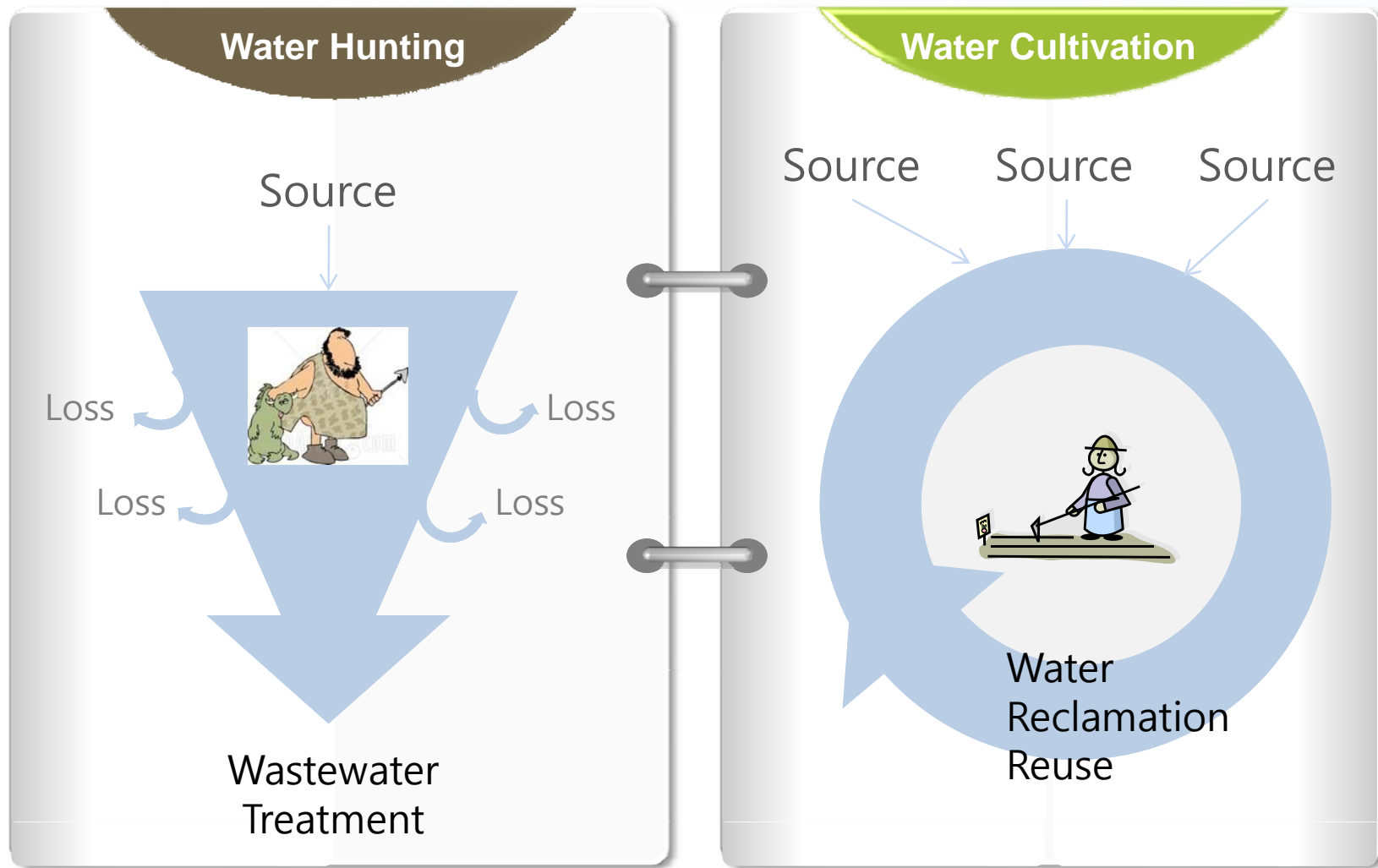
- 2004년 기준 약 10억 명
- 2025년 25억 명

## ■ 지속가능 수자원확보기술 개발 시급

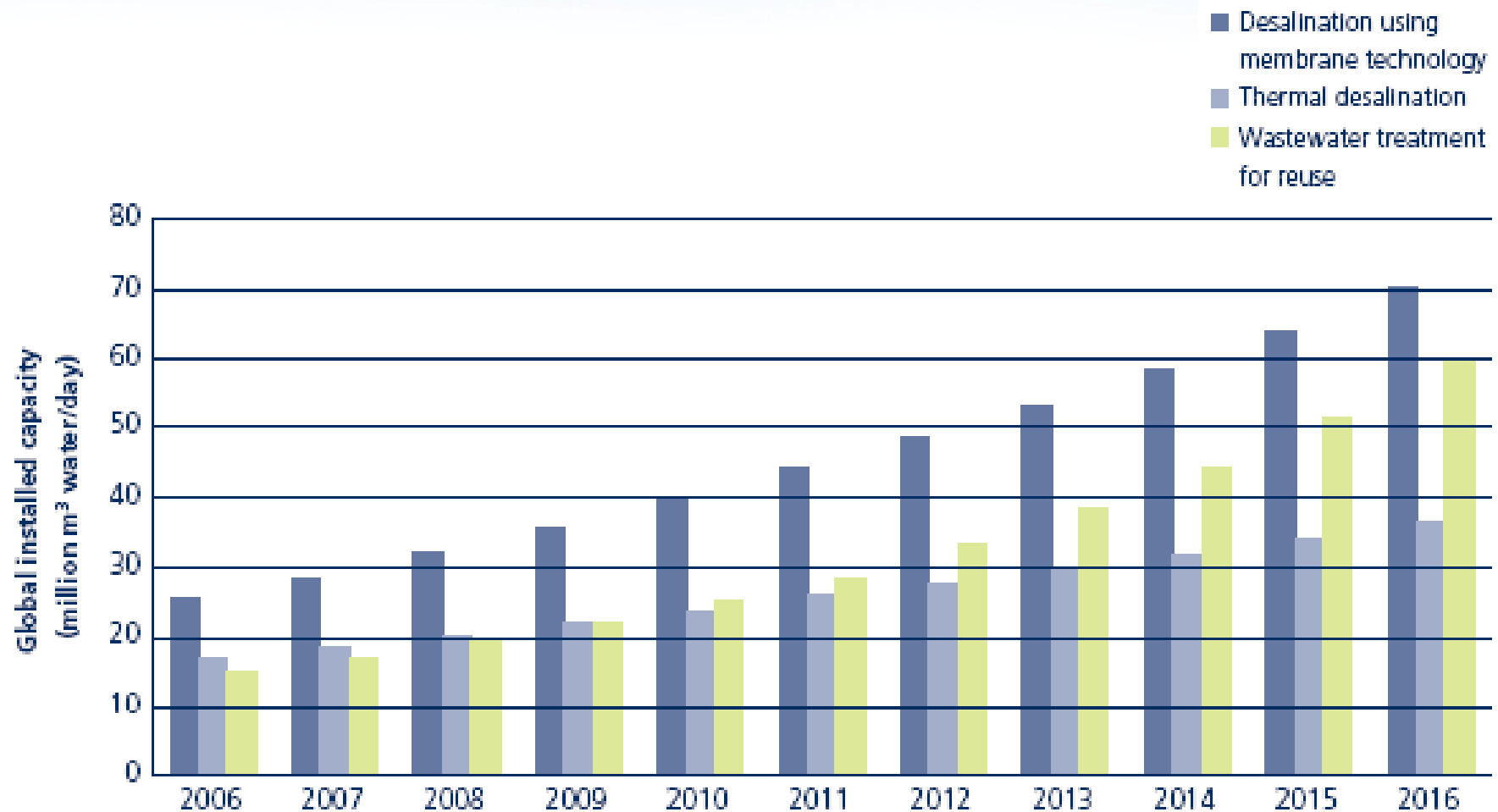
- 물 재이용
- 해수 담수화



# 물 공급/수요 패러다임의 변화



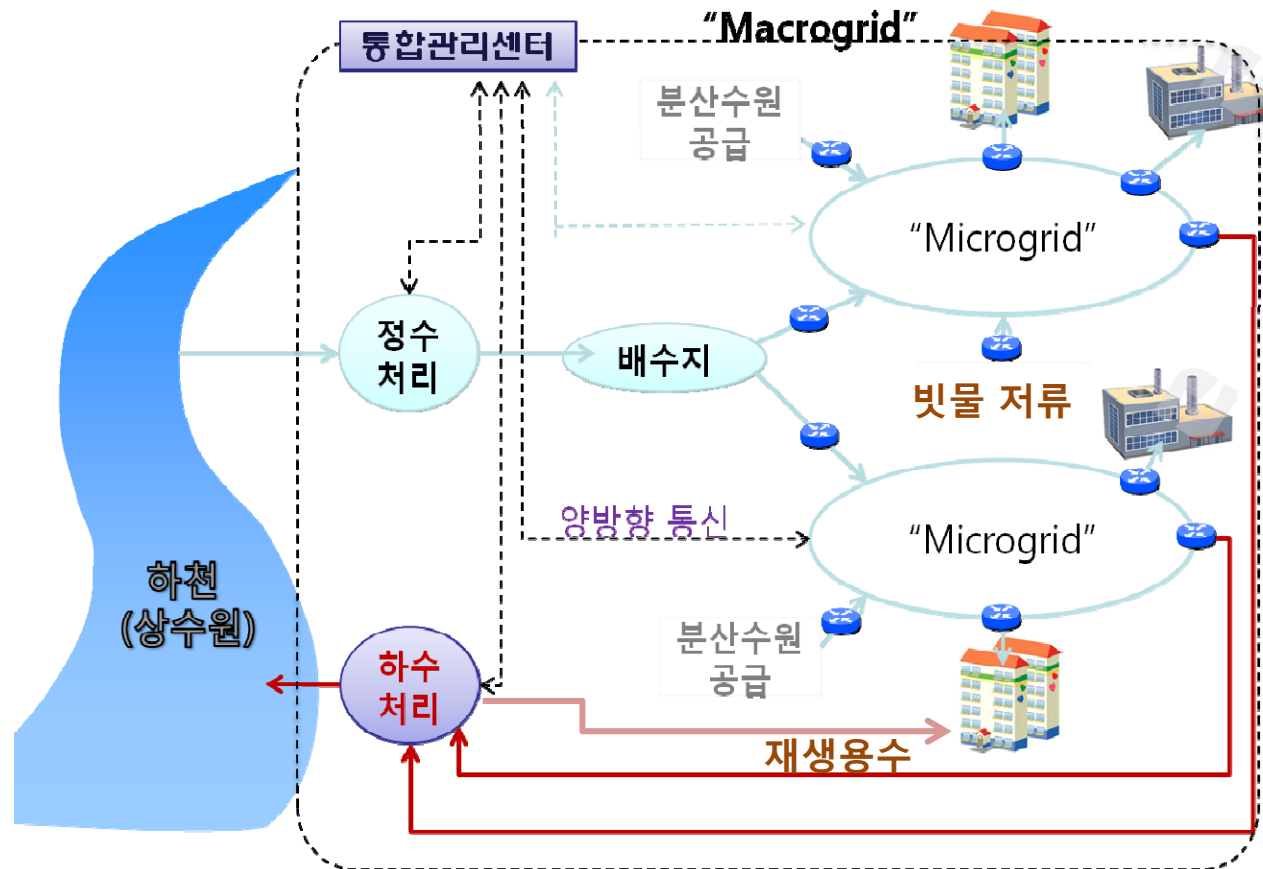
# 대체 수자원 개발 - 다중 수원



# 스마트 워터 그리드 - 통합 물 순환 관리

Smart Water Grid

