

2021년 기후변화대응 환경연구 역량강화교육

2021. 05.



광주녹색환경지원센터
광주광역시보건환경연구원
광주광역시상수도사업본부수질연구소

2021년

기후변화대응 환경연구 역량강화교육

2021. 05.



광주녹색환경지원센터



광주광역시보건환경연구원

광주광역시상수도사업본부수질연구소

2021년 기후위기대응 환경연구전문교육
『기후변화대응 환경연구역량강화 교육』

【온라인교육 운영안내】

- **목적:** 기후변화 대응 및 광주지역 현안 환경문제 해결을 위한 최신 환경정보와 환경연구기술 제공을 통해 광주지역 환경개선을 위한 환경연구 인적기반 확충
- **대상:** 광주광역시보건환경연구원, 광주광역시상수도사업본부 수질연구소 및 환경관련 전공 대학(원)생 등
- **교육접수:**
 - ① http://edu.gjgrec.or.kr/rpm.php?rpm=lecture&mode=lecture_order&lectureNo=6 접속 ⇒ 【강의신청하기 클릭】
 - ② 광주녹색환경지원센터(<http://edu.gjgrec.or.kr>) 접속⇒【강의리스트클릭】⇒【강의선택클릭】⇒【강의신청하기클릭】
- **교육일정:** 2021. 5월 ~
- **수료요건:** 온라인교육플랫폼 학습진도율 80%이상
- **수료증 발급:**
 - 온라인교육플랫폼 활용 교육 이수 후 교육플랫폼시스템 발급 가능
- **주 관:** 광주녹색환경지원센터 · 광주광역시보건환경연구원 ·
광주광역시상수도사업본부 수질연구소

 교육내용 (총 10강, 20시간)

구분	교육주제	강사	비고
1	현대사회의 에너지사용에 따른 대기오염 현황	주홍수 교수 안양대학교 환경에너지공학과	온라인교육 40분×2개
2	그린뉴딜과 탄소중립 도시	오병철 박사(정책연구팀) (재)국제기후환경센터	온라인교육 40분×2개
3	그린뉴딜 실현을 위한 전국하수처리장의 수소생산기지화 사업	정호영 교수 전남대학교 환경에너지공학과	온라인교육 40분×2개
4	지구온난화와 기후변화	김도용 교수 목포대학교 환경공학과 대기모델링	온라인교육 40분×2개
5	상수도 배급수 관리 방안	이현동 한국건설기술연구원	현장교육(대면) - 수질연구소
6	고도정수처리 운영에 관한 사항	이경혁 K-Water	온라인교육 40분×2개
7	고도 활성탄공정에 관한 사항	김태훈 K-Water	온라인교육 40분×2개
8	조류관련 원수 수질관리 방안	이희숙 K-Water	현장교육(대면) - 수질연구소
9	망간 출수에 관한 사항	이영주 K-Water	온라인교육 40분×2개
10	급·배수 분야 수질관리 체계 개선	송병준 유신 대표	온라인교육 40분×2개

Contents

① 현대사회의 에너지사용에 따른 대기오염 현황	3
② 그린뉴딜과 탄소중립 도시	25
③ 그린뉴딜 실현을 위한 전국하수처리장 의 수소생산기지화 사업	73
④ 지구온난화와 기후변화	115
⑤ 상수도 배급수 관리방안 (현장교육(대면)-수질연구소)	
⑥ 고도정수처리 운영에 관한 사항	159
⑦ 고도 활성탄공정에 관한 사항	199
⑧ 조류관련 원수 수질관리 방안 (현장교육(대면)-수질연구소)	
⑨ 망간 출수에 관한 사항	233
⑩ 급·배수 분야 수질관리 체계 개선	267
⑪ 설 문 지	289

현대사회의 에너지사용에 따른 대기오염 현황



주흥수 교수
안양대학교 환경에너지공학과

현대사회 에너지 사용에 따른 대기오염

: (초)미세먼지 기초지식 및 석탄연소 배출 미세먼지 특성 연구(1)

April, 2021

주 흥 수

안양대학교, 환경에너지공학과



광주광역시

녹색환경지원센터
환경역량강화 교육

강사소개: 주흥수 (HungSoo Joo, 안양대학교)



- 1994~2002: 서울과학기술대학교, 학부 및 석사과정
: 퇴비화 공정을 이용한 유류오염토양의 복원 (TPH, CO₂)-**유기성 폐기물 처리분야**
- 2002~2007: 동경공업대학 (Tokyo Institute of Technology, Japan), 박사과정
: *Alcaligenes faecalis* strain No.4를 이용한 고농도 암모니아 처리 (NH₄⁺, NH₂OH, NO₂⁻, NO₃⁻, Citrate, NH₃ and N₂O)- **환경미생물 및 생물학적 폐수처리분야**
- 2007~2014: 워싱턴 주립대학교 (Washington State University, USA), Site engineer/Research Associate (박사후 연구원) : 대기오염물질 배출량 측정 및 저감 연구 (현장 적용 연구) (NH₃, NO, NO₂, H₂S, SO₂, CS, GHG (CO₂, CH₄, and N₂O), VOC, VFA, and PM (PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP)
- **대기오염 측정 및 저감 분야**
- 2014.11~2017.04: 광주과학기술원 (GIST) 초미세먼지 피해저감 사업단, 연구교수
: 초미세먼지 발생, 측정, 제어를 통한 다양한 초미세먼지 물리화학적 특성 분석 (Ions, organic/ elemental carbon, heavy metals, OC speciation) 및 생물학적/화학적 독성(oxidative potential (OP^{DTT}, OP^{ESR}), 세포독성, 유전독성, 염증반응, 산화스트레스) 평가
- **입자상 대기오염물질 (에어로졸, 미세먼지) 연구**
- 2017.04~현재: 안양대학교, 환경에너지 공학과 교수 (연구실: 수리관 213호)
: **미세먼지 측정/분석/독성 연구, 미세먼지 전구물질 및 악취 배출 측정**



Basic-08_1 Dust – definition, origin, dangers, particle distribution

by Eng. Wolfgang Brunnhuber



www.GRIMM-aerosol.com

Wolfgang Brunnhuber, Dr. Friedhelm Schneider

Aerosol, Dust Sources

Natural Sources

- Volcano
- Desert storms
- Soil erosion
- Sea salt
- Fires, biomass burning
- Pollen, gaseous precursors

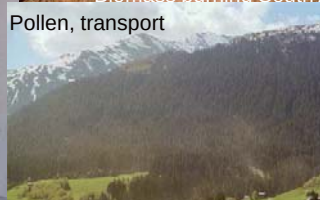
Etna, Sicilia, 2002



Biomass burning South Africa

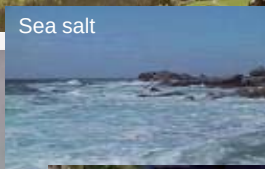


Pollen,
gaseous precursors



Pollen, transport

Sea salt



Sandstorm, erosion



Heating

Anthropogenic Sources

- Traffic, combustion
- Power plants and heating
- Working processes,
like welding, crushing, grinding
- Agriculture
- Fires, biomass burning



Demolition work



Agriculture, landuse



Biomass burning, Italy



Traffic, automotive



www.GRIMM-aerosol.com

Wolfgang Brunnhuber, Dr. Friedhelm Schneider

Aerosol, Dust some definitions

Aerosol: solid and/or liquid, in gas floating particles within a particle size range between 0,001 μm to 100 μm (vgl. Die Atmosphäre als Kolloid, 1936)

Primary aerosols: directly emitted into the air, e.g. by bulk to particle conversion (BPC)

Secondary aerosols: aerosols originated from gaseous precursors, by gas to particle conversion (GPC), accumulation and coagulation e.g. NH_4NO_3 or $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

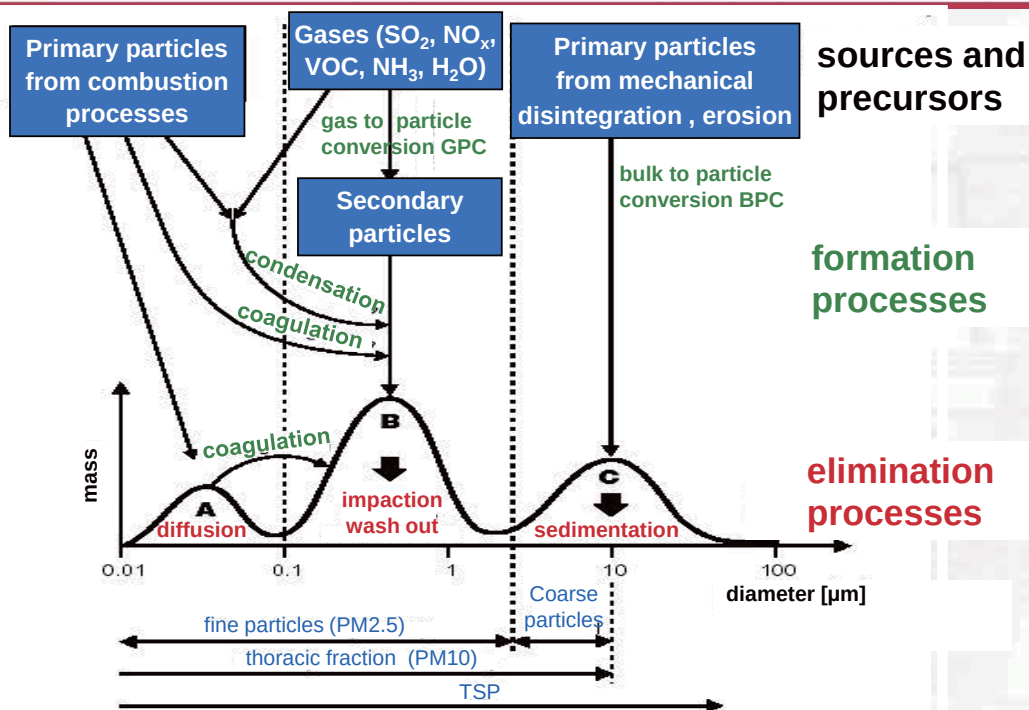
Dust: suspension of solid particles produced by mechanical disintegration of material such as crushing, grinding and blasting

PM10: particulate matter, mass of particles with aerodynamic diameters approximately smaller than 10 μm

TSP: total suspended particles, mass of particles with aerodynamic diameters approximately smaller than 35 μm

Nanoparticles: particles < 100 nm diameter (mostly classified by their electrical mobility diameter), engineered nanoparticles

Particle distribution aerosol sources and sinks, formation and elimination

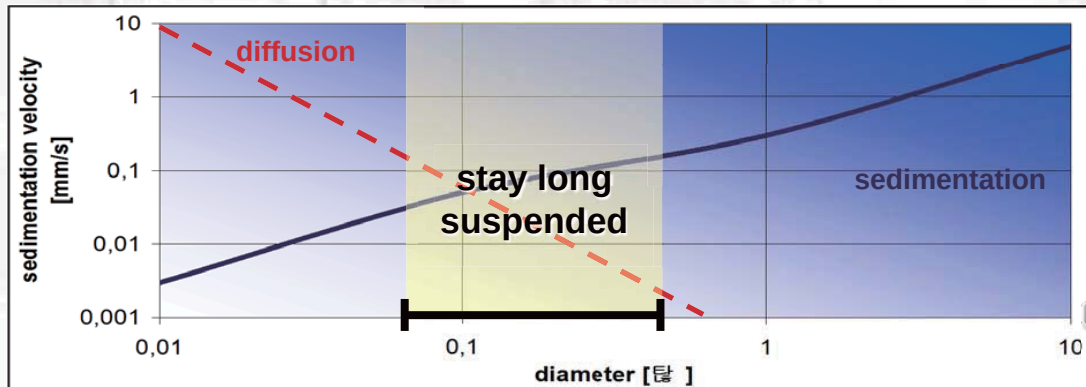


Particle distribution: Elimination of airborne particles by sedimentation and diffusion

How long stay particles in the air? This depends on particle size - and on particles **sedimentation** and **diffusion** velocity!

The **sedimentation** velocity of particles strongly depends on particle size:

- a particle of **10 μm** diameter sinks in one second app. **5 mm**
- a particle of **1 μm** diameter sinks in one second app. **0.3 mm**
- a particle of **0.1 μm** diameter sinks in one second app. **0.05 mm**
- a particle of **0.01 μm** diameter sinks in one second app. **0.003 mm**



Diffusion depends on size, too. Small particles have high **diffusion** velocity.

Dangers effects on human health: Risk potential of dust particles by...

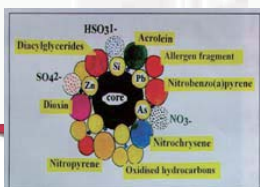
by:

particle **size** distribution

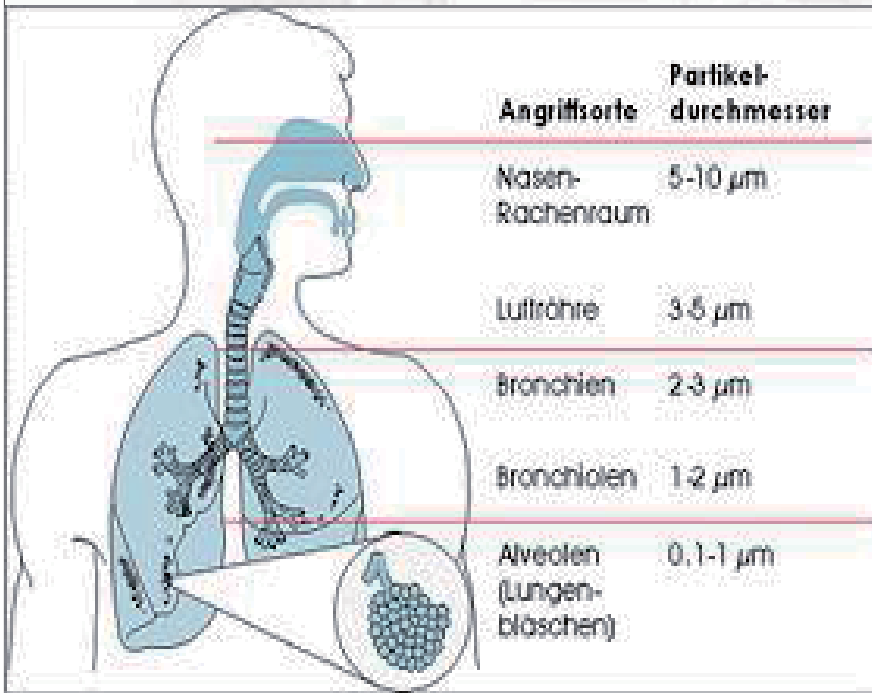
particle **concentration**

chemical composition of the dust particles

surface bound or **adsorbed chemicals** (like PAH)



Risk potential of dust particles: Deposition of dust in human lung



Inhaled dust
Inhalable Fraction

Fraction passing the larynx and getting into the thorax

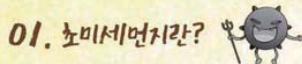
Thoracic Fraction

The fine particles, entering the more than 300 Mio. alveolic bubbles

Alveolic Fraction

초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)

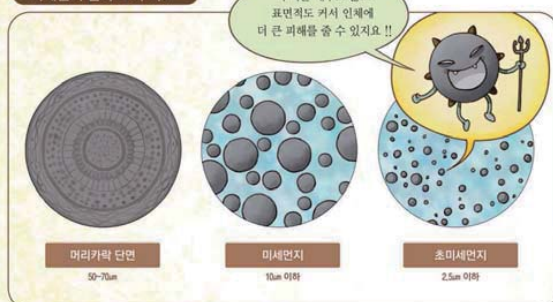
01. 초미세먼지란?



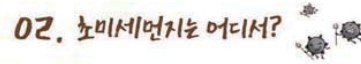
박사님,
요즘 초미세먼지 때문에
말들이 많은데,
초미세먼지가 도대체 무엇인가요?

먼지, 초미세먼지는 직경이 2.5 마이크로미터(μm) 이하의
눈에 보이지 않는 작은입자를 말합니다.
크기가 매우 작기 때문에 폐 깊숙이 침투가 가능하여
우리의 건강을 해치는 "침묵의 암살자"로 볼 수 있습니다.

미세먼지 입자 크기 비교



02. 초미세먼지는 어디서?



그럼,
초미세먼지는
어디서 발생합니까?

초미세먼지는 아래와 같이
다양한 오염원에서
발생합니다.



¹ (출처: 광주과학기술원, 초미세먼지 진단연구센터 박기홍 교수)

초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)

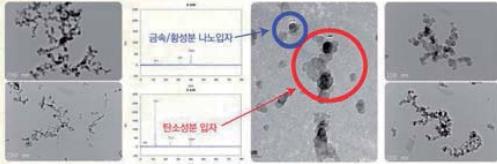


그럼,
초미세먼지는
어떻게 생겼습니까?

아래의 전자현미경 사진에서
볼 수 있듯이, 초미세먼지 모양도
크기도 다양합니다.



다양한 초미세먼지 전자현미경 이미지 (광주과학기술원 박기홍 교수팀 촬영)



디젤 자동차 배출 입자



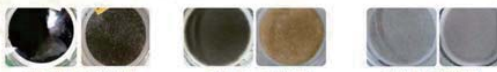
중국어에서 날아온 황사 입자

바이오 에어로졸 입자



플라스틱 연소 입자

농작물/나무 연소 입자



자동차 배출 초미세먼지

석탄 연소 초미세먼지

대기 중 초미세먼지

3

03. 초미세먼지는 우리 건강에 어떤 영향을 주나요?



그럼, 초미세먼지는
우리 신체에
어떤 영향을 주나요?

초미세먼지는 크기가 매우 작기도 하지만
각종 유해/독성물질을 함유할 수 있고
우리 몸속에 깊숙이 침투하여 각종
질병발생 및 조기 사망률에도 영향을
줄 수도 있습니다.



1. 질병발생
 - 호흡기 질환 : 천식, 감기, 기관지염, 알레르기성 비염, 폐기는 저하에 영향, 특히, 인체의 면역력과 방어력을 떨어뜨려, 독감이나 세균감염에도 취약
 - 심혈관 질환, 우울증, 뇌경색 등에 영향
2. 취약계층 (노인, 어린이, 이미 질환을 가지고 있는 분들)에 더 위험
3. 조기 사망률 증가에 영향



4

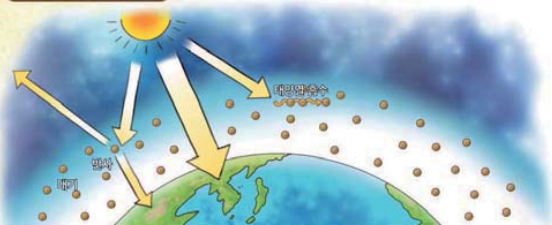
초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)

04. 기후변화에도 영향?

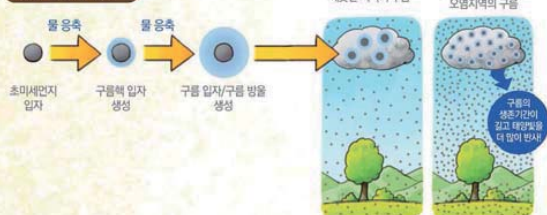


초미세먼지와 같은 에어로졸은 지구에 도달하는
태양빛을 흡수 또는 반사함으로써 전체 지구 복사 열평형에
영향을 줍니다. 이러한 에어로졸들은 구름 형성에도
중요한 역할을 하고, 구름의 생존시간, 강수량 등에도
영향을 줄 수 있습니다.

태양빛의 흡수 및 반사



구름 형성에 영향



5

05. 초미세먼지를 정복하려면?



그럼, 이렇게 위험한 초미세먼지로
부터 건강을 보호하고, 사회/경제적
피해를 최소화하기 위해서는
어떻게 해야 할까요?

간단한 일은 아니지만,
최첨단기술로 초미세먼지를
정복하고 피해저감 할 수 있습니다.



첫째

초미세먼지라는 것을 먼저 아는 것입니다.
최첨단 과학기술을 개발하여 초미세먼지의 모든 것을 빠르고
신속하게 종합 진단하는 것입니다.
마치 우리가 종합병원에서 종합건강검진을 받는 것과 비슷
하지만, 감진결과를 바로 받아볼 수 있도록 하는 것입니다.



크기, 질량, 농도 등
물리적 특성 진단!

유해성/독성 진단!

중금속, 미온염,
탄소성분 등 화학적
특성 진단!

기후변화 영향 진단!



6

초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)



둘째

많은 장소에서 측정하여 초미세먼지 정보의 시각지대를 얻고, 종합 진단된 결과를 가지고 일반국민, 정부, 지방자치단체, 병원 등과 협력하여 초미세먼지에 대해 올바르게 대처할 수 있도록 해야 합니다.



좀 더 구체적으로 설명해 주실 수 있나요?

초미세먼지는 주로 건물 옥상에서 측정을 하고 있지만, 사람들의 실제 호흡 높이(1~2m), 자동차가 많은 도로변이나 실내주차장 등 다양한 장소에서 농도를 측정하여 초미세먼지 정보의 시각지대를 얻어야 합니다. 또한, 스마트폰 앱이나 TV 등 매체를 통하여 초미세먼지에 대한 기초교육, 특히 현재의 초미세먼지에 대한 상세정보와 그에 따른 대응방안을 제공하여, 국민들 스스로 초미세먼지에 대처할 수 있도록 하는 것이 가장 좋은 방법입니다. 이를 위해서는 정부, 지자체, 공단, 병원 등의 유기적인 협력체계가 필요합니다.

유기적 협력체계



- 정부/지자체/공단: 각종 사업장에서 나오는 미세먼지에 대한 배출저감 규제, 친환경자동차 보급, 청정연료 사용, 생활오염원(식화기 등)의 관리 강화, 국민들의 소통체계 강화 등
- 국민: 대중교통 이용, 에너지 절약, 미세먼지 농도 높은 날 실외활동 자제, 마스크 착용, 미세먼지 피해저감을 위한 운동요법 및 식이요법 이행 등

7

초미세먼지 진단연구센터 박기훈 교수

13

Jang Brunnhuber, Dr. Friedhelm Schneider

초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)

그럼, 실내에서는 시중에 판매되고 있는 황사마스크를 착용하면 안전한가요?

기존 황사마스크(KF80)는 0.6 마이크로미터 입자를 80%이상 제거하고 있습니다. 하지만, 초미세먼지는 0.6 마이크로미터보다 작은 입자를 다량 포함하고 있기 때문에, 실제로 많은 양의 초미세먼지가 황사마스크에 걸리지 않고 그대로 통과되고 있습니다. 우리 건강을 생각한다면 좀 더 작은 입자를 보다 높은 효율로 제거할 필요가 있습니다. 또한 사용하다 보면, 수분이 마스크에 흡수되어, 본래 가지고 있던 먼지제거 능력(청정기)을 잃게 됩니다. 이러한 단점들을 보완한 초미세먼지 제거용 마스크의 개발이 필요합니다.



나 초미세먼지 마스크



- 숨쉬기 편하고 오래 사용할 수 있는 마스크
- 높은 먼지제거 성능을 가지면서 더 작은 먼지까지 제거할 수 있는 마스크
- 수분에 의해 먼지제거 성능이 감소하지 않는 마스크
- 트렌디한 디자인을 가미한 마스크

나 일반 마스크

내 마스크도 있다구~

(출처: 광주과학기술원, 초미세먼지 진단연구센터 박기훈 교수)

8

또한, 실내에서는 공기청정기를 사용해야 합니다. 현대사회는 90% 정도의 시간을 실내에서 생활하고 있어 공기청정기의 중요성이 큼니다. 하지만 공기청정기는 초기 구입비용이 비싸고, 필터교체 비용이 만만치 않아 국민에게 부담이 되고 있습니다. 따라서, 먼지제거 성능이 지속적으로 유지되는 집전성능 지속형 공기청정기, 필터가 필요 없는 무필터 공기 청화장치 등을 개발하여 보급할 필요가 있습니다.



나 필터가 필요 없는 무필터 정화장치



나 미세먼지제거 성능이 오랫동안 지속되는 공기청정기

나 휴대용 공기청정기

- 고농도 작업장에서도 사용가능(무필터 정화장치)
- 휴대용, 중가형, 고가형 공기청정기 등 목적과 실내 공간에 맞게 사용가능 (맞춤형 집전성능 지속형 공기청정기)

9

초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)



셋째 마지막으로 초미세먼지라는
적의 출현을 좀 더 정확하게 예측해야 합니다.

우리나라에도 예보를
담당하는 전문가들과
연구진이 있지 않습니까?

맞습니다. 우리나라에서도 정확한 예보를 위한
연구가 활발하게 진행되고 있습니다. 하지만, 우리나라
실정에 맞고 정확도가 높은 초미세먼지예보를 위해서는
아직 보완되어야 할 부분이 많이 있습니다.
따라서 현재 예보를 담당하고 있는 전문가들과의 협력을
통해서 우리나라 초미세먼지 특성에 맞는 한국형
예보기술을 개발하여 적용할 필요가 있습니다.

우리실정에 맞는
"한국형 예보기술"
개발 연구

좀 더 정확한
초미세먼지 예보

10

15

Innhuber, Dr. Friedhelm Schneider

초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)

박사님 말씀을 들어보니
초미세먼지 정체를 위해서는
한가지 기술로 해결되는 단순한
문제가 아니라는 생각이 듭니다.

맞습니다. 아래 그림과 같이,
마치 전시장에서 연결전선을
구축하여 적군에 대응하는 모습과
비슷하다고 생각하시면
될 것 같습니다.

1

적출현 조기발견 및
규모/전투력 파악

초미세먼지의 물리/화학적 특성과 위치도를
조기에 진단(출현진단/신속진단)하고,

2

연합전선 구축

• 감시망 구축

• 신속한 정보 전달

• 적의 행동양식 파악

지자체/정부/법원등과 유기적 협력을
통해 효율적인 대국민소통체계를
구축(소통구축)하고,

4

적 이동경로 파악
및 지원사격

통시에 위성자료의 모달링을 통해 향후의
초미세먼지 거동을 예측(조기예측)함으로써
국민들이 초미세먼지에 올바르게 대응할 수 있게 함.

3

신속대응 및 동향
(특고/지상연합군)

고성능 마스크/공기청정기를 사용하여 신속하게
초미세먼지로부터 국민피해를 최소화 (신속대응) 하고,

06. 초미세먼지에 대한 올바른 대응

박사님께서 말씀하신 것을
요약하면 미래에는
이런 모습이겠군요.



초미세먼지 중합진단 전경의 신속한 제공
(농도/위험도)

정확한 초미세먼지 예보 (내일/다음주)

식이/운동요법, 집안방 대체, 행동요법

초미세먼지 제거용 마스크, 공기청정기 등

초미세먼지 제거!

대비가!!

피해를
최소화 하자!

11

(출처: 광주과학기술원 초미세먼지 진단연구센터 박기홍 교수)

12

초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 피해저감 사업단 브로셔)

07. 초미세먼지 연구기관

그러면, 현재 이러한 과학적인 접근을 통해 초미세먼지 문제를 해결하기 위해 노력하고 있는 곳이 있습니까?

현재, 미래창조과학부 사회문제해결형 시민연구사업의 일환으로서, 국가적인 차원에서 초미세먼지에 관한 연구가 진행되고 있습니다. 광주과학기술원의 "초미세먼지 피해저감 사업단"에서 앞서 말씀드린 연구들을 수행/주관하고 있습니다.

08. 초미세먼지 피해저감 사업단의 역할

그럼, "초미세먼지 피해저감 사업단"에서 하는 연구결과로 초미세먼지 문제를 완전히 해결할 수 있다고 보십니까?

물론, 단시간 내에 초미세먼지 문제를 완벽하게 해결하는 것은 쉽지 않습니다. 하지만 현재 "초미세먼지 피해저감 사업단"의 접근방법과 같이 과학기술을 이용하여 초미세먼지를 정복하려는 노력이나 움직임이 있다면, 향후 우리나라가 초미세먼지 문제를 지속적으로 해결해 나갈 수 있도록 하는 긍정적인 도전을 마련하는데 큰 역할을 할 수 있다고 생각합니다.

09. 초미세먼지 피해저감 사업단의 연구 체계



정화팀

정화장치개발 연구팀

신속대응

실내대응책

초미세먼지 제거용 마스크(2종류) 1.7세대(초미세먼지) 2.3세대(초미세먼지)

위해성팀

위해성평가 연구팀

초기진단

초미세먼지 영향력 특성연구

초미세먼지 제거용 마스크(2종류) 1.7세대(초미세먼지) 2.3세대(초미세먼지)

예보팀

예보기술개선 연구팀

초기예측

초미세먼지 발생-제거-전달-노출-영향 all-in-one 플랫폼

다양한 초미세먼지 발생원에서 발생시기, 위치/방향적 특성을 상세하게 진단

소통팀

소통정책/법제도 연구팀

소통교육

실시간 방방방 소동

대국민소통 체계 구축

1. 초미세먼지 발생/노출/노출의 평가
2. 초미세먼지 제거용 마스크(2종류) 1.7세대(초미세먼지) 2.3세대(초미세먼지)
3. 초미세먼지 제거용 마스크(2종류) 1.7세대(초미세먼지) 2.3세대(초미세먼지)

현대사회 에너지 사용에 따른 대기오염

: (초)미세먼지 기초지식 및 석탄연소 배출 미세먼지 특성 연구(2)

April, 2021

주 홍 수

안양대학교, 환경에너지공학과



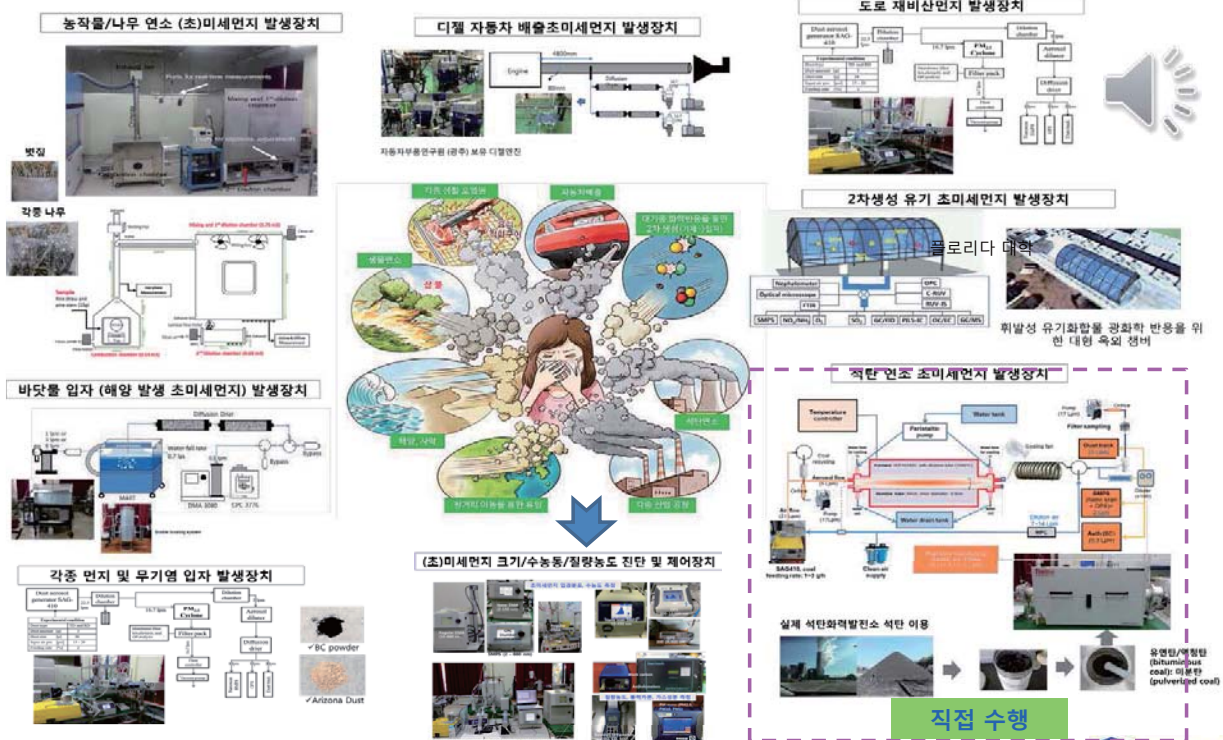
광주광역시

녹색환경지원센터
환경역량강화 교육



초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 발생/진단/제어 시스템)

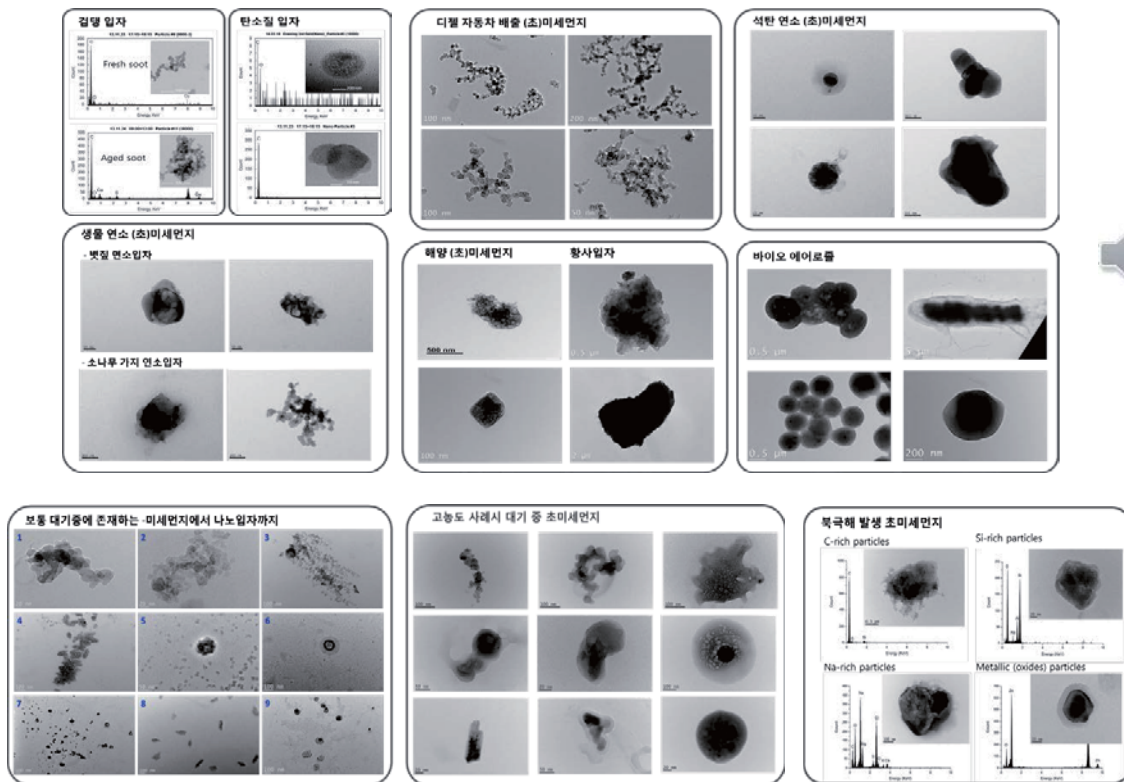
다양한 초미세먼지 발생: 석탄연소, 바이오매스 (농작물/나무) 연소, 도로 재비산, 디젤자동차 배출 초미세먼지 (primary aerosol), 이차생성 초미세먼지 (secondary aerosol) 등



(출처: 광주과학기술원, 초미세먼지 진단연구센터 박기홍 교수)



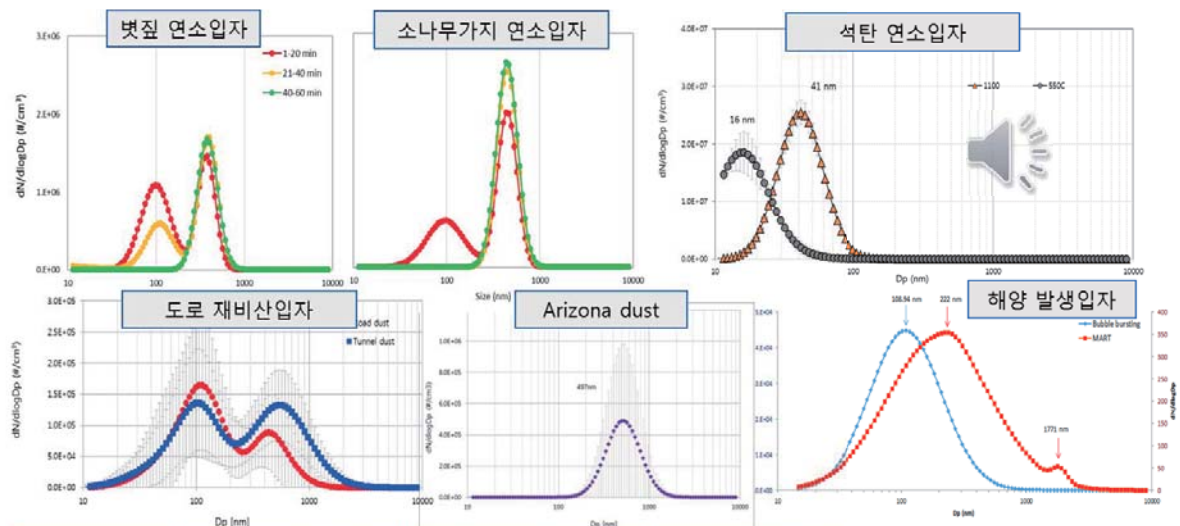
초미세먼지 연구 소개 (초미세먼지 모양 DB 구축)



(출처: 광주과학기술원, 초미세먼지 진단연구센터 박기홍 교수)



초미세먼지 연구 소개 (다양한 배출원별 초미세먼지 물리적 특성)

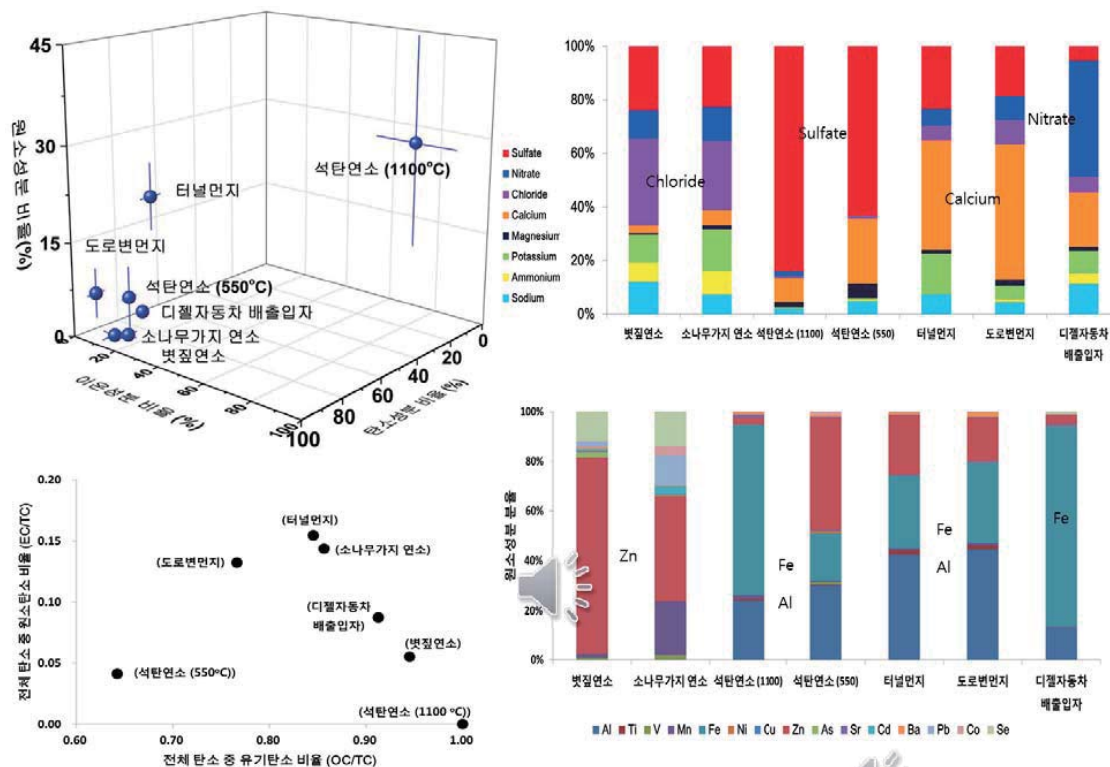


초미세먼지 타입	바이오매스 연소입자		석탄 연소입자		도로 재비산 입자		해양 발생 입자	
	벚꽃연소	소나무가지	1100°C 연소	550°C 연소	도로변 먼지	터널내먼지	MART	Bubble bursting
Mode diameter (nm)	407	465	41	16	111/435	99/535	222/1771	109
입경분포형태	Bimodal → Unimodal		Unimodal		Bimodal		Bimodal	Unimodal
PM2.5 질량농도 (μg/m³)	13,000±1500	29,000±4700	7,383 ±1,097	6,163 ±664	42.6±33.3	64.2±42.9	-	-
공급량	25 g		2.4 g/h		6 g/h		3 L/min air flow rate	

(출처: 광주과학기술원, 초미세먼지 진단연구센터 박기홍 교수)

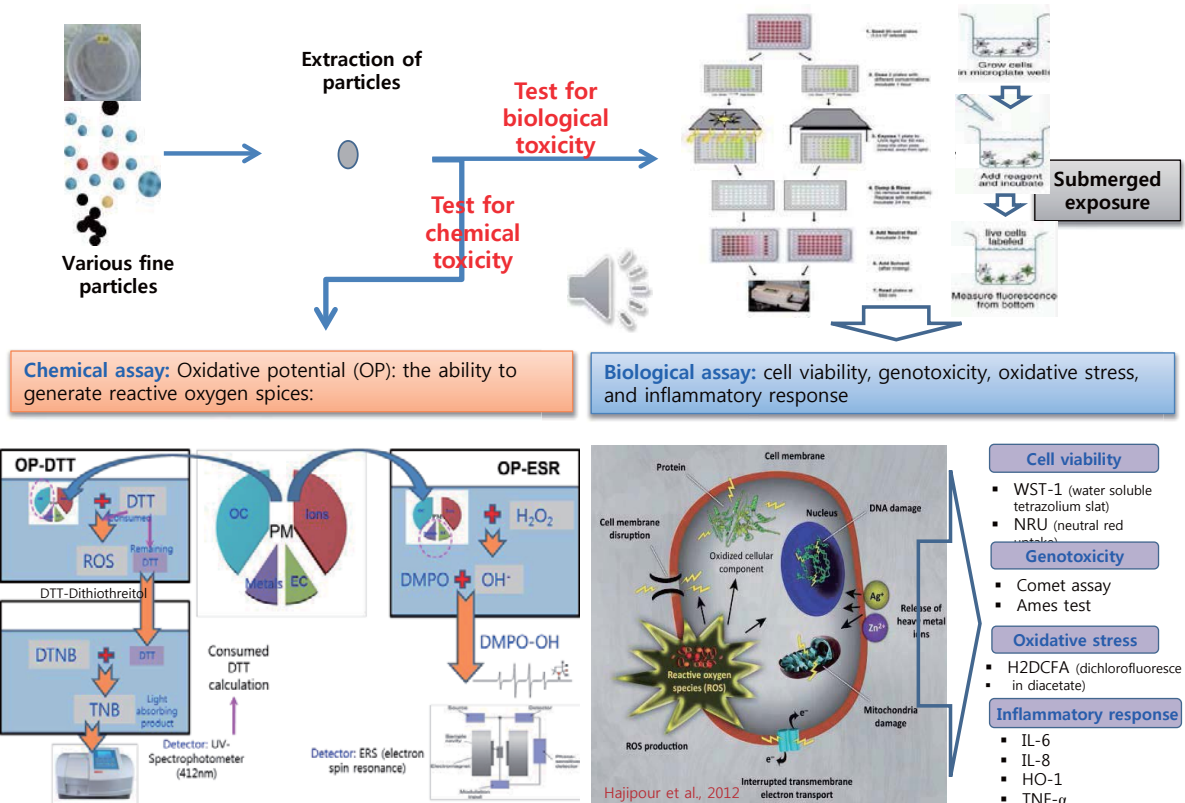


초미세먼지 연구 소개 (다양한 배출원별 초미세먼지 화학적 특성 DB-예비결과)



(출처: 광주과학기술원, 초미세먼지 진단연구센터 박기홍 교수)

초미세먼지 연구 소개 (독성 측정 방법)

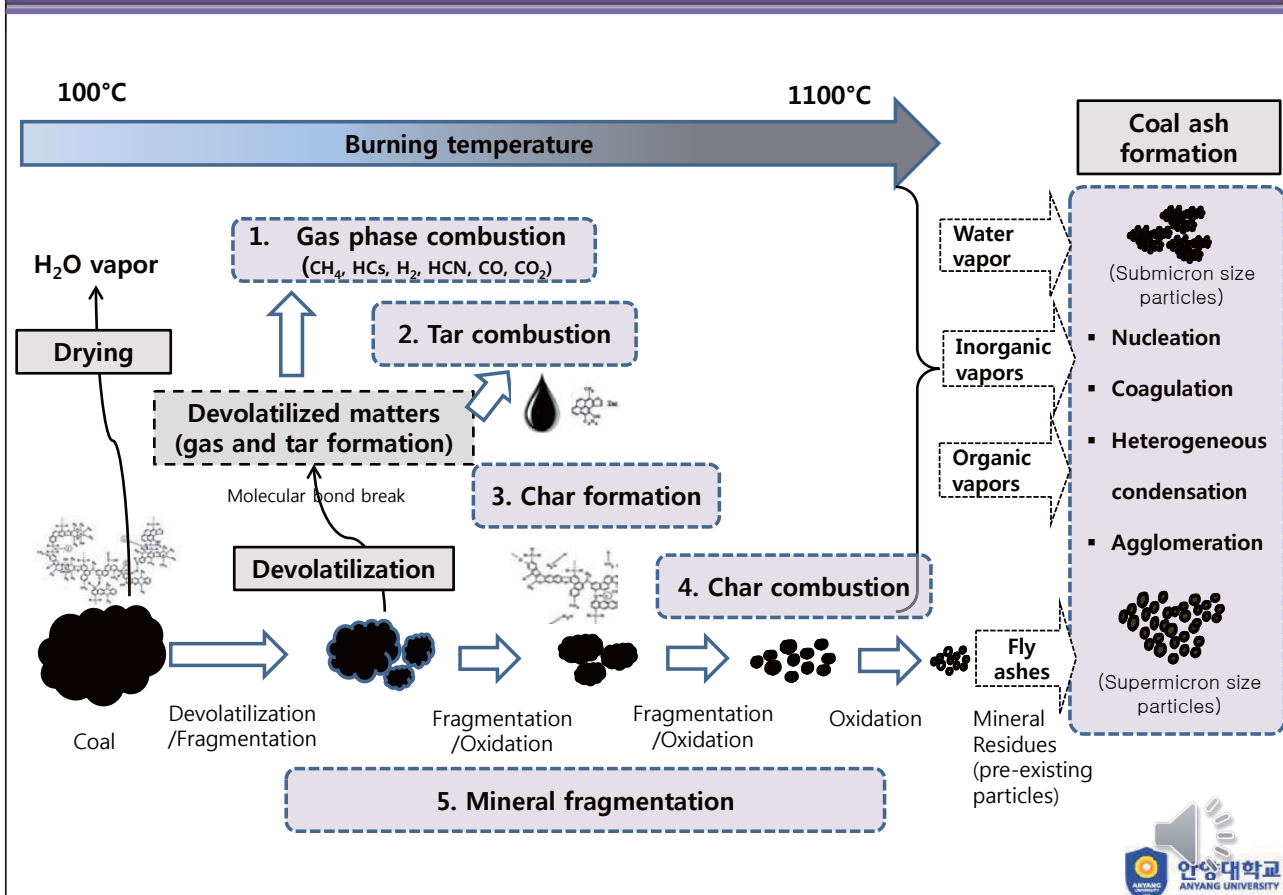


석탄연소 연구

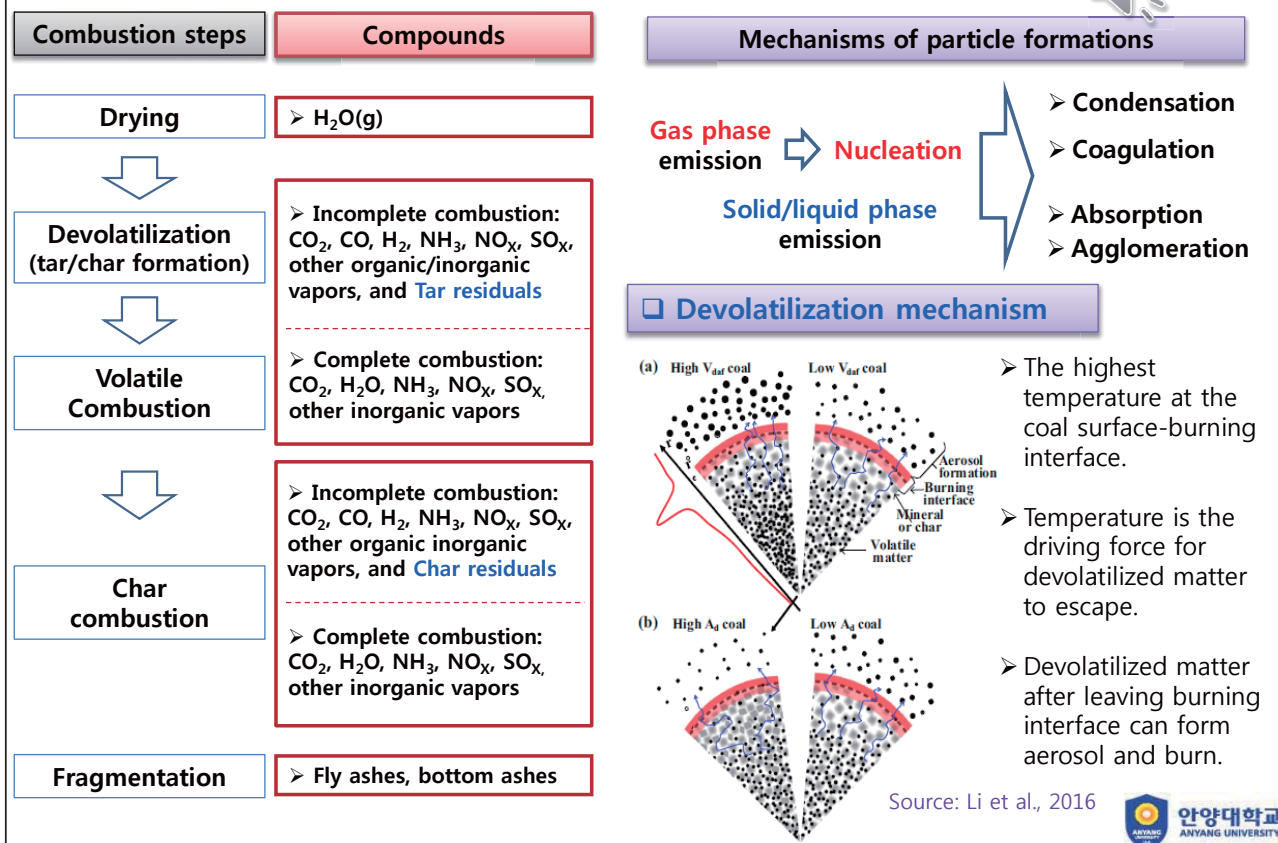
: 초미세먼지 성분 분석 및 연소의 이해



Coal combustion processes: Summary



Coal combustion steps and particle formation



Coal combustion process: Fragmentation

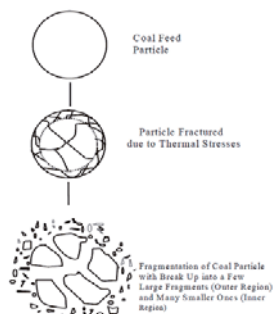
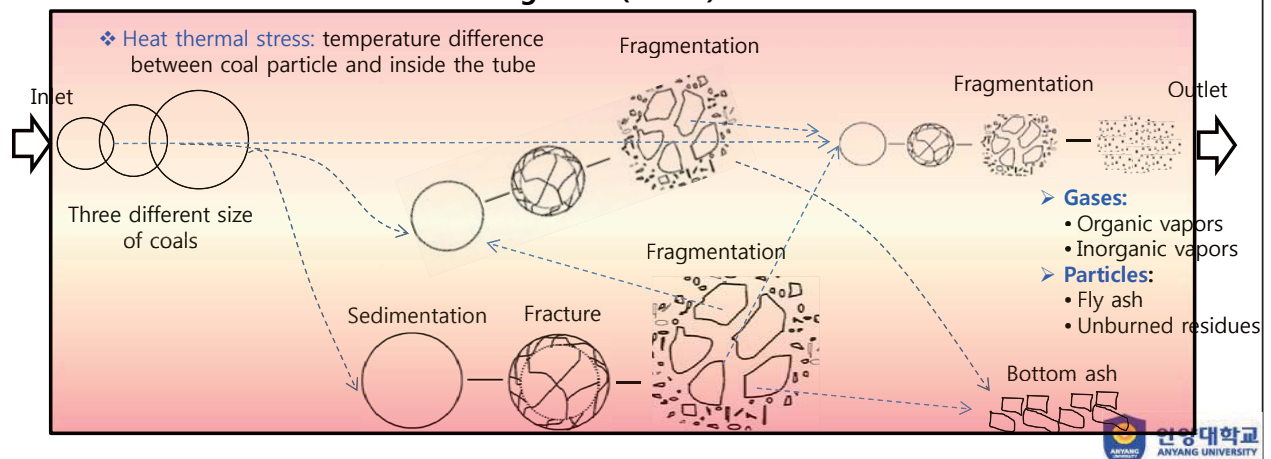


Fig. 8. The model of fragmentation of granular coal particle due to thermal stresses induced within particle during the initial heating stage of combustion.

1. A coal particle will be subjected to **thermal stresses** as it is heated during the initial stages of combustion.
2. These stresses **cause the particle to fracture**, with many small cracks at the surface, and large fractures within the central region of the particle.
3. As the coal particle continues to heat up, it is subjected to increasing temperature gradients, and **thermal stresses continue to build up**, until a point is reached whereby these stresses exceed the failure strength of the coal at the surface.
4. At this time, **the particle will break up**; the outer region into many small fragments and the inner region into a few large fragments.
5. This fragmentation process will be repeated for bigger size of coals

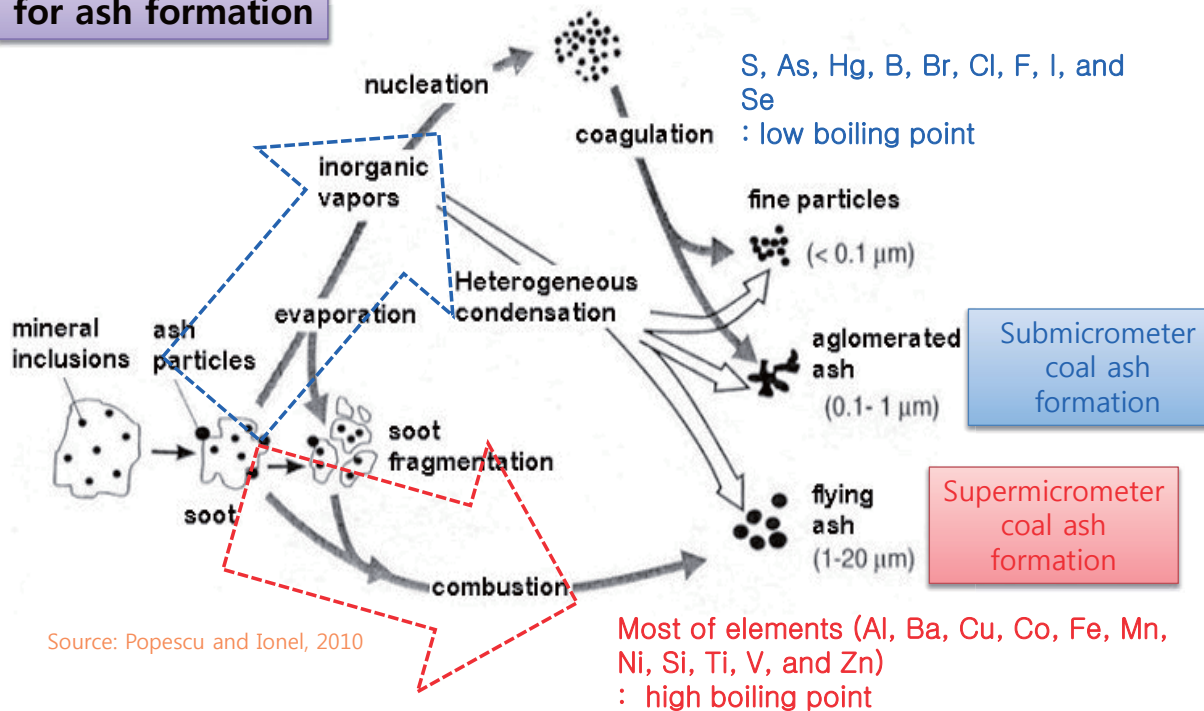
Source: P. Dacombe, M. Pourkashanian, A. Williams, L. Yap. Combustion-induced fragmentation behavior of isolated coal particles. Fuel 78 (1999) 1847–1857

Burning tube (boiler)



Coal combustion process: Ash formation

Two pathways for ash formation



Materials and Methods

Preparation of pulverized coal samples



Proximate composition (wt %) of the coal sample

Volatile matter	Fixed carbon	Ash	Water content
30.44	53.07	14.27	4.42

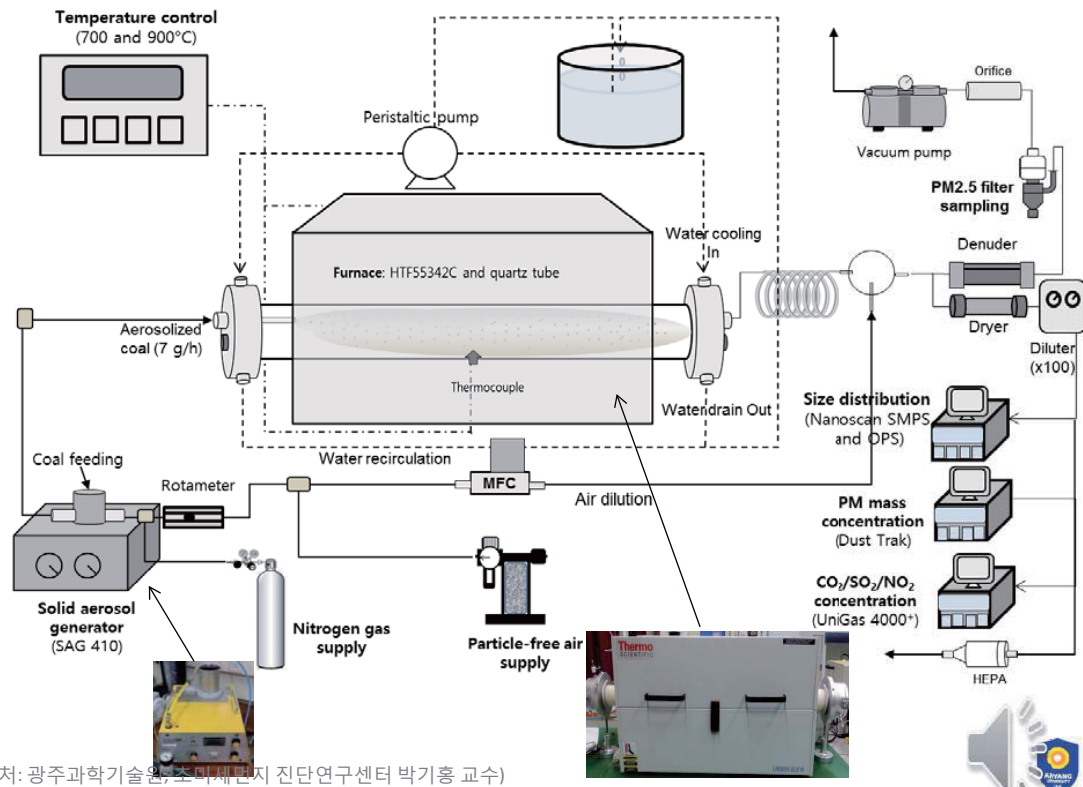
(Korea Energy Agency, Park et al., 2013).

Parameters for the characterization of physicochemical properties

Parameter	Instruments
Chemical properties	- Carbonaceous compounds: OC, OC speciation (n-alkanes, hopanes, PAHs, hydroxyl-PAHs, n-alkanoic acids, dicarboxylic acids, and levoglucosan), and EC - Ions (8): Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, and Na^+ - Elements (14): Al, As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V, and Zn
Physical properties	- Size: NanoScan SMPS (Model 3910, TSI Inc., USA) (10 - 420 nm) and optical particle sizer (OPS, Model 3330, TSI Inc., USA) (0.3-10μm) $\text{PM}_{2.5}$ Mass concentration: Filter sampling (reference method) and Dust Trak (Model DRX, TSI Inc., USA)
Chemical Toxicity	OP_{DTT}: Oxidative potential by DTT (dithiothreitol) assay OP_{ESR}: Oxidative potential by ESR (electron spin resonance) assay

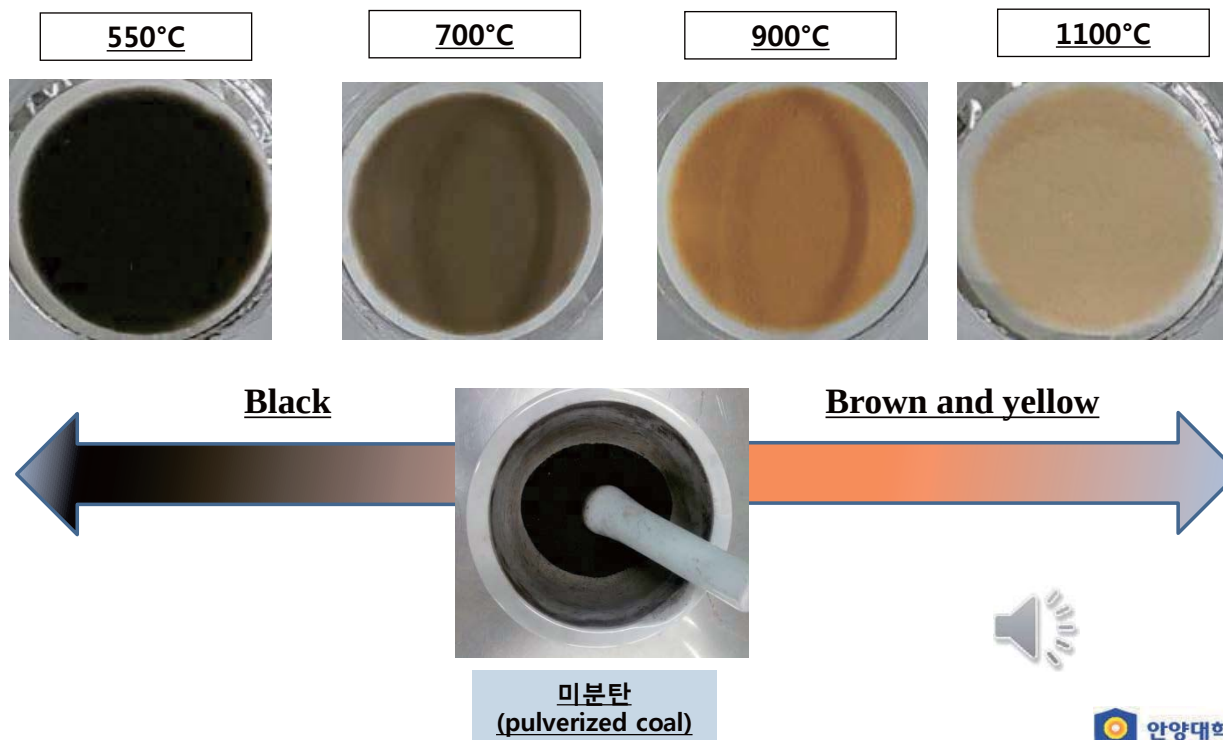
Materials and Methods

❑ A schematic of the generation/measurement system for coal combustion particles



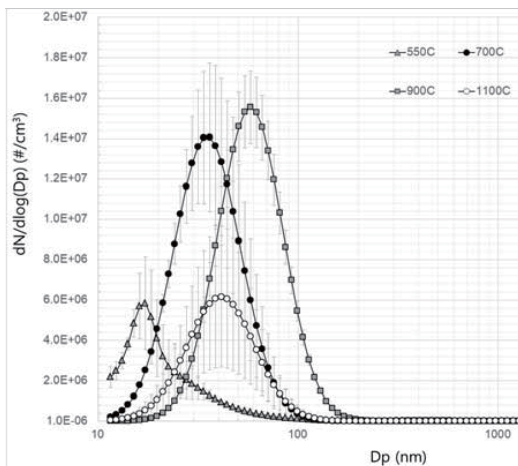
Results: Colors of coal combustion particles

Different colors of PM2.5 filter samples by different burning temperature



Results: Size distribution

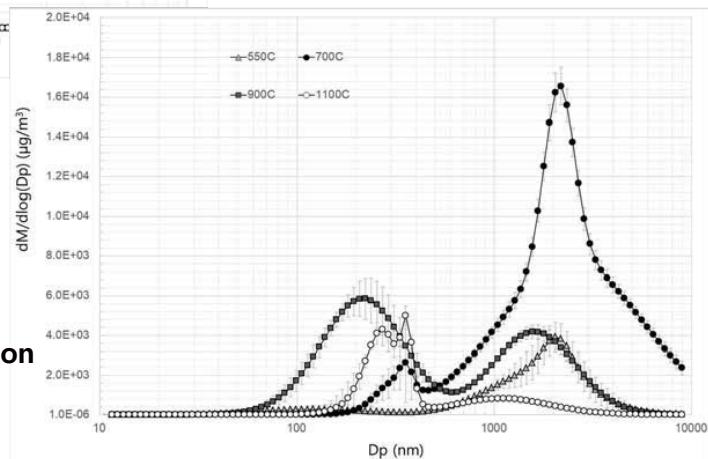
Joo et al., 2018, Aerosol Science & Technology



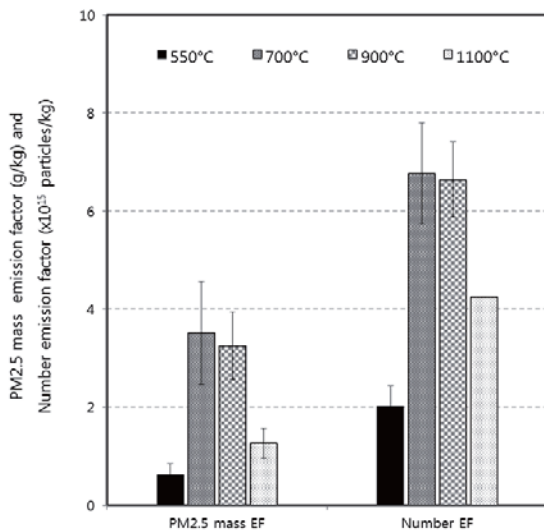
Number size distribution



Mass size distribution



Results: Emission factor (mass and number EF)



	550°C	700°C	900°C	1100°C
PM _{2.5} mass EF (g/kg)	0.63 ± 0.22	3.51 ± 1.05	3.25 ± 0.69	1.27 ± 0.31
Number EF (particles/kg)*	2.02 × 10 ¹⁵ ± 4.06 × 10 ¹⁴	6.77 × 10 ¹⁵ ± 1.03 × 10 ¹⁵	6.64 × 10 ¹⁵ ± 7.68 × 10 ¹⁴	4.25 × 10 ¹⁵ ± 3.07 × 10 ¹⁴

* Based on total count of particles in sizes from 10 nm to 10 µm.

➡ Comparable to biomass burning and diesel engine exhaust particles

➡ PM_{2.5} mass and number EF: 700°C > 900°C > 1100°C > 550°C

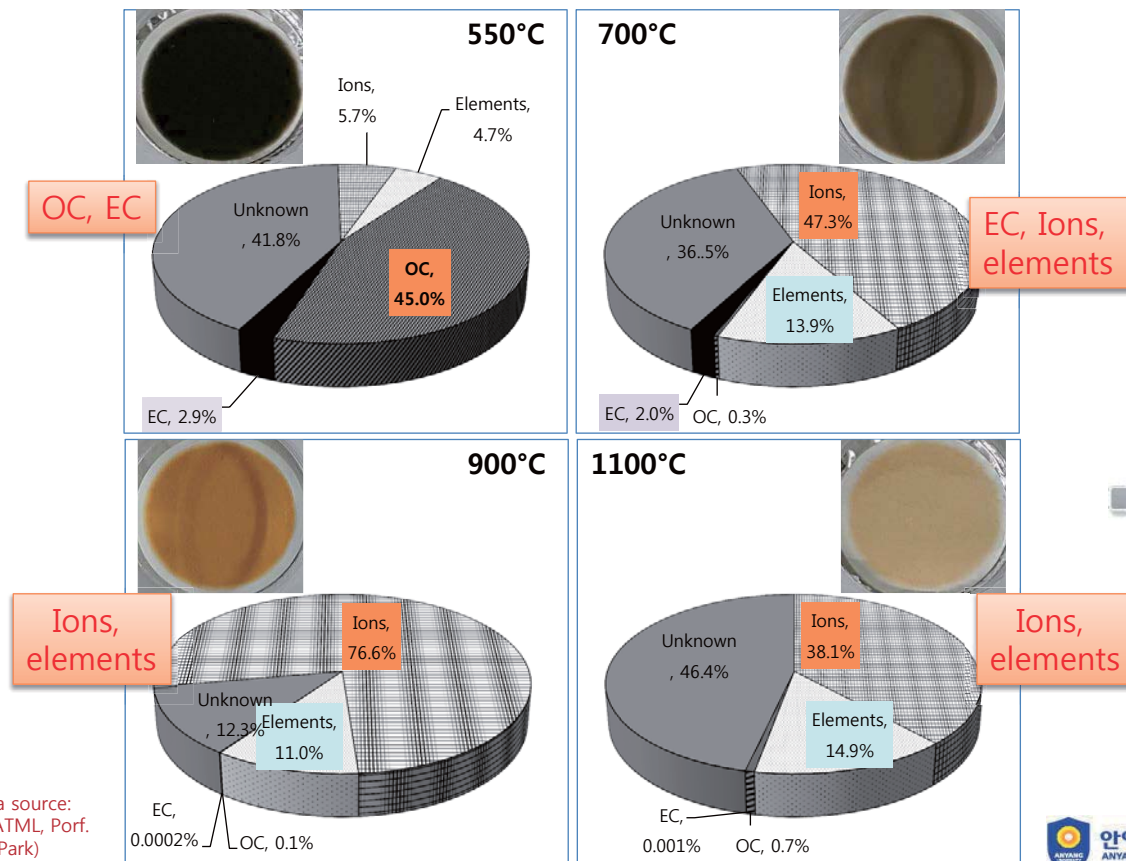


- ✓ EF in residential coal combustion (i.e., low burning temperature): 4.6 to 19 g/kg,
- ✓ EF in industrial coal combustion (i.e., high burning temperature): 0.016 to 0.1 g/kg.

(Chen et al., 2005; Street et al., 2001; Bond et al., 2002; Zhi et al., 2008; Zhang et al., 2008).

Data source: GIST(ATML, Porf. Park)

Results: PM_{2.5} chemical composition and particle color



경청해 주셔서
감사합니다.



현그린뉴딜과 탄소중립 도시



오병철 박사(정책연구팀)
(재)국제기후환경센터

-기후위기와 인공지능의 시대- 그린뉴딜과 탄소중립도시

2021년 04월

연구개발실실장 오병철 (Ph.D.)



CONTENTS



Part I. 지금, 도시는 안녕하십니까?

Part II. 뉴딜의 필요성

Part III. 도시, 전환이 필요하다.

Part IV. 무엇을 준비해야 하나

Part 1. 지금, 도시는 안녕하십니까?

생각해 보기...



산업혁명은 무엇일까?

“인간의 사회, 경제활동으로 인하여 유인된 사회, 경제 등의 큰 변화”

- 인구 증가, 도시(식민지 등) 확대, 농업생산량 증가, 자본주의(세력)의 지속성 필요 < But, 누적에 의한 임계치 접근
- 과학은 이를 해결코자 ‘시스템 발전’ & ‘임계치 해결’ 양가적 관점) 다양한 진화와 발명이 지속되었음

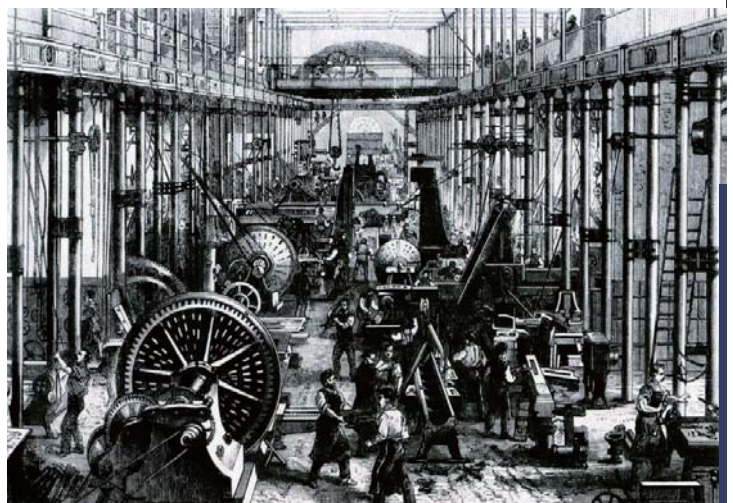
산업 혁명(Industrial Revolution)

약 1760년~1820년 사이에 영국에서 시작된 기술의 혁신과 새로운 제조 공정(manufacturing process)의 전환으로 이로 인해 일어난 사회, 경제 등의 큰 변화를 일컫는다.

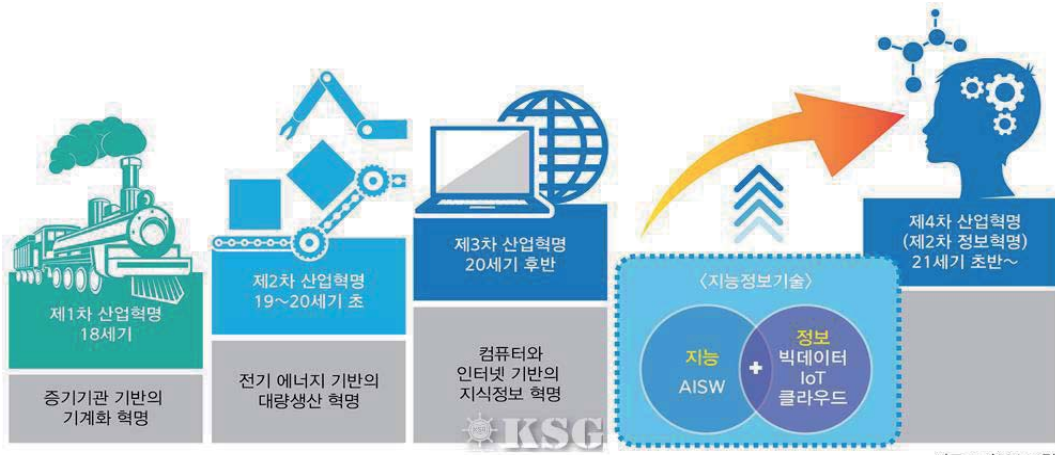
“기계로 인한 산업화는 이미 우리 시대의 특징이 되었지만, 이는 기술 발전이 일으킬 혁명의 극히 일부일 뿐이다.”

(Industrialization based on machinery, already referred to as a characteristic of our age, is but one aspect of the revolution that is being wrought by technology.)

- 에밀리 그린 볼치, 노벨평화상 연설 (1946)



산업혁명의 진화



(1차 산업혁명) 1784년
영국, 증기기관과 기계화

(2차 산업혁명) 1870년
전기를 이용한 대량생산
체계

(3차 산업혁명) 1969년
인터넷 정보화, 자동화 생산
시스템

(4차 산업혁명) AI, 로봇 등
을 통해 실재와 가상이 합쳐
지고, 사물을 자동적, 지능
적 제어 가능한 가상의 물리
시스템의 구축으로 변화

생각해보기 1 : 화석연료는..

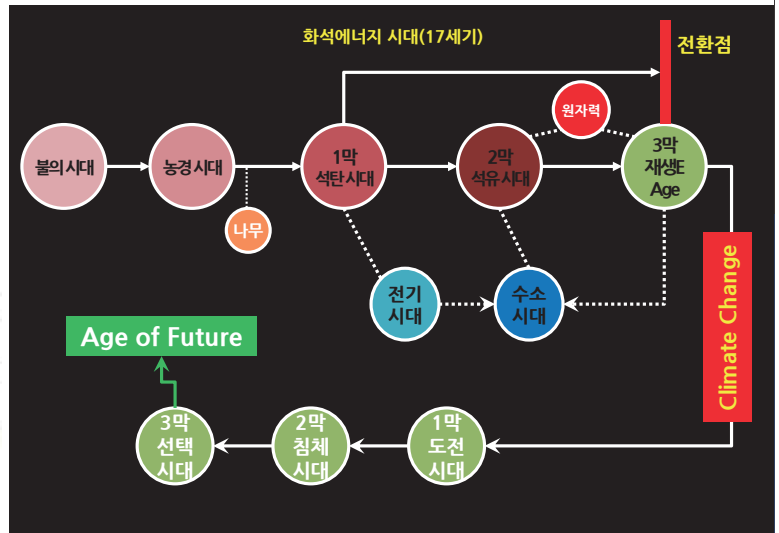
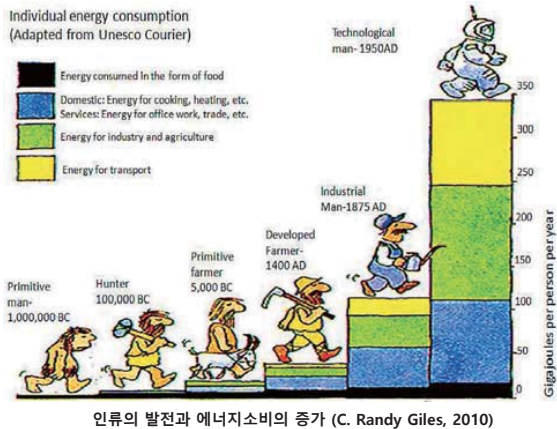


인류 그리고 에너지

인류의 역사는 에너지의 역사이다. 그리고 도시는 그 역사의 공간이다.

“인류의 에너지 역사는 불의 시대를 지나 화석에너지 시대를 거치고, 현재, **신재생에너지 시대**가 도래했다.

그렇다면 미래의 에너지는 무엇이 될 것인가?”

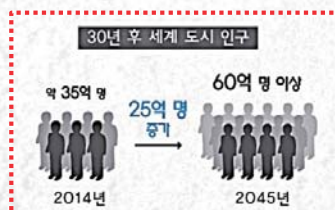
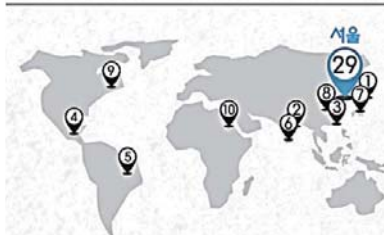


에너지사용의 기폭제..인구의 증가

세계인구

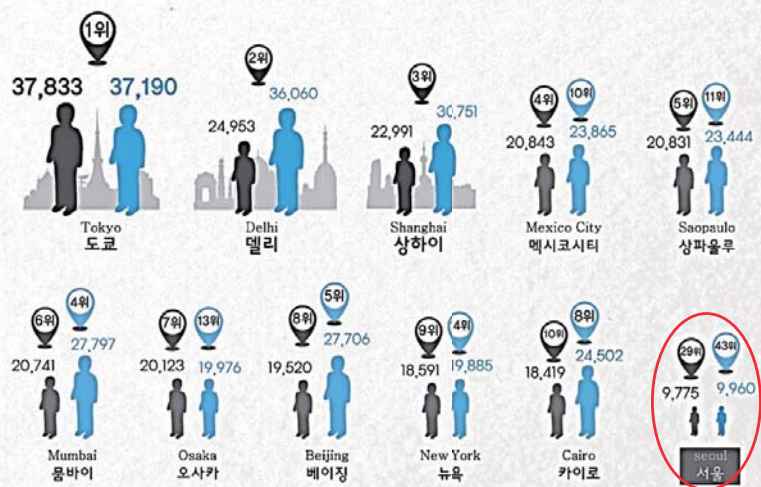
‘도시로 도시로’
2030 세계 도시 인구 예상 순위

자료: 유엔사무국 경제사회국



유엔(UN)은 도시 인구 전망 보고서를 통해 현재 약 35억 명인 세계 도시 인구가 30년 뒤인 2045년에는 60억 명 이상으로 증가할 것이라고 예측했다.
인구 1천만 명 이상인 28개 도시 중 16개는 아시아에 위치해 있으며 앞으로 도시인구 증가분의 90%가 아시아와 아프리카에서 발생할 것이라고 보고서는 말하고 있다.

2014년 2030년
단위: 천명



DATE 2014 · 07 · 16

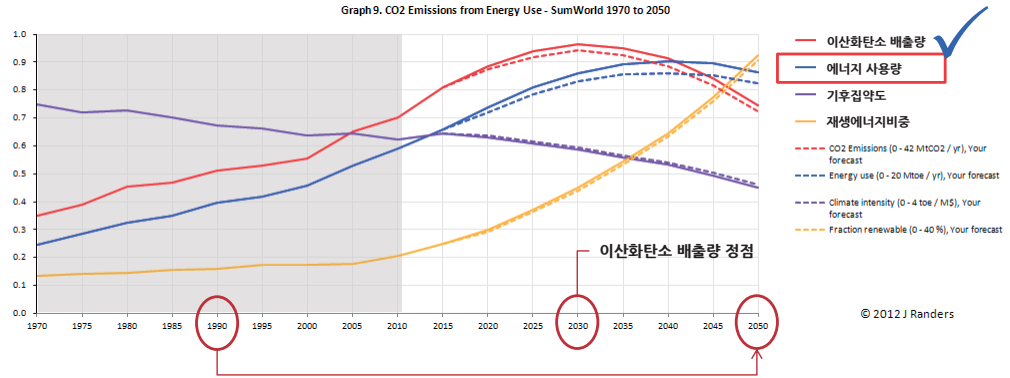
JD VISUAL DRIVE

2050년 전망은 절망적인가?

“더 나은 미래는 쉽게 오지 않는다”

- 요르겐 랜더스 교수(로마클럽 핵심멤버)

* 로마클럽 1968년 로마에서 지구의 유한성 문제로 회의이후, 글로벌 비영리 연구기관화



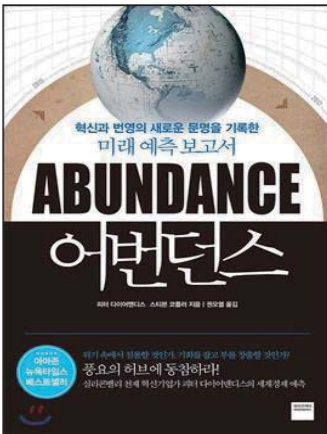
“분명히 희생과 불편함의 시대를 우리는 맞이 해야하며 즉각적인 대응행동을 촉구한다!!”

에너지와 풍요

“풍요는 궁극적으로 가능성의 세계 혹은 삶을 창조하는 일이다”

- (에너지) 일할 수 있는 수단을 제공
- (교육) 근로자/시민 등의 전문성 확보
- (정보통신) 전문화 촉진과 지식교환 현상을 창조

“풍요의 촉매제로서의 교육”



❖ 풍요 : 궁극적으로 가능성의 세계를 창조하는 일

❖ 풍요 피라미드



- 에너지 : 중앙집중형 보급체계 → 분산형 보급체계로 변화

- 교육 : 점점 가속화된 기술 변화의 미래 대비

- 정보통신 : (1)에서 (2)로 전환

(1) 물질적 상품과 교환의 세계에서의 무역 (Zero sum game)

(2) 아이디어 교환 세계 (Non-Zero sum game)

❖ 인간의 사고 유형 (바바 시브 교수)

(1) 1형 인간 : 실수를 두려워함

(2) 2형 인간 : 기회를 잃는 것을 두려워함

지금은 기후위기의 시대

18세기 산업혁명, 도시화



- 인구밀집/집중
 - 환경오염/전염병
 - 과학기술 발달
- “산업혁명” 및 “도시화”로 인한 문제 등장

19세기 근대도시계획



- 도시기반시설 [도로, 상하수도 등]
- 용도지역제 [주거, 상업, 공업, 녹지]
- 도시환경 [채광, 통풍, 환기 등]

20세기 성장과 위험사회



- 도시성장과 부작용 [환경, 도시병 등]
- 기후변화대응
- 원전사고 등 대형재난 발생

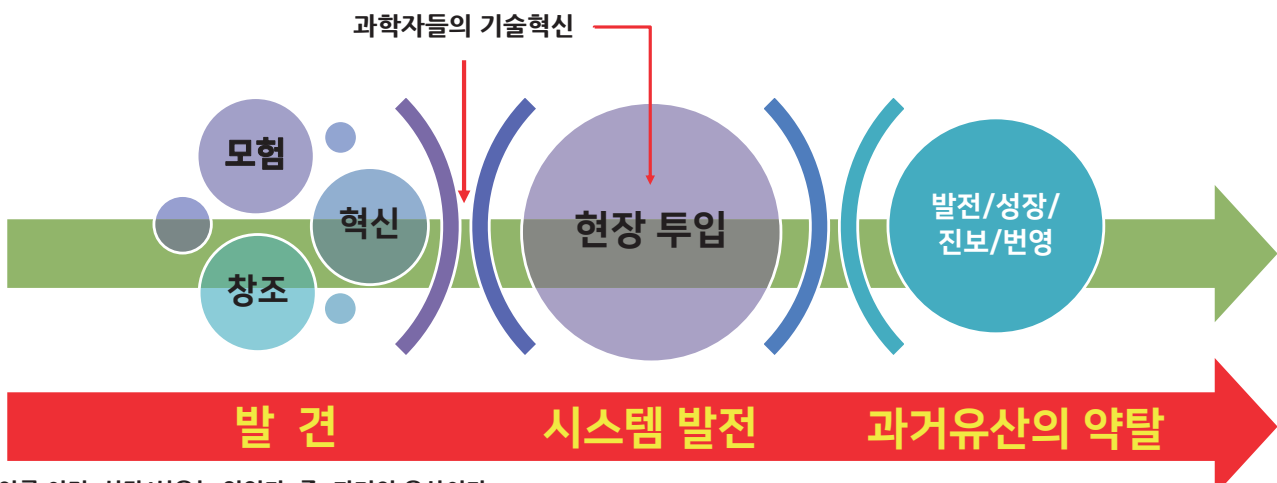
21세기 기후위기사회



- COVID19
- 폭염, 미세먼지, 플라스틱 등 환경문제 가속
- 지구온난화 대응을 위한 감축이행 의무화

도시의 회복탄력성 등 근본적 문제제기

생각해보기 2 : 산업혁명의 이면



인류 이전, 석탄/석유는 있었다. 즉, 과거의 유산이다.
인류의 성장 과정은 화석연료의 연소와 거의 완벽하게 일치한다. 서구세계는 여러 세기동안 비교적 안정적인 번영의 경험만을 가지고 있다.

인류의 독창적인 혁신, 투자 등에 따른 진보는 화석연료를 전제하지 않고 실현될 수 없다.

- 안드레아스 말름(Andreas Malm)

생각해보기 3 : 기후변화 대응 필요성

경제적 측면에서 “전쟁과도 같은 기후변화”

“없어지는 것뿐만 아니라 파괴된다.”

“사회적 자산의 상실”

2100년까지 2.5~3℃로 상승폭을 억제: GDP감소 15~25% 정도 전망. 만약 4℃까지 상승한다면 30% 이상 감소 불가피. (마셜 버크, 2018년)

→ 1930년대 세계대공황의 두배 이상 경제적 수축을 의미

→ 사회적 불안정성 증가로 변화의 전망 불투명: 난민 발생, 국가간 전쟁, 체제변화 등 사회적 문제 원인

기후변화로 인한 영향은?

[사례 1) 외환위기 : 실물경제 위기가 있었으나, 생활에 미치는 영향 미비]



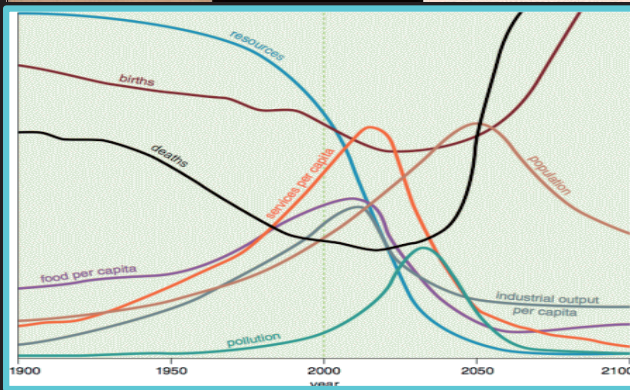
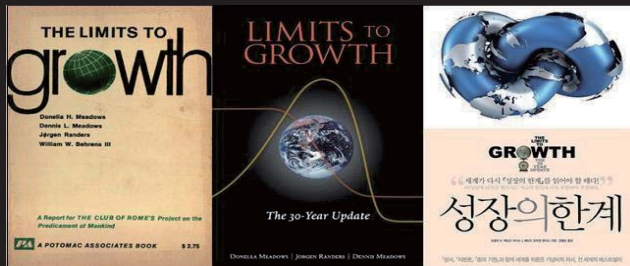
[사례 2) 오일쇼크(1970) : 2 ~ 3년 지속 후, 고도성장기 돌입, “단기적 쇼크상황”]



[사례기반 기후변화 영향 추정 : 장기적 쇼크상황, “영구적 쇼크상황 발생”]



성장의 한계와 극복의 노력



기후변화 '대응과 무대응' 그 '득과 실'

무엇이 실이고 무엇이 득인지 ; 대응과 무대응에 따른..

