

제 3 장 물 환경 관리 기술

1. 양식장의 불순물

양식장에 물리적인 처리는 대부분 유지관리 차원에서 운용하는 경우가 대부분이고, 이를 처리 하기 위해서는 생물학적, 화학적 처리 방법들의 복합적인 운용으로 수질을 유지관리 하게 된다.

양식장 특히 순환여과양식시스템 에서는 고형물질의 제거가 무엇보다도 중요하다. 이 고형물질(solids)은 순환여과양식장에서 어류의 배설물, 남은 사료 등에 의하여 발생되며, 어류의 아가미에 영향을 주고, 암모니아 아질산을 발생 시키는 원인이 되며, 이는 생물학적 여과조에 부하를 가중 시킨다. 순환여과 양식시스템에서는 이 고형물질을 발생 후 가장 빠른 시간 내에 사육수로부터 분리시켜, 배출시키는 것이 무엇보다 중요하며 이를 보통 물리적 여과라고 부른다. 고형물질의 크기에 따라 제거방법을 다르게 적용하여야 한다.

1.1 양식장의 불순물 유형

1.1.1 부유물질(Suspended Solids)

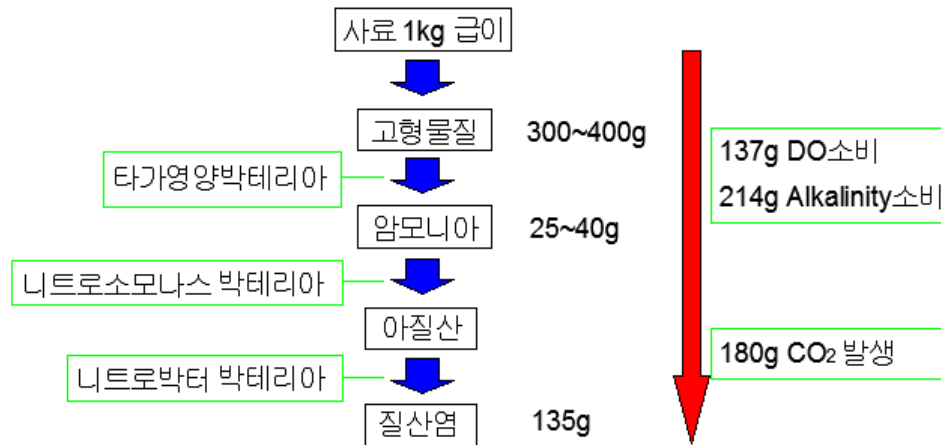
물질이라고도 하며 여과지에서 분리되는 0.1 μ m 이상의 유기물 또는 무기물을 말하며 양어장에서는 사료찌꺼기, 어류의 배설물, 어류의 분비물에 기인한다. 양어장에서는 이 고형물질을 얼마나 효과적으로 분리 배출하느냐에 따라서, 여과조 전체의 효율을 결정지을 수 있다고 해도 과언이 아닌 만큼 중요하다. 부유물질(Suspended Solids)의 분류는 다음과 같이 한다.

입자 크기		0.001	0.1	0.2	1.0	10	20	40	50	100	200 (μm)	비고
입자 상태	용 존	콜로이드 상태	부유상태									
			분산상태			침전가능						
제거 방법			포말분리법				모래여과		드럼스크린			

〈표〉 고형물질의 정의 및 제거 가능 방법

1.1.2 양어장에서의 고형물질

양어장 사육수의 고형물질은 어류의 배설물, 분비물, 잔이 사료에 의하여 연속



〈Fig〉 양식장 내 물질발생 메커니즘

으로 발생되고 있으며 이 고형물질의 제거는 순환여과식 양어장의 전체 시스템 가장 중요한 설계요소가 된다. 실제적으로 급이한 사료의 70 ~ 80%가 양어장 내의 부산물로 발생된다

양어장내에 유기질 고형물질의 농도가 높아지면 *Actinomyses*라는 어류의 맛을 떨어뜨리는 미생물이 성장되어 어류의 질을 떨어뜨리게 되며 어류의 아가미의 손상이 원인, 생물여과조의 부하증가, 용존산소의 소비 등의 악영향을 끼치게 된다.

3가지의 조건하의 순환여과식 양식장에서 발생하는 입자별 크기 분포도를, 사료 급이율을 어체중 당 0.7%~0.8%/day, 환수율 5%로 실험을 했을 때, 5~30 μ m의 입자크기가 50.9%, 30~60 μ m이 19.1%, 60~105 μ m 5.3%, 105 μ m이 22.5%의 분포를 나타 냈다.

실험군 마리	사육조	여 과 방 법	입자수 (개/1)	평균입자 직경(μ m)	입자부피 ($\times 10^9 \mu\text{m}^3 / 1$)	농도 (mg/1)
500g	원형 사육조	Screen에 의한 고형물 제거, 생물막여과	3,100,000	11.7	2.66	13
50g	원형 사육조	RBC를 포함하는 외부 여과기(9 m ²)	60,900,000	9.3	24.60	16
100g	원형 사육조	Screen생물여과재, 모래여과기, 오존	3,200,000	13.5	4.00	2

〈표〉 순환여과식 시스템에서의 고형물 특성(참고문헌 Chen등)

1.2 불순물질 처리방법

양어장에서 발생하는 고형물질은 곧바로

- (1) 아가미에 해를 주거나
- (2) 암모니아, 아질산 등의 유독성 용존 물질로 전환되어 순환여과의 후단부의 물리적, 생물학적 여과조의 부하를 높여 주어 시설비 및 운영비용을 가중시키게 되며,
- (3) 미생물 여고재에 막힘 현상을 초래하고
- (4) 용존산소이 소비량을 가중시키게 되므로 양어장에서는 가능한 빠른 시간내에 사육수로부터 분리시켜주는 것이 중요하다.

지금까지 일반 양어장을 운영하면서 또는 일부나마 순환 여과식 양어장을 운영하면서 가장 문제시 되었던 것이 배출수 중 고형물질의 처리라는 것은 모두 동감할 것이다.

현재 양어장에서 발생하는 고형물질을 제거하기 위하여 가장 일반적으로 사용하는 방법은 드럼스크린, 침전법, 모래여과기, 단백질 스키머 등을 가장 많이 사용한다.

처리방법	제거가능한 입자크기(μm)	처리능력 (m³/m³/day)	SS제거율 (%)	참고문헌
침전법	> 100	24 ~ 94	40 ~ 60	EPA, 1975
입자충진 필터	> 20	176 ~ 429	20 ~ 60	Muir, 1982
급속모래여과기		94 ~ 351	61 ~ 91	EPA, 1975
압력모래여과기		117 ~ 704	50 ~ 95	Muir, 1982
스크린	> 75	1 ~ 1000gpm		Huguenin&Colt,1989
드럼스크린		1000 ~ 24,000m³/day	70	Fishvil, 2004
다공여과필터	> 0.1	43 ~ 130		Muir,1982
DE필터	> 0.1	29 ~ 59	> 90	Muir,1982
카트리지필터	1 ~ 10	1 ~ 10gpm		Huguenin & Colt
하이드로클론	1 ~ 75			Huguenin & Colt
포말분리장치	< 30	288 ~ 280		Chen, 1991
오존처리		3 ~ 456		

〈표〉 양어장내 슬러지 처리 방법

2. 물리적 처리기술[Physical Treatment , 物理的處理]

2.1 선택적 방류 및 유입수 관리

양식장의 수온과 조류발생에 따른 물 관리를 위하여 적정량의 물을 유입시키면서 일부 방류하는 방법으로 운용 한다. 유입수는 표층수에 비하여 수온이 낮기 때문에 저층으로 유입이 되게 되고 과영양 물질의 효과적인 배출을 도와 줄 수 있다. 적절한 유입과 유출을 통하여 수온을 조절하고 저층에 다량으로 함유되어 있는 영양물질을 적정하게 배출될 수 있도록 하여 양질의 수질이 관리 될 수 있도록 하여야 한다.

2.2 폭기 및 산소 공급(Aeration & Oxygenation)

양식장내의 용존산소는 수생 생물의 생존에 있어서 가장 중요한 요소로서, 이를 유지 관리하는 가장 기본적인 방법으로 폭기시설을 들 수 있다.

양식장내의 용존산소의 소비는 단순히 어류들의 생장에 기인하는 것만이 아니라, 사료의 찌꺼기나 어류의 배설물 등으로 인하여 부영양화가 진행됨에 따라 조류의 과잉번식과 저니층의 유해성 물질의 용출 등의 용존산소의 고갈을 촉진시키게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안의 하나로 인공적 폭기 순환을 적용하게 되는데, 이는 양식장내에 공기를 불어넣어 양식장을 순환시키는 방법이다. 처음에는 양식장내의 용존산소의 증가와 영양염을 이용하는 식물플랑크톤의 영향을 억제하기 위해 제안되었으나, 저층까지의 산소공급에 의해서 수중의 영양염 감소와 저니의 영양염 용출억제 등 종합적인 양식장내 대책으로 주목되고 있다.

양식장에 폭기(Aeration)하여 강제적으로 순환시키면 표층의 조류(Algae) 플랑크톤은 심수층으로 들어가게 되어, 무광층에서의 조류증식 억제가 이루어지게 된다. 따라서 빛을 제어하게 되기 때문에 조류의 증식 뿐 아니라 사멸까지도 가능하게 되므로 조류억제에 큰 효과를 볼 수 있다. 이외에도 호소중의 질소(N), 인(P) 등을 억제 및 감소시킬 수 있는 양식장의 부영양화 대책에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 수중폭기의 형식으로는 물표면에 설치하는 표면폭기, 물속으로 공기를 주입하는 형태인 공기 주입식 폭기, 저면층에서 공기를 공급하는 형태인 심층 폭기로 크게 나눌 수 있다. 수중폭기는 그 용도에 따라 적용을 달리하지만 양식장에서는 일반적으로 표면 폭기 장치를 널리 사용하고 있다.

그러나 표면 폭기는 그 특성상 표층에만 제한적으로 물의 순환 및 공기주입에 가능하기 때문에 저층의 고밀도 층에 영향을 미치기가 현실적으로 어렵다. 최근들의 종합적인 수질관리 방안의 하나로 저면폭기 형태의 운용이 점진적으로 증가 하고 있는 실정이다.

	표면폭기	수평폭기	저면충폭기
모식도			
사진			
원리	수표면에 설치하여 물의 순환 및 공기주입	수표면에 설치하여 물의 순환 및 공기를 수평으로 공급.	저층에 설치하여 외부에서 공기 공급장치를 통해 공급.

그림 수중폭기 형식

2.2.1 폭기 적용 방법

순환여과양식 시스템에서 용존산소(DO)의 공급은 필수적이며, 용존산소는 양식하는 어류 및 생물 여과조에서 미생물에 의하여 주로 소비된다.

이 용존산소의 공급은 공기에 의한 방법 및 순산소를 이용한 방법이 있는데, 공기에 의한 공급은 주로 브로어(Blower), 수차(Water Wheel), 펌프 인젝션(Pump Injector)을 통한 방법이 있으며, 유동상 생물여과조 내의 폭기를 의한 공기공급은 주로 브로어에 의하여 이루어진다.

순산소 공급원은 액화산소(Liquid oxygen-LOX) 산소발생기(Oxygen Generator) 등에 의한 방법이 있는데, 산소를 양식수 중에 용해시키는 장치인 산소용해기(Oxygenator)를 함께 설치하여, 산소 용해 효율을 높혀 주어야 한다. 산소 용해기는 하향식 포기접촉 용해기(Downflow Bubbke Contactor), 역류 분산용해기(Counter Current Diffuser Column), 다단계 저압산소용해기(Multistage Low Head Oxygenation(LHO)) 등이 있으며, 산소 용해기의 효율에 따라 양식 중 산소 소모량이 차이가 발생한다. 산소 공급 및 산소용해기 설치 방식은 중앙집중식 설치 방식과 개별식 설치방식, 그리고 이를 병합한 중앙-개별 설치 방식이 있다.

2.2.2 산소공급시설

양식장에서 적절한 산소의 유지는 무엇보다도 중요하며, 어류에게 필요한 용존산소를 공급하거나, 유동상 여과조의 여과재를 유동시키거나, 여과 미생물이 필요한 용존산소 공급하기 | 위함이다.

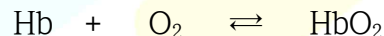
산소 공급이 중단되면 양식하는 어류의 밀도에 따라서 수 십분 내에 대량 폐사를 일으키며, 만성적으로 산소 공급이 부족하면 어류의 먹이 섭취율의 감소는 물론 성장률이 감소하게 된다.

일반적으로 산소를 공급하는 방식으로는 마이크로버블, 브로어, 수차, 산소 발생기, 액화산소 이용의 방법이 있으며 양식하는 어류의 종류, 양식밀도 등에 따라 산소 공급 방식을 다르게 적용한다.

양식수조의 고농도 용존산소량 유지는 작은 면적에서 많은 양의 어류를 생산할 수 있는 조건이 되므로 양식밀도를 높임과 시설비, 운영비를 절감하는 요인이 되기도 한다.

(1) 어류의 용존산소 이용

수중의 용존산소는 어류의 적혈구에 있는 헤모글로빈과 아가미에서 결합하여 체내에 모든 조직에 운반되고 조직내에서 산소와 탄소를 교환하여 탄산가스를 체외로 배출시키는 작용을 한다.



반응식에서 산소가 충분하면 반응은 오른쪽으로 진행되어 oxyhemoglobin을 형성하지만 용존산소가 충분하지 못하면 반응은 왼쪽으로 진행되어 어류의 대사작용에 필요한 옥시헤모글로빈으로 결합되지 못하여 어류의 생장에 지장을 준다.

지수식 양어장의 경우 용존산소의 결핍이 일어날 수 있는 시간대는 식물성 플랑크톤이 산소를 소비하는 밤 시간대이다. 일반적으로 어류는 용존산소가 1ppm이하에서 수 시간 노출되면 폐사하고, 1~5ppm상태가 지속되면 죽지는 않지만 성장이 둔화되고 생식능력이 약화되므로 5ppm 이상으로 유지 시켜야 한다. 여름철 고수온기에는 수용밀도를 줄이고 사료 공급량을 감소시키면서 산소 부족현상으로 인한 대량 폐사의 위험으로부터 방지한다.

양식어류가 정상적으로 사료를 먹고 성장에 필요한 최소이 산소량을 용존산소 임계치라고 부르는데 활동성이 낮은 잉어나 뱀장어는 2.9~4.3ppm, 활동성이 높은 무지개 송어, 은어는 5~6.5ppm으로 어류에 따라 다르며, 같은 어종이라도 어류의 크기, 운동량의 차이 등에 따라 다르게 나타난다.

〈표〉 무지개 송어의 사육조건하에서 산소 소비량(mg/kg·hr)

어체중(g) 수온(℃)	1	2	5	10	25	50	100	200
5.0	177	163	143	130	111	97	84	70
7.5	250	230	203	184	156	134	114	94
10.0	320	293	259	240	199	173	146	120
15.0	456	420	375	340	293	259	223	189
20.0	583	539	480	436	377	333	285	243

어체중은 작을수록 수온은 높을수록 용존산소 소비량이 높게 나타난다.

(2) 용존산소 용해

수중의 산소공급은 공기방울속의 산소가 물 표면을 통해 전달되면서 이루어 지는데 일반적으로 산소의 용해율은 그다지 높지는 않으며, 용해율이 좋은 이산화탄소에 비해서는 1/28정도이며, 질소에 비해서는 2배가량 높게 나타난다. 용해율에 크게 기인하는 것은 수온, 기압, 염도 등이며, 수중 오염도, 조류의 양도 사육조 용존산소 유지에 많은 영향을 미친다.

2.2.3 브로어(Blower)

양식장에서 브로어의 사용은 양식하는 어류에게 공기를 주입하여 용존산소를 공급하거나, 유동상 생물 여과조 내에서 폭기로 인한 수류를 발생시켜 여과재를 유동시키는 용도로 이용된다. 현재 양식장에서 이용하는 브로어는 모터와 임펠러가 일체형인 링브로어(Ring Blower), 임펠러와 구동모터가 별도로 설치되어 벨트에 의하는 구동되는 루쯔 브로어(Loutz Blower), 대용량의 공기를 발생시키는 터보 브로어(Turbo Blower)등이 있다.

(1) 링 브로어



〈Fig.〉링 브로어 및 루쯔 브로어

링 브로어는 양어장에서 가장 일반적으로 이용되는 산소공급 장치로 사육조

내 또는 여과조 및 사육조의 산소공급 시설로 이용된다. 링 브로어는 대기 중의 공기를 빨아들이고 날개차의 회전력에 의하여 공기압을 주어 수중의 분산기를 이용하여 사육조내로 공기를 공급하는 장치이다.

① 특성

- 오일이 없어서 공급되는 공기가 깨끗하다
- 공기 흐름의 맥동이 없이 연속 공기의 공급이 가능하다.
- 설치에 있어서 방향의 제약을 받지 않는다.
- 유지 및 보수비가 적게 든다.

제품에 따라 1단 링 브로어가 있고, 다단 링 브로어가 있는데 1단 링 브로어는 공기량이 많으면서 저압인 경우(수심이 낮은 경우)에 많이 사용하고 2단 이상의 다단 브로어는 공기량은 적지만 고압인 경우(수심이 깊은 경우)에 주로 이용한다.

② 제품에 따른 공기압 및 토출량

Kw	RPM	중량	최대토출압	정격토출압	최대진공압	최대배기량
0.4/0.5	2810/3300	13Kg	2,200mmAq	1,500mmAq	1,700mmAq	1.4m ³ /min
0.75/0.93	2900/3440	20Kg	2,800mmAq	1,500mmAq	2,200mmAq	2.84m ³ /min
2.2/2.55	2840/3430	37 Kg	5,300mmAq	2,000mmAq	3,800mmAq	6.1m ³ /min
3/3.7	2860/3440	40 Kg	5,300mmAq	3,000mmAq	3,800mmAq	6.1m ³ /min
4/4.6	2880/3480	43 Kg	5,300mmAq	3,400mmAq	3,800mmAq	6.1m ³ /min
5.5/6.3	2880/3500	140Kg	6,500mmAq	3,100mmAq	2,800mmAq	10m ³ /min
7.5/8.6	2900/3510	150Kg	7,000mmAq	4,500mmAq	3,500mmAq	10m ³ /min
11/12.6	2800/3490	165Kg	8,000mmAq	6,500mmAq	4,000mmAq	15m ³ /min
2.2/2.55	2840/3430	44 Kg	8,000mmAq	3,000mmAq	5,000mmAq	4.1m ³ /min
3/3.7	2860/3440	47 Kg	8,000mmAq	4,200mmAq	5,000mmAq	4.1m ³ /min
4/4.6	2880/3480	50 Kg	8,000mmAq	5,000mmAq	5,000mmAq	4.1m ³ /min
4/4.6	2880/3480	56 Kg	10,000mmAq	3,500mmAq	8,000mmAq	6.1m ³ /min
5.5/6.3	2880/3510	76 Kg	10,000mmAq	5,000mmAq	8,000mmAq	6.1m ³ /min
7.5/8.6	2910/3540	87 Kg	10,000mmAq	6,500mmAq	8,000mmAq	6.1m ³ /min

(2) 루즈브로어

전력공급이 되지 않는 곳에서 또는 비상용으로 경운기나 엔진에 벨트를 걸어서 운전할 수 있는 장점이 있으며 동력보터를 이용하여 운전하는 방법도 있다. 링 브로어에 비해서 높은 풍압과 풍량을 얻을 수 있지만 오일의 영향을 받을 수 있고 가격이 비싼 단점이 있어 양어장에서는 많이 사용하지 않는 브로어이다.

2.2.4 순산소 공급 (Pure Oxygen Supplier)

순산소 공급은 산소 제조공장에서 액화상태로 제조된 순 산소를 기화기를 통하여, 기체화 시켜 사용하는 방법이다. 현장에 대기 중의 산소를 분리하여, 순산소를 제조화하여 사용하는 방법도 있다.



(3) 산소용해기(Oxygenator)

90% 이상의 순도를 가지는 산소는 수중에 투입되었을 때, 빠른 시간 내에 대기로 탈기되어 DO 농도를 유지하기 위한 산소소비량이 많아지게 된다. 순수한 산소를 효율적으로 사용하기 위하여, 수중에 산소를 용해시키는 산소용해기를 사용하게 되는데, 용해 방식에 따라 다음과 같이 나뉜다.

- ① 하향식 포기 접촉 용해기
- ② 역류 분산용해기
- ③ 다단계 저압 산소 용해기



<Fig.>산소발생기 및 액화산소 저장탱크



<Fig.>산소용해기

- (4) 어류에게 산소를 공급하는 방식은 용해기를 설치하는 위치에 따라 양식수조에 1 : 1로 설치하는 개별식, 몇 개의 수조를 동시에 공급하는 방식으로 설치되는 중앙집중식, 이 두 가지를 조합한 병합식이 있다.

2.3 준설(Sediment Removal)

유기물과 영양염류가 많은 저질을 제거함으로써 양식장 저질로부터의 내부 오염 부하량을 감소시킬 수 있다.

양식장의 경우에는 어류의 배설물이나 사료의 찌꺼기들이 저층에 축적되어 이를 제거하는 것은 양질의 수질을 관리하는데 있어 매우 중요하다. 일반적으로 양식한 어류를 출하를 한 뒤 물을 완전히 배수시킨 후 저층의 퇴적 영양물질을 제거하는 방식으로 운용하나, 노지 양식장의 규모가 비교적 크거나 열대지방에서의 양식의 경우는 연속식으로 양식을 하기 때문에 쉽지 않은 것이 현실이다.

