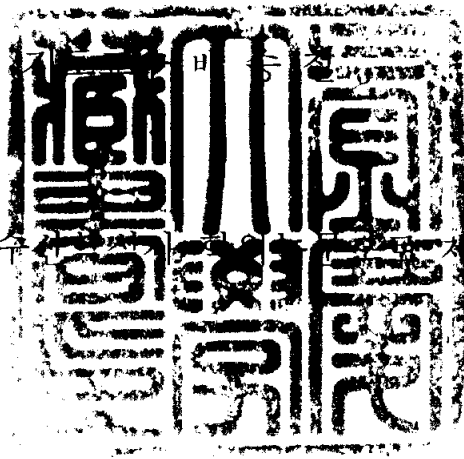


수산학석사 학위논문

치어기 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의
사료내 적정 인함량 및 칼슘과 인 비율
검증

이 논문을 수리하여 제출함



2004년 2월

부경대학교 대학원

수 산 생 물 학 과

김 준 형

김준형의 수산학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월 일

주 심 이 학 박 사 조 재 윤



주 심 이 학 박 사 손 철 현



위 원 영양학박사 배 승 철



목 차

Abstract	i
제 1 장 서 론	1
제 2 장 재료 및 방법	4
실험 I. 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정인함량의 재평가 및 무기태인 종류별 이용성 평가	4
1. 실험어 및 사육관리	4
2. 실험사료 및 실험설계	4
3. 어체측정 및 성분분석	8
4. 통계처리	8
실험 II. 치어기 넙치에 있어서 사료내 칼슘과 인의 적정비율 설정	9
1. 실험어 및 사육관리	9
2. 실험사료 및 실험설계	9
3. 어체측정 및 성분분석	12
4. 통계처리	12
제 3 장 결 과	13
실험 I. 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정인함량의 재평가 및 무기태인 종류별 이용성 평가	13
실험 II. 치어기 넙치에 있어서 사료내 칼슘과 인의 적정비율 설정	21
제 4 장 논 의	26
제 5 장 요 약	31
제 6 장 감사의 글	33
제 7 장 참고문헌	34

Optimum dietary phosphorus level and Ca-P ratio in juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*)

Jun-Hyung Kim

*Department of Fisheries Biology, Graduate School,
Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea*

ABSTRACT

The present study was conducted to the optimum dietary phosphorus control in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. In the first experiment was conducted to reevaluation of phosphorus requirement and bioavailability of various inorganic phosphorus sources in juvenile olive flounder. Broken line model analyses indicated that the dietary phosphorous requirement could be 0.43 ~ 0.45 % in olive flounder. Phosphorus digestibility of fish fed $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ was significantly higher than those of fish fed the other sources ($P < 0.05$). This results indicated that $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ could be good phosphorus sources in juvenile olive flounder. In the second experiment was conducted to the effect of

different combinations of dietary calcium and phosphorus on the growth of juvenile olive flounder. Weight gain(WG, %), Feed efficiency(FE), Specific growth rate (SGR) and Protein efficiency ratio (PER) of fish fed D3 was significantly higher than those of fish fed D1, D2, D4 and D5 ($P>0.05$) and fish fed D7 was significantly lower than other treatments. This results indicated that suitable dietary supplementation of Ca 0.6% could be good for growth in juvenile olive flounder.

Experiment I : reevaluation of phosphorus requirement and bioavailability of various inorganic phosphorus sources in juvenile olive flounder

A six-week feeding trial was conducted to determine reevaluation of phosphorus requirement and bioavailability of various inorganic phosphorus sources (IPS) in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Eight isocaloric, isonitrogenous and isocalcium experimental diets were prepared basal diet (BD) contains 0.33 % total phosphorus (TP) and 0.60 % total calcium three diets were formulated to contain 0.45, 0.57 and 1.14% TP by the graded levels of $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{NaP}_{0.45}$, $\text{NaP}_{0.57}$ and $\text{NaP}_{1.14}$) and four diets were formulated to contain 0.57% TP with K_2HPO_4 (KP), $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (CaP), $\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (CaHP) and flounder bone meal (FBP), respectively. Fish averaging $4.02 \pm 0.03\text{g}$ (Mean $\pm$ SD) were distributed randomly to each aquarium as a group of 20 fish, and were fed one of eight experimental diets in triplicate groups.

WG, SGR, PER and FER of fish fed $\text{NaP}_{0.57}$ diet were significantly higher than those of fish fed BD, $\text{NaP}_{1.14}$, KP, CaHP and FBP diets ($P < 0.05$). However, there was no significant difference in WG, SGR, PER and FER among fish fed $\text{NaP}_{0.57}$, $\text{NaP}_{0.45}$ and CaP diets. Whole body phosphorus retention (WBP_{ret}) of fish fed $\text{NaP}_{0.57}$ diet was significantly higher than those of fish fed BD, $\text{NaP}_{1.14}$, KP, CaHP and FBP diets ($P < 0.05$). However, there was no significant difference in WBP_{ret} among fish fed $\text{NaP}_{0.57}$, $\text{NaP}_{0.45}$ and CaP diets. Phosphorus (P) digestibility of fish fed $\text{NaP}_{0.45}$, $\text{NaP}_{0.57}$, $\text{NaP}_{1.14}$ and CaP diets were significantly higher than those of fish fed the other diets

($P < 0.05$). This results indicated that $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ could be good phosphorus sources in juvenile olive flounder. Broken line analysis of WG indicated that the dietary P requirement could be $0.46 \pm 0.04\%$ for flounder.

Experiment II : The effect of different combinations of dietary calcium and phosphorus on the growth of juvenile olive flounder

An six weeks feeding trial was conducted to study the Ca-P ratio in olive flounder *Paralythys olivaceus*. Seven diets were formulated to contain 0.26% (D1), 0.42% (D2), 0.6% (D3), 0.78% (D4), 0.9% (D5), 1.2% (D6) and 1.8% (D7) Calcium and 0.6% Phosphorus.

NaH₂PO₄ were used as the dietary phosphorous sources, CaCl₂ were used as the dietary calcium sources, and Casein and flounder mulcle were used as the dietary protein sources in this study.

Prior to the start of the feeding trial, fish were fed the commercial diet for 1 weeks to adjust to the experimental conditions. The feeding trial was conducted in a flow-through system with 60L aquaria. Flow rate was 1.2L/min. Supplemental aeration was provided to maintain dissolved oxygen near saturation. In the 8-week experimental period, a groups of 25 fish averaging 1.5 ± 0.01 g (mean SD) were randomly assigned to each aquarium and fed the experimental diets in triplicate at a rate of 3% of wet body weight per day.

Weight gain(WG, %) and Feed efficiency(FE) of fish fed D3 was significantly higher than those of fish fed D1, D2, D4 and D5 ($P>0.05$) and fish fed D7 was significantly lower than other treatments.

Specific growth rate (SGR) and Protein efficiency ratio (PER) of of fish fed D3 was significantly higher than those of fish fed D1, D2, D4 and D5

($P > 0.05$) and fish fed D7 was significantly lower than other treatments.

Survival rate of all treatments were not significant different ($P < 0.05$).

This results indicated that suitable dietary supplementation of Ca 0.6% could be good for growth in juvenile olive flounder.

제 1 장 서 론

세계적으로 다른 육류에 비해 저지방 고단백인 수산물의 소비 수요는 계속해서 증가하고 있는 반면에 주요 수산식품 (어류, 갑각류 및 연체동물)의 세계 어업 생산고는 연간 6000만톤 (해조류를 포함해서 어분과 어유 생산용 잡어 34천만은 제외)으로 환경오염과 어자원의 남획 등으로 인해 앞으로 그 생산량은 현 수준 이상이 되지 않을 것이라는 가정이 지배적이다 (배 등, 1999). 이와 같이 최근에 전세계적인 수산물 어획량의 정체현상은 세계 인구의 자연적 증가에 따르는 수산물 수요량의 증가를 충족시키기 위하여 양식산업 전반에 걸쳐 급진적 발전을 요구하고 있다. 아울러, 우리 나라의 어류양식 역시 1980년대 들어 인공종묘 생산 기술이 개발된 이후, 현재 양식 기술의 보편화로 종묘생산부터 양성까지 완전양식이 이루어져 연중 생산되고 있다. 하지만 최근들어 무분별한 생사료 사용으로 인한 수질오염과 생사료 수급불균형, 인건비 상승 등으로 인한 경제적 부담으로 국내 어류양식 산업은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 우리 나라의 주요 양식어종인 넙치의 경우에도 매년 증가되어 1998년도에 약 3만9천여톤이 생산되었으나 현재 정체 또는 감소추세에 있다.