## 지속적인 물 공급/수요관리



# 물 수요관리 방안



- ▶ 먹는 물을 제외한 다른 용도로 이용하는 방안 강구



- ▶ 먹는 물을 제외한 다른 용도로 이용하는 방안 강구



- ▶ 절수기기 보급 및 사용 권장

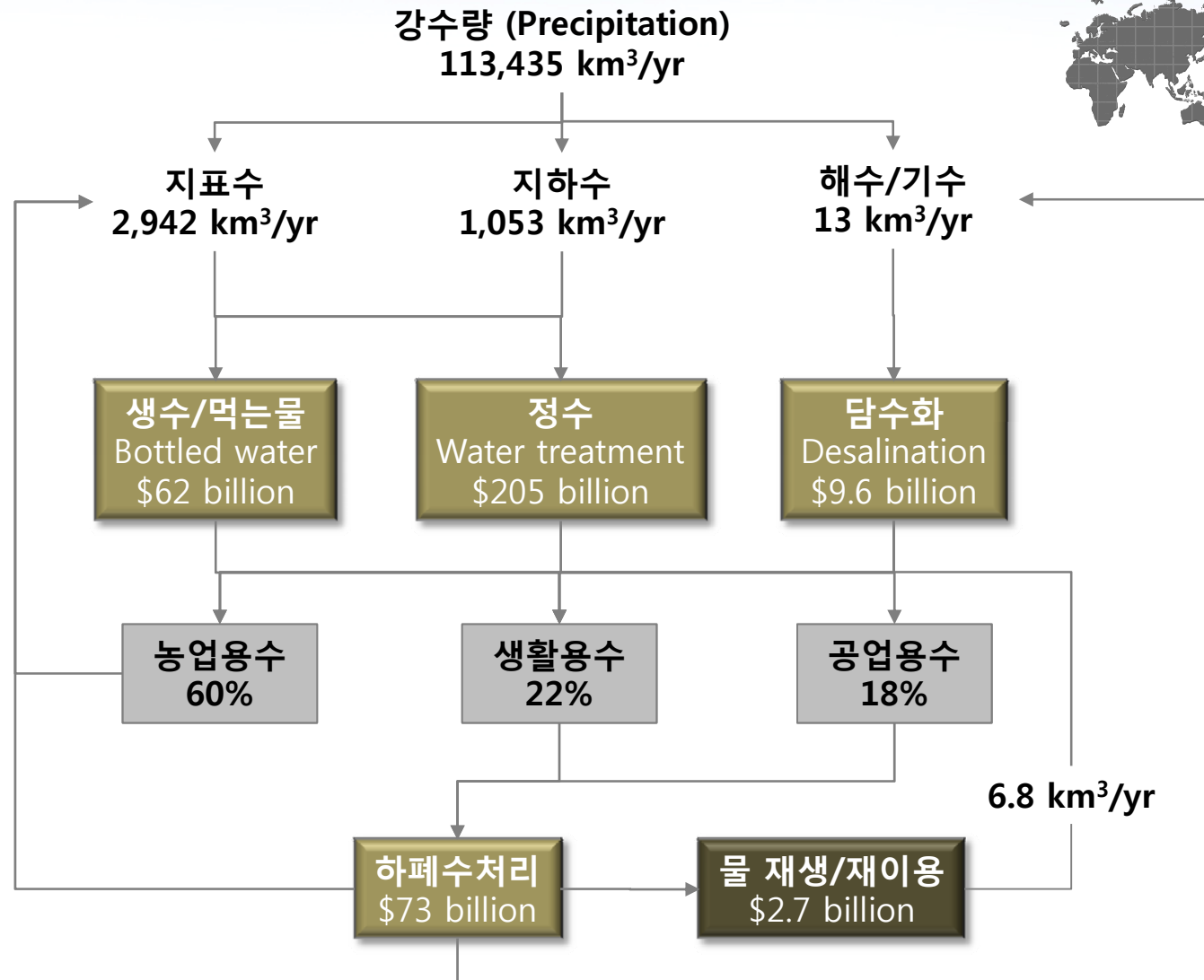
=



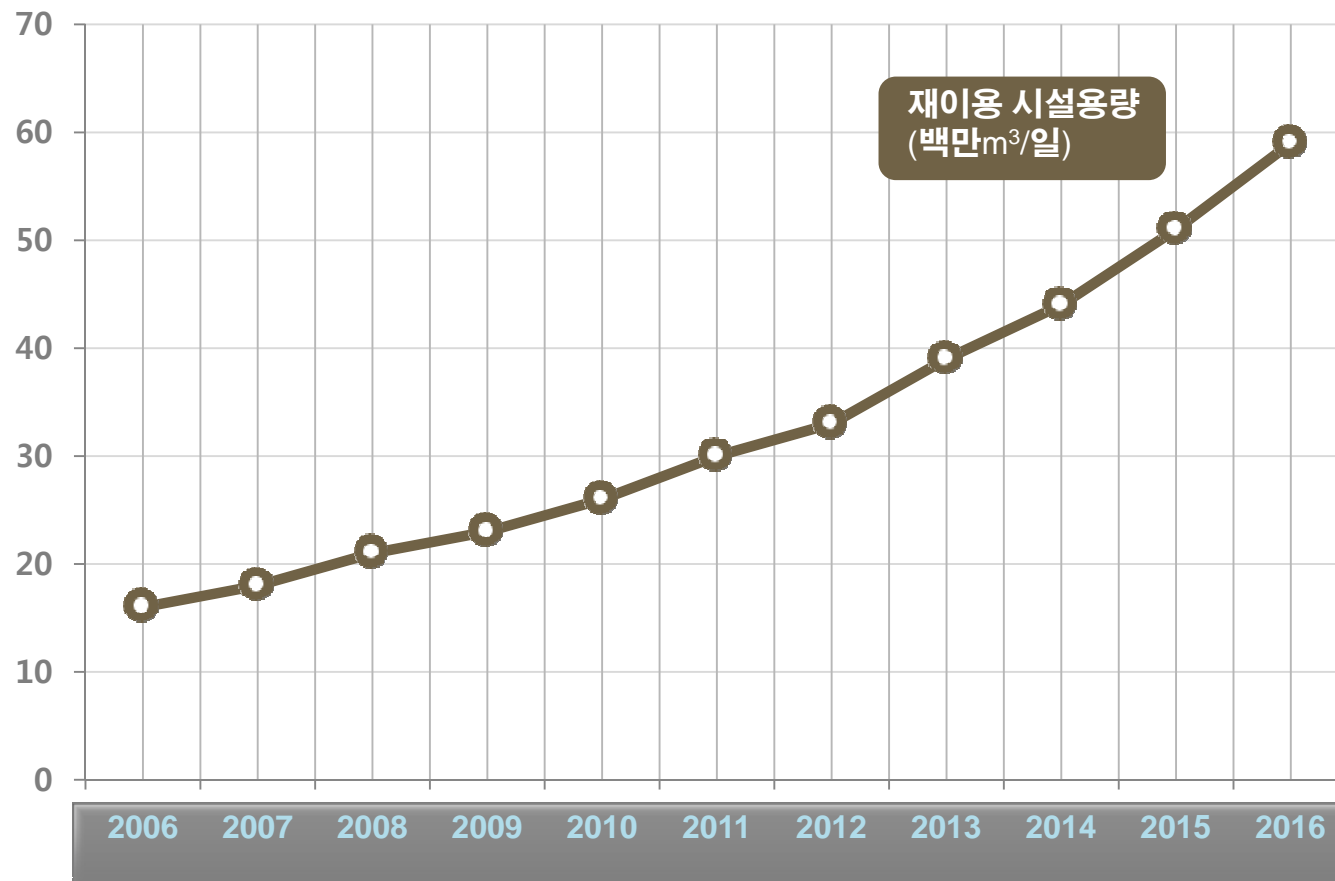
- ▶ 물 재생/재이용, 빗물 이용, 절수기기 보급 등과 같은 수요관리정책 (물 낭비요인 제거)
- ▶ 1인당 물 사용량을 줄이는 것이 물 공급량을 늘리는 것과 같은 효과

