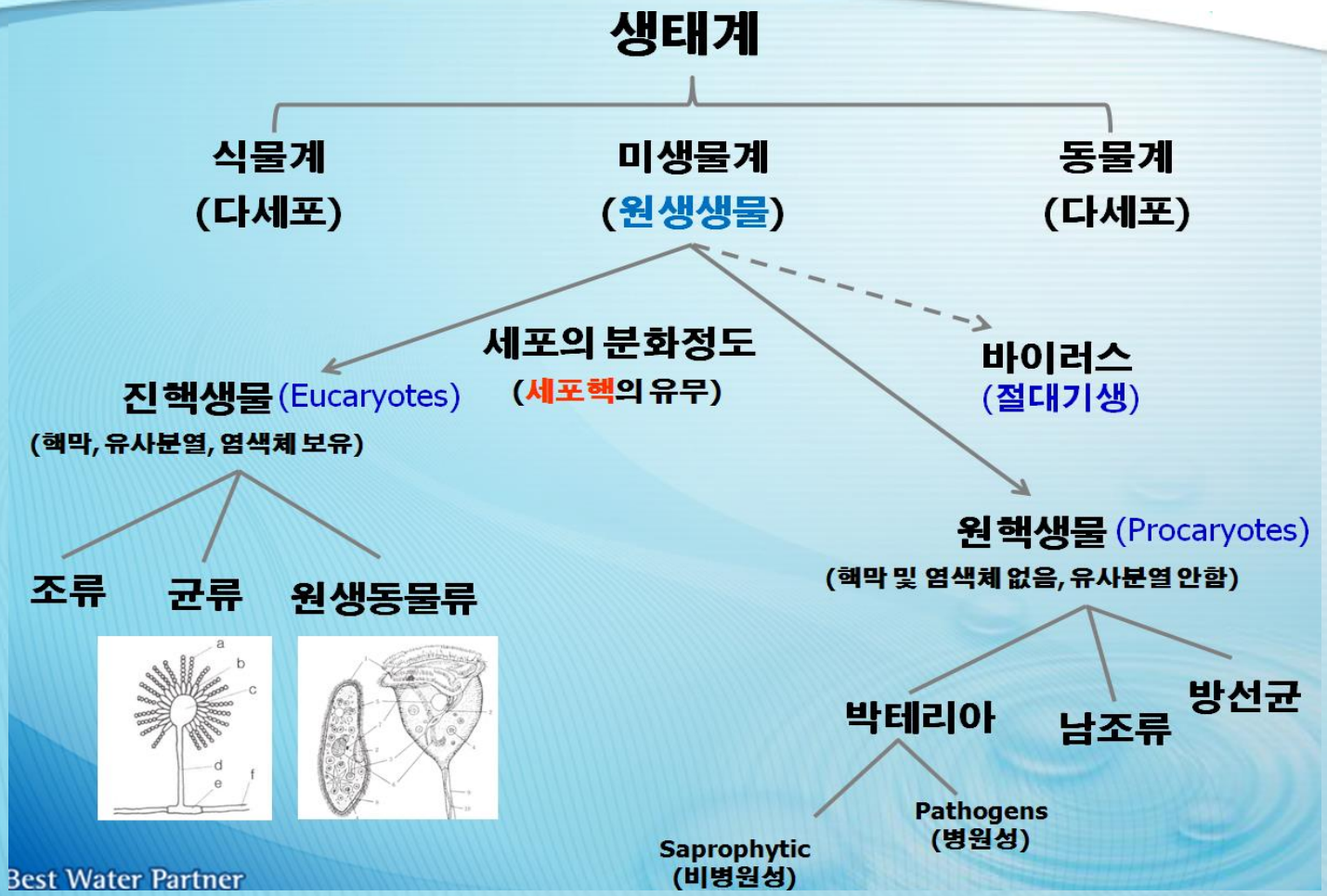
생물학적 하폐수처리
원리 및 처리장 이상진단

한양대학교 건설환경공학과
Prof. 최 동 호

2020. 11. 12

HYU 한양대학교 HANYANG UNIVERSITY

기초 이해하기



분류학 (Taxonomy) : 세포들의 관찰특성들에 근거하여 연관/분류

계통발생론 (phylogeny) : 진화론적(유전적) 성질에 기초하여 미생물들의 차이를 분류

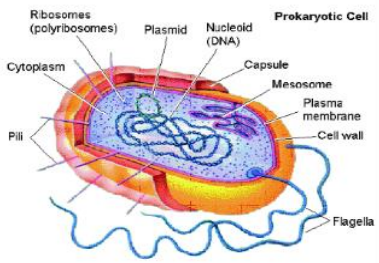
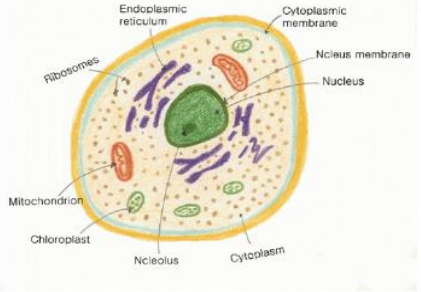
폐수처리와 관련 있는 주요 미생물

- 박테리아(Bacteria, $C_5H_7O_2N$)

형태: 구형 ○

막대형

나선형

	원핵세포	진핵세포
핵	없음, 핵막이 존재하지 않는다.	있음, 핵막이 존재하며 DNA와 히스톤 단백질의 결합에 의해 유전현상(RNA, 단백질 생성)이 일어남.
염색체	단일 환형 DNA (Single circle)	이중나선 DNA (Double Helix)
세포소기관	존재하지 않는다.	미토콘드리아, 엽록체 등과 같은 소기관이 발달됨.
그림		
	원핵세포의 크기는 약 1㎛ 이하	진핵세포의 크기는 10~100㎛ 정도 식물세포, 동물세포의 가장 큰 차이점은 세포벽의 유무

분류

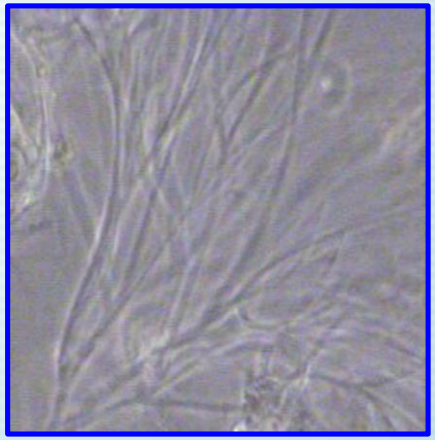
1. 산소요구
- Aerobe
- Anaerobe
- Facultative

2. 성장온도
- Psychrophile (-10 ~ 30℃)
- Mesophile(20 ~ 50℃)
- Thermophile(35 ~ 75℃)
- Hyperthermophile(75 ~110℃)

3. 성장 pH
- Acidophile: 에너지를 위해 황이나 철을 산화시키는 무기독립영양균
- Neutrophile: 대부분의 미생물 성장(pH 6~8)
- Alkaliphile

4. 염, 당의 농도
- Halophile: 바닷물과 비슷한 염 조건에서 성장
- Saccharophile: 제당폐수 등에서 서식

- 균류(fungi)



1. yeast, 곰팡이 등 탄소동화작용을 하지 않는 미생물을 총칭
2. 화학적 분자식: $C_{10}H_{17}O_6N$
3. 낮은 pH에서도 잘 성장 (pH2~5)
4. 균류의 낮은 pH 조건과 낮은 질소 요구량 그리고 섬유소 분해 능력으로 공장폐수의 생물학적 처리나 유기 고형물의 퇴비화에 중요

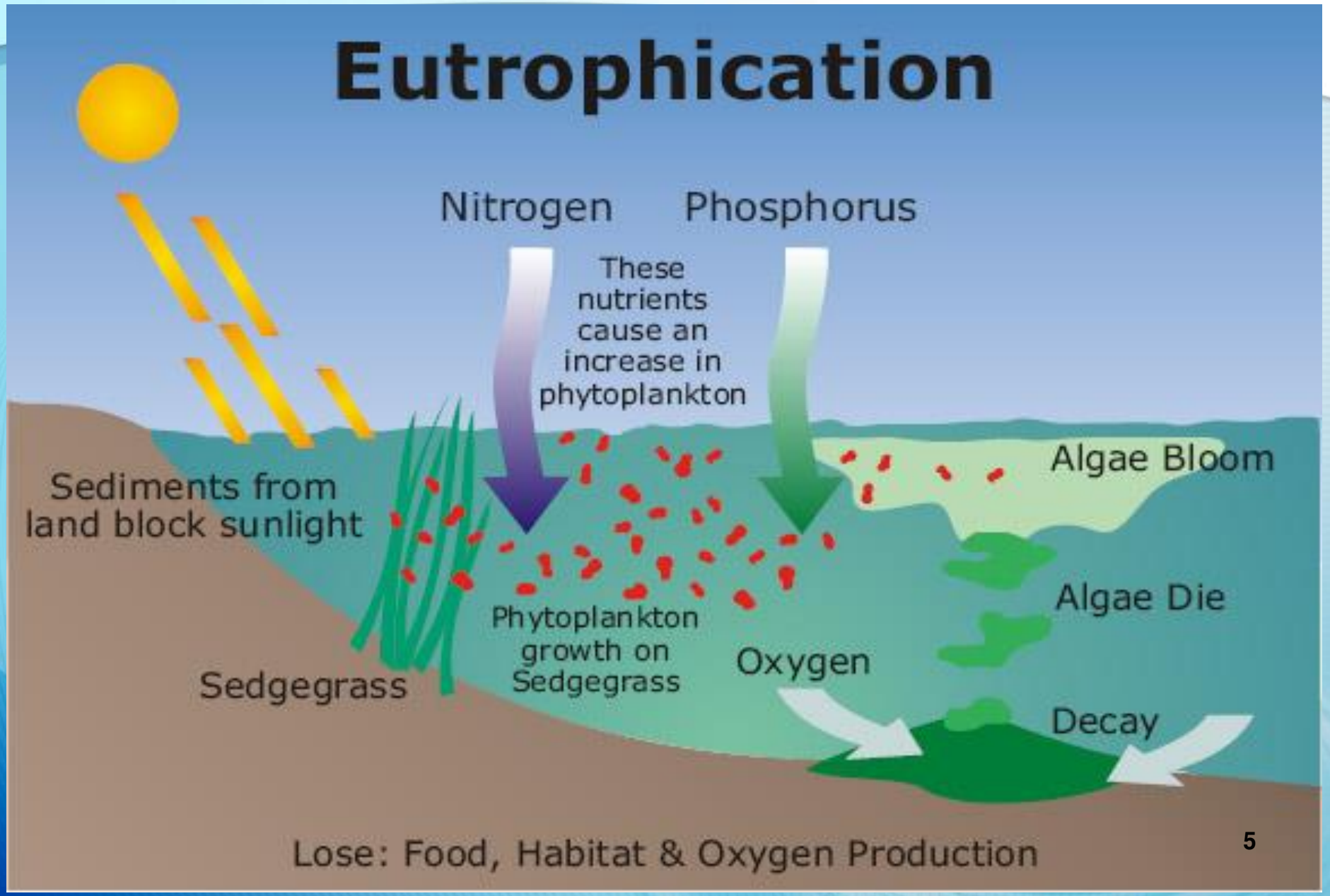
- 조류(algae)

1. 엽록소를 가지고있는 단세포 혹은 다세포 식물이며 광합성을 한다.

$$C_5H_8O_2N + CO_2 + 2H_2O \underset{\text{야간}}{\overset{\text{주간}}{\rightleftarrows}} C_5H_8O_2N + O_2 + H_2O + C_6H_{12}O_6$$

2. 조류는 탄소를 얻기 위해 탄산가스(CO_2)나 수중의 HCO_3^- 이온을 이용한다.
3. 수중에서 이취미를 유발한다.
4. 수중의 부영양화로 인해 이상증식 한다.

