하수고도처리 공법 현황

양원효| 플랜트공사부차장

최근정부의환경정책및수질오염에대한 각종 규제의 강화로 각 지자체에서하수처리장공사가활발히진행되고 있다. 98년 말까지 전국에 약 110개의 하수처리장이 시공 또는 설치, 운전중이며, 올 99년 한해동안 44개의 하수처리장이 발주되는 것을 비롯해, 향후 2005년까지 220개 이상을신규로건설할예정이다.

따라서각업체별로하수처리장공사의 총력 수주를위해 대책 수립은 물론 사활을 건 경쟁력 향상에 주력하고있다.

그 동안 국내 하수처리장의 90% 이상이 생물학적 처리(2차처리) 공법으로 설계 및 시공되어 생물학적 처리 공법에 대해서는 많이 알려져 있으나, 최근에하천 · 호수의부영양화를 야기시키는 질소(N) 및 인(P)을 동시에 처리하는 고도처리(3차처리) 공법에대해서는새로운기술이계속 개발되고 있어 그 종류 또한 방대하고생소한것도있다.

여기에서는현재국내외에서연구개발되어 많이 채택 적용하고 있는 고도처리(3차처리) 공법의 종류와 개요를간략하게소개하여하수처리공사에대한이해를돕고자한다.

하수처리 공법 종류

1. 물리적 처리(1차처리)

1) 체분리(Screening) - Bar Screen, Rotary Screen 등
2) 여과 - 청등여과(사여과), 탈수여과(Filter Press, 진공여과, 원심분리)
3) 침강법- Clarifier, Thickener 등
4) 부상법 - 공기부상, 용존공기 부상, 진공부상
5) 증류법- 증류장치

2. 생물학적처리(2차처리)

1) 활성슬러지법(CAS : Conventional Activated Sludge)
- 표준활성슬러지법, 장기폭기법, 계단식 폭기법, 접촉안정법, 산화구법

2) 살수여상법
3) 산화지법
4) 회전원판법(RBR 공법)
5) 접촉산화법
6) 토양접촉법(토양피복식접촉산화법)

3. 고도처리(3차처리)

유기물및질소 · 인의배출허용기준 (단위:mg/ℓ)

구분	BOD	COD	SS	질소	인	비고
청정지역	30	40	30	30	4	환경부:'96.1.1 부터 규제치적용
하수종말처리장	20	40	20	60	8	
폐수종말처리장	30	40	30	60	8	
분뇨종말처리장 축산폐수처리장	30	-	30	120	16	

** Note : 하수처리장은 2001년까지N : 20mg/ℓ, P : 2mg/ℓ 이하로강화예정*

1) 질산화/탈질 소화법
- 4단계Bardenpho 공법
- 산화구(Oxidation Ditch)법
- MLE공법(Modified Ludzack Ettinger Process)

2) 생물학적 탈인법
- A/O 공법(혐기, 호기 Process)
- Phostrip 공법(Side Stream 인제거)
- Bardenpho 공법(5단계)

3) 생물학적 탈질/탈인법
- A_2/O 공법(혐기, 무산소, 호기Process)
  - ⇒De N & P
  - ⇒KS BNR
- 수정 Bardenpho 공법 (Modified Bardenpho Process)
- UCT(University of Cape Town) 공법
- VIP(Virginia Initiative Plant) 공법
- DNR 법(MUCT + VIP 공법개선)
- P/L 공법(P/LⅡ)
- SBR 법
  - ⇒ICEAS, CASS, CAST, OMNIFLO, AQUA SBR, KIDEA 공법
- B3 공법

고도처리(3차처리) 공법 종류 및 개요

96년1월1일이후상수원취수지역의 수질 오염 및 하천, 호수 등의 부영양화 방지를 위해 하수 방류수의 총질소(T-N)를 60mg/ℓ(ppm), 총인(T-P)을 8mg/ℓ로 배출허용기준을 강화함에 따라 3차 고도처리 방법인 생물학적 질소 · 인제거법의적용이점진적으로 증가하고 있다. (99년 이후 추진공사의 72%가고도처리공법을 채택함)

1) SBR (Sequencing Batch Reactor)

원수의유입에서최종처리수의 배출까지 한 개의 반응조내에서 각각의 구별된 공정이 동시에, 순차적으로수행되는활성슬러지처리방법의 일종이다. 기존의 연속처리 방법은 처리 과정이 복잡하고 많은 시설이 요구되는 반면 SBR은 시간을 분할하여 유량조정, 미생물반응, 고액분리를 하나의 조내에서 수행하므로처리시설이 크게 단순화된 하 · 폐수 고도처리공법이다.

