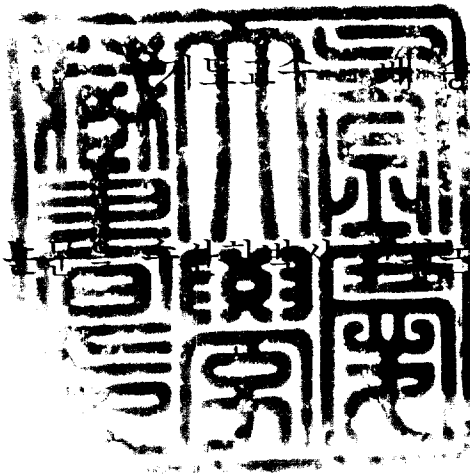


수산학박사 학위논문

넙치 성장단계별 EP사료내
적정지질 함량 및 사료공급량



박홍식

이 논문을 제출함.

2006년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

박 홍 식

박흥식의 수산학박사 학위논문을 인준함

2006년 2월 일

주 심 이 학 박 사

조 재 윤



부 심 수산학 박 사

강 용 진



위 원 이 학 박 사

정 관 식



위 원 수산학 박 사

이 중 연



위 원 영양학 박사

배 승 철



목 차

Abstract	v
List of tables	viii
List of figures	xi
제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구 배경	1
제 2 절 연구의 필요성	8
제 2 장 재료 및 방법	11
제 1 절 녀치 성장 단계별 E.P 배합사료내 적정 지질 함량 평가 실험	11
1. 치어기의 적정 지질함량 설정	11
1) 실험사료 설계	11
2) 실험어 사육관리	11
3) 어체측정	12
4) 성분분석	13
5) 통계처리	14
2. 육성기의 적정 지질함량 설정	18
1) 실험사료 설계	18
2) 실험어 사육관리	18
3) 어체측정	18
4) 성분분석	19
6) 통계처리	19
3. 성어기의 적정 지질함량 설정	20
1) 실험사료 설계	20
2) 실험어 사육관리	20

3) 어체측정	20
4) 성분분석	21
5) 통계분석	21

제 2 절 녀치 성장 단계별 E.P 배합사료의 적정 사료 공급량

평가 실험	22
1. 치어기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정	22
1) 실험사료 설계	22
2) 실험어 사육관리	22
3) 어체측정	23
4) 성분분석	23
5) 통계처리	23
2. 육성기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정	24
1) 실험사료 설계	24
2) 실험어 사육관리	24
3) 어체측정	25
4) 성분분석	25
5) 통계처리	25
3. 성어기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정	26
1) 실험사료 설계	26
2) 실험어 사육관리	26
3) 어체측정	27
4) 성분분석	27
5) 통계처리	27

제 3 절 녀치의 장기간 현장적용 비교 사육실험

1) 실험사료 설계	28
2) 실험어 사육관리	28
3) 어체측정	29

4) 성분분석	29
5) 통계처리	32
제 3 장 결 과	35
제 1 절 낚치 성장 단계별 E.P 배합사료내 적정 지질 함량 평가 실험	35
1. 치어기의 적정 지질함량 설정	35
1) 사육실험 결과	35
2) 전어체 성분	39
3) 등근육내 구성아미노산 조성	40
4) 혈액 및 혈청성분	42
2. 육성기의 적정 지질함량 설정	44
1) 사육실험 결과	44
2) 전어체 성분	47
3) 등근육내 구성아미노산 조성	48
4) 혈액 및 혈청성분	50
3. 성어기의 적정 지질함량 설정	52
1) 사육실험 결과	52
2) 전어체 성분	55
3) 등근육내 구성아미노산 조성	56
4) 혈액 및 혈청성분	58
제 2 절 낚치 성장 단계별 E.P 배합사료의 적정 사료 공급량 평가 실험	60
1. 치어기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정	60
1) 사육실험 결과	60
2) 전어체 성분	64
2. 육성기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정	65
1) 사육실험 결과	65

2) 전어체 성분	69
3. 성어기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정	70
1) 사육실험 결과	70
2) 전어체 성분	73
제 3 절 넙치의 장기간 현장적용 비교 사육실험	74
1) 사육실험 결과	74
2) 전어체 성분	78
3) 혈액 및 혈청성분	81
4) 육질 기호도 평가	82
제 4 장 고찰 및 결론	87
제 1 절 넙치 성장 단계별 E.P 배합사료내 적정 지질 함량 평가 실험	87
제 2 절 넙치 성장 단계별 E.P 배합사료의 적정 사료 공급량 평가 실험	89
제 3 절 넙치의 장기간 현장적용 비교 사육실험	91
제 5 장 요약	96
제 6 장 감사의 글	97
제 7 장 참고문헌	99

Evaluation of the optimum dietary lipid levels and feeding rates of extruded pellets in the different growth stages of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*

Hung Sik Park

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

ABSTRACT

Series of experiments were conducted to evaluate the optimum dietary lipid levels and feeding rates of extruded pellets (EP), and to develop EP for the different growth stages of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Based on the previous researches of olive flounder, firstly, these experiments were conducted in the different growth stages of olive flounder : juvenile(less than 80g), growing(160~320g) and adult(more than 320g) stage by the initial fish weight. Two series of experiments were conducted to define (I) the optimum dietary lipid levels of EP in juvenile, growing and adult of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. (II) the optimum feeding rates of EP in juvenile, growing and adult of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Finally one farm size practical feeding experiment was conducted (III) to evaluate developed EP, and to develop practical EP formulation in the commercial fish farm.

1. The optimum dietary lipid levels of EP in the different growth stages of olive flounder

Experiments were conducted to determine the optimum dietary lipid level in juvenile, growing and adult of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Five isonitrogenous EP diets (52% crude protein) with increasing dietary lipids (6, 8, 10, 12 and 14% DM) were fed to satiety to triplicate groups of the juveniles ($18.4 \pm 0.11\text{g}$), growings ($84.8 \pm 0.27\text{g}$), adults ($408 \pm 3.22\text{g}$) twice a day for 6 weeks. The optimum dietary lipid levels were affected by the different growth stages. From results of these experiments broken line analysis of weight gain (WG) indicated that the optimum dietary lipid level could be 9.08, 10.1 and 10.1% for the maximum WG in juvenile, growing and adult olive flounder, respectively.

2. The optimum feeding rates of EP in the different growth stages of olive flounder

Experiments were conducted to determine the optimum feeding rate in juvenile, growing and adult of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. The feed intake of triplicate groups of juveniles ($13.4 \pm 0.15\text{g}$), growings ($75.7 \pm 1.24\text{g}$), adults ($510 \pm 3.43\text{g}$) were restricted to four different feeding rates for each growing stage ; juveniles(2.0, 2.5, 3.0, and 3.5%), growings (1.0, 1.3, 1.6 and 1.9%), adults(0.5, 0.7, 0.9 and 1.1%) of their body weight day⁻¹ respectively. WG and feed efficiency (FE) of fish were affected by the feeding rates. From result of these series of experiments broken line analysis of WG and FE indicated that the optimum dietary feeding rates could be 3.50, 1.87 and 1.10% of their body weight for optimum WG and

FE in juvenile, growing and adult olive flounder, respectively.

3. Practical farm feeding trial from juvenile to market size of olive flounder

This experiment was conducted to develop practical EP formulation and to evaluate experimental EP by comparison with commercial EP, and moist pellet (MP) in the commercial fish farm for one year from juvenile to market size of olive flounder. Duplicate groups of 2,600 fish averaging $30.1 \pm 0.2\text{g}$ (mean $\pm$ SD) were distributed to $6.0 \times 6.0 \times 0.8\text{m}^3$ tanks. One year practical feeding trial, WG, whole body analyses and palatability of flesh were not significantly different among the experimental diets including MP and commercial EP. These results indicated the experimental EP could be replaced MP without affecting growth, feed efficiency and normal health condition in olive flounder.

In conclusion, these results suggested that the developed experimental E.P containing the optimum dietary lipid levels could replace M.P without affecting growth feed efficiency and normal health condition in juvenile(less than 80g), growing(160 ~ 320g) and adult(more than 320g) stage of olive flounder fed E.P at the optimum feeding rates.