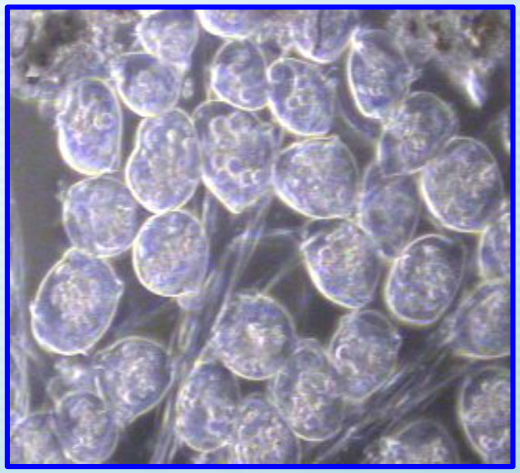
주간 및 야간의 DO, COD, pH, DO 관계 도출


Eutrophication
Nitrogen
Phosphorus
These nutrients cause an increase in phytoplankton
Sediments from land block sunlight
Algae Bloom
Algae Die
Phytoplankton growth on Sedgegrass
Oxygen
Sedgegrass
Decay
Lose: Food, Habitat & Oxygen Production

기초 이해하기

- 원생동물(protozoa)

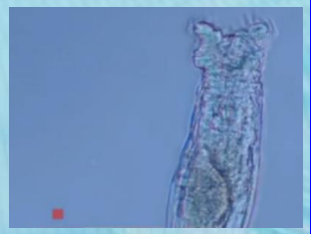
1. 단세포 생물
2. 대다수 편모, 섬모, 위족에 의해 이동, bacteria를 포식.
3. 처리수에 남아있는 미세입자물질을 제거하는데 도움을 줌으로서 처리수를 정화하는 역할
4. Bioflocculation 에 기여

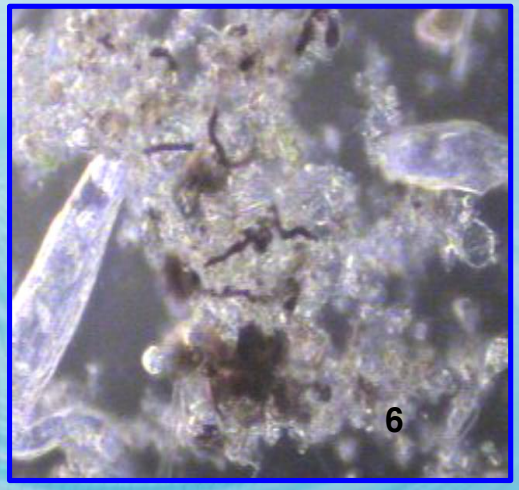


https://www.youtube.com/watch?v=193EpXPU6QM

- 고등동물(rotifer)

1. 호기성 유기영양의 다세포 동물
2. 폐수내의 분산 및 응집되어있는 박테리아와 유기고형물을 효과적으로 섭취
3. 호기성 생물학적 공정의 지표생물
4. 생물막의 발달을 저해





https://www.youtube.com/watch?v=cYNJOVDQexA

Nutritional requirements of the microorganisms

< General classification of microorganisms by sources of energy and carbon.>

Classification	Energy source	Carbon source	Species
Autotrophic(자가영양):			
Photoautotrophic (광합성 자가영양)	**Light**	**CO_2**	**Algae, photosynthetic bacteria**
Chemoautotrophic (화학합성 자가영양)	**Inorganic oxidation-reduction reaction**	**CO_2**	**Nitrifying bacteria**
Heterotrophic(종속영양):			
Chemoheterotrophic (화학합성 종속영양)	**Organic oxidation-reduction reaction**	**Organic carbon**	**Protozoa, Fungi and most bacteria**
Photoheterotrophic (광합성 종속영양)	**Light**	**Organic carbon**	**Denitrifying bacteria Sulfur bacteria**

생 물 학 적 제 거 원 리

❑ 생물학적 질소 제거

- 질산화

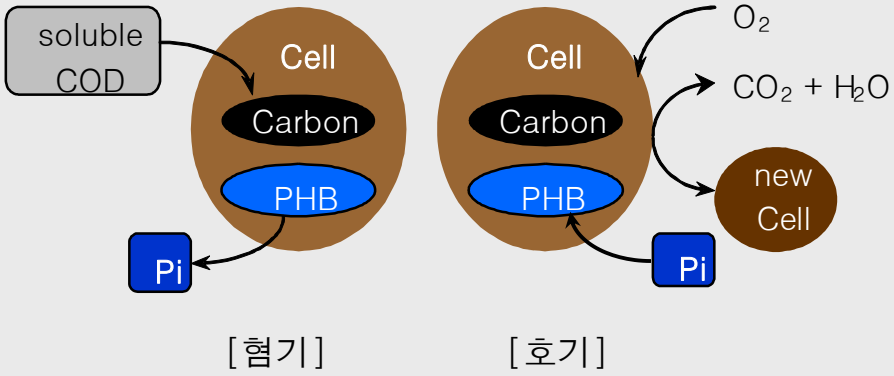
$$NH_4^+ + 1.5O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + H_2O + 2H^+$$

$$NO_2^- + 0.5O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} NO_3^-$$

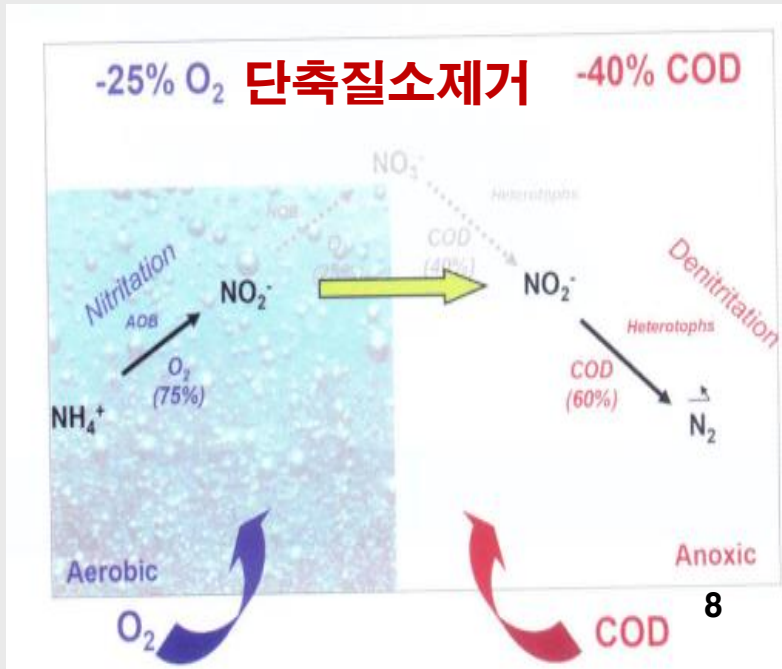
- 탈질산화

$$6NO_3^- + 5CH_3OH \longrightarrow \underset{\text{Gas}\uparrow}{5CO_2 + 3N_2\uparrow} + 7H_2O + 6OH^-$$

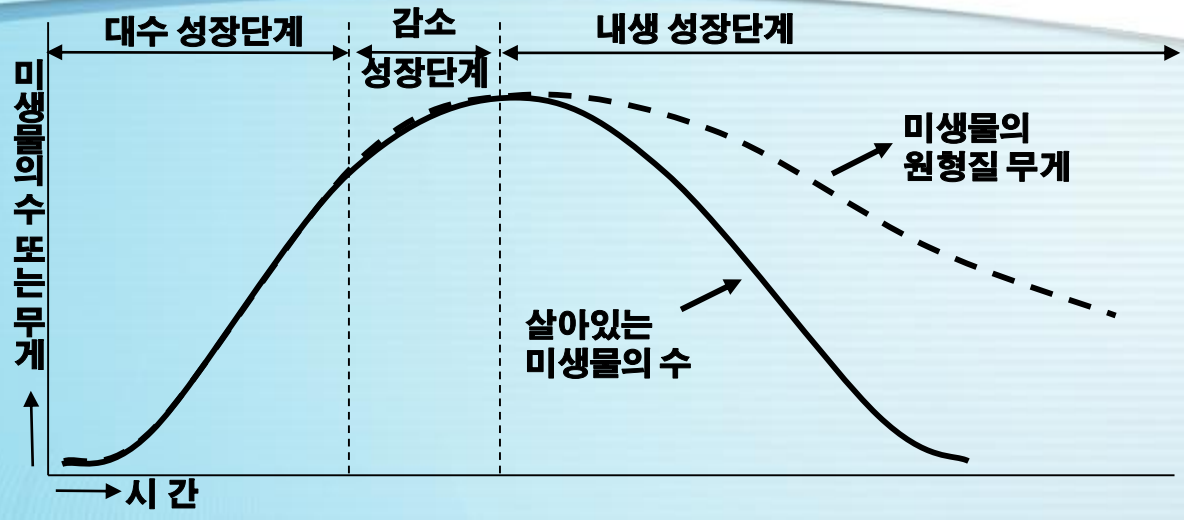
❑ 생물학적 인 제거



[혐기] [호기]



기초 이해하기



① 대수 성장 단계(log growth phase)

양분이 충분하므로 미생물이 최대의 율로 증식하나 **미생물의 침전성이 나쁨**

수처리에 이용되지 않음.

② 감소 성장기(declining growth phase)

미생물의 수가 증가되면서 양분이 감소, **미생물의 수도 감소**

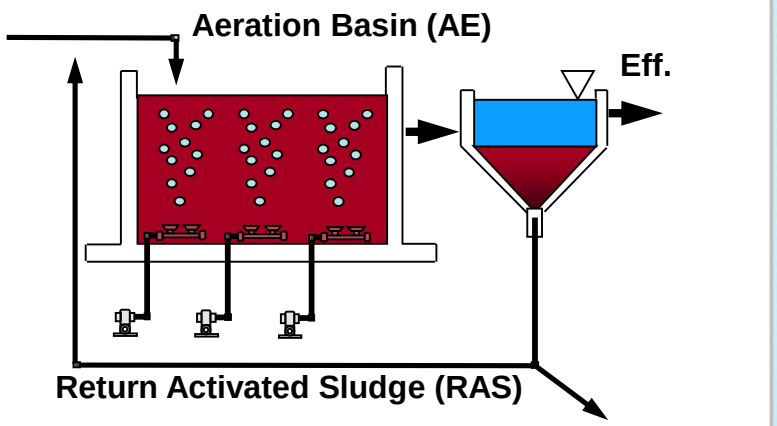
그 결과 미생물의 무게보다 원형질의 무게가 더 크게되고 침전성이 좋아지며 **수처리에 이용되는 단계이다**.

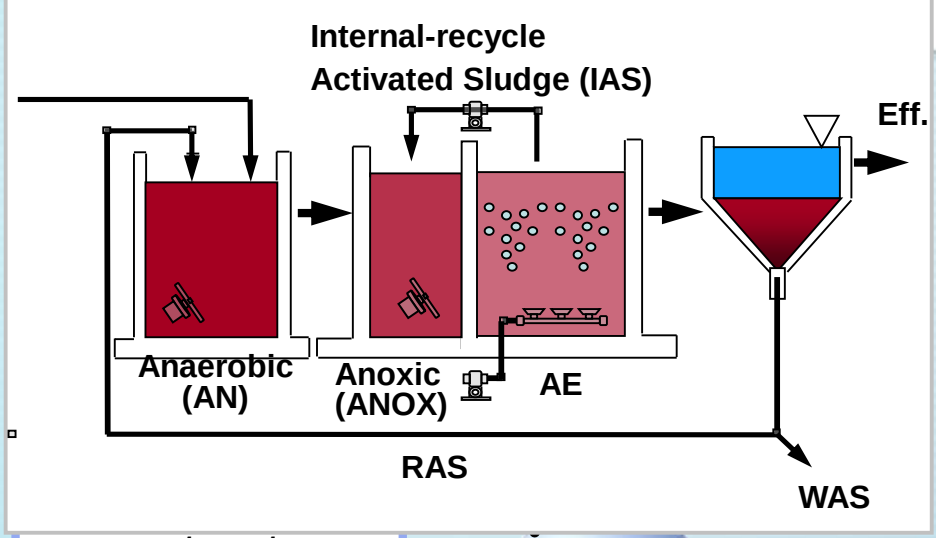
③ 내생호흡기(endogenous phase)

