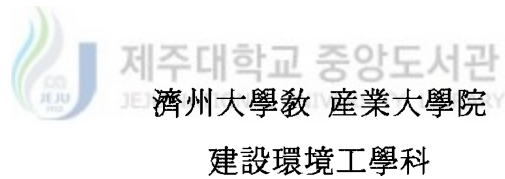


碩士學位論文

제주지역 육상해산어양식장의 친환경적
환경관리방안에 관한 연구



朴 根 秀

2002年 12月

제주지역 육상해산어양식어업의 친환경적 환경관리방안에 관한 연구

指導教授 許 木

朴 根 秀

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2002년 12月



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

朴根秀의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 李 起 浩 (인)

委 員 趙 恩 一 (인)

委 員 許 木 (인)

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

2002년 12月

The Study for Philenvironmental Control Counterplan of Marinefish Aquafarm in Jeju Island

Keun-Soo Park

(Supervised by Professor Mock Huh)

A thesis submitted in pattal fulfillment of the requirements for
the degree of master of engineering
2002 . 12.

This thesis has been examined and approved.

Department of Environmental Engineering

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

I. 서론	4
II. 이론적 배경	6
1. 양식장 수질오염 규제 현황	6
1) 국내 양식장 수질오염규제현황	6
2) 외국의 양식장 수질오염 규제 현황	8
2. 양식사료의 분류와 특성	11
1) 사료의 종류와 기능	11
2) 사료 공급법	13
3) 사료 계수	14
4) 저오염 부하사료	15
5) 사료의 성분과 수질변화	18
3. 양식장 수질관리	20
1) 순환여과식 해산어류 양식의 발전	20
2) 순환여과식 양식의 특징	21
3) 순환 여과식 양식장의 예	21
III. 연구내용 및 고찰	25
1. 양식시설 현황	25
2. 배출수 처리시설현황	26
1) 침전지+드럼필터	28
2) 경사스크린	28
3) 침전지+경사스크린	29
4) 침전지+3단계거름망	30
5) 드럼필터	31
6) 침전지	32

7) 3단계거름망	33
3. 취수시설 및 환수율	35
1) 취수 및 사육수조의 취수방법	35
2) 취수시설 및 취수량	36
3) 사육수조와 어류수용량과 환수율	36
4. 배출수 수질특성	37
1) 조사 지역 및 조사방법	37
2) 해산어육상양식장에서의 수질	38
5. 각 해역별 양식장 배출수에 의한 수질오염부하량 추정	50
1) 미처리시 수질오염부하량 추계	50
2) 현재시설에 의한 처리시 수질오염부하량 추계	51
6. 배출수 규제방안 비교고찰	52
IV. 결론	56
V. 참고문헌	58



ABSTRACT

In this study, this researcher could draw the following conclusion from the result that this researcher examined, analyzed and compared all sorts of breeding facilities and the feature of water quality etc. so as to solve mutually colliding social points at issues to be the continuous development of fishery for marine fish breeding and the environment protection of coastal fishery.

1. Facilities such as the mixture facilities of settling tank and 3 step screen, the mixture facilities of settling tank and gradient screen, the facilities of settling tank, the facilities of settling tank and drum filter, the facilities of drum filter, and the facilities of gradient screen etc. are being installed and operated as the treatment facilities of discharge water at the breeding ground of marine fish in jeju, but the treatment efficiency of all of them is extremely weak, and also, this researcher could confirm many points at issues in maintenance and management and uneconomical efficiency, and inefficiency.

2. As for the forms of water at the breeding ground of marine fish in jeju, the methods of the water of natural seawater, the water of underground seawater, and the parallel water of natural seawater and underground seawater were being used in accordance with local features, and water exchange ratio is increasing by areas gradually in accordance with the easiness of security of this seawater etc. So, this researcher could forecast the increase of pollution load at the sea area of discharge which is based on it.

3. As the result that this researcher examined and analyzed the feature of water quality for discharge water by scales(large-size, middle-size and small-size of total area of water tank) and by seasons(summer and fall) at the breeding ground of marine fish, the feature of water quality that the concentration change of each pollutant of water quality is greater as scale is smaller, that the discharge concentration of pollutants at autumn in comparison with summer is low, and that

all the pollutants are discharged into the form of residual feed within 1-3hours appeared.

4. The load amount of discharge of total pollutants(residual feed amount) by each sea area of discharge which considers the appearance amount of residual feed and the treatment efficiency of present discharge facilities amounts to about 12.1 ton per 1 day. And, it was calculated that the Eastern sides of jeju island such as Jocheon, Koojoa, Sungsan, pyosun, and Namwon occupy about 78%.

5. Supply feed at the breeding ground of marine fish was transferred from raw feed to mixed wet feed(moist pellet), but it is judged that the conversion to the combined dry feed of low pollution type(EP: expansionor extruded pellet) is necessary.

6. Breeding fishery of marine fish at jeju is flowing water type in local feature, and water exchange ratio is great. So, the quantity of use seawater is excessive and the concentration change of discharge water is extreme. Thus, it was judged that pollution control to be based on the methods of concentration control to be package all over the country or total amount control is uneconomical and inefficient.

Thus, so as to control this effectively, the development of breeding fishery and the conservation of local environment will have to be achieved through the collection of control scheme of circulation ratio for the breeding fishery of marine fish at jeju which leads the change from the breeding fishery of flowing water type into the form of breeding fishery of circulatory filtration type by increasing recycle ratio by years and stages gradually in consideration of local speciality.

I. 서론

해양수자원의 국가간 이기주의로 인하여 해양에서의 수산자원 포획이 점차 어려워짐에 따라 기르는 어업이 날로 증가되어 가는 현상이다. 육상양식어업의 경우, 물환경 오염의 원인으로 분류되어 수산자원이 부족한 우리나라에서 양식어업에 큰 위기를 맞이하고 있다. 또한 육상양식어업의 배출수 처리시설의 시설기준이 과학적 근거없이 강화시키려는 움직임이 있고 이는 국제경쟁력과 산업육성 측면에서 매우 시급히 해결되어야 할 과제이다.

과학적이고 합리적인 근거하에 배출수 처리시설 기준이 강화되어야 하며 이는 환경적인 측면과 경제적인 측면, 기술의 수준 등을 고려하여 단계적으로 강화 설정되어야 한다. 따라서 근거있는 기준설정과 시설의 개선방안은 1차산업의 육성을 위한 환경보전과 동시에 산업기반조성에 큰 기여를 하며 차세대의 양식산업에 좋은 계기가 될 것이다.

이에, 제주도는 주변해역이 동계라 할지라도 연안수의 최저수온이 우리나라에서 가장 좋은 14℃를 유지하고 있으며, 연간 16~18℃정도인 양질의 지하해수가 다량 용출되고 있으므로 육상수조를 이용한 양식어업(특히 넙치 양식업)을 위한 좋은 환경조건을 갖추고 있다. 따라서 이러한 자연환경자원을 이용한 육상수조식 양식어업이 1986년부터 봄을 일으켜 전연안을 따라 개발하기 시작해서 2002년 2월 현재 총 222여 개소가 기개발되었거나 개발 중에 있다. 그러나 이와 같은 양식장이 과다 개발됨에 따라 이들 양식장에서 배출되는 양식장배출수로 인한 연안어장의 환경오염 등으로 지역 주민들과 마찰이 생겨 민원이 다발되고 있는 실정이다.

양식장의 배출수에 대한 규제는 1992년 수산업법에서 육상양식장내에 배수침전시설을 10m² 이상을 갖추도록 규정하는 것을 처음으로 시작했으며, 이후 수산업법과 수질환경보전법의 개정이 이루어졌으나 이들 규제의 집행에는 현실적 어려움이 많아 수산청 및 양식업체의 요청하에 유보가 이루어졌다. 그리고 최근에는 수질오염방지시설 설치기준이 설정되고, 수질환경보전법에서 육상양식장 시설을 기타수질오염원으로 규정하

여 규제기준을 마련하고 있는 단계에 있다.

특히, 제주지역 육상해산어 양식시설은 양식배수의 재사용이 없는 유수식이며, 넙치 사육의 특성상 섭이후 잔존사료의 유출에 따른 일간 수질의 변동폭이 크기 때문에 일률적인 배출허용농도규제 혹은 총량규제의 적용은 그 객관성과 적용효용성에 다소 문제점들이 지적되고 있다. 이와 같은 연안어장 환경의 보전과 지역 및 국가경제의 발전이라는 서로 상반된 사회적 욕구를 원활히 충족시킬 수 있는 합리적이고 과학적인 제주지역 해산어 육상양식장 환경관리 규제방안이 시급히 마련되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 제주지역에서 현재 운영되고 있는 양식장의 시설 및 관리 현황을 환경적 측면에서 종합조사·정리·분석함과 아울러 사육규모별 배출수의 수질특성을 파악하여 각 방류해역별 수질오염 배출부하량을 산정하고 이를 근거로 합리적이고 과학적 객관성이 있는 친환경적 환경관리방안을 제시하고자 한다.



II. 이론적 배경

1. 양식장 수질오염 규제 현황

1) 국내 양식장 수질오염규제현황

내수면 양식장은 토지이용의 규제, 배출시설의 시설설치 규제가 이루어지고 있으나, 현재 침전시설 관련규정의 삭제와 배출기준 농도 설정 검토 등 규제 방식의 변경이 검토되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 법적 규제 방법의 변경은 엄격한 관리와 지역에 따른 배출기준의 설정, 많은 통계의 확보와 사전 조사, 오염제거비용의 증가, 인력 및 기술상의 어려움 등 현실적인 문제가 많이 남아 있다.

1992년 4월 수산업법 개정시 육상양식장의 배수침전시설을 10m²이상을 갖추도록 규정한 것이 양식장의 수질오염방지 시설에 대한 첫 번째의 규제였다. 1994년 5월 개정시에 양식 수조시설의 5%이상을 갖추도록 의무화하였다. 그러나 1994년 11월, 환경부는 수질환경보전법시행규칙 개정시 수조식 육상양식어업시설을 「특정시설」로 추가하면서 사육시설면적 20%이상 침전시설 또는 동등이상의 효율을 입증할 수 있는 수질오염방지시설 설치와 사료찌꺼기, 배설물, 기타 슬러지 등의 적정처리, 폐사어로 인한 수질오염방지와 항생제 과다사용 금지 등의 포괄적 조치사항을 규정하였다. 2000년 10월에는 특정시설을 「기타수질오염원」으로 개정하였다.

환경부는 1994년 수질환경보전법시행규칙 개정시 배출시설 규정을 수산청에 의견조회를 시행하였는데, 당시 수산청은 「이미 수산청에 5%의 시설 기준이 있으므로 환경부의 시설기준을 수산청의 기준과 일치시켜 주기를 바란다」는 내용으로 회신하였다. 그러나 이에 불구하고 환경부는 시설기준을 20%로 상향조정하였으며, 추가적인 입법 예고와 수산청에 대한 추가적인 의견 조회도 시행하지 않았었다. 또한 법제처의 법제심사사에도 환경부의 개정안이 수산청의 관련규칙과 상충되고 있다는 사실이 심사과정에서도 걸러지지 못하고 개정 공포되었다. 이러한 환경부의 시행규칙 개정에 의해 양식장의 배수침전시설이라는 동일 시설물에 대하여 서로 다른 두가지 시설기준이 적용되기 시작하였다.

Table 1. Induction and change of water pollution system in aquafarm

1992. 4. 24	수산업법 - 육상 양식장의 배수침전시설을 10m ² 이상을 갖추도록 규정
1992. 8. 8	수질환경보전법 개정 - 양만장 또는 일반양어장과 수조식육상양식어업시설을 특정시설로 추가(시설 규모 : 1000m ³ 이상)
1994. 5. 14	수산업법 개정 - 양식 수조시설의 5% 이상을 갖추도록 의무화
1994. 11. 11	수질환경보전법 개정 - 특정시설 대상 규모 : 1000m ³ → 500m ³ - 사육시설 면적 20% 이상의 침전시설 또는 동등 이상의 효율을 입증할 수 있는 시설 설치 의무화 - 1995년 11. 11 까지 유예기간 설정
1996. 1. 8	수산청 및 양식업체의 유보 요청 - 침전시설 부지 확보 곤란, 경제적 부담 등의 이유로 제도 시행 시기를 유보 요청 - 유예기간을 1995. 11. 11 → 1998. 12. 31까지 연장
1998. 7. 22	수질오염방지시설 설치 기준 설정 - 사육시설 면적 20% 이상의 침전시설 - 간극 1.2mm 이하의 경사 또는 드럼스크린 - 1999년에는 3단계 거름망까지 인정
2000. 10.	수질환경보전법 - 양만장 또는 일반 양어장과 수조식 육상 양식 어업시설을 「기타수질오염원」으로 규정
현 재	수질환경보전법 - 양만장 또는 일반 양어장과 수조식 육상 양식 어업시설을 「기타수질오염원」으로 규정 양식장 배출수의 배출농도 기준 설정 위한 조사가 진행 중 - 해 면 : 해양수산부 국립수산진흥원 - 내수면 : 환경부 국립환경연구원

수산청에서는 1996년 1월에 침전지 설치부지면적의 확보가 곤란하고 시설설치에 따른 경제적 부담 등을 이유로 제도시행 시기 유보를 요청하였고, 이에 따라 1998년 12월 31가지 유예기간을 두었다가 1999년 1월부터 시행에 들어갔다.

1998년 7월에는 수산청, 시·도 및 양식업체 등의 의견을 수렴하여, 사육시설면적

20%이상의 침전시설과 동등효율을 인정할 수 있는 수질오염방지시설인 드림스크린과 경사스크린의 설치기준을 정하였으며, 이후 1999년에는 3단계 거름망까지 동등효율시설로 인정되었다. 이후 환경부는 배추침전시설의 시설기준의 문제점과 민원제기에 따라 침전시설의 20%면적 규정의 삭제와 육상양식시설 배출수의 방류수 수질기준을 검토하고 있는 중이다. 즉, 현재 양식장 배출수에 대한 시설 기준이 방류수의 농도 기준으로 그 규제 방식이 전환될 것으로 전망되고 있다.

기존의 시설기준은 사육시설 면적 20%이상의 침전시설 또는 드림·경사스크린과 5%의 침전시설을 설치만 하면 배출수에 대한 규제 의무를 이행한 것으로서 사후 관리에 대해서는 의무화된 규정이 없지만, 배출수의 농도 기준이 적용된다면, 처리시설의 종류와 규모에 상관없이 배출수의 농도를 기준 이하로 처리 후 배출하여야 한다. 침전조의 경우는 처리효율을 지속적으로 유지하기 위해서는 적정 주기에 따라 침전조의 청소가 필요하게 되고, 드럼필터 또는 기타 기계적 여과장치의 경우에도 지속적인 관리가 필요하게 된다.

2) 외국의 양식장 수질오염 규제 현황

외국에서의 양식장 배출수 규제는 Table 2에서와 같이 법규의 유무, 특성과 배출수의 수질 기준 등이 국가마다 차이가 있다. 그리고 덴마크의 경우는 Table 3에서와 같이 양식 관련 법규가 매우 포괄적이고 제한적이며, 내수면양식과 해면양식의 법규가 각각 다르게 적용되고 있다. 그러나 그 기본 원리는 양식장으로부터 배출되는 질소와 인등의 영양염에 대한 규제를 최대 사용 가능한 사료량으로 제한한다는 공통점을 가지고 있다. 1989년 환경처(Ministry of the Environment)의 내수면 양식장에 대한 법규는 내수면 양식장의 사용 가능한 사료량과 양어장의 설계, 사료의 조성 및 행정적인 절차에 관한 기준을 규정하고 있다. 사용 가능한 사료량은 지난 5년간의 양식 생산량, 배출수가 유입되는 수계의 유량과 배출수 유입되는 수계를 같이 사용하는 인근 양식장의 존재 여부 등을 고려하여 결정된다. 사료 계수는 1989년 이전에는 1.2, 1990~91년에는 1.1, 1992년 이후에는 1.0이하로 그 기준을 점차적으로 상향 조정하면서 오염 부하량을 감소시키고자 하였다. 그러나 오염 부하에 결정적인 영향을 주는 사료의 질소와 인의 오염부하량이 높게 추정되어 있으며, 이로 인해 양식장의 적정 생산량은 실제 생산 가능한 양보다 낮게 책정되어 있다는 것이 보고되고 있다(국립수산과학원,

2000). 양식장 설계는 침전장치의 설계와 시설, 배출구의 위치 등의 기준을 준수해야 하며, 양식 사료는 총에너지 함량, 질소와 인의 함량 등을 기준으로 규정하고 있다 (Table 3). 양식장 배출수의 수질에 대해서는 유입수로부터 증가될 수 있는 증가 허용 농도로 제한하고 있다.

Table 2. Each contry farm effluence water criteeria

	최대허용농도(mg/L)					증가허용농도(mg/L)		
	독일	이탈리아	프랑스	덴마크	잉글랜드	Idaho주		Vergina주
						냉수성	온수성	
BOD	10	40		1	2			10
COD	30	160						
SS	0.3	0.5	5	3	5	5(10)	15(25)	15
TP		10	0.5	0.05		0.1(0.16)	0.2(0.32)	
NH ₄ ⁺ -N		1.5	0.5	0.4	0.5			30Kg/d ²
NO ₂ ⁻ -N		0.6	0.1					
NO ₃ ⁻ -N		20	1					
TN				0.6				
TOC			1					

1. 월간 평균 농도값, ()는 일최대허용농도

2. Vergina주의 암모니아성 질소의 증가 허용치는 일간부하량으로 규정되어 있음.

자료제공 : Idaho의 양식장 배출수 관리 지침(State of Idaho. Division of Environment, 1997), 국립수산과학원, 양식장 배출수 처리방안(2000)

Table 3. The cultivation feed composition and criteria of Denmark

	~1990	~1991	1992~
사료계수	1.2이하	1.1이하	1.0이하
총열량	5.6Mcal/Kg이상	5.8Mcal/Kg이상	6.0Mcal/Kg이상
총에너지함량	70%이상	74%이상	78%이상
질소함량 (Feed dry weight)	9%이하	9%이하	8%이하
인 함량 (Feed dry weight)	1.1%이하	1.1%이하	1.0%이하

자료 제공 : 국립수산연구원, 양식장 배출수 처리방안(2000)

양식장의 배출 처리 시설로 침전조가 설치되어 있어야 하며, 수로 형태의 침전조의 경우 체류시간 25분 이상, 면적으로는 15% 이상, 6주 감격의 주기적인 청소가 기준으로 되어 있다.