(1) OMNIFLO SBR 공법

국내개발및해외고도처리공법현황

구분	공법	질소 제거	인제거	질소 · 인제거	방
국내	대우DNR			●	생
	해강B3			●	생
	풍림P/L			●	생물+
	신원KS BNR			●	생
	삼성DeN&P			●	생
	한미HBR			●	생
	금호KIDEA			●	생
해외	A/O		●		생
	A_2/O			●	생
	VIP			●	생
	4-BARDENPHO	●			생
	M-BARDENPHO			●	생
	M-UCT			●	생
	PHOSTRIP		●		화
	MLE			●	생
	OMNIFLO(SBR)			●	생
	ICEAS(SBR)			●	생
	CASS(SBR)			●	생
	CAST(SBR)			●	생
	AQUA(SBR)			●	생

** Note : 질소 · 인고도처리공법은상기이외에도많으나하수처리장에적용하는대표적인것만명시했음.*

발한 공법으로 1기의 반응조에서 공정Cycle이 유입, 반응, 침전, 배출 및 대기(Idle)의 5단계로 이루어져 있으며, 질소, 인 등 영양염류의 제거를 위해서 미생물의 반응조건을 호기, 혐기 또는 무산소 상태 등으로 제어가 가능하게 한 탈질및탈인고도처리공법이다.

슬러지침전및 N, P 제거효율이높고, 유지및보수가용이하며 슬러지반송이 불필요하나회분식 운전(5단계)이므로 1Cycle당 운영 시간이 연속식(3~4단계)보다

국내에는현재쌍용양회 용조트 오수처리장에적용되어 중이다.

(2) ICEAS(Intermittent Cycle Ex Aeration System) SBR 공법

미국의 ABJ Waste W System Inc.에 의해서 개발 으며 유량 및 오염농도 변동 량에 강하고, 생물학적 산화 질산화-탈질산화, 인제거및 고형물질 분리를 통해서 ㅋ 처리수를 얻을 수 있는 전지 리방식이다.

채워지기 때문에 유입(Fill)이나 대기(Idle) 단계로 분리되지 않으므로타 SBR에비해공정을최소화 시켰다. 결국 ICEAS 공정은 폭기, 침전과 처리수 배출로 구성되어3단계가 1Cycle을이룬다.

슬러지침전및N, P 제거효율(75~80%)이 다소 낮으며, 산기관의 미세공극이 막힐 우려가 있어 효율이 점차 감소되고, 전동식 Decanter 사용시 유지 보수가 어려운단점이있다.

경기 양평군 양서 하수처리장 등국내에서다수채택하고있다.

(3) KIDEA(Kumho & KIST Intermittently Decanted Extended Aeration) SBR 공법

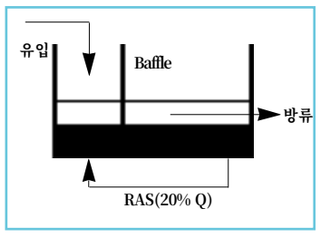
금호건설과 KIST 공동으로 특허출원한신기술로, 단일생물반응조의 하부로 연속 유입되는 원수를 포기(호기조건), 침전(무산소조건), 방류(혐기조건) 단계의 주기적이며자동적인순환과슬러지층을이용하여유기물질은물론 질소와인까지 제거할수 있는 회분식고도처리공법이다.

연속 유입되는 원수가 균등하게분해되도록배관구조를설계하였고, 내부반송 및 교반기가 필요없다. 또한 Decanter등 모든설비가 국산화되었으며 Decanter의 유지보수가용이하다.

현재 경기도 광주군 광동리 하수처리장내 Pilot Plant가 설치되어 운전중이며, 향후 신규 발주되는공사에 이 공법이 많이 채택될 것으로보인다.