현재 세계 양식 선진국은 환경친화적이고 지속적인 양식산업으로 나아가기 위해 양어사료내 인과 질소의 이용성이 매우 높은 원료사료의 선택적 사용과 함께 사료내 인과 질소의 함량을 최적화시키는 방향으로 나아가고 있다. 최근에 들어서는 양어사료의 주 단백질원인 어분내 과잉의 인함량에 따른 문제점과 양식장내 인과 질소 배출문제를 해결하여 수질환경 보호를 위한 연구의 중요성이 날로 확대되어지고 있다 (Berevidge, 1984; Enell, 1987; Folke & Kautsky, 1989; Cho et al., 1993; Johnsen et al., 1994). 특히, 물속에 남은 사료 속의 인 및 어류의 분으로 배설된 인은 algae 성장

을 촉진하고 여름에 양식장의 자가 오염의 주원인이 되므로 반드시 극소화 되어져야 한다.

특히, 양어장 배출수에는 가용성 인(반응성 및 비반응성) 및 입자상 인(P)이 함유되어 있는데, 영양학적 측면에서 어류가 먹지 않은 사료와 어류의 대사 배설물 같은 입자상의 인이 양식어류에 의해서 배설되는 인의 대부분(60%이상)을 차지하고 있다. 인(P)은 양식어류에 있어서 주로 사료형태로 공급되며, 성장, 번식, 건강 등의 정상적인 생명활동과 호흡, 광합성, 근수축, 세포분할, 유전정보 전달 및 발효 등의 기본적인 생물화학적 반응에 있어서 중요한 역할을 담당하는 영양소이다. 반면, 조류의 성장을 촉진하거나 수계내 용존산소의 고갈이나 부영양화 등의 현상을 유발하여 수중생물에 유해한 환경적 영향을 초래할 수 있으며(Auer et al., 1986; Beveridge, 1987; Watanabe, 1991), 양어사료에 인 결핍 시에는 골격형성이 정상적으로 이루어지지 않아 척추만곡이나 두부기형이 발생할 수 있을 뿐만 아니라 성장률이나 사료효율에 있어서 저하현상이 일어나기도 한다(NRC, 1993). 이와같이, 인의 중요성을 고려하여 사료원별 인 이용성과 사료내 적정 인 함량은 어류가 소화한 인 축적율에 영향을 미치는 가장 중요한 두가지 요인이므로 (Sugiura et al., 1998) 어류의 성장, 사료효율, 건강상태 및 번식에 영향을 미치지 않으면서 사료내 인 함량을 줄이기 위해서는 영양학적 연구를 통해 인의 높은 생체내 이용성(bioavailability)을 갖는 사료원들의 평가와 더불어 사료내 적정 인 함량 규명이 필요하다. 인(P) 요구량에 대한 연구는 담수어종인 참돔 (Sakamoto and Yone, 1973), 무지개송어 (Ogino and Taketa, 1978), 뱀장어 (Arai et al., 1975), 잉어 (Ogino and Takeda, 1976) 등과 해산어종인 대서양 연어 (Ketola, 1975), 참연어(Watanabe et al., 1980), 조피볼락 (Lee et al., 1998)과 넙치 (Park, 2000) 등에서 연구되었으며, 그 요구량은 사료내 0.3 - 1.5%로 보고되고 있

다. 또한 인의 이용성은 인의 화학적 형태, 사료의 소화율, 영양소간의 상호작용, 위의 존재 유무, 사료의 가공방법, 환경수의 조성등에 영향을 받는다 (Lall, 1991). 특히, 인은 영양소중에서도 칼슘의 비율에 따라서 그 이용율이 달라지기 때문에 칼슘과 인의 적정 비율의 설정이 매우 중요하며 (Davis et al., 1993), 또한 사료내 칼슘의 과잉 첨가시 인의 이용성을 저해시킨다는 보고가 있다 (Nakamura, 1982; Andrews et al, 1973). 인과 칼슘의 비율에 관한 연구는 무지개 송어 (Robinson et al, 1987), 채널메기 (Meng et al., 1996), 전복 (Coote et al, 1996; Coote et al, 1998), 새우 (Veronica, 1999) 등에서 보고 되고 있지만 아직 넙치에서는 인과 칼슘의 적정 비율에 대한 연구가 이루어지고 있지 않는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 치어기 넙치에 있어서 사료내 인요구량의 재평가, 무기태 인 종류별 이용성 평가, 사료내 인과 칼슘의 적정비율 설정을 통해 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정인 함량을 조절하여 환경친화적인 저오염 배합사료 개발을 위해 도움이 되는데 그 목적이 있다.

제 2 장 재 료 및 방 법

실험 I : 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정인함량의 재평가 및 무기태인 종류별 이용성 평가

1. 실험어 및 사육관리

실험어는 넙치 치어를 실험에 들어가기에 앞서 2주간 기초사료를 주면서 예비사육 하였으며 주 사육실험기간은 8주간 실시하였다. 예비사육 후, 평균 어체중 $4.01 \pm 0.02\text{g}$ (mean $\pm$ SD)인 치어를 60l FRP 원형수조에 20마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였다. 일일 사료공급량은 어체중의 3-5%(건물량 기준)으로 1일 2회 공급하였다. 각 수조당 충분한 산소공급을 위해서 에어스톤을 설치하여 용존산소가 포화상태가 되도록 해주었고, 실험기간 동안 수온은 $22 \pm 4^\circ\text{C}$ 가 되도록 유지하였으며 유수율은 1l/min 이었고 사육수의 염분도는 31 ± 1 ppt 였다.

2. 실험사료 및 실험설계

기초사료는 주 단백질원으로 카제인, 넙치근육분 그리고 젤라틴을 탄수화물원으로는 밀가루와 덱스트린을 사용하였으며, 오징어간유(squid liver oil), EPA & DHA을 지질원으로 이용하였다. 실험사료는 기초사료에 무기태인 공급원으로서 NaH_2PO_4 , K_2HPO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, CaH_2PO_4 , fish bone와 칼슘원으로서 CaCl_2 를 첨가하여 제작되었다. 기초사료에는 총인함량이 0.33%, 총칼슘함량이 0.37%함유되어 있으며, 기초사료에 무기태인 공급원으로서 NaH_2PO_4 와 칼슘공급원으로서 CaCl_2 를 첨가하여 실험2사료는 총인함량이 0.43%, 총칼슘함량이 0.60%가 되게 했으며, 실험3사료는 총인함량이 0.58%, 총칼슘함량이 0.60%가 되게 하였으며, 실험4사료는 총인함량이

1.16%, 총칼슘함량이 0.60%가 되게하였다. 실험5, 실험6, 실험7, 실험8 사료는 각각 K_2HPO_4 , $Ca(H_2PO_4)_2$, CaH_2PO_4 , fish bone와 $CaCl_2$ 를 첨가하여 총인함량이 0.58%, 총칼슘함량이 0.60%가 되게 하여 제작되었다. 기초사료 및 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠렛제조기로 압출·성형하였으며, 입자 크기는 Sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 $-20^{\circ}C$ 에서 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Composition of the basal diet

Ingredients	g kg ⁻¹ diet
Casein ¹	369
Gelatin ¹	54
Flounder meal ²	105
Dextrin ¹	259
Squid liver oil ³	66.8
Corn oil ³	52
Vit. mix ⁴	30
Min. mix ⁵	30
Attractant	17
Cacl ₂	13
Cellulose	44
Cr ₂ O ₃	5
<i>Proximate analysis</i>	
Moisture (%)	
Crude Protein (% DM)	49.8
Crude fat (% DM)	12.4
Crude ash (% DM)	
Phosphorous (% DM)	0.32848

¹Baker Commodities Inc., L.A., USA

²Prepared by lyophilized muscle from adult fish

³Ewha Oil Company, Busan, Korea.