독일은 대부분의 양식이 조방적 또는 준조방적으로 배출수와 관련된 환경문제는 크게 발생하지 않고 있다. 양식장 배출수에 적용되는 기준은 BOD 10mg/L, COD 30mg/L, SS, 0.3mg/L 이하이다. 이탈리아는 특별한 법은 없지만, 내수면의 보호를 위해 배출수의 BOD 40mg/L, COD 160mg/L, 총인 10mg/L 등과 같이 항목별 최대 허용 기준 농도를 'Legge Meril' 으로 정하고 있으나 유입수의 농도는 전혀 고려되지 않고 있다. 따라서 고농도의 유입수를 사용할 경우는 매우 불리하게 된다(Table 3).

미국에서의 양식장 배출수 규제 기준은 EPA에 의해 규정되어 있지만 각주마다 배출수의 기준은 차이가 있다. Idaho주의 양식장 배출수 관리 지침은 송어 양식장의 적정 사육량 및 침전시설에 대한 기준을 제시하고 있으며, 적정 사육 용량은 시간당 1Kg의 송어에 의해 200mg의 용존산소가 소모되는 것을 기준으로 하고 있다. 침전시설의 설계는 수면부하율 0.4cm/sec를 기준으로 하고 있다. 양식시설은 수로, 못 또는 이와 유사한 구조물에 어류를 보관, 육성하는 시설로서 연간 30일 이상 오염물질을 배출하는 시설을 대상으로 하고 있다. 냉수성 어종의 경우 연간 생산량 9.1톤, 월간 사료 사용량이 2.3톤, 온수성 어종의 경우 연간 생산량이 45톤 이상인 시설이 해당된다. 이들 시설은 Table 4와 Table 5의 배출기준에 맞추어 양식장 배출수를 방류하여야 한다.

Table 4. The effluence criteria of the water saved farm

(unit : mg/L)

	월간평균농도		일간최대농도		순간최대농도	
	냉수성	온수성	냉수성	온수성	냉수성	온수성
총부유물질농도	-	-	-	-	-	-
부유물질의 증가허용농도	5	15	10	25	15	29
총인 농도	-	-	-	-	-	-
총인의 증가허용농도	0.10	0.20	0.16	0.32	0.18	0.36

자료제공 : 국립수산과학원, 양식장 배출수 처리방안(2000)

Table 5. The effluence of the straighted farm

(unit : mg/L)

	월간평균농도		일간최대농도		순간최대농도	
	냉수성	온수성	냉수성	온수성	냉수성	온수성
총부유물질농도	-	-	-	-	-	-
부유물질의 증가허용농도	5(67)	15(100)	10(-)	25(67)	15	29
총인 농도	-	-	-	-	-	-
총인의 증가허용농도	0.10(0.7)	0.20(1.0)	0.16(0.7)	0.32(1.0)	0.18	0.36

※()내는 수확기간 동안의 제한 농도

자료 제공 : Contact aquaculture@hanmir.com 21C Inland Fisheries Information for more information, 국립수산과학원, 2000

2. 양식사료의 분류와 특성

1) 사료의 종류와 기능

근년 국내 내수면 어류양식의 쇠퇴와 반대로 해산어류 양식이 활성화됨에 따라 넙치와 조피볼락용 분말 배합사료의 생산이 큰 폭으로 증가하였다. 하지만 분말 배합사료는 습사료를 제조하기 위해 사용되는 보충사료로서의 기능을 할 뿐 해산어류가 섭취하는 먹이의 90%이상은 생어로 구성되고 있다.

지난해 양식용 배합사료 총 생산량은 110,875톤으로 담수어용 47,728톤에 비해 해산어용이 63,147톤으로 크게 증가하였다. 그러나 해산어용 배합사료의 생산현황을 보면 넙치용 사료는 대부분 분말사료이며 기타 어종은 pellet을 사용하고 있다. 그러나 최근

들어 생어의 가격 폭등으로 인하여 pellet사료의 사용량이 점차 증가하고 있는 추세이긴 하지만 여전히 치어단계의 넙치양식에 국한되고 있다. 그리고 배합사료는 크게 습사료, 반습사료 및 건조 사료로 구별할 수 있다. 습사료는 수분이 50~ 75 % 함유되어 있고, 반죽 또는 모이스트 펠릿(moist pellet) 형태로 만들어진다. 반 습사료는 수분이 20~ 30 % 함유되어 있고, 습사료와 같이 반죽 또는 모이스트 펠릿의 형태로 만들어진다. 건조 사료는 수분이 7~ 13 %함유되어 있고, 가루, 플레이크, 펠릿, 미립자 사료로 분류하거나 부상 또는 침강 사료로 나눌 수 있다.

(1) 습사료(moist pellet)

건조 펠릿 사료가 개발되기 이전에 가축 부산물, 어류 혹은 어류 가공품, 그리고 다른 이용 가능한 원료 등으로 습사료를 만들었다. 대개 이러한 사료들은 어류 종묘 생산지나 양식장에서 자체 제작되어 쓰여진다. 습사료에는 단백질, 비타민, 그리고 무기물이 풍부하다.

그러나 습사료는 냉동 보관해야 하는 단점이 있고, 영양 가치가 사료원의 종류와 양에 따라 많은 차이가 있기 때문에 영양적인 요구량에 맞추어 어류를 사육하기가 불가능하다. 제작된 습사료를 위생적으로 처리하고 살균하지 않으면 생사료 원료로 만든 사료를 통한 질병 전염의 위험이 지속적인 위협으로 제기된다.

(2) 반습사료

비타민, 무기물, 그리고 점착제 등의 다른 사료원을 포함할 수 있도록 어류, 어류 부산물, 그리고 건조 압출박(dry extruded meal)을 혼합한 사료를 말한다. 이것을 펠릿의 형태로 만들어 신선하게 공급하거나, 프로피온산(휘발성 지방산의 일종)으로 처리한 후 냉동 보관한다. 액화한 어류 가공물(어류 사일리지)을 사용해서 잘게 부순 어류를 부분 혹은 완전 대체한다. 어류 사일리지는 산 처리된 가수 분해한 어류 가공 폐기물로 되어 있다. 다습한 재료와 건조 재료의 비는 60 : 40 정도이다. 반습사료는 펠릿화하여 냉동, 포장, 운반, 그리고 보관할 수 있다. 이것은 특히 저수온에서 양식되는 치어용 사료로 적합하다. 생사료원을 가수 분해와 살균 처리하기 때문에 질병의 전염을 제거할 수 있다. 반습사료에 항곰팡이제와 방부제를 첨가하므로 냉동하지 않고도 보관할 수 있다(이러한 첨가제 없이는 냉동 보관해야 한다.). 사료 배합표는 사료원의 가용성과 가격을 고려하여 만들어야 한다.

(3) 건조 사료(dry pellet)

건조 사료는 압축 증기 펠릿이나 부상 사료 형태로 생산된다. 연어류의 건조 사료에는 많은 양의 어분을 사용하는데, 이 때문에 어류용 사료가 다른 가축 사료보다 비싸다.

건조 사료의 장점은, 영양적 가치를 대상 어종의 요구에 맞출 수 있고, 수분 함량이 적으므로 제작, 공정, 보관에 경제적이며, 자동 공급기에 의해서 사료의 공급이 쉽다.

건조 사료의 형태로는 가루(분말 형태), 플레이크(사료를 납작하게 만든 형태), 펠릿(압축하여 일정 모양으로 만든 것), 크럼블(펠릿을 부순 형태), 미립자 사료로 나누거나, 부상 사료(열, 압력에 의해 팽창시킨 형태) 또는 침강 사료 등으로 나눌 수 있다.

2) 사료 공급법

양식 중의 동물에게 사료를 주는 양적 기준은 대단히 어려운 문제의 하나이다. 공급된 사료 중 소화, 흡수될 수 있는 것은 그 일부분이며, 또 소화, 흡수된 영양분 중 생활 에너지에 이용되고 남는 것만이 몸 성분으로 성장을 이룩한다.

따라서, 사료를 너무 적게 주면 성장할 여유가 없어지므로, 될 수 있는 대로 많은 사료를 먹고 흡수하도록 하는 것이 유리하다. 그러나 과식시키면 신체 기능을 약하게 하여 오히려 성장을 저하시키고, 사료만 낭비하는 결과를 초래하게 된다. 이와 같이 사료를 알맞게 공급하는 것은 매우 어려운 기술에 속한다.

사료 공급 방법으로는 손으로 주는 방법, 시간 자동 조절 공급기에 의한 방법, 요구식 사료 공급기(demand feeders)에 의한 방법이 있다.

손으로 공급할 때의 장점은, 어류의 관리가 용이하고, 어류가 있는 적절한 곳에 공급이 가능(사료 찌꺼기를 최소화)하며, 즉각적인 사료 공급량의 조절이 가능하다. 단점으로는 시간이 많이 소모된다는 것이다.

자동 공급기의 장점은, 사료 공급 예정량을 조절할 수 있고, 성장률을 효과적으로 계획, 조절할 수 있는 것이며, 단점은 사료 찌꺼기가 많을 수 있고, 어류의 관리가 잘 안 된다는 점 등이다.

최근의 상업적 부화장들에서는 요구식 사료 공급기를 주로 사용하는데, 어류가 원하는 대로 사료를 먹일 수 있다. 다른 사료 공급 장치들과 비교해서, 요구식 사료 공급기는 사료 효율이 같거나 더 높은 것으로 알려져 있다.

어류의 일반적인 1일 사료 공급량은 건조 사료 중량으로 몸무게의 1~ 5%(보통은

2~ 3 %) 범위이지만, 어릴 때에는 더 먹는다. 또한 사료 공급률은 수온에 따라 크게 다르고, 어류의 성장 단계별로 차이가 많다.

생활 온도 범위 내에서는 온도가 높을수록 많이 먹고, 같은 수온 조건에서는 어릴수록 자기 체중에 대한 먹이의 비율이 높아진다.

먹이의 양은 수온뿐만 아니라 용존 산소, 암모니아의 함량 등 수질에도 크게 좌우되므로, 항상 좋은 수질 환경의 유지에 노력해야 한다. 1 회에 줄 수 있는 먹이의 양은 어종에 따라 다르다.

송어, 뱀장어, 메기 등은 1 일분을 1 회(때로는 2 회)에 주어도 좋지만, 잉어 등은 위가 없어 한꺼번에 많은 양의 먹이를 먹을 수 없으므로, 여러 번에 나누어 주어야 한다. 한꺼번에 먹을 수 있는 양 이상으로 주면 물 속에 흩어져서 허비될 뿐만 아니라, 수질을 극도로 악화시키는 원인이 되므로 어류의 건강을 해치게 된다.

그러므로 여름철에는 1 시간에 한 번씩, 1 일 10 회 이상 나누어 공급해 주어야 충분한 성장을 할 수 있다.

3) 사료 계수



양식 동물에게 공급한 사료의 효율을 나타내는 기준으로서, 사료 계수를 쓴다. 사료 계수는 사육 동물 1 단위 무게만큼 증가시키는 데 필요한 사료의 무게 단위를 말한다. 즉, 100 kg의 잉어에게 900 kg의 사료를 먹여 600 kg으로 성장시켰다고 하면, 이 때의 사료 계수는 1.8 이 된다[$900/(600-100)=1.8$].

사료 계수 대신에 사료 효율을 사용하기도 하는데, 이는 증육량을 공급한 사료의 백분율로 나타낸 것으로, 사료 계수의 역수에 해당한다. 즉, 사료 계수가 2 이면 사료 효율은 그 역수인 $\frac{1}{2}$, 즉 50 %가 된다.

사료 계수를 나타낼 때 주의해야 할 점은, 건조 사료 기준인지 또는 습중량 기준인지를 명백히 해야 한다. 즉, 뱀장어가 1 kg 성장하기 위해서는 건조 배합 사료는 약 1.5kg 소요되지만(사료 계수 1.5), 생선 등 습중량 기준일 때에는 약 5 kg의 사료가 소요된다(사료 계수 5). 그런데 일반적으로는 건조량 기준의 사료 계수를 쓴다.

양어에 있어서 사료값이 차지하는 비율은 전체 운영비의 반 이상이 되는 만큼, 사료 계수를 낮추기 위한 연구에 힘을 기울여야 한다.

4) 저오염 부하사료

저오염 사료란 어류 양식으로부터 파생되는 생물학적 산소요구량, 질소 및 인과 같은 수질오염원의 수중 부하량을 경감시킬 수 있는 사료를 말한다. 양식에 의한 오염원의 폭은 어류의 성장속도에 반비례하기 때문에 저오염 사료란 궁극적으로 고효율 사료를 의미한다고 볼 수 있다. 그러나, 일반적인 의미에서 볼 때 고효율 사료란 양질의 원료사료를 이용하여 제조되기 때문에 사료가격의 인상이 불가피하다. 사양가는 수질오염원의 경감이 아닌 생산성 향상을 통한 이윤 증대가 목적이기 때문에, 값비싼 저오염 사료란 상업화되기 어려운 문제점을 지니게 된다.

선진 양식국의 경우 양어사료의 질(quality)은 1970년 이래로 크게 변화되었다. 생사료의 사용은 이제 거의 사라졌거나 사라질 단계에 있으며, 사료내 단백질과 탄수화물의 수준은 감소하는 반면 지방의 수준은 큰 폭으로 증가하여 가소화 에너지의 함량이 증가하고 있다. 이러한 현상은 모든 양식형태별 사양에 의한 수질오염 문제로 각국의 규제조치가 강화되고 있기 때문이다. 유럽 연어류 사료를 영양 성분 변화를 보면 (Table 6) 단백질의 수준은 86년대까지 증가하다가 다시 감소하고 있으며, 아울러 지방의 수준은 86년 20%에서 90년 24%로 증가했으며 최근에는 탄수화물의 수준을 큰폭으로 줄이고 30-35%의 지방을 함유하는 사료가 생산되고 있다. 즉, 단백질은 성장에 필요한 만큼의 아미노산 공급 측면에서 최소화하며, 필요한 에너지는 지방으로 공급하여 질소의 배설량을 줄이고자 하는 것이다. 특히, 인의 수준이 현저히 낮아지고 있음을 주목할 필요가 있다. 실제로 Table 6에서와 같은 단백질과 인의 수준을 맞추기 위해서는 양질의 어분, 다시 말하면 소화율이 높고 인 함량이 낮은 어분이 고수준으로 함유되어야 한다. 그러나 어분을 수입에 의존하고 있는 국내의 상황에서는 이러한 양질의 어분 사용시 가격이 크게 상승하기 때문에 사료생산자 입장에서 볼 때 생산이 불가능한 실정이다. 국내의 경우 수질오염에 대처하여 사료의 질적 개선이 시급한 실정이나 원료사료를 수입에 의존하는 상황이므로 고효율 사료의 개발이 지연되고 있다. 그러나 사양가들은 어류의 성장이 빠른 양질의 사료를 찾지만 가격상승은 전혀 원하지 않고 있는 실정이다. 현재, 국내의 사료성분 등록은 인 함량을 제외하고는 생산자 임의로 자유 등록하게 되어 있다. 인함량의 경우 농림수산부 고시 제1993-44호에 의거 어린 물고기, 종묘용, 육성용은 1.8%이하, 큰물고기는 1.5%이하로 하며, 물고기중 뱀장어, 광어용, 방어용은 2.7%이하로 규제하고 있으나 선진양식국의 사료와 비교할 경우

큰 격차를 나타내고 있다.

Table 6. Aquality variation of a salmon feeds

영양소 년대	단백질 (%)	지방 (%)	탄수화물 (%)	인(%)	대사에너지 (kcal)
습사료					
1950	55	26	1.6	1.6	4300
건조사료					
1950-59	35	5	30	2.5	2230
1960-69	40	7	23	2.0	2600
1970-79	53	11	12	1.5	3100
1980-86	56	20	10	1.1	3800
1987-90	42	24	19	0.9	4300

자료제공 : aqua2000

양어사료의 신기술 분야중 가장 중요한 부분은 부화초기 자어가 외부먹이 섭취를 시작할 단계의 천연먹이를 대체할 미립자 사료의 개발이다. 지금까지 많은 인공 미립자 사료가 개발되었으나 아직까지 천연먹이에 버금가는 사료는 개발되지 않고 있다. 인공 미립자 사료란 부화초기 천연먹이(live foods)를 대신할 수 있는 사료를 말하는 데, 미립자 사료의 장점은 천연먹이를 대신하여 인공사료를 조기에 적용시킬 경우 일반배합사료에의 적응기간이 단축된다는 점이다. 이 경우 먹이생물 생산에 대한 의존도를 감소시켜 자어생산에 소요되는 비용을 크게 감소시킬수 있다.

미립자 사료의 조건을 보면 (1) 장시간 물에서 영양소의 허실없이 안정적이어야 하고 (2) 기호성이 높아야 하며 (3) 외부먹이 섭취를 시작하는 자어가 포획할 수 있는 입자도 및 운동성을 유지해야 하며 (4) 캡슐이나 코팅 또는 결합물질이 체내에서 쉽게 분해되고 소화될 수 있어야 한다는 점이다. 지금까지 개발된 미립자 사료의 종류를 보면 액상 또는 콜로이드상의 원료사료를 중합체의 기질을 이용하여 캡슐화한 미세캡슐 사료(micro-encapsulated diet), 분말상의 입자를 흡착성이 있는 영양물질과 함께 결합시킨 미세결착사료(micro-bound diet) 및 영양가가 높고 소화가 용이한 물질을 사료의 표면에 피막시킨 미세코팅사료(micro-coating diet)가 있다.

