博士學位論文

이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*)의 循環濾過式 飼育에 의한 窒素와 燐의 排出과 淨化에 關한 硏究

濟州大學校 大學院
水産生物學科

禹 榮 培

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1994年 6月 日

이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*)의 循環濾過式 飼育에 의한 窒素와 燐의 排出과 淨化에 關한 硏究

指導敎授 盧 暹

禹 榮 培

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함.

1994年 6月 日

禹榮培의 理學 博士學位論文을 認准함.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長 卞 忠 吉

委 員 김 정 대

委 員 이 정 재

委 員 정 상 권

委 員 盧 暹

濟州大學校 大學院

1994年 6月 日

Studies on Estimation and Purification of Nitrogen and Phosphorus Discharged by Israeli Carp, *Cyprinus carpio*, Reared in the Recirculating System

Young-Bae Woo
(Supervised by professor Sum Rho)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENTS FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1994. 6.

目　次

Abstract i
Ⅰ. 緖　論 1
Ⅱ. 材料 및 方法 4
1. 배합사료의 영양소 성분등록치와 분석치의 비교 4
1) 배합사료 선정 4
2) 조사항목 4
3) 분석방법 5
2. 잉어의 질소와 인 배출량 6
1) 실험어와 사육방법 6
2) 조사항목 7
3) 분석방법 7
4) 통계처리 8
3. 질소와 인의 정화 8
1) 식물성 플랑크톤 이용 8
2) 식물성 플랑크톤에 광합성 세균 첨가 9
3) 미생물(*Acinetobacter calcoaceticus*) 이용 9
Ⅲ. 結　果 11
1. 배합사료의 영양소 성분등록치와 분석치 비교 11
2. 잉어의 질소와 인 배출량 17
1) 성장도와 사료계수 17
2) 질소와 인의 수중 배출량 21
3. 질소와 인의 정화 25
1) 식물성 플랑크톤의 이용 25
2) 광합성 세균의 이용 37
3) 미생물(*Acinetobacter calcoaceticus*)의 이용 47
Ⅳ. 考　察 52
1. 배합사료의 영양소 성분등록치와 분석치 비교 52

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 잉어의 질소와 인 배출량 56
3. 질소와 인의 정화 67
Ⅴ. 要 約 75
1. 배합사료의 영양소·성분등록치와 분석치 비교 75
2. 잉어의 질소와 인 배출량 75
3. 질소와 인의 정화 76
Ⅵ. 參考文獻 77
Ⅶ. 謝 辭 90
EXPLANATION OF PLATES 92
PLATES 93

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Abstract

The study has been conducted to know purification efficiency of five kinds of microbes such as *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus* sp., *Spirulina platensis*, PSB (purple non Sulfur Bacteria), and *Acinetobacter calcoaceticus*, on the nitrogen and phosphorus discharged by Israeli carp (*Cyprinus carpio*) reared in the recirculating system. The results are as follows:

1. Comparison between registered and analyzed nutrients.

Approximate nutrient compositions of six different carp diets were examined to know the difference between registered(R) and chemically analyzed(A) nutrient levels. As a result, all diets tested in this study satisfied governmental requirements (NRC, 1983) including essential amino acids. However, linoleic acid content could not reach its requirement in five of six diets examined. Large difference between A and R was observed especially in the level of crude fiber and crude ash. Both oleic (18:1ω3) and palmitic (16:0) acids were turned out to be major fatty acids.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. Nitrogen and phosphorus discharged by Israeli carp

The amount of nitrogen and phosphorus discharged by Israeli carp was estimated by using those still remained in Israeli carp body. After four weeks of feeding commercial diets to Israeli carp whose average weight was 25g, their body weights have been increased from 18.84 to 27.46g. Feed coefficient appeared to be from 0.89 to 1.22 and showed the considerable difference between treatments. Protein efficiency ratio ranged from 1.94 to 2.47, and any relationship between this ratio and protein level of fish diets could not be observed. During the experiment, protein and lipid contained in a Israeli carp have been increased, moisture and ash have been decreased, and calcium and phosphorus have been maintained relatively constant. The amount of nitrogen discharged per kg gain ranged from 40.9 to 61.3g, and its retention efficiency varied from 29.7 to 38.1 %. The amount of phosphorus discharged by Israeli carp ranged from 10.0 to 17.1g per kg gain and its retention efficiency was 15.2 to 26.8%.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. Nitrogen and phosphorus purification

Five kinds of microbes were inoculated into exhausted water to examine their purification effects on the sources of water pollution such as nitrogen and phosphorus. They included three species of phytoplanktons (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus* sp., and *Spirulina platensis*), PSB, and phosphorus

fixing bacteria (*Acinetobacter calcoaceticus*). Among three species of phytoplanktons, when *Chlorella vulgaris* of 10×10^6 cells/mℓ was inoculated only once into exhausted water, the highest purification efficiency was observed after five days. Among the cases of using mixed microbes, when *Spirulina platensis* of 10×10^6cells/mℓ was inoculated first and PSB of 2.5×10^7cells/mℓ was sequencially added with one-day interval, the best purification effect was observed after five days.

The results mentioned above suggested that official nutrient requirements for commercial fish diets, especially for crude fiber and ash content, should be established as soon as possible. In addition, an official organization seems to be necessary to inspect the quality of fish diets. Finally, much efforts will have to be made not only to discover new kinds of phosphorus fixing bacteria, but also to develop new strains, which may be more effective in phosphorus purification than *Acinetobacter calcoaceticus*.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 緖　論

양어용 배합사료의 개발과 함께 1980년대 초반부터 증가하기 시작한 지금까지의 국내 어류양식은, 수요에 따른 사료공급의 양적 충족만으로 이루어졌기 때문에, 수질오염 문제와 같은 당면과제에 관해서는 심사숙고의 여지가 없었다(김, 1993).

세계적으로 양식 생산량의 증가에 따라 수질오염이 심각한 문제로 대두되고 있으며, 국내에서도 호수의 수질악화에 미치는 여러가지 오염요인들 중에서 가두리 양식장에서 유출되는 배설분뇨(조 등, 1990; 김, 1991)나 유실되는 사료가 호수의 부영양화에 미치는 정도가 매우 유의적인 것으로 평가되고 있다(원주지방환경청, 1990). 비록 양식장으로부터 배출되는 오염 부하량이 전체 오염부하량 중 일부를 차지할 뿐이지만, 산업폐수나 생활폐수의 유입은 표면상 가시화되지 않는 반면, 양식장으로부터의 오염은 표면화되어 있으며, 양식생산량의 증가와 함께 오염부하량도 증가하는 것은 필연적인 것이다(원, 1993).

양식장에서 발생되는 수질오염의 주요 원인은 어류의 분과 유실된 사료에 의한 생물 화학적 산소요구량의 증가, 분(糞)과 대사성 배설물과 허실된 사료로부터 유래하는 질소, 분과 유실된 사료내 인 등에 의해 가속화되는데(Beveridge, 1987), 특히 인은 조류(藻類)의 성장 제한인자로 알려져 있다(Velleret, 1977; Wagner, 1979; Walker and Hillmann, 1982; Auer *et al.*, 1986). 양식장으로부터 유리(遊離)되는 이러한 영양염류가 호수내에 증가되면, 용존산소의 결핍이나 부영양화 등의 현상이 일어나 유해한 환경이 초래하게 된다(Eskelinen, 1984).

이에 대한 대책으로는 정확한 사양표준을 제정하여 사료 유실이 없도록 하고, 부상사료를 이용함으로서 침전에 의해 유실되는 사료를 최소화시키며, 생사료는 배합사료로 전환시킴으로서 오염부하량을 감소시키고, 배합사료의 경우 소화율이 높고, 인의 함량이 낮은 원료를 사용하여 분으로 배

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

설되는 오염물질 특히, 질소와 인의 배출을 최대한 억제하며(김, 1993), 유출되는 배설분뇨에 대한 처리과정이 병행되어야 한다.

사양표준의 체계를 위한 영양소와 에너지 요구량에 관한 연구의 경우 여러 선진 양식국에 있어서는 비교적 많이 보고되어 있으나(NRC, 1981, 1983), 국내의 경우는 수편에 지나지 않고(원과 한, 1990; 김, 1991; Chu *et al.*, 1991; Kim and Kaushik, 1991), 국내 담수 양식어 생산량의 70%를 차지하는, 이스라엘 잉어에 있어서 에너지 단백질 수준에 관한 연구는 원(1993)의 결과 뿐이다.

Watanabe 등(1987a)은 사료중의 단백질이 가능한 성장 목적으로만 사용될 수 있는 적정수준의 저단백질·고에너지 사료를 개발하였으며, Takeuchi 등(1979b)은 잉어의 사료내 적정 가소화에너지/조단백질(DE Kcal/protein %)은 97~116이라고 보고했다. 한편, 경제적인 측면과 수질오염 방지를 도모 할 수 있는 사료내 단백질 수준을 최적으로 유지시켜, 단백질이 에너지원으로 이용되는 것을 막고 지방과 탄수화물의 함량을 늘려서 에너지원으로 이용하는데, 육식성 어종인 무지개 송어는 지방을 다량 첨가하여도 에너지원으로 잘 이용한다. 그러나 잡식성 어종인 잉어에 있어서는 그 이용성이 제한된다는(Kheyyali *et al.*, 1990) 보고와 이러한 원인을 사료중의 탄화물 함량과 체내 글리코겐 함량과의 관계에서 규명하려는 보고가 있었다(Nagai and Ikeda, 1971; Garling and Wilson, 1977). Shimeno 등(1979)은 사료내 탄수화물 함량과 어체내 혈청 글루코오스(serum glucose)의 관계를 밝힌 바 있다. 탄수화물의 경우에는 육식성 어종보다 잡식성 어종이 사료내 함량과 소화율이 높게 나타나고 있으나, 연어류에 있어서도 사료내 함량에 따른 차이는 있지만 소화율은 α-전분에서 높게 나타났다(Phillips *et al.*, 1948; Singh and Nose, 1967; Kitamikado *et al.*, 1964; Chiou and Ogino, 1975; Spannhof and Kuhne, 1977; Bergot and Breque, 1983). 지방과 탄수화물의 관계에 관한 연구는 Nagai와 Ikeda(1971), Pieper와 Pfeffer(1979), Likimani와 Wilson(1982)등에 의해 수행되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이상과 같이 단백질과 에너지 요구량에 대한 학문적 근거를 바탕으로 단백질 자원을 절약하고 수질오염 방지를 위한 저단백질· 고에너지· 저인의 사료를 사용하는 것이 의무화 또는 권장되고 있으며(Matty, 1990; Johnsen *et al.*, 1993), 양어장 배출수에 대한 규제도 필연적이기 때문에 이에 대한 대책이 시급한 실정이며, 이에 따른 많은 연구가 이루어져 값비싼 단백질 자원의 절약과 동시에 수질오염 방지에 주력해야 할 것이다.

따라서, 이 연구에서는 잉어사료의 질적개선을 도모하기 위한 시도로서 첫째, 현재 시판되고 있는 6개사 잉어용 부상사료를 이용하여 성분 등록치와 분석치의 비교와 성장에 따른 오염원(질소와 인)의 배출량을 파악하였고 둘째, 3종류의 식물성 플랑크톤, 광합성 세균과 인 축적 특성을 가진 균주(*Acinetobacter calcoaceticus*)로서 배출되는 질소와 인의 정화효과를 규명하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

II. 材料 및 方法

1. 배합사료의 영양소 성분등록치와 분석치의 비교

1) 배합사료 선정

양어장 또는 사료 대리점으로부터 구입한 국내 상위권 6개 회사의 부상 사료(입자도 2.5~3.0 ㎜)를 실험사료로 사용하였으며, 이들 사료의 포장지에 명기된 성분등록치는 Table 1과 같다.

Table 1. Registered nutrient levels of the commercial carp diets produced by six different companies

Composition(%)	Diets					
	A	B	C	D	E	F
Crude protein (≥)	39.0	39.0	40.0	36.0	35.0	37.0
Crude fat (≥)	4.0	3.0	3.0	5.0	7.0	6.0
Crude fiber (≤)	--	5.0	5.0	5.0	4.5	8.0
Crude ash (≤)	--	15.0	15.0	18.0	17.0	13.0
Ca (≥)	1.0	1.3	1.0	1.3	0.8	0.7
P (≥)	0.8	1.3	0.8	1.0	0.8	0.5

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2) 조사항목

1993년 1월부터 11월에 걸쳐 시판사료의 성분등록치에 따른 함유 영양성분을 일반성분 분석법으로 조사하였으며, 에테르 추출법과 산 가수분해법에 따른 익스트루젼(extrusion) 사료의 지방함량 차이를 비교하였다. 또

한, 아미노산과 지방산 분석을 통하여 시판사료내 필수 아미노산과 필수 지방산의 수준이 NRC(1983) 요구량을 충족하는지를 조사하였다. 아울러 양어용 사료배합에 사용되고 있는 어분의 종류별 분석을 통하여 조회분, 칼슘과 인의 함량을 비교하였다.

3) 분석방법

어분과 사료의 일반성분 분석은 AOAC(1990)의 관례에 따라 행하였는데, 수분은 105℃에서 24시간 건조하였으며, 단백질(N × 6.25)은 켈달법(Kjeldahl method)으로, 지방은 ether 추출법과 산 가수분해법을 병행하였으며, 조섬유는 1.25% H_2SO_4과 1.25% NaOH으로 소화(消化)한 후에, 회분은 550℃에서 12시간 회화(灰化)시켜 분석하였다. 칼슘(Ca) 함량은 ammonium oxalate 용액으로 침전시킨 후 H_2SO_4 용액과 반응시켜 $KMnO_4$로 적정하여 구하였으며, 인(P)은 vandate molybate-yellow법으로 470nm에서 spectrophotometer(Shimadzu, UV-120-12)로 분석하였다.

사료내 구성 아미노산은 개미산으로 처리한 후 6N HCl을 이용, 110℃에서 22시간동안 가수분해시켜 분석하였다. 분석에 사용된 기기(機器)는 Hitachi Custom Ion-Exchange Resin #2619F(4mm ø × 1,500mm with Jacker)와 Ammonia Filter Column(4mm ø × 120mm)이었다.

사료내 구성 지방산 분석은 우선적으로 Folch 등(1957)의 방법에 따라 지방을 chloroform:methanol(2:1,v:v)으로 추출한 후, Morrison과 Smith(1964)의 방법에 의거하여 Boron trifluoride methanol 14% solution(BF_3 Methanol: Sigma, Co., USA)을 이용하여 메틸화(methylation)한 후, 약 1$\mu\ell$ 정도를 Gas chromatography(Packard model 439-GLC, USA)에 주입하였다. Carrier gas로서는 Helium을 사용하였다.

제주대학교 중앙도서관

2. 잉어의 질소와 인 배출량

1) 실험어와 사육방법

실험에 사용한 이스라엘잉어(*Cyprinus carpio*)는 소양호에서 양식중인 체중 25g 전후의 것으로서 플래스틱 포장지에 산소를 주입한 후, 강원대학교 축산학과 부속 어류영양연구실로 옮겨 15일동안 적응기간을 거쳐 실험에 이용하였다.

적응기간 동안에는 실험에 사용하지 않을 시판사료를 하루 5회씩 오전 9시부터 오후 5시까지 매회 섭취도가 떨어질 때까지 무제한으로 공급하였다.

순환여과식 사육장치는 12개의 사육조, 침전조, 1차 여과조와 2차 분해조, 펌프로 구성되었다(Plate I - Fig. 1, Fig. 2, Fig. 6). 사육조는 자체 제작한 원뿔형의 FRP(fiberglass reinforced plastic) 사육조로서, 각 사육조내 수량은 110ℓ로 조절하였다. 사육기간 중의 유속은 평균 10~12ℓ/min였으며, 수온은 22~26℃의 범위였다. 각 사육조는 계속적으로 포기(aeration) 하였으며, 실험어류(Plate II - Fig. 3)는 사육조에 잘 적응하여 실험기간동안 왕성한 식욕을 나타냈으며 한마리의 폐사어도 발생하지 않았다. 용존산소량, pH는 각각 5.5~6.4mg/ℓ과 6.5~7.2였으며, 암모니아 농도는 1~3mg/ℓ이었다. 실험사료의 공급은 적응기간동안과 동일한 방법으로 하였다.

각 사육조에 부착된 배설물 침전장치(김, 1991)에 침전된 분은 매일 아침 첫번째 사료 공급전(오전 9시) 침전장치내 물의 배수와 함께 깨끗이 청소하였으며, 이때 유출된 수량은 24시간 포기시킨 수돗물을 여과조내로 유입시켜 보충하였으며, 이 환수량은 사육장치내 총수량(2,000ℓ)의 약 10%였다. 어체중의 계량과 미수 확인은 이 실험의 개시와 종료시에 각각 24시간의 절식후 행하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

양어장 또는 사료 대리점으로부터 구입한 국내 상위권 6개 회사의 부상 사료(입자도 2.5~3.0㎜)를 6 처리구에 대하여 처리구당 2반복(50미/반복)으로 완전임의 배치법으로 설계했다.

2) 조사항목

사료의 섭취에 따른 성장과 사료 이용효율을 파악하기 위하여 증중량(weight gain), 사료섭취량(feed intake), 사료계수(feed coefficient: FC = dry feed intake/wet weight gain), 단백질 섭취량(protein intake), 단백질 이용효율(protein efficiency ratio: PER = wet weight gain/protein intake), 일일 성장지수(daily growth index: DGI = 100((final body wt.)$^{1/3}$ - (initial body wt.)$^{1/3}$)/ experimental period)를 조사하였다. 아울러, 어체내 축적량에 대한 질소와 인의 수중 배출량을 평가하기 위하여 실험 시작과 종료때 어체의 도체분석(屠體分析)을 통한 질소와 인의 축적효율을 다음과 같이 조사하였다:

질소 축적효율(nitrogen retention efficiency: NRE = 100(final body wt.× % N in whole body) - (initial body wt. × % N in whole body))/N intake.

인 축적효율(phosphorus retention efficiency: PRE = 100(final body wt.× % P in whole body) - (initial body wt. × % P in whole body))/ P intake.

3) 분석방법

사료의 일반성분 분석은 AOAC(1990)의 관례에 따라, 수분은 105℃에서 24시간 건조하였으며, 단백질(N × 6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 산 가수분해법으로, 조섬유는 1.25% H_2SO_4과 1.25% NaOH으로 소화한 후에, 회

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

분은 550℃에서 12시간 회화시켜 분석하였다. Ca 함량은 ammonium oxalate 용액으로 침전시킨 후 H_2SO_4 용액과 반응시켜 $KMnO_4$로 적정하여 구하였으며, P은 vandate molybate-yellow법으로 470nm spectrophotometer(Shimadz, UV-120-12)로 분석하였다. 시험에 사용한 어류는 시작때(10미)와 종료시(10미/반복)는 시료 채취 후 즉시 파쇄(破碎)하여 일정량 수분측정(3반복/시료)을 행하였으며, 나머지 시료는 일반 성분 분석에 이용하였다.

4) 통계처리

모든 실험은 3회 반복 실험하여 이들의 평균을 사용하였으며, 얻어진 결과의 통계적 분석은 분산분석과 Duncan(1955)의 multiple range test에 의하여 SAS statistics package(SAS Inst. Inc., NC, USA)를 이용하여 실시하였다. 본문중의 a, b, c, d, e, f는 통계 처리된 값이 큰 순서대로 표시된 것이다.

3. 질소와 인의 정화

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1) 식물성 플랑크톤 이용

양어장 배출수의 수질정화 효과는 식물성 플랑크톤을 이용하여 조사하였다.

실험에 사용된 양어장 배출수는 질소와 인의 배출량 실험시 사육조에 부착된 분 채집장치(Plate II - Fig. 4, Fig. 5)내의 상층수로서 일정량을 수시로 채집한 후 냉동보관한 것이었다. 따라서 육상사육장에 비교한다면 배출수의 침전조내 상층수로 간주할 수 있다.

식물성 플랑크톤은 부산수산대학교 양식학과 천해양식실험실로부터 분양받은 담수산 3종(*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus* sp., *Spirulina*

platensis)을 대량배양하여, 배양밀도를 500×10^4cells/㎖ 이상으로 배양한 후, 접종밀도를 100, 200, 300, 500, 1000×10^4cells/㎖의 5단계로 나누어서 수질변화를 측정하였다.

실험용기는 250㎖ 삼각 flask에 배출수 100㎖를 수용한 후, 3종의 식물성 플랑크톤을 각 농도별로 조정하여 접종하였다.

2) 식물성 플랑크톤에 광합성 세균 첨가

광합성 세균인 PSB(Purple non Sulfur Bacteria)와 식물성 플랑크톤을 이용하여 배출수의 수질정화 능력을 조사하였다.

PSB의 첨가량은 0.25, 1.25, 2.5, 12.5, 25×10^7cells/㎖로 나누어(원액의 생균수: 5×10^9cells/㎖) 시험시작시에 1회만 첨가한 후 1일, 2일, 3일 경과후 또, 매일 1회씩 첨가후 2일, 3일 후에 수질의 변화를 측정하였다. 그리고, *Chlorella vulgaris*와 *Spirulina platensis*의 접종밀도는 10×10^6cells/㎖로하고, PSB의 첨가량과 첨가방법은 2.5×10^7cells/㎖로 매일 1회씩 첨가하였을 때의 수질변화를 측정하였다.

실험용기는 250㎖ 삼각 flask에 배출수 100㎖에 플랑크톤과 PSB를 농도에 맞추어 접종하여 실험하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3) 미생물(*Acinetobacter calcoaceticus*) 이용

배출수중에 함유되어 있는 인의 처리를 위하여 *A. calcoaceticus*를 이용하여 효과를 조사하였다. 실험에 사용한 *A. calcoaceticus* 균주(KCCM No. 11771)는 한국종균협회(Korean Federation of Culture Collections)에서 분양받아 실험에 사용하였다.

*A. calcoaceticus*만을 이용하여 유출수내의 인 함량 제거를 실시하였으며, 식물성 플랑크톤, 광합성 세균을 혼합하여 유출수의 수질변화를 측정하였다.

실험용기는 250㎖ 삼각 flask에 배출수 100㎖를 넣어 실험하였다.

위의 모든 실험은 3회 반복하였으며, 그 실험치들을 평균하여 결과치로 사용하였다.

수온은 매일 오전 10시에 측정하였고, 빛은 24시간 연속 조명(1,500lux)하였으며, 포기(aeration)를 시켜 주었다.

모든 실험에 사용된 배출수는 실험시작전과 실험종료후(플랑크톤의 성장이 정체기에 들어갔을때) 수질의 변화를 확인하기 위하여 수소이온 농도(pH), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 아질산성 질소(NO_2-N), 질산성질소(NO_3-N), 암모니아성 질소(NH_3-N), 인산염 인(PO_4-P)을 측정하였다.

수질측정방법으로 수소이온 농도는 Ionalyzer(Model 407A, ORION Reaserch)를 이용하였고 용존산소는 DO meter(KDO-5151, KRK Co.)로, 화학적 산소요구량은 중크롬산 칼륨법으로, 암모니아성 질소는 Phenate에 의한 비색정량법을 사용했고, 아질산성 질소는 Sulfanilamide와 NED dihydrochloride에 의한 비색정량법, 질산성 질소는 Cadmium reduction method에 의한 비색정량법을 사용하였으며, 인산염 인은 Ascorbic acid method에 의한 비색정량법으로 측정하였다(APHA·AWWA·WPCF 1985).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

III. 結　果

1. 배합사료의 영양소 성분등록치와 분석치 비교

실험에 사용된 6개사 시판 부상성 잉어사료의 화학적 조성을 분석한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Percent chemical composition of the six different commercial diets examined

Composition	Diets					
	A	B	C	D	E	F
Moisture	7.83	8.23	6.88	6.85	6.65	4.19
Crude protein	41.82	41.32	42.32	39.52	38.47	40.52
Crude fat						
ether extracted	5.06	2.45	5.36	4.33	5.26	4.03
acid hydrolyzed	7.23	5.14	7.09	6.06	7.11	6.74
Crude fiber	2.55	2.54	3.12	4.00	2.46	2.69
Crude ash	8.05	9.33	8.13	8.09	7.26	9.77
Ca	1.62	2.70	1.70	1.35	1.80	2.79
P	1.41	1.55	1.40	1.28	1.18	1.11

Values are means of three determinations.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

수분의 함량은 4.19%(F사료)에서 8.23%(B사료)로 최고치와 최저치의 차이가 2배에 가까웠으며, 조단백질은 38.47%(E사료)에서 42.32%(C사료), 조지방은 4.03%(F사료)에서 5.36%(C사료), 조섬유는 2.46%(E사료)에서 4.00%(D사료) 그리고, 조회분은 7.26%(E사료)에서 9.77%(F사료)의 수준이었다. 이들 수준은 각 사료의 성분등록치(Table 1)를 공히 충족하였

다. 인의 수준은 1.11%(F사료)에서 1.55%(B사료)로서 1993년 12월부터 시행한 시판 양어사료의 인 성분등록치 1.8%이하(농림수산부 고시 1993-44호)를 공히 충족하는 것으로 나타났다.

국내 양어사료 배합에 이용되는 어분의 종류별 조회분, 칼슘과 인의 함량을 분석한 자료는 Table 3과 같다.

Table 3. The amount of crude ash, calcium, and phosphorus contained in the white fish meals obtained from the different sources

Composition	*WFM spray-dried		WFM flame-dried
	Imported (n=56)	Domestic (n=8)	Domestic (n=20)
Crude ash	19.02 ± 1.74	16.93 ± 0.96	23.53 ± 2.05
max. value	23.81	18.00	27.29
min. value	14.68	15.30	20.18
Calcium	6.29 ± 0.76	5.89 ± 0.44	8.52 ± 1.02
max. value	8.13	6.40	11.55
min. value	4.79	5.04	7.27
Phosphorus	3.37 ± 0.42	3.78 ± 0.71	4.22 ± 0.39
max. value	4.25	4.61	5.26
min. value	2.58	2.86	3.71

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

*WFM: White fish meal

Values are mean±SD based on three determinations per sample.