양분은 적고 미생물의 수는 크게 증가되어 **신진대사율이 크게 감소**

미생물의 분해(lysis)가 이루어지며 유기물의 분해는 거의 완료. **침전성이 좋음**

기초 이해하기

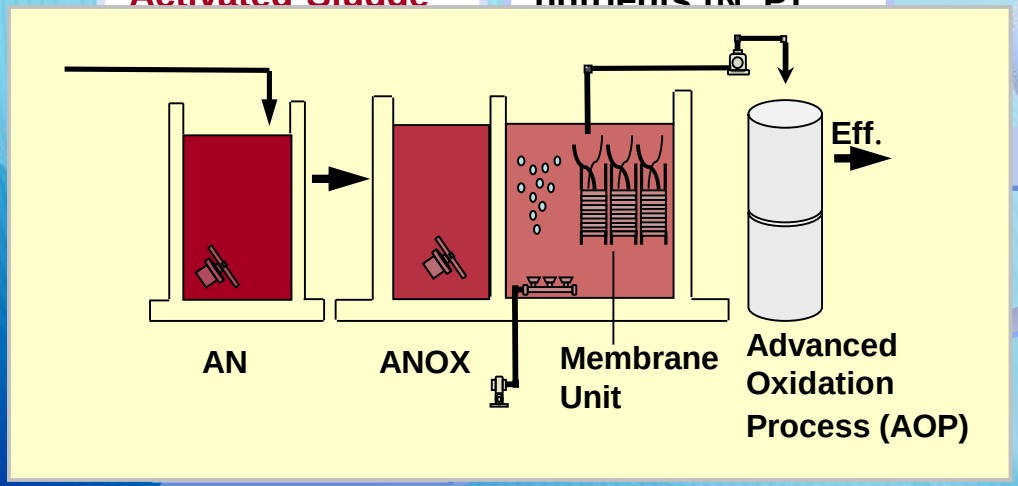


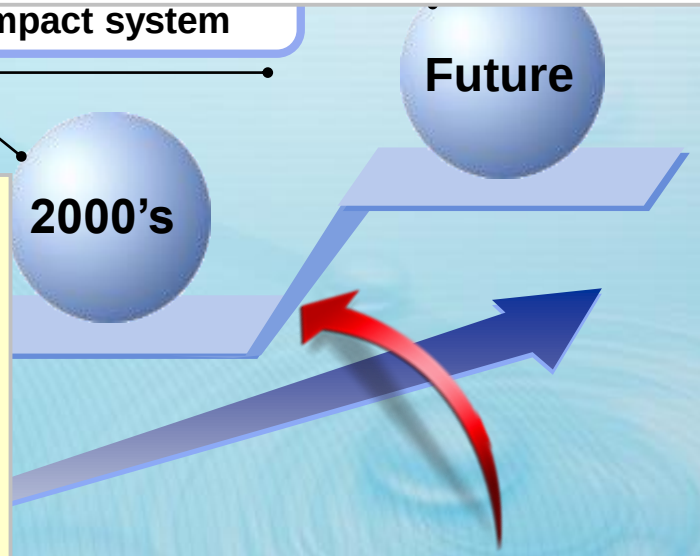


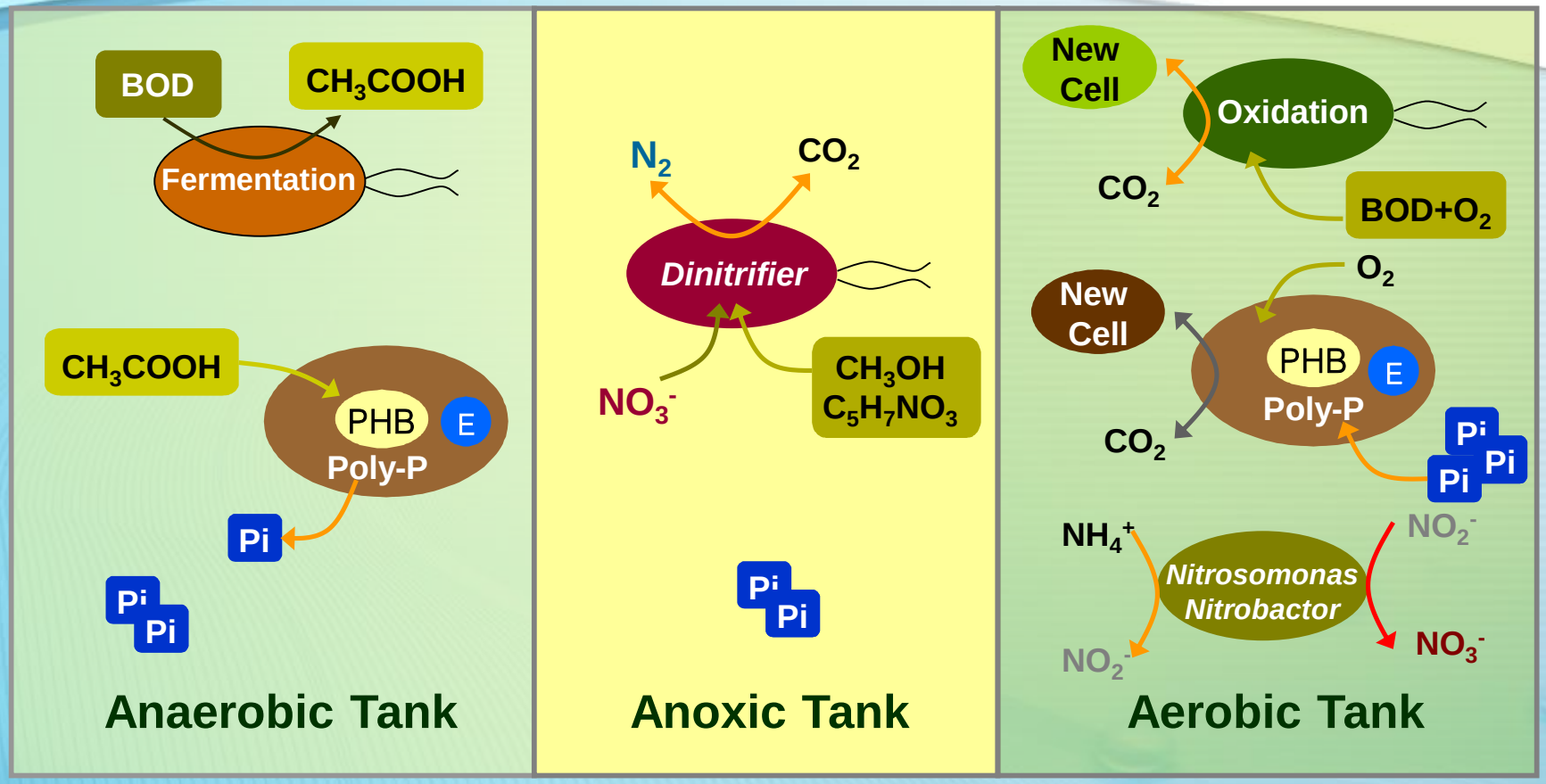
- Biological Nutrient Removal (BNR) Process
- to remove nutrients (N, P)

- Conventional Activated Sludge

compact system







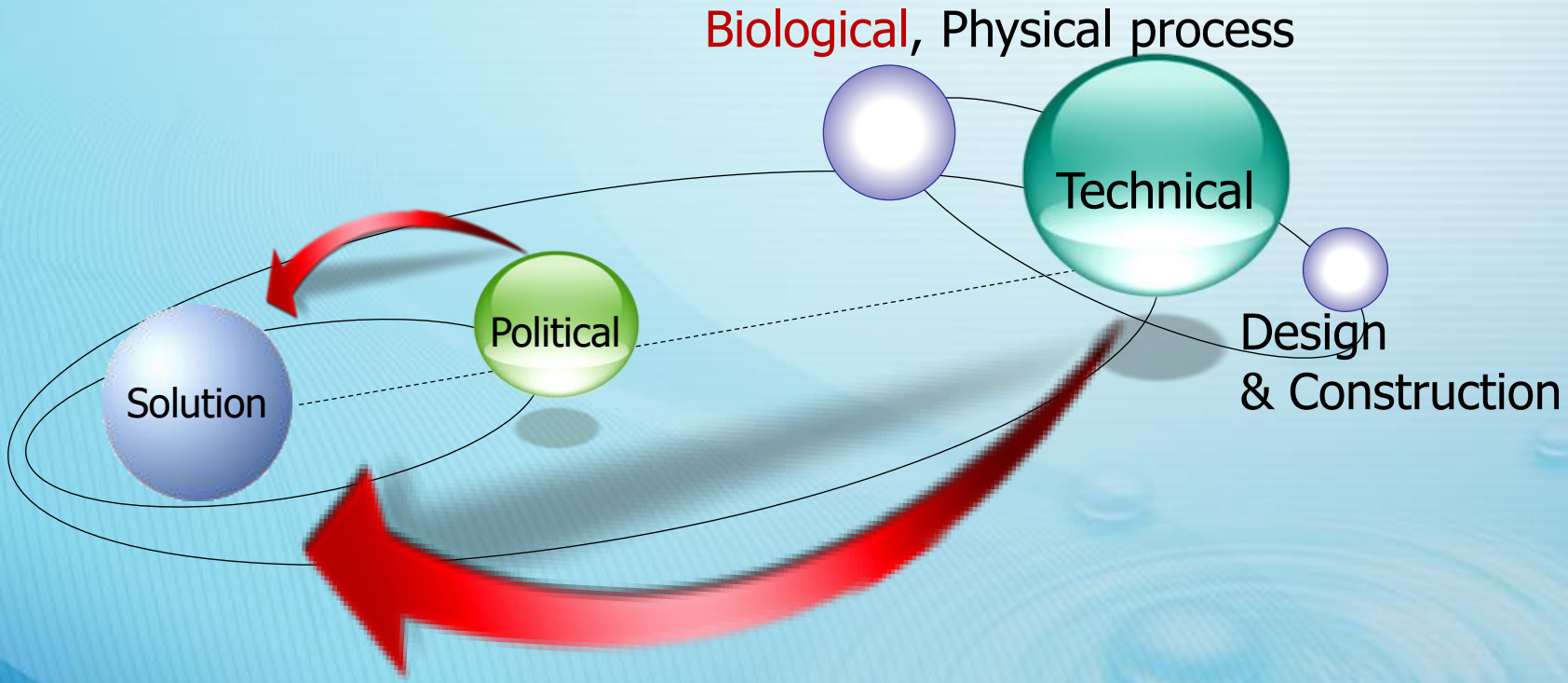
- Removal of organic compounds by fermentation
- Phosphorous release

- Denitrification
- Nitrate is used oxygen acceptor

- Removal of organic comp. by oxidation
- Phosphorous uptake
- Nitrification

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 하수처리장 처리효율 개선 process



하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항
- 방류수 수질기준

구분	적용기간 및 수질기준									
	2010.12.31.까지	2011.1.1.부터 2011.12.31.까지	2012.1.1.부터 2012.12.31.까지				2013.1.1. 이후			
			Ⅰ지역	Ⅱ지역	Ⅲ지역	Ⅳ지역	Ⅰ지역	Ⅱ지역	Ⅲ지역	Ⅳ지역
생물화학적 산소요구량 (BOD)(mg/ℓ)	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하
화학적 산소요구량 (COD)(mg/ℓ)	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하
부유물질 (SS)(mg/ℓ)	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하
총질소 (T-N)(mg/ℓ)	40(60) 이하	40(60) 이하	40(60) 이하	40(60) 이하	40(60) 이하	40(60) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하
총인 (T-P)(mg/ℓ)	4(8) 이하	4(8) 이하	0.2(0.2) 이하	0.3(0.3) 이하	0.5(0.5) 이하	4(8) 이하	0.2(0.2) 이하	0.3(0.3) 이하	0.5(0.5) 이하	2(2) 이하
총대장균군수 (개/㎖)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000 (3,000)	3,000 (3,000)	3,000 (3,000)	3,000 (3,000)
생태독성 (TU)	-	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하

산업단지 및 농공단지 폐수종말처리시설의 페놀류 등 수질오염물질의 방류수 수질기준은 위 표에도 불구하고 해당 처리시설에서 처리할 수 있는 수질오염물질 항목으로 한정하여 별표 13 제2호나목의 표 중 특례지역에 적용되는 배출허용기준의 범위에서 해당 처리시설 설치사업 비고)시행자의 요청에 따라 환경부장관이 정하여 고시한다.

적용기간에 따른 수질기준란의 ( )는 농공단지 폐수종말처리시설의 방류수 수질기준을 말한다.

생태독성 항목의 방류수 수질기준은 물벼룩에 대한 급성독성시험기준을 말한다.

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 하폐수 처리시설의 주요 문제점

○ 불규칙한 하수유입과 관측(유량계)/ 제어(유량조정조) 불가

○ 설계도면과 다른 현장시공 및 운전

○ 설비노후와 자연재해로인한 파손, 망실 등 가동불능상태

○ 저농도 유입(불명수 영향 포함) 또는 생물학적 처리 부적절(C : N : P ratio)

○ 반응조내 미생물 관리불량(pin floc, SRT 조절 실패등)

○ 처리 프로세스(공법)상 질소, 인 제거 불가능 또는 효율 저하공법 운영

○ 부적절한 운전방법(연속유입 - 잘못된 내부, 외부반송) (회분식 : 시퀀스 오류 등)

○ 모니터링 설비 및 관리인력 부족(관리자의 부족한 운전경험, 상황대처능력 부족)

○ 예산부족으로인한 관리포기(방치)

○ 하절기 폭우, 태풍등에 대한 펌프실 침수 등

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항
- 처리장 이상 시 기술진단 5단계

○ 1단계 : 기초자료 수집 및 분석

- Background Information Sheet 작성
- 예상 문제점 및 해결방안 추정

○ 2단계 : 현장 실태조사 및 시료채취/분석

- 현장조사(장치 및 설비, 공정운영, 미생물 등)
- Process Design 및 Operation Sheet 작성
- 문제점 파악 및 진단방향 조정

○ 3단계 : 문제점에 대한 원인분석 (필요시 현장 재조사 실시)

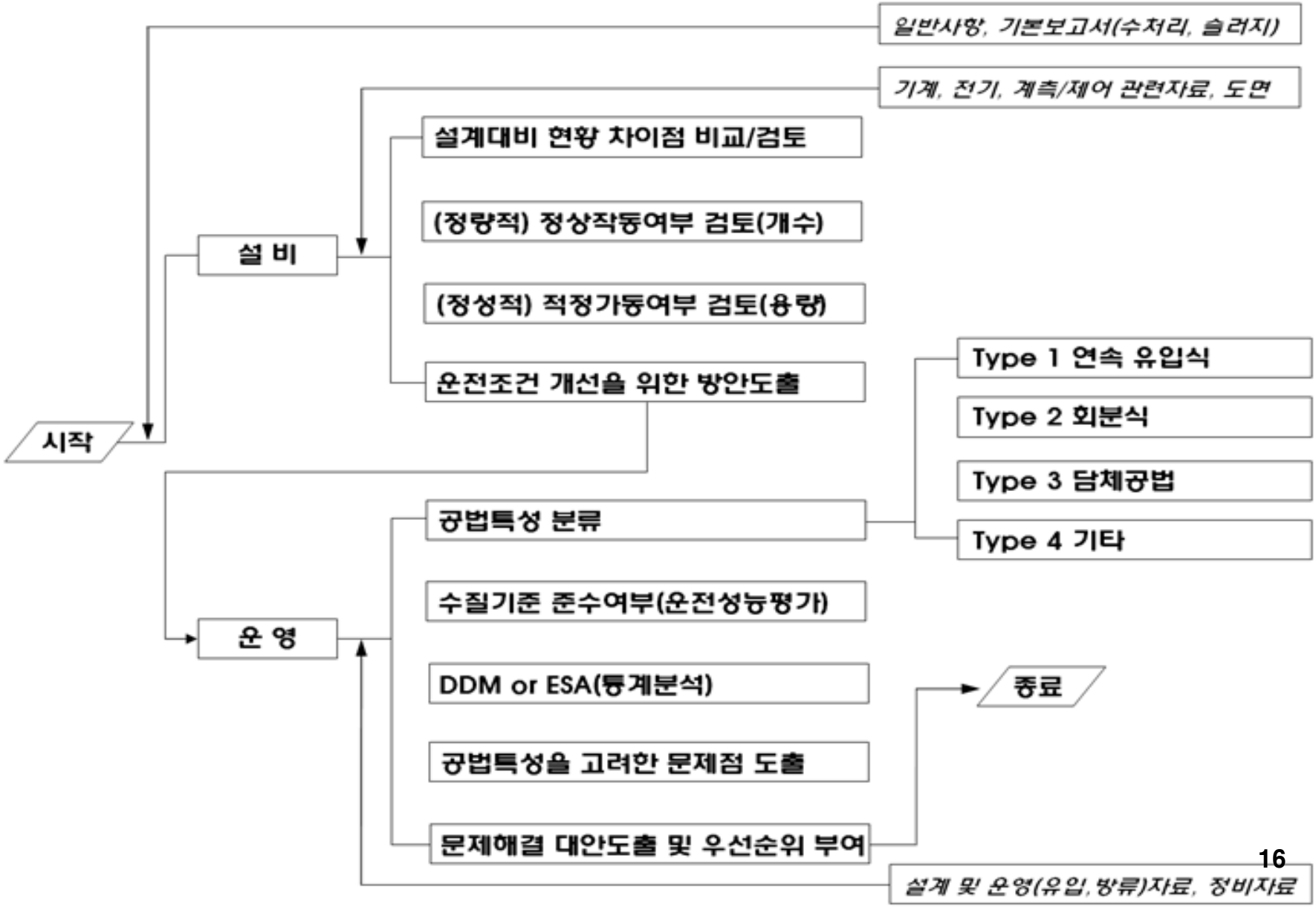
- 현황진단 sheet 작성
- 공법별 주요 진단사항 체크

○ 4단계 : 문제점별 해결방안(개선대책) 도출

○ 5단계 : 기술진단 요청부서와 최종협의 및 대안마련(보고서 작성)