다음으로 익스트루전 사료를 들 수 있는데, 익스트루전 사료란 혼합된 원료사료물질을 고온, 고압하에서 압출, 성형하여 건조시킨 사료를 말한다. 부상, 반부상 또는 침강

의 형태로 만들 수 있는 익스트루전 사료는 유해세균의 박멸이 가능하고 생전분의 젤라틴화로 이용가능한 에너지의 함량을 증가시킬수 있으며, 고수준의 지방첨가가 용이하며, 급여시 사료섭취정도를 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다. 그러나 사료제조 단가가 상승하며 단백질의 변성 또는 비타민의 역가손실이 유발될 수 있다는 점이 단점으로 수반된다.

친어용 사료는 수정율, 정액과 난의 양과 질, 부화율, 생존율 등을 향상시키기 위해 고안된 사료를 말하는데, 사료배합시 고려해야할 사항은 어종의 특이성에 따른 단백질 및 에너지의 수준, 프로타민 아미노산 잔기의 주요구성분인 아르지닌의 함량, 필수 지방산, 비타민 C와 E, 베타캐로틴이나 아스타크산틴 같은 색소물질, 인, 망간, 아연 및 구리 등과 같은 광물질의 함량 등이다.

계절별 사료는 적정사육수온 이하의 저수온대에서 사육 또는 월동전후 급여할 목적으로 만들어지는 사료를 의미한다. 그러나 사료의 소요량이 많지 않아 널리 보급되지 않고 있다.

사료내 단백질의 배설량을 줄이기 위해 적정 단백질 수준을 설정하기 위한 연구는 계속적으로 이루어지고 있지만, 이에 비해 인의 배설량을 줄이기 위한 연구는 제한적이다. 인의 배설량을 줄이기 위해서는 사료내 총인의 수준을 요구량 수준으로 줄이는 것이 무엇보다 중요하지만, 동물성 및 식물성 원료사료내 함유된 인의 이용성이 낮기 때문에 불가능한 실정이다. 그러나, 정상적인 성장을 저해하지 않는 수준까지 어분의 사용량을 최소화할 경우 총인의 수준을 크게 감소시킬 수 있으며, 그로부터 인 배설량의 유의적인 감소를 기대할 수 있다.

어떠한 어종, 양식환경에서도 환경 중으로의 오염부하량은 생사료에서 제일 크고, 다음으로 습사료, 건조사료의 순서이다. 미국, 일본국 및 유럽선진국의 양식에서는 환경개선의 관점에서 DP화가 진행되면서 DP에 의해 부화되어지는 질소, 인등을 상당히 감소시키기 위한 사료원료나 배합조성의 검토가 진행되고 있다.

이러한 사료의 개발을 위해서는 양질의 원료사용에 따른 생산비 증가가 필연적으로 뒤따르나 총생산비 측면에서는 오히려 사료비용이 감소될 여지가 있으며 그렇지 않더라도 사양가들은 이러한 사료를 사용하여야만 산업으로서의 정착이 가능해 질 것이다. 정부차원에서 이러한 저오염 사료의 사용을 의무화하는 우스꽝스런 사태가 발생하기 전에 사양가와 사료생산자들이 합심해서 환경친화형 사육형태로 이끌어가야 한다. 저

오염 사료는 수질오염 규제조치에 부합하며 경영합리화를 추구하기 위해 필요한 것임을 이해해야하고 잉어, 송어, 메기 및 틸레피아용에서 뱀장어 및 넙치 육성용에 이르기까지 다양하게 생산되어 사용되어야 할 것이다. 그러나 이와 더불어 사양가들은 그들의 사육조건에서 가장 이상적인 사료급여율과 표준 방양량을 설정해야 한다. 비록 고효율의 저오염 사료를 사용한다고 하더라도 사료급여 수준 또는 방양밀도를 증가시키게 되면 오염원의 배출량이 증가하게 될 것이며 그로 인해 수계의 오염이 더욱 빠르게 진행될 것이다.

5) 사료의 성분과 수질변화

우리나라의 해산어 양식은 1981년 시도되면서, 1984년 총생산량은 방어를 주종으로 하였으며, 1990년 초에는 양식종을 다양화 하면서 약14배로 증가되었다.

현재 양어장에서 문제가 될 수 있는 오염물은 먹지 않고 남은 사료와 어류의 배설물이다.

김 등(1998)은 저오염 사료의 급여에 의한 잉어의 성장과 질소 및 인 배설량에 대한 연구를 실시하였다. 개시어체중 152g(Exp.1) 및 193g(Exp.2)의 이스라엘 잉어를 전자는 실험수조, 후자는 가두리를 사용하여 저가(A) 및 고가(B) 저오염 사료의 급여에 따른 성장과 질소 및 인의 배설량을 조사하였다. 실험사료는 부상형으로 제조하였으며, 두종의 시판사료 Com-1 및 Com-2와 함께 6주간 급여하였다. 그 결과 저오염 사료 A구의 경우 시판사료의 평균 질소(59.1g) 및 인(17.6g) 배설량에 비해 Exp.1에서는 각각 35% 및 53.4%, Exp.2에서는 각각 32.8% 및 48.7%의 감소효과를 나타내었다. 대조구의 질소 배설량의 증가는 사료내 단백질 수준 뿐 아니라 증체량의 감소로 인한 사료계수의 저하에서 유래한다. 사료내 단백질 수준의 감소와 함께 지방을 통한 에너지 수준의 증가는 증체량의 개선 뿐 아니라 질소 배설량의 유의적인 감소를 가져온다. 한편, 인 배설량의 감소를 위해서는 사료내 총인의 수준을 가능한한 인 요구량 수준으로 낮추고, 사료효율을 증가시켜야 한다. 그러나 이때 이용가능 인의 수준은 요구량을 충족시켜야 한다. 다만, 사료내 총인의 수준을 낮추는 것이 우선적인 것이 아니라 이용가능 인의 수준을 우선적으로 요구량 수준으로 낮추는 것이 필수적이다. 이것은 일인산칼슘의 첨가로 이용가능 인의 수준이 요구량을 충족할 때 비록 무첨가구 사료보다 총 인의 함량이 높아지더라도 증체단위당 인 배설량을 유의적으로 감소시킨다.

김 등(1992)은 가두리 양식장의 수질오염 경감을 위한 EP 사료 및 DP 사료 사용시의 수질오염 경감에 관한 연구를 실시한 결과 오염물질 배출 원단위는 EP 사료 사용시 T-N은 19.48mg/kg·일, T-P는 8.49mg/kg·일 인데 비하여 DP 사료 사용시 T-N 43.31mg/kg·일, T-P는 18.46mg/kg·일로서 가두리 양어장에서는 EP 사료 사용으로 수질오염에 미치는 영향을 경감시킬 수 있다고 하였다.

이 등(2002)에 의한 사료종류별 성장, 소화율, 오염부하량의 조사와 동절기 동안 배합 사료를 사용하면 성장이 크게 떨어진다는 점을 확인하기 위한 현장실증 사육에서 성장률에서는 어분강화사료가 231.8g으로 성장하였고, 사료계수도 0.97로 가장 우수하였고, 다음으로 MP사료는 1.24로 나타났다. 한편, 성장도 항목에서 가장 중요한 지표가 될 수 있는 일일 성장률은 어분강화배합사료가 0.474%로 가장 우수하였고, 그 다음으로 MP사료가 0.323% 였다. 그리고 사료의 기호성을 평가할 수 있는 일일사료섭취율을 보면 어분강화사료가 0.460%로 가장 높았고, 그 다음으로 현재 해상 가두리 사육에 많이 사용되고 있는 생사료(MP) 실험구가 건중량 기준으로 0.401% 섭취한 것으로 나타났다. 또한 소화율에 있어서 어분강화배합사료가 성장결과를 반영하여 단백질 소화율이 93.8%로 가장 우수하였으며, 그 다음으로 상품배합사료가 90.7%를 나타내었다. 한편, 지질 소화율은 MP사료가 88.3%로 가장 높았고, 그 다음으로 상품 배합사료가 87.7%를 보였다.

한편, 수중에 배설할 경우 식물성 프랑크톤의 번식을 크게 조장할 수 있는 인(P)의 소화율을 보면 어분강화사료와 MP 실험구가 각각 61.9%의 높은 소화율을 나타내었다.

또한 오염부하량에 있어서 어분강화배합사료가 전체 영양소의 축적효율이 32.4%로 가장 높았고, 다음으로 MP사료가 25.4%를 나타내었다. 그리고 분과 용존 오염물질로 배설하는 총 양을 보면 어분강화배합사료가 67.6%로 가장 낮게 나타났으며, 그 다음으로 MP사료가 74.6% 였다. 한편, 고형 분의 배출량을 보면 역시 MP 사료가 9.7%로 다른 실험사료보다 소화율이 월등히 높음을 반영해 주고 있다. 다음으로 동절기에 있어서 사료 기호성에 대한 실험에서 동절기 동안 각 가두리에 80kg씩의 조피볼낙을 수 용하여 실험한 결과 MP사료가 106.0kg으로 성장하여 증중량이 가장 많았고 동절기에는 역시 다른 사료에 비해 기호성이 우수하여 사료섭취량도 44.5kg으로 가장 많았다. 그 다음으로 상품배합사료와 어분강화배합사료로 각각 101.9kg과 101.2kg으로 성장하

였고, 실험기간동안 사료섭취량도 각각 33.1kg과 28.4kg이었다. 사료계수는 어분강화배합사료가 1.30으로 가장 우수하였고 그 다음으로 상품배합사료가 1.46으로 나타났다. 따라서 기존의 생사료나 MP사료에 비해 EP사료나 DP사료의 효율이 떨어지지 않으므로 환경적으로 오염부하량이 적은 사료의 전환이 필요하다하였다.

3. 양식장 수질관리

양식에 사용된 물의 재이용은 크게 두가지로 나눌수 있는데, 그중 하나는 양식으로 오염된 물질을 그대로 함유된 상태로 반복사용되는 경우와 또하나는 오염물질을 제거하면서 반복시키는 순환여과식의 경우이다. 이러한 경우에도 사용에 대한 제한조건은 수질이 관건이다.

1) 순환여과식 해산어류 양식의 발전

현재 우리나라의 어류양식산업은 해산어류 양식이 중요한 비중을 차지하고 있다. 그러나, 거의 대부분의 해산어류 양식은 유수식 육상 수조 또는 내만의 가두리에서 이뤄지고 있다. 그런데 가두리 양식의 터전을 이루는 내만은 심각한 오염문제로 시달리고 있으며, 육상 수조식 유수식 양식장에서는 병원균에 오염된 해수를 사용하는 관계로 심각한 질병발생으로 고생하는 경우가 많다.

여러 다른 나라의 경우에서도 담수양식에 비교하여 뒤늦게 발전하고 있는 해산어류의 순환여과식 양식 기술도 이제는 속속 생산산업에 이용되는 단계에 들어서고 있다. 약 6-7년 전만 해도 바다에서 기를 연어종묘의 순환여과식에 의한 생산은 반신반의의 상태였다. 그러나 지금은 이 방법의 채택을 진지하게 고려할 시기에 도달했다(Holder and Conley, 2000). 순환여과식 기술의 향상에 의하여 순환여과식의 사용이 생산의 증가, 물의 절약, 폐수의 감소, 에너지(동력, 연료)의 절약이 가능하면서도 질병의 방지까지 가능한 좋은 사육환경을 유지 관리할 수 있게 하고 있다.

이미 캐나다 등 북부 지방에서는 수온이 낮아서 자연수를 사용하는 데 따른 성장 지연과 병원체의 유입 등 생물안정성이 보장되지 않는 등의 문제를 해결하기 위해서 해산어류의 종묘생산을 순환여과식에서 시행하는 것이 보편화되어 가고 있다. 우리나라에서도 이제는 자연상태의 시설에서 자연산의 어미를 사용하는 양식종묘 생산은 재

고해야 할 시점에 이르렀다고 생각된다.

우리나라에서도 양식이 어려운 일부 어류와 새우류의 종묘생산을 위해서는 수온과 광주기를 조절할 수 있는 장치를 구비한 고도로 깨끗한 수질이 확보되는 순환여과식 시설에서 길러낸 어미로부터 필요한 시기에 산란을 유도하고 자어와 치어의 생산을 도모해야 할 때라고 생각된다.

새우의 종묘생산에 있어서는 전세계적으로 만연하는 바이러스병 때문에 자연과는 완전히 차단된 고도로 깨끗한 물이 확보되어야 하는데, 이러한 물은 연안수계에서는 손쉽게 구할 수 없으며, 발전된 순환여과식 시설에서 확보하지 않으면 안되게 되었다. 지금은 병원체가 없는 최고의 청정수를 순환여과식시설에서 만드는 일이 가능한 단계로 접어들었으며, 우량 품종의 무병(Disease-free) 새우 종묘생산을 위하여 어미새우를 양성하고 유생사육을 할 수 있을 정도로 기술이 발전되었다(Courtland, 1999).

2) 순환여과식 양식의 특징

순환여과식 양식장의 특징은 다음과 같다.

- ㉠ 물 자원을 절약한다. 물은 한번 채우면 그 후 추가수의 양이 아주 적으므로 물이 귀한 곳에서도 양식을 할 수가 있다.
- ㉡ 물을 적게 쓰기 때문에 배출수도 적으므로 폐수 처리가 간단하다.
- ㉢ 외부와 완전히 차단될 수 있으므로 해적과 질병 대책이 쉬워진다.
- ㉣ 시설에 많은 비용이 소요되므로 고밀도로 길러야 하므로 양식 시설의 면적이 적게 들고, 물도 적게 들기 때문에 대도시 근처에 시설하여 소비자와 직접 연계시켜 경영상 이득을 얻을 수 있다.
- ㉤ 해산어의 육상 수조식 양식에 필요한 거대한 양수시설을 생략하고, 막대한 양수용 소비 전력을 절약할 수 있으므로 경영면에서 유리하다.
- ㉥ 보온시설을 하면 메기, 잉어 등 온수성 어류를 겨울철에도 성장시킬 수 있고, 또 열대성 어류, 냉수성 어류를 세계 어느 지역에서나 기를 수 있다.

3) 순환 여과식 양식장의 예

(1) 외국의 순환여과식 양식장의 예

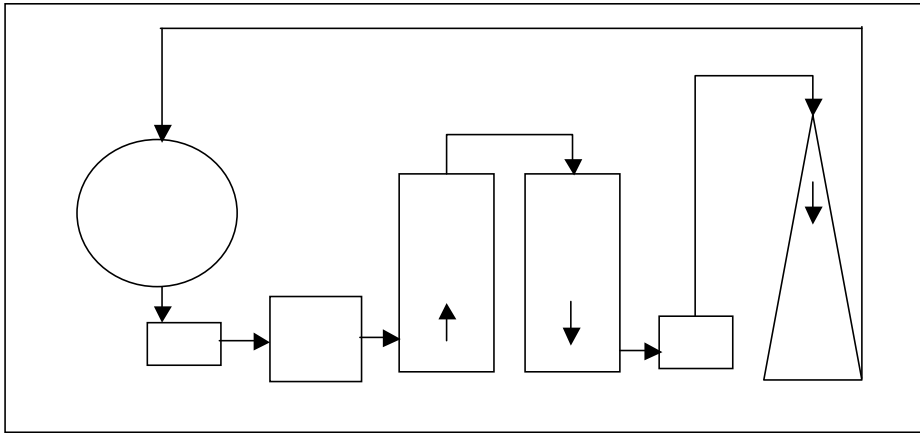


Fig. 1. Commonly used closed recirculating culture system at eel culture in Denmark

순환 여과식 양어장에는 여러 가지 구성 요소로 된 것이 세계 각국에서 개발 사용되고 있는데 Fig. 1은 덴마크에서 흔히 사용되어 온 뱀장어 양식용 순환 여과식 양식장의 구성 모식도이다. 현재 덴마크에서 양식되는 유럽장어의 거의 대부분은 이 방식의 순환 여과식 양식장에서 생산되고 있는 것으로 알려지고 있다. 이 밖에도 최근에 이르러 각국에서 순환여과식 양어기술의 발전에 따라 틸라피아를 비롯하여 각종 담수 어류의 경제적 대규모 생산을 가능케 하고 있다. 미국의 코넬대학의 Timmons 교수팀은 무배수(無排水) 순환여과식 시설을 완성하여 틸라피아의 염가생산을 가능케 하고 동남아시아 또는 라틴아메리카 각국에서 수입되는 값싼 수입품과 대결할 수 있는 수준에 이르고 있다(Timmons 1999).

(2) 한국의 순환 여과식 양식장의 예

우리나라에서도 열대성 어류에 속하는 틸라피아의 양식을 위하여 양식업자들은 순환여과식 양식법을 사용하고 있다.