“Nicholas Stern(영국의 경제학자) 보고서, 2006”

“기후변화로 인한 경제적 피해에 대하여 심도 있는 분석”

- (대응) 대기 중 온실가스 농도 500~550ppm 수준으로 안정
→ 매년 세계 GDP의 약 1% 수준의 비용이 발생
- (무대응) 기후변화 문제를 방치
→ 매년 세계 GDP의 5~20%의 비용이 발생

“기후변화 무대응 : 경제에 최대 20배 영향을 미친다”

The Economics of
Climate Change

The Stern Review



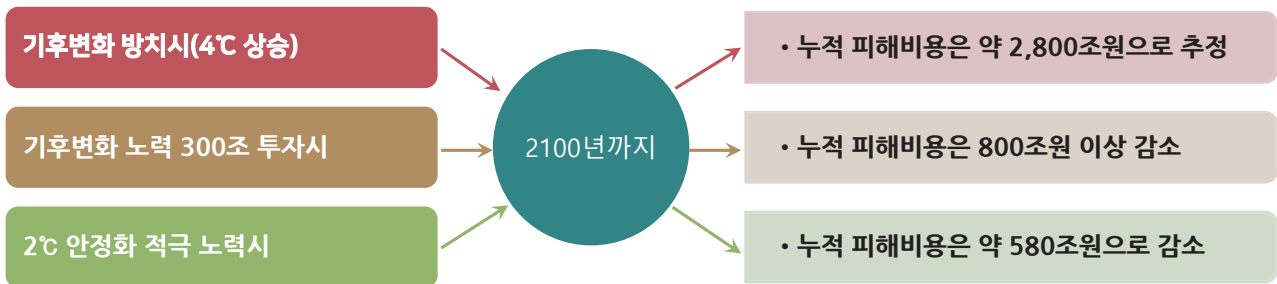
기후변화가 중요한 경제적인 결과를 가져오고 있다!!

* 존 르월린(John Llewellyn), 지구온난화의 비즈니스(Business of Climate Change) 中

우리나라, 기후변화로 인한 경제적 손실은?

2100년까지 기후변화 영향에 따른
“경제적 손실 누적액 2,800조원”

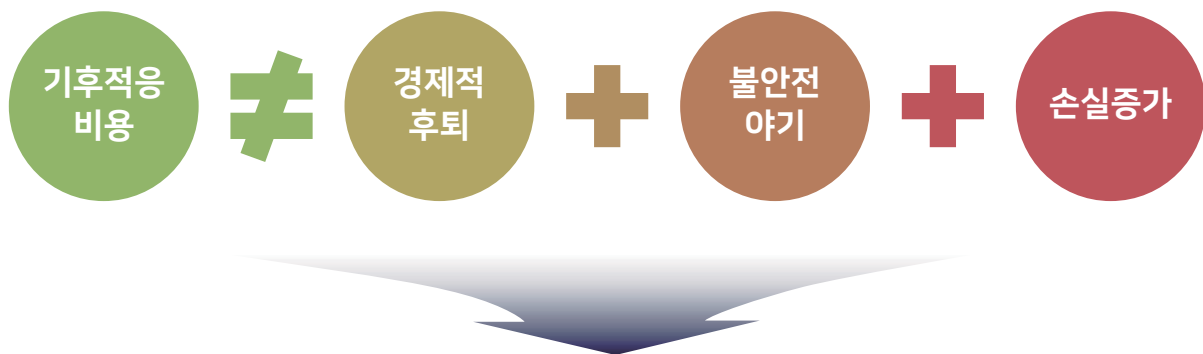
· 대한민국 2020년 예산 약 513조원, 광주시 1년 예산 약 5.7조원



[국내 적응정책 추진시 전 기간에 걸쳐 편익이 비용보다 항상 큼]

경제적 위기 완화와 녹색경제로의 전환

녹색경제로 전환만이 답이다



손실저감을 위한 미래지향적 투자 관점에서
녹색경제로 긴급 전환필요

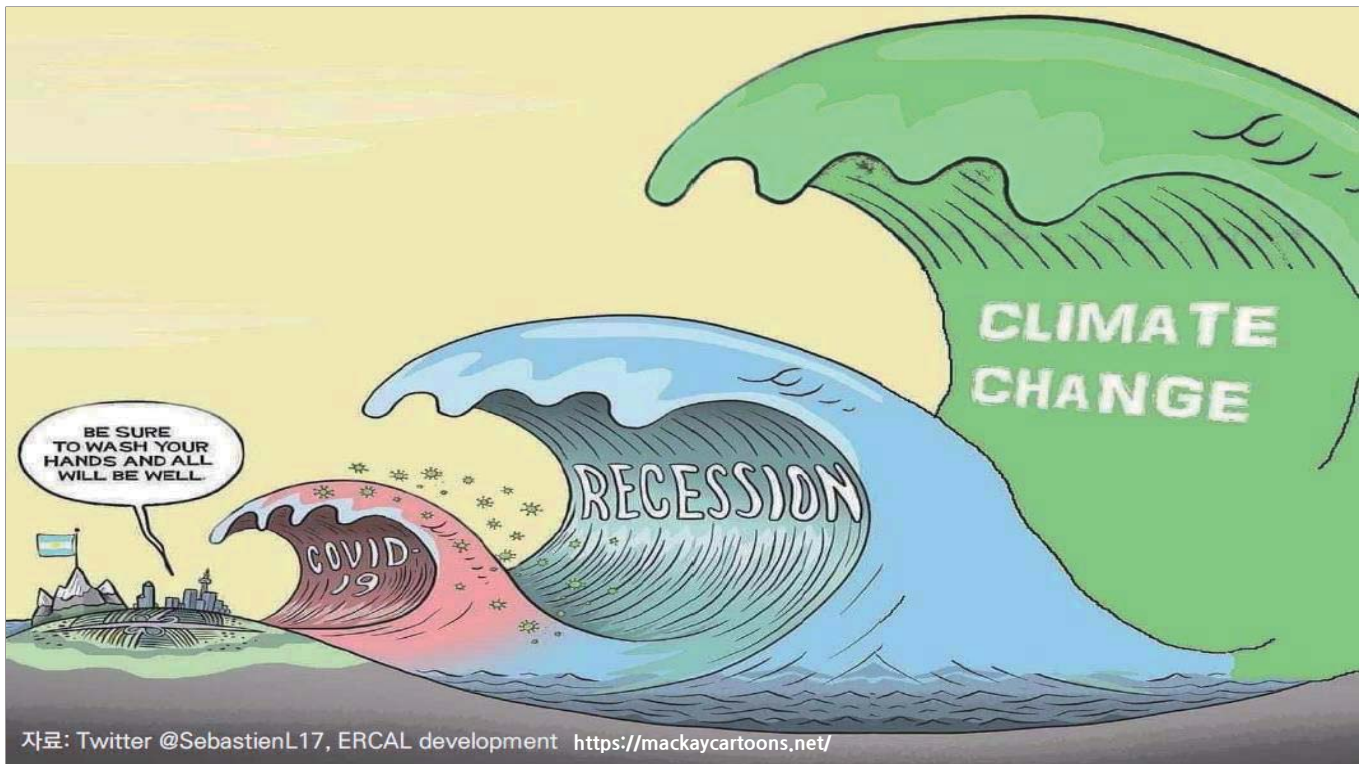
Part II. 그린뉴딜의 필요성

생각해 보기...



* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌

왜 한국판 뉴딜인가?



뉴딜 이란?

* Source: 2018 abnormal climate report

뉴딜은 사회 및 경제 위기해결을 위해 정부의 적극적인 개입에 대한 국민과의 새로운 합의이다.



대공황의 시대

- (배경) 1차세계대전 이후 미국중심의 세계경제 호황 : 과잉생산, 구매력감소
- (1929~1932) 주식폭락과 세계 대공황, 기업/은행파산, 미국인 25% 실업자

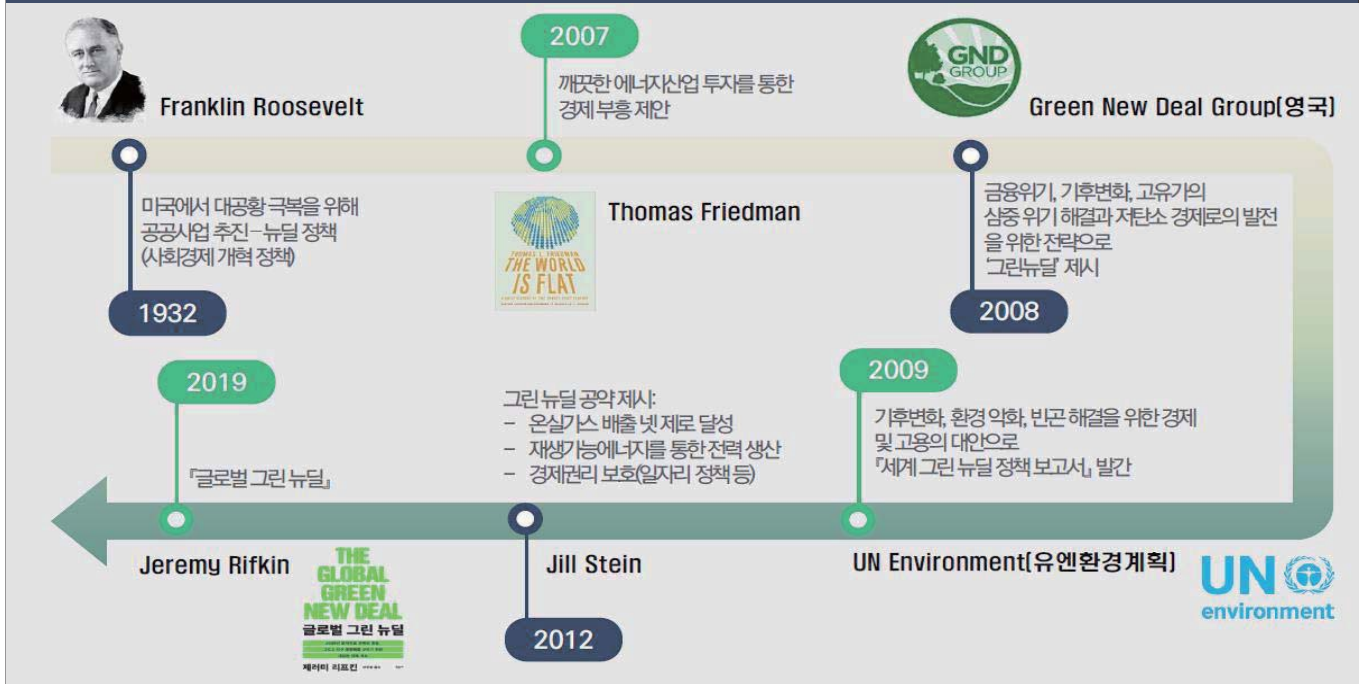


미국 국민과의 새로운 합의 “뉴딜”

- (목적) 일자리 창출을 통해 경제회복과 구매력의 회복
- (방법) 1차뉴딜 : 경제단기회복(긴급안정책, 일자리 안정책 등)
2차뉴딜 : 사회보장 안정망의 확충 등 개발 사업
- (내용) 테네시강 개발, 후버댐 건설, 산업부흥법 등 정부의 적극적 시장개입
- (효과) 큰 정부, 수정자본주의 도래

뉴딜 역사?

* Source: KEI 포럼 '20.5.28



한국판 뉴딜 배경 1

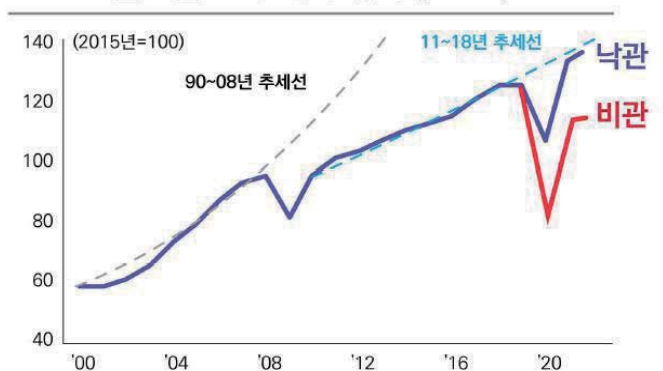
* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발제

글로벌 경제

대공황 이후 가장 심각한 경기침체(OECD)



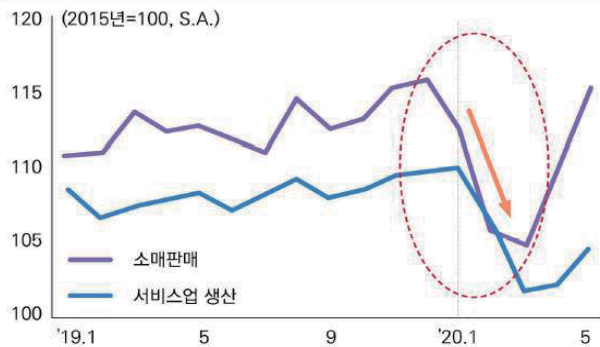
글로벌 교역 대폭 위축 (WTO)



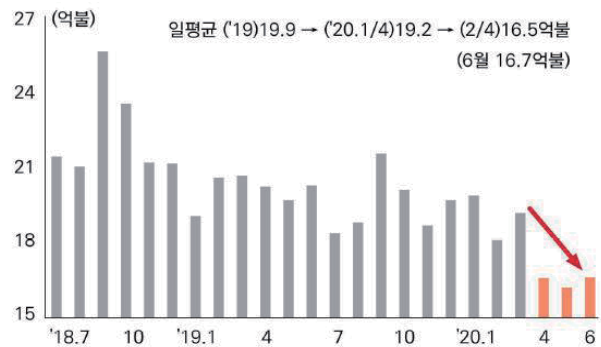
경험하지 못한 불확실성, 대공황(1930년대) 이후 최악의 경기침체(IMF)

우리 경제

사태 초기(2~3월), 내수에 충격이 집중



2/4분기부터 수출 충격 본격화



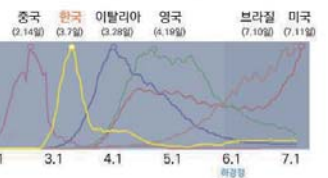
경제 전반으로 충격이 본격화되면서 **위기국면** 진행 중

글로벌 팬데믹(Global Pandemic)

바이러스로 인한 생명위협과 생계위협
(Threatening Lives and Livelihoods)



끝나지 않는 감염병 위기



“모든 것은 코로나가 결정한다”

안국판 뉴딜 배경 4

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌

경제·산업구조 변화

비대면·디지털화

코로나19 이전부터 진행되던 디지털 전환 가속화



5G 인프라 등 1조달러 투자 검토 중



데이터 인프라 등에 25년까지 1.2조위안 투자



저탄소·친환경화

코로나 계기로 기후변화 위기의 시급성 재평가



2050 탄소제로 목표



100% 재생에너지 사용 추진



안국판 뉴딜 배경 5

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌

취약한 연결고리에 대한 보강의 목소리

사회안전망 확충

구조변화 과정에서 실업·양극화 우려 확대
특히, 일자리안전망 강화에 대한 국민적 요구 분출



안정적 생산환경

감염병 등 돌발적 리스크에 따른 생산차질 최소화
경제·산업구조 변화에 따른 신속한 사업재편



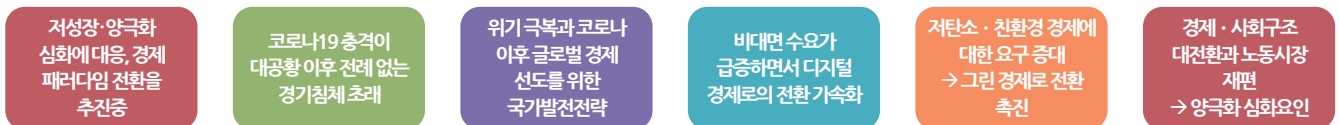
한국판 뉴딜이란?

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌

한국판 뉴딜 (2020)



우리 경제 · 사회를 새롭게(New) 변화시키겠다는 약속(Deal)



한국판 뉴딜의 궁극적 목표

* Source: KEI 포럼 '20.5.28



기후위기 및 COVID19 등 사회·경제·환경위기 극복 ← **사회적 합의 필요**

한국판 뉴딜 3총사

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌



우리나라의 경제와 사회를 새롭게(New) 변화시키겠다는 약속(Deal)입니다.

한국판뉴딜 디지털뉴딜

우리 경제의 생산성 향상을 위해, 경제전반의 디지털 혁신과 역동성을 촉진·확산합니다.

자세히보기

한국판뉴딜 그린뉴딜

신재생에너지를 사회 전반으로 확산하는 미래 에너지 패러다임 전환 시대를 준비합니다.

자세히보기

한국판뉴딜 안전망강화

취약계층을 보호하고 사각지대를 해소하기 위해 탄탄하고 촘촘한 고용·사회 안전망을 구축합니다.

자세히보기

10대 대표과제



데이터댐



지능형(AI) 정부



스마트 의료 인프라



그린 스마트 스쿨



디지털 트윈 (Digital Twin)



국민안전 SOC 디지털화



스마트 그린 산업단지



그린 리모델링



그린 에너지



친환경 미래 모빌리티

디지털 뉴딜

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌

디지털 뉴딜은 왜?

온라인 소비, 원격 근무 등 비대면화 확산

디지털화는 국가 경쟁력의 핵심요소

우리의 강점인 ICT 기반으로 디지털 초격차 확대 필요

디지털 경제 가속화
➔ 경제 역동성(Dynamics) 촉진

그린 뉴딜은 왜?

글로벌 기후변화 대응 시급

저탄소 경제로의 전환 필요성 증대

친환경산업 육성으로 글로벌 선점

저탄소 그린경제 가속화
➔ **지속가능성(Sustainability) 확보**

그린 뉴딜의 목적



2 저탄소·분산형 에너지 확산

- ④ **스마트그리드** | 에너지관리 효율화 지능형 스마트그리드 구축
- ⑤ **그린에너지** | 신재생에너지 확산 기반 구축 및 공정전환 지원
- ⑥ **수송** | 전기차·수소차 등 그린 모빌리티 보급 확대



1

도시·공간·생활 인프라 녹색 전환

- ① **공공시설** | 국민생활과 밀접한 공공시설 제로 에너지화
- ② **도시·생활** | 국토·해양·도시 생태계의 기후변화 대응 제고
- ③ **깨끗한 물 관리** | 깨끗하고 안전한 물관리 체계 구축



3

녹색산업 혁신 생태계 구축

- ⑦ **산업확대** | 녹색 선도 유망기업 육성 및 저탄소·녹색산업 조성
- ⑧ **인프라** | R·D·금융 등 녹색 혁신기반 조성

그린 뉴딜 핵심과제

#그린뉴딜 핵심과제

그린 모빌리티 확대



- 전기차 113만대, 수소차 20만대 보급
- 전기충전기 4.5만대, 수소충전기 450대 등 충전 인프라 확충

녹색산업 혁신



- 녹색 융합 클러스터 5개소 구축
- 스마트 그린산업 107개소 구축
- 클린팩토리 1,750개소 구축

녹색생태계 회복



- 스마트 그린도시 25개 조성
- 국립공원 16개소 및 도시공간 훼손지역 25개소 복원

녹색기술 개발



- 온실가스 감축, 미세먼지 대응, 자원순환 촉진 등 혁신적 기술개발 지원

신재생에너지 확산



- 2025년까지 태양광 총력 발전용량 12.7GW에서 42.7GW로 확충

공공시설 제로에너지화



- 공공임대주택 22.5만호 그린리모델링
- 초·중·고 2,890동 그린 스마트 스킴

안전망 강화

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌

고용사회안전망 강화 왜?

실업 등 고용 충격으로부터 취약계층 보호

소득격차 완화 및 복지사각지대 해소

위험하고 비생산적인 근로환경 개선

두터운 고용사회안전망
➔ 경제 복원력(Resilience) 강화

안전망 강화

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌



25년까지 12.2조원 투자, 15.9만개 일자리 창출

한국형 뉴딜 종합

* Source: 한국판 뉴딜 국민보고대회 발표자료 발췌

20개 프로젝트를 융합한 10대 대표과제

디지털	융합(디지털+그린)	그린
데이터 댐	그린 스마트 스쿨	그린 리모델링
지능형(AI) 정부	디지털 트윈	그린 에너지
스마트 의료 인프라	국민안전 SOC 디지털화	친환경 미래 모빌리티
	스마트 그린 산단	

각국 그린뉴딜 비교

미국, EU, 한국의 그린 뉴딜 비교

	미국 그린 뉴딜	EU 그린 딜	한국 그린 뉴딜
개념	기후위기 대응과 불평등과 차별을 해소하는 대안	기후위기에 대한 대응책이자 새로운 성장 전략	친환경 저탄소 등 그린 경제로의 전환 가속화
강속 목표	100% 청정에너지 경제 구축 2050년 전에 넷 제로 달성	2050년 넷 제로 달성 경제성장과 자원 사용의 디커플링	탄소중립(Net-zero)을 향한 경제 사회 녹색전환
주요 정책	기후재난에 대한 회복력, 인프라 개선, 100% 청정 재생에너지, 스마트그리드, 건물에너지효율화, 청정 제조업의 가속화, 지속가능한 농업, 수송시스템 개혁, 건강, 자연복원, 생태계 보호, 오염지역 정화, 국제협력	2030, 2050 기후 목표 상향 조정, 친환경 에너지, 청정 순환경제, 건축, 교통, 농업, 생물다양성, 독성없는 환경	건물에너지 효율화, 국토 해양 도시 녹색화, 생태계 회복, 물 관리 체계, 스마트 그리드, 재생에너지, 전기차 수소차, 저탄소 녹색산단 조성, R&D 금융 녹색혁신 기반 조성
예산	4년 동안 2조 달러 (2400조 원)	10년간 1조 유로(1,354조) (개별회원국 독자예산 제외)	2025년까지 약 73조 원

출처: 미국 H.Res.109(하원 결의안 109). 2019.2.7 Recognizing the duty of the Federal Government to create a Green New Deal과 바이든 그린 뉴딜 공약, EUROPEAN COMMISSION, 2019.12.11. The European Green Deal, 한국판 뉴딜 종합계획(관계부처합동). 2020.7.14 를 바탕으로 발표자가 재구성

광주형 AI-그린뉴딜 종합계획

“2045년 탄소중립도시 광주구현”



광주형 AI-그린뉴딜 종합계획 배경

광주는? 기후변화에 따른 기후재난 및 도시환경문제 심화

폭염, 열대야일수
증가율 전국 1위

(폭염시작일수,
폭염 지속일수 증가)

영산강 수계 물부족
최대 피해예상

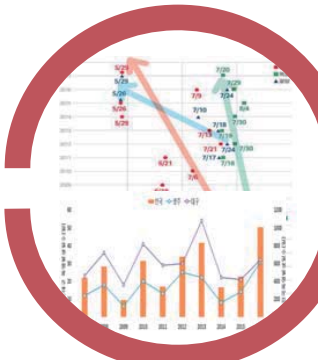
(영산강 수질 악화 심화)

음식물쓰레기배출
전국 1위

(음식물쓰레기,
1회용품사용 최다)

취약성 및 민감도
악화

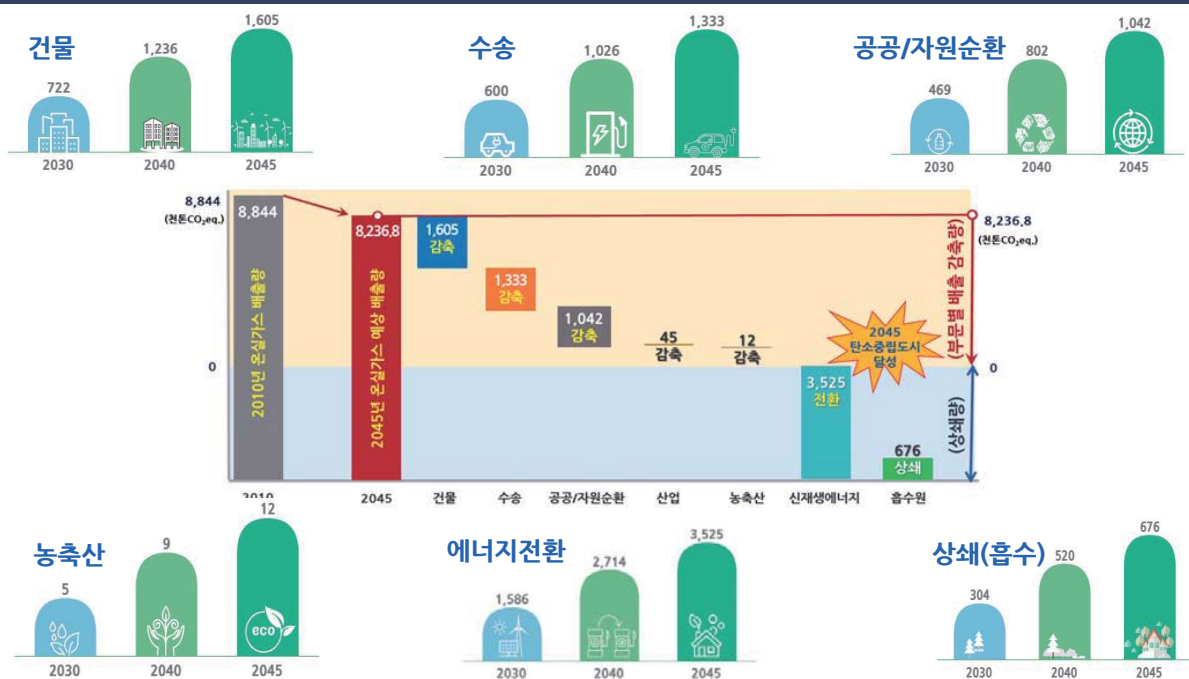
(고령화 사회, 1인사회,
재정역량)



기존 시스템의 대전환

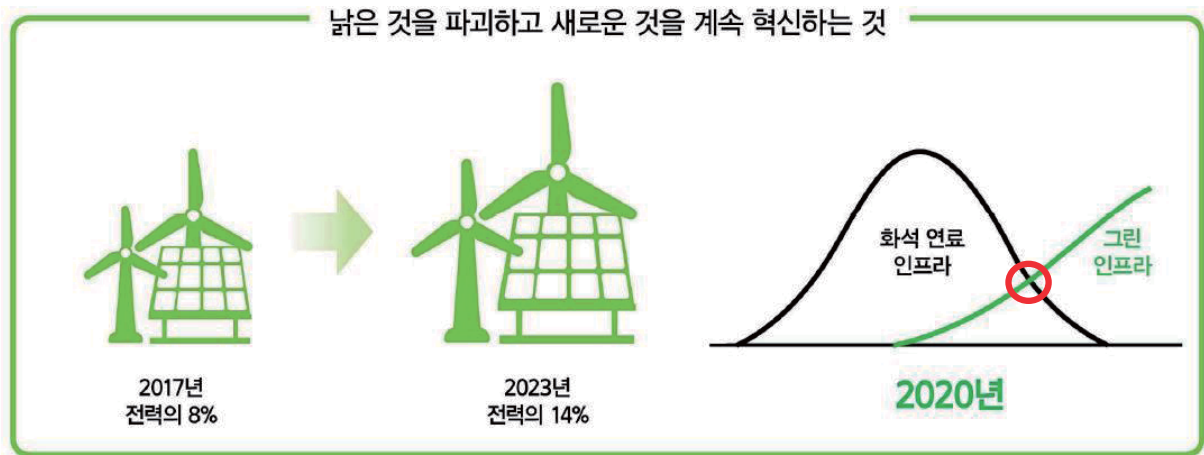
공동의 차별화된 책임

2045 탄소중립도시 광주 목표



2023년 Tipping Point

출처 : "포스트 코로나 新 기후 시대 한국형 뉴딜 제안", 대통령직속 정책기획위원회_김준하, 2020. 5.



2023년이면 재생 에너지로 에너지 분야의 **티핑 포인트** 도달
→ 에너지 분야 **창조적 파괴**의 시작

The Global Green New Deal, Jeremy Rifkin, 2019

Part III. 도시, 전환이 필요하다.

생각해 보기...



지구 면적 **2%**의 도시..

전세계 **75%**의 에너지를

사용하고 **80%**가 넘는

온실가스를 배출하고 있다

'신'은 우릴 용서하고,

'인간'은 가끔 용서하지만,

'자연'은 절대 용서가 없다.



기후변화로 인한 도시는



폭염으로 인한 끔찍한 피해

폭염에 의한 사망자 발생과 같은 인명 피해와 농작물 수확, 양식장 및 축사 운영에 막대한 피해

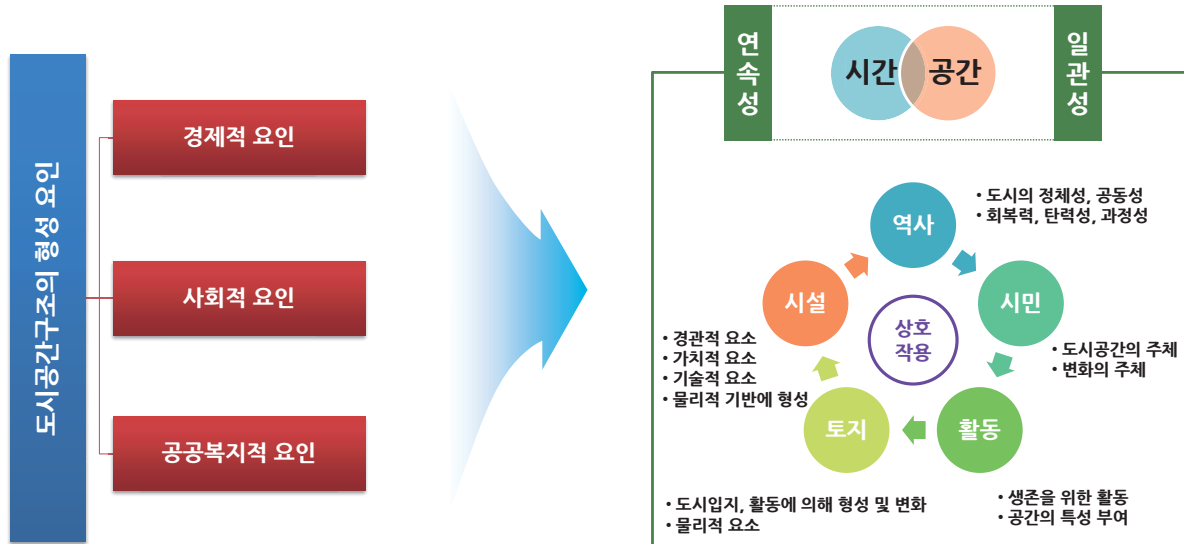
“원인론자이자, 피해 당사자이다”

흑서로 인해
인도, 파키스탄, 유럽
4,733명
사망자 발생

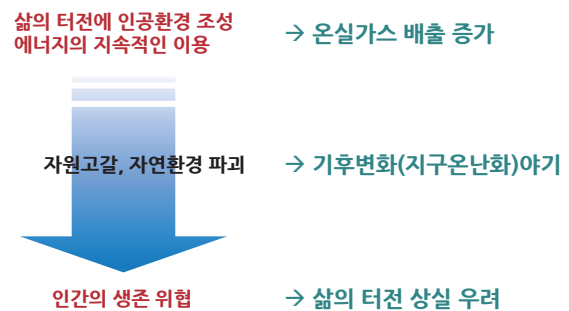
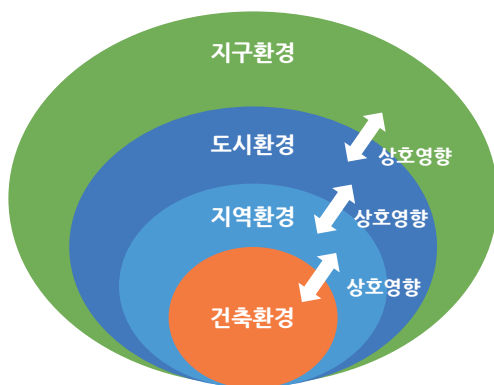
과테말라
발생한 산사태로
570명
사망자 발생

인도 및 아프리카
일대 발생한 홍수로
약 **1,000명**
사망자 발생

도시의 구성은?



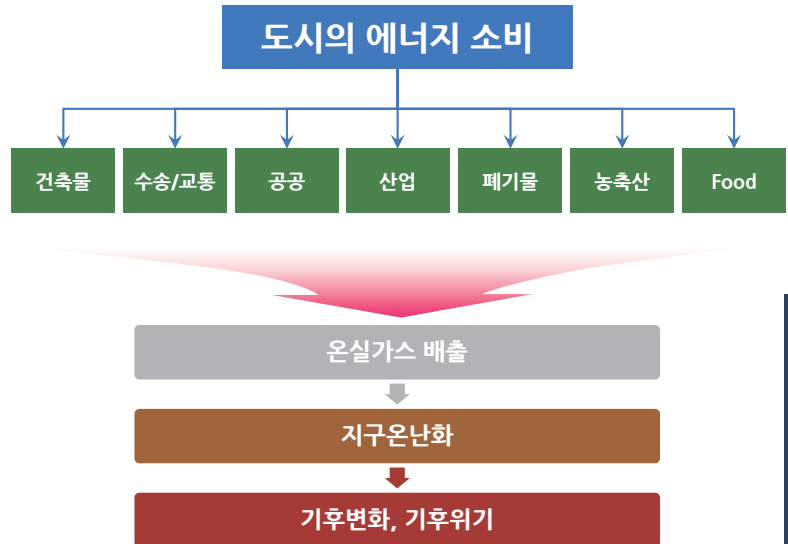
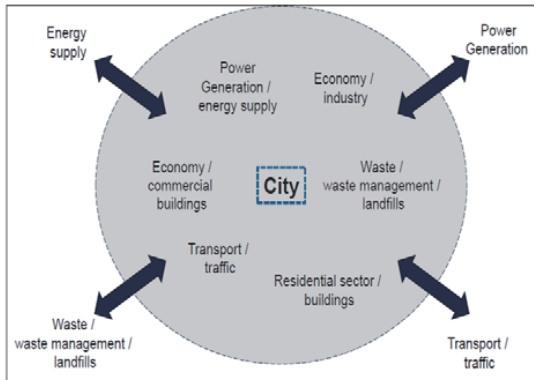
도시는 유기체이다



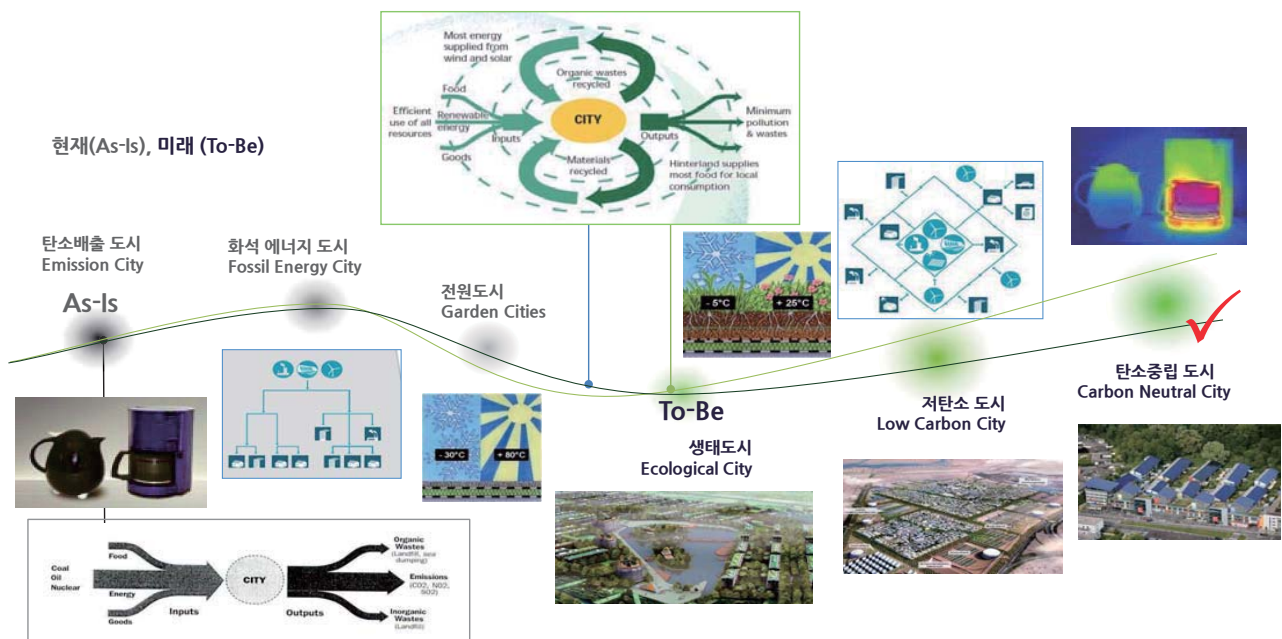
순환 메커니즘과 글로벌 기후변화(지구온난화 현상)
→ 기후변화 및 지구온난화 현상에 대한 피해는 다시 인간에게...

선(善)순환이 아닌
악(惡)순환의 반복

도시의 에너지와 온실가스



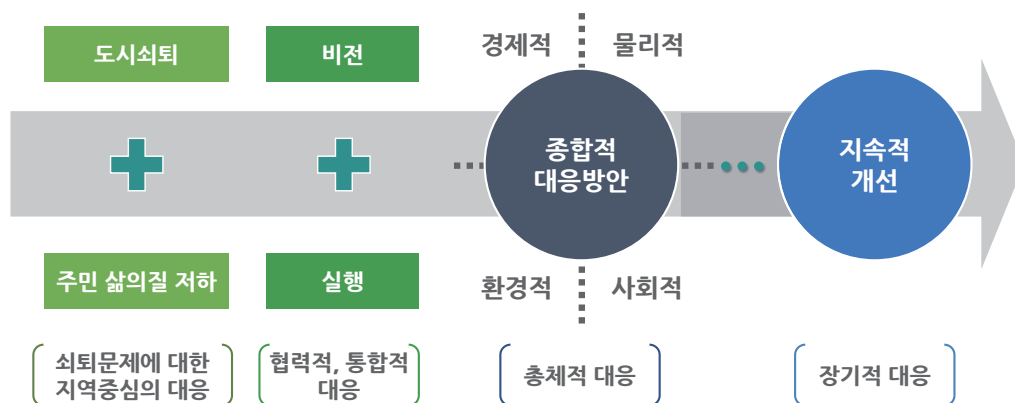
도시, 발달 진행은?



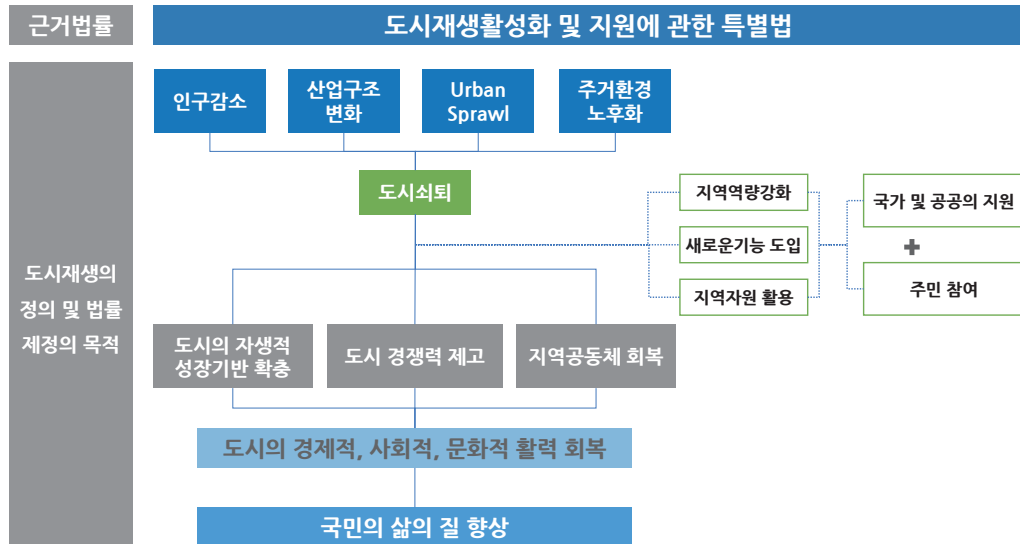
연재, 우리도시 안녕하십니까?



도시병 극복을 위한 대응 방안



도시재생 특별법

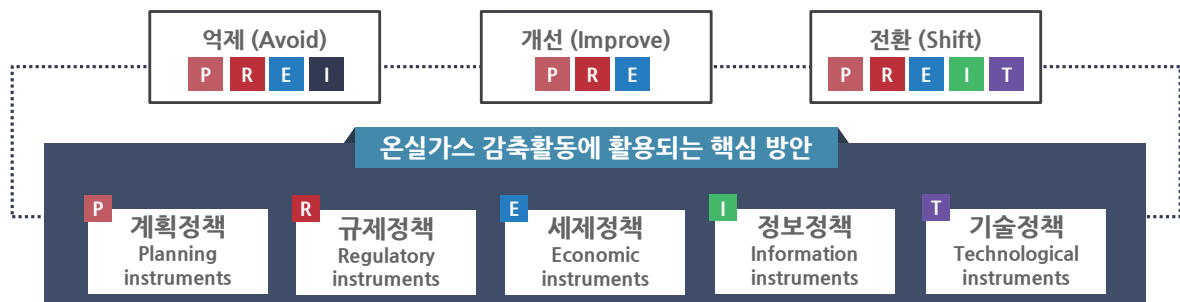


도시 재개발, 뉴타운, 재생?

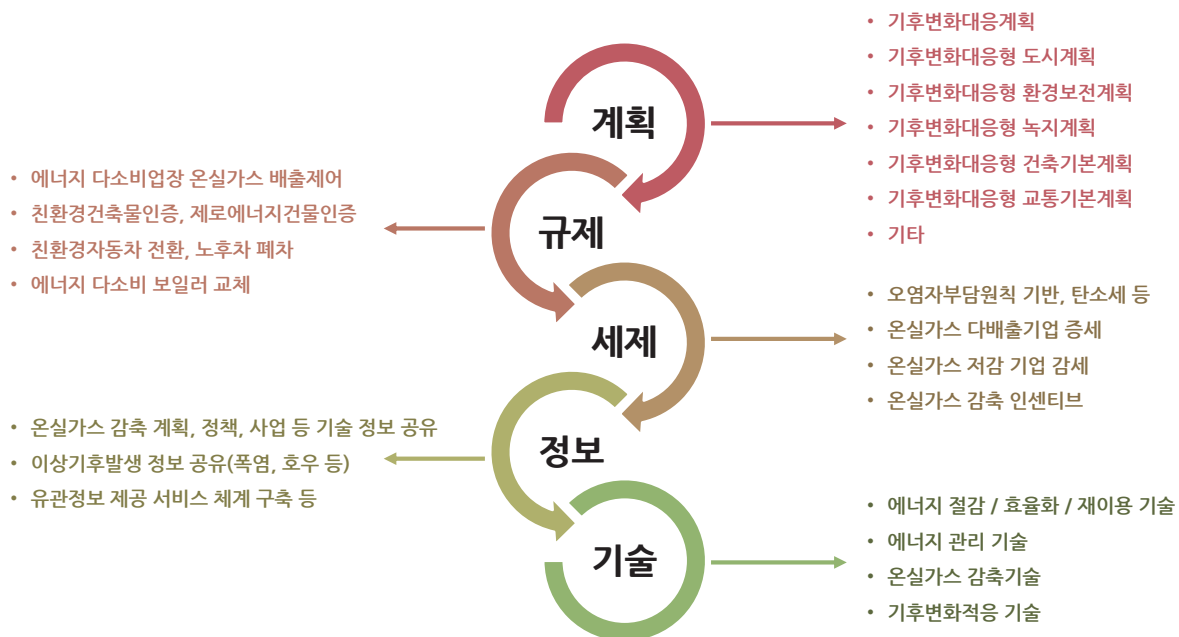
비고	특징	도입시기
재개발·재건축 사업	- 노후·불량 건축물이 밀집한 낙후지역을 전면적으로 철거, 신규 주택 등의 건설사업으로 주택을 공급 - 개발수익을 기대하는 민간의 자율적인 사업 추진으로 별도의 재정이 필요 없음	'62년
뉴타운 사업	- 도로, 상하수도, 학교 등 지역사회의 기반시설을 포함하는 대규모 재개발 사업을 지칭, 새로운 도시를 만든다는 개념 '05년 이후 서울 강북지역을 중심으로 추진, '08년 세계금융 위기 이후, 부동산 경기 급락으로 사업이 지연되거나 취소되는 지역 등의 문제 야기	'05년
도시재생사업	- 전면 철거방식을 지양, 구도시지역의 거주환경 개선을 위해 기반시설 보강 및 사회경제적 재활성화를 추진 - 사업대상지 별로 다양한 환경을 고려한 사업 촉진형 추진모델 적용과 거주민들의 이해상충 요소를 적절히 조절하면서 진행	'13년
도시재생 뉴딜사업	- 대규모 철거방식 보다 소규모 생활 밀착형 사업 추진 - 지역 주민 주도의 사업 형태(문화적·경관적 특징 반영) - 쇠퇴 지역 주민들의 삶의 질 향상 - 도시경제 활성화 등을 통해 경쟁력 강화 - 사회통합과 일자리 창출까지 고려함	'17년~

도시전환을 위한 전략

- 도시의 행정 정책을 크게 '억제(Avoid)', '개선(Improve)', '전환(Shift)' 으로 구분
(Dalkmann and Brannigan, 2007)
- 전략적 세부 정책들은 성격에 따라 '계획(Planning)', '규제(Regulatory)', '세제(Economic or Taxation)', '정보(Information)', '기술(Technological)' 등 정책 유형으로 구분함



도시전환을 위한 전략의 세부



장애요소, 아니까 극복할 수 있다?

01) 인식 부재

02) 명확한 가이드라인 부재

03) 위에서의 타성 : 하던 대로 ~바꾸는게 싫어 (보수성)

04) 아래로 부터의 타성 : 주는대로~

05) 참여와 요구의 기회 적음 : 이권에 의한 주민 의견 왜곡

06) 내가 해야할 일이 아님

07) 융합 불가 : 높은 부서의 벽

08) 맡은 것만 잘하면? : 내 책임 아님

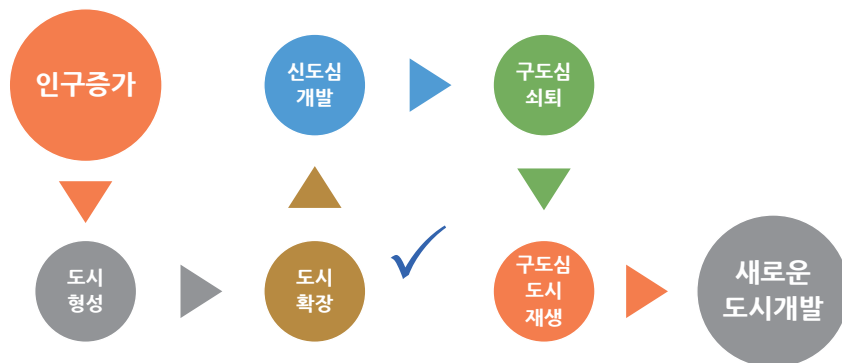
09) 전문가가 없고, 전문인력도 부재

10) 사례는 있으나 과정을 몰람~ : 목표지향적, 성과위주형

11) 사회적 합의 미이행 : 국가에서 하는데 뭘~, 하든지말든지

12) 강력한 이권의 개입 : 부정부패, 적폐 등

도시전환의 새로운 패러다임



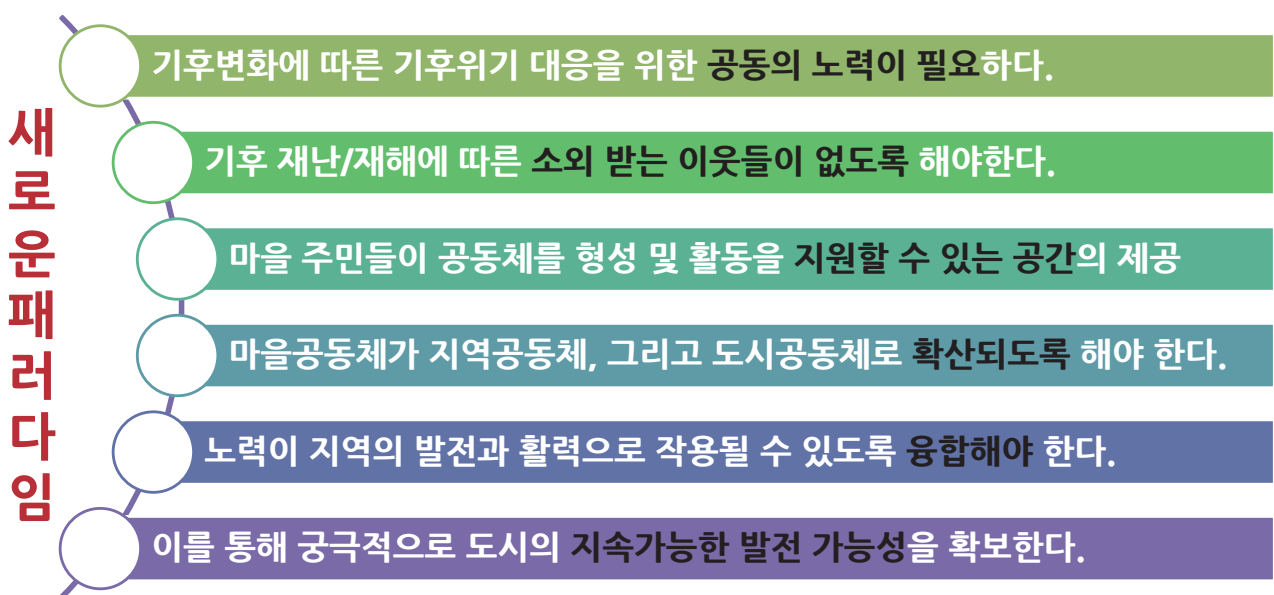
인구 감소, 산업구조 변화, 도시 무분별한 확장, 주거환경 노후화 등으로 쇠퇴하는 도시
 → 지역역량 강화, 새로운기능 도입·창출 및 지역자원 활용을 통하여 경제적·사회적·물리적·환경적으로
 활성화시키는 것.
 (도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법 제2조)

“대규모 도시개발과는 성격이 다르다”

도시전환의 새로운 패러다임 방향성

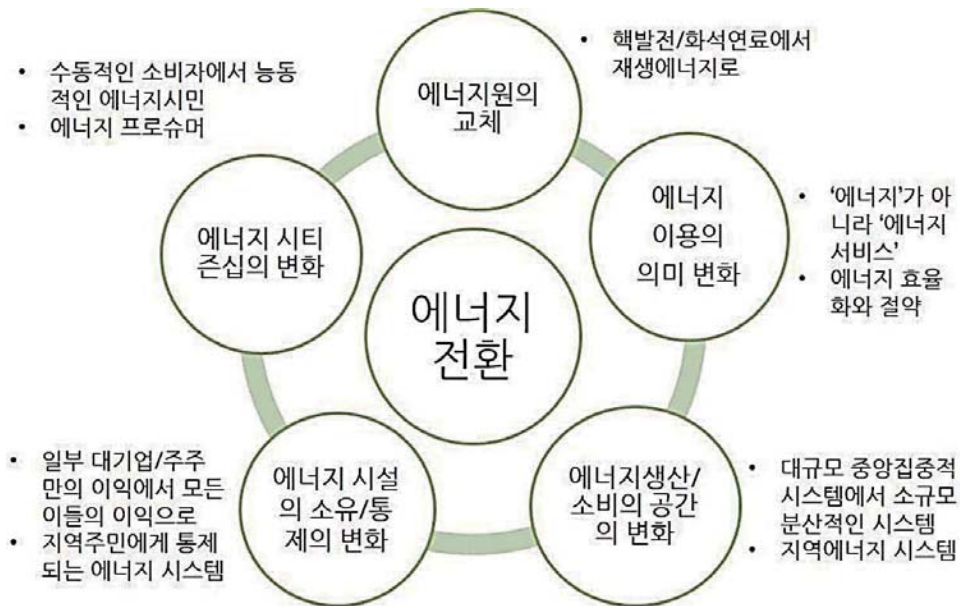


그린뉴딜 시대, 새로운 패러다임 탄소중립형 에너지전환마을



탄소중립형 에너지전환마을 의미

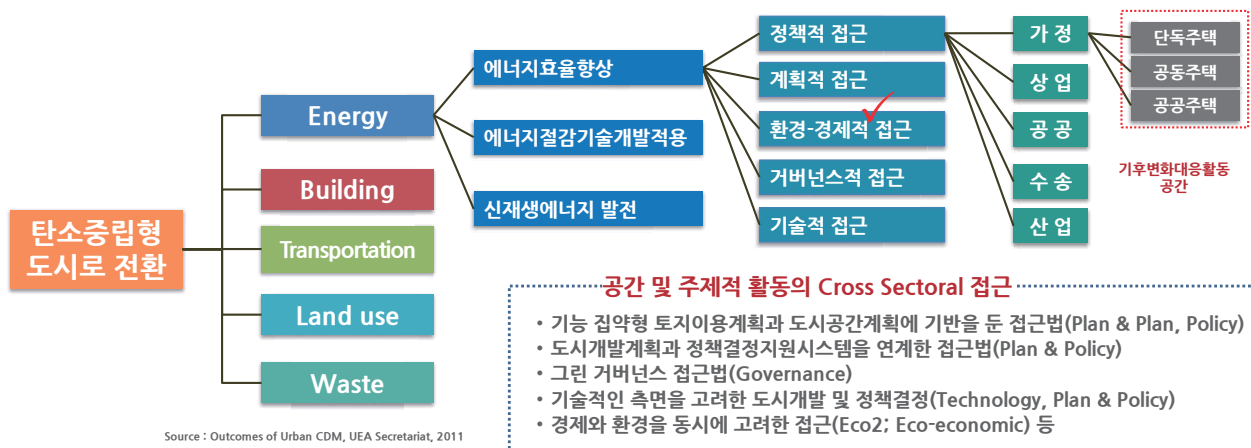
출처 : 한재각(2017), 에너지기후정책연구소



탄소중립형 에너지전환마을의 저탄소 전략

도시의 지속가능한 발전을 위해 도시계획단에서 접근이 필요

- 공간적 : 정책, 계획, 거버넌스, 기술 등 다양한 대응활동 검토 및 협의, 기술개발 등의 논의 공간
- 주제적 : 공간적 접근에서 다룰 수 있는 주제적 부분으로서 실제 기후변화대응활동



탄소중립형 에너지 전환마을 공동체 전략

마을은 이웃과 함께 공동체 활동을 할 수 있는 도시의 최소단위

- 마을공동체는 마을내 같은 철학과 목적에 기반을 두어 공동의 목표를 향한 활동
- 자체적이고 주체적인 활동이 가능 : 주민자치의 실현 가능
- 다양한 주제가 논의되고 활동의 기반이 됨 : 마을의 발전에 직결



광주형 에너지 전환마을 정의

주민들 가진 에너지(자발적 노력/생산 에너지)를 모으고 이용하여
지속가능한 마을을 만들기 위해 **[목적]**

마을은 자발적인 공동체를 구성하고 행정은 지원하며 **[전략1]**

마을의 에너지를 아껴 쓰고(절감) 바꿔 쓰고(전환, 생산)하여 **[전략2]**

에너지 사용에 대한 인식 전환에 기반을 둔 생활의 변화와 **[효과1]**

마을 공동의 수익창출로 주민의 삶의 질이 향상되는 마을 **[효과2]**

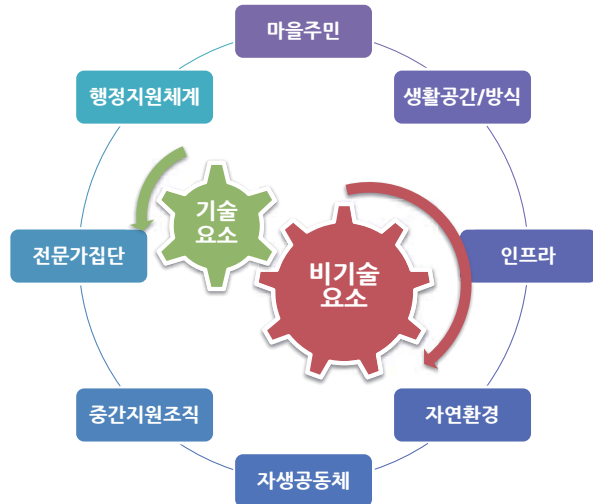
광주형 에너지 전환마을 구성요소

■ 마을조성을 위한 기본요소

- 마을주민
- 자생공동체
- 생활공간/방식
- 자연환경
- 인프라
- 전문가 집단
- **중간지원조직**
- **행정지원체계**
- 기타

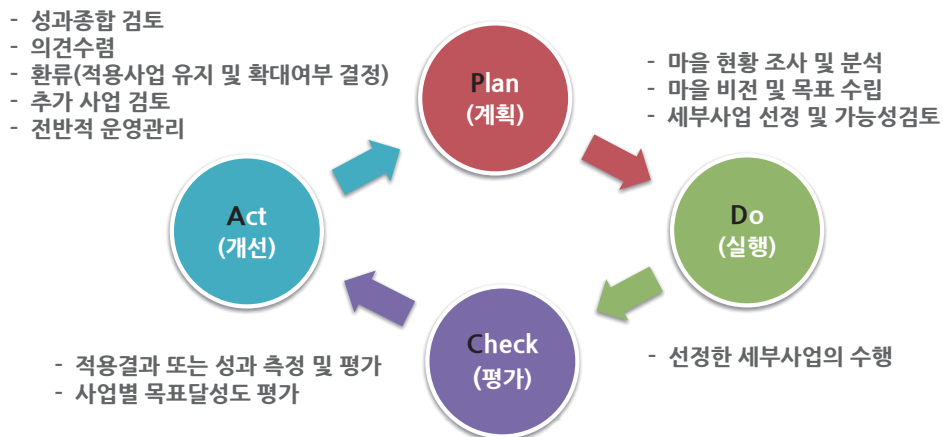
■ 전략적 투입요소

- **비기술요소**
- **기술요소**



광주형 에너지전환마을 조성 절차

‘P-D-C-A 기반 순환형 접근



※ PDCA기법 : 4단계의 논리적인 과정을 통해 성과를 내는 관리기법으로서 일반 제조업에서 품질향상을 위해 고안, 현재 다양한 분야에서 활용

광주형 에너지전환마을 조성활동 구성틀

“전체가 PDCA 로 구성/관리되며, 각 부문별 활동이 PDCA로 관리된다.”

구분	비기술활동	기술(기반적용)활동
Plan 계획	- 주민인식 및 욕구 파악 - 마을 에너지전환학교 운영 - 우수 에너지전환마을 벤치마킹 - 우리마을 에너지전환 지도 제작	- 사전조사 - 절감목표설정 - 설치 / 절감 계획
Do 실행	- 에너지전환 교육 시행 - 주민자율조직 만들기 - 마을에너지전환 축제 시행	- 구입 - 시공 - 운전
Check 평가	- 에너지전환마을 정기회의 개최 - 마을에너지 순찰	- 계측 - 모니터링 - 마을 에너지 사용량 분석
Act 개선	- 마을에너지 위험·불편 신고 - 에너지전환 리빙랩 운영 - 마을단위 에너지전환네트워크구축	- 유지보수계획 - 목표재설정(수정보완)

광주형 에너지 전환마을 다양한 유형

주민주도형 마을

- 마을조성의 시작부터 운영까지 **주민의 자발적인 참여** 유도
- 마을 조성에 참여함으로써 삶의 공간에 대한 애착을 갖게 함
- 주민이 발굴 사업을 주민이 시행함으로써 **실천과 지속성 담보**

지속가능한 마을

- 재생가능한 에너지로 전환하여 **지속가능한 발전원 보유**
- 생활 속 다양한 전환활동**으로 지속가능한 마을환경조성
- 인식전환과 교육**을 통해 지속가능한 인재양성

공동체 마을

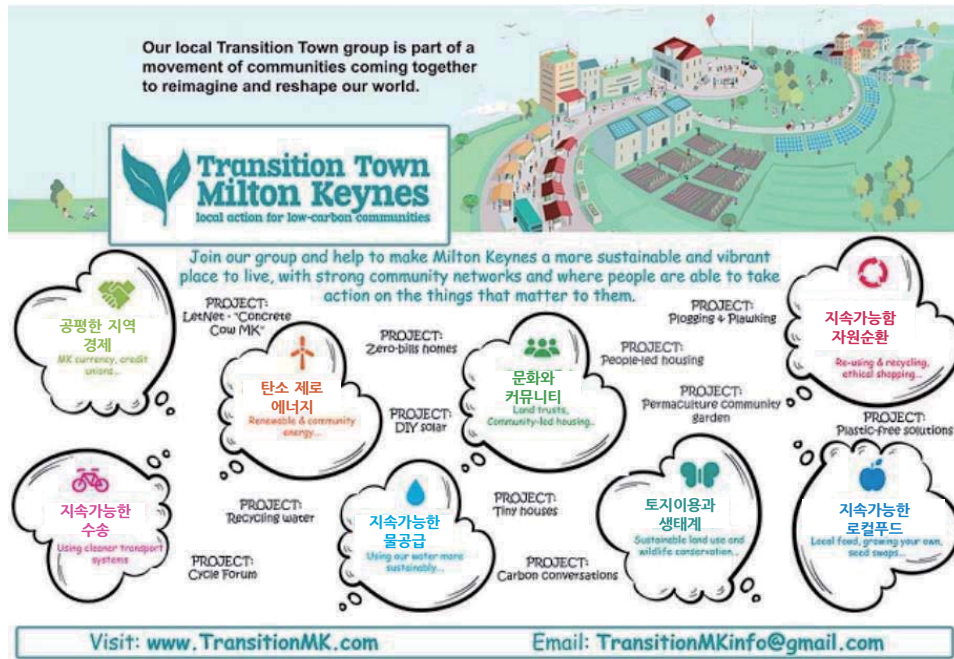
- 공동체 운영을 통해 마을의 **현안을 함께 해결**
- 이웃간 소통을 통해 안전하고 편안한 정주환경 조성
- 공동체로 인적, 물적 자원을 **공유함으로써 주민편익증대**

성장하는 마을

- 신재생에너지 **발전 수익 창출**
- 교육 및 체험 프로그램으로 교류 등의 **네트워크 확립**
- 공동체 기반의 마을 비전 수립 및 실천으로 성장하는 마을

마을 구성원과 특성에 따른 다양한 형태의 에너지전환마을 조성 가능

이상적인 에너지전환마을 사례



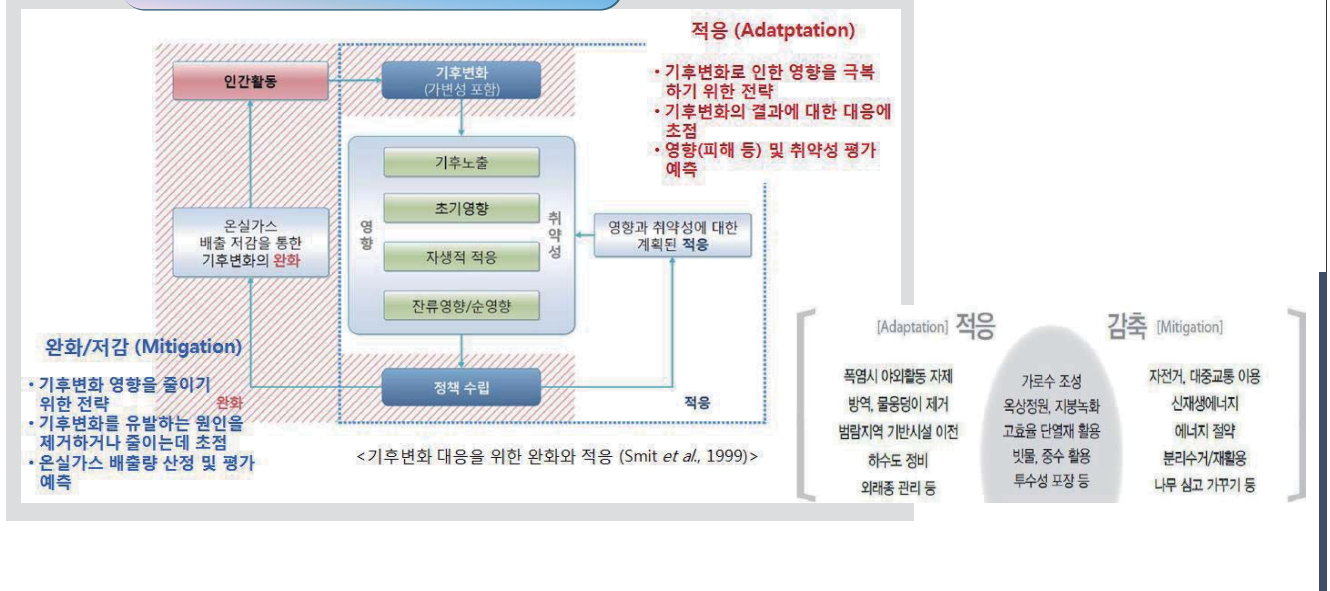
Part IV. 무엇을 준비해야 하나

생각해 보기...

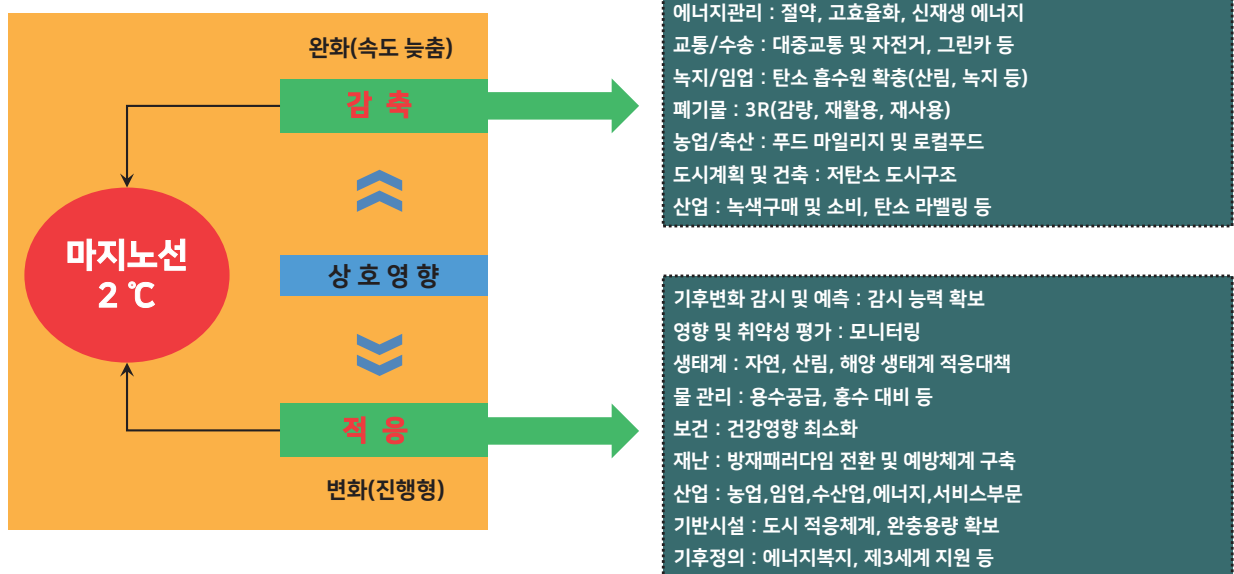


탄소중립도시 전환을 위한 과제

기후변화 대응 = 완화/저감 + 적응



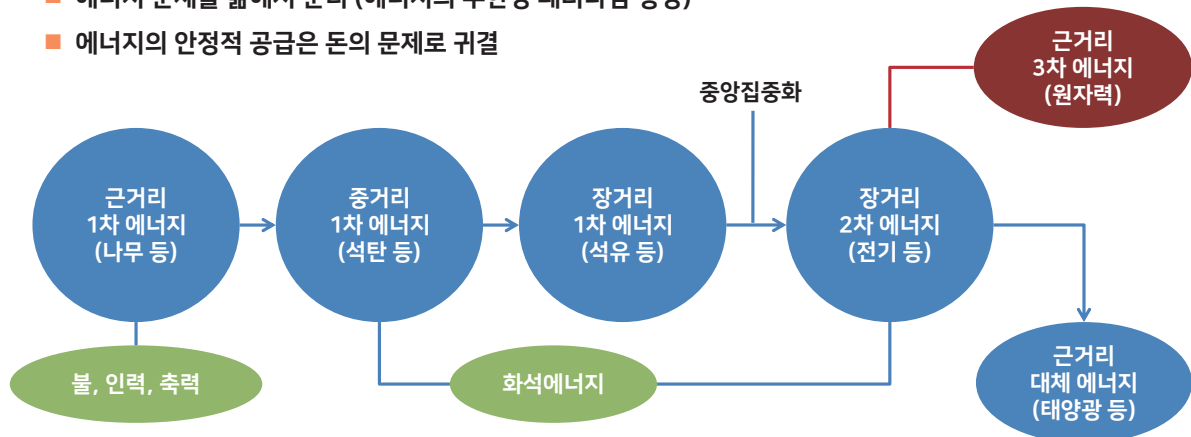
탄소중립도시 전환을 위한 과제



탄소중립도시 전환을 위한 과제

에너지를 삶의 분리하여 무한성의 패러다임을 형성

- GDP : 소득의 증가를 실물 '생산량 증대'와 그것이 '환경에 미치는 영향'에서 분리
- 에너지 생산과 소비의 분리 = '생산자'와 '소비자'의 분리
- 에너지 문제를 삶에서 분리 (에너지의 무한성 패러다임 형성)
- 에너지의 안정적 공급은 돈의 문제로 귀결

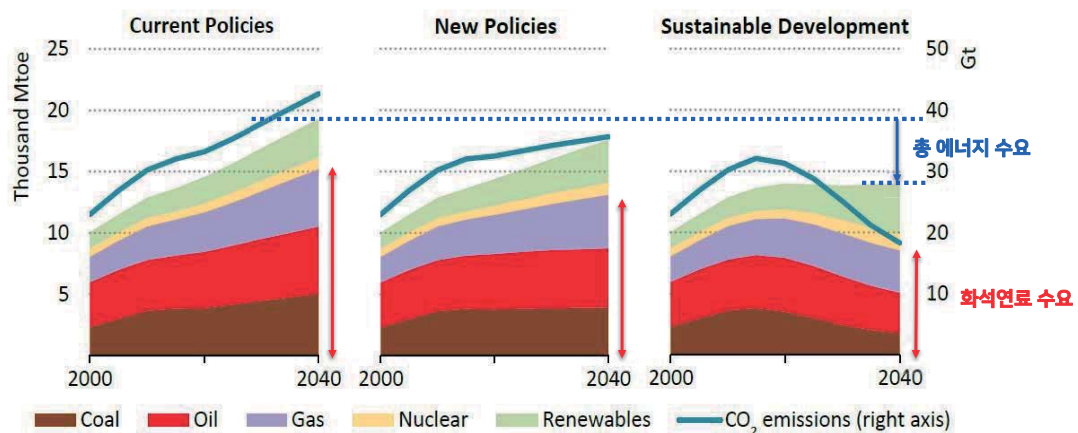


탄소중립도시 전환을 위한 과제

- 과거에는 신기술의 등장으로 새로운 에너지를 추가
- 새로운 에너지 활용이 아닌 지속가능성에 대한 고민 필요

에너지 대체, 에너지 수요관리

< IEA 시나리오별 에너지수요 및 CO2 배출량 >



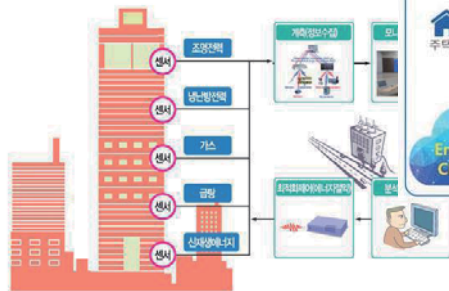
탄소중립도시 전환을 위한 과제

■ 양방향 통신, 관리수단 다변화 → 소비자 역할 강화

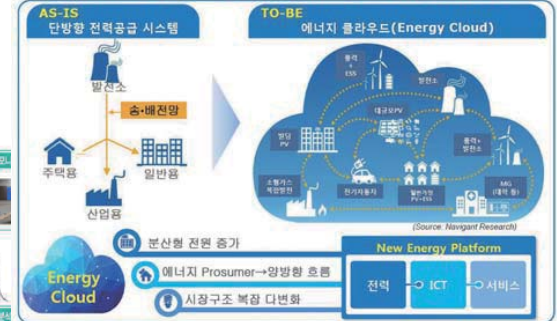
- IoT, 빅데이터 분석을 통한 분산형 전원 실시간 모니터링, 자율적 제어를 통해 소비자의 능동적 참여 확대
- 민간 수요관리자원 시장 진출을 통한 수요반응 자원을 활용하는 연관 산업 활성화



건물에너지관리시스템(BEMS) 개요



에너지 클라우드 형태의 새로운 플랫폼의 출현



75

탄소중립도시 전환을 위한 과제

1순위 절약, 2순위 고효율화, 3순위 신재생 에너지
분산적이며 자립적인 에너지 체계



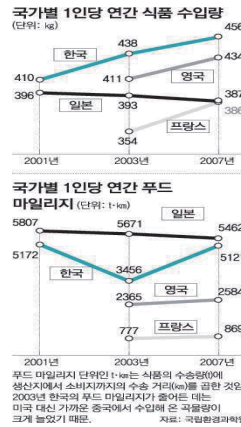
일본의 LED 집어등



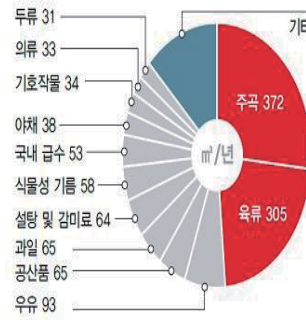
저탄소 생산 및 소비



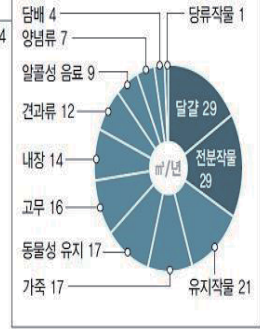
탄소중립도시 전환을 위한 과제



소비 품목별 세계 1인당 평균 물발자국 (단위: 1996~2005년 기준)



※ '물발자국'이란? 어떤 제품을 생산해서 사용하고 폐기할 때까지의 전 과정에서 직간접적으로 소비되고 오염되는 물을 모두 더한 양



일본의 환경운동과 생활 운동을 대표하는 단체인 '대지를 지키는 모임'의 푸드 마일리지

<http://www.food-mileage.com/>

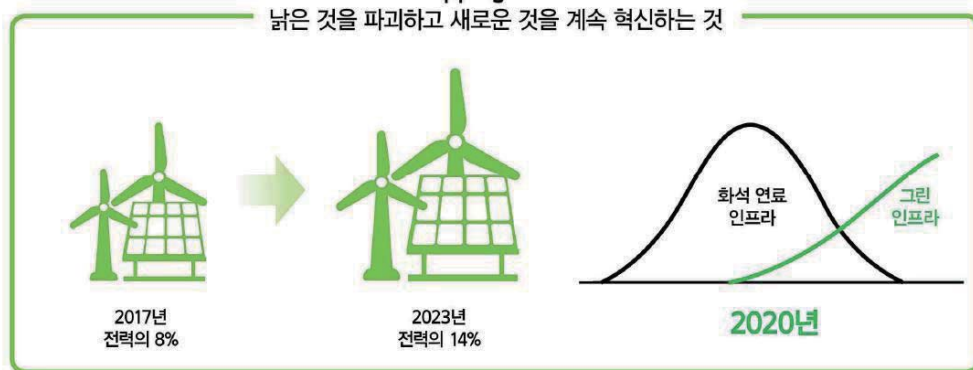
탄소중립도시 전환을 위한 과제

출처: "포스트 코로나 후 기후 시대 한국형 뉴딜 제안", 대통령직속 정책기획위원회_김준하, 2020. 5.

2023년, 티핑 포인트

Tipping Point

낡은 것을 파괴하고 새로운 것을 계속 혁신하는 것



2023년이면 재생 에너지로 에너지 분야의 **티핑 포인트** 도달
→ 에너지 분야 **창조적 파괴**의 시작

The Global Green New Deal, Jeremy Rifkin, 2019

탄소중립도시 8대 과제

1. (Green Democracy) 시민주도 거버넌스 강화로 에너지분권 실현

시민 모두가 녹색에너지를 생산하고 이용하는
녹색전환도시



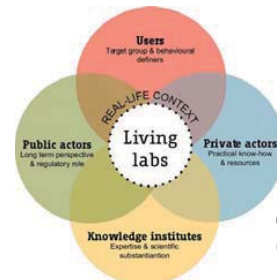
커뮤니티 에너지 구축 빛고를 햇빛발전소
'45년까지 145개 14.5MW 구축



- 에너지정책위원회
 - 에너지정책 자문기구
- 에너지정책지원협의회
 - 에너지 산학연 협업 실행기구
- 에너지시민협의체(38개 시민단체)
 - 시민참여형 에너지사업 추진
- 에너지시민실천단
 - 우리시 에너지 정책사업 홍보

에너지 거버넌스 체계 강화

그린에너지 선도기관 운영
그린에너지산업진흥원
태양광발전 공동연구센터
지역에너지센터 설립검토



에너지 시민 리빙랩 운영
에너지전환교육, 활동가 양성
마을 에너지 SI 데이터 챌린지

탄소중립도시 전환을 위한 과제

2. (Green Energy) 市 전역 신재생에너지 보급·확대로 전력 에너지자립

시민 모두가 녹색에너지를 생산하고 이용하는
녹색전환도시



에너지 자립마을 공동주택 햇빛발전소



산단RE100 '30년까지 완료



도로 태양광



친환경 연료전지 발전소
13개소 735MW급

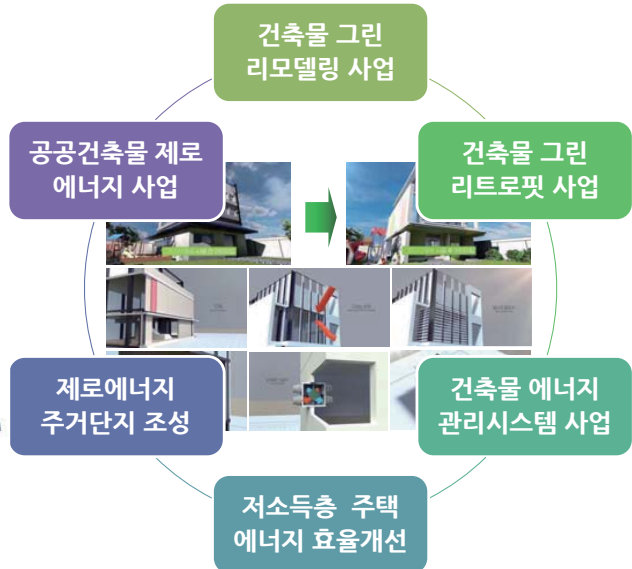
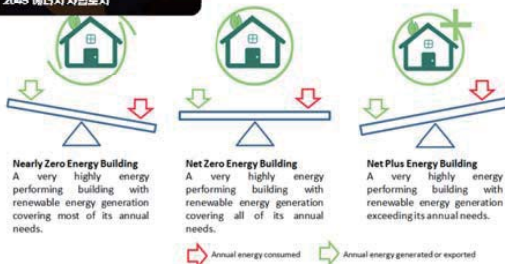


수업에너지 단계별 확대

탄소중립도시 전환을 위한 과제

2-1. (Green Energy) 市 전역 신재생에너지 보급·확대로 전력 에너지자립

시민 모두가 녹색에너지를 생산하고 이용하는
녹색전환도시



탄소중립도시 전환을 위한 과제

2-2. (Green Energy) 市 전역 신재생에너지 보급·확대로 전력 에너지자립

시민 모두가 녹색에너지를 생산하고 이용하는
녹색전환도시



탄소중립도시 전환을 위한 과제

3. (Green AI Infra) AI 연계 에너지 클라우드 구축



탄소중립도시 전환을 위한 과제

4. 환경오염 및 기후재난 대응 시민안심 인프라 강화



탄소중립도시 전환을 위한 과제

4. 환경오염 및 기후재난 대응 시민안심 인프라 강화



탄소중립도시 전환을 위한 과제

5. AI 빅데이터 기반 스마트 환경관리 도시체계 확산



탄소중립도시 전환을 위한 과제

6. 깨끗한 물환경 제공을 위한 상수도 인프라 구축

수돗물 공급 스마트 관리체계 구축

- 수돗물 공급 전과정을 스마트 관리체계 구축, 사고발생 사전차단 및 사고시 신속히 대응 효율적인 관리 추진
- 수돗물 정보 실시간 제공, 수돗물 신뢰도 향상 및 스마트 물관리 기술 도입으로 유수율 제고 및 누수 손실액 감소



노후 상수도 개량

- 물 공급과정시 퇴적물 발생으로 인한 수질문제 선제적 차단, 관세척 및 노후화된 수도관 교체, 갱생
- 수질관리에 대한 고품질 서비스를 요구하는 시민요구 부응, 수도관 기능 회복으로 수돗물 음용률 제고



탄소중립도시 전환을 위한 과제

7. 청정대기·공기산업 등 환경융합산업 육성



에어돔



어린이집



공사장



병원



식당



지하상가

탄소중립도시 전환을 위한 과제

8. 기후 환경 일자리 및 시민 참여 확산



재활용품 품질개선 추진



광역 환경교육센터 지정·운영 도시형 스마트팜 혁신밸리 조성



녹색제품, 녹색생활 실천 지원 확대



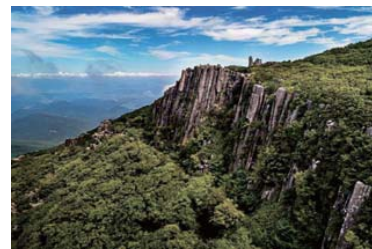
온실가스컨설팅, 기후강사단 등 양성교육 강화

탄소중립도시 전환을 위한 과제

8. 기후 환경 일자리 및 시민 참여 확산



공공유희지 도시농업공원 시범 조성



무등산 에코지오 플랫폼 조성

* 생태관광 로컬푸드 마을 일자리



녹색식생활





연구개발실장 오병철(Ph.D.)

062)601-1320

icet (재) 국제기후환경센터
International Climate & Environment Center

그린뉴딜 실현을 위한 전국하수처리장의 수소생산기지화 사업



정호영 교수
전남대학교 환경에너지공학과

그린뉴딜 실현을 위한 전국하수처리장의 수소생산기지화 사업

정호영

전남대학교



1

Contents

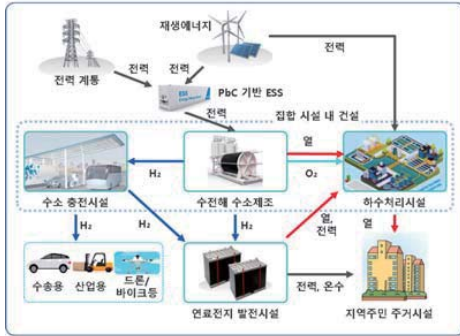
- 01** Overview and Background of Research Projects
- 02** Technical issues and development goals
- 03** Market overview
Technology trend
- 04** Development strategy and research plan
- 05** Performance utilization and expected effect



2

Summary

그린뉴딜 실현을 위한 전국 하수처리장의 수소 생산시설 거점화를 통한 신사업 기획



■ 작동 방식

- ① 태양광을 활용한 신재생 에너지원의 전력 생산
- ② PbC 기반 ESS를 통해 신재생 에너지원의 전력 저장
- ③ 잉여전력 생산분의 하수처리장내 수전해시스템 연계를 통한 수소/산소 생산
- ④ 생산된 수소는 수소 충전소 저장 및 연료전지 시스템에 공급
- ⑤ 저장된 수소는 탱크로리로 수소 이송 및 수요처에 공급
- ⑥ 생산된 산소는 하수처리장에 폭기
- ⑦ 수전해 및 연료전지 시스템에서 발생한 열원은 수송가에 공급
- ⑧ 신재생 에너지원 및 연료전지 발전량은 하수처리장 및 지역주민에게 공급

Confidential



□ 사업 필요성

- 수소 생산기지화 소비지역 이격거리를 단축할 수 있는 적절한 수소 생산지 확보
- 수소 수요량 대응이 용이한 하수처리장 수소 생산기능 확대를 통한 환경산업에서의 수소 사회 진입을 위한 기회 제공
- 하수처리장의 처리 수질 향상과 더불어 예산 사용처가 아닌 예산 확보처로 역할 전환
- 수소 생산시설 배출 오염 농축수를 기존 하수처리공정과 연계시켜 처리
- 수소 생산 원수의 전처리 고도화 시설(CDI 탑재)을 하수 처리수질 향상에 활용 필요
- 하수처리장의 수전해 수소 생산 및 연료전지 발전의 하이브리드 시스템 기반 신규 BM 제시를 통해 환경산업에 대한 인식의 대전환 및 신사업 기회 제공
- 정부의 수소 경제 활성화 로드맵 지원 강화를 위한 지역내 독립 수소 생산 및 발전을 통한 전략 수소 산업의 지역 거점화 및 조기 상업화 유도
- 정부의 그린 뉴딜 정책에 부응하는 하수처리장 운영을 위한 에너지+환경+디지털 뉴딜의 복합화 기술 제안



3

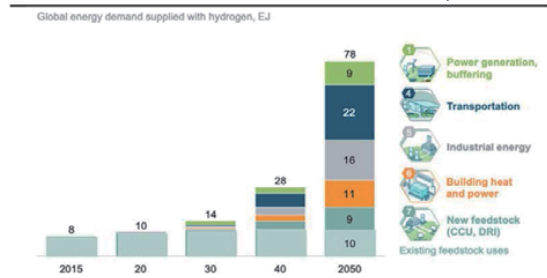
H₂

수소 생산량 전망

4

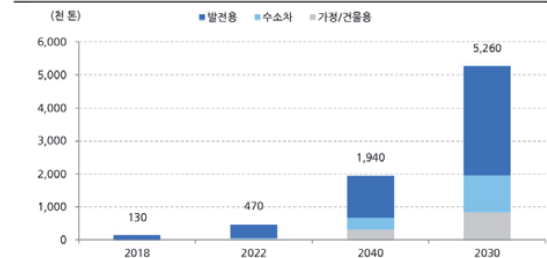
<전세계 수소 수요 전망>

자료 : Mackenzie, 현대차증권



<국내 수소 수요 전망>

자료 : 산업통상자원부, 현대차증권



Confidential





주요국 P2G 프로젝트 현황	
독일	- 2022년까지 P2G 설비를 1,000MW 까지 확대하는 것을 목표로 17 억유로를 들여 P2G 전략 플랫폼 사업 추진. - P2G 생산능력 2025년 5GW, 2050년 40GW 갖출 계획 - 풍력 발전 에너지로 수소를 제조하여 활용하는 20개 이상의 프로젝트 진행 중 - 가스 망 이용 수소 및 메탄(CH₄) 공급, 수송 연료화, 수소저장 등의 프로젝트가 자동차업체 및 에너지 기업 등이 참여해 진행 (Greenpeace Energy의 Wind-gas 프로젝트, Audi의 e-gas 프로젝트, Total/NENETRAG 등의 베를린 브란덴부르크 국제 공항 프로젝트 등)
프랑스	- 1MW 급 재생에너지 수전해 연계 장치로 수소를 생산해 배관으로 운송하는 'Jupiter 1000' 프로젝트 시행 중
덴마크	- 풍력 발전 에너지로 수소를 생산(수전해)하여 에너지 시스템(계통안정화, 수송 및 발전에너지)에 적용하는 'HyBalance' 프로젝트 진행 중
네덜란드	- 화학회사 AkzoNobel과 가스회사 Gasunie의 공동 프로젝트로 20MW 규모 재생에너지-수전해 연계 프로젝트 진행 중
미국	- DOE(에너지부) 주관 풍력 발전 에너지로 수소를 생산해 천연가스 망을 통해 공급하는 'Wind2H2' 프로젝트 진행 중 - NREL(신재생에너지연구소)은 태양광 발전 에너지로 수소를 생산하는 'STH(Solar To Hydrogen)' 연구 개발 지속적으로 추진 중 - 캘리포니아 등 10개 주 수소차 세제 혜택 지원
일본	- 후쿠시마 지역에 세계 최대 규모 태양광 연계 수소 생산시설 준공(Fukushima Hydrogen Energy Research Field) - 10MW 급 수소제조장비, 20MW 규모 태양광 패널 설치하여 연간 900톤 수소 생산 - Inpex, 니기타현 미나미 나가오카 가스전에서 생산되는 천연가스 처리중 CO₂ 배출, 수전해를 이용해 분리한 수소를 반응하여 메탄을 생산. 가스관을 통해 수송하는 사업 - '19년 8월 메탄 50만톤 생산. 2021년부터 생산된 메탄을 도시가스에 혼합 시켜 가스관 통해 공급 계획 - 2030년 이후 현재 수준으로 가격을 하락시키는 것이 목표 - 도요타, 1,980kW 급 풍력발전 이용해 생산한 그린 수소를 요코하마 시 시장 및 물류창고에 공급해 수소전기자동차 충전
대한민국	- 2020.1 P2G 기반 한전 Microgrid 실증사업 착수 - 사업규모 수전해 1.0MW, PV 1MW, 연료전지 200kW(기준), ESS 0.5MWh - 2020년 5월 상세설계 완료. 2021년 1월 실증 계획 - 2022년까지 MW 급 재생에너지 연계 수전해 기술(P2G)을 개발하고 100MW 규모로 실증 추진 예정



Confidential

수소경제 활성화 로드맵

* () : 내수

구분	2018	2022	2040
수소	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 (290만대)
승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
택시			12만대 (8만대)
버스	2대 (전체)	2천대 (전체)	6만대 (4만대)
트럭			12만대 (3만대)
수소충전소	14개소	310개소	1,200개소

구분	2018년			
	2018년	2022년	2030년	2040년
공급량 (=수요량)	13만톤/년	47만톤/년	194만톤/년	526만톤/년 이상
공급방식	①부생수소(1%) ②추출수소(99%)	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+②+③ : 50% ④ : 50%	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+②+③ : 70% ④ : 30%
수소가격	- (정책가격)	6,000원/kg (시장화 초기가격)	4,000원/kg	3,000원/kg

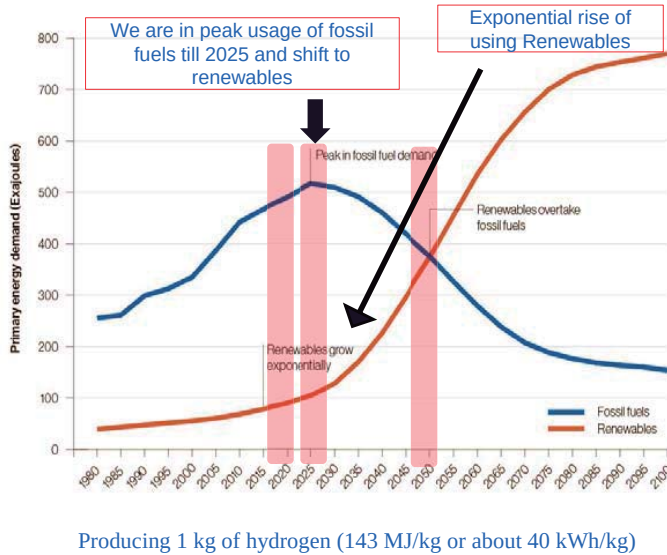
■ 수전해 비율 ↑
■ 추출수소 비율 ↓

Source : 산업통상자원부 (2019) / $1,000g \times 96,485 \text{ C/mol} \times 1.7 \text{ V} \times 94 \text{ W/kWhr} = 4,283 \text{ W/kg}_{\text{H}_2}$ (2018 SMP (전력도매가격) 기준)



Renewable and fossil fuel energy

Transformation stage from fossil fuel to renewables source



Confidential

At the same time importance is

Shift to the Hydrogen Economy

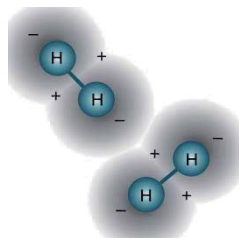
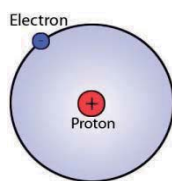
Carbon economy	Hydrogen economy
Energy paradigm Fossil fuel (gasoline, coal, gas)	Energy paradigm Hydrogen-centered
Energy supply Concentrated	Energy supply Distracted
Competition Raw material development	Competition Technology and economy development
How green Emits greenhouse gas and pollutants * CO ₂ , NO _x , SO _x , etc.	How green Eco-friendly * byproduct = water (H ₂ O)

Comparative Advantages

7

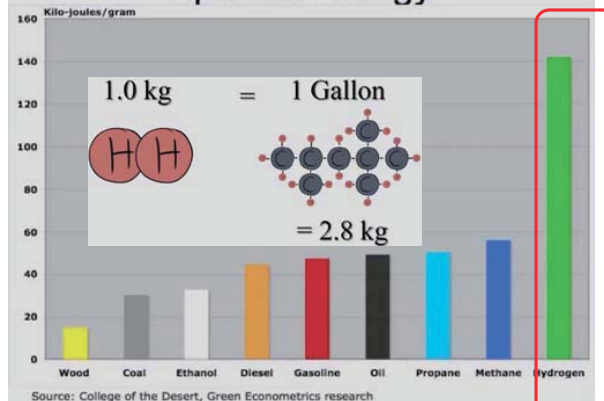
All about Hydrogen

Hydrogen (A.W. : 1.00794 u)



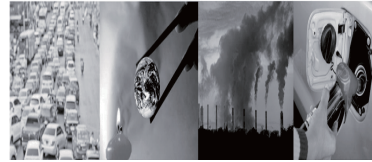
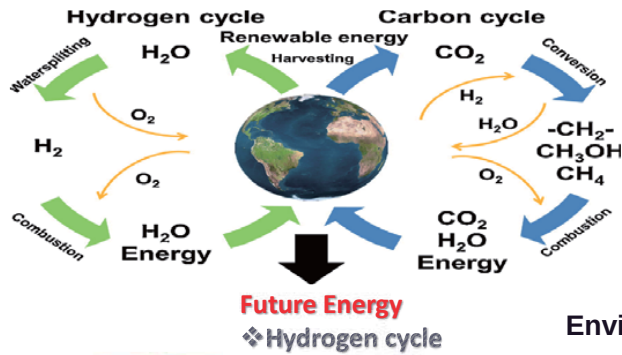
- ❖ Lightest element
- ❖ **Most abundant**
- ❖ **75% of Universe's element**
- ❖ Rarely present in pure form
- ❖ Use as energy carrier
- ❖ High specific energy (39.4 kWh.kg⁻¹) > 13.1 kWh.kg⁻¹ in liquid hydrocarbons

Specific Energy



Confidential

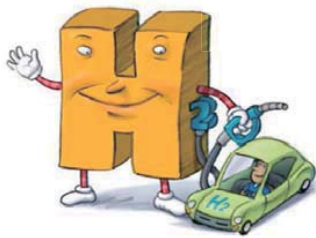
Why do we need Hydrogen ?