간접식 백색 수입어분(WFM spray-dried)의 조회분·칼슘과 인의 함량은 19.02±1.74, 6.29±0.76과 3.37±0.42로 각각 나타났다. 간접식 백색 국산어분(WFM spray-dried)의 경우 조회분, 칼슘과 인의 함량은 각각 16.93±0.96, 5.89±0.44와 3.78±0.71로 나타났으며, 직접식 백색 국산어분(WFM flame-dried)의 경우 각각 23.53±2.05, 8.52±1.02와 4.22±0.39로서 간접식 어분에 비해 높은 수치를 기록하였다.

Table 4. Percent composition of amino acid in the six different commercial diets examined

Amino acid	Diets						Requirement*
	A	B	C	D	E	F	
Arginine	2.6/5.9	2.7/6.3	2.9/6.6	2.8/6.6	2.6/6.3	2.6/6.2	1.6/4.2
Isoleucine	1.8/4.2	1.7/3.9	1.9/4.2	1.7/4.0	1.6/3.9	1.7/4.1	0.9/2.3
Leucine	3.4/7.7	3.2/7.5	3.4/7.7	2.7/6.5	3.0/7.5	3.1/7.3	1.3/3.4
Lysine	2.5/5.8	2.4/5.7	2.8/6.2	2.7/6.4	2.5/6.2	2.6/6.0	2.2/5.7
Methionine	1.6/3.6	1.3/3.1	1.7/3.8	1.2/3.0	1.8/4.5	1.7/4.0	1.2/3.1
Cystine	0.5/1.3	0.6/1.4	0.6/1.3	0.5/1.2	0.5/1.3	0.5/1.2	-
Phenylalanine	1.9/4.4	1.8/4.1	1.8/4.2	1.7/4.1	1.6/4.0	1.6/3.8	2.5/6.5
Threonine	1.7/3.9	1.7/4.0	1.8/4.1	1.7/4.0	1.6/4.0	1.5/3.5	1.5/3.9
Valine	2.0/4.7	2.1/4.8	2.2/4.9	2.0/4.7	1.8/4.5	2.0/4.8	1.4/3.6
Histidine[nd]							0.8/2.1
Tryptophan[nd]							0.3/0.8

Values (% of dry diet/% of protein) are means of three determinations.
*Data for requirement are from NRC(1983).
nd indicates "not determined."

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

한편, 6개사 제품의 필수 아미노산 조성을 Table 4에 나타내었다. 건사료의 백분율로 표시할 경우 아르기닌(arginine)은 2.6%에서 2.9%로 나타났으며, 이소류신(isoleucine)은 1.6%에서 1.9%, 류신(leucine)은 2.7%에서 3.4%로 나타났다. 또한, 리신(lysine)의 경우 2.4%에서 2.8%, 메티오닌(methionine)의 경우 1.2%에서 1.8%, 페닐알라닌(phenylalanine)의 경우 1.6%에서 1.9%의 수준을 보였으며, 트레오닌(threonine)과 발린(valine)의 경우 각각 1.5%에서 1.8%, 1.8%에서 2.2%의 수준으로 나타났다.

이러한 분석된 필수 아미노산의 수준은 잉어의 요구량(Ogino, 1980; NRC, 1983)을 충족하는 것으로 나타났으며 히스티딘(histidine)과 트립토판(tryptophan)은 분석에서 제외시켰다.

사료내 지방산은 전체 함유 지방산에 대한 백분비로 나타냈으며 그 결과는 Table 5와 같다. 포화지방산의 경우 팔미트산 [palmitic acid(16:0)]이 모든 처리구에서 가장 높은 수준으로 나타났는데, D사료구의 경우 12.77%로 가장 낮았으며 A사료구의 경우 19.28%로 가장 높았다. 그밖에 미리스트산 [myristic acid(14:0)]과 스테아르산 [stearic acid(18:0)]은 비슷한 수준으로 각각 최고치와 최저치를 보면, 전자의 경우 3.69%(C사료)에서 6.46%(A사료)였으며, 후자의 경우 2.87%(E사료)에서 5.76%(C사료)의 수준이었다. 불포화 지방산의 경우 올레산 [oleic acid(18:1ω9)]이 가장 풍부한 것으로 나타났으며, 그 수준은 19.46%(F사료)에서 26.35%(C사료)였다. 이밖에도 리놀산 [linoleic acid(18:2ω6)] 의 비율은 10.50%(F 사료)에서 18.59%(C사료)로 비교적 높았으며, 그 다음으로 에이코사펜타엔산[eicosapentaenoic acid(20:5ω3)]의 수준은 6.96%(C사료)에서 15.12%(E사료)로 나타났다. 또한, 도코사 헥사엔산[docosahexaenoic acid(22:6ω3)] 의 함량은 4.73%(C사료)에서 14.98%(F사료)로 큰 차이를 보였다. 한편, 6개사 사료 공히 리놀렌산 [linolenic acid(18:3ω3)] 의 경우 그 수준은 1.38%(E사료)에서 2.45%(C사료)로 상당히 낮게 나타났다. 전체적으로 볼때 포화지방산의 비율은 24.55%(D사료)에서 35.06%(A사료)로 나타났으며, 단불포화지방산(monoenoic acid)의 경우 29.37%(A사료)에서 38.55%(D사료)의 수준을 보였다. 그리고 다불포화지방산(polyunsaturated acid)의 경우 C사료구가 33.31로 가장 낮은 비율을 보였으며 F사료구가 41.98%로 가장 높게 나타났다.

한편, 이들 지방산을 ω3과 ω6 계열로 분류할 경우 전자는 14.14%(C사료)에서 30.22%(F사료)의 수준을 보인 반면, 후자는 11.77%(F사료)에서 19.17%(C사료)로 전자에 비해 약간 낮게 나타났다. 모든 사료에서 가장

주된 지방산은 올레산 [oleic acid (18:1ω9)] 이였으며, 그 다음으로는 팔미트산 [palmitic acid(16:0)] 이 풍부하였다. 한편, 이들 지방산중 잉어의 필수지방산인 리놀산(linoleic acid)과 리놀렌산(linolenic acid)의 각 사료내 함량은 사료 건조중량에 대한 백분율로 나타냈으며, 그 결과는 Table 6에서 보는 바와 같다. 리놀산(linoleic acid)의 경우 F사료구에서 0.55%로 가장 낮았으며 C사료구에서 1.06%로 가장 높았다.

Table 5. Percent composition of fatty acid in the six different commercial diets examined

Fatty acid	Diets					
	A	B	C	D	E	F
14:0	6.46	4.93	3.69	4.31	4.59	4.20
14:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.51
15:0	0.28	0.22	0.21	0.50	0.20	0.51
16:0	19.28	17.77	18.79	12.77	13.61	16.23
16:1ω7	6.93	6.07	5.56	7.76	7.38	5.14
17:0	1.50	1.24	1.13	1.70	1.85	1.43
17:1	0.88	0.75	0.61	1.99	0.54	0.73
18:0	5.26	5.46	5.76	3.47	2.87	3.41
18:1ω9	19.51	22.84	26.35	19.97	20.21	19.46
18:2ω6	11.42	15.30	18.59	11.63	13.24	10.50
18:3ω3	1.68	2.09	2.45	1.81	1.38	2.17
20:0	2.28	1.76	1.22	1.80	1.83	2.74
20:1ω9	2.05	2.89	3.47	8.84	8.07	3.66
20:2ω6	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.20
20:4ω6	1.38	1.13	0.58	0.33	0.36	1.07
20:5ω3	12.13	10.34	6.96	14.77	15.12	12.72
22:5ω3	0.00	0.00	0.00	0.54	0.41	0.34
22:6ω3	8.95	7.21	4.73	7.70	8.28	14.98
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Saturated	35.06	31.38	30.80	24.55	24.96	28.51
Monoenoic	29.37	32.56	35.99	38.55	36.26	29.51
Polyunsaturated	35.56	36.07	33.31	36.90	38.78	41.98
ω3	22.76	19.64	14.14	24.82	25.18	30.22
ω6	12.80	16.43	19.17	12.08	13.60	11.77

Values are means of three determinations.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그러나 C사료를 제외한 전 제품의 18:2ω6 수준이 요구량에 미달되었다. 한편, 리놀렌산(linolenic acid)의 경우 실험사료 공히 0.1% 수준을 보여 요구량에 현저히 미달되었다.

그러나, 18:3ω3의 경우 20:5ω3와 22:6ω3를 합한 지방산이 2배의 효과를 낼 수 있으므로(NRC, 1983), 이들 지방산의 비율이 0.73%(B사료)에서 1.46%(F사료)의 수준을 나타내었기 때문에 분석에 이용된 모든 사료의 18:3ω3 함량이 결핍수준이라고 단정 지을 수는 없었다.

Table 6. Percent essential fatty acid content of the six different commercial diets examined

Fatty acid	Diets						Requirement*
	A	B	C	D	E	F	
18:2ω6	0.67	0.64	1.06	0.57	0.76	0.55	1.0
18:3ω3	0.10	0.09	0.14	0.09	0.08	0.12	1.0
20:5ω3 + 22:6ω3	1.24	0.73	0.67	1.10	1.34	1.46	

*Data for requirement are from NRC(1983).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 잉어의 질소와 인 배출량

1) 성장도와 사료계수

실험에 사용된 6개사 시판 부상성 잉어사료의 화학적 조성은 Table 7에 나타나 있는 바와 같이 조단백질 41.22%(E사료)에서 45.44%(C사료), 조지방 5.60%(B사료)에서 7.85%(A사료), 조섬유소 2.64%(E사료)에서 4.30%(D사료) 및 조회분 7.78%(E사료)에서 10.20%(F사료)의 수준으로 나타났다. 한편, 인의 수준은 1.16%(F사료)에서 1.69%(B사료)로서 1993년 12월부터 시행될 시판양어사료의 인 성분등록치 1.8%이하(농림수산부 고시 1993-44호)를 공히 충족하였다.

Table 7. Percent chemical composition of the six different commercial diets examined

Composition	Diets					
	A	B	C	D	E	F
Moisture	7.83	8.23	6.68	6.85	6.65	4.19
Dry matter basis						
Crude protein	45.38	45.03	45.44	42.43	41.22	42.29
Crude fat	7.85	5.60	7.62	6.51	7.63	7.04
Crude fiber	2.77	2.77	3.35	4.30	2.64	2.81
Crude ash	8.74	10.17	8.73	8.69	7.78	10.20
Ca	1.76	2.95	1.83	1.45	1.94	2.92
P	1.54	1.69	1.51	1.38	1.27	1.16

Values are means of three determinations.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 8. Comparison of growth performance of the carps fed six different commercial diets for four weeks

Items	Diets					
	A	B	C	D	E	F
Initial Wt.(g/fish)	25.32	25.21	25.41	25.38	24.87	25.95
Wt. gain(g/fish)	27.46^{a}	19.22^{c}	20.58^{bc}	21.63^{bc}	23.31^{b}	18.84^{c}
Feed intake(g DM/fish)	24.50^{a}	22.89^{c}	24.15^{ab}	23.41^{bc}	23.36^{bc}	22.93^{c}
Protein intake(g/fish)	11.12^{a}	10.31^{b}	10.98^{a}	9.93^{bc}	9.63^{c}	9.70^{c}
FC*	0.89^{c}	1.19^{a}	1.17^{ab}	1.08^{ab}	1.00^{bc}	1.22^{a}
PER**	2.47^{a}	1.86^{b}	1.87^{b}	2.18^{ab}	2.42^{a}	1.94^{b}
DGI***	2.91^{a}	2.18^{bc}	2.29^{bc}	2.39^{bc}	2.57^{ab}	2.11^{c}

Values (mean of two groups), in the same raw, not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

*Feed coefficient = feed intake, DM/wet wt. gain.

**Protein efficiency ratio = wet wt. gain/protein intake.

***Daily growth index = $100((\text{final wt.})^{1/3}-(\text{initial wt.})^{1/3})$/Number of days.

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

실험시작시 평균 체중 약 25g의 이스라엘 잉어에 각각의 실험사료를 4주간 급여한 성장과 사료계수는 Table 8과 같다.

개체당 사료섭취량은 22.89g(B사료)에서 24.50g(A사료)으로 처리구간 유의성은 인정되었으나($P<0.05$), 나머지 처리구 사이에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 증중량은 A사료구가 27.46g으로 가장 우수하였으며, F사료구는 18.84g의 가장 저조한 증중량을 보였다. 이러한 증중량의 차이는 직접적으로 일일성장지수에 영향을 미쳐 2.11(F사료)에서 2.91(A사료)의 차이가 나타났다. 사료계수는 0.89(A사료)에서 1.22(F사료)의 범위로서 전반적으로 우수하였다(Fig. 1).

단백질 이용효율은 단백질의 함량이 높고 사료의 섭취량이 가장 많았던

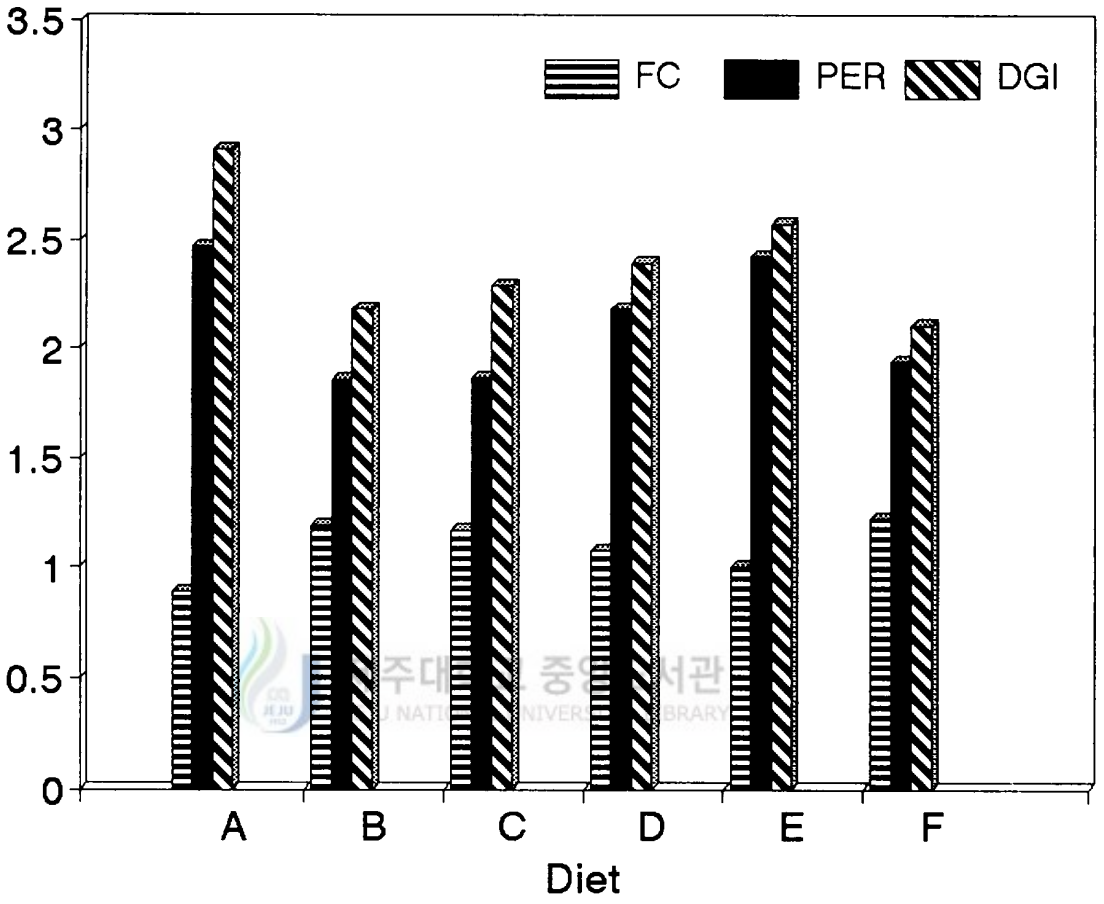


Fig. 1. Effects of six different commercial diets on the feed coefficient(FC), protein efficiency ratio(PER), and daily growth index(DGI) of Israeli carp after the four-week experiment.

A사료구(2.47)에서 우수하게 나타났으나, 단백질의 함량이 낮고 사료의 섭취량이 가장 낮았던 E사료구(2.42)와 유의적인 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$). 처리구중 가장 저조한 단백질 이용효율은 단백질 섭취량이 두번째와 세번째로 높았던 B(1.86), C(1.89)사료구에서 나타났다(Fig. 1).

시험시작시와 종료시의 어체내 화학적 조성(Table 9) 변화를 보면, 수분함량은 77.6%에서 75.0%(E사료)로, 회분함량은 2.1%에서 1.4%(F사료)로 약간씩 감소하는 경향을 보였으며, 단백질은 14.1%에서 15.6%(C사료)로 증가하는 경향이 관찰되었다. 한편, 어체내 지방함량은 시험시작시 3.7%에서 종료시 7.2%(E사료)로 처리구 공히 초기 시험어에 비해 큰 폭으로 증가하였다. 그러나, 회분의 감소 추세에도 불구하고 칼슘이나 인의 함량은 상대적으로 일정하게 유지되었다.

Table 9. Change in the chemical composition of Israeli carp body after provision of six different commercial diets for four weeks

Diet	Moisture	crude protein	crude lipid	crude ash	Ca	P
Initial	77.6 ± 0.1^{a}	14.1 ± 0.1^{c}	3.7 ± 0.0^{c}	2.1 ± 0.0^{a}	1.1 ± 0.0	0.31 ± 0.0^{ab}
A	75.5 ± 0.3^{bc}	14.6 ± 0.2^{bc}	6.1 ± 0.4^{b}	1.9 ± 0.2^{ab}	0.8 ± 0.1	0.34 ± 0.0^{a}
B	76.3 ± 0.4^{b}	14.9 ± 0.2^{b}	7.1 ± 0.2^{a}	1.7 ± 0.1^{ab}	0.9 ± 0.0	0.32 ± 0.0^{ab}
C	76.4 ± 0.3^{b}	15.6 ± 0.1^{a}	6.1 ± 0.3^{b}	1.8 ± 0.2^{ab}	1.1 ± 0.1	0.35 ± 0.0^{a}
D	76.1 ± 0.4^{b}	15.3 ± 0.3^{ab}	6.0 ± 0.1^{b}	1.9 ± 0.2^{ab}	0.8 ± 0.1	0.33 ± 0.0^{ab}
E	75.0 ± 0.2^{b}	14.9 ± 0.2^{b}	7.2 ± 0.3^{a}	1.9 ± 0.2^{ab}	0.9 ± 0.2	0.31 ± 0.0^{ab}
F	75.5 ± 0.3^{bc}	15.1 ± 0.2^{ab}	6.4 ± 0.3^{ab}	1.4 ± 0.1^{b}	0.8 ± 0.1	0.27 ± 0.0^{b}

Values are the means±SE of two groups and each group is pooled with 10 fish. Values, in the same column, not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$).

2) 질소와 인의 수중 배출량

Table 10은 체내 질소 축적효율과 단위 체중 증가량당 수중으로 배출되는 질소량을 보여주고 있다. 사료내 질소함량은 6.60%(E사료)에서 7.27%(C사료)로서 평균 6.98% 수준이였다. 증중량(Kg) 당 질소 섭취량의 범위는 64.8g(A사료)에서 86.8g(B사료)으로 평균 76.5g 이였다. 한편, 축적된 질소량은 21.9g(A사료)에서 28.1g(C사료)으로 처리구간 유의성($P<0.05$)이 인정되었으며, 처리구 평균은 25.6g 이였다. 단위 증중량당 배설되는 총질소량의 범위는 40.9g(E사료)에서 61.3g(B사료)으로 6개사 시험사료 사이에 약 20g의 차이가 관찰되었으며, 이들 평균은 약 51g 이었다. 한편, 시험사료의 질소 축적효율의 범위는 29.7%(B사료)에서 38.1%(E사료)로 나타났으며, 이에 준하여 계산된 사료섭취량(Kg)당 질소 배설량은 40.9g(E사료)에서 61.3g(B사료)에 달하였다. 질소 축적효율은 사료내 단백질의 수준이, 가장 낮았던 처리구(E사료)에서 38.1%로 가장 높았다. 그러나, 증중량(Kg)당 질소 부하량은 사료내 질소 수준에 정비례하는 경향을 보이지 않았다. 사료내 질소 수준이 7.20%에서 7.27% 범위였던 A, B, C사료구의 경우 B, C사료구와는 달리 A사료구는, 질소 수준이 6.60%이었던 E사료구와 유의적인 차이를 보이지 않았으며($P>0.05$), 질소 수준이 6.77%인 F사료구의 경우 사료내 질소 수준이 유사했던 E사료구에 비해 유의적으로 높은 질소 부하량을 나타내었다(Fig. 2).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이스라엘 잉어의 어체내 축적된 인의 양에 기반한 인 축적효율과 증중량(Kg)당 인의 수중 부하량은 Table 11과 같다. 사료내 인 함량은 1.16%(F사료)에서 1.69%(B사료)로서 평균 1.43%의 수준이였다. 증중량당(Kg) 인 섭취량은 12.8g(E사료)에서 20.4g(B사료)으로 평균 15.6g이였다. 축적된 인량은 2.2g(F사료)에서 4.0g(C사료)으로 각 시험구간에 유의성($P<0.05$)이 인정되었으며, 전시험구의 평균은 3.3g이였다. 총인 부하량은 9.7g(E사료)에서 17.1g(B사료) 범위였다.

Table 10. The amount of nitrogen discharge per Kg gain of Israeli carp fed six different commercial diets. Estimation was based on the retained N in the whole body

Diet	N in diet (g/100 g DM)	N (g) per Kg weight gain			NRE* (%)	N (g)/ kg FI**
		Fed	Retained	Discharged		
A	7.26	64.8 ± 1.03^{b}	21.9 ± 0.01^{d}	42.9 ± 1.02^{cd}	33.9^{abc}	48.02
B	7.20	86.8 ± 8.43^{a}	25.5 ± 0.23^{c}	61.3 ± 8.20^{a}	29.7^{c}	50.64
C	7.27	85.4 ± 1.79^{a}	28.1 ± 0.02^{a}	57.3 ± 1.78^{ab}	32.9^{bc}	48.77
D	6.79	73.6 ± 3.18^{ab}	26.6 ± 0.18^{b}	47.0 ± 2.99^{bcd}	36.2^{ab}	43.30
E	6.60	66.1 ± 0.96^{b}	25.2 ± 0.03^{c}	40.9 ± 0.99^{d}	38.1^{a}	40.85
F	6.77	82.4 ± 0.27^{a}	26.3 ± 0.11^{b}	56.1 ± 0.16^{abc}	31.9^{bc}	46.08
mean	6.98	76.5	25.6	50.9	33.8	46.3

Values (mean±SE of two replicate groups), in the same column, not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$).

*Nitrogen retention efficiency = 100((final body wt. × % N in whole body) - (initial body wt. × % N in whole body))/N intake.

**N discharged (g) per Kg feed intake.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

한편, 사료내 인의 축적효율은 15.2%(F사료)로 부터 26.8 %(A사료)로서 사료내 인 수준이 시험구중 두번째로 높았던 A사료구(1.54g/100g DM)에서 가장 우수하였던 반면, 인 수준이 가장 낮았던 F사료구(1.16g/100g DM)에서는 가장 저조하였다. 이러한 결과에 기반한 사료 섭취량(Kg)당 인의 부하량은 9.6g(E사료)에서 14.1g(B사료) 범위였다. 이상의 결과에서 증중량(Kg)당 인 섭취량과 인 부하량은 고도의 상관관계(r=0.98)를 나타내고 있어, 단위성장량당 인 섭취량이 높을수록 오염율이 증가함을 나타냈다 (Fig. 3).

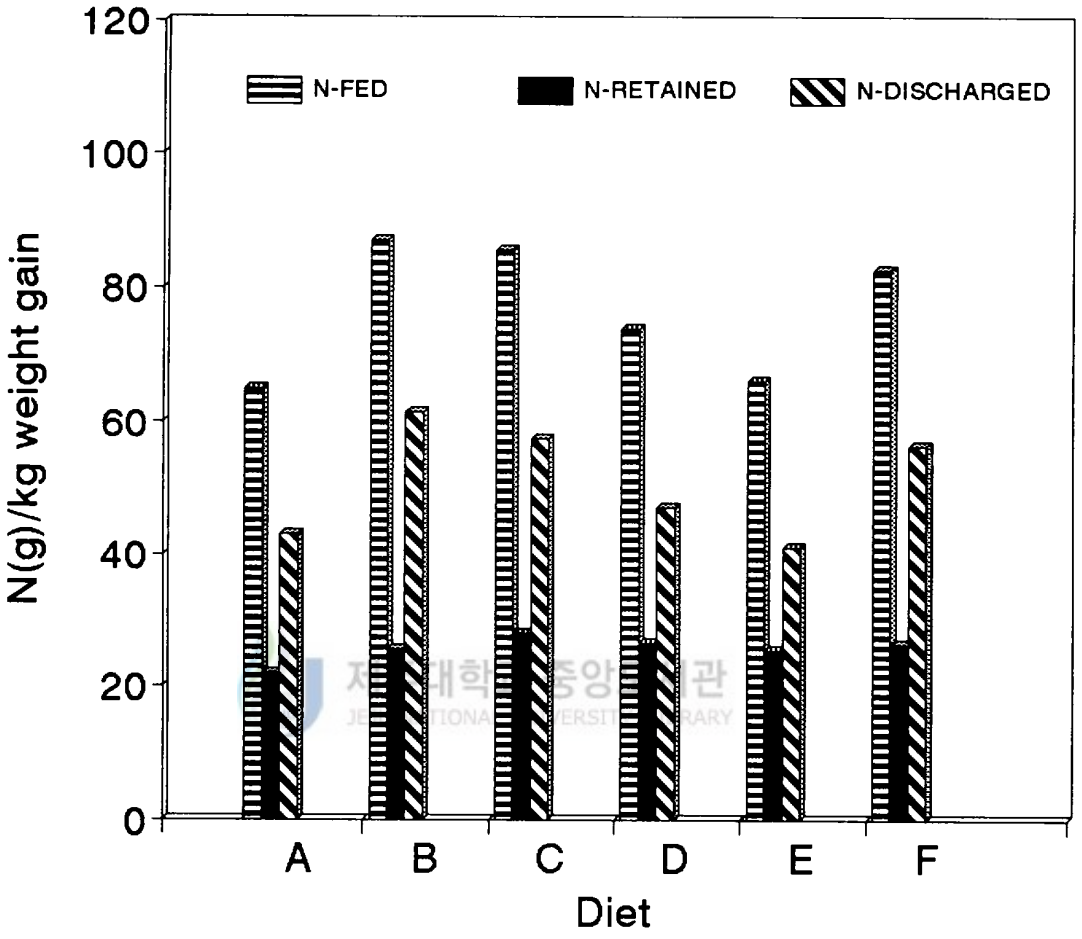


Fig. 2. The amount of nitrogen discharge per Kg gain of Israeli carp fed six different commercial diets. Estimation was based on the retained N in the whole body.