2.4 여과(Filtration, 濾過)

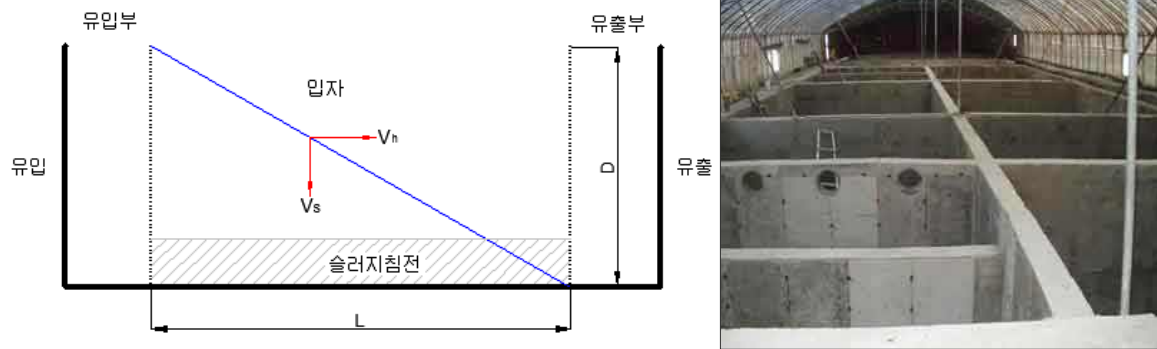
물리적 여과는 양어장에서 1차 여과라고도 하며 목적은 양어장 수 처리 중 가장 중요시 되는 생물여과조의 부하를 줄여 주는데 있으며 방법으로는 침전법, 모래여과기, 드럼스크린 설치법 등이 있다.

2.4.1 침전법(Sedimentation)

보통 100 μ m 이상의 고형물질을 자연 침전시키는 방법으로 과거에 순환여과 방식에서 가장 많이 이용했던 방법이며 시설이 간단하고 운영비가 적게 들어간다. 하지만 시설면적을 많이 차지한다. 또한, 침전된 고형물질을 제때에 처리하지 않으면 이 침전물이 분해되면서 암모니아, 아질산 등의 독성물질을 발생시키며 많은 양의 용존산소를 소비하게 되므로 오히려 역효과를 가져올 수 있다. 그러므로 침전조 시설에는 침전된 고형물질이 잘 배출될 수 있도록 배출방법을 잘 설계해야 하며 침전조는 일반적으로 양식수조의 최종 배출구 및 여과조의 선단부에 위치하게 되는데, 구조는 직사각형, 정사각형, 원형의 구조로 많이 시설된다. 단일 직사각형 구조는 같은 원형 구조보다 시공비가 많이 들지만 여러 개의 탱크를 공유할 수 있어 유리하다. 폐수처리장에서는 화학적 응집제를 넣어 침전 효과를 좋게 하지만 양식장 순환여과에서는 응집제의 독성 우려 때문에 사용하지 않으며 부레옥잠 등의 수중생물을 이용하여 질소나 인 성분 등을 제거하는 경우도 종종 있다.

(1) 침전조의 설계

아래 그림은 길이 L, 폭 W, 깊이 H인 이상적인 침전조 형태의 도식인데 V_0 는 가장 작은 입자가 1지점에 들어와서 그림에서와 같이 침전 궤도를 그리며 슬러지부 끝 지점인 2지점에서 제거되는 것을 표시하는 그림이며 침전조는 그림에서와 같이 슬러지 유입부, 침전부, 슬러지 퇴적부, 유출부 등으로 나눌 수 있다.



〈Fig.〉 침전조의 도식

침전가능한 침전속도는

$V_s > (DV_h/L)$ 의 식으로 표시할 수 있으며

여기서 유속의 수평성분 $V_h = Q/A$ 이므로, 즉 유량 Q를 양식수조의 단면적(WL)으로 나눈 값으로 정리하면 $V_s > Q/WL$ 이 된다.

즉 침전 가능한 한계 침강속도는 유량을 수조의 단면적으로 나눈 값이 된다.

(2) 침전속도 산정식

구체의 침강속도를 산정할 때는 Stokes의 침전속도 법칙을 이용한다.

$$V_s = \frac{gd^2}{18\nu} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \quad (\text{Re} < 1.0 \text{ 일 때})$$

$$V_s = \left\{ \frac{4}{3} \frac{gd^2}{18\nu} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \right\}^{1/2} \quad (\text{Re} > 1.0 \text{ 일 때})$$

g = 중력가속도

d = 입자의 직경

ν = 동점성 계수

ρ = 물의 밀도

σ = 입자의 밀도

예를 들어 양어장에서 발생하는 사료 찌꺼기의 수중 비중이 1.28, 어류 배설물의 비중이 1.20인 값을 이용하여 수온이 20℃인 물의 동점성 계수 ν =

$1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 중력가속도 $g = 9.801 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $\sigma = 1.20$ 인 경우 입경에 따른 입자의 침강속도를 구하면 다음과 같다.

$$d = 10 \mu\text{m} (0.01 \text{ mm}) ; V_s = 0.001089 \text{ cm/s}$$

$$d = 100 \mu\text{m} (0.1 \text{ mm}) ; V_s = 0.1089 \text{ cm/s}$$

즉, 위 조건에서 입자의 직경이 $10 \mu\text{m}$ 일 때 침강속도 $V_s = 0.001089 \text{ cm/s}$ 로 시간당 침전속도는 3.9 cm/hr 이며, 1일이 지나야 1 m 정도 침전됨을 알 수 있다. 또한 $100 \mu\text{m}$ 의 입자일 경우 분당 침전속도는 6.5 cm/min 으로, 1 m 침전하는데 약 15분 정도 소요됨을 알 수 있다. 일반적으로 순환여과식 양어장에서 고형물질의 크기에 따라

$100 \mu\text{m} >$ 침전 가능한 물질

$100 \mu\text{m} <$ 침전 불가능한 물질로 분류하여 이에 맞는 설계를 한다.

침전조를 설계하는 데 있어서 설계 요인은 입자의 입경에 대한 입자의 침강속도와 유량이 된다. 입자의 입경이 작으면 침강속도가 작아 침전시간이 많이 걸리며 상대적으로 침전조가 커져야 한다. 또한 유량이 클수록 정체 기간이 짧아 침전조의 면적은 커지게 된다. 침전조가 작고 효율을 높이기 위한 방법으로 경사판 침전장치 등을 사용하기도 하는데 설치비 면에서 큰 비용을 차지한다. 보통 $100 \mu\text{m}$ 이상의 고형물질을 자연 침전시키는 방법으로 과거에 순환여과 방식에서 가장 많이 이용했던 방법이며 시설은 간단하나 시설면적을 많이 차지한다. 또 침전된 고형물질을 체때에 처리하지 않으면 이 침전물이 분해되면서 암모니아, 아질산 등의 독성물질을 발생시키며 많은 양의 용존산소를 소비하게 되므로 오히려 역효과를 가져올 수 있다는 위험 부담이 있는 시설이다. 그러므로 침전조 시설에는 침전된 고형물질이 잘 배출될 수 있도록 배출구에 주의를 하여 설치하여야 한다.

침전조는 일반적으로 사육수조의 최종 배출구에 위치하며, 순환여과에 선단부에 위치하게 되는데 직사각형, 정사각형, 원형의 구조로 많이 시설되는데 단일 직사각형 구조는 같은 원형 구조에 비하여 시공비가 많이 들지만 여러 개의 탱크를 공유할 수 있어 유리하다.

폐수처리장에서는 화학적 응집제를 넣어 침전 효과를 좋게 하지만 양어장 순환 여과에서는 응집제의 독성 때문에 사용을 하지 않으며 부레옥잠 등의 수중생물을 이용하여 질소나 인 성분 등을 제거하는 경우도 종종 있다.

2.4.2 하이드로클론(Hydroclone)

이 장치는 수류를 원심력에 의하여 물보다 밀도가 높은 노폐물과 물을 분리시켜 노폐물을 한 곳에 모은 후 침전조 밖으로 배출시키는 장치이다. 원주 방향으로 유입된 흐름은 원주를 따라 돌아 내려가면서 고형 입자들은 벽면을 타고 내려가면서 아래 부분을 통하여 배출되고, 맑은 물은 수조의 중앙부에 형성된 저압부를 따라 유입수와는 반대 방향으로 회전하면서 상부를 통하여 유출되게 된다.



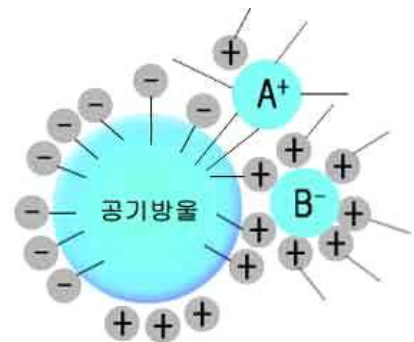
〈그림〉 원심분리장치

하이드로클론의 직경은 작게 할수록 원심력을 크게 얻을 수 있어 효과가 증대된다.

이 장치는 물과 고형물질과의 비중차가 클수록 유리한데 실제적으로 양어장, 특히 순환 여과조 양어장에서는 슬러지와 밀도차가 0.2미만으로 작아서 원심력이 크게 작용하지 못하며, 연속적으로 슬러지 배출을 위한 방류를 해야 하므로, 사육수 소모량이 크고, 고속 회전하는 과정에서 슬러지가 미세하게 부서지므로 처리를 더욱 어렵게 만들게 되어 실제적인 적용은 어려운 실정이다. 다만 해산어 양식장에서 원수 중에 입자의 비중이 비교적 큰 뽕등의 유입으로 이를 제거하기 위한 수단으로의 사용은 가능하다.

2.4.3 포말분리법(foam fractionation)

포말분리법은 용존성 또는 부유성의 고형물 제거를 위해 드럼스크린 등의 1차 처리과정을 거친 다음 단계에 설치하여 이들이 제거하지 못하는 미세한($30\mu\text{m}$ 이하)의 입자를 제거하는데 이용하면 순환여과 시스템의 전체적인 효율 향상을 기대할 수 있다. 비교적 구조 및 설치가 간단하고 청소가 필요 없으므로 유지, 관리가 용이하다. 순환여과 양어장에서의 사용은 단백질성의 고형물이 암모니아, 아질산으로 전환되기 이전에 제거되므로 시스템 내 생물여과조의 부하를 줄일 수 있으며, 질산염 등의 축적을 막을 수 있다.



〈그림 3-5〉 기포와 계면활성 계면의 극성구조

(1) 구조

포말분리법은 조내의 하단부에 미세한 기포를 발생시켜 상승하는 기포 표면에 미세한 입자를 흡착하여 포집기를 통해 외부로 배출 시키는 장치이다.

① 분사장치

하부에서 공기를 미세하게 분사시켜 미립자 거품을 발생시켜 주는 장치로 미세한 거품을 얼마나 많이 발생시켜 주는가에 따라서 본 장치의 효율을 결정된다. 가장 간단한 장치로는 인젝터를 이용한 방법이 있는데 공기 유입부에 순 산소를 공급하면 용존산소 분해효율을 높일 수 있어 산소용해 장치로의 이용도 가능하다.

② 처리수 유입부

주로 드럼스크린 등의 1차 고형물질 처리를 거친 후의 유입수를 유입시킨다.

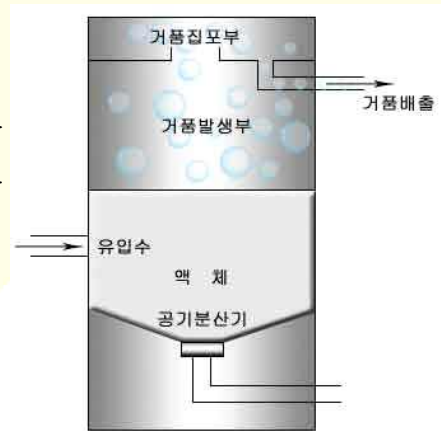
③ 격자판

인젝터에서 미세하게 발생되는 공기방울을 더 잘게 쪼개어주어 효율을 높일 수 있는 장치이다.

④ 거품 제거부

거품과 함께 흡착되어 올라온 고형물질 및 단백질을 외부로 배출하는 부분 포말 분리

장치는 단백질 스키머(Protein Form



〈그림〉 포말분리 장치의 개략도

Fractioner)를 제작도로 물과 공기와의 접촉 시간을 길게 하기 위하여 나선형의 수류를 준 것과, 인젝터를 이용하여 접촉되는 공기를 미세하게 쪼개 주는 등의 몇 가지 특징을 보인다.

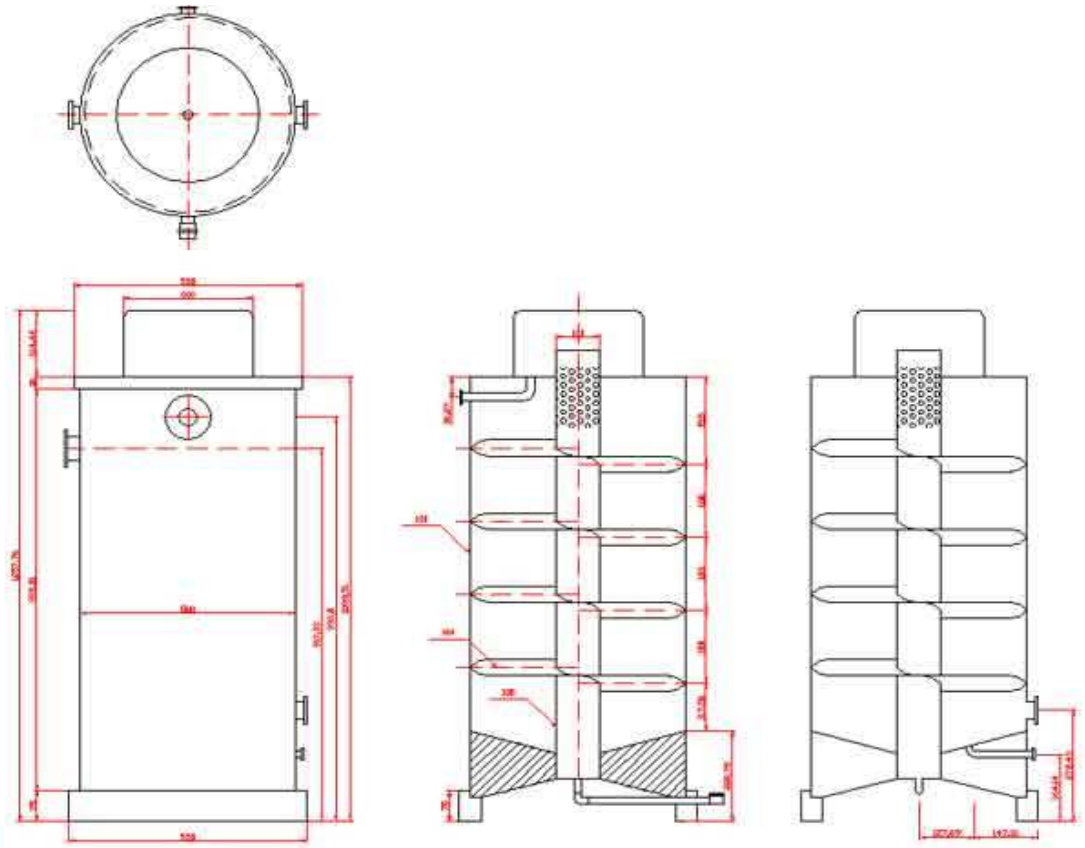
(2) 포말분리 장치의 성능과 특성

있어서 영향을 미치는 인자는 공기와 물 사이의 접촉시간, 기포의 크기이며, 접촉시간은 수심, 공기흐름 속도와 기포 크기에 관계된다. 생산된 포말의 포집능력은 주로 포말 분리 농축장치에 크게 영향을 받지 않는다. 따라서 포말 분리장치에 주목되는 운전 및 설계인 자는 기포크기, 기포 분산 장치의 침수깊이, 공기와 물의 흐름속도, 그리고 포말의 유출 높이이다.

유출높이가 높아질수록 포말로부터 더 많은 물이 배출되기 때문에 포말 농축물은 더 농축하게 된다.

공기 흐름속도, 물 흐름속도, 포말 유출

속도이다.



〈그림3-7〉 포말분리장치의 도면

Dwivedy는 포말분리기를 사용하지 않은 시스템보다 포말 분리를 사용한 양식장 BOD, COD, 암모니아 농도가 더 낮게 유지되며, 박테리아의 수도 감소 하게 되고, pH농도도 높아지며 총 질소는 약 6ppm, 그리고 BOD는 약 10ppm이하로 제거 할 수 있다고 하였다.

pH가 높게 유지되는 이유는 포말분리 장치의 유기산이 제거되거나 혹은 유기산이 형성되기 이전에 유기물이 제거되기 때문인 것으로 보인다. 암모니아가 낮게 유지되는 것은 암모니아가 직접 제거되는 것이 아니라 박테리아에 의해 유기물을 암모니아로 전환되기 이전에 BOD 및 COD가 제거되기 때문이다. Dwivedy는 질소 제거량을 예측할 수 있는 모델식을 다음과 같이 예측하였다.

$$N = TN \exp - 1.33 \times 10^{-4} t (TN_o^{9.25 \times 10})^{2t}$$

TN : 시간 t동안에 처리한 후 남아있는 총 질소농도 (ppm)

TNo : 포말분리를 시작할 때 초기 총 질소 농도(ppm)

t : 시간(t)

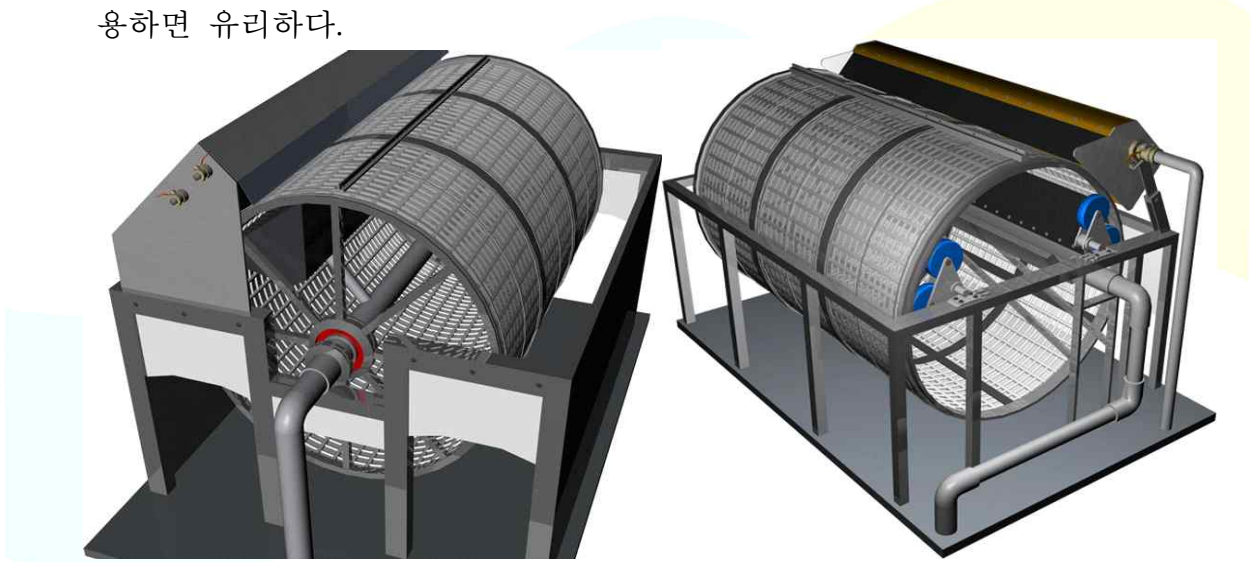
2.4.4 드럼스크린

드럼스크린은 순환여과식 양어장에서 가장 유용하게 이용할 수 있는 고형물 제거장치이다. 보통은 60 μ m 이상의 고형물질을 제거하지만 걸름망의 선택에 따라서 40 μ m까지 제거가 가능하다.

(1) 구동방식

① 연속형

구동모터가 24시간 연속하여 구동하는 방식으로 과거에 국내에서 제작한 드럼 스크린의 형태이다. 연속적으로 세척수가 소비되므로 세척수의 낭비가 심하며 동력비가 많이 소모된다는 단점이 있다. 발생하는 슬러지가 많을 때 사용하면 유리하다.



〈그림 3-9〉 드럼스크린

드럼직경 (mm)	드럼길이 (mm)	여과면적(m ²) / 표면적(m ²)	망 분할 수	처리용량 (m ³ /hr)
600	900	0.85 / 1.70	4	150
800	900	1.13 / 2.26	4	200
1,000	1,400	2.20 / 4.40	12	400
1,200	1,400	2.64 / 5.28	12	500
1,200	1,800	3.39 / 6.78	16	650
1,400	1,800	3.96 / 7.91	16	750
1,500	2,250	5.30 / 10.60	20	1000

〈표 3-3〉 드럼스크린 제원표

② 자동형

걸리는 양에 따라서 구동하는 형식이며 수위차를 이용한다. 유럽 양

사용하는 드럼 스크린의 형태이며 대형 드럼스크린에 유리하다. 국내에서도 생산하고 있다.

③ 무동력형

드럼스크린으로 유입되는 처리수를 펌프를 이용하여 드럼의 날개차를 회전시키는 방식인데 엄격하게 말하면 동력원으로 펌프를 이용하기 때문에 무동력이라 할 수는 없고 스크리닝 되기 이전에 펌프의 회전력에 의하여 슬러지가 1차분해 되고, 또 구동을 주기위해 날개차를 칠 때 다시 한번 슬러지가 분해되므로 드럼 스크린으로의 큰 기대는 어렵고 오히려 수중 탁도를 높힐 수 있는 우려가 높다.