List of Tables

Table 1. Production of fish feeds in Korea (metric ton)	6
Table 2. Composition, proximate analysis, energy and protein to energy ratio of the experimental diets for olive flounder	15
Table 3. Amino acid composition of the experimental diets for olive flounder(%, dry matter basis)	16
Table 4. Fatty acid composition of the experimental diets for olive flounder(%, dry matter basis)	17
Table 5. Ingredients and nutrient contents of experimental diets	33
Table 6. Fatty acid composition of the experimental diets for olive flounder(%, dry matter basis)	34
Table 7. Growth performance of juvenile olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks	37
Table 8. Proximate composition of whole body of juvenile olive flounder	39
Table 9. Amino acid composition of dorsal muscle of juvenile olive flounder(%, dry matter basis)	41
Table 10. Serological characteristics of juvenile olive flounder fed five different experimental diets for 6 weeks	43
Table 11. Growth performance of growing olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks	45
Table 12. Proximate composition of whole body of growing olive flounder	47
Table 13. Amino acid composition of dorsal muscle of growing olive flounder(%, dry matter basis)	49
Table 14. Serological characteristics of growing olive flounder fed five different experimental diets for 6 weeks	51

Table 15. Growth performance of adult olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks	53
Table 16. Proximate composition of whole body of adult olive flounder	55
Table 17. Amino acid composition of dorsal muscle of adult olive flounder(% , dry matter basis)	57
Table 18. Serological characteristics of adult olive flounder fed five different experimental diets for 6 weeks	59
Table 19. Growth performance of juvenile olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks	61
Table 20. Proximate composition of whole body of juvenile olive flounder	64
Table 21. Growth performance of growing olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks	66
Table 22. Proximate composition of whole body of growing olive flounder	69
Table 23. Growth performance of adult olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks	71
Table 24. Proximate composition of whole body of adult olive flounder	73
Table 25. Effects of olive flounder fed the extruded pellets and moist pellet for 13 months	76
Table 26. Weight gain of olive flounder fed the extruded pellets and moist pellet for two months	77
Table 27. Temperature change of water in tanks a month	77
Table 28. Proximate composition (%) of dorsal muscle and liver of olive flounder fed EP diets and MP diet for 13 months	79
Table 29. Proximate composition (%) of whole body of olive flounder fed	

EP diets and MP diet for 13 months	79
Table 30. Amino acid contents of the dorsal muscle of olive flounder fed EP diets and MP diet for 13 months ¹ (units: %)	80
Table 31. Serological characteristics of olive flounder fed EP diets and MP diet for 13 months	81
Table 32. Free Amino acid contents of the dorsal muscle of olive flounder fed EP diets and MP diet for 13 months ¹ (%)	84
Table 33. Nucleotides and their related compounds of olive flounder fed EP diets and MP diet for 13 months ¹ (mg/g)	85
Table 34. Sensory scores of olive flounder fed EP diets and MP diet for 13 months	85
Table 35. Physical properties of olive flounder fed EP diets and MP diet for 13 months	86

List of Figures

Fig. 1. Production of olive flounder in Korea, Japan & Chile	5
Fig. 2. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in juvenile olive flounder	38
Fig. 3. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in growing olive flounder	46
Fig. 4. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in adult olive flounder	54
Fig. 5. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in juvenile olive flounder	62
Fig. 6. Broken line analysis of feed efficiency (FE, %) based on the dietary lipid levels in juvenile olive flounder	63
Fig. 7. Broken line analysis of weight gain (WG, %)based on the dietary lipid levels in growing olive flounder	67
Fig. 8. Broken line analysis of feed efficiency (FE, %) based on the dietary lipid levels in growing olive flounder	68
Fig. 9. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in adult olive flounder	72

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

이미 2000년에 60억을 넘어선 세계 인구는 2050년에 90억 이상으로 인구가 증가될 것으로 예측되고 있으며, 이에 따른 세계의 식량난이 21세기에 불어닥칠 것으로 예상 되고 있다(Brown, 1997). 인류의 가장 중요한 단백질 식량 자원은 농·축산업과 수산업 분야에서 생산되어 왔으나, 현재 농·축산업에 의한 식량자원의 증가는 기술개발 및 토지이용의 제한 등으로 인해 정체상태에 있기 때문에 인구 증가와 환경문제 등을 고려할 때 계속해서 증가하는 인류의 단백질 수요를 앞으로 많은 부분 수산업에서 충당해야 할 것으로 보인다. FAO(2004)의 통계에 의하면 2001년에 식량자원의 공급은 육상가축동물이 232백만 톤, 해조류를 제외한 수산 어패류가 38백만 톤, 치즈 등의 기타 74백만 톤으로 전체 344백만 톤이 공급되고 있으며, 이중 수산물의 비중은 현재 약 11%를 차지하고 있다.

2002년 세계 수산물 생산량은 어업에서 94.6백만 톤, 양식에서 51.4백만 톤이 생산되었다. 어업생산량은 지난 10년 동안 86~94백만 톤으로 2000년 이후에 더 이상의 증가가 나타나지 않은 반면에, 양식생산량은 1992년 21.2 백만 톤에 비해 지난 10년 동안 약 250%의 증가를 보이고 있다(FAO, 2004). 어업생산량의 정체 또는 감소 현상은 환경오염과 어자원의 남획에 따른 것이기 때문에 현 수준 이상의 증가는 기대하기 어려운 실정이다. 그러나 양식생산량의 증가는 국가별 소득수준의 향상에 따라 저지방 고단백 건강 수산식품에 대한 수요의 증가와 생산성 향상의 기술에 따라 매년 급증하고 있는 추세이다. 세계적으로 1인당 1년 동안 수산식품의 소비량은 1992년에 13.5kg였지만, 2002년에 16.0kg으로 지난 10년간 약 19% 증가하였으며, 2010년에는 18.4kg

으로 증가할 것으로 예상된다(FAO, 2004). New (1997)는 1992년 수산식품의 소비수준인 13.5kg/1명/1년을 기준으로 하여 인구증가에 따른 양식에서 공급해야 할 수산식품량을 2025년에 52 백만 톤으로 예상하였는데, 2002년에 이미 넘어섰으며 2015년 경에는 양식생산량이 1억 톤 이상 될 것으로 추정되며, 이 수치는 어업에 의한 수산식품 생산량의 두 배에 달한다.

최근 양식기술의 비약적인 발전으로 어류양식이 차지하는 비율은 매우 빠른 증가 추세를 보이는 반면에 사료영양연구의 미비로 인하여 양식가들이 선호하는 배합사료 개발이 미진한 상태이다. 또한, 배합사료 개발 시 그 어종에 적합한가를 충분한 검토 없이 개발되는 경우가 많아 영양성분의 불균형으로 어류의 성장 및 사료효율 측면에서 습사료(생사료를 기초로 한 사료, moist pellet)에 비해 크게 개선되어 있지 않거나 가격면에서도 비싸기 때문에 양식 사양가들로부터 외면 당하고 있는 실정이다. 주로 이용되는 습사료는 사료 유실에 의한 수질환경 오염, 영양소 불균형에서 유래되는 질병, 자원 감소로 인한 사료공급 불안정 등의 문제점을 초래할 수 있다. 더욱이 습사료 형태로 써는 어류육성에 중요한 사양관리 표준화(성장에 따르는 사료공급량 표준 등)를 체계적으로 작성하는데 제약이 많기 현재 약 700여 개의 전국 양식장에서는 각 양식장마다 사양관리를 하고 있는 실정으로 700여 개의 사양관리 표준화가 존재한다고 해도 과언은 아니다. 외국의 예를 들면, 노르웨이의 연어, 미국의 차넬메기 및 하와이의 마히마히 등과 같이 전략 어종들을 선택하여 그 어종에 적합하고 경제성 있는 실용 배합사료의 개발이 성장기별, 어종별로 표준 양식을 할 수 있도록 다년간의 사료영양연구가 먼저 이루어지면서 대량 생산을 이루고 전세계의 소비시장을 상대로 양식업을 이루어 나가고 있다. 우리나라 역시 선진국들의 기술적인 측면을 고려하여 양식산업 체계적인 사양관리 표준화기술을 확립한다면 앞으로 더욱 많은 어류양식 생산에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 어류양식산업에 발맞춰 실용적인 배합사료

를 개발하는 것은 성장, 사료효율 및 생존율의 향상으로 양식의 생산성 향상 및 소득 증대할 뿐만 아니라 양식경영비의 절반 이상 되는 사료비의 절감을 가져올 것이며, 저렴한 사료가격, 우수한 성장 및 수질 오염률 경감을 동시에 할 수 있는 배합사료 조성 및 제조기술을 산업화 및 상품화로 추진할 수 있을 것이다. 또한, 실용적인 배합사료 제작은 양식경영비의 절감과 양식산업의 안정적인 발전을 도모함으로써 경제적 파급 효과가 커 산업 경제적인 측면에서도 상당히 중요한 연구라 생각한다.