- 공공건물, 대형건물 우선 설치
- 시민을 대상으로 물 수요관리에 대한 지속적인 교육 및 홍보 필요

# 물 재생/재이용 현황 (시장, 사용량)



# 물 재생/재이용 성장 전망



Source: Lux Research 2008



# 국내 하수처리수 재이용 현황

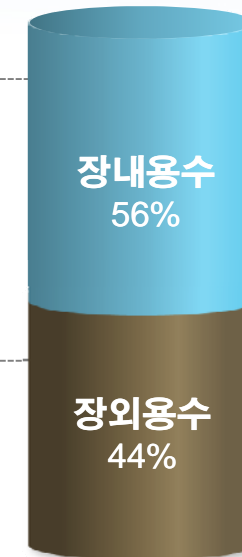


환경부, 하수도통계 2008

- 하수처리량 : 66억톤/년
- 재이용량 : 7.1억톤/년 (10.8%)

장내용수 (4억톤)

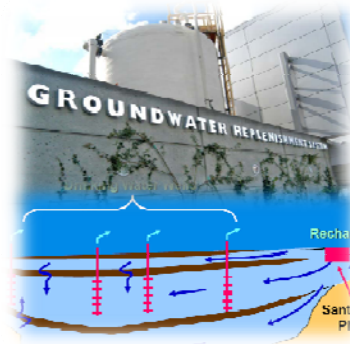
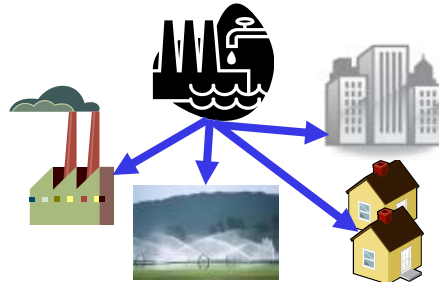
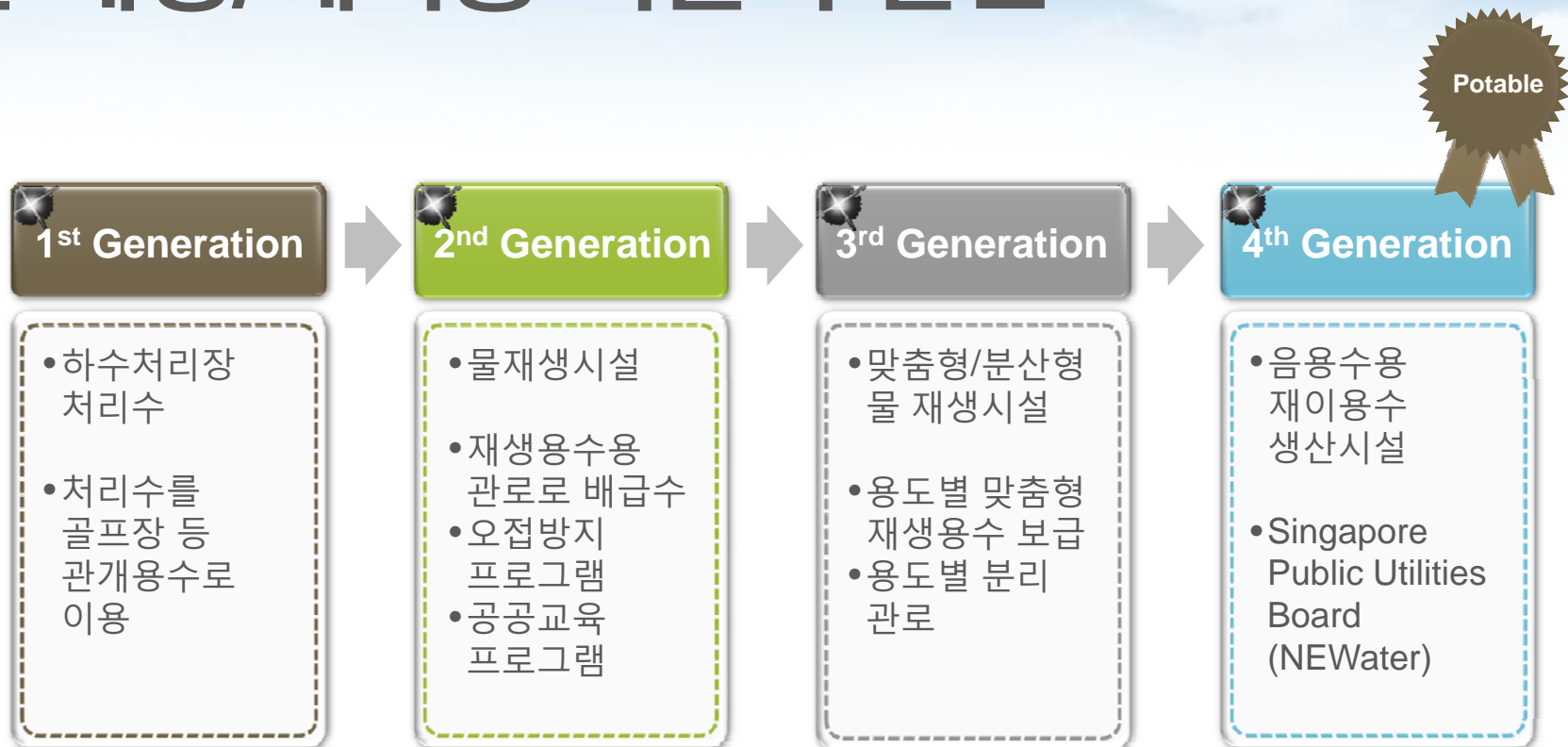
장외용수 (3.1억톤)



장내용수 (천m <sup>3</sup> /년)							
계	세척수	냉각수	청소수	식수대	희석용수	장내 중수도	장내 기타용수
401,541	155,727	61,066	37,936	2,928	8,895	1,429	133,559

장외용수 (천m <sup>3</sup> /년)					
계	장외 중수도	공업용수	농업용수	하천 유지용수	장외 기타용수
310,478	1,654	15,045	60,840	213,537	19,402

# 물 재생/재이용 기술의 발전



# 수요 맞춤형 물 재생기술 구분



외국사례 : 용도에 따라 크게 3가지로 구분

구분	저급재생처리	중급재생처리	고도재생처리
대표적 용도	<ul style="list-style-type: none"> <li>•하천유지 용수</li> <li>•청소용수</li> <li>•관개용수 소량보충</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•비접촉 생활용수</li> <li>•청소용수</li> <li>•관개용수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지하수 충전</li> <li>•음용수자원의 보충</li> <li>•습지 보충수</li> </ul>
처리 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>•유기물/부유물질 제거</li> <li>•소독</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•영양소(N, P) 제거</li> <li>•유기물/부유물질 추가 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•영양소(N, P) 최대 제거</li> <li>•미량물질 제거</li> </ul>
처리 공정	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2차 처리 + 소독</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•N, P제거 + 3차 처리</li> <li>•MBR + N, P제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•분리막 + AOP 추가</li> </ul>

# 용도별 물 재생 공정 예시



환경부, 하수처리수 재이용 가이드 (2009)

구분	세부구분	처리방법(예시)
범용 재이용수	청소용수	모래여과
	도시조경용수	모래여과
	친수용수	모래여과+활성탄
	하천유지용수	모래여과, MF
	관개용수	모래여과, MF
인체접촉 및 직접 영향 재이용수	인체접촉세척용수	MF + R/O 생물반응조 내 침지막 + R/O
	직접관개용수	MF + R/O 이상
고도환경용수	습지용수	모래여과 + 활성탄, MF + R/O 생물반응조 내 침지막 + R/O
	지하수 충전	모래여과 + 활성탄, MF + R/O 생물반응조 내 침지막 + R/O
	음용수자원보충	MF + R/O 생물반응조 내 침지막 + R/O
공업용수		6가지 조합 모두 가능

# 물 재생 기술



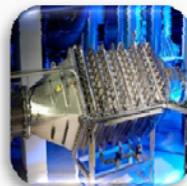
State of California,  
Department of  
Public Health  
(2009)

Treatment  
Technology Report  
for Recycled Water



## 여과 기술

- 입상여재 (Granular Media)
- 막여과 (Membrane Filtration)
- 여과포 (Cloth Filter)