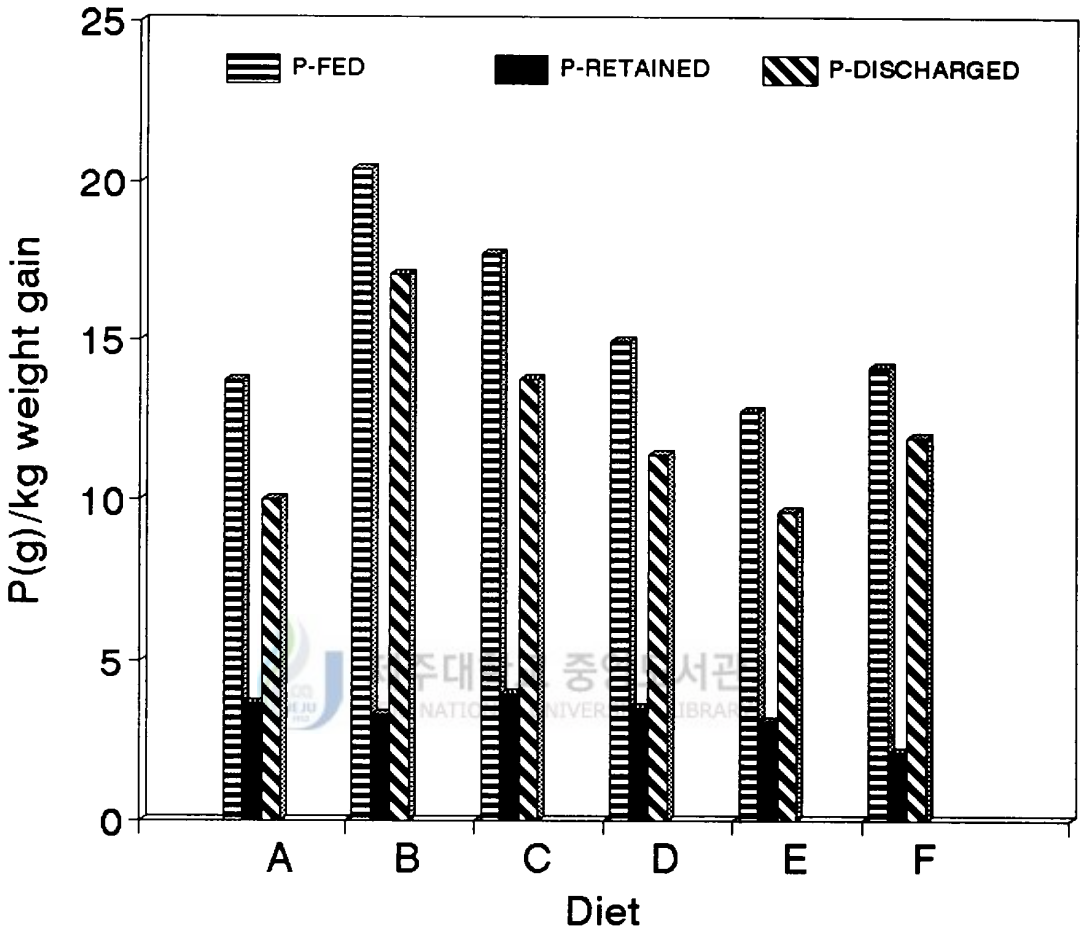


Fig. 3. The amount of Phosphorus discharge per Kg gain of Israeli carp fed six different commercial diets. Estimation was based on the retained P in the whole body.

Table 11. The amount of Phosphorus discharge per Kg gain of Israeli carp fed six different commercial diets. Estimation was based on the retained P in the whole body

Diet	P in diet (g/100g DM)	P (g) per Kg weight gain			PRE* (%)	P (g)/ kg FI**
		Fed	Retained	Discharged		
A	1.54	13.7±0.22^{c}	3.7±0.00^{b}	10.0±0.22^{c}	26.8^{a}	11.3
B	1.69	20.4±1.98^{a}	3.3±0.02^{d}	17.1±1.97^{a}	16.5^{c}	14.1
C	1.51	17.7±0.37^{ab}	4.0±0.01^{a}	13.8±0.37^{b}	22.5^{b}	11.7
D	1.38	14.9±0.65^{bc}	3.5±0.02^{c}	11.4±0.63^{bc}	23.7^{b}	10.5
E	1.27	12.8±0.19^{c}	3.1±0.00^{e}	9.7±0.19^{c}	24.3^{ab}	9.6
F	1.16	14.1±0.05^{c}	2.2±0.03^{f}	12.0±0.08^{bc}	15.2^{c}	9.8
mean	1.43	15.6	3.3	12.3	21.5	11.2

Values (means±SE of two replicate groups), in the same column, not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$).

*Phosphorus retention efficiency = 100((final body wt. × % P in whole body) - (initial body wt. × % P in whole body))/P intake.

**P discharged (g) per kg feed intake.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 질소와 인의 정화

1) 식물성 플랑크톤의 이용

Chlorella vulgaris, *Scenedesmus* sp., *Spirulina platensis* 3종을 이용하여 접종밀도를 100, 200, 300, 500, 1000×10^{4}cells/㎖로 나누어 배양한 결과는 Table 12와 같다(Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6).

배출수에 플랑크톤을 접종하였을때, *C. vulgaris*에서는 접종밀도 100×10^{4}cells/㎖일때 접종 1일후 세포수가 갑자기 증가하기 시작하여 접종 4일

Table 12. Change in cell number of the three species of phytoplanktons inoculated into exhausted water, depending on their incubation days (unit: $\times 10^4$ cells/$m\ell$)

Species	Inoculation density	Incubation days					
		0	1	2	3	4	5
Chlorella vulgaris	100	100	149	273	575	727	750
	200	200	265	418	750	1040	1125
	300	300	390	620	950	1190	1250
	500	500	630	915	1350	1480	1475
	1000	1000	1230	1650	2275	2410	2050
Scenedesmus sp.	100	100	117	145	200	229	225
	200	200	230	305	425	476	325
Spirulina platensis	100	100	120	170	300	405	420
	200	200	245	330	500	705	1000
	300	300	375	525	900	1050	1000
	500	500	620	905	1500	1460	1330
	1000	1000	1200	1560	2160	2910	3530

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

후 727×10^4cells/$m\ell$달하였으며 접종 5일 후에는 전일에 비해 극히 적은 양의 세포수 증가로 정체기에 들어감을 알 수 있었다. 접종밀도가 200, 300, 500×10^4cells/$m\ell$에서도 접종밀도 100×10^4cells/$m\ell$와 비슷하게 접종 4일후부터 접종 5일후까지 정체기에 들어감을 알 수 있었다. 접종밀도가 1000×10^4cells/$m\ell$에서는 접종 4일후 세포밀도가 $2,410\times10^4$cells/$m\ell$로 최고 정점을 보인 후 접종 5일후에는 세포수가 $2,050\times10^4$cells/$m\ell$로 전날에 비해 감소하기 시작하였다.

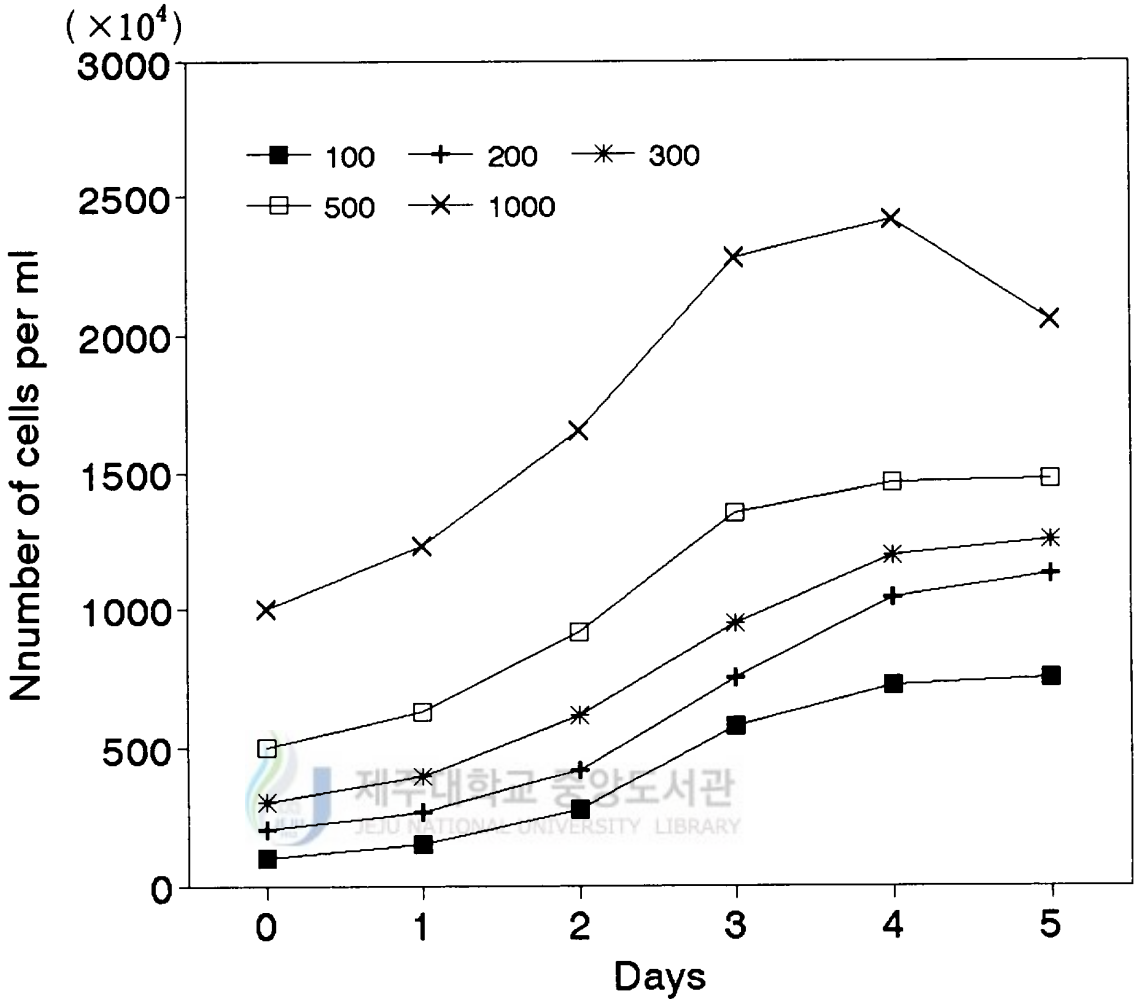
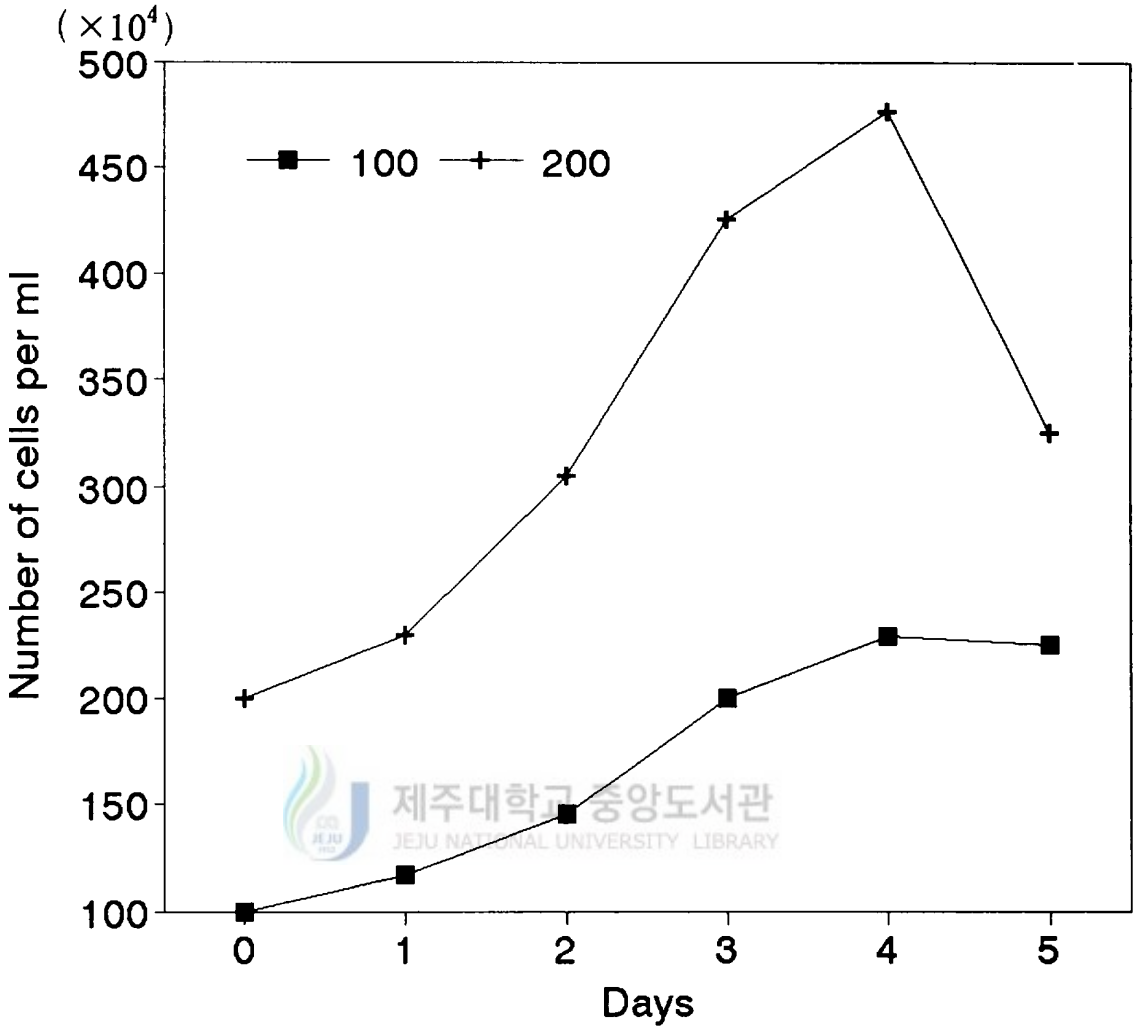


Fig. 4. The growth curve of *Chlorella vulgaris* in exhausted water, depending on its incubated period and inoculated conentration (unit: $\times 10^4$ cells/ml).



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 5. The growth curve of *Scenedesmus* sp. in exhausted water, depending on its incubated period and inoculated concentration (unit: $\times 10^4$ cells/ml).

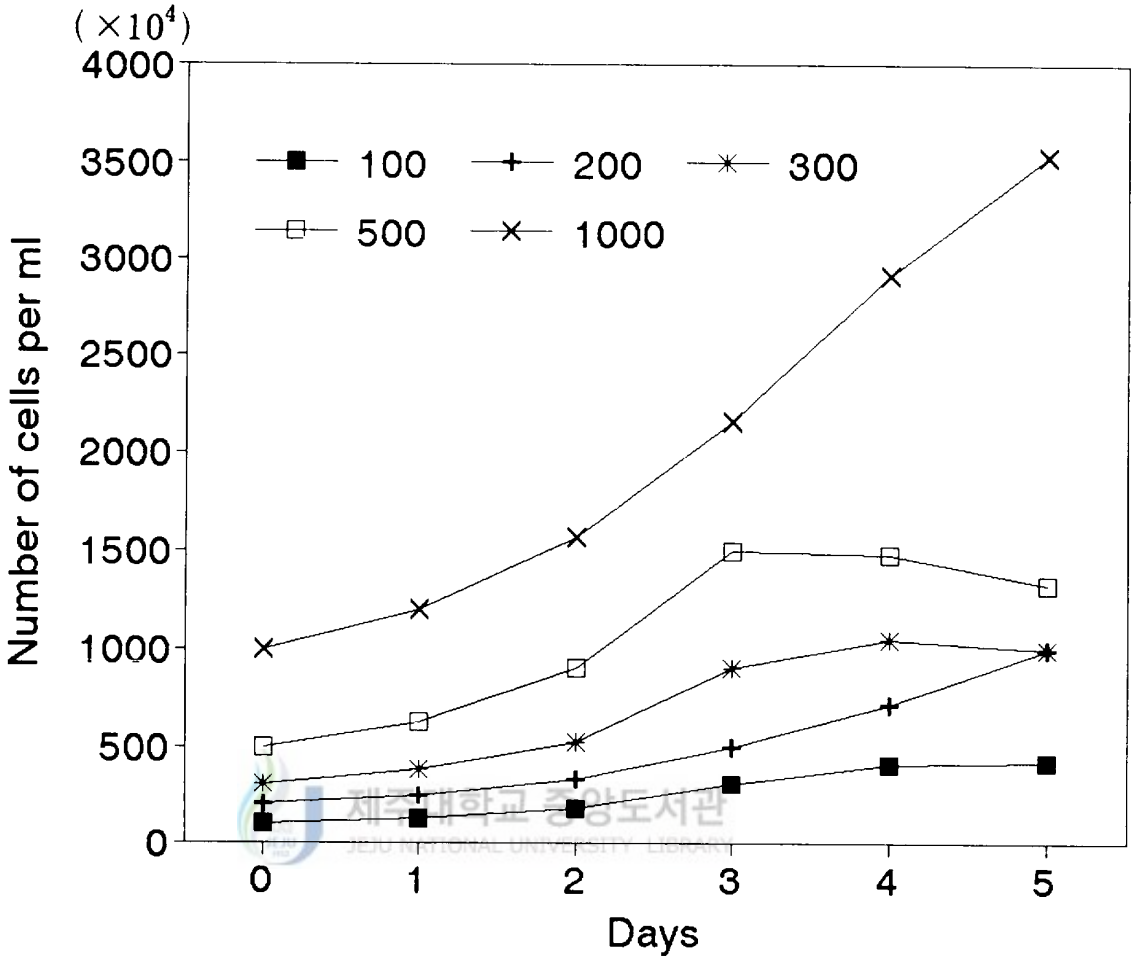


Fig. 6. The growth curve of *Spirulina platensis* in exhausted water, depending on its incubated period and inoculated concentration (unit: $\times 10^4$ cells/ml).

Scenedesmus sp.는 배출수에 접종하기 전, 배양원종의 세포밀도가 너무 낮아 접종밀도 300×10^4cells/㎖ 이상의 실험은 할 수 없었다. 접종밀도 100×10^4cells/㎖에서 접종 4일후 세포밀도 229×10^4cells/㎖로 정점을 나타냈으며, 접종밀도 200×10^4cells/㎖일때 접종 4일후 세포 밀도 476×10^4cells/㎖였으며, 접종 5일후 접종밀도 100, 200×10^4cells/㎖ 모두 전날에 비해 세포의 수가 감소되었다.

*S. platensis*의 경우 *C. vulgaris*와 비교해서 모든 접종밀도에 따른 플랑크톤의 성장은 접종 4일에서 5일사이에 최고정점 또는 정체기의 상태를 보였고, 접종 5일 후의 세포밀도를 *C. vulgaris*와 비교할때 접종밀도 100, 200, 300, 500×10^4cells/㎖일때는 *C. vulgaris*의 성장 속도가 *S. platensis*보다 빨랐지만, 접종밀도 $1,000\times10^4$cells/㎖일때는 *S. platensis*가 *C. vulgaris*보다 월등히 빠른 성장을 나타내었다. 접종밀도에 대한 접종 5일 후의 세포수의 증가로 판단하였을 때에는 *C. vulgaris*에서는 접종밀도 100×10^4cells/㎖, *S. platensis*에서는 접종밀도 200×10^4cells/㎖일때가 세포수의 증가 속도가 가장 빨랐다. 배출수에 위의 플랑크톤을 접종하였을때 수질변화에 대한 실험 결과는 Table 13, 14, 15와 같다. 실험기간 동안의 수온은 28.1±0.5℃였다.

먼저 *C. vulgaris*의 경우, 수질의 변화에 있어 pH의 변화는 실험 시작시의 pH 7.3과 실험종료시의 pH 7.6~8.1로 비슷한 수준이었고, 용존산소량은 실험 시작전 5.9ppm에서 플랑크톤을 접종한 후 5일이 경과되었을 때의 용존산소량은 8.5~11.0ppm으로 약 2배의 증가를 보였다. 화학적 산소요구량은 실험 시작시 117.0ppm이었던 것이 *C. vulgaris* 접종 5일 후 접종밀도 100×10^4cells/㎖(50.0ppm), 200×10^4cells/㎖(42.5ppm), 300×10^4cells/㎖(35.5ppm), 500×10^4cells/㎖(28.5ppm), $1,000\times10^4$cells/㎖(20.0ppm)로 접종밀도가 높아짐에 따라서 현저히 떨어지는 경향을 보였다. 아질산성 질소농도는 실험 시작시의 농도(0.30ppm)에 비해 모든 시험구의 종료시에 현저히 낮았지만 접종밀도에 따른 차이는 없었다(0.03~0.04ppm).

또 질산성 질소와 암모니아성 질소의 경우 화학적 산소요구량에서와 마

찬가지로 *C. vulgaris*의 접종밀도가 높아질수록(100~1.000×10^4cells/㎖) 질산성 질소는 10.51~5.12ppm으로, 암모니아성 질소는 8.55~6.55ppm으로 감소되었다. 그러나, 인산염 인의 경우는 실험 시작시 15.93ppm이었던 것이 접종 5일 후에도 14.35ppm(접종밀도 1.000×10^4cells/㎖)에서 15.92ppm(접종밀도 200×10^4cells/㎖)으로 거의 제거되지 않는 상태를 보여주었고 접종밀도에 따른 경향도 없었다 (Fig. 7).

Table 13. Change in the quality of exhausted water five days after the single inoculation of *Chlorella vulgaris* with five different densities

Items	Inoculation density (×10^4 cells/㎖)					
	Initial	100	200	300	500	1000
pH	7.3	7.8	7.9	8.1	7.6	8.0
DO (ppm)	5.9	8.5	8.9	9.3	10.2	11.0
COD (ppm)	117.0	50.0	42.5	35.5	28.5	20.0
NO_2-N (ppm)	0.30	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
NO_3-N (ppm)	12.50	10.51	10.10	8.53	7.85	5.12
NH_3-N (ppm)	10.70	8.55	8.05	7.85	7.00	6.55
PO_4-P (ppm)	15.93	15.56	15.92	15.55	15.10	14.35

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Scenedesmus sp.의 경우, pH의 변화는 실험 시작시 7.3에서 접종 5일후 7.5~7.8로 차이가 없었고, 용존산소량은 실험 시작시 5.9ppm에서 5일후 7.8~8.9ppm으로 1.5배의 증가를 보였다. 화학적 산소요구량은 시험시작시 117.0ppm에서 5일후 접종밀도 100×10^4cells/㎖에서 65.5ppm, 접종밀도 200×10^4cells/㎖에서 59.0ppm으로 44.0~50.0%의 감소를 보였다. 아질산성 질소 농도는 시험시작시 0.30ppm에서 5일후 0.05ppm으로 거의 모두 제

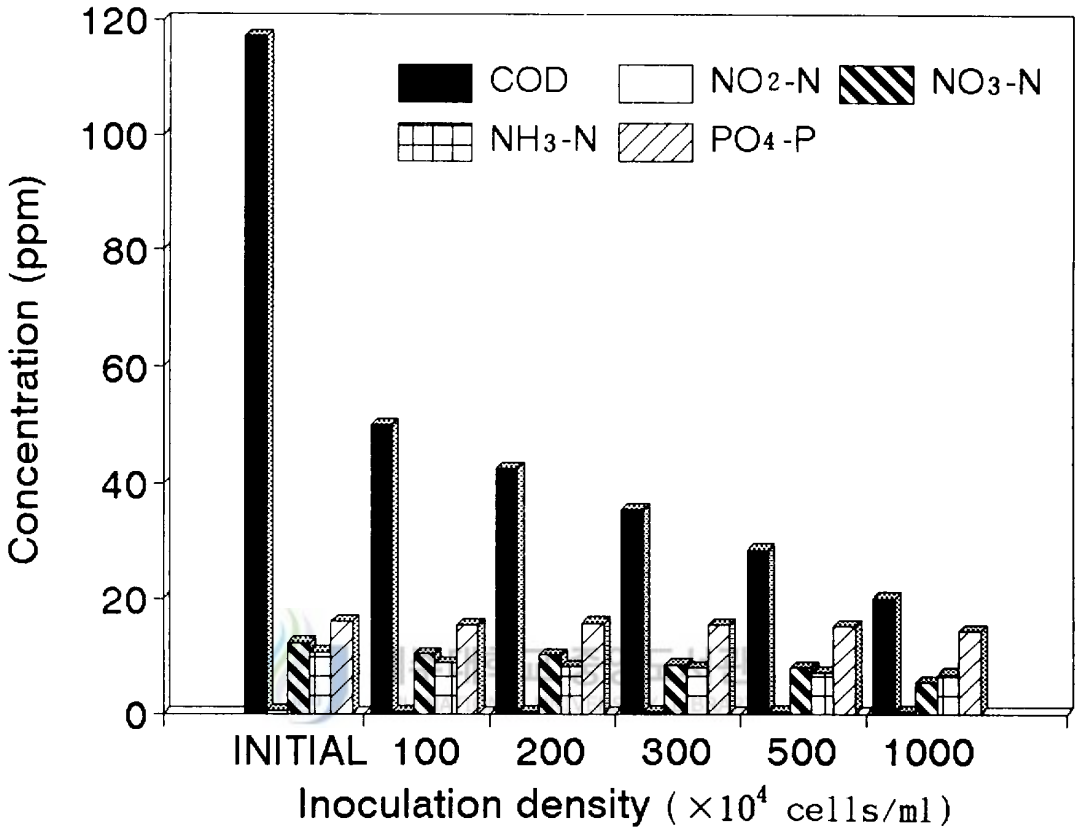


Fig. 7. Change in the quality of exhausted water five days after the single inoculation of *Chlorella vulgaris* with five different densities.