(4) AQUA SBR 공법

AQUA Aeration System사에 의해 개발되었으며, 반응조의 공정은유입, 반응, 침전, 배출및슬러지 폐기로 구성되며 이를 다시 7단계(교반유입→폭기유입→폭기반응→침강→배출→슬러지폐기→휴지)로 구분 운전하여 유기물 및 질소·인을 제거하는 고도



처리공법이다.

폭기와 교반기능이 완전히 분리 되어 있으며, 반응, 침전, 배출중에 폐수를 전혀 유입시키지 않는 완전한 회분식(Sequencing Batch) 운전방식이다. 현재 인천 영종도 신공항 폐수처리시설공사에적용하고있다.

(5) CASS(Cyclic Activated Sludge System) SBR 공법

어 U.S EPA에 논문출원(1993)된 공법으로, 하·폐수의 연속 유입이 가능하며, 처리공정은 포기, 교반, 포기, 침전및방류의5단계로 구성된다. 반응조내의 일부가 Baffle로 분리되어 있으며, 반송슬러지가 유입된 원수와 혼합된다. 유량균등조가 필요하며, 슬러지반송설비가있으므로회전기기류를 많이 설치하기 때문에 유지관리면에서 불리하고, 운전방식 또한 복잡하다. 국내에 이 공법을 적용한하수처리장은없다.

(6) CAST(Cyclic Activated Sludge Technology) SBR 공법

오스트리아의 S & F.C사에의해 개발된 연속 활성오니 공정으로 질소·인을 함께 제거한다. 단일 반응조(간헐유입)에서 휴지, 무산소, 교반, 포기, 교반, 포기(유입중단), 혼합, 포기, 침전, 방류의 10단계로 처리 공정이 구성되어 있다.

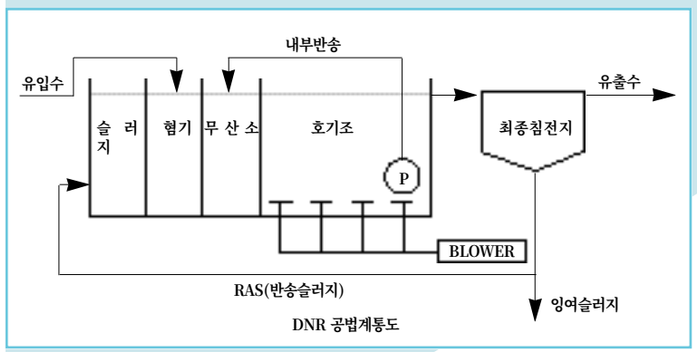
CASS 공법과같이 반송슬러지(RAS)를이용하여 MLSS를조정한다. 국내에 공법적용된 하수처리장은없다.

2) DNR(Daewoo Nutrient Removal) 공법

대우와 고려대에서 공동 개발

회분식반응조(SBR)의비교

		OMINFLO	ICEAS	KIDEA	CASS	CAST
공정명		회분식반응조 Sequencing Batch Reactor	간헐주기장기포기공정 Intermittent Cycle Extended Aeration System	간헐방류식장기포기공정 Intermittently Decanted Extended Aeration	연속활성오니공정 Cyclic Activated Sludge System	연속활성오니공 Cyclic Activate Sludge Technol
공정구성 및단계		유입-포기-침전-방류-휴지 (5단계)	(연속유입)포기-무포기-포기-무포기-포기-무포기-포기-침전-방류(9단계)	(연속유입)포기-침전-방류(3단계)	(연속유입)포기-교반-포기-침전-방류(5단계)	(간헐유입)휴지-소-교반-포기-교반(유입중단)-혼합
소유자		Jet Tech. Inc, U.S.A	ABJ in WPCC, U.S.A	KIST, 금호, 한국	Transenviro U.S.A	침전-방류(10단
특허		Process(BPAS) Decanter 자동화SYS, Aerator, 유입 분배, Dry pit pump	1) 포기, 무산소단계 2) 선택조 4.468.327 U.S.A 4.290.887 U.S.A 1.244.562 Canadian	1) 전(全)공정(KIDEA) 2) 상징수방류기 제98-1208 한국 제97-22491 한국, PCT 제98-1382,1381 한국	N.A	S & F.C., Aust -
운전주기		240~360분/주기	240~300분/주기	150~210분/주기	210~250분/주기	
수처리공	생물학적처리	질소	질소	질소,인	질소	240~360분/주
	화학적처리	인	인	(설계조건과불일치할경우적용) 비상용	인	질소
슬러지처리	내부순환	○(Mixer포함)	×	×	○(Mixer포함)	인
	슬러지반송	×	×	×	○	○(Mixer포함)
	슬러지처리조건	호기	호기	호기	호기	○