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 처리장 이상 시 기술진단 목록 및 Flow



하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 공법별 주요 진단사항(연속식)

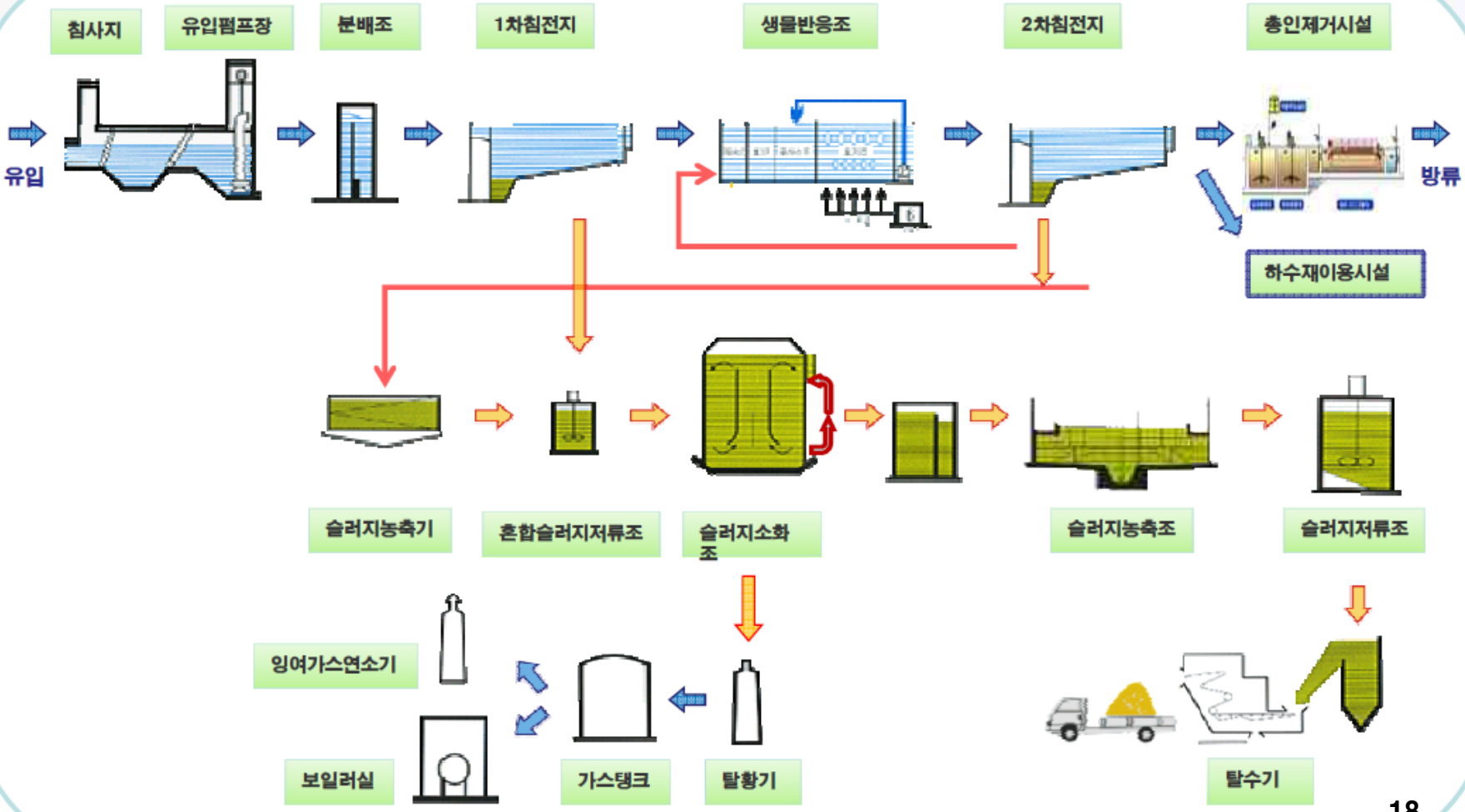
구 분	표준활성슬러지공법 (가장 대표적)
공정특성	• 1차, 2차 침전조와 포기조 만으로 구성된 활성슬러지 공법
처리효율	• 유기물질 : BOD : 85~90%, SS : 85~90% • 영양염류 : TN : 20~30%, TP : 10~25% (응집체 첨가시: 70~80%)
설계인자	• HRT: 4~8시간 • SRT: 5~15일 • F/M 비:0.2~0.6kgBOD/MLSS/d • MLSS : 1,500~3,000mg/L • 반송율(RAS) : 50~100%
진단핵심	• BOD, SS와 같은 물질 제거 가능 → 질소, 인제거 불가 • 호기조 기능 고장시 하수처리능 상실 → 송풍량 및 적정 DO 유지확인 (산소량 부족, 과다공기, 침전능 불량 등)

예: 공정 진단시 중점 점검사항(연속유입식)

구 분	A_2O (Anaerobic / Anoxic / Aerobic) 공법 (가장 대표적)
공정특성	• 혐기성(Anaerobic), 무산소(Anoxic), 호기성(Aerobic) 반응조로 구성 • 질산성 질소제거를 위한 내부반송과 침전지 슬러지 반송으로 구성 • 인산염 제거를 위해 혐기성조건(인 방출)과 호기성조건(과잉섭취)을 유도
처리효율	• BOD : 90% 이상, SS : 90% 이상 • TN : 40~70%, TP : 60%
설계인자	• HRT : 5~8시간 (혐기조 : 0.5~1.0시간, 무산소조 : 0.5~1.0시간, 호기조 : 3.5~6.0시간) • SRT : 4~27일 • F/M 비 : 0.1~0.3kgBOD/MLVSS/d • MLSS : 3,000~5,000mg/L • BOD / TN 비 : 12 이상 • 슬러지반송율(RAS) : 25~50% • 내부반송율 : 100~200%
진단핵심	• 내/외부 반송시 용존산소 및 질산성 질소로 인한 악영향 발현여부 검토 • 반응조내 정상교반여부, 슬러지 인발주기 확인, 동적조건 구현여부 검토 • 유입수내 유기물 농도에 따라 외부탄소원(Carbon Source) 주입 검토

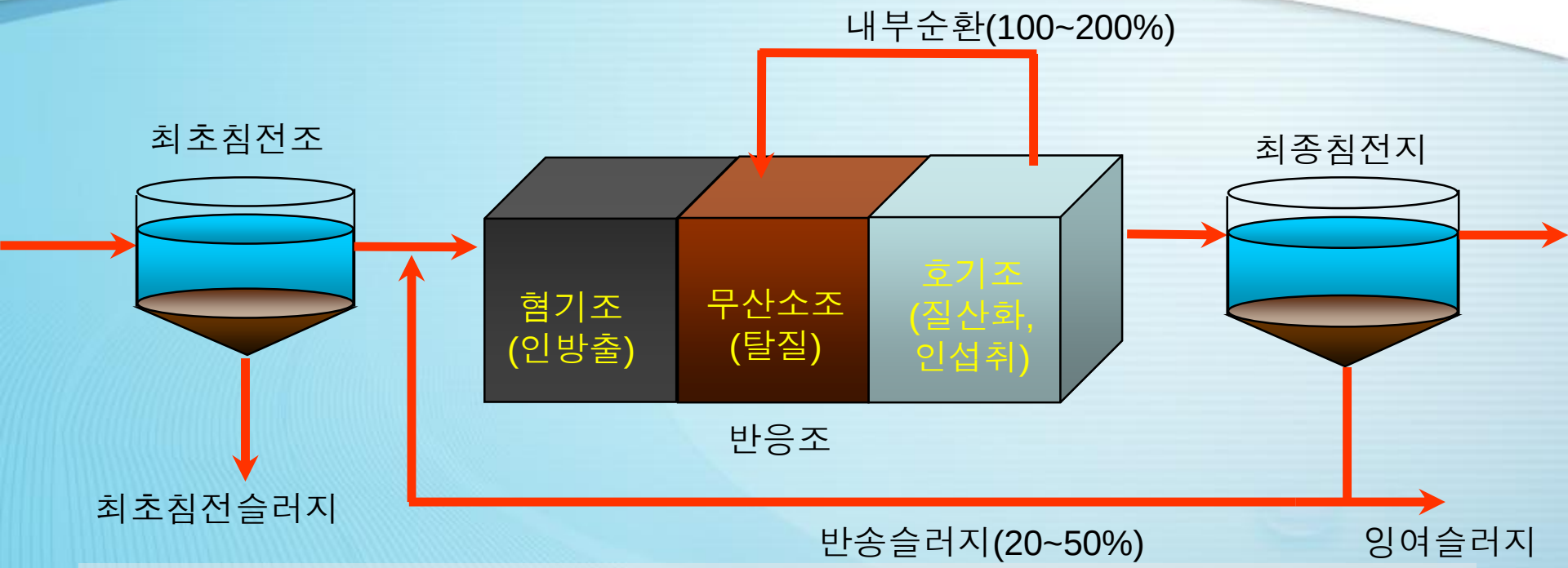
하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항
- 공법별 주요 진단사항 (표준활성슬러지 공정)

하수처리공정도



하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 공법별 주요 진단사항 (A2/O 공정)

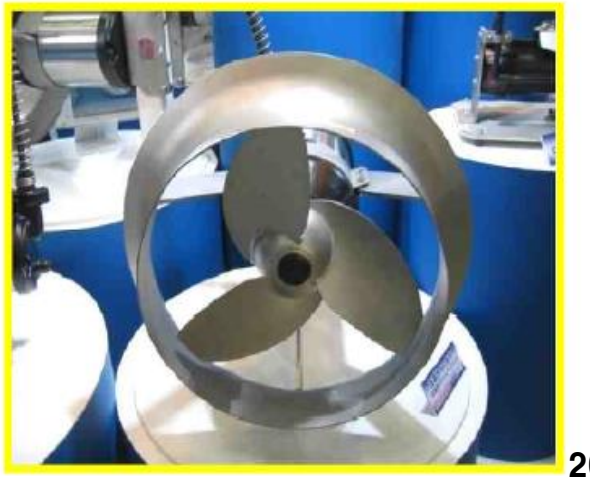


- ❑ 질산화 필수조건: SRT 5~10일 이상, DO 2㎎/ℓ 유지
- ❑ 탈질반응 : DO가 없이 질산염이 존재하는 무산소 상태 유지
- ❑ 생물학적 인제거 : 휘발성 유기물이 풍부하고, DO와 질산염이 존재하지 않는 혐기성 조건을 거친후 반드시 호기성 조건이 유지되어야 함
- ❑ 5단계 Badenpho : 호기조 이후에 무산소조와 호기조 추가(내생탈질)
- ❑ MUCT : A2/O공법에 (1)과 같이 무산소조부터 혐기조로 순환 추가하고 (2) 와 같이 반송슬러지 유입을 무산소조로 변경
- ❑ DNR : 혐기조에서 반송된 슬러지의 탈질을 수행(혐기조앞에 탈질조 설치)

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 공법별 주요 진단사항 (폭기조)

생물반응조(A2O)



하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 공법별 주요 진단사항 (회분식)