## 소독기술

- 자외선 (UV)
- 저온살균 (Pasteurization)
- 오존/과산화수소

# 막여과 (Membrane Filtration)

## 미국 캘리포니아주 인증 막여과 공정

- GE ZeeWeed 500: Polyvinylidene fluoride(PVDF) 중공사막, 침지형
- GE ZeeWeed 1000: 0.02  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막, 침지형
- Memcor-M10V, L10V, L20V: 0.1  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막, 가압형
- Memcor-S10V: 0.1  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막, 침지형
- Memcor-M10B, M10C: 0.2  $\mu\text{m}$  polypropylene 중공사막, 가압형
- Memcor-S10T: 0.2  $\mu\text{m}$  polypropylene 중공사막, 침지형
- Memcor-B10R, B30R, B40N: 0.1  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막, 침지형
- Microza P/N XUSV-5203: 0.1  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막
- Microza P/N USV-5203, USV-6203, UNA-620A, UNA-620A-1
- Mitsubishi MBR: 0.4  $\mu\text{m}$  polyethylene 중공사막
- Kubota MBR: 0.4  $\mu\text{m}$  chlorinated polyethylene 평막
- Norit X-Flow S225: 0.05  $\mu\text{m}$  polyethersulfone 중공사막
- Puron: 0.05  $\mu\text{m}$  polyethersulfone 중공사막, 침지형
- Vacuum Rotation Membrane: 0.038  $\mu\text{m}$  polyethersulfone 평막, 침지형
- Dynalift: 0.03  $\mu\text{m}$  PVDF tubular막, 가압형
- IMAS: 0.05  $\mu\text{m}$  polyethersulfone 나선형막
- Metawater Ceramic Membrane: 0.1  $\mu\text{m}$  세라믹막, 가압형
- Asahi-Kasei MUNC-620A, MUDC-620A: 0.1 $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막, 침지형
- Norit Xiga, Aquaflex: 0.025  $\mu\text{m}$  polyethersulfone 막, 가압형
- HYDRAcap UF: 0.2  $\mu\text{m}$  polyethersulfone 중공사막
- HYDRAsub/MRE Sterapore SADF MBR: 0.4  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막
- Dow SFX2860, 2880: 0.03  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막
- Toray MEMBRAY: 0.08  $\mu\text{m}$  평막, 침지형
- Sumitomo Poreflon: 0.2  $\mu\text{m}$  중공사막
- Dynatec Dynalift MBR: 0.03  $\mu\text{m}$  tubular막, 가압형
- WesTech Clearlogic MBR: 0.2  $\mu\text{m}$  PVDF 중공사막, 침지형



# MBR (Membrane Bioreactor)

## MBR 시설 설치현황

(자료: Yang et al, 2006)

제조업체	전세계	미국
GE (Zenon)	331 (204 + 127) <sup>a</sup>	155 (132 + 23)
Siemens (US Filter)	16 (15 + 1)	13 (13 + 0)
Kubota	1538 (1138 + 400)	51 (48 + 3)
Mitsubishi-Rayon	374 (170 + 204)	2 (2 + 0)
Total	2259 (1527 + 732)	221 (195 + 26)

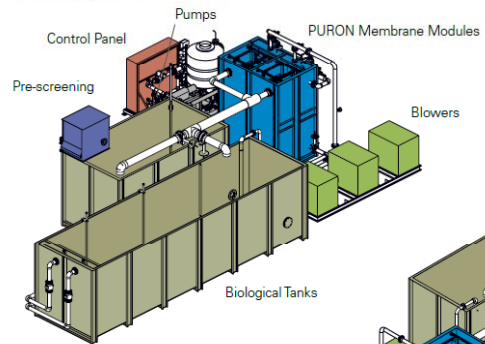
주: <sup>a</sup> (도시하수처리장 + 산업폐수처리장)



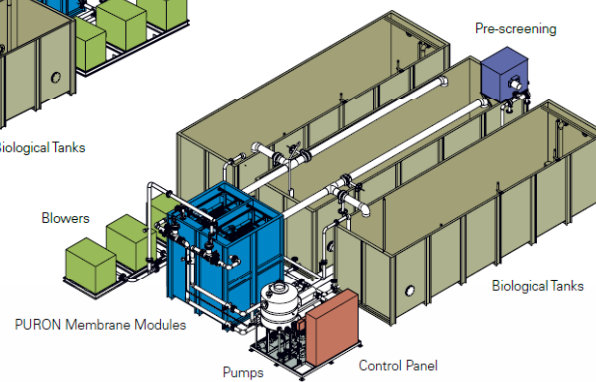


# Package MBR

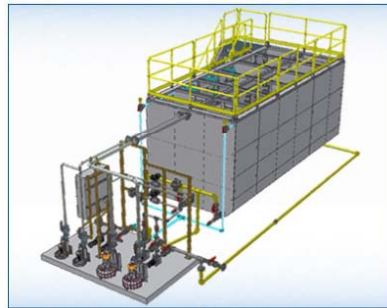
500 m<sup>2</sup> System



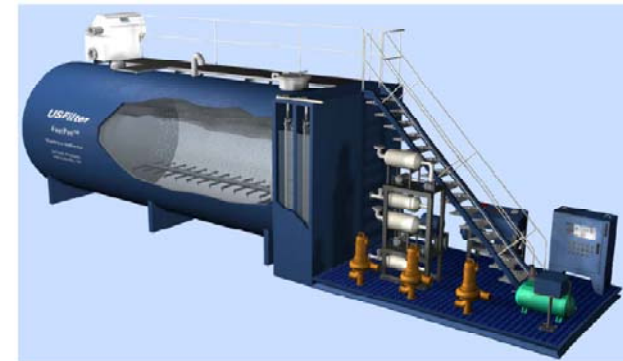
1000 m<sup>2</sup> System



## Koch PURON Plus



Kubota

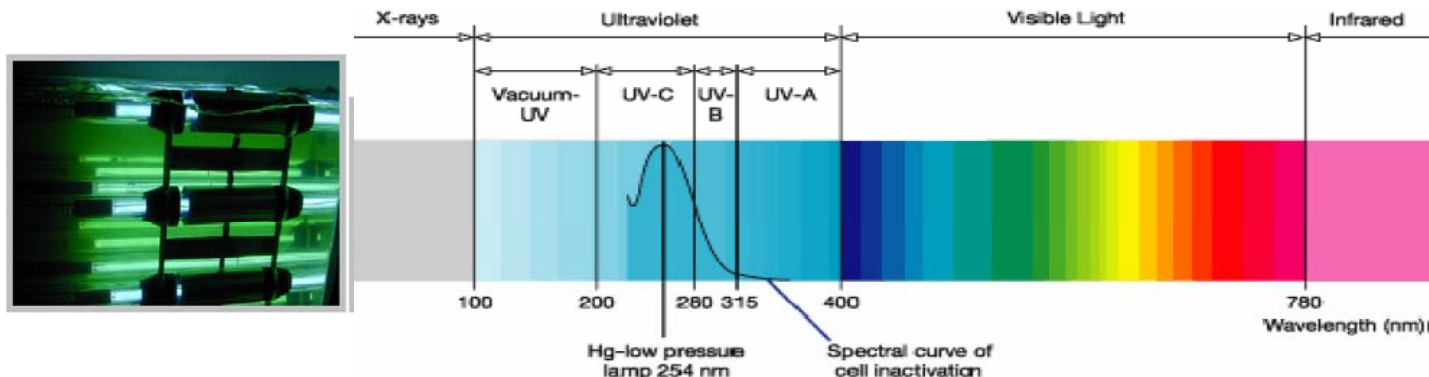


Siemens Xpress



# 자외선 (UV) 램프

인자	저압/저강도	저압/고강도	중압/고강도
적용압력 (mm Hg)	$10^{-3} - 10^{-2}$ (진공)	$10^{-3} - 10^{-2}$ (진공)	$10^2 - 10^4$ (대기압)
램프 표면온도 (°C)	40 - 50	90 - 250	600 - 800
수은의 상태	부분적 증기상태	부분적 증기상태	완전한 증기상태
자외선 스펙트럼	단색성 253.7 nm	단색성 253.7 nm	다색성 250 - 290 nm
입력 전력 (W)	75	190 - 1,620	1,250 - 5,000
자외선 출력 (W)	26.7	40 - 500	87.5 - 750
램프 수명 (시간)	8,000 - 13,000	5,000 - 12,000	3,000 - 8,000
처리시설 규모	소, 중규모	소, 중, 대규모	중, 대규모



# 자외선 (UV) 소독



캘리포니아주 인증 UV공정

- Trojan UV4000
- Trojan UV3000
- Trojan UV3000+
- Specktrotherm 33-TAK UV
- Wedeco LCI-20L
- Wedeco – TAK 55
- Wedeco – TAK 55HP
- Wedeco – LBX 1000
- Wedeco – LBX 400
- Wedeco – LBX 90
- Aquionics
- ULTRAGUARD UV System
- Aquaray 40 VLS
- Aquaray 40 HO VLS
- Aquaray 3X HO
- Terminator
- OCS 6000 Microwave UV