현재, 세계적으로 고가의 고급 해산양식 어종으로 알려진 넙치는 FAO(2004)의 자료에 의하면 우리나라가 연간 2~3만 톤 이라는 양적 생산의 최선두에 있으며(Fig. 1), 올해의 경우 양식인들의 의견을 들어보면 약 5~6만 여톤에 이르는 것으로 알려져 있다. 이와 같이 해산어류 양식이 차지하는 비율은 매우 빠른 증가 추세를 보이는 반면에 사료영양연구의 미비로 인하여 양어가들이 선호하는 배합사료 개발이 미진한 상태이다. 배합사료가 개발되었더라도 그 어종에 적합한가를 충분한 검토 없이 개발되는 경우가 많아 영양성분의 불균형으로 어류의 성장 및 사료효율 측면에서 습사료에 비해 크게 개선되어 있지 않거나 가격면에서도 비싸기 때문에 양식 사양가로부터 외면당하고 있는 실정이다. 아울러, 시대적인 흐름으로 인하여 양어사료의 비율이 점차적으로 증진할 것으로 보이며(New, 1999), 특히 해산어 사료의 경우 생사료의 수급 불안정과 가격 폭등, 습사료 사용 시 수반되는 냉동 창고 운영, 습사료 제조 설비, 전기료 및 인건비의 비중이 높아 배합사료로의 전환이 점진적으로 이루어지고 있다. 만일, 습사료 사용량의 전부를 배합사료로 전환된다고 가정하면 배합사료는 해수어용 사료만 200,000톤 이상을 상회할 전망으로 배합사료의 성장과 증가 역시 고무적인 상황으로 여겨진다. 또한, 우리나라의 상업적으로 넙치용 배합사료를 생산하는 회사는 90년대 중반부터 생겨나기 시작하여 현재 6~8개 정도의 회사에서 넙치 치어기부터 육성기 전 단계

의 배합사료를 생산하며 판매하고 있으며, 그 생산량은 연간 1만2천 톤으로 국내 양어사료 생산량의 약 10%를 차지하고 있다(Table 1). 우리나라에서 해산어 양식에 사용되고 있는 배합사료와 습사료의 총 사용량이 2004년 총 47만 톤으로 증가되고 있으나, 아직까지 양어가들의 배합사료에 대한 불신으로 인해 양식현장에서는 넙치의 육성용 먹이로 고등어, 까나리, 전갱이 등 냉동 형태의 잡어를 3~5% 분말사료와 기타 첨가제를 혼합하여 습사료로 형태로 주로 사용하는 실정이며, 그 사용량이 전체 사료 사용량의 약 80%에 이르고 있다(Kim, 2005). 습사료는 성장도에 비하여 가공, 유통 및 보관 등에 많은 문제점들이 잠재되어 있을 뿐 아니라 사료 유실로 발생하는 수질오염은 심각한 환경적 문제를 유발시킬 수 있으므로 지속적으로 공급할 경우, 많은 불이익을 초래할 수 있다. 반면, 익스트루딩 사료(Extruded pellet, EP)는 습사료의 문제점을 보완함과 동시에 전분을 α -화시켜 사료의 소화율을 높일 수 있기 때문에 지속적인 양식생산량의 증대를 위해서는 그 어종에 적합한 경제적이고 환경친화적인 실용 배합사료 개발 및 공급이 시급한 실정이다. 그렇지만, 사료의 질적 개선보다는 사료의 가격을 낮추기 위한 저급 사료원들의 이용 등 질적 저하로 인해 현재 양어가들은 많은 불신을 하고 있는 것이 현실이다.

지난 10여년 동안 넙치를 대상으로 단백질요구량(Kikuchi et al, 1992; Bai et al., 2001; Kim et al., 2002c; Lee et al., 2002), 아미노산 요구량(Forster and Ogata, 1998; Takeuchi, 1998; Alam et al., 2000; Alam et al., 2002), 단백질과 에너지 비(Sato, 1998; Kim et al., 2004e), 지방산 요구량(Takeuchi, 1997, Takecuchi, 1998), 비타민 요구량(Wang et al., 2002; Bai et al., 2003,

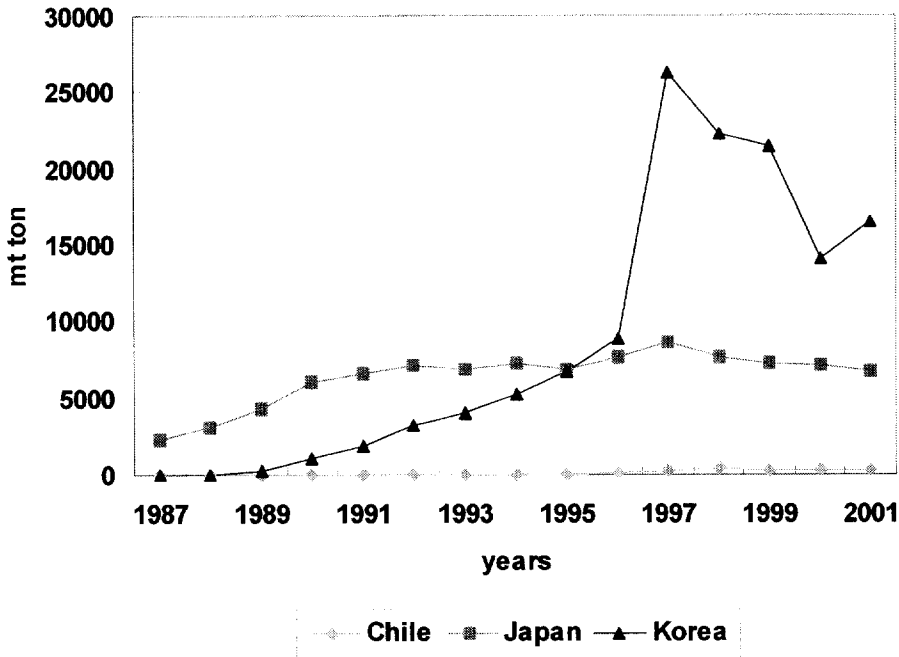


Fig. 1. Production of olive flounder (FAO, 2004).

Cui, 2003), 탄수화물의 이용성 (Yamamoto and Akiyama, 1995; Kikuchi et al., 1998; Lee et al., 2003), 지질원의 이용성(Kanazawa, 1993; Takeuchi, 1998; Kim et al., 2002a), 어분 대체 단백질에 관한 연구(Kikuchi et al., 1993; Kikuchi et al., 1994a; Kikuchi et al., 1994b; Sato and Kikuchi, 1997; Kikuchi and Sakaguchi, 1997; Kikuchi et al., 1999a, Kikuchi et al., 1999b; Choi et al., 2004b), 사료 섭취 촉진 및 면역증강을 위한 첨가제에 관한 연구 (Kim et al., 1998; Kim et al., 2002b; Kim et al., 2002d; Han, 2003; Choi et al., 2004a) 등과 많은 연구들이 이루어졌다. 하지만, 이러한 실험들이 모두 펠렛형태의 실험사료를 이용하였기때문에 사료회사에서 생산되는 EP 제작시 이전 연구결과를 직접 적용하기에는 많은 제한이 있었다. 특히, 익스투루전을 이용한 사료가공시에 물성, 영양소 소화율 등의 변화는 큰 요인이라고 할 수

있다. 또한, 사료내 단백질함량, 지질함량, 에너지함량과 이러한 요소들의 연관성은 사료경비와 직결되는 부분이므로 매우 중요하다. 아마도 이러한 원인으로 인해 실제 사료회사의 제품향상 및 비용절감이 이루어지지 못한 것으로 생각된다.

어류양식에 있어 사료공급체계는 사료효율 및 어류성장에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요소이다(Tsvis et al., 1992; Azzaydi et al., 2000). 사료공급체계 중에서 사육시기별 적정공급량은 성장과 사료효율을 향상시킬 뿐만 아니라 양식생산경비 및 수질오염의 감소 효과를 나타낼 수 있다(Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). 이러한 사료공급량은 사육시기, 사료의 형태, 사료의 종류 등에 따라 달라지며, 특히 사료내 영양소 중에서 단백질함량, 지질함량, 에너지함량 등에 따라 크게 달라진다.