(2) 구동드럼스크린의 구성

① 유입부

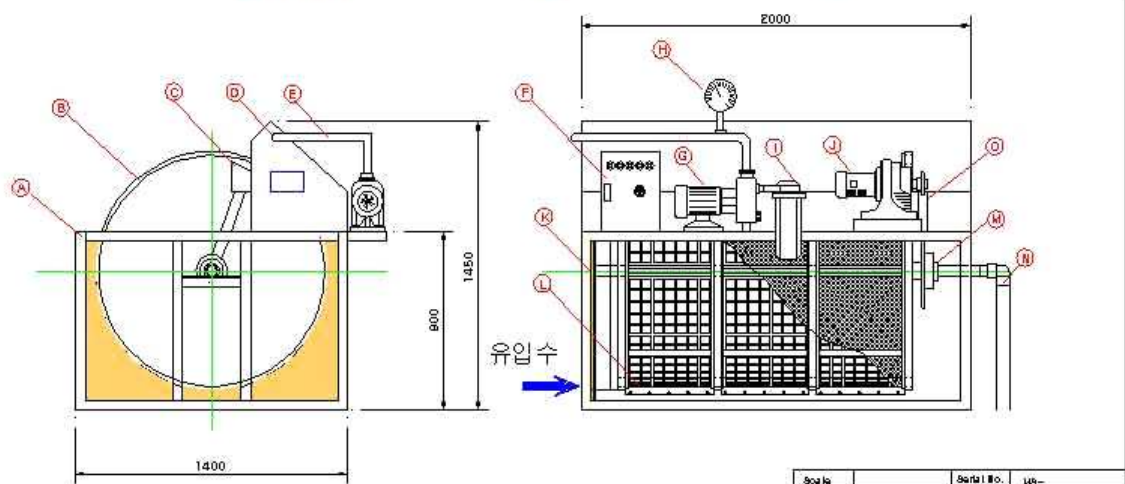
처리수가 유입되는 부분으로 드럼 전단부와와의 거리는 최소 30cm 이상을 유지한다.

② 드럼부

실제적으로 슬러지를 걸러주는 역할을 하는 곳으로 드럼이 크기는 다음과 같다. 이 드럼의 크기에 따라서 처리 용량이 결정된다.

처리 면적은 드럼의 처리수심에 따라 달라지며 위 표는 중심 부분을 기준으로 잡았다. 여과망은 여러 개로 분할이 되어 있으며 망의 손상시 이 판을 갈아 끼우게 되어 있다. 처리용량은 망목의 크기에 따라서 달라진다.

No.	Description	Material	Q'TY	Remark	No.	Description	Material	Q'TY	Remark	No.	Description	Material	Q'TY	Remark
(A)	Frame	STS204	1		(F)	Control Box	P.E	1		(K)	Shaft	STS204	1	
(B)	Drum	STS204	1		(G)	Sony Pans		1		(L)	Weld Gate Plate	PVC	1	
(C)	Bridge Duct	STS204	1		(H)	Pressure Gauge		1		(M)	Slide Bearing	Others WC	1	
(D)	Cover	STS204	1		(I)	Cartridge Filter		1		(N)	Slide Out	PVC	1	
(E)	Nozzle Pipe	STS204	1		(J)	Drive Motor		1		(O)	Chain	STS204	1	



〈그림3-10〉 드럼스크린의 구조도

③ 세척부

걸러진 슬러지를 제거하는 부로 압력펌프, 필터, 스프레이 노즐과 슬러지 받침 구성되어 있다. 압력펌프는 노즐 파이프내 압력이 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상을 사용하고, 필터는 스프레이 노즐이 막히지 않도록 보호하는 역할을 하는데 카트리지를 많이 이용한다. 스프레이 노즐은 분사각도가 $70\sim 90^\circ$ 를 많이 이용한다.

슬러지 덕트는 스프레이에 의하여 떨어지는 슬러지를 물과 함께 받아서 외부로 배출시키는 역할을 한다.

④ 구동부

구동은 감속기에 의하여 1Hp부터 2Hp까지 사용한다. 감속비는 75:1 ~ 100:1이며 주변속도는 $20\text{m}/\text{min}$ 을 넘지 않도록 구동모터와 체인기어의 비를 조절한다.

⑤ 자동제어부

자동수위감지기와 컨트롤패널로 구성되어 있다. 평상시에는 드럼 스크린이 정지되어 있는 상태에서 지속적으로 고형물질이 스크린 벽을 막아 여과수의 통과율이 떨어지면 드럼 내부의 수위가 상승하게 되고 감지기는 이를 감지하여 드럼스크린을 작동시킨다. 일정 시간 동안 회전하면서 고형물질을 세척하면 다시 스크린 망의 공극율이 증가하여 수위는 낮아지고 드럼 스크린은 정지 상태에 있게 된다.

〈표 3-4〉 스크린을 통한 처리수 (Data자료 : 농림부(연구기관 : 부경대))

망목크기 (μm)	S.S (ppm)	처리효율 (%)	S.S (ppm)	처리효율 (%)	S.S(ppm)	처리효율 (%)
원수농도	18.0		34.7		106.0	
20	2.4	86.7	9.5	72.6	22.0	79.2
30	2.8	84.5	12.5	64.0	22.7	78.6
50	3.6	80.0	13.0	62.5	29.9	72.6
70	6.0	66.7	22.0	36.6	30.0	71.7
평균	3.7	79.5	15.25	58.9	25.9	75.5

(3) 자외선 살균기를 장착한 드럼스크린

드럼스크린에 자외선 살균기를 장착하여

- ① 드럼스크린내에 미생물을 억제하여 스크린의 망목 막힘 현상을 줄여 준다.
- ② 드럼스크린내에 망목 막힘 현상이 없으므로 처리효율을 일정하게 유지

시커 주고 망목손상을 줄여준다.

③ 살균효과가 있어 어병 발생을 예방할 수 있다.

시스템 장비	성장률(무게) (g/fish)	성장률(체장) (cm/fish)	어 체 중 (g/fish)	
			초 기	최 종
드럼스크린	524.2	21.3	55.3	579.5
자외선살균기	432.3	18.0	52.8	485.1
자외선살균기 +드럼스크린	509.2	19.9	51.2	560.4

〈표3-5〉 드럼스크린을 이용한 시스템의 넙치의 성장효과(1997,농림부)

2.4.5 수평형 스크린 필터(Horizontal Screen Filter)

양식수가 낙차되는 지점에 설치하여 걸러지는 고형물질을 제거하는 방식으로 효율성 때문에 양식장에서는 잘 사용되지 않는다.

2.4.6 경사형 스크린 필터(Inclined Screen Filter)

양식수가 흐르는 수로 등에 설치하여, 수직으로 회전하는 스크린 망에 부착되는 고형물질을 외부에서 제거하는 방식으로 주로, 오, 폐수 처리장에서 대형의 고형물질을 분리하는데 이용하여 왔으나, 미세 고형물질 처리에는 효율이 떨어지므로 양식장에서는 잘 사용하지 않는다.



〈Fig.〉 평면 및 경사형 스크린 필터

2.4.6 모래여과기(Sand Filter)

모래여과기는 과거로부터 고형물질을 제거하기 위한 수단으로 가장 많이 이용되던 기기이며, 양어장에서 모래 여과기의 사용은 원수중의 미세 고형물질을 제거하거나, 정밀여과를 목적으로 할 때 이용하는 방법이지만 순환여과 시스템에서는 많은 양의 고형물질을 처리 할 때 효과성의 문제 때문에 공정상에

이용하지 않고 원수 정화에 이용한다거나, 오염원이 적은 축양장등에서 이용하기도 한다.

처리 효율은 모래의 입경에 따라 달라지지만 너무 미세하면 손실수두가 증가하여 여과를 계속할 수 없으며, 모래의 입경이 너무 크면 상대적으로 여과효율이 떨어지게 된다. 일반적으로 모래 입경은 0.45~0.7mm를 가장 많이 이용하며, 균등 계수는 1.07이하로 사용한다. 여과 효율은 여과면적 1㎡당 매시 발생하는 고형물질의 건조 중량으로 나타내며,

$$\text{과율} = \frac{1000(1-w)Q}{A}$$

여기서 w ; 오니함수비

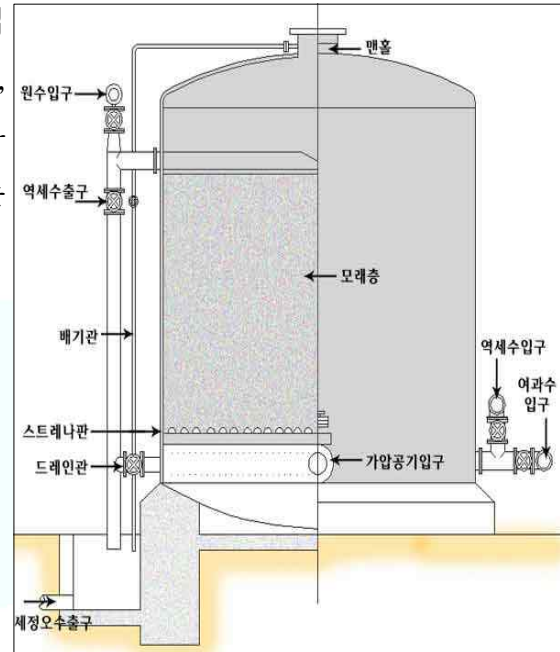
A ; 여과면적(㎡)

Q ; 슬러지량(㎡/h)

R ; 여과율(kg/㎡.h) ;

시간당 단위 면적당

여과되는 고형물질의 양



<그림> 입형식 모래여과기 모식도

2.4.7 압력모래여과기 (Pressured Sand Filter)

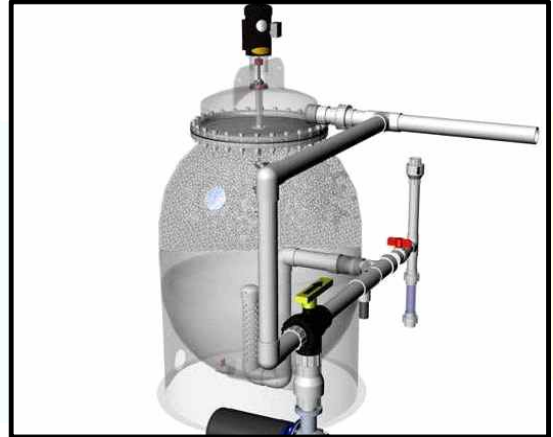
압력 구슬 여과기가 내부에 합성수지 계통의 충전 물질을 채워 여과를 하는 것에 비하여, 압력 모래 여과기는 내부에 모래를 채워서 모래 사이를 처리수가 통과하는 과정 중에서 고형물질을 제거하는 방법이다. 모래 사이에 걸러진 고형물질에 의하여, 여과기 내부에 일정한 압력이 발생하면, 자동적으로 역세척하여 고형물질을 외부로 배출하는 구조로 설계, 제작된다. 고압모래 여과기도 고형물질의 입자가 대량 발생하는 고밀도 순환여과식 양식장에서는 사용이 곤란하며, 현재 국내에서는 어류 전시장 및 실험실, 또는 양식원수의 취수 과정에서 고형물질을 처리하는데 주로 이용된다.



<Fig.> 고압모래여과기

2.4.8 압력구슬 여과기(Pressurized Bead filter)

일정한 용기 내부에 구슬 형태의, 고형물질을 흡착시킬 수 있는 여과를 충전시켜 양식수가 통과하는 과정에서 고형물질을 제거하는 방법으로 걸러진, 고형물질은 역세척을 통하여 외부로 배출하는 제거방법이다. 현재의 뱀장어와 같이 초고밀도로 양식되는 양식시스템에서는 고형물질 처리의 연속성의 한계 때문에 사실상 사용이 어렵고, 저밀도로 양식되어 고형물질의 양이 작은 시스템에서 효율적으로 사용할 수 있다. 저밀도 양식이 이루어지는 해수어 양식장이나 관상어 양식장, 또는 전시장 등에 이용되고 있다.



<Fig.> Pressure Bead Filter

2.4.9 거품 분리기(Foam Fractionation)

주로 해수 순환여과시스템에서 사용할 수 있는 시스템이며, 양식수 중에 포함된 부유성 고형물질 또는 용존물질을 인위적으로 발생 시키는 기포에 의하여 부착시켜, 거품과 함께 제거하는 방법이다. 펌프 및 인젝터 등을 이용하여 미세기포를 발생 시키는 방법 등이 있다. 기포 발생장치 및 포말 수집부, 포말 제거 장치 등으로 구성되어 있다.

2.4.10 단백질 분리기(Protein Skimmers)

단백질 분리는 포말 분리법과 유사하고, 엄밀하게 구분하면, 포말분리법의 일종으로 생각 할 수 있으나, 단백질성 유기물, 즉 수중에 용존 되어 있는 유기물을 미생물에 의하여 분해 되기 이전에 제거함으로써 암모니아 발생량을 미리 줄일 수 있으며, 양식장 내의 BOD, COD 및 아질산, 질산염의 축적을 낮출 수 있다. 일반적인 구성은 양식수가 스키머의 하단부에 설치된 펌프 및 인젝터를 통과하는 과정 중에서 미세한 기포를 발생시키고, 기포에 부착 된 단백질성 유기물질은 거품 포집기에 모인 후 배출되게 된다. 일반적으로 해수어 순환여과 시스템에 기본적으로 장착되는 중요한 시스템이다.



Fig> 단백질스키머 설치 및 작동모습

2.4.11 원심분리기(Swirl Separator)

콘(Corn)형태의 용기에 유입되는 고형물질을 원심력에 의하여 제거하여, 분리 배출시키는 장치로 기계적인 시스템이 아니므로, 동력비가 들어가지 않는 장점은 있으나, 고형물질과 함께 배출되는 수량이 많으므로, 준 순환여과식 양식 시스템에서 사용할 수 있다.



<Fig.> 원심분리기 및 크리너

2.4.12 크리너(Cleaner)

양식수의 순환과정에 설치하여 원형 양식 수조 등의 중심부에 모여 있는 고형 물질을 흡입하여, 드럼스크린으로 보내는 장치로, 죽은 어류, 병어 등도 함께 흡이바여 외부에서 처리가 가능하도록 해주는 시스템으로 순환여과식양식시스템에서는 효율적으로 이용되고 있는 장치이다.

2.4.13 이중 배수시스템 (Dual Drain System)

양식수조 중앙의 배출구를 이중으로 제작하여, 고형물질 배출이 별도로 이루어지는 시스템으로 후단부에 크리너, 원심분리기 등의 연결 설치도 가능하다.



〈Fig.〉 이중배수시스템

2.4.14 기타 고형물질 처리

드럼스크린 또는 기타의 고형물질 제거장치에서 고농도의 고형물질을 함유한 배출수는 별도로 처리해야 할 필요가 있으며

- ① 직물자루(Geotextile Bag)에 모아서 고형물질만 별도 처리하는 방법,
- ② 분뇨차(Vacuum Honey Wagon)에 의하여 처리하는 방법,
- ③ 또는 별도의 하수처리 연못(Waste Lagoon)을 만들어 처리하는 방법,
- ④ 퇴비화 장치(Compost Bin)를 이용하여 퇴비로 이용하는 방법,
- ⑤ 벨트프레스(Belt Press) 등을 이용하여 탈수화 시켜 별도 처리하는 방법 등이 있다. 향 후 엄격한 환경규제 등이 예상되므로, 양식장에서 발생하는 고형물질을 효율적으로 처리 할 수 있는 방법이 연구되어야 할 것이다.

3. 생물학적 처리기술

부영양화의 피해는 식물플랑크톤의 증식에 의해 일어나므로 인의 부하량이 같더라도 조류의 억제가 가능하다면 부영양화의 피해를 줄일 수 있다. 생물학적 방법의 하나로서 육식어류의 방류에 의해 동물플랑크톤의 현존량을 증가시키는 생물학적 먹이연쇄 조절방법(biomanipulation)이다. 먹이연쇄조작에 의한 수질개선 기작은 다음과 같다.

육식어류(piscivore)증가 → 소형 플랑크톤식성어류(planktivore) 감소
→ 동물플랑크톤 증가 → 식물플랑크톤 감소

육식어류의 증가는 소형플랑크톤식성어류를 감소시켜 동물플랑크톤을 증가시킬

수 있다. 먹이연쇄 조절에 사용하는 어류로서는 송어, walleye, 배스 등이다. 국내에서는 쏘가리가 육식어류로서 먹이연쇄조절에 이용할 수 있다면 효과를 기대할 수 있으나 오히려 집중적인 어획의 대상이 되고 있다. 이 방법은 일단 어류를 방류하면 지속적으로 효과를 나타내므로 관리경비가 들지 않는 경제적방법이 될 수 있다. 그러나 어식성 어류에 의한 먹이연쇄 조절은 먹이연쇄가 복잡한 경우에는 효과가 나타나지 않는 경우도 많이 있다.

실제로는 먹이연쇄가 단순하지 않고 어류의 식성이 다양하며, 살치나 붕어와 같은 일부 어류는 식물플랑크톤을 직접 먹기 때문에 어식성 어류가 증가하면 오히려 식물플랑크톤이 증가할 수 있다.

식물플랑크톤의 감소를 위해 직접 식물플랑크톤을 먹는 어류를 방사하기도 한다. 중국에서는 백연어(silver carp)를 방사하여 남세균을 저감하였다는 보고가 있으며, 우리나라에 살고 있는 붕어와 살치도 식물플랑크톤 섭식에 같은 효과를 가질 수 있을 것으로 생각된다. 물벼룩과 같이 여과섭식능력이 큰 동물플랑크톤을 방사하여 동물플랑크톤 군집을 변화시키는 방법도 시도되고 있다. 또한 조개류를 이용하여 플랑크톤을 섭식하는 연구도 수행된 바 있다. 미국에서는 오대호에 얼룩말 담치가 유입하여 번성한 후 플랑크톤이 감소하였다는 보고가 있었으며, 민물진주를 생산하면서 동시에 플랑크톤을 저감하여 수질을 개선하려는 개념의 시도도 오래 전에 시도되었다.

3.1 생태계의 구성

자연계에 있어서 녹색식물은 환경으로부터 무기물을 이용하여 유기물을 만들고, 동물은 녹색식물이 만든 유기물을 직접 또는 간접적으로 섭취하여 생활한다. 이들 동식물이 죽으면 몸체를 구성하던 물질은 분해되어 무기환경으로 돌아가게 되고, 식물은 이들 물질을 다시 섭취하여 식물체를 구성하게 된다. 이와 같이 어떠한 지역의 자연환경에서는 환경과 생물사이, 혹은 생물과 생물사이에 물질 순환이 일어난다. 따라서 생물과 비 생물적 환경을 종합해 보면 이들은 하나의 물질계를 이루고 있는데 이를 생태계라 한다.

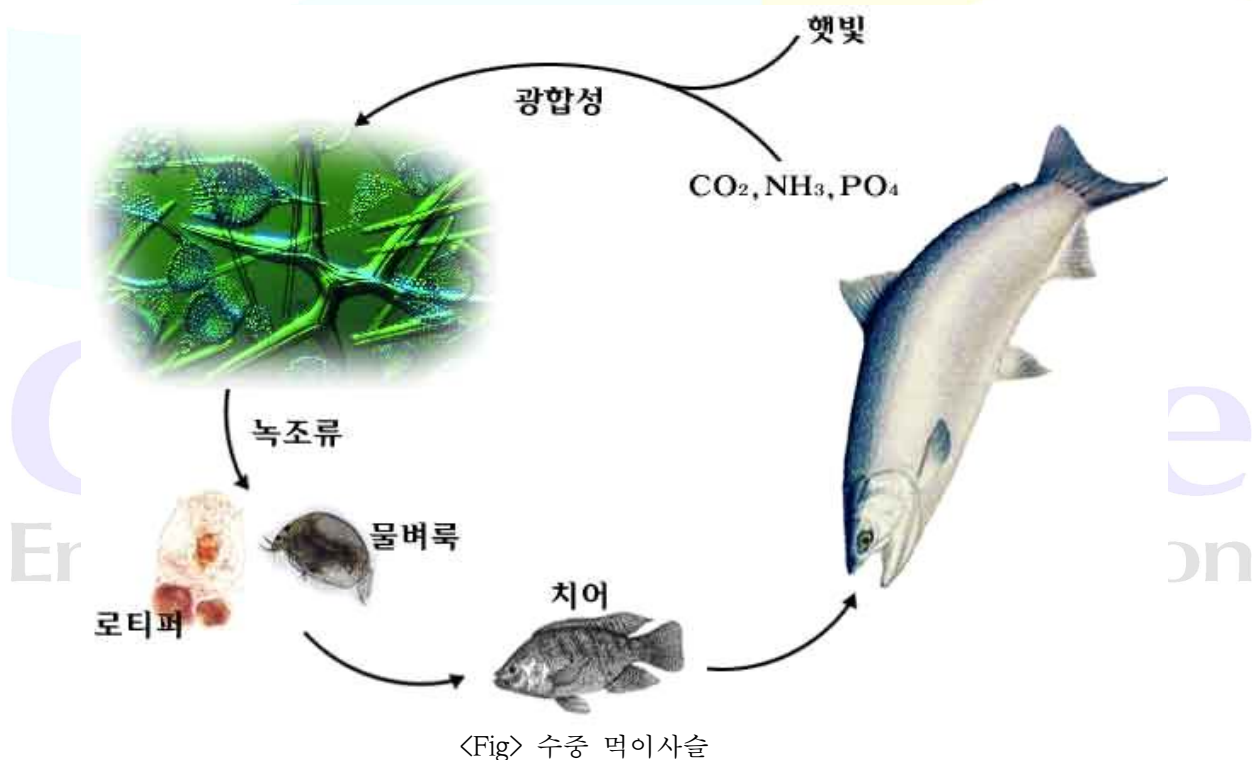
생태계의 구성은 생물적 요소(Biotic components)와 비생물적요소(Abiotic components)로 나뉘어 진다. 생물적 요소는 생태계 내에서 수행하는 역할에 따라 생산자, 소비자, 분해자의 세 가지로 구분된다. 또한 생태계 내에서 생물적 요소를 제외한 비 생물적 요소도 생태계의 구성요소이며, 이는 생물적 요소에 커다란 영향을 미친다. 이러한 두 가지 범주의 요소들은 한 생태계가 계속 기

능을 수행할 수 있는 기본적인 구조를 형성한다.