DNR 공법계통도

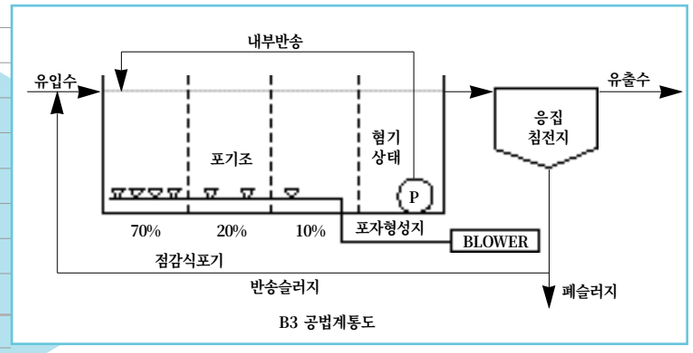
처리하기 위해 반응조를 슬러지탈질-혐기-무산소-포기순으로 배치하여, 혐기상태에서 인방출, 무산소상태에서 질산성 질소의 질소가스 제거, 포기조에서 혐기조에 거시키고, 유입하수의 암모니아성 질소가 질산성 질소로 질산화 된다. 이질산성질소는슬러지탈질조에서제거된다.

이 공법은 기존 표준 활성슬러

경하여고도처리공법으로의 가 쉬우며 운전이 용이하고, 하수성상에 적합하여 추후 법의 적용이 많이 늘어날 것 보인다. 경기 남양주시 화도 처리장 외전국 5개소에서 치 고있다.

3) B3(Bio Best Bacillus) 공법

국내 해강과 삼호에서 개 신기술로 하수 및 유기성 폐 유기물질과질소·인 제거를 으로바실러스균(Bacillus)을 배양하고 포자화시켜, 포자



B3 공법계통도

다.

반응조(포기조)를 4실로 구분하여 공기량 증가 없이 점감포기(첫 번째 조 70%, 두 번째 조 20% 및세번째조 10%)하고마지막 네 번째 조는 혐기상으로 유지하여인을제거한다.

Bacillus균체들의 활성과 포자화를 유도하기 위해 미량의 B3활성제(규산, 망간 및 마그네슘)를 투입하고, MLSS 농도를 3,000mg/ℓ 이상 유지하기 위하여내부반송을한다.

악취 및 슬러지 발생량이 적고, 포자가 형성된 후 정체기에 들어갔을때항생물질을방출함으로써 대장균 및 일반 세균등을 사멸시키는 소독효과가 있다. 기존 포기조를 간단한 시설변경과 응집 침전지 설치만으로 인 제거가 가능한 고도처리 공법으로 개조할 수 있다. 경기 오산 및 부산 해운대 신시가지 하수처리장등 전국 6개 소정도에서이공법을적용했다.

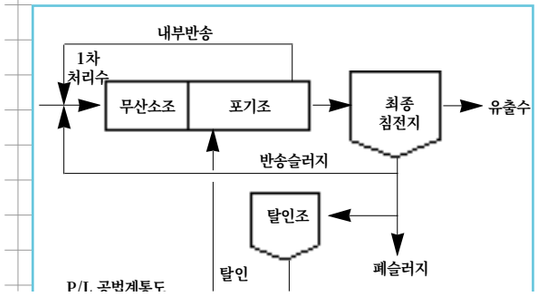
4) P/L 공법

KICT(한국건설기술연구원)와 풍림에서 공동개발한 신기술로, 미생물의신진대사와활성을이용하여 유기물을 제거함과 동시에 부영양화의 원인물질인 질소 · 인 등의영양염류를제거하도록기존 재래식활성슬러지법의포기조전단에 무산소조를 설치하고, 최종 침전지후단에는탈인조를별도로 설치한다.