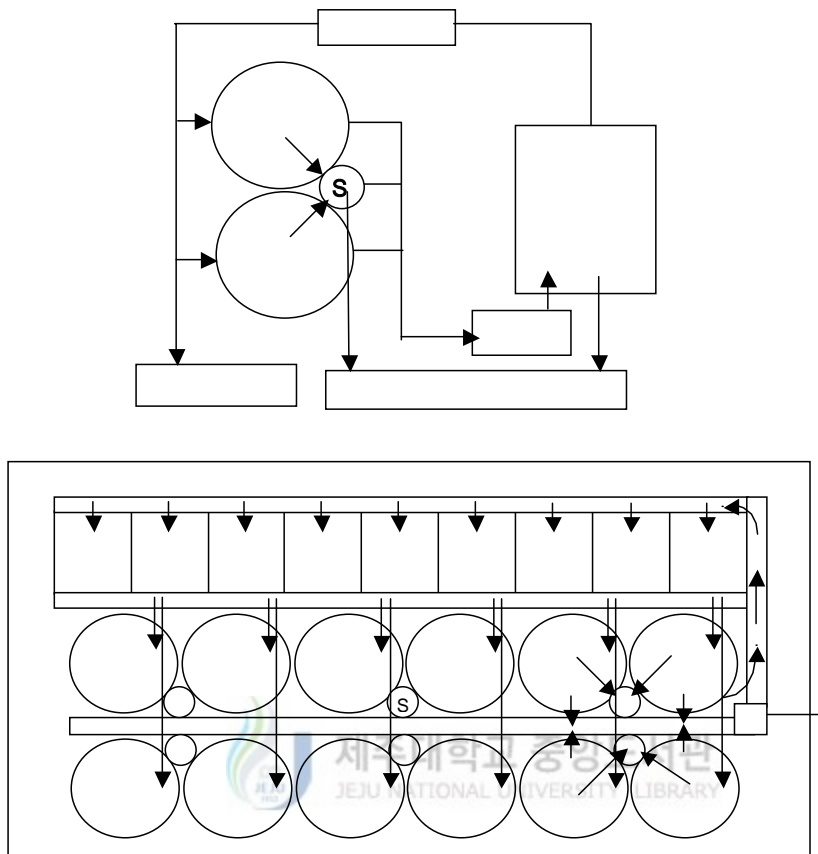


Fig. 2. A closed recirculating culture system of R.O.K.(IBK).

Fig. 2는 IBK식 순환여과식 양식장(김인배 1980, Kim et Jo 1998, Kim 2000)의 물 순환의 개요와 시설배치를 모식적으로 나타낸 것인데, 이 시스템은 주로 담수산 틸라피아 양식에 사용되어 왔다. 이 시스템에서는 비교적 넓은 생물 여과조를 설치 사용하고 있지만 물의 정화 능력이 탁월하고 추가수의 용량은 사육시설 내의 총 수량의 0.5% 이내로 억제되면서도 암모니아, 아질산 및 질산염의 농도가 극히 낮게 유지될 수 있는 장점이 있다. 넓은 여과조는 시설 면적이 많이 필요한 단점도 있지만 이 여과조의 표면에 수초를 심으면 이들이 자라기 위해서 막대한 양의 질산염 등 용해된 오염 물질을 흡수하므로 별도의 탈질 여과조의 설치가 필요하지 않고, 극소량의 추가수 만으로도 운영이 가능하다. 또, 까다로운 기계 기구, 전자장치 등이 없어서 조금만 훈련을 받으면 누구나 운영을 할 수 있는 장점도 있다. 그러나 육상양식장의 배출수의 수

질과 수량특성을 고려했을때, 새로운 순환여과시스템의 도입 및 전환이 필요하다.



III. 연구내용 및 고찰

1. 양식시설 현황

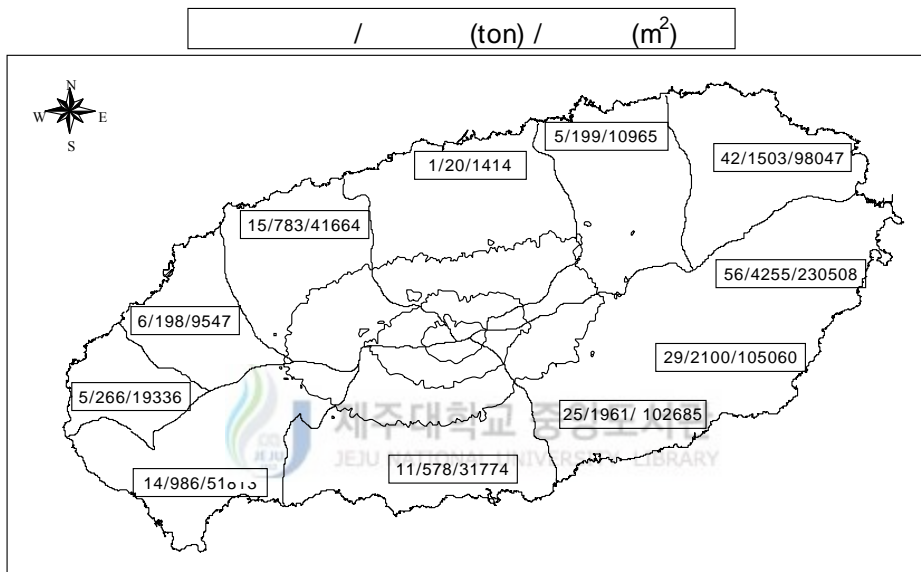


Fig. 3. Situation of the enterprise, water plane area and product amount as for marinefish aquafarm in Jeju.

양식시설을 설계함에 있어서 사업규모를 설정하고, 사육수량을 산정한 후 산소공급 장치와 산소공급과는 별도로 용수량을 산정해야한다. 다음으로 취수시설을 결정해야 하는데, 일반수역에서 해수를 취수하느냐와 지하해수를 취수하느냐를 결정한다. 다음으로 고액분리를 위한 침사지와 침전지를 설계한후 급배수관을 결정한 다음 수조의 형태, 수조의 수, 수조의 실용적 등에 대한 사육수조에 대한 설계를 행하는데, 제주도의 양식시설 현황을 보면, Fig. 3과 같다. 즉 제주도의 양식개발현황을 분석해보면 해산어류양식이 222개소(702,813m²), 진주조개와 전복을 비롯한 패류양식이 30건(22,292 m²), 이밖에 내수면 수조양식이 28건(71,756m²)으로 모두 280건(796,861m²)인데, 그 중에서 육상수조식 해산어류양식이 79.3%에 이르고 양식면적으로 보면 88.2%에 달하고 있

어 제주도 양식의 주축을 이루고 있다. 양식장의 건수는 남제주군이 가장 많고, 다음으로 북제주군, 서귀포시, 제주시순으로 나타났으며, 남제주군에서는 성산지역이 가장 많았으며, 북제주군에서는 구좌지역이 가장 많았다.

제주도내 육상 양식장에 대해서 시설규모는 Table 7과 같다. 양식장의 총 부지면적은 1,216,548m²이었고 수면적은 702,813m²으로써 전체면적에 대한 수면적의 비율은 57.8%였고, 단위수면적에 대한 생산능력은 18.3kg/m²으로 나타났다.

Table 7. Situation of marinefish aquafarm in Jeju

시군별	업체수	면적		능력(톤)	
		부지	수면적		
계	209	1,216,548	702,813	12,849	
제주시	1	3,542	1,414	20	
서귀포시	11	58,673	31,774	578	
북제주군	73	285,022	179,559	2,949	
	한림읍	6	16,500	9,547	198
	애월읍	15	69,636	41,664	783
	구좌읍	42	147,083	98,047	1,503
	조천읍	5	24,519	10,965	199
	한경면	5	27,284	19,336	266
남제주군	124	869,311	490,066	9,302	
	대정읍	14	89,787	51,813	986
	남원읍	25	171,147	102,685	1,961
	성산읍	56	392,063	230,508	4,255
	표선면	29	216,314	105,060	2,100

2. 배출수 처리시설현황

제주도내 육상양식장에서의 배출수처리시설에 대해서 Table 8 에 나타내었다. 본 조사에서 제주도내 총 222건수에 대해 167건수가 조사되었는데, 제주도내 육상양식장 배출수 처리시설로 가장 많이 설치되어 있는 시설로는 침전지와 3단계거름망을 혼합한 처리시설이었으며, 다음으로는 침전지와 경사스크린을 혼합한 것이며, 침전지, 드럼필터와 침전지를 혼합한 시설순이었다.

Table 8. Situation of effluent treatment plants from marinefish aquafarm in Jeju

시군별	건수	침전지 + 드럼 필터	경사 스크린	침전지 + 경사 스크린	침전지 + 3단계거 름망	드럼 필터	침전지	미조사 및 미설치
계	222(100%)	14(6%)	1(0.4%)	31(14%)	88(40%)	4(2%)	29(13%)	55(25%)
제 주 시	1(0.4%)						1	
서귀포시	15(7%)			7	4		4	
북제주군	73(33%)	6		9	37	1	14	6
한림읍	6(3%)				3		3	
애월읍	15(7%)	2		1	10	1	1	
구좌읍	42(19%)	4		7	18		7	6
조천읍	5(2%)			1	3		1	
한경면	5(2%)				4		1	
남제주군	133(60%)	18	1	15	47	3	10	39
대정읍	14(6%)	6			5			3
남원읍	26(12%)	1	1	2	8	2	5	7
성산읍	61(27%)	3		11	24	1	2	20
표선면	32(14%)	8		2	10		3	9

이 등(2002)에 의한 해수육상양식어업의 배출수 관리 및 적정처리 방안에서 양식장 별 배출수 처리시설의 효율을 조사하기 위하여 각 처리방식별 표준시설별 운영관리가 행해지고 있는 것으로 판단되는 7개의 양식장을 대상으로 각 처리시설로 유입되는 유입수와 처리시설에서 방류되는 배출수의 수질을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 침전지+드럼필터

A양식장의 수조면적은 4,640㎡, 1일 양수량은 65,000㎡/일이다. 침전지 256.54㎡으로 수조면적의 5.5%를 차지하고 있고, 드럼필터 1기(2m×2m×2m)가 설치되어 있다. 드럼 필터의 mesh size는 1.2mm이다.

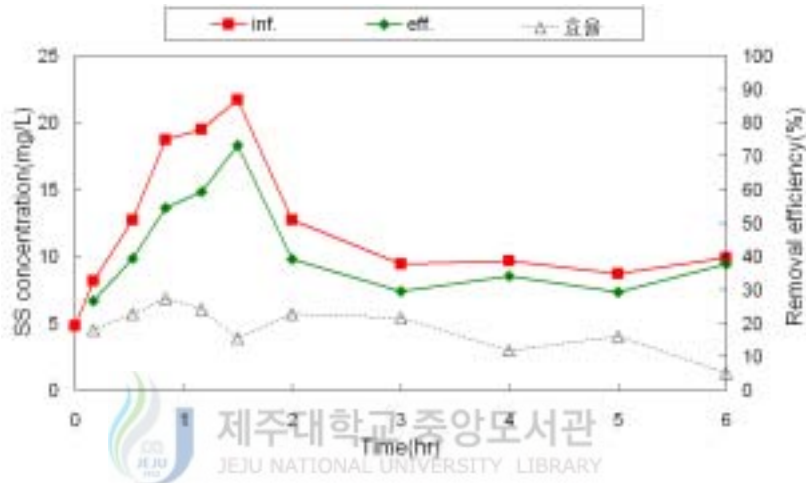


Fig. 4. Removal efficiency and variation of SS concentration in mixing settling tank with drum screen.

사료투여에 따른 SS의 경시적인 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 침전지와 드럼필터를 혼합한 처리시설에서는 SS에 있어서 18.51%의 처리효율을 나타내었으며, 수조에 공급되는 원수의 농도는 COD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 1.17mg/l, 4.8mg/l, 1.14mg/l, 0.18mg/l를 나타냈다. 방류수의 수질을 보면 사료를 투입한 후에는 처리장치로 들어오는 유입수의 농도는 COD 1.2~5.2mg/l, SS 8.1~21.7mg/l, T-N 1.2~2.7mg/l, T-P 0.38~1.14mg/l의 농도를 보이고 있었으며 최종방류수의 농도는 COD 1.2~4.4mg/l, SS 6.7~18.3mg/l, T-N 1.16~2.31mg/l, T-P 0.32~1.1mg/l의 농도를 나타내고 있었고, COD, SS, T-N, T-P의 평균 처리 효율을 보면 각각 6.3%, 18.5%, 4.4%, 10.4%로 조사되었다.

2) 경사스크린

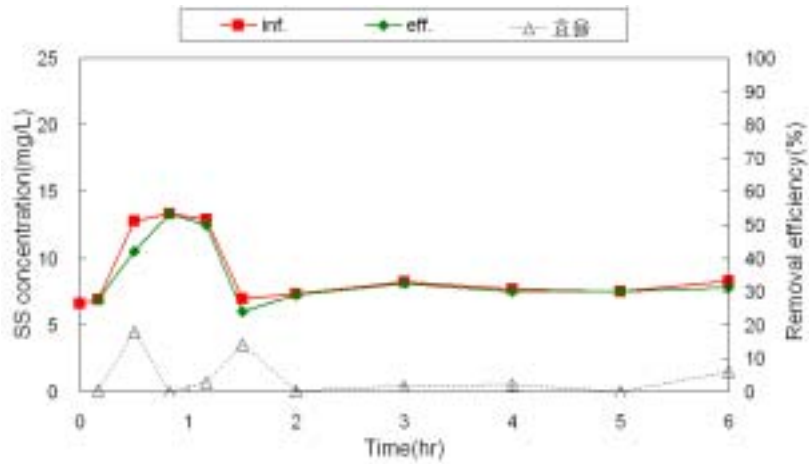


Fig. 5. Removal efficiency and variation of SS concentration in gradient scree.

B양식장의 수조면적은 11,793m², 1일 양수량은 165,000m³/일이다. 침전지는 954.33m²으로 수조면적의 8.0%를 차지하고 있고, 경사스크린 1기가 설치되어 있다. 경사스크린의 mesh size는 1.2mm이다.

사료투여에 따른 SS의 경시적인 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 경사스크린에서의 SS 제거효율은 4.62%로써, 수조에 공급되는 원수의 농도는 COD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 1.2mg/l, 6.6mg/l, 1.28mg/l, 0.26mg/l를 나타내고 있었다. 방류수의 수질을 보면 사료를 투입한 후에는 처리장치로 들어오는 유입수의 농도는 COD 1.72~3.6mg/l, SS 6.94~12.9mg/l, T-N 1.33~2.3mg/l, T-P 0.29~1.42mg/l의 농도를 보이고 있었으며 최종방류수의 농도는 COD 1.5~3.4mg/l, SS 6.0~13.3mg/l, T-N 1.3~2.05mg/l, T-P 0.28~1.2mg/l의 농도를 나타내고 있었고, COD, SS, T-N, T-P의 평균 처리 효율을 보면 각각 8.3%, 4.62%, 9.67%, 11.8%로 조사되었다

3) 침전지+경사스크린

C양식장의 수조면적은 5,055m², 1일 양수량은 70,000m³/일이다. 침전지 259m²으로 수조면적의 5.1%를 차지하고 있고, 경사스크린 1기가 설치되어 있다. 경사스크린의 mesh size는 1.2mm이다.

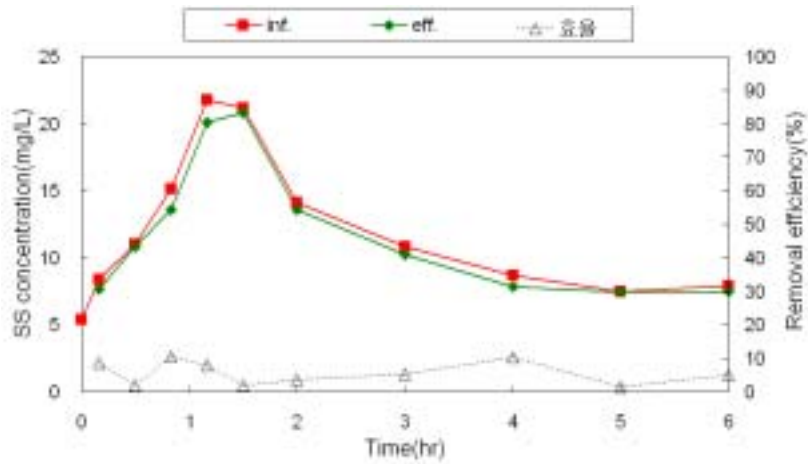


Fig. 6. Removal efficiency and variation of SS concentration in mixing settling tank with gradient screen.

사료투여에 따른 SS의 경시적인 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 침전지와 경사스크린을 혼합한 경우에 SS의 제거효율은 5.61%로 나타났으며, 수조에 공급되는 원수의 농도는 COD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 1.2mg/l, 5.41mg/l, 1.08mg/l, 0.17mg/l를 나타내고 있었다. 방류수의 수질을 보면 사료를 투입한 후에는 처리장치로 들어오는 유입수의 농도는 COD 1.57~3.0mg/l, SS 7.5~21.8mg/l, T-N 1.2~2.3mg/l, T-P 0.2~1.02mg/l의 농도를 보이고 있었으며 최종방류수의 농도는 COD 1.4~2.7mg/l, SS 7.4~20.8mg/l, T-N 1.19~2.3mg/l, T-P 0.2~0.99mg/l의 농도를 나타내고 있었고, COD, SS, T-N, T-P의 평균 처리 효율을 보면 각각 5.8%, 5.6%, 6.6%, 6.5%로 조사되었다

4) 침전지+3단계거름망

D양식장의 수조면적은 14,347m², 1일 양수량은 200,000m³/일이다. 침전지 903m²로 수조면적의 6.3%를 차지하고 있고, 3단계 거름망이 설치되어 있다. 1차 거름망 5mm, 2차 거름망 3mm, 3차 거름망 1mm로 되어 있다.

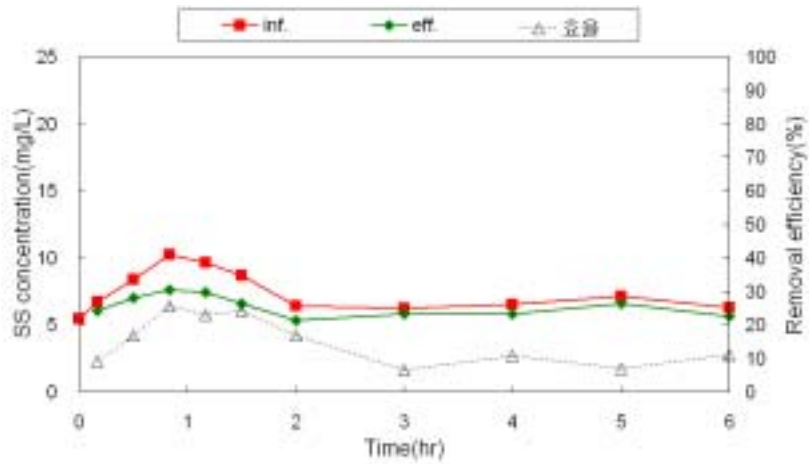


Fig. 7. Removal efficiency and variation of SS concentration in mixing settling tank with three step screen.