<Table>생태계의구성요소

생물적 요소	생산자 (Producer)	광합성 식물
		광합성 세균
		화학합성 세균
	소비자 (Consumer)	1차 소비자 - 초식동물
		2차 소비자 - 육식동물
	분해자 (Decomposer)	세균
		진균류
비생물적 요소		매질 - 물, 공기, 토양
		기층 - 암석, 자갈, 모래
		환경구성물질 - CO ₂ , 산소, 물, 무기물질, 유기물질
		기후 - 온도, 습도, 바람 등

3.2 생물적 요소



생물적 요소는 생산자, 소비자, 분해자로 되어있다. 생산자는 태양의 빛 에너지를 화학에너지로 전환시키고, 간단한 무기물로부터 유기물을 합성하는 독립영양생물(Autotrophic organisms)이며, 소비자는 다른 생물이나 또는 고형의 유기물을 섭취하는 종속영양생물(Heterotrophic organism)로서 초식자와 육식자로

구분한다. 생태계의 많은 죽은 동물들은 또 다른 소비자에 의하여 분해되는데, 이러한 분해 작용에 관여하는 생물체를 분해자(Decomposer)라고 하며 생산자나 소비자의 사체 같은 죽은 원형질의 복잡한 화합물을 분해하여 그 산물을 섭취하고 무기염을 방출하는 종속영양생물로서 세균 및 진균류 등이 여기에 속한다. 여기서 방출된 영양 염은 다시 생산자에 의하여 이용되고 다른 생물들에 대하여 생장억제나 혹은 촉진 작용을 하게 된다.

1차 생산자는 햇빛과 영양물질을 근간으로 발생하는 녹조류이며, 이를 섭취하는 1차 소비자는 물벼룩, 로티퍼 등이며 이를 어류의 치어가 소비하고, 치어들은 큰 어류에게 먹이원으로 소비되면서 수중 먹이 사슬을 이룬다.

3.3 비 생물적 요소

비 생물적 요소는 환경을 이루는 모든 물리적 또는 화학적 요소들을 포함 하는데 생태계 내에서 순환과정을 나타내는 탄소, 질소, 이산화탄소, 물과 같은 무기질, 생물과 비 생물 사이를 연결하는 탄수화물, 지방, 단백질, 부식질 등의 유기화합물, 그리고 온도, 습도 등 물리적인 기후조건 등이 포함된다. 이러한 모든 비 생물적 인자들은 다양한 조합에 의하여 한 생태계의 구조에 영향을 미친다.

3.4 생물처리 기술의 원리

생물처리 기술은 일정한 미생물 접촉재(여과재)를 충전 시킨 후 이곳을 통과하는 양식수에 포함된 유기물을 비롯한 암모니아, 아질산을 제거하는 공정으로 다음과 같은 처리 종류가 있다.

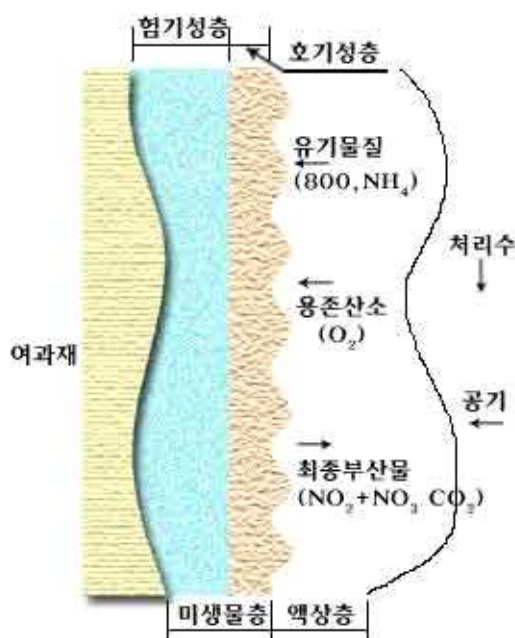
<Fig>는 여과재 표면에는 미생물에 접해지는 산소의 유무에 따라서 호기성과 혐기성으로 나뉘어지는데 호기성은 산소의 전달이 용이한 층의 반응이고 혐기성은 그림에서와 같이 호기성의 미생물 층이 두터워져 산소의 전달이 어려운 층에서 반응하는 현상이다. 산소의 침투가 가능한 층은 2~3mm라고 알려져 있지만 실제적으로는 0.1~0.2mm정도가 호기성 미생물이 활동하기 가장 용이한 미생물 층이다. 혐기성층에서는 미생물의 혐기성 대사에 의하여 유기산이나 유화수소가 생성되며 점차 혐기성층이 증대되면 유기물의 혐기성 분해에 의하여 악취가 발생하고 증식된 혐기성 미생물의 일부는 혐기적으로 분해되어 접촉재로부터 탈락하고 새로운 미생물층이 형성되기 시작한다.

생물막의 형성 기작은 (Mechanism)은 매우 복잡하며 여러 단계로 일어나는데 먼저 유기성 분자가 여과재에 흡착되어 Conditioning Film을 만들고 그 표면에

가역적 상태의 흡착을 한다.

그 위에 세균이 주로 다당류(Polysaccharide)로 구성된 체외물질을 분비 하면서 단단히 결합하고 분비물질 사이에 다른 미생물이 나와 용해성 또는 부유성 유기물의 분해가 일어나게 된다.

배수처리기술	호기성 처리	활성슬러지법	표준법
			장시간법
		생물막법	살수여상법
			접촉폭기법
			회전원판법
	혐기성 처리	현탁법	유동상법
		생물막법	소화법
			혐기성 여상법
	영양염류 처리	생물학적 탈질	고정화법
		생물학적 탈인	
간이배수처리 기술	특정미생물 처리	효모	
		클로렐라	
		광합성 세균 등	
	호기성 처리	산화지법	
		폭기처리	간이생물막 처리
			Aerated Lagoon법
	혐기성 처리	혐기성 라군	
		부패조법	



〈Fig〉 미생물의 유기물 제거원리

형성되는 생물막의 두께는 환경조건과 미생물에 의하여 결정되어 지는데 보통 100~200 μ m 정도의 막이 형성된다. 이중 활성이 있는 두께는 약 70~100 μ m 정도이며 고등생물, 또는 조류를 포함하는 경우에는 수 cm이상 되는 경우도 있다. 생물막에 의한 수처리는 사육수가 막 표면을 통과하면서 용존 유기물은 막 내로 확산되어 미생물에 의해 대사되며, 콜로이드상 유기물은 막 표면에 흡착된 체외효소(Extracellular Enzyme)에 의하여

용해되어 이용된다.

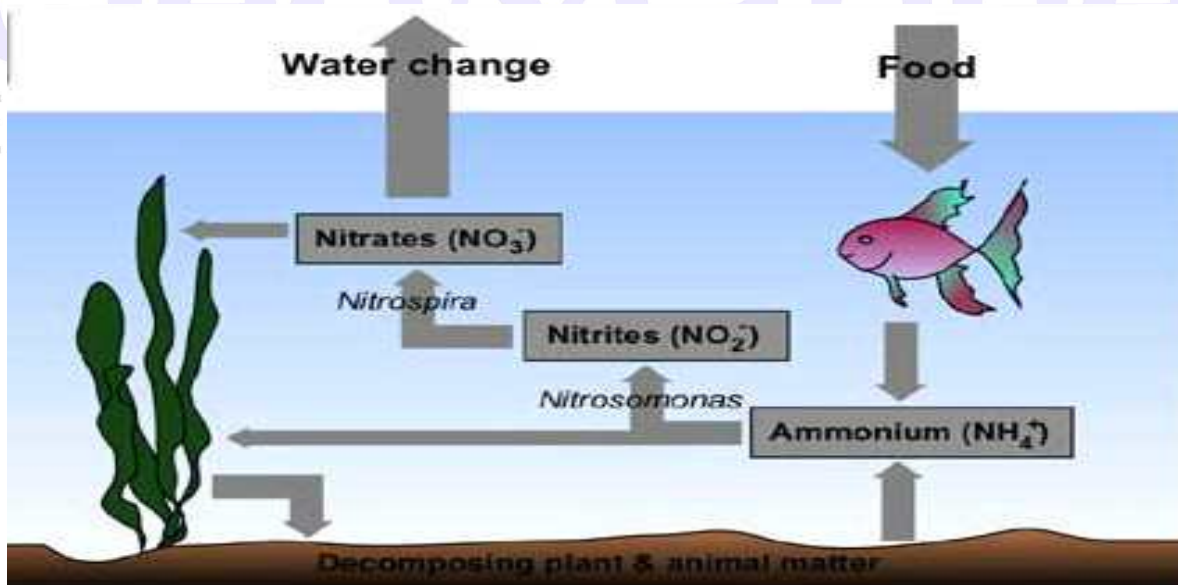
막 표면 근처의 미생물들은 유기물 농도가 높기 때문에 빠른 성장을 보이나 표면 아래쪽은 유기물이 부족한 상태이다.. 용존산소 역시 막내로 확산되어 호기성 대사에 이용되는데, 생물막이 두꺼워 지면서 표면에서 산소가 소모되므로 혐기성층이 표면의 호기성층과 고정매질 표면 사이에 생기게 된다.

어느 정도 두꺼워져서 유기물이 막 내부까지 들어가지 못하면 매질 표면에 가까운 곳의 미생물들이 내생 호흡을 하게 되면 매질 표면의 부착력을 상실하게 된다. 이때 폐수가 생물막을 통과하여 매질로부터 생물막의 탈리가 일어나고, 매질 표면에는 즉시 새로운 미생물이 생성된다.

3.5 질소 순환계

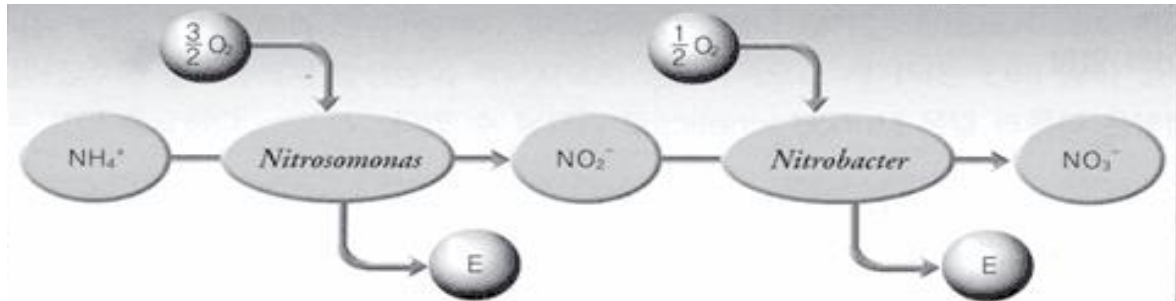
양식장 시스템 내에서도 자연계와 마찬가지로 생물과 환경사이에 화학원소의 순환이 일어난다. 질소는 생물체의 세포 구성체인 원형질의 중요한 구성 성분으로서, 식물체는 질소함량이 1% 이하인데 비하여 동물은 10%이상을 포함하고 있다. 질소는 대기 중에 약 80%를 차지하는 풍부한 원소지만 화학적으로 3중 결합을 갖는 불활성 이어서 대부분의 생물에게 적당한 질소원이 될 수 없다. 생물체내에 들어온 질소화합물은 아미노산을 거쳐 단백질 등으로 전환된다.

세포내의 질소는 다시 암모니아로 환원되어 자연으로 방출된다. 질소는 크게 3 그룹으로 구분되며 첫째는, 배출된 요소와 같은 유기질소이며 둘째는, 기체로서 질소 기체(N_2)로 존재하며 셋째는, 용존 이온 상태에 따라 네가지 형태로 (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2O)의 형태로 존재한다. 아래 그림은 자연 상태에서 일어나

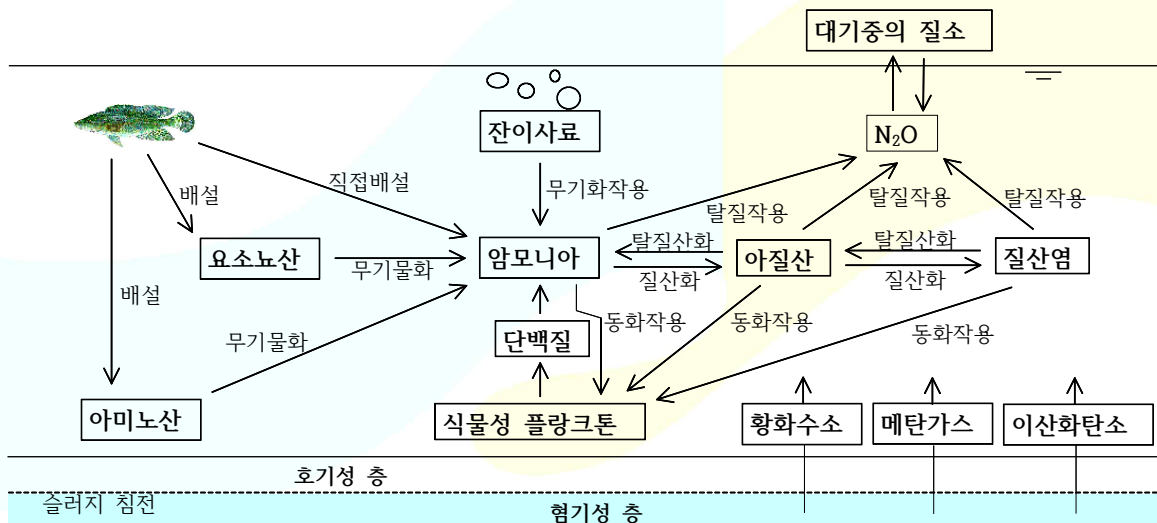


는 질소 순환계를 나타내었다.

양어장내에서 발생하는 유기물질은 박테리아의 분해작용(무기화작용)에 의하여 암모니아로 전환되고, 이들 암모니아는 일련의 질산화 과정을 거쳐 질산염으로 전환된다



<Fig> 질산화과정



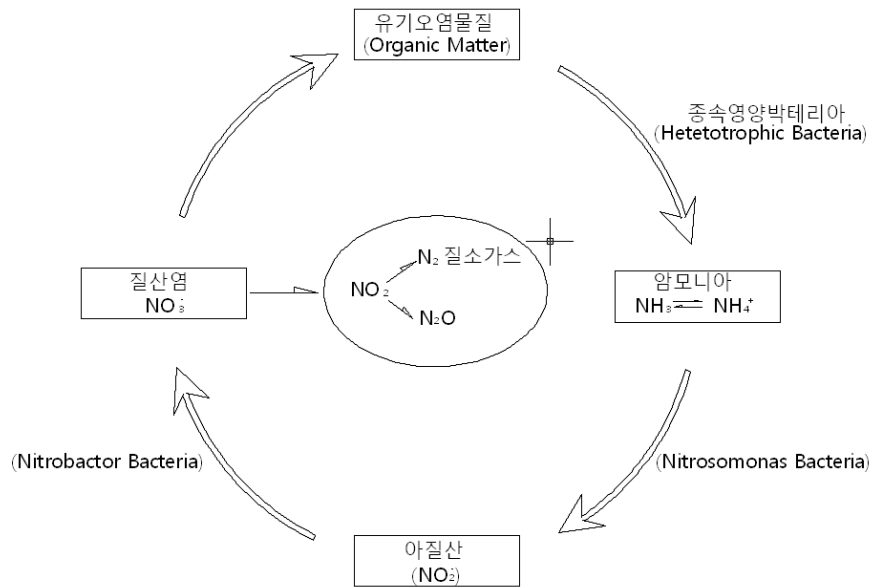
<Fig> 양식장 물의 질소순환계

3.6 무기화작용(Mineralization)

순환여과식 양어장의 생물 여과조에서는 미생물의 활동으로 오염물질을 분해암모니아, 아질산을 제거하여 어류의 생장에 알맞은 상태의 용수로 맞들어 제공되는 데 여기에 관여하는 박테리아는 종속영양박테리아(Heterotrophic Bacteria)와 독립영양박테리아(Autotrophic Bacteria)로 크게 나뉘볼 수 있으며 독립영양박테리아는 암모니아를 아질산으로 전환시키는 나이트로소모나(Nitrosomonas), 아질산을 질산염으로 전환시키는 나이트로박터(Nitrobacter)박테리아로 나눌 수 있다.

3.6.1 암모니아(Ammonia)

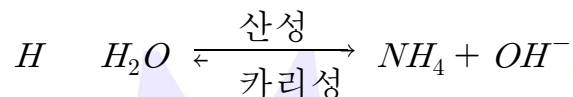
유기물질로부터 종속영양박테리아에 의해 발생된 암모니아는 이온화되지 않은



<Fig> 여과조내의 질소 순환계

암모니아(NH_3)와 암모늄이온(NH_4^+)의 2가지 형태로 수중에 존재하는데 이들은 온도, 염분도, pH에 따라서 그 형태가 달라진다.

이중 pH에 의한 영향이 가장 크며 pH가 높아지면 반응은 왼쪽으로 진행되어 독성이 강한 암모니아 형태가 되며 pH가 낮아지면 독성이 낮아지게 된다. 일반적으로 같은 온도에서 같은 pH가 1이 높아지면 어류에게 미치는 암모니아 독성은 10배가 된다.



일반적으로 25℃에서 암모니아 백분율은 다음식으로 나타낼 수 있다

$$\text{NH}_3^+(\%) = \frac{100}{1 + 10^{(pka - p)}}$$

여기서 pka는 온도에 따른 암모니아의 이온화 상수이며 다음과 같다.

$$pka = \frac{0.09018 + 2729.92}{T}, \text{ } ^\circ\text{K}$$

온도(℃)	5	10	15	20	25	30
pka	9.90	9.73	9.56	9.40	9.24	9.09

ex1) 총암모니아 농도가 5ppm일 때 20℃, pH 7에서의 비 이온화 암모니아의 농도는?

$$\begin{aligned}
 H^+ \text{ (%)}) &= \frac{100}{1 + 10^{(pka-p)}} \\
 &= \frac{100}{1 + 10^{(9.24-7)}} \\
 &= \frac{100}{1 + 10^{2.4}} = \frac{100}{1 + 2.51} = 0.4\% \\
 &= 5ppm \times 0.4\% = 0.02ppm
 \end{aligned}$$

ex2) 총암모니아 농도가 5ppm일 때 20℃, pH 9에서의 비 이온화 암모니아의 농도는?

$$\begin{aligned}
 NH_3^+(\text{%)}) &= \frac{100}{1 + 10^{(pka-pH)}} \\
 &= \frac{100}{1 + 10^{(9.4-9)}} \\
 &= \frac{100}{1 + 10^{0.4}} = \frac{100}{1 + 2.51} = 28.5\% \\
 &= 5ppm \times 28.5\% = 1.425ppm
 \end{aligned}$$

오염물질	오염물질 생산량(g) / 사료주입량(kg)	어류구분
산소요구량(Oxygen Demand)	540	연어
총 암 모 니 아 성 질 소	7	틸라피아
질 산 염	35	틸라피아
인 산 염	6	틸라피아
총 고 형 물 질	400	메기
이 산 화 탄 소	285	연어

<Table.> 사육어류에 따른 오염 물질 생산량

암모니아는 어류에 의해 배출되는 대사산물로서 어류마다 차이가 있지만 보통 사료 1g 소비당 30mg의 암모니아가 발생한다. 이론상으로는 물이 50m³인 수조에 사료를 10kg 공급했다면 발생하는 암모니아의 농도는 으로 계산할 수 있다.

3.6.2 아질산

아질산은 암모니아로부터 니트로소모나스 박테리아(Nitrosomonas bacteria)가 용존산소를 이용하여 암모니아를 산화하는 과정에서 생성된다.

로 수중에 아무리 용존산소가 풍부하더라도 산소를 어류의 체내로 운반시키지 못하게 되므로 어류의 질식사(질식사)를 유발하게 된다.

여기서 주목해야 할 점은 첫째 암모니아성 질소 산화당 세포 생산량이 매우 적고, 둘째로는 질산화 과정에서 상당량의 산소가 필요한데, 암모니아(NH_4^+-N)가 질산염(NO_3^--N)으로 산화되는데 까지는 4.5g의 용존 산소고 필요하고, 셋째로는 과정에서 발생하는 H^+ 에 의한 pH저하를 막기 위해서는 1g의 암모니아를 산화시키는데 약 7.14g의 알칼리도가 (as CaCO_3)필요하며, 8.59g의 탄산과 0.17g의 bacteria cell이 생성된다.

3.6.3 질산염

질산염은 질산화과정에서 아질산을 나이트로박터(Nitrobacter) 박테리아가 산화시키는 결과로 나타나는데 이 질산염은 어류에게는 거의 해가 없으나 근해 수역 등으로 방류 되었을 때에는 환경오염의 문제를 유발 시킨다.

3.6.4 질산화과정에 영향을 미치는 요인

(1) 화학적요인

<Table. > 치료제 성분중 박테리아에 영향을 미치는 농도

약제의 종류	농도(mg/l)	영향정도(%)
Chloramphenicol	50	0
Oxytetracycline	50	0
Sulfamerazine	25	0
Sulfanilamide	25	65
Erythromycin	50	100
Chlorotetracycline	10	76
Formalin	15	27
Malachite green	0.1	0
Formaline + Malachite green	25+0.1	0
Methylene blue	5	100
Copper sulfate	1	0
Potassium permanganate	1	86

Collins et al(1975,1976) and Levine and Meade(1976)

① 독성물질

순환여과식 양어장의 여과과정인 무기화 및 질산화 과정에서 가장 문제가

되는 것은 어류의 질병시 투여한 치료제 등의 항생제 독성 때문에 박테리아의 활동성 둔화이다.