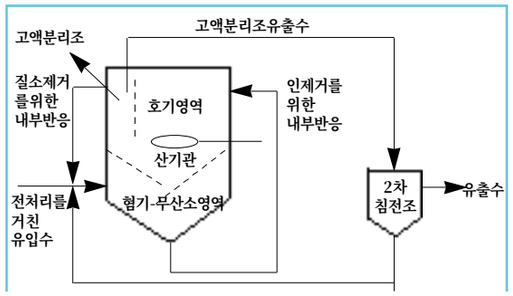
무산소조로 유입된 원수는 포기조에서 질산화된 내부반송액과 혼합되며 탈질이 일어나고, 포기조에서 처리된 하수는 침전조로 유입되어 중력침전을 거친 후 방류된다. 침전 슬러지중 일부는 반송슬러지의 역할을 수행하며, 나머지는탈인조로이송되어혐기성 상태에서 인을 방출한다. 인이 방출된 슬러지는 다시 포기조로 유입되어인을과잉흡수하게된다.

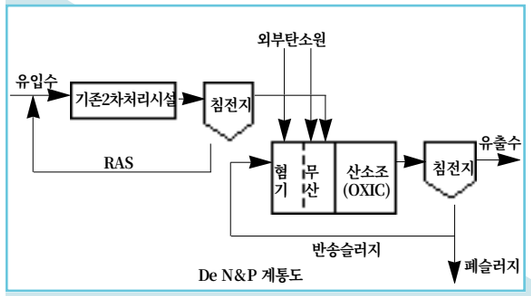
기존 표준활성 슬러지법 처리장의시설및설계자료를토대로개발한공법으로대구북부, 경기양평군 용문하수처리장등에적용했다.

5) KS BNR(KIST Shinwon Biological Nutrient Removal

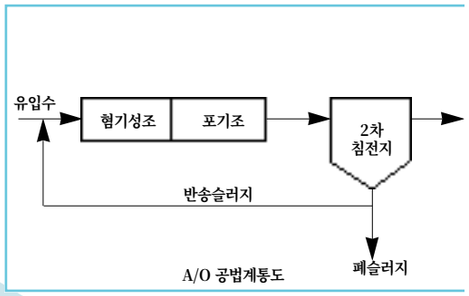


P/L 공법계통도

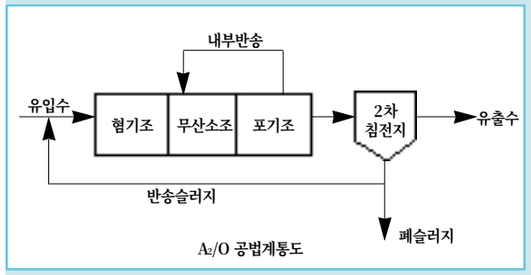




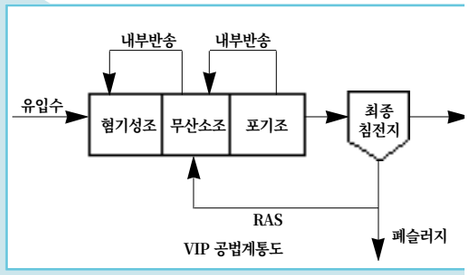
De N&P 계통도



A/O 공법계통도



A_2/O 공법계통도



VIP 공법계통도

Reactor) 공법

KIST, 한양대 및 신원환경에서 공동 연구하여 개발한 공법으로 표준활성슬러지법을 기본으로 하여, 단일 반응기내에 상부는 호기성조와 고액 분리조를, 하부는 혐기-무산소조 조건을 조성하여 미생물의특성을이용하여질소 · 인 제거가 동시에 가능하도록 Compact하게 개발된 중소규모형 오폐수처리기술이다.

공장에서제작되어설치되기때문에 간단한 기초공사 후 즉각적인 현장 적용이 가능하고 무인자동화시스템을 원칙으로 개발되어 운전이쉽다.

강원 고성군 마을 하수도(200는시공중이다.