CO₂ emission, Global warming

Environmental Benefits

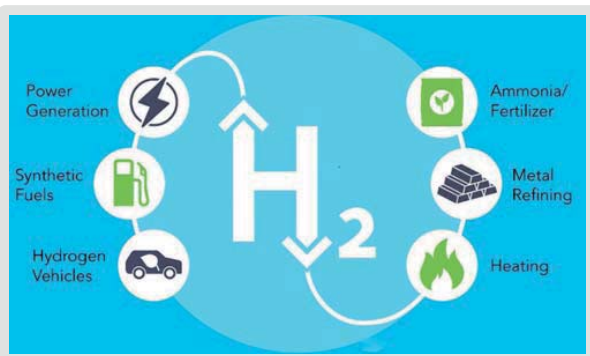
- ❖ Cleanest burning fuel available
- ❖ Combustion does not release carbon dioxide, greenhouse gas
- ❖ Spills quickly evaporate, form water



Confidential

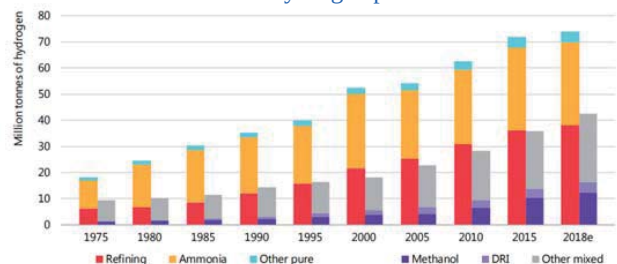
Continue..

Hydrogen has the highest energy content by weight of any chemical fuel

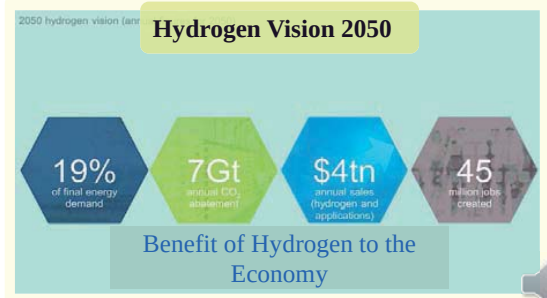


Core sectors for hydrogen utilization

Gradual increase in hydrogen production and use



Notes: DRI = direct reduced iron steel production. Refining, ammonia and "other pure" represent demand for specific applications that require hydrogen with only small levels of additives or contaminants tolerated. Methanol, DRI and "other mixed" represent demand for applications that use hydrogen as part of a mixture of gases, such as synthesis gas, for fuel or feedstock.

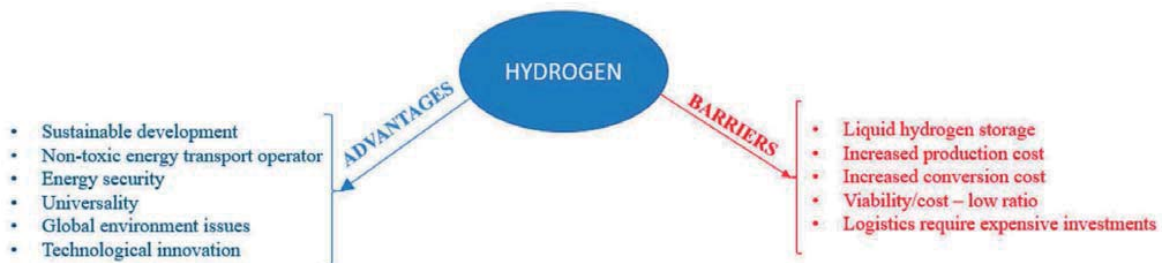


Source: IEA, Hydrogen council
Confidential



10

Schematic Pro/Con of hydrogen arguments



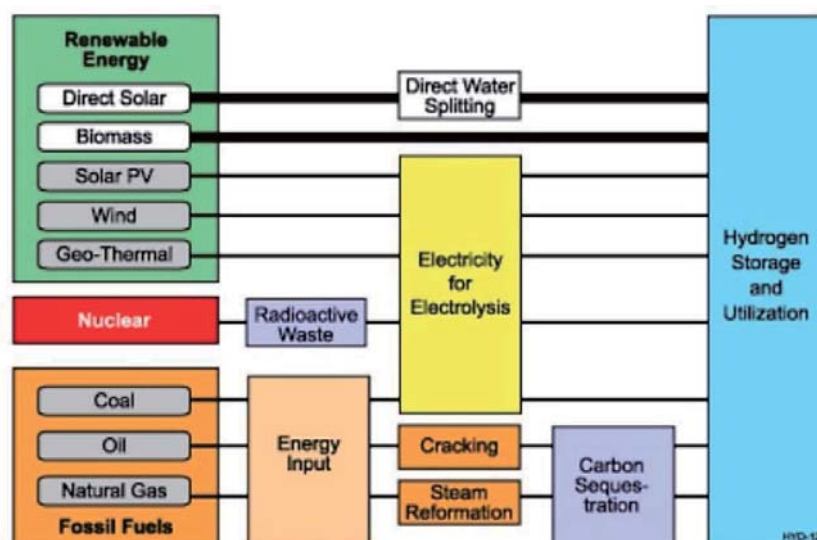
In view of the research and development programs supported in this field, the technical problems regarding the production, storage and distribution of hydrogen, together with the reduction of costs and the increase of the life of the equipment used in the generation of energy based on hydrogen, will be solved shortly time, and hydrogen will become a possible solution for providing fuels, at the same time being an alternative energy resource to the traditional ones. ---DOE



11

Confidential

Hydrogen Production Paths



12

Confidential

Various Hydrogen production methods along with their advantages, disadvantages efficiency and cost

Hydrogen production Method	Advantages	Disadvantages	Efficiency	Cost [\$/kg]				
Steam Reforming	Developed technology & Existing infrastructure	Produced CO, CO ₂ Unstable supply	74-85	2.27	Gasification	Abundant, cheap feedstock and neutral CO ₂ .	Fluctuating H ₂ yields because of feedstock impurities, seasonal availability and formation of tar.	30-40 1.77-2.05
Partial Oxidation	Established technology	Along with H ₂ Production, produced heavy oils and petroleum coke	60-75	1.48	Pyrolysis	Abundant, cheap feedstock and CO ₂ -neutral.	Tar formation, fluctuating H ₂ amount because of feedstock impurities and seasonal availability	35-50 1.59-1.70
Auto thermal Reforming	Well established technology & Existing infrastructure	Produced CO ₂ as a byproduct, use of fossil fuels.	60-75	1.48	Thermolysis	Clean and sustainable, O ₂ -byproduct, copious feedstock	High capital costs, Elements toxicity, corrosion problems.	20-45 7.98-8.40
Bio photolysis	Consumed CO ₂ , Produced O ₂ as a byproduct, working under mild conditions.	Low yields of H ₂ , sunlight needed, large reactor required, O ₂ sensitivity, high cost of material.	10-11	2.13	Photolysis	O ₂ as byproduct, abundant feedstock, No emissions.	Low efficiency, non-effective photocatalytic material, Requires sunlight.	0.06 8-10
Dark Fermentation	Simple method, H ₂ produced without light, no limitation O ₂ , CO ₂ -neutral, involves to waste recycling	Fatty acids elimination, low yields of H ₂ , low efficiency, necessity of huge volume of reactor	60-80	2.57	Electrolysis	Established technology Zero emission Existing infrastructure O ₂ as byproduct	Storage and Transportation problem.	60-80 10.30
Photo Fermentation	Involves to waste water recycling, used different organic waste waters, CO ₂ -neutral.	low efficiency, Low H ₂ production rate, sunlight required, necessity of huge volume of reactor, O ₂ -sensitivity	0.1	2.83				

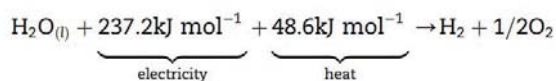
Confidential



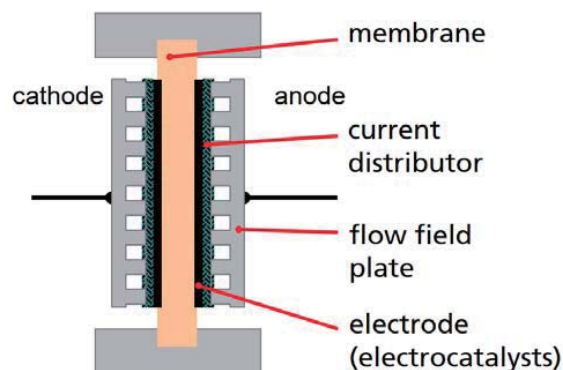
13

Water electrolysis- Introduction

- High-quality hydrogen (~100% hydrogen) can be produced by the electrochemical conversion of water to hydrogen and oxygen through a process known as water electrolysis.
- Currently ~96% of the global hydrogen production from non-renewable fossil fuels, in particular steam reforming of methane.
- The reaction with the thermodynamic energy values is described in Eq.



It is also called water splitting. It requires a minimum potential difference of 1.23 volts to split water.



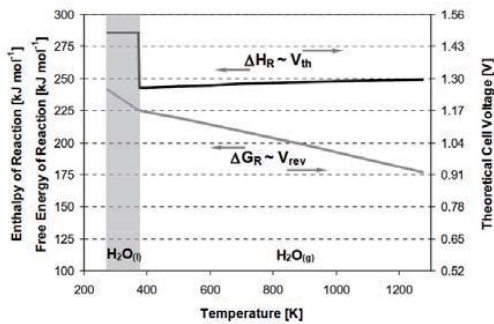
Schematic of a PEM electrolysis cell

Confidential



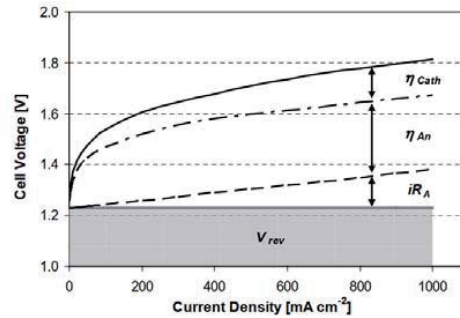
14

Decomposition of water



Thermodynamics:

- Reversible losses
- HHV: 3.54 kWh/Nm³ H₂



Reaction kinetics:

- Irreversible losses
- Overpotentials and internal resistance

→ Cell voltage affected by temperature and pressure

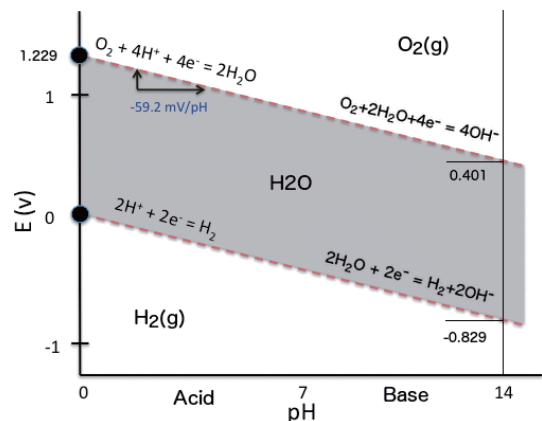
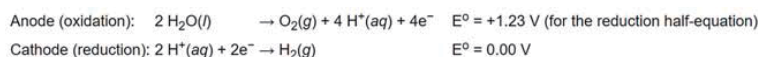
Confidential



15

Water Thermodynamics

- The decomposition of pure water into hydrogen and oxygen at standard temperature and pressure is not favorable in thermodynamic terms.
- Thus, the standard potential of the water electrolysis cell
- ($E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cathode}} - E^{\circ}_{\text{anode}}$) is -1.229 V at 25 °C at pH 0 ([H⁺] = 1.0 M).
- At 25 °C with pH 7 ([H⁺] = 1.0×10⁻⁷ M), the potential is unchanged based on the Nernst equation.
- $\Delta G^{\circ} = -n F E^{\circ}$
- (where E° is the cell potential and F the Faraday constant, i. e. 96,485.3321233 C/mol). For two water molecules electrolysed and hence two hydrogen molecules formed, $n = 4$, and $\Delta G^{\circ} = 474.48 \text{ kJ/2 mol(water)} = 237.24 \text{ kJ/mol(water)}$.



Pourbaix diagram for water, including equilibrium regions for water, oxygen and hydrogen at STP.

*The vertical scale is the electrode potential of hydrogen or non-interacting electrode relative to an SHE electrode, the horizontal scale is the pH of the electrolyte (otherwise non-interacting).

Confidential



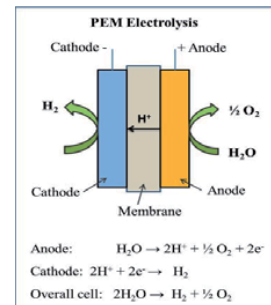
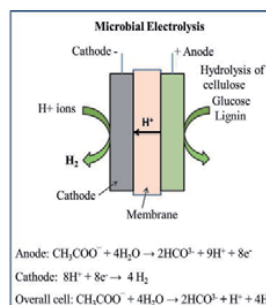
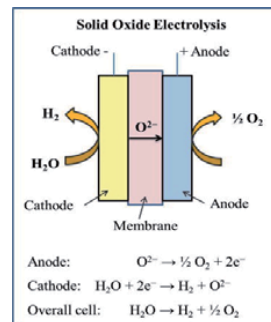
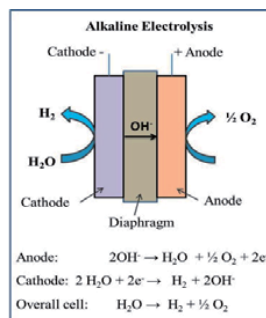
16

Water electrolysis technologies

- Electrolysis of water is one such most capable method for production of hydrogen because uses renewable H_2O and produced only pure oxygen as by-product.
- Furthermore, water electrolysis having tough advantages such as high cell efficiency and greater hydrogen production rate with high purity this is more advantage for its further conversion in to electrical energy using low temperature fuel cells.
- In electrolysis process, water molecule is the reactant it is dissociated into hydrogen (H_2) and oxygen (O_2) under the influence of electricity.
- Water electrolysis can be classified in to the four types based on their electrolyte, operating conditions, and ionic agents (OH^- , H^+ , O^{2-}), however operating principles are both the cases same.

The four kinds of electrolysis methods are,

- Alkaline water electrolysis (AWE)
- Solid oxide electrolysis (SOE)
- Microbial electrolysis cells (MEC)
- PEM water electrolysis



Confidential

17

Alkaline water electrolysis

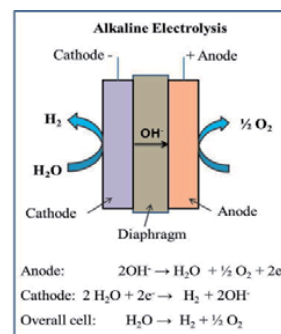
Alkaline water electrolysis	
Typical Materials	
Type of Electrolysis:	Alkaline Water Electrolysis
Style of membrane/diaphragm	NI0
Bipolar/seperator plate material	Stainless steel
Catalyst material on the anode	Ni/Co/Fe
Catalyst material on the cathode	Ni/C-Pt
Anode PTL material	Ti/Ni/zirconium
Cathode PTL material	Stainless steel mesh
State-of-the-art Operating Ranges	
Cell temperature	60-80°C ^[1]
Stack pressure	<30 bar ^[1]
Current density	0.2-0.4 A/cm ² ^{[1][2]}
Cell voltage	1.8-2.40 V ^{[1][2]}
Power density	to 1.0 W/cm ² ^[1]
Part-load range	20-40% ^[1]
Specific energy consumption stack	4.2-5.9 kWh/Nm ³ ^[1]
Specific energy consumption system	4.5-7.0 kWh/Nm ³ ^[1]
Cell voltage efficiency	52-69% ^[1]
System hydrogen production rate	<760 Nm ³ /h ^[1]
Lifetime stack	<90,000 h ^[1]
Acceptable degradation rate	<3 μV/h ^[1]
System lifetime	20-30 a ^[1]

- It is a type of electrolyzer that is characterized by having two electrodes operating in a liquid alkaline electrolyte solution of potassium hydroxide (KOH) or sodium hydroxide (NaOH). These electrodes are separated by a diaphragm, separating the product gases and transporting the hydroxide ions (OH^-) from one electrode to the other.

- A recent comparison showed that state-of-the-art nickel based water electrolyzers with alkaline electrolytes lead to competitive or even better efficiencies than acidic polymer electrolyte membrane water electrolysis with platinum group metal based electrocatalysts.

Advantages compared to PEM water electrolysis

- Cheaper catalysts with respect to the platinum metal group based catalysts used for PEM water electrolysis.
- Higher durability due to an exchangeable electrolyte and lower dissolution of anodic catalyst.
- Higher gas purity due to lower gas diffusivity in alkaline electrolyte.



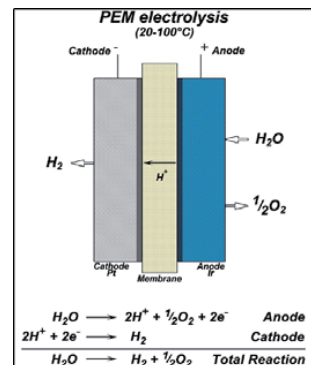
Confidential

18

Polymer electrolyte membrane electrolysis

Typical Materials	
Type of Electrolysis:	PEM Electrolysis
Style of membrane/diaphragm	Solid polymer
Bipolar/seperator plate material	Titanium or gold and platinum coated titanium
Catalyst material on the anode	Iridium
Catalyst material on the cathode	Platinum
Anode PTL material	Titanium
Cathode PTL material	Carbon paper/carbon fleece
State-of-the-art Operating Ranges	
Cell temperature	50-80°C ^[1]
Stack pressure	<30 bar ^[1]
Current density	0.6-2.0 A/cm ² ^[1]
Cell voltage	1.75-2.20 V ^[1]
Power density	to 4.4 mW/cm ² ^[1]
Part-load range	0-10% ^[1]
Specific energy consumption stack	4.2-5.6 kWh/Nm ³ ^[1]
Specific energy consumption system	4.5-7.5 kWh/Nm ³ ^[1]
Cell voltage efficiency	57-69% ^[1]
System hydrogen production rate	30 Nm ³ /h ^[1]
Lifetime stack	<20,000 h ^[1]
Acceptable degradation rate	<14 µV/h ^[1]
System lifetime	10-20 a ^[1]

- Polymer electrolyte membrane (PEM) electrolysis is the electrolysis of water in a cell equipped with a solid polymer electrolyte (SPE) that is responsible for the conduction of protons, separation of product gases, and electrical insulation of the electrodes.
- The PEM electrolyzer was introduced to overcome the issues of partial load, low current density, and low pressure operation currently plaguing the alkaline electrolyzer.
- The use of a PEM for electrolysis was first introduced in the 1960s by General Electric, developed to overcome the drawbacks to the alkaline electrolysis technology.
- One of the largest advantages to PEM electrolysis is its ability to operate at high current densities.
- The polymer electrolyte allows the PEM electrolyzer to operate with a very thin membrane (~100-200 µm) while still allowing high pressures, resulting in low ohmic losses, primarily caused by the conduction of protons across the membrane (0.1 S/cm) and a compressed hydrogen output



Confidential

19

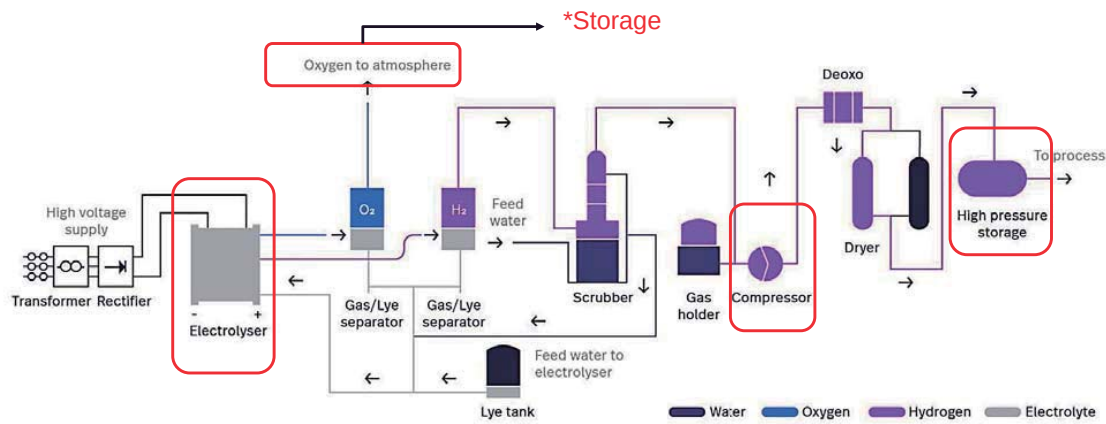
Advantage and disadvantage of different electrolysis technologies

Electrolysis process	Advantages	Disadvantages
Alkaline Electrolysis	Well established technology Non-noble electro catalysts Low cost technology The energy efficiency is (70-80%) Commercialized	Low current densities Formation of carbonates on the electrode decreases the performance of the electrolyser Low purity of gases Low operational pressure (3-30 bar) Low dynamic operation
Solid Oxide Electrolysis	Higher efficiency (90-100%) Non-noble electro catalysts High working Pressure	Laboratory stage Large system design Low durability
Microbial Electrolysis	Used different organic waste waters	Under development Low hydrogen production rate Low purity of hydrogen
PEM Electrolysis	High current densities Compact system design and Quick Response Greater hydrogen production rate with High purity of gases (99.99%) Higher energy efficiency (80-90%) High dynamic operation	New and partially established High cost of components Acidic environment Low durability Commercialization is in near term

Confidential

20

Alkaline electrolysis – Common System Design

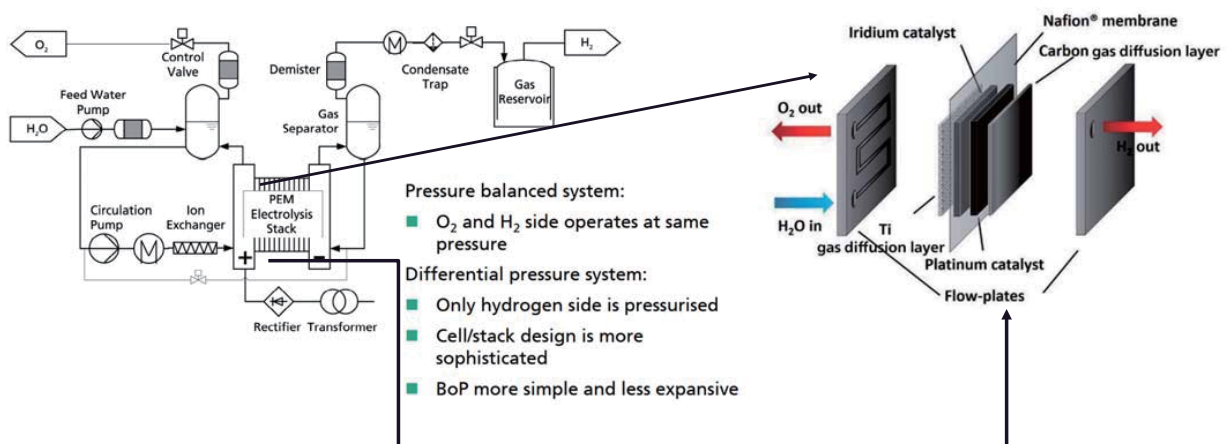


Confidential



21

PEM electrolysis system = stack + balance of plant



Confidential



22

Commercial PEM electrolyser International

- Compared to alkaline systems low H₂ production rates:
 - 100 Nml/min – 15 Nm³/h today
 - Up to 30 Nm³/h in the near future
- H₂ output at 6 – 30 bar and purified up to 6.0
- Applications:
 - Laboratory equipment (e.g. gas chromatography)
 - Generator cooling in power plants
 - Float glass manufacturing and further industrial processes (food industry)
 - Military (submarines) and space



Confidential



23

Comparison of alkaline and PEM electrolyzers

- Comparable young technology, still high potential for further improvement
 - Principle advantages:
 - Simple system configuration
 - Very high current and power densities
 - High efficiencies on cell level
 - Very fast response time, suitable for coupling with RES
- Usage of expensive materials (membrane, electrodes, bipolar plates)
 - Attractive competitive position for small electrolysis units << 100 Nm³/h

} Small footprint

AEM is more preferable because of low cost and production requirements

Confidential



24

Comparison of alkaline and PEM electrolyzers

	Commercialized and established		Theoretical	
	today		in the future	
	AEL	PEMEL	AEL	PEMEL
Current density (A/cm ²)	- (0.2-0.4)	+(0.6-2.0)	○	++
Power density (mW/cm ²)	-- (1.0)	+(4.4)	-	++
Efficiency (system)	+ (70-80%)	○ (80-90%)	+	+
System complexity	-	○	-	○
Durability / Life cycle (h)	(<90,000) ++	(<20,000) ○	++	+
Investment costs	○	-	○	○

Confidential

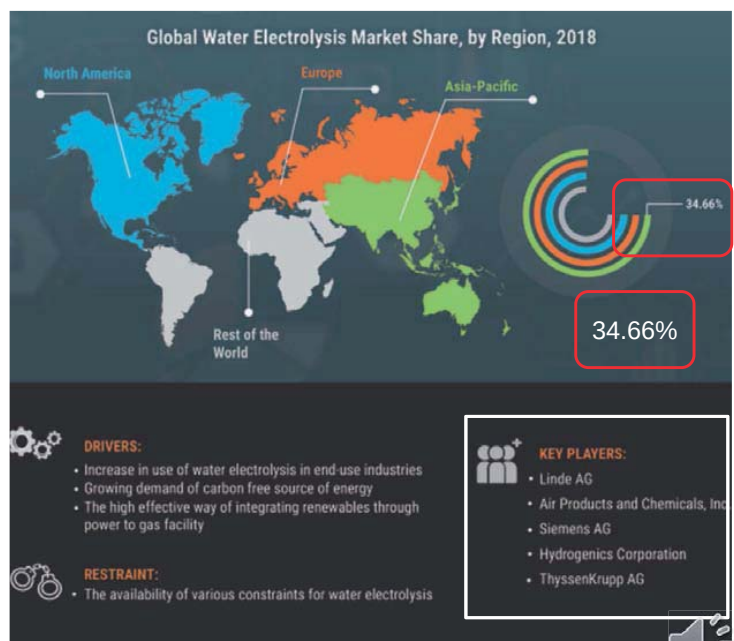


25

Market- Water electrolysis

Global Water Electrolysis Market is projected to value at USD 12,975 million by 2025 at an estimated CAGR of 7.58% during the forecast period.

- The global water electrolysis market by product category has been segmented into a proton exchange membrane and alkaline water electrolysis.
- Among these types, in 2018, the global market was led by alkaline water electrolysis segment and is projected to lead throughout the forecast period.
- Alkaline water electrolysis is extensively known as advanced technology and the most advanced water electrolysis technology.



Confidential

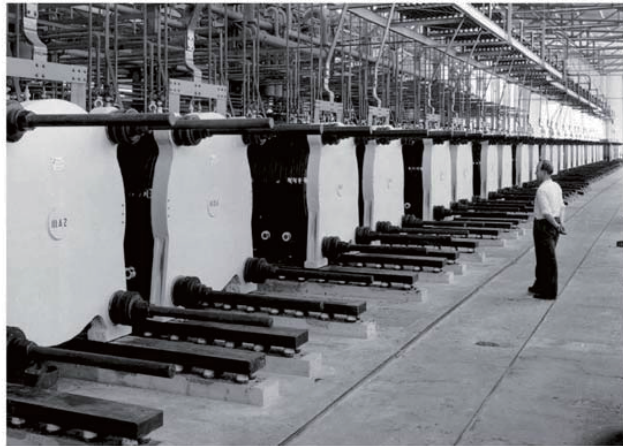


26

Green Ammonia – Glomfjord, Norway (1952 - 1991)

The biggest H₂ water electrolysis plant built ever

- 100% green electricity from hydro power
- Hydrogen used for large scale ammonia production
- Developed proprietary active layer for the electrodes, increasing efficiency - still an industry secret today
- Other significant improvements on efficiency, output and life time



Confidential



Chemicals – Rjukan, Norway (2006)

Hydrogen peroxide from green electricity

- 9.2 MW electrolyzer plant (4.2 t/day)
- 100% green electricity from hydro power
- Hydrogen and oxygen used for hydrogen peroxide (H₂O₂)
- 24/7 industrial operation where reliable hydrogen supply is critical



Confidential



Polysilicon Plant – Sarawak, Malaysia (2013)

The world's largest electrolyser plant in operation

- 25 MW electrolyzer plant (12 t/day)
- 100% green electricity from hydro power
- Hydrogen used for polysilicon production
- 24/7 industrial operation where reliable hydrogen supply is critical



Confidential

29

Hydrogen Production and Fueling for SunLine

Electrolyser and H2Station® for world's largest onsite hydrogen fueling station in California

- Largest electrolyser based fueling station ever built
- 2 MW PEM electrolyser (900+ kg/day)
- Will ultimately support a fleet of up to 26 FC-buses
- Planned future upgrade to add 70MPa dispensing
- Financial support from CARB and FTA



M400 PEM Electrolyser



2x Hydrogen Storage



2x Station Module



2x Dispenser
35MPa



Confidential

30

Commercial Electrolyser –International & Domestic

Key Competitors:

1. The key players of the global water electrolysis market are ThyssenKrupp AG,
2. Linde AG, Air Products and Chemicals, Inc., Siemens AG, ProtonOnsite,
3. Teledyne Energy Systems Inc.,
4. AREVA H2Gen,
5. Hydrogenics Corporation
6. Erre Due SpA, and
7. Peak Scientific.
8. Teledyne Energy Systems
9. Suzhou Jingli

Domestic



EM KOREA CO., LTD.
ENERGY MACHINERY KOREA CO., LTD.

EM KOREA (Daegu)

Location	#41 Joya-ro 2-gil, Buk-gu, Daegu, Korea
Method	Electrolysis
Capacity	Max 60Nm ³ /h
Organizing equipment	- Gas compressor (Diaphragm) : 35 MPa, 50 Nm³/h - Gas compressor (Hydro-Booster) : 80 MPa, 160 Nm³/h - Storage vessel : 40 MPa, 1Nm³ X 4 - Dispenser : 35 MPa / 70 MPa - Chiller : -25℃



Fuel Cell

The World's Largest Fuel Cell Manufacturing Facility

POSCO ENERGY launched new corporation named Korea Fuel Cell.
POSCO ENERGY has the world's largest fuel cell manufacturing facility in Pohang.

50MW (Production capacity)

Confidential

31

DOE: Distributed Forecourt Water Electrolysis Hydrogen Production

Characteristics	Units	2011 Status	2015 Target	2020 Target
Hydrogen Levelized Cost ^d (Production Only)	\$/kg	4.20 ^d	3.90 ^d	2.30 ^d
Electrolyzer System Capital Cost	\$/kg \$/kW	0.70 430 ^{e, f}	0.50 300 ^f	0.50 300 ^f
System Energy Efficiency ^g	% (LHV)	67	72	75
	kWh/kg	50	46	44
Stack Energy Efficiency ^h	% (LHV)	74	76	77
	kWh/kg	45	44	43
Electricity Price	\$/kWh	From AEO 2009 ⁱ	From AEO 2009 ⁱ	0.037 ⁱ

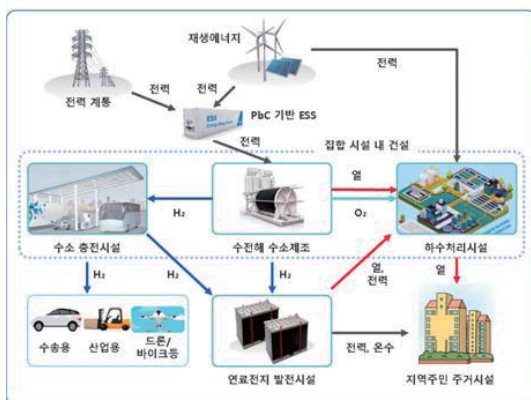
Confidential

32

광주광역시 ‘미래 수소 도시’ 를 위한 그린수소 생산 시설 거점화 제안 (하수처리장의 수소 생산 플랫폼 전환)



제안 기술: 도심내 분산 수소 생산 시설 거점화 플랫폼 구축



- 하수처리장 5000평 기준 실증 시스템 구축
- 1MW 태양광 발전 시스템 구축
- 1MW 고안전성/저비용/고속충전수입성 PbC 전지 기반 ESS 시스템 구축
- RO/CDI 기술 도입을 통한 이온성 물질 제거 및 필터 기술 도입을 통한 오염물질 제거 기술 고도화
- PEMFC 기반 연료전지 (0.2MW급) 실증 시스템 구축
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 실증 시스템(0.5MW급) 구축
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 핵심 부품(마그수소, 음이온 막, 전극, 바이폴라 플레이트, 스택 설계 구조) 국산화
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 시스템 운전 알고리즘 개발
- 무인/원격 관리형 온도 가변형 EMS 기술 개발
- H-ESS 기술 BM 개발
- 수소 생산/정제/저장 패키지 모듈 제작 및 방폭 안전 기술 확보
- 신뢰성 평가 및 내구 특성 평가, 표준화

전국 하수 종말 처리장 현황

□ 전국의 하수 종말 처리장 현황

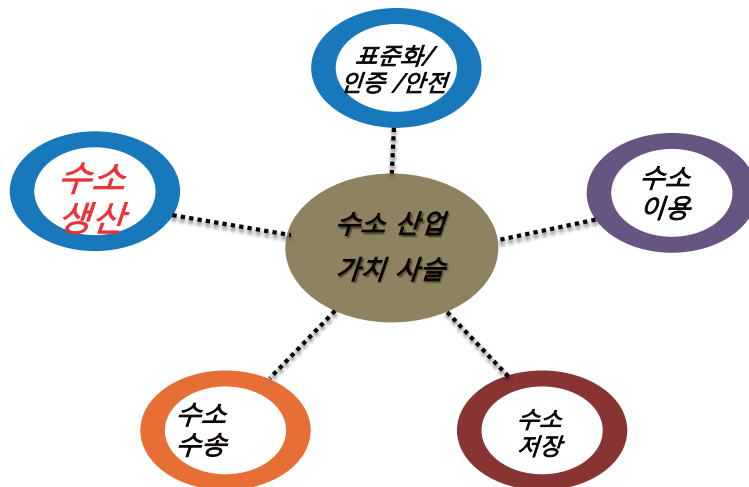
전국 각지의 도심내 하수종말처리장 상용 시설 운용중

광주광역시 27 사이트 운용중

시도별(1)	2018															
	시설수 (개소)				시설용량 (m³/일)								유입하수량 (m³/일)			
	소계	계	물리적	생물학적	고도	계	물리적	생물학적	고도	계	물리적	생물학적	고도	계	물리적	생물학적
구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분
계	4,111	26,123,570	0	647,271	25,476,299	20,306,964	4,551	603,454	20,292,959	19,965,507	12,665	503,302	19,443,531			
서울특별시	4	4,380,000	0	220,000	4,160,000	4,227,868	0	337,830	3,890,038	4,292,496	0	244,217	4,046,271			
부산광역시	29	1,861,800	0	187,720	1,674,080	1,450,343	0	123,896	1,320,446	1,349,958	0	123,873	1,226,085			
대구광역시	18	1,874,950	0	0	1,874,950	1,270,279	0	0	1,270,279	1,221,494	0	0	1,221,494			
인천광역시	22	1,087,910	0	0	1,087,910	755,506	0	0	755,506	676,627	0	0	676,627			
광주광역시	27	738,425	0	265	738,160	744,352	0	130	744,222	660,941	0	130	660,711			
대전광역시	2	901,000	0	0	901,000	625,431	0	0	625,431	618,783	0	0	618,783			
울산광역시	15	715,930	0	0	715,930	632,890	0	0	632,890	623,961	0	0	623,961			
서울특별시자치시	24	107,750	0	50	107,700	94,933	0	0	94,933	90,490	0	0	90,490			
경기도	389	6,952,987	0	2,743	6,950,244	5,233,584	161	2,079	5,231,345	4,868,913	8,181	2,899	4,871,832			
강원도	385	742,909	0	35,146	707,763	635,263	0	31,829	603,434	612,287	0	36,538	575,721			
충청북도	332	631,942	0	13,650	618,292	543,274	0	10,577	538,698	518,210	94	3,460	508,651			
충청남도	388	815,861	0	5,377	810,484	678,218	4,389	3,667	670,162	621,856	4,389	3,667	613,791			
전라북도	473	1,046,962	0	24,166	1,022,796	847,613	0	15,063	832,545	799,523	0	13,199	786,324			
전라남도	891	753,008	0	17,608	735,399	581,655	0	24,564	557,091	552,603	0	24,705	527,898			
경상북도	468	1,444,436	0	26,847	1,398,316	1,185,075	0	38,207	1,146,868	1,104,717	0	36,334	1,068,381			
경상남도	604	1,825,809	0	26,847	1,598,962	1,173,562	0	14,439	1,153,123	1,132,680	0	13,111	1,119,571			
제주특별자치도	40	242,191	0	1,578	240,613	221,118	0	1,168	213,950	218,089	0	1,168	216,921			

35

수소 산업 가치 사슬



36

수소 산업 체계의 특성



37

글로벌 그린수소 현황

- IRENA(International Renewable Energy Agency)의 Global Renewables Outlook 2020 보고서에 따르면, 2019년도 기준 연간 약 120(Mt)의 수소가 생산되었으며, 그 중에서 1%가 그린수소에 해당함.
- 현재는 블루수소에 비해 가격 경쟁력이 뒤떨어지는 양상을 보이고 있으나, 향후 5~15년 내에 그린수소가 블루수소를 가격경쟁력면에서 앞설 것으로 예측함.
- 2050년까지 그린수소 비중은 약 19 EJ 생산량을

예측하고 있으며, 이는 블루수소의 10EJ보다 약 두배 가량의 규모임.

- 2050년까지 예측된 그린수소 수요량을 맞추기 위해 수전해 장치 및 전해조 부문에 2050년까지 연간 50~60GW사이의 용량으로 지속적인 수전해 시설 구축이 추가로 진행될 것으로 기대하고 있음.

Indicator	Historical progress 2015-2018	Where we are heading (PES / 2030 and 2050)	Where we need to be (TES / 2030 and 2050)
Blue H ₂ (Mt and EJ)	0.6 Mt / 0.08 EJ 2015 - 2018	10 Mt / 1.25 EJ 2030 40 Mt / 5 EJ 2050	30 Mt / 3.75 EJ 2030 80 Mt / 10 EJ 2050
Green H ₂ (Mt and EJ)	1.2 Mt / 0.16 EJ 2015 - 2018	9 Mt / 1.1 EJ 2030 25 Mt / 3 EJ 2050	25 Mt / 3 EJ 2030 160 Mt / 19 EJ 2050
Green H ₂ production costs (USD/kg)	4.0 - 8.0 USD/kg 2015 - 2018	2.5 - 5.0 USD/kg 2030 1.6 - 3.3 USD/kg 2050	1.8 - 3.2 USD/kg 2030 0.9 - 2.0 USD/kg 2050
Electrolysers (GW)	0.04 GW 2016	100 GW 2030 270 GW 2050	270 GW 2030 1700 GW 2050
Electricity demand to produce H ₂ from renewables (GW)	0.26 TWh 2016	450 TWh 2030 1200 TWh 2050	1200 TWh 2030 7500 TWh 2050

글로벌 수소시장 현황 - IRENA 'Global Renewables Outlook 2020'

38

수전해 기술 현황

수전해기술 세대구분

1세대(계통전력 연계)

알칼라인 수전해(1세대)



2세대(재생에너지 연계)

알칼라인 수전해(2세대)



PEM 수전해



2.5~3세대(재생에너지 연계)

AEM 수전해



고체산화물수전해(개발중)



39

수전해 시스템의 구분

구분	PEM 수전해	AEM 수전해	Alkaline 수전해	고체산화물 수전해
전해질	양이온교환막 (Nafion 등)	5% KOH 수용액 (음이온 교환막)	알칼리 용액 (격막)	고체산화물 (YSZ 등)
촉매	Pt, Ir 등	Ni/Fe 등	Ni/Fe 등	Ni 도핑 세라믹 등
전류밀도(A·cm ⁻²)	2 ~ 3	0.4 ~ 2.0	0.25 ~ 0.45	0.3 ~ 1.0
시스템효율 (% LHV)	46 ~ 60	51 ~ 60	51 ~ 60	76 ~ 81
내구성 (x 1,000 h)	6 ~ 10	20 ~	55 ~ 120	0.8 ~ 2
초기비용 (€·kW ⁻¹)	1,400 ~ 2,100	640 ~ 1,300	800 ~ 1,500	2,000
유지비용 (%/yr)	3 ~ 5	2 ~ 3	2 ~ 3	n. a
시스템 특징	크기 ↓, 가격 ↑ H ₂ 투과도 ↓	크기 ↓, 가격 ↓ H ₂ 투과도 ↓	크기 ↑, 가격 ↓ H ₂ 투과도 ↑	-
개발방향	촉매 ↓, 내구성 ↑ (Ir 가격 급상승)	내구성 ↑	전류밀도 ↑, H ₂ 투과도 ↓	-

PEM수전해는 전류밀도가 높긴 하지만, 비싼 소재들로 인해 가격 경쟁력이 낮음.

가격 경쟁력이 높은 알칼리 수전해의 상용화가 가장 활발함.

현재 상용화된 Alkaline 수전해는 높은 H₂ 투과도로 인해 운전전류 범위가 좁음

본 과제는 수전해의 전류밀도 향상을 통해 시스템 크기 ↓, 가격 경쟁력 ↑

40

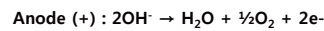
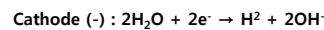
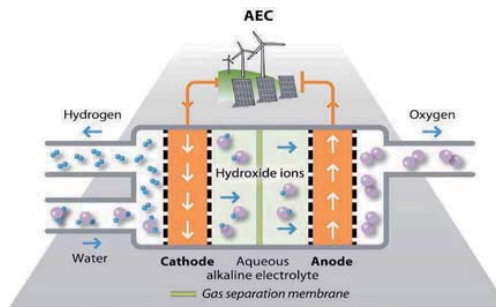
AEM 기반 알카라인 수전해

□ 시스템의 이해

AEM 기반 알칼리 수전해는 전해액으로 20~30%의 KOH용액 용액을 사용하고, 전해질로는 OH⁻ 이온만 통과시키는 이온교환막 등을 이용하며, 전극재료로는 니켈, 스테인리스 등이 사용됨.

단위셀에 전기를 가해주면 음극에서 물이 분해되어 수소가 발생되고, 분해된 OH⁻ 전해질막을 통과하여 양극으로 이동하고, 양극에서 산소와 물이 생성됨

이미지, (알칼라인 전기분해 개념도)



41

AEM 기반 알카라인 수전해

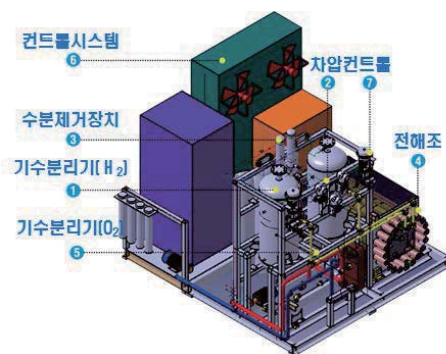
□ 시스템의 구성

이미지, (단위셀 단면도)



- AEM 기반 알카라인 수전해 구성 부품들
 - 전해액 순환장치 : 전해조 내 전해액 공급과, 제조된 수소, 산소의 이송
 - 전해액 냉각장치 : 전해액 온도 조절
 - 가스 냉각장치 : 가스 온도 조절(수분제거)
 - 기-액 분리장치 : 전해액과 제조된 가스의 분리
 - 정수 공급장치 : 공급된 물의 불순물 관리 및 시스템 내 물 공급
 - 차압 조절장치 : 제조된 수소와 산소의 압력 불균형 제거
 - 전원 공급장치 : 교류를 직류로 변환하여 공급
 - 가스 정제장치 : 수소 중 불순물(O₂, H₂O) 제거
 - 수소 순도측정장치 : 수소 중 불순물(O₂, H₂O)을 측정

이미지, (수소제조 시스템)

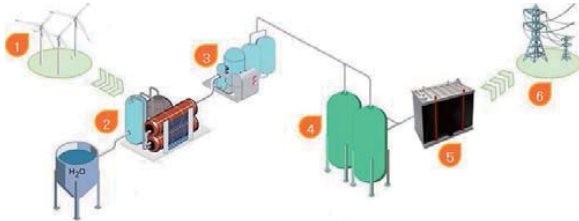


42

AEM 기반 시스템 개요

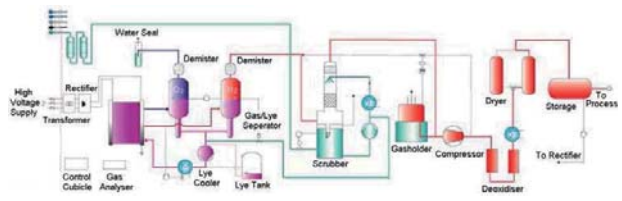
- 태양광 발전을 이용하여 생산된 전력 중 8.8h/day 잉여전력으로 AEM 기반 알칼리 수전해장치를 운전하여, 수소와 산소(대기방출)를 생산
- 생산된 수소는 대형 저장용기에 저장하여 전력 수요발생시 수소연료전지에 수소를 공급하여 전력을 생산

이미지, (수소저장 및 공급)



1. 잉여전력 공급 → 2. 잉여전력으로 수소생산 → 3. 생산된 수소 정제 4. 정제 수소 저장 → 5. 수소를 공급 받아 전기 생산 → 6. 생산된 전기 공급

이미지, (시스템 P&ID)

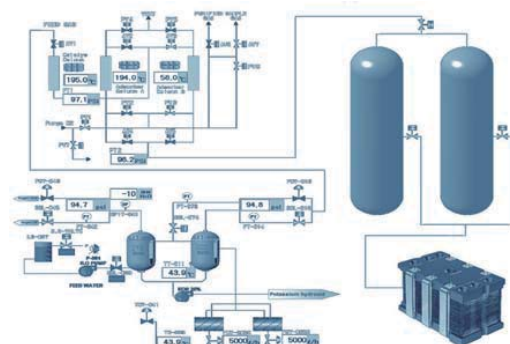


43

시스템 구성

구 분	시스템 개요
수소에너지 제조시스템	수소 에너지 저장 패키지는 태양광 발전 100kW/8.8h에서 발생하는 전력을 수소로 변환하여 저장하고 필요시 수소연료전지 수소를 공급하는 전력을 생산하는 시스템임.
수소에너지저장 시스템 능력	· 수전해 수소 발생 압력 : 0.6MPa · 수소 저장 압력 : 0.6MPa · 수소 사용 압력 : 0.1~0.6MPa · 수소 저장량 : 11.67kg(130Nm³)@21°C

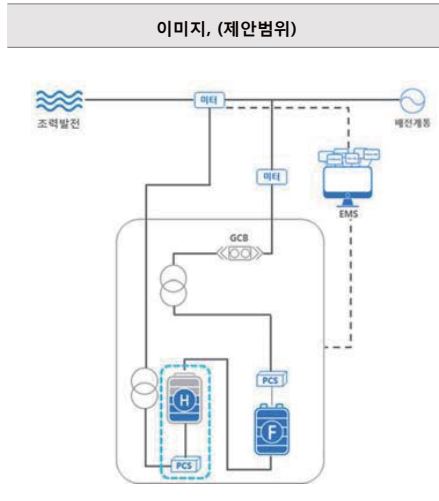
이미지, (전체 모니터링 시스템)



44

시스템 구성

□ 공급시스템 제안범위

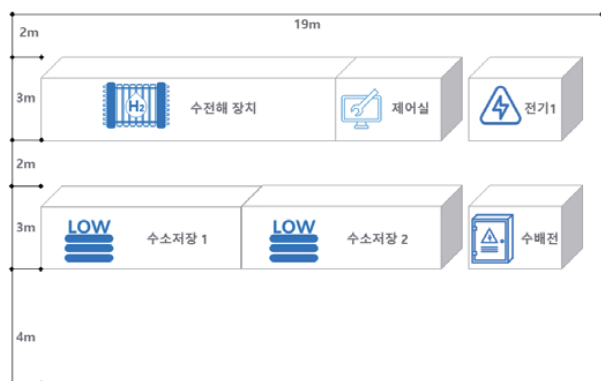


전체 시스템 구성		
순번	항목	내용
1	수전해시스템	- 최대운전압력 : 0.7MPa - 수소생산량(최대) : ① $0.5\text{kg/h} \times 3\text{stack} = 1.5\text{kg/h}$ ② $0.25\text{kg/h} \times 6\text{stack} = 1.5\text{kg/h}$ - 예비용 stack : $0.5\text{kg/h} \times 1\text{stack}$ - 산소생산량 : $0.25\text{kg/h} \times 3\text{stack} = 0.75\text{kg/h}$ (대기방출) - 안전장치 : 강제환기시스템, PLC 기반 자동제어 - 수소순도 : 정제 전(99.5%), 정제 후(99.99%) - 순수 저장량 : 20리터 - 시스템 소비전력(6.15kW/Nm^3)
2	수소저장시스템	- 저장용량 : $15\text{m}^3 \times 2\text{본}$  최대저장압력(용량) : $0.99\text{MPa}(29.7\text{Nm}^3)$

45

시스템 구성

□ 시스템 배치도



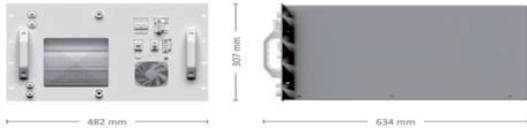
이미지, (전체 시스템 배치도)		
순번	항목	내용
1	수소플랜트	40fit × 1ea (컨테이너형)
2	수소저장	5m × 2m × 2ea (내부 방호형)
3	수배전반	3m × 3m × 1ea
4	전기실	3m × 3m × 1ea
4	전체 소요면적	19m × 14m × 1ea (266m ²)

46

AEM 수전해 실증 규격 현황

Specifications

Enapter
Electrolyser EL 2.1



Production rate	500 NL/hr
Hydrogen output purity	35 bar: ~ 99.9% (Impurities: ~ 1000 ppm H ₂ O) 8 bar: > 1500 ppm H ₂ O
Output pressure	Up to 35 barg
Nominal power consumption per Nm ³ of H ₂ produced (beginning of life)	4.8 kWh/Nm ³
Operative power consumption	2400 W



Nominal power consumption	1,050 kW
Standard grid connection	3 × 400 VAC three phase grid
Standby power consumption	Max. 10 kW
Hydrogen production	210 Nm ³ /hr 450 kg/day
Dynamic hydrogen production range	3 - 110%
Hydrogen output purity with dryer	99.999% in molar fraction
Output pressure	0 - 35 barg

47

컨소시엄 구성(업무 분장)

[총괄: ***]

- ◆ 실증시험 및 운용 특성 분석 관리
 - 실증 시나리오 작성 및 실증 성능 평가 관리
- [사업주관기관: ***]
- ◆ 신·재생에너지 기반 안전인증을 확보한 수소생산/발전 시스템 제품 기술 개발
 - DC Common을 활용한 전력 변환 시스템 설계 및 개발
 - 신재생에너지 연계 시스템 설계 및 개발
 - 신뢰성 기반 통신제어기 개발
 - PEM Stack, 연료전지, 부하연동 등 최적 제어 알고리즘 개발
 - 집적식 전계형 태양광 모듈 설계 및 개발
 - 수소 가스 방폭 시스템 설계 및 개발
 - H-ESS 패키지 시스템 설계 및 개발
 - PbC 기반 ESS 패키지 시스템 설계 및 개발
 - H-ESS 비즈니스 모델 개발

[참여기관1: ***]

- ◆ 안전인증을 확보한 고압 수소 생산/경제/저장 시스템 개발
- ◆ 안전성 확보를 위한 구조해석 및 방폭 설계
- 모듈형 생산/경제/저장 연계 시스템의 안전 기술성 확보
- 샌드박스를 통한 현장 검증 및 안전 성능 향상

[참여기관2: ***]

- ◆ 안전인증을 확보한 고압 수소 생산/경제/저장 시스템 개발
- ◆ 국산 수전해 시스템 통합 설계 및 제작
- 국산/외산 PEM 혼용 시스템 구현으로 수소 생산 최적화
- 안전성 확보를 위한 고순도 수소 정제 장치 개발
- 고효율 수소 생산을 위한 고도화 제어 기술 확보

[참여기관3: ***]

- 가압형 수전해시스템 및 핵심부품 개발
- 수소의 이송 및 저장에 용이한 가압구조의 수전해시스템을 설계, 제작 및 평가
- 수전해성능을 향상시키고 내구성을 확보하기 위한 전극촉매 코팅기술 개발
- 수전해성능을 향상시키고 내구성을 확보하기 위한 복합분리막 개발

[참여기관4: ***]

- 무인/원격 관리형 EMS 개발
- EMS Framework 설계 및 개발
- EMS 운영 알고리즘 개발
- EMS 데이터 수집 설계 및 개발
- EMS 모니터링 설계 및 개발
- 센서 네트워크 연결 설계 및 구축

[참여기관5: ***]

- 수전해 설비를 이용한 모듈형 연료전지 발전시스템 안전 기준(안) 개발
- 수전해 설비 이용 모듈형 연료전지 발전시스템 위험요인 분석
- 정량적 위험성 평가를 통한 안전대책 수립
- 개발시스템의 실증운전을 통한 안전기준 검토 및 기준(안) 개발

[참여기관7: ***]

- 신뢰성 평가 및 내부 특성 평가, 표준화
- 시스템 실증 신뢰성 평가
- 시스템 운전 내부 특성 평가
- 표준화

[참여기관8: ***]

- ◆ 도서지역 맞춤형 이동식 수소발전시스템 실증 모델 개발
- 수소발전시스템 실증을 위한 도서지역 조사 및 타당성 분석
- 수소발전시스템 도서지역 운영방안 연구
- 도서지역 맞춤형 수소발전시스템 사업화 방안 연구
- 도서지역에 적합한 수소발전시스템 보급 모델 개발

[참여기관9: ***]

- 수소 저장 물질/제품 기술개발
- 마그 수소 합성 기술 개발
- 마그 수소 생산 공정 설계 및 개발
- 마그 수소 생산 품질 신뢰성 확보 기술 개발
- 마그 수소 비즈니스 모델 개발

[참여기관10: ***]

- 신재생 에너지 통합 및 환경 안전 인증을 위한 실증 시스템 개발
- 신재생 에너지 연계 기술
- 신재생 에너지 발전 사업화
- 환경 안전성 확보를 위한 구조 설계
- 생산 공정 시스템의 안전 기술성 확보

[참여기관6: ***]

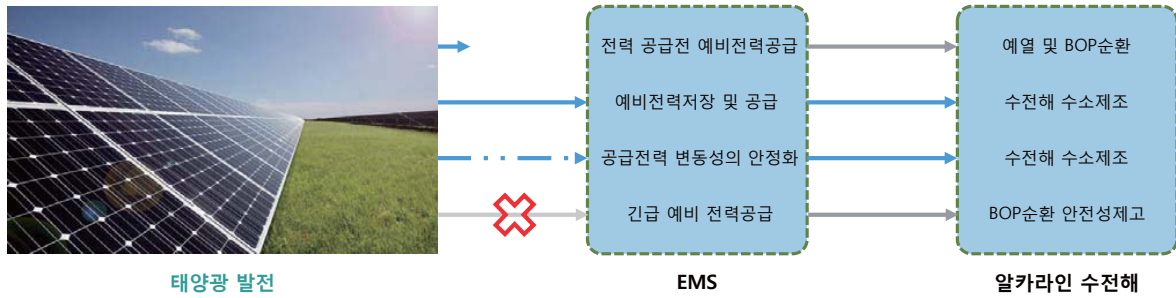
- 실증시험 및 운용 특성 분석
- 실증 시나리오 작성 및 실증 성능 평가 관리
- 안전관리규정 운영매뉴얼 작성
- 실증 시험 성능 분석 후 문제점 분석 및 개선
- 수소 비상 발전기의 운용 특성 분석 및 성능 평가
- 수소 비상 발전기의 교폐작성

48

제안 기술의 차별성

□ EMS(Energy Management System)이용 효율 향상과 안전성 제고

EMS 이용 재생에너지의 간헐성과 변동에 의한 긴급 전력 차단 시 EMS를 통한 BOP의 내부 순환으로 잔류 가스를 배출하여 안전성을 높임
 재생에너지의 변동성으로 재생에너지 출력의 변동성에 대한 EMS의 운용으로 수전해 장비 운용의 안정성을 확보함
 재생에너지의 이용효율 향상을 위하여 재생에너지 공급전 EMS를 이용한 예열과 준비를 통한 COLD START TIME의 최소화와 효율 향상 가능

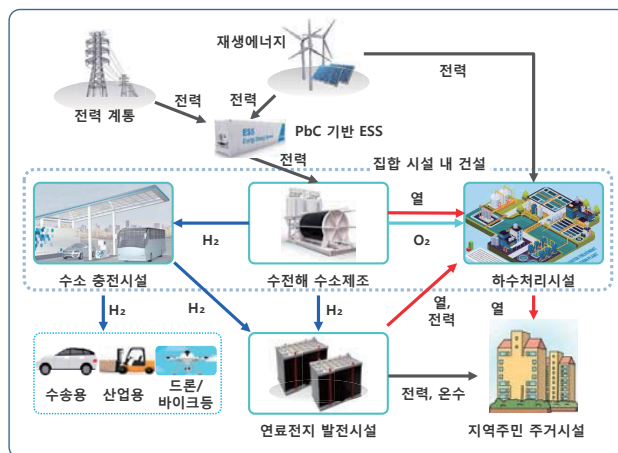


49

제안 기술의 차별성

□ 주민수용성 확보

주민 기피시설인 수소제조와 폐수처리시설의 패키지화를 통하여 수전해 장치의 경제성을 높이고,
 환경시설과 재생에너지와의 결합으로 발생하는 여러가지 에너지를 지역주민에게 공급함으로써 주민 수용성을 높일 수 있을 것으로 예상됨

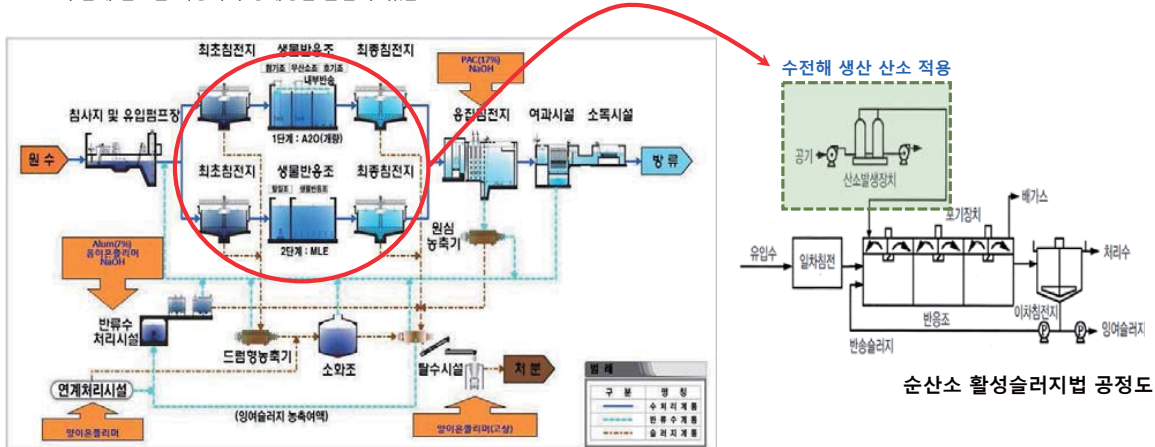


50

제안 기술의 차별성

□ 수전해 산소 폐수 처리 활용

일반 활성슬러지 공정에서 사용되는 공기를 순산소로 변경하여 주입함으로써 미생물의 산소 섭취율을 높여 고농도의 폐수처리에 적용가능하며 수전해 산소를 이용하여 경제성을 높일 수 있음



51

제안 기술의 차별성

□ 제안 기술의 차별성(요약)

- 세계 최초 하수처리장에서의 수소 생산 기지 플랫폼 사업 진출 (주민수용성)
- 수전해 시스템에서 생산되는 산소의 효과적인 활용 및 수질 개선(산소 소요처 제시)
- 수전해 및 연료전지 시스템에서 발생하는 열원의 적극적인 활용(에너지 이용 효율 극대화)
- 하수처리장을 활용한 수전해/연료전지 실증 시스템 연계 구축으로 새로운 비즈니스 모델 제시 가능 기술 개발
- 정부의 그린뉴딜 정책의 실질적 기술 접근 사례
- 수소 생산 원수의 전처리 고도화 시설(RO/CDI 탑재) 구축으로 하수처리장 수질 향상 개선
- 고안전성/저비용 PbC 전지 기반 ESS 시스템 구축
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 실증 시스템 기술 도입
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 핵심 부품
 - (마그네슘, 음이온 막, 전극, 바이폴라 플레이트, 스택 설계 구조) 국산화
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 시스템 운전 알고리즘 독자 개발
- 무인/원격 관리형 온도 가변형 EMS 기술 개발로 외부 환경에 강인한 수전해 실증 시스템 구축

52

사업화

- ☐ 기존 수소충전소 HRS(Hydrogen Refueling station) 사업과 연계를 통한 수소활용의 방향성 설정
- ☐ 기존 환경시설 및 주변 산업(하수처리장)과의 연계를 통한 산소이용으로 수전해 경제성 제고
- ☐ 연료전지발전과의 연계를 통한 P2G, 분산전원공급, 분산형 수소공급 시설, 에너지자립섬 등으로 사업성의 확대

53

수전해 시스템의 수소 생산 단가 산출(경제성)

Basis	1 kg H ₂	비고
요구전력	71.5 kWh/kgH ₂	
소비전력	71.5 kWh	
전력 단가	60 W/kWh	2020.09 SMP기준
전기료	4290 W/kgH ₂	
순수 소비량	9 kgH ₂ O	
시수 소비량	90 kg/H ₂ O	
시수 단사	1215 W/tonH ₂ O	
시수 비용	109.35 W/kgH ₂	
합계	4399.35 W/kgH ₂	

Basis	1 kg H ₂	비고
요구전력	71.5 kWh/kgH ₂	
소비전력	71.5 kWh	
전력 단가	45.2 W/kWh	심야전력 최저가 기준
전기료	3231.8 W/kgH ₂	
순수 소비량	9 kgH ₂ O	
시수 소비량	90 kg/H ₂ O	
시수 단사	1215 W/tonH ₂ O	
시수 비용	109.35 W/kgH ₂	
합계	3341.15 W/kgH ₂	

- 기타 유지비용 및 감가상각비는 별도임.

54

기대효과

□ 기대효과(요약)

- 전국 하수처리장내 신재생에너지 보급률의 획기적 개선 및 정부 정책 공조 강화 기회
- 향후 전기 요금의 급상승 요인으로 인한 지역 주민들의 경제적 어려움 극복 기회
- 전국 하수처리장의 수소 생산 기지로의 인식 대전환
- 하수처리 및 전력과 수소 판매 비용의 신규 BM 제안
- 수소 경제 사회 진입의 초석 및 지역 거점화에 대한 새로운 접근 시도 제안
- 대기업의 직접 투자 연계로 고용 10,000명 이상(광제 종료 후 10년간), 매출 10조 이상(과제 종료 후 10년간) 달성 가능

55



THANK YOU

경청하여 주셔서 감사합니다.

56

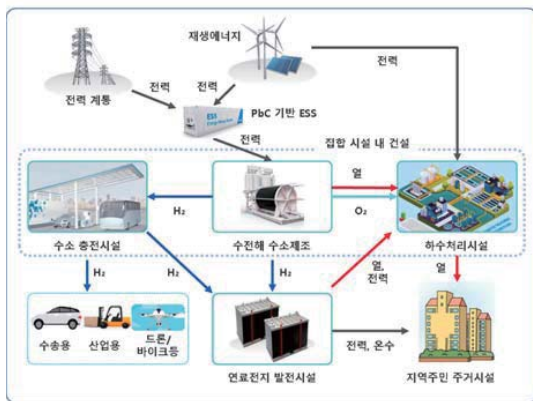
광주광역시 ‘미래 수소 도시’ 를 위한 그린수소 생산 시설 거점화 제안 (하수처리장의 수소 생산 플랫폼 전환)

정호영

전남대학교



제안 기술: 도심내 분산 수소 생산 시설 거점화 플랫폼 구축



- 하수처리장 5000평 기준 실증 시스템 구축
- 1MW 태양광 발전 시스템 구축
- 1MW 고안전성/저비용/고속충전수입성 PbC 전지 기반 ESS 시스템 구축
- RO/CDI 기술 도입을 통한 이온성 물질 제거 및 필터 기술 도입을 통한 오염물질 제거 기술 고도화
- PEMFC 기반 연료전지 (0.2MW급) 실증 시스템 구축
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 실증 시스템(0.5MW급) 구축
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 핵심 부품(마그네슘, 음이온 막, 전극, 바이폴라 플레이트, 스택 설계 구조) 국산화
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 시스템 운전 알고리즘 개발
- 무인/원격 관리형 온도 가변형 EMS 기술 개발
- H-ESS 기술 BM 개발
- 수소 생산/정제/저장 패키지 모듈 제작 및 방폭 안전 기술 확보
- 신뢰성 평가 및 내구 특성 평가, 표준화



전국 하수 종말 처리장 현황

□ 전국의 하수 종말 처리장 현황

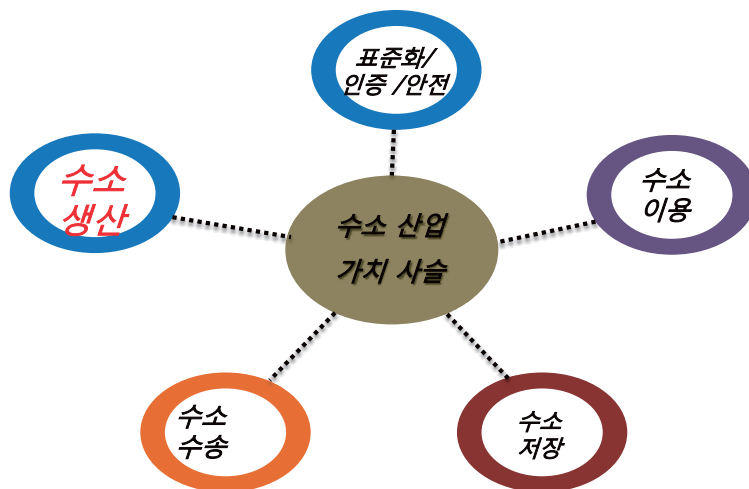
전국 각지의 도심내 하수종말처리장 상용 시설 운용중

광주광역시 27 사이트 운용중

시도별(1)	2018															
	시설수 (개소)				시설용량 (m³/일)								유입하수량 (m³/일)			
	소계	계	물리적	생물학적	고도	계	물리적	생물학적	고도	계	물리적	생물학적	고도	계	물리적	생물학적
구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분	구분
계	4,111	26,123,570	0	647,271	25,476,299	20,906,964	4,551	603,454	20,292,959	19,965,507	12,665	503,302	19,443,531			
서울특별시	4	4,380,000	0	220,000	4,160,000	4,227,868	0	337,830	3,890,038	4,292,496	0	244,217	4,046,271			
부산광역시	29	1,861,800	0	187,720	1,674,080	1,450,343	0	123,896	1,320,446	1,349,958	0	123,873	1,226,085			
대구광역시	18	1,874,950	0	0	1,874,950	1,270,279	0	0	1,270,279	1,221,494	0	0	1,221,494			
인천광역시	22	1,087,910	0	0	1,087,910	755,506	0	0	755,506	676,627	0	0	676,627			
광주광역시	27	738,425	0	265	738,160	744,352	0	130	744,222	660,841	0	130	660,711			
대전광역시	2	901,000	0	0	901,000	625,431	0	0	625,431	618,783	0	0	618,783			
울산광역시	15	715,930	0	0	715,930	632,890	0	0	632,890	623,961	0	0	623,961			
서울특별시지치시	24	107,750	0	50	107,700	94,933	0	0	94,933	90,490	0	0	90,490			
경기도	389	6,952,987	0	2,743	6,950,244	5,233,984	161	2,079	5,231,945	4,868,913	8,181	2,899	4,871,832			
강원도	385	742,909	0	35,146	707,763	635,263	0	31,829	603,434	612,287	0	36,538	575,721			
충청북도	332	631,842	0	13,650	618,192	543,274	0	10,577	538,698	518,210	94	3,460	508,651			
충청남도	388	815,861	0	5,377	810,484	678,218	4,389	3,667	670,162	621,856	4,389	3,667	613,791			
전라북도	473	1,046,962	0	24,166	1,022,796	847,613	0	15,063	832,545	799,523	0	13,199	786,324			
전라남도	891	753,008	0	17,608	735,399	581,655	0	24,564	557,091	552,603	0	24,705	527,898			
경상북도	468	1,444,436	0	26,847	1,398,316	1,185,075	0	38,207	1,146,868	1,104,717	0	36,334	1,068,381			
경상남도	604	1,825,809	0	26,847	1,598,962	1,173,962	0	14,439	1,153,123	1,132,680	0	13,111	1,119,571			
제주특별자치도	40	242,191	0	1,578	240,613	221,118	0	1,168	213,950	218,089	0	1,168	216,921			

3

수소 산업 가치 사슬



4

수소 산업 체계의 특성



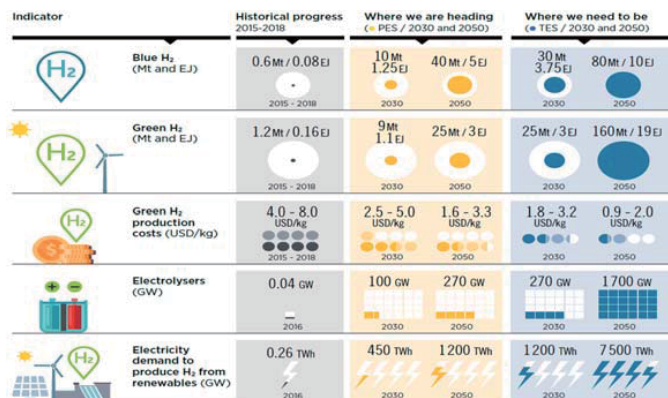
5

글로벌 그린수소 현황

- IRENA(International Renewable Energy Agency)의 Global Renewables Outlook 2020 보고서에 따르면, 2019년도 기준 연간 약 120(Mt)의 수소가 생산되었으며, 그 중에서 1%가 그린수소에 해당함.
- 현재는 블루수소에 비해 가격 경쟁력이 뒤떨어지는 양상을 보이고 있으나, 향후 5~15년 내에 그린수소가 블루수소를 가격경쟁력면에서 앞설 것으로 예측함.
- 2050년까지 그린수소 비중은 약 19 EJ 생산량을

예측하고 있으며, 이는 블루수소의 10EJ보다 약 두배 가량의 규모임.

- 2050년까지 예측된 그린수소 수요량을 맞추기 위해 수전해 장치 및 전해조 부문에 2050년까지 연간 50~60GW사이의 용량으로 지속적인 수전해 시설 구축이 추가로 진행될 것으로 기대하고 있음.



글로벌 수소시장 현황 - IRENA 'Global Renewables Outlook 2020'

6

수전해 기술 현황

수전해기술 세대구분

1세대(계통전력 연계)

알칼라인 수전해(1세대)



2세대(재생에너지 연계)

알칼라인 수전해(2세대)



PEM 수전해



2.5~3세대(재생에너지 연계)

AEM 수전해



고체산화물수전해(개발중)



수전해 시스템의 구분

구분	PEM 수전해	AEM 수전해	Alkaline 수전해	고체산화물 수전해
전해질	양이온교환막 (Nafion 등)	5% KOH 수용액 (음이온 교환막)	알칼리 용액 (격막)	고체산화물 (YSZ 등)
촉매	Pt, Ir 등	Ni/Fe 등	Ni/Fe 등	Ni 도핑 세라믹 등
전류밀도(A·cm ⁻²)	2 ~ 3	0.4 ~ 2.0	0.25 ~ 0.45	0.3 ~ 1.0
시스템효율 (% LHV)	46 ~ 60	51 ~ 60	51 ~ 60	76 ~ 81
내구성 (x 1,000 h)	6 ~ 10	20 ~	55 ~ 120	0.8 ~ 2
초기비용 (€·kW ⁻¹)	1,400 ~ 2,100	640 ~ 1,300	800 ~ 1,500	2,000
유지비용 (%/yr)	3 ~ 5	2 ~ 3	2 ~ 3	n. a
시스템 특징	크기 ↓, 가격 ↑ H ₂ 투과도 ↓	크기 ↓, 가격 ↓ H ₂ 투과도 ↓	크기 ↑, 가격 ↓ H ₂ 투과도 ↑	-
개발방향	촉매 ↓, 내구성 ↑ (Ir 가격 급상승)	내구성 ↑	전류밀도 ↑, H ₂ 투과도 ↓	-

PEM수전해는 전류밀도가 높긴 하지만, 비싼 소재들로 인해 가격 경쟁력이 낮음.

가격 경쟁력이 높은 알칼리 수전해의 상용화가 가장 활발함.

현재 상용화된 Alkaline 수전해는 높은 H₂ 투과도로 인해 운전전류 범위가 좁음

본 과제는 수전해의 전류밀도 향상을 통해 시스템 크기 ↓, 가격 경쟁력 ↑

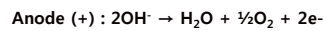
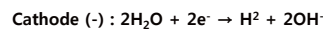
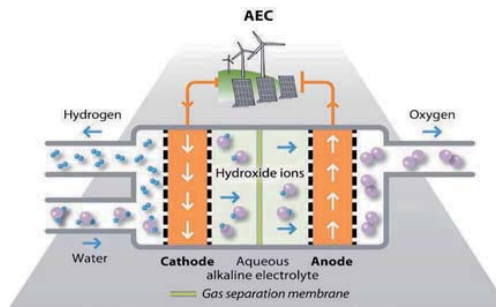
AEM 기반 알카라인 수전해

□ 시스템의 이해

AEM 기반 알칼리 수전해는 전해액으로 20~30%의 KOH용액 용액을 사용하고, 전해질로는 OH⁻ 이온만 통과시키는 이온교환막 등을 이용하며, 전극재료로는 니켈, 스테인리스 등이 사용됨.

단위셀에 전기를 가해주면 음극에서 물이 분해되어 수소가 발생되고, 분해된 OH⁻ 전해질막을 통과하여 양극으로 이동하고, 양극에서 산소와 물이 생성됨

이미지, (알칼라인 전기분해 개념도)



9

AEM 기반 알카라인 수전해

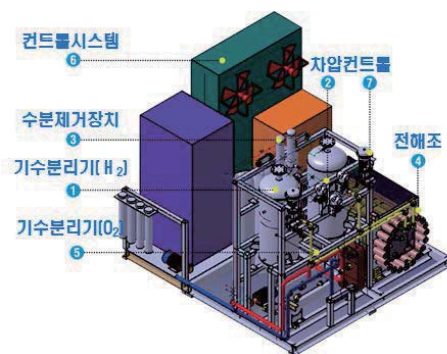
□ 시스템의 구성

이미지, (단위셀 단면도)



- AEM 기반 알카라인 수전해 구성 부품들
 - 전해액 순환장치 : 전해조 내 전해액 공급과, 제조된 수소, 산소의 이송
 - 전해액 냉각장치 : 전해액 온도 조절
 - 가스 냉각장치 : 가스 온도 조절(수분제거)
 - 기-액 분리장치 : 전해액과 제조된 가스의 분리
 - 정수 공급장치 : 공급된 물의 불순물 관리 및 시스템 내 물 공급
 - 차압 조절장치 : 제조된 수소와 산소의 압력 불균형 제거
 - 전원 공급장치 : 교류를 직류로 변환하여 공급
 - 가스 정제장치 : 수소 중 불순물(O₂, H₂O) 제거
 - 수소 순도측정장치 : 수소 중 불순물(O₂, H₂O)을 측정

이미지, (수소제조 시스템)

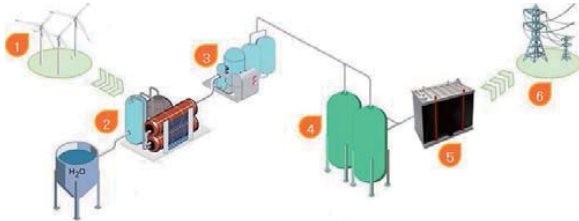


10

AEM 기반 시스템 개요

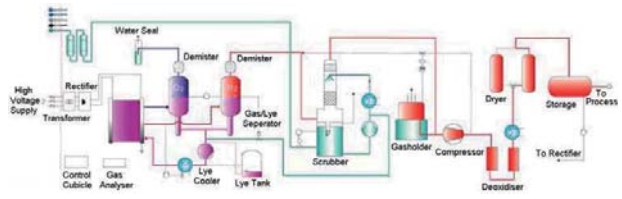
- 태양광 발전을 이용하여 생산된 전력 중 8.8h/day 잉여전력으로 AEM 기반 알칼리 수전해장치를 운전하여, 수소와 산소(대기방출)를 생산
- 생산된 수소는 대형 저장용기에 저장하여 전력 수요발생시 수소연료전지에 수소를 공급하여 전력을 생산

이미지, (수소저장 및 공급)



1. 잉여전력 공급 → 2. 잉여전력으로 수소생산 → 3. 생산된 수소 정제 4. 정제 수소 저장 → 5. 수소를 공급 받아 전기 생산 → 6. 생산된 전기 공급

이미지, (시스템 P&ID)

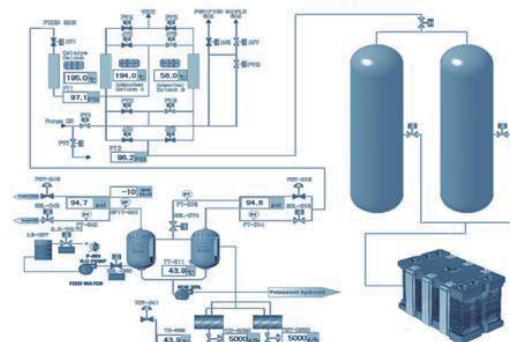


11

시스템 구성

구 분	시스템 개요
수소에너지 제조시스템	수소 에너지 저장 패키지는 태양광 발전 100kW/8.8h에서 발생하는 전력을 수소로 변환하여 저장하고 필요시 수소연료전지 수소를 공급하는 전력을 생산하는 시스템임.
수소에너지저장 시스템 능력	· 수전해 수소 발생 압력 : 0.6MPa · 수소 저장 압력 : 0.6MPa · 수소 사용 압력 : 0.1~0.6MPa · 수소 저장량 : 11.67kg(130Nm³)@21°C

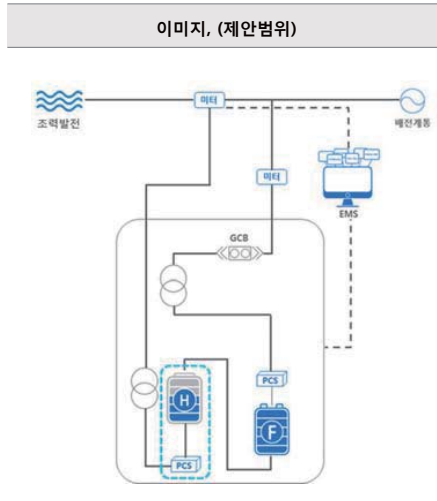
이미지, (전체 모니터링 시스템)



12

시스템 구성

□ 공급시스템 제안범위

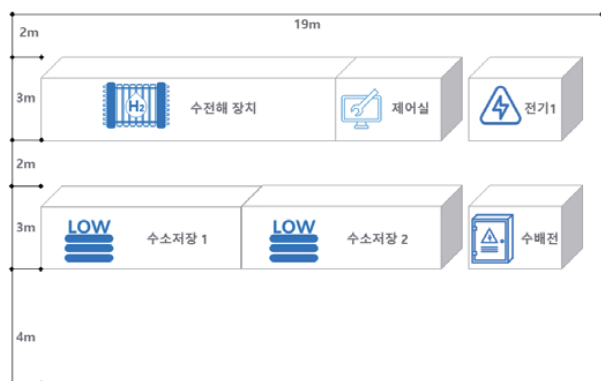


전체 시스템 구성		
순번	항목	내용
1	수전해시스템	- 최대운전압력 : 0.7MPa - 수소생산량(최대) : ① $0.5\text{kg/h} \times 3\text{stack} = 1.5\text{kg/h}$ ② $0.25\text{kg/h} \times 6\text{stack} = 1.5\text{kg/h}$ - 예비용 stack : $0.5\text{kg/h} \times 1\text{stack}$ - 산소생산량 : $0.25\text{kg/h} \times 3\text{stack} = 0.75\text{kg/h}$ (대기방출) - 안전장치 : 강제환기시스템, PLC 기반 자동제어 - 수소순도 : 정제 전(99.5%), 정제 후(99.99%) - 순수 저장량 : 20리터 - 시스템 소비전력(6.15kW/Nm^3)
2	수소저장시스템	- 저장용량 : $15\text{m}^3 \times 2\text{본}$  최대저장압력(용량) : $0.99\text{MPa}(29.7\text{Nm}^3)$

13

시스템 구성

□ 시스템 배치도



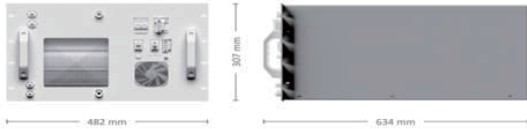
이미지, (전체 시스템 배치도)		
순번	항목	내용
1	수소플랜트	40fit × 1ea (컨테이너형)
2	수소저장	5m × 2m × 2ea (내부 방호형)
3	수배전반	3m × 3m × 1ea
4	전기실	3m × 3m × 1ea
4	전체 소요면적	19m × 14m × 1ea (266m ²)

14

AEM 수전해 실증 규격 현황

Specifications

Enapter
Electrolyser EL 2.1



Production rate	500 NL/hr
Hydrogen output purity	35 bar: ~ 99.9% (Impurities: ~ 1000 ppm H ₂ O) 8 bar: > 1500 ppm H ₂ O
Output pressure	Up to 35 barg
Nominal power consumption per Nm ³ of H ₂ produced (beginning of life)	4.8 kWh/Nm ³
Operative power consumption	2400 W



Nominal power consumption	1,050 kW
Standard grid connection	3 × 400 VAC three phase grid
Standby power consumption	Max. 10 kW
Hydrogen production	210 Nm ³ /hr 450 kg/day
Dynamic hydrogen production range	3 - 110%
Hydrogen output purity with dryer	99.999% in molar fraction
Output pressure	0 - 35 barg



컨소시엄 구성(업무 분장)

[총괄: ***]

- ◆ 실증시험 및 운용 특성 분석 관리
 - ◆ 실증 시나리오 작성 및 실증 성능 평가 관리
- [사업주관기관: ***]
- ◆ 신·재생에너지 기반 안전인증을 확보한 수소생산/발전 시스템 제품 기술 개발
 - ◆ DC Common을 활용한 전력 변환 시스템 설계 및 개발
 - ◆ 신재생에너지 연계 시스템 설계 및 개발
 - ◆ 신뢰성 기반 통신제어기 개발
 - ◆ PEM Stack, 연료전지, 부하연동 등 최적 제어 알고리즘 개발
 - ◆ 집적식 전계형 태양광 모듈 설계 및 개발
 - ◆ 수소 가스 방폭 시스템 설계 및 개발
 - ◆ H-ESS 패키지 시스템 설계 및 개발
 - ◆ PbC 기반 ESS 패키지 시스템 설계 및 개발
 - ◆ H-ESS 비즈니스 모델 개발

[참여기관1: ***]

- ◆ 안전인증을 확보한 고압 수소 생산/경제/저장 시스템 개발
- ◆ 안전성 확보를 위한 구조해석 및 방폭 설계
- ◆ 모듈형 생산/경제/저장 연계 시스템의 안전 기술성 확보
- ◆ 센드박스를 통한 현장 검증 및 안전 성능 향상

[참여기관2: ***]

- ◆ 안전인증을 확보한 고압 수소 생산/경제/저장 시스템 개발
- ◆ 국산 수전해 시스템 통합 설계 및 제작
- ◆ 국산/외산 PEM 혼용 시스템 구현으로 수소 생산 최적화
- ◆ 안전성 확보를 위한 고순도 수소 정제 장치 개발
- ◆ 효율적 수소 생산을 위한 고도화 제어 기술 확보

[참여기관3: ***]

- 가압형 수전해시스템 및 핵심부품 개발
- 수소의 이송 및 저장에 용이한 가압구조의 수전해시스템을 설계, 제작 및 평가
- 수전해성능을 향상시키고 내구성을 확보하기 위한 전극촉매 코팅기술 개발
- 수전해성능을 향상시키고 내구성을 확보하기 위한 복합분리막 개발

[참여기관4: ***]

- 무인/원격 관리형 EMS 개발
- EMS Framework 설계 및 개발
- EMS 운영 알고리즘 개발
- EMS 데이터 수집 설계 및 개발
- EMS 모니터링 설계 및 개발
- 센서 네트워크 연결 설계 및 구축

[참여기관5: ***]

- 수전해 설비를 이용한 모듈형 연료전지 발전시스템 안전 기준(안) 개발
- 수전해 설비 이용 모듈형 연료전지 발전시스템 위험요인 분석
- 경량화 위험성 평가를 통한 안전대책 수립
- 개발시스템의 실증운전을 통한 안전기준 검토 및 기준(안) 개발

[참여기관7: ***]

- 신뢰성 평가 및 내부 특성 평가, 표준화
- 시스템 실증 신뢰성 평가
- 시스템 운전 내부 특성 평가
- 표준화

[참여기관8: ***]

- ◆ 도서지역 맞춤형 이동식 수소발전시스템 실증 모델 개발
- 수소발전시스템 실증을 위한 도서지역 조사 및 타당성 분석
- 수소발전시스템 도서지역 운영방안 연구
- 도서지역 맞춤형 수소발전시스템 사업화 방안 연구
- 도서지역에 적합한 수소발전시스템 보급 모델 개발

[참여기관9: ***]

- 수소 저장 물질/제품 기술개발
- 마그 수소 합성 기술 개발
- 마그 수소 생산 공정 설계 및 개발
- 마그 수소 생산 품질 신뢰성 확보 기술 개발
- 마그 수소 비즈니스 모델 개발

[참여기관10: ***]

- 신재생 에너지 통합 및 환경 안전 인증을 위한 실증 시스템 개발
- 신재생 에너지 연계 기술
- 신재생 에너지 발전 사업화
- 환경 안전성 확보를 위한 구조 설계
- 생산 공정 시스템의 안전 기술성 확보

[참여기관6: ***]

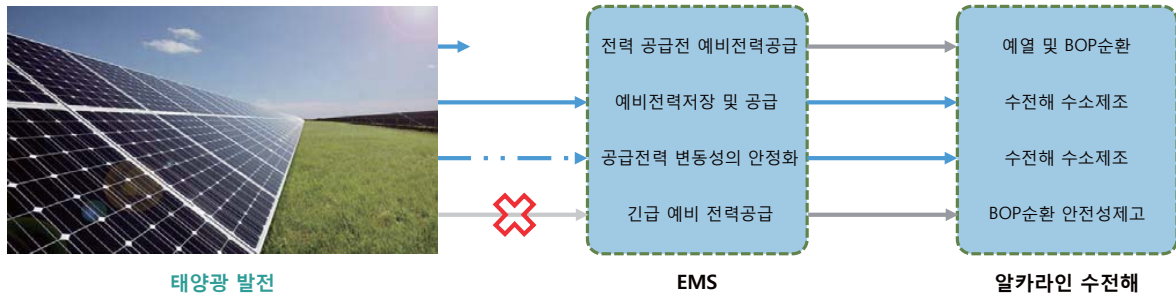
- ◆ 실증시험 및 운용 특성 분석
- ◆ 실증 시나리오 작성 및 실증 성능 평가 관리
- ◆ 안전관리규정 운영매뉴얼 작성
- ◆ 실증 시험 성능 분석 후 문제점 분석 및 개선
- 수소 비상 발전기의 운용 특성 분석 및 성능 평가
- 수소 비상 발전기의 교폐작성



제안 기술의 차별성

□ EMS(Energy Management System)이용 효율 향상과 안전성 제고

EMS 이용 재생에너지의 간헐성과 변동에 의한 긴급 전력 차단 시 EMS를 통한 BOP의 내부 순환으로 잔류 가스를 배출하여 안전성을 높임
 재생에너지의 변동성으로 재생에너지 출력의 변동성에 대한 EMS의 운용으로 수전해 장비 운용의 안정성을 확보함
 재생에너지의 이용효율 향상을 위하여 재생에너지 공급전 EMS를 이용한 예열과 준비를 통한 COLD START TIME의 최소화와 효율 향상 가능

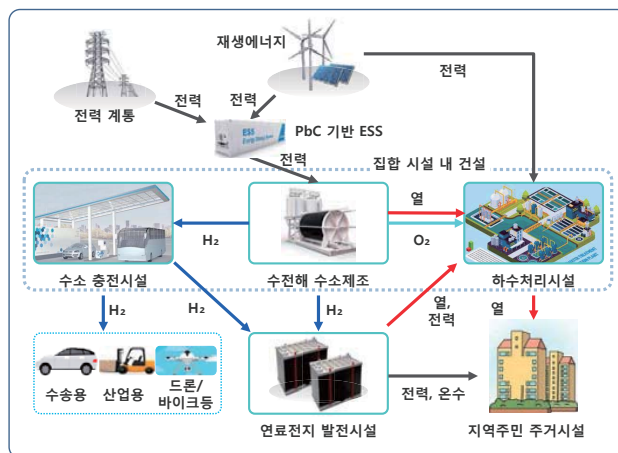


17

제안 기술의 차별성

□ 주민수용성 확보

주민 기피시설인 수소제조와 폐수처리시설의 패키지화를 통하여 수전해 장치의 경제성을 높이고,
 환경시설과 재생에너지와의 결합으로 발생하는 여러가지 에너지를 지역주민에게 공급함으로써 주민 수용성을 높일 수 있을 것으로 예상됨

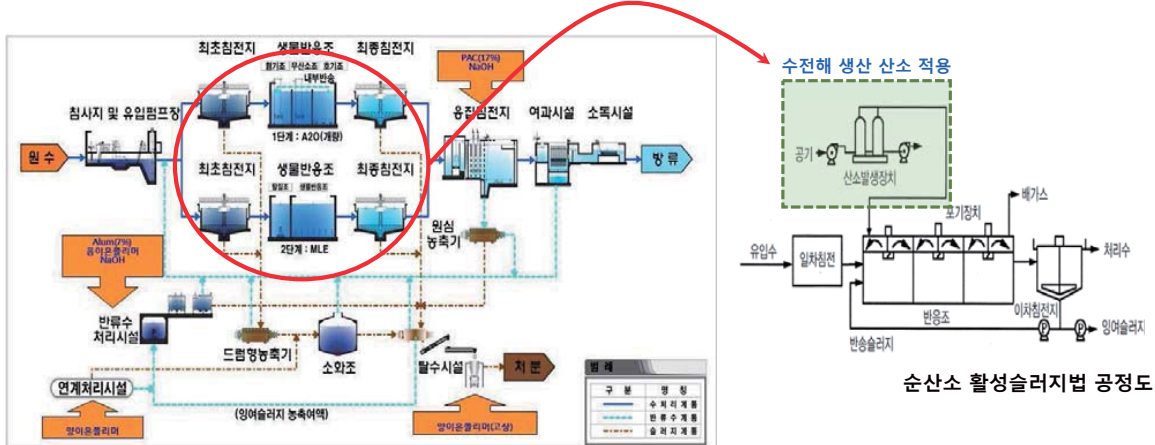


18

제안 기술의 차별성

□ 수전해 산소 폐수 처리 활용

일반 활성슬러지 공정에서 사용되는 공기를 순산소로 변경하여 주입함으로써 미생물의 산소 섭취율을 높여 고농도의 폐수처리에 적용가능하며 수전해 산소를 이용하여 경제성을 높일 수 있음



19

제안 기술의 차별성

□ 제안 기술의 차별성(요약)

- 세계 최초 하수처리장에서의 수소 생산 기지 플랫폼 사업 진출 (주민수용성)
- 수전해 시스템에서 생산되는 산소의 효과적인 활용 및 수질 개선(산소 소요처 제시)
- 수전해 및 연료전지 시스템에서 발생하는 열원의 적극적인 활용(에너지 이용 효율 극대화)
- 하수처리장을 활용한 수전해/연료전지 실증 시스템 연계 구축으로 새로운 비즈니스 모델 제시 가능 기술 개발
- 정부의 그린뉴딜 정책의 실질적 기술 접근 사례
- 수소 생산 원수의 전처리 고도화 시설(RO/CDI 탑재) 구축으로 하수처리장 수질 향상 개선
- 고안전성/저비용 PbC 전지 기반 ESS 시스템 구축
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 실증 시스템 기술 도입
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 핵심 부품
 - (마그수소, 음이온 막, 전극, 바이폴라 플레이트, 스택 설계 구조) 국산화
- 3세대 수전해 시스템인 AEM 기반의 수전해 시스템 운전 알고리즘 독자 개발
- 무인/원격 관리형 온도 가변형 EMS 기술 개발로 외부 환경에 강인한 수전해 실증 시스템 구축

20

사업화

- ☐ 기존 수소충전소 HRS(Hydrogen Refueling station) 사업과 연계를 통한 수소활용의 방향성 설정
- ☐ 기존 환경시설 및 주변 산업(하수처리장)과의 연계를 통한 산소이용으로 수전해 경제성 제고
- ☐ 연료전지발전과의 연계를 통한 P2G, 분산전원공급, 분산형 수소공급 시설, 에너지자립섬 등으로 사업성의 확대

21

수전해 시스템의 수소 생산 단가 산출(경제성)

Basis	1 kg H ₂	비고
요구전력	71.5 kWh/kgH ₂	
소비전력	71.5 kWh	
전력 단가	60 W/kWh	2020.09 SMP기준
전기료	4290 W/kgH ₂	
순수 소비량	9 kgH ₂ O	
시수 소비량	90 kg/H ₂ O	
시수 단사	1215 W/tonH ₂ O	
시수 비용	109.35 W/kgH ₂	
합계	4399.35 W/kgH ₂	

Basis	1 kg H ₂	비고
요구전력	71.5 kWh/kgH ₂	
소비전력	71.5 kWh	
전력 단가	45.2 W/kWh	심야전력 최저가 기준
전기료	3231.8 W/kgH ₂	
순수 소비량	9 kgH ₂ O	
시수 소비량	90 kg/H ₂ O	
시수 단사	1215 W/tonH ₂ O	
시수 비용	109.35 W/kgH ₂	
합계	3341.15 W/kgH ₂	

- 기타 유지비용 및 감가상각비는 별도임.