다음의 표는 치료제의 성분중 박테리아에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 어류의 질병시 사용하는, 치료제 성분인 황산동, 과망간산칼륨, 염화나트륨등은 질산화에 영향을 미치지 않으나, 다른 치료제들은 질산화율의 감소를 나타내는 것으로 보고 되었다(Kaiser & Wheaton, 1983)

② pH

박테리아 종류	pH 시험범위	적정 pH농도	자료
NS	7.0 ~ 9.0	8.0 ~ 9.0	Hofman&Lees,1953
NS		8.0	Engle & Alexander,1958
NS		6.0 ~ 9.0	Winogradsky&Winogradsky,1933
NS	5.0 ~ 10.0	9.0	Kawai,.et al.1965
NS		7.2 ~ 7.8	Loveless&Painter,1968
NB	7.0 ~ 8.6	8.3 ~ 9.3	Meyerhof,1917
NB		7.8	Boon & Laudelout,1962
NB	5.0 ~ 10.0	6.3 ~ 9.4	Winogradsky&Winogradsky,1933
NB		9.0	Kawai,.et al.1965

NS : 니트로소모나스, NB : 니트로박터

미생물이 활동 가능한 pH범위는 6 ~ 9의 범위이고 pH 6이하에서는 질산화 작용이 급격하게 감소하며 5.5이하에서는 정지된다고 한다.(Haug and McCarty) 그러므로 순환여과식 양어장에서 pH의 농도는 6.0이상을 유지해야 하며 일반적으로 6.5이하로 내려가면 활동율이 급격하게 떨어짐을 볼 수 있다.

또한 몇 분내에 0.5 ~ 1정도의 급격한 pH변화는 질산화여과조의 효율을 크게 떨어뜨리는 원인이 된다. 아래의 표는 Nitrosomonas, Nitrobactor bacteria의 최적의 pH농도를 표시한 것이다.

③ 용존산소

질산화효율은 질산화 박테리아에게 산소의 공급이 충분하지 못 할경우 효율이 감소하게 되며 산소의 제한농도는 온도, 여과 내로 공급되는 유기물농도, 형성된 미생물량 등에 따라 달라진다.

사육수가 여과조내로 흘러 들어가면 1차적으로 유기물을 분해하는 타가영양 박테리아가 활성화되며 후단으로 갈수록 질산화 박테리아들이 활성화된다. 때문

에 여과조내에 전체적으로 산소 공급을 하기 전에는 후단부에 질산화 박테리아들에게는 산소부족 현상이 올 수 있다. 질산화여과조에서의 최저 용존산소 농도는 2ppm이상으로 알려져 있다.

④ 알칼리도(Alkalinity)

약7g의 알칼리도가 필요하며 pH를 낮추기 위해서 정기적으로 탄산칼슘 등을 이용하여 알칼리도를 공급한다.

⑤ 고형물질의 영향

생물여과조내에서 고형물질이 과다 유입은 여과재 막힘현상(Clogging)의 원인이 되어 미생물층이 비대해져 내부에서 혐기성분해가 일어나며 미생물 덩어리의 탈리 현상이 잦고 이로 인해 유독한 유화수소의 발생 원인이 되어 전반적인 해를 주며 수류의 흐름이 일정한 곳만 통과하게 되어 효율을 떨어뜨리는 Channel현상이 발생된다.

이 Clogging현상을 예방하기 위해서는 여과재의 입자를 크게 하면 좋지만 여과재의 비표면적이 상대적으로 작아지므로 표면적을 최대로 하면서 Clogging 현상을 최소화 할 수 있는 여과재를 선택하는 것이 중요하며 가능한 1차적으로 고형물질의 처리를 최대화하는 것이 좋다.

Kholdebarin 과 Oertli(1977)는 0.2 ~ 5 μ m의 입자를 가지고 고형물질이 질산화 효율에 미치는 영향을 조사 하였으며 여기서 질산화 효율에 가장 좋은 입자의 크기는 1.4 ~ 2.7 μ m임을 밝혀내었다.

⑥ 용존유기물의 영향

Pano Middlebrooks(1983)은 폐수처리장의 RBC공법에서 용존유기물의 농도가 높아지면 암모니아 제거효율이 상대적으로 감소함을 알아냈으며 Grady와 Lim(1980)은 BOB₅/TKN의 수치가 0.25미만일 때 최대의 효과를 보이며 이 이상이 되면 질산화율이 감소한다고 발표하였다.

⑦ 기타 염도의 변화, 미량원소의 유무에 따라 질산화 효율에 영향을 받는다

3.6.5 물리적 요인

① 온도

질산화율과 온도와의 관계는 일치하는 보고서 내용이 없으며 활동할 수 있는 범위는 7~35℃ 정도이며, 활동하기에 가장 적절한 온도는 21~28℃ 이고 10℃ 이하에서는 거의 활동을 하지 않는다.

온도가 4℃ 상승하면 암모니아 산화율은 50%, 아질산 산화율은 12%정도 증

가 하며 온도가 1℃ 감소하면 암모니아 산화율은 30%정도, 아질산은 8%정도 감소한다고 한다.

② 여과재 형태 및 크기

여과재는 질산화를 일으키는 미생물이 부착하여 성장할 수 있는 면적을 더 넓혀주기 위하여 사용하며 종류는 수백 가지에 이르고 있다.

국내의 오, 폐수 처리장등에서는 섬모상 여과재를 비롯하여 HBC, 사란, 여러 가지 형태의 플라스틱 설형제품인 Bio-ball등을 사용하고 있으며, 유럽의 순환 여과식 양어장에서는 Bio-block을 사용하고 있다.

일반적으로 비표면적(m^2/m^3 ; 1루베당 여과재의 총 표면적)이 큰 여과재는 가격이 비싼 반면 여과조 면적이 작게 차지하므로 시공 비용이 적게 들어갈 수 있으며, 반대로 비표면적이 작은 여과재(썬라이트, 차광막)들은 여과재 충전 비용은 적으나 여과조 설치비용은 크게 들어가므로, 경제성과 효율성을 감안한 여과재의 선택이 중요하다.

③ 수량부하

여과재를 통과하는 수량은 여과효율을 결정짓는 중요한 요인이 되며, 펌프의 용량, 여과조의 크기 등을 선정하는데 중요한 요인이 되며 m^3/day , 즉 여과조 표면적당 시간당 통과수량으로 결정짓는다. 이는 일반적으로 유입수의 오염물질 농도에 비례하는데 한 예를 들어 플라스틱 여과재를 사용하는 살수여상에서 수량부하는 $234 \sim 350 \text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 이다.(Grady & Jim)

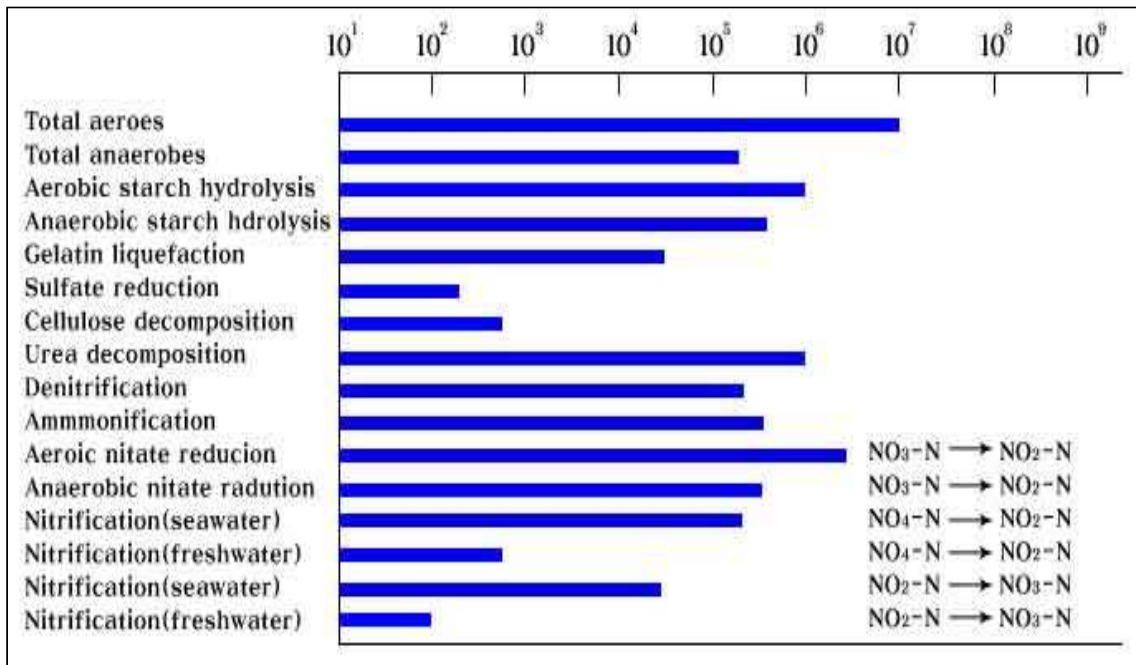
즉, 최고 여과조 표면적당 최고 14.5m^3 의 처리수를 흘려보낼 수 있다는 내용이다.

④ 여과재 깊이

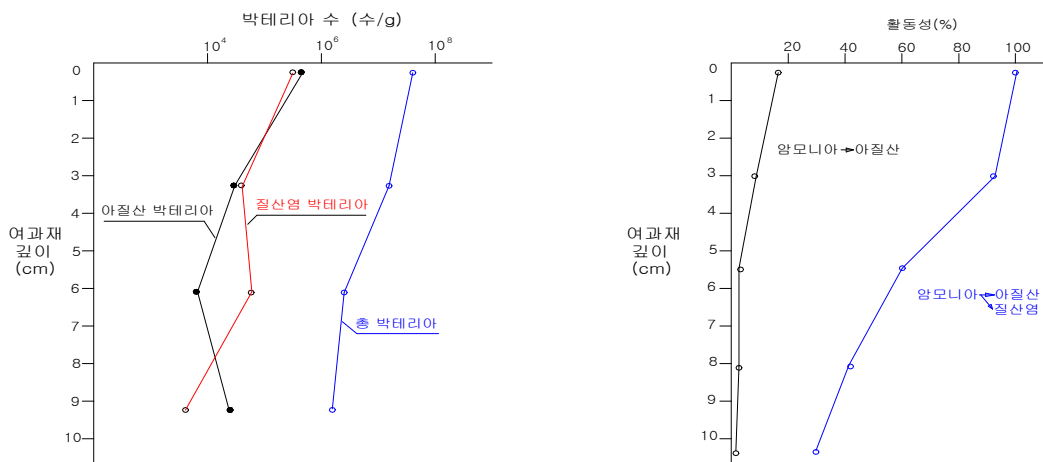
여과재 깊이 선정은 산소공급 문제, 여과재 크기, 수량부하 등에 따라서 달라지며 단일 여과조에서는 질산화 과정의 전 과정을 거치기 위해서는 충분한 깊이가 설정되어야 하며, 처리 과정이 짧으면 Heterotrophic bacteria가 암모니아를 생산하는 단계에서 끝나는 결과를 가져올 수 있다. <Fig> 모래 여과조에서 setting 뒤 134일 후에 깊이 당 검출되는 박테리아의 종류를 나타낸 것이다.

아래 그림은 여과조 깊이당 박테리아수를 나타낸 것인데 모래 깊이가 깊어질수록 박테리아 숫자 및 활동성이 떨어짐을 볼 수 있으며 이는 용존 산소의 농도와도 관계가 있다. 일반적으로 모래 여과조의 깊이는 1m내외, 직경이 7~10cm내외의 플라스틱 여과재인 경우에는 4~5m까지 여과조 깊이를 설정할

수 있다.



<Fig. > 모래여과조에서 깊이당 검출되는 박테리아 종류(by Kawai)



<Fig.> 여과재 깊이에 따른 박테리아 수 및 활동도(Yoshida, 1967)

⑤ 생물막의 두께

생물막의 두께는 여과재를 통과하는 물의 유속, 물의 동점성 계수, 온도등에 따라 달라지며 1 ~ 100 μm 정도이다.

⑥

질산화여과조는 어두운 것이 좋으며, Olson(1981)은 빛은 Nitrosomonas와 Nitrobacter bacteria의 cytochrome(미생물의 세포의 산화, 환원에 작용하는 색소)을 산화하기 때문에 어두운 것이 좋으며, 아질산을 분해하는 박테리아

인 Nitrobactor bacteria는 Nitrosomonas bacteria에 비하여 이 색소를 적게 가지고 있으므로 더욱 어두운 것이 좋다고 하였다.

3.7 양식장에서 생물막 여과조의 설치

미생물을 이용하는 생물여과방법은 일반적으로 미생물의 성장형태에 따라서 부유식 성장(Suspended Growth)과 부착식 성장(Attached Growth)으로 나눌 수 있는데 양어장의 순환여과에 이용 가능한 방법은 여과재 표면에 미생물이 부착되어 형성된 생물막을 이용하여 유기물을 제거하는 생물막법이라고도 하는 부착식 성장법이 있는데 살수여상법(Trickling Filter), 회전원판법(Rotating Biological Contactor), 활성생물막법(Activated Biofilters), 유동상여과법(Fluidized Bed Filter), 바이오드럼(Bio Drum) 등 여러 가지가 있다.

3.7.1 살수여상법(Trickling filter)

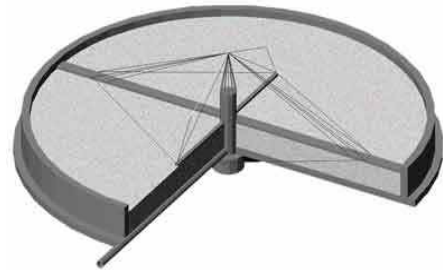
살수여상법은 회전분무기를 통해 배수와 통기가 잘 되는 여과재로 채워진 원형 구조의 여과상에 드럼스크린 등 1차 처리를 거친 처리수를 골고루 뿌려 수 처리를 행한다. 여과재는 생물막 형성을 위해 단위 부피당 표면적이 넓어야 하며, 폐수와 산소전달을 위한 공극율도 높아야 한다. 과거에는 주로 직경 25 ~ 100mm 직경 쇠석, 세라믹 물질을 여과재로 많이 이용하여 1 ~ 2.5m 깊이의 만들었지만, 근래에는 가볍고 공극율과 표면적이 큰 플라스틱 합성여과재를 사용하여 10m이상의 깊이의 깊은 여상을 만드는 예도 있다. 여과재의 선택은 특정 표면적, 공극면적, 단위 무게, 여과재의 크기 및 모양, 그리고 비용 등에 의해 결정되어 진다. 여과재는 물에 잠겨있지 않으며, 호기성 조건하에서 산소는 공기와 액체의 접촉면을 통해 전달되는 확산에 의해 생물막으로 전달된다. 질산화를 위한 살수여상법은 일반적으로 비표면적이 $140\text{m}^2/\text{m}^3$ 정도인 고율 살수 여상재를 사용한다. 살수여상법은

(1)장점

- ① 설치와 운영이 쉽다.
- ② 수량변화와 농도 변동에 강하다.
- ③ 유해물질의 독성에 어느 정도 견딘다.
- ④ 온도변화에 강하게 대응하며 벌킹현상(Bulking)이 없다.
- ⑤ 유지관리가 용이하여 관리비도 적게 든다.

(2) 단점

- ① 시설면적을 많이 차지한다.
 - ② 냄새나 파리, 모기가 많이 생긴다.
 - ③ 처리효율이 타 공정에 비하여 떨어지며, 여상막힘 현상이 자주 일어난다.
- 현재 양어장 순환여과시스템에서는 잘 사용하지 않으며, 슬러지 스크래퍼를 응용한 방법만 일부 침적형 여과법에 이용한다.

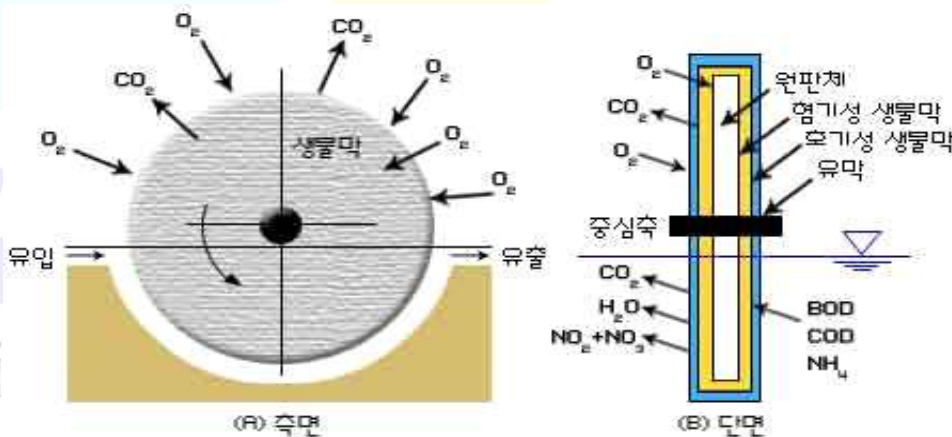


<Fig.> 살수여상법의 모습

3.7.2 회전원판법(Rotating Biological Contactor)

(1) 원리

회전원판법은 보다 발전된 호기성 생물막을 이용한 처리법으로 1920년대 말에 그 원리가 개발되어 1960년대부터 상업적으로 이용되기 시작하였는데 우리나라 일부사용하고 있는 예가 있다. 구조는 근접 배치한 얇은 원형판들을 폐수가 흐르는 관에 약 40%정도 잠기게 한 후, 이 판을 수직축을 1rpm정도로 회전 시키면서 판 표면에 형성된 생물막을 통하여 유기물을 흡착, 분해한다. 판이 회전하면서 규칙적으로 생물막이 공기에 노출되므로 산소가 계속적으로 공급된다.



<Fig.> 회전원판 집축조의 처리 원리

(2) 구조

회전판을 직경이 2.0 ~ 5.0m이고 두께는 0.6 ~ 2cm, 수평축에 1.0 ~ 4.0 cm간격으로 배열한다. 통상 다단계 구조로 설치되며, 전 단계에서는 주로 유기물 작용이, 후단부에서는 질산화 작용이 일어나는데 질산화작용은 일반적으로 연속적인 단계에서 BOD가 14ppm이하로 충분히 낮을 경우에만 일어나 암모니아, 아질산이 제거된다. 현재 사용되는 다단구조는 일반적으

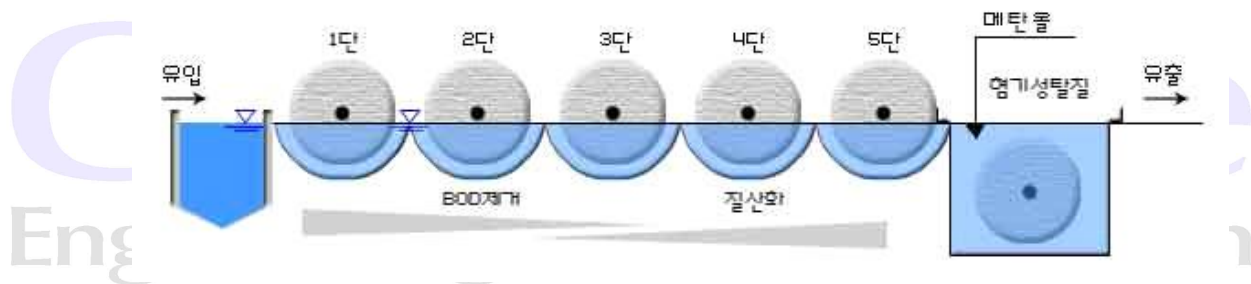
로 폐수가 축에 대해 직각으로 흐르게 된다.

(3) 구조, 운전에 관여하는 항목

- ① 원판직경 : 2.0~3.6m인데 최대 5.0m인 것도 있으며 직경이 클수록 접촉 반응조의 평면적 비율이 작아지게 되며 자연히 기초공사비도 낮아진다
- ② : 다단계 방식에서 전단부는 25 ~ 30mm, 후단부에는 10 ~ 20 mm가 사용되고 있으며 질화의 경우에는 생물막이 얇기 때문에 간극이 좁은 고밀도 원판체가 많이 이용된다.
- ③ 원판침적율 : 40%정도 침적시키며 혐기성 탈질, 메탄발효에는 완전 침수 시킨다.
- ④ 원판회전속도 : 원판주변속도는 18m/min이 채용되고 있으며 오염 부하량이 크면 회전속도를 빠르게 하며 다단식에서는 후단일수록 저속이 좋다.



<Fig.> 회전원판여과시스템



<Fig. > 다단계 원판처리장치 단면도

(4) 특성

① 장점

- 별도의 포기장치가 필요 없고 유지 관리가 쉽고 유지비가 적게 든.
- 반응소요 시간이 짧고 다단식을 취하므로 유기물 부하변동에 강하다.
- 슬러지 발생량이 적고 슬러지 반송이 필요 없다.
- 질산화 작용이 잘 일어나고 탈질, 탈인도 가능하다.

- 구저기, 악취, 소음 등의 2차 공해가 발생하지 않는다.

② 단점

- 정화기구가 복잡하여 미생물량의 임의 조정이 불가능하다.
- 노출되므로 온도에 많은 영향을 받게 되어 저온시 대책이 문제임,
- 운전이 원활하지 못한 경우 혐기성 상태로 전환되어 악취의 문제가 발생
- 운전을 위한 별도의 동력비가 발생한다.