6) De N & P(Denitrification & Phosphorus Removal Process)

국내 삼성엔지니어링에서 개발하여 신기술 특허를 받은 공법으로 표준활성슬러지공법을 응용하여 유기물은 물론 질소 · 인 등 영양물질을 안정적으로 제거하도록 했다.

처리 목적에 따라 Model Ⅰ, Ⅱ 및 Ⅲ로 구분되며 Model Ⅰ은 질소제거, Ⅱ는 인제거, Ⅲ는질소 · 인을 함께 제거하는 방식으로 상기 그림은 Model Ⅲ에 대한 공정도이다.

기존 2차 처리시설에 Compact 한공정을추가함으로써 고도처리 하수성상에 적합하나, 아직 에 이 공법을 적용한 하수처 은없다.

7) A/O 공법

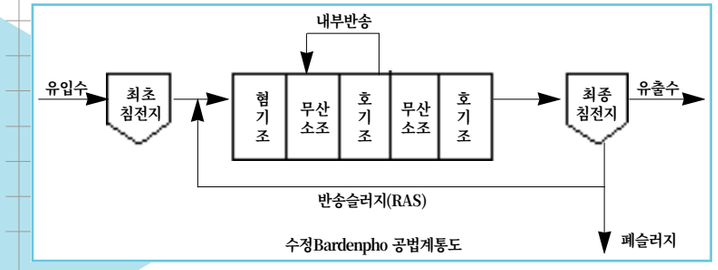
(Anaerobic Oxic Process)

미국의 Air Produc Chemical사에 의해 개발되 인(P)의 제거를 주목적으로 슬러지공법의 포기조 앞에 혐 조를추가시킨공법이다.

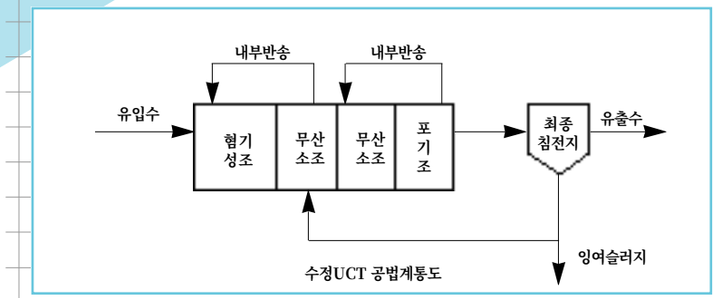
경북 경주시하수처리장에 되었다.

8) A_2/O(Anaerobic Anoxic Oxic Process)

A/O 공정과 마찬가지로



수정Bardenpho 공법계통도



수정UCT 공법계통도

해 개발되었으며, 질소 제거 공정을 부가시키기 위하여 A/O 공정의 혐기, 포기조 사이에 무산소조를추가했다.

혐기조에서는미생물에의해유기물흡수및인이방출되며, 무산소조는포기조에서질산화된질산성 질소를 질소가스로 제거시키고, 포기조에서는 혐기조에서 방출된인을과잉섭취하여제거시킨다. 부산 신호공단 하수처리장 외 여러 곳에서 이 공법을 추진중에 있다.

9) VIP 공법(Viginia Initiative Plant Process)

A_2/O 공정의 단점을 보완하여 질소 · 인 제거 효율을 높인 공정으로 반송설비(내부반송 및 반송슬러지 설비)에서 차이가 있다. 현재 우리나라에서 이 공법을 적용한곳은없는것으로파악된다.

10) 수정 Bardenpho 공법 (Modified Bardenpho Process)

1970년초 남아공에서 질소 제거를 목적으로 개발(4-Stage Bardenpho)되었으며, 질소와 인을생물학적으로동시에제거하기 위해혐기조를추가하여 Modified Bardenpho(5-Stage Bardenpho) 공법으로 발전되었다. Bardenpho 공법은 미국 Eimco사에 의해 상업화되어, 비교적 소규모의 처리용량에많이적용하였다.

국내에서는 경남 김해 진영 하수처리장에채택되었다.