22

기대효과

□ 기대효과(요약)

- 전국 하수처리장내 신재생에너지 보급률의 획기적 개선 및 정부 정책 공조 강화 기회
- 향후 전기 요금의 급상승 요인으로 인한 지역 주민들의 경제적 어려움 극복 기회
- 전국 하수처리장의 수소 생산 기지로의 인식 대전환
- 하수처리 및 전력과 수소 판매 비용의 신규 BM 제안
- 수소 경제 사회 진입의 초석 및 지역 거점화에 대한 새로운 접근 시도 제안
- 대기업의 직접 투자 연계로 고용 10,000명 이상(광제 종료 후 10년간), 매출 10조 이상(과제 종료 후 10년간) 달성 가능

23



THANK YOU

경청하여 주셔서 감사합니다.

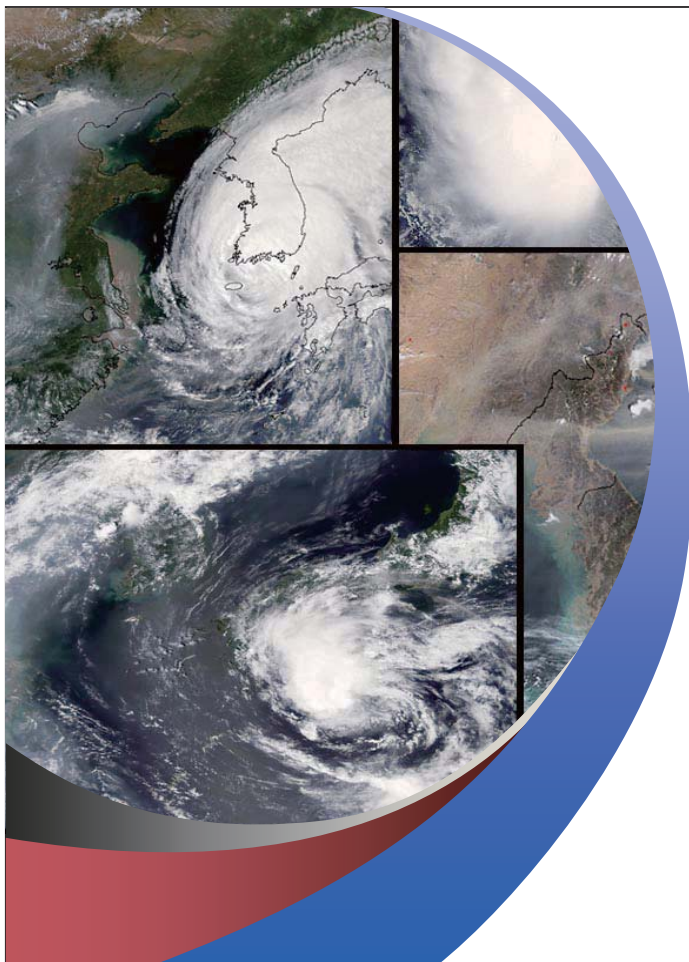
24



지구온난화와 기후변화



김도용 교수
목포대학교 환경공학과 대기모델링



지구온난화 & 기후변화 (1)



국립목포대학교
환경공학과/기후변화연구소

김도용 교수/연구소장

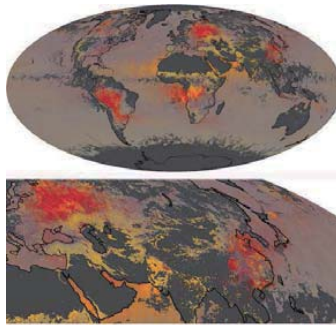
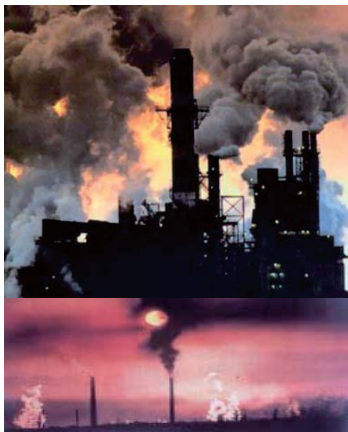
대기오염

● 산업화, 경제성장, 인구증가, 도시화



화석연료사용증가 -> 대기오염가중

대기오염



유해대기오염물질 배출

특정 또는 2차대기오염물질생성



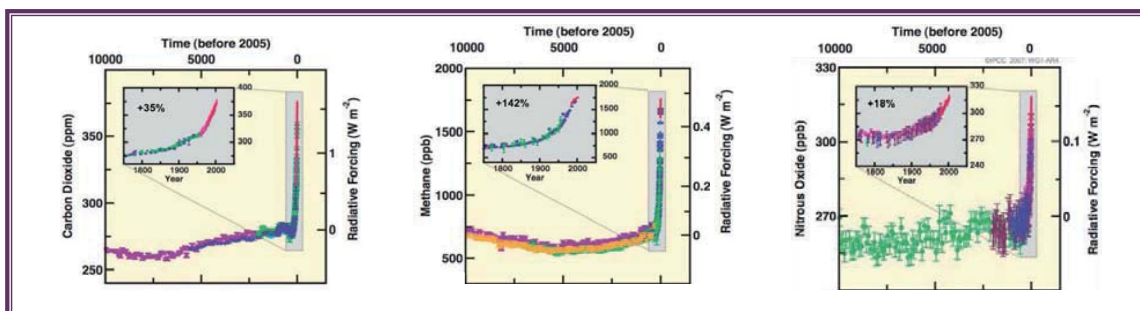
3

온실가스

● 온실가스(greenhouse gas)

- 태양복사 에너지의 짧은 파장은 투과하고 지구나 대기의 장파복사 에너지는 흡수하는 가스.
- 수증기, 이산화탄소, 오존, 메탄, 아산화질소, 염화불화탄소 등
- 지표의 온도를 높이는 데 중요한 역할
- 대기의 수증기를 제외하고는 대부분 인간활동에 의한 방출

온실가스 배출량 증가



4

朝鮮日報

2013년 05월 02일 목요일 A12면 사회

하와이 CO₂ 400PPM 육박... 지구 大氣 사상 최악

(전 세계 CO₂ 농도 대표적 지표)



한국은 이미 작년 400PPM 넘어
하와이 CO₂ 450PPM 넘으면
기후변화로 지구 파국 올수도
개도국 등 온실가스 배출 늘어
폭설·폭염 등 이상기후 잇따라

미국 해양대기청(NOAA) 연구원이 하와이 마우나로아 산 3400m 높이에 있는 관측소에서 이산화탄소 농도를 측정하고 있다. 공기를 빨아들이는 기계로 주변 공기를 모아 이산화탄소 농도를 측정하는데, 모은 공기에 사람 호흡 등이 섞이지 않도록 긴 막대 등으로 3m 정도 위 공기를 포집한다.

5

온실효과

● 온실효과(greenhouse effect)

- 대기 중의 온실가스가 적외복사를 흡수하고 재방출하여 지구를 가열시키는 효과
- 대부분의 태양광은 대기를 투과하여 지구의 표면(지표면)에 흡수되는데, 지표면에서는 에너지 균형을 유지하기 위하여, 지표온도에 해당하는 적외복사를 방출
- 이때 지표에서 방출된 대부분의 적외복사는 온실가스에 의해 흡수되고, 다시 모든 방향으로 적외복사를 방출
- 지표로 향하는 적외복사는 지표에 흡수되어 가열되기 때문에, 태양광의 직접적인 흡수를 통하여 얻을 수 있는 온도보다 높은 지표온도를 유도하게 된다.
- 이렇게 증가된 가열의 크기가 온실효과이다.



6

온실효과 강화 (enhanced greenhouse effect)

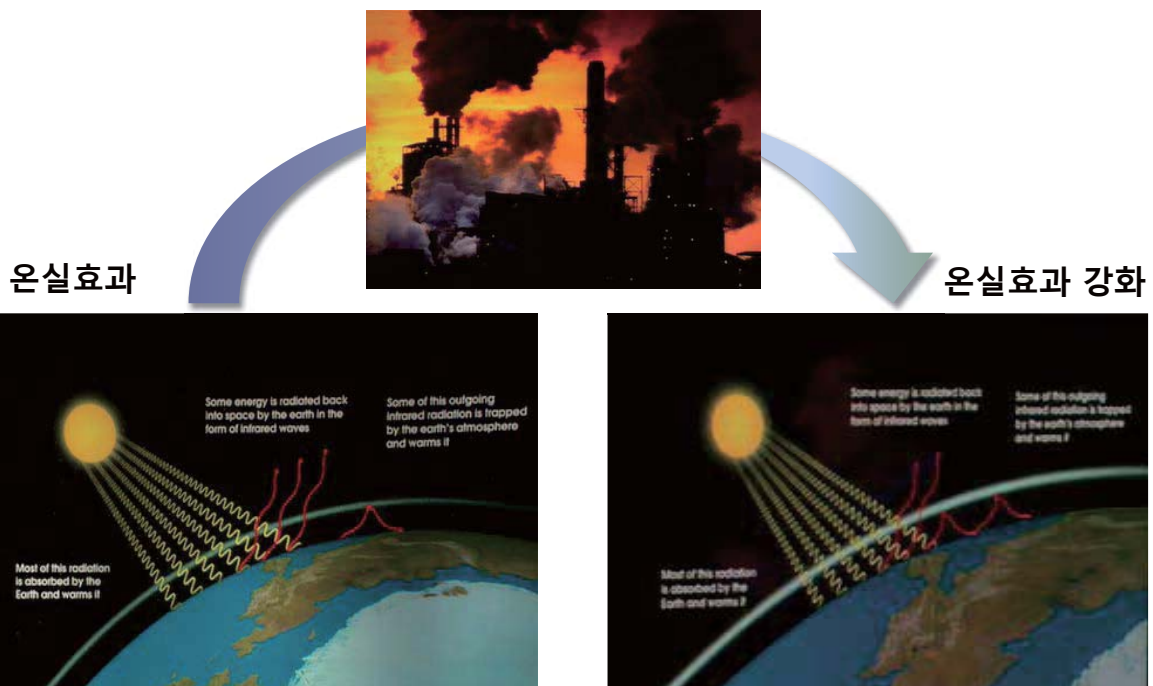


- 온실가스 : 지구에 들어오는 짧은 파장의 태양에너지를 통과시키는 반면, 지구로부터 나가려는 긴 파장의 적외 복사에너지는 흡수하여 지구를 덮는 담요 역할
- 온실효과 강화 : 온실가스의 증가로 인한 추가적인 온실효과
- 온실가스 증가는 더 많은 열을 흡수하여 온실효과 배가 시킴
- 예를 들어, 산업혁명 이전의 대기 중 이산화탄소 함량을 기준으로 온실가스가 두 배 증가했을 때, 온실효과강화는 약 4 W/m^2 가 됨.

7

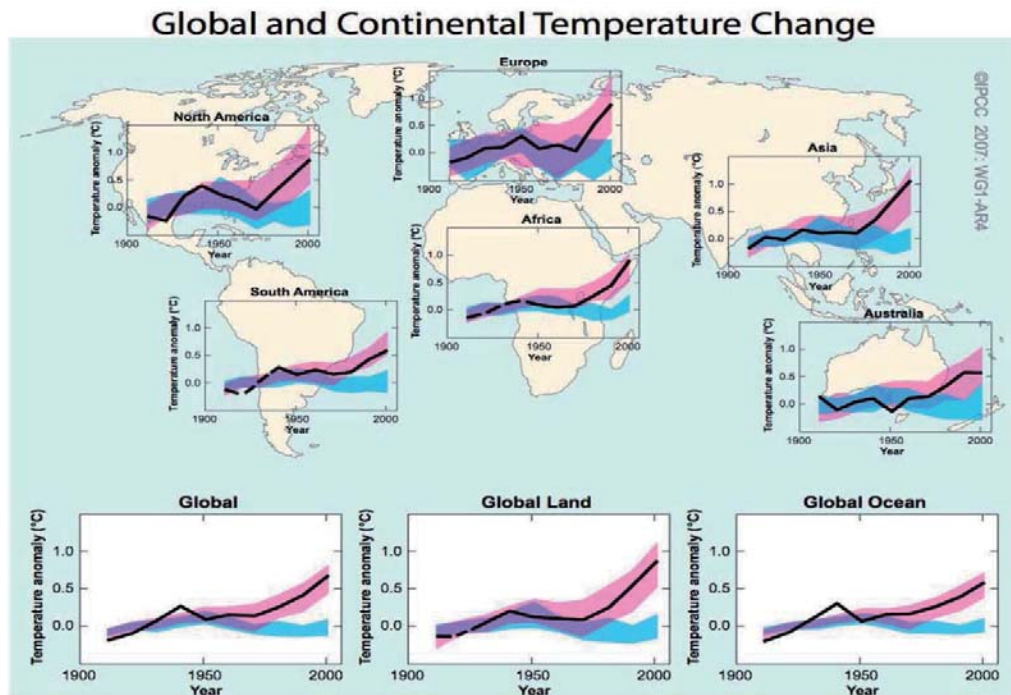
지구온난화

- 지구온난화(global warming) : 온실효과 강화에 의해 나타나는 지구온도 상승현상



8

지구온난화



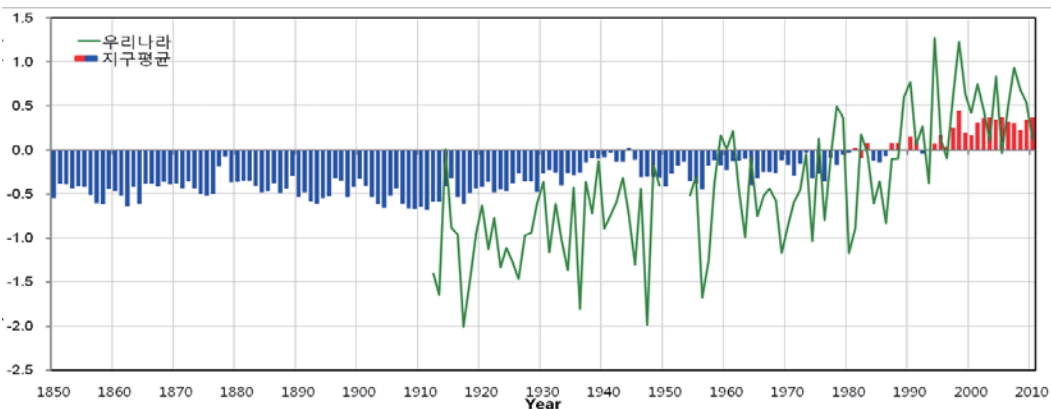
9

지구온난화

기온

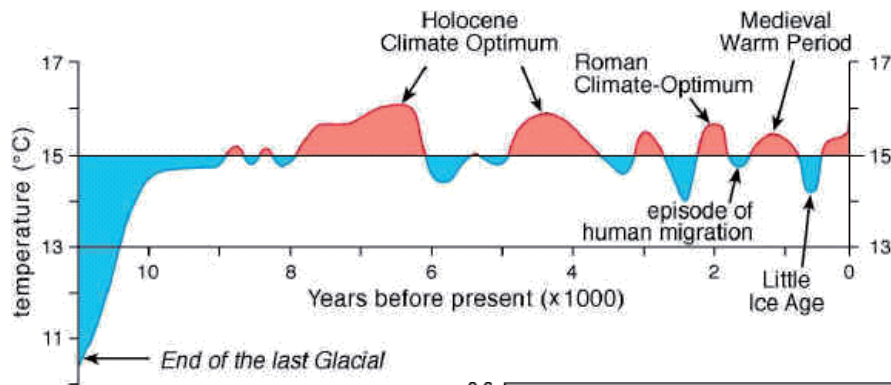
- **지난 100년간 전 지구 : + 0.75°C 상승, 한반도 : + 1.8°C 상승**
 ※ 6대 도시 기준(강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포)

평년 기온 변화 (°C)



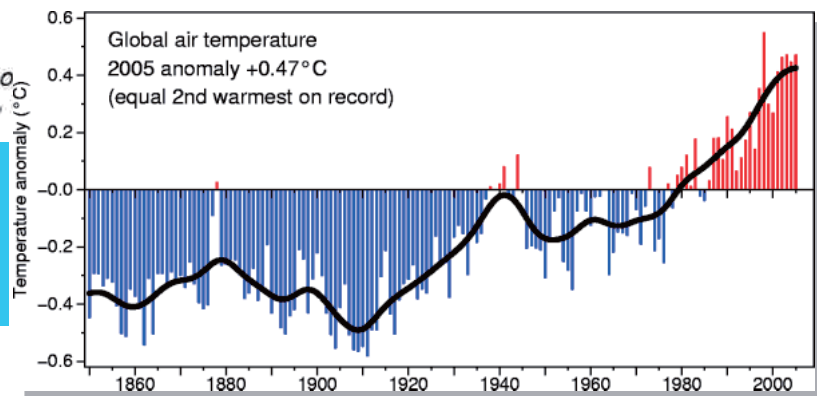
10

지구온난화



Average near-surface temperatures of 11,000 years (after Dansgaard et al., 1993)

현재의 지구온난화 속도는
과거 마지막 빙하기에서
탈출할 때보다
10배 정도 더 빠르다



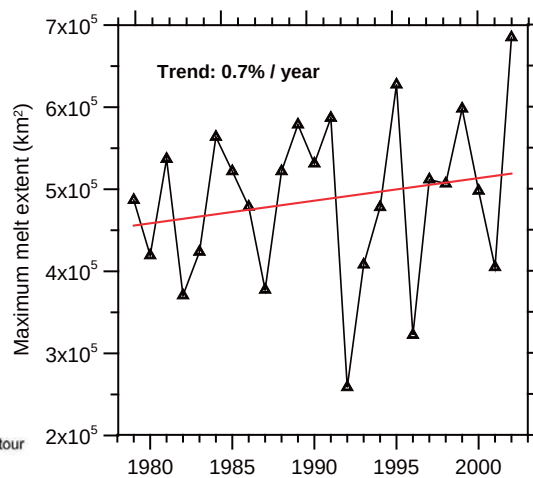
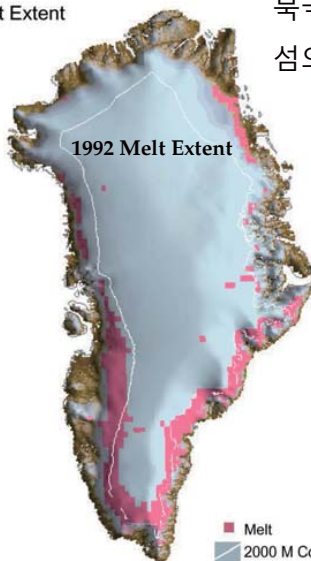
11

지구온난화

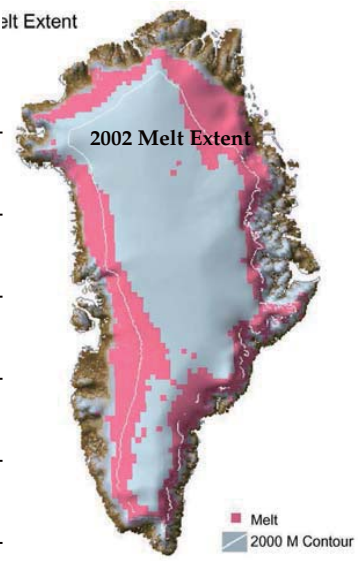
Greenland

북극해와 대서양 사이에 있는 세계 최대의 섬.
섬의 80% 정도가 얼음

1992 Melt Extent



2002 Melt Extent



Greenland ice sheet melt area increased on average by **16%** from 1979 to 2002.
The smallest melt extent was observed after the Mt. Pinatubo eruption in 1992

Data from Konrad Steffen and Russell Huff, University of Colorado

12

Meltwater from Greenland

Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet

Eric Rignot^{1*} and Pannir Kanagaratnam^{2*}

Using satellite radar interferometry observations of Greenland, we detected widespread glacier acceleration below 66° north between 1996 and 2000, which rapidly expanded to 70° north in 2005. Accelerated ice discharge in the west and particularly in the east doubled the ice sheet mass deficit in the last decade from 90 to 220 cubic kilometers per year. As more glaciers accelerate farther north, the contribution of Greenland to sea-level rise will continue to increase.

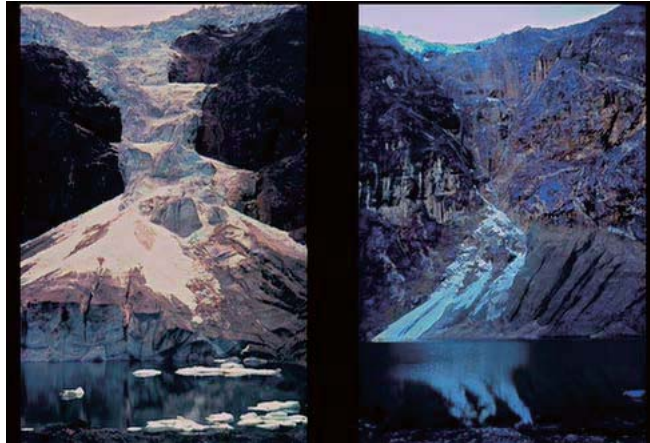
Current volume loss:
 $2.2 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{yr} \approx 0.007 \text{ Sv}$
 Has doubled over past decade

Volume of GIS: $2.8 \times 10^{15} \text{ m}^3$
 Time-scale 1000 years $\Rightarrow 2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{yr} \approx 0.1 \text{ Sv}$



13

아르헨티나

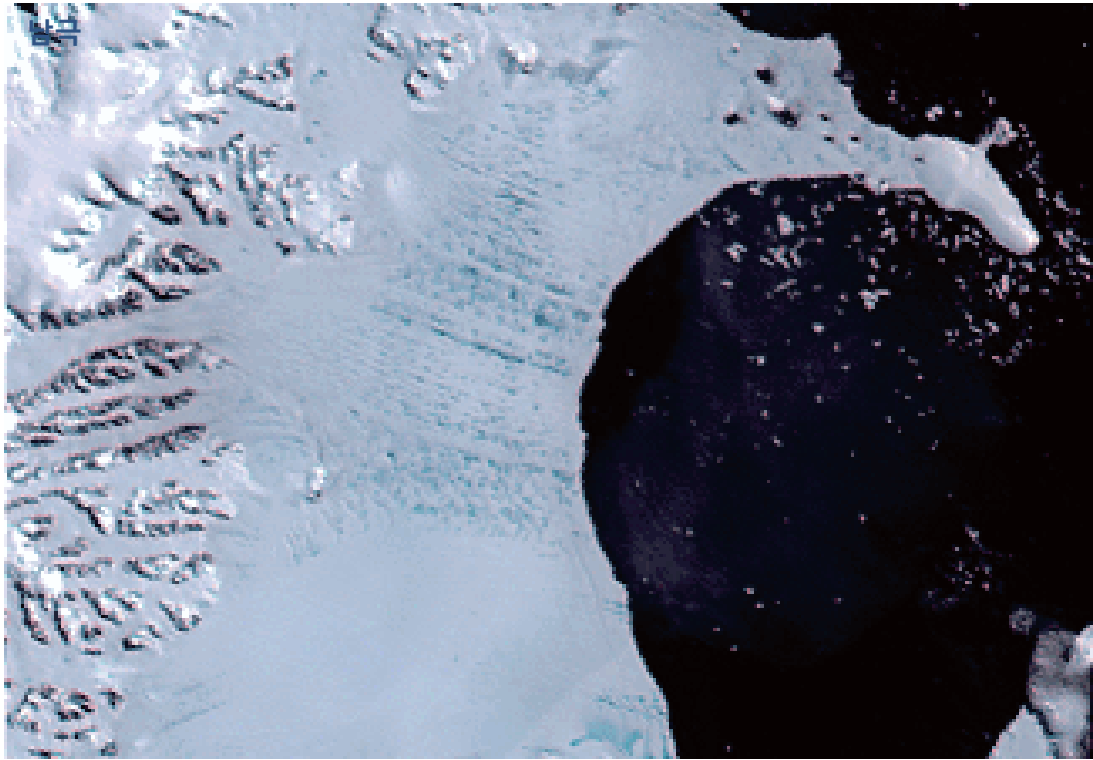


스위스



14

지구온난화



15

지구온난화

- 남태평양 섬나라 투발루의 수도 푸나푸티섬



16

지구온난화

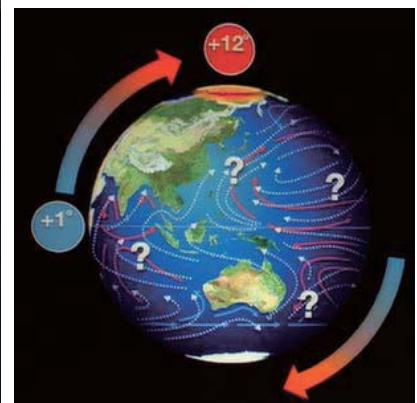
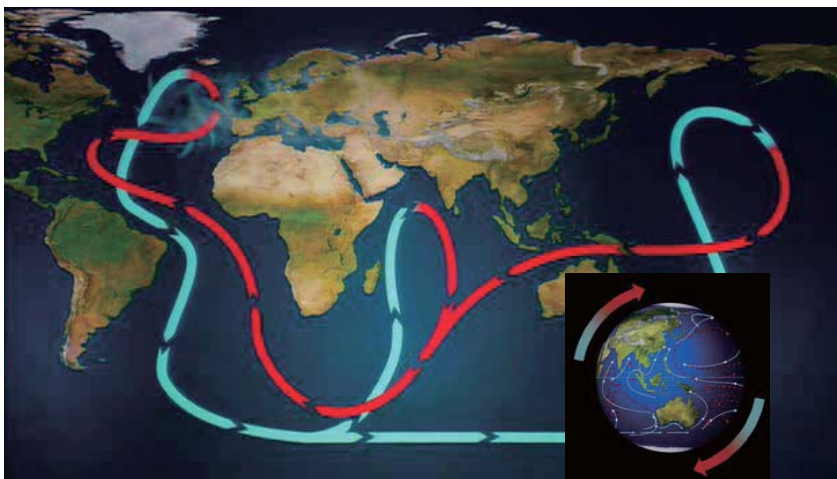
- 남태평양 섬나라 투발루의 수도 푸나푸티섬



매년 해수면 5.5mm 상승... 50년내 물에 잠길 판

17

지구온난화



18

지구의 기분 : 기상[날씨]



지구의 성격 : 기후



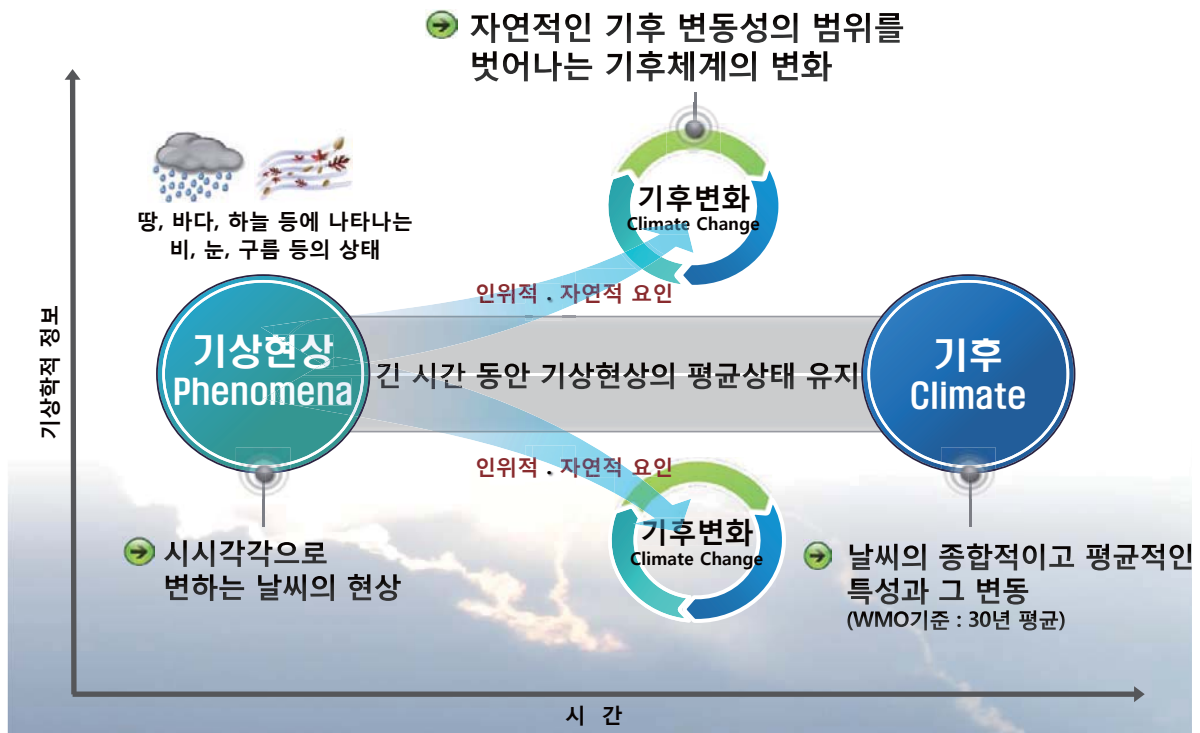
19

● 기후변화(climate change), 기후변동(climate variability)

- **평균상태를 기준**으로 대기-해양 시스템에 나타나는 기후의 시간적 변동
- 일반적으로 종관적 규모의 기상현상보다 **긴 시간규모**에 사용
- 시간적 규모는 짧게는 월 단위부터 길게는 수천 년과 수백만 년까지를 포함
- 때때로 지질시대, 역사시대를 포함하여 오랫동안의 기후변동을 기후변화라 하고, 보다 짧은 시간 간격으로 불규칙하게 생기는 기후변화를 기후변동이라 구별하기도 한다.
- 태양복사의 변화, 지구공전궤도의 변화, 대기와 해양의 상호작용, 화산분화, 대륙이동, 대기조성의 변화 등 다양한 원인으로 나타난다.
- 자연변동성은 인위적 변동성의 반대되는 개념으로 인류의 활동에 의한 영향이 없거나 원인을 인류활동에서 찾을 수 없을 때 사용할 수 있는 용어이다.

20

기후변화

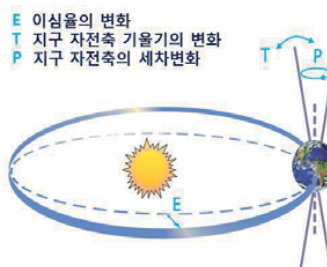
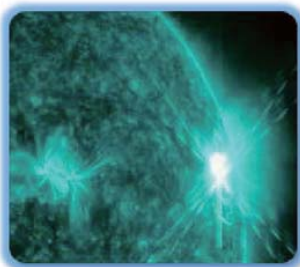


21

기후변화

자연적 원인

- 태양 흑점수 변화에 의한 태양 복사에너지의 변화
- 지구공전궤도 이심율, 지구자전축 기울기 변화, 세차운동 등에 의한 일사량 변화
- 화산폭발과 지각변동 등

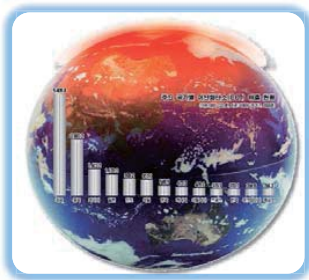


22

기후변화

인위적 원인

- 온실가스 및 에어로졸의 증가
- 온실효과 강화 : 지구온난화
- 산림변화, 도시화, 토지이용 등 환경의 변화

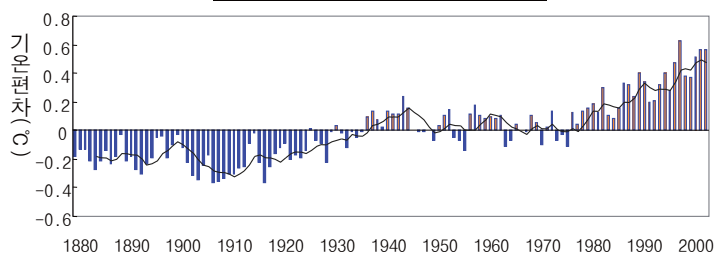


23

기후변화

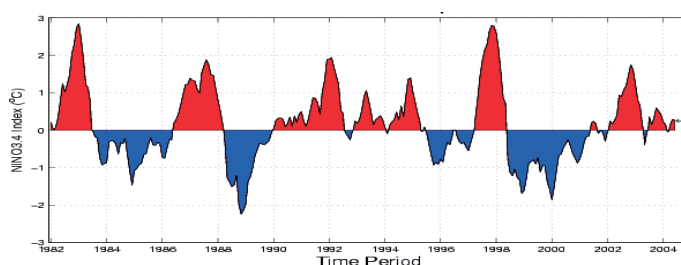
전지구 기후변동성 증가

전지구 기온 편차(1880~2003)



엘니뇨현상(1982~)

Historical Sea Surface Temperature Index



- 엘니뇨, 라니냐의 강도와 발생 주기의 불규칙성이 증대되는 등 기후변동성이 커지고 있음
- 이에 따라 집중호우, 가뭄 등 이상기상/기후 현상의 출현빈도가 증가하는 추세임
- 점증하는 기후변화 문제에 적극적인 대처가 요구되고 있음

24

기후변화

● 엘니뇨(El Niño)

- 2~7년에 걸쳐서 불규칙하게 발생하는 중-동 적도 태평양 해수면온도의 이상상승 현상으로, 주로 봄철에 발생하여 이듬해 봄에 소멸한다.
- 이 용어는 페루 어부들 간에 통용되었던 것으로, 따뜻한 연안해류가 크리스마스를 전후해서 발달한 데 기인하며, **스페인어로 남자아이** 또는 아기 예수를 의미한다.
- 이 용어는 매우 강한 연안 승온현상을 의미하는 것으로 발전하였고, 현재는 연안 승온현상도 결국, 적도 태평양의 광범위한 지역에서 해양-대기 상호작용에 의하여 발생하는 승온현상의 일부로 인식되면서 그 의미가 확장되었다.

● 라니냐(La Niña)

- 엘니뇨 현상과 반대현상으로, **스페인어로 여자아이**를 의미한다.
- 일반적으로 엘니뇨 현상이 시작되기 전 또는 종료 후에 평년보다 강한 무역풍이 지속될 때 발생하기 쉽다.
- 강한 무역풍에 의하여 해수면 밑에 따뜻한 물의 두께는 평년에 비교하여 서태평양(온난역)에서 두껍고, 동태평양(페루 앞바다 지역)에서 얇아진다.
- 또한 해수면온도는 평년보다 서태평양에서 높아지고 동태평양에서 낮아진다.

25

기후변화

기후변화에 따른 이상기상 현상

● 평균에서 매우 벗어난 기상현상

- 폭염, 한파, 폭우, 폭설, 가뭄 등

● 지구온난화, 기후변화, 엘니뇨, 라니냐 등 다양한 원인에 의해 발생

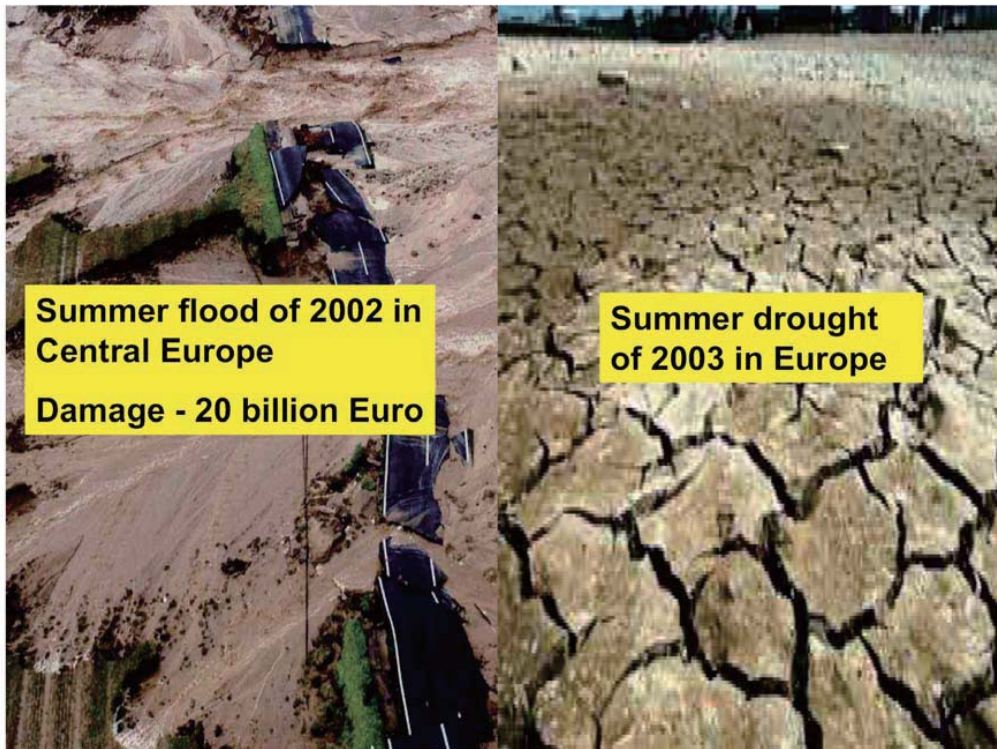
● 기후변화에 따른 양극화 현상

- 지구가 가지는 에너지가 증가함에 따라 새로운 평형상태로 가기 위한 과정으로 이상기상 발생 증가



26

기후변화



27

기후변화



(사진 : 그린피스가 공개한 온라인 책자 중에서)

28

기후변화



(사진 : 그린피스가 공개한 온라인 책자 중에서)

29

기후변화



(사진 : 그린피스가 공개한 온라인 책자 중에서)

30

기후변화



31

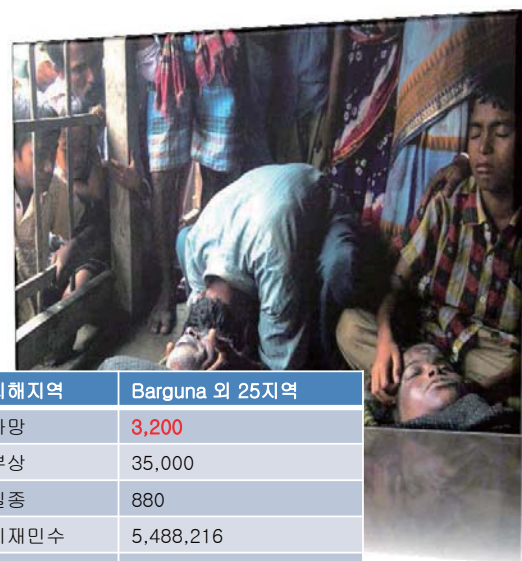
기후변화

태풍 나리



피해지역	제주, 경남, 전남 지역
사망	13
실종	7
이재민수	2,290
농경지 피해	13,930ha
가축피해	닭 1만마리, 축사 7동 양식장 12군데
차량 손실	1,580대
총 재산피해	약 15,900,000,000원

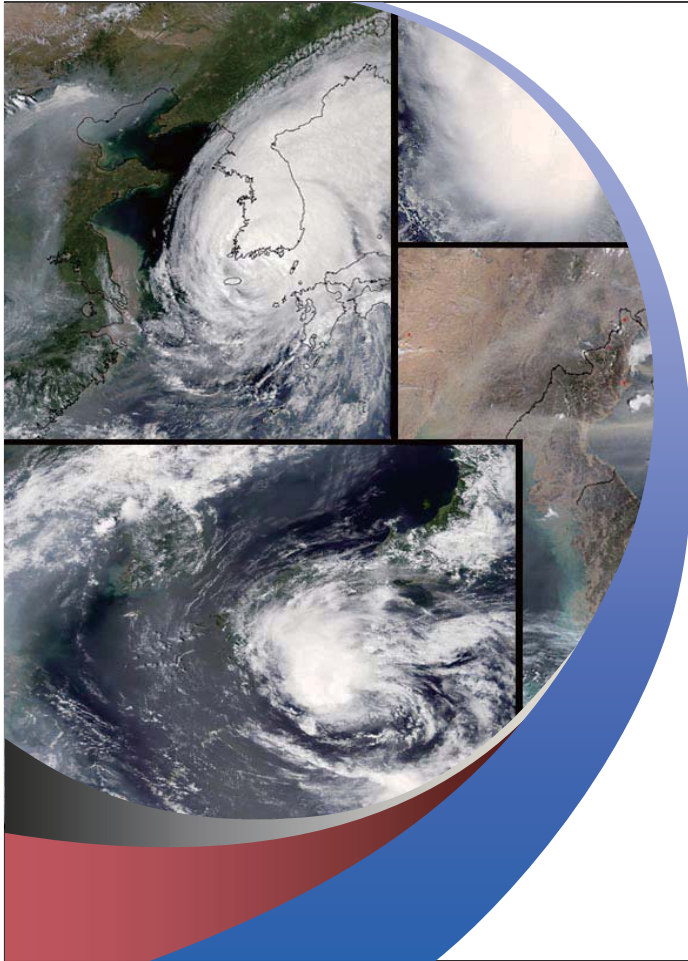
싸이클론 시드르



피해지역	Barguna 외 25지역
사망	3,200
부상	35,000
실종	880
이재민수	5,488,216
농경지 피해	62,052ha
가축피해	352,363 마리
총 재산피해	약 2,955,520,000,000원

32





지구온난화 & 기후변화 (2)



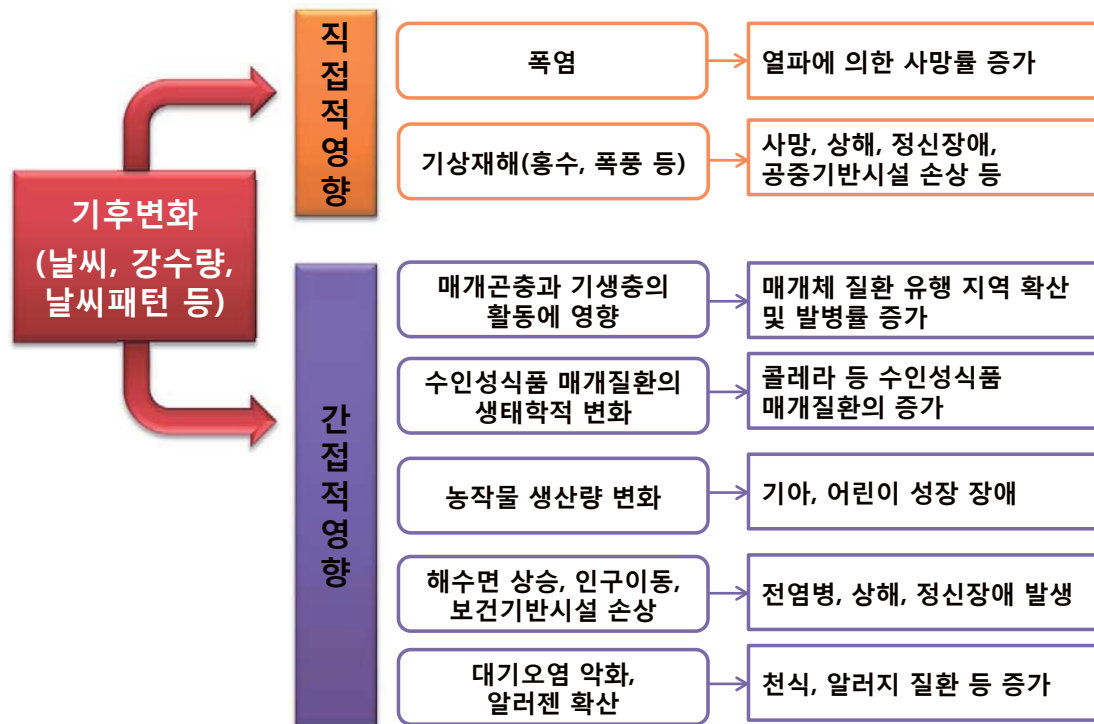
국립목포대학교
환경공학과/기후변화연구소

김도용 교수/연구소장

지구온난화와 기후변화의 영향

건강	한파, 폭염, 장기기온상승 등
국토/연안	폭설, 한파, 홍수, 태풍, 가뭄, 해수면상승 등
농축산	이상저온, 한파, 홍수, 태풍, 가뭄, 장기기후변화 등
산림/생태계	태풍, 가뭄, 이상저온, 장기기온상승 등
해양/수산업	태풍, 이상수온, 해수면상승, 장기기후변화 등
물관리	가뭄, 홍수, 태풍, 장기기후변화 등
산업/에너지	폭설, 한파, 호우, 이상고온(폭염), 장기기후변화 등

지구온난화와 기후변화의 영향



3

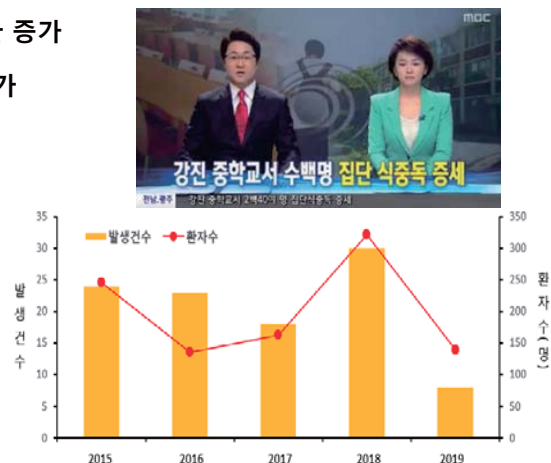
지구온난화와 기후변화의 영향

● 건강

- 폭염으로 인한 **온열질환**, 심혈관 질환, 수인성·식품매개 **감염병** 등의 증가와 이에 따른 취약 계층에 대한 영향 증대
- 대기오염 및 유해물질 노출 등에 따른 호흡기계 및 심혈관계 질환 증가
- 기온 및 습도 상승으로 인한 감염병, 질병, 알러젠 등의 증가
- 한파로 인한 **한랭질환자** 및 심혈관계 질환 증가
- 재난으로 인한 부상, 정신질환, 사망률 증가



폭염으로 인한 온열질환자 발생



전남지역 식중독 발생건수 및 환자수

4

지구온난화와 기후변화의 영향

- 국토/연안

- 집중호우로 인한 **침수**, 제방 및 교량 등 하천시설 **붕괴** 위험, 교통시설 기능저하 및 마비
- 대설로 인한 교통시설 기능저하 및 마비, 농축산 시설 손상 및 붕괴위험 증가, 취약지역 거주민 고립위험 증가
- 강풍으로 인한 간판, 전기공급 시설, 방송통신 시설 등 **손상 및 파손**
- 태풍 및 해일, 그리고 해수면 상승으로 인한 **연안범람**과 이에 따른 항만시설, 어항시설, 해안도로 등 손상 및 기능 마비, 해안변 건축물 침수
- **연안침식**으로 인한 연안건축물 훼손 및 피해위험 증가, 토지 사용제한 증가



태풍(강풍)로 인한 시설물 피해



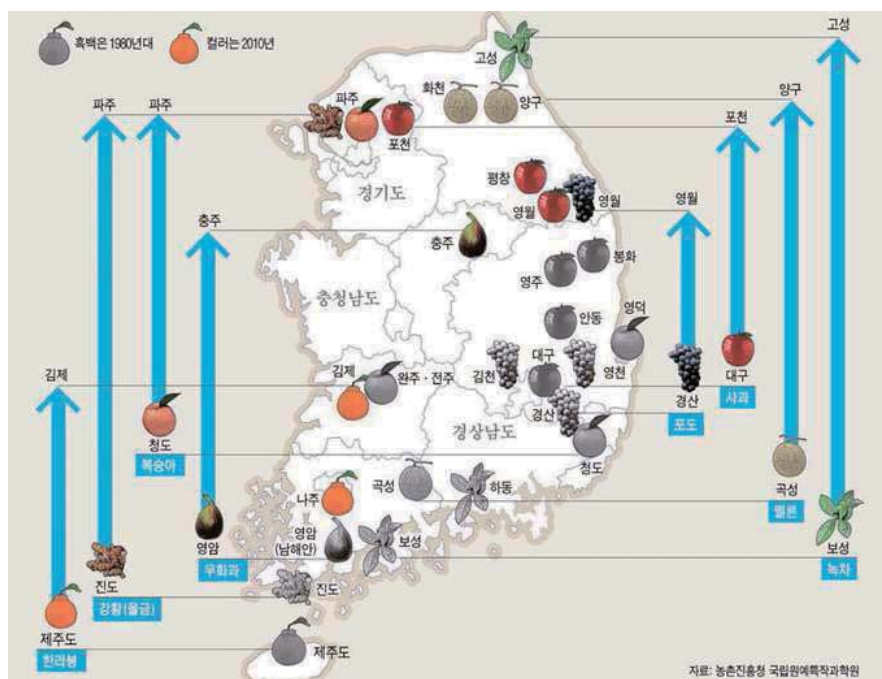
조위상승으로 인한 연안범람

5

지구온난화와 기후변화의 영향

● 농축산

- **평균 기온 상승에 따른 농작물 재배 시기 및 적지 변화**



자료: 농촌진흥청 국립원예특작과학원

6

지구온난화와 기후변화의 영향

● 농축산

- 기상재해(집중호우 및 태풍 등)로 인한 농경지 침식, **농축산 시설붕괴**, 농작물 및 가축 피해 증가, 비료, 살충제, 축산폐기물 등의 유출 증가
- 평균 기온 상승에 따른 해충 및 질병 확산으로 인한 작물 및 가축 피해 증가
- **폭염 및 한파** 등 극한 기상 현상으로 인한 가축 스트레스 및 질병(사망) 심화, 농축산 시설의 온도 및 환경 유지를 위한 에너지 사용(비용) 증가



'폭염 광주·전남' 온열 289명·가축폐사 59만마리·농작물 45ha 피해

[뉴스1] 연합뉴스 2018.08.03 16:22



【광주=뉴스1】특정 기자 = 광주와 전남지역의 폭염이 한달 가까이 지속되면서 온열환자와 가축폐사, 농작물 고사 등 피해가 확산되고 있다.

7

지구온난화와 기후변화의 영향

● 산림/생태계

- 기후변화로 인한 국내 고유·특산종의 성장 및 생존률 변화, **병해충**의 월동 생존율 증가로 인한 피해 가중, 멸종 위기 가속화
- 해수면 상승으로 인한 담수 및 연안 서식지의 염류 침입과 **연안 서식지 감소**, 연안 홍수 및 구조 변경에 따른 생태계 경계 변화



솔껍질깍지벌레 피해



미국흰불나방 유충 피해



재선충 피해

8

지구온난화와 기후변화의 영향

● 산림/생태계

- 가뭄으로 인한 토양수분 부족 및 건조 현상 심화와 **산불(화재)** 증가로 인한 수목 피해
- 온난화에 따른 생태계 변화 및 **집중호우** 등에 따른 토양 침식



지적산 산불



우연산 산사태

9

지구온난화와 기후변화의 영향

● 해양/수산

- 유해 **해양생물**(해파리, 불가사리, 성게 등) 및 해양 독성생물 출현 증가와 조간대 생태계 피해 위험 증가
- 회유성 및 정착성 **어종의 서식지 및 어장 변화**, 질병발생 및 새로운 병원성 미생물 증가, 어패류의 산란장 및 산란시기 변동 증가
- **해양산성화**로 인한 해양생태계 먹이사슬 및 생물 다양성 변화
- 수온 변화 및 태풍 등으로 인한 **수산·양식업 피해**



수온변화 추정 돌돔 집단폐사



전북양식장 태풍피해



적조 피해

10

지구온난화와 기후변화의 영향

● 물

- 가뭄으로 인한 하구역 염도증가, 하천지류 건천화, 생활용수·공업용수·농업용수 등 부족, 지역간/계층간 물공급 격차 심화
- 기온상승에 따른 수생태 변화와 조류 및 병원균으로 인한 **수질악화**
- 강우패턴 변화에 의한 수생태 변화, 수질악화, 국가 수자원 공급능력 저하
- 태풍 및 **집중호우** 등으로 인한 홍수, **수계 하류지역 쓰레기 적체**, 수리시설물 및 용수 공급시설 파손 등
- 농작물 증발산량 증가로 인한 물수요 증가와 **물 부족**으로 인한 지하수의 난개발

• Too little
• Too much
• Too dirty
can be exacerbated
by climate change



가뭄 피해
(보길도 가뭄현장)



집중호우 피해
(영산강 하류지역 쓰레기 적체)

11

지구온난화와 기후변화의 영향

● 산업/에너지

- 폭염, 한파, 호우 등 **이상기후 대응 산업**, 환경컨설팅 산업, 에너지 효율 기기 산업 및 **신재생 산업** 등의 수요 증가
- 에너지 수요증가에 따른 **전력공급 불안정성** 증가와 **에너지 가격 상승**으로 인한 에너지 비용 증가 및 산업부문 생산단가 상승
- 자연재해로 인한 산업시설 및 산업단지의 피해 발생 증가
- 산업계의 재난 대비 보험비용 증대 및 기후변화 규제 준수 비용 증대



여름상품 매출 증가



폭염에 따른 전기사용량 급증으로 정전

12

지구온난화와 기후변화의 영향

- ❖ 지난 100년간 1.8°C 상승(지구평균의 2.4배)
- ❖ 여름 전염병 봄철 발생률 증가
- ❖ 왜가리,백로,황로 여름철새 텃새화
- ❖ 여름 길어지고, 봄/가을 짧아지고
- ❖ 봄꽃 개화 시기 빨라져

안성 자운영단지 조성

대나무 서식지 복상

아열대 해파리 잡혀

해수 온도 0.03°C/년 상승

벚꽃 축제 이전에 벚꽃 만개

한라산 식물서식지 고지대 북상,
솔나방 연2회 산란 해송피해

영양 사슴 하늘소

명태, 대구, 도루묵 어획량 감소
오징어, 자리돔 어획량 증가
난류성 플랑크톤 증가

경북 과수재배지 바뀜
(사과, 배, 포도, 복숭아, 감 등)

구미 해평습지-두루미 월동지화

집중호우로 인한 지리산 산사태

연안수온 0.02°C/년 상승
적조현상 가속 및 확대

고등어, 멸치, 오징어
생산율 증가

- 식생
- 해양
- 동물
- 지형

13

지구온난화와 기후변화의 영향

매일일보

2014년 03월 18일 화요일
007면 사회

제주일보

2014년 02월 24일 월요일
003면 종합



따뜻한 겨울... 개구리 산란 4년새 21일 빨라져

kbc오늘730 kbc뉴스 kbc생활뉴스 kbc저녁뉴스 kbc로컬뉴스



해수면 상승으로 5월에 하루 꼴로 출입이 통제되고 있는 서귀포시 안덕면 용마리 해안 절경.

온난화로 인한 해수면 상승 5일에 하루꼴로 '출입 통제'

江原日報

2014년 01월 06일 월요일
021면 지역

동강겨울축제 포근한 날씨에 한숨만

얼음 위 행사 상당수 지연
눈조각 녹고 캠핑장 한산

九州日報

2014년 02월 20일 수요일 017면 환경

지구 온난화로 광주·전남 겨울 14일 짧아졌다

CHINA-USA BUSINESS-2009-5.2 75.19%

【거꾸브라】"여름-겨울, 두 계절로 바꿨다"
2018년 12월 10일
매일경 기자
조회:104



[기후특파부]
미진 송정, 송한

김도형 / 목포대 교수

북극해가 뜨거워져서 그 위에 공기가 평행을 하나까 한대전선이 밑으로 평행에서 내려오게 됩니다

[기후변화] 급변하는 기후, 놓여있는 '머지나' 2018년 12월 21일
 여행길 기자 조회 1340



[기초연구] 정책제도 도입

김도원 / 국토대 교수

우리가 온대지방인데 아열대성 기후를 맞게됩니다
남부지방부터 사시하 그런 현상이 시작되겠지요

8 kbc news

14



지구온난화와 기후변화 우리의 위기인가? 기회인가?

지구온난화와 기후변화는 우리에게 위기인가? 기회인가?

위기인가?

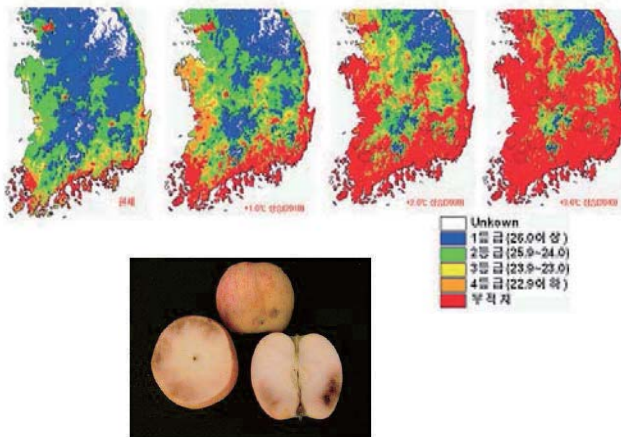
기회인가?



KEVIN ROBINSON/CRR

위기인가?

기온 상승에 따른 사과 재배 부적지 증가



기회인가?

경북 경주시에서 열린 바나나



17

기후변화 대응 및 적응

□ 기후변화 대응

- 기후변화 대응조치는 크게 **완화(Mitigation)**와 **적응(Adaptation)**으로 구분
- 온실가스 배출 저감을 통한 완화만으로는 기후변화 영향을 줄이는데 한계 존재
- 강력한 온실가스 감축정책을 시행한다고 하여도 이미 배출된 온실가스로 인한 영향 존재
- 따라서 **변화하는 기후에 적응**하는 측면이 강화될 필요성 부각

□ 기후변화 적응

- 기후변화 적응이란 이미 일어난, 혹은 미래에 일어날 것으로 예측되는 **기후변화의 영향에 대처하여 부정적 영향을 피하려고 하는 노력**으로 기후변화 영향에 대응한 자연 및 사회 시스템의 조절작용을 의미
- 이를 통해 기후변화의 부정적 위험은 감소되고 오히려 기후변화가 **유익한 기회로 활용 가능**
- 기후변화 적응이 이처럼 중요함에도 불구하고 지금까지의 기후변화 대응은 기후변화 원인물질인 온실가스 배출의 저감에 집중
- 2007년 공식 발표된 IPCC 4차 보고서도 미래 기후변화에 따른 각 부문별 영향이 적응 유무에 따라 변화될 수 있음을 지적

18

기후변화 대응 및 적응

공기 중 연기가 자욱해
고민하는 원시인



완화!!
(Mitigation)

공기 중 연기의 양을 줄이려 애쓰는 원시인



- 화석에너지 사용 줄이기(에너지절약)
- 천연에너지 재생에너지 사용하기
- 자전거/대중교통
- 분리수거/재활용
- 나무심기 (이산화탄소 흡수)

적응!!
(Adaptation)

연기 자욱한 상황에 대처하는 방안을 찾는 원시인



- 기상재해 대비 안전시설 강화
- 연안 및 하천 범람지역 제방 높이기
- 폭염시 야외활동 자제
- 방역, 물웅덩이 제거
- 아열대 과수농업

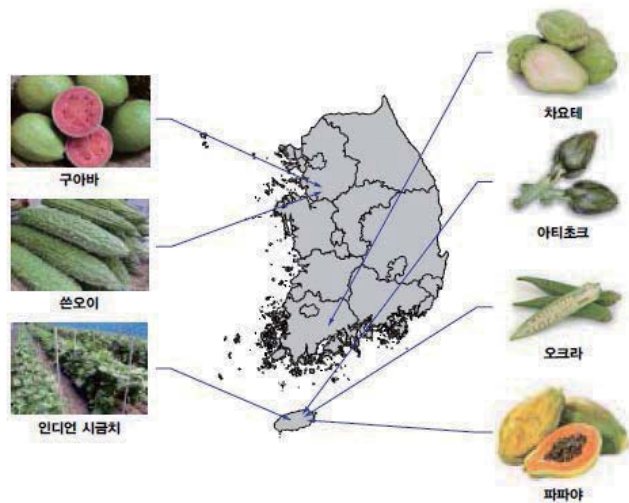
19

기후변화 대응 및 적응

전주비빔밥 첨가 식재료 열대작물로 대체



아열대 작물 재배가능지역분포



기후변화 적응과 우리 식문화
(2012, 원광대학교)

20



지구온난화와 기후변화 우리의 위기인가? 기회인가?

예측, 대응, 적응

지구온난화가 미치는 영향 전망

Stern 보고서

Tony Blare

“지구 온난화 문제를
지금 해결하지 않으면
이후 겪게 될 끔찍한 재앙을
되돌릴 수 없다.”

<지구 온난화가 미치는 영향>

5도상승

- 히말라야의 빙하 소멸
- 중국 인구 25%에 영향
- 해양 산성화 가속, 해양 생태계 변화
- 해수면 상승으로 작은 섬들과 뉴욕, 도쿄 등의 도시 수장

4도

- 30~50%의 물 감소
- 아프리카 농작물 15~35% 감소
- 아프리카에서 최대 8000만 명 말라리아로 사망
- 해안지역 인구 최대 3억 명 홍수 피해

3도

- 유럽에서 10년마다 심각한 가뭄, 10억~40억 명 물 부족
- 기근 피해자 5억5000만 명 증가
- 최대 300만 명이 영양실조 사망
- 최대 50%의 생물 멸종 가능성, 아마존 밀림 파괴 시작

2도

- 남아프리카와 지중해에서 물 공급량 20~30% 감소
- 열대지역 농작물 크게 감소 (아프리카는 5~10%)
- 아프리카인 최대 6000만 명 말라리아에 노출

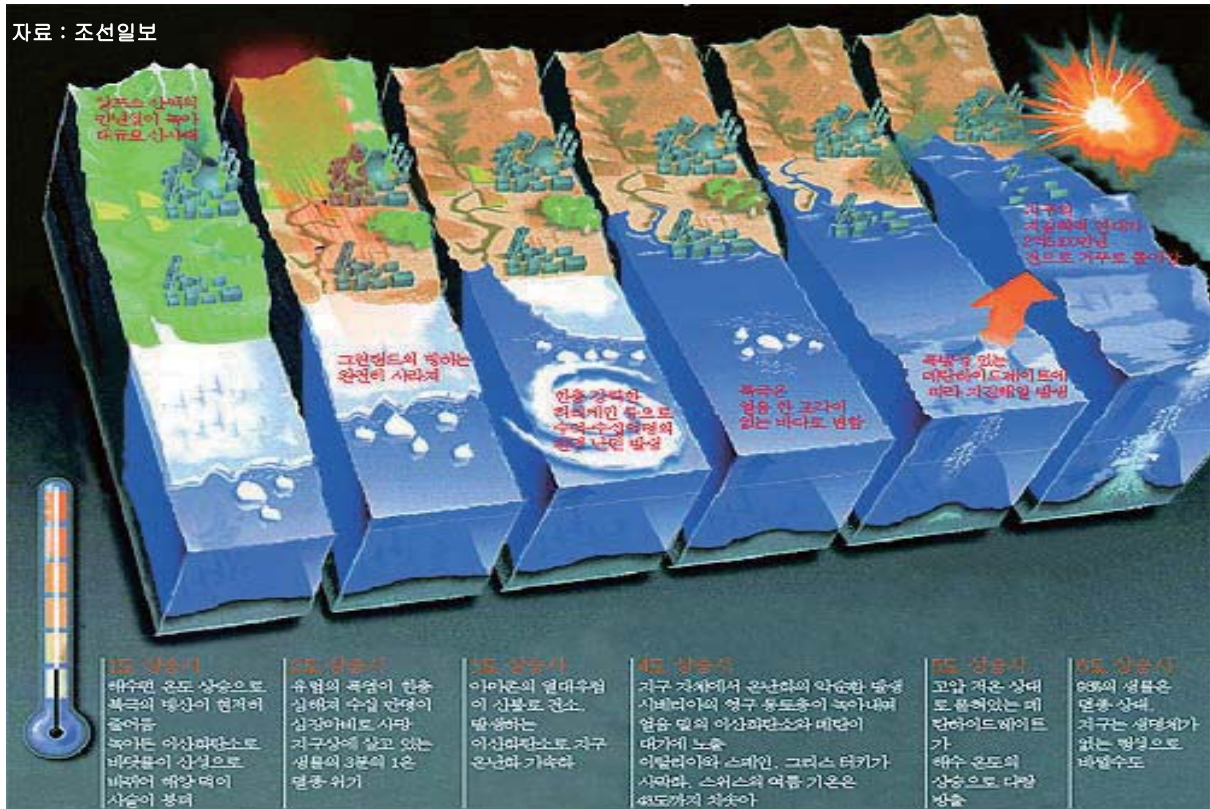
1도

- 안데스산맥의 작은 빙하 녹음, 5000만 명 물 부족
- 매년 30만 명, 기후 관련 질병으로 사망
- 영구 동토층 녹아 러시아와 캐나다의 건물 및 도로 손상
- 10%의 생물 멸종 위기

자료: '기후 변화의 경제학' 보고서

지구온난화가 미치는 영향 전망

자료 : 조선일보



23

지구온난화가 미치는 영향 전망

지역(Region)	영향(Impact)
아시아	- 히말라야 산의 빙하 용해는 홍수와 산사태, 수자원 파괴를 증가시키며, 특히 대부분 지역은 수자원이 부족할 것으로 전망 - 남, 동아시아의 인구가 많은 해안 지역은 바다와 강으로부터 위험에 크게 직면
도서지역	- 작은 섬들은 해수면 상승으로 인한 침수 - 해안 침식과 같은 해안 생태의 악화는 관광 지역의 매력을 감소시킬 가능성이 있음
극지역	- 주된 생물리학적 결과로 빙하의 확장과 두께 감소, 해빙·영구동토층 팽창 정도 및 깊이 변화, 자연 생태계의 변화 등이 있음 - 북극 거주지역에 대해, 설빙권에는 긍정적, 부정적 효과가 있을 것임 - 양극지역에서, 특정 생태계와 거주 지역은 기후변화에 대해 종의 적응이 낮아지면서, 취약해질 수 있음
북미 서부	유속 감소로 현재 수자원의 수요는 2020년 이후 만족될 수 없으며, 연어는 서식지를 잃게 됨
남미 브라질 동부	2050년대까지 지하수의 70% 이상 감소
벵갈만 지역	온도가 2°C 상승할 때마다, 방글라데시에서는 연간 최고치를 방출하여 홍수지역이 적어도 25% 이상 증가
유럽	2070년까지, 수력발전의 전기 생산 잠재력은 70%까지 감소
아프리카 소말리아 인근지역	질 좋은 물 공급과 위생 인프라가 없는 지역으로, 폭우로 인해 병원균 증가

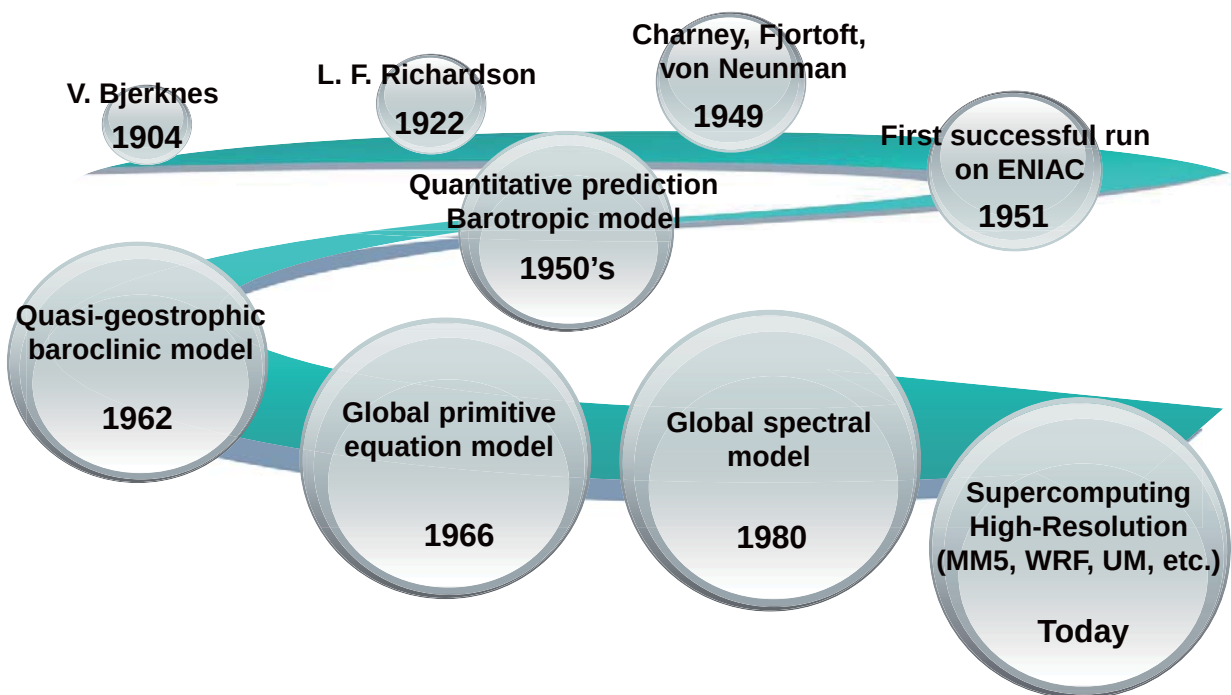
24

지구온난화가 미치는 영향 전망

피해분야	2020년대 (1°C 상승)	2050년대 (2~3°C)	2080년대 (3°C 이상 상승)
수자원	4~17억 명의 물 부족 영향	10~20억 명의 물 부족 영향	11~32억 명의 물 부족 영향 전 세계 인구의 1/5 이상 홍수 영향
생태계	양서류의 멸종 산호의 백화현상 생물 종의 다양성 변화	20 ~ 30% 멸종위기	전 지구 생물의 대부분 멸종 CO ₂ 배출에 의해 지리적 생물권 분포 변화
농업	대체로 전 지구적 농작물 수확 잠재력 증가 1~3천만명의 기근 위협		저위도 지역의 적응잠재력 증가 중·고위도 지역의 수확량 감소 3~12천만명의 기근 위협
홍수	홍수와 폭우 위험 증가	3백만명의 홍수 위험	해안가의 30%이상 유실 15백만명 이상 홍수 위험
질병	알러지 및 전염성 질병 확산	영양 부족, 과다출혈, 심장관련 질병 증가 열파, 홍수 가뭄으로 사망증가	

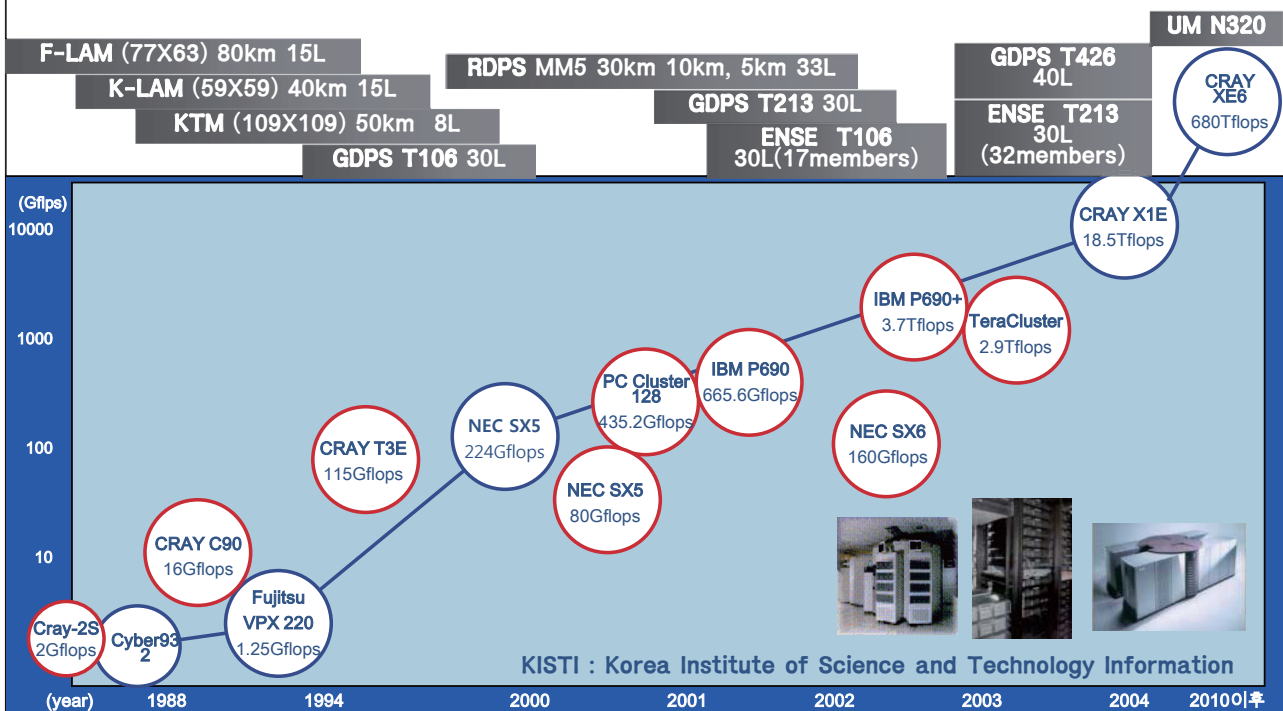
25

기상/기후변화 예측기술의 발전



26

기상/기후변화 예측기술의 발전



27

기상/기후변화 예측기술의 발전

Basic equations

$$\frac{DU}{Dt} = fV - c_p \Theta \frac{\partial \Pi}{\partial x} + g \frac{G_1}{G_3} + \text{Diff}(U)$$

$$\frac{DV}{Dt} = -fU - c_p \Theta \frac{\partial \Pi}{\partial y} + g \frac{G_2}{G_3} + \text{Diff}(V)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W^*}{\partial z^*} - \frac{1}{z^* - 5} (G_1 U + G_2 V) = 0$$

$$\frac{D\Theta}{Dt} = \text{Diff}(\Theta) \quad \frac{Dq_v}{Dt} = \text{Diff}(q_v) \quad \frac{\partial \Pi}{\partial z^*} = -\frac{1}{G_3} \frac{g}{c_p \Theta}$$

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y} + W^* \frac{\partial}{\partial z^*}$$

$$\begin{aligned} \text{Diff} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial}{\partial x} + K_H G_1 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) + G_1 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial}{\partial x} + K_H G_1 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) + G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_H \frac{\partial}{\partial y} + K_H G_2 \frac{\partial}{\partial z^*} \right) \\ & + G_3^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left(K_V \frac{\partial}{\partial z^*} \right) \end{aligned}$$

Configuration

- Nesting
- Horizontal & Vertical grid systems
- Dynamics
- Microphysics
- Initial and boundary data
- Cumulus scheme
- PBL scheme
- Land surface scheme
- Shortwave radiation scheme
- Longwave radiation scheme

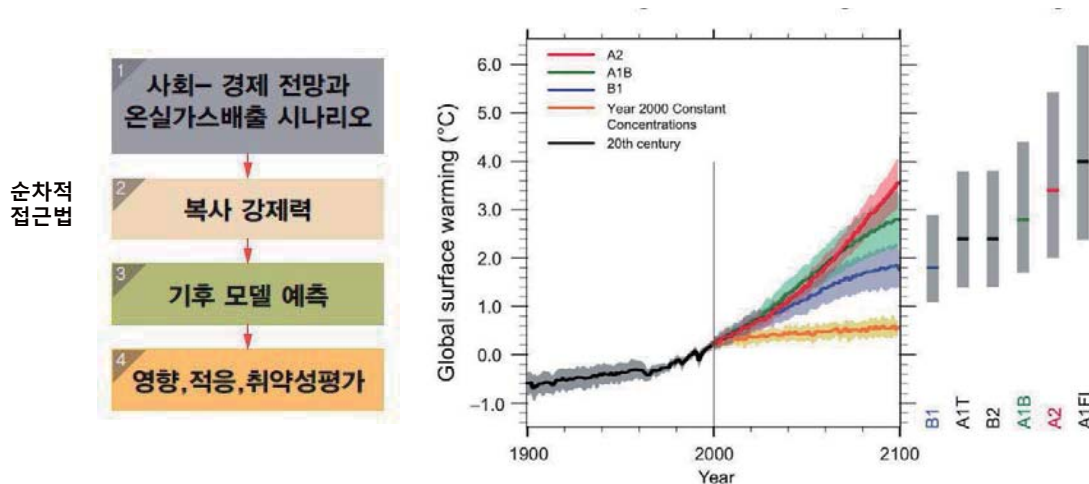
WRF, MM5, GME, UM, RCM,
RSM, QPF, CFD, etc.

기상/기후요소 및 기후변화에 대한 수치모델링 (예측 및 평가)

28

온실가스 배출량 전망 시나리오

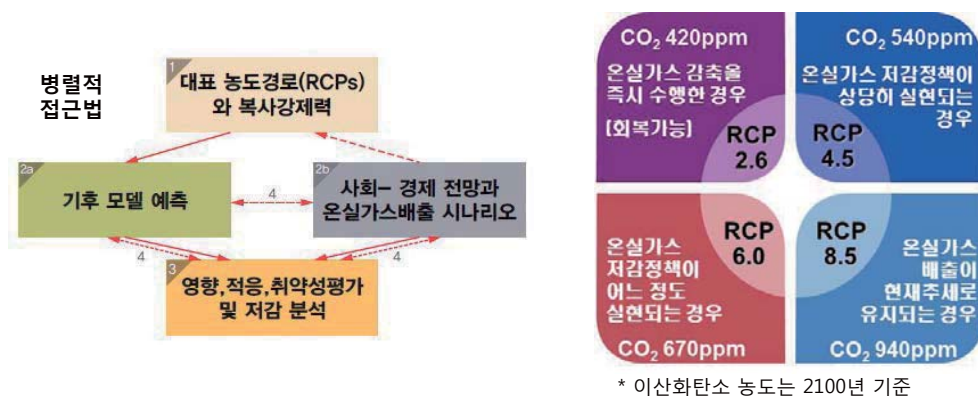
- SRES(Special Report on Emission Scenario) 시나리오
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 평가보고서(2007)



29

온실가스 배출량 전망 시나리오

- RCP(Representative Concentration Pathways) 시나리오
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 평가보고서(2013)



★ 하나의 대표적 복사강제력에 대해 사회/경제적 시나리오는 여러가지가 될 수 있다는 의미에서 '대표(Representative)'라는 표현을 사용. 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 '경로(Pathways)'라는 의미를 포함.

★ RCP 시나리오 숫자(2.6, 4.5, 6.0, 8.5)의 의미

➡ 태양으로부터 들어오는 에너지 중 지구에 흡수되는 에너지는 약 238 W/m² 정도

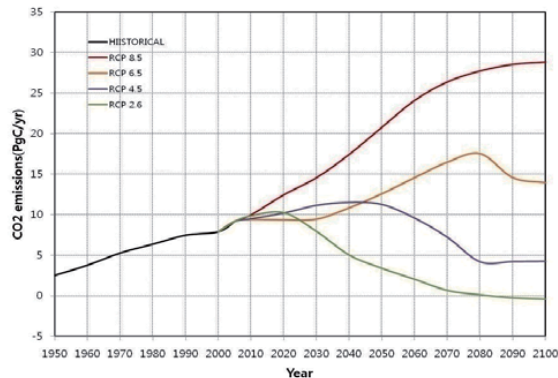
➡ RCP 시나리오의 숫자는 온실가스로 인하여 추가적으로 지구에 흡수되는 에너지 양을 의미, 즉, RCP8.5는 이산화탄소 농도가 940ppm이 되면 태양에너지가 8.5W/m² 더 들어온다는 것을 의미한다.

30

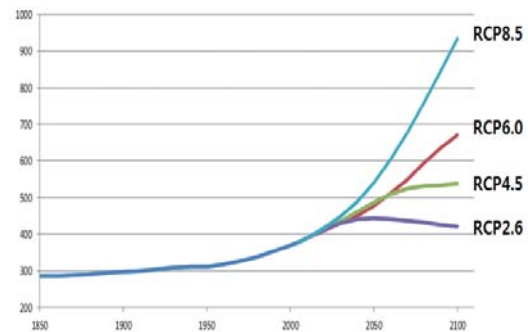
온실가스 배출량 전망 시나리오

- RCP(Representative Concentration Pathways) 시나리오
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 평가보고서(2013)

이산화탄소 배출량



미래 이산화탄소 농도변화 예상



31

기후변화 시나리오

● 기후변화 시나리오의 개요

- 인위적 원인에 따른 **온실가스 배출량 전망 시나리오**에 기초하여 생산
- **수치예측(모델)**을 기반으로 한 **미래 기후변화 예측(미래 전망) 정보**
- 기후변화가 언제/어디서/어떻게 일어날지 예측하여 피해를 최소화하는데 사용되는 선제적 정보
- 시나리오를 기반으로 지역별, 부문별 기후변화 영향과 취약성 평가
- 기후변화 적응대책 및 온실가스 감축정책 수립의 과학적 근거자료 제시

● 분석기간

- 현재 기후값(2000년대) ~ 2100년

● 기후요소

- 기온, 강수량
- **기온극한지수** : 서리일수, 결빙일수, 여름일수, 폭염일수, 열대야일수, 식물성장가능기간 등
- **강수극한지수** : 호우일수, 강수강도 등

32

기후변화 시나리오

★ **서리일수** : 서리는 지표면이 냉각될 때 온도가 0℃ 이하, 기온이 3℃ 이하일 경우에 주로 발생하며, 대기 중의 수증기가 지면 또는 물체의 표면 등에 승화해서 생긴 얼음의 결정을 말한다. 서리일수는 어떤 기간 내에 이러한 서리현상이 관측된 총 일수를 의미한다.