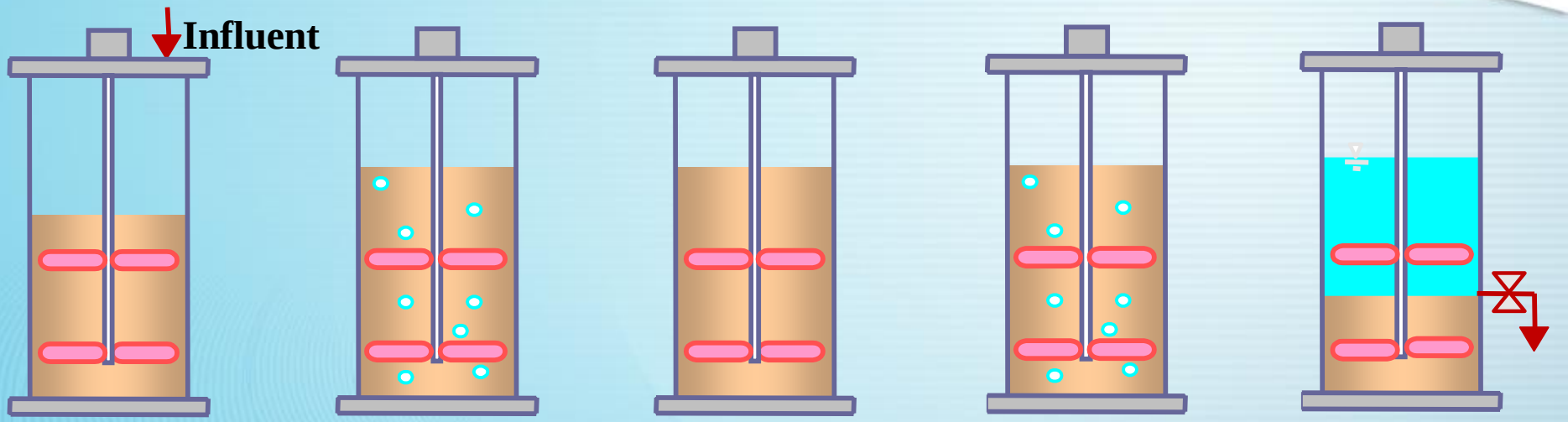
구 분	SBR(Sequencing Batch Reactor) (가장 대표적)
공정특성	• 단일 반응조에 특정시간(Sequence)에 따라 유입(Fill) → 반응(React) → 침전(Settle) → 배출(Draw) → 휴지(Idle)
처리효율	• BOD : 85~90%, SS : 85~90% • TN : 30~85%, TP : 30~70%
설계인자	• 운전시간(3~24시간) 및 제어방법 • MLSS : 2,000~3,000㎎/L • F/M 비 : 0.15~0.50㎏BOD/MLSS/d • 무반송 • 혐기지속시간 : 1.8~3.0hr • 호기지속시간 : 1.0~4.0hr
진단핵심	• 다양한 변형 회분식 반응공법 존재(ICEAS, KIDEA, CASS, OmniFlow 등) • 반응조의 동적조건(혐기, 무산소, 호기)의 조절정도에 따라 질소, 인 제거효율 차이, 따라서 회분식 반응공법은 반드시 질산화, 탈질화, 인방출 시간이 확보될 수 있는 동적조건 구현이 가능한 시간설정을 최우선적으로 검토함

예: 공정 진단시 중점 점검사항(회분식)

구 분	OMNIFLO
공정특성	• 무산소 유입(Anxoic Fill) → 호기 유입(Aerated Fill) → 탈질(Denitrification)공정 → 반응(React) → 침전(Settle) → 배출(Decant)
처리효율	• BOD : 90% 이상, SS : 90% 이상 • TN : 85~90%, TP : 80~85%
설계인자	• 운전시간(3~24시간) 및 제어방법 • MLSS : 2,000~3,000㎎/L • HRT : 18~32hr • SRT : 10~30일 • F/M 비 : 0.05~0.10㎏BOD/MLSS/d • 최소 30% 이상의 유효체적 확보 • Medium / Fine Bubble 포기
진단핵심	• 디켄터(Decanter)를 사용하므로 디켄터의 적정운영여부 및 침전시 침강속도, 슬러지 계면형성 및 월류되는 미생물량 등을 점검 • 무산소 유입(Anxoic Fill)과 호기 유입(Aerated Fill)시 정상발현 여부 확인

- 공법별 주요 진단사항 (SBR 공정)

SBR Process



단일 반응조에서 하수의 유입(FILL), 반응(REACT), 침전(SETTLE), 배출(DRAW), 휴지(IDLE) 단계순으로 정해진 시간에 따라 각 단위공정이 연속적으로 일어나면서 처리가 진행됨

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 공법별 주요 진단사항 (폭기단계)

생물반응조(SBR)

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 기술진단 문제 사례

포기공정 문제점

2008~2009년 하수·분뇨처리시설 기술진단 사례집(2011년, 환경부)

구 분		합계	2008년	2009년	비율(%)
진단 처리장수(개소)		101	46	55	100
기술진단 문제점 제시건수(건)		154	76	78	152
지적사례	유입부하량이 설계부하량보다 높게 운영	8	6	2	5
	유입부하량이 설계부하량보다 낮게 운영	5	1	4	3
	포기조의 DO농도를 높게 유지하여 처리효율 저하	17	8	9	11
	포기조의 DO농도를 낮게 유지하여 처리효율 저하	9	5	4	6
	생물반응조 구조물 및 운영설비 부적절	41	22	19	27
	생물반응조 운영상태 부적절 등	74	34	40	48

- 포기조의 DO가 높게 유지되어 동력낭비 및 과산화로 인한 탈질효율 저하
- 과포기로 인한 pin floc 발생으로 후단부 침전율 불량

DO meter와 연동한 송풍기 가동 및 Inverter 설치를 통한 DO 농도에 따른 송풍량 조절

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항

- 단위공정별 주요 문제사례 (침사지 및 유입펌프장)

■ 침사지 및 유입펌프장 [참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014]

- 단위공정별 주요 문제사례

○ 무기성 유입수 문제

1] 합류식 관거의 영향
- 빗물에 의해 미세한 토사가 포기조에 유입될 가능성이 많고 플록은 무거워짐
- 침강성이 좋아질 것이지만, 실제는 SVI(sludge Volume Index) 가 상승

2] 염분농도
- 한계 염분 농도 5,000 ~ 6,000 ㎎/ℓ 전후
- 염분 농도가 높으면 호염성 세균만이 증식, 높은 염분 농도에서 견딜 수 있는
- 원생동물만이 증식 가능.
- 염분농도가 높으면 DO의 용해속도가 낮아져 산소부족이 되기 쉬움.
- 해안가 저지대 처리장에서 상시문제 발생

3] 협잡물 과다유입
- 비닐, 위생용품, 물티슈 등 용해되지 많는 물질들의 과다유입
- 스크린, 유입펌프 막힘현상 빈번히 발생

○ 유기성 유입수 문제

1) 조성변동

- BOD : N : P(100: 5: 1)의 일간 변동이 ±30%이상은 바람직하지 못함

.

2) 과부하

- 유기물 농도가 증가(과부하) 하면, 사상성 벌킹의 원인이 되는 경향이 있음

3) 유량변동

- 유입수량이 증가하면, 포기조 체류시간의 증가 및 침전조 수면 부하 증대 되어 SVI(sludge Volume Index) 가 증대되는 원인이 됨

4) 부유물질 (SS)

- SS가 무기질인 경우 활성슬러지에 주는 장해는 흡착작용에 저해됨
- 섭취되지 않는 SS는 잉여 슬러지량을 그만큼 증가 탈수가동시간 증가
- 무기질의 SS가 많으면 플록에 에워 싸여 져서 무거워지기 때문에 침강성이 뛰어난 경우가 많아, SVI는 작은 값을 나타내는 경향이 됨

5) 유지류

- 플록에 흡착되어 활성슬러지균의 표면을 유막으로 피복해서 호흡저해
- 유지, 지방 및 탄화수소계는 탄수화물 단백질계 유기물에 비해 단위 중량당 BOD 제거에 필요한 용존산소 소비량의 비율이 2 ~ 3 배 크다고 함.
- 통기량이 부족한 원인 으로 작용
- 유지, 지방을 다량 포함하는 경우 사상균이 발생하기 쉽고, 사상균의 발생이 없더라도 SVI가 높아지는 경향이 있어, 침전조 에서 침강분리 어려움

※ SVI(Siudge Volume Index)

$$SVI = \frac{30\text{분 침강 후 슬러지 부피}(ml/L)}{MLSS\text{농도}(mg/L)} \times 1000$$

$$= \frac{SV(ml/L)\times 1000}{MLSS(mg/L)} = \frac{SV(\%) \times 10^4}{MLSS(mg/L)}$$

- 슬러지 부피(SV) : 1 L의 혼합액을 Imhoff cone이나 mass cylinder에 넣어서 30분간 침강시킨 후 침전한 부유물이 차지하는 부피

※ 통상 SVI는 50 - 150일 때 침강성이 양호하며, 200 이상이면 슬러지 팽화(sludge bulking)이 일어난다. SVI 가 크면 침강 농축성이 나쁘다

포기조

※ 산기장치의 포기성능 및 유지관리 중요성

: **Disk type** 산기장치 多用, 유지관리 어려움

○ pH, 산소용해도 문제

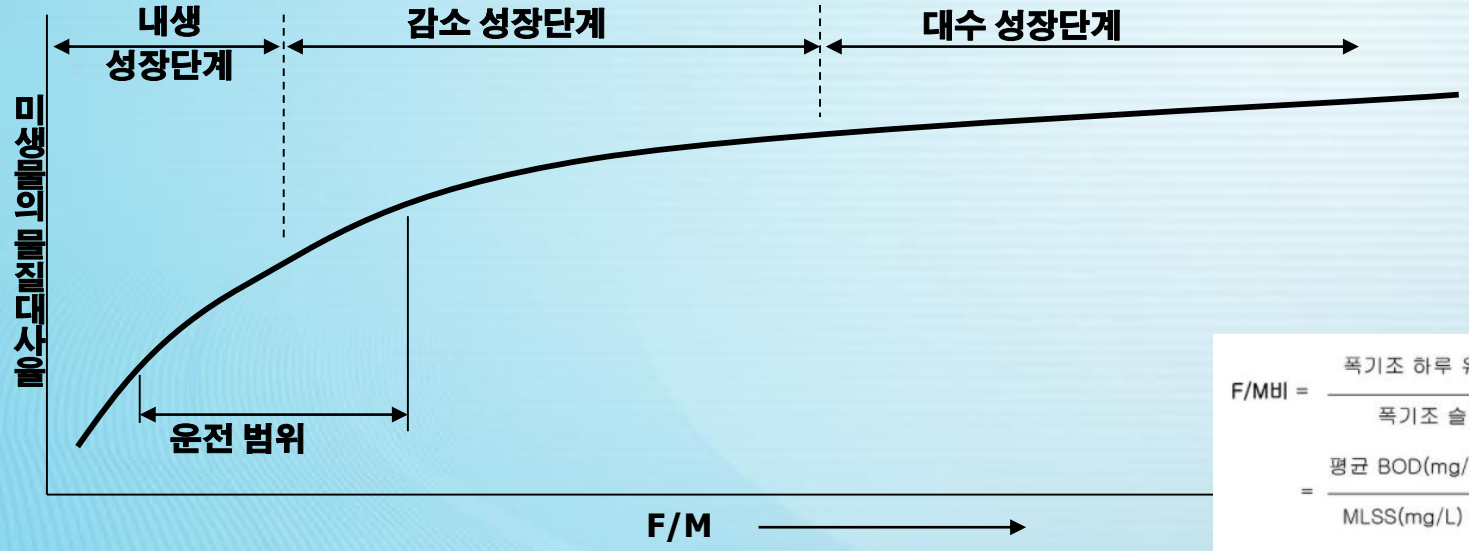
1) 유입수가 약산성 (pH 6), 약 알칼리성 (pH 8) 정도인 경우, 포기조나 침전조 상징액의 pH가 대개 7.0 부근에 수렴하는 완충작용을 가지게 됨

2) 온도가 낮은 곳에서는 반응속도가 느림.
- 한냉기에는 온난할 때 보다도 같은 효율의 처리도에 이르는데 시간이 더 김
- 미생물이 유입수와 접촉하는 시간을 길게 하든지 아니면 미생물의 수를 많게 하여 주어진 시간내에 보다 많은 접촉이 이루어 지도록 해야함.
- 겨울에는 여름보다도 MLSS 농도를 높게 유지하는 것이 유리함.

3) 산소용해도에 미치는 영향
- 차가운 물은 따뜻한 물 보다도 산소를 더 많이 갖고 있게 되나 차가운 하수내에서는 따뜻한 하수 내보다 산소가 빨리 녹지 않음.
- 온도가 상승하면 미생물 활동은 증가하고 그 결과 산소 소요가 늘어남.
- 따뜻한 계절의 경우 포기강도를 높일 필요가 있음.

4) 온도에 의한 침전성에 미치는 영향
- 4℃가 되면 물의 밀도는 커지고 점도는 증가함.
- 여름철에서 겨울철로 접어들면 물속 고형물은 잘 침전하지 않게됨.