⁴Contains(as mg/kg in diets) : Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitartrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine · HCl, 15; Riboflavin ,30; Thiamine mononitrate, 15; dl- α -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06

⁵Contains (as mg/kg in diets) : NaCl, 437.4; MgSO₄ · 7H₂O. 1379.8; ZnSO₄ · 7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025

Table 2. Dietary phosphorous sources and P supplementation rates of
7 different experimental diets

Diets ¹	P sources	TP ²	TCa ³
1 (D1)	-	0.33	
2 (D2)	NaH ₂ PO ₄ *12H ₂ O 0.62%(S1-a)	0.45	
3 (D3)	NaH ₂ PO ₄ *12H ₂ O 1.12%(S1-b)	0.57	
4 (D4)	NaH ₂ PO ₄ *12H ₂ O 4.10%(S1-c)	1.14	0.60
5 (D5)	KH ₂ PO ₄ (S2)	0.57	
6 (D6)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ * H ₂ O(S3)	0.57	
7 (D7)	CaHPO ₄ *2H ₂ O(S4)	0.57	
8 (D8)	Fish bone meal(S5)	0.57	

¹ Refer to Table 1

² % Total Phosphorous in diet

³ % Total Calcium in diet

3. 어체 측정 및 성분분석

실험 종료 후, 증체율(weight gain, WG), 사료효율(feed efficiency, FE), 일간성장률(specific growth rate, SGR), 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER), 비만도(condition factor, CF), hematocrit, 생존율(Survival rate) 그리고 어체의 일반성분 및 인을 조사하였다. 어체 측정은 3주 간격으로 성장율을 측정하기 위해 각 수조별로 전체 무게를 측정하였다. 마지막 6주는 증체율 조사와 혈액 분석을 위해 각 수조당 3마리씩 임의로 추출하여 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, micro-hematocrit method(Brown, 1978)에 의해 hematocrit를 측정하였고, 다른 성분 분석을 위해 나머지 어류는 -20℃에 냉동 보관하였다. 실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체의 일반성분은 AOAC(Association of Official Analytical Chemists, 1995)방법으로 분석하였는데, 수분은 상압 가열 건조법으로, 조단백질은 Kjeldahl 질소 정량법($N \times 6.25$), 조지방은 Soxhlet system 1046 (Tecator AB, Sweden)으로 그리고 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다. 실험시작과 종료시에, 각 수조당 5마리씩 수집, 사료구별로 모은 후 인축적율을 구하기 위해 인분석을 하였다. 전어체와 뼈는 600℃에서 2시간동안 총 인분석을 위해 태운 후, spectrophotometric method에 의해 분석하였다. 인의 이용성을 알아보기 위해 실험사료 및 무기태인 종류별 인 축적율 (Nordrum et al., 1997)과 인 소화율 (Sugira et al., 1998)을 측정하였다.

4. 통계처리

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul, MN, USA)로 분산분석(ANOVA)을 실시하여 최소유의 차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

실험 II: 치어기 넙치에 있어서 사료내 인과 칼슘의 적정비율 설정

1. 실험어 및 사육관리

실험어는 넙치 치어를 실험에 들어가기에 앞서 2주간 기초사료를 주면서 예비사육 하였으며 주 사육실험기간은 6주간 실시하였다. 예비사육 후, 평균 어체중 $1.5 \pm 0.01\text{g}$ (mean $\pm$ SD)인 치어를 60l FRP 원형수조에 20마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였다. 일일 사료공급량은 어체중의 3-5%(건물량 기준)으로 1일 2회 공급하였다. 각 수조당 충분한 산소공급을 위해서 에어스톤을 설치하여 용존산소가 포화상태가 되도록 해주었고, 실험기간 동안 수온은 $22 \pm 4^\circ\text{C}$ 가 되도록 유지하였으며 유수율은 1l/min 이었고 사육수의 염분도는 31 ± 1 ppt 였다.

2. 실험사료 및 실험설계

기초사료는 주 단백질원으로 카제인, 넙치근육분 그리고 젤라틴을 탄수화물원으로는 밀가루와 텍스트린을 사용하였으며, 오징어간유(squid liver oil), EPA & DHA을 지질원으로 이용하였다. 실험사료는 기초사료에 무기태인 공급원으로 NaH_2PO_4 를 사용하였으며 칼슘원으로는 CaCl_2 를 사용하였다. 기초사료에는 총인함량이 0.59%, 총칼슘함량이 0.25%함유되어 있는 것으로 분석되었다. 7가지 실험사료내 인함량은 0.6%로 고정하였으며 각 사료별로 칼슘을 0.26%(D1), 0.42%(D2), 0.6%(D3), 0.78%(D4), 0.9%(D5), 1.2%(D6) 및 1.8%(D7)로 첨가하였다. 각 실험사료의 칼슘과 인의 비율은 Table 4에 나타내었다. 기초사료 및 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠렛제조기로 압출·성형하였으며, 입자크기는 Sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20°C 에서 보관하면서 사용하였다.

Table 3. Composition of the basal diet

Ingredients	g kg ⁻¹ diet
Casein ¹	369
Gelatin ¹	54
Flounder meal ²	105
Dextrin ¹	259
Squid liver oil ³	66.8
Corn oil ³	52
Vit. mix ⁴	30
Min. mix ⁵	30
Attractant	17
NaH ₂ PO ₄	13
Cellulose	44
Cr ₂ O ₃	5
<i>Proximate analysis</i>	
Moisture (%)	
Crude Protein (% DM)	49.8
Crude fat (% DM)	12.4
Crude ash (% DM)	
Phosphorous (% DM)	0.32848

¹Baker Commodities Inc., L.A., USA

²Prepared by lyophilized muscle from adult fish

³Ewha Oil Company, Busan, Korea.

⁴Contains(as mg/kg in diets) : Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitartrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine · HCl, 15; Riboflavin ,30; Thiamine mononitrate, 15; dl- α -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06

⁵Contains (as mg/kg in diets) : NaCl, 437.4; MgSO₄ · 7H₂O, 1379.8; ZnSO₄ · 7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025

Table 4. Ca and P supplementation rates and total Ca and P levels of experimental diets

Diet ¹	CaCl ₂ (%)	NaH ₂ PO ₄ (%)	TCa ²	TP ³	Ca : P
1 (D1)	0		0.2		0.3 : 1
2 (D2)	0.46		0.4		0.7 : 1
3 (D3)	0.95		0.6		1 : 1
4 (D4)	1.45	1.36	0.78	0.6	1.3 : 1
5 (D5)	1.79		0.9		1.5 : 1
6 (D6)	2.62		1.2		2 : 1
7 (D7)	4.31		1.8		3 : 1

¹ Refer to Table 1

² % Total P in diet

³ % Total Ca in diet

3. 어체 측정 및 성분분석

실험 종료 후, 증체율(weight gain, WG), 사료효율(feed efficiency, FE), 일간성장률(specific growth rate, SGR), 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER), 비만도(condition factor, CF), hematocrit, 생존율(Survival rate) 그리고 어체의 일반성분 및 인을 조사하였다. 어체 측정은 3주 간격으로 성장율을 측정하기 위해 각 수조별로 전체 무게를 측정하였다. 마지막 6주는 증체율 조사와 혈액 분석을 위해 각 수조당 3마리씩 임의로 추출하여 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, micro-hematocrit method(Brown, 1978)에 의해 hematocrit를 측정하였고, 다른 성분 분석을 위해 나머지 어류는 -20℃에 냉동 보관하였다. 실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체의 일반성분은 AOAC(Association of Official Analytical Chemists, 1995)방법으로 분석하였는데, 수분은 상압 가열 건조법으로, 조단백질은 Kjeldahl 질소 정량법($N \times 6.25$), 조지방은 Soxtec system 1046 (Tecator AB, Sweden)으로 그리고 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다. 실험시작과 종료시에, 각 수조당 5마리씩 수집, 사료구별로 모은 후 인축적율을 구하기 위해 인분석을 하였다. 전어체와 뼈는 600℃에서 2시간동안 총 인분석을 위해 태운 후, spectrophotometric method에 의해 분석하였다. 인의 이용성을 알아보기 위해 실험사료 및 무기태인 종류별 인 축적율 (Nordrum et al., 1997)과 인 소화율 (Sugira et al. 1998)을 측정하였다.

4. 통계처리

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul, MN, USA)로 분산분석(ANOVA)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

제 3 장 결 과

실험 I : 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정인함량의 재평가 및 무기태인 종류별 이용성 평가

6주간의 성장실험 후 사료원들이 넙치의 성장에 미치는 효과는 Table5에 나타내었다. 증체율(weight gain, WG)에 있어서는 D3이 가장 높은 것으로 나타났으나 D2, D6와 유의적 차이를 보이지는 않았으며 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적으로 차이가 없었으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$). 일간성장률(specific growth rate, SGR)에 있어서는 D3이 가장 높은 것으로 나타났으나 D2, D6와 유의적 차이를 보이지는 않았으며 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적으로 차이가 없었으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$)., 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER)에 있어서는 D3이 가장 높은 것으로 나타났으나 D2, D6와 유의적 차이를 보이지는 않았으며 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적으로 차이가 없었으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$). 그리고 사료효율(feed efficiency ratio, FER)에 있어서는 D3이 가장 높은 것으로 나타났으나 D2, D6와 유의적 차이를 보이지는 않았으며 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적으로 차이가 없었으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$).