Table 1. Production of fish feeds in Korea (metric ton)¹

Aquatic feeds\years		2001	2002	2003	2004
Marine fish	Flounder	16,364	23,993	19,524	16,876
	Korean rockfish	19,092	28,606	20,994	16,113
	Shrimp	11,527	14,083	9,479	9,227
	Others	18,568	12,941	8,488	22,232
	Subtotal	65,551	79,623	58,485	64,448
Fresh water fish	Catfish	12,289	16,081	19,294	13,625
	Loach	9,662	8,840	7,258	8,664
	Ell	10,027	10,146	7,496	5,455
	Trout	7,094	7,336	7,916	6,954
	Common carp	2,316	3,544	5,415	1,169
	Tilapia	763	1,196	1,239	649
	Subtotal	42,151	47,143	48,618	36,516
Total		107,702	126,766	107,103	100,964

¹ Korea feed association

따라서, 념치영양연구를 EP 사료의 형태로 실험을 한다면 산업적인 측면, 환경적인 측면에서 사료의 품질을 향상시키고 개발을 앞당기는데 중요한 요소가 될 것으로 사료되며, 특히 단백질함량, 지질함량, 에너지함량 등에 관련된 연구들이 선행되어야 될 것으로 판단된다.

2. 연구의 필요성

에너지는 생명체의 생존에 가장 기본적으로 요구되므로 양어사료를 배합하는데 있어 우선적으로 고려해야 할 것이 사료내 에너지 함량이다. 그러나, 실제적으로 단백질은 가장 비싼 에너지원이고 성장에 필수적인 영양소이기 때문에 적절한 단백질의 함량이 먼저 고려의 대상이 되며, 결과적으로 단백질과 에너지의 균형에 초점을 맞추게 된다(Kaushik, 1994). 이런 점에서 어류의 에너지 요구량은 단백질/에너지 비(protein to energy ratio, P/E ratio)로써 나타내는데, 사료의 에너지가 단백질함량에 비하여 너무 적거나 또는 많아도 사육어의 성장에 지장을 줄 수 있으므로 단백질/에너지 비는 항상 균형을 이루어야 한다(Wilson, 1977; Cho and Kaushik, 1990). 어류의 적정 단백질/에너지 비는 대체로 81~113 mg/kcal 범위인데, 이것은 돼지나 가금의 40~80 mg/kcal (NRC, 1993)에 비해 현저히 높은 값을 알 수 있다. 이와 같이, 어류의 단백질/에너지 비가 육상 가축보다 높은 이유는 어류가 높은 단백질 요구량을 갖고 있기 때문이 아니라 어류가 육상가축에 비해 몸의 균형 유지 및 질소대사에 에너지를 적게 소모하기 때문에 근본적으로 에너지 요구량이 적는데 있다(Smith, 1989; NRC, 1993). 즉, 단백질함량에 비해 에너지가 부족한 사료를 먹이면 사육어는 유지에 필요한 에너지를 충당하기 위해 단백질을 분해하여 에너지원으로 사용하므로 단백질 효율이 낮아지고 성장도 저하시킬 (Garling and Wilson, 1976; McGoogan and Gatlin III, 1999) 뿐만 아니라 암모니아 생성으로 인한 과도한 질소 배설을 초래한다(Walton and Cowey, 1977). 이와 반대로 에너지 함량이 너무 많으면 사육어의 사료 섭취량이 적어지고, 이에 따라 다른 필수 영양소를 충분히 공급받을 수 없게 되므로 성장이 저하된다. 뿐만 아니라, 사료의 에너지 함량이 지나치게 높을 때에는 어체내 지방이 과도하게 축적되어 식품으로서의 가치가 떨어진다고(Mcgoogan and Gatlin III, 1999). 이와 같이, 어류는 에너지원으로써 지질과 탄수화물에 비해

단백질을 우선적으로 이용함으로써 에너지원의 목적보다는 조직 합성을 위한 단백질 이용을 증진시키는 측면이 영양적, 환경적 및 경제적인 관점에서 중요하다(Mcgoogan and Gatlin III, 1999). Sato(1998)는 치어기 넙치에 있어서 P/E ratio의 적정비율은 116 mg protein/kcal로 보고하였으며, Kim et al.(2004)은 펠렛사료내 단백질 함량이 45%, 에너지 함량이 4000 kcal/kg 들어 있을 경우, 적정 P/E ratio는 115mg protein/kcal 이라고 보고하였다.

지질은 사료의 에너지원으로 단백질이나 탄수화물보다 에너지가가 높아 값 비싼 사료단백질을 절약할 수 있는 중요한 에너지원일 뿐 아니라, 지용성 비타민의 전달체 역할을 하는 중요한 영양소이다. 또한 체내에서 지질과 지방산은 지용성 비타민의 흡수, 세포막 형성, 지방성 호르몬과 담즙 형성 및 체내 에너지 축적 등에 중요한 역할을 한다. 특히, 지질은 필수 지방산의 공급원으로 양식 대상종의 성장과 체내대사에 필수적인 역할을 하는 중요한 영양소이다. 그리고 고도불포화지방산은 생체막의 유동성 및 효소활성에 영향을 미치며 (Stubbs and Smith, 1984; Swanson et al., 1989), prostaglandin의 전구물질 (Kaley et al., 1985; Broughton et al., 1991)등 그 역할이 매우 중요한 것으로 알려져 있다. 또한, 사료내 지질수준을 증가시켜 단백질을 대체함으로써 생산단가를 낮추고 질소배출을 감소시켜 환경오염에도 도움이 된다(Cho and Kaushik, 1990). 연어과 어류에서 사료내 지질을 30%까지 첨가하여 단백질 효율을 증대시키고 질소 등의 오염물질이 감소한다는 보고가 있다 (Johnsen and Wandsvik, 1990). 넙치 치어에 있어서 사료내 지질 함량은 10% 미만이 적당한 결과가 보고되고 있지만(Kim et al., 2002a), 유사한 어종인 winter flounder (Hebb et al., 2003)와 turbot(Regost et al., 2001)의 경우 지질을 15% 이상 함유하여도 성장에 별 문제가 없다는 결과가 있다. 하지만, 지질이 과잉 함유되었을 경우 넙치에서 혈액내 트리글리세라이드, 간과 근육내 지질의 함량이 증가하며 건강도에 문제가 발생한다(Sato, 1998). 이러한 문

제를 해결하고 지질의 이용성을 증대시키기 위한 연구들이 이루어지고 있는데, 어유형태의 지질에 레시틴을 추가하여 인지질의 형태로 공급할 경우 넙치의 성장이 증대 된다는 보고가 있다(Kanazawa, 1993).

사료공급량은 성장, 사료비용, 환경오염과 직접적인 관련성을 가지고 있다(Cho et al., 1994). 만약 사료가 과잉 공급되었을 경우 사료비용의 증가와 사료의 유실로 인해 수질오염이 발생할 우려가 있으며, 반대로 사료공급이 부족할 경우에는 양식어의 성장저하를 초래할 수 있다(Tsvis et al., 1992; Azzaydi et al., 2000). 이러한 사료공급량은 사육시기, 사료의 영양조성, 사료의 형태, 사료의 종류 등에 따라 달라 질수 있으며, 특히 사육공급량은 사료 내 지질함량은 주된 요인이라고 할 수 있다(Maria and Kissil, 1979; Munsiri and Lovell, 1993).

하지만, 위의 내용과 관계하여 넙치 배합사료를 개발하기 위한 실험들은 대부분 실험실 규모의 펠렛형태의 실험으로 산업화로 바로 적용시키기에는 부적합한 측면이 있었으며, 이러한 문제점을 해결하고 넙치 배합사료의 산업화를 활성화시키기 위해서는 EP 제조된 실험사료를 현장양식장에서 적용하는 것이 무엇보다 우선되어야 될 것으로 사료된다.

그러므로, 본 연구에서는 먼저 넙치를 치어기(80g 이하), 육성어기(80~320g 이하), 성어기(320g 이상)로 성장단계를 구분하고, 사료회사에서 직접 엑스트루더를 이용하여 실험용 EP 사료를 지질수준별로(6, 8, 10, 12, 14%) 제작하여 1차적으로 성장단계별 사료내 적정지질함량을 구명하고자 한다. 그리고 1차 실험결과로 얻은 적정지질함량의 EP 사료를 이용하여 성장단계별 적정 사료공급량을 구명하고자 한다. 마지막으로, 위의 결과를 바탕으로 성장단계별 EP 사료를 제작하여 현장 양식장에 적용함으로써 넙치 실용배합사료 개발을 위한 자료를 제공하고 앞으로 넙치 배합사료의 산업화를 앞당기는데 그 목적이 있다.