거되었으며 질산성 질소와 암모니아성 질소 농도는 실험 시작시 각각 12.50, 10.70ppm에서 접종 5일후 접종밀도 100×10^4cells/$m\ell$에서 10.15, 7.95ppm, 접종밀도 200×10^4cells/$m\ell$에서 10.00, 7.70ppm으로 *C. vulgaris*를 배출수에 접종했을 때보다 같은 접종밀도에서의 질산성 질소와 암모니아성 질소의 감소 정도는 다소 좋은 결과를 보였다. 인산염 인의 경우 실험 시작시 15.93ppm에서 5일후 15.50~15.55ppm으로 거의 제거되지 않았다 (Fig. 8).

Table 14. Change in the quality of exhausted water five days after the single inoculation of *Scenedesmus* sp. with two different densities

Items	Inoculation density ($\times10^4$ cells/$m\ell$)		
	Initial	100	200
pH	7.3	7.5	7.8
DO (ppm)	5.9	7.8	8.9
COD (ppm)	117.0	65.5	59.0
NO_2-N (ppm)	0.30	0.05	0.05
NO_3-N (ppm)	12.50	10.15	10.00
NH_3-N (ppm)	10.70	7.95	7.70
PO_4-P (ppm)	15.93	15.55	15.50

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

또, *S. platensis*를 배출수에 접종했을 경우, *C. vulgaris*, *Scenedesmus* sp.를 접종하였을 때와 같이 pH는 7.5~7.9로서 비슷한 수치를 나타내었으며, 용존산소량은 7.8~10.8ppm으로 비슷하게 증가하였다. 화학적 산소요구량에서는 *C. vulgaris*를 접종했을 때와 비교하였을때 같은 접종밀도에서 다소 높게 나타났지만, 플랑크톤의 접종농도가 높아질수록 감소(접종밀도

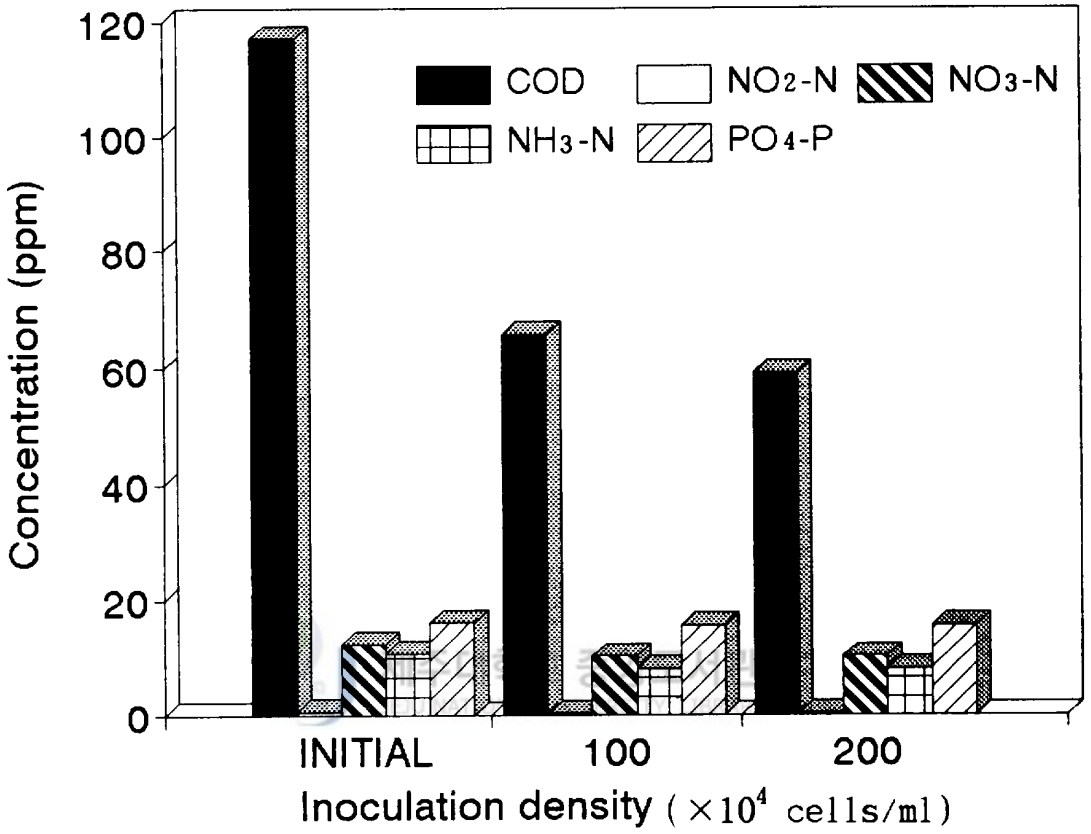


Fig. 8. Change in the quality of exhausted water five days after the single inoculation of *Scenedesmus* sp. with two different densities.

100×10^4cells/㎖: 53.5ppm, 200×10^4cells/㎖: 49.0ppm, 300×10^4cells/㎖: 40.5ppm, 500×10^4cells/㎖: 36.0ppm, $1,000\times10^4$cells/㎖: 29.0ppm) 되는 경향을 보였다. 아질산성 질소 농도는 3가지 플랑크톤중에서 *S. platensis*가 가장 낮게 나타났으며(0.02~0.03ppm), 질산성 질소(접종 5일후 9.55~6.15ppm), 암모니아성 질소(접종 5일후 8.20~6.65ppm)는 *C. vulgaris*와 *Scenedesmus* sp.를 접종하였을 때와 같은 경향으로 나타났다. 인산염 인의 경우 타종의 실험에서와 마찬가지로 다소 제거(15.58~15.10ppm)는 되었으나 거의 농도 변화가 없었다(Fig. 9).

Table 15. Change in the quality of exhausted water five days after the single inoculation of *Spirulina platensis* with five different densities

Items	Inoculation density ($\times10^4$ cells/㎖)					
	Initial	100	200	300	500	1000
pH	7.3	7.6	7.5	7.8	7.7	7.9
DO (ppm)	5.9	8.0	8.2	7.8	9.6	10.8
COD (ppm)	117.0	53.5	49.0	40.5	36.0	29.0
NO_2-N (ppm)	0.30	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
NO_3-N (ppm)	12.50	9.55	9.50	7.80	7.65	6.15
NH_3-N (ppm)	10.70	8.20	7.90	7.65	6.95	6.65
PO_4-P (ppm)	15.93	15.58	15.26	15.45	15.30	15.10

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

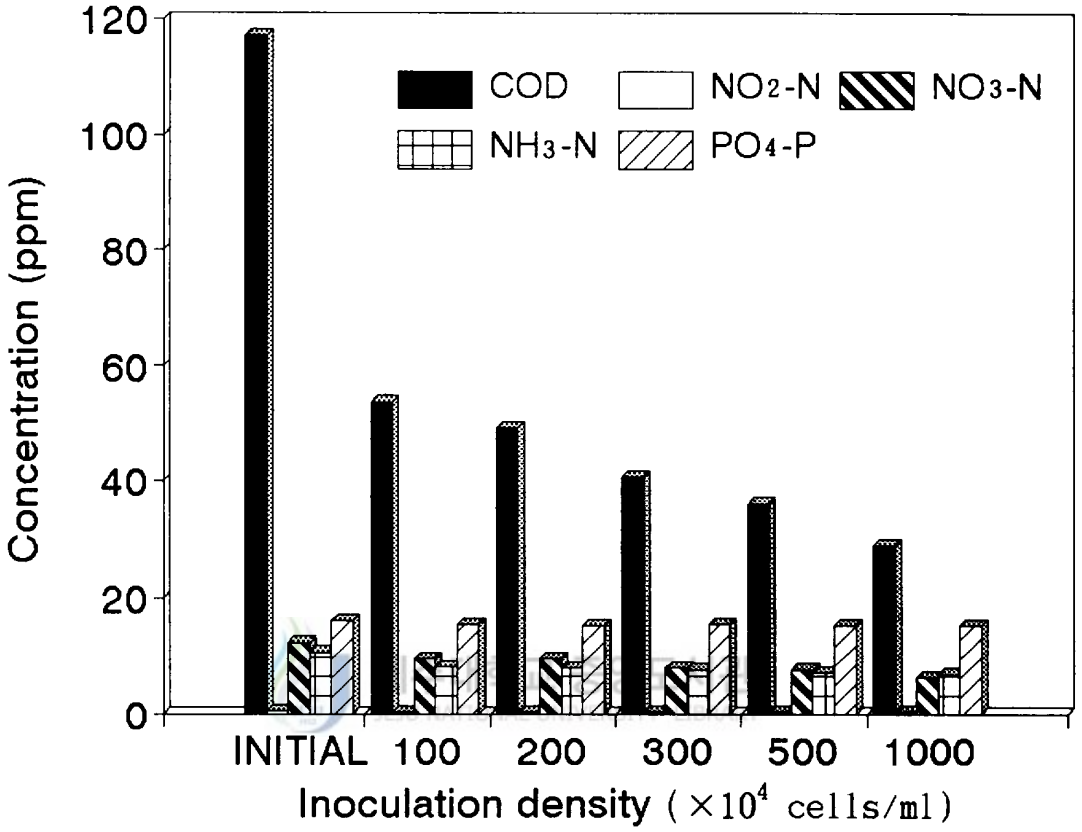


Fig. 9. Change in the quality of exhausted water five days after the single inoculation of *Spirulina platensis* with five different densities.

2) 광합성 세균의 이용

광합성 세균인 PSB(purple non sulfur bacteria)를 이용하여 배출수의 수질변화를 조사한 결과는 Table 16 ~ Table 20과 같고, 실험기간의 수온은 26.9±0.4℃였다.

먼저, 시험 시작시에 PSB를 1회만 접종한 후 1일 경과되었을 때의 수질의 변화에서 pH는 실험 시작시 7.5이였던 것이 종료시에는 6.8~7.2로 다소 낮아지는 경향을 보였다. 용존산소량은 실험 시작시 4.3ppm보다 2~3배(10.5~12.9ppm)로 증가하였다. 화학적 산소요구량은 실험 시작시 123.5ppm이던 것이 PSB 접종농도 0.25×10^7cells/㎖에서 105.5ppm으로 감소되었으며, 접종농도 1.25×10^7cells/㎖에서는 80.0ppm, 접종농도 2.5, 12.5 $\times10^7$cells/㎖는 50.5ppm으로 감소되었지만, 접종농도 25×10^7cells/㎖에서는 50.0ppm으로 접종농도 2.5, 12.5$\times10^7$cells/㎖와 거의 같은 농도를 보였다. 아질산성 질소 농도는 접종 1일후 0.05~0.01ppm으로 제거 효과가 좋았으며, 질산성 질소는 0.15ppm(접종밀도 0.25×10^7cells/㎖)~0.05ppm(접종밀도 2.5, 12.5, 25×10^7cells/㎖)으로 플랑크톤을 접종하였을 때와 비교해서 더 많은 제거효과를 보였다. 암모니아성 질소농도에서는 실험 시작시 10.70ppm에서 PSB 접종 1일후 8.35~5.20ppm으로 감소되었다.

PSB 접종밀도에 따른 화학적 산소요구량, 아질산성 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소 농도에서 접종밀도 $0.25\sim2.5\times10^7$cells/㎖에서는 접종밀도가 높을수록 제거효과가 좋았지만, 접종밀도가 $2.5\sim25\times10^7$cells/㎖에서는 거의 같은 수준의 농도를 보였다(Table 16, Fig. 10).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 16. Change in the quality of exhausted water one day after the single inoculation of the PSB with five different densities

Items	Initial	Inoculation density ($\times 10^7$ cells/ml)				
		0.25	1.25	2.5	12.5	25
pH	7.5	7.2	7.1	6.9	7.0	6.8
DO (ppm)	4.3	10.5	11.2	12.9	12.8	12.8
COD (ppm)	123.5	105.5	80.0	50.5	50.5	50.0
NO_2-N (ppm)	0.30	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01
NO_3-N (ppm)	12.50	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05
NH_3-N (ppm)	10.70	8.35	6.50	5.25	5.35	5.20
PO_4-P (ppm)	15.93	15.35	15.16	15.73	15.51	15.8

PSB를 1회 접종후 2일, 3일이 경과하였을 때의 결과는 Table 17, 18과 같다.

Table 17. Change in the quality of exhausted water two days after the single inoculation of the PSB with five different densities

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Items	Initial	Inoculation density ($\times 10^7$ cells/ml)				
		0.25	1.25	2.5	12.5	25
pH	7.5	7.1	7.0	7.1	7.2	7.0
DO (ppm)	4.3	10.8	11.0	11.5	12.0	11.9
COD (ppm)	123.5	110.0	85.5	55.0	50.0	48.5
NO_2-N (ppm)	0.30	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03
NO_3-N (ppm)	12.50	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
NH_3-N (ppm)	10.70	5.20	4.85	4.12	4.05	4.09
PO_4-P (ppm)	15.93	15.53	15.85	15.35	15.50	15.40

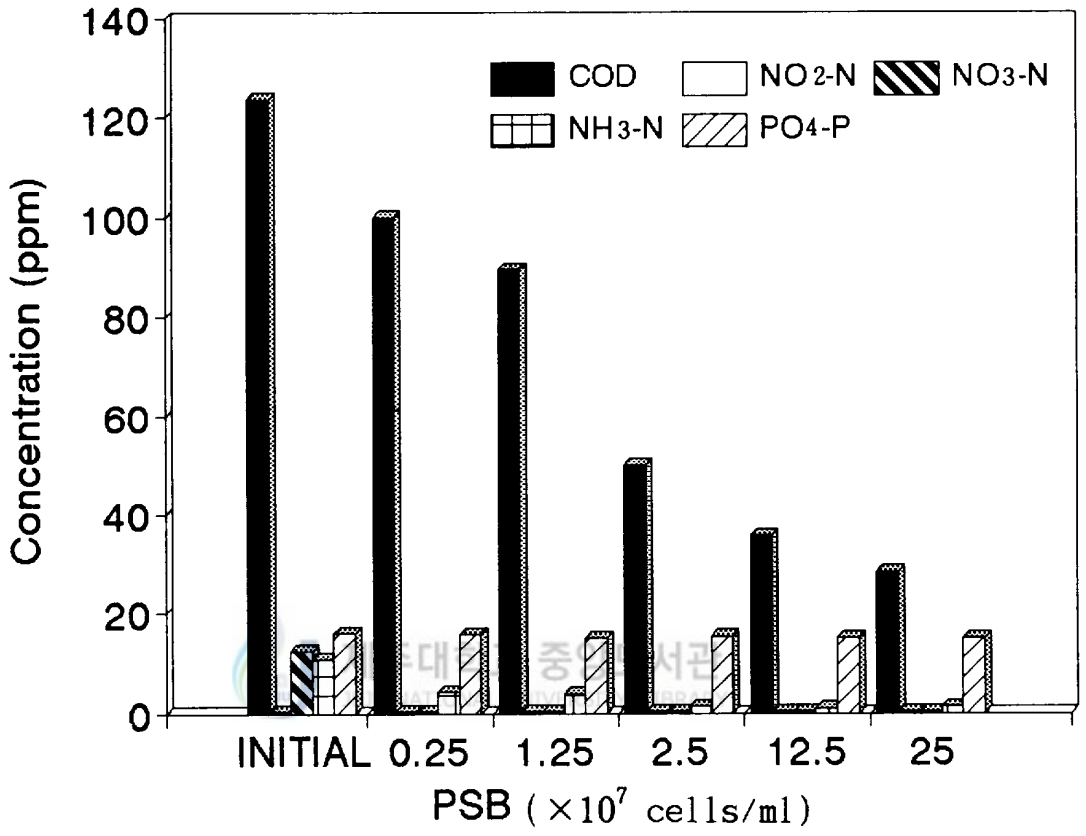


Fig. 10. Change in the quality of exhausted water one day after the single inoculation of the PSB with five different densities.

Table 18. Change in the quality of exhausted water three days after the single inoculation of the PSB with five different densities

Items	Initial	Inoculation density ($\times 10^7$ cells/ml)				
		0.25	1.25	2.5	12.5	25
pH	7.5	7.2	7.0	7.0	6.9	7.1
DO (ppm)	4.3	10.5	11.3	12.0	11.9	12.5
COD (ppm)	123.5	100.5	85.0	50.8	50.5	49.5
NO_2-N (ppm)	0.30	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02
NO_3-N (ppm)	12.50	0.08	0.05	0.07	0.03	0.04
NH_3-N (ppm)	10.70	4.57	4.46	4.43	4.21	4.12
PO_4-P (ppm)	15.93	15.85	15.52	15.60	15.35	15.45

pH의 변화는 1회 접종 2일후(7.0~7.2), 접종 3일후(6.9~7.2) 모두 접종 1일후와 비슷하였으며, 용존산소량 역시 실험 시작시에 비해 2~3배(접종 2일후 10.8~12.0ppm, 접종 3일후 10.5~12.5ppm) 정도 증가하였다. 화학적 산소요구량은 접종농도가 같은 구간에서 시일이 경과할수록 다소 감소되는 경향을 보였지만 거의 차이가 있다고 볼 수 없었다. 아질산성 질소(접종 2일후 0.06~0.03ppm, 접종 3일후 0.05~0.02ppm), 질산성 질소(접종 2일후 0.10~0.05ppm, 접종 3일후 0.08~0.03ppm), 암모니아성 질소(접종 2일후 5.20~4.05ppm, 접종 3일후 4.57~4.12ppm)는 접종 1일후에 비해서는 근소한 차이로 감소가 인정되지만, 접종후 2일과 3일 사이에는 뚜렷한 차이가 없었다. 인산염 인의 경우에는 앞의 실험에서와 마찬가지로 거의 변화가 없었다(2, 3일 경과후 15.85~15.35ppm).

PSB를 1일 1회씩 접종하고 2일(총 2회 접종)이 경과하였을 때의 수질 변화(Table 19, Fig. 11)는, pH(7.2~7.3)와 용존산소량(10.9~12.2ppm)은 1

회 접종후 1일, 2일, 3일 경과하였을 때와 같은 경향이었다. 화학적 산소요구량은 접종농도 0.25~2.5×10^7cells/㎖였을때는 1회 접종했을 때와 거의 같은 감소율을 보였지만, 접종농도12.5×10^7cells/㎖에서는 35.5ppm, 접종농도 25×10^7cells/㎖에서는 28.5ppm으로 더 많은 감소 효과를 보였다. 아질산성 질소(0.05~0.04ppm)와 질산성 질소(0.10~0.03ppm)는 앞 실험과 유사한 결과를 보였지만, 암모니아성 질소는 4.03ppm(접종밀도 0.25×10^7cells/㎖)에서 0.95ppm(접종밀도 12.5×10^7cells/㎖)으로 타 실험에 비해 훨씬 좋은 효과를 얻었다. 그러나, 인산염 인의 경우 앞의 실험과 마찬가지로 그 농도는 15.86ppm(접종밀도 0.25×10^7cells/㎖)에서 15.20ppm(접종밀도 12.5×10^7cells/㎖)으로 감소효과를 볼 수 있었다.

PSB를 1일 1회씩 접종하고 3일(총 3회 접종)이 경과하였을 때의 결과(Table 20, Fig. 12)를 살펴보면 pH(6.9~7.3)와 용존산소량(10.9~12.0ppm)은 앞의 실험과 비슷하였고, 화학적 산소요구량은 접종밀도 2.5×10^7cells/㎖의 32.5ppm을 제외하고는 앞의 실험과 거의 비슷한 결과를 보였다.

Table 19. Change in the quality of exhausted water after the two-day incubation with the PSB. Inoculations were conducted once a day for two days and were begun with five different densities

Items	Initial	Inoculation density (×10^7 cells/㎖)				
		0.25	1.25	2.5	12.5	25
pH	7.5	7.3	7.2	7.2	7.2	7.3
DO (ppm)	4.3	10.9	11.3	11.8	12.2	12.0
COD (ppm)	123.5	100.0	89.5	50.0	35.5	28.5
NO_2-N (ppm)	0.30	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04
NO_3-N (ppm)	12.50	0.10	0.09	0.04	0.05	0.03
NH_3-N (ppm)	10.70	4.03	3.85	1.17	0.95	1.05
PO_4-P (ppm)	15.93	15.86	15.21	15.35	15.20	15.25

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

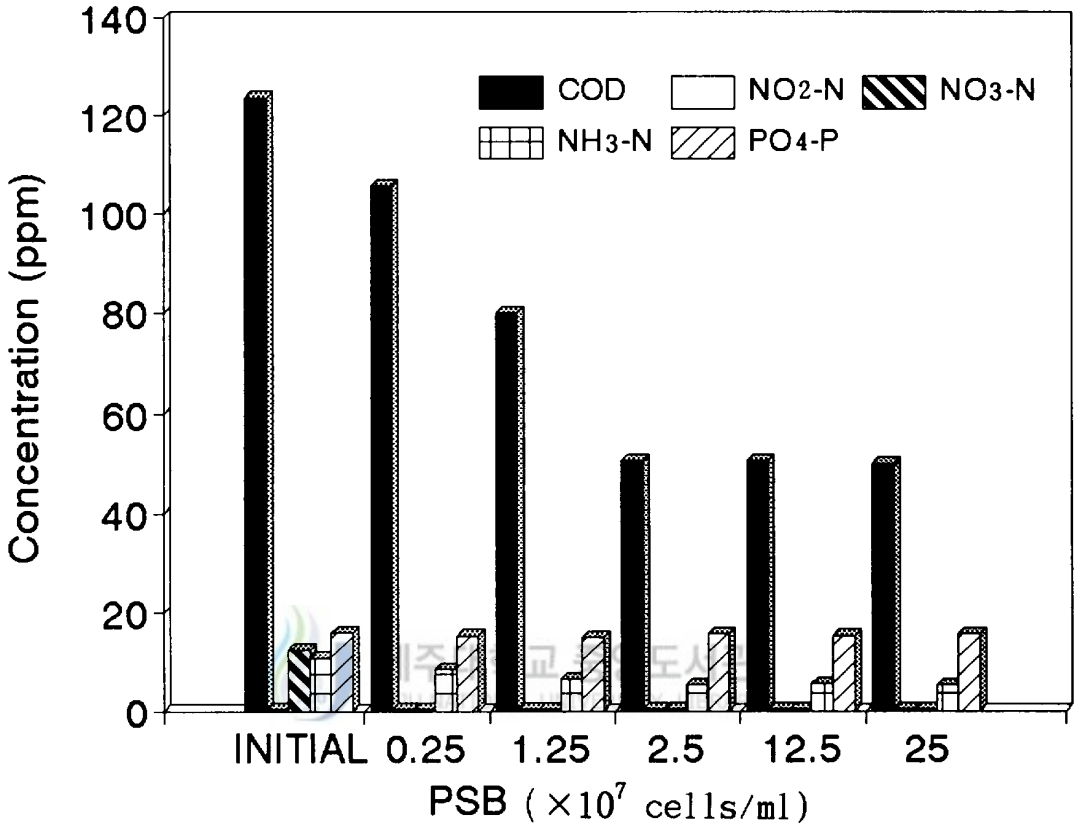


Fig. 11. Change in the quality of exhausted water after the two-day incubation with the PSB. Inoculations were conducted once a day and were begun with five different densities.

이밖에 아질산성 질소는 0.02~0.05ppm, 질산성 질소는 0.03~0.05ppm, 암모니아성 질소는 0.70~4.26ppm, 인산염 인은 15.09~15.70ppm으로 앞의 실험과 비슷한 경향을 보였다.

PSB만을 이용한 수질변화 실험에서 나타난 것은 접종농도가 1.25×10^7 cells/㎖이하일 때에는 실험에 사용한 배출수와 같이 오염이 심한 수질에 있어서는 정화효과의 실효성이 없는 것으로 생각되며, PSB를 1회 다량(25×10^7cells/㎖) 접종하는 것보다는 매일 1회씩 소량(2.5×10^7cells/㎖) 접종하는 방법이 더욱 효율적이었다.

Table 20. Change in the quality of exhausted water after the three-day incubation with the PSB. Inoculations were conducted once a day for three days and were begun with five different densities

Items	Initial	Inoculation density ($\times10^7$ cells/㎖)				
		0.25	1.25	2.5	12.5	25
pH	7.5	7.2	7.1	7.3	6.9	6.9
DO (ppm)	4.3	11.2	10.9	10.9	12.0	11.8
COD (ppm)	123.5	92.6	80.6	32.5	30.0	28.0
NO_2-N (ppm)	0.30	0.04	0.05	0.03	0.03	0.02
NO_3-N (ppm)	12.50	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03
NH_3-N (ppm)	10.70	4.26	3.51	0.75	0.80	0.70
PO_4-P (ppm)	15.93	15.38	15.67	15.56	15.70	15.09

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

*C. vulgaris*와 *S. platensis*(접종밀도는 10×10^6cells/㎖)를 각각 혼합시켜, PSB를 2.5×10^7cells/㎖ 농도로 조정하여 매일 1회씩 접종하였을때 경과 시일에 따른 수질변화를 측정한 결과는 Table 21, 22 및 Fig. 13과 같다. 이 때의 수온은 27.5±0.8℃였다.