어체내 인축적률(whole body P retention, WBPR)에 있어서는 D3이 가장 높은 축적률을 나타내었으나 D2, D6와 유의적 차이를 보이지는 않았으며 D7과 D8이 나머지 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다.

인 소화율(phosphorous digestibility, PD)에 있어서는 첨가된 여러형태의

무기태 인중 NaH_2PO_4 와 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 가 유의적으로 가장 높게 나타났으며 CaHPO_4 와 fishbone meal이 유의적으로 가장 낮게 나타났다.

Table 5. Effects of the basal diet and five test diets on growth performance in olive flounder

	Diets ¹								Pooled SEM ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	
WG(%) ³	235 ^c	269 ^{ab}	287 ^a	260 ^b	252 ^b	272 ^{ab}	249 ^b	255 ^b	5.47
FE(%) ⁴	97 ^c	106 ^{ab}	109 ^a	103.5 ^b	102.5 ^b	107 ^{ab}	102 ^b	102 ^b	1.29
SGR(%) ⁵	2.85 ^c	3.14 ^{ab}	3.25 ^a	3.1 ^b	3.07 ^b	3.18 ^{ab}	3.06 ^b	3.08 ^b	0.04
PER ⁶	1.96 ^c	2.12 ^{ab}	2.18 ^a	2.09 ^b	2.07 ^b	2.14 ^{ab}	2.06 ^b	2.07 ^b	0.02
HSI ⁷	4.31	2.49	2.25	2.01	1.59	4.60	3.62	4.14	0.41
CF ⁸	1.71	1.04	1.14	0.91	0.84	1.61	1.71	1.66	0.13

¹ Refer to the table 1.

² Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$.

³ WG (%) = Weight gain (%) : [final wt.(g) - initial wt.(g) / initial wt.(g)] × 100.

⁴ FE (%) = Feed efficiency : (wet weight gain / dry feed intake) ×100.

⁵ SGR (%) = Specific growth rate : [$\log_e$ final wt.(g) - $\log_e$ initial wt.(g)/days] × 100.

⁶ PER = Protein efficiency ratio : wet wt. gain / protein intake.

⁷ HSI = Hepatosomatic index : liver weight(g) × 100/ body weight(g).

⁸ CF = Condition factor : [wet weight(g) / total length(cm)³] × 100.

Table 6. Whole body Phosphorous retention (WBPR) and Phosphorous digestibility (PD) from fish fed 8 diets for 6-week¹

	Diets ²								Pooled
	1	2	3	4	5	6	7	8	SEM
WBPR (%)	83	87	91	78	74	85	70	68	2.94
PD (%)	-	85	85	79	65	83	55	53	4.82

¹Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different (P<0.05)

²Refer to table 1

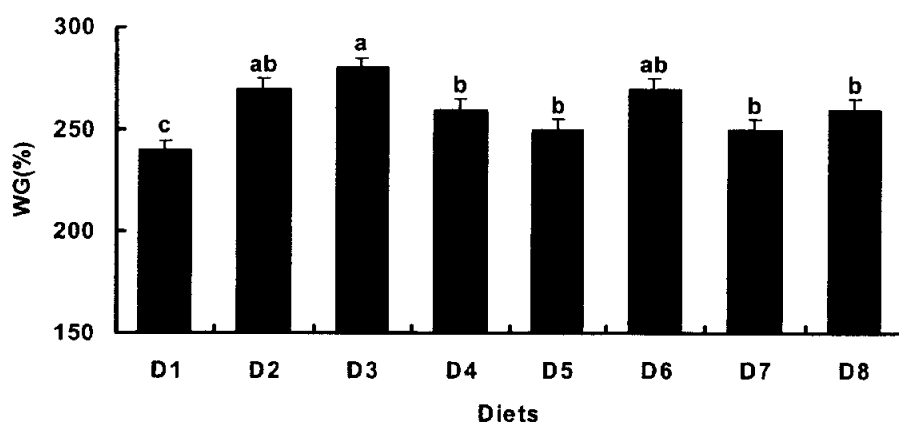


Fig 1. Weight gain (WG, %) from the fish fed 8 diets for 6-week.

Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different ($P < 0.05$)

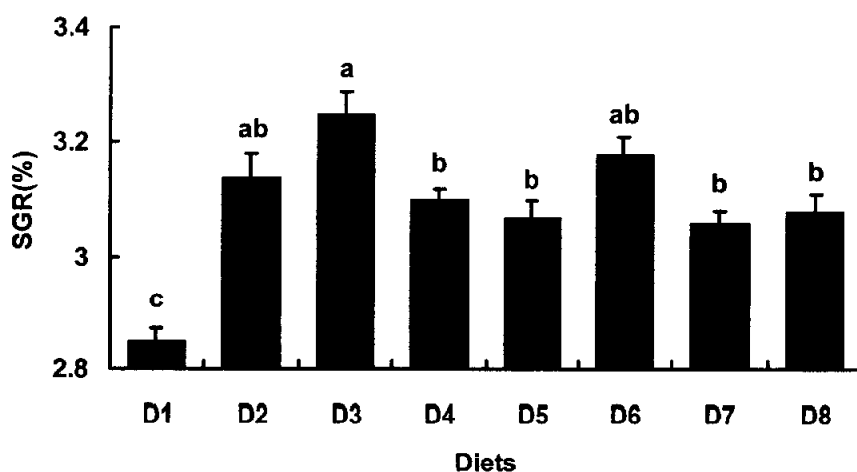


Fig 2. Specific growth rate (SGR, %) from the fish fed 8 diets for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different ($P < 0.05$)

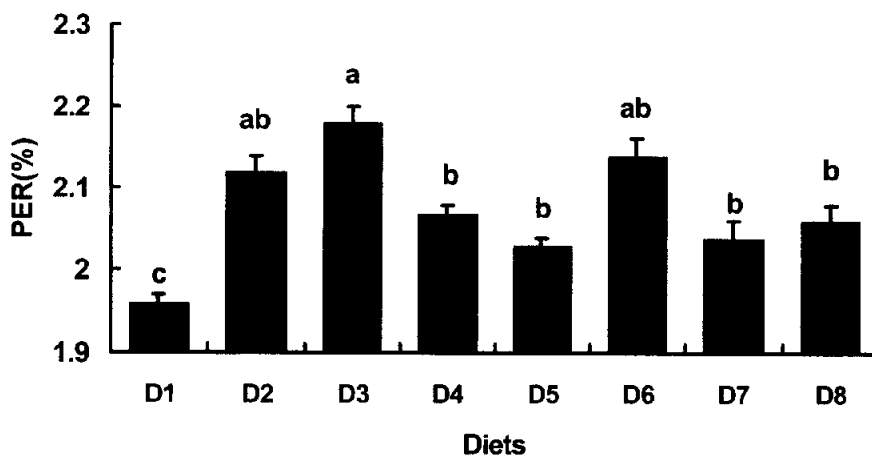


Fig 3. Protein efficiency ratio (PER, %) from the fish fed 8 diets for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly differentt ($P<0.05$)

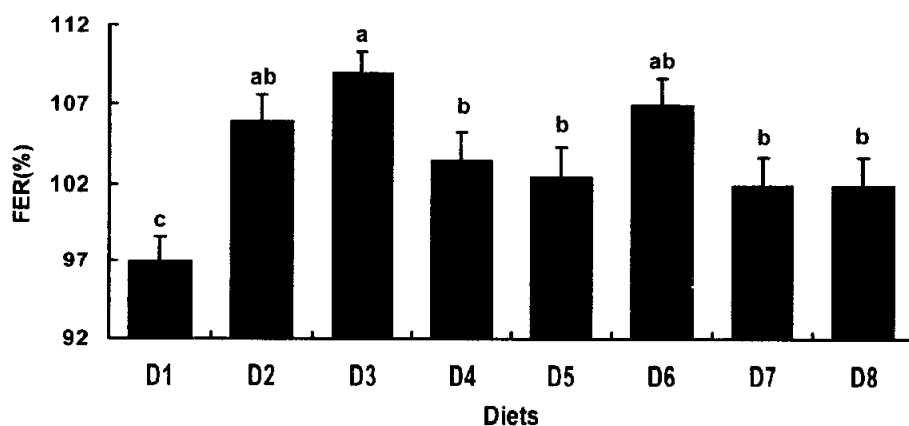


Fig 4. Feed efficiency (FE,%) from fish fed 8 diets for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly differentt ($P<0.05$)