사료투여에 따른 SS의 경시적인 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 침전지와 3단계 거름망을 설치한 양어장에서의 SS제거효율은 15.03%를 나타내었으며, 수조에 공급되는 원수의 농도는 COD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 1.15mg/l, 5.47mg/l, 0.95mg/l, 0.21mg/l를 나타내고 있었다. 방류수의 수질을 보면 사료를 투입한 후에는 처리장치로 들어오는 유입수의 농도는 COD 1.35~3.43mg/l, SS 6.1~10.6mg/l, T-N 1.57~2.23mg/l, T-P 0.27~0.77mg/l의 농도를 보이고 있었으며 최종방류수의 농도는 COD 1.2~2.9mg/l, SS 6.1~7.6mg/l, T-N 1.41~2.22mg/l, T-P 0.27~0.7mg/l의 농도를 나타내고 있었고, COD, SS, T-N, T-P의 평균 처리 효율을 보면 각각 10.9%, 15%, 7.7%, 12.1%로 조사되었다.

5) 드럼필터

E양식장의 수조면적은 1,664m², 1일 양수량은 34,560m³/일이다. 침전지 87.0m²으로 수조면적의 5.2%를 차지하고 있고, 드럼필터 1기가 설치되어 있다. 드럼필터의 mesh size는 1mm이다.

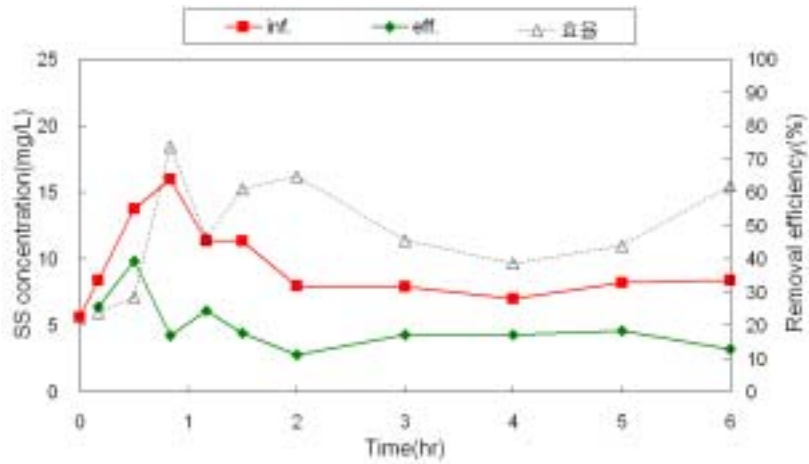


Fig. 8. Removal efficiency and variation of SS concentration in drum screen.

사료투여에 따른 SS의 경시적인 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 드럼필터를 설치한 양어장에서는 SS의 제거효율이 48.82%를 나타내었으며, 수조에 공급되는 원수의 농도는 COD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 1.11mg/l, 5.58mg/l, 1.2mg/l, 0.24mg/l를 나타내고 있었다. 방류수의 수질을 보면 사료를 투입한 후에는 처리장치로 들어오는 유입수의 농도는 COD 1.62~3.8mg/l, SS 7.0~5.95mg/l, T-N 1.31~2.73mg/l, T-P 0.25~1.04mg/l의 농도를 보이고 있었으며 최종방류수의 농도는 COD 1.52~3.3mg/l, SS 2.80~9.84mg/l, T-N 1.25~2.22mg/l, T-P 0.2~0.88mg/l의 농도를 나타내고 있었고, COD, SS, T-N, T-P의 평균 처리 효율을 보면 각각 16.0%, 48.8%, 15.9%, 14.4%로 조사되었다.

6) 침전지

F양식장의 수조면적은 2,170m², 1일 30,000양수량은 m³/일이다. 침전지 585m²으로 수조면적의 27%를 차지하고 있다.

사료투여에 따른 SS의 경시적인 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 침전지를 설치한 양어장에서는 SS의 제거효율이 10.41%를 나타내었으며, 수조에 공급되는 원수의 농도는 COD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 1.21mg/l, 2.21mg/l, 1.07mg/l, 0.15mg/l를 나타내고 있었다. 방류수의 수질을 보면 사료를 투입한 후에는 처리장치로 들어오는 유입수의

농도는 COD 1.39~3.6mg/l, SS 2.61~15.33mg/l, T-N 1.24~2.44mg/l, T-P 0.14~0.59mg/l의 농도를 보이고 있었으며 최종방류수의 농도는 COD 1.15~3.1mg/l, SS 2.44~15.2mg/l, T-N 1.14~2.3mg/l, T-P 0.14~0.59mg/l의 농도를 나타내고 있었고, COD, SS, T-N, T-P의 평균 처리 효율을 보면 각각 13.1%, 10.41%, 6.2%, 12.7%로 조사되었다.

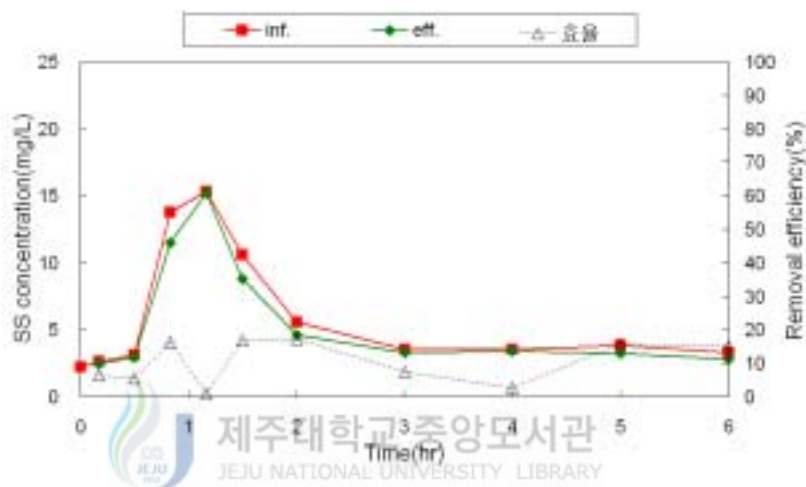


Fig. 9. Removal efficiency and variation of SS concentration in settling tank.

7) 3단계거름망

G양식장의 수조면적은 4,196㎡, 1일 양수량은 58,700㎥/일이다. 침전지 343㎡으로 수조면적의 8%를 차지하고 있고, 3단계거름망이 설치되어 있다. 1차 거름망 5mm, 2차 거름망 3mm, 3차 거름망 1mm로 되어 있다.

사료투여에 따른 SS의 경시적인 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 3단계 거름망을 설치한 양어장에서는 1.44%의 제거효율을 나타내었는데, 수조에 공급되는 원수의 농도는 COD, SS, T-N, T-P 농도가 각각 1.33mg/l, 2.52mg/l, 1.04mg/l, 0.27mg/l를 나타내고 있었다. 방류수의 수질을 보면 사료를 투입한 후에는 처리장치로 들어오는 유입수의 농도는 COD 1.4~4.6mg/l, SS 4.2~15.0mg/l, T-N 1.06~2.49mg/l, T-P 0.31~0.81mg/l의 농도를 보이고 있었으며 최종방류수의 농도는 COD 1.35~4.6mg/l, SS 4.4~15.0mg/l, T-N 1.06~2.50mg/l, T-P 0.31~0.8mg/l의 농도를 나타내고 있었고,

COD, SS, T-N, T-P의 평균 처리 효율을 보면 각각 5.3%, 1.4%, 3.6%, 3.9%로 조사되었다.

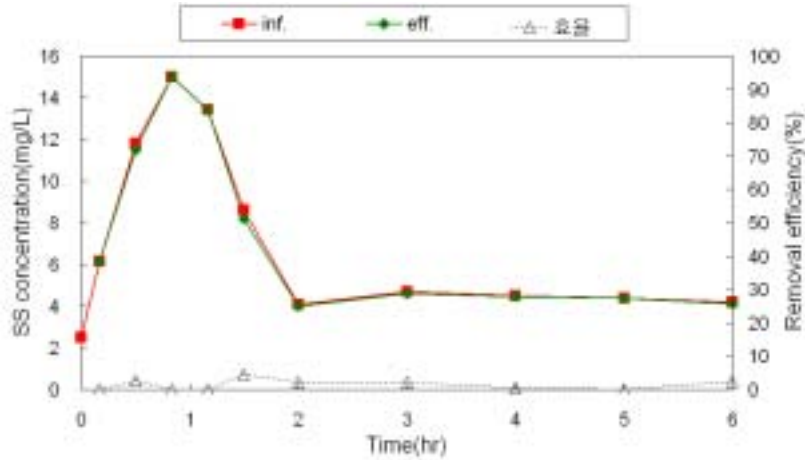


Fig. 10. Removal efficiency and variation of SS concentration in three step screen.



따라서 본 조사에서 나타난 결과를 가지고 보았을 때 기 시설된 배출수처리 시설의 효율은 COD 5.3~16.8%, SS 1.4~48.8%, T-N 3.6~15.9%, T-P 3.9~14.4%로써 극히 미미한 것으로 나타났다.

제주지역 육상해산어양식장에서의 배출수 처리시설로 침전지와 3단계거름망혼합시설, 침전지와 경사스크린 혼합시설, 침전지시설, 침전지와 드럼필터시설, 드럼필터시설, 경사스크린시설 등의 시설이 설치되어 운영되고 있으나 그 모두의 처리효율이 드럼필터가 48.8%, 침전지와 드럼필터가 혼합된 처리시설로써 18.5%, 침전지와 3단계거름망을 혼합한 처리시설이 15%이고 나머지시설의 경우 모두 10%미만의 처리효율을 나타내었다. 여기서 드럼필터가 가장 효율이 높기 하지만 필터의 막힘현상이 사료를 공급한 1~3시간사이에 나타난다. 결국 이러한 막힘현상은 양식장배출수가 드럼필터에서 유통되어 그 처리효율을 저하시키는 원인으로, 관리상의 문제점으로 지적되고 있다. 이와 같이 모든 처리시설효율이 극히 미약하며, 또한 유지관리상의 많은 문제점과 비경제성, 비효율성을 확인할 수 있었다.

3. 취수시설 및 환수율

1) 취수 및 사육수조의 취수방법

대부분의 양식장에 설치되어 있는 기본시설로서 양식장내에 또는 공유수면 내에 집수정을 설치하고 바다로 인수로 또는 인수관을 의해 측으로 내어 외해의 맑은 물을 집수정까지 자연스럽게 취수하여 집수정 위에 양수실을 짓고 펌프를 사용하여 그 위에 설치된 고가저수조로 양수하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다. 경우에 따라서는 양수기에 연결된 인수관을 통하여 외양수를 직접 양수하는 방법을 택하는 곳도 있다. 사육시설에 주수하는 배관방법도 고가저수조를 이용하지 않고 양수기에서 사육수조로 직결시키는 직결식 배관법이 이용되고 있는 곳도 있었다. 고가수조에서 각 사육수조로 연결하는 배관방법은 일반적으로 고가수조에서 일단 지면까지 배관하여 관을 통로에 매몰한 후 수조의 주수구로 연결시키는 상향배관법으로 많이 되고 있지만, 예외로 고가수조에서 수조위로 상가 대를 만들어 위에서 수조로 연결배관된 하향배관법을 이용하는 양식장도 있었다. 조사대상양어장을 중심으로 조사된 제주도 어류양식장의 해수 취수방법은 크게 다음 세가지로 대별되고 있다.

(1) 자연해수의 취수

지하침투수가 개발이 안된 제주남서부지역에서 주로 볼 수 있는 방법으로 위에서 설명한 바와 같이 일반해수를 바다에서 여러 가지 방법으로 인수하여 취수하는 방법이다. 이때 인수로의 길이와 인수로(인수관)의 규모는 양식장의 규모에 따라 다르지만 조사된 양식장 대부분이 인수관을 이용하고 있었으며 인수관의 규격을 보면 소규모의 경우 150mm의 아연 또는 철제강관을 사용하여 외해로 100~130m정도나 가서 인수관의 끝부분은 간조시 수심 4~5m되는 수역에 설치하고 있었다.

(2) 지하(침투)해수의 취수

주로 인근 주민들과 불화가 심한 지역에서 취수를 위한 공유수면의 이용이 어려운 여건에 있는 양식업체들에서 많이 이용되고 있는 방법이다. 예를 들어 해안가에 위치한 태성수산과 온평수산은 제주동남지역에 비교적 풍부하게 용출되는 지하침투해수를 태성수산은 지하 58m층에서 온평수산은 지하 52m층에서 양수하여 약 50ton규모의 저수조를 이용하여 폭기시켜 부족한 용존산소를 보충한 후에 각 사육수조로 연결된 주수관을 이용하여 주수하고 있었다. 대체로 본 조사에서 지하침투해수의 굴착 수심은

40~125m 범위였으며 그중에서도 40~70m층이 많았다.

(3) 지하(침투)해수와 자연해수의 병용취수

제주도에서 가장 많이 볼 수 있는 방법으로 자연해수와 지하침투해수를 함께 양수할 수 있도록 위에서의 두가지 방법을 모두 사용하는 양식장이다. 지하침투계수가 주년 17℃내외의 어류양식에 호적한 수온을 유지하고 있기 때문에 겨울철의 저수온기와 여름철의 고수온기의 수온을 넘치의 성장이 잘될 수 있도록 호적한 범위로 수온조절을 할 수 있는 이점을 최대한 활용하고 있다.

2) 취수시설 및 취수량

조사된 양식장의 양수시설을 보면 양수기의 규모는 소규모의 업체에서는 15~30HP 양수기를 사용하고 있지만 대규모의 양식장에서는 40~150HP까지 그 규모가 상당히 크다. 보유하고 있는 양수기의 대수는 양식장의 규모와 사용펌프의 규모에 따라 다르지만 보통 5~25대까지 설치되어 있지만 양수기의 실제 사용할 수 있는 시설대수는 2~8대로서 비상시를 대비하거나, 과도한 가동을 방지하기 위한 예비양수기를 보유하고 있었다. 일반적으로 지하해수를 양수하기 위한 양수기는 지하침투해수의 용량을 감안하여 30~100HP범위로 일반해수용 양수기 15~150HP에 비하여 소규모양수기를 사용하고 있었다.

3) 사육수조와 어류수용량과 환수율

각 양식장의 수조내의 어류수용량과 이에 따른 환수율(water exchange ratio)를 알기 위하여 북제주군에 신고된 자료를 가지고 조사하였다. 수조내의 하루중 환수율은 양식업체에 다소 차이가 인정되며 특히 사육대상어류의 크기와 수용밀도에 따라 차이가 있다. 조사된 북제주군내 양식장의 연도별 환수율에 대해서 Fig. 11에 나타내었다.

허 등(1995)에 의하면 조사대상 전체 양식장의 일간 환수율의 범위는 5.3~18.8회의 범위였으며 동일한 양식장이라도 체중 100g이내의 치어를 사육하는 수조에서는 6.3~18.8회로 환수율이 높았다. 조사대상 8개 양식장의 평균 환수율은 12.2회였다. Fig. 11에서와 같이 2002년 제주도 북제주군에 신고된 자료의 분석에 의하면 2002년 현재 95년 보다 증가된 약 16.8회로 추계되었다. 단, 이자료의 분석에는 그림에서와 같이 환수율이 5회 이하인 것과 35회 이상으로 계산된 극단적인 자료는 자료의 신빙성이 결여

된 것으로 판단하여 제외하고 산출하였다.

따라서 환수율의 증가에 따라 사용수량이 점차 증가되고 있음을 확인할 수 있었으며, 결국 연안에의 오염부하의 증가에 따라 영향이 커질 거라 사료된다.

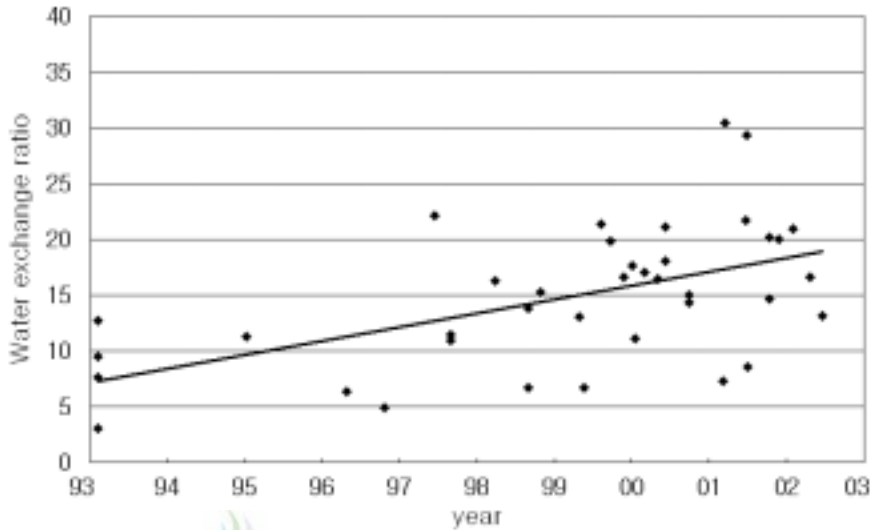


Fig. 11. Water exchange ratio of marinefish aquaculture in Jeju annually(N = 38).

4. 배출수 수질특성

1) 조사 지역 및 조사방법

(1) 조사지역

본 조사의 대상은 육상해산어양식장을 크게 대, 중, 소로 나누어 대규모 양식장의 경우 면적이 10,000㎡이상으로 구분하였고, 중규모 양식장인 경우 면적이 4,000㎡~10,000㎡로 구분하였으며, 소규모인 경우 4,000㎡면적 이하로 구분하였으며, 또한 조사지역을 선정함에 있어 지역의 위치 즉, 동쪽, 서쪽, 남쪽으로 구분하였다.