Trojan UV4000



Aquionics InLine



# 물 재이용 계획 및 적용시 고려사항



# 재이용수 수질

## 용도별 하수처리수 재이용 수질권고기준

구 분	도시 재이용수	조경용수	친수용수	하천 유지용수	농업용수 <sup>1)</sup>		습지용수	지하수 충전 <sup>2)</sup>	공업용수 <sup>3)</sup>
총대장균 군수 (개/100mL)	불검출	불검출	불검출	≤1000	직접식용 불검출	간접식용 ≤200	≤200	불검출	≤200
결합잔류 염소 (mg/L)	≥0.2	-	≥0.1	-	-	-	-	-	-
탁도 (NTU)	≤2	≤2	≤2	-	직접식용 ≤2	간접식용 ≤5	-	≤2	≤10
SS (mg/L)	-	-	-	≤6	-	-	≤6	-	-
BOD (mg/L)	≤5	≤5	≤3	≤5	≤8	-	≤5	≤5	≤6
냄새	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	-	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것	불쾌하지 않을 것
색도 (도)	≤20	-	≤10	≤20	-	-	-	-	-
T-N (mg/L)	-	-	≤10	≤10	-	-	≤10	≤10	-
T-P (mg/L)	-	-	≤0.5	≤0.5	-	-	≤0.5	≤0.1	-
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	-	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
염화물 (mgCl/L)	-	≤250	-	-	≤250	-	≤250	≤250	-

## 중수도의 수질기준 (하수도법 시행규칙 제20조)

구 분	수세식화장실용수	살수용수	조경용수	세차·청소용수
대장균군수	불검출/100mL	불검출/100mL	불검출/100mL	불검출/100mL
잔류염소(결합)	0.2mg/L 이상 일것	0.2mg/L 이상 일것	-	0.2mg/L 이상 일것
외 관	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할것	이용자가 불쾌감을 느끼지 아니할것
탁 도	2NTU를 넘지 아니할 것	2NTU를 넘지 아니할 것	2NTU를 넘지 아니할 것	2NTU를 넘지 아니할 것
생물화학적 산소요구량 (BOD)	10mg/L를 넘지 아니할 것	10mg/L를 넘지 아니할 것	10mg/L를 넘지 아니할 것	10mg/L를 넘지 아니할 것
냄 새	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
색 도	20도를 넘지 아니할 것	-	-	20도를 넘지 아니할 것
화학적 산소요구량 (COD <sub>Mn</sub> 기준)	20mg/L를 넘지 아니할 것	20mg/L를 넘지 아니할 것	20mg/L를 넘지 아니할 것	20mg/L를 넘지 아니할 것

# 물 재생/재이용 시설의 비용

## 설치비용

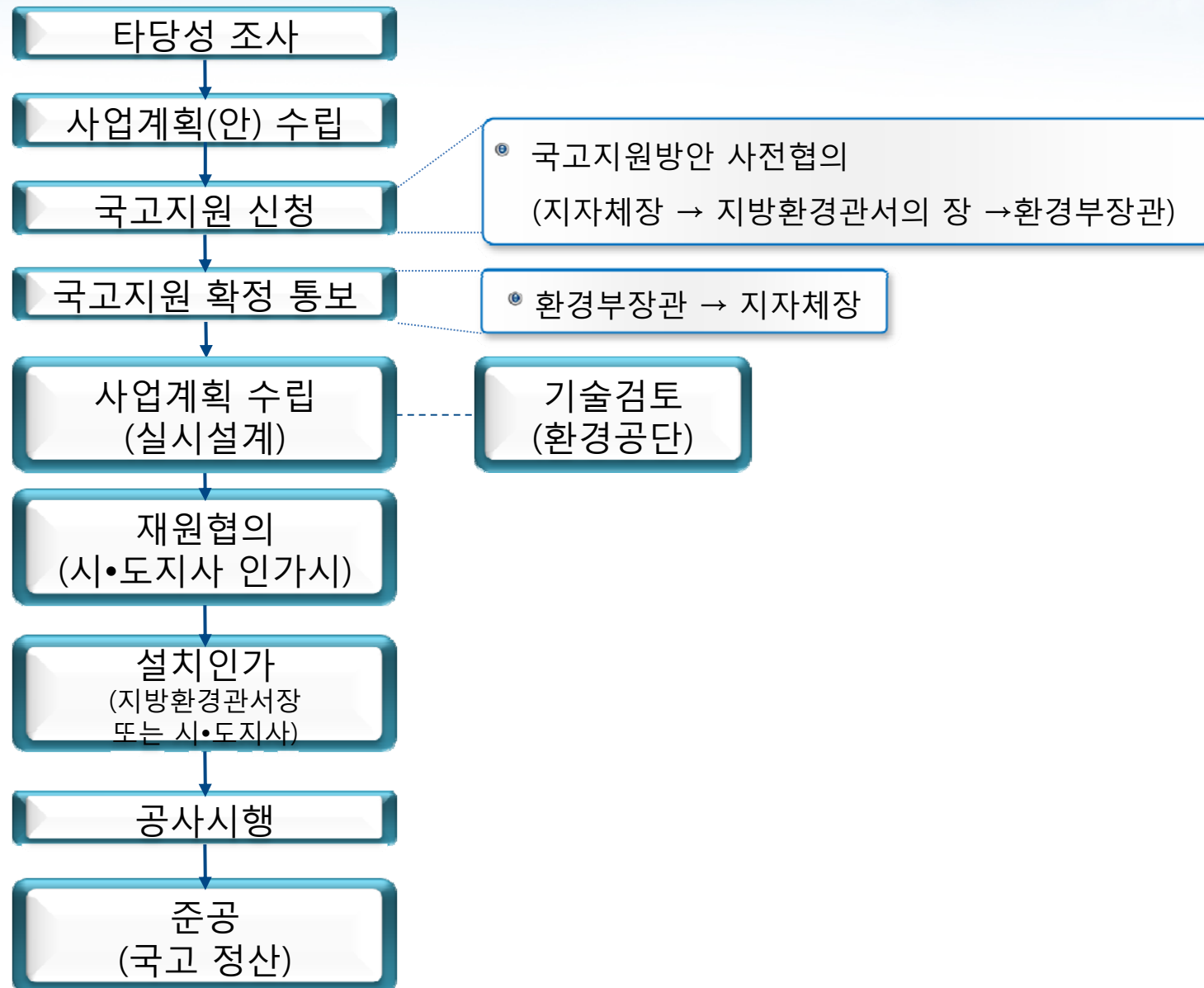
- 원수로 및 원수공급 펌프 시설비
- 각종 처리 시설비
- 염소처리 시설비
- 저수조 시설비
- 급·배수 처리 시설비
- 슬러지 처리·처분 시설비