Table 21. Change in the quality of exhausted water after incubation with the mixed microbes, *Chlorella vulgaris* and PSB. Both microbes were inoculated first and then the PSB was sequencially added with one-day interval

Items	Initial	Incubation days 1	2	3	4	5
pH	7.1	7.3	7.2	7.2	7.3	7.2
DO (ppm)	4.1	9.2	10.3	10.6	10.5	10.6
COD (ppm)	126:2	63.5	38.5	24.0	21.0	15.0
NO_2-N (ppm)	0.30	0.25	0.10	0.02	0.01	0.01
NO_3-N (ppm)	12.50	9.13	8.30	1.50	0.05	0.05
NH_3-N (ppm)	10.70	5.58	3.31	0.80	0.35	0.10
PO_4-P (ppm)	15.93	15.20	14.37	14.20	14.05	14.00

Table 22. Change in the quality of exhausted water after incubation with the mixed microbes, *Spirulina platensis* and PSB. Both microbes were inoculated first and then the PSB was sequencially added with one-day interval

Items	Initial	Incubation days 1	2	3	4	5
pH	7.1	8.0	7.6	7.5	7.5	7.3
DO (ppm)	4.1	9.6	10.0	10.7	10.4	10.5
COD (ppm)	126.2	58.0	40.0	22.5	19.0	14.5
NO_2-N (ppm)	0.30	0.12	0.07	0.01	0.01	0.01
NO_3-N (ppm)	12.50	8.76	8.05	1.30	0.05	0.05
NH_3-N (ppm)	10.70	3.15	1.05	0.50	0.27	0.15
PO_4-P (ppm)	15.93	15.34	15.00	14.58	14.46	14.31

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

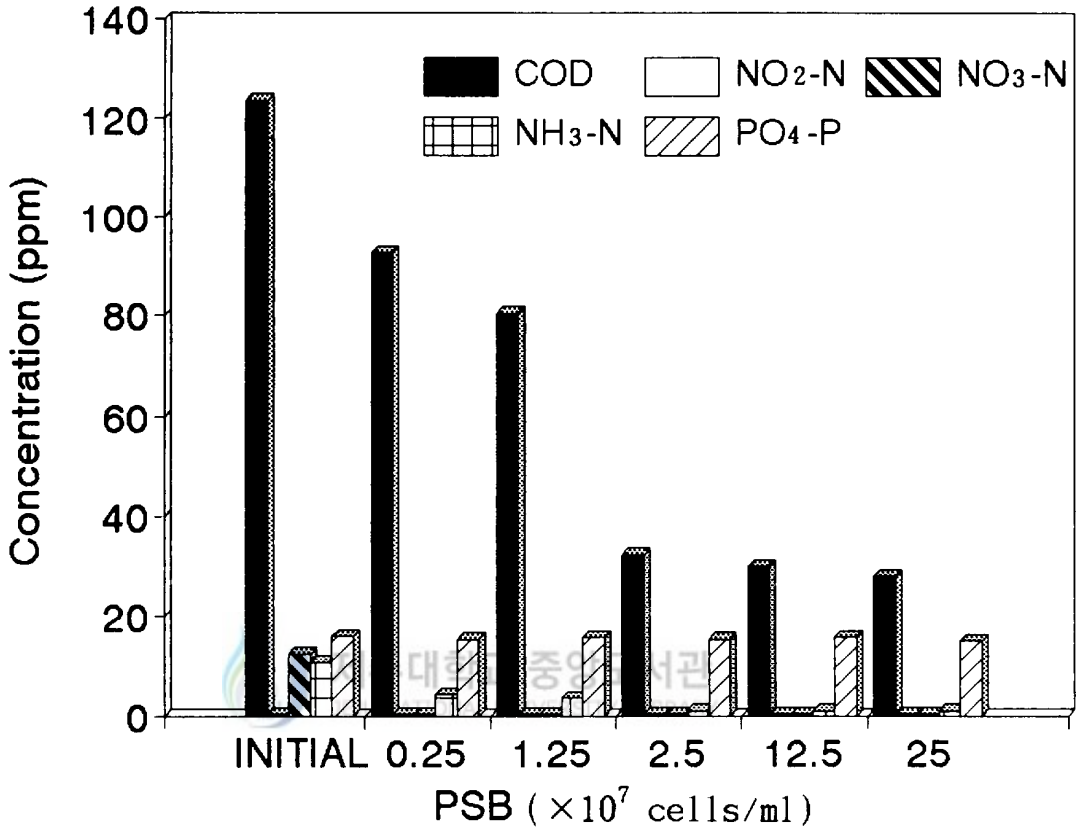


Fig. 12. Change in the quality of exhausted water after the three-day incubation with the PSB. Inoculations were conducted once a day for three days and were begun with five different densities.

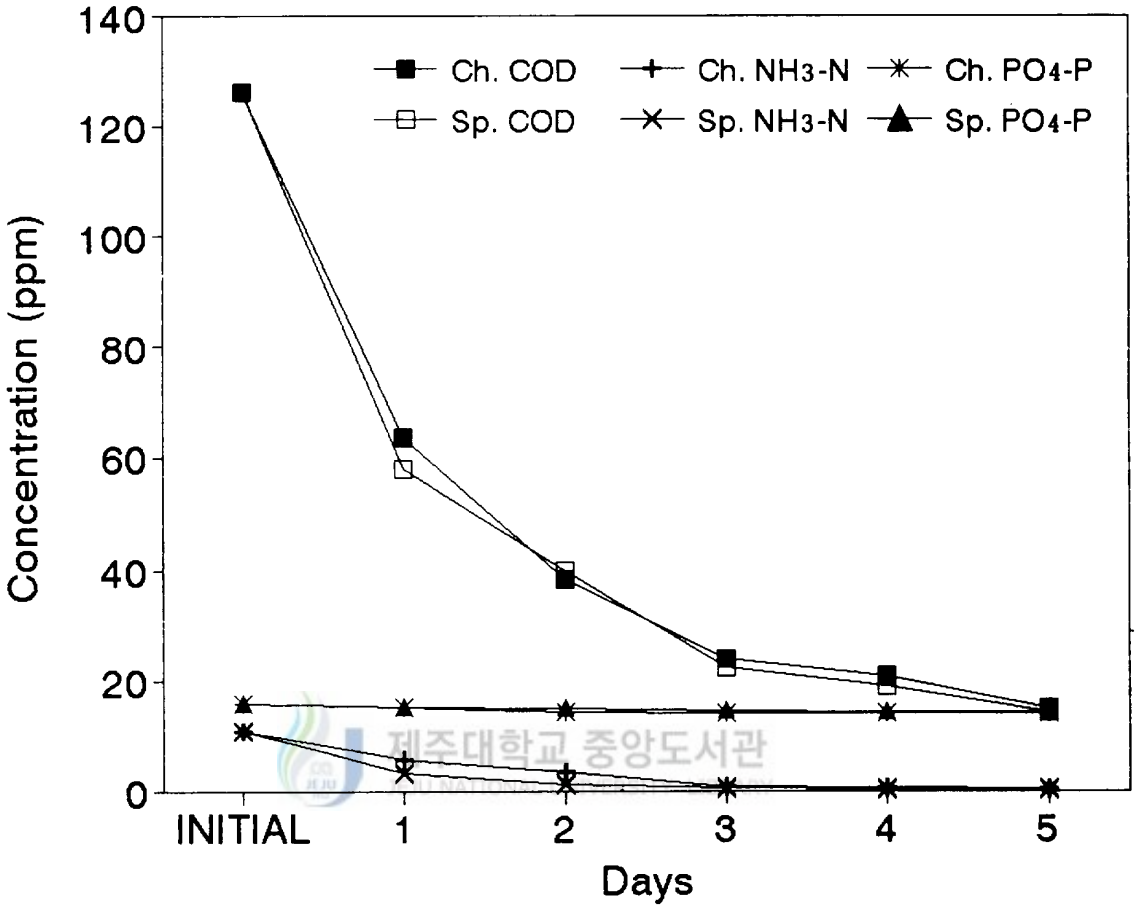


Fig. 13. Change in the quality of exhausted water after incubation with one of two microbes (*Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*) and PSB. Either *C. vulgaris* or *S. platensis* was inoculated first and then the PSB was sequencially added with one-day interval. Ch: *Chlorella vugalis*, Sp: *Spirulina platensis*.

pH의 변화는 *C. vulgaris*와 PSB를 혼합 사용하였을때는 7.2~7.3이였고, *S. platensis*와 PSB를 혼합 사용하였을 때는 7.3~8.0으로 다소 높은 경향을 보였다. 용존산소량은 두 실험 모두에서 9.2~10.7ppm으로 비슷하게 나타났고, 화학적 산소요구량은 *C. vulgaris*와 PSB를 혼합 사용하였을때 접종 1일후 63.5ppm으로 50%가 감소 하였고, 접종 5일 후에는 15.0ppm으로 88%의 감소 효과를 보였다. *S. platensis*와 PSB를 혼합 사용하였을 때는 접종 1일후 58.0ppm으로 54%, 접종 5일 후에는 14.5ppm으로 88.5%가 감소 하여 *S. platensis*와 PSB를 혼합 사용한 것이 *C. vulgaris*와 PSB를 혼합 사용한 것보다 다소 좋은 효과를 나타내었다. 아질산성 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소 모두 *C. vulgaris*와 PSB를 혼합 사용한 것(0.01~0.25ppm, 0.05~9.13ppm, 0.10~5.58ppm)보다 *S. platensis*와 PSB를 혼합 사용한 것(0.01~0.12ppm, 0.05~8.76ppm, 0.15~3.15ppm)이 근소한 차이로 감소효과가 높게 나타났다. 그러나, 인산염 인의 경우에는 앞의 모든 실험에서와 마찬가지로 *C. vulgaris*와 PSB를 혼합 사용한 것(14.00~15.20ppm)과 *S. platensis*와 PSB를 혼합 사용한 것(14.31~15.34ppm) 모두 별다른 제거 효과를 볼 수 없었다.

3) 미생물 (*Acinetobacter calcoaceticus*)의 이용

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

화학적 산소요구량, 아질산성 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소의 경우 플랑크톤이나 광합성 세균으로 각각 88.5%, 96.7%, 99.6%, 99.1%까지 정화가 되었지만, 인산염 인은 12.1%밖에 감소되지 않아, 세포내에 인 축적 능력이 인정된 *A. calcoaceticus*를 이용하여 수질의 변화를 측정한 결과는 Table 23과 같고, 실험기간동안의 수온은 32.5±0.6℃였다.

pH의 변화는 실험 시작시 7.4에서 실험기간동안 7.3~7.8로 큰 변화가 없었다. 용존산소량은 실험 시작시 5.6ppm이었는데 실험기간동안 7.2~7.6ppm이였으며, 화학적 산소요구량(실험시작시: 104.0ppm, 실험기간중:

Table 23. Change in the quality of exhausted water after the single incubation of *Acinetobacter calcoaceticus*, depending on its incubated period

Items	Initial	Incubation days				
		1	2	3	4	5
pH	7.4	7.6	7.8	7.3	7.4	7.6
DO (ppm)	5.6	7.2	7.6	7.5	7.6	7.6
COD (ppm)	104.0	105.9	110.3	108.1	105.3	106.7
NO_2-N (ppm)	0.28	0.26	0.27	0.25	0.28	0.26
NO_3-N (ppm)	8.09	8.01	7.53	7.76	7.92	7.90
NH_3-N (ppm)	8.41	8.38	8.36	8.36	8.37	8.35
PO_4-P (ppm)	13.27	12.11	10.43	11.02	10.94	11.10

105.3~110.3ppm), 아질산성 질소(실험시작시: 0.28ppm, 실험기간중: 0.25~0.28ppm), 질산성 질소(실험시작시: 8.41ppm, 실험기간중: 7.53~8.01ppm), 암모니아성 질소(실험시작시: 8.41ppm, 실험기간중: 8.35~8.38ppm)는 실험시작시와 시간의 경과에 따른 농도의 차이가 거의 없었다. 그러나 인산염 인의 경우 실험시작시 13.27ppm이었던 것이 접종 2일후 10.43ppm으로 21.4%가 감소하였고, 접종 3일 후부터는 약 11.0ppm으로 안정적이었다.

따라서, 식물성 플랑크톤인 *S. platensis* (접종밀도: 10×10^6cells/㎖)와 광합성 세균(1일 접종밀도 2.5×10^7cells/㎖) 및 *A. calcoaceticus*(10 colony) 3종류를 혼합 접종하여 수질변화를 측정한 결과는 Table 24, Fig. 14와 같다. 실험기간 중 수온은 30.5±0.4℃였다.

pH는 접종시 7.6에서 접종 1일후 7.4였고, 접종 5일후 7.9까지 변하였으며, 용존산소량은 실험시작시 5.1ppm이었던 것이 접종 1일 후 8.7ppm에서

Table 24. Change in the quality of exhausted water after the single inoculation of the mixed microbes, *Spirulina platensis*, PSB, and *Acinetobacter calcoaceticus*, depending on their incubated period

Items	Incubation days					
	Initial	1	2	3	4	5
pH	7.6	7.4	7.7	7.8	7.6	7.9
DO (ppm)	5.1	8.7	10.3	10.9	10.7	10.7
COD (ppm)	110.8	53.5	38.9	21.7	20.6	13.3
NO_2-N (ppm)	0.28	0.10	0.04	0.01	0.01	0.01
NO_3-N (ppm)	8.09	3.28	2.18	0.76	0.08	0.08
NH_3-N (ppm)	8.41	4.21	1.23	0.47	0.14	0.08
PO_4-P (ppm)	13.27	11.74	9.71	9.68	9.50	9.37

접종 3일 후 10.9ppm으로 2배 정도 증가하였다. 화학적 산소요구량은 접종 1일후 53.5ppm으로 51.7% 감소하였고, 접종 5일후에는 13.3ppm으로 88.0%가 감소되었다. 아질산성 질소는 접종 1일후 0.10ppm으로 64.3% 감소하였으며 접종 3일후 0.01ppm으로 94.4%의 제거효과를 보였다. 질산성 질소는 접종 1일후 3.28ppm으로 59.5%가 감소가 되었고, 접종 4일후 에는 0.08ppm으로 99.0%가 제거되었다. 암모니아성 질소 역시 접종 5일후 0.08ppm으로 실험시작시 8.41ppm보다 99.0% 이상의 제거효과를 나타내었다.

인산염 인의 경우 실험시작시 13.27ppm에서 접종 1일후 11.74ppm으로 11.55%의 감소효과를 보였으며, 접종 2일후 9.71ppm(26.8% 감소), 접종 3일후 9.68ppm(27.1% 감소), 접종 4일후 9.50ppm(28.4% 감소), 접종 5일후 9.37ppm으로 29.4%의 감소효과를 나타내었다. 이 결과는 위의 다른 실

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

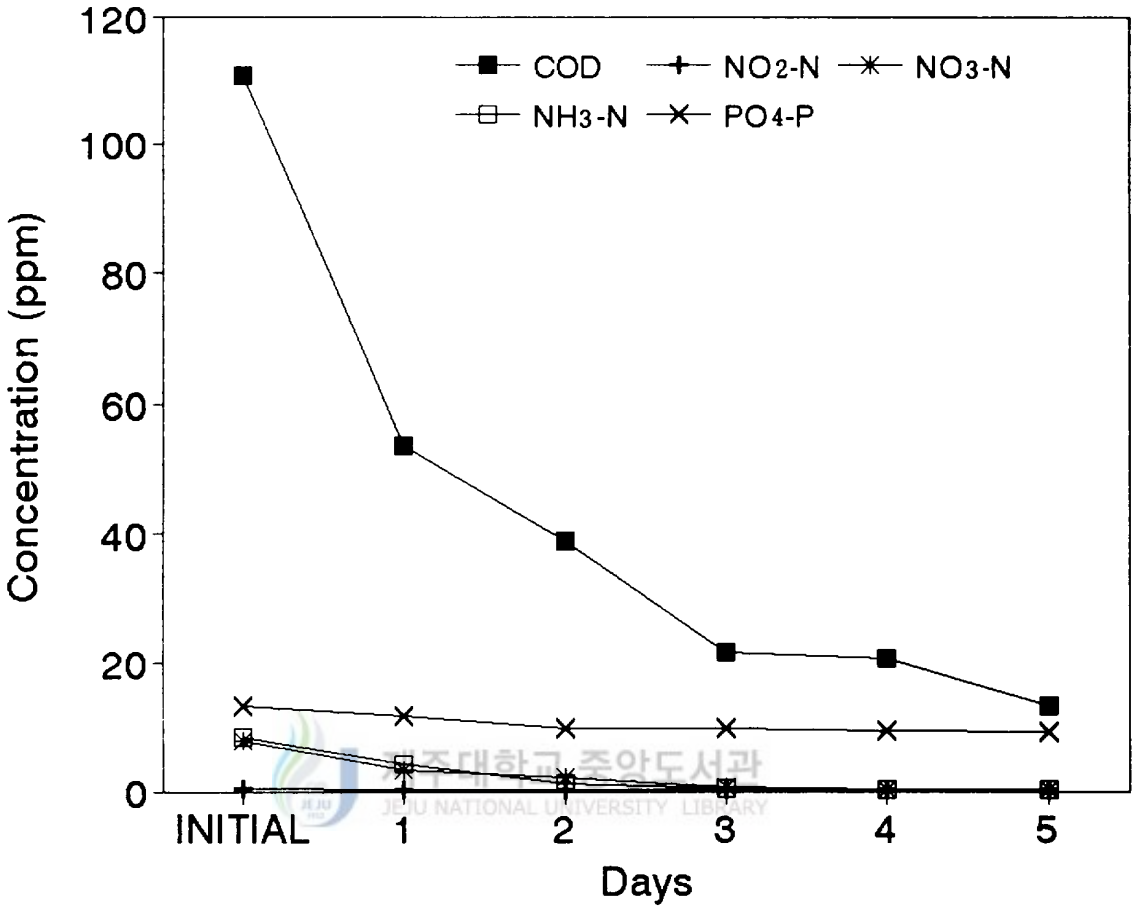


Fig. 14. Change in the quality of exhausted water after the single inoculation of the mixed microbes, *Spirulina platensis*, PSB, and *Acinetobacter calcoaceticus*, depending on their incubated period.

험에 비해 인산염 인의 감소가 2배정도 나타났지만, 아직까지 수질정화 차원에서의 인산염 인의 감소는 만족스럽지 못하다. 그러나 실험에 사용된 배출수의 수질상태가 매우 나쁨에도 불구하고 실험시작 3~5일 후에는 인산염 인을 제외한 전 수질조사 항목에서 88.0~99.0%의 정화효과로 수질이 빨리 안정되었고, 인산염 인의 경우도 다른 시험처리구에서 보다 월등한 29.4%의 감소효과를 거둘 수 있었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 考　察

1. 배합사료의 영양소 성분등록치와 분석치 비교

어류의 경우 사료내 불소화성의 섬유질이 많으면 사료섭취량을 저하 시킬 뿐만 아니라, 분의 양적 증가로 인한 수질오염을 유발하기 때문에 가능한 낮은 수준으로 유지되는 것이 바람직하다(NRC, 1983). 어분은 양어사료내 주된 동물성 단백질이지만, 어분내 존재하는 인은 잉어류와 같이 위가 없는 어류에 있어서는 그 이용성이 극히 제한된다(Ogino *et al.*, 1979; Yone and Toshima, 1979). 따라서, 고수준의 조회분은 인의 함량에 직접적인 영향을 미쳐 잉어사료의 경우 수질오염을 더욱 가속화 하게된다(Matty, 1990). 본 실험에서 보는 바와 같이 6개 시판사료의 성분등록치(최저치~최고치)는 조섬유와 조회분의 경우 각각 4.5~8.0%와 13.0~18.0% 이하로 등록되어 있으나, 이들 분석치의 경우 처리구중의 최고치가 각각 4.0%와 9.8%로 나타나 등록치와 엄연한 차이를 보이고 있다. 이러한 사실은 상한치로 표시되는 영양소의 경우 성분검사시 위배되지 않도록 안전수준을 고려하였기 때문인 것으로 생각된다. 그러나, 다른 한편으로는 저렴한 원료를 사용하였을 경우에도 등록된 수준까지 도달할 수 있다는 것을 의미하기 때문에 제품의 질적 불안정이 항상 내재해 있다. 따라서 수질오염율의 감소와 동시에 제품의 질적안정을 도모하기 위해서는 사료생산자 스스로 그들의 분석치에 가장 근접한 수준으로 등록수준을 설정하는 것이 양어가들을 위해 바람직하다.

양어사료의 성분등록이 규격화되어 있는 일본(養殖 デ-タブック, 1991)과는 달리 국내의 경우 생산자가 임의로 자유등록을 하고 있다. 일본의 경우 제조사간 제품의 영양성분이 동일하여 양어가들이 비교사육을 통하여 쉽게 성장율에 기반한 질적평가를 할 수 있다는 장점이 있으며, 국내의 경

우 양어용 배합사료 제조회사 간의 연구개발을 쉽게 유도할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 국내의 양어사료 등록성분설정은 육상 가축용 사료에 기반하여 이루어졌기 때문에 인과 같은 수질오염의 주된 인자(Auer *et al.*, 1986)의 경우 상한치가 아닌 하한치로 등록되는 결과를 초래했다. 한편, 육상가축과는 달리 어류는 풍부한 수중의 칼슘을 아가미를 통해 흡수할 수 있기 때문에 사료내 칼슘의 수준은 성장제한요소가 아닌 것으로 알려져 있다(Ogino and Takeda, 1976, 1978). 또한 칼슘은 수질오염과도 무관하기 때문에, 양어사료의 성분등록치 설정에 있어 칼슘의 수준은 의미가 없다고 할 수 있다. 어류사료의 가장 대표적인 단백질 공급원은 어분이지만 가격면에서 비싸고, 공급면에서 불안정적이기 때문에 어분 이외에도 식물성 단백질 공급원인 대두박을 어분과 함께 이용하고 있다. 대두는 어분에 비해 아미노산 조성이나 영양면에서 부족하지만 다른 원료 즉, 육골분, 우모분(Lovell, 1977), 오징어(Robinson *et al.*, 1985), 단세포 단백질(single-cell protein)-효모, 박테리아, 해조류, 대두, 카제인(casein), 실지렁이, 누에번데기, 크릴(Akiyama *et al.*, 1984), 콘글루텐(corn glueten), 땅콩, 가금 부산물, 육골분(Brown *et al.*, 1985), 겨자, 깻묵, 아마인유, 참깻묵(Hossain and Jauncey, 1989), 야자, 해바라기씨, 옥수수, 쌀(Kirchgessner and Schwarz, 1986; Law, 1986)에 비해서 화학적 조성이 균형잡힌 원료로서 공급면에서도 시장성이 좋으므로(Smith, 1977) 이를 사료의 단백질원으로서 대체하기 위한 연구가 계속 이루어지고 있다(Andrews 등, 1977; Davis and Stickney, 1978; Tacon *et al.*, 1983; Viola *et al.*, 1983; Kim *et al.*, 1984; Shiau *et al.*, 1987, 1990; Lee, 1989; Lim and Dominy, 1990).

단백질이 가수분해되면 약 20여종의 아미노산으로 분해된다. 어류 필수아미노산에 대한 질적, 양적 요구량을 최초로 결정한 연구는 Halver(1957)에 의해 연어에서 수행되었다. 잉어에서는 실험사료를 급여한 결과 메기보다 나쁜 결과가 나타나서 잉어는 유리 아미노산을 이용하지 못한다고 했으나(Aoe *et al.*, 1974), Nose 등(1974)이 실험사료에서 serine을 없애고 적

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

당량의 HCl을 물에 첨가하여 pH 6.5~6.7에서 성공적인 결과를 얻었으므로 잉어처럼 위가 없는 어류는 장내 pH가 중성이거나 약알카리성일때 아미노산의 흡수가 잘 될수 있음을 입증하였다.

Tanaka 등(1977)은 유리 아미노산을 잉어에 급여시, 성장이 늦은 이유는 몇몇 아미노산의 장내 체류시간이 짧기 때문에 혈중에 빨리 흡수되어 분비되기 때문이라 했으며, Murai 등(1984)이 이를 확인했다.

잉어의 필수 아미노산 요구량은 타어종과 같이 10 가지로 Ogino(1980)와 Nose(1979)에 의해서 밝혀진 아르기닌, 히스티딘, 이소류신, 류신, 리신, 메티오닌, 페닐알라닌, 트레오닌, 트립토판과 발린이다. 이 연구에서 분석된 국내 6개 사료 제조회사의 사료중 필수 아미노산의 수준은 회사에 따라 성분별 차이는 다소 있지만, Ogino(1980)와 Nose(1979)가 지적한 잉어를 비롯한 어류의 요구량을 만족 시키는 것으로 나타나고 있어 필수 아미노산의 함량에서는 문제가 없는 것으로 평가 되었다. 그러나 아미노산은 상호작용이 있으며, 잉어는 류신과 이소류신의 비율이 증가하면, 성장율이 떨어지는 경향이 있고(Nose, 1979), 비필수 아미노산인 티록신(tyrosine)은 필수 아미노산인 페닐알라닌 대체 효과가 있고, 시스틴(cystine)은 메티오닌의 대체 효과가 있다. 그러나, 비필수 아미노산은 전량 필수 아미노산으로 대체되지는 못한다. 또한 아미노산의 요구량이 결정되었다고 하더라도 실제 사료를 통해 공급되는 아미노산의 양은 정제된 실험사료에 의해 공급되었을 경우와는 달리, 이용율에 차이가 있게 마련이기 때문에(원, 1993) 아미노산의 대체효과의 이용과 실제 사료를 통하여 공급되는 아미노산의 이용율에 대해서는 금후 보다 많은 연구가 계속되어야 할것으로 생각된다.

어분은 공급가격과 물량수급 외에도 최근에는 골분속에 함유된 인(phosphorus, P) 함량이 높아 수질의 오염원이 되므로 수질오염을 줄이려면 어분 사용은 제한될 수밖에 없으므로 어분, 대두박을 비롯한 식물성 단백질과 합성 아미노산으로 대체할 수 있는 연구가 필요하다(Lall, 1991; Enell, 1987). 이 연구에서 조사된 국내에 사용되고 있는 어분의 인 함량은 평균 3.5% 이상으로서 약 30%의 어분을 사료에 사용한다고 가정할 경

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

우 이미 총인의 함량이 1% 수준을 초과하게 되며, 이들 인은 수산화인회석의 형태로 존재함으로 잉어에 의해 거의 이용되지 않고 수중으로 배설된다. 따라서, 저인의 어분생산 또는 확보가 용이하지 않을 경우 어분의 사용수준을 줄이는 것이 수질 오염율의 감소차원에서 바람직하다. 그러나, 이 경우 적정한 성장율이 보장되지 않는다면 역효과를 초래할 것이므로 어분의 최저수준 설정을 위한 부단한 연구개발이 수행되어야 할 것이다.

한편, 수질오염방지를 위한 대서양 연어의 고에너지 사료에서 전분은 pellet형성에 필요한 최소량만 사용하고, 소화성이 없는 섬유소의 사용도 최소량으로 하며, 대두박의 사용은 최소화하거나 피하고 있으며(Cowey and Cho, 1991), 잡식성 어류인 잉어의 경우 덱스트린(dextrin)의 소화율이 96 % (Furuichi and Yone, 1982)인 점을 감안하면, 어종의 식성에 따라 합리적으로 조절되어야 할 금후의 연구과제라고 생각된다.