이에 본 조사지역으로, 대규모 육상해산어양식장인 경우 H지구 육상양식단지로서 하였고, 중규모 육상해산어양식장인 경우 T지역의 J육상양식장으로 하였으며, 소규모 육상해산어양식장인 경우 D지역의 I육상양식장을 선정하였다.

(2) 조사방법

육상해산어양식장의 수질을 알아보기 위해 수조를 지나 배출수 처리장치로 처리되기 전 배출수를 채취하였다. 일반적으로 육상해산어양식장의 배출수의 수질오염물질의 농도는 낮으나, 사료급여후 약 1시간 후에는 부유물질(SS)이 3~5배 정도 증가하다 3시간 경과 후 원상태로 회복된다는 보고에 의해 채취주기는 사료급여후 약 2~3시간 동안은 약 15분 간격으로 시료를 채취하였으며 그 이후에는 주간에는 약 2~3시간간격으로 채취하였으며, 야간에는 약 3~4시간간격으로 시료를 채취하였다.

육상해산어양식장의 수질을 알아보기 위한 시료채취는 8월과 10월에 각각 한번씩 채취하였으며, 시료채취는 24시간동안 하였다.

(3) 분석방법

Table. 9. Analytical items and methods

Item	Analytical Methods
Temperature	Laboratory and Field Methods
Salinity	Density Method(Seatest)
pH	Electrode Method(Istek 740 ; Korea)
TCOD _{4h}	Titrimetric Method(KMnO ₄ , Alkalinity)
TSS	Gravimetric Method(Dry oven, 105°C)
T-N	Spectrophotometric Method(K ₂ S ₂ O ₈ , 220nm)
T-P	Spectrophotometric Method

본 조사에서 온도측정은 현장에서 시료채취를 하자마자 온도계를 가지고 측정하였으며, Salinity측정은 현장에서 Seatest기를 가지고 측정하였으며, pH는 전기전극법으로 측정하였다.

TCOD는 알칼리성 100°C에서 과망간산칼륨에 의한 화학적 산소요구량을 측정하였으며, TSS는 GFC여지로 시료를 여과후 105°C건조기에 넣어 건조한 후 무게를 재서 그 차이로 구하는 중량법으로 측정하였다.

T-N과 T-P는 고압멸균기(Autoclave)를 가지고 120°C에서 전처리하여 각각 220nm에서와 710nm에서 UV로 측정하였다.

2) 해산어육상양식장에서의 수질

육상해산어양식장의 수질을 알아보기 위해 수조를 지나 배출수 처리장치로 처리되기 전 배출수를 채취하였다. 일반적으로 육상해산어양식장의 배출수의 수질오염물질의 농도는 낮으나, 사료급여후 약 1시간 후에는 부유물질(SS)이 3~5배 정도 증가하다 3시간 경과 후 원상태로 회복된다는 보고에 의해 채취주기는 사료급여후 약 2~3시간 동안은 약 15분 간격으로 시료를 채취하였으며 그 이후에는 주간에는 약 2~3시간간격으로 채취하였으며, 야간에는 약 3~4시간간격으로 시료를 채취하였다.

육상해산어양식장의 수질을 알아보기 위한 시료채취는 하계와 추계에 각각 한번씩 채취하였으며, 시료채취는 24시간동안 하였다.

(1) 하계의 양식장 수질결과

대규모 양식장과 중규모 양식장에서는 사료를 아침시간과 저녁시간에 한번씩 하루에 두 번을 공급했으며, 소규모 양식장에서는 사료를 하루에 저녁시간에 한번만을 공급하였다.

하계의 양식장 수질에 있어서 대규모 양식장의 경우 pH 7.1 ~ 7.77범위였으며, 염분은 29.8 ~ 32.5‰이었으며 수온은 16℃를 유지하였다. 중규모의 양식장 수질에 있어서는 pH 7.05 ~ 7.61 범위이었으며, 염분은 21 ~ 21.5‰이었으며, 수온은 20 ~ 21℃를 유지하였다. 소규모 양식장의 경우 pH 7.27~7.88범위이었으며, 염분은 32.5 ~ 34.6‰이었으며, 수온은 23 ~ 26℃를 유지하였다. 대규모 양식장과 중규모 양식장의 경우 낮은 염분과 수온을 유지하는 이유는 지하해수를 사용하기 때문으로 사료되며, 중규모의 양식장의 경우가 대규모의 양식장보다 염분의 농도가 낮은 것은 대규모 양식장은 제주도 동쪽에 위치해 있어 염분의 농도가 일반 해수와 비슷하기 때문으로 사료되며, 세 곳의 T-P 농도는 0.1mg/L이하를 나타내었다.

Fig. 12~14는 각각의 양식장에 대해서 SS농도를, Fig 15~17은 COD농도를 나타내었으며, Fig. 18~20은 각각의 양식장에 대해서 T-N농도를 나타내었다. Fig. 12~Fig. 14에서 보면 대규모 양식장의 24시간의 SS농도는 1.2 ~ 10.8mg/L범위이고 중규모의 경우 0.6 ~ 13.3mg/L범위이며, 소규모의 경우 0.6 ~ 18.8mg/L로 나타났다. 여기서 보면 SS농도의 범위가 대규모에서 소규모로 갈수록 넓어지고 있으며, 농도 또한 높아지고 있는 것을 알 수 있다. COD와 T-N농도의 경우도 SS농도와 같은 경향을 보이고 있다.

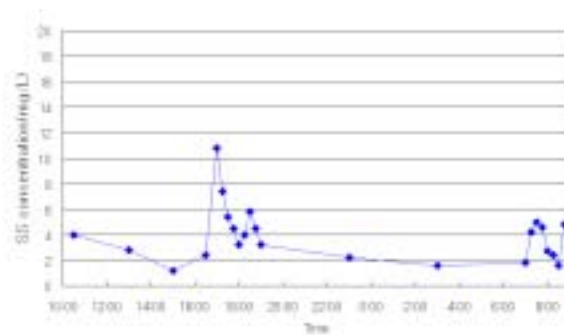


Fig. 12. Variation of SS concentration in a large scale marinefish aquafarm during a day on summer.

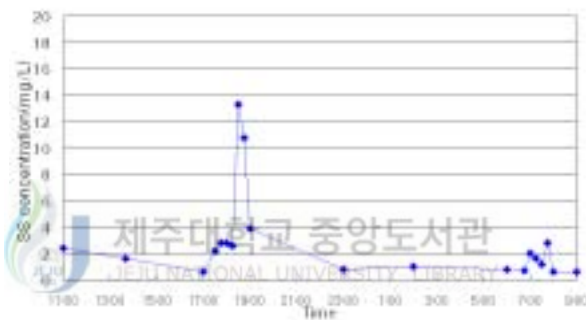


Fig. 13. Variation of SS concentration in a mesoscale marinefish aquafarm during a day on summer.

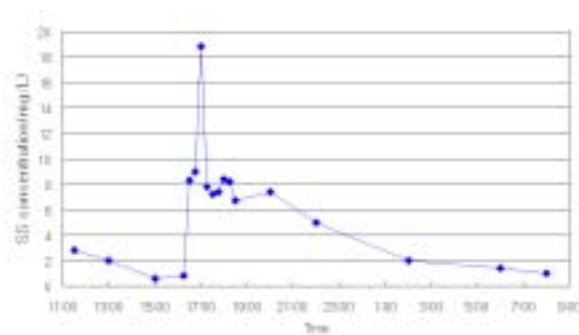


Fig. 14. Variation of SS concentration in a small scale marinefish aquafarm during a day on summer.

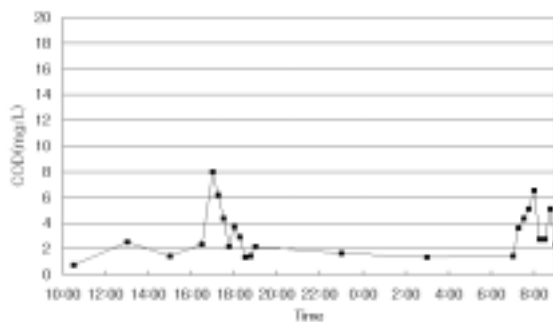


Fig. 15. Variation of COD concentration in a large scale marinefish aquafarm during a day on summer.

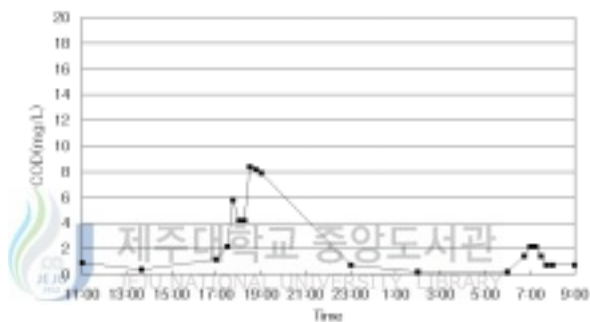


Fig. 16. Variation of COD concentration in a mesoscale marinefish aquafarm during a day on summer.

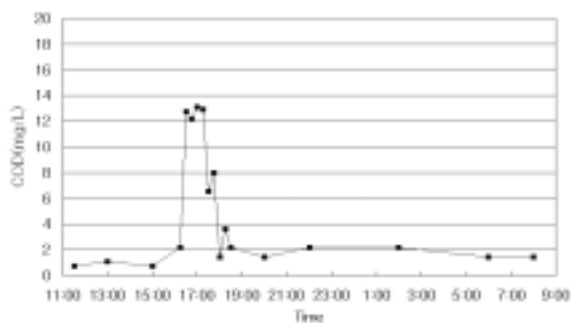


Fig. 17. Variation of COD concentration in a small scale marinefish aquafarm during a day on summer.

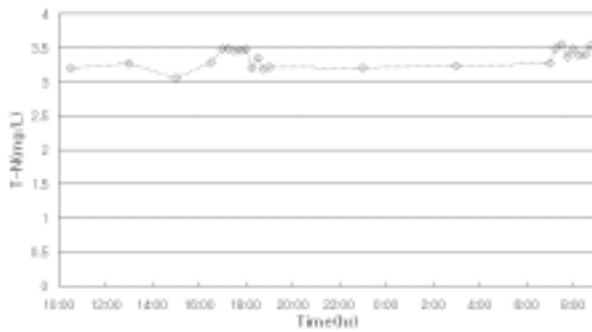


Fig. 18. Variation of T-N concentration in a large scale marinefish aquafarm during a day on summer.

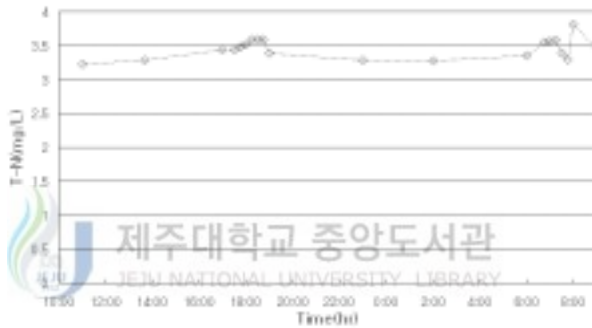


Fig. 19. Variation of T-N concentration in a mesoscale marinefish aquafarm during a day on summer.

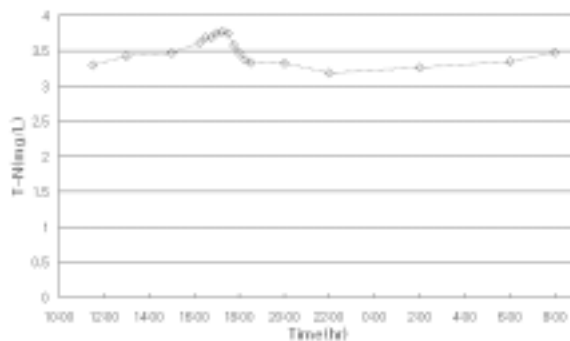


Fig. 20. Variation of T-N concentration in a small scale marinefish aquafarm during a day on summer.

(2) 추계의 양식장 수질결과

Fig. 21~23은 추계에 있어서 대규모, 중규모, 소규모양식장에서의 SS농도를 나타내었으며, Fig. 24~26은 추계에 있어서 대규모, 중규모, 소규모양식장에서의 COD농도를 나타내었다. 그리고 Fig. 27~29는 추계에 있어서 각각 양식장의 T-N농도를 나타내었다.

추계의 양식장 수질에 있어서 대규모 양식장의 경우 pH 6.93 ~ 7.52범위였으며, 염분은 30 ~ 32.5‰이었으며 수온은 15.5℃를 유지하였다. 중규모의 양식장 수질에 있어서는 pH 6.98 ~ 7.64 범위이었으며, 염분은 19 ~ 21.5‰이었으며, 수온은 20 ~ 21℃를 유지하였다. 소규모 양식장의 경우 pH 7.27 ~ 7.88범위이었으며, 염분은 31 ~ 32.5‰이었으며, 수온은 22.5 ~ 24.5℃를 유지하였다. 대규모 양식장과 중규모 양식장의 경우 지하해수와 자연해수를 혼합하여 사육용수로 사용하기 때문에 낮은 염분과 수온을 유지하는데 이번 추계의 수질인 경우 대규모 양식장의 경우 염분이 상당히 높게 나왔으며, 소규모 양식장인 경우 수온이 하계의 수온보다 낮게 측정이 되었는데 그러한 이유로는 그곳 소규모양식장의 경우 자연해수를 사육용수로 사용하므로써 해수의 수온의 하강에 따른 것이라 사료된다. Fig. 21~23을 보았을 때, 하계에 나타났던 경향이 나타나고 있으며, Fig. 24~26을 보았을 때, 추계에서도 마찬가지로 SS농도의 범위가 대규모에서 소규모로 갈수록 넓어지고 있으며, 농도 또한 높아지고 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 추계에 있어서 양식용수의 COD와 T-N농도는 하계의 COD와 T-N농도의 경우와 마찬가지로 같은 경향을 보이고 있다.

하계와 같은 경향을 나타내고 있다. 그리고 한가지 더 나타나는 양상은 소규모에서 대규모로 갈수록 양식장 배출수의 농도가 고르게 배출하고 있다는 것이 나타나고 있으며, 하계보다는 추계에서의 SS와 COD농도가 낮다는 것을 알 수 있다.

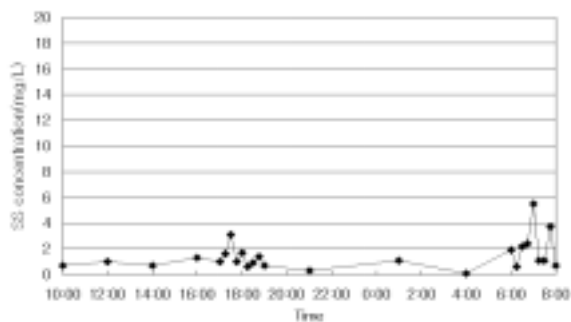


Fig. 21. Variation of SS concentration in a large scale marinefish aquafarm during a day on fall.

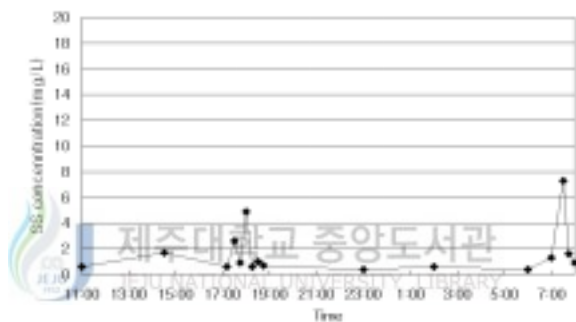


Fig. 22. Variation of SS concentration in a mesoscale marinefish aquafarm during a day on fall

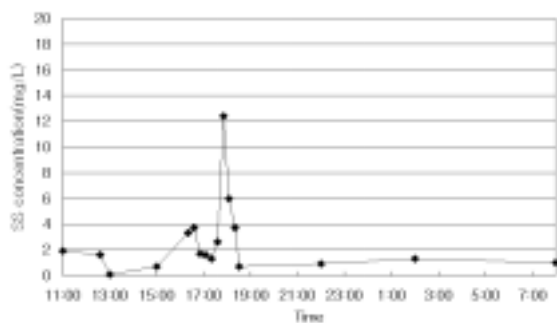


Fig. 23. Variation of SS concentration in a small scale marinefish aquafarm during a day on fall

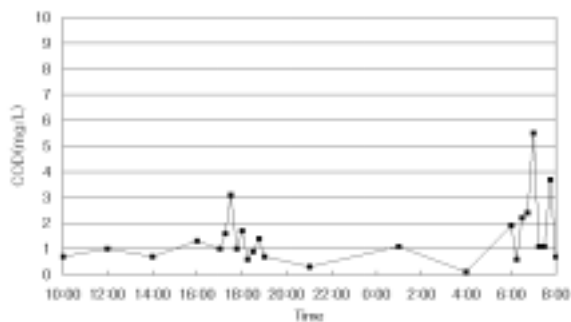


Fig. 24. Variation of COD concentration in a large scale marinefish aquafarm during a day on fall

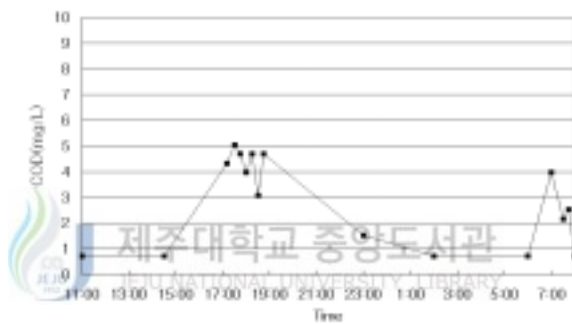


Fig. 25. Variation of COD concentration in a mesoscale marinefish aquafarm during a day on fall