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 넙치 성장 단계별 E.P 배합사료내 적정 지질 함량 평가 실험

1. 치어기의 적정지질 함량 설정

1) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료의 조성과 일반성분은 Table 2에 나타내었다. 실험사료는 넙치 영양요구(Choi, 2004)를 고려하여 설계하였으며, 단백질원으로는 전갱이어분(jack mackerel meal), 오징어분(squid meal), 크릴새우(krill meal), 소맥(콘)글루텐(wheat;corn gluten), 탈피대두박(dehulled soybean meal)을 사용하였고, 지질원으로 명태간유(pollock liver oil)를 그리고 탄수화물원으로 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 실험사료는 명태간유(pollock liver oil)와 밀가루(wheat meal)를 제외한 모든 사료원이 동일하게 함유되었으며, 넙치 치어의 적정지질 수준을 평가하기 위해 지질공급원으로 명태간유(pollock liver oil)를 사용하여 실험사료내 총지질 함량을 6, 8, 10, 12, 14%가 되도록 설계 하였다. 이때 실제 분석치는 각각 5.93, 8.02, 10.1, 12.2, 14.3%로 나타났다. 모든 실험사료는 수협사료 의령 공장에서 원료를 혼합한 후 미분쇄기를(Pulverlizer ; U.S.A Jacobson 社) 이용 800 μ m 입자로 분쇄한 후 익스트루더를(extruder) 이용하여(Swiss Buhler 社의 twin screw type) 압출·성형하였으며, 이때 밀도는 405(g/cm³), 물 첨가량은 21.5%, 스팀량은 5.2%, 컨디셔너 온도는 95℃, 성형기(cuter end-plate)의 온도는 121℃, 건조는 95℃~101℃ 조건에서 55분간 건조하였으며, 어유 첨가는 외부 첨가방식(external type)으로 각 시험사료에 적정량을 코팅처리 하였고, 사료크기는 직

경 3.5~4.5mm로 제작되었다. 모든 실험사료는 포장하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

2) 실험어 사육관리

넙치 치어의 실험어는 경상북도 포항에서 국립수산물과학원 양식사료 연구센터 사육실로 운반하여 3000 ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비사육 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 조단백질 56.5%(건물기준), 조지방 13.04%(건물기준), 가용에너지는 17.4KJ/g (protein, carbohydrate and lipid : 16.7, 16.7, 37.7)/g)으로(Lee and Putnam, 1973; Garling and Wilson, 1977) 조성된 시판 상업용 3.5mm 입자 크기인 E.P 사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균무게 18.4 ± 0.11 g (mean $\pm$ SD)인 넙치 치어를 300 ℓ 사각수조에 각각 30마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였으며, 사육수는 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험 시작시에 5 ℓ/min 되도록 하였으며, 성장함에 따라 6 ℓ/min로 조절하였다. 각 수조 당 충분한 산소 공급을 보충하기 위해 에어 스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 21~25℃로 전 실험기간 동안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 32.5~34.0‰이었고, 용존산소(DO)는 6.3~6.7 mg/ℓ의 범위였다. 일일 사료공급량은 전 실험기간 동안 반복으로 1일 2회(오전 10시, 오후 4시) 공급하였으며, 주 사육실험기간은 6주간 실시하였다.

3) 어체측정

어체 측정은 3주 간격으로 실시하였으며, 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS-222 (100ppm)로 마취시켜 전체무게를 측정하였다. 실험 종료 후, 증중율(percent weight gain, WG), 일간성장률(specific growth rate,

SGR), 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER), 사료효율(feed efficiency, FE), 간중량지수(hepatosomatic index, HSI), 비만도(condition factor, CF) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 간중량지수를 위해 각 수조별로 3마리씩 총 45마리의 간 무게를 측정하였다. 상기 측정 항목들의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Weight gain (\%)} = (\text{final weight} - \text{initial weight}) \times 100 / \text{initial weight}$$

$$\text{Feed efficiency (\%)} = (\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$$

$$\text{Specific growth rate (\%/day)} = (\log_e \text{ final weight} - \log_e \text{ initial weight}) / \text{days}$$

$$\text{Protein efficiency ratio} = (\text{wet weight gain} / \text{protein intake})$$

$$\text{Hepatosomatic index} = (\text{liver weight} / \text{body weight}) \times 100$$

$$\text{Condition factor} = [\text{fish weight (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$$

4) 성분분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전 어체를 분석하였으며, AOAC(Association of Official Analytical Chemists, 2000)방법에 따라 수분은 강제 순환식 건조기(CeraX, Korea)를 이용하여 상압가열건조법(135 ℃, 2시간), 조단백질은 단백질분석기(Tecator kjeltec 1030 analyzer, Sweden)를 이용하여 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 회화로(Yj-8500D, Korea)를 이용하여 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, soxtec system 1046(Tecator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다. 사료의 지방산은 GC(Gas Chromatography, Thermo finnigan trace GC, USA)를 이용하여 분석하였으며, 아미노산은 아미노산 전용 분석기(Sykam amino acid analyer S433, Germany)를 이용하여 Ninhydrin방법으로 분석하였다.

실험종료 후, 증중을 조사와 함께 혈액성분 분석을 위하여 실험어를 채혈하기 전까지 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 3마리씩 무작위로 추출한 후 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈하고 micro-hematocrit 방법(Brown, 1980)에 의해 헤마토크리트(hematocrit, PCV)를 측정하였으며, 동시에 Drabkin's 용액을 사용하여 cyan-methemoglobin 방법(Sigma Chemical, St. Louis MO; total hemoglobin procedure No. 525)으로 헤모글로빈(hemoglobin, Hb)을 측정하였다.

등근육의 구성아미노산 분석은 동결 건조된 등근육 20mg을 test tube에 넣고 6N HCl 15ml를 가하여 밀봉한 후 110℃에서 24시간 가수분해하였다. 이 분해액을 여과한 후 감압 건조하여 HCl을 완전히 제거한 다음, sodium dilution buffer(pH 2.2)로 25ml 되게 정량한 후 이 용액을 일정량 취하여 아미노산 자동분석기 S433(Sykam, Germany)를 이용하여 ninhydrin 방법으로 분석하였다. 분석조건은 다음과 같다: Column size: 4mm×150mm, Absorbance: 570nm and 440nm, Reagent flow rate: 0.25ml/min, Buffer flow rate: 0.45ml/min, Reactor temperature: 120℃, Reactor Size: 15m, Analysis time: 65min.

5) 통계처리

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1(Analytical Software, St. Paul MN. USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다. 그리고, 적정지질 함량은 증체량을 지표로 broken-line model (Robbins et al., 1979)을 이용하여 측정하였다(SAS procedure NLIN, 2002).

Table 2. Composition, proximate analysis, energy and protein to energy ratio of the experimental diets for olive flounder

Ingredients	Diets (%) ¹				
	L6	L8	L10	L12	L14
Jack mackerel fish meal ²	57.00	57.00	57.00	57.00	57.00
Wheat-Corn gluten meal ²	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Squid meal	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Krill meal	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Kelp meal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dehulled soybean meal ²	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Wheat flour ²	23.2	21.0	19.0	16.9	14.9
Pollock liver oil ²	-	2.20	4.20	6.30	8.30
Vitamin mixture ²	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Mineral mixture ²	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Lecithin ²	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Attractant ²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100	100	100	100	100
Proximate analysis (% , dry matter basis)					
Moisture	7.82	7.74	7.70	7.63	7.61
Crude protein	52.3	51.9	51.7	51.3	51.1
Crude fat	5.93	8.02	10.1	12.2	14.3
Crude ash	12.0	12.0	11.8	11.9	11.8
Energy & Protein to Energy ratio					
Energy (kcal)	4517	4622	4774	4921	5064
Protein/Energy(mg protein/kcal)	116	112	108	104	101

¹L6, Dietary lipid level 6%; L8, Dietary lipid level 8%; L10, Dietary lipid level 10%; L12, Dietary lipid level 12%; L6, Dietary lipid level 14%.

²Suhyup feeds Co., Ltd., Uiryeong, Korea.