○ F/M(Food/Microorganism) ratio와 물질대사



$$F/M\text{비} = \frac{\text{폭기조 하루 유입BOD량}}{\text{폭기조 슬러지량}}$$

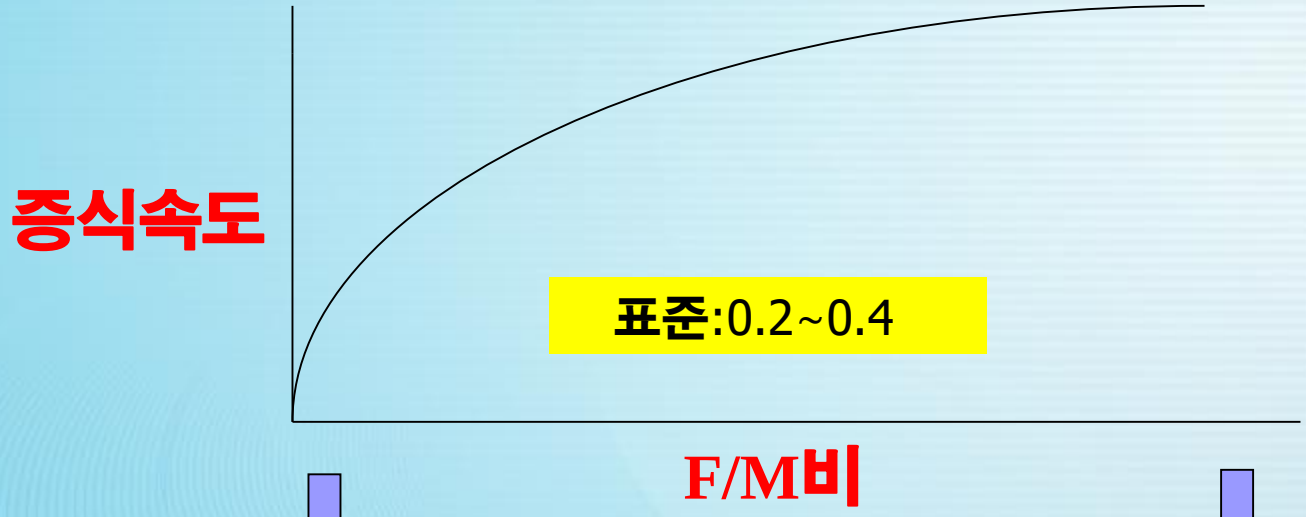
$$= \frac{\text{평균 BOD(mg/L)} \times \text{유입유량}(m^3/d)}{\text{MLSS(mg/L)} \times \text{폭기조 용량}(m^3)}$$

$$= kgBOD/kgMLSS \cdot day$$

F/M비 계산에서 MLSS보다 MLVSS를 사용하는 것이 더 유용하다.

- F/M ratio = BOD×Q(kg/d)/MLSS×V(kg)
- F/M비가 높으면 미생물은 대수성장 단계에 있으며
- 낮은 F/M비에서는 물질 대사가 내생적이고 침전성이 좋음
- 높은 BOD 제거율이 요구되는 경우 낮은 F/M비 운전이 좋음
- 표준활성슬러지 공법에서 적정 F/M 비는 0.2 ~ 0.4 정도임

- 단위공정별 주요 문제사례



Low F/M
(자기산화)

- 핀플럭
- 벌킹
- 방선균증식
- 과산화슬러지
- 탈질부상

High F/M
(빠른 증식)

- 분산증식
- 편모충류 과다증식
- 방류수 혼탁

하수처리장 단위공정별 이상현상 및 진단

- 단위공정별 주요 문제사례 (Low F/M)

1] F/M 비가 낮을 경우에는 F/M 비가 높을 때 보다 더 많은 문제를 일으키게 되며, F/M 비가 낮을 때 일어나는 대표적 이상 현상이 벌킹 이며,우리나라에서 가장 많은 경우는 낮은 F/M 비 때문임.

2] 벌킹을 일으키는 사상체는 기질의 농도가 낮을 때 플럭 형성균 보다 증식속도가 낮으며, 방선균 역시 낮은 F/M비 에서 잘 증식.

3] 특히 수온이 높은 여름철, 그리고 계절이 바뀌는 환절기에 방선균의 증식으로 거품과 스컴이 대량 발생되어 포기가 어려운 경우가 발생

4] 방류수의 COD 감소를 위해서 포기조내 MLSS 농도를 높게 유지하며 운전하는 처리장 에서는 상당히 높은 빈도로 방선균에 의한 거품 문제가 발생

5] 포기조내 MLSS 농도를 높게 유지하면 SRT 가 길어지기 때문에 증식속도가 느린 방선균도 포기조 내에 증식이 가능해 지기 때문임

6] F/M 비가 극단적으로 낮으면 슬러지 미생물은 자기산화를 계속 하게 되며, 정상적인 플럭은 단단하고 두꺼운데 비하여 과산화된 슬러지는 쉽게 부서지거나 찢어져서 작은 플럭 으로 되기 쉬움

하수처리장 단위공정별 이상현상 및 진단
- 단위공정별 주요 문제사례 (High F/M)

1] F/M 비가 높을 때에는 미생물은 대수증식을 하게 되어 분산증식이 됨

2] F/M 비가 높으면 세균의 농도가 높아지게 되고 세균의 농도가 높으면 원생동물의 먹이 섭식 특성상 우점 되는 미생물은 편모충류임

3] 편모충류는 크기가 작고 수가 아주 많으므로 여과등의 공정으로 잘 제거 되지 않음

4] 극단적으로 F/M 비가 높으면 포기조내 활성슬러지 전체가 검은색 으로 변화 되는 부패가 일어날수도 있음

1] 검은 황갈색 거품
- 현 상 ; SRT 가 너무 길다
- 관 리 ; 슬러지 인발량 증가 , SRT 감소

2] 윤기나는 황갈색 거품
- 현 상 ; 처리과정 에서 불충분한 슬러지 인발로 포기조 MLSS 농도 증가
- 관 리 ; 엷은 황갈색 거품이 날 때까지 하루 10% 이내 슬러지 인발

3] 흙색으로 변함
- 현 상 ; 불충분한 포기
- 관 리 ; DO 측정, 포기량 증가, 배관 누기점검, 산기관 청소등

4] 하얀 포말 형성
- 현 상 ; 포기조내 MLSS 농도가 낮다
- 관 리 ; 인발량 감소시키고 MLSS 농도 증가

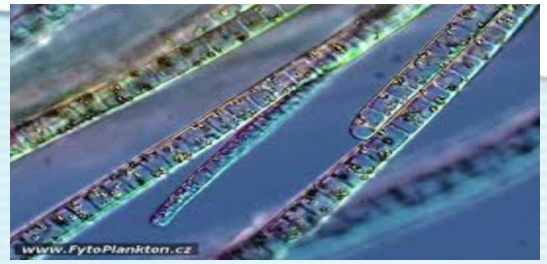
5] 포기조별 MLSS 농도가 다름
- 현 상 ; 조별 유입량 불균형
-관 리 ; 유입부 밸브 조정 및 유량 확인등

6] 포기조 수면의 심한 교류현상
- 현 상 ; 과도한 포기로 인한 용존산소량 과다
-관 리 ; 포기율 감소 적정 DO 유지 (1~3 mg/l 정도)

7] 포기현상 불균형 및 혼합 부적절
- 현 상 ; 산기관 막혀있음
-관 리 ; 산기관 점검, 슬러지 Blanket 점검등

8] 조내에서 큰덩어리 모양의 공기가 올라옴
- 현 상 ; 산기관 막혀있음
- 관 리 ; 산기관 청소, 교체, 공급공급관 점검

- 단위공정별 주요 문제사례 (포기조 거품 및 기타)



9] DO 농도가 낮을때

- 현 상 ; 슬러지 벌킹, 라이징 등
- 관 리 ; 슬러지 부패, 흙색, 덩어리 부상, *Beggiatoa* 수가 증가, *Vorticella* 유주자 증가, DO 증가

10] DO 농도가 높을때

- 현 상 ; -
- 관 리 ; *Moina* 증식 , pH 감소 여부확인, 송풍량 감소

11] 수 온

- 현 상 ; 계절변화, 유입수 성상
- 관 리 ; 13℃ 이하 효율 감소, 탈질 반응 감소, MLSS 농도 높게 운전

12] 독성물질

- 현 상 ; 백탁현상, 벌킹 등
- 관 리 ; 슬러지종이 다양할수록 ,슬러지농도가 높을수록 저항성 증가

하폐수처리장에서의 이상현상 진단과 점검사항
- 단위공정별 주요 문제사례 (2차 침전지)

2차 침전지

- 단위공정별 주요 문제사례 (침전지 이상현상 및 관리)

1] 침전조 수면에 슬러지 부상
- 현 상 ; 사상균 번식, 슬러지 팽화등
- 관 리 ; 반송율 증가, 영양물질 보충, 적정 약품투입, 현미경 검경

2] 조그만 슬러지 덩어리가 월류
- 현 상 ; 포기조 혐기성 상태등
- 관 리 ; 인발량 증가, 포기조 교반감소등

3] 슬러지층이 월류변에 형성월류
- 현 상 ; 수면적 부하 과대등
- 관 리 ; 침전조 유입량 확인, 슬러지층 0.3~0.9m 정도 유지, MLSS 감소등

4] 슬러지 층이 침전조의 한 부분에서 월류
- 현 상 ; 침전조 웨어 불균형
- 관 리 ; 웨어 점검, 웨어수위 일정 유지등

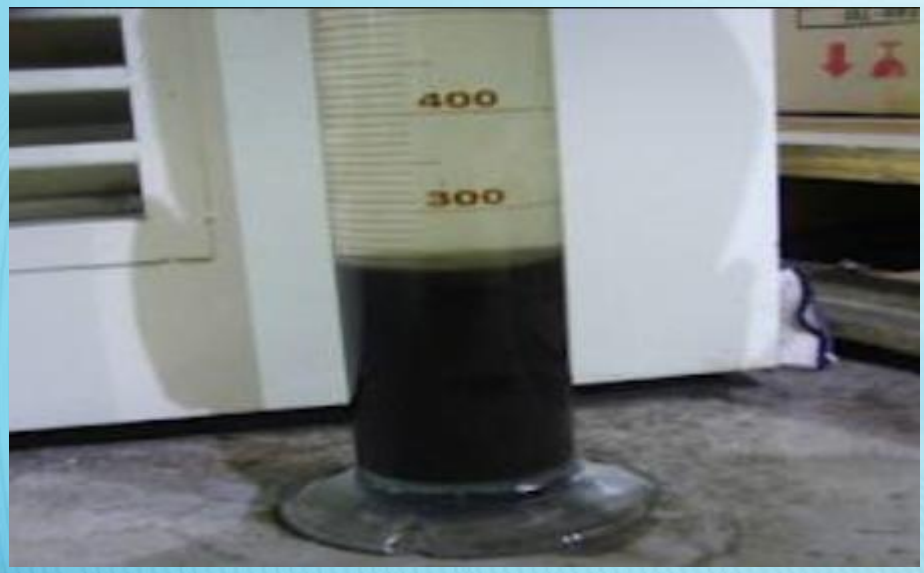
5] 처리수 백탁
- 현 상 ; 독물 혼입시, 고부하백탁, DO 부족시 , 과포기시, 저부하시
- 관 리 ; 독물 원인조사, 송풍량 조정, 슬러지 인발조정등

6] 스컴의 발생
- 현 상 ; 작은 갈색오니 부상, 점성높은 갈색스컴, 회흑색 오니 부상
- 관 리 ; 질산화 억제, 슬러지 인발 증가, 슬러지수집기 점검, 반송량 증가

7]. 슬러지 계면이 높음
- 현 상 ; 침전슬러지 과잉퇴적, 유기물부하 높아 사상성 세균증가
- 관 리 ; *Aeolosoma , Dero* 등 관찰, 편모충류 확인, 사상성 세균의 특징

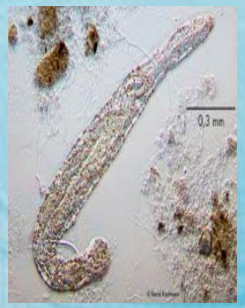
1. 유지관리 순회점검

☞ **SVI 및 현미경 검경**
: 포기조 슬러지 침강성 및 미생물 분포특성 파악으로 이상진단



$$SVI = \frac{30\text{분 침강 후 슬러지부피}(ml/L)}{MLSS\text{농도}(mg/L)} \times 1000$$

$$= \frac{SV(ml/L)\times 1000}{MLSS(mg/L)} = \frac{SV(\%) \times 10^4}{MLSS(mg/L)}$$



1. 유지관리 순회점검 [참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014]