★ **결빙일수** : 결빙은 옥외의 고인 물이 어는 현상으로 기상관측에서는 증발계의 물이 언 것을 결빙으로 관측하며, 결빙일수는 어떤 기간 내에 이러한 결빙현상이 관측된 총 일수를 의미한다.

★ **식물성장가능기간(식물성장기간)** : 일평균기온이 5℃ 보다 높은 날이 적어도 6일 이상 지속된 첫 날부터 일평균기온이 5℃ 미만인 날이 적어도 6일 이상 지속된 첫 날까지 사이의 연중 일수

★ **여름일수** : 여름날은 일최고기온이 25℃ 이상이 되는 날을 의미하며, 여름일수는 연간 여름날의 총 일수로 정의된다.

★ **폭염일수** : 폭염은 일최고기온이 33℃ 이상인 경우를 말하며, 폭염일수는 폭염현상이 나타나는 연간 일수로 정의된다.

★ **열대야일수** : 열대야는 일최저기온이 25℃ 이상인 날로 정의되며, 열대야일수는 연간 열대야 현상이 나타나는 총 일수를 의미한다.

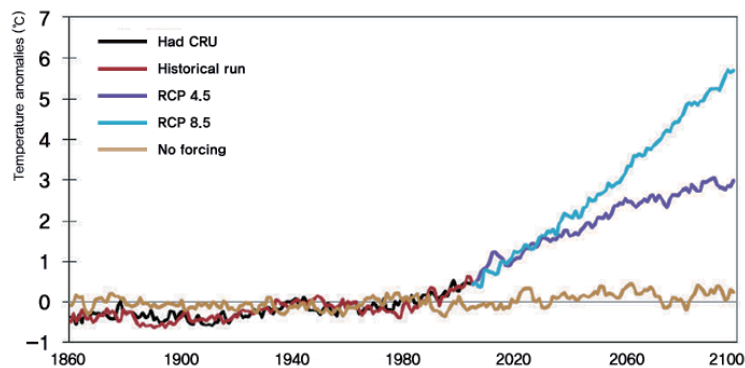
★ **호우일수** : 호우(큰비)는 주로 단시간에 많은 양이 내리는 비를 의미하며, 호우일수는 일강수량이 80mm 이상인 날의 연간 일수로 정의된다.

★ **강수강도** : 연중 습윤일수(일강수량이 1.0mm 이상인 날)로 나누어진 연간 총 강수량 (연강수량/ 연중 습윤일수)

33

기후변화 시나리오

미래 전지구 기온 상승 전망



현재(1981-2010) 대비 21세기 후반기(2071-2100) 전지구 기후전망

RCP 시나리오	RCP 4.5	RCP 8.5
이산화탄소 농도(2100년경)	540ppm	940ppm
기온	+2.5℃	+4.6℃
강수량	+4.1%	+5.9%
해수면 상승	+70.6cm	+88.5cm

34

우리나라 기후변화 시나리오 생산 및 제공 현황

● 우리나라 기후변화 시나리오 생산과정



35

우리나라 기후변화 시나리오 생산 및 제공 현황

● 기상청 기후정보포털 (<http://www.climate.go.kr/>)



구분	전지구 전망자료	한반도 전망자료	남한상세 전망자료	남한상세 앙상블 전망자료	기후 극한지수	행정구역별 자료
온실가스 시나리오	200년 제어적분 RCP 2.6 / 4.5 / 6.0 / 8.5 400년 제어적분 RCP 2.6 / 4.5 / 6.0 / 8.5	RCP 4.5 / 8.5 RCP 2.6 / 4.5 / 6.0 / 8.5	RCP 4.5 / 8.5 RCP 2.6 / 4.5 / 6.0 / 8.5	RCP 4.5 / 8.5 RCP 4.5 / 8.5	RCP 4.5 / 8.5 RCP 4.5 / 8.5	RCP 4.5 / 8.5 RCP 2.6 / 4.5 / 6.0 / 8.5
공간 범위	경도: 0~360 위도: -90~90	경도: 111.0~144.625 위도: 26.5~48.875	남한 지역	남한 지역	남한 지역	73개 지점, 17개 광역시도, 230개 시군구
시간 범위	1860 ~ 2100	1950 ~ 2100 (200년제어적분) 1979 ~ 2100 (400년제어적분)	2011 ~ 2100	2021 ~ 2050	2011 ~ 2100 (200년제어적분) 2021 ~ 2050 (400년제어적분)	기온, 강수량 : 2000 ~ 2100 상대습도 등 : 1950 ~ 2100
공간 해상도	약 135km	약 12.5km	1km	1km	1km	-
시간 해상도	월	일, 월	일, 월	일, 월	년	일, 월
정보 종류	기온(최고, 최저, 평균), 강수, 상대습도, 풍속	기온(최고, 최저, 평균), 강수, 상대습도, 풍속	기온(최고, 최저, 평균), 강수	기온(최고, 최저, 평균), 강수	기온지수(열대야, 폭염, 여름, 서리, 결빙일수, 식물성장기간), 강수지수(호우일수, 갈수갈도)	기온(최고, 최저, 평균), 강수, 상대습도, 기압, 풍속 등

○ 응용 시나리오 자료

- 농업분야 : 생육온도일수, 유효적산온도, 식물기간, 냉난방도일 등
- 방재분야 : 표준강수지수
- 보건분야 : 열지수, 불쾌지수, 체감온도, 체감추위지수 등
- 수자원분야 : 잠재증발산량, 유출량, 유황

36

우리나라 기후변화 미래전망 및 분석

- 한반도, 권역별, 기초지자체별 기후변화 전망 및 상세분석 보고서 발간
- RCP 4.5(온실가스 중배출 시나리오) 및 RCP 8.5(온실가스 고배출 시나리오)
- **한반도(12.5km)** 및 **남한 상세(1km)** 기후변화 시나리오를 활용하여 미래 기후변화 전망
- ※ 9개 권역 : 서울·인천·경기도, 강원도, 충청북도, 대전·충청남도, 대구·경상북도, 부산·울산·경상남도, 전라북도, 광주·전라남도, 제주도



37

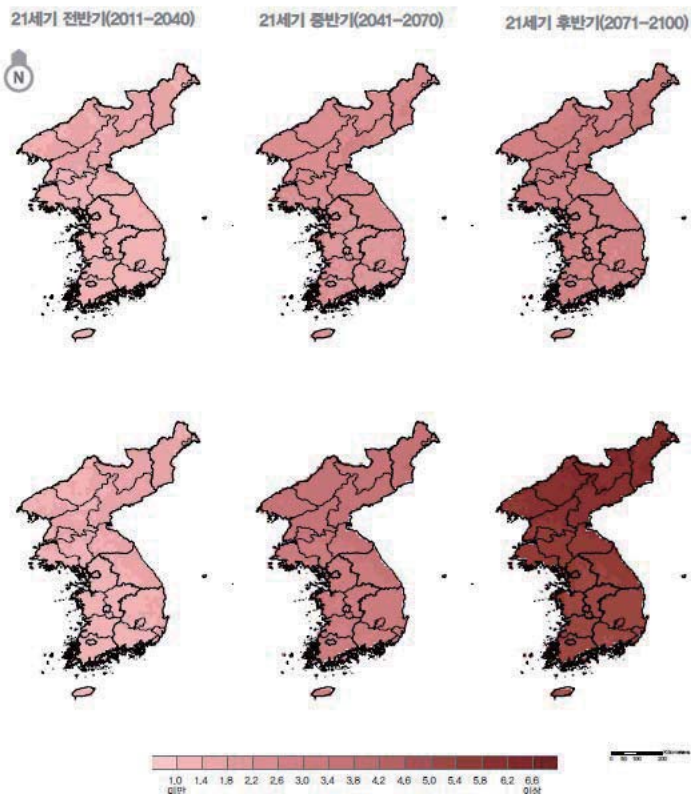
기후변화예측 및 미래전망

RCP 4.5/8.5에 따른 한반도 연평균 기온 변화

- 변화값은 현재(1981-2010년) 대비 편차값 (°C).

RCP 4.5

RCP 8.5



38

기후변화예측 및 미래전망

RCP 4.5/8.5에 따른 한반도 연평균 강수량 변화

- 변화값은 현재(1981-2010년) 대비 변화율(%)

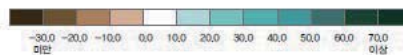
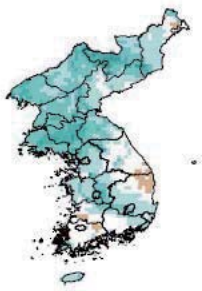
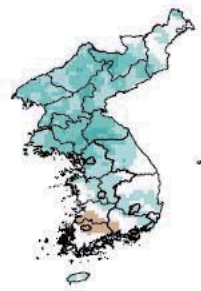
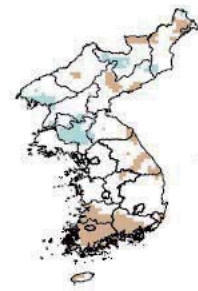
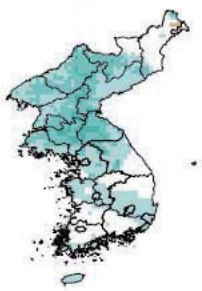
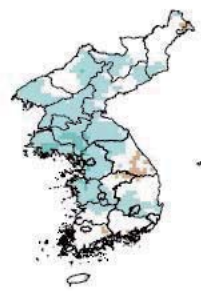
RCP 4.5

RCP 8.5

21세기 전반기(2011-2040)

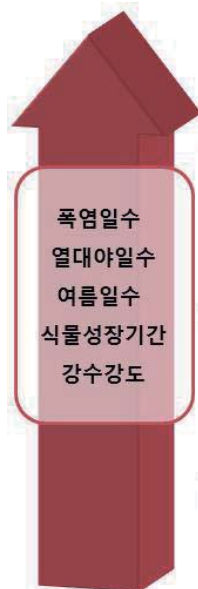
21세기 중반기(2041-2070)

21세기 후반기(2071-2100)



39

기후변화예측 및 미래전망



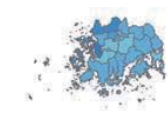
폭염일수, 호우일수(RCP8.5)

결빙일수(RCP8.5)

전반기

전반기

전반기



중반기

중반기

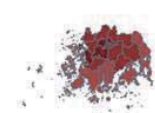
중반기



후반기

후반기

후반기



40

기후변화예측 및 미래전망

RCP 4.5 온실가스 적극적 감축

1. 기온상승속도 절반
 - 미래 100년후 2.8도 상승
2. 강수량 증가폭은 감축유무와 상관 없이 비슷하게 증가
 - 강수량 예측의 불확실성이 큼
3. 폭염, 열대야 등 극한현상의 증가속도는 크게 완화하여 온실가스 감축 효과가 큼
 - 폭염 10.1일 → 17.9일 (1.8배)
 - 열대야 3.8일 → 22.1일 (5.8배)



RCP 8.5 온실가스 배출추세 유지

1. 기후변화 속도 3배 이상
 - 과거 100년간 1.8도 상승
 - 미래 100년후 5.3도 상승
 - 21세기 후반기에 평양의 기온이 서귀포 기온(16.6℃)과 비슷
2. 21세기 후반 극한기후 더 급격히 증가
 - 폭염 10.1일 → 40.4일 (4배)
 - 열대야 3.8일 → 52.1일(14배)
 - 호우 2.3일 → 3.2일 (140%)

41

기후변화예측 및 미래전망

아열대 기후구 변화 전망

21세기 전반기(2011~2040)

21세기 중반기(2041~2070)

21세기 후반기(2071~2100)

RCP 4.5

RCP 8.5

- 트레와다 아열대 기후구란?

최한월의 평균기온이 18℃이하이면서
월평균기온이 10℃이상인 달이 8개월
이상인 경우.

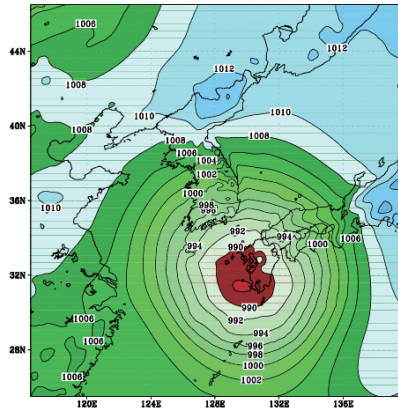
0 50 100 200 Kilometers

42

기후변화예측 및 미래전망

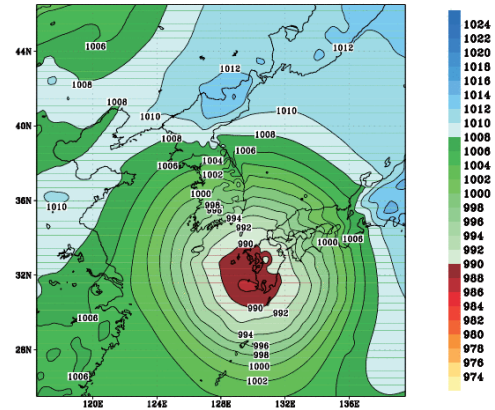
태풍 RUSA (2002)

01 hr From 06 UTC 30 Aug. 2002 SLP



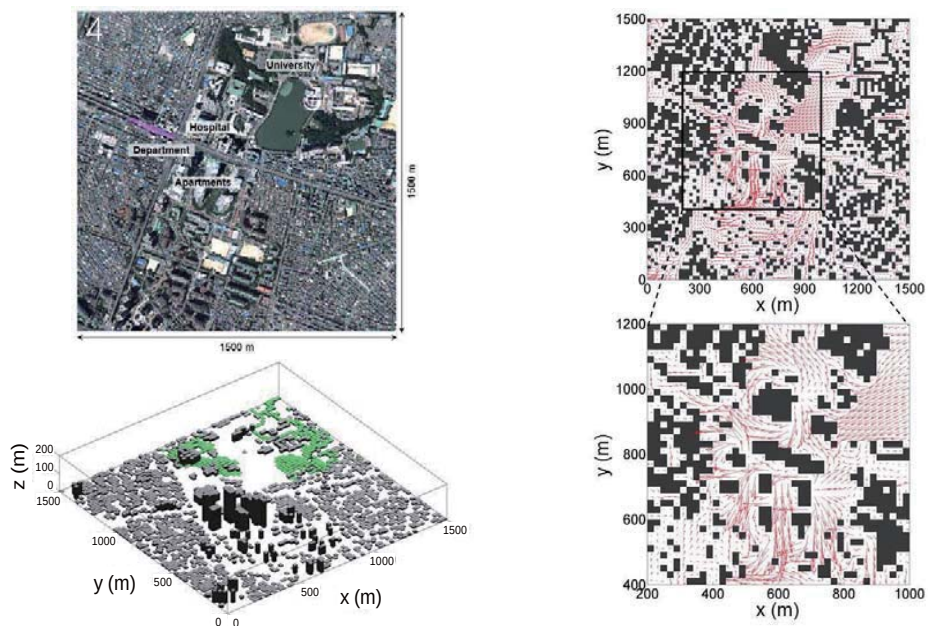
미래 태풍 (2090)

01 hr From 06 UTC 30 Aug. 2090 SLP



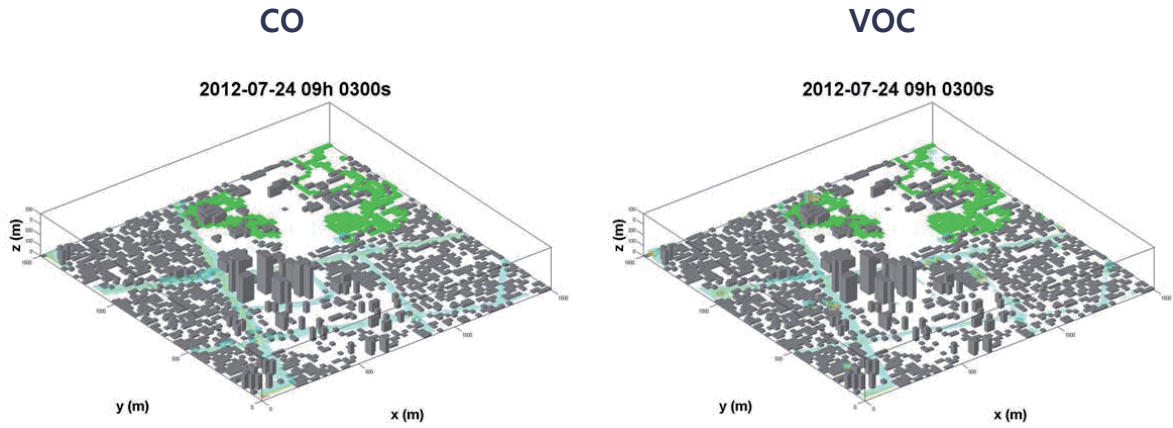
43

바람길 평가



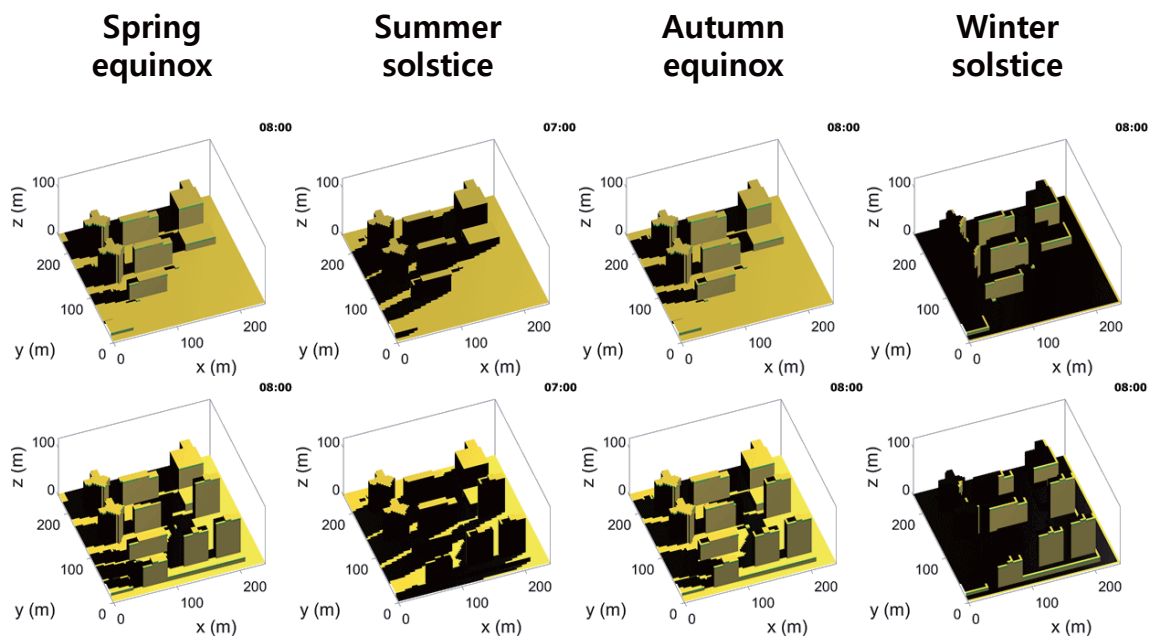
44

대기오염물질 배출 및 확산평가



45

일조환경평가

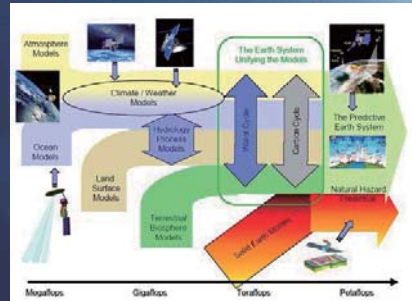


46

지구온난화 & 기후변화 대응

융복합 & 연계 & 협업

청정, 안전, 친환경, 기후변화,
재난/재해, 에너지, 스마트, ICT 등



고도정수처리 운영에 관한 사항



이경혁 K-Water

고도정수처리 이론 및 운영

K - water

이 경 혁



고도정수처리란? 1

“고도정수처리시설”이란 일반정수처리공정(응집/침전→여과→소독)인 완속 또는 급속여과공정 등으로 구성된 기존정수방법(이하 “일반정수처리방법”이라함)으로는 완전히 제거되지 않는 수돗물의 맛·냄새 유발물질, 미량유기오염물질, 암모니아성 질소, **내염소성 병원성 미생물** 등을 제거하기 위하여 생물처리, 오존처리, 활성탄처리, **정수용 막여과**, **고도산화** 등의 시설로서 환경부장관이 인정하는 시설을 말한다.



환경부 고시 2011호 (고도정수처리시설 도입 및 평가지침, 2010. 12. 28. 개정)

국내 정수처리공정 현황[2008년 기준]

정수처리공정	개 소	용 량 (m ³ /d)	일 평균 유량 (m ³ /d)
전 체	518	28,538,780	15,430,123
염소 소독 단독	12	240,500	118,294
완 속 여 과	159	545,620	380,297
급 속 여 과	298	22,234,360	12,171,545
막 여 과	7	7,500	2,475
고 도 처 리	21	5,046,500	2,487,570
기타 (직접여과)	2	1,000	735
혼용(완속&급속)	17	172,300	103,228
혼용 (급속&막여과)	1	101,000	55,951
혼용(급속&고도)	1	190,000	110,029

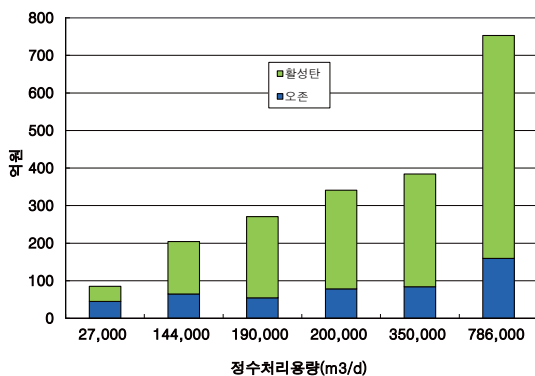
고도처리 공정은 전국 정수장 시설 용량 중 18%, 생산량 중 16%



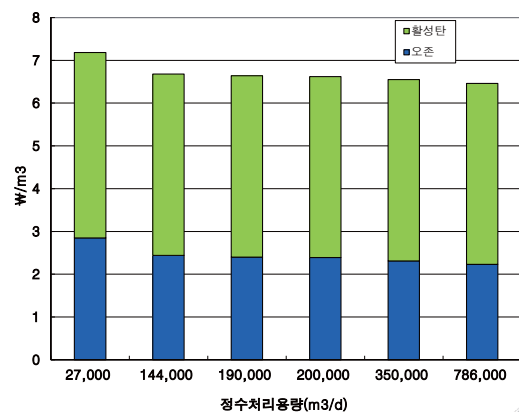
고도처리 정수장별 오존 공사비용

(단위:백만원)

용량(천 m ³ /일)	27	144	190	200	350	786
공사비	Y(2005)	M(2001)	B(2004년)	D(1999년)	I(2004년)	S(2007년)
	4,471	6,466	5,459	7,827	8,432	15,929
1.토목	205	1,042	837	2,133	1,834	6,157
2.건축	605	359	567	668	540	792
تون당공사비 (원/톤)	165,580	44,904	28,731	39,134	24,092	20,266



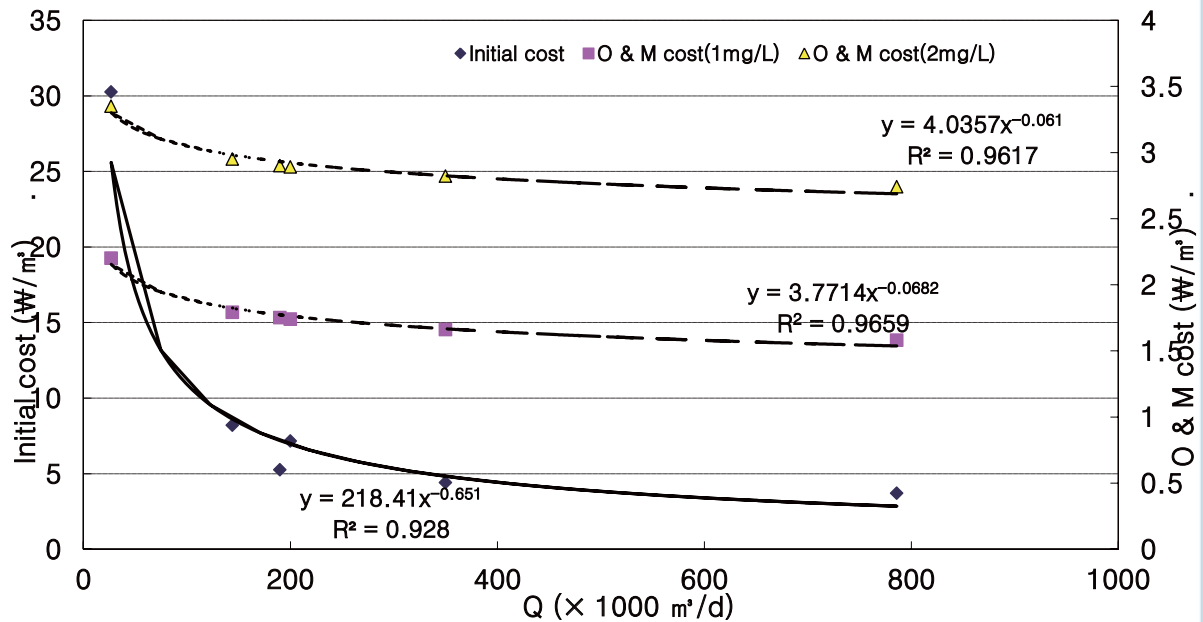
초기 투자비



운영비



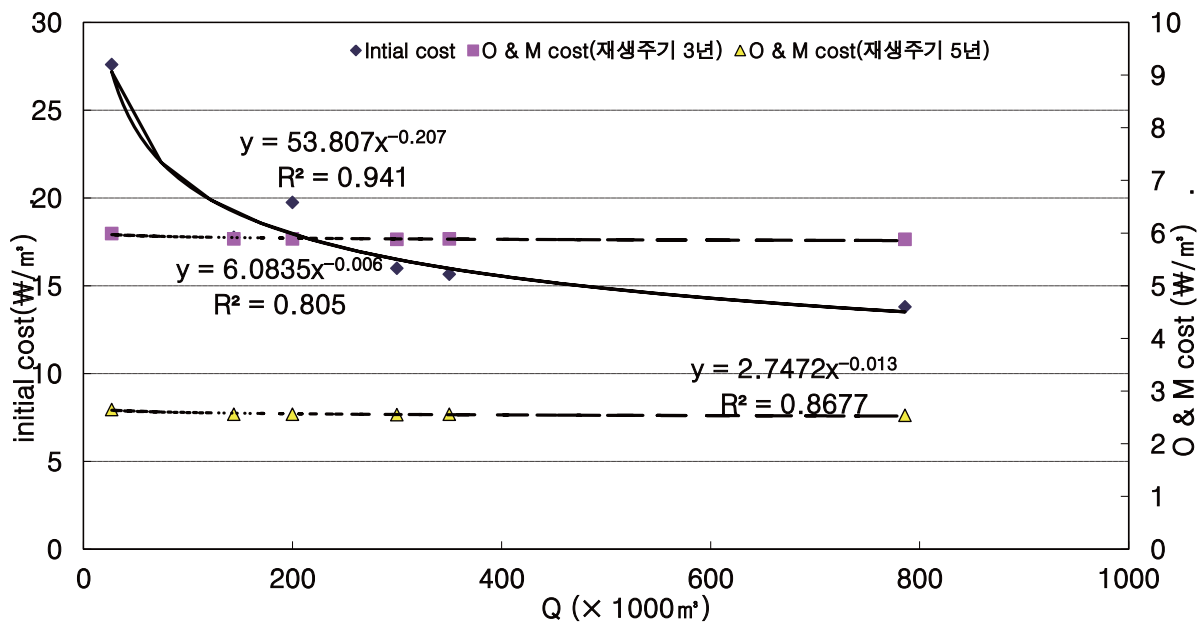
오존 공정 투자비용 비교



- 운영비 제외, 20년 운영 현가 고려
- 오존 주입농도 1mg/L(12%)
- 원단위:0.015kW/m3



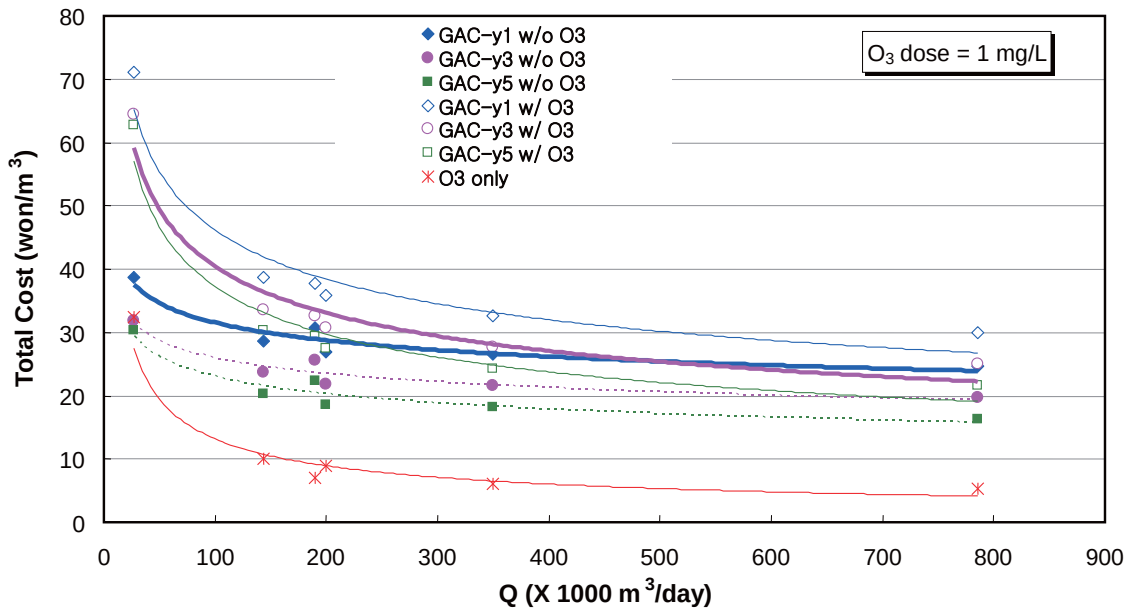
활성탄 공정 투자비용 비교



- 운영비 제외, 20년 운영 현가 고려
- EBCT 15분
- GAC:140만원/m3, 재생단가:30만원(반출입포함), 회수율 85%



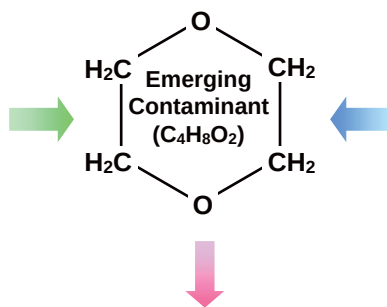
고도처리 공정 비용 비교



1,4-Dioxane이란?

Use

섬유, 피혁, 농약, 전자, 화장품, 페인트 등의 제조공정에서 유기용매의 안정제 분산제 및 용매 합성물질



Properties

무색 투명한 액체
가연성
유기용매, 기름, 물 등에 잘 녹음
분자량: 88.1
끓는점과 녹는점
101.5 & 11.8℃

Problems

지하수 및 지표수에서 고농도로 검출
생물학적 난분해성 물질
신장 및 신경계통 질환, 인체에 발암성으로 분류된 유해물질

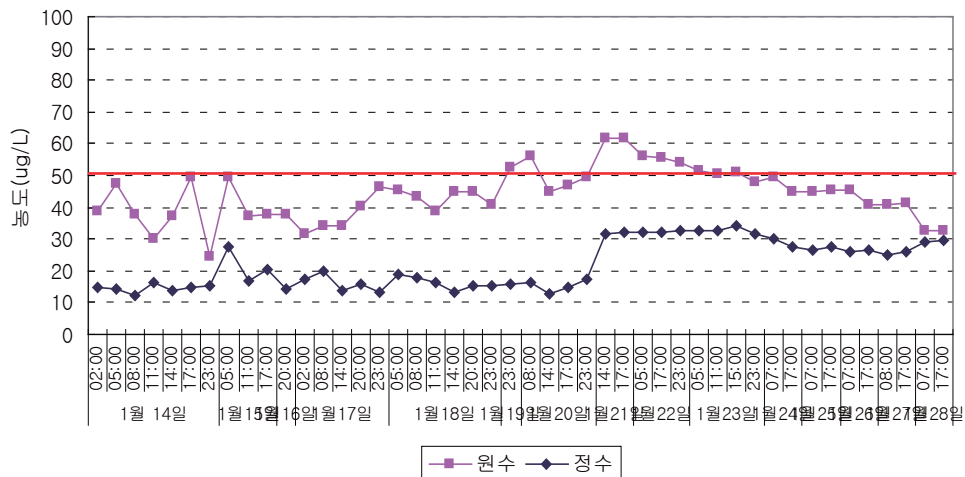
The best process?



낙동강 다이옥산[09]

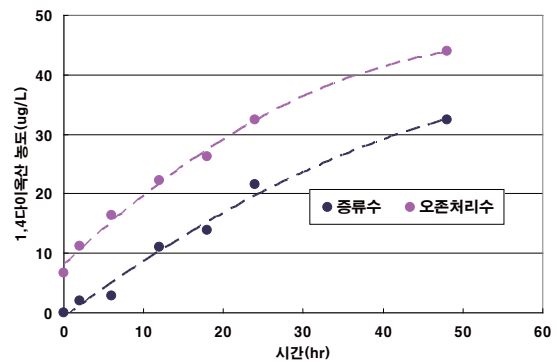
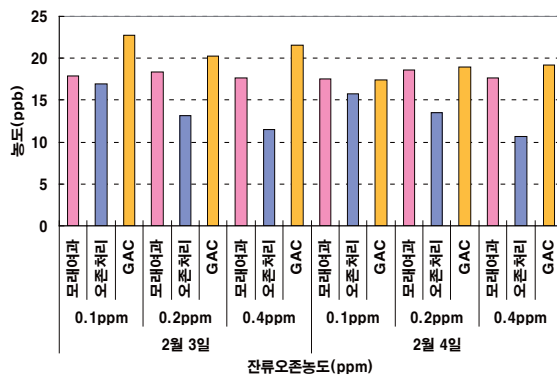
■ 정수장 처리 현황(K 정수장)

1,4-다이옥산 제거율 : 10~70%



낙동강 다이옥산[09]

■ 활성탄 누출 경향(K WTP)



- 활성탄 공정에서 지속적 누출 현상 발생
- 1,4 Dioxane의 약한 활성탄 흡착(?)력에 의한 지연 현상



조류에 의한 이취미 발생

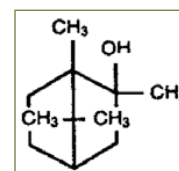
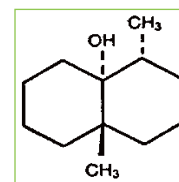
구 분		수처리 장애 내용	
		생산물질	문 제 점
남조류	<i>Mycrocystis. Sp</i>	Geosmin, microcystin	흙 냄새, 간 독
	<i>Anabaena</i>	Geosmin, Anatoxin	흙 냄새, 신경독
	<i>Nostoc. Sp</i>	Geosmin, nodularin	흙 냄새, 간독
	<i>Oscillatoria. Sp</i>	Geosmin, 2-MIB, microcystin	흙, 곰팡이 냄새, 간독
	<i>Phormidium. Sp</i>	Geosmin, 2-MIB	흙, 곰팡이 냄새
규조류	<i>Asterionella. Sp</i>	Octadine	어취, 여과장애
	<i>Synedra. Sp</i>	N-hezanal, heptanal	어취, 여과장애
	<i>Stephanodiscus. Sp</i>	Hexanal	어취
	<i>Dinobryon. Sp</i>	-	어취
	<i>Synura. Sp</i>	-	어취
	<i>Cyclotella. Sp</i>	-	어취



(참고자료) 냄새물질

● 남조류에 의한 이취미 물질

- Geosmin (흙 냄새)
 - *Anabaena. Sp*, *Microcystis. Sp*
 - 안전한 물질, 메기, 와인 발효 → 레몬즙 “산”
- 2-MIB (곰팡이 냄새)
 - *Oscillatoria. Sp*, *Phormidium. Sp*



● 규조류에 의한 이취미 물질

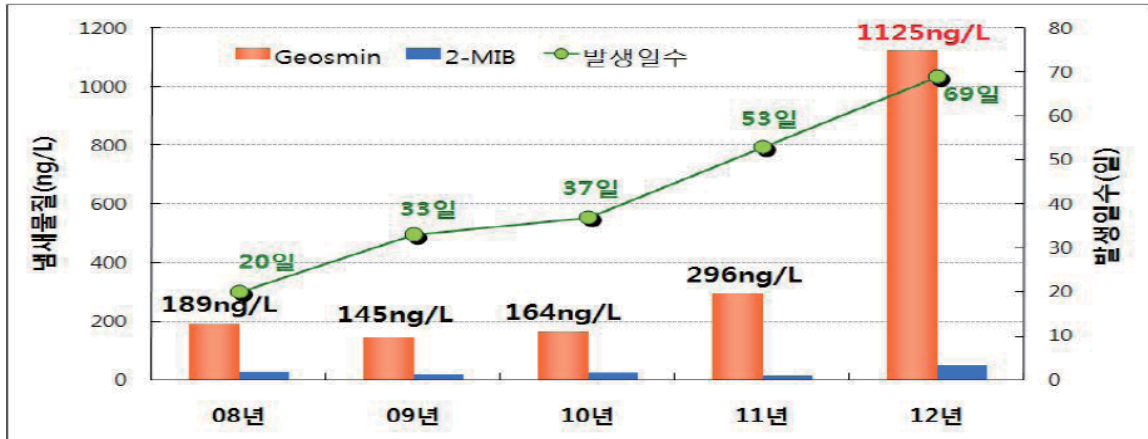
- 남조류와 같이 단일물질이 아닌 다양한 종류의 휘발성 화합물 (어패취)
 - *Cryptomonas. Sp*, *Dinobryon. Sp*, *Synura. Sp* 등



팔당호 맛,냄새 발생 추이

■배 경

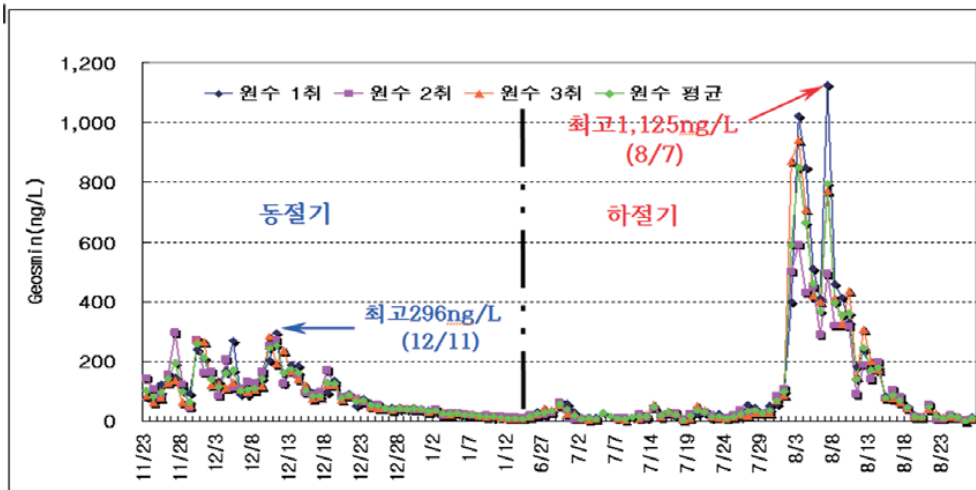
- 최근 한강수계 Geosmin 발생일수 증가(10ng/L 이상)
- Geosmin 역대 최대값 갱신



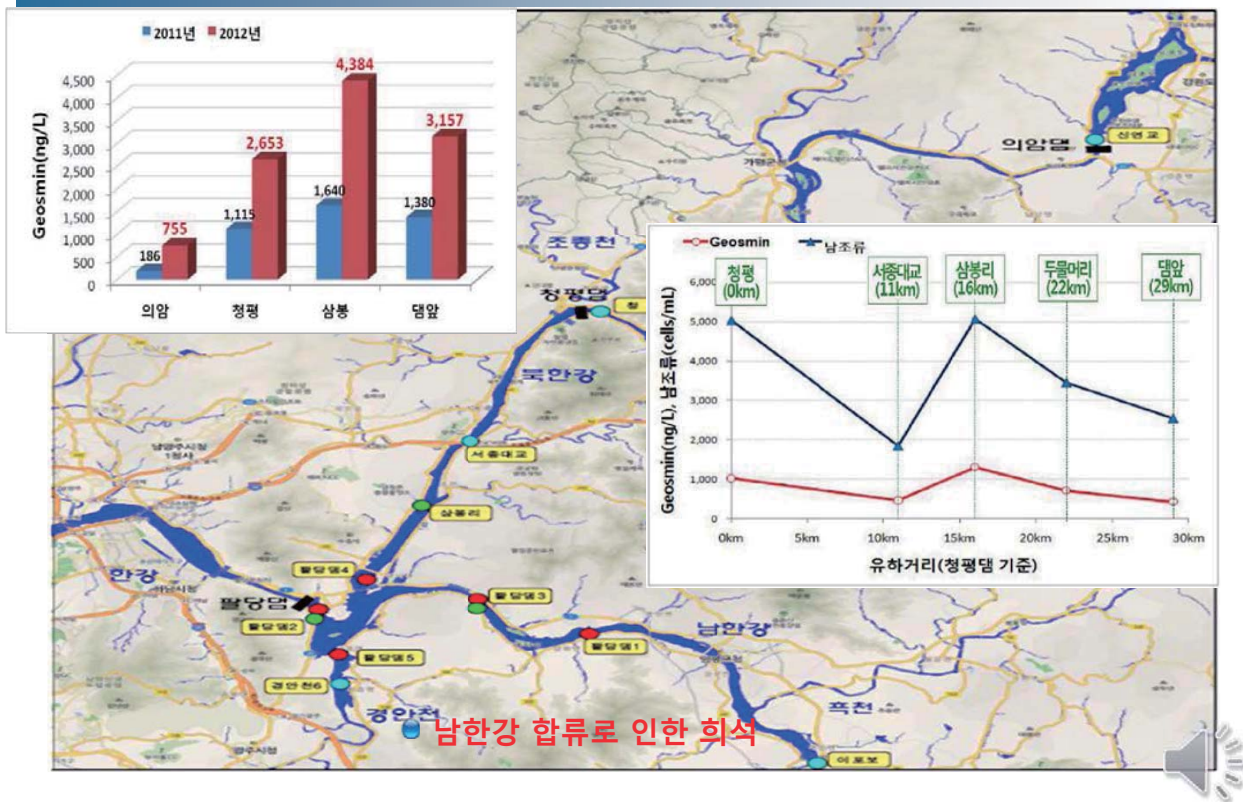
팔당호 맛,냄새 발생현황

■배 경

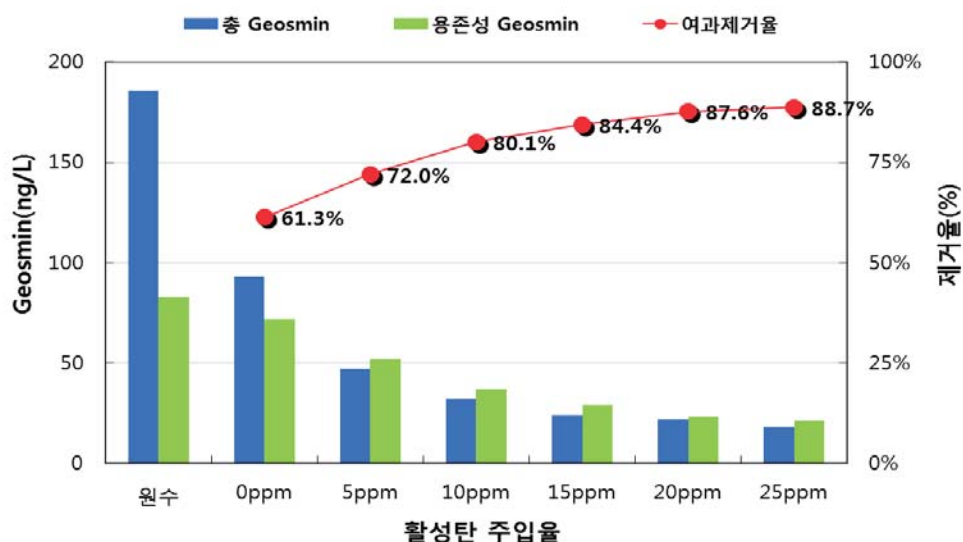
- 2012. 6. 25. Geosmin 발생 후 62일간 지속(10ng/L 이하)
- 기존 수도권 고도처리(Geosmin) 목표 농도 200 ng/L
Geosmin 200ng/L → 오존(60ng/L) → 6년 사용 GAC(<10ng/L)
- Geosmin 역대 최대값 검출 → 정수처리하는?



팔당수계 지점별 Geosmin 검출 현황

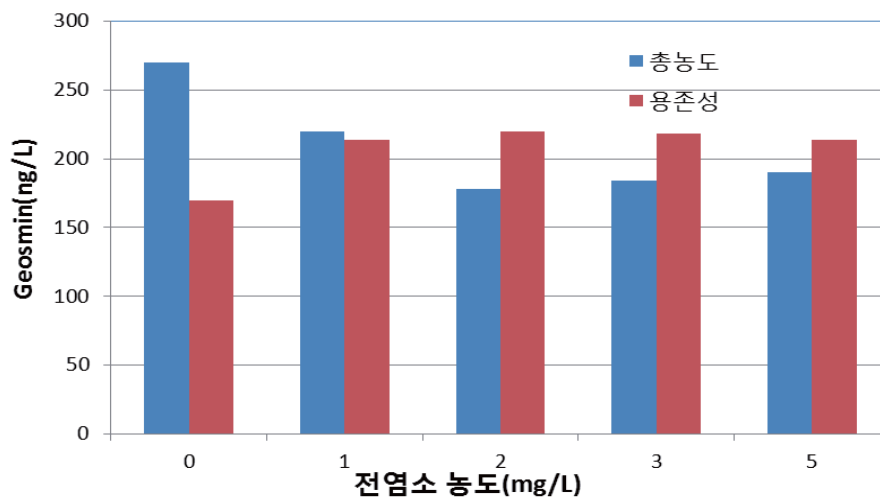


정수처리 공정 제거 특성(응집, 침전, 분말활성탄)



- 침전, 여과공정만으로 61% 수준의 제거(Jar-Test결과)
- 유입 Geosmin 농도 및 성상에 따라 제거율 차이 발생
- 분말활성탄+응집+침전+여과 공정으로 약 90% 제거 가능

정수처리 공정 제거 특성(전염소)

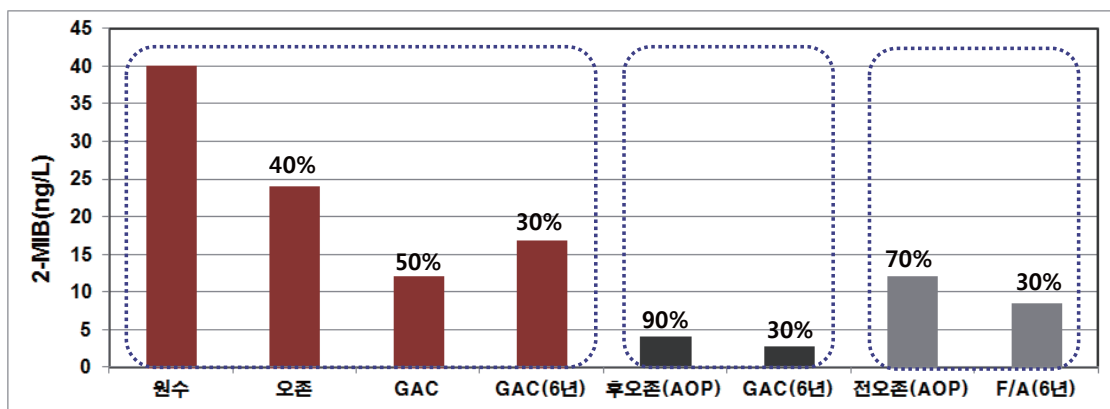


- 오존 처리에 비해 제거 효율은 낮음
- 고형 Geosmin의 용존화 관찰됨



맛, 냄새 제거를 위한 고도처리공정

■ 동절기 2-MIB 제어인자, 40ng/L 유입시(5°C)



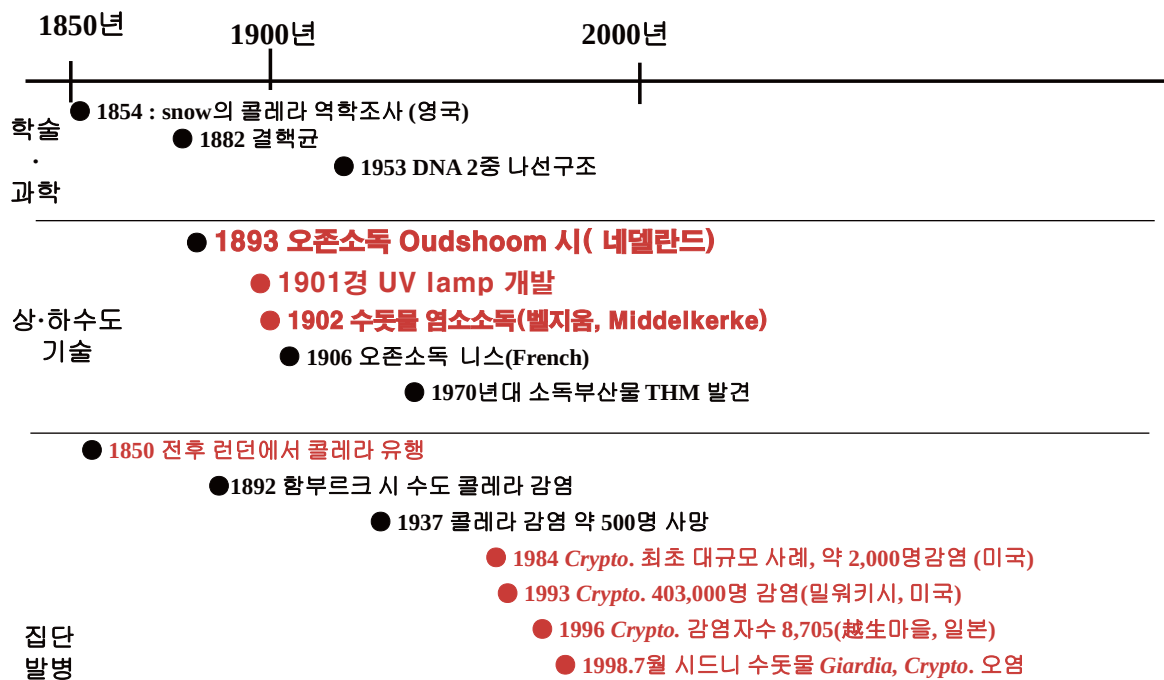
- AOP공정으로 활성탄 재생 기간 연장
- 활성탄 단독공정 적용시 2년 이하 재생 주기(50% 제거율)



미생물 주요 감염경로



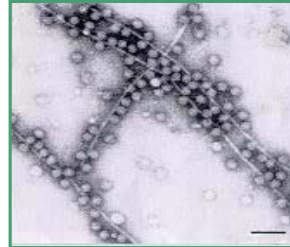
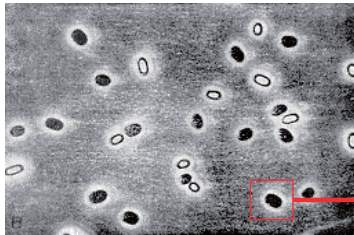
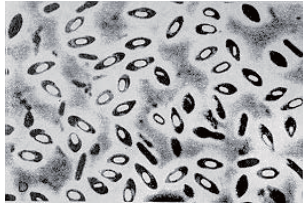
병원성 미생물과 소독 기술



물관리 대상 미생물

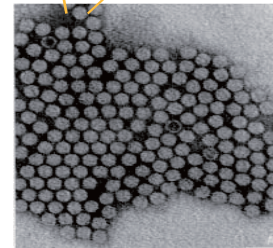
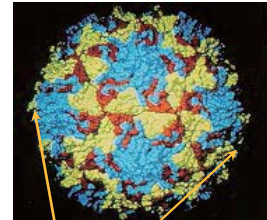
❖세균 (0.5um-2.0um)

- 염소 소독으로 해결
- 1900년대 이전부터



❖바이러스(<0.5um)

- 염소소독으로 해결
- 1970년대 이후



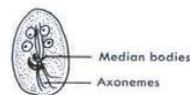
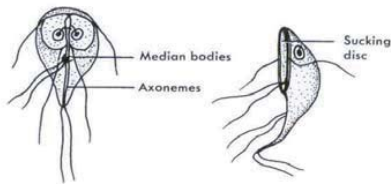
물관리 대상 미생물

❖작은와포자충(>4um)

- 염소소독으로 불가능
- 1980년 말 이후

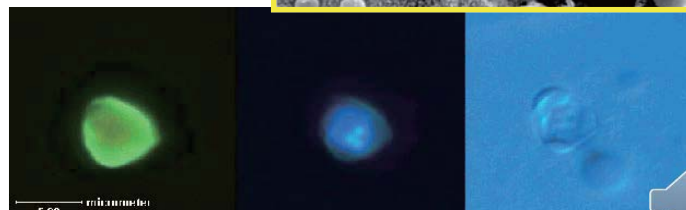


C. Parvum 4.5-5.5 μ m
C. Muris 6-8 μ m



❖람블 편모충(>8um)

- 염소소독으로 어려움
- 1970년대 이후



작은와포자충(*Cryptosporidium parvum*)

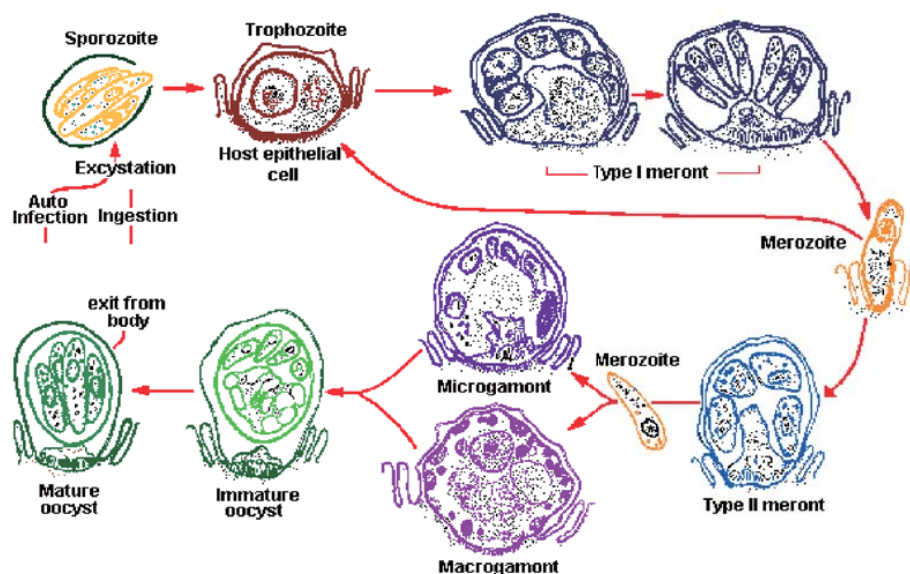
- 대표적인 세포 내 기생 원충 (intracellular protozoan)
- 사람이나 동물의 장 상피세포에 기생
- 정상인의 *C. parvum* 감염 시 일시적 설사 유발 후 1주 이내 자연치유.
- 면역억제환자의 경우, 극심한 수양성 설사를 유발하여 생명에 치명적일 수 있다.
- 자연계에서 주된 전파 경로는 동물을 통한 감염(zoonotic), 환경요인을 통한 감염 (water- and food-borne), 또는 사람을 통한 감염 (person-to-person) 이 알려져 있다.

생물학적 특성

- 외계로 배출된 난포낭 (oocyst)은 4-6 μm 크기로, 4개의 sporozoites를 가지며, 환경에 저항성 강함.
- 매우 적은 난포낭 수로도 감염 가능하다 (< 10 to 100 난포낭).
- 모든 생활사가 한 숙주에서 이루어진다.
- 살균에 저항성이 있는 것으로 알려져 있다.
- 현재까지 효과적인 약제가 개발되어 있지 않다.
- 자연계 보유숙주는 사람, 동물을 포함하여 매우 광범위하다.



작은와포자충의 생활사



서울 및 전라남도 일부 지역 주민을 대상 작은와포자충 감염률 조사 (서울대 의과대학)

- 서울 8 지역과 전라남도 11 지역 (시단위 4지역 및 군단위 7지역)으로부터 수집한 3,146 개 표본 대상 진단: Modified acid-fast 염색

Table. Overall *C. parvum* oocyst positive rate of the surveyed population (Chai et al., 1996)

District	No. exam.	No. positive	Positive rate (%)
Seoul	853	4	0.5
Chollanam-do	2,293	244	10.6
Total	3,146	248	7.9

* Cited from Chai et al.(1996) *Korean J Parasitol* 34(2): 113-119



전라남도 도시 지역 주민 작은와포자충 감염률 조사 (서울대 의과대학)

* Cited from Chai et al.(1996) *Korean J Parasitol* 34(2): 113-119

Area	No. exam	No. positive	Positive rate (%)
Urban areas			
Mokpo-si Sosan-dong	209	6	2.9
Mokpo-si Taesong 2-dong	138	7	5.1
Yeosu-si Kwanmun-dong	172	1	0.6
Yeosu-si Kuk-dong	232	14	6.0
Subtotal	751	28	3.7



전라남도 농촌 지역 주민 작은와포자충 감염률 조사 (서울대 의과대학)

* Cited from Chai et al.(1996) *Korean J Parasitol* 34(2): 113-119

Area	No. exam	No. positive	Positive rate (%)
Rural areas (myon)			
Haenam-gun (Kygok)	184	33	17.9
Naju-si (Pannam)	275	17	6.2
Jangheung-gun (Changhung)	253	22	8.2
Sungju-gun (Pyollyang)	236	26	11.0
Hwasun-gun (Iyang)	185	74	40.0
Gokseong-gun (Okkwa)	182	17	9.3
Yochon-gun (Sora)	227	27	12.0
Subtotal	1,542	216	14.0
Total	2,293	244	10.6



전남 화순군 이양면 주민 대상 2차 조사(서울대 의대)

- 1995년 4월, 이 지역 주민을 대상으로 2차 조사 실행
 - 인체 감염원을 파악하기 위해 가구 내에서 사육하는 15마리의 소를 조사함.
 - => 14 마리의 소 (93.3%)에서 난포낭 양성
 - => 이 지역 주민들의 높은 양성율은 감염된 소와의 접촉 및 감염된 소나 사람에서 배출되는 난포낭이 오염된 식수 음용과 연관이 있을 것으로 추정함.



화순군 성별 연령별 작은와포자충 감염률 조사 (서울대 의과대학)

Age	No. males	No. female	Total (%)	No. positive (%)
0-9	5	2	7 (5.2)	2 (28.6)
10-19	6	3	9 (6.7)	1 (11.1)
20-29	2	1	3 (2.2)	0 (0.0)
30-39	2	4	6 (4.4)	3 (50.0)
40-49	4	2	6 (4.4)	2 (33.3)
50-59	7	18	25 (18.5)	20 (80.0)
60-69	14	28	42 (31.1)	29 (69.0)
≥70	16	21	37 (27.4)	20 (54.1)
Total	56	79	135 (100.0)	77 (57.0)

* Cited from Chai et al.(2001) *Am J Trop Med Hyg* 65(2): 518-522



Unreported Cases

Table. *C. parvum* positive cases detected in the Department of Parasitology, Seoul National University (unpublished data)

Year	Age (Sex)	Year	Age (Sex)
1995	54 (M)	1996	3 (F)
	42 (M) HIV+		72 (M)
	61 (M)		49 (M)
	70 (F)		71 (M)
	53 (F)		53 (F)
	57 (F)	1997	73 (F)
	20 (F)		14 (M)
	34 (M) HIV+		1 (M)
1996	37 (M) HIV+	1998	29 (M) HIV+
	58 (F)		42 (M) HIV+
	55 (F) HIV+	1999	8 (M)
	68 (M)	2001	43 (F) HIV+
		Total	24 cases



불활성화비 계산방법 및 정수처리 인증 등에 관한 규정

- 정수처리기준 (2011. 6. 2.) 폐지
- “불활성화비 계산방법 정수처리 인증 등에 관한 규정 ” 고시
환경부고시 제 2012-185호(2012. 9. 6.)

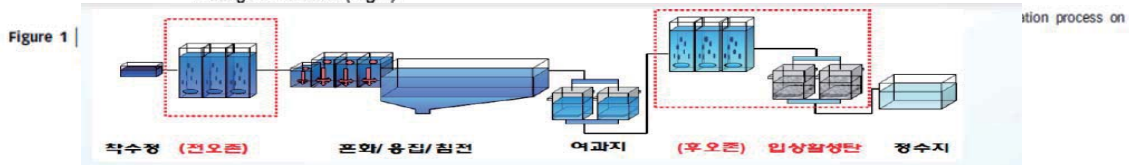
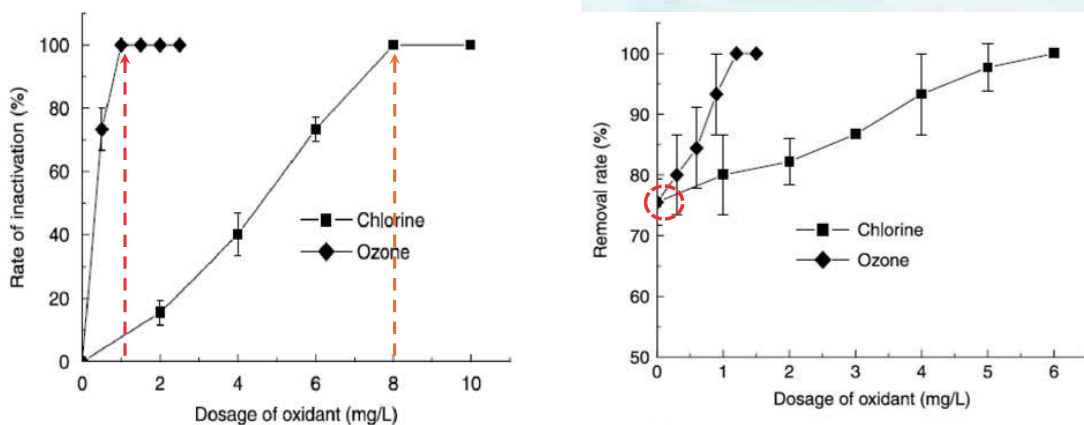
여과방식	최소제거 및 불활성화 기준		여과공정에 의한 제거율		소독공정에서 요구되는 불활성화율	
	바이러스	지아디아 포낭	바이러스	지아디아 포낭	바이러스	지아디아 포낭
급속여과	4 log	3 log	2 log	2.5 log	2 log	0.5 log
직접여과			1 log	2 log	3 log	1 log
완속여과			2 log	2 log	2 log	1 log
MF			0.5 log	2.5log	3.5 log	0.5 log
UF			3 log	2.5log	1 log	0.5 log
NF,RO			4 log	3 log	0	0

*크립토스포리디움은 모두 2Log 인정



소독공정에 의한 유충(Chironomid larvae) 불활성화율

Xing-Bin Sun and Fu-Yi Cui, Water Science & Technology:Water Supply(2008)

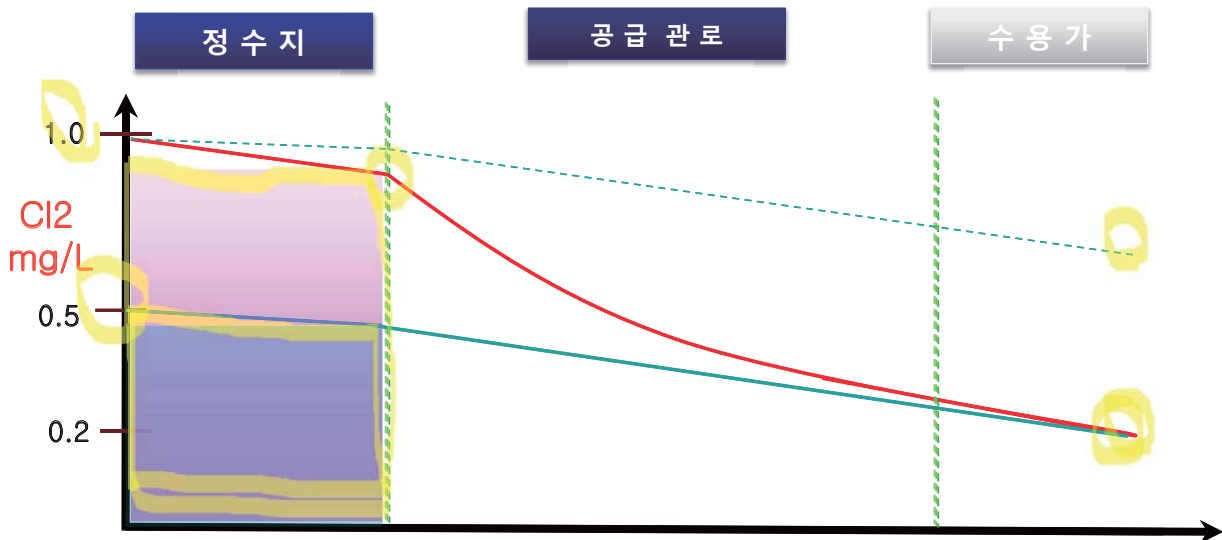


- 유충 100% 불활성화율 : 오존(30 mg/L·min), 염소(240mg/L·min)
- 혼화,응집 공정에 의한 유충제거율 : 75%
- 혼화,응집 병행 전오존(염소)공정 제거율 상승 효과 : 25%

소독제농도(mg/L) X 체류시간 (min)



고도정수공정 운영시 소독공정 대처 방안



- 고도정수처리 도입으로 염소 소비량 감소-> 정수지 염소 투입량 저감
- 겨울철 정수지 지아디아 소독능 확보 부족



오존의 물리적 특성

분자식	O ₃	산화전위	-2.07 eV
분자량	48.0	냄새감지	0.02 ppm
비 중	2.14 (공기1.29)	용해도	1.09g/l(0℃), 0.57 g/l(20℃)
끓는점	-112 ℃	대기허용농도	0.1ppm

OH (2.85eV), H₂O₂ (1.77eV), MnO₄ (1.69eV),
HClO (1.63eV), Cl₂ (1.36eV), K₂Cr₂O₇ (1.33eV)

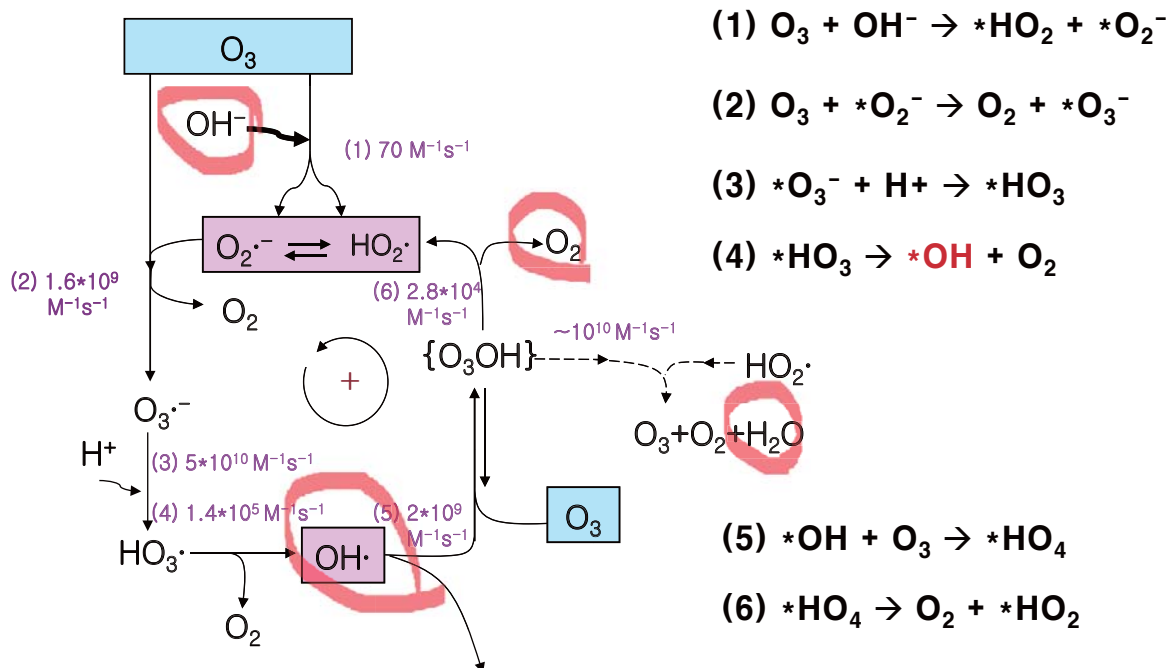


정수처리에서 오존의 이용목적

소 독	바이러스, 박테리아, 원생동물 등
산 화	- 용존 철, 망간 제거 - 색도 제거, 맛.냄새 제거 - 유기물 분해 : 농약류, 페놀, 세제, THM 전구 물질 등 - 무기물질 분해 (Cyanides, Sulfides, Nitrites) - 응집효율 향상, 생분해성 향상 - 부유물질 제거



오존의 분해 반응



Reaction of Aqueous Ozone in "Pure Water"



오존의 pH 영향

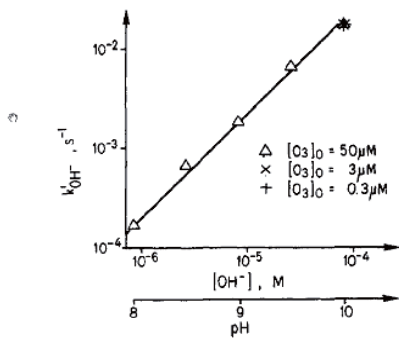
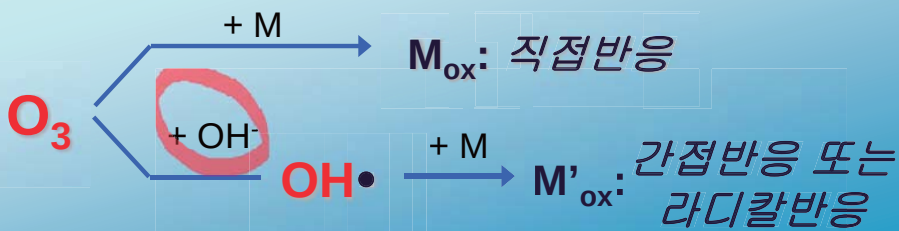
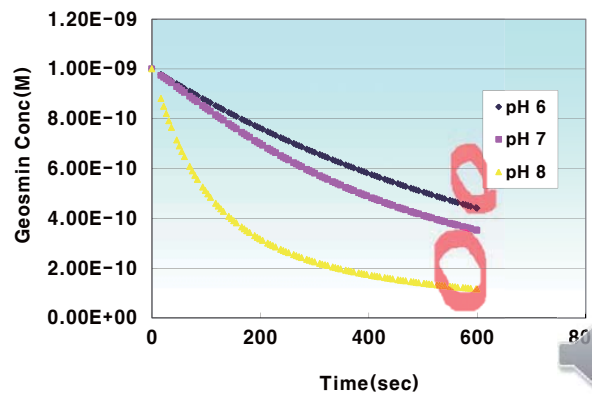
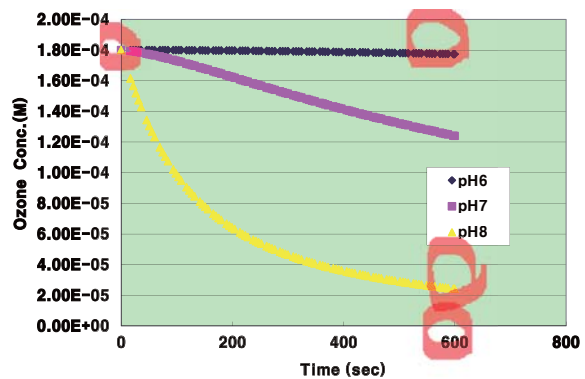


Figure 4. Measured pseudo-first-order rate constant for the decomposition of ozone vs. hydroxide ion concentration. A pH scale is given for comparison. $[\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] = 10 \text{ mM}$; $[\text{PO}_4]_{\text{tot}} = 50 \text{ mM}$.

- pH ↑ : 잔류 오존 ↓, CT제어 어려움
- pH ↓ : OH 라디칼 발생 ↓, 유기물 제거 효율 저하



$\text{O}_3 \rightarrow$ 선택적 반응, $k_{\text{O}_3} \sim 0.1 - 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ S}^{-1}$

$\text{OH}^\bullet \rightarrow$ 비선택적 반응, $k_{\text{OH}} \sim 10^6 - 10^{11} \text{ M}^{-1} \text{ S}^{-1}$

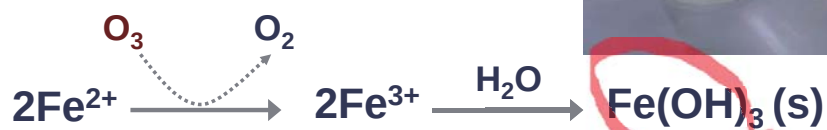
• Rate Constants with Ozone

Chemicals	$k_{O_3} (M^{-1}s^{-1})$	$k_{OH} (M^{-1}s^{-1})$
Alkanes	$10^{-3} \sim 1$	$10^6 \sim 10^9$
Olefines	$1 \sim 10^5$	$10^8 \sim 10^{11}$
Aromatics	$1 \sim 10^3$	$10^8 \sim 10^{10}$
Phenols	$10^3 \sim 10^6$	$10^9 \sim 10^{10}$
Aldehydes	$1 \sim 10$	10^9
Ketones	$10^{-2} \sim 1$	$10^9 \sim 10^{10}$
Alcohols	$10^{-2} \sim 1$	$10^8 \sim 10^9$
Carboxylic acids	$10^{-5} \sim 10$	$10^7 \sim 10^9$
N-containing organics	$10^2 \sim 10^7$	$10^9 \sim 10^{10}$
S-containing organics	$10 \sim 10^5$	$10^8 \sim 10^{10}$
Pesticides	$10 \sim 10^2$	$10^8 \sim 10^{10}$



무기물과 오존과의 반응

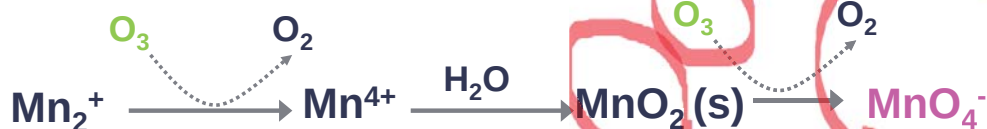
■ 철 제거



이론적 당량 비: 0.43mg O_3 /mg Fe



■ 망간 제거



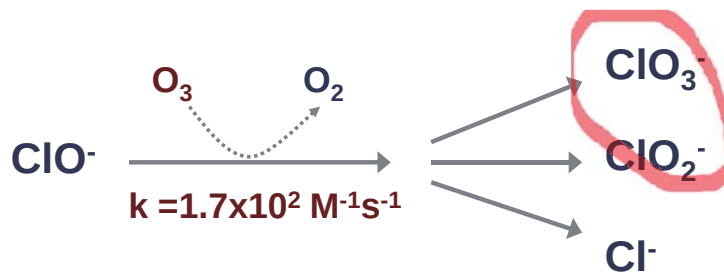
이론적 당량 비: 0.88mg O_3 /mg Mn



■ 암모니아와 아질산 산화

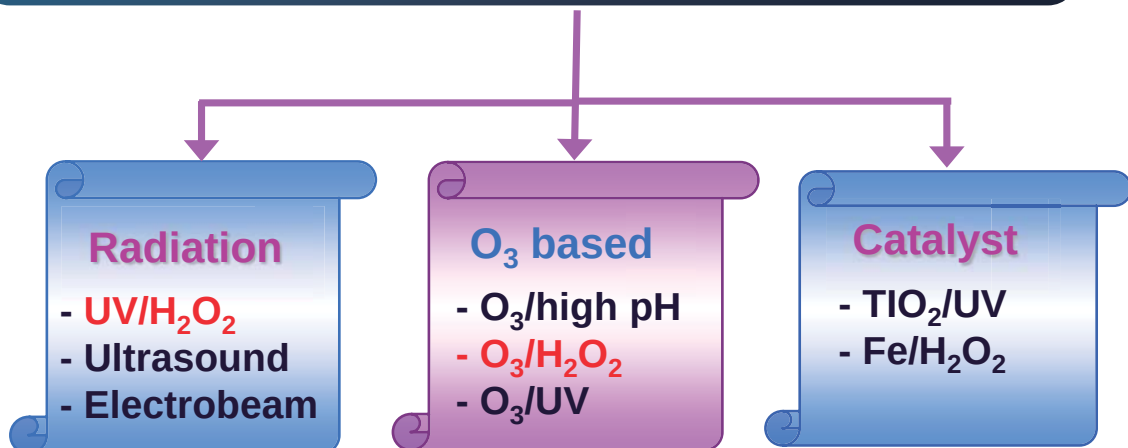


■ 차염소산의 산화



● 고급산화법(AOP)란?