<Table.> 양어장에서 RBC의 적용 예

수 질 요 건	어 종		
	틸 라 피아	hybrid bass	송 어
온도	30	25	15
pH	7.5	7.5	7.5
최고 NH3농도	0.060	0.025	0.010
최고 TAN	2.42	1.42	1.17
최대 1일 사료급이량(kg)	200	200	200
mg TAN/kg feed	25,000	32,000	34,000
kg TAN/day	5	6.4	6.8
TAN제거량(mg/m ² /day)	379	193	122
RBC면적(m ²)	13,198	33,076	55,773
비표면적(m ² /m ³)	175	175	175
여과재 부피(m ³)	75	89	319
RBC직경(m)	3.66	3.66	3.66
RBC길이(m)	7.17	17.97	30.29
침전된 여과조 용량(l)	30,166	75,603	127,480
최대여과조 용량(l)	64,532	161,731	272,706

3.7.3 침적형 고정상 생물막 여과조

(1) 처리원리

침적형 고정상 생물막 여과조는 각종 여과재를 여과조내에 침전시켜 유기성 폐수가 이 여과재를 지나는 동안에 여과작용을 하게 시공하는

방법으로 여과조 바닥 부분에서는 에어 분사를 통한 산소 공급을 해주는 것이 보통이며 사용하는 여과재에 따라 설치 방법을 달리한다.



<Fig.> HBC의 설치모습

(2) 사용하는 여과재

① HBC

미세한 실을 타래 모양으로 엮어서 걸어놓는 형태이며 실 자체가 전하를 띠고있어 미세한 고형물을 잡아서 분해하는데 유용하며 비교적 설치가 쉬우며 드럼 스크린 후 단부에 설치도록 설계한다.



〈Fig.〉 HBC모양

1) 특징

- HBC Ring의 실의 두께는 100denier 정도이고 하전성이 있어 수중의 미생물 및 슬러지의 부착능력이 우수하다.
- 비교적 비표면적이 우수하고 통기성이 좋아 호기성 분해가 잘 일어남.
- 청소가 비교적 쉽다.

2) 설치방법

- 유효수량 대비 충진율은 55%이상으로 하여야 한다.
- 폭기 장치를 설치하여 조 내의 용존산소 농도가 3ppm이상을 유지해야함.
- 유효수심은 1.5m ~ 5m 로 한다

② 록(Rock)

록은 동, 식물성 섬유 및 합성섬유 등을 스프링 모양으로 가공시킨 탄성체로 만들어 이를 결합재로 피복 결합시킨 것으로 그 섬유의 형태가 양털 따위의 타래진 실 뭉치와 같다고 해서 ROCK(타래 털)이라고 불려졌다. 이제품은 폴리염화비닐계의 사란 섬유를 스프링 형태로 가공하여 일정하게 배열시킨 후 같은 종류의 수지액을 뿌리고 가열 처리하여 섬유와 섬유 사이를 강력 응착시킨 제품으로서, 내수성, 내약품성, 내일광성 및 내구성 등이 비교적 우수하다.

- ROCK 여과재의 물리적 특성

- 무게 : 50 ~ 60kg/m³
- 비 표면적 : 200 ~ 600m²/m³
- 공간율 : 96 ~ 98%

양식장에서는 전단부에서 슬러지 처리를 제대로 하지 않을 경우에는 여상 폐쇄 현상으로 인한 찬넬 현상 발생의 우려가 있다.

③ 섬모상

섬모상 생물막은 부드러운 섬모형태의 재질로 고정 및 유동형의 접촉여과재로 섬모가 수류에 따라 유동하므로 고정상+유동상의 미디어 역할을 한다고 알려져 있다.

비표면적은 $1,260\text{m}^2/\text{m}^3$ 정도로 다른 여과재에 비하여 비교적 큰편이다. 단가가 비싸고 유지능력의 저하로 인하여 양식장 시스템에서는 잘 사용하지 않는다.

④ 바이오블럭(Bio-block)

플라스틱(P.E 또는 P.P)의 소재를 성형 가공한 제품으로 유럽 및 대만의 순환여과식 대부분 설치되어 있는 여과재이다.

물리적 특성은 알려져 있지 않으나 여상폐쇄 현상 등이 발생하지 않고 충진율은 사육조 대비 60 ~ 70% 정도이다. 과거의 유럽형 순환여과 시스템에서 대부분 사용하던 여과재였지만, 청소 등의 유지관리가 어려워 현재는 잘 사용하지 않는다.

⑤ 기타 여과재

과거에 양식장에서는 차광막, 썬라이트 판, 자갈, 파판, 제오라이트, 활성탄 등 여러 모양과 형태의 여과재를 사용한 경험이 있는데, 현재는 이들 또한 잘 사용하지 않는다.

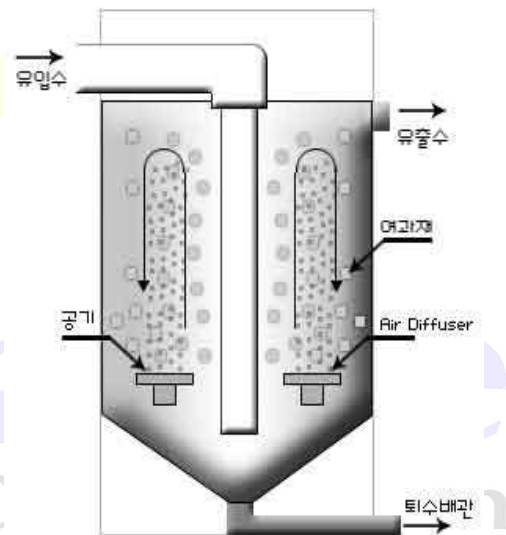
3.7.4 삼상유동층 생물막 여과조

(1) 삼상유동층 생물막 여과조

유동화(Fluidization)란 용어는 1878년에 처음으로 문헌에 사용된 이후 네덜란드에서는 삼상유동층 생물막 반응조 내부에 Draft tube를 설치하여 상향류와 하향류를 형성시키는 Air-Lift Reactor를 연구하여 30분에서 2시간의 짧은 체류시간으로 COD용적 부하를 $20\text{kg}/\text{m}^3/\text{day}$ 까지 유지하였다(J.J. Heijen, M.C.M. van Loosdrecht, A. Mulder and L. Tijhuis, 1990).

그 이후 여러 가지 다양한 여과재에 미생물을 부착시켜 유체의 흐름 형태를 응용한 많은 연구가 진행되어져 왔다(Miller, 1981).

유동층 공법은 반응조내에 유동화 현상을 유지하기 위한 방법으로 이상 유동층과 삼상 유동층으로 구분된다. 이상 유동층 공법에 적용되는 반응조는 실린더형의 관으로 구성되며 반응조내에는 무겁고, 입자크기가 작은 여과재로 충진되어 있다. 이상 유동층 공법은 유입수의 유속에 의해 반응조내에는 상향류가 형성되며 이 움직임에 의해 충진된 여과재가 유동하게 된다.



유동화되는 여과재에 미생물이 형성되어 물을 정화시키며 성장하게 된다. 미생물의 산소 소비에 필요한 산소 공급은 반응조 외부에서 이루어진다. 이상 유동층 반응조는 단위 면적당 높은 유수율이 필요하나 비교적 표면적당 작은 여과재 크기가 사용된다. 삼상유동층 공법은 액체(처리수), 기체(공기), 고체(여과재)의 세 가지 상이 존재 하므로 삼상이라 하며 여과재의 유동은 공급되는 공기에 의한다. 이상 유동층 공법에 비해 미생물에 산소 전달이 용이하며 높은 부하 조건에서도 작용이 가능하나 여과재의 유동현상을 위해 반응조의 설계와 여과재의 선택이 중요하다.

(2) 유동층 생물막 여과재

유동층생물막 여과조에서 여과재의 선택은 매우 중요하며 다음과 같은 요건을 갖춘 여과재를 선택하는 것이 좋다.

- ① 비중이 1.05~1.10 정도로 적당해야 한다.
- ② 마모도가 적어야 한다.
- ③ 유동화가 좋아야 한다.
- ④ 비표면적이 커야한다.
- ⑤ 미생물의 지나친 부착이 일어나지 않아야 하며, 미생물 부착에 의한 침전이 일어나지 말아야 한다.

현재 양식장에서 사용하고 있는 유동상 여과재는 다음과 같은 것이 있으며, 톱니형의 합서수지 소재로 제작된 여과재는 유동성이 우수하고 비표면적이 우수하여 현재 순환여과양식장에서 가장 많이 이용되는 유동상 여과재 형태이다.



(그림) 톱나형, 방울형, PVA여과재

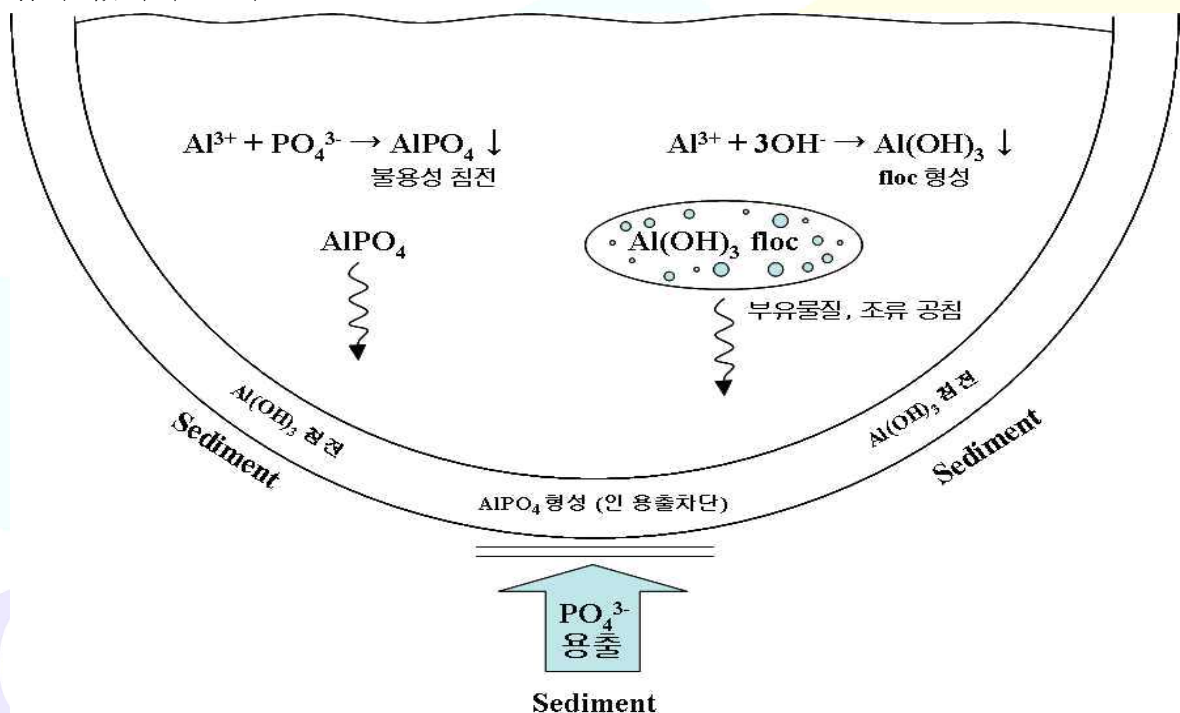
기타 여러 가지 여과재가 사용될 수 있지만 가격, 내구성, 효율 등을 고려하여 선택하는 것이 무엇보다도 중요하다.

4. 화학적 처리 기술

4.1 화학적 응집침전에 의한 인불활성화(phosphorus inactivation)

화학적 응집침전에 의해 수중의 인과 부유물을 제거하는 방법이다[그림 19-1]. 황산반토(alum, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)가 주로 많이 사용되며 lime(CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$), FeCl_3 등도 사용된다.

$\text{Al}(\text{OH})_3$ 침전이 만들어 지면서 수중의 부유물과 함께 침강하며 수중의 인산이온도 함께 흡착되어 침전한다. 황산반토를 첨가하면 pH가 낮아지며 pH가 6이하로 낮아지면 알루미늄의 침전이 용해되므로 pH6 까지만 첨가하여야 한다. 응집침전의 효과가 오래 지속될 수 있으려면 저질의 교란이나 외부로부터의 인유입이 없어야 한다.



[그림] 화학적 응집침전에 의한 인불활성화 모식도

4.1.1 저질산화(sediment oxidation)

호수 심층의 저질 표면이 혐기성화 되면 저질의 철(Fe_3^+)이 환원되어 (Fe_2^+) 용해됨으로써 철과 결합되어 있던 인이 용출된다. 이를 억제하기 위하여 공기펌프로 심층에 산소를 공급하면 저질의 산화환원전위가 높아져 인의 용출을 억제할 수 있다. 그러나 심수층과 표수층이 교란되면 저질의 영양염류가 표수층으로 공급되어 오히려 조류의 성장을 촉진하는 수가 있으므로 심수층에 산소를 공급하여 다시 심수층에 공급하는 방법으로 성층을 유지하는 설비를 사용하는 것이 바람직하다. 특히 수심이 얇은 호수에서는 심층수를 순환시키면 조류의 폭발적인 증가를 유발할 수 있다.

산소가 소비된 심수층에서는 질산이온이 산소를 대신하여 전자수용체 역할을 할 수 있으므로 저질속에 질산염을 첨가하여 저질의 산화환원 전위를 높이고 철의 환원을 막을수 있다. 질산염을 저질표면에 유입시키거나 직접 저질속에 주입하는 방법을 사용한다.

4.2 살균·소독(Desinfection)

살균 및 소독을 위한 시스템은 순환여과 양식 시스템에서는 반드시 필요한 설비는 아니지만, 다목적으로 설치하는 경우가 있으며, 자외선 살균기(Ultraviolet Radiation), 오존 살균기(Ozone Generator)등을 사용한다.

4.2.1 자외선 살균기(Ultraviolet Radiation)

자외선(Ultraviolet)이란 전자파의 일부이며, 파장은 1 ~ 380nm($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)의 극히 작은 전파를 말하고, 살균에 필요한 파장은 240nm ~ 260nm 사이이며, 253.7nm의 파장이 가장 안전하고 효과적으로 작용한다. 이 자외선 파장은 세균을 살균하는 능력을 가지는데 박테리아 효모균 및 곰팡이와 같이 단세포 구조에 가까운 세균 일수록 살균 효과가 크다. 자외선 살균기는 양식수가 통과하는 층을 최대한 얇게 만들어 통과하는 과정에서 자외선을 조사하여, 살균효과를 좋게 한다.

(1)자외선이란?

자외선에 살균작용이 있다는 것은 바람에 쏘이거나 일광소독등과 같이 오래 전부터 경험적으로 해왔던 일이다. 자외선의 살균 기구에 대해서는 아직 완전히 알려져 있지 않으나 현재의 생각으로는 자외선의 조사(照射)에 의해서 세포내의 핵산(DNA)이 변화, 신진대사의 장애가 오고, 증식능력을 잃어 사멸한다는 것으로 생각되어지고 있다.

자외선(UV Light)은 가시광선의 파장(400nm)보다는 짧고 X선(100nm)보다는 긴 파장을 가진 전자 방사선을 말하며, 자외선의 파장은 다음과 같이 분류된다.

- ① UV-A:320~400nm
- ② UV-B:280~320nm
- ③ UV-C:100~280nm

자외선(Ultraviolet)이란 전자파의 일부이며 파장은 1 ~ 380nm($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)의 극히 작은 전파를 말하고 살균에 필요한 파장은 240nm~260nm사이이며

253.7nm의 파장이 가장 안전하고 효과적으로 작용한다.

박테리아 효모균 및 곰팡이와 같이 단세포 구조에 가까운 세균일수록 살균 효과가 크다.

r 선	X 선	자 외 선					가 시 광 선						적외선	전파선
		자외선극단	오존발생선	살균선	건강선	화학선	보라색	남색	파랑	초록	노랑	주황	빨강	
0.01	1.00	293~400nm (1~5%)					400~700nm(40~44%)						700이상 (55%)	nm

<Fig.> 태양광선의 분류

파장에 따라 구분해 보면 짧은 파장인 감마선으로부터 시작해 X선, 자외선, 가시광선, 적외선으로 구분된다. 태양은 늘 다량의 에너지를 지표면에 방사하고 있는데 그 방사에너지를 파장에 의하여 분석하면 다음과 같은 비율로 보여 준다.

293nm이하의 파장은 태양으로부터 방사되고 있으나 대기권을 둘러싼 오존층과 기타의 것에 의해 흡수되어 지표면에는 도달되지 않는다.

(2) 자외선의 4대작용

① 광화학 반응(화학선:365nm)

빛의 작용에 의해 일어나는 화학반응을 말한다-합성화학,형광작용.

② 홍반현상(건강선:297nm)

바다나 산등의 자외선이 강한 곳에서 특히 일어나는 홍반현상을 말한다.

③ 살균작용(살균선:253.7nm)

저압 수은램프에서 인공적으로 발생시킨다-각종 살균에 응용.

④ 오존(O₃)발생(O₃발생선:184.9nm)

(3) 자외선 투과율

많은 물질은 자외선을 투과하지 않지만 어떤 종류의 물질은 한정된 범위의 파장만을 투과한다.그 투과의 정도는 물질의 두께 및 성질에 따라 다르다. 일반적으로 투명한 물(음료수로 10-80cm정도:살균선 90%흡수), 공기 등은 투과가 양호하다.

※ 물질의 투과 한계 파장대는 물:185nm, 보통유리:300nm, 셀로판지:260nm, 공기:190nm,

(4) 자외선 살균효과에 영향을 주는 요인

① 습도의 증가

- 상대습도 60℃ 에서 살균효율 100%
- 상대습도 70℃ 에서 살균효율 67%
- 상대습도 80℃ 에서 살균효율 60%

② 기온의 저하

- 실온 20℃ -- 25℃ 최적
- 실온 15℃ -- 35℃ 큰 차이 없음
- 실온 0℃ 에서는 20℃ 일 때보다 60%정도의 자외선 출력

③ 풍속의 증가

살균등 주변의 온도의 20℃의 경우에 풍속이 증가하면 살균등 관벽의 온도가 내려가고 살균선 출력은 감소하다. 풍속이 매초 2M이상이 되면 자외선출력에 큰 영향을 준다

④ 살균시간

다음은 자외선 살균기로 각종 세균을 살균하는데 필요한 시간을 표시한 것이다.

균명/조사시간	균 수	5초	10초	30초	1분
대장균	3천만마리	생존	99.85%살균	99.99%살균	100%살균
고초균	10억만마리	생존	99.3%살균	99.9%살균	100%살균
비브리오 균	5만9천마리	100%살균	100%살균	100%살균	100%살균

4.2.2 오존 살균기(Ozone Generator)

오존이란, 3차 산소 원자로 산화를 통한 화합물로 강력한 산화작용에 의하여 세균성 미생물을 강력하게 제어한다.



<Fig.>자외선 살균기

오존은 1893년 이래 수처리 용으로 사용되었고, 지금까지 식품 저장뿐만 아니

라, 소독과 공기 정화 및 해독용으로 사용되고 있다. 양식장에서는 오존 발생 장치를 이용하여, 오존을 발생시키고 물속에 투여함으로써 살균 작용을 하게 된다.

(1) 오존이란?

오존이란 3차 산소 원자로 산화를 통한 화합물이다. 오존은 쉽게 인식할 수 있는 매우 특별한 냄새를 가지고 있는 푸른색을 띠는 수용성 불안전 기체이다.

오존은 원소 플루오르보다 더 강력한 산화제로 잘 알려져 있다. 또한 오존은 수처리기에서 가장 강력하게 이용가능하다. 오존은 박테리아와 바이러스를 염소 보다 3,125 배 더 빨리 억제하고 또한 50%정도 더 강력한 산화제이다.

보통의 박테리아, 즉 바이러스, 균류, 곰팡이, 노균병균, 낭포류의 억제 뿐만 아니라 E. Coli (대장균의 일종) 와 배설물에 의한 대장균을 제어할 수 있다. 오존이라는 이름은 특별한 냄새에서 유래하였고, 또한 냄새라는 말을 의미하는 그리스어 “ozien” 에서 유래하였다.

오존은 1893년 이래 수 처리용으로 사용되었고 지금까지 식품 저장뿐만 아니라 소독과 공기 정화 및 해독용으로 사용되고 있다. 오존은 공기나 물속에서 자유롭게 떠다닌다. 오존이 순환하면서 공기 중에 있는 병원균과 만나게 되면, 이 삼차 산소 분자가 오존으로 부터 자신을 떼어내어 , 그 자신을 오염 물질에 부착하여 안전한 화합물로 만든다.

오존과 산소의 원자 고리는 물의 원자 고리와 비슷하다. 산소 원자는 오존을 형성하기 위해 결합하고, 삼차 산소 원자가 오염물질을 산화시키기 위해서 분리된다. 오존은 산소가 있는 상태에서 자외선을 쬔 때 생성되는 것으로 산소원자 3개가 결합한 분자이다.

상온에서 무색의 기체이지만 15%이상의 고농도에서는 푸른색을 띠고 독특한 냄새를 갖고 있으며, 인체의 눈과 코를 자극하며 구토를 일으키게 하는 유독성 가스이다.

- ① 분자식 : O_3
- ② 분자량 : 48
- ③ 밀 도 : $2.14kg/m^3$ ($0^{\circ}C$, 1기압)
- ④ 융 점 : $-192.7^{\circ}C$ (760mmHg)
- ⑤ 비 점 : $-111.9^{\circ}C$ (760mmHg)
- ⑥ 용해도 : $0.57g/L$ ($20^{\circ}C$)

(2) 오존의 적용분야

오존은 세균의 살균을 비롯하여 아질산의 산화, 맛이나 냄새를 유발하는 물질의 제거, 탁도 및 용존 유기물을 제거하는 효과를 가지고 있다.