Table 3. Amino acid composition of the experimental diets for olive flounder(% , dry matter basis)

Amino acids	Diets ¹				
	L6	L8	L10	L12	L14
Aspartic acid	4.89	5.02	4.71	4.72	5.04
Threonine	2.14	2.25	2.17	2.11	2.09
Serine	2.30	2.38	2.35	2.30	2.30
Glutamic acid	10.89	10.87	10.64	10.43	10.38
Proline	1.95	2.06	2.21	2.26	2.14
Glycine	2.92	2.49	3.19	2.91	2.73
Alanine	3.16	3.83	3.47	3.27	3.49
Valine	3.95	4.14	3.89	3.79	3.47
Isoleucine	2.23	1.81	2.21	2.18	1.90
Leucine	3.83	4.05	3.53	3.24	3.84
Tyrosine	0.88	0.85	0.84	1.04	1.30
Phenylalanine	1.51	1.49	1.46	1.31	1.21
Histidine	2.05	2.01	2.20	2.12	2.07
Lysine	3.76	3.56	3.54	3.42	3.17
Arginine	3.28	2.87	2.72	2.91	2.73
Total amino acids	49.7	49.7	49.1	48.0	47.9

¹Refer table 2.

Table 4. Fatty acid composition of the experimental diets for olive flounder(% , dry matter basis)

Fatty acids	Diets ¹				
	L6	L8	L10	L12	L14
14:0	0.28	0.42	0.50	0.64	0.71
16:0	1.67	2.18	2.59	3.05	3.34
18:0	0.57	0.72	0.84	0.96	0.98
SFA ²	2.52	3.31	3.93	4.65	5.03
16:1	0.27	0.43	0.54	0.69	0.86
18:1	0.90	1.30	1.75	2.16	2.47
20:1	0.08	0.12	0.18	0.25	0.31
Monoene	1.25	1.85	2.47	3.10	3.64
18:2	0.51	0.65	0.78	1.04	1.17
18:3	0.06	0.07	0.10	0.12	0.15
20:3	-	-	-	-	-
20:5	0.39	0.56	0.69	0.84	1.13
22:6	0.80	1.05	1.32	1.55	2.09
Polyene	1.76	2.32	2.89	3.55	4.54
HUFA ³ /SFA ²	1.19	1.26	1.37	1.43	1.62
DHA ⁴ /C16:0	0.48	0.48	0.51	0.51	0.62

¹Refer table 2.

²Saturated fatty acids.

³Poly unsaturated fatty acids.

⁴Docosa hexaenoic acid.

2. 육성기의 적정지질 함량 설정

1) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료의 조성, 일반성분, 실험설계는 제 1 절 치어기 넙치 EP 배합사료내 적정지질함량 설정 실험과 동일하게 사용하였으며, 익스트루더를 이용하여 압출·성형시 사료크기만 직경 6.5~7.5mm로 조절하여 제작되었다. 모든 실험사료는 포장하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

2) 실험어 사육관리

넙치 육성어의 실험어는 경상북도 포항에서 국립수산물과학원 양식사료 연구센터 사육실로 운반하여 3000ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비사육 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 상업사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균무게 84.8 ± 0.27 g (mean $\pm$ SD)인 넙치 육성어를 300ℓ 사각수조에 각각 20마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였으며, 사육수는 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험 시작시에 6 ℓ/min 되도록 하였으며, 성장함에 따라 7 ℓ/min로 조절하였다. 각 수조 당 충분한 산소 공급을 보충하기 위해 에어 스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 19~25℃로 전 실험기간 동안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 32.7~34.0‰이었고, 용존산소(DO)는 6.4~6.8 mg/ℓ의 범위였다. 일일 사료공급량은 전 실험기간 동안 만복으로 1일 2회(오전 10시, 오후 4시) 공급하였으며, 주 사육실험기간은 6주간 실시하였다.

3) 어체측정

제 1 절 치어기 넙치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

4) 성분분석

일반성분, 혈액성분 및 등근육 아미노산은 제 1 절 치어기 넙치 적정 지질 함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

5) 통계처리

모든 자료의 통계처리는 제 1 절 치어기 넙치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

3. 성어기의 적정지질 함량 설정

1) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료의 조성, 일반성분, 실험설계는 제 1 절 치어기 넙치 EP사료내 적정지질함량 설정 실험과 동일하게 사용하였으며, 익스틀루더를 이용하여 압출·성형시 사료크기만 직경 10.5~11.5mm로 조절하여 제작되었다. 모든 실험사료는 포장하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

2) 실험어 사육관리

넙치 육성어의 실험어는 경상북도 포항에서 국립수산물과학원 양식사료 연구센터 사육실로 운반하여 3000ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비사육 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 상업사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균무게 408 ± 3.22 g (mean $\pm$ SD)인 넙치 성어를 1000ℓ 원형수조에 각각 12마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였으며, 사육수는 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험 시작시에 10 ℓ/min 조절하였다. 각 수조 당 충분한 산소 공급을 보충하기 위해 에어 스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 20~25℃로 전 실험기간 동안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 32.7~34.1‰이었고, 용존산소(DO)는 6.4~6.8 mg/ℓ의 범위였다. 일일 사료공급량은 전 실험기간 동안 만복으로 1일 2회(오전 10시, 오후 4시) 공급하였으며, 주 사육실험기간은 6주간 실시하였다.

3) 어체측정

제 1 절 치어기 넙치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

4) 성분분석

일반성분, 혈액성분 및 등근육 아미노산은 제 1 절 치어기 넙치 적정 지질 함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

5) 통계처리

모든 자료의 통계처리는 제 1 절 치어기 넙치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

제 2 절 넙치 성장 단계별 E.P 배합사료의 적정 사료 공급량 평가 실험

1. 치어기의 적정지질 함량에 대한 공급량 설정

1) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료는 제 1 절 치어기 적정 지질 함량 실험에서 성장결과가 가장 우수했던 L10(CP: 51.75%, CL: 10.1%)을 사용하였으며, Table 2에 나타내었다. 실험사료는 원료를 혼합한 후 수협사료 의령 공장에서 익스트루더를 이용하여 압출·성형하였으며 사료크기는 직경 3.5~4.5mm로 제작되었다. 모든 실험사료는 포장하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

2) 실험어 사육관리

넙치 치어의 실험어는 경상북도 포항에서 국립수산물과학원 양식사료 연구센터 사육실로 운반하여 3000ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비사육 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 상업사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균무게 13.4 ± 0.15 g (mean $\pm$ SD)인 넙치 치어를 300ℓ 사각수조에 각각 30마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였으며, 사육수는 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험 시작시에 5 ℓ/min 되도록 하였으며, 성장함에 따라 6 ℓ/min로 조절하였다. 각 수조 당 충분한 산소 공급을 보충하기 위해 에어 스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 21~25℃로 전 실험기간 동안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 32.5~34.0‰이었고, 용존산소(DO)는 6.3~6.7 mg/ℓ의 범위였다. 실험구는 사료공급량을

어체중 당 2.0, 2.5, 3.0, 3.5% 그리고 만복공급으로 구분으로 5개 실험구로 디자인하였으며, 1일 2회(오전 9시, 오후 4시) 공급하였다. 주 사육실험기간은 42일 이었으며, 실제 사료공급일은 30일 이었다.

3) 어체측정

제 1 절 치어기 넙치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

4) 성분분석

전어체의 일반성분은 제 1 절 치어기 넙치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

5) 통계처리

모든 자료의 통계처리는 제 1 절 치어기 넙치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

2. 육성기의 적정지질 함량에 대한 공급량 설정

1) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료는 제 1 절 육성기 적정 지질 함량 실험에서 성장결과가 가장 우수했던 L10(CP: 51.75%, CL: 10.1%)을 사용하였으며, Table 2에 나타내었다. 실험사료는 원료를 혼합한 후 수협사료 의령 공장에서 익스트루더를 이용하여 압출·성형하였으며 사료크기는 직경 6.5~7.5mm로 제작되었다. 모든 실험사료는 포장하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

2) 실험어 사육관리

넙치 치어의 실험어는 경상북도 포항에서 국립수산물과학원 양식사료 연구센터 사육실로 운반하여 3000ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비사육 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 상업사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균무게 75.7 ± 1.24 g (mean $\pm$ SD)인 넙치 치어를 300ℓ 사각수조에 각각 20마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였으며, 사육수는 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험 시작시에 6 ℓ/min 되도록 하였으며, 성장함에 따라 7 ℓ/min로 조절하였다. 각 수조 당 충분한 산소 공급을 보충하기 위해 에어 스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 21~25℃로 전 실험기간 동안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 32.5~34.0‰이었고, 용존산소(DO)는 6.3~6.7 mg/ℓ의 범위였다. 실험구는 사료공급량을 어체중 당 1.0, 1.3, 1.6, 1.9% 그리고 반복공급으로 구분으로 5개 실험구로 디자인하였으며, 1일 2회(오전 9시, 오후 4시) 공급하였다. 주 사육실험기간은 6주간 이었으며, 사료공급기간은 35일 이었다.