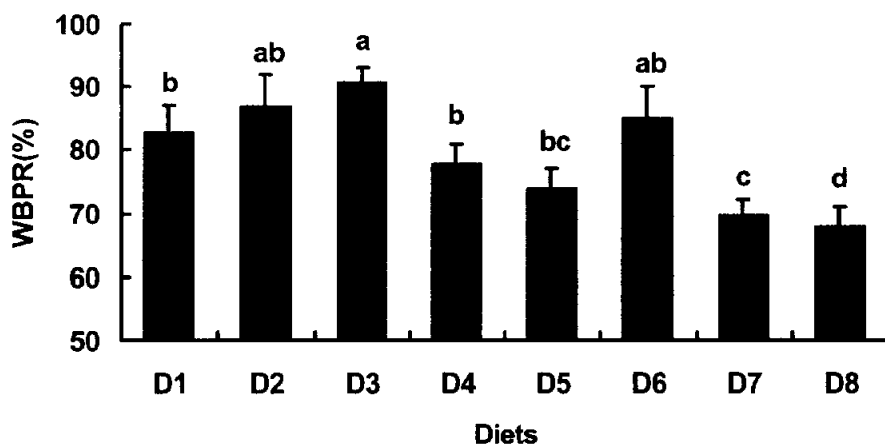


Fig 5. Whole body Phosphorous retention (WBPR) from fish fed 8 diets for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different ($P < 0.05$)

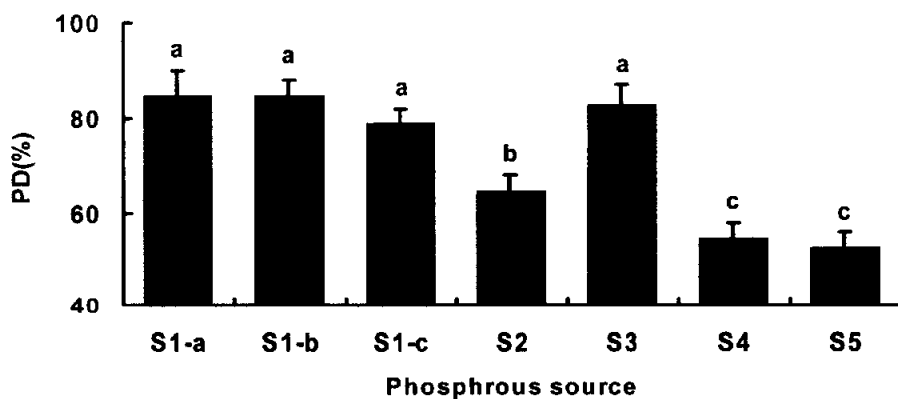


Fig 6. Phosphorous Digestibility (PD, %) from fish fed 5 Phosphorous source for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different ($P < 0.05$)

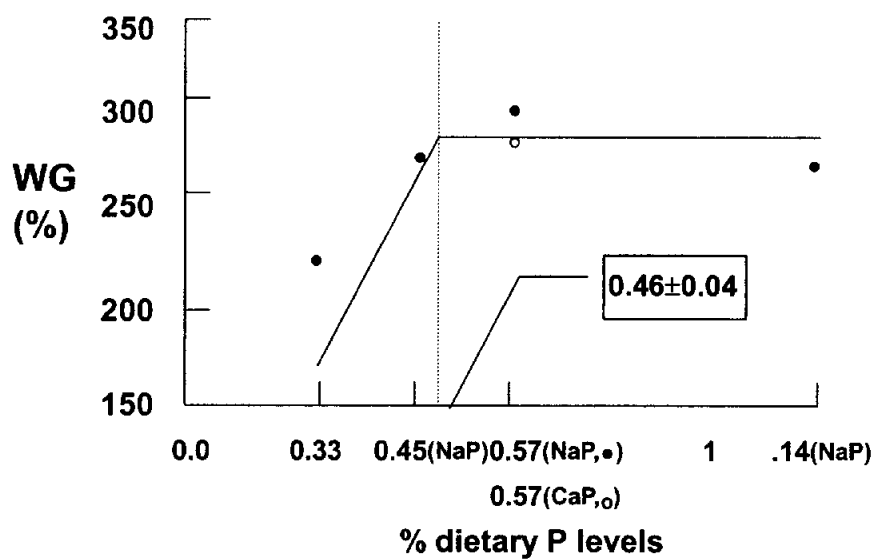


Figure 7. Broken line analysis of weight gain (WG, %) for the dietary phosphorus requirement in Olive flounder (NaP = $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaP = $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

실험 II: 치어기 넘치에 있어서 사료내 인과 칼슘의 적정비율 설정

총 6주간의 증체율 (WG, %), 사료효율 (FE, %), 일간성장률 (SGR, %), 단백질 효율 (PER) 그리고 생존률 (Survival, %)등의 결과는 Table 7에 나타내었다. 6주간 증체율에 있어서 칼슘과 인의 비율을 1:1로 설정한 실험사료 3에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며 ($P>0.05$), 칼슘과 인의 비율을 3:1로 설정한 실험사료 7에서 유의적으로 가장 낮게 나타났다 ($P>0.05$). 실험사료 1, 2, 4, 5간에는 유의적인 차이가 나지 않았다 ($P<0.05$).

사료효율에 있어서 칼슘과 인의 비율을 1:1로 설정한 실험사료 3에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며 ($P>0.05$), 실험사료 7에서 유의적으로 가장 낮게 나타났다.

일간성장률에 있어서 칼슘과 인의 비율을 1:1로 설정한 실험사료 3에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며 ($P>0.05$), 칼슘과 인의 비율을 3:1로 설정한 실험사료 7에서 유의적으로 가장 낮게 나타났다 ($P>0.05$). 실험사료 1, 2, 4, 5간에는 유의적인 차이가 나지 않았다 ($P<0.05$).

단백질효율에 있어서칼슘과 인의 비율을 1:1로 설정한 실험사료 3에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며 ($P>0.05$), 칼슘과 인의 비율을 3:1로 설정한 실험사료 7에서 유의적으로 가장 낮게 나타났다 ($P>0.05$). 실험사료 1, 2, 4, 5간에는 유의적인 차이가 나지 않았다 ($P<0.05$).

생존률에 있어서는 모든 실험구간에 유의적 차이가 나타나지 않았다 ($P<0.05$).

Table 7. Effects of the basal diet and six test diets on growth performance in olive flounder for 6 weeks

	Diets ¹							Pooled SEM ²
	1	2	3	4	5	6	7	
WG(%) ³	199 ^{bc}	203 ^b	251 ^a	219 ^b	173 ^b	164 ^c	111 ^d	3.23
FE(%) ⁴	75.5 ^{bc}	76.9 ^b	95.5 ^a	83.4 ^b	66.3 ^{cd}	61.9 ^{de}	41.9 ^e	6.43
SGR(%) ⁵	2.01 ^{bc}	2.02 ^b	2.08 ^a	2.04 ^b	1.98 ^{cd}	1.96 ^d	1.86 ^e	0.13
PER ⁶	1.51 ^{bc}	1.54 ^b	1.91 ^a	1.67 ^b	1.33 ^{cd}	1.24 ^d	0.84 ^e	0.03
Survival(%)	88.7 ^{ab}	88 ^{ab}	84.7 ^{ab}	93.3 ^a	86.7 ^{ab}	88 ^{ab}	85.3 ^{ab}	2.37

¹ Refer to the table 1.

² Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$.

³ WG (%) = Weight gain (%) : [final wt.(g) - initial wt.(g) / initial wt.(g)]
× 100.

⁴ FE (%) = Feed efficiency : (wet weight gain / dry feed intake) ×100.

⁵ SGR (%) = Specific growth rate : [log_e final wt.(g) - log_e initial
wt.(g)/days] × 100.

⁶ PER = Protein efficiency ratio : wet wt. gain / protein intake.