탄수화물 공급원의 대부분은 곡류와 그 부산물이며(원, 1993), 지방은 어유나 대두유가 가장 보편적으로 쓰이지만, 우지, 돈지 또는 경화유지 같은 동물성 지방이나 기타 다른 지방들도 필수 지방산만 충족시켜주면 성장율, 사료효율, 생존에 별다른 악영향이 없이 에너지원으로 이용되어질 수 있다(Yu *et al.*, 1977; Yu and Sinnhuber, 1981).

Watanabe 등(1987a)은 잉어에 있어서 성장이나 사료효율을 감소시키지 않고 탄수화물과 지방을 이용하여 사료내의 에너지 수준을 증가시켜 단백질 수준을 일본 잉어사료 공정 규격인 39%에서 30~35%로 감소시켰다.

노르웨이의 대서양 연어 사료는 팽창과 코팅 기술의 개발로 지방 함량을 30%(90% DM) 높인 고에너지 사료를 만들고, 고품질의 어분을 사용해서, 단백질 함량을 40%로 줄여서 최대 성장에 필요한 양만 유지하고 탄수화물도 펠렛화에 필요한 양만 사용해서 오염원을 줄였다(Cowey and Cho, 1991).

이상에서와 같이 모두 단백질의 절약과 저오염 사료의 개발을 위하여 단백질의 수준을 낮춤과 동시에 지방에 의한 에너지 수준을 증가함으로서 성장율의 극대화와 수질오염의 최소화를 추구하고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그러나 어종마다 필수 지방산 종류와 요구량이 다르기 때문에 비단백질 에너지원을 사용할때 오히려 역효과(Takeuchi *et al.*, 1979a; Murai *et al.*, 1985)가 있는 점을 충분히 감안하여야 한다. 일반적으로 잉어 사료의 제조시 지방의 공급원은 어분이나 어유로부터 유래하기 쉬운데, 이 경우 18:2ω6 지방산은 제한 지방산(limiting fatty acid)으로 나타나기 쉽다. 따라서, 대두유와 같이 18:2ω6의 함량이 높은 유지를 어유와 혼합해서 사용하든가, 전지 대두박과 같은 원료사료를 이용하는 것이 필수 지방산의 요구량 충족을 위해 바람직하다고 생각된다.

이 연구에서 조사 분석된 국내사료의 필수지방산의 함량은 6개 사료사중 C사료를 제외한 모든 제품에서 리놀산은 0.5~0.76%으로 요구량 1.0%에 미달되었고, 리놀렌산은 조사된 전 사료에서 0.08~0.14%로 요구량 1.0%에 크게 미달되었다. 그러나 이 부족된 함량은 에이코사 펜타엔산과 도코사 헥사엔산을 합한 지방산이 0.67~1.46%가 함유되어, 앞에서의 리놀산과 리놀렌산의 부족양을 해소할 수 있기 때문에 필수지방산의 함량은 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

2. 잉어의 질소와 인 배출량

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Wilson 등(1981)과 Dabrowski와 Dabrowska(1981)는 각종 원료를 이용하여 잉어에서 외관상 소화율을 측정하였는데, 단백질과 아미노산 소화율이 상당히 비슷할지라도 아미노산 종류에 따라 원료별 아미노산간에 이용율의 차이가 큰 것을 보고한바 있다. 또한 단백질은 필수 아미노산의 공급원으로서 그 중요성을 갖기 때문에 이들의 요구량 충족은 무엇보다도 선결되어야 한다(Cowey and Luquet, 1983).

이 연구에서 관찰된 바와 같이 질소의 섭취량과 배출량과의 관계에서 일정한 경향이 없는 것은, 단백질 이용효율에서의 설명과 같이 사용되는 원료와 배합비의 차이에 기인한 아미노산의 이용성 차이로 설명될 수 있다.

일반적으로 단백질 이용효율은 사료내 단백질 수준이 증가함에 따라 감

소하는 경향을 보이며(Pongmaneerat and Watanabe, 1991), 이러한 결과는 궁극적으로 단백질의 섭취량에 반비례하는 경향이라고 볼 수 있다(Ogino, 1980; Bowen, 1987). 본 실험의 결과, A사료구를 제외한 5개 처리구를 비교할때 단백질의 섭취량이 높아짐에 따라 오히려 단백질 이용효율이 떨어지는 경향을 보인 것은 앞에서의 타 연구자들의 결과와 잘 일치된 현상으로 생각된다.

이 연구에서 6개사 제품의 사료계수, 단백질 이용효율과 일일성장지수의 최고치에 대한 최저치의 백분율은 각각 137%, 133%와 138%로서 평균 135% 이상의 상대적, 질적 차이를 나타내고 있다. 이러한 질적 차이에 기인한 사료효율은 가두리 양식어업의 총 생산비 중 50% 이상이 사료비임을 감안할때, 양질의 사료선택이 생산성에 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 쉽게 유추할 수 있다.

대부분의 경골어류는 체내 아미노산 분해의 최종산물로서 중독성이 덜한 요소(urea)나 요산(uric acid)으로 전변되지 않고 암모니아로서 환경수로 쉽게 배출하는 암모니아 배설성(ammoniotelic)이다(김, 1993). 그러나 거의 모든 암모니아는 중독성이 강한 비이온 암모니아(NH_3) 상태가 아닌 중독성이 덜한 이온형태의 암모니아(NH_4^+)로 존재한다.

아가미는 가장 주된 배설기관으로 총질소 배설량의 70~90% 이상을 차지하고 뇨 배설은 상대적으로 적으며 암모니아가 뇨의 질소성 분해산물의 대부분을 차지하며 배설되는 질소 중 작지만 유의적인 양(5~15%)이 요소로 배설된다. 아가미를 통한 암모니아의 배설은 여러가지 기작에 의해 일어나는 것으로 추정되며 이는 종간 및 해수어와 담수어 간의 차이가 존재하며 한때 Na^+/NH_4의 교환기작이 암모니아 배설의 주된 기작이라는 설명이 있었으나, 연구자들의 상반된 결과가 발표됨에 따라 정설로 받아들여지지 않았다(김, 1993).

Fromm(1963)은 무지개 송어에서 전체 질소량의 단지 3%만이 신장을 통해 배설되었다고 보고 하였으며,이외에 요산(uric acid), 크레아틴(creatine), trimethylamine oxide[IMAO, $(CH_3)_3N=O$]등의 대사산물이나 질소성 최종

산물도 배설되는 것으로 알려져 있으나 총질소 배설량 중에서 이들이 차지하는 비율은 극히 제한적이다(Kaushik and Cowey, 1991).

Peuquin과 Serfaty(1963)는 잉어의 여러 조직으로부터 채취한 혈액분석을 통해 전체 암모니아 생산량의 60~70%는 간에서 나머지는 근육에서 생성된다고 보고 하였다. Brett와 Zala(1975)은 연어에 시판사료를 급여했을 때 암모니아 배설량이 섭취 4시간 후 최대(35mg N/Kg BW/h)에 도달하는 것을 관찰했으며, 요소의 배설수준은 아무런 변화가 없는 것으로 보아 요소는 내생 단백질 대사의 산물인 반면, 사료내 단백질 분해의 최종 생성물은 암모니아라는 것을 의미하고 있다(김, 1993). 사료요인이 암모니아 배설에 영향을 미치는 것은 이미 잘 알려진 사실이지만, 사료내 비단백질성 에너지의 섭취증가와 암모니아 배설량간의 관계를 수량화하기는 어려운 실정이다. 이외에 요소같은 다른 대사분해산물도 사료와는 무관하게 보인다.

수중 환경으로 배설되는 질소대사물의 양을 추정하는 것은 매우 어려운 일로서 특히 집약적인 양식 환경하에서는 더욱 어려워진다. 대부분의 경골어류 양식에 있어 산소를 보충해주기 위해 새로운 물을 계속 유입시켜 주는데 이 과정에서 유해한 수준까지 암모니아가 축적되는 것이 방지된다. 아가미로 배설되는 질소대사물과 뇨를 통한 배설, 피부를 통한 질소 손실에 대해 많은 연구자들이 여러가지 방법과 장치들을 이용하였지만, 이 연구에서는 Cho와 Kaushik(1985)이 제시한 단백질의 소화율 측정과 비교도체 분석법에 의한 질소 축적량의 계산을 통한 질소배설량의 추정방법이 현실적인 의미에서 보다 정확한 추정치를 제공해 주는 것으로 판단되어 이용하였다.

내생성 질소 배설(ENE: endogenous nitrogen excretion)은 어류의 영양적 상태에 관계없이 체내 단백질의 분해와 순환율을 나타낸다. 생물적 요인과 환경적 요인이 모두 ENE 비율에 영향을 미치며, 지금까지 연구된 경골어류들에서는 100~200mgN/Kg/day 정도인 것으로 알려져 있다. 체중-대사율간의 상관관계도 ENE 추정에 쓰일 수 있으나, 가중지수의 범위가 너무 넓다. ENE의 측정방법은 ① 단기간의 절식 ② 무단백 또는 저단백 사료의

급여 또는 흡수 가능한 탄수화물의 경구투여에 의해 ③ 질소 섭취량에 대한 체내 질소 축적 또는 질소 배설에 대한 회귀선으로부터 간접적으로 구하는 방식 등을 들 수 있는데, 절식기간과 무단백 사료의 품질 등 모든 조건이 ENE 측정에 영향을 미친다. Brett와 Zala(1975)는 이러한 내생성 배설량을 22일간의 절식기간 후에 측정했던 반면, Fromm(1963)은 총 질소와 암모니아 질소의 배설량이 절식기간이 진행됨에 따라 감소되어 절식 6일 후에는 일정 상태에 도달한 것으로 보고하였다. 따라서 ENE의 측정에 있어 조건의 표준화 필요성이 점차 증가되고 있으며, 특히 수온과 어체 크기에 따른 표준의 설정이 시급하다고 생각된다.

수질오염 방지를 위한 부단한 노력은 연어.송어류의 양식이 발달한 덴마크의 경우 정부차원에서 입법과정을 통한 사료효율 증가로 배설물을 감소시키고 있고(Kossmann, 1989) 원료사료의 질을 향상시켜서 배설물을 감소시키고, 에너지와 영양소의 농도를 강화하고 영양소의 균형을 최적화 시켜서 수질오염을 감소시키는 노력들이 시도 되었다(Kiaerskou, 1991).

Watanabe 등(1987b)은 잉어 1톤 생산당 총질소 배설량은 일반 시판사료를 급여했을 때보다 22~36% 정도 감소시킨 저단백질 - 고에너지 사료를 개발했다.

따라서, 국내에서도 수질오염에 대한 여론이 제기됨에 따라 저오염 사료에 대한 관심이 고조되고 있으며 유출되는 질소배설물을 줄이기 위한 각계의 관심이 집중되고 있는 실정이다(원, 1993).

어류는 절식조건하에서는 환경조건이 일정할 경우 종에 따라 비교적 일정한 양의 내생성 질소를 배설하지만 사료를 급여하면 암모니아의 배설비율은 단백질의 섭취수준에 직접적으로 연관되어 본연구에서 사료내 질소 평균 함량이 6.98% 수준인 6개사의 사료를 먹인 이스라엘 잉어의 단위 중 중량(Kg)당 배설되는 총질소의 범위가 40.9g(E사료)에서 61.3g(B사료)으로 약 20g의 차이가 관찰된 것은 사료의 처방성분 조성에 따라 상당한 수준의 배설량의 감소시킬 수 있음을 입증하는 결과로서 앞에서의 보고와 일치되고 있다. 따라서 현재의 연구 동향은 양어사료내의 단백질:에너지 비율을

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

최적화시킴으로서 질소의 축적을 증가시키고, 질소의 허실을 감소시키는 것이다. 이외에도 사료내 단백질의 질이나 양과는 별도로 사료내 비단백질성 에너지를 증가시켜 줌으로서 암모니아 생성을 감소시킬 수 있으며, 뿐만아니라 사료 급여 횟수의 증가에 따른 사료효율의 극대화도 같은 목적으로 이용되고 있다(Lall, 1991; Enell, 1987; Cowey and Cho, 1991; Furuich and Yone, 1982).

인(phosphorus, P)은 생명현상 유지에 필수적인 원소로서 어류의 성장, 번식, 건강 등의 정상적인 생명활동을 위해 인이 필요하며, 기본적인 생물화학적 반응에 있어서도 중요한 역활을 한다(김 1993). 잉어에 있어 인의 부족으로 일어나는 임상적 증상은 어체의 수분 함량 감소로 지방의 축적이 증가하고, 간에 있어서도 당 형성 효소가 증가하며, 혈액의 인산염 감소로 머리와 척추의 기형을 유발한다(Ogino와 Takeda, 1976; Onishi 등, 1981; Takeuchi와 Nakazoe, 1981). 메기에 있어서 인의 부족은 헤마토크리트 함량을 감소시키며(Andrews 등, 1973), 참돔(Red sea bream)은 척추의 만곡과 곤봉화, 혈청 알카리성 인산염효소 활동의 증가, 근육, 간, 척추에 지방이 증가하고 간의 글리코겐 함량이 감소한다(Sakamoto and Yone, 1980). 비록, 어류나 수중생물이 수중으로부터 인을 흡수할 수 있지만, 담수나 해수에 용해되어 있는 인의 농도는 극히 낮아서 인의 공급은 사료의 형태로 이루어져야 한다(김, 1993).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

사료중의 인의 요구량은 어종에 따라 다르며, 무지개 송어, 대서양 연어, chum salmon, 잉어, 참돔(Red sea bream)의 경우 최적성장과 사료효율, 뼈의 무기질화를 위하여 0.5~0.8% 수준이라고 보고했다(Ketola, 1975; Ogino and Takeda, 1976, 1978; Lall and Bishop, 1977; Sakamoto and Yone, 1978; Watanabe *et al.*, 1980). 연어류는 해수순치시에도 인의 요구량은 변하지 않았으며(Lall and Bishop, 1977), 대서양산 연어의 인의 요구량은 담수(Ketola, 1975)나 해수(Lall and Bishop, 1977)에서 공히 0.6%였다. 메기의 인 요구량은 이용 가능한 인의 약 0.4%이고(Lovell, 1978; Wilson *et al.*, 1982), 뱀장어는 다른 어류보다 낮은 0.29%였다

(Nose and Arai, 1979). 따라서 어류의 인의 요구량은 사료내 1%이하의 수준이기 때문에 어분의 사용이 필수적인 어류사료의 경우, 실제적으로 유효인의 수준을 요구량 수준으로 유지하면서 총인의 함량을 요구량 수준에 가깝게 낮추어주는 것이 이상적이다. 본연구에서 조사된 국내 6개사의 사료성분중 인의 함량은 1993년 12월 부터 시행될 시판 양어사료의 인 성분 등록치 1.8%이하(농림수산부 고시 1993-44호)를 충족하는 1.16~1.69%의 수준이었지만, 수질환경보호와 실제 어류의 인 요구량에 비교하면 높은 수준이다. 곡류나 식물성 단백질 사료내 인의 함량은 각각 0.3~0.4%, 0.5~1.4% 수준이지만(NRC, 1983), 일반적으로 동물성 원료사료는 높은 수준의 인을 함유하고 있으며, 우리나라에서 많이 사용되는 어류의 배합사료의 원료 가운데 어분(1.5~3.5%)과 육골분(3.5~5.5%)이 가장 풍부한 인의 공급원이 되고있다. 따라서 국내 어분 제조 기술상 골분을 제거한 어분의 생산이 현실적으로 불가능한 실정이므로, 양어용 배합사료중 인의 성분 등록치를 사용중인 원료사료의 인 함량과 어종별 인 요구량을 동시에 감안하여 제한할 필요성이 있다. 어류양식에 있어 단백질 자원의 절약과 수질오염 방지측면에서 고지방(high energy), 저단백질(low protein), 저인 사료(low phosphorus feed)의 사용이 의무화 또는 권장되고 있고(Matty, 1990), 세계에서 가장 어류양식에 의한 오염방지 규제가 엄격한 덴마크에서는 오염물질인 총인 배출량을 줄이기 위해 송어사료의 규격을 92년부터 총인은 1.0%이하가 되도록 규정하고 있다(Kiaerskou, 1991). 한편, 환경처는 91년 8월부터 가두리는 반드시 EP(expanded pellet) 사료를 급이토록 의무화 하였으나 구체적인 제도 마련에는 미흡한 실정이다. 따라서, 각 어종별, 원료별 사료내 총인 함량 설정은 반드시 고려 되어져야할 사항이므로 국내의 여건에서는 인 요구량 수준에 일치하는 사료의 생산은 불가능하기 때문에 송어의 경우 1.5%이하, 잉어의 경우 1.0%이하(김, 1993)로 하여 어느정도 여분을 남겨두는 것이 현실적으로 타당할 것으로 생각한다.

사료내 인의 이용성은 사료의 화학적 형태, 소화율, 입자도, 영양소 간의 상호작용, 수화학(water chemistry), 위(stomach)의 존재 유무 등 많은

요인에 의해 영향을 받게된다(Lall, 1991). 지금까지 보고된 송어와 잉어의 여러 원료별 이용성은 Watanabe 등(1987a)의 잉어, 송어에 의한 원료사료 및 인산 공급제의 인 이용성(%)을 보면, monocalcium phosphate ($CaH(PO_4)_2.H_2O$, MCP)는 공히 94%였고, dicalcium phosphate($CaHPO_4.H_2O$, DCP)는 각각 46%와 71%였으며, tricalcium phosphate($Ca_3(PO_4)_2$, TCP)는 13%와 64%였다. 그리고, 백색어분(white fish meal)은 10~26%와 60~72%였고, 갈색어분(brown fish meal)은 각각 13%와 70~81%였다. 일반적으로 위가 존재하는 어종에 있어서 온수성 어종은 냉수성 어종에 비해 위산의 분비율이 낮아 용해도가 낮은 인의 경우 이용성이 떨어진다고 한다(NRC, 1983).

국내의 경우 내수면 양식어류 생산량의 70%이상이 잉어 생산에 치중하고 있으며, 사육은 저수지나 댐과 같은 장소에서 주로 행해지고 있다. 잉어는 위를 소유하지 않는 어종이기 때문에 송어와 같은 육식성 어류에 비해 인 공급제의 용해도가 낮은 경우 그 이용성이 제한된다. 따라서, 3인산칼슘(TCP)이나 2인산칼슘(DCP)보다는 용해도가 높은 1인산칼슘(MCP)의 이용성이 뛰어난 반면, 어분과 같은 동물성 단백질 공급원내에 함유되어 있는 인은 대부분 골격조직으로부터 유래한 불용성 인($CaCO_3 \cdot nCa_3(PO_4)_2$)의 형태로 존재하기 때문에 거의 전량 소화되지 않고 수중으로 배설되어 수질오염의 잠재적 인자가 된다(Ogino and Takeda, 1976).

한편, 식물성 단백질 공급원내에 함유된 인은 피틴태 인(phytate-p)으로서 또한 그 이용성이 제한되는데, 이 경우는 잡식성 및 육식성 어류 모두에 해당된다. 따라서, 내수면 어류양식에 의한 수질오염 문제를 취급할때 가장 우선적으로 다루어야할 부분은 양적으로 가장 많은 잉어 사료의 질적 개선이며, 그 다음이 송어 및 뱀장어 사료의 개선 순위라고 생각된다.

어류에 의해 배설되는 인의 형태는 수중환경의 부영양화와 조류의 성장에 직접적인 영향을 미친다. 일반적으로 인은 용존 및 입자상 인의 형태로 배설되는데, 유기태 P 및 PO_4^{3-}로 구성된 용존 인은 수질에 직접적인 영향을 미친다. 반면, 입자상 인은 수조의 밑바닥에 가라앉거나 가두리 양식

장의 경우 침전되어 축적된다. 용존 인은 식물의 성장을 위한 영양소로서 쉽게 이용될 수 있다. 한편, 양어장에서 배출되는 인의 7~64%는 입자상 인으로 바닥에 침전되는데, 혐기성 반응 또는 여러 생물학적 과정을 거쳐 점점 용존형태로 유리되게 된다(Enell, 1987).

어체내 인의 함량은 생체 단위당 0.4~0.5%로서 상대적으로 일정한 수준으로 존재하는 것으로 알려져 있으나(Lall, 1991), 어종 및 어체중에 따라 약간의 차이가 존재한다. 잉어의 인 요구량을 최초로 보고했던 Ogino와 Takeda(1976)의 결과를 보면(어체내 수분함량은 명시되어 있지 않으나 75%로 가정할 경우), 어체중 7.5, 10.1 및 11.4g의 잉어 체내 인 함량은 각각 0.33, 0.45 및 0.70g으로 큰 차이를 나타내고 있다. 한편, Watanabe 등(1987b)의 보고에서는 약 6g의 잉어는 0.56g(수분 79%), 20g의 잉어는 0.48~0.53g(수분 77~79%) 및 50g의 잉어는 0.49~0.55g(수분 77~78%)으로 상대적으로 일정한 수준을 보이고 있다. 그러나, 약 50g의 잉어에 있어 위의 결과와 본 실험에서 나타난 결과(0.32%, 수분 75~76%)와는 비슷한 수분 함량에도 불구하고 커다란 차이를 보이고 있다. 이러한 차이가 반복간의 샘플링 및 분석상의 차이인지, 사료의 질과 같은 영양학적 차이인지 구별하기는 어렵지만, 궁극적으로 어체내 인 함량의 분석자료에 의거하지 않고 사료요구율과 앞선 보고자의 인 함량에 의존한 인 부하량 산정법(Beveridge, 1987)은 큰 오차를 불러일으킬 소지가 있다고 생각된다.

어류에 의해 섭취된 인의 형태는 배설되는 용존 인 및 입자상 인의 양뿐만아니라 후속적으로 침전물로부터 생물학적으로 분해될 인의 양에 영향을 미칠 것이다. Persson(1988)은 사료내 전체인의 약 30%는 물속에 쉽게 용존될 것이라고 보고했으며, 유기화합물에 결합된 인은 사료와 분내 각각 55% 및 33%이었다고 한다. 사료나 분내 유기적으로 결합된 인의 분해는 여러환경 조건(수온, 산소, pH, 염도, 서식 미생물의 형태 등)에서 사용된 사료원료의 화학적 특성에 기인하여 상당한 변이를 보일 것이다. 물 속으로 배출된 사료와 분내 유기적으로 결합된 인의 양은 각각 80% 및 60%이였다(Persson, 1990).

육상수조식 양어장, 부화장 및 가두리 양어장으로부터의 인 부하량은 최대한 감소되어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 양어가, 사료생산자, 양어장 설계자 모두가 합심 노력해야할 것이다. 우선적으로 인의 함량이 낮은 원료사료를 선별적으로 사용해야하며, 사료내 전체 인의 함량이 높으면 높을수록 수중 부하량은 증가하기 때문에 인의 함량이 상대적으로 높은 어분의 수준을 가능한 감소시킨 사료를 개발해야 한다. 그리고, 허실사료 및 배설물의 최소화 등에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

그러나, 우리나라와 같이 어분을 수입에 의존하는 상황에서는 사료내 인의 함량을 최소화 한다는 것이 어려운 실정이다. 사료효율의 개선은 성장율의 증가와 인의 수중 부하량을 감소시키지만, 사료내 인의 함량을 줄이기 위해 어분의 수준을 낮추게 되면 잡식성 어류와는 달리, 육식성 어류의 경우 기호성에 있어 상당한 감소현상이 예상된다. 이러한 기호성 감소는 수질오염방지 측면에서는 바람직 하겠지만, 생산적인 측면에서는 심각한 경제적 손실을 유발하게 될 것이다. 하지만, 어느 정도의 생산량 감소가 일어날지라도 수질을 보호하는 어류양식의 유형으로 자리잡게 될 것이다.

어류 양식이 수질오염에 영향을 미치는 것은 물고기가 미처 이용하지 못하고 수중으로 유출되어 버리는 사료 잔여물과 물고기의 배설물에 함유되어 있는 질소와 인에 의한 것으로 이들 물질은 수역의 부영양화를 초래하게 되며, 이중 특히 인이 주요 규제 인자가 된다. 따라서, 학계 및 배합사료업계에서는 어류용 배합사료의 인 성분 등록치 설정에 관한 공청회를 개최하는 등의 지대한 관심이 집중되고 있다(원, 1993). 한편 수질오염 방지를 위해서 효소처리에 의한 인의 이용율 향상방법(Bouchez and Azzi, 1991)과 에너지 추가 급여에 의한 질소 및 인 함량의 감소(Watanabe *et al.*, 1987b) 등 다양한 방법들이 검토되고 있다.

인은 어류양식에 의한 수질오염원중 가장 중요한 인자(Auer *et al.*, 1986)이기 때문에 사료내 인의 이용성 증진으로 수중 인 배설량을 감소시키기 위한 노력이 계속되고 있다(Matty, 1990; Ketola *et al.*, 1991). 그러나, 사료내 인의 어류에 의한 이용성은 한계가 있을 것이기 때문에 사료

내 인의 수준을 가능한 한 요구량 만큼 줄이는 것이 오염의 감소를 위한 관건으로 대두된다(Kim and Ahn, 1993). 어류사료의 주된 동물성 단백질 공급원은 어분이기 때문에, 사료내 총인의 함량은 어분의 수준에 따라 크게 달라진다. 그러나, 어분에 존재하는 인은 대부분 수산화 인회석의 형태로서 어류체내 위의 존재유무에 따라 그 이용성이 크게 변한다(Ogino *et al.*, 1979; Yone and Toshima, 1979; NRC, 1983).

Wiesmann 등(1988)은 어분과 우모분을 이용하여 사료내 인 함량을 0.89%로 유지한 사료를 91g의 송어에 급여하여 50%의 높은 인 축적효율을 보고하였는데, 이러한 실험사료와 성장이 유사했던 시판사료 급여구의 인 축적효율은 26%에 불과하였다. 이러한 결과로부터 얻어진 송어 증중량(Kg) 당 인 부하량은 전자가 3.9g이었으며, 후자는 10.7g에 달하였다. Ketola 등(1991)은 저인사료와 오레곤 습사료(OMP)를 연어에 급여한 후 각각 42.5% 및 28.5%의 인 축적효율을 보고하였다. Hardy 등(1993)은 무지개 송어를 이용한 일련의 실험에서 46~65%의 인 축적효율을 보고하였다.