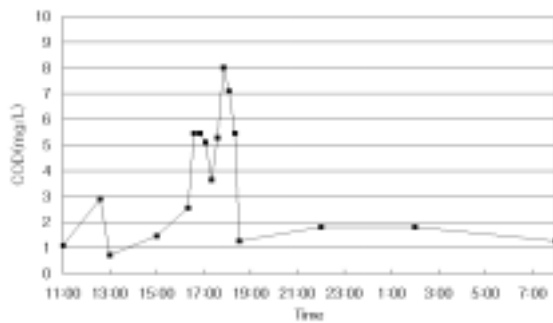


Fig. 26. Variation of COD concentration in a small scale marinefish aquafarm during a day on fall

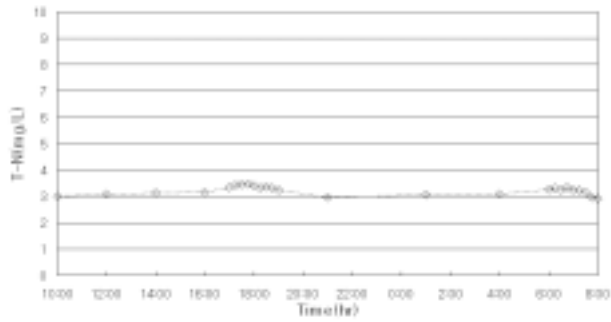


Fig. 27. Variation of T-N concentration in a large scale marinefish aquafarm during a day on fall

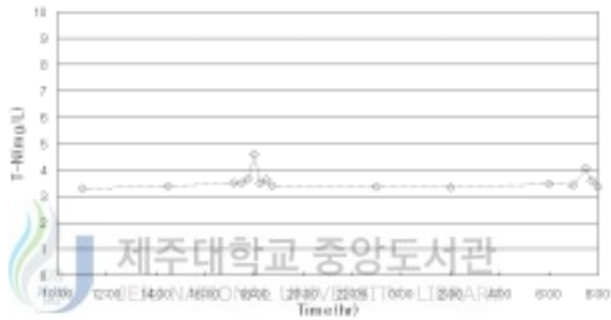


Fig. 28. Variation of T-N concentration in a mesoscale marinefish aquafarm during a day on fall

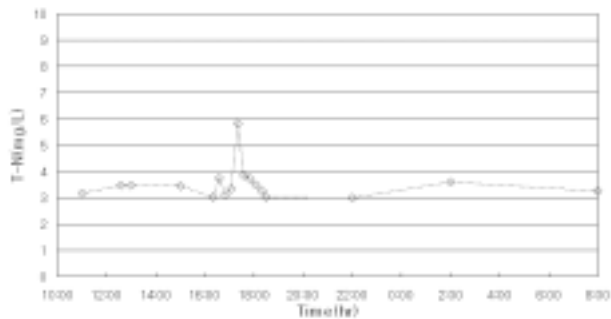


Fig. 29. Variation of T-N concentration in a small scale marinefish aquafarm during a day on fall

(3) 규모별 비교검토

각 양식장의 크기별 SS농도를 하계와 추계로 나누어 Fig. 30과 Fig. 31에 COD농도를 Fig. 32와 Fig. 33에 T-N농도를 Fig. 34와 Fig. 35에 나타내었다. 여기서 하계에 대규모 양식장은 LSS, 중규모 양식장은 MSS, 소규모 양식장은 SSS로 나타내었으며, 추계에 대규모 양식장은 LSF, 중규모 양식장은 MSF, 소규모 양식장은 SSF로 나타내었다. 앞에서 언급했듯이 각 규모별 양식장의 농도는 대규모에서 소규모로 갈수록 농도의 변화폭이 커지는데 이는 대규모 양식장으로 갈수록 양식장의 유량이 많아지게 되고 사료를 공급했을때, 농도의 희석이 대규모양식장으로 갈수록 희석효과가 더 커짐을 알 수 있었다.

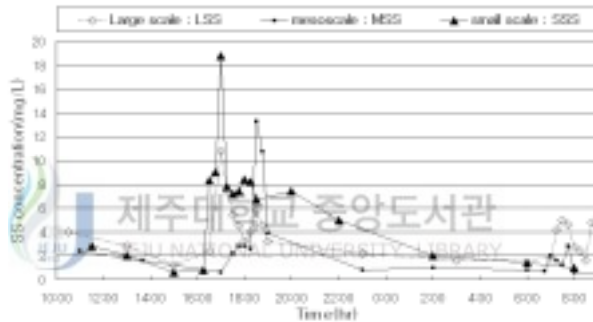


Fig. 30. The variation of SS concentration with the scale during a day on summer.

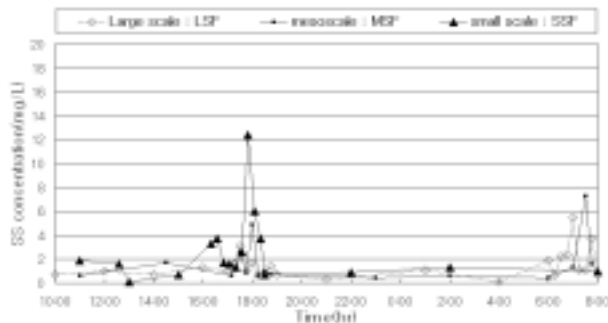


Fig. 31. The variation of SS concentration with the scale during a day on fall.

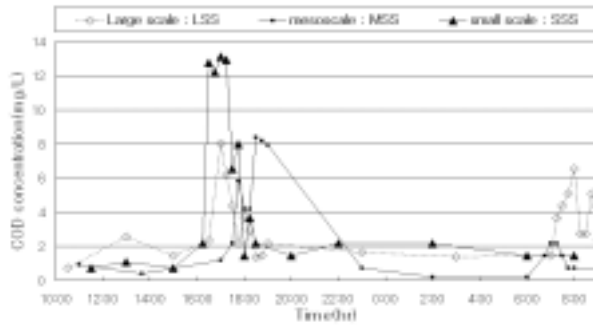


Fig. 32. The variation of COD concentration with the scale during a day on summer.

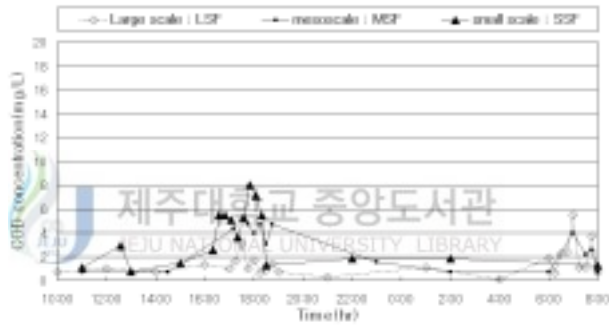


Fig. 33. The variation of COD concentration with the scale during a day on fall.

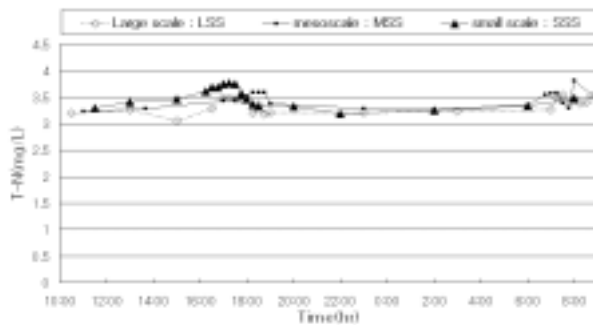


Fig. 34. The variation of T-N concentration with the scale during a day on summer.

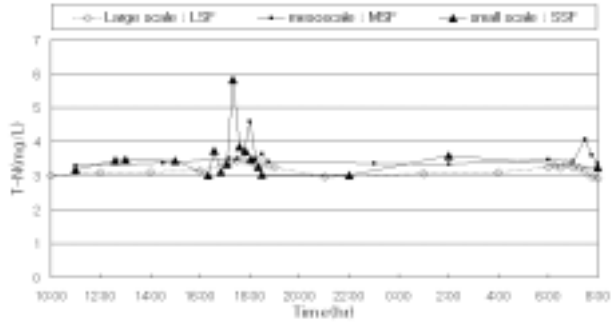


Fig. 35. The variation of T-N concentration with the scale during a day on fall.

(4) 계절별 비교검토

계절별 농도의 변화를 알아보기 위해서 각 양식장의 하계와 추계의 SS농도를 Fig. 36에 나타내었으며, COD농도를 Fig. 37에, T-N농도를 Fig. 38에 나타내었다.

Fig. 36~Fig. 38에서 보면 대체적으로 추계에 비해 하계에서의 농도의 변화폭과 농도에서 높음을 알 수 있는데, 이는 하계에서가 추계에 비해 수온이 높으므로 인해서 양식장에서 양식되어지는 어류가 활동이 많아지게 되고 먹이의 섭취량도 많아져 사료의 공급량이 자연스럽게 많아지게 된다. 따라서 사료의 공급량이 많아짐에 따라 배출되어지는 양도 많아져 농도는 높아지게 되고, 농도의 변화폭도 또한 커짐을 알 수 있었다.

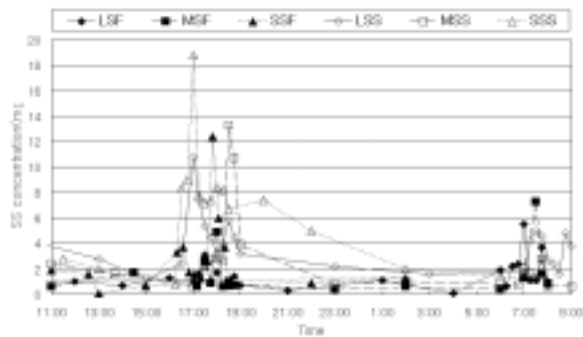


Fig. 36. Each SS concentration with the scale for season.

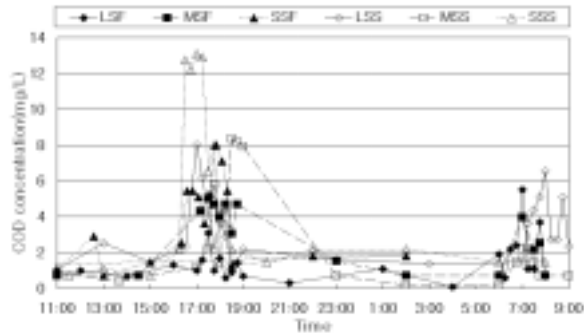


Fig. 36. Each COD concentration with the scale for season.

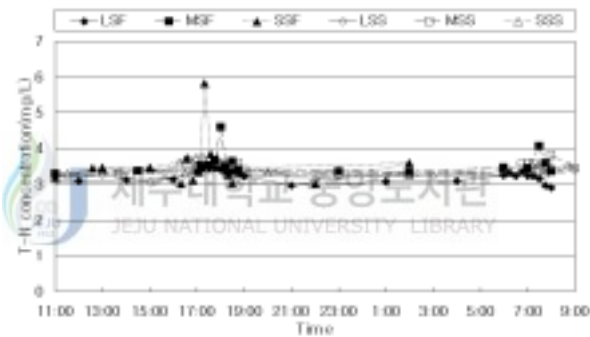


Fig. 36. Each T-N concentration with the scale for season.

5. 각 해역별 양식장 배출수에 의한 수질오염부하량 추정

1) 미처리시 수질오염부하량 추계

양식수조에서 발생하는 유기물폐기물 발생량은 양식어류의 사료섭이후 발생하는 사료 잔량과 폐사체를 합하여 예측할 수 있는데, 여기서 양식장에서의 양식어류의 폐사체의 발생량은 어느 정도 일정하겠지만 발생하는 빈도가 비정기적으로 발생되므로 정량적으로 산정하기란 불가능하므로 육상양식장에서의 오염부하량을 사료공급후 사료 잔량으로만 생각한다면 다음과 같이 추정할 수 있다.

일반적으로 양식어류의 사료공급량은 연간 4kg의 사료를 공급함에 따라 연간 제주도내 사료로 공급되는 양을 추정하면 연간 생산량은 약 12,849ton이며 이에 대해서 1kg의 넵치에 대한 연간 공급되는 양은 4kg이므로 1년에 제주도내 육상양식장에 공급되어지는 총 사료량은 약 51,396ton으로 추정할 수 있다.

이에 대해 사료 공급시 양식어류 섭이후 발생하는 사료잔량을 추정해 보면 다음과 같다.

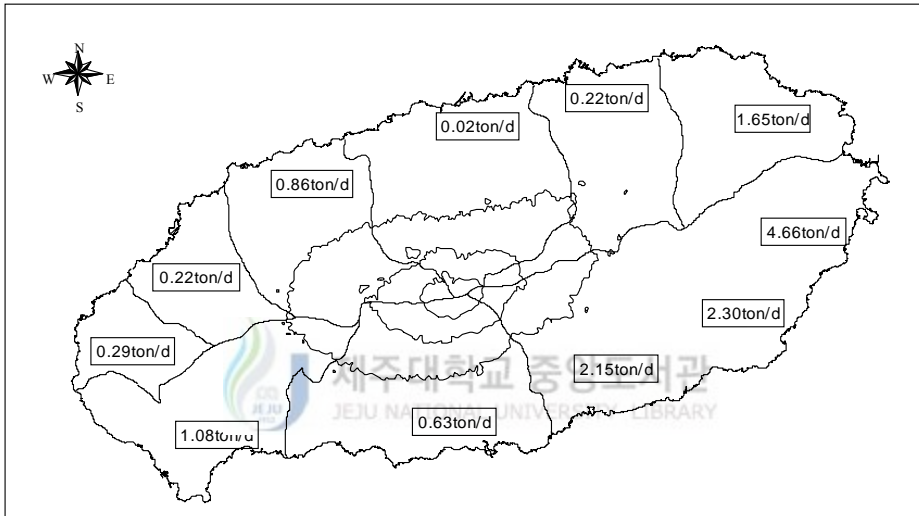


Fig. 39. Total pollutant load of marine fish aquaculture in jeju

일반적으로 양식어류 중 넵치는 섭이율의 90~95%정도로 조사되어 1일 사료의 최대 잔량은 10%를 적용하였을때, 이에 따라 발생하는 양은 5,139.6ton으로 일일 발생하는 잔존 사료량으로 약 14.08ton/day정도로 추정할 수 있다. Fig. 39는 각 지역 육상양식장에서 미처리시 수질오염부하 추계량을 나타낸 것이다. 여기서 보았을때 가장 오염부하량이 많은 지역으로는 성산지역으로 나타났으며 일일 발생할 수 있는 오염부하량은 약 4.66ton으로 나타났다.

2) 현재시설에 의한 처리시 수질오염부하량 추계

이등(2002)에 의한 해수육상양식어업의 배출수 관리 및 적정처리 방안에서 각 배출수 처리시설의 제거효율을 가지고 제주도내 육상양식장에서 해역으로 배출될 수 있는

양을 추정하면 다음과 같다.

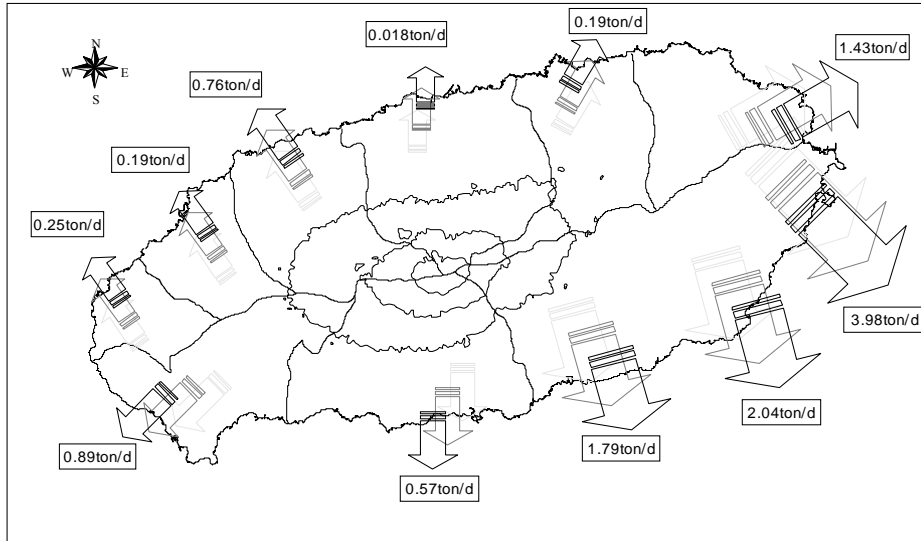


Fig. 40. Total effluent of marine fish aquaculture in Jeju

먼저 Fig. 39에서 나타내었듯이 제주도내 육상양식장에서 생산되어지는 오염부하량은 약 14.08ton/day로써 이에 각 육상양식장별 처리시설에 대한 처리효율에 대하여 대입하였을 때 해역에 배출되어질 수 있는 오염부하량을 산출할 수 있다.

Fig. 40은 각 지역별 해역에 배출되어질 수 있는 오염부하량을 산정한 것이다. 제주도내 육상양식장에서 처리되어 배출되는 양은 약 12.1ton/day로 추정되었다. 즉 배출수 처리시설장치로 제거되는 양은 약 1.98ton/day로 총오염부하량에 대해서 14.06%를 차지하고 있다. 또한 제주도내 동쪽, 즉 조천, 구좌 성산, 표선, 남원 지역에서의 배출량이 9.43ton/day로 나타나 총오염부하량에 대해 약 77.93%를 차지해 동쪽지역에 육상해산어 양식장이 많이 산재해 있기도 하지만 오염부하량도 상당히 차지함을 알 수 있었다.

6. 배출수 규제방안 비교고찰

육상양식장에서 배출되는 오염물질을 규제하는 방법으로 총량규제, 농도규제, 지역

별 규제 등으로 크게 3가지로 나눌 수 있다.