3) 어체측정

제 1 절 치어기 넘치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

4) 성분분석

전어체의 일반성분은 제 1 절 치어기 넘치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

5) 통계처리

모든 자료의 통계처리는 제 1 절 치어기 넘치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

3. 성어기의 적정지질 함량에 대한 공급량 설정

1) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료는 제 1 절 성어기 적정 지질 함량 실험에서 성장결과가 가장 우수했던 L10(CP: 51.7%, CL: 10.1%)을 사용하였으며, Table 2에 나타내었다. 실험사료는 원료를 혼합한 후 수협사료 의령 공장에서 엑스트루더를 이용하여 압출·성형하였으며 사료크기는 직경 10.5~11.5mm로 제작되었다. 모든 실험사료는 포장하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

2) 실험어 사육관리

넙치 치어의 실험어는 경상북도 포항에서 국립수산물과학원 양식사료 연구센터 사육실로 운반하여 3000ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비사육 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 상업사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균무게 510 ± 3.43 g (mean $\pm$ SD)인 넙치 치어를 1000ℓ 사각수조에 각각 12마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였으며, 사육수는 해수를 사용하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 실험 시작시에 10 ℓ/min 되도록 조절하였다. 각 수조 당 충분한 산소 공급을 보충하기 위해 에어 스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 19~25℃로 전 실험기간 동안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 32.5~34.0‰이었고, 용존산소(DO)는 6.3~6.7 mg/ℓ의 범위였다. 실험구는 사료공급량을 어체중 당 0.5, 0.7, 0.9, 1.1% 그리고 만복공급으로 구분하여 5개 실험구로 디자인하였으며, 1일 2회(오전 9시, 오후 4시) 공급하였다. 주 사육실험기간은 9주간 이었으며, 사료공급기간은 50일 이었다.

3) 어체측정

제 1 절 치어기 넘치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

4) 성분분석

전어체의 일반성분은 제 1 절 치어기 넘치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

5) 통계분석

모든 자료의 통계처리는 제 1 절 치어기 넘치 적정 지질함량 실험과 동일한 방법으로 시행하였다.

제 3 절 넙치의 장기간 현장적용 비교 사육실험

1) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료(EP)의 일반성분 및 아미노산 조성은 Table 5에 나타내었으며, 사료내 지방산 조성은 Table 6에 나타내었다. 실험사료의 단백질원으로는 전갱이어분(jack mackerel fish meal), 참치어분(tuna fish meal) 탈피대두박(dehulled soybean meal), 소맥.콘글루텐밀(wheat.corn gluten meal), 크릴밀(krill meal)을 사용하였으며, 지질원으로 명태간유(pollock liver oil), 대두레시친(soya lecithin), 그리고 탄수화물원으로 밀가루(wheat flour)를 사용하였다. 사료첨가제로서 다시마분(kelp meal),맥주효모(beer yeast), 항산화제(anti oxidant), 염화콜린(choline choride), 비타민(vitamin),미네랄(mineral), 섭이촉진물질(attractant) 등을 사용하였으며, 습사료(MP)는 냉동 고등어(frozen horse mackerel)와 넙치 가루사료(commercial binder meal)를 8:2 비율로 혼합하여 사용하였다. 실험사료는 지질원을 제외한 모든 사료원을 동일하게 사용하였으며, 실험사료1(EP1)은 지질원으로 정어리유를 실험사료2는 지질원으로 오징어간유를 사용하여 수협사료 의령 공장에서 익스트루더를 이용하여 압출·성형하여 성장단계별로 제작되었다. 상품사료(CEP)는 상업용 부상 EP사료를 성장단계별로 구입하여 사용하였으며, 습사료(MP)는 양식장 현장에서 직접 크기별로 제조하여 냉동한 후 사용하였다.

2) 실험어 사육관리

실험어는 경북 포항시 송라면 조사리에 위치한 넙치 양식장(청양수산)으로 운반하여 콘크리트수조(30m², 15톤)에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 예비

사육 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해
넙치 상품사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육 후, 평균무게 30.1 ± 0.2 g (mean $\pm$ SD)인 넙치 치어를 콘크리트수조에 각각 2,600마리씩(80kg) 수
용하여 각 사료구당 2반복으로 무작위 배치하였다. 각 실험수조는 유수식으
로 유수량은 시간당 12회전 되도록 하였으며, 성장함에 따라 시간당 18회전
으로 조절하였다. 각 수조 당 충분한 산소 공급을 보충하기 위해 에어 스톤
을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 10.2~25.6℃로 전 실험기간 동
안에 자연수온에 의존하였다. 사육수의 염분은 31.5~33.9‰이었고, 용존산소
(DO)는 5.9~6.9 mg/ℓ의 범위였다. 일일 사료공급량은 전 실험기간 동안 어
체중의 0.5~3.5%(건물기준)로 1일 2회(오전 9시, 오후 5시) 공급하였으며, 주
사육실험기간은 13개월(2004년 5월 31일~2005년 6월 30일) 실시하였다.

3) 어체측정

어체 측정은 2달 간격으로 실시하였으며, 성장률을 측정하기 위하여 24시
간 절식시킨 후 전체무게를 측정하였다. 실험종료 후, 증중율(percent weight
gain, WG), 일간성장률(specific growth rate, SGR), 단백질전환효율(protein
efficiency ratio, PER), 사료효율(feed efficiency, FE), 간중량지수
(hepatosomatic index, HSI), 비만도(condition factor, CF) 및 생존율(survival
rate)을 조사하였다. 간중량지수를 위해 각 수조별로 5마리씩 간의 무게를 측
정하였다.

4) 성분분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전
어체를 분석하였으며, AOAC(2000)방법에 따라 제 1 절 치어기 넙치 EP사료내
적정지질함량 설정 실험과 동일한 방법으로 분석하였다. 혈청성분의 분석을

위하여 채혈한 혈액을 항응고제가 처리되지 않은 원심분리관에 넣고 실온에 30분간 방치한 후 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 냉장보관하면서 16시간 이내에 분석하였다.

혈청 검사는 실험어를 각 수조당 3마리씩 무작위로 추출하고 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, 혈액을 항응고제가 처리되지 않은 원심분리관에 넣고 실온에 30분간 방치한 후 3,600rpm에서 15분간 원심분리하여 냉장보관하여 분석하였다(생화학 분석기, Italy). 혈청 검사에 있어서는 kinetic 방법에 의해 GOT 및 GPT를 하였고, end-point 방법에 의해 total protein, phospholipid, total cholesterol, triglyceride, uric acid를 측정하였다.

구성아미노산 분석은 동결 건조된 등근육 20mg을 test tube에 넣고 6N HCl 15ml를 가하여 밀봉한 후 110℃에서 24시간 가수분해하였다. 이 분해액을 여과한 후 감압 건조하여 HCl을 완전히 제거한 다음, sodium dilution buffer(pH 2.2)로 25ml로 정량한 후 이 용액을 일정량 취하여 아미노산 자동분석기 S433(Sykam, Germany)를 이용하여 ninhydrin 방법으로 분석하였다. 지방산 분석은 환저 플라스크에 정밀히 취하고 0.5N 메탄올수산화나트륨 용액을 가한 뒤 플라스크위에 환류 냉각기를 설치하고 5~10분간 수용상에서 균질한 용액이 얻어질 때까지 가열하였다. 그 후 14% BF₃를 환류냉각기를 통해 염화나트륨 포화용액을 가하고, 헵탄 3mL을 가한 뒤 헵탄층이 올라오게 한 후 상층에서 약 1mL 헵탄을 취하고 이에 소량의 무수 황산나트륨을 가하여 탈수시킨 것을 실험용액으로 사용하였다. 표준용액은 지방산 표준품 약 100mg을 100mL 환저 플라스크에 정밀히 취하고, 0.5N 메탄올수산화나트륨 용액을 약 4mL 가한 뒤 시험용액과 동일한 방법으로 처리하였다. GC(gas chromatography)는 HP-6890 GC/FID로 분석하였다.