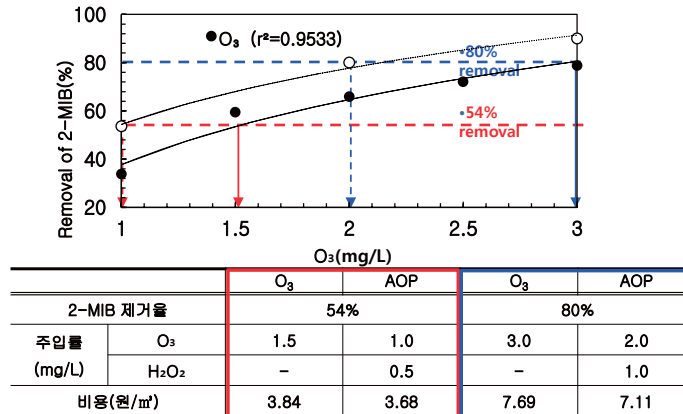
상온, 상압하에서 인위적으로 오존의 분해를 유발시키거나 광분해 등과 같은 방법으로 반응성이 높은 OH라디칼을 생성시켜 유기물을 산화하는 공정



오존/과산화수소 실공정 적용 방안

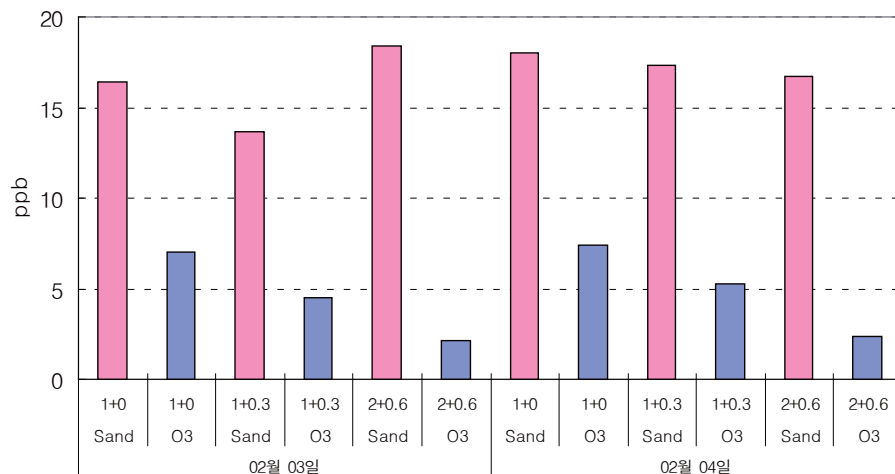
<Step 3> O₃/AOP 경제성 분석(2-MIB)

- ✓ (54%제거율) 오존 1.5 vs 오존 1.0/과수비 0.5 ⇨ AOP공정 0.16원/m³절감
- ✓ (80%제거율) 오존 3.0 vs 오존 2.0/과수비 0.5 ⇨ AOP공정 0.58원/m³절감



낙동강 다이옥산[09]

■ 1,4 다이옥산 제어를 위한 오존/과산화수소 AOP 현장 적용

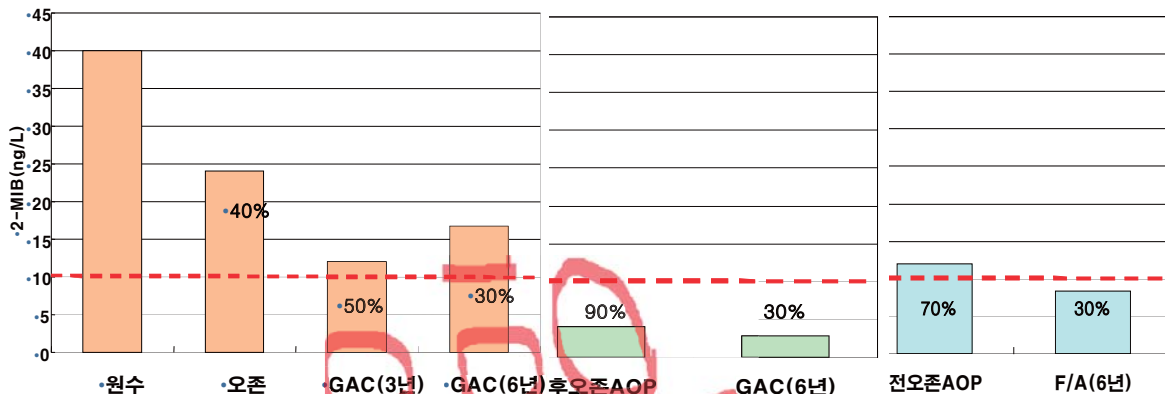


구 분 (O ₃ +H ₂ O ₂)	1mg/L+0.0mg/L		1mg/L+0.3mg/L		2mg/L+0.6mg/L	
	1회차	2회차	1회차	2회차	1회차	2회차
제거효율	57.3%	58.9%	67.2%	69.4%	88.6%	85.6%
평균제거율	58.1%		68.3%		87.1%	



맛,냄새 제거를 위한 수도권 고도처리 공정

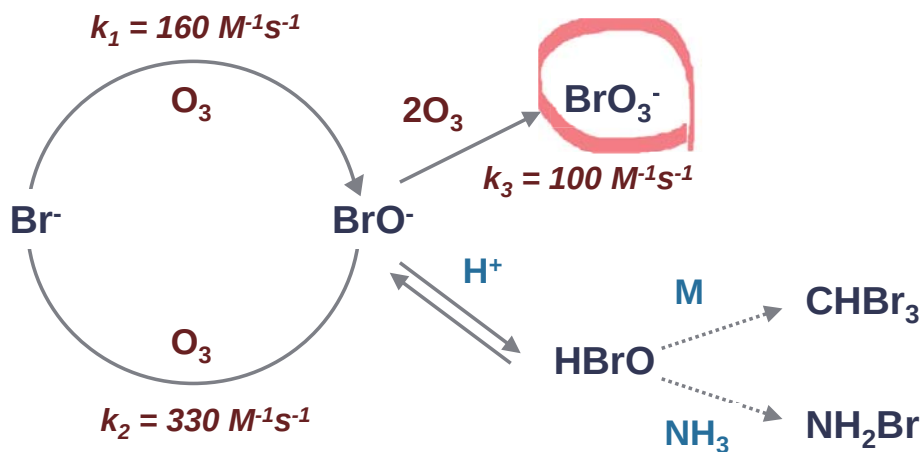
■ 동절기 2-MIB제어 인자, 40ng/L 유입시 [5℃]



- AOP공정으로 활성탄 재생 기간 연장
- 활성탄 단독공정 적용시 2년 이하 재생 주기(50% 제거율)
- AOP공정은 일시적 운영 가능



■ 브롬이온의 산화

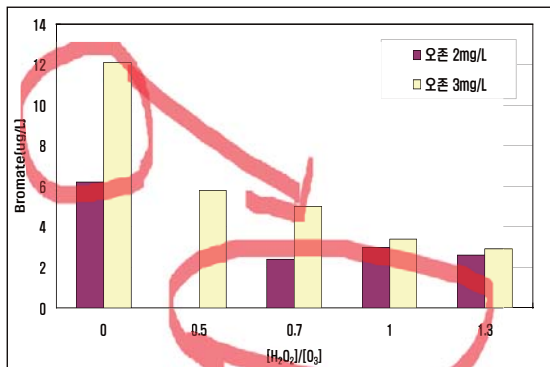


오존/과산화수소 AOP공정에 의한 Bromate제어

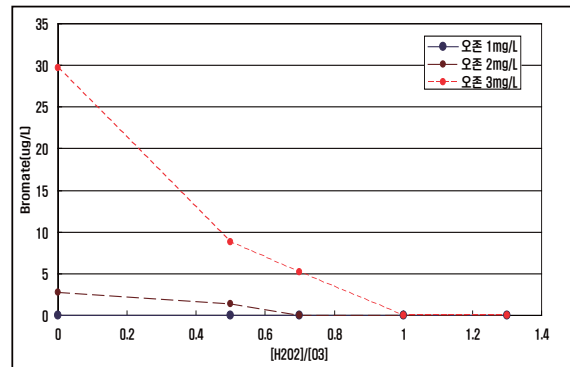
● 브로메이트 생성 제어 [창원 Pilot]

- 동절기가 하절기보다 브로메이트 생성능 다소 증가
 - 동, 하절기 오존 단독으로 3mg/L 이상 주입시 브로메이트 10 μ g/L 초과
 - 과수 주입시 브로메이트 10 μ g/L 이하로 생성력 억제효과 있음
- ※ Bromide 140 μ g/L 주입 조건

하 절 기



동 절 기



● 오존반응 부산물

ALDEHYDES*	Aldo- and Ketoacids
Formaldehyde	Pyruvic acid
Acetaldehyde	Brominated Byproducts***
Glyoxal	Bromate ion
Methyl Glyoxal	Bromoform
Carboxylic Acids**	Brominated acetic acids
Oxalic acid	Bromopicrin
Succinic acid	Brominated acetonitriles
Formic acid	Others
Acetic acid	Hydrogen peroxide

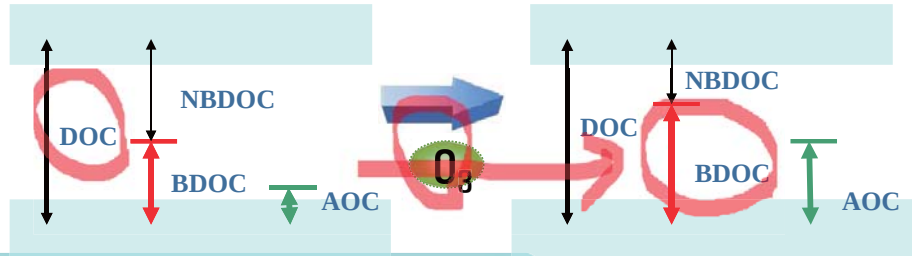
*불포화결합 유기화합물과의 오존산화반응으로 생성

** aliphatic, aromatic heterocyclic 유기물과의 오존산화반응으로 생성

***Brominated byproducts are produced only in waters containing Br

오존의 생물학적 분해능

AOC(Assimilable Organic Carbon) Vs. BDOC(Biodegradable Organic Carbon)



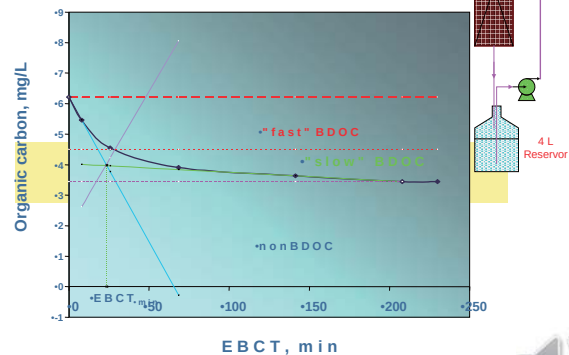
AOC 분석 균주:

- *Pseudomonas fluorescens* P17, *Spirillum* NOX
- Carboxylic acids, Pyruvate 등 저분자 유기산 섭취
- 농도 표현: $\mu\text{g/L}$ as C-Acetate

AOC기준? 생물학적 재증식 안정성

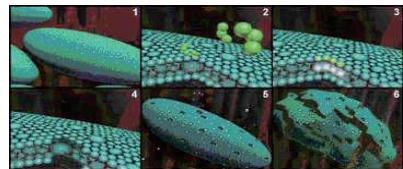
- AOC 100 $\mu\text{g/L}$ 이하 (후염소 처리시)
- AOC 10-20 $\mu\text{g/L}$ 이하(소독공정 없는경우)

*(LeChavallier et al. 1991)



오존의 소독효과

- 오존 분자에 의한 세포벽 파괴
- OH 라디칼에 의한 세포벽 손상
- 오존 분자에 의한 DNA 파괴
- 오존 분자에 의한 세포 구성체(핵, 리보솜) 파괴



CT values for 2log(99%) Inactivation

	오존 (pH 6~7)	염소 (pH 6~9)	클로아민 (pH 8~9)	ClO_2 (pH 6~7)
<i>E.coli</i>	0.02	0.034~0.05	95~180	0.4~0.75
Poliovirus	0.1~0.2	1.1~2.5	770~3,740	0.2~6.7
<i>Giardia lamblia</i>	0.5~0.6	47~150	-	-
<i>Cryptosporidium</i>	2.5~3.0	7,200	7,200	78

오존 발생 방식 및 접촉조

공기 공급방식
(21% O₂)

PSA 방식
(Pressurized Swing Adsorption)
(97% O₂)

액체산소 방식
(LOX)
(99.5% O₂)



오존발생농도

4 ~ 6%

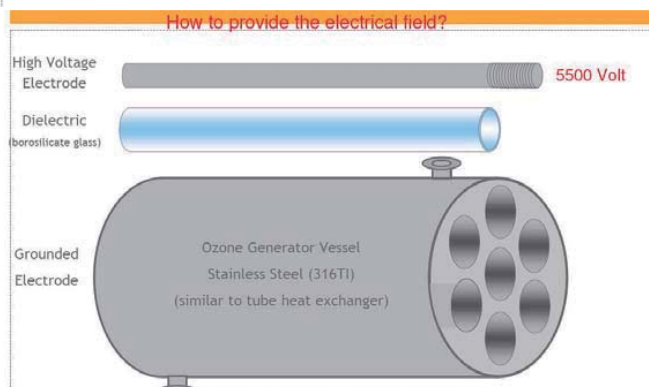
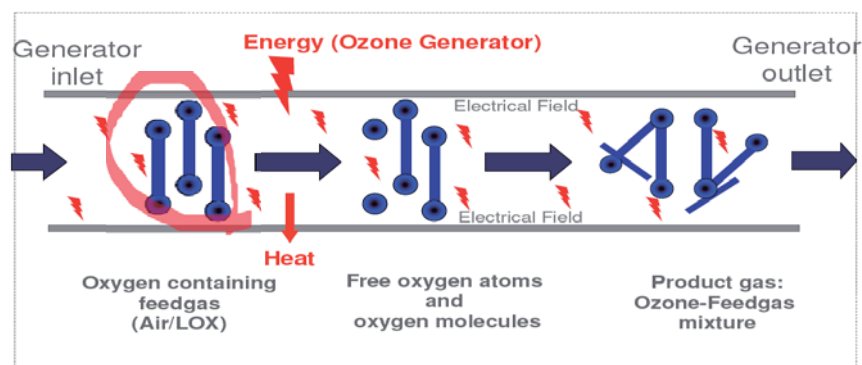
질소 제거
흡착탑
(PSA)

10~11%

6~12%



오존 발생기(냉각방식 결정)



이론적 오존 발생기 열발생량
27,269 BTU/kg O₃

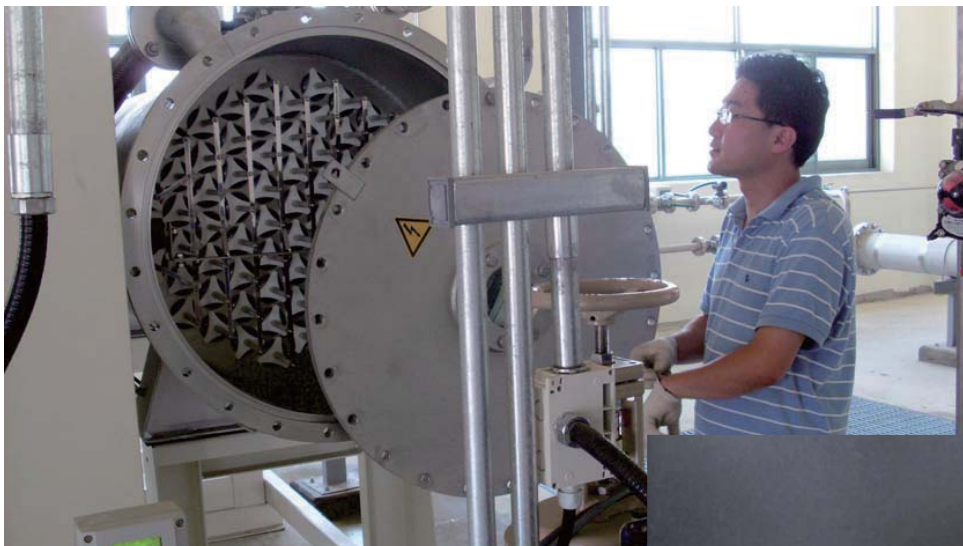
PSU 열손실 약 10%내외 -> 발생기 자체
캐비닛 냉각 필요



오존 발생기 방전관 변천사

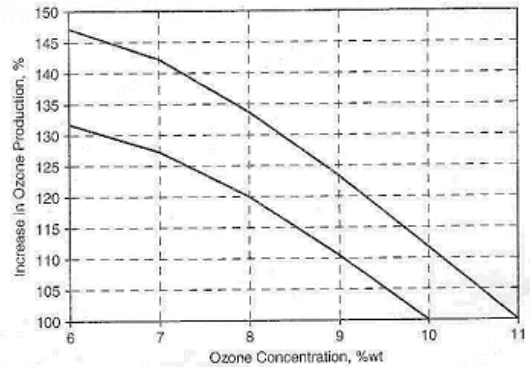
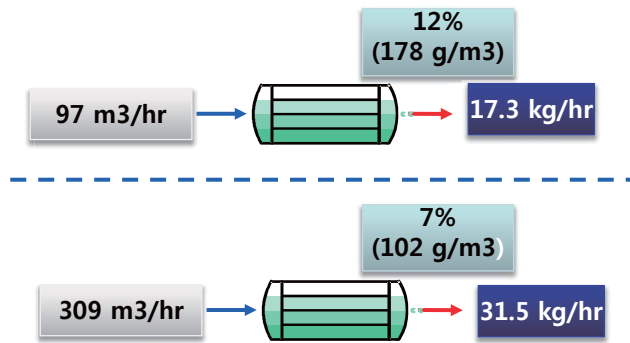


오존 발생기



오존 발생기 특성(예: 성남 정수장)

■ 발생농도(%) ↓ → 생산량(kg/hr) ↑

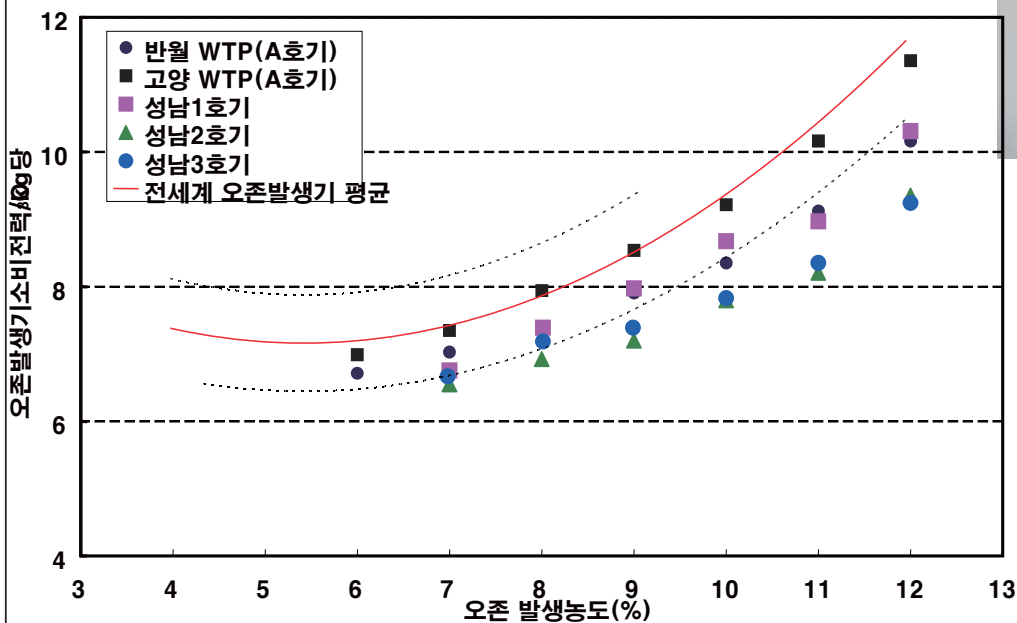


	생산량(kg/hr)	12% 생산량(kg/hr)	7% 생산량(kg/hr)	30만톤/일 주입농도(mg/L)	65만톤/일 주입농도(mg/L)
최소	1.2	1.2	—	0.1	0.04
최대	94.5 kg/hr	62	94.5	7.6	3.5

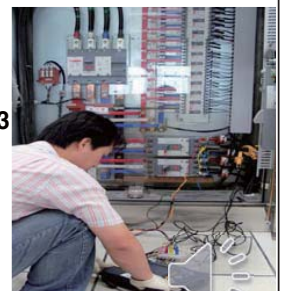
• 냉각수온도 고려 : 26℃ • 발생기 최소 가스량 고려



오존 발생기 전력소비량



- 동일 정수장 동일 모델 오존 발생기의 효율 차이
- 오존발생기 전력비용 최소화를 위해 전력 소모량 모니터링 필요



냉각 방법 및 대수 운영 로직 고려

■ 오존 발생기 교차운전

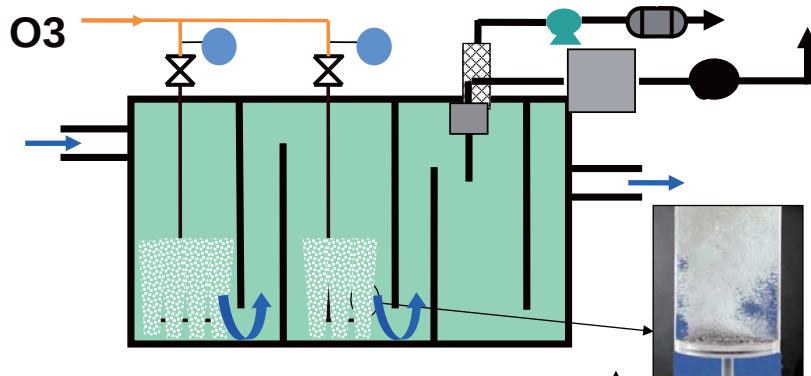


- 가동 시간에 따른 운영 시퀀스 조정 or 재가동시 발생기 우선순위 설정

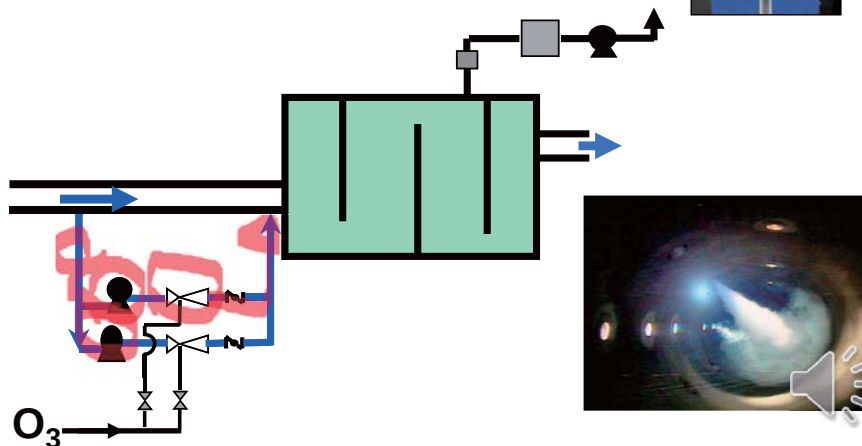


오존 접촉조 비교

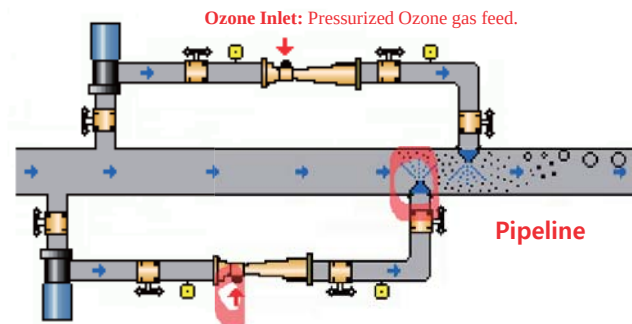
산기관 방식



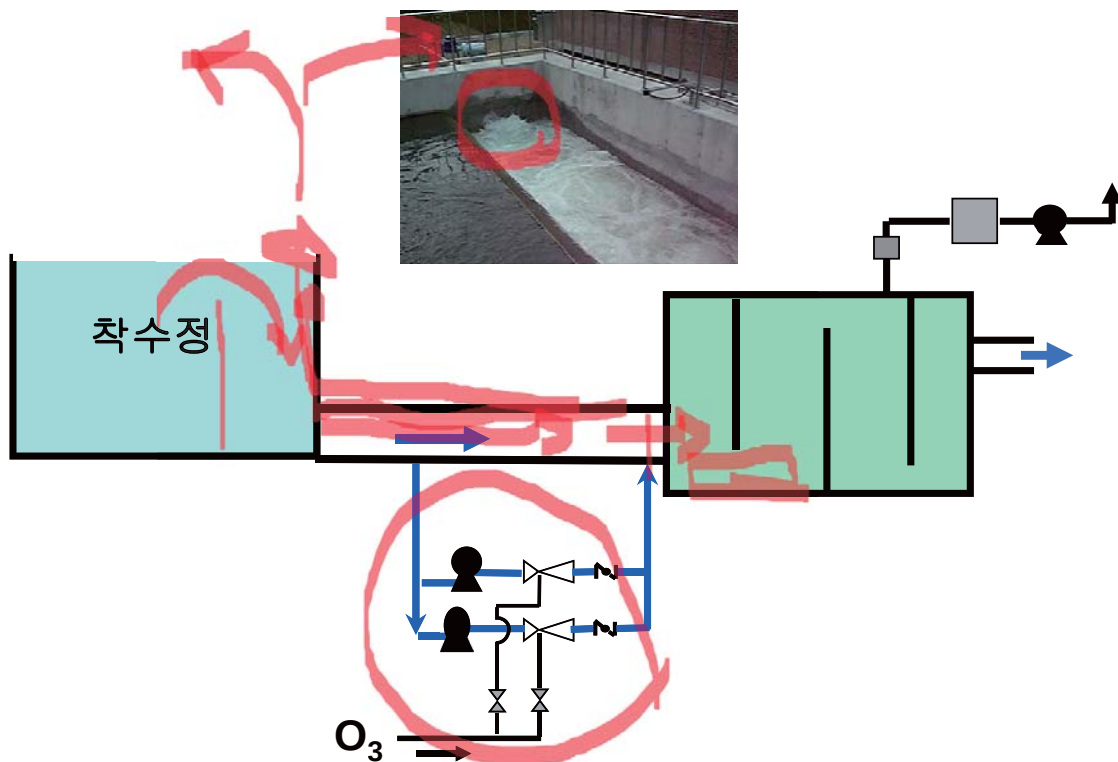
Side Stream 방식

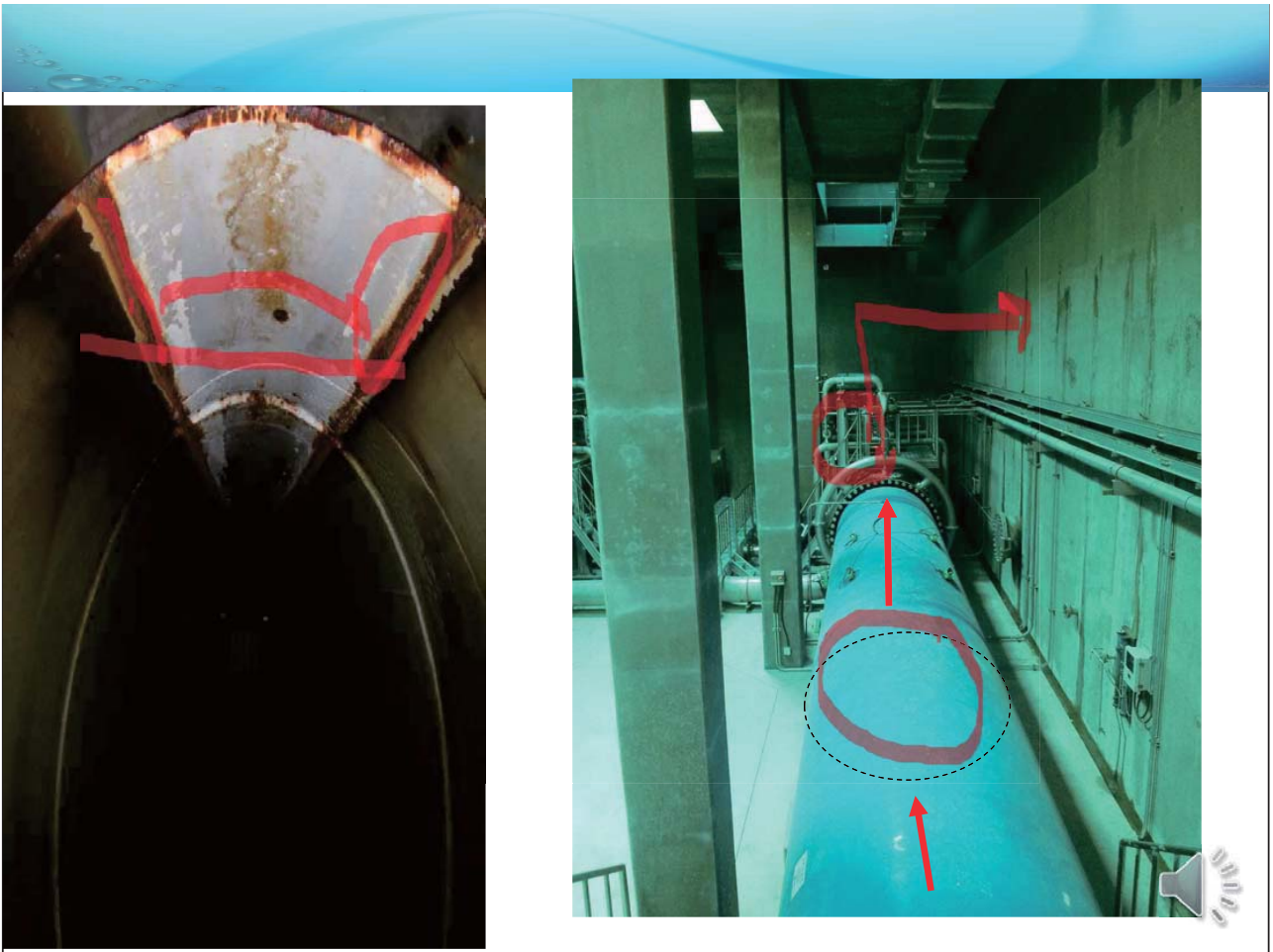


Direct Pipe Line Injection



전오존 공정의 오존 가스 역류 현상





배오존 처리



활성탄 여과지 시설 개선 사례

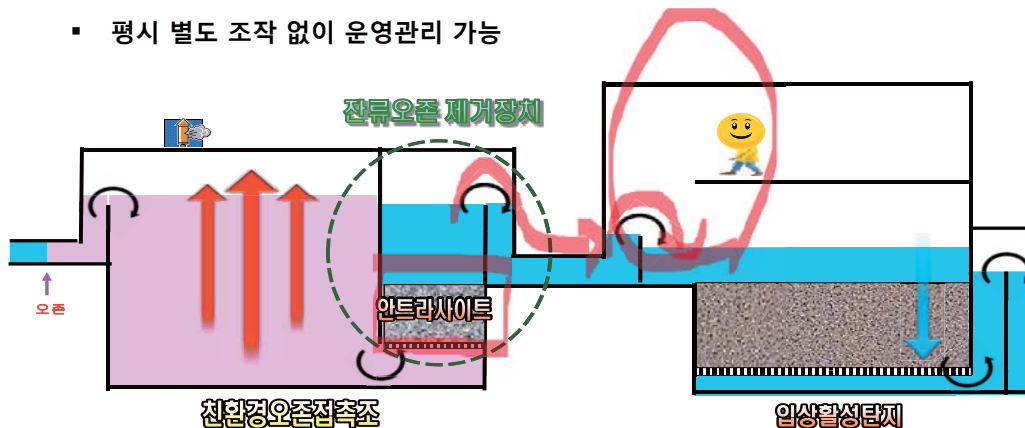


안트라사이트 오존 제거 방식

✓ 안트라사이트 오존 분해 원리 및 적용사례

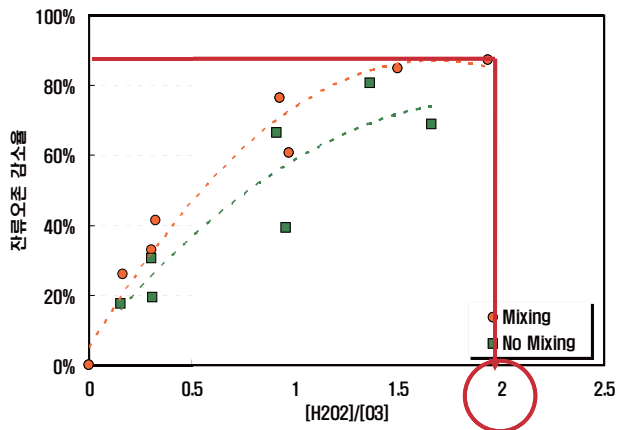
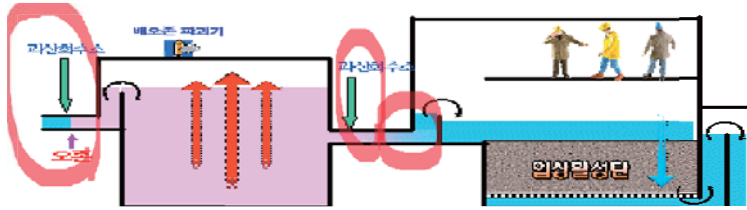
- 촉매반응 : $2O_3 + C \rightarrow 3O_2 + C$
- 직접반응 : $2O_3 + C \rightarrow 2O_2 + CO_2$

- 서울시 영등포 정수장 (60만톤/일) 현재 운영 중
- 오존접촉조 전 안트라사이트 상향류 접촉조를 설치, 무동력으로 잔류오존 제거
- 평시 별도 조작 없이 운영관리 가능

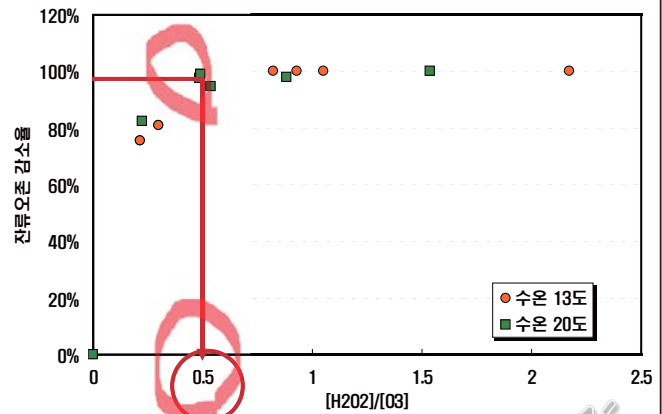


PEROXONE AOP (과산화수소 + 오존) 도입

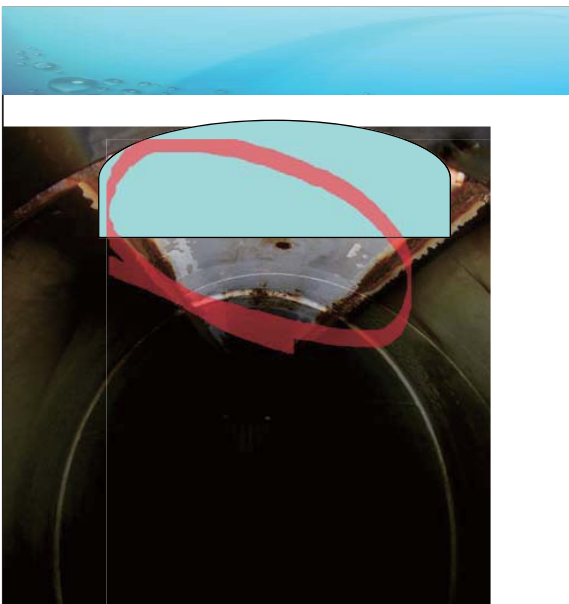
● 잔류 오존 제어 (영남내륙권 실험결과)



모형플랜트



고령정수장

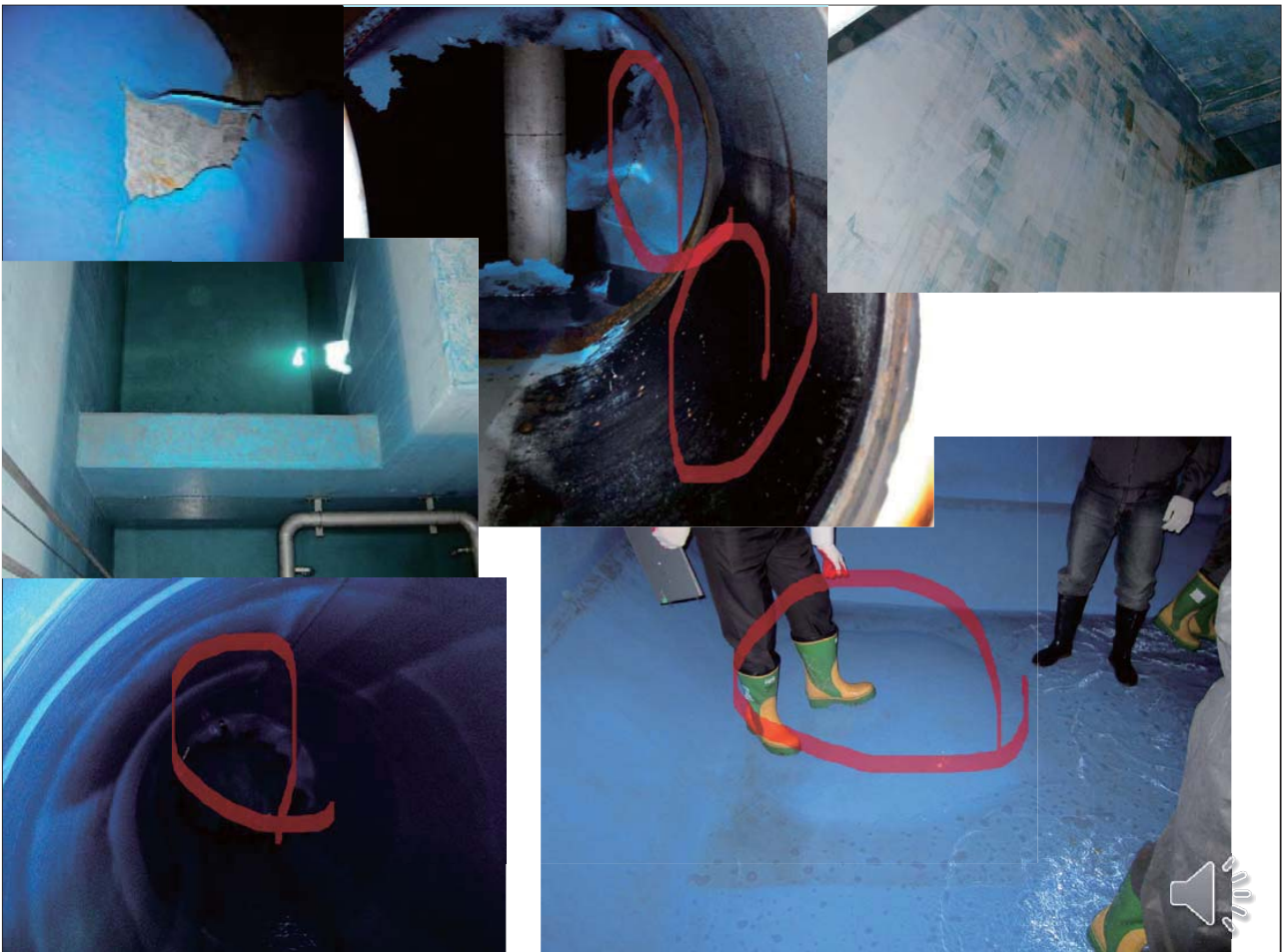


운영시 고려사항

■ 오존 접촉조 방식문제



- 지속적 모니터링(수리 전단력 발생 부분, 가스 접촉부분 집중)





고도 활성탄공정에 관한 사항



김태훈 K-Water

고도정수처리 도입 및 운영사례



2021. 04.

김 태 훈

✉ : taeval@kwater.or.kr

I 고도처리 도입배경

K water

'91년 낙동강 페놀 유출

- 두산전자 구미공장에서 페놀 30톤이 낙동강으로 유출
- ➔ (피해) 수돗물 공급 중단, 악취 느낌, 소화기계통 이상 호소
- ➔ (대책) 국가 수질자중 측정망 설치, 고도정수처리시설 도입 등



'94년 낙동강 유기용제 오염

- 오염물질 불법 배출로 낙동강 취수지역의 수돗물 악취 발생
- ➔ 전국 수계 수질개선대책 발표(환경부)
- ➔ 하수처리장 확충 및 고도정수처리시설 도입 계획 수립



'08년 낙동강 페놀 유출

- 김천 코오롱 유화 화재로 페놀이 낙동강으로 유출
- ➔ (피해) 구미광역시, 대구시 취수원 오염
- ➔ (대책) 급수물량지역 비상급수, 수질모니터링, 댐 비상방류로 농도 희석 등



'09년 낙동강 1,4-다이옥산 검출

- 왜관대교 1,4-다이옥산 농도 환경부 가이드라인($50\mu\text{g/L}$) 7일간 초과
- ➔ (원인) 가뭄, 수온저하 및 하수처리장 배출농도 증가
- ➔ (피해 및 대책) 대구시, 고령 광역취수원 오염으로 수질모니터링 강화 및 고도처리



✓ 낙동강수계는 미량 유해유기물질(페놀, 1,4-다이옥산 등) 제거를 위해 고도처리 도입

I 고도처리 도입배경

K water

❖ 2012년 조류발생

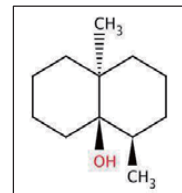


I 고도처리 도입배경

K water

❖ 지오스민(Geosmin)

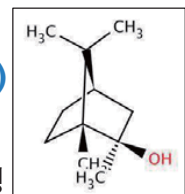
$C_{12}H_{22}O$
(분자량 182)



- 주로 남조류가 죽어 분해될 때 또는 방선균에 의해 배출
- 휘발성유기화합물질(VOCs, Volatile Organic Carbons)이며, 10ng/L 존재에도 흙냄새 유발
- 주로 세포성 형태(약 80%)로 취정수장에 유입
- 국내 먹는물 기준은 20ng/L 이하이며, 일본의 쾌적수질항목 기준으로는 분말활성탄 처리 정수장 20ng/L 이하, 입상활성탄 처리 정수장 10ng/L 이하

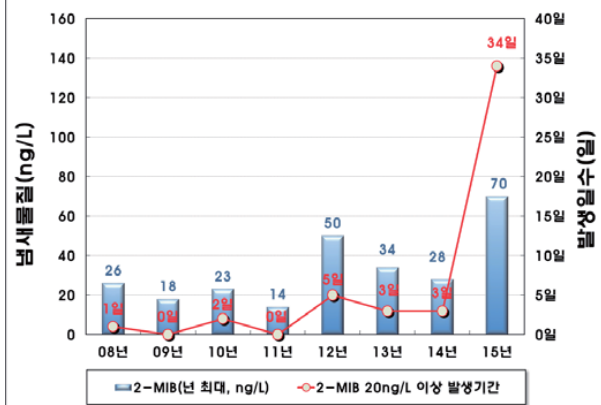
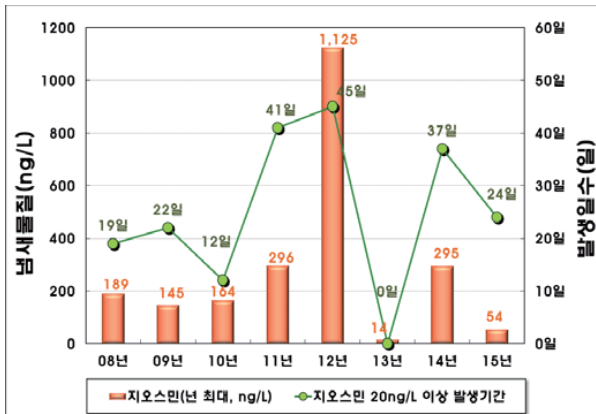
❖ 2-MIB(2-methyisoborneol)

$C_{11}H_{20}O$
(분자량 168)



- 남조류 또는 방선균에 의해 배출되는 휘발성유기화합물질로 곰팡이 냄새를 발생
- 주로 용존성 형태(약 80%)로 존재하며, 활성탄에 의한 제거가 지오스민 보다 어려움
- 국내 먹는물 기준 및 일본의 쾌적수질항목 기준은 지오스민과 동일함

- 2011년 11월 이상기온으로 인한 팔당호 高농도 지오스민 발생으로, 수도권 지역 수돗물 조류냄새 민원 및 분말활성탄 품귀현상 발생 → 낮은 수온으로 인하여 제거효율 저하 발생
- 2012년도에는 팔당(취) 지오스민 농도가 최대 1,125ng/L까지 상승
- 2015년 팔당(취)에서 분말활성탄으로 제거가 어려운 2-MIB 농도가 최대 70ng/L까지 상승

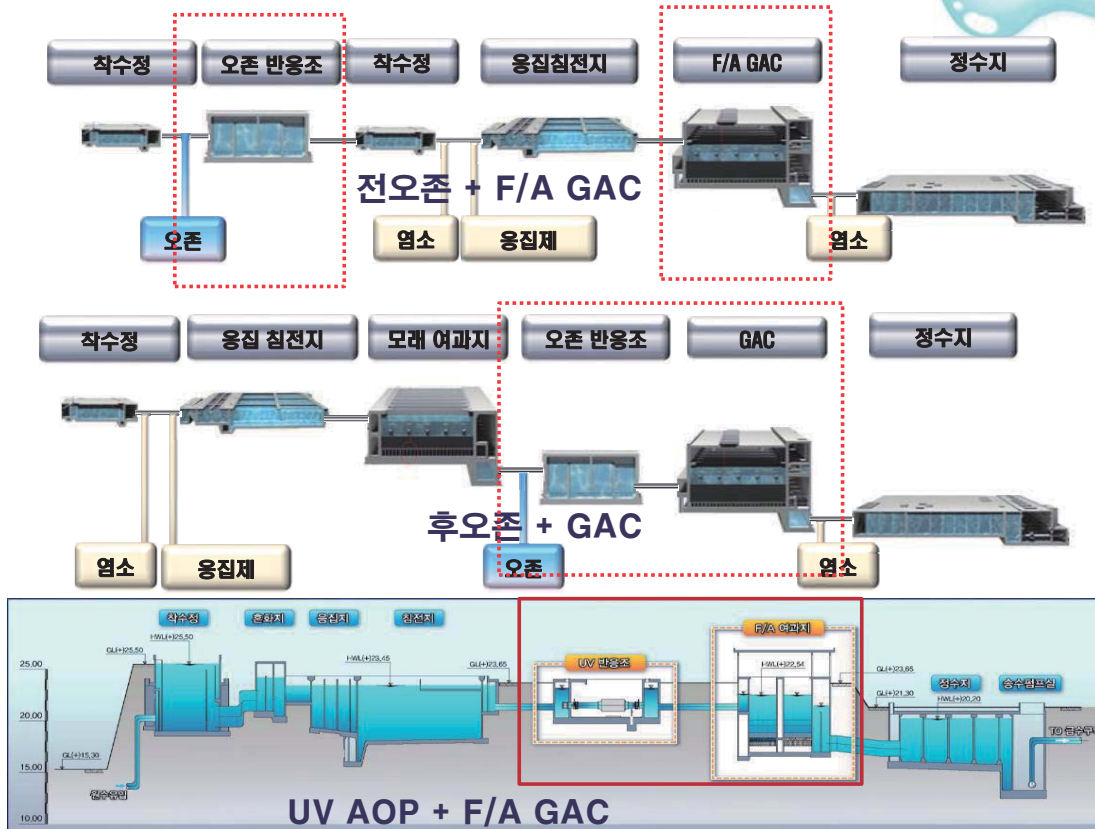


정의

- 완속 또는 급속여과 공정 등으로 구성된 기존 표준정수방법으로 완전히 제거되지 않는
- 수돗물의 미량유기오염물질, 맛·냄새 유발물질 등을 제거하기 위하여
- 오존(산화), 활성탄(흡착) 등의 처리공정을 표준정수처리방법에 추가하여 설치한 시설 → 환경부 장관의 인정 필요

※ 출처 : 고도정수처리시설 도입 및 평가지침 제3조(정의) (2019, 환경부)

I 고도처리 도입배경

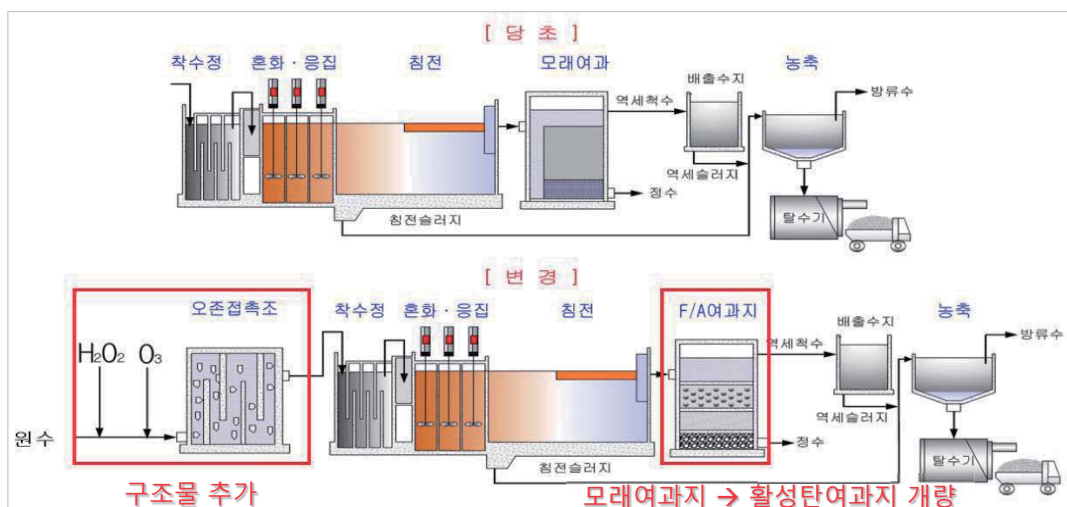


II 전오존 + F/A(Filter Absorber)



도입 사례 : 반월, 덕소, 수지

< 고도시설 공정도 >



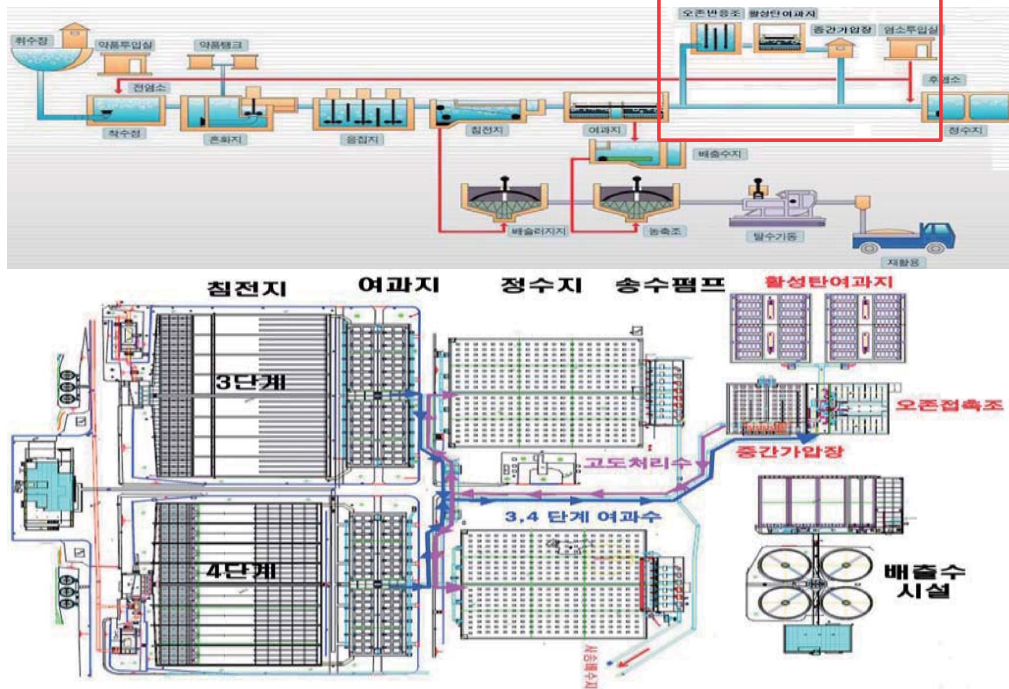
- **공정 선정사유 : 건설비용 절감** → 부지소요 면적이 적고, 중간 가압장이 불필요
냄새물질(지오스민, 2-MIB) 제거효율 측면에서는 후오존 + GAC가 다소 유리하나
경제적인 건설비용으로 목표수질기준(10ng/L) 달성이 가능한 전오존 + F/A 공법 도입

II 후오존 + GAC(Granular Activated Carbon)

K water

도입 사례 : 고양, 성남, 화성

구조물 추가

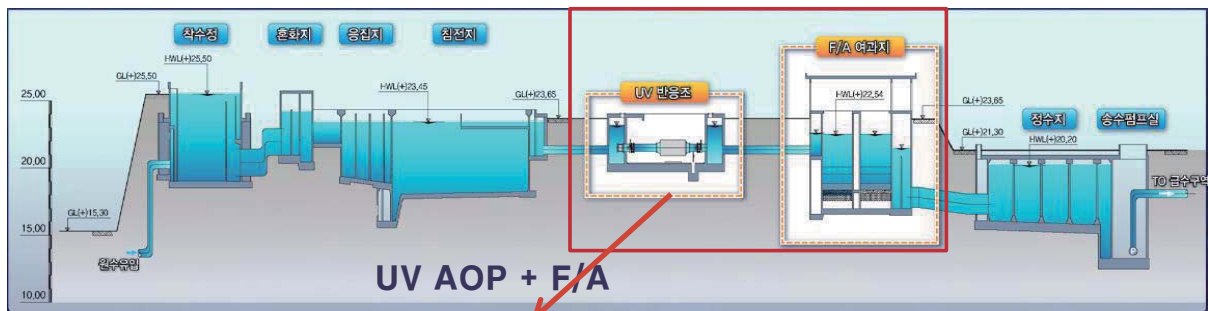


II UV AOP + F/A

K water

UV-H₂O₂ AOP 도입사례 : 시흥, 일산

구조물 추가

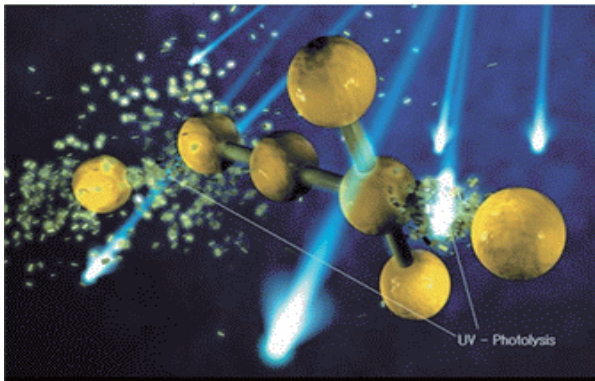


II UV AOP + F/A

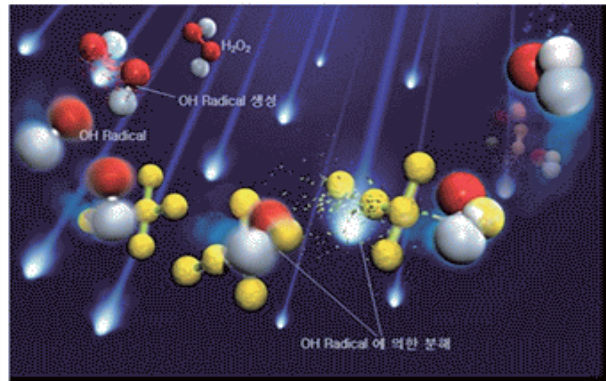
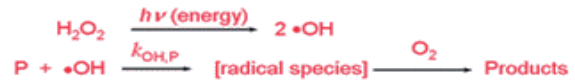
UV 산화공정 원리

수중 유기물질을 UV 광선에 의한 직접분해와 UV+과산화수소(H_2O_2)에 의해 형성된 $OH\text{-radical}(\cdot OH)$ 을 이용해 분해 및 제거하는 고도산화공정(Advanced Oxidation Process)

UV Photolysis(UV 광선에 의한 직접분해)

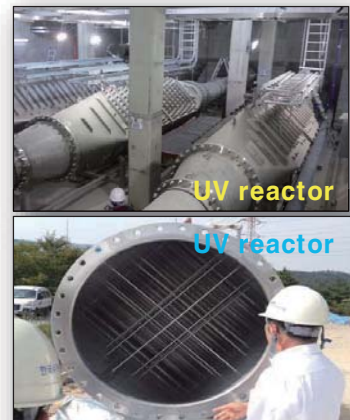
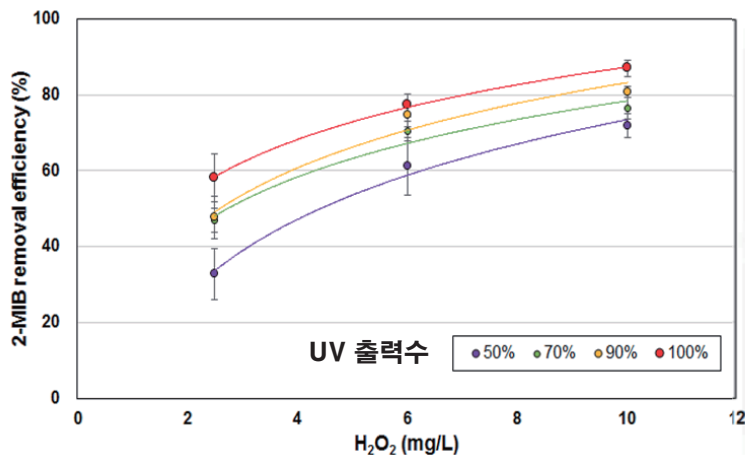


UV oxidation (UV 광선에 의한 직접분해)



II UV AOP + F/A

UV-AOP 공정에서 2-MIB 제거효율 : 시험(정)



구 분	시 설 현 황	비 고
접촉조 구조물	· 배관실(UV실) : B13.2m×L14.75m×H5.0m · 유입수조 : B3.9m×L13.2m×H5.0m	
UV reactor	· UV reactor : 4 계열(3개열만 설치) · 제조사 : WEDECO(독일)	1계열 향후
UV 램프	· 형식 : 저압램프, 출력 : 315W, 수량 : 168개 · UVT(자외선투과율) : 92% 이상(석영 슬리브)	수명 : 14,000hr
과산화수소 주입시설	· 약품저장탱크: 15m³×2EA(PE or STS) · 유량계 : 0.16~8.0L/min(2EA), 정량펌프 : 2.8L/min(2EA)	

III 오존 공정



오존(Ozone)이란?

- 어원 : 그리스어 Ozein “smell(냄새를 맡다)”
- 기초 물성
 - 기체 : 약간 푸른색 액체 : 흑청색
 - 끓는점 : -112°C 녹는점 : -192.7°C
- 불소(F) 다음으로 산화력이 강한 물질 → **염소의 7배**
 - 소독(인체 유해 대상물만 사멸)
 - 살균(미생물 사멸)
 - 탈취(냄새제거)
- 지속성이 약해 반감기(초기 농도의 1/2까지 줄어드는데 걸리는 시간)가 짧은 편임.

Typical O_3 Half Life Time as a Function of Temperature

Gaseous (오존가스)

half life time	at Temp
~ 3 months	-50°C
~ 18 days	-35°C
~ 8 days	-25°C
~ 3 days	20°C
~ 1.5 hours	120°C
~ 1.5 seconds	250°C

Dissolved In Water (pH 7) (용존오존)

half life time	at Temp
~ 30 minutes	15°C
~ 20 minutes	20°C
~ 15 minutes	25°C
~ 12 minutes	30°C
~ 8 minutes	35°C

These values are based on thermal composition, no wall effects or other catalytic effects are considered.

III 오존 공정



오존이 인체에 미치는 영향

- ▶ 대기환경기준 1시간 평균 : **0.1ppm** 이하
8시간 평균 : **0.06ppm** 이하
- ▶ 작업환경기준 단시간 노출 : **0.2ppm** 이하
1일 8시간 작업 : **0.08ppm** 이하

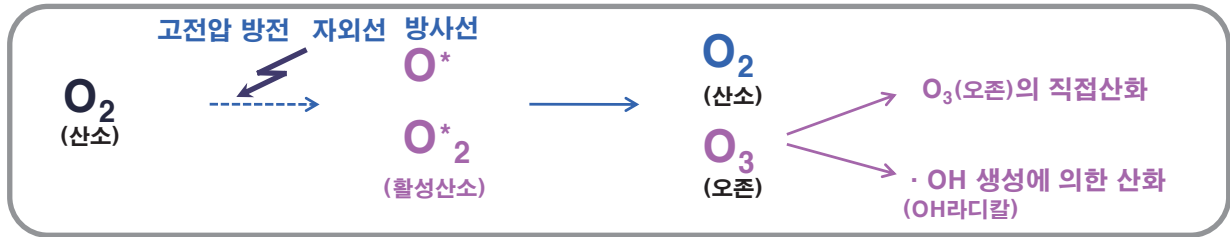
오존가스농도(ppm)	노출시간	인체에 미치는 영향
0.02		냄새감지
0.1		눈, 코, 목 미미한 통증
0.1-0.25	2-5시간	두통, 잔기침, 폐기능 저하
0.3	2시간	폐기능 저하
0.6	2시간	흉부 통증
1	1-2시간	폐통증, 심한 피로
2	1시간	생각능력 감소, 폐부종
9	간헐	심각한 폐렴
11	15분	의식 상실
50	30분	사망

* ppm : parts per million (100만분율)

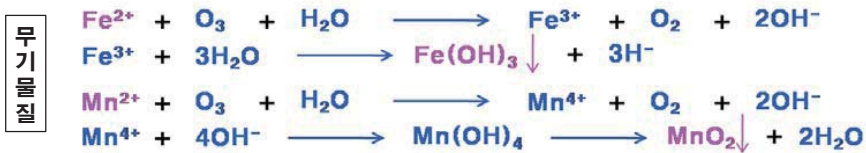
- 물에서의 농도 : $\text{ppm} = \text{mg/L}$ (물의 비중이 1이므로) - 대기중에서의 농도 : $\text{ppm} = \text{mL/m}^3$

III 오존 공정

오존 발생원리 및 水처리 기능



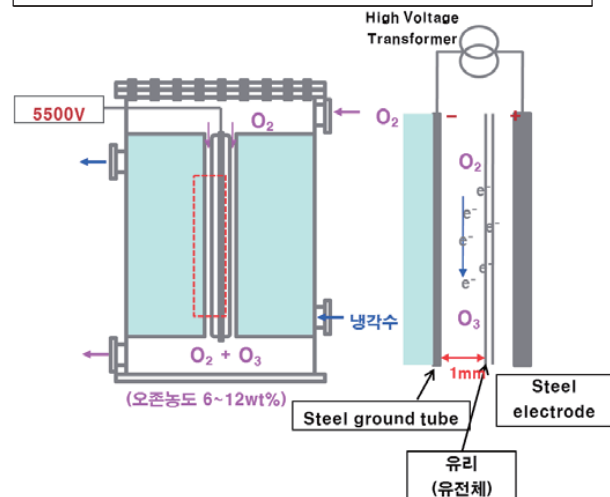
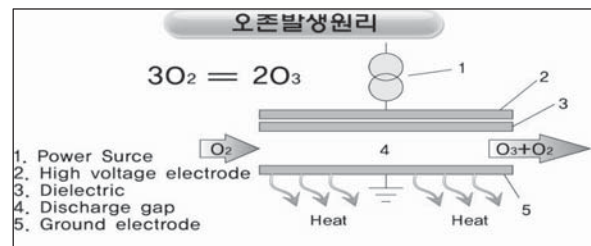
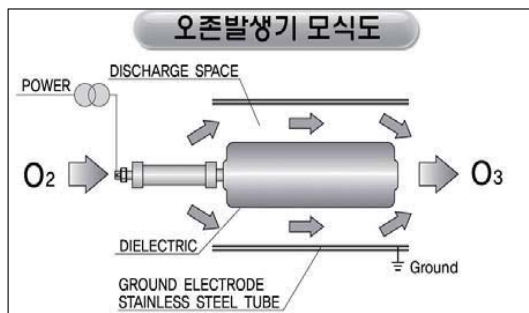
- ▶ 미생물의 소독(염소보다 100배 강한 소독력)
- ▶ 맛냄새 유발물질(2-MIB, Geosmin 등) 제거 → 오존공정에서 70%이상 제거
- ▶ 1,4-dioxane, 농약류 등 미량유해물질 제거



- ▶ 철, 망간, 시안, 암모니아성 질소, 이산화황 등 제거

III 오존 공정

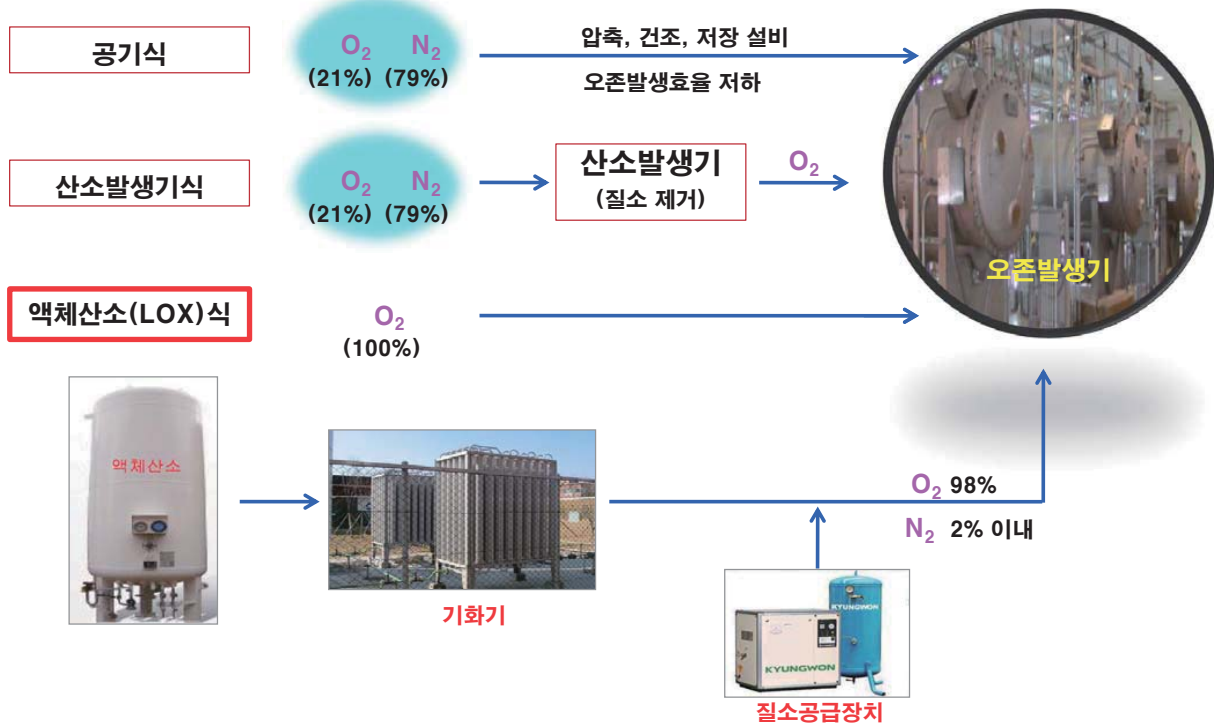
오존발생기 원리



III 오존 공정



오존발생 원료 공급방식

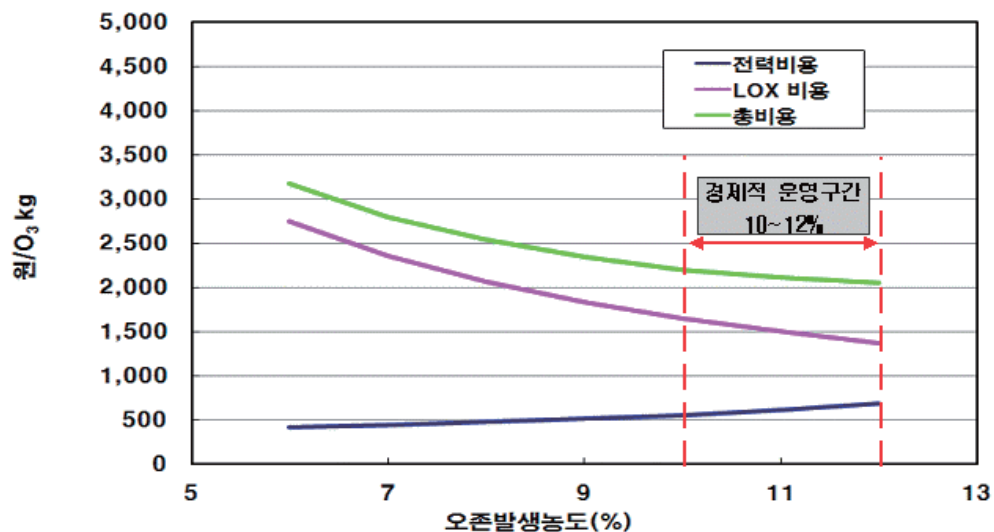


III 오존 공정



오존발생장치 최적운영

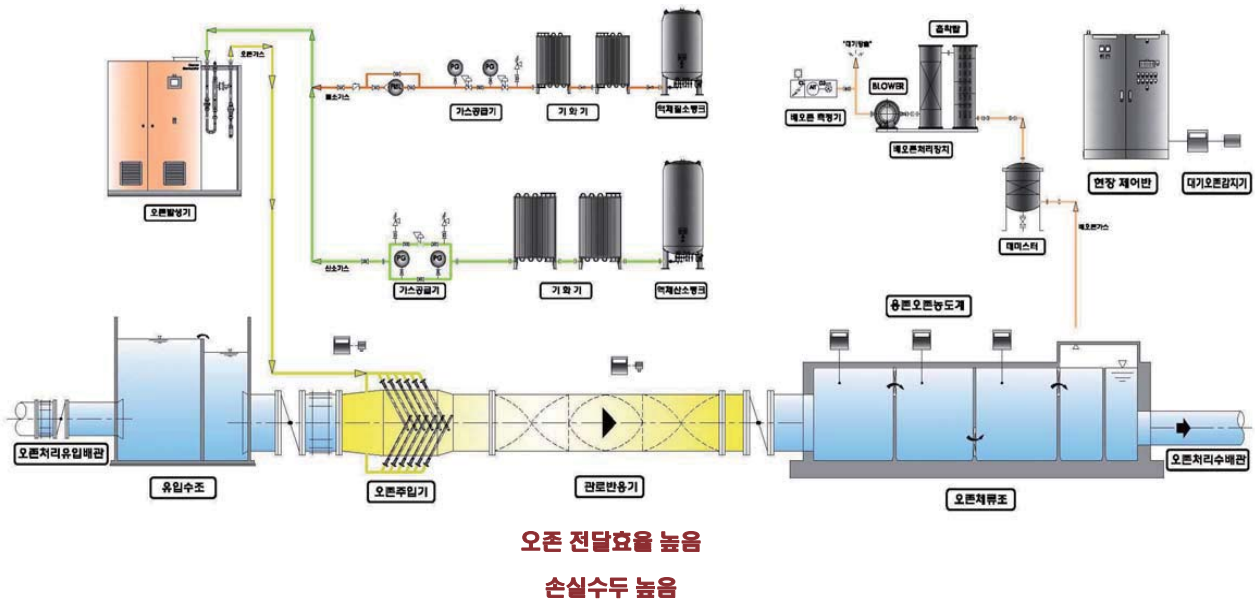
- 오존발생 농도는 액체산소 비용과 전력비를 함께 고려하여 가장 경제적인 범위 내 운영
 - 오존발생농도 증가 → 액체산소 소모량 감소, 전력비 증가
 - (총 소요비용) = (액체산소 구매비용) + (오존발생기 전력비용)



III 오존 공정

K water

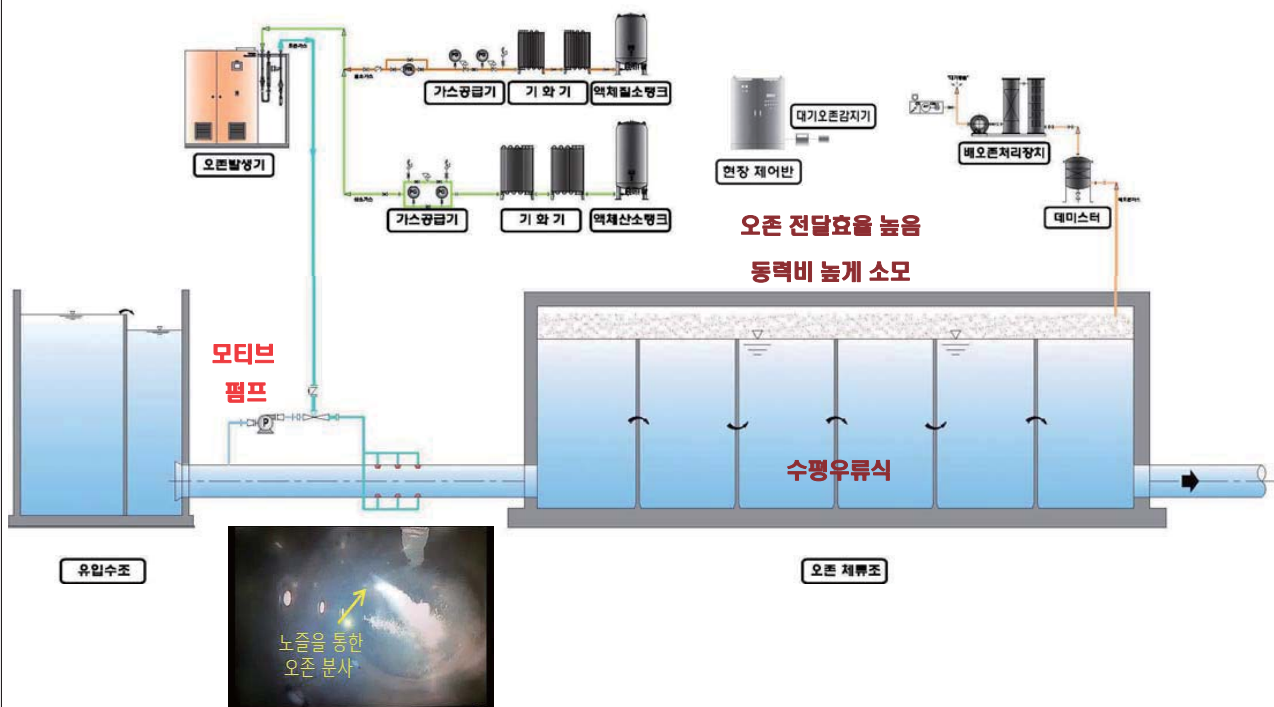
오존 주입방식 : Main Stream



III 오존 공정

K water

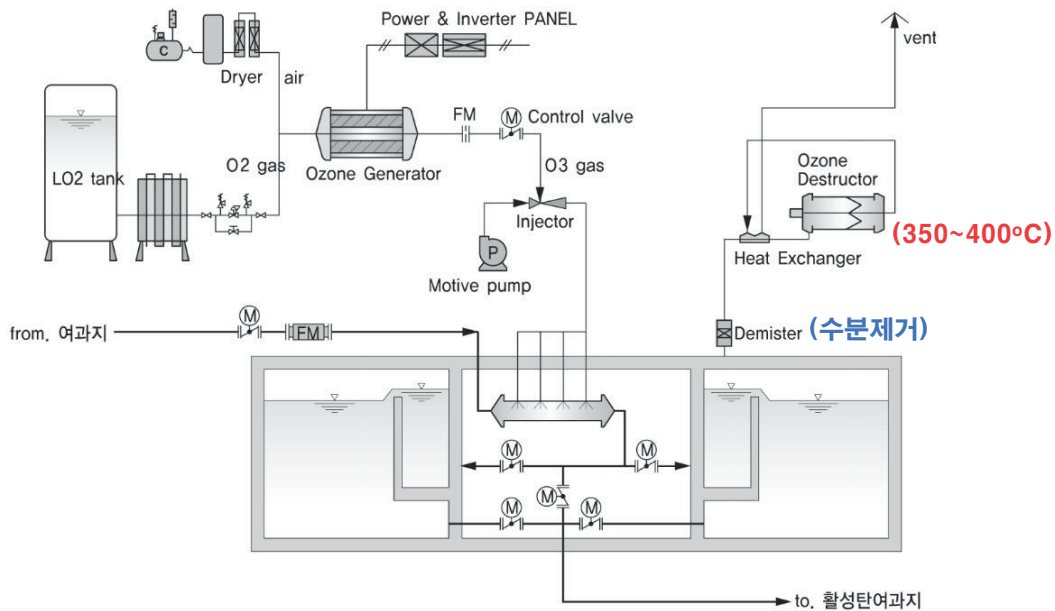
오존 주입방식 : Side Stream



III 오존 공정

K water

배오존 처리시설 (오존 반응조 : 열분해방식)

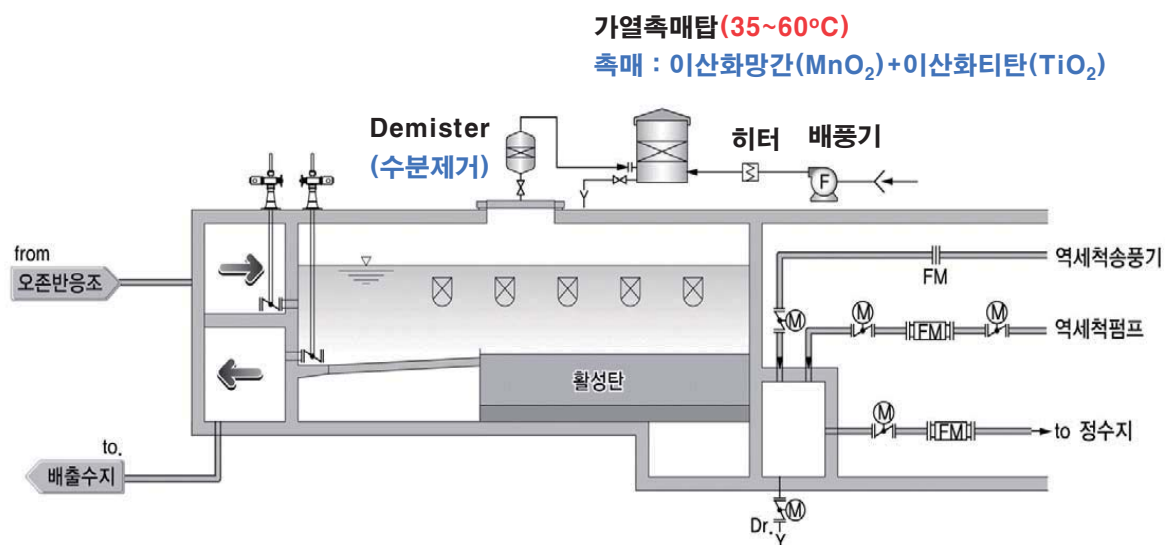


[K-water 고양정수장]

III 오존 공정

K water

배오존 처리시설 (활성탄여과지: 촉매식)



[K-water 고양정수장]

III 오존 공정



오존은 상시 투입해야 하는가? (post O₃ + GAC)

● 유기물 및 소독부산물 제거율

- ✓ 오존 주입으로 용존성 유기물 중 미생물 활동에 용이한 BDOC 및 AOC가 증가
- ✓ 입상활성탄이 BAC化 되어 유기물 및 소독부산물 제거효율 증가와 활성탄 수명연장 효과

● 소독능 확보

- ✓ 동절기 수온이 낮은 시기에도 **정수 잔류염소를 0.6이하**로 낮게 유지하여도 **소독능 만족**

● 급배수계통 잔류염소 균등화

- ✓ 급배수계통 잔류염소 유지력 향상으로 **수도꼭지 잔류염소 균등화** 가능(0.6~0.1mg/L)

● 설비관리

- ✓ 가동으로 인한 수명단축보다는 운휴 이후 재가동 시에 설비고장 발생이 더 빈번하므로, **상시 가동하는 것이 더 유리함**

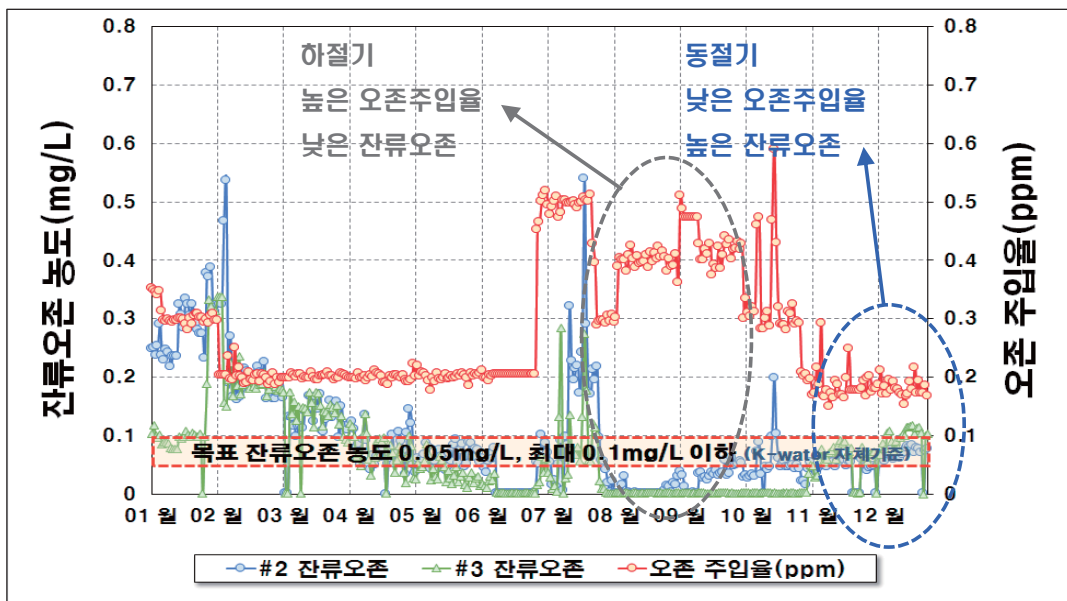
- * BDOC(Biodegradable Dissolved Organic Carbon) : 미생물에 의해 분해 가능한 용존성 유기탄소
- * AOC(Assimilable Organic Carbon) : 미생물에 의해 동화되어 세포 내에 축적되는 유기탄소
- * BAC(Biological Activated Carbon) : 활성탄 세공(pore)에 미생물이 서식, 유기물 및 소독부산물 등 분해

III 오존 공정



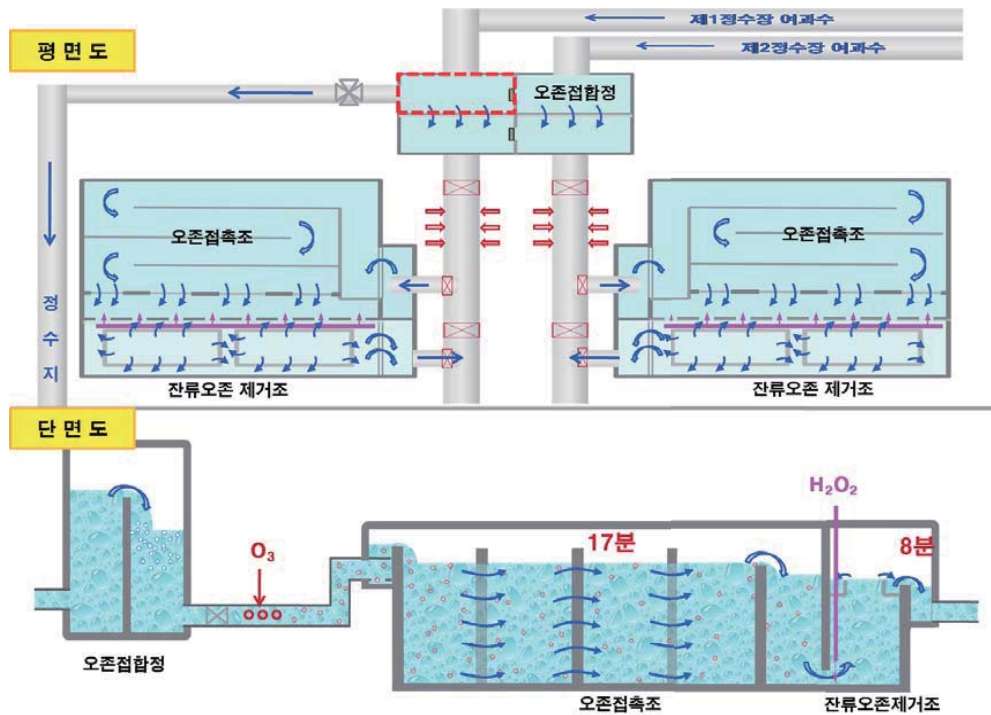
오존접촉조 잔류오존 농도 운영사례(고양, 2015년)

- 특히 동절기 오존주입율이 0.2ppm으로 낮은 수준임에도 불구하고 오존반응조 유출부 잔류오존 농도가 0.1mg/L로 높은 수준임.



III 오존 공정

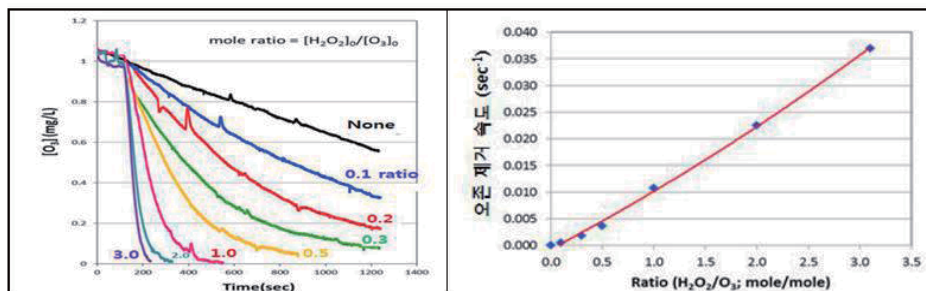
오존 접촉조 (잔류오존 제거조 설치사례)



[서울시 광암정수장]

III 오존 공정

잔류오존 농도에 따른 과산화수소 주입비율



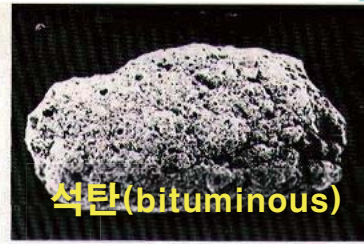
시간에 따른 과산화수소 농도별 오존 분해 속도(K) 경향(연세대 원주산학협력단)
(pH=7, 초기 오존농도=1.0mg/L, 수온=20°C)

구 분		잔류오존 농도에 따른 케칭제 주입율(ppm)			비 고
		0.2mg O ₃ /L	0.1mg O ₃ /L	0.05mg O ₃ /L	
과산화수소 (35%) [*]	~5°C	4.0	2.0	1.0	pH 7.0~7.5 케칭시간 5분
	5~10°C	3.0	1.5	0.8	
	10~15°C	2.0	1.0	0.5	
티오황산나트륨(1.0N)		1.7	0.8	0.4	
		0.4 mole S ₂ O ₈ ²⁻ /mole O ₃ ⁻			
과산화수소(35%) 주입율(mg/L) = $\frac{f}{\text{접촉시간(분)}} \times \text{잔류오존농도(mg/L)}$					
$f = 85(\text{수온 } 5^{\circ}\text{C 이하}), 65(\text{수온 } 5\sim 10^{\circ}\text{C}), 40(\text{수온 } 10\sim 15^{\circ}\text{C})$					
[*] 출처 : 고도정수 처리시의 잔류오존 제거방안 연구(한국상수도협회, 2015년)					
^{**} 출처 : 서울시 상수도연구원 실증플랜트 연구자료(2015년)					

IV 입상활성탄 공정



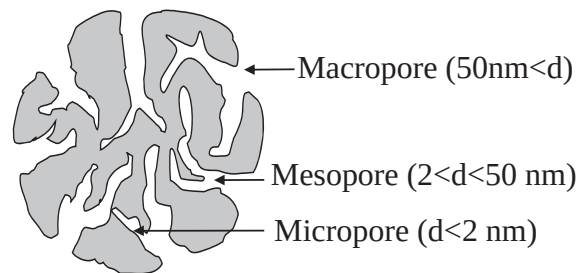
1. 활성탄 흡착



- 유연탄, 야자껍질, 갈탄, 목재 등을 원료로 제조되는 미세공이 발달된 무정형 탄소집합체

☞ 미세공의 넓은 비표면적을 이용한 물리적, 화학적 흡착을 통해 오염물질제거

- Van der Waal's의 힘
물리적, 약한 결합으로 역반응이 쉽게 발생
- 화학적 결합
분자간의 화학적 결합으로 역반응이 쉽게 발생하지 않음



IV 입상활성탄 공정



2. 활성탄의 주요특성

- 탄소표면이 소수성이므로 물속의 용존물질 중 친수성이 강하지 않은 유기물질을 선택적으로 흡착한다.
- 원료, 탄화방법 및 활성화방법에 따라 흡착능력이 다르다.
- 수처리용 : 석탄계, 대기용 : 야자계
- 사용방법에 따라 분말활성탄과 입상활성탄으로 구분
 - 1) 분말활성탄
 - 입자크기는 0.08mm 내외, 1~20nm 정도의 세공이 많음
 - 2) 입상활성탄
 - 입자크기는 0.3~3mm 내외, 10nm이하의 세공이 많음

IV 입상활성탄 공정

K water

● 흡착이 용이한 물질

- 방향성 용매(예 : 벤젠)
- 염소화 용매(예 : TCE)
- 염소화 방향족 물질(예 : PCBs)
- 페놀과 클로로페놀
- 농약(예 : 알드린)
- 다핵성 방향족물질(예 : 안트라센)
- EDCs와 비극성 PhACs(Pharmaceutically Active Compounds)
- NOM/Humic Substances
- EfOM/Refractory Organic Mater

● 흡착이 어려운 물질

- 낮은 분자량의 지방족 화합물(예, 글루코스)
- 매우 높은 분자량 또는 콜로이드성 유기물
(pore size exclusion)
- 극성 PhACs

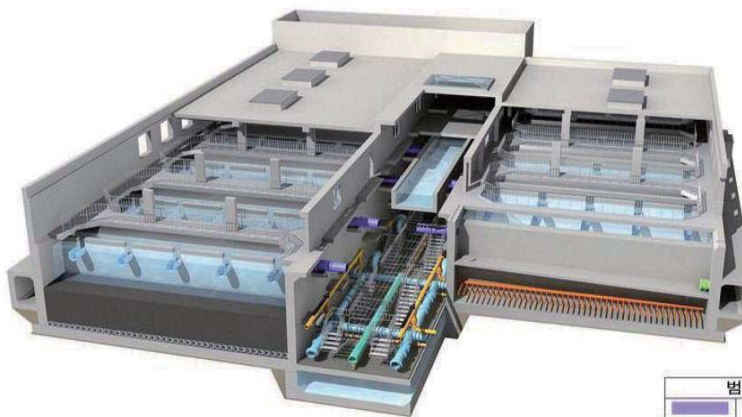
IV 입상활성탄 공정

K water

GAC 흡착지 설계인자

설계인자

- 흡착공정 : EBCT(Empty Bed Contact Time), GAC 종류 등
- 수리학적 : 여과속도, 충고, 입경, 가용수두
- 부속설비 : 유량제어 방식, 역세척 방법, 하부집수장치 등



범 레	
	지 내 유 입 관
	공 기 배 관
	정 수 관
	역 세 척 관
	드 레 인 관
	AIR HEADER PIPE
	지 내 뒀 수 관

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄 역세척 공정(후 오존 + GAC)

- 활성탄 공정의 역세척은 흡착/생물분해 효율을 적정하게 유지, 활성탄내 과도한 미생물의 성장제어를 위해 실시하며 다음사항을 고려함

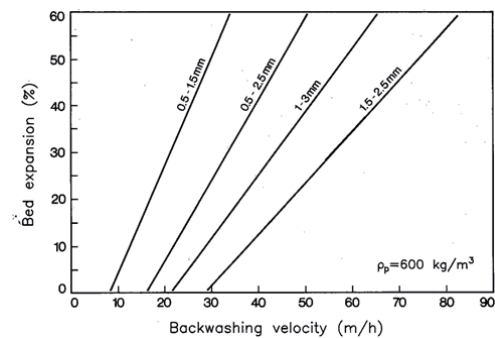
1) 권장 역세척 주기 : 최대 30일 이내

2) 역세척 결정인자

- ① 운영자료 : 지속시간, 손실수두 ② 처리수질 : 탁도, 미생물 누출

- 세척시 활성탄 손실을 최소화 하고 최적의 상태로 활성탄층을 유지하기 위하여 수온, 활성탄 종류에 따라 팽창률 등 세척조건을 적정하게 유지

- 적정 활성탄 팽창률 : 20~30%

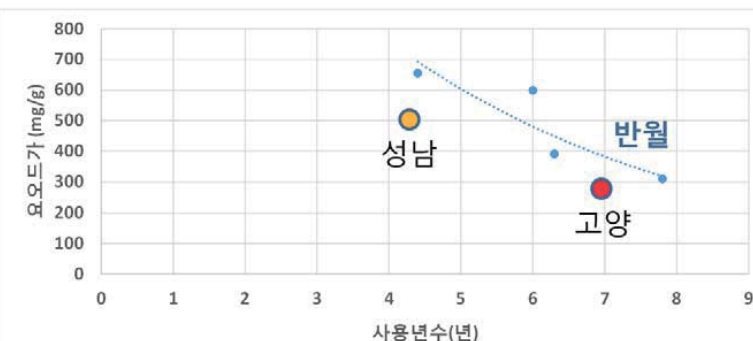
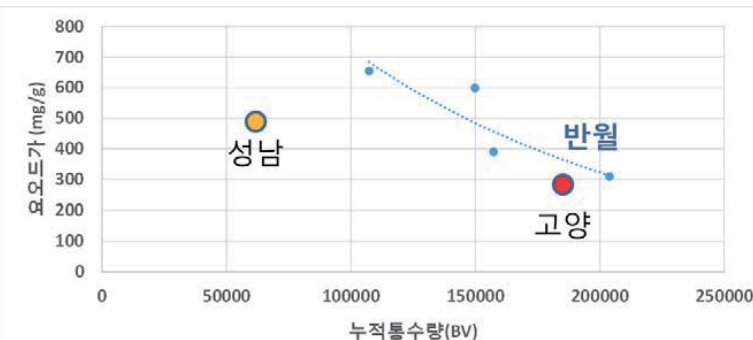


< 활성탄 입자 크기별 흡착지에서 역세척 동안 여층 팽창률 >

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄(GAC) 요오드가 vs. 누적통수량 vs. 사용년수



K-water 신탄 교체기준(사례)

사용년수 6년

K-water 재생기준(사례)

Geosmin 10ng/L초과

요오드가600mg/g이하

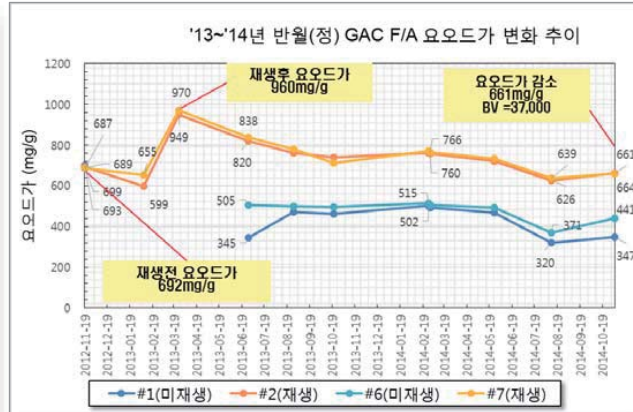
사용년수 4년

BV 100,000이상

IV 입상활성탄 공정

입상활성탄 재생 : 반월정수장(2013년)

- 재생 방식 : 다단로 방식(온도 700°C, 체류시간 3시간)



- 재생에 의한 흡착능(요오드가) 회복 : (5년 사용)692mg/g → (재생)960mg/g
- 재생활성탄 흡착능(요오드가) 감소 속도 : (재생)960mg/g → (18개월 사용)639mg/g
- 재생탄은 신탄에 비해 사용기간(또는 BV)에 따른 흡착능 감소가 빠른 편임

IV 입상활성탄 공정

입상활성탄 재생결과 : 반월정수장(2015년)

- 사용기간 4~6년 경과한 입상활성탄 재생결과 → 회수율 87.5%
- 사용기간 7년 경과한 입상활성탄 재생결과 → 회수율 82.5%
- 사용기간에 따라 입상활성탄 재생에 따른 회수율은 점차 감소
(시험재생을 통해 회수율이 80% 이상 가능할 경우 재생 시행 → 80% 미만 신탄 구매 권장)
- 가능한 재생탄과 신탄은 혼합 투입하지 않고 별도로 투입관리 → 향후 효과분석에 유리

여과지	사용기간	굴상량 (m³)	포설량 (m³)	회수율 (%)	비 고
#1	7년	152	123	81.2	2015년 재생시 평균 회수율 82.5% > 80% (재생기준 만족)
#4	7년	146	117	80.2	
#5	7년	145	121	83.2	
#6	6년	146	121	82.5	
#9	7년	146	123	84.0	
#10	7년	148	124	84.0	2013년 재생시 평균 회수율 86.2%
#2	6년	142	120	84.8	
#7	4년	143	126	87.5	

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄 재생결과 : 반월정수장(2015년)

- 입상활성탄 재생결과 유효경과 균등계수는 신탄과 큰 차이 없음
- 경도는 평균 91%로 신탄대비 4% 감소하였으나 자체 재생기준 만족(90% 이상)
- 마모지수는 84%로 재생(70%) 및 신탄(75%)기준 이상
- 요오드흡착력은 861 이상으로 재생기준 850 이상 만족, 신탄보다 89 적음

활성탄 물성검사	활성탄 여과지 (Calgon 820, 석탄계-유연탄) : 사용년수 7년							K-water 품질기준	
	#1	#4	#5	#6	#9	#10	평 균	재생탄	신탄
유효경 (mm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0~1.2 (±0.05)	1.0~1.2 (±0.05)
균등계수	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5 이하	1.5 이하
경도(%)	91	91	94	91	90	91	91	90%이상	95%이상
마모지수(%)	84	82	89	84	79	87	84	70%이상	75%이상
요오드흡착력 (mg/g)	854	868	855	873	854	860	861	850 이상	950 이상



사용년수에 따라 입상활성탄 재생 이후 주로 감소되는 물성 : 회수율, 경도, 요오드흡착력

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄 신탄 구매시방서 주요내용 예시

1. 품 목 : 입상활성탄 신탄(新炭) 구매

2. 납품자격 및 기준

- 2.1 생산된 제품은 원료물질의 산지, 성명, 상호, 상표 및 기타 식별 가능한 기호 등을 사용하여 제조업자 및 제작공장의 명칭을 표시하여야 한다.
- 2.2 계약물량은 전량 하나의 생산업체에서 직접 생산된 제품이어야 하고 **두 개 이상의 생산업체 제품을 혼합하여 납품할 수 없다.**
수입 중간생산물(원료 등)의 경우도 전량 동일업체 동일제품이 사용되어야 한다.
- 2.3 입상활성탄은 **ISO 9001 규격 인증을 받은 자가공장(활성탄제조생산업체)**에서 **생산된 신탄(新炭)** 제품이어야 하고 **OEM 방식으로 생산된 제품은 납품할 수 없다.**
- 2.4 제품의 품질보증을 위한 다음 서류를 전부 제출하여야 한다.
 - 1) 원료탄과 신탄 **생산업체 ISO 9001 인증서**
 - 2) 원료탄과 신탄 **생산자 증명서**와 **생산업체 품질보증증명(각)서**
 - 3) 원료탄 또는 신탄을 **중국에서 수입** → **수출업체 보유 수출권한증(대외무역경영자 비안등기표)**과 직접 생산 판매 수출을 할 수 있는 업체임을 증명하는 서류
 - 4) 제조공정 수입절차 포함 → 해외업체와 직접 체결한 **수출입 계약서**와 **당해년도 수처리제 수입신고서**
 - 6) 국내 생산업체 → **생산공장 수처리제 제조업 허가증**(먹는물 관리법 제20조 및 제21조2항)

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄 신탄 구매시방서 주요내용 예시

3. 제품 및 수량 :

신규 구매 입상활성탄은 품질기준을 만족하는 상수도용 신탄 00m³로 한다.

4. 품 질

4.1 입상활성탄의 물리적 특성 및 성분규격은 다음 기준에 적합하여야 한다.