위를 지닌 연어류와 달리 위가 없는 잉어류의 경우 인의 이용성은 상당히 낮게 나타난다. 김(1991)은 도체분석이 아닌 배설한 분의 총량을 수거하여 시판사료의 인 이용성을 조사한 결과 잉어가 섭취한 사료내 인의 95% 이상이 배설되었다고 보고하였으며, 후속적으로 어체분석에 의거한 Kim과 Ahn(1993)의 연구에서도 일인산칼슘의 첨가율이 0%구와 2%구의 인 축적효율은 각각 0 및 37%였다고 보고하였다.

이들의 연구에서 증중량(Kg) 당 인 부하량은 각각 34.9 및 15.5g으로 사료내 이용가능한 인의 수준이 요구량을 충족할 경우 인 부하량이 절반으로 감소될 수 있었다고 보고하였다. 한편, 일본의 전체 잉어 생산량의 절반을 담당하는 Kasumigaura호의 질소 및 인 부하량을 감소시키기 위해 Watanabe 등(1987b)이 행한 일련의 연구에서는 본 실험의 어체중과 유사한 조건에서 증중량(Kg) 당 인 부하량은 18.3~26.9g으로 본 실험에서 얻어진 결과보다 평균적으로 두 배에 가까운 수치를 나타내고 있다. 이상의 결과들을 본 실험의 결과에 비추어 볼 때, 현행 시판사료가 그 동안 질적

으로 상당히 개선되었음을 직시할 수 있지만, 시판사료간에 나타나는 질소 및 인 부하량의 엄연한 차이는 제조 회사간의 사료의 질적개선을 위한 노력이 더 요구되는 결과로 볼수있다. 이러한 사실은 인의 축적율 최대화를 통하여 오염율을 최소화하기 위한 많은 연구를 요구하는 것이라 하겠다. 그러나, 배합사료내 인의 어체내 최대 축적효율이 어느 정도까지 달할 수 있는가에 관한 보고자료가 없기 때문에 질적개선으로 인한 오염율의 최소화가 과연 어느 수준까지 미칠 수 있는지는 미지수로 남아있다고 본다.

이 실험의 결과는 사료내 영양소 수준에 관계없이 성장율이 빠른 사료가 곧 오염율을 줄일 수 있는 사료임을 단적으로 지적하고 있다. 또한, 그동안의 상당한 질적개선에도 불구하고 인의 축적효율은 15~27%의 낮은수준으로 나타나 향후 이를 더욱 증진시킬 여지가 있으며, 따라서 잉어양식에 의한 인의 오염율을 크게 줄일수 있는 가능성을 기대할수 있다고 생각한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 질소 와 인의 정화

양어장에 의한 수질오염은 주로 사료나 대사배설물에 의한 질소, 인의 증가에 따른 수역의 부영양화이며(岡田와 須藤, 1984), 수질오염 방지를 위한 대책으로서는 크게 두가지로 나눌수 있다. 첫째, 어류의 성장을 정상적으로 유지하는 조건에서 저오염 사료의 개발에 의한 오염원의 부화량을 최소화 하는 방법(Bergheim *et al.*, 1991; Brown *et al.*, 1985; Kim and Kaushik, 1991; 김, 1991)이며, 둘째로는 배출수의 효율적인 정화처리 방법이다(Song *et al.*, 1992; Molloy and Syrett, 1988; Kumar and Garde, 1989; Debusk *et al.*, 1989).

우리나라 내수면 양어용 배합사료의 생산실적은 1985년 8,600톤에 불과했으나, 1990년 약 95,000톤에 달하는 괄목할만한 성장을 이룩하였지만, 이러한 내수면 어류양식의 양적증가에 편승하여 국내 댐, 호수 및 하천의 수질오염 문제는 날로 심각하게 대두되고 있다. 이중에서도 특히, 대부분의 잉어 사육이 행해지고 있는 국내 인공호수의 수질오염문제는 이제 가두리 양식장의 존폐 문제의 기로에 까지 이르게 되었으며, 아울러 송어나 뱀장어 양식에 의한 수질오염규제 또한 향후 더욱 심화될 전망이다(김, 1993).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

어류양식에 의한 단백질 생산을 위한 여러 선진국의 꾸준한 노력은 고에너지 저단백질 사료, 저인 사료 등의 개발과 함께 최근 5년 사이에 괄목할만한 성과를 이룩하였다. 수질보호에 따른 엄격한 규제조치에도 불구하고, 어류양식에 의한 생산량이 날로 증가하는 여러 선진국의 양어 동향과 오염율 감소대책을 우리나라의 현행 규제대책과 비교 고찰해 보면, 일본의 경우 어류양식 산업에서 나오는 배설물과 허실사료로부터 발생되는 환경수의 부영양화는 시각적인 오염현상 뿐만아니라 적조와 전염성 질병의 발생을 촉진하기 때문에, 환경오염을 방지하고 지속적인 수산업의 공존을 진척시키기 위해 다음과 같은 조치를 수행 또는 고려하고 있다. ① 해수어류 양

식에 있어 허실사료와 영양소의 수중 유실율을 줄이기 위해 생사료대신 습사료나 펠렛사료의 사용을 권장. ② 지속적인 양식에서 수질조건의 유지를 위해 단위면적당 가두리의 수 및 방양밀도의 엄격한 조절. ③ 여러형태의 영양소를 효율적으로 이용하고 생산성을 개선시키기 위한 차원에서 연체류, 갑각류, 잡식성 및 육식성 어류와 같은 생태학적 활동범위가 서로 다른 여러 어종을 이용한 복합양식 체제개발. ④ 이용가능한 수산지역의 확장을 위해 근해양식체제 개발. ⑤ 종묘의 방류사업을 장려하고, 방류전 소리나 사료에의 적응과 같은 새로운 방법을 개발하여 훗날 어획율의 증가를 도모하는 등, 제반연구를 대학, 국립 및 현 단위의 연구소, 사립연구기관 등에서 수행되고 있다. 1989년 방어 사육을 위한 저오염 사료(상품명: soft-dry pellet)가 동경수산대학 어류영양연구실의 협조하에 Sakamoto사에서 개발된 이래 넙치용 부상사료가 대양어업(주)에서 개발되어 해수어 양식의 새로운 장을 열어가고 있다.

프랑스의 경우 어류양식에 의한 수질환경보호를 위해 1987년 4월 17일 제정된 법령 No.87-279에는 양식장의 설치, 유출수의 질적 기준, 사육수조의 축조 및 유지 등 16가지 관련조항이 명시되어 있다. 이들 조항중 양식장으로부터 흘러나오는 유출수의 질적 기준에 따른 세부조항을 살펴보면: ① 양어장으로부터 흘러나오는 유출수 100m 이상의 수중 암모니아(NH_4^+) 농도와 생물학적 산소요구량(BOD_5)은 각각 1mg/ℓ, 5mg/ℓ 이하 이어야 한다. ② 연어류 양식장으로부터 흘러나오는 유출수내 암모니아(NH_4^+) 농도는 2.5mg/ℓ를 초과해서는 안된다. ③ 최저 수위 기간인 7월 14일부터 11월 1일 사이에는 유출수내 부유물질의 양이 30mg/ℓ 이하 이어야 한다. ④ 유출수의 용존 산소량은 5mg/ℓ 이상 이어야 한다. ⑤ 인산염 함량에 관한 수질기준은 식물 기생위치나 부영양화 위험에 따라 결정되어질 수 있다. ⑥ 50톤 이상의 생산규모 양식장에서는 연중 일주일에 한번씩 암모니아 농도를 측정해야 한다고 명시되어 있다. 이러한 까다로운 규정에도 불구하고 프랑스는 유럽의 제 1의 송어생산국으로 자리잡고 있으며, 어류양식 분야의 지속적인 발전이 계속되고 있다. Aqualim사에서는 최근 육성용 무지개

송어의 사료내 적정 단백질/에너지 비율을 설정하여 저오염 사료를 개발, 기존의 부상사료보다 약 절반 이상의 인(P)을 감소시킴과 동시에 단백질의 이용율도 개선시킬 수 있는 사료를 생산하고 있다.

이와 같은 저오염 사료의 개발은 성장기별 사료내 가소화 단백질/에너지의 적정비율 결정과 인의 함량이 낮은 원료사료의 선택적 사용에 그 초점을 두고 있다. 즉, 소화율 실험, 인의 이용성 연구를 통해 영양소의 이용율을 최대한 높이고 인의 요구량에 동등한 양만큼의 이용 가능한 인을 함유하는 사료를 생산하는 것이 주된 과제이다.

세계에서 가장 어류양식에 의한 오염방지 규제가 엄격하게 행해지는 곳은 덴마크이다. 연간 약 30,000톤의 어류를 생산하는 500여 개의 내수면 양어장은 주로 강의 작은 지류(small stream)에 위치하고 있어 이들 지류의 주된 오염원이 되고 있다. 1970년대 습사료(Moist pellet)가 침강사료(dry pellet)로 전환되면서 양어장의 자가오염이 줄고 방류되는 유출수의 질이 개선되어 내수면 어류 생산량 또한 1974년 12,500톤에서 24,000톤(1983), 29,000톤(1987), 34,000톤(1989)으로 증가 하였다. 따라서, 1985년 습사료의 사용이 법적으로 금지되고, 펠렛사료의 사용이 의무화되었다. 1987년 조사된 모든 양어장으로부터의 연간 전체 오염 부하량은 BOD_5가 5,000톤, 질소 2,200톤, 인이 400톤으로 집계됐다. 이러한 오염의 주된 원인은 양어장으로부터 흘러나오는 유출수의 처리시설이 없고, 급여되는 사료의 질과 이용성이 떨어지며, 양어가들의 과잉생산에 기인하는 것으로 밝혀졌다. 따라서, 덴마크 송어 양식협회(Danish Trout Farmers Association)는 자구책으로 정화조 설치, 1992년까지 사료계수 1.0으로 개선, 과잉생산 방지 등의 조항을 스스로 제정했다.

1987년 4월에 제정된 환경보호법에는 유출수의 기준, 정화조 설치의무, 사료효율 및 영양성분, 연간 최대 사료소비량 등의 조항들이 포함되어 있다.

양어가는 지역의회의 통제하에 의무적으로 양어장 수질검사를 해야하며, 운영일지를 기록하고 일년에 한 번씩 의회에 그 기록을 보고해야 한다. 이

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

러한 규정의 위반시 양어가는 벌금조치를 당하거나 구속되며, 심한 경우 일년이상의 징역형을 받는다. 이러한 법적규제와 함께 1987년의 오염 부하량은 향후 BOD_5에 있어 3,300톤으로 30~40%, 질소가 1,400톤으로 30~40% 및 인이 100~125톤으로 25~30% 감소될 것으로 예상하고 있다.

이러한 법적 규제에도 불구하고 덴마크의 양식어류 생산량이 계속 증가하는 것은 두 양어사료 전문회사(EWOS와 DANSK)의 꾸준한 연구개발에 기인한 것이다. 이들 연구팀의 주요 연구내용은 양어장의 오염 감소책으로 ① 분의 양을 최소화하기 위해 원료사료의 소화율을 최대화하며, ② 일일 사료 급여량을 최소화하기 위해 에너지와 영양소의 사료내 농도를 최대화하며, ③ 최대의 성장과 사료이용율을 이루기 위해 영양소의 균형을 유지하며, ④ 사료 섭취량을 최대화하고 허실사료를 최소화하기 위해 기호성을 촉진시키는데 그 주안점을 두고 있다.

이러한 저오염 사료의 개발은 질적으로 우수한 어분의 이용 가능 여부에 달려있다. 덴마크 어분회사 및 EWOS사는 자체적으로 우수한 질의 어분을 생산해내기 때문에 이러한 사료의 개발이 가능한 것으로 보인다.

노르웨이의 대표적 양식어류 생산은 연어류로서 최근 20년 동안 연평균 35% 신장세를 보이는 괄목할만한 성장을 이룩했다. 이 중 1977년 이래 주된 양식어종인 대서양 연어는 노르웨이 내·해수 전체 양식어류 생산량의 90~95%를 차지하고 있으며, 무지개 송어는 연간 5,000~9,000톤이 생산된다. 이러한 어류양식의 대부분은 가두리 양식으로 이루어지는데, 1990년 현재 약 785개소의 가두리 양어장이 있으며 총면적은 6,000,000 m^2로 양어장 단위당 평균 7,643m^3에 이른다(Bergheim 등, 1991).

노르웨이의 해수어 가두리 양식장의 환경 영향에 대한 평가는 지난 5년간에 이뤄졌다. 국가 오염통제국(State Pollution Control Authority)은 양어장으로부터의 오염 및 환경적 영향을 감소시키기 위해 사료 허실량 감소, 고품질의 사료사용, 비적지 양식장의 사용제한, 항생제 사용감소 등 약 20여개의 방안을 제안했다. 수질오염을 감소시키고 양식어류 생산량을 증가시키기 위해 ① 사료 및 사육체제의 확립, ② 분처리 시스템의 개발,

③ 근해 양식 체제 확립, ④ 다른 사육체제의 모색, ⑤ 사육지의 적당성 조사, ⑥ 질병 통제, ⑦ 법령에 의한 공중 규제방안 등이 산, 학, 연의 기관에서 공동으로 행해지고 있다.

노르웨이의 양어사료의 연도별 성분변화를 살펴보면 지방의 함량이 증가하면서, 단백질과 탄수화물은 점점 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 궁극적으로 수질오염 방지에 대처한 사료개발의 일면을 보여주는 것이다. 최근 Biomar사는 지방 30%의 고에너지 사료를 개발했는데, 결착제의 사용에 있어 비소화성이 아닌 가소화성 결착제를 사용하였다. 이러한 사료의 사용시 기존의 사료보다 질소와 인의 수중 부하량을 각각 35%, 20% 감소시킬 수 있었다고 보고하고 있다.

캐나다 온타리오 환경청은 일차적인 수질조절국으로서, 온타리오내 양식장 설치운영에 필요한 여러가지 규제조치를 수행하고 있다. 연방 및 주의 법조례에 따라 양식장의 수질기준이나 오염원의 배출기준이 엄격하게 통제되기 때문에 지속적인 어류양식을 위한 여러 측면의 연구가 행해지고 있다.

최근 Cho 등(1991)은 연어류 사육을 위한 고농축 사료(MNR-91H)의 개발로 기존의 사료(MNR-89G)보다 성장율이 뛰어나며 질소 및 인의 수중 부하율이 크게 감소될 수 있었다고 한다. 이상에서와 같이 선진 양어국의 최근 노력은 수질오염원의 부하량을 최대한 감소시키기 위하여 저단백-고에너지 사료, 저인 함유사료의 개발과 동시에 사료효율을 높일수 있는 방안을 모색하여 많은 진전을 보이고 있다. 그러나 사료의 주성분인 어분을 외국으로 부터 수입하고 있거나, 일부 국내생산 어분조차도 질적으로 떨어지는 우리의 실정에서 고가의 저오염 사료의 개발이용은 비교적 어려운 일이라고 생각되지만, 깨끗한 환경유지 차원에서 한가지씩 개선해 나가기 위한 정부와 양어가 모두의 분명한 의지와 대책이 필요한 시기라고 생각된다.

특히, 환경보전법 제 4조 및 제 7조, 해양오염방지법 제 44조 2항에 의하면 수질에 따른 등급만 나누었을 뿐 외국의 규제내용과 비교하면 너무 거리감을 느끼게 된다. 최근, 식수의 수질 문제에 대한 관심이 고조되면서

상수원의 정화문제를 효율적으로 실행하기 위해서는 공장폐수, 생활하수, 축산폐수 등 많은 오염원들에 대한 명확한 규명이 있어야 하며 또한 이들에 가해지는 규제의 내용도 너무 이론에 치우쳐 있는 실정이어서 보완이 필요하다고 생각된다.

須藤 등(1974)은 *Chlorella* sp., *Skeletonema costatum* 등의 조류배양시험은 질소, 인등의 영양물질의 분석보다 더 감도가 좋아서 종합적으로 수질을 판정하여 부영양화 현상 및 장래의 예측등을 정확히 평가할수 있다고 하였으며, 영양염류에 의한 오탁은 조류증식량(Algal growth potential)에 의해 평가 하는 것이 바람직하다고 제안 하였다. 佐野(1979)는 수중의 식물 플랑크톤이나 수초는 질소나 인등의 영양염류를 효과적으로 소비하여 암모니아등이 물에 축적하는 것을 막을수 있다고 지적 한바있다.

수질의 정화를 위한 연구에서 질소계 물질의 처리에는 여러가지 방법이 있으나 T-N을 제거한다는 점에서 생물학적 여과방법에서의 질산화·탈질산화(nitrification-dinitrification)방법이 널리쓰이고 있다.

또한, 용존 인의 제거를 위해서는 보통 황산알류미늄 또는 산화철과 같은 금속염을 주입하여 응집침전 시키는 방법이 많이 이용되지만(신, 1990) 이는 용존인의 제거후 발생할 수 있는 2차적인 문제(중금속독성등) 때문에 양식장의 배출수 정화에는 사용할 수가 없었다.

이 연구에서는 질소와 인의 제거와 동시에 양어장의 유실 에너지의 재활용 측면에서 향후 feed back system의 2차적 구상을 염두에 두고 미세조류와 세균을 이용한 수질정화를 시도하였다.

Molly와 Syrett(1988)는 microalgae가 축적하는 요소와 암모니아의 상호관계에서 *Chlorella* sp.는 접종농도 5×10^{6}cells/$m\ell$일때 4시간후 23.7%, 48시간후 22.9%, 접종농도 5×10^{8}cells/$m\ell$일때 24시간후 37.5%의 요소와 암모니아가 소비되었고, *Phaeodactylum tricornutum*을 이용하였을 때에는 접종농도 5×10^{6}cells/$m\ell$에서 4시간후 10.9%, 48시간후 23.9%, 접종농도 5×10^{8}cells/$m\ell$일 경우 24시간후 43.9% 소비되었다고 보고하였다. 이 실험에서는 *Chlorella vulgaris*와 *Spirulina platensis*를 이용한 결과, 접종

농도 5×10^6cells/$m\ell$에서 5일 경과후 36.7~37.7%의 질소 제거율을 보여 Molloy와 Syrett(1988)의 결과보다는 경과시간이 많이 소모되었고, 측정항목의 차이는 있지만 질소제거효율에서는 거의 비슷한 효과를 보았다. 본실험에서 *Chlorella vulgaris*와 PSB, *Spirulina platensis*를 혼합 사용하였을 때, 질소성분(NO_2-N, NO_3-N, NH_3-N) 제거율은 각각 1일 경과후 36.3, 48.8%, 2일 경과후 50.2, 61.0%, 3일 경과후 90.1, 92.3%, 4일 경과후 98.3, 98.6%, 5일 경과후 99.3, 99.1%로 접종 3일후에는 90%이상 제거되어 식물성 플랑크톤과 광합성 세균을 동시에 이용한다면 배출수의 질소성분제거는 어려운 문제가 아니라고 생각된다.

그러나, 이 연구에서 식물성 플랑크톤과 광합성 세균을 이용하였을 때 인산염 인의 제거율이 12.1%으로 미흡하였다. Song 등(1992)의 인 처리 미생물의 분리, 동정과 활성에 관한 연구에서 *Acinetobacter calcoaceticus* 5균주를 대상으로 인산염 제거실험을 한 결과는 혐기상태에서는 초기 인산염의 농도가 6.23~7.50mg/ℓ에서 24시간 경과후 8.48~10.46mg/ℓ로 120.5~153.6% 증가하였지만, 호기상태로 실험을 전환한 24시간 후에는 0.47~5.93mg/ℓ로 인산염의 농도가 낮아졌으며, 이는 12.9~92.5%(평균 62.1%)의 인산염 제거효과를 보았다고 보고하였다.

본실험에서는 *A. calcoaceticus*만을 이용하였을 때 인산염의 제거효과가 21.4%(2일후)를 나타내었고, 플랑크톤, 광합성 세균을 함께 사용하였을 때 26.8%(2일후), 29.4%(5일후)의 인산염 제거효과를 보아 Song 등(1992)의 결과와는 2배 이상의 차이를 보였다. 동 연구자의 연구결과에서도 인산염 제거효과가 12.9~92.5%로 실험구마다 많은 차이를 보이고 있는 것으로 보아, *A. calcoaceticus*를 이용한 인산염 제거 실험은 다각적인 연구가 필요하다고 생각된다.

또한, 본 실험에서 질소와 인의 정화에 사용한 식물성 플랑크톤, 광합성 세균, 미생물을 혼합 사용한 결과는 아직까지 수질정화차원에서의 인산염 인의 감소는 만족스럽지 못하다. 그러나, 실험에 사용된 배출수의 수질상태가 COD, 104.0~126.2ppm, NO_3-N, 8.09~12.50, NH_3-N, 8.41~10.70ppm,

PO_4-P, 13.27~15.93ppm으로 비교적 높은 수준이었음에도 불구하고 실험시작 3~5일후에는 인산염 인의 경우를 제외하고 88.0~99.0%의 제거효과로 수질이 매우 빨리 안정되어지고, 인산염 인의 경우도 29.4%의 감소효과로 긍정적인 결과를 얻었다.

그리고 Debust 등(1989)과 Kumar와 Garde(1989)의 hyacinth 를 이용한 수질정화와 같이 수초를 이용한 대규모 정화조의 설치, 또는 Yang 등(1990)의 질소와 인 제거를 위한 기존 폐수처리장 개선방안에 관한 연구에서 기존 폐수처리장을 변형시켜 유기물, 질소와 인을 제거하는데 높은 효율을 보였다고 보고한 바와같이, 양식장에서 배출하는 유출수의 정화단계를 거쳐 외부로 배출시킬 수 있는 효율적인 폐수처리장과 같은 공학적인 측면에서의 수질정화에 관한 연구도 활성화되어 여러분야에서 많은 연구들이 시행되어야 한다고 생각된다. 따라서, 양어장에서 배출되는 유출수의 정화를 위하여 저단백질-고에너지사료, 저인 함유사료의 개발 등과 사료효율을 높일 수 있는 방안, 배출수의 정화 방법개선 등 많은 문제점들을 보완시킬 수 있는 연구들이 앞으로의 과제라고 생각된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

V. 要　　約

양어장에서 배출되는 유출수의 수질을 파악하고, 이에 대한 대책의 일환으로서 순환여과식 사육장치에서의 이스라엘 잉어사육에 의한 질소와 인의 배출량과 이들의 정화에 관한 실험을 한 결과는 다음과 같다.

1. 배합사료의 영양소 등록치와 분석치 비교

시판사료의 성분등록치와 분석치를 비교하여 향후 성분등록의 설정방향을 제시하고, 사료내 필수 아미노산과 지방산이 NRC(1983)의 요구량을 충족하고 있는지를 조사하기 위하여 국내 상위권 6개사의 부상성 잉어사료를 수집하여 분석한 결과, 각 시판사료의 분석치는 각 제조사의 성분등록치를 만족하고 있었으나, 조섬유와 조회분의 경우 성분 등록치와 분석치는 현저한 차이를 보였고, 분석된 필수 아미노산은 6개사 모두 요구량을 충족하였다. 또, 필수지방산의 경우 모든 사료에서 oleic acid(18:1ω9)와 palmitic acid(16:0)가 풍부하게 나타났으며, 요구량 충족도 측면에서 볼때 6개사 제품중 5개사에서 18:2ω6 지방산이 부족하게 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 잉어의 질소와 인 배출량

저오염 사료를 개발하기 위한 시도로서, 국내 시판 잉어사료의 급여에 의한 성장도, 질소와 인의 수중 부하량을 조사하기 위하여 실시하였다. 부상성 잉어사료 6종류를 순환여과식 사육장치에서 일일 다섯번씩 평균 어체중 25g의 잉어에 4주간 급여한 결과, 시판사료의 증중량, 사료계수와 일일성장지수는 각각 19~28g, 0.9~1.2 및 2.1~2.9의 큰 차이를 나타내었으며, 단백질 이용효율은 사료내 단백질 수준에 관계없이 1.9~2.5의 수치를 나타냈고, 어체의 성분 조성은 시험시작시에 비해 일반적으로 수분과 회분

은 감소하고, 단백질과 지방은 증가하는 경향을 나타냈으나, 칼슘과 인의 함량은 상대적으로 일정하였다. 또한, 잉어의 증중량(Kg)당 배출된 질소 총량은 41~61g으로 약 20g의 큰 차이를 보였으며, 질소 축적효율은 30~38%에 달하였다. 그리고 증중량(Kg)당 인 부하량은 10~17g였으며, 인의 축적효율은 15~27%로 나타났다.

3. 질소와 인의 정화

담수양어장에서 배출되는 배출수를 식물성 플랑크톤과 광합성 세균 및 미생물(*Acinetobacter calcoaceticus*)을 이용한 수질정화에 대한 실험의 결과, 담수산 식물 플랑크톤만을 사용하였을 때에는 *Chlorella vulgaris*를 접종밀도 10×10^{6}cells/㎖로 접종하였을때 수질정화가 좋았으며, 광합성세균과 식물성 플랑크톤을 혼합하여 사용하였을 때에는 *Spirulina platensis*의 접종밀도를 10×10^{6}cells/㎖로하고, PSB의 첨가량과 첨가방법을 2.5×10^{7}cells/㎖로 매일 1회씩 첨가하였을 때에 수질정화의 효과는 가장 좋은 결과를 보였다. 그리고 *A. calcoaceticus*를 이용한 인산염의 수질 정화에서는 약 30%정도의 인산염 제거효과를 보았다.

이상한 결과는 어류양식의 지속적 발전을 위해 양어용 배합사료의 성분 등록치 설정기준을 위한 제도적 장치마련과 시판사료의 질적평가를 전담할 수 있는 공인기관의 필요성 및 어류사육에 의한 배출수내 인의 제거를 위해 새로운 미생물의 개발이 요구되고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅵ. 參考文獻

Andrews, J. W., J. W. Page and M. W. Murray. 1977. Supplementation of a semipurified casein diet for catfish with free amino acids and gelatin. *J. Nutr.* 107: 1153-1156.

Andrews, J. W., T. Murai and C. Campbell. 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. *J. Nutr.* 103: 766-771.

Akiyama, T., T. Murai, Y. Hirasawa and T. Nose. 1984. Supplementation of various meals to fish meal diet for chum salmon fry. *Aquaculture* 37: 217-222.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of official analytical chemists. Washington, D.C. pp. 240-278.

Aoe, H., K. Ikeda and T. Saito. 1974. Nutrition of protein in young carp II. Nutritive value of protein hydrolyzates. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 40(4): 375-379.

APHA. AWWA. WPCF. 1985. Standard method for the examination of water and wastewater, 16th ed., Washington, pp. 265-619.