총량규제는 규제적 성격보다는 수질관리를 위한 방법론을 체계화, 제도화 시킨 것으로 어떤 수역의 수질개선을 위해 환경용량을 고려하여 환경기준이 유지될 수 있도록 그 수역으로 유입되는 오염물질의 총량을 규제하는 방식을 총칭하는 개념이다. 일정지역 내의 환경 오염물질의 배출총량을 환경보전상 허용가능한 한도로 유지하기 위하여, 공장 등에 대해 오염물질의 허용배출량을 배분하고, 이 양을 가지고 규제하는 방법을 가리키며 수질환경보전법 등에서 정해진 규제방식이다.

직접규제로서의 총량규제는 환경기준 유지를 위해 요구되는 삭감총량을 개별 오염자에게 직접 할당하여 오염물질을 감축토록 규제하는 방식(수질환경보전법)이고, 경제적 수단으로서의 총량규제는 환경기준 유지를 위해 허용되는 오염물질총량을 설정해 놓고, 그 이하로 유입되도록 경제적 유인 또는 재정적 강제수단을 동원하는 것으로 실행 예로서 미국의 위스콘신주(FOX강)에서 실시한 오염배출권 거래제도가 있으며 기타 배출부과금제도와 총량규제제도의 통합 등을 상정할 수 있다.

총량규제는 환경기준과 배출수준을 직접 연계시켜 관리하는 원론적 성격의 제도이지만, 실행방법상의 현실적 문제로 농도규제방식의 단점(오염물질의 절대량 증가에 대처곤란)을 부분적으로 보완하는 역할에 그치고 있다.

제도시행의 장애요소로는 자연적 환경용량의 산정이 곤란하여 환경기준을 토대로 수학적 모델링 방법 등에 의하여 허용총량(또는 삭감총량)을 산정할 수 밖에 없고, 이 경우 환경기준의 합리성 문제, 환경용량산정결과의 합리성 문제 등이 해결되지 않으면 규제자체가 곤란하다. 삭감총량을 오염자에게 할당하기 위해서는 개별 오염자에 대한 정확한 행정정보와 합리적인 할당 기준이 마련되어야 하나, 정보가 미흡하고 오염추정의 표준적 기법이 개발되어 있지 않다. 한편, 할당 기준에 대해서는 여러 가지 연구결과가 발표되어 있다. 삭감총량은 사업장, 가정, 축산농가 등 오염자군에 대해 1차적으로 분배되고, 사업장에 대해서는 개별적으로 할당하여 감축하고, 가정에 대해서는 할당총량을 공공투자 등을 통해 해결해야 되나 특별재정지원이 있어야 가능하다. 또한, 배출기준이 1일 단위 중량으로 부여되므로 사후감시방법이 용이하지 않으며, 부하량 측정기술 또한 미흡한 실정이다. 기타 제도외적 사항으로 물리적 규제에 따른 부작용을 들 수 있고, 기업의 부담능력까지 고려대상이 되어야 하는 것으로 지적되고 있다.

총량규제 제도는 그 제도 자체만으로 본다면 기존의 배출허용기준에 의한 규제보다

진일보한 대안임에 분명하다. 그렇지만 양식장의 제반사정을 고려할 때 당장은 기대되는 성과보다 시행에 따르는 부작용이 더 클 수 있다. 총량규제를 실시하는데 따르는 문제점으로는 다음과 같은 사항들을 들 수 있다.

첫째 현실적으로 자연적 환경용량의 산정이 곤란하기 때문에 환경기준을 토대로 해서 수학적 모델링 등에 의한 방법으로 배출허용용량을 산정해야만 하는데, 이 경우에 환경기준이 과연 합리적인가 하는 문제, 환경용량 산정방식의 타당성 문제등이 해결되지 않으면 규제 자체가 곤란하다.

둘째, 목표로 하는 배출삭감량을 각 오염자들에게 공정하게 할당하기 위해서는 개별 오염자에 대한 정확한 오염배출정보와 합리적인 할당기준이 요구되지만 현재로서는 이러한 정보를 관리할 능력도 준비되어 있지 않은 상태이다.

셋째, 각 오염자가 오염물질 배출량을 삭감하기 위해서는 많은 경비를 투자해야하고 공공부문에서도 충분한 경비의 뒷받침이 있어야 하지만 이러한 재원의 조달이 현실적으로 용이하지 않다.

넷째, 각 오염원들에서 배출되는 오염물질 부하량을 상시 감시할 수 있는 기술과 장비의 개발이 아직은 미흡하며 이 제도 실시를 위한 전문인력의 확보도 용이하지 않다.

양식장 시설규제의 경우 침전시설을 사육시설 면적의 20%이상만 설치를 하면 어떠한 농도로 배출하여도 법에 저촉되지 않는다. 그 동안 양식장에서는 처리시설만 설치하면 된다는 인식이 팽배해졌고, 효율성이 고려되지 않은 시설의 설치와 관리 문제로 인해 제주도를 비롯한 지자체에서 농도규제는 시설 규제 유예기간 중에 처음 논의되기 시작했으며, 1999년에 환경부는 국정감사시 양식장 배출수 기준 설정계획을 제출했다. 이후 2000년 10월 23일 수질환경보전법 개정시 양식장 배출수 기준 고시 근거 규정이 마련되었으며, 2001년 국립환경연구원에서 육지부에서의 담수양식장을 주요한 관련조사를 1년간 수행하였다. 즉, 현재도 시·도지사에 의해 지방 조례로 농도규제가 가능하다. 농도규제방식은 일률적인 농도규제와 양식장에 의해 실제 증가되는 농도분에 대한 농도규제(순증가 허용농도)로 구분되며, 각 방식의 장단점은 Table. 10과 같다.

Table 10. Uniform regulation based on concentration level and strictly increasing regulation based on permissible concentration

	규제방식	장점	단점
일률적인 농도규제	전체 양식장의 항목별 농도설정	행정이 용이	원수의 농도와 수량에 따라 형평성의 차이
순증가 허용 농도규제	하천수, 지하수 등의 원수의 특성을 고려하여 실질적으로 증가된 농도를 규제	개별양식장에 대한 형평성 유지	행정 관리가 곤란

이러한 농도규제 방법은 지역별로 기준농도만 정하면 되므로 기준설정이 용이하며 순간의 채수에 의한 농도 검사만으로 기준 준수 여부 확인 가능하므로 단속이 용이하다는 장점을 가지지만, 전체양식장에 대한 모니터링이 필요하며, 많은 행정력이 소요되고 수질검사시 편차가 발생하며, 폐수량의 다소에 관계없이 동일 농도기준이 적용되어 폐수가 적을수록 오염물질을 적게 내보냄으로써 소규모 배출자에게 불리하다는 단점을 가지고 있다.

지역별 규제는 행정관리가 용이하고, 수계별 총량규제 사전 단계로서 적용이 가능하지만, 지역별 형평성의 논란과 양식장에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다는 단점이 있다. 그러나 농도규제와 함께 아직까지 우리나라 담수 수계 관리의 기본이 되는 방식이다.

그러나 제주지역 육상해산어 양식어업은 지역적인 특성상 우수식이며, 환수율(Water Exchange Ratio)이 크기 때문에 사용해수량이 과다하고, 배출수의 농도변화 또한 극심하여 이를 전국적으로 일괄적인 농도규제나 총량규제 방식에 의한 오염규제는 비경제적이며 비효율적인 것으로 판단되었다. 따라서 이를 효과적으로 규제하기 위해서는 지역적인 특수성을 고려하여 년차별, 단계별로 순환율(Recycle Ratio)을 점차 증가시켜나감으로 우수식 양식어업이 순환여과식 양식어업의 형태로 변환을 유도시키는 ‘제주지역 육상해산어 양식어업에 대한 순환율 규제방안’이 수집되어 양식어업의 발전과 지역환경보전이 함께 이루어져야 할 것이다.

IV. 결론

제주지역 육상해산어양식어업의 지속적 발전과 연안어장의 환경보호라는 서로 상충되는 사회적 문제점을 해결하기 위해서, 본 연구에서는 양식시설의 각종 현황과 수질 특성 등을 조사·분석하고 비교·검토한 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 제주지역 육상해산어양식장에서의 배출수 처리시설로 침전지와 3단계거름망혼합 시설, 침전지와 경사스크린 혼합시설, 침전지시설, 침전지와 드럼필터시설, 드럼 필터시설, 경사스크린시설 등의 시설이 설치되어 운영되고 있으나 그 모두의 처리효율이 극히 미약하며, 또한 유지관리상의 많은 문제점과 비경제성, 비효율성을 확인할 수 있었다.
2. 제주지역 육상해산어양식장에서의 취수의 형태는 자연해수취수, 지하(침투)해수취수 및 자연해수와 지하(침투)해수의 병용취수의 방법이 지역적인 특성에 따라 이용되고 있었으며, 이러한 용수(해수)확보의 용이성 등에 따라 환수율(Water Exchange Ratio)이 지역별로 점차 증가되고 있어 이에 따른 방류해역에의 오염 부하의 증가를 예상할 수 있었다.
3. 육상해산어양식장의 규모별(수조 총면적의 대, 중, 소), 계절별(하, 추계)배출수 수질특성을 조사·분석한 결과, 규모가 보다 적을수록 각 수질오염물질의 농도변화가 보다 크다는 것과 하계에 비해서 추계에서의 오염물질 배출농도가 보다 낮다는 것과 모든 오염물질의 배출은 급이후 약 1~3시간이내에 주로 잔존사료의 형태로 모두 배출되는 수질특성을 나타내었다.
4. 잔존사료의 발생량과 현 배출시설에 의한 처리효율을 고려한 각 방류해역별 총 오염물질(잔존사료량)의 배출부하량은 일간 약 12.1ton에 달하며, 그 중에서도 제주도의 동쪽 즉, 조천, 구좌, 성산, 표선, 남원지역에서가 약 78%를 차지하는 것으로 산출되었다.
5. 육상해산어양식장에서의 공급사료는 개발초기에 생사료중심에서 배합습사료(MP :

moist pellet)중심으로 옮겨 왔으나, 연안어장의 오염방지를 위해서는 저오염형배합건조사료(EP : expansion or extruded pellet)로의 전환이 필요한 것으로 판단된다.

6. 제주지역 육상해산어 양식어업은 지역적인 특성상 우수식이며, 환수율(Water Exchange Ratio)이 크기 때문에 사용해수량이 과다하고, 배출수의 농도변화 또한 극심하여 이를 전국적으로 일괄적인 농도규제나 총량규제 방식에 의한 오염규제는 비경제적이며 비효율적인 것으로 판단되었다.

따라서 이를 효과적으로 규제하기 위해서는 지역적인 특수성을 고려하여 년차별, 단계별로 순환율(Recycle Ratio)을 점차 증가시켜나가므로 우수식 양식어업이 순환여과식 양식어업의 형태로 변환을 유도시키는 ‘제주지역 육상해산어 양식어업에 대한 순환율 규제방안’이 수집되어 양식어업의 발전과 지역환경보전이 함께 이루어져야 할 것이다.



V. 참고문헌

- 북제주군, 1998, 행원지구 육상양식단지 조성사업 환경영향평가서
- 배승철 등, 1997, 어류영양과 사료, 삼광출판사, 71~100
- 조규송 등, 1990, 내수면 양식업의 수질오염 영향에 관한 연구, 한국환경과학연구협
의회
- 조병락 등, 2000, 폐수처리시설 설계 및 유지관리, 동화기술, 49~113
- 조재운, 1997, 유럽공동체 내에서의 양어장 배출수와 그 규제, 한국양식, 9(1), 87-10
5
- 조현서, 최규정, 1995, 화태도 양식장 주변해역의 계절별 수질변동 특성, 여수수산대
학교 수산과학연구소 연구보조 제4호, 4, 17~30.
- 차용택, 배승철, 1995, 해산어용 미립자 사료 개발 가능성 및 넙치 자·치어를 이용
한 실험 모델 개발, Kor.J.Anim.Nutr.Feed., 19(6), 468~475
- 최상일, 1994, 장방형 횡류식 침전지의 수리학적 특성에 관한 연구, The J. of KWU,
23.
- 최병선, 양식어업자 올리는 중첩된 시설기준.
- 최영찬, 2001, 제주연안역 해양오염(육상양식장 배출수 오염을 중심으로)1~39
- 허 목 등, 1995, 육상양식장 배출수 처리방법에 관한 연구, 제주대학교 부설 해양연
구소 연구보고서, 25~88
- 홍재상, 송춘복, 김남길, 김종만, 허형택, 1987, 광양만의 김 생산과 양식장환경과의
관계에 대하여, 한국수산학회지, 20(3), 237~247.
- 황진욱, 이승우, 류정곤, 1997, 넙치양식업의 경영실태와 제고 방안 연구, 국립수산진
흥원 연구보고서 제 53호 22~23
- 제주도, 2002, 양식어업발전 종합대책
- 장영진, 김승현, 양한섭, 1995, 반폐쇄식 순환여과 사육시스템에서의 넙치 양식, 한국
수산학회, 28(4), 457~468
- 전형주, 2000, 양식장 배출수 처리방안, 국립수산과학원 청평내수면연구소 연구자료,
1~18
- 장영진, 허준욱, 임한규, 2001, 순환여과 사육 시스템에서 해수와 담수에 사육한 송어

- (Mugil cephalus)치어의 성장과 생존율, 한국양식학회지 14(1), 29~33
- 강주찬, 박수일, 김성근, 1998, 필터의 개발을 통한 해수 육상수조식 양식장의 환경개선에 관한 연구, 한국수산학회지, 31(6), 914~919.
- 강주찬, 박수일, 김성근, 1999, 필터의 개발을 통한 해수 육상수조식 양식장의 환경개선에 관한 연구, 한국수산학회지, 32(4), 501~506.
- 고광백 등, 1997, 폐수처리공학, 동화기술, 201~377
- 광수물산, 2002, 에월 육상수조식 어류양식장 시설확장 사업 환경영향평가서
- 김병기, 박용주, 1999, 조피볼락의 가두리 사육, 한국양식, 11(1) 7-16
- 김병진, 김용하, 서근학, 포말분리기에 의한 순환여과식 양식장의 단백질 및 부유 고형물제거.
- 김성근, 강주찬, 박수일, 1998, 필터의 개발을 통한 해수 육상수조식 양식장의 환경개선에 관한 연구, 한국수산학회지, 31(6), 908~913.
- 김성구, 해수순환여과식 양식장 개발을 위한 질산, 탈질공정의 개발, 해양생물공학연구회
- 김숙양, 김광석, 유영출, 1992, 가두리 양식장의 부상사료 사용에 따른 수질오염 경감에 관한 연구, 수진연구보고 46, 21-29.
- 김인배, 2002, 미래지향적 순환여과식 양식산업의 개발, 7~25
- 김원평, 1996, Moist pellet과 Extruded pellet에 의한 넙치의 성장효과
- 김정대, 이종윤, 김광석, 이승복, 최낙중, 김응오, 1998, 저오염 사료의 급여에 의한 잉어의 성장과 질소 및 인 배설량, 양식학회지, 11(1), 39-48.
- 김정목 등, 2000, 환경공학설계, 신광출판사, 29~35
- 김홍윤, 조현서, 오명주, 박순현, 해산어 육상수조식 양식장 수질특성과 사육수질의 일주변동.
- 이상민, 서충현, 조영식, 1999, 사료 공급 횟수가 넙치 치어의 성장에 미치는 영향, 한국수산학회, 32(1), 18~21.
- 이용두 등, 2002, 해수육상양식어업의 배출수관리 및 적정처리 방안, 2~22
- 이찬기 등, 1990, 내수면 양식장으로 인한 수질오염 방지대책 연구, 원주지방환경청.
- 이해영, 1998, 어류영양 및 사료개발에 관한 연구동향, 한국양식, 10(2), 18-27
- 남상호, 1989 각종 용수의 수질기준 연구, 한국환경과학연구협의회
- 박병하, 연근해어업의 현황과 전망.
- 박종호, 김이오 등, 2002, 상향류식 연속역세여과를 이용한 양어장 순환수재이용, 한

국양식학회지, 15(2), 87~93

서근학, 김병진, 전임기, 2001, 순환여과식 양식 시스템의 설계 및 개발, 한국수산학회지, 34(1), 70~76.

여수대학교, 해산어 육상축양장의 수질개선 및 연안환경 개선을 위한 오존처리 시스템의 개발, 환경부, 33~37

水産用水基準(1995년판), 日本水産資源保護協會

佐野和生, 養殖環境工學, サイエンティスト社, 1~35

佐野和生, 水産養殖と水, サイエンティスト社, 3~50



감사의 글

제 때에 논문을 마무리하지 못하여 내 자신 속 앓이 보다 저를 아껴주시는 산업대학원 동기 선배님들과 교수님들의 속을 태운 데 대한 송구한 마음이 금할 길 없습니다.

이러한 여건 속에서도 본 논문의 완성을 위하여 아낌없이 지도해 주신 허목 지도교수님, 세심한 검토를 거쳐 모자란 부분을 채워주신 이기호 교수님, 조은일 교수님, 그리고 대학원 과정 동안 지도해 주신 오윤근 교수님, 허철구 교수님, 감상규 교수님, 이용두 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

또한 이 논문을 작성하는데 많은 도움을 준 폐수·폐기물공학 연구실 강진영, 김광진, 고기석, 오경미, 부성철, 이창수, 이동재, 지상일, 고경림, 강수윤, 한동호 등과 제주도 시·군 양식장 수질관리업무 담당 직원들께 감사 드리며, 바쁜 업무 중에도 논문 준비에 시간을 할애하여 주신 양여석 건축허가민원과 장님을 비롯한 직원 여러분 모두에게 감사드립니다.

그리고 항상 애태우는 이 남편을 위하여 곳곳하게 참고 가정의 화목을 위하여 내조를 아끼지 아니한 사랑하는 아내와 어려운 여건 속에서도 건강하고 밝게 지내는 지현, 정현, 준형 세 자녀에게 고마움을 전하며, 논문 완성의 기쁨을 같이 하고자 합니다.