1) 물리적 특성

항 목	입상활성탄	시험방법
원료물질	석탄(유연탄)	-
유효경	0.65±0.10mm (0.55~0.75mm)	-
균등계수	1.9 이하	-
경도	95% 이상	ASTM D3802
충전밀도	420kg/m ³ 이상	KS M 1802
마모지수	75% 이상	AWWA method
수분	2% 이하	공장출하시 중량비
회분	7% 이하	중량비

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄 신탄 구매시방서 주요내용 예시

2) 성분 규격

구 분	입상활성탄	시험방법
성상	흑색의 알맹이	환경부고시 제2008-69호 『수처리제의 기준과 규격 및 표시기준』
확인시험	확인시험법에 따라 시험할 때 적합하여야 한다.	
pH	4.0 ~ 11.0	
체 잔류물	KS 8호체(2,380 μm)를 통과하고 KS 35호체(500 μm)에 남아있는 체 잔류물 95% 이상	
건조감량	5% 이하	
염 화 물	0.5% 이하	
비소(As)	2ppm 이하	
납 (Pb)	10ppm 이하	
카드뮴(Cd)	1ppm 이하	
아연(Zn)	50ppm 이하	
페놀가	25 이하	
ABS가	50 이하	
메틸렌블루탈색력	150mL/g 이상	
요오드흡착력	950mg/g 이상	

IV 입상활성탄 공정

K water

입상활성탄 신탄 구매시방서 예시

5. 포장, 운반 및 보관

- 5.1 포장단위는 운반 및 설치가 용이하도록 1m³ 단위의 Big Bag으로 한다.
- 5.2 원료탄 및 신탄 수입신고를 위한 시료 채취에는 감독원이 입회한다(필요시).
- 5.3 단위 포장Bag에는 품명, 제조사, 생산지, 중량 및 기타취급 유의사항이 표시된 Bag을 사용 하여야 한다.
- 5.4 수입된 물품은 통관 이후 감독원과 협의 완료한 장소에 컨테이너 그대로 운반하여야 하며, 운반차량 번호 및 컨테이너 SEAL 번호 확인 이후 물품을 하역한다.
- 5.5 운반차량은 등록 후 감독원에 사전 고지하여야 한다.
- 5.6 운반·보관비용은 계약상대자 부담으로 하며, 운반 및 납품도중 발생한 하자, 손상, 기타 제반 사항은 계약상대자가 책임진다.
- 5.7 현장 반입된 입상활성탄은 외부변질요인(강우, 눈 등)에 오염되지 않도록 보호하여야 한다.
- 5.8 입상활성탄은 품질기준 및 자격기준에 맞는 제품이 입고되어야 하며 감독원이 지정하는 장소에 하차하도록 하고, 공사에 지장이 없도록 배치(정리)하여야 한다.

IV 입상활성탄 공정

K water

입상활성탄 신탄 구매절차 사례



수처리제 수입에 따른 통관절차

- ① 컨테이너 박스 입항 및 지정위치에 하역
- ② 관할 공무원 입회 하 서류검사, 관능검사, 정밀검사 실시
 - * 정밀검사는 수처리제 검사기관에 의뢰(약 2주 소요)
 - * 1년 이내 동일 제품을 다시 수입하는 경우에는 면제
- ③ 수입신고증명서 발급(시, 도지사 → 수입판매자)



정수장 하역

- ① 봉인(Seal) 고유번호 확인 후 하역
 - * 수입항에서 확인한 봉인번호 및 상태 일치 여부 확인
 - * 수입항에서 정밀검사를 위해 재봉인한 상태 확인

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄 신탄 구매시방서 예시

6. 검사 및 검수

- 6.1 감독원의 입회 하에 최종 현장 반입된 시료를 채취하여 공인검사기관 또는 감독원이 지정하는 검사기관에 의뢰하여야 하며 반드시 검사결과 성적서를 제출하여야 한다.
- 6.2 필요 시 제품의 주요 제조 공정별(활성화, 선별, 포장 등) 및 수입통관 절차 전/후 샘플링을 실시하여 6.1과 같이 품질검사를 실시할 수 있다.
- 6.3 품질검사를 위한 시험재료는 감독원 입회하에 감독원이 지정하는 장소에서 채취하여야 하며 백(bag)단위로 납품될 경우 코어 채취기(core sampler)를 이용하여 전체 납품수량 중에 아래표의 기준(AWWA B604)을 참고하여 샘플링 백(Bag) 수를 결정하고 최소 4.5kg의 혼합시료를 만든다. 시료채취 세부방법은 계약상대자와 감독원이 협의하여 결정하며, 채취된 최종 혼합시료는 습기의 침입을 막을 수 있는 기밀 용기에 밀봉하여야 한다.
- 6.4 수량은 충전밀도 및 수분 검사결과를 참고하여 공인 계량소에서 계근한 무게를 부피로 환산하여 총 수량을 확인한다. 필요시 입상활성탄 흡착지에 충전 부피를 추가로 확인한다.
- 6.5 감독원이 시험결과를 검토하고 제품의 부적격 판정 시에는 계약상대자는 입고된 제품을 반출하여야 하며, 이에 따른 모든 비용은 계약상대자가 부담하여야 한다.

IV 입상활성탄 공정



입상활성탄 신탄 구매절차 사례

시료 채취 및 시험 의뢰



① sample bag 선정



② 시료 채취 및 혼합



③ 샘플 봉인



④ 공인검사기관 시험의뢰

- Bag(1m³) 시료채취 개수는 AWWA 기준에 의해 결정
- 총 4.5kg 이상 채취하여 혼합 → 500g 시험의뢰
- 1지당 1개 시료(채취 → 혼합 → 의뢰)의 성적서 발급

미국 수도협회 표준 시료채취 수량 (AWWA B604)

납품된 백(Bag)	최소 시료채취 대상(Bag)
2 ~ 8	2
9 ~ 15	3
16 ~ 25	5
26 ~ 50	8
51 ~ 90	13
91 ~ 150	20
151 ~ 280	32
281 ~ 500	50
501 ~ 1,200	80
1,201 ~ 3,200	125
3,201 ~ 10,000	200

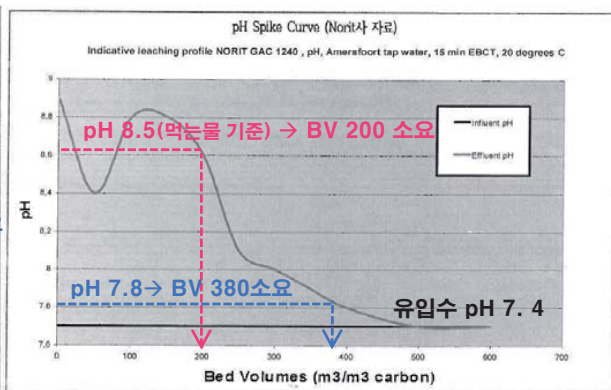
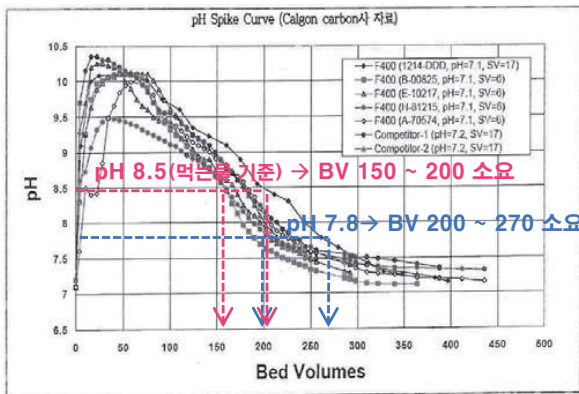
IV 입상활성탄 공정

입상활성탄 충전 이후 안정화

- 입상활성탄을 신규 구매(또는 재생) 하여 충전하면 높은 pH의 흡수(다량 미분) 발생
- 여층 표면의 미분 제거 및 처리수 pH 안정화를 위해 역세척 및 시동방수(Filter to Waste) 필요
- pH 8.5(먹는물 기준)까지 Bed Volume 기준 150~200의 여과수(또는 역세척수) 필요
- pH 7.8까지 Bed Volume 기준 200~400의 여과수(또는 역세척수) 필요

→ Bed Volume 200~400을 여과시간으로 환산하면 45~90시간 소요(일산정수장)

시동방수 소요일수(hr) = Bed Volume(m³/m³) x [활성탄 부피, m³] / [여과지 면적(m²) x 여과속도(m/hr)]



IV 입상활성탄 공정

입상활성탄 충전 이후 안정화 : 일산(정) 사례

- 입상활성탄(중국산) 충전 후 역세척 41회/지, 시동방수(Filter to Waste) 52시간 진행

→ 시동방수 방법 :

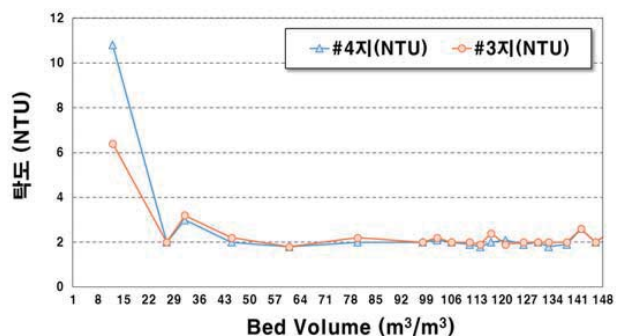
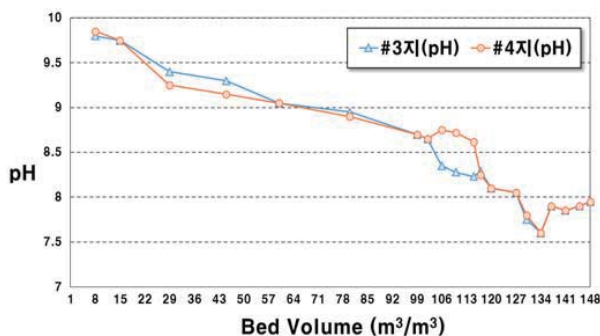
유입밸브 full open → GAC 여과지 수위 일정하도록 사수밸브 개도를 조정 → 전량 회수조로 회수

→ 시동방수 유량 Bed Volume으로 환산 : 165 m³/m³

{ 여과속도(130m/d) x 여과면적(111.6m²/지) x 여과시간(52hr/24hr) } / 활성탄층 부피(189.7m³)

- 여과수 pH 안정화 소요 BV 165, 탁도 안정화 BV 30 소요 → pH 안정화 = 통수 가능

- 최종 pH 7.8 활성탄여과지 유출탁도 0.08NTU에서 통수 → 먹는물 수질기준 모두 적합



V 고도처리 효과분석



공정별 모니터링 항목

□ 공정 모니터링 대상, 주기 및 항목

조사항목	원수	전오존 처리수	침전수 · 막여과수	여과수	후오존 처리수 · UV-AOP 처리수	GAC 처리수 · F/A 처리수		정수
						대표지	통합	
Geosmin	월간	KRM 등록시 매일(분석물량 과다시 최소 2회/주)						월간
2-MIB	월간	KRM 등록시 매일(분석물량 과다시 최소 2회/주)						월간
TOC	월간	월간	월간	월간	월간	월간	월간	월간
THMs								월간
THMs FP	월간	분기	분기	분기	분기	분기	분기	월간
HAAs								월간
HAAs FP	분기	반기	반기	반기	반기	반기	반기	분기
Br ⁻	월간							
BrO ₃ ⁻		반기	반기	반기	반기	반기	반기	월간

* UV-AOP + F/A 공정은 조사항목 Br⁻, BrO₃⁻ 제외

V 고도처리 효과분석



공정별 모니터링 항목

□ 공정 효율분석 대상, 주기 및 항목

조사항목		전오존	후오존 · UV-AOP	GAC · F/A				
				초기	0.5년	1년	3년	말기
오존 공정	오존발생농도	매일	매일					
	오존주입농도	매일	매일					
	잔류오존농도	매일	매일					
UV-AOP, 오존-AOP 공정	UV 조사강도		매일					
	UV 투과도		매일					
	과산화수소 주입농도		매일					
	잔류 과산화수소 농도		매일					
활성탄 공정	요오드 흡착력			반기(3년 미만) 분기(3년 이상)				
	메틸렌블루 탈색력							
	페놀가							
	TOC			1주간	1주간	1주간	1주간	1주간
	DOC			1주간	1주간	1주간	1주간	1주간
	UV ₂₅₄			1주간	1주간	1주간	1주간	1주간
	역세척 팽창율			반기				
	활성탄 유실율			연간				

V 고도처리 효과분석



공정모니터링 - 맛냄새물질 (2019년)

- [2-MIB] 고도(정) 현장여건에 따라 80 ~ 98%까지 제거, 분말활성탄 주입으로는 63% 제거
- [제거율] 후오존+GAC가 평균 98%, 전오존+F/A, UV AOP+F/A는 평균 81% 2-MIB 제거

구 분	전오존+F/A				후오존+GAC				UV AOP +F/A			표준
	반월	덕소	수지	평균	성남	고양	화성	평균	시흥	일산	평균	와부
지오스민 제거율(%)	100	99	65	88	100	100	100	100	91	93	92	100
2-MIB 제거율(%)	93	80	69	81	99	96	99	98	90	72	81	63
분말 활성탄 (ppm)												35
오존 (ppm)	0.8	1.5	1.1	1.1	1.0	0.7	0.6	0.8				
과수 (ppm)	0.4	1.2	0.5	0.7	0.4	0.3	0.3	0.3	4.7	8.6	6.6	
UV 조사량 (J/m²)									4,500	4,447	4,473	
EBCT (min)	20	17	14	17	13	19	18	16	14	14	14	

V 고도처리 효과분석



공정모니터링 - 유기물 (2019년)

- [DOC] 후오존+GAC 제거율 48 ~ 70%, 표준정수처리에서 평균 37%(응집제 21ppm 주입)
* 팔당원수 TOC : DOC = 1 : 0.9
- [UV254] 후오존+GAC 제거율 81%, 표준정수처리에서 평균 69%(응집제 21ppm 주입)

구 분	전오존+F/A				후오존+GAC				UV AOP +F/A			표준
	반월	덕소	수지	평균	성남	고양	화성	평균	시흥	일산	평균	와부
TOC 제거율(%)	50	39	41	43	48	50	70	56	41	35	38	38
DOC 제거율(%)	48	31	39	39	50	48	70	56	41	34	39	37
UV254 제거율(%)	72	73	73	73	79	74	90	81	70	69	70	69
전염소 (ppm)	1.2	1.6	1.8	1.5	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.7	1.5	1.8
응집제 (ppm)	11	17	17	15	15	21	17	18	12	18	15	21
EBCT (분)	19	18	16	18	20	13	28	20	18	21	20	
오존 (J/m²)	0.5	1.1	0.6	0.7	0.4	0.5	0.3	0.4				
과수 (ppm)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	1.7	2.2	2.0	
UV조사량 (J/m²)									1,850	5,232	3,591	

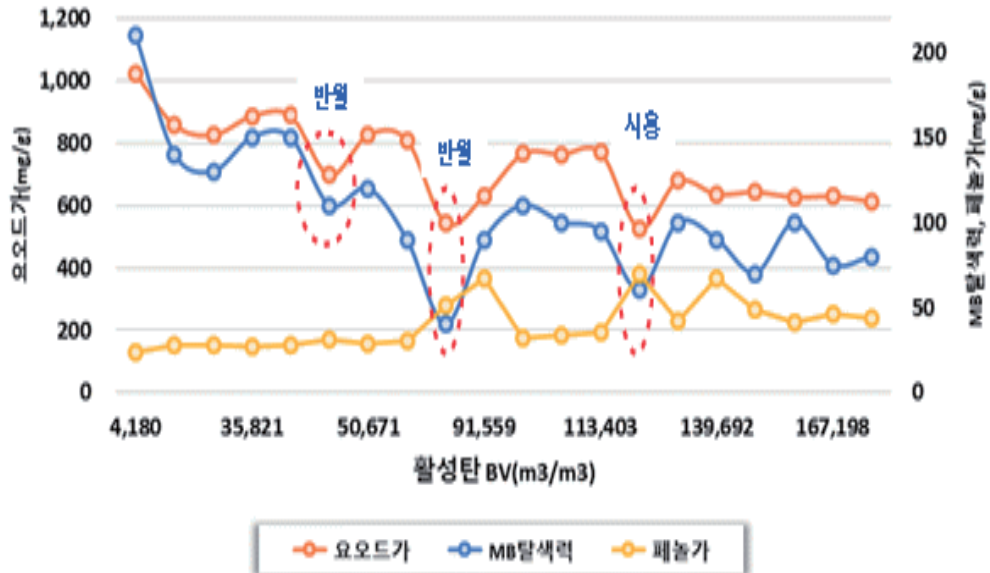
V 고도처리 효과분석



활성탄 공정 – 흡착능 (2019년)

- (BV 과 흡착능) 요오드가 및 MB탈색력은 BV에 따라 감소, 페놀가는 경향성 파악 어려움

* 19년 말 기준 수도권광역 고도정수장 활성탄여과지의 흡착능 분석결과를 모두 취합하여 나타냄



V 고도처리 효과분석



활성탄 공정 – 흡착능 (2019년)

- (요오드가) 활성탄 사용 2~3년 후 800수준까지 감소, K-water 자체 교체주기인 6년 사용 시 도달 시 600mg/g

* 요오드가는 저분자 물질에 대한 흡착능 지표(구매시방기준 : 1,000mg/g이상)

(단위:mg/g)

경과 년도	전오존 AOP + F/A			후오존 + GAC			UV + F/A		비 고
	반월	덕소	수지	고양	성남	화성	시흥	일산	
0~1년				1023	858	872			
1~2년	826			888	886		697		
2~3년	697			810	826				
3~4년	544		630	765				771	
4~5년		678	527	626			643	764	
5~6년		629	636						
6~7년		612							
7~8년					284				

V 고도처리 효과분석



활성탄 공정 – 흡착능 (2019년)

- **(MB탈색력)** 1~2년 사용 시 130~150mg/g, 2~3년 사용 시 90~120mg/g 감소

* 메틸렌탈색력은 방향족물질이나 색도물질에 대한 지표(구매기준 : 180mg/g이상)

(단위:mg/g)

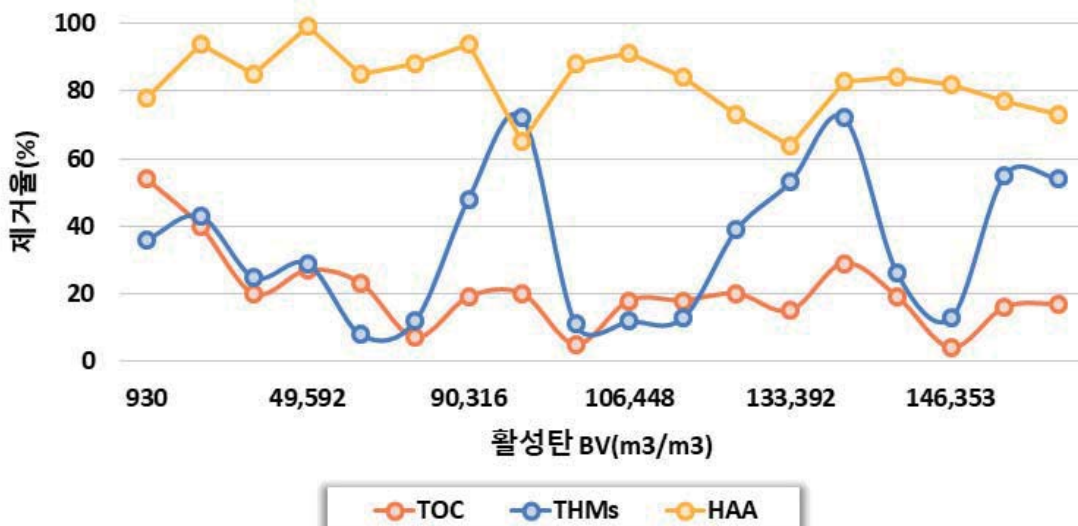
경과 년도	전오존 AOP + F/A			후오존 + GAC			UV + F/A		비 고
	반월	덕소	수지	고양	성남	화성	시흥	일산	
0~1년	-	-	-	210	140	140	-	-	
1~2년	130	-	-	150	150	-	100	-	
2~3년	110	-	-	90	120	-	-	-	
3~4년	40	-	90	110	-	-	-	95	
4~5년	-	100	60	100	-	-	70	100	
5~6년	-	75	90	-	-	-	-	-	
6~7년	-	80	-	-	-	-	-	-	
7~8년	-	-	-	-	-	-	-	-	

V 고도처리 효과분석



활성탄 공정 – 제거효율 (2019년)

- **(TOC)** 운영초기 약 60% 제거율 → BV 50,000 이후 20% 이하로 감소
- **(HAA)** BV 100,000 초과 시에도 64 ~ 91%의 높은 제거율



V 고도처리 효과분석



고도상시가동 효과분석

◆ 오존공정 상시 가동이, 유기물, 소독부산물, 맛냄새 제거 측면에서 바람직

구 분		원·정수 유기물 제거율(%)					비 고
		TOC	DOC	POC	BDOC	NBDOC	
성 남	2월	37	42	-	89	40	오존공정 상시운영 (오존0.3ppm)
	5월	50	52	-	86	47	
	8월	49	50	21	87	46	
	10월	56	56	46	18	57	
	평균	48	50	34	70	48	
시 흥	2월	15	16	-	78	10	고도산화 간헐운영 (UV-AOP)
	5월	32	31	46	29	32	
	8월	37	36	62	94	30	
	10월	33	32	45	64	31	
	평균	29	29	51	66	26	
송 전	2월	22	21	48	95	12	표준(정) DAF + 급속여과
	5월	19	15	75	77	9	
	8월	15	14	39		25	
	10월	24	24	43	31	23	
	평균	20	19	51	68	17	

V 고도처리 효과분석



고도(오존공정) 상시가동 효과분석

◆ 오존공정 상시 가동이, 유기물, 소독부산물, 맛냄새 제거 측면에서 바람직

- (소독부산물) HAA 제거효율이 약 50% 상승

구 분	THMs	HAA	CH	비 고
간헐 운영 제거율(%)	26	35	100	19.1~5월
상시 운영 제거율(%)	25	83	86	19.6~12월

- (맛냄새) 고도 상시 가동 시 맛냄새물질 100% 제거

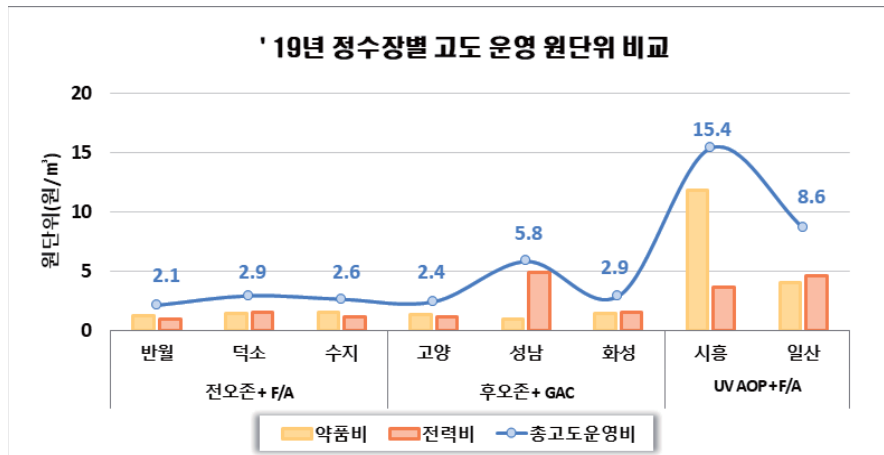
구 분	지오스민	2-MIB	비 고
간헐 운영 제거율(%)	45	0	19.1~5월
상시 운영 제거율(%)	100	100	19.6~12월

V 고도처리 효과분석



운영비용 (2019년)

- **[전 오존 + F/A GAC]** 전력비 0.9 ~ 1.5원/m³, 약품비 1.2 ~ 1.5원/m³ ⇒ **총 2.1 ~ 2.9원/m³**
* 오존 주입율 0.6 ~ 0.9ppm, 과수 0.1 ~ 0.3ppm 주입
- **[후 오존 + GAC]** 전력비 : 오존설비 1.1 ~ 1.5원/m³, 중간가압장(성남) 3.8원/m³, 약품비(액체산소) 1.0 ~ 1.4원/m³ 소요 ⇒ **총 2.4 ~ 5.8원/m³ 운영비 사용**
- **(UV-AOP)** 총 8.6 ~ 15.4원/m³으로 가장 높음

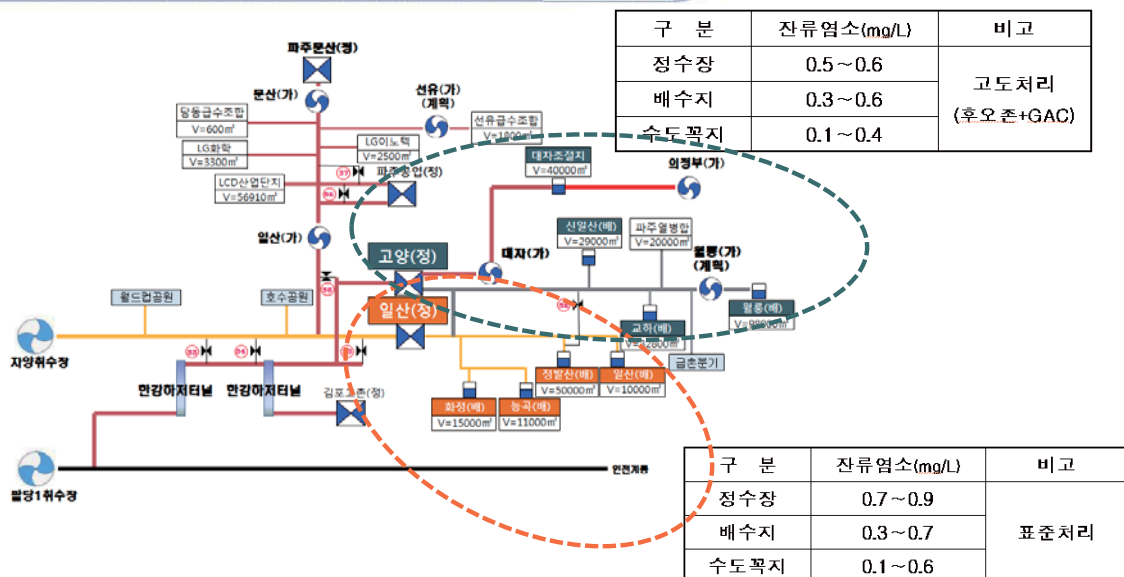


V 고도처리 효과분석



급배수계통 잔류염소 유지력 증가

급배수계통 수질 모니터링 : 고양권 광역 (2015년)



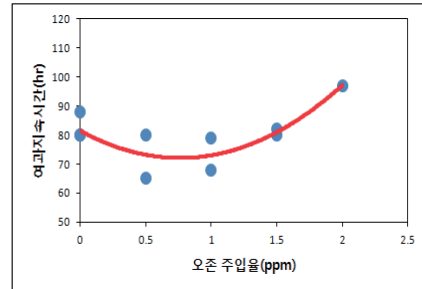
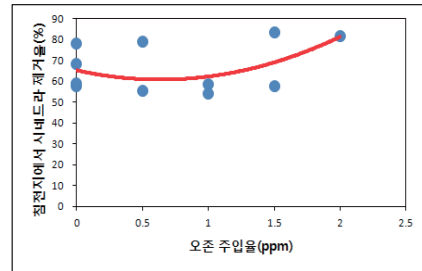
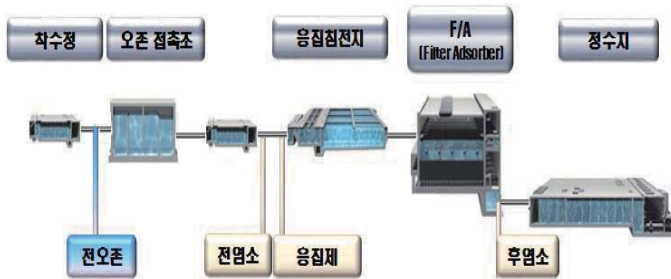
- **고도처리 정수는 표준처리 정수보다 급배수계통에서 잔류염소 소모량이 적으므로 정수지(배수지)에서 더 낮은 잔류염소로도 수도꼭지 적정 잔류염소 유지 가능**

V 고도처리 효과분석

K water

전오존에 의한 규조류(시네드라) 처리효율 증가

❖ 반월(정) 전오존 주입사례(2014년)



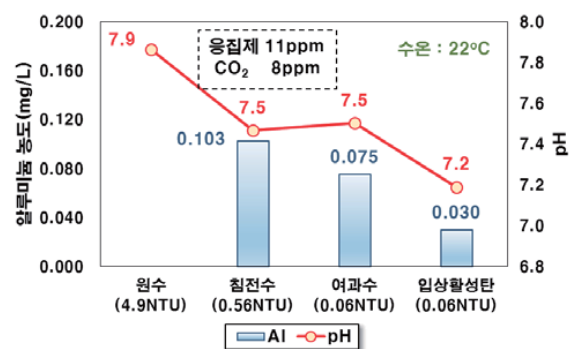
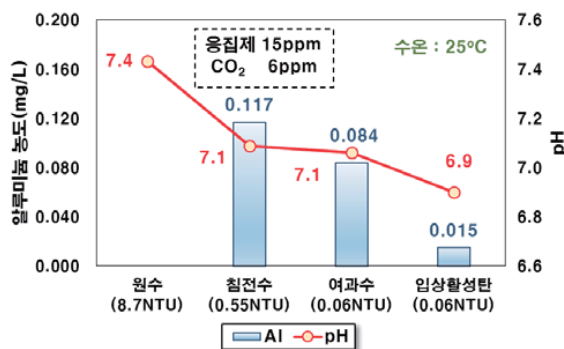
- 반월(정)은 전오존 1.5ppm 이상 주입으로 응집침전지에서 시네드라 제거효율 향상
- 대구시 문산(정)은 전오존을 1.5ppm 이상 주입으로 응집침전공정에서 시네드라를 99%까지 제거 → 여과지속시간이 3.2배 증가

V 고도처리 효과분석

K water

알루미늄(AI) 농도 저감

● 고도처리 공정별 알루미늄 농도 변화: 2014년 고양(정) 사례



- ✓ 2014년 하절기 7~10월까지 매주 각 공정별 수온, pH, 탁도, 알루미늄 농도를 조사한 결과, 알루미늄은 수온, pH, 탁도가 높을수록 그 농도도 증가하게 됨.
- ✓ 입상활성탄 공정에서는 약 0.10 ~ 0.04mg/L의 알루미늄이 제거(수온 25~22°C)

감사합니다



Korea Water Resources Corporation K-water

망간 출수에 관한 사항



이영주 K-Water

망간 출수에 관한 사항



K-water연구원
이 영 주



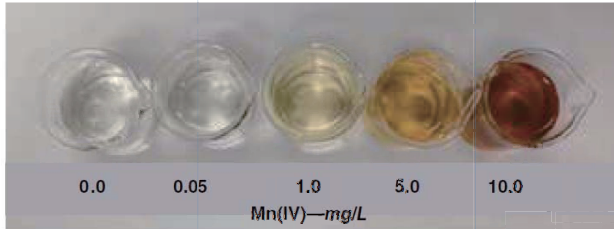
Contents



- I 망간 특성
- II 망간제거 메커니즘
- III 산화제별 망간 제거 효율
- IV 망간사 여과지 망간 제거 효율
- V 수돗물 공급과정 망간 발생 특성

망간 특성

FIGURE 6 Color intensity of Mn(IV) in deionized water increases with concentration



Mn—manganese

* 출처) Assessing taste and visual perception of Mn(II) and Mn(IV), AWWA, 2014.

망간농도(mg/L)		0.01	0.02
색 도	최저 (300배)	3	6
	최고(400배)	4	8
	SW 시	5	13

망간에 의해 흑수가 유발되기도 하지만
민원을 야기함(망간농도의 300~ 400배)

	AS 시
	00천과 00천
	2010
곳	- 00동 일대 녹물 발생 전화 민원에 따른 퇴수 작업

Visual detection of Mn(II) and Mn(IV) from one-in-five test

Concentration—mg/L Mn	Percent Detected*
Mn(IV), Oxidized	
0.005	100
0.01	97
0.03	97
0.05†	97
Mn(II), Reduced	
0.05†	10
10	0

Mn—manganese, n—number, SMCL—secondary maximum contaminant level, USEPA—US Environmental Protection Agency

n = 31 for all tests

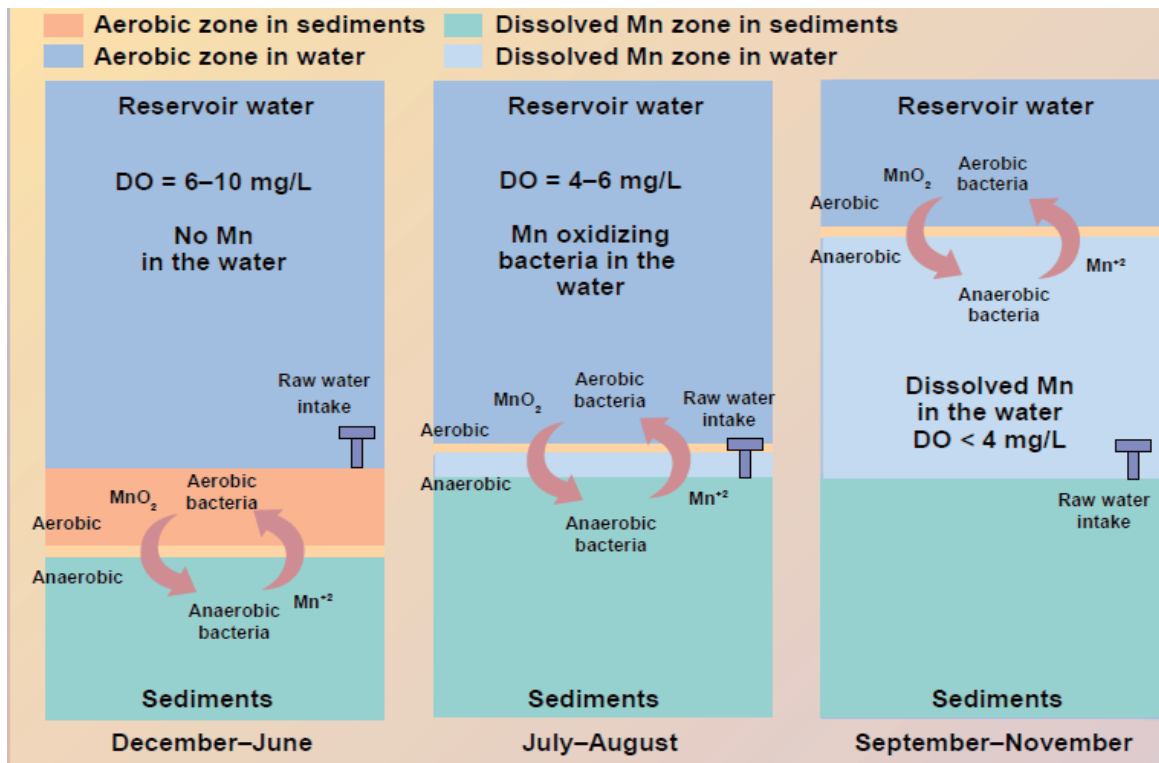
*Percentages represent number of subjects positively detecting manganese over total number of subjects.

†USEPA SMCL = 0.05 mg/L

망간 발생원 및 거동특성

- 망간 : 지각 구성 원소 중 11번째로 풍부(화강암 지역, 화강암 풍화 지역, 풍화된 화강암이 쌓인 퇴적지역 등)
- 수원에서 망간 거동 : 미생물 활성도와 용존산소 농도에 영향
 - 미생물 활성도 : 두 종류의 박테리아에 의해 영향 받음
 - 환원성(혐기성) 박테리아는 호흡을 위해 산소(O₂) 대신 고형 MnO₂를 이용하고 환경 중에 용존 Mn(II) 배출
 - 고형 MnO₂는 수체 바닥에 침전
 - 용존산소(DO)에 의한 망간 순환
 - 이용 가능한 용존산소(DO)가 많은 경우, 산화상태가 되어 MnO₂가 생성되고 수체내에 침전
 - 혐기상태가 되면 용존 Mn(II)가 생성되어 수체내 배출

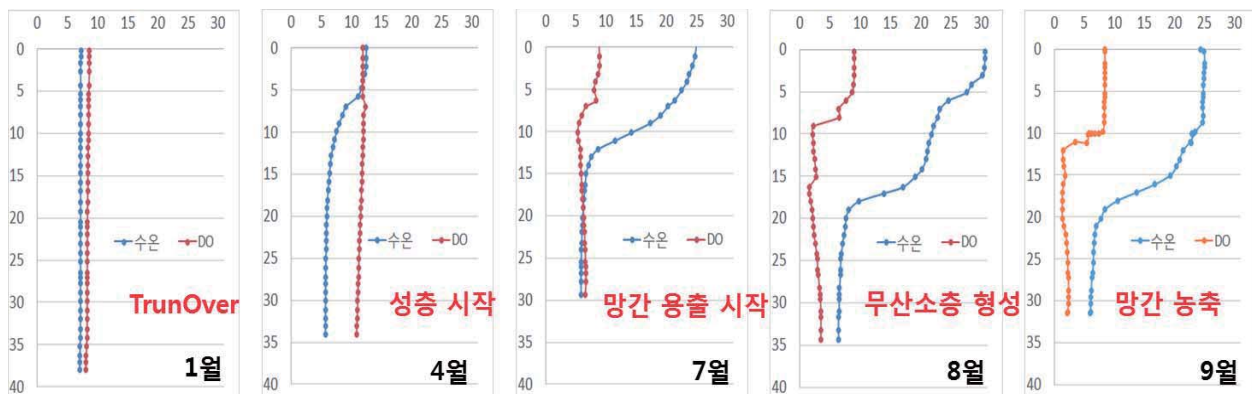
망간 발생원 및 거동특성



* 망간 순환 형태(AWWA, 1997)

망간 발생원 및 거동특성

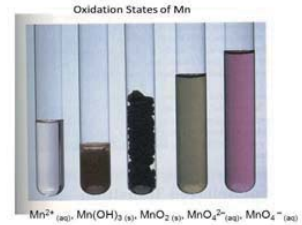
- 계절별 변화 : 겨울 – 고농도 환산, 봄 – 청정, 여름 – 심층 용출, 가을 – 심층 용출/농축
- 7월부터 심층 망간 용출 시작되면서 망간 농축 심화, turn-over 시기에 고농도 망간 상층부로 이동



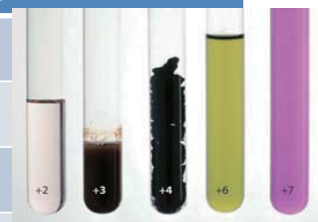
망간 특성

■ 망간은 6가지 형태로 존재

- 용존망간(Mn^{2+}) : 주로 지하수나 관개용수에서 검출
- 고형망간($\text{MnO}_2(\text{s})$)
- $\text{Mn}(\text{II}, \text{IV}, \text{VII})$ 는 주로 산성범위에서 존재
- 염기범위에서는 MnO_4^{2-} 형태로 존재

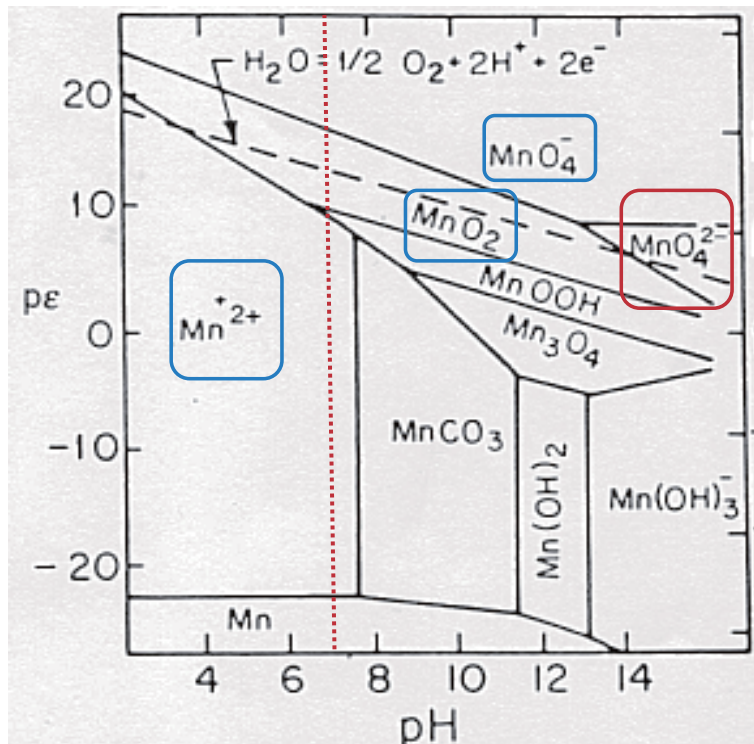


원자상태	화학식	존재형태
0	$\text{Mn}(\text{s})$	망간 금속
2	Mn^{2+}	연한 핑크색(pale pink)
3	Mn^{3+}	붉은 보라색(red-violet)
4	$\text{MnO}_2(\text{s})$	흑갈색(brown-black)
6	MnO_4^{2-}	흑녹색(dark-green)
7	MnO_4^-	진자색(intense purple)



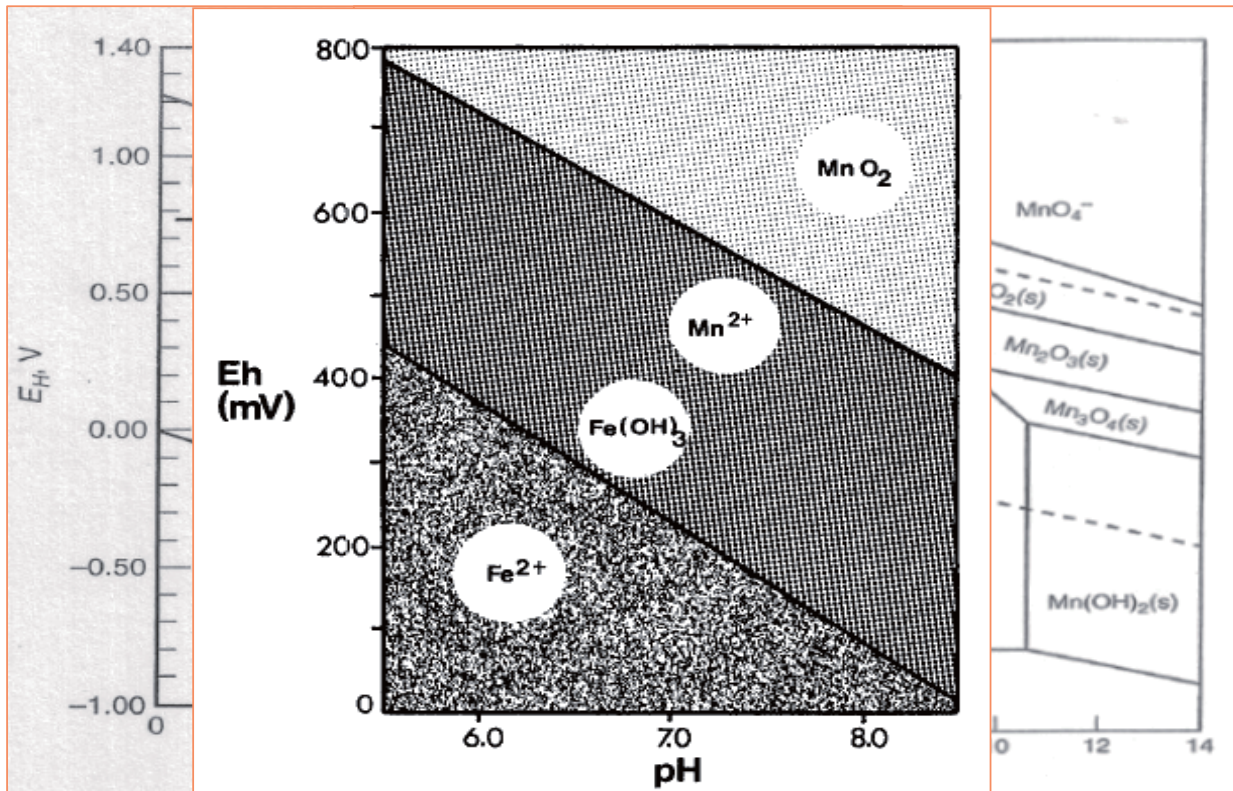
망간 특성

■ 망간의 pH와 산화도에 따른 존재형태



원자상태	화학식
0	$\text{Mn}(\text{s})$
2	Mn^{2+}
3	Mn^{3+}
4	$\text{MnO}_2(\text{s})$
6	MnO_4^{2-}
7	MnO_4^-

망간 특성



9

망간 특성

- 망간은 크게 입자성, 콜로이드성, 용존성의 3가지 형태로 존재
- Membrane filter는 문헌에 따라 0.45와 0.1 μm 가 모두 사용
 - 총망간 : 시료에 존재하는 총 망간
 - 입자성(고형) 망간 : 0.1 μm membrane filter를 통해 걸러지며, 고형 MnO_2 를 말함 * 고형망간 = 총망간-용존망간
 - 용존망간 : 0.1 μm membrane filter를 통과해서 나오는 망간
 - 콜로이드성 망간 : 0.1 μm membrane filter를 통과하되 ultrafilter(30kDa)는 통과하지 못하는 망간
 - Truly 용존망간 : ultrafilter(30kDa)를 통과해서 나오는 망간으로 $Mn(II)$ 로 추정

* 출처) AWWARF, Occurrence of Manganese in Drinking Water and Manganese Control, 2006

망간 특성

- 망간 : 먹는물 수질기준 중 “심미적 영향물질”로 구분
- 먹는물 수질기준 : 0.05 mg/L
- 경제성 및 민원 최소화 망간 관리 농도 : 0.02 mg/L(AWWA, 2006)
- 망간 관련 수질문제 없는 농도 : 0.01 mg/L
- 현실적 목표 : 0.015 mg/L(AWWAF, 2006)

국내	망간 권고 기준(mg/L)	해당 국가
	0.1	Australia/Australian Water Resources Council
	0.1	WHO
	0.05	USEPA
	0.05	Health Canada
	0.05	European Economic Community – Maximun
	0.02	European Economic Community – Guidance level

망간 제거 메커니즘

- 산화법에 의한 망간 제거
- 접촉법에 의한 망간 제거
- 생물학적 방법에 의한 망간 제거
- 막여과에 의한 망간 제거
- 연수화에 의한 망간 제거
- 이온교환에 의한 망간 제거

망간 제거 메커니즘

Reaction	Oxidant, mg/mg Mn ²⁺	Alkalinity used, mg/mg Mn ²⁺	Sludge,* lb/lb (kg/kg) Mn ²⁺
A. Oxygen $2\text{MnSO}_4 + 2\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 = 2\text{MnO}_2 + 2\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$	0.29	1.80	1.58
B. Chlorine $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Cl}_2 = \text{MnO}_2 + \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$	1.29	3.64	1.58
C. Chlorine dioxide $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{NaHCO}_3 + 2\text{ClO}_2 = \text{MnO}_2 + 2\text{NaClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$	2.46	3.60	1.58
D. Potassium permanganate $3\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{KMnO}_4 = 5\text{MnO}_2 + 2\text{KHCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$	1.92	1.21	2.64

*Sludge weight based on MnO₂ as the precipitate. It is highly probable that portions of the sludge will consist of MnOOH and MnCO₃.

(출처 : Water Treatment Plant Design, AWWA, 1998)

大韓環境工學會誌 · 논문 · pp. 115 ~ 119, 2005.

기존 정수장 이산화염소 시범도입 사례연구

이승희[†] · 이병두* · 김진근** · 석관수*** · 이정택****

한국상하수도협회 · *한국수자원공사 수도지원처 · **한국수자원공사 수도관리처
한국수자원공사 댐관리처 · * 한국수자원공사 용담댐관리단

Table 5-3 Summa

Oxidant
Oxygen
Chlorine
Potassium permanganate
Ozone
Chlorine dioxide

4. 결 론

이산화염소는 소독부산물 발생량이 낮다는 장점 때문에 선진외국의 많은 정수장에서 사용되고 있으나 우리나라와는 법적규제, 수처리공정 등 여러 가지 측면에서 다른 상황이기 때문에 기존 정수장에서 이산화염소를 도입하고자 할 때는 충분한 사전검토가 필요한 것으로 판단된다.

1) 이산화염소에 의한 소독부산물생성능의 저감효율은 약 10% 정도이나, 전처리로 이산화염소를 투입하고 소독목적의 후염소처리를 실시할 경우 응집침전과정에서 전구불질이 제거된 만큼 소독부산물 생성량이 줄어들어 30~40%의 저감효과를 기대할 수 있다.

2) 납조류에 의한 맛·냄새물질인 2-MIB, Geosmin 처리효율은 10% 이하로 미미한 것으로 조사되었으며, 망간산화효율은 90% 정도로 높게 나타났으나 이산화염소 부산물 기준을 고려한 최대 투입량이 1.0 mg/L이므로 망간농도가 0.5 mg/L 이상인 경우는 적용이 곤란하다.

3) 이산화염소의 70~100%가 클로라이트, 클로레이트로 전환되는데 이들 부산물중 50~70%는 클로라이트이고 접촉시간이 길어질수록 클로레이트로 전환되었다. 클로라이트는 급배수관망에서 유리잔류염소와 반응하여 이산화염소를 재생성시켜 냄새민원을 발생시키는 원인물질로 0.4 mg/L 이하로 유지하여야만 냄새발생을 방지할 수 있는 것으로 조사되었다.

4) 투입설비의 최적운동을 위해서는 이산화염소 발생농도, 수율, 부산물 농도 등을 주기적으로 측정하여야 하므로 전문인력과 분석장비의 확보가 중요하다.

Reaction time

>1 hr

2~3 hr

<20 sec

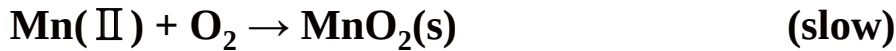
10~30 sec

10 sec

(출처 : Iron and Mn)

망간 제거 메커니즘

- 공기폭기(Aeration) : 철 제거에는 유용하나, 망간제거에는 반응이 느리고, pH 9.5 이상 요구되기 때문에 유용한 방법 아님



- 염소산화

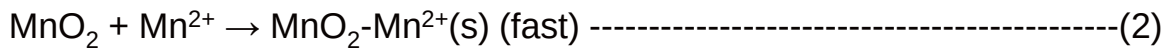
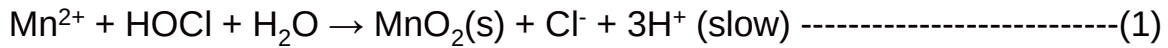


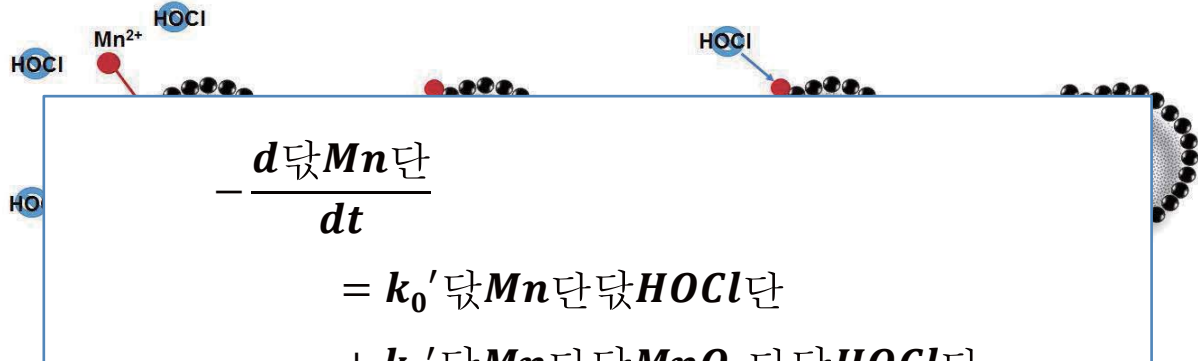
망간 제거 메커니즘

- 과망간산 : 유기물/무기물 산화 가능하나, 암모니아 산화 못하며, 과량 주입시 색도(분홍색) 민원 발생 뿐 아니라, 관로상에 고형 망간(MnO_2) 발생 우려
- 오존 : 주입량이 적절치 않을 경우 7가 망간(MnO_4^-)으로 산화되어 분홍색 민원 발생, 오존만으로 원수 망간 농도를 0.015 mg/L 이하로 낮추는 것은 어려움
- 과산화수소 : 망간과 반응하지 않음



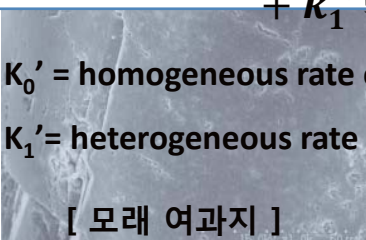
망간 제거 메커니즘





$$\frac{d\text{Mn}}{dt} = k_0' \text{Mn} \text{HOCl} + k_1' \text{Mn} \text{MnO}_2 \text{HOCl}$$

K_0' = homogeneous rate constant, $6.4 \times 10^{-4} \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$
 K_1' = heterogeneous rate constant, $4.0 \times 10^6 \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$



[모래 여과지]



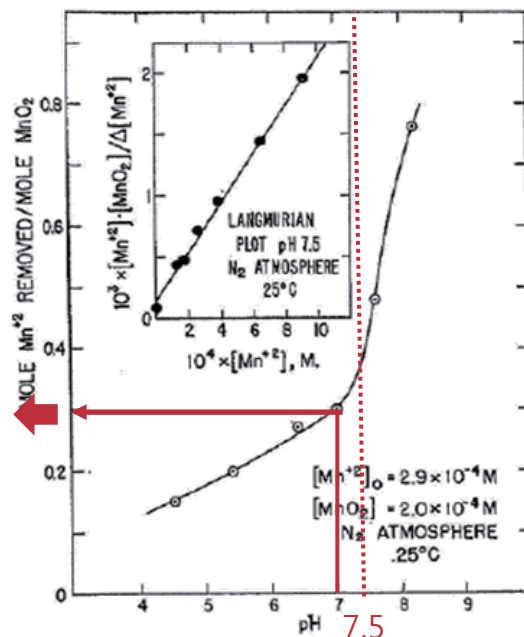
[망간사 여과지]

O	44.78
Al	20.15
Si	0
Mn	35.06
Total	100

망간 제거 메커니즘

- 산화망간으로 코팅된 여재에 흡착할 수 있는 지점이 많을수록, pH가 높을수록, 잔류염소가 존재할수록 제거율 증가

약 0.3 mole Mn^{2+} /mole $\text{MnO}_2(\text{s})$



* 출처) Morgan and stumm, 1964

망간 제거 메커니즘

■ BA (정) 실험 결과

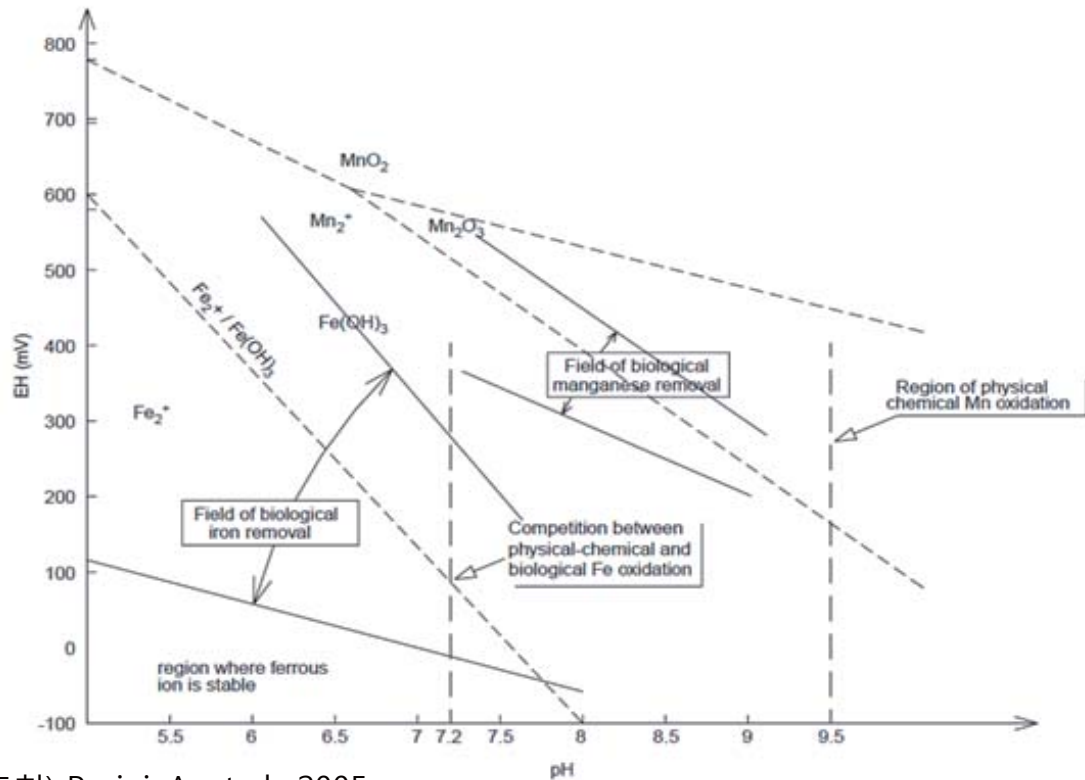
여과지 유입수 pH (-)	여과수 잔류염소 (mg/L)	여과수 망 간 (mg/L)	망 간 제거율 (%)	원 수 용존망간 (mg/L)
6.7	0.3~0.4	0.021~0.031	85~90	0.2
	0.6~0.7	0.011~0.018	91~95	
	1.0 이상	불검출	100	
7.2	0.3~0.4	불검출~0.011	96~100	0.3
	0.6~0.7	불검출	100	
	1.0 이상	불검출	100	

망간 제거 메커니즘

■ 생물학적 방법

- 망간산화 세균 : *Gallionella*, *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Hyphomicrobium*, *Siderocapsa*, *Siderocystis*, *Metallogenium*, *Pseudomonas manganoxidans* 등
- 1) 망간 산화세균의 효소 작용에 의한 세포내 산화반응 (intracellular oxidation), 2) 세균의 대사과정 중에 배출된 폴리머의 축매작용에 의한 extracellular oxidation, 3) 세포 외 폴리머로 인하여 세포벽 표면에 Mn^{2+} 흡착된 후 효소반응에 의해 산화

망간 제거 메커니즘



* 출처) Pacini, A. et al., 2005

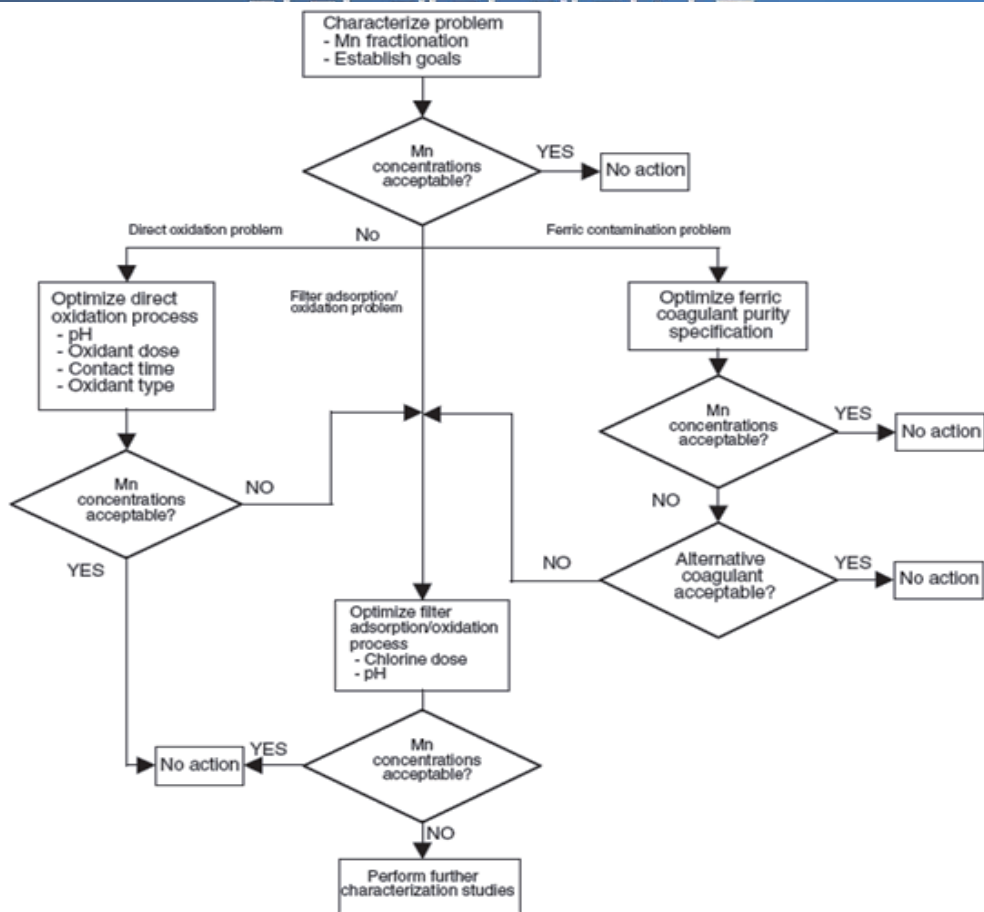
망간 제거 메커니즘

망간제거 방법별 효율

Treatment process	General Mn removal effectiveness*	Overall practicality of process
Aeration	Poor-fair	Poor
Coagulation/sedimentation/filtration	Fair-excellent	Excellent
Lime softening	Excellent	Good if also softening
Ion exchange-anion	Poor	Poor
Ion exchange-cation	Good-excellent	Good, but costly
Membrane-reverse osmosis	Good-excellent	Good, but costly
Membrane-ultrafiltration	Good	Good, but costly
Membrane-electrodialysis	Good-excellent	Good, but costly
Chemical oxidation/disinfection	Fair-excellent	Good
Adsorption-granular activated carbon	Poor	Poor
Adsorption-powdered activated carbon	Poor	Poor
Adsorption-activated alumina	Poor	Poor

* poor(0~20% removal), fair(20~60%), good(60~90%), excellent(90~100%)

망간



산화제별 망간제거 효율

산화제 종류별 망간 제거 효율 평가

- 초기 망간농도 : 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0 mg/L
- pH : 6.5, 7.5, 9.5
- 주입율 : (염소) 2~4 mg/L, (오존) 0.5~1.5배, (과망간산) 1~3배
- 접촉시간 : 20 ~ 90분

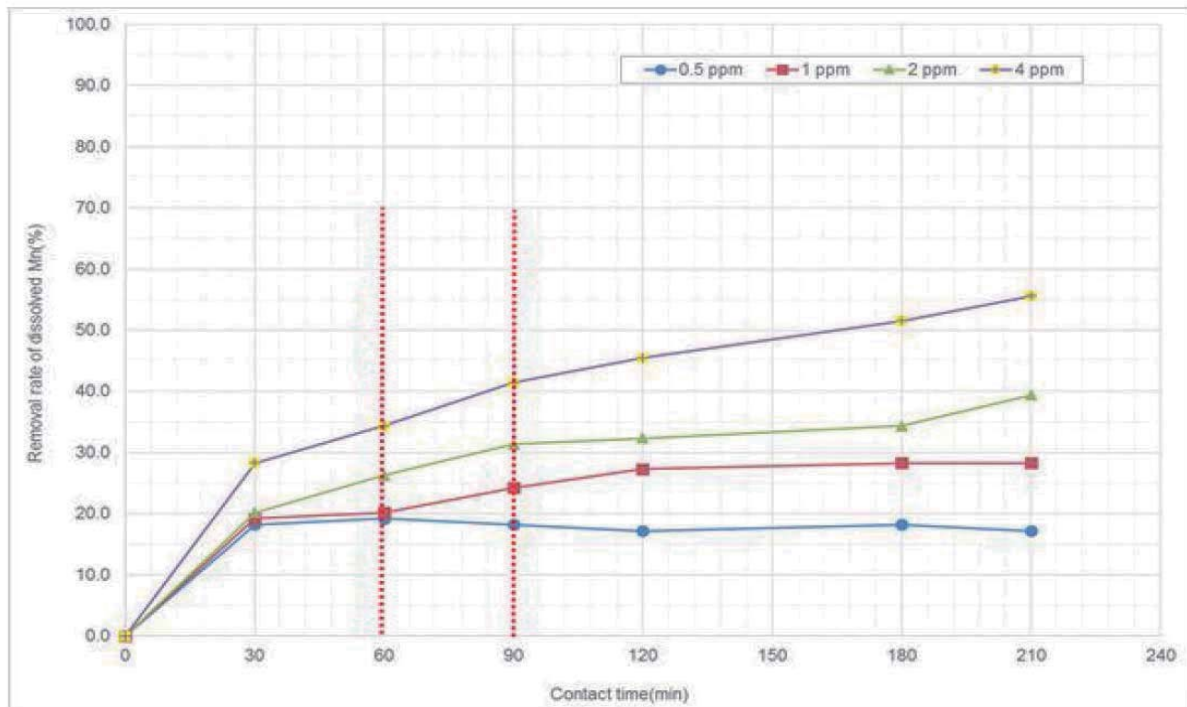
망간 농도(mg/L)		0.05	0.1	0.3	0.5	1.0	2.0
제거율 (%)	과망간산	58~59	79~84	100	89~97	92~100	96~100
	염 소	20~68	0~62	14~79	-	20~45	53~68
	오 존	30~48	65~69	97	85~95	90~100	89~99

* 최적 과망간산 주입 농도 : 용존망간 농도의 1.7~2.5배

염소에 의한 망간 제거 특성

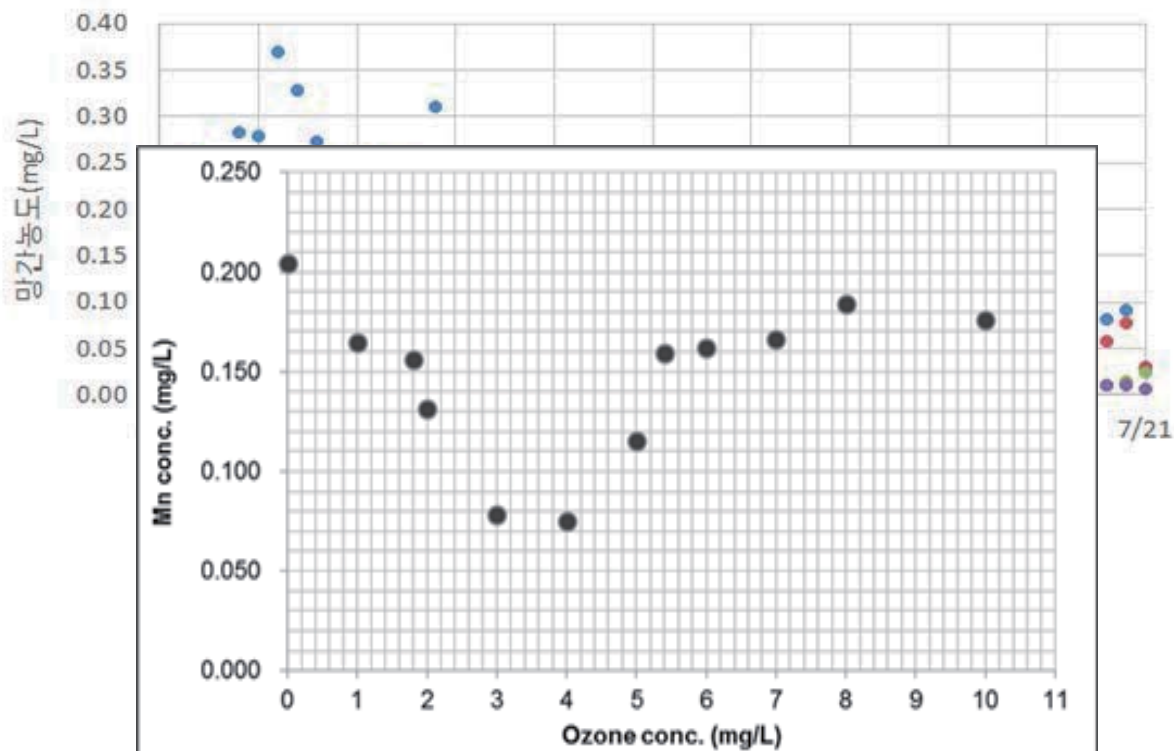
■ 용존망간 농도 : 0.1 mg/L

* 전염소-침전 : 10~56%(40%) 제거



23

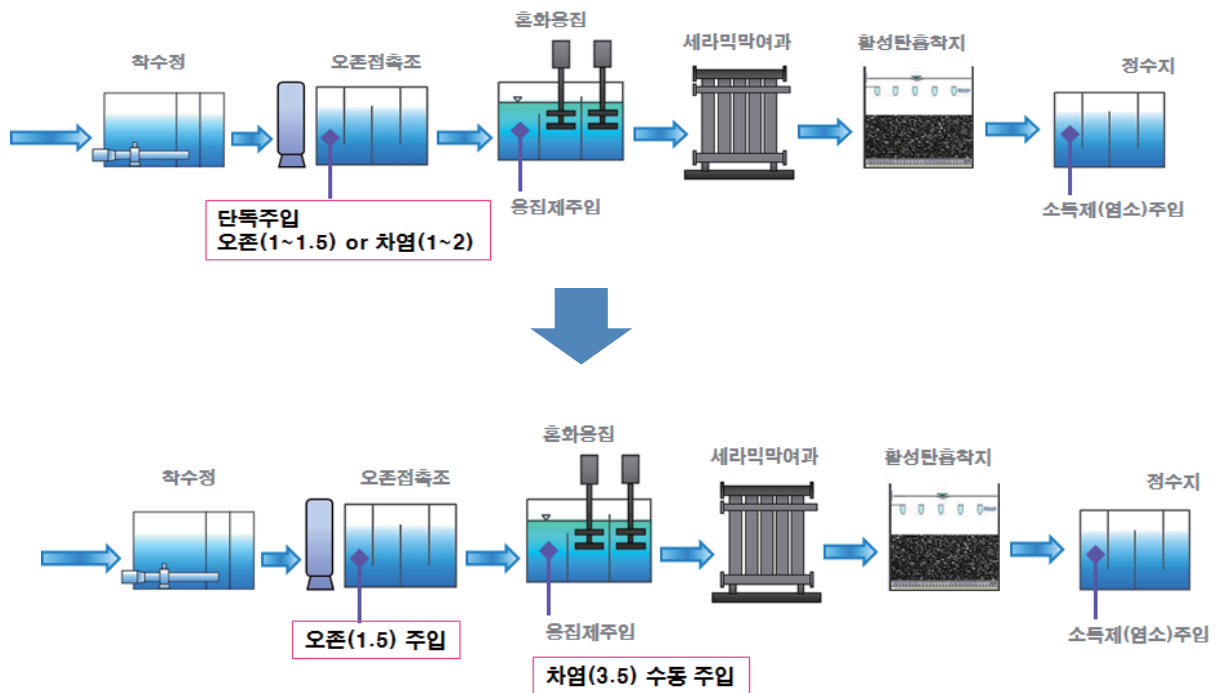
오존에 의한 망간 제거 특성



7/21

26

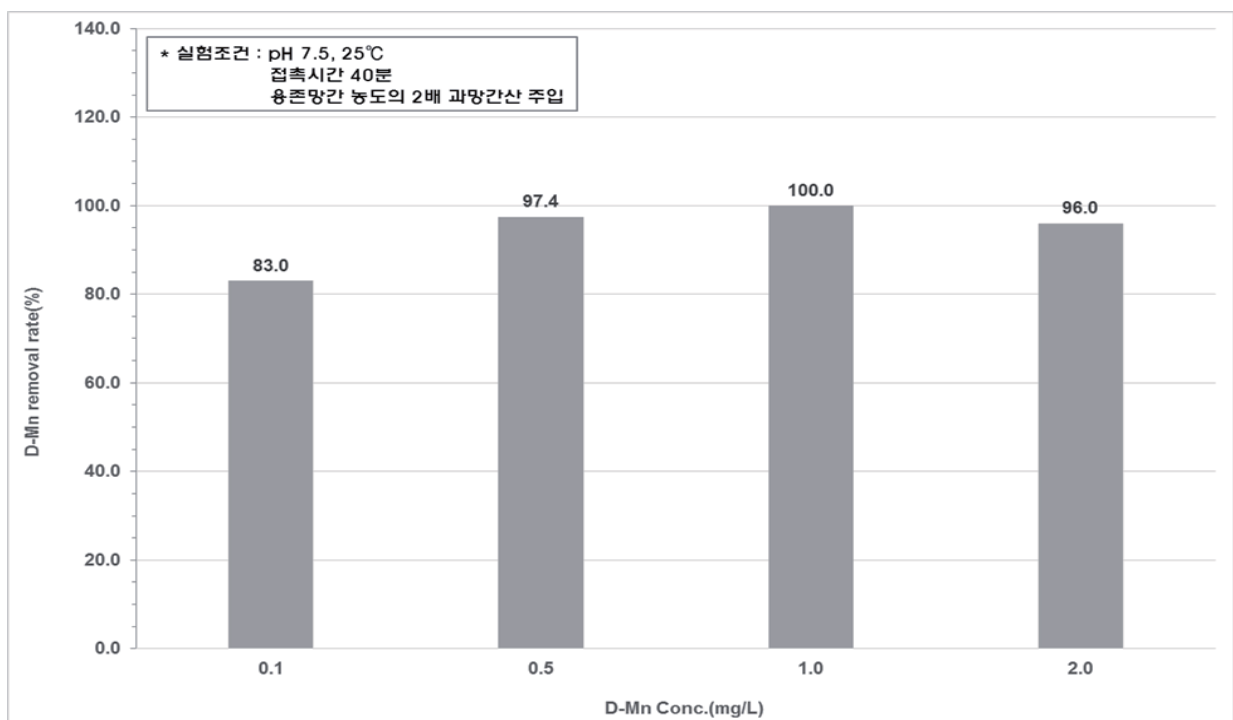
오존 주입에 따른 망간 제거 특성



27

과망간산에 의한 망간 제거 특성

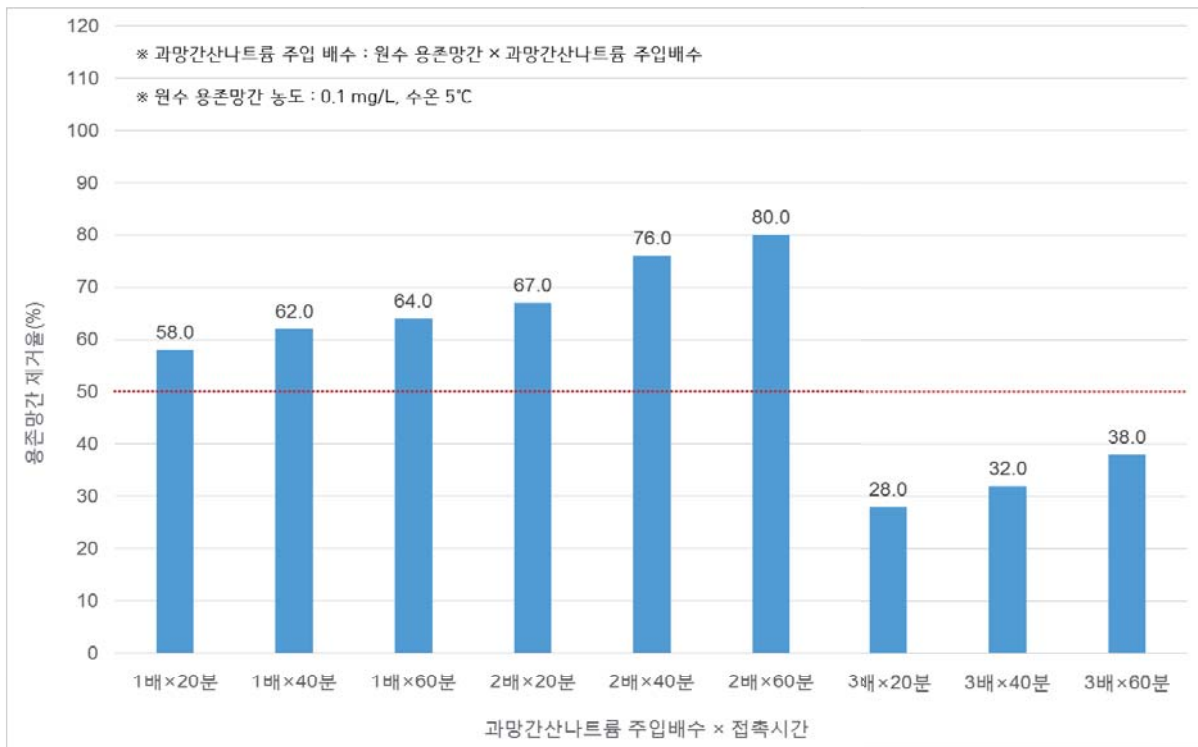
■ 원수 중 용존망간 농도에 따른 망간 제거 효율



28

과망간산에 의한 망간 제거 특성

주입율 및 접촉시간에 따른 망간 제거 효율



과망간산 수처리제 지정

과망간산 사용 현황(미국)

- 미국 내 16% 정수장에서 산화제 용도로 과망간산 사용
- 인구 10만명 이상 대규모 정수장에서 약 29% 사용

* (출처) Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual(USEPA, 1997)

Treatment	Service Population								Total
	<100	101-500	501-1,000	1,001-3,300	3,301-10,000	10,001-50,000	50,001-100,000	Over 100,001	
Surface Water Systems									
Total Number of Systems	218	432	330	845	679	626	103	104	3,337
Pre-Disinfection, Oxidation/Softening									
Chlorine	59.0%	73.9%	67.3%	66.3%	68.8%	58.6%	47.5%	57.1%	63.8%
Chlorine dioxide	0	0	0	5.0	4.7	13.2	14.2	7.8	6.3
Chloramines	4.6	0	1.1	2.1	0	2.2	15.5	10.8	3.1
Ozone	0	0	0	0	0.3	0	5.4	5.8	0.9
KMnO ₄	0	4.9	9.6	9.9	15.2	28.3	25.9	28.5	16.0
Predisinfection/oxidation	0	0	2.0	2.9	0.6	9.2	5.1	4.3	3.5
Lime/Soda ash softening	6.8	9.8	20.9	16.2	14.3	11.7	3.5	5.9	12.5
Recarbonation	0	0	0	0	2.1	4.7	0.6	6.3	1.9
Post-Disinfection									
Chlorine	49.7 %	51.6%	80.6%	62.8%	77.9%	71.1%	73.8 %	63.6 %	67.5 %
Chlorine dioxide	0	0	0	0	0.3	4.9	5.9	11.2	1.6
Chloramines	0	0	0	2.9	2.1	15.6	29.4	24.2	8.1
Postdisinfection combinations	0	0	0	2.1	4.0	3.9	1.9	1.6	3.0

USEPA. 1997a. Community Water System Survey - Volumes I and II; Overview. EPA 815-R-97-001a, -001b. January.

- 조사대상 242개 시설 중 53%(128개소) 망간 처리 공정 운영
 - 128개소 중 41개소(32%) 과망간산 사용
 - 38개소(49%) 망간사 여과지 사용
 - 기타 산화제(염소, 이산화염소, 오존, 폭기 등) 사용 및 생물학적 처리
- * (출처) Occurrence of Manganese in Drinking Water and Manganese Control(2006, AWWARF)

과망간산 수처리제 지정

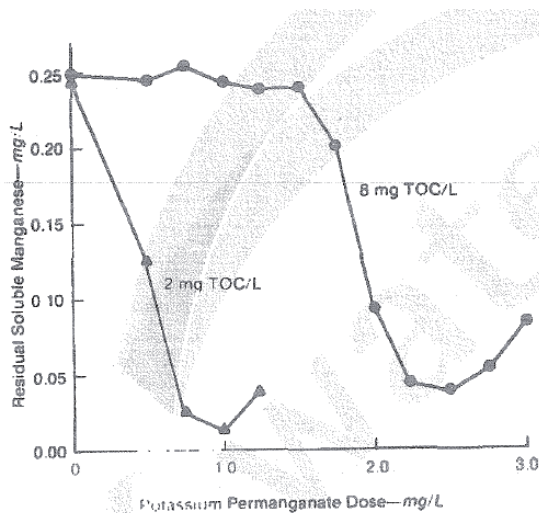


Figure 7. Effect of solution TOC on the oxidation of soluble manganese by potassium permanganate (*low-TOC raw water—New River; high-TOC raw water—Harwood's Mill Reservoir; pH—5.5; temperature—68°F [20°C]*)

When TOC was <3 mg/L, the required permanganate dosage was typically less than 10-20 percent above the stoichiometric prediction. However, when soluble manganese was present in waters with high TOC levels, the required permanganate dosage was well above the stoichiometric value predicted for Mn(II) oxidation only. Figure 7 shows how increased TOC concentrations affected the dose of KMnO_4 required for manganese oxidation. Essentially no man-

* 출처) Using alternative oxidants to remove dissolved manganese from Waters Laden with organics(AWWA, 1987)

과망간산나트륨 수처리제



1. 의뢰자 기관명 : 한국수자원공사 고령관리단
주소 : 경북 고령군 단상면 단산로 1343 공평관리과
의뢰일 : 2017. 10. 31.
2. 성적서 용도 : 품질관리용
3. 용액/물질/시료명 : 과망간산나트륨 2종
4. 시험기간 : 2017. 10. 31. ~ 11. 14.
5. 시험방법 : 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준 (환경부고시 제2017-190호)
6. 시험환경 : 온도 : (최저 20 °C, 최고 24 °C), 습도 : (최저 30 % R.H., 최고 55 % R.H.)

시험결과

시험항목	단위	기준		결과	비고
		1종	2종		
성상	-	흰색 또는 노란색의 분말 또는 액체	적합	적합	-
확인시험	-	확인시험법에 따라 시험할 때 적합	적합	적합	-
비중	-	1.16 ± 0.05	1.36 ± 0.05	1.372	-
과망간산나트륨 함량	%	20 ± 1	40 ± 1	40.8	-
이산화망간	%	0.028 이하	0.055 이하	0.0017	-
비소	mg/kg	4 이하	8 이하	불검출	-
납	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	-
카드뮴	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	-
크롬	mg/kg	10 이하	20 이하	8.0	-
수은	mg/kg	2 이하	4 이하	불검출	-
셀레늄	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	-
니켈	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	-
안티몬	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	-

* 시료채취일 : 2017. 10. 30.

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 (지환) 및 시료명으로서 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 참고자료로서 용도 이외의 총포, 선관, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 서면승인 없이 재발행하지 못합니다.

검수자 김민희
시험자 김민희
기술책임자 송민희
한국환경수도연구원장 (인)

FPC05-2B(13)

Korea Environment & Water Works Institute

A4(210×297)



1. 의뢰자 기관명 : 한국수자원공사 부안관리단
주소 : 전북 부안군 본산면 부안대로 280-26
의뢰일 : 2017. 10. 30.
2. 성적서 용도 : 품질관리용
3. 용액/물질/시료명 : 과망간산나트륨
4. 시험기간 : 2017. 10. 30. ~ 11. 16.
5. 시험방법 : 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준 (환경부고시 제2017-190호)
6. 시험환경 : 온도 : (최저 20 °C, 최고 24 °C), 습도 : (최저 30 % R.H., 최고 56 % R.H.)

시험결과

시험항목	단위	기준		결과	비고
		1종	2종		
성상	-	흰색 또는 노란색의 분말 또는 액체	적합	적합	-
확인시험	-	확인시험법에 따라 시험할 때 적합	적합	적합	-
비중	-	1.16 ± 0.05	1.36 ± 0.05	1.168	1.374
과망간산나트륨 함량	%	20 ± 1	40 ± 1	20.0	40.8
이산화망간	%	0.028 이하	0.055 이하	0.0077	0.0026
비소	mg/kg	4 이하	8 이하	0.3	불검출
납	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	불검출
카드뮴	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	불검출
크롬	mg/kg	10 이하	20 이하	3.9	7.8
수은	mg/kg	2 이하	4 이하	불검출	불검출
셀레늄	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	불검출
니켈	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	불검출
안티몬	mg/kg	10 이하	20 이하	불검출	불검출

* 시료채취일 : 2017. 10. 27.

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 (지환) 및 시료명으로서 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 참고자료로서 용도 이외의 총포, 선관, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 서면승인 없이 재발행하지 못합니다.