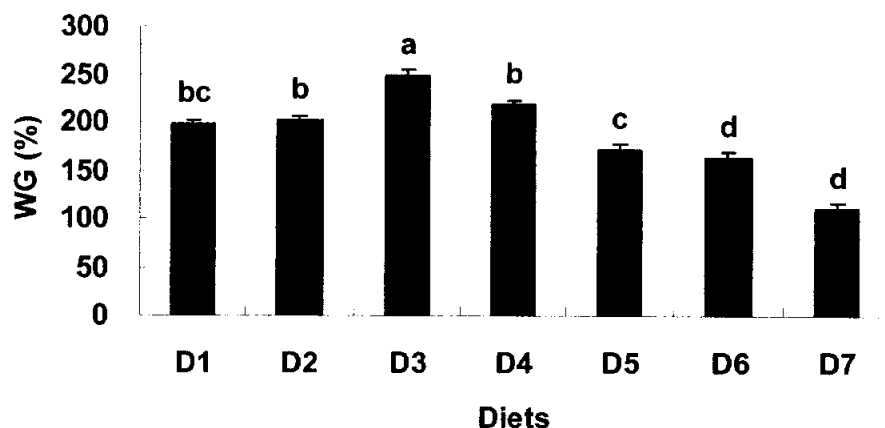


Fig 8. Weight gain (WG, %) from the fish fed 7 diets for 6-week.
Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different (P<0.05)

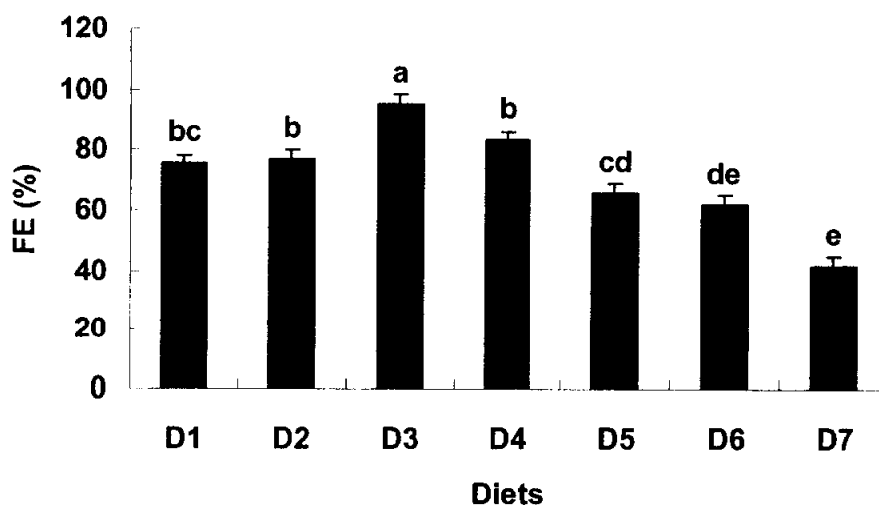


Fig 9. Feed efficiency (FE,%) from fish fed 7 diets for 6-week.
Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different (P<0.05)

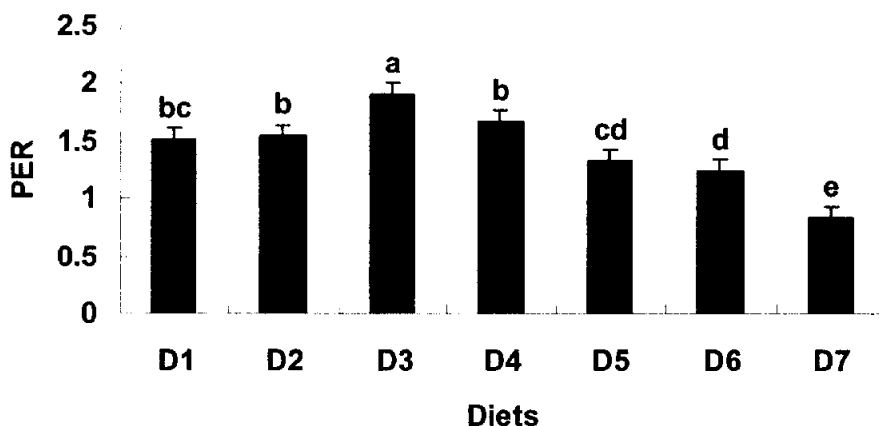


Fig 10. Protein efficiency ratio (PER, %) from the fish fed 7 diets for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different ($P < 0.05$)

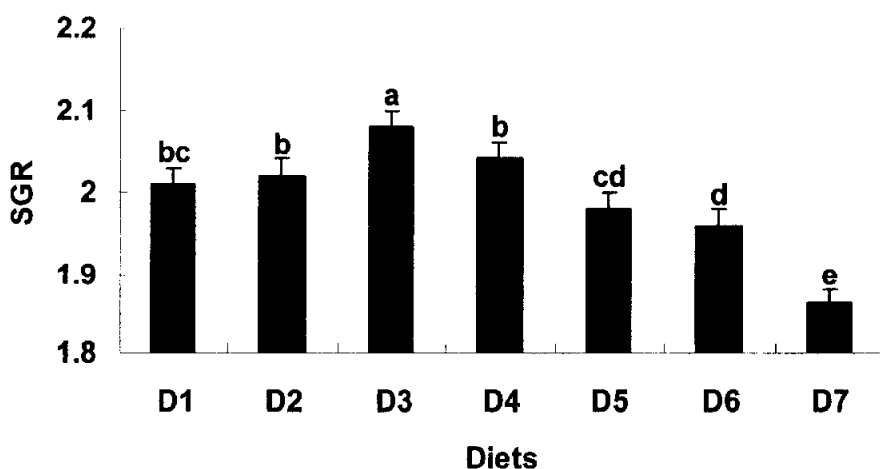


Fig 11. Specific growth rate (SGR, %) from the fish fed 7 diets for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript is significantly different ($P < 0.05$)

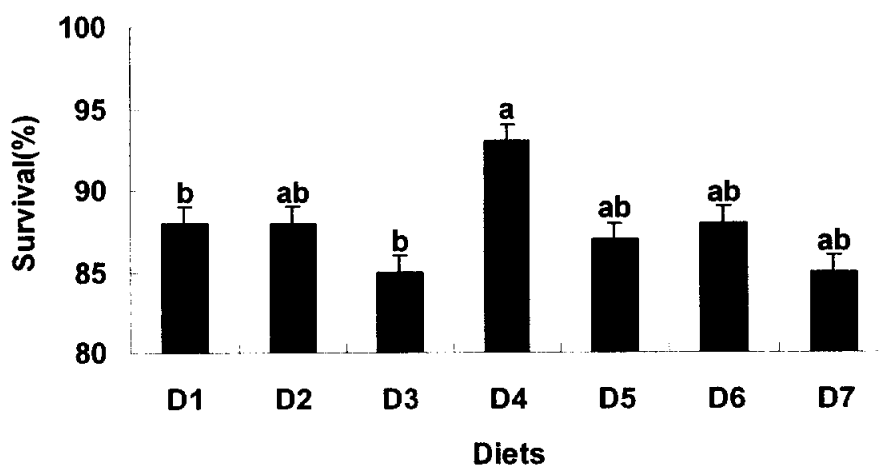


Fig 12. Survival rate (SV, %) from the fish fed 7 diets for 6-week. Values are means from triplicate groups where the bar have not different superscript is not significantly different ($P < 0.05$)

제 4 장 논 의

현재 세계 양식 선진국은 환경친화적이고 지속적인 양식산업으로 나아가기 위해 양어사료내 인과 질소의 이용성이 매우 높은 원료사료의 선택적 사용과 함께 사료내 인과 질소의 함량을 최적화시키는 방향으로 나아가고 있다. 최근에 들어서는 양어사료의 주 단백질원인 어분내 과잉의 인 함량에 따른 문제점과 양식장내 인과 질소 배출문제를 해결하여 수질환경 보호를 위한 연구의 중요성이 날로 확대되어지고 있다 (Berevidge, 1984; Enell, 1987; Folke & Kautsky, 1989; Cho et al., 1993; Johnsen et al., 1994). 특히, 물속에 남은 사료 속의 인 및 어류의 분으로 배설된 인은 algae 성장을 촉진하고 여름에 양식장의 자가 오염의 주원인이 되므로 반드시 극소화 되어져야 한다.

특히, 양어장 배출수에는 가용성 인(반응성 및 비반응성) 및 입자상 인(P)이 함유되어 있는데, 영양학적 측면에서 어류가 먹지 않은 사료와 어류의 대사 배설물 같은 입자상의 인이 양식어류에 의해서 배설되는 인의 대부분(60%이상)을 차지하고 있다. 인(P)은 양식어류에 있어서 주로 사료형태로 공급되며, 성장, 번식, 건강 등의 정상적인 생명활동과 호흡, 광합성, 근수축, 세포분할, 유전정보 전달 및 발효 등의 기본적인 생물화학적 반응에 있어서 중요한 역할을 담당하는 영양소이다. 반면, 조류의 성장을 촉진하거나 수계내 용존산소의 고갈이나 부영양화 등의 현상을 유발하여 수중생물에 유해한 환경적 영향을 초래할 수 있으며(Auer et al., 1986; Beveridge, 1987; Watanabe, 1991), 양어사료에 인 결핍 시에는 골격형성이 정상적으로 이루어지지 않아 척추만곡이나 두부기형이 발생할 수 있을 뿐만 아니라 성장률이나 사료효율에 있어서 저하현상이 일어나기도 한다 (NRC, 1993). 이와같이, 인의 중요성을 고려하여 사료원별 인 이용성과 사

료내 적정 인 함량은 어류가 소화한 인 축적율에 영향을 미치는 가장 중요한 두가지 요인이므로 (Sugiura et al., 1998) 어류의 성장, 사료효율, 건강상태 및 번식에 영향을 미치지 않으면서 사료내 인 함량을 줄이기 위해서는 영양학적 연구를 통해 인의 높은 생체내 이용성(bioavailability)을 갖는 사료원들의 평가와 더불어 사료내 적정 인 함량 규명이 필요하다.