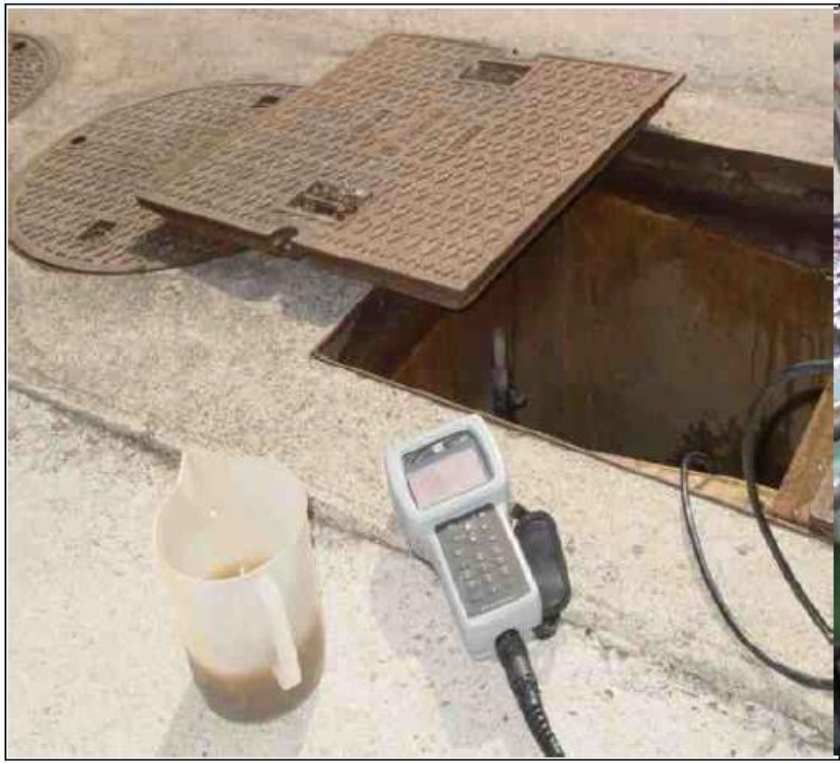
☞ 브로워 및 에어펌프
: 트렌드 및 토출량 상시 점검으로 정상운영

1. 유지관리 순회점검

☞ 모터/펌프
: 임팰러 이물질 제거 및 수리 또는 교체

1. 유지관리 순회점검

☞ 생물반응조
: MLSS농도 및 슬러지 계면층 측정



1. 유지관리 순회점검

☞ 반응조 최적운전
: MLSS농도 측정으로 슬러지 인발 및 식종

1. 유지관리 순회점검

☞ 전기설비
: 절연 및 저항 값 상시 측정으로 정상유지

1. 유지관리 순회점검

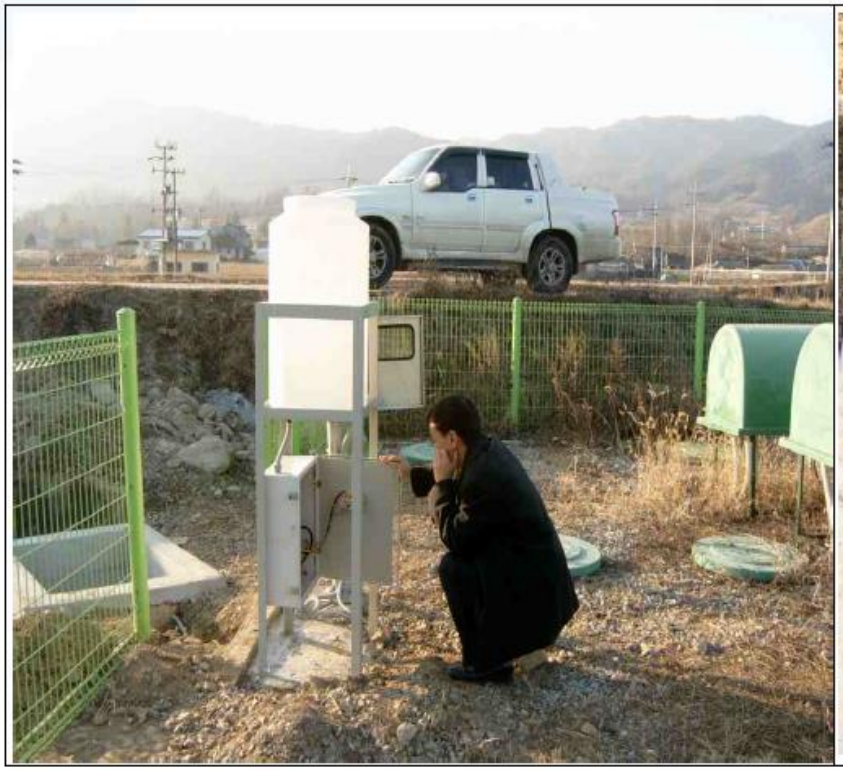
☞ 통신설비
: 통합운영관리 자동 계측 제어시스템 시설장비 관리

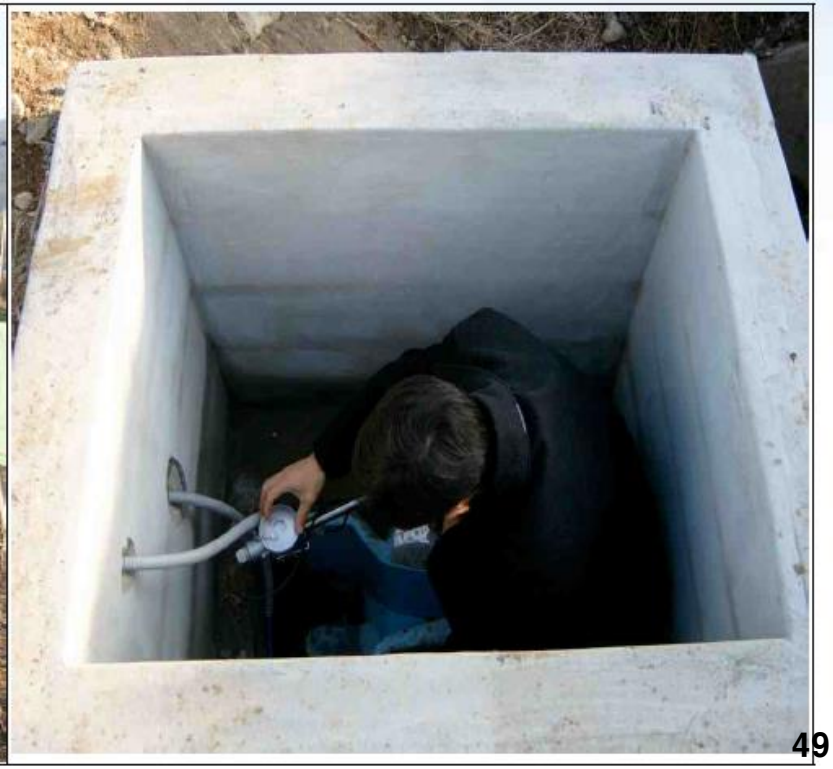
1. 유지관리 순회점검

☞ 막(MBR) 설비
: 막에 붙어있는 이물질 수시제거

1. 유지관리 순회점검

☞ 방류 유량계
: 유량계 지시 값과 출력 값 일치 확인





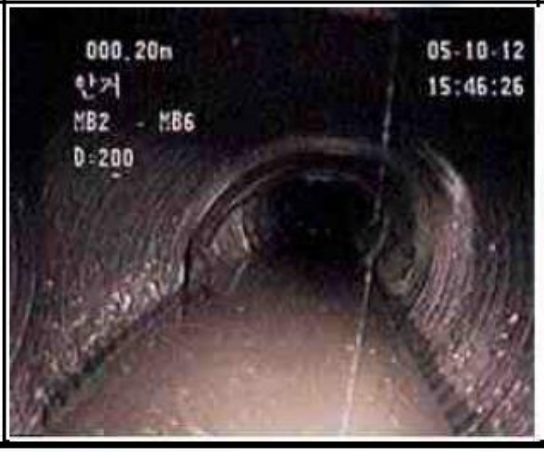
1. 유지관리 순회점검

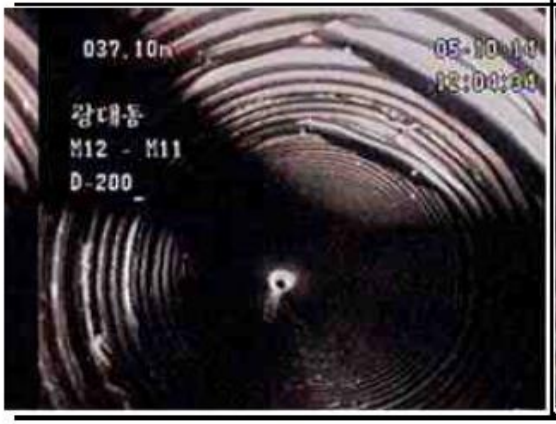
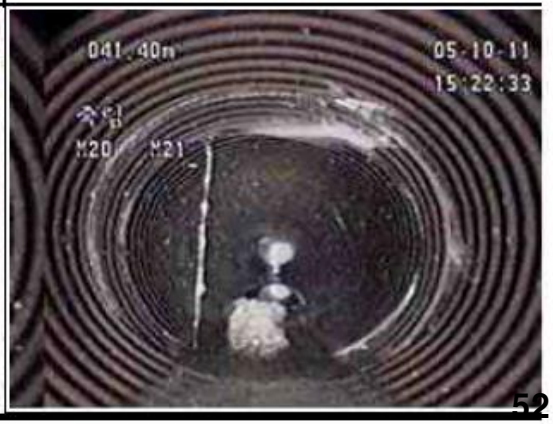
☞ 자외선(UV) 소독조
: 램프 점등 확인 및 이상 시 램프 교체

2. 관로점검 및 CCTV 관로조사 [참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014]

토사 및협잡물 퇴적	하수 정체	연결관 돌출
불명수 유입	**관로 노출**	**하수노출**

2. 관로점검 및 CCTV 관로조사

관 파손	배관 찌그러짐	관 찌그러짐, 파손
		

관 변형	하천수 유입	지하수 돌출
		

가 사고사례 1

- 사고개요 : @@처리장 지하실 침수
- 추정사고원인 : 유량조정조 수위센서 작동불량으로 원수월류
  - 유량조정조 초음파수위계와 맨홀가압장 공급펌프 연동불량
  - 유량조정조 최고수위(HH) 불구, 맨홀가압장 펌프 가동
- 긴급조치사항
  - 유량조정조 수위계 임시설치(플로트식)
- 조치내용 : 오작동대비 침수대비용 수위계 추가설치(이중감시)

참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014

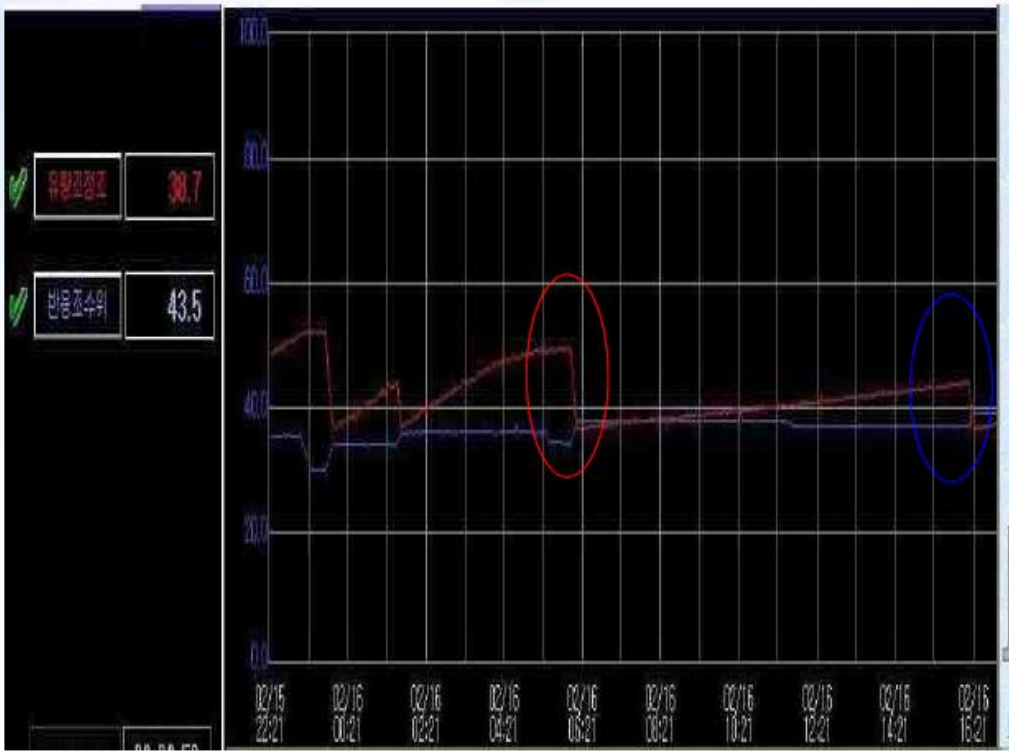
가 사고사례 1

가 사고사례 2

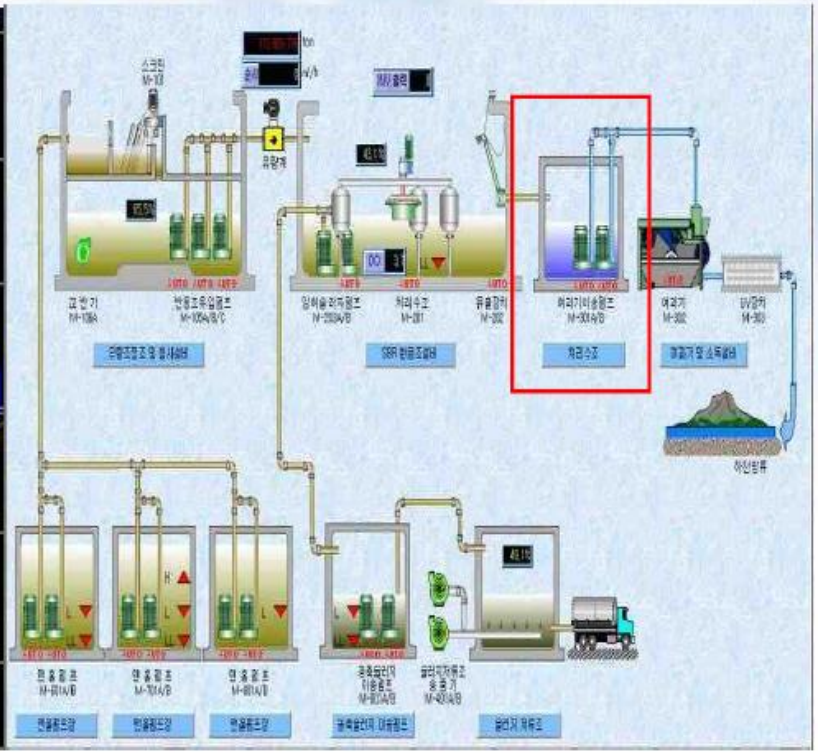
- 사고개요 : ##처리장 여과지 이송펌프 자동제어 불량
- 조치내용
  - 07:00 원격제어시스템"유량조정조-반응조"간 수위트렌트 이상발견
  - 12:00 반응조수위 완만한 상승. 저류조 수위변동 미미. 비정상운영
  - 13:00 현장출동 확인(처리수조내 이송펌프 미작동 확인 및 수동방류
  - 09:00 처리수도 수위계 교체

참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014

가 사고사례 2



[수위트랜드]- 정상적인 상태의 유량조정조 수위감소(붉은색 원 부분)과 사고 후의 수위감소(푸른색 원 부분)