## 유지·관리 비용

- 전력비
- 약품비
- 인건비
- 수리비 및 기타 제경비

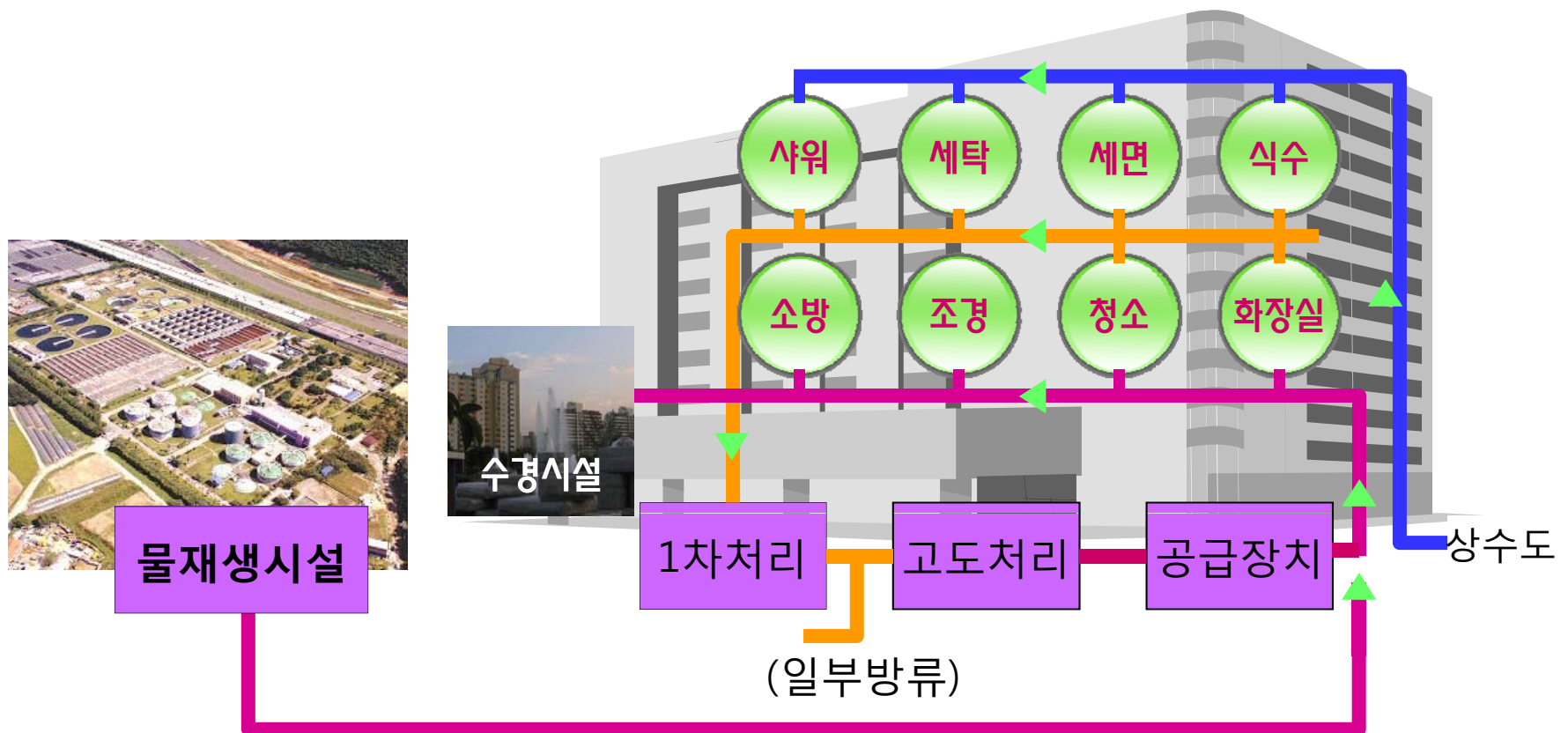
# 물 재이용사업 추진 흐름도

지방자치단체의 장이 시행하는 사업

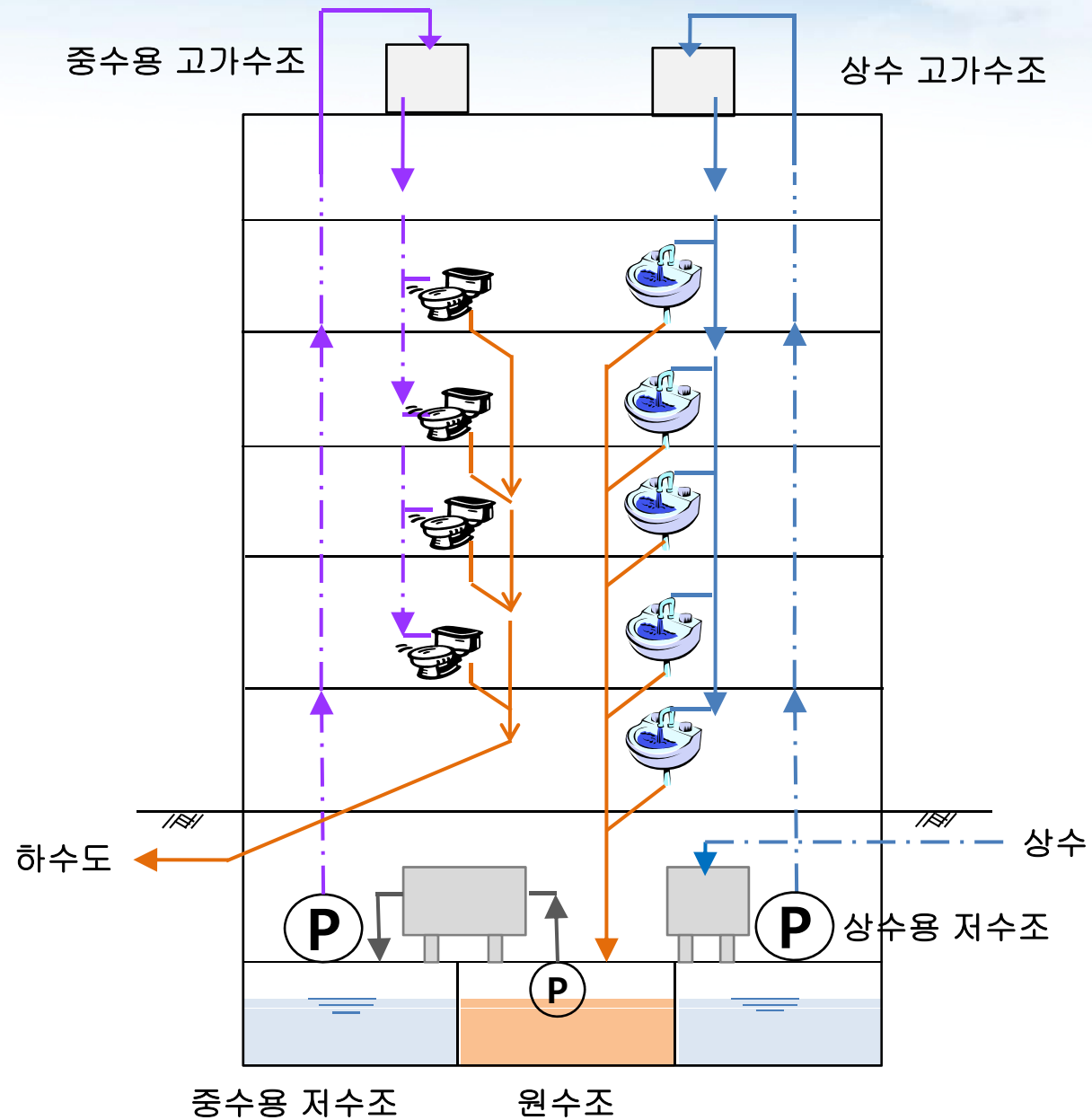


# 재생용수 공급방법

- 광역 중수도 : 하수종말처리장/물재생시설 재생수를 공동 중수도로 공급
- 개별 중수도 : 건물 혹은 공동주택에 개별 중수도 설치 후 사용



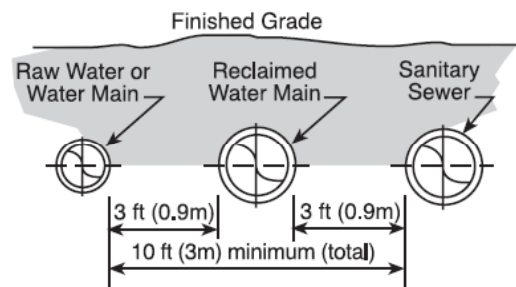
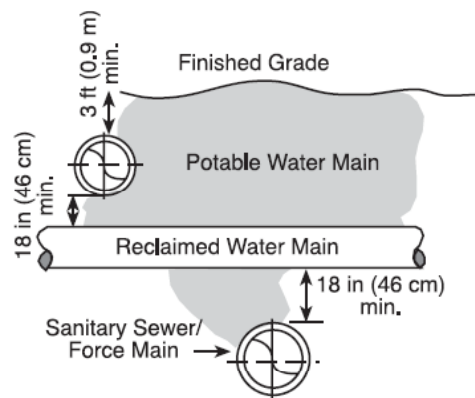
# 개별건물 물 재이용 시스템 예시





# 오사용/오접 방지

- 별도 배관이 필요
- 오접을 방지해야 함



Florida Separation Requirements for Reclaimed Water Mains



# 원수의 수질 및 수량 변동

- **안정적인 처리수 수질**
  - 활성슬러지법은 유입수의 수질 및 수량의 부하변동에 약함
- **예비 시스템 필요**
  - 한 장치가 고장이 나거나 문제점이 생기면 전체 설비장치가 상당기간 작동이 중지되고, 문제점을 해결하기 까지 물이 고여있는 상태로 썩을 수 있음
- **잦은 운전 중단 방지**
  - 배관내의 용존산소량 증가로 부식발생
  - 물이 시스템 내에 정체되며 부패할 가능성이 높음
  - 수질 악화
- **습기와 냄새처리가 용이한 구조로 설계**

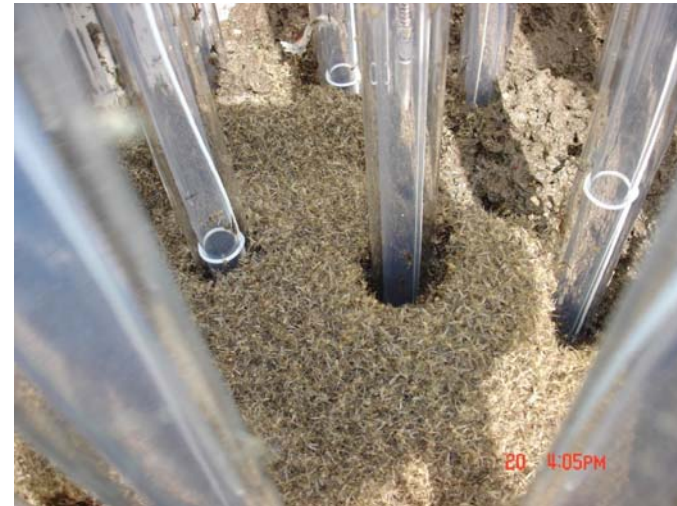
# 안정적 수량 확보



# 재이용 시설 운영시 고려사항

## 저장시설

- 저장조 바닥에 침전물이 발생되지 않도록 주기적으로 확인, 제거
- 외부로부터의 오염방지, 누수방지, 청소 필요
- 재이용수 급수량의 시간적 변화에 대응 가능하고, 동시에 세척수량을 공급할 수 있는 용량을 가져야 함
- 개방식의 경우 조류가 발생하는 경우가 있으므로 유의

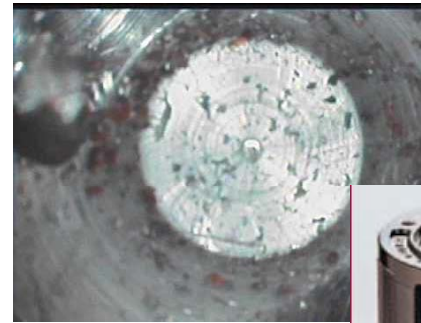




# 재이용 시설 운영시 고려사항

## 설비 및 기기 보수점검

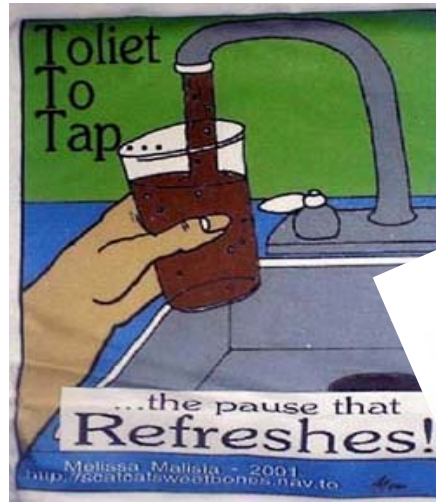
- 침전물의 부착이나 퇴적 등을 정기적으로 점검, 청소
- 전기 및 측정제어설비 : 수위계, 유량계, 밸브류 등의 주기적인 점검과 정비 필요
- 수위가 작동레벨임에도 불구하고 자동 작동하지 않을 경우 발생
- 초기 시설투자비가 많이 들더라도 유지관리가 간단한 공정을 선정