과거에 국내 양어장에서 도입하여 사용한 예가 있었으나 적당량의 오존농도를 맞추지 못

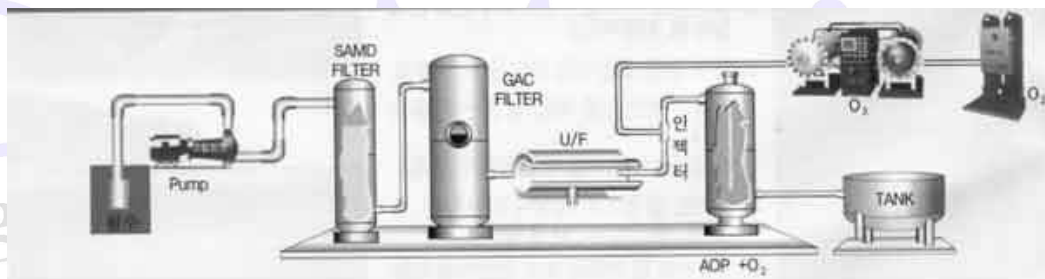
하거나 잔류오존을 처리하지 못해서 대량폐사를 한 경험들이 있어 사용을 기피하는 경향이 있으나 요즘은 사용법이나 기술적으로 많은 발전이 이루어져 점차 사용이 늘고 있는 추세이다.



(3) 오존의 발생방법

오존의 생성방법은 다양하지만 양식장에서 사용하는 오존 발생기의 발생 방법은 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 전 해 법 : 전기분해에 의한 오존 발생법
- ② 광화학법 : 자외선에 의해 산소분자가 산소원자로 해리되면서 생성된 기저 상태의 산소원자가 공존가스의 존재 하에 산소분자와 반응하여 오존을 생성한다.
- ③ 고주파 전계법 : 고주파 전계장에서 산소가스를 통과시키면서 오존을 생성
- ④ 코로나 방전법 : 유전체가 있는 전극간에 산소함유 기체를 통과시키면서 인가된 교류전압에 의한 방전에 의해 오존을 생성한다.



<Fig. > 양어장 오존처리 계통도

오존은 항상 산화 후에 오존의 원래 형태인 산소의 형태로 환원된다. 전기적으로나 자외선을 통해서 만들어진 오존은 산소 분자를 오존의 분자로 전환시킨다. 때때로 활성화 산소 또는 산소나 순수한 공기의 삼원소 동소체라고도 언급된다. 불안정한 기체이기 때문에 온도에 따라서 다르긴 하지만 이 기체는 약 20분 정도의 생명을 가지고 있다. 그리고 오존은 자신의 임무(탈취,

살균)후에 다시 산소로 환원된다.

4.2.3 자·오존살균 램프

일반적으로 자외선은 253.7nm,의 파장에서 발생되어 살균력을 갖지만 184.9nm에서는 오존을 발생시키는 자외선이 방출되어 탈취효과 및 자외선이 미치지 못하는 비조사면의 살균도 가능하게 하는 것이 자,오존 살균램프이다.184.9nm에너지는 산소에 의해서 흡수되며 유기 물질을 산화하는 오존을 만든다. 253.7nm에너지는 유기 물질들에 의해서 흡수되며 물질들의 분자 활동을 증가 시키어 오존과 반응하게 되는 것이다. 저압 램프에서 수은 방전은 다른 파장에서도 또한 에너지를 만들어 낸다. 253.7nm선과 비교하여 그것은 184.9nm에서 다른 양의 에너지를 생산한다.

일반적으로 오존 생성은 전기적 고압방전으로 이루어지기 때문에 질소산화물(NOx,SOx)등과 같은 유해물질의 동시 발생과 고전압에 따른 사용의 안전도등이 문제점으로 나타나지만 순수한 빛으로 오존을 생성시켜 유해 물질의 발생이 적고, 안전도에서 우수한 방법이다.

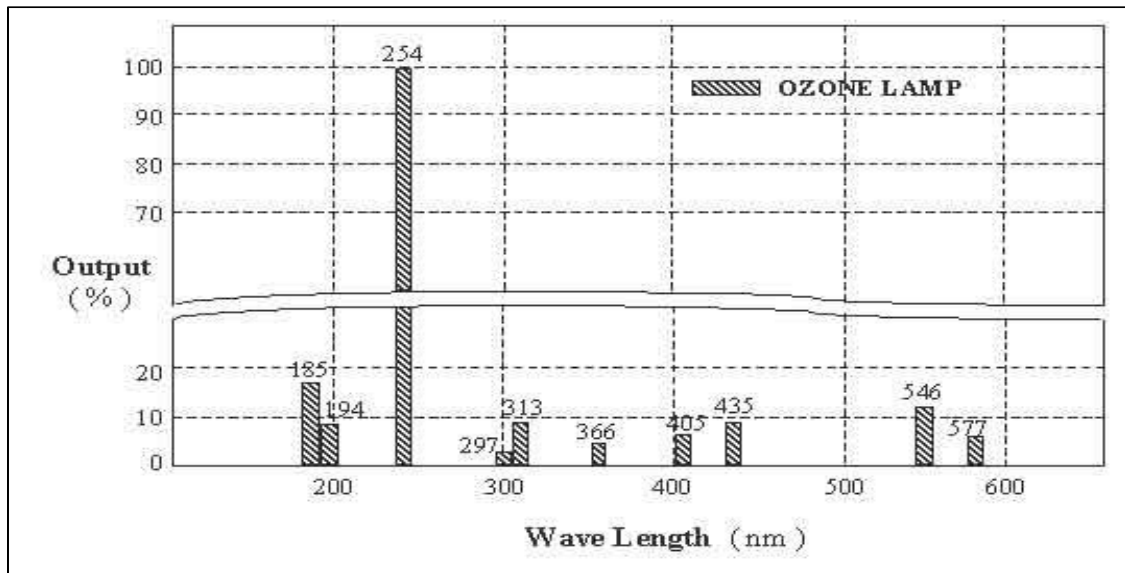
(1) 살균램프와 형광 램프의 차이

살균램프나 형광램프나 모두 관내에서 자외선이 발생하기까지의 과정은 같지만 형광램프의 경우는 석영초자의 내벽에 형광물질이 도포되어 있으며 자외선이 형광물질을 자극하여 파장이 긴 눈에 보이는 빛, 즉 可視光線을 발생시킨다.



〈그림〉 자외선 살균 등

이 가시광선을 밝기로 이용하는 것이 형광램프이다. 살균램프가 점등되어 있는 부분을 보면 파랗게 보여 살균선의 색과 혼동되지만 이것은 살균램프에서 나오는 보라, 남, 청, 녹, 황색의 각각의 색이 합성되어서 파랗게 보이는 것이며, 살균선 자체는 결코 눈에 보이는 것은 아니다.



〈Fig〉 자외선 등의 파장곡선

〈표〉 자,오존 램프의 수명 및 오존 발생량

출력(W)	램프길이(mm)	UV발생량 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	오존발생량	사용수명(hr)
3	95	15	10 mg/hr	20,000
4	126	25	20 mg/hr	20,000
5	146	40	25 mg/hr	18,000
6	166	40	30 mg/hr	15,000
8	203	45	50 mg/hr	9,000
10	235	50	0.8 g/hr	9,000
16	356	53	1.4 g/hr	9,000
17	380	58	1.6 g/hr	9,000
25	535	85	2.3 g/hr	9,000
32	692	112	3.0 g/hr	9,000
39	842	120	3.7 g/hr	9,000
65	1553	200	7.2 g/hr	9,000

(2) 안정기

자외선램프 또는 자오존 램프를 점등하기 위해서는 자외선램프용 전용안정기를 사용해야 한다.

전용안정기를 사용하지 않을 경우 대부분 점등이 되지 않는다(일반 램프와 자외선램프의 점등 형식이 다르기 때문이다).

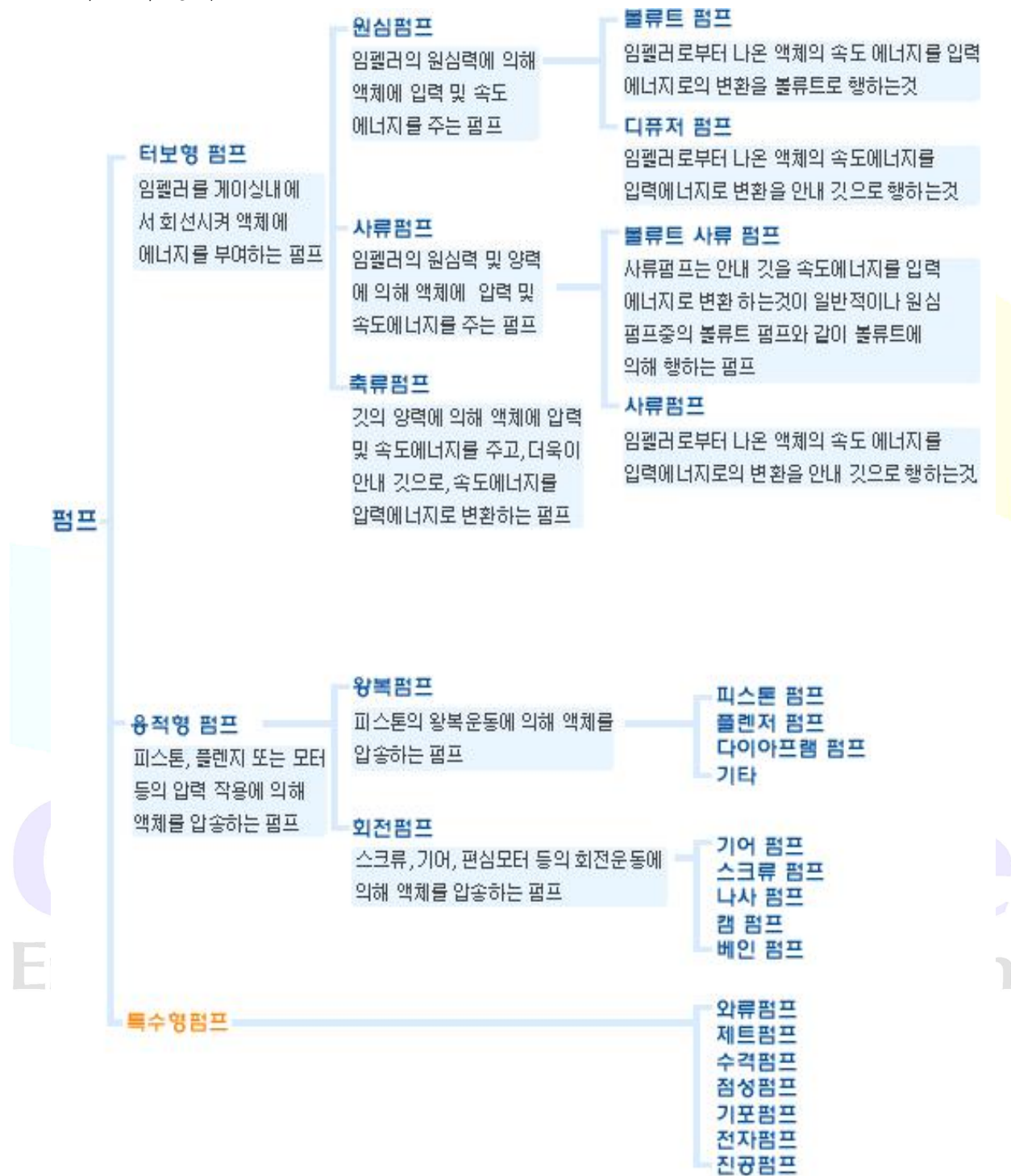
일반 안정기로 점등이 된다 하더라도 전용안정기를 사용하지 않으면

①자외선 램프의 수명이 짧아지게되고,

②자외선 출력에도 영향을 미치게 되므로 사용효율이 현저하게 저하된다.

5. 펌프시설

5.1 펌프의 종류



5.2 펌프의 원리

펌프는 흡입능력과 압상능력에 의해 물을 낮은 곳에서 높은 곳으로 올리는 역할을 한다.

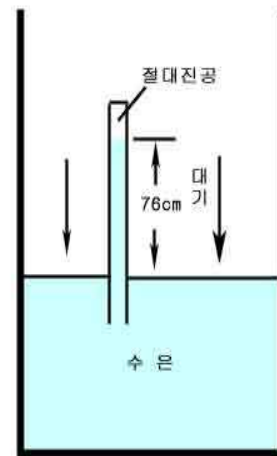
5.2.1 흡입능력

수은 속에 한쪽이 막힌 유리관을 넣고 막힌 쪽을 수직으로 세우면 수은면에서 76cm의 높이로 유리관 속에서 올라간다. 그 이유는 유리관 주변의 대기압이 밀고 있기 때문이며 유리관의 절대 진공에 의한다. 이를 물에 적용하면 수은의 비중은 13.6이며 이는 비중이 1인 물은 수은에 비하여 13.6배 가볍다는 의미로 수은에 비하여 13.6배 더 높이 올라갈 수 있다는 것이다.

따라서 $76\text{cm} \times 13.6 = 10.33\text{m}$ 이다. 즉 한쪽이 막힌 파이프를 세우고 어떠한 방법이든지 관내의 공기를 빼서 진공이 되도록 하면 관내에 10m 높이로 물이 올라간다는 현상이며 이 현상을 이용하며 펌프내에 진공을 만들어 물을 끌어 올리는 것이 펌프의 원리이며 흡입능력은 펌프가 절대 진공에 가깝도록 만드는 능력에 따라 달라진다.

보통 물 펌프의 흡입능력은 6m~8m 정도이지만 높은 진공도를 요하는 펌프를 만들기 위해서는 구조상 가격이 매우 비싸지고 사실상 상품화 하기가 어렵다.

1회만 흡수를 하면 다음은 흡수하지 않아도 되도록 설계되어진 펌프를 자흡식 펌프라고 하며, 운전 전에 펌프 본체 및 흡수관에 만수를 시키지 않으면 공회전 되고 펌프 작용을 못하도록 설계 되어진 펌프를 비자흡식(볼류트)펌프라고 한다.



5.2.2 펌프의 양정계산

(1) 펌프의 양정

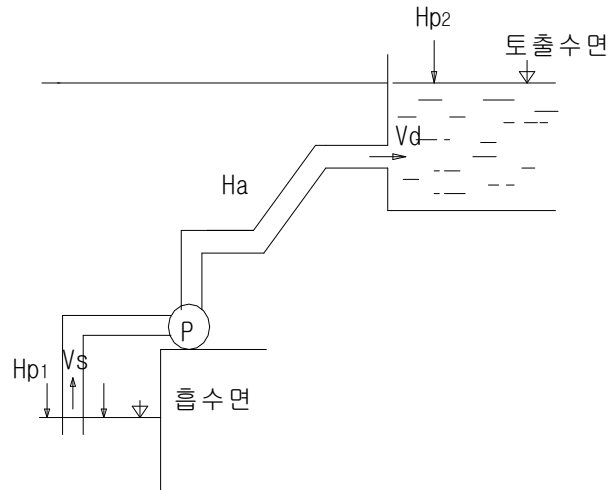
$$\text{상} \quad H_a + \Delta H_p + H_l \quad \frac{V_d}{2g}$$

$$\text{입 상} \quad H = H_a + \Delta H_p + H_l \quad \frac{(V_d - V_s)^2}{2g}$$

여기에서

- H : 전양정
- H_a : 실양정(흡수면에서 토출수면까지의 거리)
- ΔH_p : 수면에 작용하는 압력헤드 차($\Delta H_p = H_{p1} - H_{p2}$)
- 압력수두

지상의 모든 물질은 대기압을 받고 있는데, 높이에 따른 작용압력이 다르다. 흡수면에 작용하는 압력은 펌프의 흡상을 돕는 쪽으로, 토출관에 작용하는 압력은 펌프에 저항하는 쪽으로 작용한다. 그러나 대기 중에는 고저차가 극히 근소하므로 ΔP 는 0로 생각해도 무방하다.



- 속도수두 ; 물이 흐르는 b에는 유속에 상당하는 에너지가 필요한데 속도수두는 이 에너지를 말한다.
- 손실양정 (H_l) = H_f (직관손실) + H_v (밸브손실)
 - ▷ 직관손실 ; 관의 길이 100m당 손실수두 계산
 - ▷ 밸브손실 ; 엘보우, 푸트밸브, 슬로우스 밸브, 체크밸브 , 불밸브

5.3 펌프의 성능곡선

시중에 판매 되는 모든 펌프는 각각 성능을 표시하는 성능곡선을 가지고 있으며 펌프의 선정시 필요하다.

펌프 성능곡선에서 각 색깔은 펌프의 종류를 표현하는 것이고 왼쪽의 수직 곡선은 양정, 즉 펌프가 밀어 올릴 수 있는 높이, 하단부 수평선은 양수량을 표현한다. 위의 성능곡선에서 ⑥번 펌프의 경우 온양정이 20m일 때 양수량은 약 $9.5\text{m}^3/\text{hr}$ 가 됨을 알 수 있으며 양식장 설계 시 펌프를 선정하는 기준이 된다.

5.4 펌프배관 관련 현상

5.4.1 Cavitation(공동현상)

임펠러 입구가 높은 진공상태로 변하면 수중에 용해되어 있는 공기가 분리되어 기포가 발생한다. 이 기포가 고압부에 오면 소멸되지만 이것을 반복하면

진동 및 소음을 유발하여 펌프의 성능을 저하시킨다.

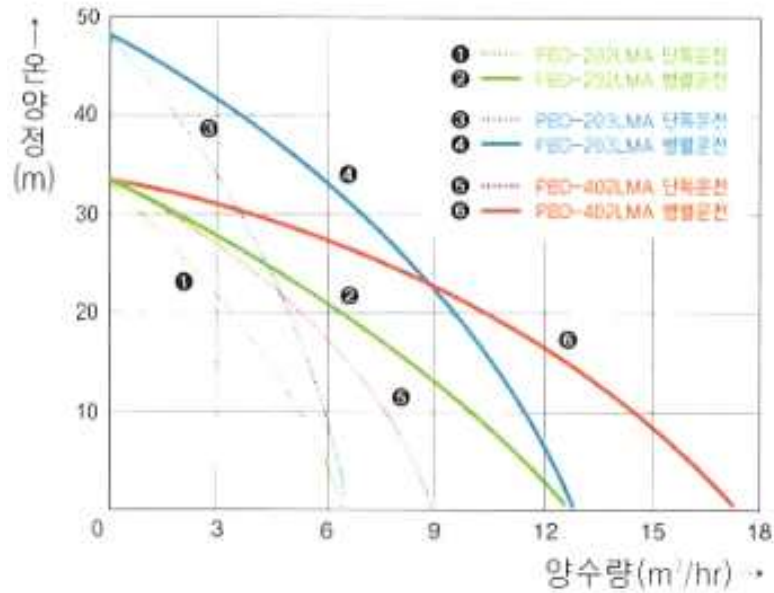


Fig. 펌프성능곡선

▷ 캐비네이션 방지책

- ① 흡입양정을 줄인다.
- ② 흡입관 손실을 줄인다.
- ③ 스트레이너 통수면적을 크게 잡고 청소를 자주한다.
- ④ 규정회전수내의 운전을 한다.
- ⑤ 양정에 필요이상의 양정을 잡지 않는다.

5.4.2 수격현상(Water Hammer)

관로 내 유체속도의 급격한 변화에 의하여 유체압력이 상승 또는 강하하여 관로에 충격을 주는 현상이며, 이러한 현상은 펌프가 운전 중에 정전으로 관로이 형상 등에 의해 발생하며 관내 물의 흐름을 전자밸브 등으로 갑자기 차단시켰을 때에도 이러한 현상이 발생한다.

5.5 펌프의 운전

5.5.1 운전전의 점검

- (1) 펌프를 손으로 돌려 보아 베어링의 상태를 확인하고 펌프 내부에 닿는 부분이 있는 가 없는가를 확인한다.
- (2) 시동 전 흡입관 쪽의 관로는 모두 열려 있어야 한다.
- (3) 시동 전 토출관의 관로는 모두 막혀 있어야 하며 펌프 가동 후 토출 측의 밸브를 서서히 열어 일정한 유량 및 압력이 되게 조정한다.

- (4) 펌프 내에 양액이 완전히 채워졌는지 확인한다.
- (5) 펌프와 전동기의 접촉부를 손으로 돌려보아 임펠러부, 축봉부 및 베어링부에서 이상 현상이 발생되는지 점검한다.
- (6) 삼상 전원이 공급되는 경우 예비 전원을 넣어보아 펌프의 회전 방향을 확인하고 역회전인 경우 결선을 바꾸어 준다.

5.5.2 펌프의 성능에 영향을 미치는 인자

(1) 공기

양수중의 공기의 유입은 급격한 양수량 감소를 나타내는데 시동시 항상 펌프 내의 공기를 빼고 물로서 펌프 내를 충만 시켜야 한다. 시운전시의 흡입 불량 의 90% 이상은 흡입측 공기가 원인이 된다.

(2) 수온

50℃까지는 보통 펌프로써 사용이 가능하고, 그 이상이 되면 구조 및 성능상 보완을 필요로 한다.

(3) 점도

점도는 펌프의 성능상 많은 영향을 미치게 되는데, 일반적인 양어의 경우 점도는 크게 영향을 미치지 않는다.

5.5.3 양식장용 펌프

양식장에서 주로 사용하는 펌프는 일반펌프, 취수펌프, 수중펌프, 고압펌프 등이 있다.

(1) 일반펌프

양식장에서 일반적으로 소량의 물을 이송할 때, 또는 순환을 시키기 위한 용도로 사용한다.

(2) 취수펌프

바다 또는 하천에서 양식수를 취수하는데 사용하는

펌프로 원심력펌프, 회전펌프, 왕복펌프 등을 주로 이용한다.