검수자 김민희
시험자 김민희
기술책임자 송민희
한국환경수도연구원장 (인)

FPC05-2B(13)

Korea Environment & Water Works Institute

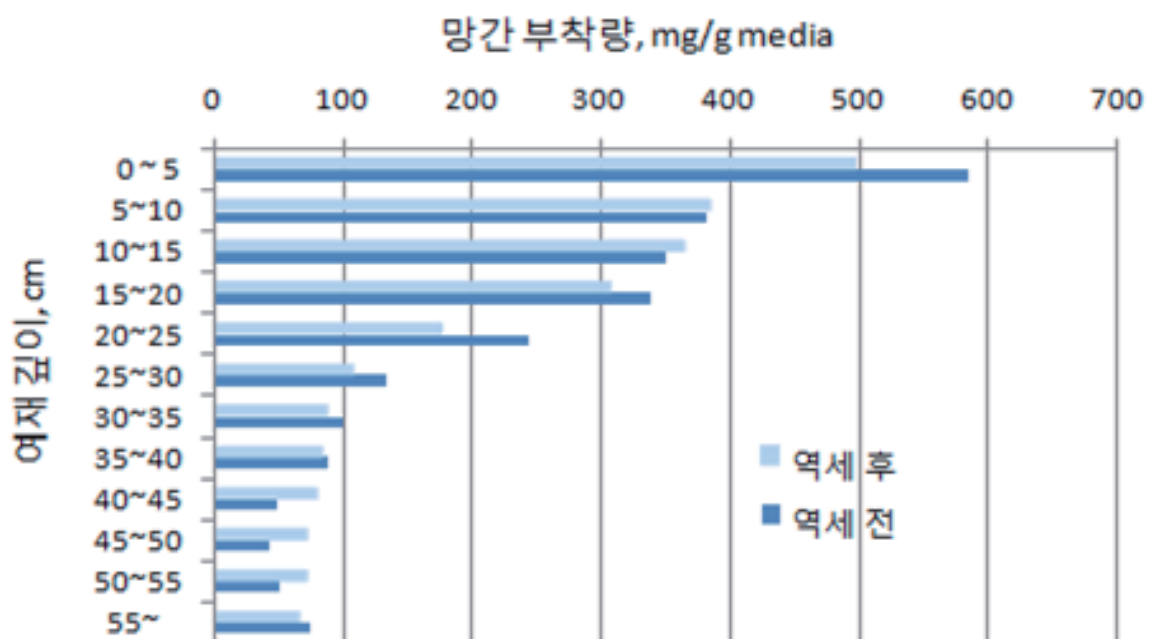
A4(210×297)

과망간산나트륨 수처리제



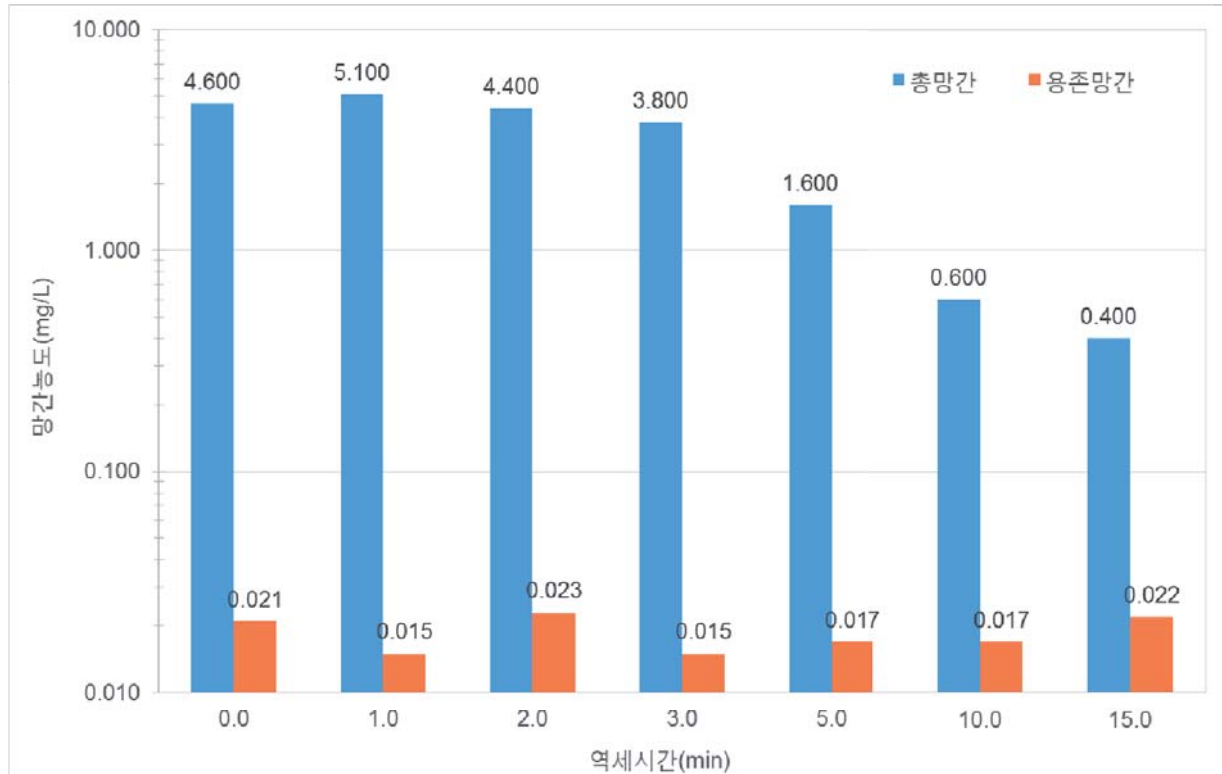
망간사 여과지 망간제거 효율

BA 정수장



망간사 여과지 망간제거 효율

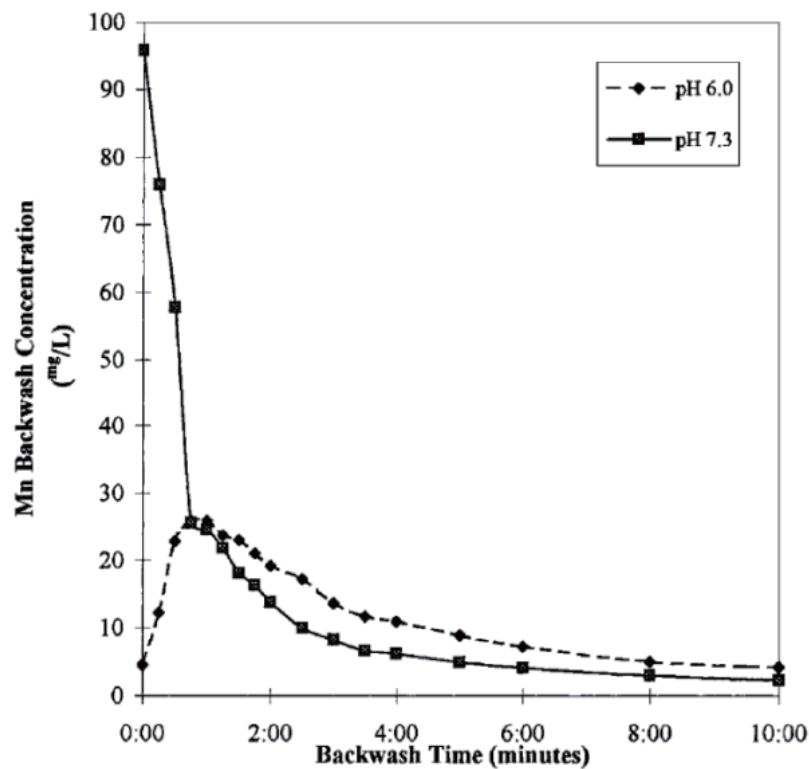
■ HS 정수장



망간사 여과지 망간제거 효율

■ 역세척

- 산화
- 배출
- Har
- 배출
- pH'
- 10~



척 과정에서
에서는

* 출처) Hargette and Knocke, 2001

망간사 여과지 망간제거 효율

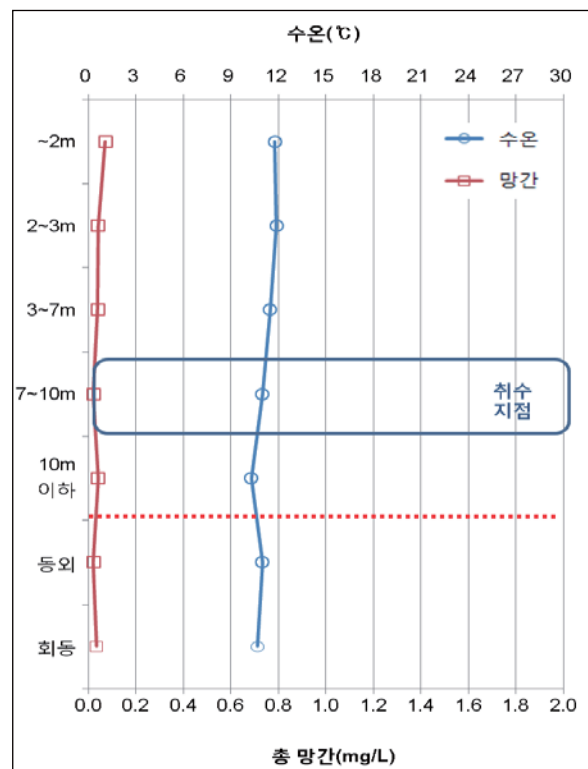
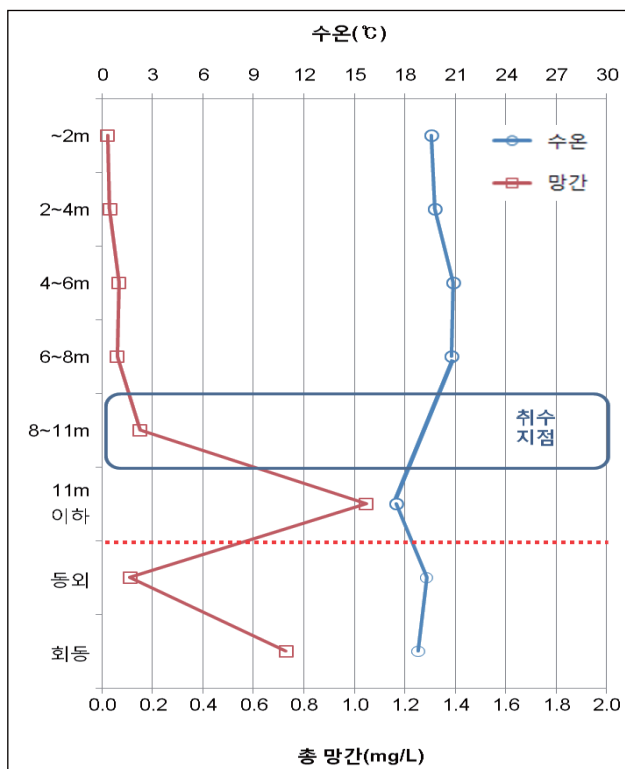
■ 역세척 방안

- 미국의 Mills 정수장은 망간산화물로 코팅된 여과지를 사용하는 가운데, 전염소를 전오존과 생물여과지로 변경한 후 염소 주입이 중지되면서 여과지 유출수에서 망간이 누출되는 사례 발생
- 망간산화물로 피복된 여과지를 사용하는 정수장에서는 공정 운영 조건을 변경할 때 염소 주입 상태를 유지하거나 여과지 교체 등의 조치
- 장시간 사용하지 않은 여과지를 재사용할 경우, 염소가 포함된 물을 이용하여 충분히 역세척 한 후에 사용

37

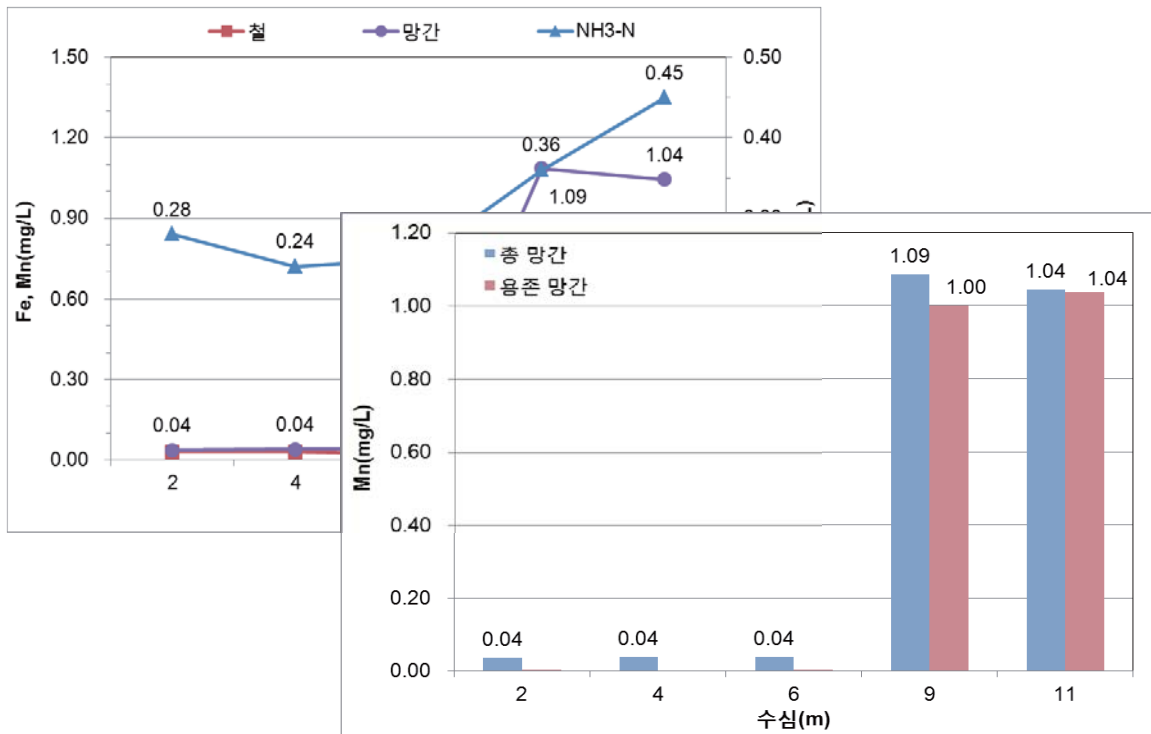
망간사 여과지 망간제거 효율

■ HD 정수장



망간사 여과지 망간제거 효율

HD 정수장



39

망간사 여과지 망간제거 효율

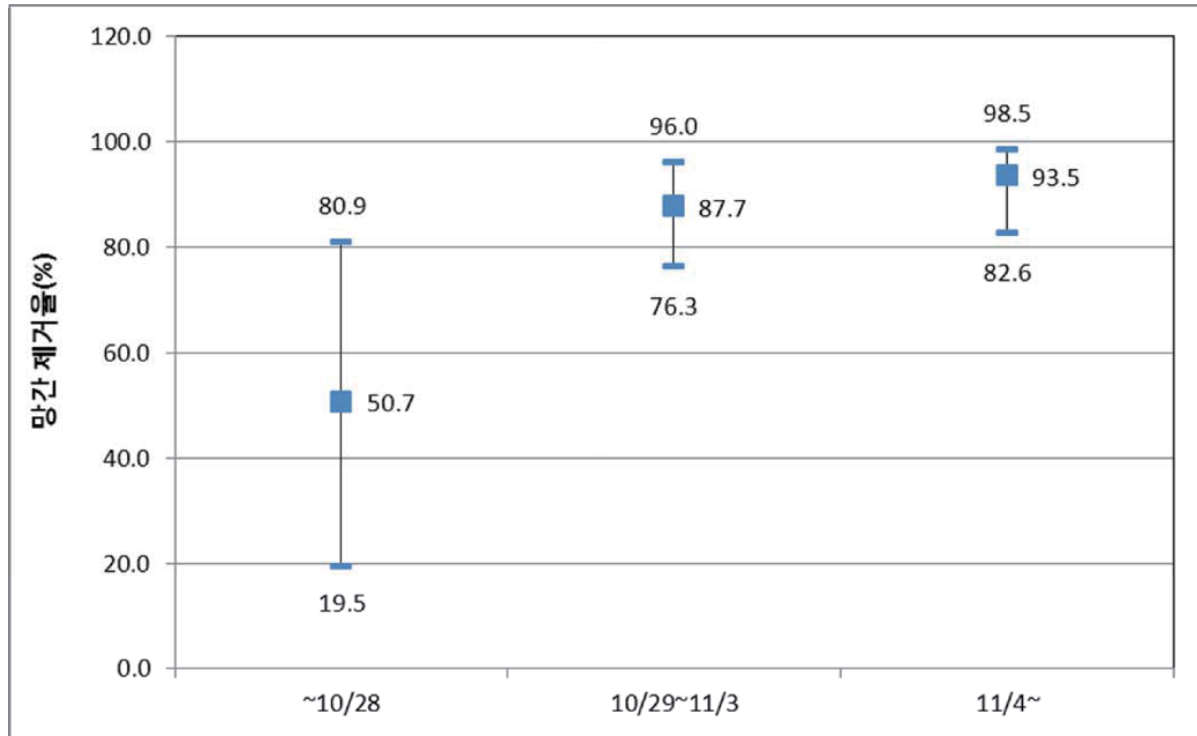
HD 정수장



40

망간사 여과지 망간제거 효율

회동(정)



41

망간사 여과지 망간제거 효율

망간사 망간 부착량 조사 결과

Table 4.3
Average Mn coating levels by plant and type of media
Dual Media Plants

Plant Name	Raw Water Mn (mg/L)	Media Type	Average. Mn Coating (mg Mn/g media)
Easton (AWC)	0.01 to 0.34	Anthracite	35.9
		Sand	0.81
Trap Falls (AWC)	0.01 to 0.45	Anthracite	34.6
		Sand	0.98
Warner (AWC)	0.01 to 0.20	Anthracite	11
		Sand	1.14
Brown (Durham)	0.1 to 0.6	Anthracite	24.5
		Sand	1.45
Harwood's Mill (Newport News)	0.02 to 0.5	Anthracite	30.8
		Sand	1.09
Sobrante (EBMUD)	0.005 to 0.16	Anthracite	0.64
		Sand	0.13
USL (EBMUD)	0.012 to 0.031	Anthracite	0.04
		Sand	0.03

* 출처) Characterization and performance of filter media for manganese control, AWWARF, 2008

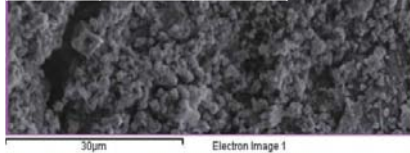
42

망간사 여과지 망간제거 효율

망간사 망간 부착량 조사 결과

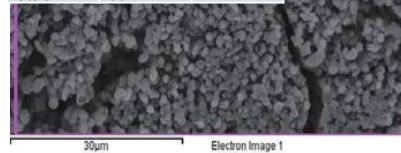
구 분	Birm	BA(정)	HD(정)	HS(정)
mg Mn /g media	58	100~200	8~54	5

Element	Weight%	Atomic%
C K	7.28	12.85
O K	45.57	60.39
Na K	0.79	0.73
Al K	3.57	2.8
Si K	11.93	9.01
Ca K	16.13	8.53
Mn L	14.73	5.69
Totals	100	



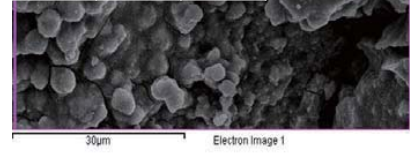
[Birm]

Element	Weight%	Atomic%
C K	4.43	8.09
O K	47.34	64.8
Al K	18.11	14.7
Si K	1.05	0.82
Mn L	29.06	11.59
Totals	100	



[BA(정)]

Element	Weight%	Atomic%
C K	3.53	7.05
O K	41.92	62.86
Al K	13.86	12.32
Mn L	40.69	17.77
Totals	100	

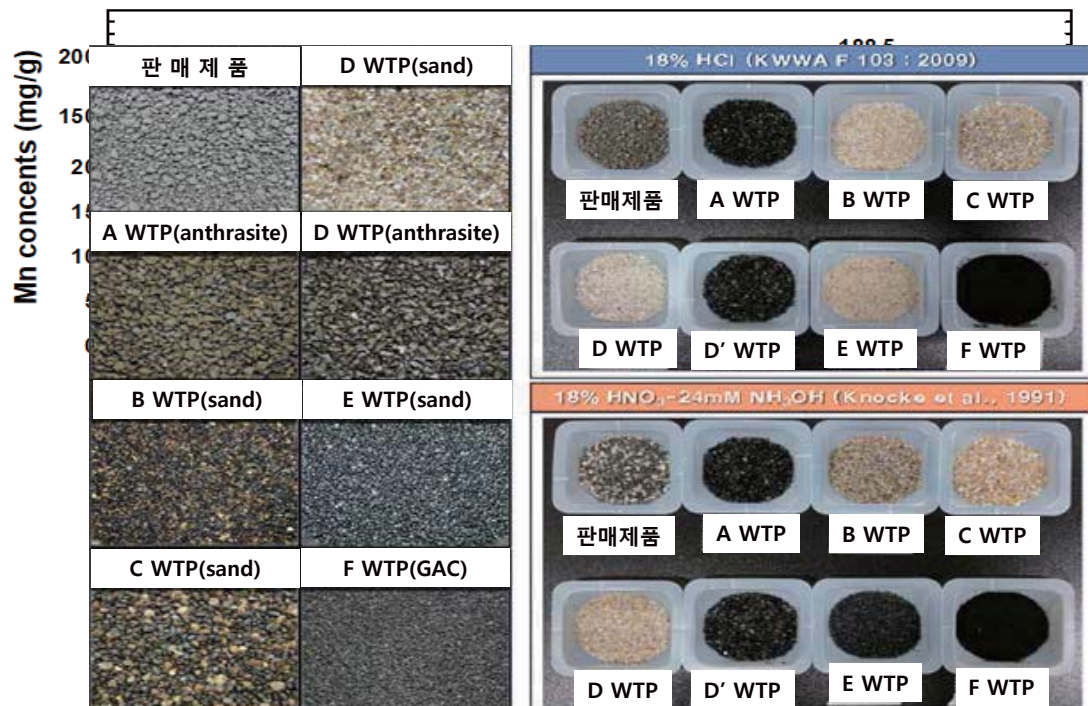


[HD(정)]

43

망간사 여과지 망간제거 효율

망간사 여재 망간 부착량 평가 결과

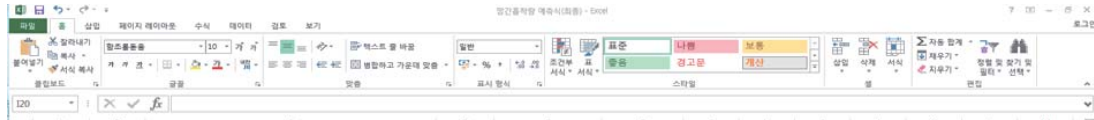


44

망간사 여과지 망간제거 효율

■ 망간사 여과지 망간 제거 예측

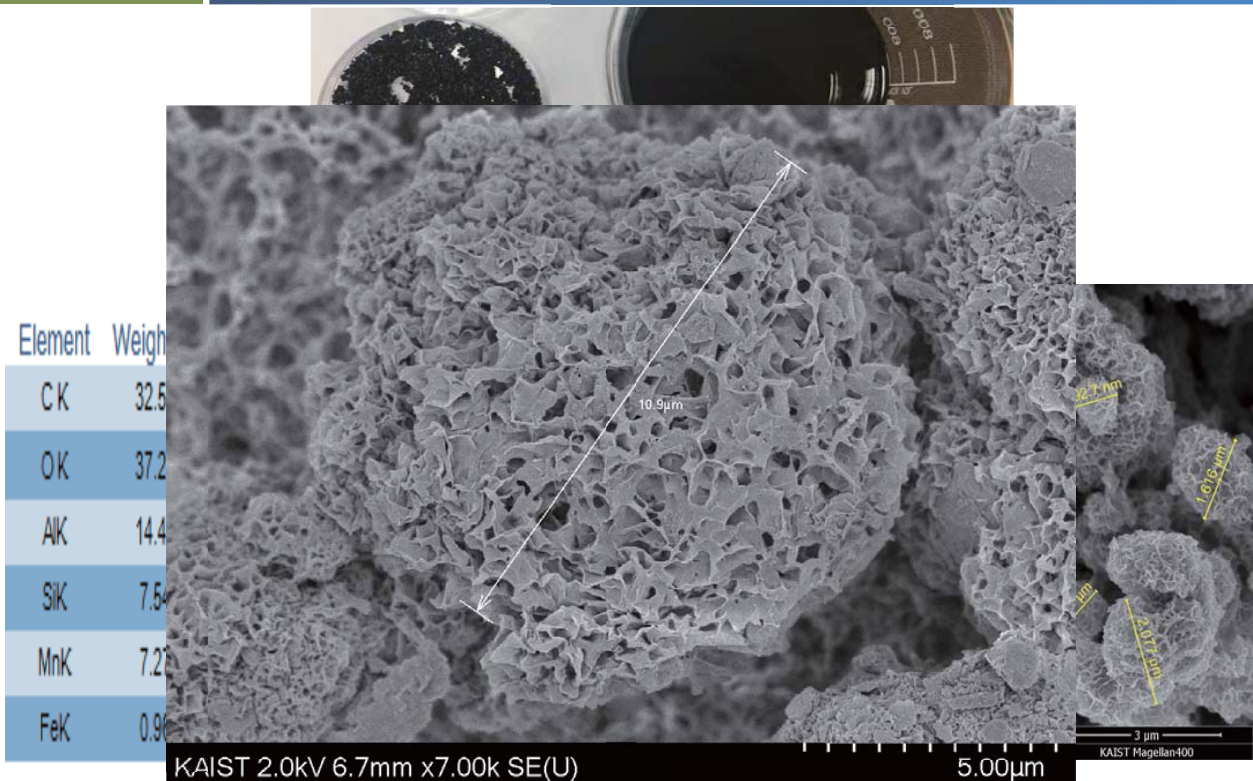
- 시설용량, 여재규격, 실 정수장 여재의 등온흡착 실험을 통한 최대 망간 흡착량 결과 등 적용



구 분	판 매 품	A WTP (Anthrasite)	B WTP (Sand)	C WTP (Sand)	D WTP (Sand)	D WTP (Anthrasite)	E WTP (Sand)	F WTP (GAC)
처리 가능 용존망간 농 도 (mg/L)	13.1	1.5	1.3	1.0	1.7	0.7	16.2	6.8

13	3	여송길이(모래, 안트라사이트 : 10cm, GAC : 1cm 적용)	10	cm
14	4	여과지 규격(가로*세로)	112	m
15	5	송 여재량	11	m ³ , 지별
16	6	유입 망간량	4,000	kg/day
17	7	가용 여과지	21	지
18	8	여과지별 유입 망간량	190.48	kg/day, 지별
19	9	여재 비중	2.6	
20	10	송 여재무게	29.120	kg, 지별
21	11	최대 흡착량	10.3	mg Mn/g media
22	12	단위 여재당 망간 흡착량	299.4	kg
23	13	처리 가능 여부	Ok	
24	14	안전율(70%)을 고려한 처리 가능 여부	Ok	
25	15	안전율(80%)을 고려한 처리 가능 여부	Ok	

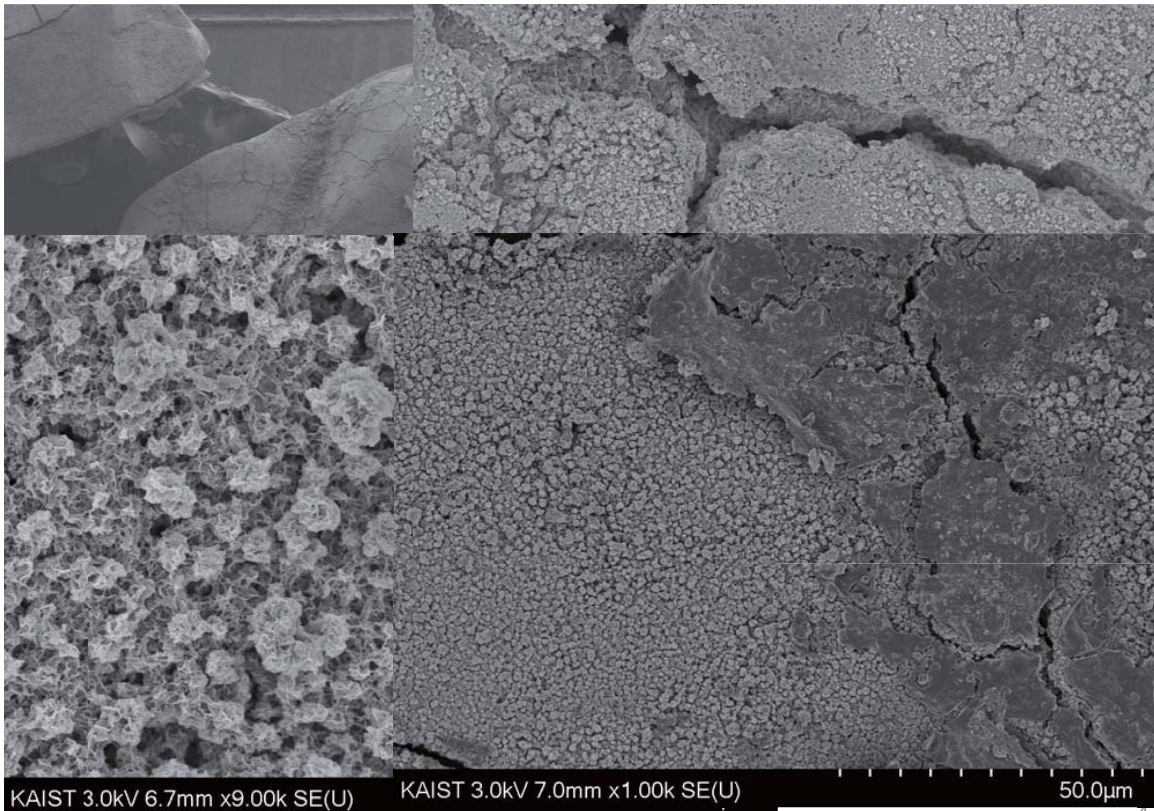
망간사 특성



- 망간사 : 약 20~50 nm

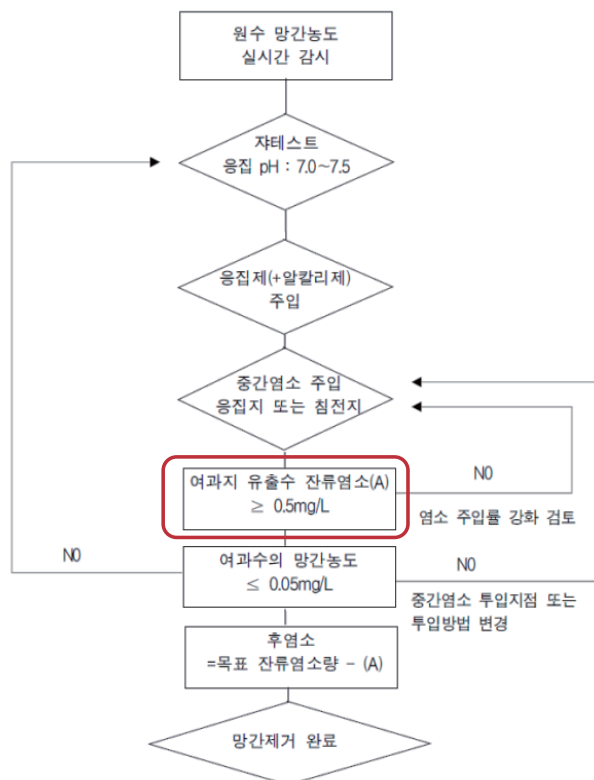
- 관 로 : 약 0.5~2 μm

망간사 특성

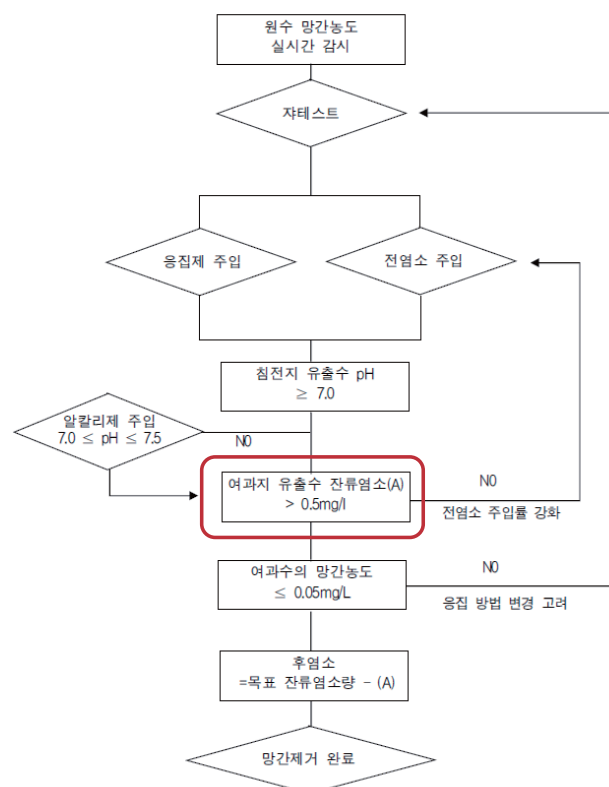


망간 제어 방안

✓ 중염소 처리시

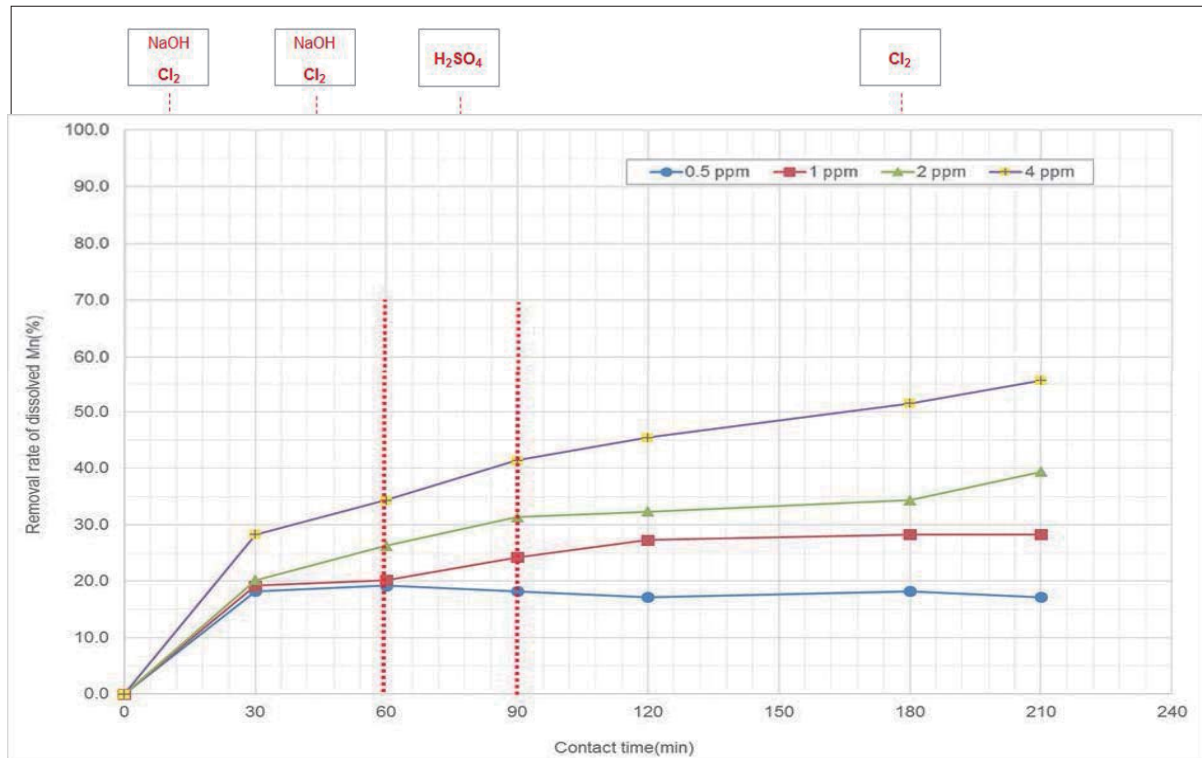


✓ 망간사 여과지 운영시



막여과 정수장 망간 제거 효율

■ 막여과 정수장 망간 제거



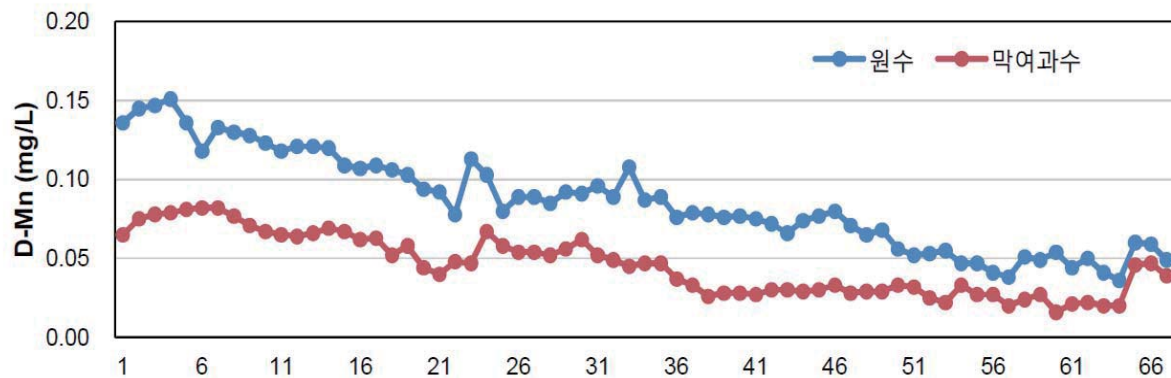
막여과 정수장 망간 제거 효율

■ 막여과 정수장 망간 제거

● 취수장 임시설비 운영을 통해 최대 50% 망간 제거

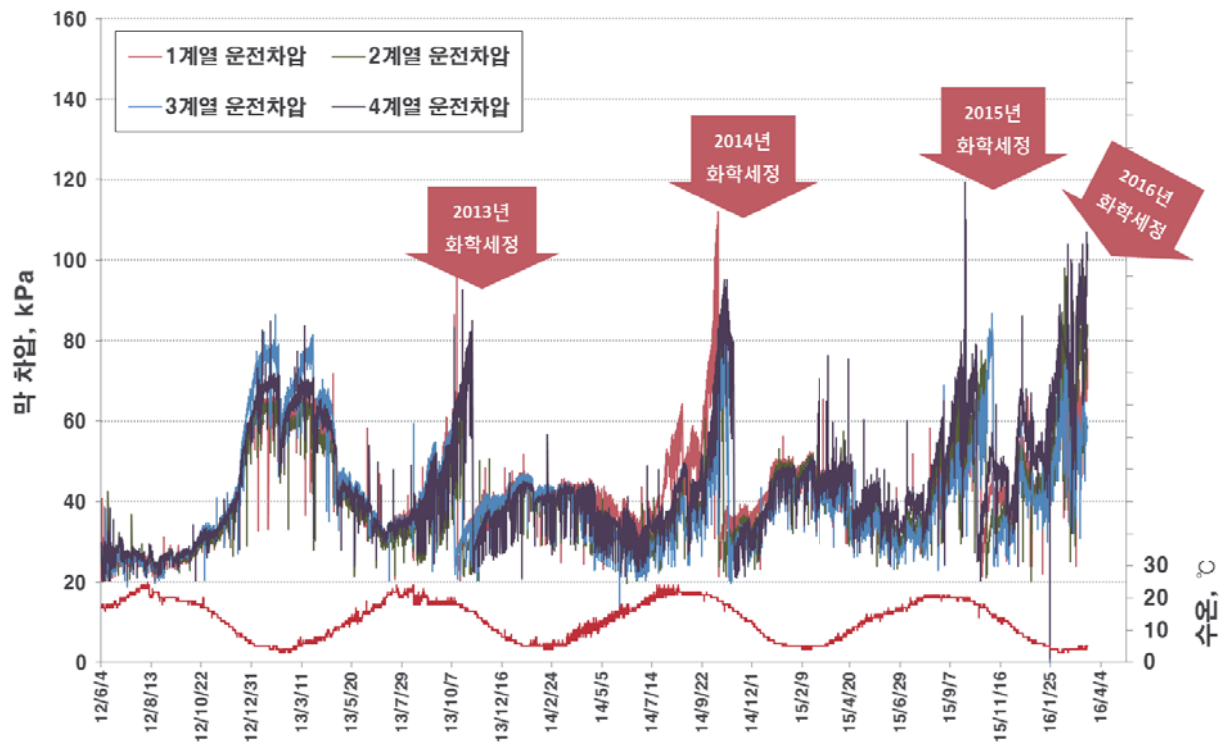
* 염소(1.5~2 mg/L) 및 가성소다 주입(pH 9 이상 상승)

* '15.12~'16.1월까지 수질민원 다수 접수



막여과 정수장 망간제거 효율

막여과 총운영기간중 계절별 막차압 변화 ('12.6 ~ '16.3)

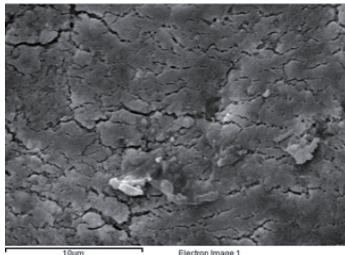


막여과 정수장 망간제거 효율



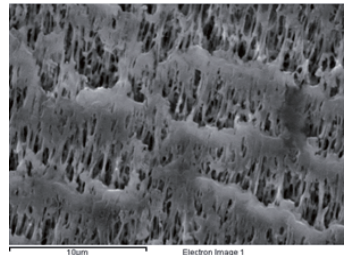
막여과 정수장 망간제거 효율

2014년 표면



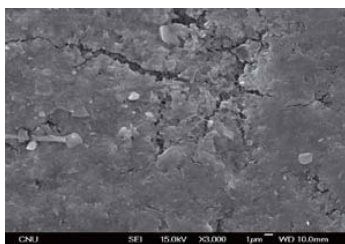
Element	Weight%
C K	50.82
O K	35.86
Al K	10.08
Si K	3.25
Totals	100.00

2014년 단면



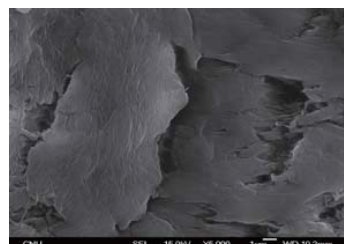
Element	Weight%
C K	92.82
O K	7.18
Al K	0.00
Si K	0.00
Totals	100.00

2016년 표면



Element	Weight%
C K	42.06
O K	30.32
Al K	2.76
Si K	3.67
Ca K	1.52
Mn k	16.27
Fe K	3.39
Totals	100.00

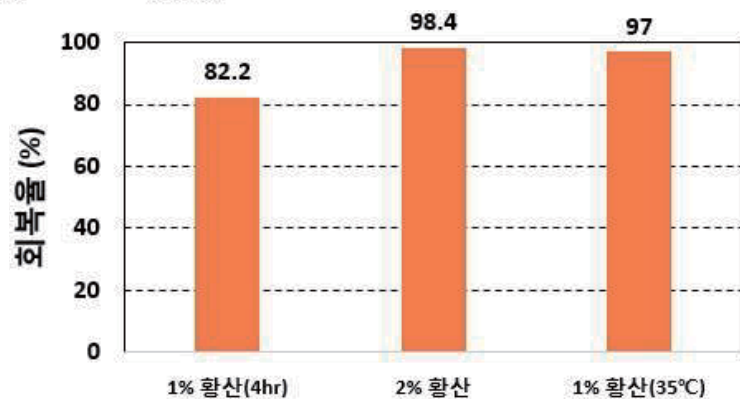
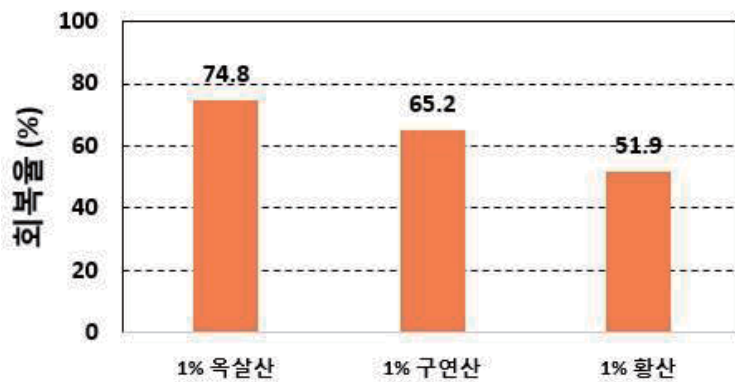
2016년 단면



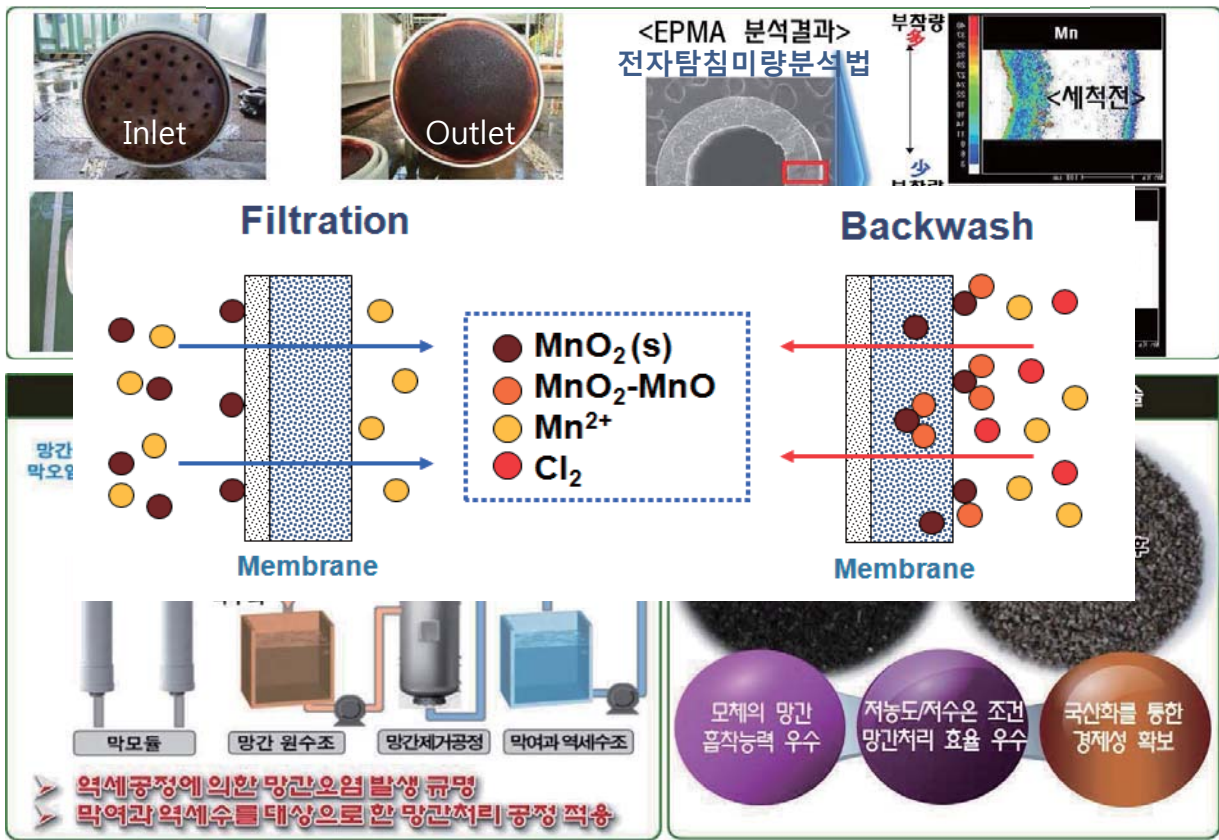
Element	Weight%
C K	100.00
O K	0.00
Al K	0.00
Si K	0.00
Totals	100.00

막여과 정수장 망간제거 효율

약품 종류에 따른 세척효율

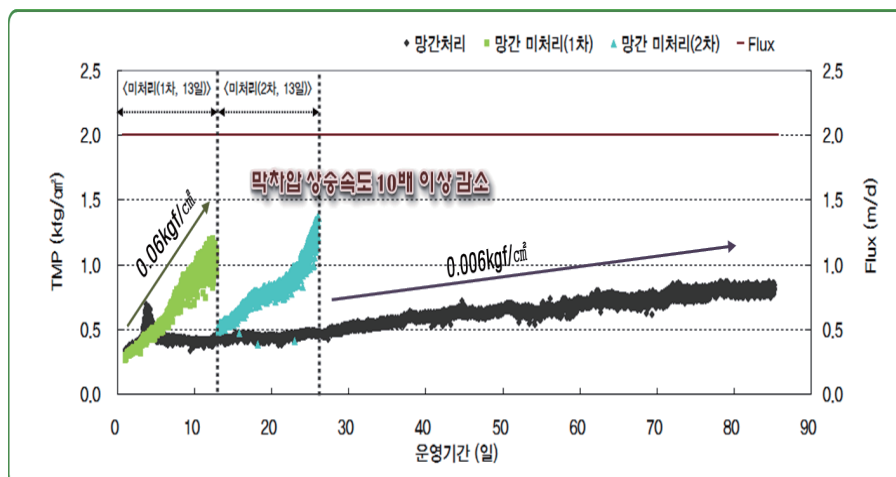


막여과 정수장 망간제거 효율



막여과 정수장 망간제거 효율

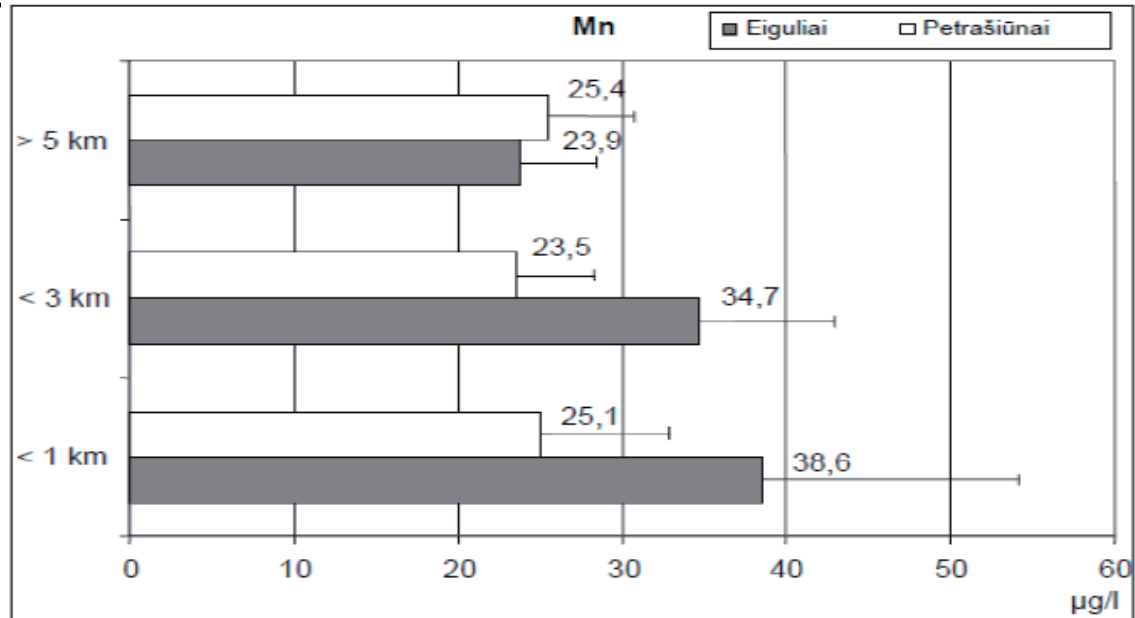
방 법	개발공정 (망간 저리 시)	비교공정 (망간 미처리시)
처 리 공 정	원수→막여과→(역세척수 망간처리)	원수→막여과→(역세척수 망간 미처리)
원 수 탁 도	0.2 ~ 66.6 NTU	0.4 ~ 7.2 NTU
막여과 유속	2.0 m ³ /m ² ·일 (여과 30분)	2.0 m ³ /m ² ·일 (여과 30분)
역세척 조건	여과유속 × 1.3배, 역세척 45초	여과유속 × 1.3배, 역세척 45초
약품세척 주기	3개월 이상	30일 이내



* 출처) 금호산업

수돗물 공급과정 망간 발생 특성

- 관로 내부가 부식되거나 체류시간이 과다한 조건 등에서 용존성 망간은 서서히 산화되고, 관로 내부에 축적



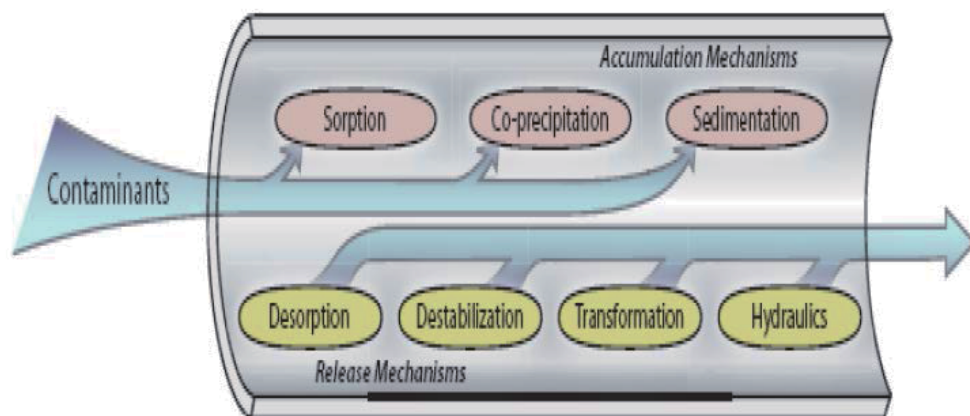
* 출처) Regina and Gediminas, 2009

57

수돗물 공급과정 망간 발생 특성

- 상수관로 내에서 망간은 0.02 mg/L와 같거나 낮은 농도에서도 망간 침전물 생성

- 관로의 수류 흐름 변동시 탈리되고 다시 부유되어 검은색(황갈색) 입자로 유출되며 수질민원 등의 원인

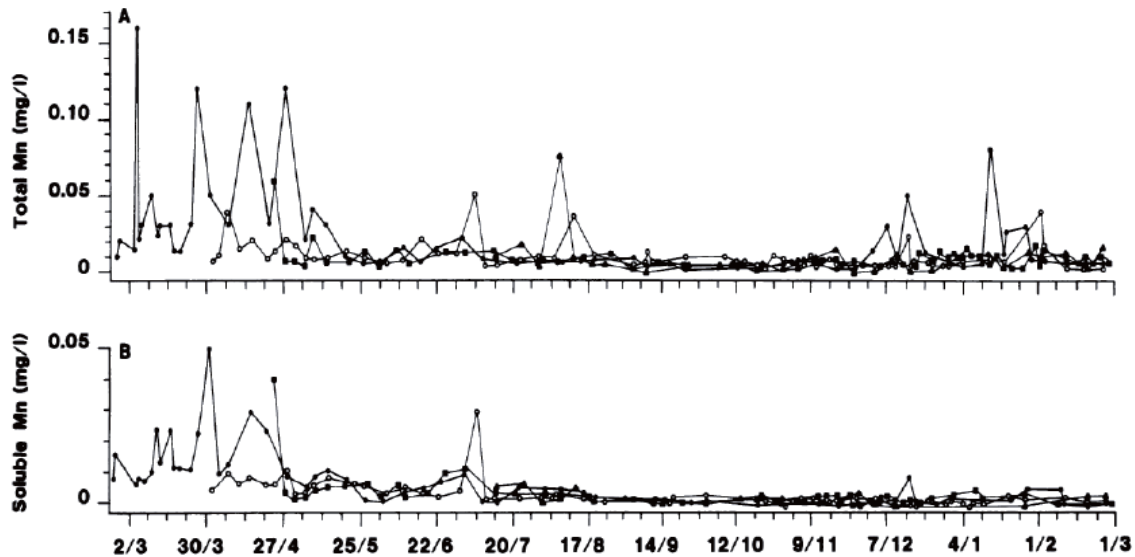


* 출처) Hill et al., 2010

58

수돗물 공급과정 망간 발생 특성

- 관로 내에서 망간이 침전되는 경향을 분석하기 위하여 호주의 Molendinar정수장 계통의 관로 중 4개 지점에서 모니터링



* 출처) Sly, 1989

59

수돗물 공급과정 망간 발생 특성

- 관로 내 망간 축적/탈리 위험 최소화를 위한 적정 운영 방안

대상	적용	권고 및 기준
원 수	원수선정	-원수망간농도 Mn < 0.02 mg/L -망간농도변화가 크지 않을 것 -다른 금속농도가 높지 않을 것 -단일수원 또는 복합수원이용시 수질이 유사할 것.
	원수혼합	-혼합시 망간농도 < 0.02 mg/L -혼합시 망간농도변화가 크지 않을 것 -혼합시 수질변동을 최소화하되 특히 pH와 소독제형태의 변경 최소화
정수장 및 관로유입	망간처리방안	-원수 망간 Mn > 0.05 mg/L 경우 처리필요 -원수 망간 Mn > 0.02 mg/L 경우 처리검토 -완벽한 제거가 바람직
	망간처리성능	-Mn < 0.02 mg/L로 처리가 바람직 -원수내 망간농도의 변화를 수용할 수 있는 처리성능 확보 -원수내 수질변화를 수용할 수 있는 처리성능 확보
	화학적 망간오염물질 처리	-처리약품내 망간농도 모니터링 -망간이 포함된 약품은 활용하지 않는 것이 바람직
	처리공정내 망간의 축적/탈리 제어	-공정내 망간축적 방지 -망간 잔류수로부터 망간의 탈리와 순환의 적절한 관리
관로 시스템	잔류소독제 관리	-공급과정 전반의 적정 소독능 유지 -소독제 소모 원인에 대한 이해 및 처리장의 적절한 관리
	관로시스템 설계	-공급과정 전반의 유량조건 적정 관리 -관망내 사구역 해소 및 적정유속 확보 -관로내 결정생성을 억제하는 관망 건설
	관로시스템 유지관리	-정기적인 단방향 세척시행 -어디서나 단방향 세척 유속이 6 fps를 초과할 것 -결정이 생성되지 않은 관로로부터 망간이 포함된 이물질 생성을 억제할 수 있는 주세척 공정의 선정
	관로시스템 운영	-적정한 범위내에서 관로내 혼합 조절(pH, Mn concentration, disinfectant residual type and concentration) -유량과 유속 변화는 100%를 초과하지 않을 것 -유량변화의 영향을 최소화 하도록 운영 -관로 파손 감시 -관로내 영향을 줄 주변 공사현장 감시

- 관로 내 망간의 축적과 탈리로 인한 리스크 최소화 위해 원수, 정수장, 관로시스템으로 구분하여 각각의 방안 제시
- 특히, 정수장에서 용존성 망간이 유출되는 농도를 수질기준 (0.05 mg/L) 보다 낮은 0.02 mg/L로 권고하였으며,
- 관로시스템의 안정적 운영과 예방적 관세척 시행

* 출처) WRF(2015)

60



급·배수 분야 수질관리 체계 개선



송병준 유신 대표

급배수관로 수질체계개선 - I

2021. 04

Contents

- I 개 요
- II 급수설비
- III 수질오염
- IV 질병 발생의 원인
- V 사고사례
- VI 수질오염별 관리방안
- VII 급 · 배수관의 관리기술
- VIII 제도적 보완

I. 개 요

수돗물이란?

- 자연 상태의 물을 취수 → 도수 → 정수장에서 정수처리 → 송수 → 배수지
→ 배수 → 급수 → 수요자에게 전달
- 최적의 수돗물 관리 : 상수원 관리, 최적의 정수처리, 급배수관망 관리 중요

수돗물 관련 사건·사고 발생 시

- 원수오염 : 상수원수 관리를 위한 많은 대책 추진
 - ❖ 낙동강 페놀유출사고 : ① 먹는물 수질기준 강화
② 수질기준 항목 추가
③ 고도정수처리 필요성 대두
- 불충분한 정수처리 : 정수시설과 운영의 수준 강화 및 수질관리 수준을 끌어 올리는 계기
 - ❖ 수돗물 바이러스사건 : 미생물 제어를 위한 정수처리에 관한 기준 제정

1

I. 개 요

수돗물 관리 현황

- 수요자가 공급받고 체감하는 수돗물의 수질은 관망을 거쳐 수도꼭지에서 나온 물의 수질로서 정수처리 이후에 수요자에게 전달하는 과정에서 생길 수 있는 오염에 대한 체계적인 파악과 대책이 아직 부족
- 정수이후의 분배 과정인 급·배수 과정에서 생길수 있는
 - ① 수질오염의 종류와 형태
 - ② 급배수 관로시설의 관리현황
 - ③ 수질오염의 저감을 위한 오염원인별, 관리기술별, 제도별로 구분

2

II. 급수설비

급수설비란?

- 수도사업자가 일반 수요자에게 원수나 정수를 공급하기 위해 설치한 배수관에서 분기하여 설치된 급수관(옥내급수관을 포함)·수도미터·저수조·수도꼭지 및 그 밖에 급수를 위하여 필요한 기구 ※「수도법」 제3조 제24호에 정의

급수방식

- 직결식, 저수조식 및 직결 · 저수조 병용식
- 급수전의 높이, 수요자가 필요로 하는 수량, 수돗물의 사용 용도, 수요자의 요망사항 등을 고려하여 결정
- 직결식
 - 직결직압식 : 배수관의 압력으로 직접 급수
 - 직결가압식 : 급수관 중간에 직결급수용 가압펌프설비를 설치하여 급수
- 저수조식 : 급수관으로부터 수돗물을 저수조에 받아서 급수
- 병용방식(직결+저수조) : 하나의 건물에 직결식과 저수조식의 양쪽 급수방식

3

II. 급수설비

급수관

- 수요자의 요청에 따라 배수관으로부터 분기하여 수요자에게 정수를 공급하는 관
 - 배수관 분기점으로부터 수도미터까지의 인입급수관
 - 수도미터 이후의 옥내급수관

급수기구

- 급수관에 직결되는 급수설비의 구성으로 급수관과 연결하여 사용되는 분수전, 지수전, 급수전, 역류방지기구, 안전기구 및 각종 물 사용 특수기구
 - 분수전 : 배수관에서 급수관을 분기하기 위한 급수기구로 새들불이분수전 및 분수전과 같은 기능을 갖는 할정자관(割丁字管) 등이 있음
 - 수도꼭지 : 급수관의 끝에 장치되어 물을 내보내거나 멈추게 하는 급수기구
 - 밸브류 : 지수, 역류방지, 감압, 안전, 세척, 진공파괴, 부동전, 정유량, 공기 · 배기 밸브 등
 - 절수설비 : 적은 수량으로 사용목적을 달성할 수 있는 급수설비로서 절수설비와 절수기기로 분류

4

II. 급수설비

수도미터

- 급수설비에 부착하여 수요자가 사용하는 수량을 적산 계량하는 기기
- 계량수량은 수도요금의 산정과 함께 유수율 등 수량관리의 기초
- ❖ 「수도법」 제3조 제2「계량에관한법률」등이 정한 수도미터의 검정에 합격하고 검정유효기간 이내의 것을 사용

저수조 이하의 설비

- 배수관에서 수돗물을 저수조에 받아 펌프로 고가수조에 양수하거나 급수펌프 등으로 압송하는 배관설비에 의하여 음용수를 공급하는 설비

수질대책

- 급수설비에 의하여 수돗물의 수질이 변질되거나 또는 역류로 인하여 배수관내의 물을 오염시키는 일이 있어서는 안됨

한랭지대책

- 물이 동결되면 원래의 기능이 방해될 뿐만 아니라 동결에 의하여 관 및 급수 기구가 파괴되는 경우가 있어 한랭지에서 급수설비를 설계 · 시공할 때에는 동결 방지 조치강구

5

III. 수질오염

수돗물오염

- 정수처리이후 공급하는 수돗물은 분배 과정에서 수질의 변화에 의해 발생
- 일반적으로 탁도는 증가하고 잔류염소는 감소

오염물질

- 미생물류(일반세균, 대장균군 등)
- 금속용출물질(철,아연,망간 등)
- 탁도, 색도 등

6

Ⅲ. 수질오염



오염물질별 특성

● 미생물

- 사람이나 동물의 접촉이 가능한 자유 수면이 많은 배수지, 저수조, 수도전 등에서 발생
- 배수지, 저수조 관리가 불결하여 내벽에 생물막이 형성, 탈리 됨으로 인하여 증가
- 수도전에 연결된 비위생적인 플라스틱이나 고무관 등이 주요 오염 원인
- 높은 수온, 낮은 잔류염소 농도, 낮은 pH

● 부식과 관내침전물

- 부식에 의한 녹물은 수돗물에 의한 불산과 민원의 주요 원인이 되고 관로의 노후화를 촉진
- 우리나라 수도의 수질은 부식성 지수(LI)와 포화지수(SI)를 볼때 CaCO_3 가 불포화범위에 있어 전체적인 수질상태로는 부식을 촉진하고 중금속의 용출이 높아질수 있는 수질 특성을 지님

7

Ⅲ. 수질오염



오염물질별 특성

● 무척추동물

- 관망 내의 수중에 일시적으로 부유하기도 하고 시설내에서 존재하면서 증식하는 무척추 동물의 침입은 수돗물 오염과 착색에 관련되어 소비자 불만의 원인이 됨
- 단각류, 성충, 선충류, 요각류, 곤충의 유충, 지각류 등이 있음

● 유해화학물질

- 분배시스템에서 사용하는 아연도 강관이나 합성수지관 등과 같은 특정재질과 종류가 화학물질의 오염을 발생시킬수 있고 시설에 사용하는 방수도장 등에서 용출될 수 있는 유해물질이 문제가 될수 있음

● 잔류염소와 소독부산물

- 배급수과정에서 물의 위생상태를 간접적으로 특정하는 잔류염소가 감소하고 소독 부산물이 증가하는 경향을 갖고 있음
- 잔류염소 감소는 온도가 높은 여름철에 유기물 등 수질인자와 기타 요인의 결합으로 뚜렷하게 나타남

8

Ⅲ. 수질오염



2차 오염의 형태

- 시설 관리나 구조적인 문제로 인해 발생
 - ① 누수 및 하폐수 유입
 - ② 관의 교차연결
 - ③ 역류에 의한 배수본관의 오염
 - ④ 부식에 의한 용출 및 박리
 - ⑤ 체류시간 등에 따른 잔류염소 부족에 기인하는 미생물의 성장
 - ⑥ 수처리제 부산물의 생성
 - ⑦ 합성수지 관종 코팅제로부터 유해물질의 용출 등

9

Ⅳ. 질병발생의 원인



분배시스템 결함에 의한 질병 발생원인

- 수인성 질병의 원인이 되었던 급배수시스템 결함의 형태를 보면 교차연결과 그에 의한 역류가 50%이상으로 가장 높았고 다음이 관부식, 관의파손 · 누수, 저수조 저장 시 오염이었고 그 다음이 설치나 보수 시 관의오염, 가정집배관에서의 오염, 그리고 수도관과 하수 분리의 부적절성이었음

구 분	발생건수(건)	비 율(%)
교차연결	45	50.6
관부식	12	13.5
관파손	10	11.2
저수조오염	9	10.1
설치나 보수 시 관의 오염	5	5.6
가정집 배관의 오염	7	7.9
수도관과 하수관 분리의 부적절성	1	1.1
계	89	100

10

IV. 질병발생의 원인



질병의 원인체

- 수인성 질병의 원인체는 미생물(약60%)과 화학물질(약40%)이 있음

구 분		발생건수(건)	비 율(%)
화학물질		35	39.4
미생물	미확인 병원체	29	32.6
	지아디아	8	9.0
	살모넬라	4	4.5
	설사 바이러스	3	3.4
	쉬겔라	3	3.4
	캠필로박터	1	3.4
	A형간염바이러스	1	1.1
	스클로스포라	1	1.1
	대장균 0157	1	1.1
	콜레라균	1	1.1
계		89	100

자료)미국환경청(US EPA), 질병보호관리국(Center for Disease Control and Prevention, CDC) 1971년~1998년

11

V. 사고사례

1. 교차연결 및 역류에 의한 사고

- 고농도 불소액이 펌프 가동에 의해 저수조로 흡입되어 수돗물 내 불소 농도가 40~200mg/ℓ 로 오염
- 관 파손에 의한 수압저하로 오염 물질이 수돗물로 흡입되어 질병 발생 이때 역류방지 밸브가 없었음
- 물의 수압이 일정기간(약3일)동안 매우 낮았으며 하수펌프장 시설에서 수도시스템이 교차 연결되어 수돗물 내에 고농도의 지아디아가 검출

2. 저수조 오염

- 수돗물 시료검사 시 총대장균군과 분원성 대장균군 모두 양성이었으며, 소화전과 저수조에서 살모넬라가 검출되어 조사를 한 결과 새들(birds)이 저수조를 오염시킴
- 물탱크 내 오염으로 추정되나 특정한 오염은 판별되지 않았으며 한달 전에 물탱크 청소 완료
- 이후 조사 기간동안 분원성 대장균군이 검출

12

V. 사고사례

3. 관의 오염

- 12월 혹한(-28℃)으로 인한 수도계 교체
- 1월에 10건의 심한 설사가 보고된 이후 243명 증상발현, 86명이 장출혈설사, 32명 입원, 4명이 사망한 사례
- 오염물질 이동의 판단을 위해 EPANET이 사용되었으며 오염물질 유입지점으로 관이 파손된 것을 발견
- 수도계 교체 및 관 파손지점 부근에서 오수가 흘러들어 오염의 원인이 됨

4. 배관의 동 오염에 의한 질병유발

- 신축 또는 개조된 집의 거주자들에게 설사를 유발하고 호텔 투숙객들에게 급성장염 증상이 발현하는 사례 발생
- 수도물을 채취하여 분석한 결과 156mg/l 의 동이 검출
- 배관시스템이 동으로 이루어져 있었으며 물의 정체시간이 길면 농도도 높아짐
- 부적절한 전기선이나 이산화탄소의 첨가 등이 배관의 동을 침출시켜 배관 내 동의 농도를 상승시킴

13

VI. 수질 오염별 관리방안



오염원인에 따른 관리방안

- 교차접속 및 역류방지 등 관망시설 설비 정비
 - 교차접속 및 역류에 의한 오염방지를 위한 홍보와 제도적 방안 필요
- 관로 용출에 기인한 화학물질 관리
 - 동관의 경우 동의 침출에 의한 용출사고가 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 사료
 - 현재 아연도강관은 사용하지 않고 있으나 노후관으로 남아있는 경우가 있을 것으로 판단, 노후관 교체 시 우선적으로 교체하는 것이 필요
 - 관종 선정 시 코팅제의 각종 조건변화에 따른 유해 화학물질의 용출 등을 연구하여 선정하는 것이 필요
 - 방수 방식 처리를 위한 도장재 선정 시에도 유해물질 용출 시험 등을 통하여 도장재의 종류와 방식을 확인할 필요 있음

14

VI. 수질 오염별 관리방안



오염원인에 따른 관리방안

- 관로부식 관리
 - 내식성 재질의 상수도관 사용
 - 정수처리 과정에서 pH, 알칼리도, 경도를 조절하는 등 부식성 수질제어 필요
 - 방청제 주입이나 용존산소 제어 등에 의한 부식저감 방법, 관의 부식을 일정 주기로 세척하는 방법
 - 토양부식성을 고려하여 외부 도장재를 효과적으로 사용하고 매설 토양의 부식성 조사 후 토양을 선정하며 교차 연결이나 전식 등의 영향이 없는 지하매설 환경정립, 관의 손상방지, 운영 및 유지관리 철저
- 2차소독과 배수세척
 - 정수장과 송수과정에서의 염소 주입을 적절하게 조절하기 위한 TMS설치
 - 배수관 수질자동감시시스템의 설치
 - 현장조사, 2차소독 주입 지점의 선정, 원격제어화, 2차소독제 종류 선정 등 필요

15

VI. 수질 오염별 관리방안



오염원인에 따른 관리방안

- 배수지 및 저수조 관리
 - 배수지의 체류시간이 길고 염소 재투입 시설이 없을 경우에 잔류염소의 감소로 수질 악화 우려가 될 경우 수질악화를 저감하는 설계방안 및 배수지 내 혼화특성을 평가하여 수질을 유지토록 함
 - 저수조 및 물탱크의 세균 성장에 따른 위생상 문제는 체류시간과 기온에 기인하므로 설계 시 과잉 산정에 의한 체류시간을 줄이고 정체기 이후에 유출되는 물의 수질을 모니터링 할 수 있는 시스템을 강화할 필요
 - 정기적인 청소 및 이것이 가능한 저수조 설계와 재질 등이 수질관리에 크게 도움이 될 수 있음

16

Ⅵ. 수질 오염별 관리방안



오염원인에 따른 관리방안

- 정수처리와 급배수관리의 유기적 관계 고려
 - 수돗물의 수질에 영향을 주는 주요 요인은 첫째 정수장의 정수수질, 둘째 관로 시설의 조건이며 두가지는 고유의 영역도 있으나 상호 보완적인 관계가 있음
 - 정수수질의 유기물 농도, pH, 알칼리도, 잔류염소농도, 탁도 등에 따라 급배수관망 수질에 영향을 줄 수 있으므로 정수의 낮은 유기물 농도(TOC 2mg/l 이하)와 낮은탁도, 부식제어를 위해 약 알칼리성의 pH유지 중요.
 - 또한 고도정수처리공법 중 오존산화+생물활성탄 공법에서 BDOC와 오존부생성물이 활성탄 공정에서 제거되지 않을 경우 관망 시스템에서 미생물재성장 등 수질 문제를 야기할 수 있고 생물활성탄 공정에서 유출되는 미생물의 누출도 문제가 될 수 있음
 - 최근 정수장에서는 탁도 및 소독능 확보에 엄격한 관리를 하고 있으며 소독능의 추가 확보를 위하여 배수지를 포함하면서 잔류염소 농도 및 수압의 안정적 유지, 직수라인 확대 등에 영향을 주고 있음

17

Ⅶ. 급 · 배수관의 관리기술

☑ 상수도 분배시스템의 종합적 평가

- 상수도 분배시스템의 현재 상황을 수요자의 요구에 의해 필요한 기능 및 시설을 평가
- 상수도 서비스를 만족시킬수 있는 개선방안을 도출하는 방법
- 수량 및 수질적인 측면에서의 분배시스템을 평가하여야 하나 자료 축적 및 정리가 미흡

18

Ⅶ. 급 · 배수관의 관리기술

✓ 상수도 관로의 시설진단 및 평가방법 개선

- 노후관의 판정준거
- 국내 노후관 교체사업 현황
- 관노후도 진단방법
- 상수도관 개량공법의 적용
- 수도관로시설 DB와 전산화(GIS)를 이용한 상수도관리시스템 구축
- 블록시스템 구축
- 물수요관리, 유수율 제고사업 등 관련사업간의 연계

19

Ⅷ. 제도적 보완

✓ 관련 법규의 개선

✓ 물수요관리, 유수율 제고사업 등 관련 사업 간의 연계

- 급수장치 중 저수조 및 옥내배관 관련 법규의 개선
- 상수도시설기준의 정립과 분배 급수시설 내용의 업그레이드

✓ 상수도정비기본계획 수립 시 급수시설의 고려

✓ 수원에서 수도꼭지까지 위생 점검 프로그램 도입

20

VIII. 제도적 보완

✓ ➤ 체계적인 수질감시 체계를 통한 피드백 설정

- 수질자료의 장기적이고 종합적인 분석을 통해 제도와 사업이 바르게 진행되고 있는지 효과를 계량화할수 있으므로 수질관리시스템의 효율적인 구축으로 효과적인 정책관리 수단을 확보
- 수질모니터링 결과는 지역의 수질을 감시하고 확인하기 위한 일차적인 목적뿐만 아니라 자료를 DB화하여 축적하고 경향분석을 통해 장기계획에 반영되는 형태로 수질관리 피드백이 필요
- 수질 결과에 대한 DB 및 이용시스템이 구축
- 수질 관리시스템은 장기적으로 수도시설이나 운영, 사고, 민원, 보수 및 재정 기록과 연계되어 관리
- 특히 수도꼭지에 대한 검사가 전체 수도꼭지의 작은 일부를 대상으로 이뤄기때문에 수도꼭지에서 발생하는 불편사항에 대한 민원 기록과 사고 및 보수기록을 수질자료로 연계하여 사용하는 것이 매우 효과적

21

감 사 합 니 다

급배수관로 수질체계개선 - II

2021. 04



Contents

- 1 스마트관망관리 기본계획
- 2 스마트워터시티 구축사업 개념
- 3 인프라 구축사업 내용[단계별]
- 4 설치기준 및 수량[광주광역시 사례]

1. 스마트 관망관리 기본계획

추진배경

- 환경부는 수도물 수질사고 발생을 방지하고, 국민이 안심하고 마실 수 있는 수도물을 공급하기 위해 2020년 부터 ‘스마트 상수도 관리체계*’ 를 본격적으로 도입
 - * 수질·수량·수압 감시 장치, 자동배수설비, 정밀여과장치 등을 관망에 설치하여 실시간으로 현황 감시 및 자동 관리 가능
 - 스마트상수도 관리체계는 지난해 5월 인천시 붉은 수도물 사태에서 드러난 수도시설 관리 전반의 문제를 개선하고, 실시간 수도물 정보 공개 등으로 수도물 신뢰도를 높이기 위해 올해부터 전국을 대상으로 추진
- 스마트상수도란 정수장에서 수도꼭지까지 수질·유량을 실시간으로 측정·관리하고 관련 정보를 즉시 제공해 수도물 신뢰를 높인다. 이와 함께 워터코드**, 워터닥터*** 등으로 소비자에게 맞춤형 수도물관리 서비스를 제공하는 전 과정
 - ** 가정을 직접 방문해 수도꼭지 수도물 수질검사 및 정보를 제공하는 서비스
 - *** 계량기부터 수도꼭지까지 옥내배관의 진단·세척 서비스 제공
 - 스마트상수도 관리체계 구축사업은 2022년까지 총사업비 약 1조 4천억 원 규모로 추진
 - 스마트상수도 관리체계 구축을 위한 기본계획이 먼저 수립될 예정
 - 기본계획 수립 이후 서울, 부산, 광주광역시 등 특광역시를 포함한 44개 지자체를 대상으로 스마트 관리체계가 우선 도입되며, 2022년까지 전국에 순차적으로 구축

1

1. 스마트 관망관리 기본계획

추진배경

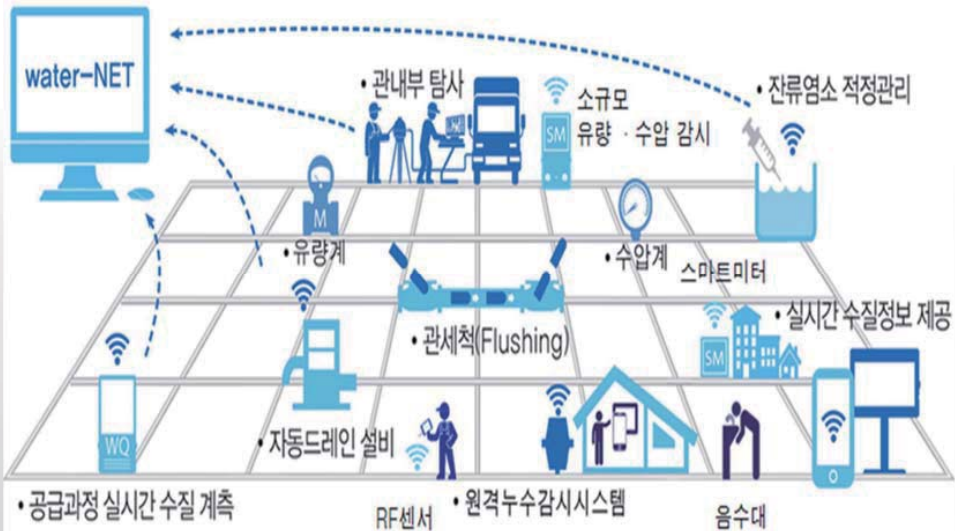
- 스마트관리 체계가 도입되면, 상수도 시설 문제를 사전에 파악하고 신속히 대처해 국민의 수도물 신뢰가 강화될 것으로 예상(기존에는 상수도 시설의 사고가 발생하기 전까지 문제 인지의 어려움)
 - 참고로, 현재 스마트관리 체계를 시범운영 중인 파주시의 수도물 직접 음용률(2016년 기준)은 전국 평균 7.2%에 비해 5배 이상 높은 36.3%를 기록
 - 동시에 과다한 예산을 수반하는 노후 상수도관의 교체·개량 중심 행정에서 정보통신기술을 활용한 체계적인 수도물 공급과정 관리 강화로 정책의 체계가 전환돼 수도시설 유지·관리비용이 크게 절감될 것으로 기대
 - 아울러, 2019년 11월 ‘수도법’ 개정에 따라 수도사업자에게 수도물 공급과정에서의 수질오염 방지 의무가 부과되는 점에 발맞추어 관세척 시설, 자동배수설비 등의 기반시설을 전국 상수관망에 구축해 보다 체계적으로 수도물 수질을 관리

2

2. 스마트워터시티 구축사업 개념

사업의 목적

- 수돗물 공급 과정에 ICT 기반 감시체계를 구축하여 사고발생을 사전에 방지하고 사고 발생 시 신속한 대응이 가능하도록 개선



3

2. 스마트워터시티 구축사업 개념

주요내용 및 기대효과

✓ 사업기간 및 대상

- '20 ~ '22년, 161개 수도사업자(지방자치단체)
- '20년 특·광역시 등 44개 지자체를 대상으로 실시 예정

✓ 총사업비

- 1.35조 원(국비 8,764억 원) * '20년 국비 3,816억 원
- ※ 특·광역시는 국비 50%, 기타 지자체는 국비 70% 지원 예정

✓ 세부 사업내용

- ICT 기반 수질관리(재염소투입설비, 정밀여과장치 등), 수질감시(다항목 수질계측기), 위기대응(자동(원격)드레인, 관세척 인프라) 및 물관리(스마트미터링 등) 시설 구축
- 수도시설 이력관리, 노후시설 유지·보수 필요시기·사항 등 예측을 통해 사고를 사전 대비하도록 생애주기 관리체계(자산관리시스템) 구축

✓ 기대효과

지방상수도 시설관리 개선 및 지자체 수돗물사고 대응역량 강화로 모든 국민에게 안전한 물을 공급하여 보편적 물복지 실현

4

3. 인프라구축사업 내용(1단계)



재발방지 계획

1. 실시간 수압계

- 기존 자기록 수압계의 통신기능 문제점을 개선하고자 압력센서 및 무선통신기술을 활용하여 실시간으로 압력 데이터 감시



Type 1



Type 2

데이터 전송



실시간 수압측정



<설치 예시>

AS-IS

- 현장 측정 또는 소화전에 로깅하여 PC로 데이터 다운로드
- 오 결측 빈도가 높음(통신문제)



TO-BE

- 무선통신기술을 활용하여 실시간(1초) 간격으로 수압 측정가능
- 1개 소블록 당 1주일씩 감시 [매년 4회(분기별) 감시가능]

5

3. 인프라구축사업 내용(1단계)



재발방지 계획

2. 스마트 관로시설 인식체계

- 관로(맨홀) 상단부에 센서를 설치한 후, 지상에서 탐지기 라디오주파수를 활용하여 관로(맨홀) 위치를 정확히 찾아내고 관로시설 정보를 전산화하는 기술



< RF >



< NFC >



< RFID 맨홀뚜껑형 >



< RFID 카드형 >

구분		기술 설명
관로 분야	RF	관로 매설정보가 입력된 센서를 관상단에 설치, 탐지기 라디오 주파수로 관로 위치를 찾아내고 관 매설정보는 탭북에서 확인
	NFC	관로 매설정보가 입력된 NFC 기술 기반의 인식 표지기를 설치, 스마트폰을 근접하여 정보 취득
맨홀 분야 (RFID)	맨홀뚜껑형 (맨홀 외부)	맨홀 시설정보 등이 입력된 RFID 태그를 맨홀 외부에 설치, 리더기 RF 및 블루투스 통신으로 스마트폰(탭북)에서 확인
	카드형 (맨홀 내부)	맨홀의 시설정보 등이 입력된 RFID 태그를 맨홀 내부에 설치, NFC 통신방식으로 스마트폰을 근접하여 정보 취득

6

3. 인프라구축사업 내용[1단계]

수돗물신뢰제고 계획

3. 워터 코디/닥터

- 워터코디와 워터닥터가 가정을 직접 방문하여 수질검사 및 옥내급수관을 점검하고, 소비자 정보 공유 및 관 세척 등 사후 관리까지 지원하는 서비스 제공
- ❖ 워터코디 : 방문 수질검사(항목 : 탁도, 잔류염소, pH, 철, 동, 망간) 서비스 인력
- ❖ 워터닥터 : 옥내 급수관 내시경 진단을 수행하는 인력

〈 방문 수질검사 〉



〈 옥내배관 내시경 진단 및 세척 〉



〈 옥내배관 세척장비 〉



- 수돗물 품질보증(안심보험)제도를 통해 소비자의 남은 불안감 완벽 해소

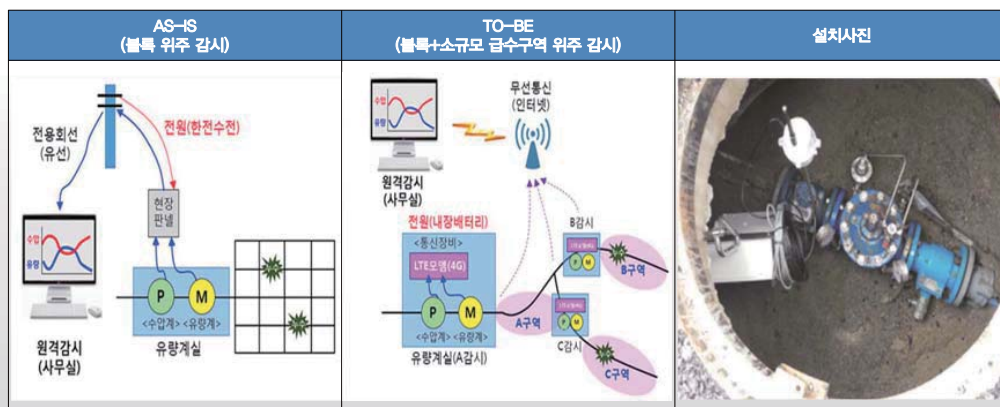
7

3. 인프라구축사업 내용[2단계]

재발방지 계획

4. 소규모 유량 · 수압감시

- 기존 급수구역보다 세밀하고 정밀하게 급수구역을 분할하고 유량을 감시하여 대규모 누수사고를 사전 예방하고 수질사고 발생시 오염물질 거동을 예측하여 2차사고 발생방지



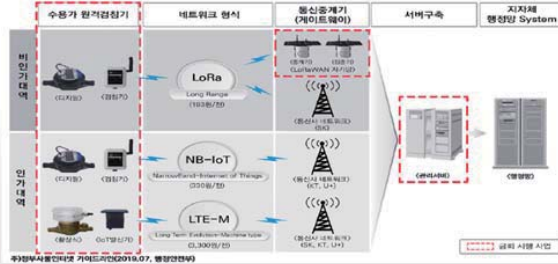
8

3. 인프라구축사업 내용(2단계)

재발방지 계획

5. 스마트미터링

- 정보통신(ICT) 기반의 원격 검침시스템을 구축함으로써 스마트 통합 물 관리 실현
- 수용가 상수 사용량을 운영자가 실시간으로 검침하여 유수율 제고 및 경제성 향상 기여



스마트미터기 및 단말기	중계기 및 수집기	아파트 지역 설치사례

9

3. 인프라구축사업 내용(3단계)

수질관리 계획

6. 재염소 투입설비

- 상수관망에서 적절한 소독능 확보를 위해 잔류성이 있는 염소 소독제를 활용하고 있으나, 관로상의 잔류염소 농도는 수돗물 공급량, 체류시간, 계절변화에 따른 수온이 영향을 받음
 - 하절기 등의 경우 잔류염소 기준을 만족시키기 위해 정수장에서 계절적 요인 등을 고려하여 주입염소농도를 평상시 보다 상향하여 운영중임
- 수돗물을 안전하게 유지하기 위해서는 관말까지 잔류염소를 유지해야 하나 염소의 과다한 투입 시 부산물 생성 및 금속관로의 부식을 촉진하는 문제가 발생하는 등 심미적 요인 민원 야기
- 소독제 분산 주입(배수지, 관로) 을 통해 수도꼭지까지 염소 농도를 균등하게 유지



10

3. 인프라구축사업 내용(3단계)



수질관리 계획

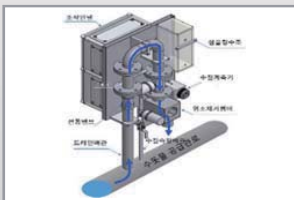
7. 자동(원격)드레인

- 수질계측설비(탁도계, 잔류염소계)를 통해 배수관망 내 수질변화를 감지하고, 이상 수질 발생 시 자동드레인 시설을 통해 오염물질을 외부로 배출하여 수질사고에 적절하게 대응 가능하도록 계획
- 탁도, 잔류염소 등 단일항목 계측기와 자동이토를 연계 운영하여 배수관망 내 이상 수질 예상 시 적절한 대응조치가 가능하도록 감시 및 관리체계 제공
- 하절기 잔류염소 부족 우려되는 구간, 입자성 물질 등이 빈번하게 유출되는 관말구간, 잔류염소 및 탁도가 초과되는 구간에 설치
- 실시간 수질 측정(PH, 잔류염소, 탁도)을 통해 관로내 이상 수질 발생 시 수돗물 자동 배출

실시간 수질 측정

관로 초과시 밸브 자동 개방

관로 내 탁수 배출



11

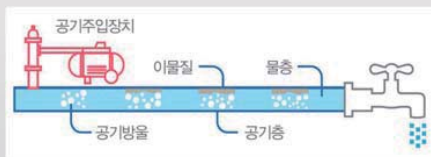
3. 인프라구축사업 내용(3단계)



위기대응 계획

8. 관세척인프라

- 관로 내부에 축적된 미세한 이물질이나 관로의 노후로 탈리된 내부 도장재 등이 수도꼭지로 유출되는 사고를 사전에 예방하고 사고 발생 후에도 신속한 대응가능
 - 정수장에서 생산된 수돗물이 장시간동안 관로시설을 통해 각 가정까지 공급되는 과정에서 수돗물에 포함된 미세한 입자 등이 관내면에 부착되거나 침적되어 유속, 수압 등의 급격한 변화 시 침전물 등이 재부유하여 수도꼭지로 유출되는 경우가 발생
 - 갱생 또는 교체 전까지 노후관을 효과적으로 유지관리하여 안전한 수돗물을 안정적으로 공급하기 위함
- 관내부에 압축공기(Air) 또는 탄두형 세척장비(PIG) 삽입하여, 수압을 이용하여 관내 침전물 배출



공기주입장치 셋팅 → 소화전 연결 → 공기주입 → 탁수배출



점검구 설치 → 피그삽입 → 탁수배출 → 피그회수

12

3. 인프라구축사업 내용(3단계)



위기대응 계획

9. 정밀여과장치

- 관로의 노후로 인한 스케일 생성, 유속변화에 따른 관내 침전물 부유 등 관로 시스템의 문제로 인해 발생할 수 있는 수질민원 대비
- 정수장별 급수권역을 고려하여 주요배수지 및 관로 주요지점에 수질감시용 여과장치를 설치하여 다항목 수질계측기와 병행하여 수질을 예측하고 대응
- 국지적 및 주기적으로 발생하는 이물질 민원을 해결하기 위해 배수본관에 여과장치 설치



13

3. 인프라구축사업 내용(3단계)



수질감시 계획

10. 다항목 수질계측기

- 상수도의 수질문제는 공공보건에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 생산과정은 물론 소비자에게 공급되는 급수관 말단까지 안전성을 담보할 수 있는 관리방안임
- 수과정의 전반적인 수질을 감시할 수 있도록 배수지, 배수본관에 원격 감시 및 제어가 가능한 수질계측기(다항목)를 설치
- 실시간 수질 계측값을 비교하여 관로 상태변화 및 이상 상황을 감시하며, 관망 기술진단, 정밀조사 등 수행 시 검토자료로 활용 가능
- 수질을 실시간으로 감시하고 수질변화에 적극 대응하고 수돗물에 대한 신뢰 제고



〈 정수장, 배수지, 공급과정 수질계측 〉



〈 상수도 운영서버 〉



〈 수질정보 제공(예시) 〉

14

4. 설치기준 및 수량[광주광역시 사례]



사업별 설치 기준 및 수량

단계	기술	광주광역시 설치기준	수량		비고
1단계	실시간수압계	- 전체소블록대상(1set를 최대 10개 소블록에 적용) - 1set 당 5개소 운영(유입부, 평균, 최대, 최저, 대수용가)	10set		
	스마트관로시설 인식체계	- RF : $\{(\text{신설} + \text{개량}) \div 20\} \times 1.2 + \text{누수복구건수}$ - RFID : 밸브실 개소, 지역 수도사업소 수	RF	60,320개	
			RFID	2,251개	
			합계	62,571개	
	워터 코디/닥터	- 지자체 총 가구수를 대상 - 워터코디 : 가구수의 10% 적용 - 워터닥터 : 가구수의 1% 적용	워터코디	28set	
			워터닥터	6set	
2단계	소규모 유량·수압감시	- case1 : 500가구당 1개소 설치 - case2 : 소블록 연장의 20~30% 내외 규모설정 구간 - case3 : 관리블록 내 대수용가 다수구간	42개소		
	스마트미터링	- 노후계량기, 검침곤란지역, 취약계층, 대수용가 등	27,647전		

15

4. 설치기준 및 수량[광주광역시 사례]



사업별 설치 기준 및 수량

단계	기술	광주광역시 설치기준	수량		비고
3단계	재염소투입설비	배수구역 전반에 걸쳐 농도를 균등하게 유지 가능한 배수지	-	-	
	자동(원격)드레인	체류시간 48시간 이상으로 잔류염소 부족예상 블록	유입	9개소	
			말단	9개소	
	관세척 인프라	노후관 중 관세척이 가능한 관로 및 저유속 관로	186set		
	정밀여과장치	노후관 중 갱생 또는 교체 대상관, 유속 0.25m/s 초과, 수질민원지역	대응	16개소	
			감시	12개소	
다항목 수질계측기	V=250㎥ 이상 배수지 수질 취약구간 (유속 0.25m/s초과, 정수장 기준 도달시간 24시간 이상)	관로	30개소		
		배수지	6개소		
운영시스템 개량		-	1식		
부대사항	실시설계	-	1식		
	건설사업관리	-	1식		

16



감 사 합 니 다





설문조사서

【2021년도 환경교육사업 설문서】

전문환경교육(20시간 이상) **수료자**

광주녹색환경지원센터

본 설문서는 녹색환경지원센터의 사업성과 평가를 위한 통계자료 및 향후 센터사업의 개선에 참고하고자 작성된 것으로 외부에는 공개되지 않음을 알려드립니다.

문 1. '21년도에 귀하가 받은 **전문교육 과정명**은 무엇입니까?

1 2 3 4 5 6

『**기후변화대응 환경연구역량강화교육**』

문 2. 귀하가 받은 위 전문교육 과정의 교육시간은 **총 몇 시간**이었나요?

총 20 시간

문 3. 귀하가 전문환경교육 과정을 **수강한 가장중요한 목적**은 무엇입니까?

- ① 취업을 위한 경력관리를 위해 ② 교육 이수 후 강사로 활동하기 위해
③ 직장에서 요구하는 직무연수 시간을 채우기 위해
④ 전문 환경 지식을 얻기 위해 ⑤ 기타()

문 4. **교육 프로그램 구성 및 내용**은 만족스러웠습니까?

- ① 매우만족(5점) ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

문 5. 강사의 **강의수준**은 만족스러웠습니까?

- ① 매우만족(5점) ② 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 매우 불만족

문 6. 교육과정인 귀하의 **지식 습득**에 얼마나 **도움**이 되었습니까?

- ① 매우도움됨(5점) ② 도움됨 ③ 보통 ④ 도움안됨 ⑤ 매우 도움안됨

문 7. 전문환경교육 수료 **후 현재 어떤 활동**을 하십니까?

- ① 관련 직종 구직 중 ② 이직·신규취업 확정 ③ 강사활동
④ 현 직장에서도 관련 업무를 담당 ⑤ 관련 활동을 하고 있지 않음
⑥ 기타()

문 8. 향후 센터에서 실시하는 **다른 환경 교육과정**을 **수강**하시겠습니까?

- ① 그렇다 ② 아니다 ③ 잘 모름

문 9. 향후 광주녹색환경지원센터 환경교육 운영에 바라는 사항?