Auer, M. T., M. S. Kiesser and R. P. Canale. 1986. Identification of critical nutrient levels through field verification of models for phosphorus and phytoplankton growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 379-388.

Bergheim, A., J. P. Aabel and E. A. Seymour. 1991. Past and present approaches to aquaculture waste managementt in Norwegian net pen culture operations. *In*: Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.). Proceedings of the first international on nutritional strategies and aquaculture waste. University of Guelph, Guelph, Ontario,

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Canada, 1990. pp. 117-136.

Bergot, F. and J. Breque. 1983. Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. *Aquaculture* 34: 203-211.

Beveridge, M. C. M. 1987. Cage aquaculture. Fishing News Books Ltd. Survey, England. pp. 352.

Bouchez, P. and N. Azzi. 1991. Biotechnology: Use of hydrolytic enzymes in processing of feedstuffs. *In*: cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.). Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Fish Nutrition Research Lab. Guelph University, Canada. pp. 180-222.

Bowen, S. H. 1987. Dietary protein requirements of fishes - a reassessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1995-2001.

Brett, J. R. and C. A. Zala. 1975. Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions. *J. Res. Bd. Can.*, 32: 2479-2486.

Brown, P. B., R. J. Strange and K. R. Robbins. 1985. Protein digestibility coefficents for yearling channel catfish fed high protein feed stuff. *Prog. Fish. Cul.* 47: 94-97.

Chiou, J. Y. and C. Ogino. 1975. Digestibility of starch in carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 41: 465-470.

Cho, C. Y. and S. J. Kaushik. 1985. Effects of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. *In*: Cowey, C. B. A. M. Mackie and J. G. Bell (eds.). Nutrition and feeding in fish. pp. 95-117. Academic Press. London.

Cho, C. Y., J. D. Hynes, K. R. Wood and H. K. Yoshida. 1991. Quantitation of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods: The development of high

제주대학교 중앙도서관

nutrient dense (HND) diet. *In*: Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.). Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Fish Nutrition Res. Lab. Guelph University. Canada. pp. 118-134.

조규송, 김범철, 안태석. 1990. 소양호 수중생태계의 인 순환에 관한 연구. 한국학술진흥공단 113 pp.

Chu, K. S., I. K. Han, T. H. Won and B. C. Park. 1991. Studies on the nutrient availabilities of feed ingredients in Israeli carp (*Cyprinus carpio*). *AJAS*. 4(3): 263-270.

Cowey, C. B. and C. Y. Cho. 1991. Nutritional strategies and aquaculture waste. Proc. 1st. Int. Symp. on nutritional strategies in management of aquaculture waste. Fish Nutrition Lab., Guelph, Ontario, Canada, pp.275.

Cowey, C. B. and P. Luquet. 1983. Physiological basis of protein requirements of fishes. *In*: Arnal, M., R. Pion and D. Bonin (eds.). Critical analysis of allowances. pp. 365-384. INRA press, Paris.

Dabrowski, K. and H. Dabrowska. 1981. Digestion of protein by rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) and absorption of amino acids within the alimentary tract. *Comp. Biochem. Physiol*. 69A: 99-113.

Davis, A. T. and R. R. Stickney. 1978. Growth responses of *Tilapia aurea* to dietary protein quality and quantity. *Trans. Am. Fish. Soc*. 107(3): 479-483.

Debusk, T. A., K. R. Reddy, T. D. Hayes and B. R. Schwegler, Jr. 1989. Performance of a pilot-scale water hyacinth-based secondary treatment system. *Journal WPCT*. 61(7): 1217-1224.

Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple tests. Biometrics 11: 1-42.

Enell, M. 1987. Environmental impact of cage fish farming. *Res. Inst.*

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Freshw. Res. 63: 106-116.

Eskelinen, P. 1984. Phosphorus budget of rainbow trout (in Finfish). *National Board of Water.* Duplicated Series 241: 33-42.

Folch, J., M. Lees and G. A. S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226: 497-509.

Fromm, P. O. 1963. Studies on renal and extra-renal excretion in a freshwater teleost, *Salmo gairdneri. Comp. Biochem. Physiol.* 10: 121-128.

Furuichi, M. and Y. Yone. 1982. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 48(7): 945-948.

Garling, D. L. Jr. and R. P. Wilson. 1977. Effect of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish. *Prog. Fish Cult.* 39: 43-47.

Halver, J. E. 1957. Nutrition of salmonoid fishes. Ⅳ. An amino acid test diet for chinook salmon. *J. Nutr.* 62(2): 245-252.

Hardy, R. W., W. T. Fairgrieve and T. M. Scott. 1993. Periodic feeding of low-phosphorus diet and phosphorus retention in rainbow trout. *In*: Kaushik, S. J. and P. Luquet (eds.). Fish Nutrition in Practice. pp. 403-412. INRA Press, Paris.

Hossain, M. A. and K. Jauncey. 1989. Studies on the protein, energy and amino acid digestibility of fish meal, mustard oilcake, linseed and sesame meal for common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture* 83: 59-72.

Johnsen, F., M. Hillestad, and E. Austreng. 1993. High energy diets for Atlantic salmon. Effects on pollution. *In*: Kaushik, S. J. & P. Luquet (eds.). Fish Nutrition in Practice. pp. 391-401. INRA

Press. Paris.

Kaushik, S. J. and C. B. Cowey. 1991. Dietary factors affecting nitrogern excretion by fish. *In*: Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.). Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Guelph Ontario. pp. 289-384.

Ketola, H. G. 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus. *Trans. Am. Fish. Soc.* 104: 548-551.

Ketola, H. G., H. Westers, W. Houghton and C. Pecor. 1991. Effect of diet on growth and survival of Coho salmon and on phosphorus discharges from a fish hatchery. *Amer. Fish. Soc. Symp.* 10: 402-409.

Kheyyali, D., S. Shimeno and M. Taakeda. 1990. Effect of dietary carbohydrate and lipid levels on hepatopancreatic enzymes and body composition in carp. *In*: Takeda, M. and T. Watanabe. The current status of fish nutrition in aquaculture. The proceedings of the 3rd Int. Symp. On Feeding and Nutrition in Fish. Aug. 28-sep. 1, 1989. Toba, Japan. pp. 232.

Kiaerskou, J. 1991. Production and economics of "Low Pollution Diets" for the aquaculture industry. *In*: Cowey, C. B. and C. Y. Cho. Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Fish Nutrition Research Lab. Guelph University. Canada. pp. 240-274.

Kim, I. B., S. H. Lee and D. J. Kang. 1984. On the effeciency of soybean meal as a protein source substitued in fish feed for common carp. *Bull. Korean Fish. Soc.* 17(1): 55-60.

김정대. 1991. 수종의 시판용 잉어사료의 급여에 따른 총 고형물, 단백질 및 인의 수중 부하량에 관한 연구. 한영사보 15: 154-162.

김정대. 1993. 수질오염에 대처하는 내수면 양어사료의 질적 개선방안. 93 사료가공 단기과정 세미나 교재. pp. 398-409. 한국영양사료학회.

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

김정대. 1993. 어류 영양학. 도서출판 상록:pp. 327.

Kim, J. D. and K. H. Ahn. 1993. Effects of MCP supplementation on phosphorus discharge and growth of carp grower. *AJAS* (in press).

Kim, J. D. and S. J. Kaushik. 1991. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout (*Oncorhyncus mykiss*). *Aquaculture* 106: 161-170.

Kirchgessner, M. and F. J. Schwarz. 1986. Mineral content (major and trace elements) of carp (*Cyprinus carpio* L.) fed with different protein and energy supplies. *Aquaculture* 54: 3-9.

Kitamakado, M., T. Morishita, and S. Tachino. 1964. Digestibility of dietary protein in rainbow trout.11. Effect of starch and oil contents in diets, and size of fish. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 30(1):50-54.

Kossmann, H. 1989. Present status and problems of aquaculture in the Nordic countries with special reference to fish feed. Proc. Third Int. Symp. On Feeding and Nutritiuon in Fish. Toba Aug. 28-Sep. 1. pp. 173-291.

Kumar, P. and R. J. Garde. 1989. Potentials of water hyacinth for sewage treatment. *Journal WPCP.* 61(11): 1702-1706.

Lall, S. P. 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. *In*: Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.). Nutritional startegies and Aquaculture Waste. pp. 21-36. Fish Nutrition Research Lab., Ontario, Canada.

Lall, S. P. and F. J. Bishop. 1977. Studies on mineral and protein utilization by Atlantic salmon grown in sea water. *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 688: 1-16.

Law, A. T. 1986. Digestibility of low-cost ingredients in pelleted

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

feed by grass carp (*Ctenopharyngodon idella* C. et V.). *Aquaculture* 51: 97-103.

Lee, S. M. 1989. The effect of soybean meal as a partial replacement for fish meal in diet for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). Department of Fisheries Biology, Graduate School., National Fisheries University of Pusan. Ph. Dr. Thesis. pp. 197-290.

Likimani, T. A. and R. P. Wilson. 1982. Effect of diet on lipogenic enzyme activities in channel catfish hepatic and adipose tissue. *J. Nutr.* 112:112.

Lim, C. and W. Dominy. 1990. Evaluation of soybean meal as a replacement for marine animal protein in diets for shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture* 87: 53-63.

Lovell, R. T. 1977. Digestibility of nutrients in feedstuffs for catfish. *In*: Stickney, R. R., and R. T. Lovell (eds.). Nutrition and Feeding of channel catfish. *Southern Cooperative Series Bulletin.* 218: 33-37.

Lovell, R. T. 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107: 617-621.

Matty, A. J. 1990. Feeds in the fight against pollution. *FFI.* 1: 16-17.

Molloy, C. J. and P. J. Syrett. 1988. Interrelationships between uptake of urea and uptake of ammonium by microalgae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 118: 85-95

Morrison, W. R. and L. M. Smith. 1964. Preparation of fatty acid methylesters and dimethylacetals from lipid with boron fluoride-methanol. *J. Lipid Res.* 5: 600-608.

Murai, T., H. Ogata, T. Takeuchi, T. Watanabe and T. Nose. 1984. Composition of free amino acid in excretion of carp fed amino

acid diets and casein-gelatin diets. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 50(11): 1957-1967.

Murai, T., T. Akiyama and T. Takeuchi. 1985. Effect of dietary protein and lipid levels on performance and carcrass composition of fingerling carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 51(4): 605-608.

Nagai, M. and S. Ikeda. 1971. Carbohydrate metabolism in fish. I. Effects of starvation and dietary composition on the blood glucose level and the hepatopancreatic glycogen and lipid contents in carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 37: 395-401.

Nose, T. 1979. Summary report on the requirements of essential amino acids for carp. *In*: Halver, J.E. and K. Tiews (eds.). Finfish nutrition and Fishfeed Technology I. pp. 145-156. Heeneman, Berlin.

Nose, T. and S. Arai. 1979. Recent advances on studies on mineral nutrition of fish in Japan. *In*: Pillay, T. V. R. Pillay and W. A. Dill (eds.). Advances in Aquaculture. pp. 584-590. Fishing News, Farm, England.

Nose, T., S. Arai, D.L. Lee and Y. Hashimoto. 1974. A note on amino acids essential for growth of young carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 40: 903-911.

NRC. 1981. Nutrient requirements of coldwater fishes. National Academy Press. Washington, D. C., pp.138

NRC. 1983. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes. *National Academy of Science*, Washington, D. C., pp.102.

Ogino, C. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46: 171-174.

Ogino, C. and H. Takeda. 1976. Mineral requirements in fish. III. calcium and phosphorus requirements of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci.*

Fish. 42: 793-799.

Ogino, C. and H. Takeda. 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 44: 1019-1022.

Ogino, C., L. Takeuchi, H. Takeda and T. Watanabe. 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 45: 1538-1553.

岡田 光正. 須藤 隆一, 1984. 藻類増殖 と リン. 用水廢水ハンドブツク(4) 日産業用水調査會 pp. 145-160

Onishi, T., M. Suzuki and M. Takeuchi. 1981. Change in carp hepatopancreatic enzyme activities with dietary phosphorus levels. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 47: 353-357.

Peuquin, L. and A. Serfaty. 1963. L'excretion ammoniacale chez un Te'le'oste'en dulcicole *Cyprinus carpio* L. Comp. *Biochem. Physiol.*, 10: 315-324.

Persson, G. 1988. Relationships between feed, productivity and pollution in the farming of large rainbow trout. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm: pp. 48.

Persson, G. 1990. Eutrophication resulting from salmonid fish culture in fresh and salt waters: Scandinavian experiences. *In*: Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds.). Proceedings of the First International Symposium on Feeding Fish in Our Water: Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. June 5-8th 1990, Guelph, Ontario, Canada.

Phillips, A. M., Jr., A. V. Tunison, and D. R. Brockway. 1948. Utilization of carbohydrates by trout. *Fish. Res. Bull.* No. 11. *New York.* pp. 44.

Pieper, A. and E. Pfeffer. 1979. Carbohydrate as possible sources of

dietary energy for rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) *In*: Halver, J. E. and K. Tiews (eds.). Finfish Nutrition and Fishfeed Technology. Heenmann Verlagsgesel. Berlin. pp. 252-289.

Pongmaneerat, J. and T. Watanabe. 1991. Nutritive value of protein of feed ingredients for carp. *Nipp. Suis. Gakk.* 57: 503-510.

Robinson, E. H., J. K. Muller and V. M. Vergara. 1985. Evaluation of dry extrusion-cooked protein mixes as replacements for soybean meal and fish meal in catfish diets. *Prog. Fish Cult.* 47(2): 102-109.

佐野 和生. 1979. 水産養殖と水. 水産科學 シリ-ス, Scientist INC. pp. 18-153.

Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978. Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 44: 227-229.

Sakamoto, S. and Y. Yone. 1980. A principal source of deposited lipid in phosphorus deficient red sea bream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 46: 1227-1230.

Shiau, S. Y., J. L. Chuang and C. L. Sun. 1987. Inclusion of soybean meal in tilapia diets at two protein levels. *Aquaculture* 65: 251-261.

Shiau, S. Y., S. F. Lin, S. L. Yu, A. L. Lin and C. C. Kwok. 1990. Defatted and full-fat soybean meal as partial replacements for fishmeal in tilapia diets at low protein level. *Aquaculture* 86: 401-407.

Shimeno, S., Hosokawa and M. Takeda. 1979. The importance of carbohydrate in the diet of carnivorous fish. *In*: J. E. Halver and K. Tiews (eds.). Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. I. Heenemann Verlagsgesel. Berlin. pp.249-312.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

신정래. 1990. 수처리 약품. 동화기술. pp.196.

Singh, C. S., and T. Nose. 1967. Digestibility of carbohydrates in young rainbow trout. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.* 17(1):21-25.

Smith, R. R. 1977. Recent research involving full-fat soybean meal in salmonid diets. Presented at the 1977 USTFA Convention, Keystone, Colorado. pp.5.

Song, J. S., J. A. Lee, M. Y. Song, M. H. Kwon and I. S. Lee. 1992. A study on the isolation, identification and activities of phosphorus removal microorganisms. *J. KSWPRC May*: 76-83.

Spannhof, L., and H. Kuhne. 1977. Untersuchungen zur Verwertung verschiedener Futtermischungen durch europaische Aale (*Anguilla anguilla*). *Arch. Teirernahr.* 27:517-531.

須藤 岡一 · 森 忠洋 · 岡田 光正, 1974, 藻類培養試驗による 富營養化の評價用水廢水ハンドブツク(2). pp. 91-100. 産業用水調査會.

Tacon, A. G. J., J. V. Haaster, P. B. Featherstone, K. Kerr and A. F. Fackson. 1983. Studies on the utilization of full-fat soybean and extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 49(9): 1437-1443.

Takeuchi, M. and J. Nakazoe. 1981. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 47: 347-352.

Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino. 1979a. Availability of carbohydrate and lipid as dietary energy sources for carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 45(8): 977-982.

Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino. 1979b. Optimum ratio of dietary energy to protein for rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 45: 983-987.

제주대학교 중앙도서관

Tanaka, Y., S. Hokazono, T. Katayama, K. L. Simpson and C. O. Chichester. 1977. Metabolism of amino acids in aquatic animals. I. The effects of the addition of phosphate salts, indigestible materials and algae to the diets of carp and the relationship of intestinal retention time to their growth rate. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* 26: 39-47.

Velleret, S. 1977. Eutrophication of aquatic environments and pollution. *Tech. Sci. Munic.* 8: 359-364.

Viola, S., S. Mokady and T. Arieli. 1983. Effects of soybean processing method on the growth of carp. *Aquaculture* 32: 27-38.

Wagner, J. 1979. Das aktuelle interview. *Umschau* 79: 123-126.

Walker, K. F. and T. J. Hillmann. 1982. Phosphorus and nitrogen loads in waters associated with the river Murray near Albury-Wodonga, and their effects on phytoplankton populations. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 23: 223-243.

Watanabe, T., A. Murakami, L. Takeuchi, T. Nose and C. Ogino. 1980. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 46: 361-367.

Watanabe, T., T. Takeuchi, S. Satoh, T. Ida and M. Yaguchi. 1987a. Development of low protein-high energy diets for practicial carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretion. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 53(8): 1413.

Watanabe, T., T. Takeuchi, S. Satoh, K. W. Wang, T. Ida, M. Yaguchi, M. Nakada, T. Amano, S. Yoshijima and H. Aoe. 1987b. Development of practical carp diets for reduction of total nitrogen loading on water environment. *Nipp. Suis. Gakk.* 53: 2217-2225.

Wiesmann, D., H. Scheid and E. Pfeffer. 1988. Water pollution with phosphorus of dietary origin by intensively fed rainbow trout

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 69: 263-270.

Wilson, R. P., E. H. Robinson and W. E. Poe. 1981. Apparent and true availability of amino acids in feed ingredients for channel catfish. *J. Nutr.* 111: 923-930.

Wilson, R. P., E. H. Robinson, D. M. Gatlin and W. E. Poe. 1982. Dietary phosphorus requirements of channel catfish. *J. Nutr.* 112: 1197-1202.

원주지방환경청. 1990. 내수면 양식장으로 인한 수질오염 방지대책 연구. 원주지방환경청 연구보고서 pp. 327.

원태희. 1993. 에너지 단백질 수준과 가공방법이 이스라엘 잉어의 성장과 체조성 및 대사에 미치는 영향, 서울대학교 박사학위논문, 서울. pp. 165.

원태희, 한인규. 1990. 원료 어분의 종류와 건조방법이 이스라엘 잉어의 성장능력, 체조성 및 영양소 이용율에 미치는 영향. 한영사보. 14(3): 95-103.

Yang, B. S., N. B. Park and J. K. Lee. 1990. A study on upgrading of existing wastewater treatment plants for nitrogen and phosphorus removal. *J. KSWPRC June*: 50-60.

養殖 デ-タブツク. 1991. **緑書房**, pp. 347.

Yone, Y. and N. Toshima. 1979. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 45: 753-756.

Yu, T. C., and R. O. Sinnhuber. 1981. Use of beef tallow as an energy source in coho salmon rations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 367-374.

Yu, T. C., R. O. Sinnhuber and G. B. Putnam. 1977. Use of swine fat as an energy source in trout rations. *Prog. Fish. Cult.* 39: 95-101.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅶ. 謝　　辭

학위논문이 완성되기까지 끊임없는 조언과 지도 편달해 주시고, 한없는 사랑으로 희망과 용기를 주신 지도교수 노섬 교수님께 진심으로 감사드리며, 바쁘신 중에도 본논문에 대해 자상하고도 날카로운 심사와 각별한 격려를 아끼지 않으신 변충규 교수님, 이정재 교수님, 정상철 교수님과 강원대학교 축산대학 축산학과 김정대 교수님께 고마움의 인사를 드립니다. 또한 학위기간중 충고와 지도를 아끼지 않으신 백문하 교수님, 이기완 교수님, 송춘복 교수님, 동우전문대학 수산개발과 김현준 박사님께도 깊은 감사를 드립니다.

어려운 여건하에서도 대학원에 수강할 수 있도록 배려해주시고 격려해 주신 동우전문대학 명예학장이신 전재욱 박사님, 김상호 학장님, 이원재 부학장님, 손명철 교무과장님과 어려운 일에 항시 도와주시고 해결책을 강구해 주신 유아교육과 조태성 교수님의 은혜는 이루다 감사 드릴 길이 없읍니다.

1차 실험을 할 수 있는 여건마련과 이낌없는 지원을 해주신 주문진 종묘배양장의 백국기 장장님과 황영태 실장님, 홍관의, 이채성, 연구사님과 전 직원에 감사드리며 실험재료를 아낌없이 희사해주신 해왕수산 원태성 사장님, 대하수산 민병서 박사님께 감사드리며 2차 실험에 물심양면으로 지원해준 강릉대학교 수산자원개발학과 박기영 교수님께도 감사의 마음을 드립니다.

3차 본실험기간동안 본인의 실험처럼 열성적으로 도와주신 강원대학교 축산대학 축산학과의 이 임섭군과 어려운 대학원 과정을 웃음으로 함께한 동료 최유길 교수님, 자료정리에 힘써준 전자계산과 유수현 교수님, 간호과 김명숙 교수님, 학문적 자문에 기꺼이 응해주셨든 식품영양과 오현근 교수님, 원고의 정리와 탈고에 이르기까지 정성을 다하여 도와준 박사과정 대학원생 박무억 후배, 어류양식실험실 학생들과 일일이 언급할 수 없는

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

많은 분들께 한없는 고마움을 표합니다.

끝으로, 오늘이 있기까지 어려운 여건 속에서도 저의 뜻을 꺾지않으신 고향의 아버님 우귀도, 어머님 신두생과 동생들, 온갖사랑으로 뒤를 보살펴주신 장모님, 험난한 환경속에서도 온갖 희생과 사랑으로 여유를 가질 수 있도록 아낌없이 밀어준 처 제민경씨와 항상 밝고 건강하게 자라고 있는 효정이와 수정이에게 이 작은 결실을 바치면서 학문에 매진할 것을 다짐해 봅니다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

EXPLATNATION OF PLATES

PLATE Ⅰ.

Fig. 1. View of culture facility

Fig. 2. View of filter system

Fig. 3. Filter material－sunlight

Fig. 4. Filter material－Oyster shell

Fig. 5. Water collection facility

Fig. 6. Pump facility

PLATE Ⅱ.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 1. Rearing chamber

Fig. 2. View of hand feeding

Fig. 3. Experimental fishes

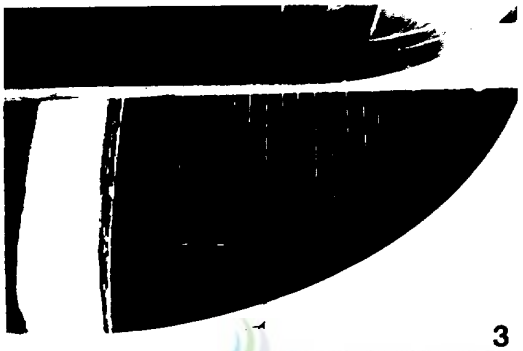
Fig. 4. Fecal collection appartus

Fig. 5. Enlarged picture of fecal collection appartus

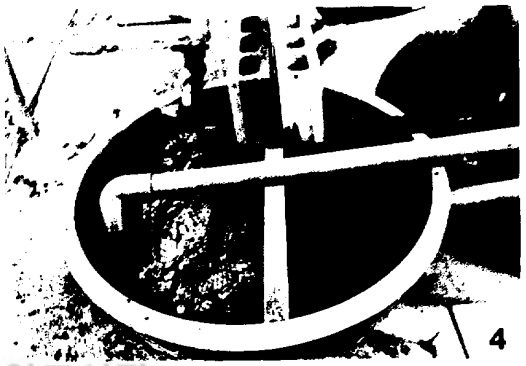
Fig. 6. View of drainage facility

PLATE I

2



3



4

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

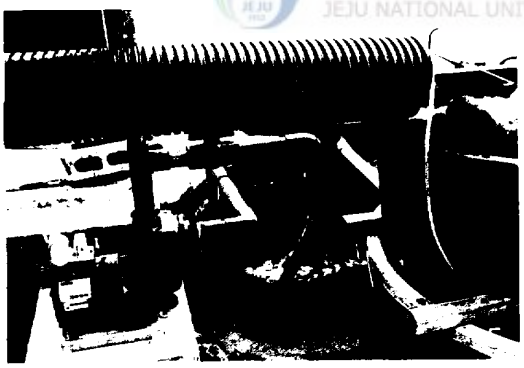
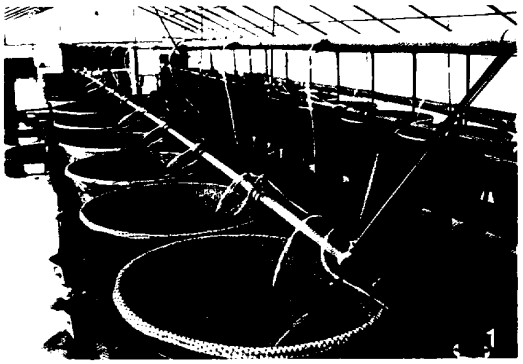
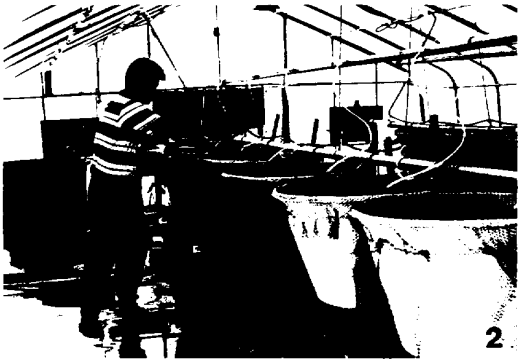
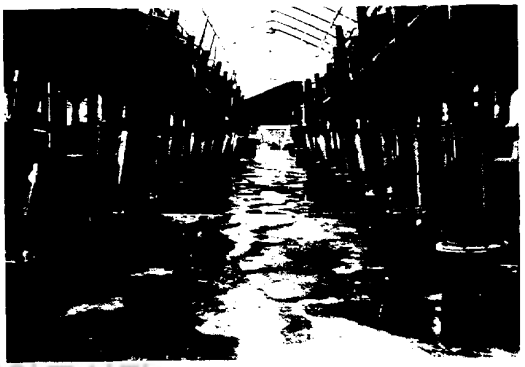


PLATE II


1


2



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

5