Lall (1991)은 양식으로 인한 인 배출량을 줄이기 위한 방안으로 첫째, 인의 균형을 측정하고 둘째, 어류의 성장, 사료효율, 건강상태 및 번식등에 영향을 미치지 않고 사료내 인함량을 줄이는 방법, 셋째, 인 이용성이 높은 원료나 인 첨가제의 선택, 넷째, 흡수성이 높고 물에서는 용해도가 낮은 인 첨가제의 선택, 다섯째, 사료효율이 보다 좋은 사료의 개발과 여섯째, 사료의 허실을 최소화하기 위한 방법등을 제시하였다. 또한 인의 이용성은 인의 화학적 형태, 사료의 소화율, 영양소간의 상호작용, 위의 존재유무, 사료의 가공방법, 환경수의 조성등에 영향을 받는다 (Lall, 1991).

6주간의 성장실험 후 증체율, 사료효율, 일간성장률 그리고 단백질 전환효율의 측정결과 인산나트륨(NaH_2PO_4)을 사용한 D3이 가장 높게 나타났다. BroKen-line model에 의해 증체율을 기준으로 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정 인함량은 0.45%로 2000년에 보고된 치어기 넙치의 인 요구량에 관한 결과(Park, 2000)와 일치하였다. 어류에 있어 인(P) 요구량에 대한 연구는 담수어종인 참돔 (Sakamoto and Yone, 1973), 무지개송어 (Ogino and Taketa, 1978), 뱀장어 (Arai et al., 1975), 잉어(Ogino and Takeda, 1976) 등과 해산어종인 대서양 연어 (Ketola, 1975), 참연어 (Watanabe et al., 1980), 조피볼락 (Lee et al., 1998)과 넙치 (Park, 2000) 등에서 연구되었으며, 그 요구량은 사료내 0.3 - 1.5%로 보고되었는데 본 실험에서 재검정된 넙치의 인요구량은 잉어, 무지개송어, 대서양연어 및 참돔의 0.6-0.8% 보다는 다소 낮으며 차넬메기 및 조피볼락과 유사한 수준

을 보였다.

인 축적률에 대한 실험결과 인산나트륨(NaH_2PO_4)을 사용한 D3의 축적률이 가장 높게 나타났다. 인의 흡수율에 관한 앞선 연구결과를 살펴보면 채널메기에서 대두박의 인 소화율은 25%로 보고 되었으며 (Wilson et al., 1982) 분수집을 통한 무기태 인 종류별 인소화율의 측정 결과는 인산나트륨 (NaH_2PO_4) 90%, 일인산칼슘 ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 94% 그리고 이인산칼슘 ($\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 은 65%로 일인산칼슘의 이용성이 가장 높은 것으로 보고된 바 있다. 또한 채널메기에서 청어나 멸치로 만든 어분의 인소화율은 약 40%로 보고되었다 (Lovell, T., 1978). 무지개 송어에 있어서 무기태 인 종류별 인 이용성에 관한 연구결과 인산나트륨 (NaH_2PO_4)는 98%, 인산칼륨 (K_2HPO_4) 98%, 일인산칼슘 ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 94% 그리고 이인산칼슘 ($\text{CaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)은 71%로 인산나트륨과 인산칼륨의 이용성이 높은 것으로 보고된 바 있다. 연어에서 무기태인 종류별 인축적률 측정을 통한 이용성은 이인산칼슘 86%, 일인산칼슘 91%, 인산나트륨 131% 그리고 어류뼈는 51%로 일인산칼슘의 이용성이 가장 높은 것으로 보고된 바 있다 (Nordrum et al., 1997). 잉어의 경우는 인산나트륨 94%, 인산칼륨 94%, 일인산칼슘 94% 그리고 이인산 칼슘은 46%로 보고되었다 (Ogino et al., 1979). 양어 사료의 주 단백질원인 어분내 인의 이용성에 관한 연구결과 참돔에서는 30% 가량이었으며 잉어의 경우는 거의 흡수를 하지 못하는 것으로 보고되었다 (Yone et al., 1979). 본 실험결과 넙치에 있어서 무기태인 종류별 이용성 측정결과 인산나트륨과 일인산칼슘의 이용성이 높은 것으로 나타났다.

무기원소 인과 칼슘은 어류의 성장 및 뼈의 무기질화와 밀접하게 관련되어 있으나 그 주 공급원 및 이용률은 서로 다르다. 칼슘은 환경수내에 다량 함유되어 필요량의 대부분을 환경수를 통해 공급받는 것과 달리 인

은 환경수내 함량이 적으며 또한 이용률이 낮아 양식어류의 정상적인 성장 및 뼈의 무기질화를 위해서는 대부분 사료에 의해서 공급되어야 한다. 인의 이용성은 인의 화학적 형태, 사료의 소화율, 영양소간의 상호작용, 위의 존재 유무, 사료의 가공방법, 환경수의 조성등에 영향을 받는다 (Lall, 1991). 특히, 인은 영양소중에서도 칼슘의 비율에 따라서 그 이용률이 달라지기 때문에 칼슘과 인의 적정 비율의 설정이 매우 중요하며 (Davis et al., 1993), 또한 사료내 칼슘의 과잉 첨가시 인의 이용성을 저해시킨다는 보고가 있다 (Nakamura, 1982; Andrews et al, 1973). 또한 과잉 함유된 칼슘이 인의 양보다 많을때 칼슘은 어류가 이용할 수 없는 인산칼슘의 형태로 화합되어장에서 인을 흡수하는 것을 방해한다는 보고도 있다 (Andrews et al., 1973; Cowey & Sargent 1979). 인과 칼슘의 비율에 관한 연구는 무지개 송어 (Robinson et al, 1987), 채널메기 (Meng et al., 1996), 전복 (Coote et al, 1996; Coote et al, 1998), 새우 (Veronica, 1999) 등에서 보고된 바 있다. 인의 함량을 0.6%로 고정하고 칼슘의 비율을 조절한 6주간의 실험결과 증체율, 사료효율, 일간성장률 및 단백질 전화효율의 측정 결과 인과 칼슘의 비율을 1 : 1로 설정한 D3에서 가장 높은 결과를 나타내었다.

잉어(Nakamura,1982), 채널메기(Lovel, 1978), 무지개송어(Rodeshutscond, 1996) 및 연어(Ketola, 1975)등에 있어서 사료내 칼슘 요구량이 0-1.5%일 때 인의 요구량은 0.25-0.8%로 보고되었다. 본 실험결과 넙치도 위에 언급된 다른 어종과 유사한 범위의 인과 칼슘의 비율을 가질것으로 사료된다. 그러므로 본 실험의 결과 치어기 넙치에 있어서 최대 성장을 위한 사료내 인의 요구량은 0.43%로 사료되며 가장 이용성이 높을 것으로 여겨지는 무기태인은 인산나트륨 (NaH_2PO_4)과 일인산칼슘 ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)인 것으로 사료된다. 또한 두 번째 실험 결과 사료내 인의 함량이 0.6%일 때 칼

숨의 함량 역시 0.6%로 조절하는 것이 좋은 성장결과를 나타내었다. 그러므로 넘치에 있어서 사료내 적정 Ca-P ratio는 1 : 1로 사료된다.

제 5 장 요약

본 연구는 국내 양식어종으로 가장 많이 사육되고 있는 넙치에 있어서 인요구량의 재검정과 무기태인의 종류별 이용성 그리고 인과 칼슘의 적정 비율을 설정하기 위하여 실시하였다. 실험어류는 각각 평균 $4.01 \pm 0.02\text{g}$ 과 $1.5 \pm 0.01\text{g}$ 의 넙치 치어를 사용하였다. 실험사료의 주단백질원으로는 카제인과 젤라틴을 사용하여 펠렛으로 실험실에서 제작하였다. 인요구량과 무기태인의 이용성 규명을 위한 6주간의 실험결과 증체율에 있어서 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으나 D2 및 D6와 유의적인 차이를 보이지는 않았다. 또한 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$). 사료효율에 있어서도 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으나 D2 및 D6와 유의적인 차이를 보이지는 않았다. 또한 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$). 일간 성장률에 있어서 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으나 D2 및 D6와 유의적인 차이를 보이지는 않았다. 또한 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$).