[SBR공법] 문제 발생 지점인 처리수조 (반응조 후단)

가 사고사례 3

- 사고개요 : 집중호우에 따른 OO처리장 침수
- 사고내용 : 2011. 7월 20:30 경기북부 집중호우로 하천수위 상승으로 공공하수처리시설 침수로 적정 하수처리 불가
- 침수피해내용
  - 하수처리장 지하실 기계, 전기시설 침수로 하수처리장 가동 중단
  - 중계펌프장 침수, 차집관로 부분유실 및 토사유입
- 문제점
  - 생물학적 고도처리시설 및 슬러지 시설, 중계펌프장, 차집관로 정상작동시까지 생활하수 방류(1차 침전처리후 방류)
  - 응급복구기간 15일소요로 하류위치한 취수장 수질악화 예상

가 사고사례 3

- 조치사항
  - D-day 20:30 하천역류로 하수유입차단 및 전기위험시설 차단등 긴급조치후 안전지역으로 대피
  - D-day 23:00 침수피해 발생 및 가동중지 사항보고 (환경부, 경기도, 시)
  - D+1 13:00 전기동 안전점검후 하수유입 및 1차시설 가동

가 하수도 안전대책 [참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014]

1. 하수도시설 위험요소

위 험 요 소

관거시설

1. 도로 교통혼잡
2. 관거 조사 및 청소시
   - 유수 발생
3. 맨홀 내 추락
4. 관거 보수공사시
   - 산소결핍, H_2S 중독
5. 가연성 가스 등

펌프장 및 처리시설

1. 기계 설비
   - 운전중 기계설비 협착
2. 전기 시설
   - 감전, 정전
3. 침전지 등 청소시
   - 산소결핍, H_2S 중독
4. 염소가스, 공업약품 등
5. 반응조, 침전지 등 추락

약품 취급시

1. 취급 약품에 대한 부주의
   - 약품종류에 대한 무지
2. 작업에 대한 부주의
   - 복장 불량
   - 주의사항 등 무시
   - 접촉시 대처방안 미흡

3. 처리장 및 펌프시설 위험요소 분석

가 하수도 안전대책 [참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014]

4. 기계 및 전기시설 안전관리

◆ 기계 및 전기설비의 위험 관리

- 설비 정지에 의한 손실 : 정전, 설비의 고장 및 사고, 수질오염사고는 시설의 안전성 확보 및 사회생활에 큰 영향 초래

◆ 안전관리

- 일상으로부터 정상적인 설비기기의 운전상황을 파악하고, 이해할 수 있도록 충분한 훈련 실시
- 이상점검, 정기점검 정비 및 분해정비 실시
- 기기 이상에 대비한 보호기능을 확보한 설비 확보 등

◆ 사고 및 대책

- 전원의 정전발생 : 자가 발전설비의 설치, 수전 이중계통화
- 차단기 등의 고장 : 예비용 차단기 확보
- 전력 케이블 사고 : 수전 이중계통화, 타 계통으로부터 공급이 가능한 연락 케이블 설치
- 펌프류 등 고장 : 복수 대수의 분할 및 예비기기 확보, 긴급 수리가능 부품 확보
- 밸브류 고장 : 예비용 밸브 확보

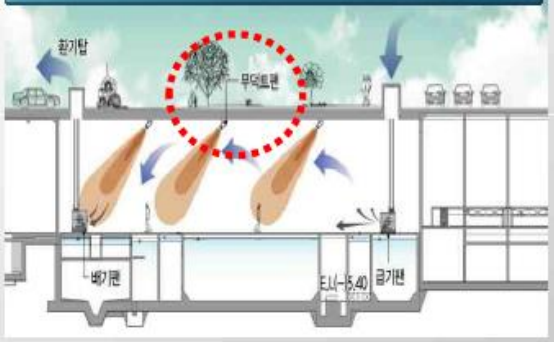
가 하수도 안전대책

5. 안전처리시설 설치현황

- 하수처리장내 안전시설

지하조도확보(자연채광)

작업환경개선(무덕트환기팬)



낮은 지역 난간 설치

채광확보 및 식재

작업공간 확보(반응조 덮개)

배관작업공간 확보

가 하수도 안전대책

5. 안전처리시설 설치현황

- 도심지내 관거공사(보수공사) 주변 안전시설

보행로 구간 신호수 설치

작업구간 신호수 설치(2)

보도측 라바콘 설치

보행자로 비산먼지 덮개설치

차량내에 안전표지판 설치

맨홀 입구부 안전난간 설치

나 위기관리(정의)

개선되거나 악화되기 시작하는 전환점
(Fink, 1986)

조직, 회사, 산업 및 이들과 관련된 공중,제품, 서비스 그리고 명성에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높은 주요 사건들
(Lerbinger, 1997)

- 포괄적인 서비스에 대한 불만사항

✓ 인터넷을 활용한 정보화의 엄청난 발전(시간과 공간 초월)

✓ 소비자의 신속한 반응 및 시민단체의 활동강화(쌍방향 의사결정)

✓ 한번 시작되면 속도와 크기 면에서 엄청난 파급 효과

✓ 따라서 산업 전반에 걸쳐 위기관리의 중요성을 일깨움

http://www.tagstory.com/video/100641884

- 위기관리는 위기로 인한 부정적인 결과를 예방하거나 최소화 함으로써 피해로부터 조직은 물론 심지어 산업계 전체를 보호하는 것이 목표
- 위기관리는 수도산업 전반의 생존전략으로 전략적 접근임
  – 개인, 조직, 산업, 국가에게도 위기관리가 필요

https://www.youtube.com/watch?v=6rfStze3nMA

나 위기관리

◆ 수질사고로 인한 시장변화

두산그룹의 페놀 불법 방류 사건으로
판매 1위의 맥주시장 점유율이 바뀜
브랜드 명칭 변경

- 위기관리 중요
- 현실 안주, 기업 중심에서 고객 중심으로

- 유독성 물질인 페놀을 불법 방류한 오염사고 발생('91)
- 부실한 보수공사로 인하여 2차 오염사고 발생
  - 대표적인 주류업체, 깨끗한 이미지의 기업

- 관련자 처벌, 관련회사 제품의 불매운동,
- 소비자에 대한 직접배상, 지역사회에 수질개선비용 납부

- 소비자의 선택 : 주력상품에 대한 신뢰도가 떨어짐

다 커뮤니케이션 대응방안 [참고 : 한국수자원공사 박덕준, 2014]

◆ 커뮤니케이션 매뉴얼 필요성

❖ 필요성

◦ 유해물질 유출입 등 수질 오염사고 발생으로 국민생활 및 자연생태계에 미치는 영향이 언론에 보도되어 기업의 이미지에 막대한 피해가 우려되는 경우, 이에 대한 대응조치 및 절차 필요

❖ 목 표

◦ 수질오염으로부터 주민과 작업자의 안전을 확보하기 위한 신속하고 정확한 정보 제공

◦ 다양한 이해관계자들에게 미치는 악영향을 최소화하여 기업의 사회적 명성 회복 및 신뢰 증진

다 커뮤니케이션 대응방안

관리대상 이해관계자

비언론

- 지역주민
  수질오염 사고로 인적, 물적 피해를 입게 된 거주민
- 정부기관
  수질오염 사고 처리에 직간접적으로 관련된 정부유관기관
- 환경단체
  사고에 대한 책임추궁과 이슈의 증폭을 가져올 수 있는 단체

언론

- 신문(전국, 지역)
  - 전국 : 조선, 중앙, 동아, 한겨레 등
  - 지역 : 각 지역 발행지
- 방송(전국, 지역, 케이블)
  - 전국 : KBS, MBC 본사
  - 지역 : 지역네트워크
  - 케이블 : 지역뉴스가 편성되는 방송

다 커뮤니케이션 대응방안

실행 전략

❖ 3·3·3 원칙

- 3시간이내 위기대응팀 구성
- 3일간 긴급 대응활동 전개
- 3주간 위기상황의 예후를 관찰하고 추가 대응활동 실시

❖ 전사차원의 적극적인 커뮤니케이션 독려

- 대규모 수질사고 발생으로 위기발생시 전 직원이 적극적 자세로 임함
- 외부 이해관계자, 일반 조직원을 접촉한 경우 접촉일지 작성 및 상부기관 보고

❖ 내부 커뮤니케이션의 강화

- 언론의 위기상황 보도가 전파될 경우, 내부 조직원의 상대적 박탈감과 동요 발생
- 조직원의 상대적인 박탈감은 위기상황을 극복하는데 더 큰 장애로 작용
- 네트워크(인트라넷, 사내 게시판), 구내방송등을 통해 위기관련 정보전파

다 커뮤니케이션 대응방안

비언론 대응전략

고객

실수에 의한 사고임을 각인
오염방지를 위한 노력 부각

- 홈페이지 사고관련 소식게재
- 필요시 고객대상 뉴스레터 발생
- 위기상황관련 문의에 신속답변

지역주민

인적, 경제적 피해로 인하여
감정적으로 대응하는 경우 있으므로
성의있고, 진실된 자세 필요

- 홈페이지 사고관련 소식게재
- 보도자료 및 홍보전단 배포

정부기관

정부기관에 신속하게
정확한 수질오염 정보제공

- 유관기관 담당자의 비상연락망 확보 및 상황 추이에 따른 보고

환경단체

합리적인 기준에 따라 행동

- 적대적인 환경단체의 보도자료에 즉각적인 방어자료 배포
- 적대적이지 않은 환경단체는 상호 파트너십 설정 유지

다 커뮤니케이션 대응방안

언론 대응전략

❖ 기본원칙

- 거짓말 하지 마라
- 모르면 모른다고 하라(추측성 해명 금물)
- 피하지 말라
- 대답은 신속히 하라
- 공평하게 대하라(전국 언론 對 지방 언론)
- 모든 부서에서 한 목소리를 내라

다 커뮤니케이션 대응방안

언론 대응정보

❖ 언론에 신속 제공해야 할 정보

- 수질오염상황이 언제, 어디서, 어떻게 발생했는가?
- 관련부서에서는 현재 어떤 조치들을 위하고 있는가?

❖ 확인 전까지 언론에 제공해서는 안 되는 정보

- 오염상황으로 인한 손실 및 피해정도
- 위기상황 발생의 원인
- 위기상황 복구에 드는 소요기간 및 비용

다 커뮤니케이션 대응방안

언론 대응정보

❖ 오염상황 발생 후 2시간 이내

◦ 위기상황에 대한 기본정보(오염상황 발생 시간, 장소, 간략한 정보)

◦ 언론의 취재 및 보도에 대한 대응행위 시작

❖ 오염상황 발생 후 6시간 경과

◦ 기본정보 및 관련부서차원에서 확인된 일부 심층정보 제공

– 오염상황으로 인한 피해정도, 위기상황 발생의 원인

◦ 주요 언론 보도의 실시간 분석과 매시간마다 대 언론관계 회의

❖ 오염상황 발생 후 24시간(~48시간) 경과

◦ 최악의 상황 시나리오에 입각한 오염사고의 복구 및 소요기간에 대한 개괄적 정보 제공

◦ 접촉 가능한 모든 대 언론 채널을 열어 실시간 언론 피드백 수행

다 커뮤니케이션 대응방안

제 언

❖ 전화위복의 계기

- 잘 대응한 위기는 기회임
- 잘 못 대응한 위기는 조직과 개인의 위기임(징계, 형사처벌)

❖ 무결점 수도행정

- 단 한 번의 실수도 돌이킬 수 없는 위기 초래
- 건강상의 장애, 재산상의 피해에 대한 손해배상 청구 가능

❖ 방심은 위기관리의 최대의 적

- 위기대응 매뉴얼 숙지
- 수질사고 모의 훈련 주기적 실시

다 커뮤니케이션 대응방안

◆ 존슨 앤 존슨 사례

타이레놀은 친숙하고
신뢰있는 제품의 상징

미국인들이 모든 산업에
걸쳐 가장 좋아하는 4개
의 TOP 브랜드 중 하나

위기관리 : 소비자 우선, 진실 공개

타이레놀을 복용한 사람이 사망('82, 미국 시카고)

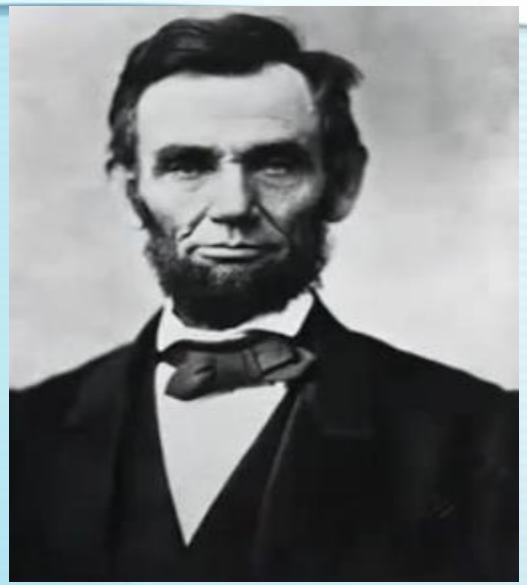
- J&J사(총 매출 7%, 순이익 17%) , 경찰조사결과(독극물 포함)

소비자에 대한 책임 : 미국 전역의 제품을 자발적 리콜(1억불 손해)

소비자 경보 발령 : 원인규명 시까지 절대 먹지 말 것

소비자의 선택 : J&J사의 윤리적 태도를 신뢰함

THINK



POWER!!

If I only had an hour to chop down a tree,
I would spend the first 45 minutes
sharpening my axe.

감사합니다

HYU 한양대학교 HANYANG UNIVERSITY