(3) 수중펌프

최근에 순환여과식 양식장에서 순환수용으로 가장 많이 이용되는 펌프가 수



<Fig.>인라인 펌프



<Fig.> 볼텍스 펌프

중펌프이다. 일반적으로 순환여과식 양어장에서는 순환수의 양정이 그다지 높지를 않기 때문에, 저양정, 고양수량 펌프를 사용하는것이 좋다.

저동력으로도 운전이 가능해져 운영비가 대폭 절감 된다. 이러한 저양정 고효율 펌프는 일반 산업용 펌프의 20~30%의 동력만으로도 운영이 가능하다. 이외 수중펌프는 지하수 수중펌프, 오배수 이송펌프 등 사용 목적에 따라 다양한 펌프의 종류가 있다.

〈표〉 저양정 고효율 펌프의 사양 예

동력 Hp(Kw)	전압(V)	배출 구경 (mm)	표준성능		최대성능		높 이 (mm)	중 량 (Kg)
			양 정 (m)	양 수 량 (m ³ /min)	양정(m)	양수량 (m ³ /min)		
0.5(0.4)	220	50	6	0.13	16	0.3	350	12
1(0.75)	220/380	50	10	0.20	15	0.5	398	16
2(1.5)	380	100	6	0.8	10	1.0	480	48
3(2.2)	380	100	8	1.0	15	1.6	620	65
5(3.7)	380	125	8	1.2	12	1.8	620	70
5(3.7)	380	150	4	2.0	8	3.0	860	95
7.5(5.5)	380	200	5	3.5	8	4.5	1000	115
10(7.5)	380	250	5	5.0	9	7.0	1120	190
15(11)	380	300	5	8.0	10	10.0	1200	220

(4) 고압펌프

고압펌프는 양어장에서 산소를 공급하기 위한 인젝터를 사용할 때 또는 산소 용해기 배관에 많이 이용하고 있다. 압력을 조절하는 부스터 펌프가 있고, 일반 입형다단 펌프가 있다.

6. 가온 및 냉각 시스템

양식하는 어류는 적정한 온도를 유지해 줘야 할 필요가 있다. 이를 위해서는 가온 장치 및 냉각 장치가 필요로 하는데, 가온장치로는 보일러, 히트펌프, 지열을 이용한 방법 등이 있으며, 특수한 경우에 발전소 등에서 배출되는 온배수를 이용하는 방법 등이 있다. 냉각 장치로는 냉각기, 히트펌프, 지하수를 이용하는 방법이 있다.

보일러는 사용하는 연료에 따라 경유보일러, 중유보일러, 벙커씨유 보일러, 가스 보일러, 전기보일러, 화목보일러 등으로 나눌 수 있으며, 구조에 따라 연관보일러, 수관보일러, 특수보일러(폐열보일러, 전기보일러, 특수유체 보일러)가 있는데, 연관

보일러와 수관보일러가 가장 흔히 사용된다.

6.1 보일러 (Boiler)

양식장에서 가온 방법으로 이용하는 가장 일반적인 방법이며, 사용하는 연료에 따라 병커유 보일러, 경유보일러, 화목보일러 등이 있으며, 최근에는 연료비 문제 등으로 인하여, 전기보일러가 많이 이용되고 있는 추세이다.

6.1.1 연관보일러

연관보일러의 구조를 보면 노에서 생성되어 순환하는 고온 가스가 지나가는 강철관 주위에 물이 있는데 그 물은 고온 가스가 순환하는 관에 의해 가열되어 증기가 되어 수면 위의 원통에 모인다. 연소 가스는 동체의 하부에서 뒤쪽으로 가서 연관을 통해 앞쪽으로 나와 굴뚝으로 빠진다.

연관 보일러는 지름이 큰 원통형 동체로 되어있다. 관은 수평, 수직 또는 경사지게 설치되어 있다. 보일러 작동에는 중량, 공간의 제한이 따르기 EOans에 화실은 일체식으로 조립된다.

화실은 강관의 이중벽으로 되어 있으며, 물의 순환을 위한 강관 사이의 공간을 마련한다. 강관은 증기압을 견디기 위하여 내부적으로 강화되어야 한다.

원래 난방장치와 동력발전을 위해 공장에서 널리 사용되었던 수평 순환식의 연관 보일러는 강관으로 된 1개의 원통형 동체를 가지고 있는데, 동체를 통해 한쪽 헤더(Header; 보일러 각 관을 말단에서 연결하는 곳)에서 다른 쪽 헤더까지 뻗어 있는 관들은 주요 전열면을 제공하며 헤더의 한쪽 부분을 위한 스테이의 역할을 한다. 연관 보일러는 설치와 작동이 쉽다는 장점이 있어 건물 난방과 공장의 동력 공급용 소규모 시설을 비롯해 증기기관차에 사용되기도 한다.

6.1.2 수관보일러

수관 보일러는 수관의 바깥 주위에서 순환하는 고온의 가스에 의해 수관 안의 물을 가열하는 방식의 보일러이다.

수관의 지름이 작으므로 고온과 고압에 대한 저항성이 크고 관의 수를 늘려 전열면을 크게 할 수 있다. 관은 증기 드럼의 바깥에 있다. 연관 보일러의 것보다 작은 증기 드럼은 전열면이 없으므로 고온·고압에서 잘 견딜 수 있다. 20세기초 증기 터보 발전기가 개발되면서, 연관 보일러보다 더 높은 압력과

온도에서 많은 증기를 생산하기 위해 개발된 이 수관 보일러는 매우 다양한 설계와 크기로 사용되는데, 보통 화력발전이나 선박의 증기 터빈용 또는 공장용, 대규모의 난방시설 등에 사용될 수 있어 현대에는 수관 보일러가 보일러의 주류를 이룬다.

수관 보일러는 구조에 따라 여러 종류로 나눌 수 있는데, 수평 수관 보일러인 밸브콕 보일러, 수관을



45° 경사지게 설치한 경사수관 보일러, 증기가 고온·고압이 되면 물의 순환량이 적어지는 단점을 보완한 강제순환 보일러, 보통 수관식 보일러의 전열 방식인 대류열에 의한 전열이 아닌 복사열을 흡수하는 복사보일러, 드럼이 없이 물이 수관으로 보내지는 드럼 없는 보일러 등이 있다.

6.2 사용연료의 따른 분류

사용하는 연료에 따라서 경유보일러, 벙커C유 보일러, 중유보일러, 가스보일러, 화목보일러 등이 있는데 벙커C유 보일러는 화력이 좋고 연료 가격이 싼 이유로 과거에는 양어장에서 주로 사용되던 보일러였으나 최근에는 대기오염의 문제가 대두되면서 많은 제약을 받고 있는 실정이다.

다음으로 최근 많이 설치되는 보일러로는 경우 보일러가 있는데 작게는 10만 Kcal의 용량부터 크게는 100만 Kcal이 넘는 대형 보일러까지 종류가 다양하다.

최근 들어 고비용의 연료비 때문에 화목 보일러에 대한 관심이 높아지고 있는데 아직까지 양어장에서의 도입은 쉽지 않지만 기술적인 개발을 통하여 연료비 절감의 목적으로 중·소형 양어장에서 이용될 수 있을 전망이다.

6.3 폐열회수기

가동시간과 가동회수가 많은 난방 보일러에(특히 양어장 보일러의 경우) 설치하여 온수 저장탱크와 폐열회수 온수기를 배관으로 연결하고 폐열회수기가 설치된 난방보일러가 운전 될 때마다 온수 저장탱크 내의 물을 펌프로 순환시켜, 폐열 회수기에서 열교환 함으로 온수 저장 탱크내의 온수가 식는 것을 억제하

는 원리로 폐열회수기를 설치한다.

위와 같은 원리로 해서 온수 저장탱크의 온도가 하강하는 속도를 억제하여 온수 보일러의 가동시간을 최소화 하여 연료를 줄일 수 있다. 예를 들어 계산하여 보면 온수탱크의 설정된 온수의 온도가 60℃ 일 때 탱크내 온수의 온도가 55℃로 내려갔을 경우 온수 보일러가 가동되어 다시 60℃로 올리기 위해서는 보일러의 효율이나 열손실을 무시 하더라도 물 저장량이 10톤일 경우, 분 당 5,597kcal의 열량이 필요하다.

▷ 335,821kcal/hr(30만kcal/hr보일러열량) /60min=5,597kcal/min,

▷ 10,000 l (저장량)×5℃ (55℃ 에서60℃ 로 올리기위한 온도차)=50,000kcal/hr

의 열량이 필요하고, 온도상승을 위해 보일러를 가동하게 되면 약 10분(50,000 kcal/hr/5,597kcal/min≒10min.)의 시간이 필요 하다.

10분 동안의 소모 연료량을 단순 계산 하더라도 43 l /hr(30만kcal/hr보일러의 연료소모량) /60min×10min≒7.2 l ×650원/ l (면세유기준) =4,680원이 소모되나 보일러가 정지되어 내부가 냉각 상태에서 가동되면 냉각된 연소실이나 관벽을 통해 열전도 손실이 발생하여 실제 물로 전달되는 전열 수율이 낮아져 이론값 보다는 더 많은 연료가 소모된다.

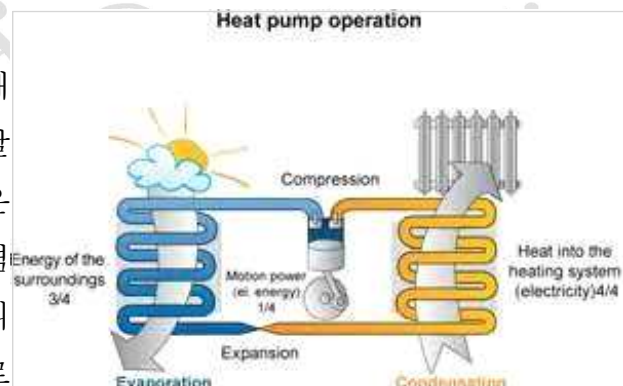
6.4 히트펌프 (Heat Pump)

6.4.1 히트펌프의 원리

열은 높은 온도에서 낮은 온도로 이동을 하게 되어있지만 히트펌프는 낮은 온도에서 높은 온도로 열을 끌어 올린다하여 붙여진 이름이다.

히트펌프는 공기열,지열, 폐열, 폐수열, 하천수열, 해수열 등 일정온도를 가지고 있는 열원을 그대로 이용하거나, 열교환기를 통하여 온도를 빼앗아 이를 에너지로 활용한다.

냉매의 발열 또는 응축열을 이용해 저온의 열원(熱源)을 고온으로 전달하는 냉방장치, 고온의 열원을 저온으로 전달하는 난방장치, 냉난방 겸용장치가 있다. 최근에는 양식장의 수온을 올리는데 보일러 대체용으로 많이 이용되고 있다.



6.4.2 히트펌프(Heat Pump)의 작동원리

히트펌프는 물을 양수하는 펌프의 개념은 아니며, 낮은 온도에서 높은 온도로 열을 끌어올린다 하여 붙여진 이름이다. 처음에는 냉장고, 냉동고, 에어컨과 같이 압축된 냉매를 증발시켜 주위의 열을 빼앗는 용도로 개발되었으나, 지금은 냉매의 발열 또는 응축열을 이용해 저온의 열원을 고온으로 전달하는 냉방장치, 고온의 열원을 저온으로 전달하는 난방장치, 냉난방 겸용장치를 포괄하는 의미로 쓰인다.

작동원리는 압축-응축-팽창-증발이라는 4가지 과정을 거치게 되어 있으며 난방과 냉방에 따라 다음과 같은 과정을 거치게 된다.

(1) 난방히트펌프

압축기에서 생성된 고온, 고압의 기체 냉매는 응축기에서 실내공기, 난방수에 의하여 열을 빼앗긴 후 저온, 고압의 액체냉매로 변하여 팽창밸브에서 저온, 저압상태가 되어 증발기에서 지열, 외기열 등 외부 열원에 의하여 저온, 저압의 기체상태가 되어 압축기로 보내진다. 이 때 응축기에서 발생된 열을 난방 및 급탕에 이용한다.

(2) 냉방히트펌프

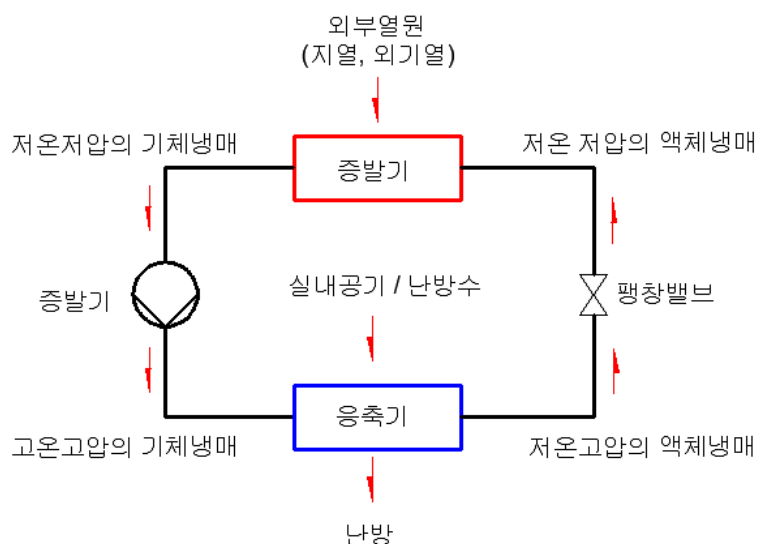
압축기에서 발생한 고온, 고압의 기체냉매는 응축기를 지나면서 외부열원(지열, 외기열)에 열을 뺏기고 저온, 고압의 액체가 되어 증발기에서 실내공기, 난방수의 열을 빼앗아 기체상태로 되어 압축기로 보내 지는데 이때 증발기에서 열을 빼앗기고 차가워진 실내공기 및 난방수는 냉방에 이용된다.

구동방식에 따라 전기식과 엔진식, 열원에 따라 공기열원식 · 수열원식(폐원열식) · 지열원식 등으로 구분된다. 또 열 공

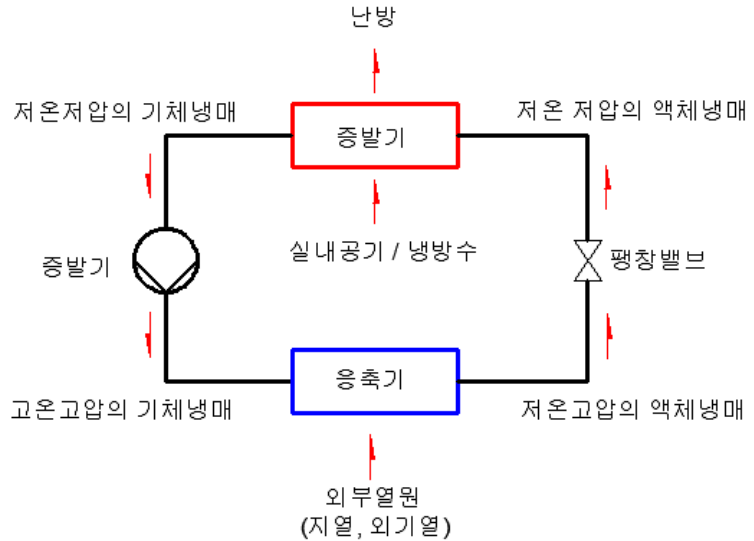
급방식에 따라 온풍식 · 냉풍식과 온수식 · 냉수식, 펌프의 이용범위에 따라 난방 · 냉방 · 제습 및 냉난방 겸용 등으로 분류된다.

(3) 냉각능력 계산

냉각능력은 보통 냉동톤, RT(Ton of



Refrigeration)로 계산하여 능력을 산정한다. 냉돈톤(RT)란 단위시간에 냉각하는 냉각열량(kcal/hr)으로 1RT는 0℃의 물 1Ton(m^3)을 24시간 동안에 0℃의 얼음으로 만들 때 냉각해야 할 열량 (1RT = 3,024 kcal/hr) 예를 들어 50 m^3 의 물을 냉각기(Chiller)를 이용하여 냉각된 해수 10℃와 외부공급수 25℃ 사이에 열교환을 통하여 20℃를 유지 하려는 경우의 냉각 톤은



$$(50 m^3/hr) \times (1000 kcal/m^3 \cdot ^\circ C) \times (5^\circ C) = (250,000 kcal/hr) \div (3024 kcal/hr/RT) \approx 82.6 RT$$

양식장의 경우 여름철에 수온을 낮추기 위하여 지하수를 냉각 열매체로 사용하는 경우가 있다. 여름철 외부 수온 또는 내부 수온이 27℃인 경우 지하수를 직접 열교환 매체로 이용하는 경우의 필요한 수량을 계산해 보면 (지하수 온도 16.5℃ 가정)

$$(50 m^3/hr) \times (1000 kcal/m^3 \cdot ^\circ C) \times (5^\circ C) = Q \times (1000 kcal/m^3 \cdot ^\circ C) \times (20.0 - 16.5^\circ C)$$

$$Q = (250,000 kcal/hr) \div (3500 kcal/m^3) = 71.4 m^3/hr \approx 1,713 m^3/일$$

∴ 지하냉각수 필요량은 1,237.2 m^3 /일

6.5 냉각기

냉온성 어류, 즉 해삼, 명태, 새우 등의 저온성 어류를 양식할 때, 여름에는 온도를 낮춰 줄 필요가 있다. 이때는 보일러를 사용하는 것과는 반대로 냉각기를 사용하여 온도를 낮춰준다.

6.6 가온, 냉각 보조장치

가온 및 냉각의 효과를 더하고 연료비를 절감하기 위하여, 열교환기, 폐열회수기 등의 보조 장비를 이용한다.

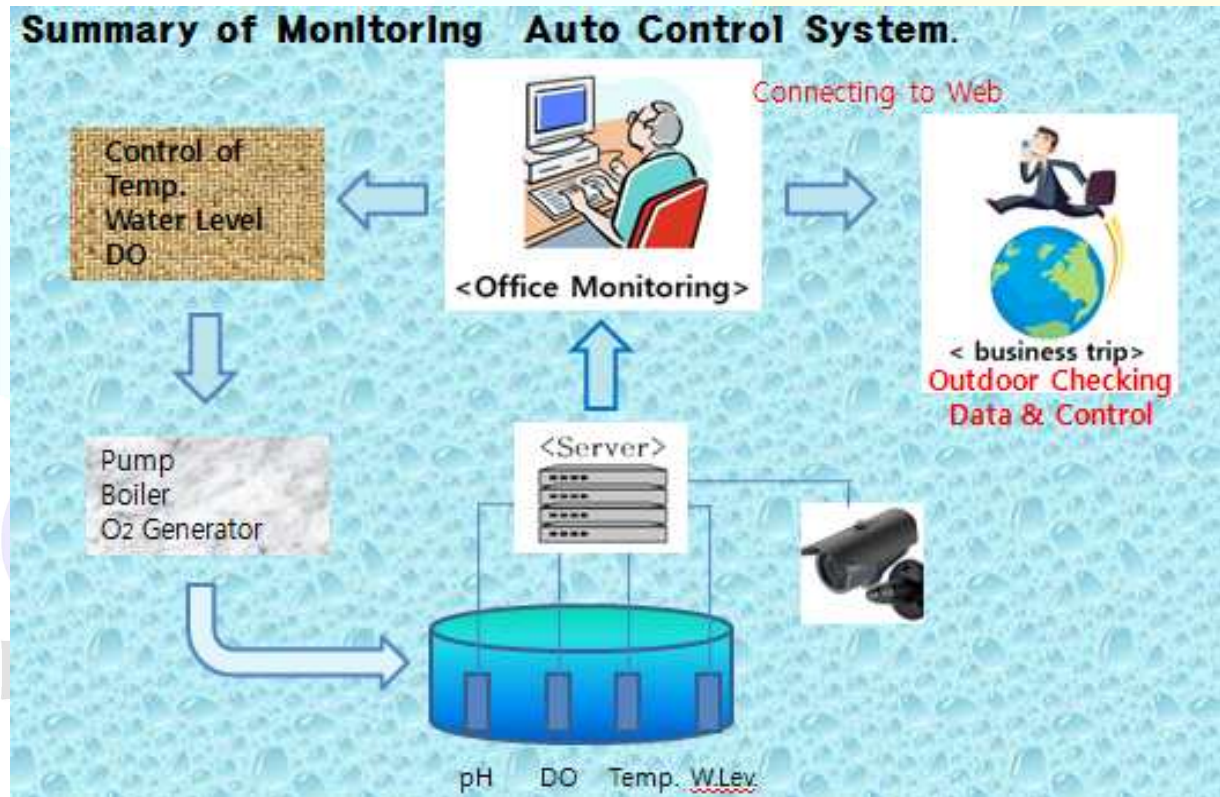
7. CO₂ 제거 시스템

이산화 탄소는 순환여과식 양식 시스템에서 여과 과정 중 최종 부산물로 발생되며, 이산화탄소는 물에 용존성이 매우 우수하기 때문에, 반대로 물에서 분리하기가 어렵다. CO₂는 수중의 pH를 저하시키거나, 생물 대사를 방해하기도 한다. 이 CO₂는 압축 탈가스 제거장치에 의하여 제거한다.

8. 시스템 자동제어 및 감시시스템

양식시스템은 많은 펌프 및 기계류들로 연결되어 있어, 관리자가 일일이 점검하기가 쉽지 않으므로, 이들 기계류 및 펌프들을 감시하고 제어하는 시스템이 필요하며, 수질관리는 측정에서 운용까지 모든 것을 자동화 할 수 있다.

수질 측정은 DO, pH, 수위, 유량, 수온, 온도 등을 연속 측정 할 수 있으며 이를 자동 제어 할 수 있다.



<Fig> 모니터링 및 제어 시스템 모식도