# 재이용수에 대한 거부감

## 부정적 브랜딩

- 하수 재이용
- Toilet to Tap



# 교육 및 홍보

## 용어 사용의 중요성

- 하수재이용, 중수도  
→ 물 재생, 물 재이용, 재생수

## 긍정적 브랜딩

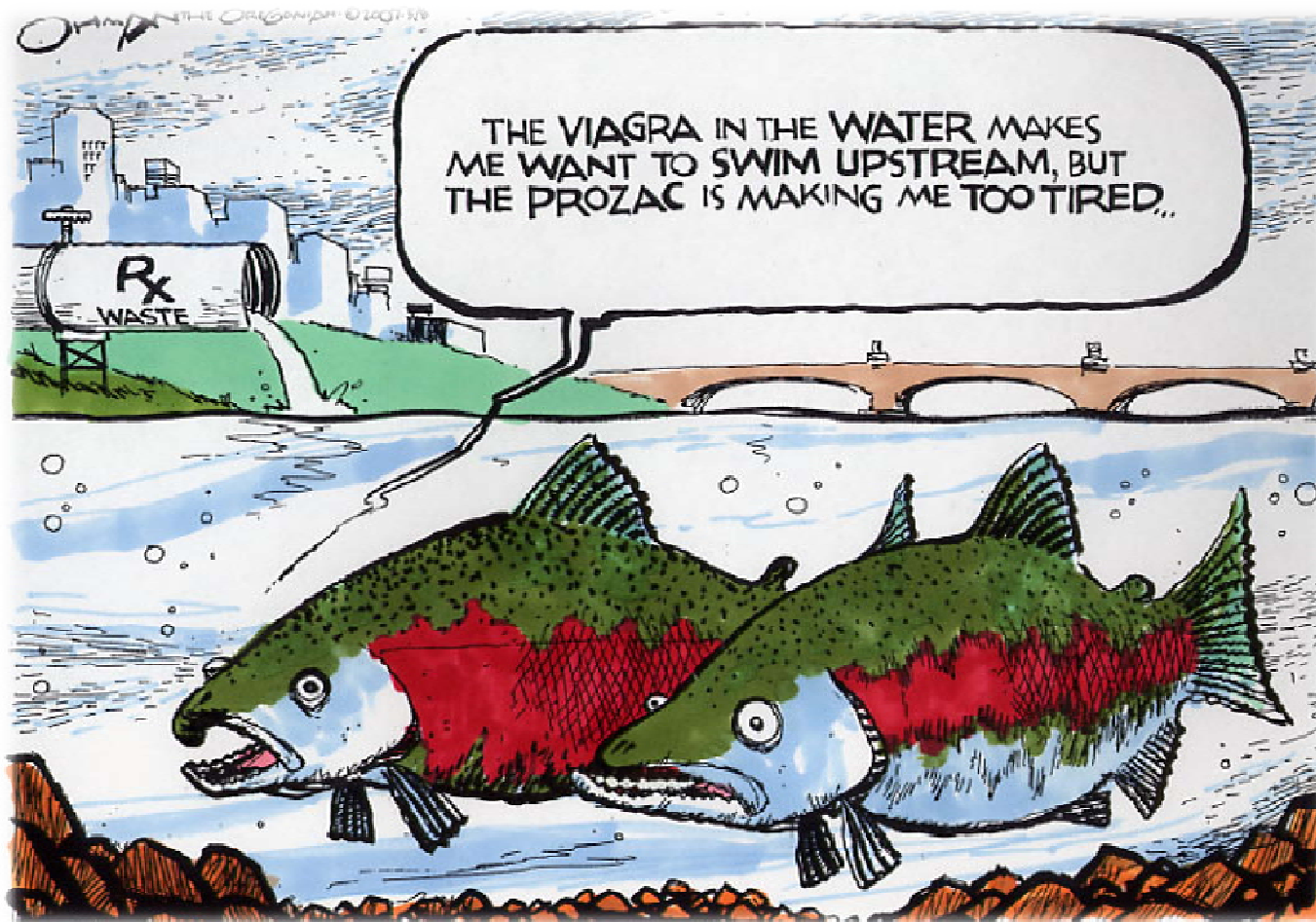
- Toilet to Tap  
→ NEWater (싱가포르의 예)



# 미량오염물질 (EDCs, PPCPs)

EDCs : Endocrine Disrupting Compounds

PPCPs : Pharmaceuticals and Personal Care Products





# 미량오염물질 (EDCs, PPCPs)



커피 1잔  
(17 ng/L, 240 mL)

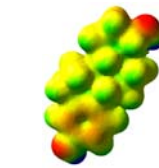
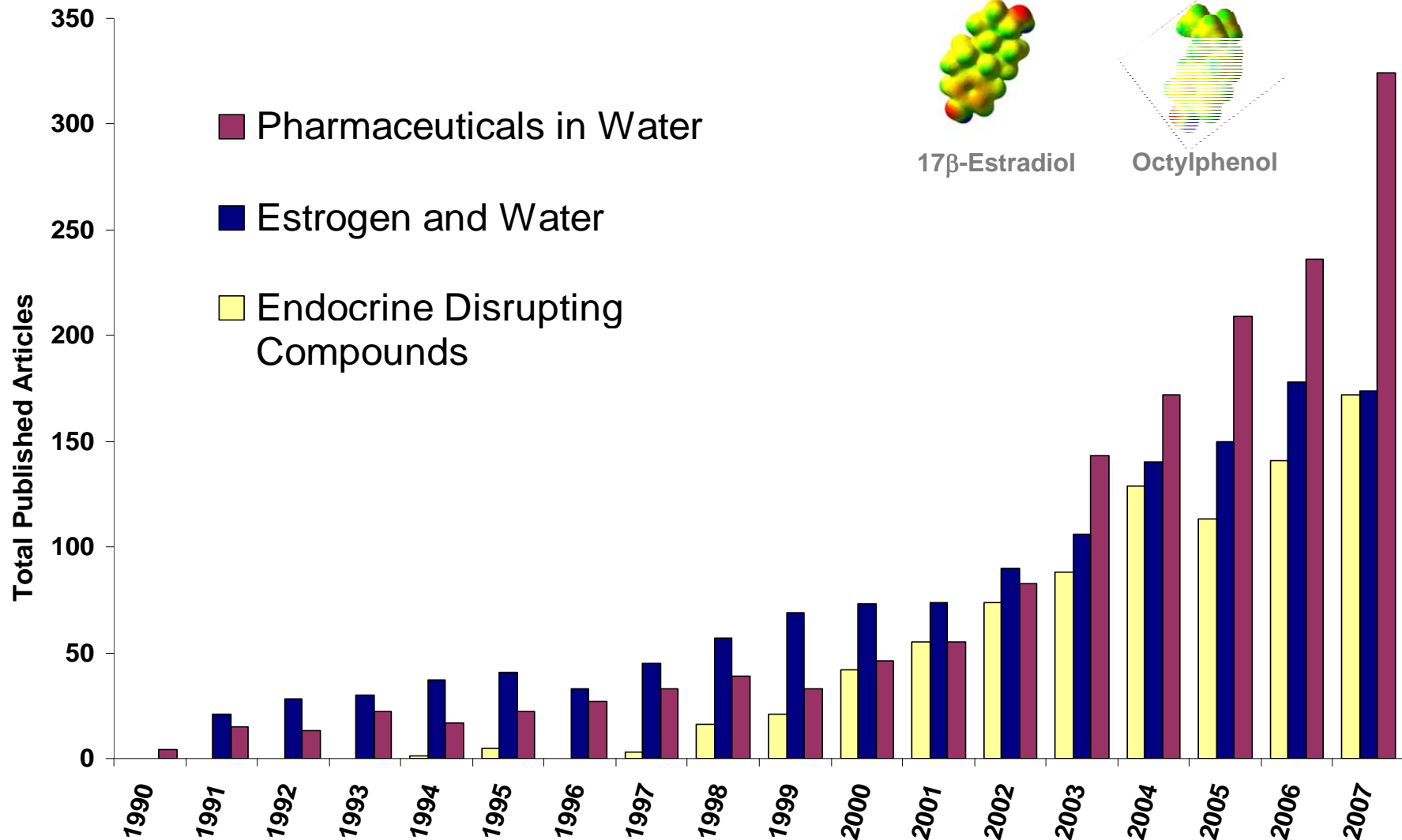
4 ng  
caffeine  
≈



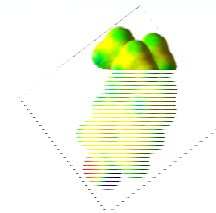
5.8-L Secondary Wastewater  
(0.7 ng/L)