11) 수정UCT 공법 (Modified UCT Process)

Bardenpho 공법을 개량한 것으로, 무산소조를 반송슬러지 내의 질산성 질소를 제거하여 혐기성조로반송하는조와내부반송된 질산성 질소를 탈질시키는 조로 분리하여 효율을 높인 것이 특징이다.

현재 국내에 이 공법을 적용한 하수처리장은없다.

12) Phostrip 공법

1963년 Levin에 의하여 혐기성 상태에서는인이방출되고호기성 상태에서는 인이 과잉섭취된다는 현상을이용, 인(P) 제거를목적으로개발된공법이다.

생물학적 처리 방법과 화학적 처리 방법을 조합한 것으로서 반송슬러지의일부를혐기성상태의 탈인조로유입시켜혐기성상태하에서인을방출, 분리한뒤상징액에 과량 함유된 인을 약품으로 제거, 침전시킨다.

국내에서 이 공법을 적용한 사례는없다.

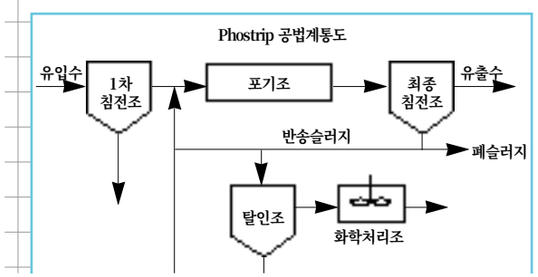
13) MLE 공법(Modified Ludzack Ettinger Process)

1973년 Barnard에 의해 고안된것으로포기조에서 무산소조로 내부 순환되도록 되어 있어 탈질 산화와더불어 질소제거율을높인 공법이다. 유입수내의 암모니아(NH_3)가 무산소조를 거쳐포기조에도달하면질산(NO_3)으로산화되며, 질산은 다시 무산소조로 반송되어 질소가스로 탈질 산화된다. 현재당사부산녹산공단하수처리장에채택시공중이다.

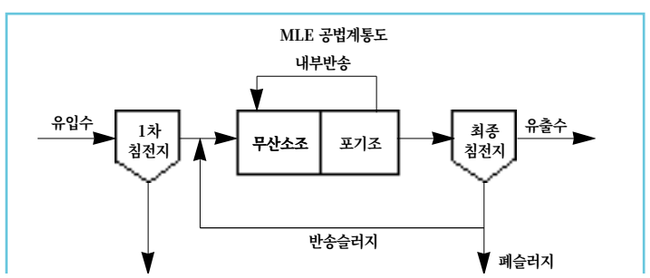
맺음말

98년 이전까지 전국에 건설된 하수처리장은 90% 이상이 2차처리 공법인 생물학적 처리공법(표준활성슬러지법, 장기폭기법, 산화구법, 회전원판법등)으로 시공되었으나 고도처리 공법은 3%정도로그적용이미미했다.

하지만 앞으로는 하천, 호 부영양화 방지를 위해 총질 N) 및 총인(T-P)의 배출기 강화됨에 따라 3차 고도처리 이 많이 채택될 전망이며, 상 99년 이후 시공 또는 발주에 하수처리장은 3차 처리가 1,2차처리가28% 정도로3 리 공법적용이 월등하게 높 다. 환경문제가국가시책으 요한 위치에 있을 뿐만 아니 나뿐인 우리 지구를 깨끗하 존하기위해서라도환경분이 대한 관심을 가져야 한다. 이 언급된내용은수질분야하수 고도공법의 종류 및 간단한 정도에 불과하므로 이 분야 음 접하는 분들에게 도움이 를바란다.



Phostrip 공법계통도



MLE 공법계통도

최초로철을사용한 아이언 브리지

1779년 세계 최초의 철제 다리가 건설됐다. 영국의 세번강을 횡단하는 경간장 30.5미터의 철도 고량인 아이언 브리지가 그것이다. 주철을 재료로 하여 반원형 아치 형태로 건설된 이 다리는 오늘날까지사용될 정도로 튼튼하게 건설돼 당시영국의철강 산업과 제작 기술이 얼마나 발달해 있었는지를 간접적으로 증명해 준다. 이다리의성공을계기로영국에서는메나이교, 브리태니아교등거대한강철다리들이속속들어서게된다.