단백질 전환효율에 있어서 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으나 D2 및 D6와 유의적인 차이를 보이지는 않았다. 또한 D2와 D6는 D4, D5, D7, D8과 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 D1은 모든 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P>0.05$). 어체내 인축적률에 있어서는 D3이 가장 높은 축적률을 나타내었으나 D2 및 D6와 유의적 차이를 보이지는 않았으며 D7과 D8이 나머지 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P>0.05$). 인소화율에 있어서는 첨가된 여러형태의 무기태 인중 NaH_2PO_4

와 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 가 유의적으로 가장 높게 나타났으며 CaHPO_4 와 fish bone meal이 유의적으로 가장 낮게 나타났다.

사료내 인과 칼슘의 적정 비율 설정을 위한 두 번째 6주간 실험의 결과 증체율에 있어서 칼슘과 인의 비율을 1:1로 설정한 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으며($P>0.05$) D1, D2, D4, D5간에는 유의적 차이가 나타나지 않았다($P<0.05$). D1과 D6는 유의적인 차이가 나타나지 않았으며 D7이 모든 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P>0.05$). 사료효율에 있어서 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으며 D1, D2 및 D4에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P<0.05$). D5와 D6는 유의적인 차이가 나지 않았으며 D7이 모든 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났으나($P>0.05$) D6과 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P<0.05$). 일간성장률에 있어서 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으며 D1, D2 및 D4에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P<0.05$). D5와 D6는 유의적인 차이가 나지 않았으며($P<0.05$), D7이 모든 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다. 단백질 전환효율에 있어서 D3이 유의적으로 가장 높게 나타났으며($P>0.05$), D1, D2 및 D4에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P<0.05$). D5와 D6는 유의적인 차이가 나지 않았으며($P<0.05$), D7이 모든 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P>0.05$). 생존률에 있어서는 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P<0.05$).

본 연구의 결과 치어기 넙치에 있어서 사료내 인의 요구량은 0.45%, 이용성이 높은 무기태인의 형태는 NaH_2PO_4 와 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 그리고 사료내 적정 인과 칼슘의 비율은 1 : 1으로 나타났다. 따라서 본 연구결과는 사료내 적정 인의 함량을 조절하여 환경친화적인 저오염 배합사료 개발에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

제 6 장 감사의 글

부족한 저에게 과학적이고 논리적인 사고로써 학문의 길이 무엇인지를 깨우쳐 주신 배승철 교수님의 노고와 은혜에 감사드리며, 아울러 바쁘신 와중에도 세심한 조언으로 논문을 다듬어주신 조재운 선생님과 손철현 선생님께 진심으로 감사드립니다.

강의를 통해 양식이라는 학문에 대해 심도 깊게 일깨워 주신 허성범 선생님, 김동수 선생님과 김창훈 선생님께도 감사드립니다.

대학원 생활에 있어서 이 논문이 나오기까지 여로모로 도와주신 김강웅 선배님, 왕소길 선배님, 옥임호 선배님, 최세민 선배님, 박건준 선배님과 광렬, 준영, 영철 후배들과 사료영양연구소 연구원분들께도 감사드립니다.

또한 본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발 사업인 “넙치용 배합사료 개발”의 일부분으로 이루어 졌으며 이를 위해 연구비를 지원해주신 해양수산부에도 감사를 드립니다.

마지막으로 철없는 자식을 끝없는 믿음과 사랑으로 지금까지 뒷바라지 해주신 부모님께 깊은 감사를 드립니다.

제 7 장 참고문헌

- Andrews, J.W., Murai, T. & Campbell, C. (1973) Effects of dietary calcium and Phosphorous on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. *J.Nutr.*,103,766-771
- Arai, S., T. Nose and Y. Hashimoto. 1975. Mineral requirements of eel. I. Ca. Mg and P. In: *Proc. Annu. Meet. Jap. Soc. Sci. Fish.* April 1-6, Tokyo. P. 48(Abstract).
- Auer, M.T., M.S. Kieseer, 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.
- Bai, S. C., X. Wang and K. Kim. 1999. Present Status and Future Prospects of World Aquaculture: The Korean perspective "Proceedings of International Conference on Impacts of Population and Markets on the Sustainability of Ocean and Coastal Resources: The Perspective of Developing and Transition Economics of the North Pacific, Seattle, pp. 155-177. June 3-4, 1999.
- Bervridge, M.C.M., 1987. Cage aquaculture. pp. 149-164. Fishing News Books Ltd., England.
- Cho, C.Y. 1993. Digestibility of feedstuffs as a major factor in aquaculture waste managements. In: Kaushik, S.J. & P. Luquet(Eds.). *Fish Nutrition in Practice*. pp. 364-374. INRA Press, Paris.
- Cowey, C.B. & Sargent, J.R. (1979) Nutrition. In: *Fish Physiology* (Hoar,

- W.S. & Randall, J. eds), Vol. III, pp. 1-69. Academic Press, NY.
- Enell, M. 1987. Environmental impact of cage fish farming. Report of the Institute of Freshwater Research 63:106.
- Folke, C., and N. Kautsky. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio* 18:234-243.
- Johnsen, F., M. Hillestad. and E. Austreng. 1993. High energy diets for Atlantic salmon. Effects on pollution. In: Kaushik, S.J. & P. Luquet (Eds.). Ketola, H.G. 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus. *Trans. Am. Fish. Soc.* 101:548-554. *Fish Nutrition and Practice*. pp. 391-401. INRA Press, Paris.
- Ketola, H.G. (1975) Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorous. *Trans. Am. Fish Soc.*, 3, 548-551
- Lall, S. P. 1991. Digestibility metabolism and excretion of phosphorus in fish. In: Ogino, C., and H. Takeda. 1976. Mineral requirements in fish. III. Calcium and phosphorus. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 42:793-799.
- Lee S. M, Sung Real Park and Jeong Dea Kim. 1998. Dietary optimum phosphorus level of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *J. Fish. Sci. Tech.* 1(2):180-186.
- New, M. B. 1997. Aquaculture and the capture fisheries balancing the scales. *World Aquaculture*, Vol. 28(2): 11-30, June 1997.
- Lovell, T. (1978) Dietary phosphorous requirement of channel catfish(*Ictalurus punctatus*). *Trans. Am. Fish Soc.*, 107, 617-621.
- Nakamura, Y. (1982) Effects of dietary phosphorous and calcium contents

- on the absorption of phosphorus in the digestive tract of carp. Bull. Jpn. J. Sci. Fish., 51, 605-608
- NRC (National Research Council). 1993. Nutritional requirements of fish. National Academy of Science, Washington. D. C. 114 pp.
- Nordrum S., T. Asgard, K. D. Shearer and P. Arnesen, 1997. Availability of phosphorus in fish bone meal and inorganic salts to Atlantic salmon, *Salmo salar* as determined by retention. Aquaculture, 157: 51-61.
- Ogino, C. & Takeda, H. 1976 Mineral requirements in fish 3. Calcium and phosphorus requirements in carp. Bull. Jpn. J. Sci. Fish., 45(12), 1527-1532
- Ogino, C. and H. Takeda. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. Nippon Suisan Gakkaishi 44:1019-1022.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1973. Effect of dietary calcium/phosphorus ratio upon growth, feed efficiency and blood serum Ca and P level in red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi 39:343-348.
- Sugiura, S.H., Dong, F.M., Rathbone, C.K. & Hardy, R.W. (1998) Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. Aquaculture 159, 177-202.
- Park S. H. (2000) Studies to develop low pollute diet for juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* reared in the recirculating system. Master course dissertation. Pukyong National University, Pusan, Korea.
- Robinson, E.H., LaBomascus, D., Brown P.B. & Linton, T.L. 1987

- Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in calcium-free water. *Aquaculture*, 64, 267-276
- Rodeshutsord, M. 1996 Response of Rainbow trout growing from 50 to 200g to supplements of dibasic sodium phosphate in a semipurified diet. *J. Nutr.*, 126, 324-331
- Watanabe, T. 1991. Past and present approaches to aquaculture waste management in Japan, In: Cowey, C.B. and C.Y. Cho (Eds.). *Nutritional Strategies and Management of Aquaculture Waste*. pp. 137-154. Fish Nutrition Research Lab., Ontario, Canada.
- 배승철 · 노용길, “21C 바라보는 국내 · 외 양식산업의 현황과 발전방향 (상 & 하)”, 월간 [수산양식], 통권 제112 & 113호, pp. , 1999. 1 & 2. (한국수산신보사).