# 미량오염물질 관련 연구



17 $\beta$ -Estradiol

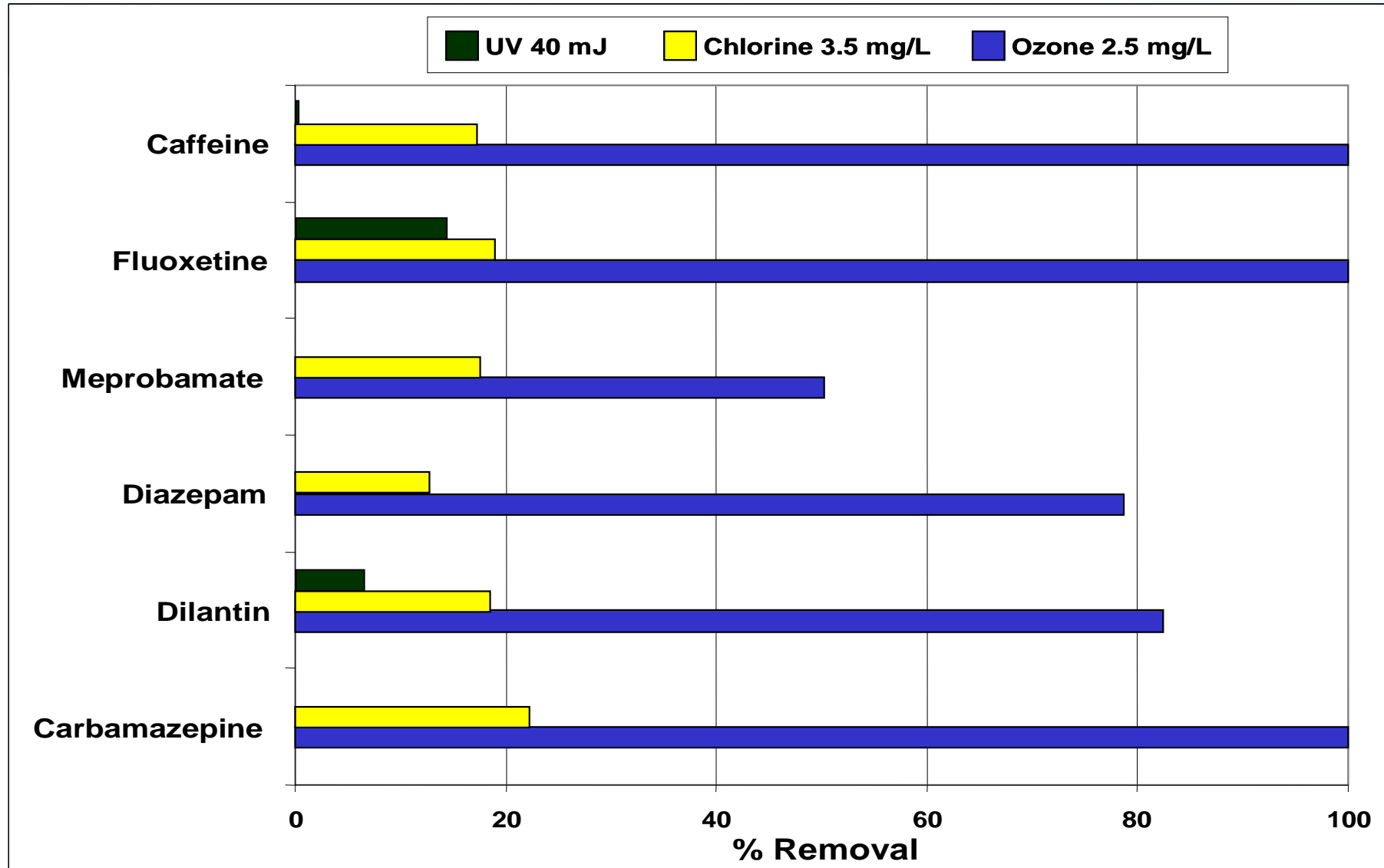


Octylphenol

# RO Feed와 Permeate EDCs, PPCPs 비교

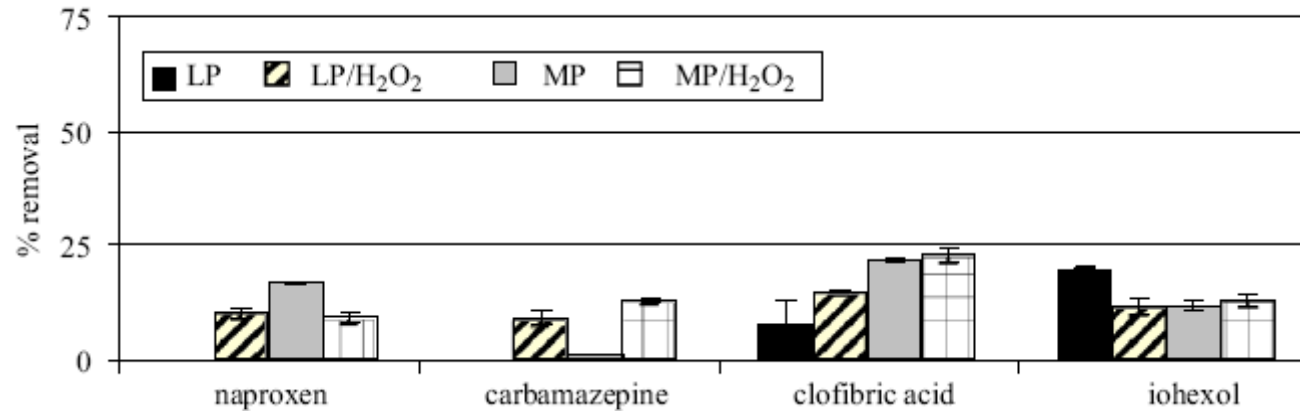
Description	RO Feed	RO 1 Permeate	RO 2 Permeate	RO 3 Permeate	RO 4 Permeate
Analyte	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
Hydrocodone	49.5	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Trimethoprim	227	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Acetaminophen	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Caffeine	<200	<10	<10	<10	<10
Erythromycin-H <sub>2</sub> O	224	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sulfamethoxazole	584	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Fluoxetine	30	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Pentoxifylline	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Meprobamate	200.5	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Dilantin	211.5	<1.0	<1.0	1.0	<1.0
TCEP	215	<10	<10	<10	<10
Carbamazepine	300	<1.0	<1.0	1.1	<1.0
DEET	172	<1.0	<1.0	1.2	<1.0
Atrazine	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Diazepam	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Oxybenzone	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Estriol	<100	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Ethinylestradiol	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Estrone	32	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Estradiol	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Testosterone	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Progesterone	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Androstenedione	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Iopromide	521	1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Naproxen	84	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Ibuprofen	23	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Diclofenac	51.5	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Triclosan	<20	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Gemfibrozil	529	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0

# 산화공정별 EDCs, PPCPs 제거효율

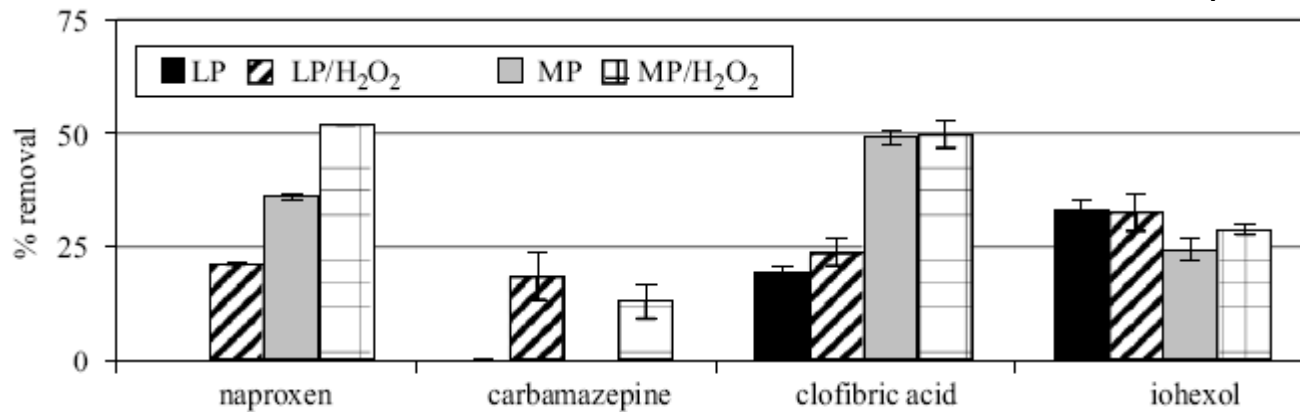


# UV 공정의 EDCs, PPCPs 제거효율

40 mJ/cm<sup>2</sup>



100 mJ/cm<sup>2</sup>



(Pereira 2007)

# 발표를 마치며...

- 통합 물수요관리의 중요성
  - 물 재생/재이용, 빗물 이용, 절수기기 보급 등과 같은 수요관리정책을 통한 물 낭비요인 제거
- 처리공정
  - 막여과 (예, MBR)
  - 고도산화 (예, 자외선소독)
- 운영시 고려사항
  - 안정적 수질 및 수량확보
- 홍보 및 교육을 통한 인식전환
  - 긍정적 용어사용 및 브랜딩



# 감사합니다.



 한국건설기술연구원

**이원태**

수석연구원/공학박사/기술사  
한국건설기술연구원

전화: 031-910-0318

Email: [wtlee@kict.re.kr](mailto:wtleee@kict.re.kr)