육질 기호도 평가는 어육의 물성측정, 등근육 유리아미노산 분석 및 기호도 조사를 통하여 이루어졌다. 어육의 물성측정은 경도, 탄력성, 응집성을 Sun Rheometer compact-100을 이용하여 시료를 (10×10×10)mm로 정확히 자른 후 사료구당 각각 5마리씩 1마리당 3회씩 측정하였다(조건: critical diameter 10mm, load cell 10.0kg, chat speed 100.0mm/min, table speed 60.0mm/min). 유리아미노산은 마쇄한 어육 1g 에 Ethanol 30ml 를 넣고 잘 섞어, 4℃에서 1시간 방치 후 30분간 균질화 한다. 균질화 된 시료액을 10000rpm 4℃에서 15분간 원심분리 하여 상등액을 취한다. 남은 시료에 70% Ethanol 30ml 를 넣고 30분간 균질화 한 후 시료액을 10000rpm, 4℃에서 15분간 원심분리 하여 상등액을 취한다. 얻어진 상등액을 40℃에서 감압농축시킨 후 증류수를 넣어 행구어 여두기로 옮기고, Ether(총 20ml)로 행구어 여두기로 옮긴다(2회반복). 여두기의 하층액을 수기로 옮겨 55℃이하에서 감압농축하고, 증류수를 넣어 한번 더 감압농축 한 후 pH 2.2 Lithum Citrate buffer로 25ml에 정용하고, Sulphosalicylic acid 1g을 넣어 1시간 방치 후 0.45 μ m membrane filter로 여과하여 시료액으로 사용하였다. 유리아미노산의 조성 및 정량 분석을 위하여 Amino Acid Analyzer(Ninhydrin 법)를 사용하였다(Column : Separation column Amino Acid LCAK07Physiology Fluids (4.6×150mm)) 핵산물질 성분분석은 마쇄한 어육 2g에 10% 과염소산(perchloric acid, PCA)용액 10ml를 가하여 균질화 한 후, 균질화 된 시료를 원심분리기에 10분동안 3,000rpm으로 원심분리하여 상층을 분리하고 침전물에 대하여 10% PCA 용액 10ml로 위와 같은 조작을 2회 반복하여 상층액을 합하였다. 상층액을 여과하고 5N KOH로 pH 6.5로 조정한 다음 10% PCA 용액을 첨가하여 100ml로 정용하였다. 0℃에서 30분간 방치한 다음 0.45 μ m membrane filter로 여과한 다음 HPLC 분석용 시료로 사용하였다. 핵산관련 성분의 조성 및 정량 분석을 위하여 HPLC를 사용하였다. Column은 C18(4.6

mm I.d. × 250 mm)을 장착하고 이동상으로 1% triethylamine · phosphoric acid(pH6.5)를 1ml/min의 유속으로 흘리면서 HPLC에 시료를 20 μ l 주입하여 UV 254nm에서 검출하였고, 표준용액의 retention time을 비교하여 핵산관련 성분을 확인하였다.

기호도 조사는 각 사료구들의 넙치 시료를 즉시 피부를 벗긴 후 등과 배, 지느러미를 기준으로 전체를 5등분하여 일정한 크기로 자른 다음 간장을 동반식품으로 하여 관능검사를 실시하였다. 기호도평가는 양식관련 연구원 및 어업인들을 30명을 대상으로 향(Flavor), 선택(Color), 맛(Taste), 질감(Texture) 및 종합적 기호도(Overall acceptability) 등을 9점 선호도 척도법을 사용하여 설문지 방식으로 실시하였다(Hatae et al., 1989). 대조군을 0으로 했을 때, 대조군보다 매우 좋으면 +4, 매우 좋지 않으면 -4로 하여 9단계 실시하였다.

5) 통계처리

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

Table 5. Ingredients and nutrient contents of experimental diets

	Diets ¹			
	EP1	EP2	CEP	MP
<i>Ingredients</i>				
Protein sources ²	72.1	72.1		-
Carbohydrate sources ³	14.4	14.4		-
Sardine oil	5.0	-		-
Squid liver oil	-	5.0	closed	-
Others ⁴	8.5	8.5		-
Frozen horse mackerel	-	-		80
Commercial binder meal ¹	-	-		20
<i>Proximate analysis (% , DM basis)</i>				
Moisture	8.7	8.5	8.3	60.2
Crude protein	53.2	53.7	51.5	61.8
Crude lipid	10.3	10.2	8.9	12.1
Crude ash	11.6	11.9	10.6	8.9
<i>Essential amino acids (% of protein)</i>				
Arginine	5.35	5.67	5.33	6.11
Histidine	3.86	4.11	3.31	3.89
Isoleucine	4.38	4.51	3.91	4.24
Leucine	8.43	8.03	7.88	8.30
Lysine	7.71	7.30	7.32	8.16
Methionine+Cystein	3.99	3.60	2.89	4.60
Phenylalanine+Tyrosine	7.12	7.52	8.14	7.90
Threonine	4.50	4.55	4.09	4.56
Valine	4.29	5.12	4.68	4.98

¹EP1, experimental pellet 1; EP2, experimental pellet 2; CEP, commercial extruded pellet; MP, moist pellet.

²White fish meal, dehulled soybean meal, corn gluten meal, krill meal.

³Wheat flour, wheat gluten.

⁴Kelp meal, yeast, vitamin mixture, mineral mixture, lecithin, glucan

Table 6. Fatty acid composition of the experimental diets for olive flounder(% , dry matter basis)

Fatty acids	Diets ¹			
	EP1	EP2	CEP	MP
14:0	0.58	0.52	0.56	0.67
16:0	2.71	2.61	2.91	2.81
18:0	0.90	0.86	0.91	0.97
SFA ²	4.18	3.99	4.38	4.45
16:1	0.82	0.57	0.65	0.92
18:1	1.63	1.82	1.97	2.12
20:1	0.14	0.19	0.19	0.23
Monoene	2.59	2.58	2.81	3.27
18:2	0.78	0.81	0.75	0.94
18:3	0.10	0.11	0.13	0.14
20:3	-	-	-	-
20:5	0.53	0.75	0.65	0.84
22:6	1.35	1.43	1.17	1.56
Polyene	2.76	3.10	2.70	3.48
PUFA ³ /SFA ²	1.28	1.42	1.25	1.51
DHA ⁴ /C16:0	0.50	0.55	0.40	0.56

¹Refer table 5.

²Saturated fatty acids.

³Poly unsaturated fatty acids.

⁴Docosa hexaenoic acid.

제 3 장 결 과

제 1 절 넙치 성장 단계별 E.P 배합사료내 적정 지질 함량 평가 실험

1. 치어기의 적정 지질함량 설정

1) 사육실험 결과

6주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 7에 나타내었다. 증중률, 일간성장률에 있어서 사료내 지질 함량이 8, 10%인 실험구가 사료내 지질 함량이 6, 14%인 실험구보다 유의적으로 높게 나타났지만($P<0.05$), 사료내 지질 함량이 12%인 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사료내 지질 함량이 6%인 실험구는 가장 낮은 증중률과 일간성장률을 보였다. 일일 사료공급량에 있어서 사료내 지질 함량이 10%인 실험구가 지질 함량 6, 14%인 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났지만($P<0.05$), 사료내 지질 함량이 8, 12%인 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 증중률, 일간성장률과 마찬가지로 일일사료 공급율에서도 사료내 지질 함량이 6%인 실험구가 가장 낮게 나타났다($P<0.05$). 사료효율과 단백질전환효율에 있어서는 증중률 및 일간성장률과 유사한 경향을 보였으며, 사료내 지질 함량이 8, 10%인 실험구가 사료내 지질 함량이 6, 14%인 실험구보다 유의적으로 높게 나타났지만($P<0.05$), 사료내 지질 함량이 12%인 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사료내 지질 함량이 6%인 실험구가 가장 낮게 나타났으며($P<0.05$), 6%와 14% 실험구간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 간중량지수(1.43~1.60), 비만도(1.01~1.08) 및 생존율(71.1~84.4%)은

모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

성장결과를 종합하여 보면 사료내 지질 함량이 8~10%에서 최대로 나타났으며, 사료내 지질 함량이 6%이하 또는 12%이상 증가할 경우 감소하는 경향을 보였다. Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 지질 수준은 $9.08\pm0.37\%$ 로 나타났다(fig 2)

Table 7. Growth performance of juvenile olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled
	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	SEM ³
Initial weight (g/fish)	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	0.03
Final weight (g/fish)	48.7 ^c	56.6 ^a	59.2 ^a	55.7 ^{ab}	52.8 ^b	1.06
WG (%) ⁴	165 ^c	208 ^a	222 ^a	203 ^{ab}	187 ^b	5.67
SGR (%) ⁵	2.26 ^c	2.69 ^a	2.82 ^a	2.65 ^{ab}	2.50 ^b	0.06
DFI (%) ⁶	2.15 ^c	2.25 ^{ab}	2.31 ^a	2.25 ^{ab}	2.20 ^{bc}	0.02
FE (%) ⁷	117 ^c	126 ^a	129 ^a	124 ^{ab}	120 ^{bc}	1.35
PER ⁸	2.25 ^c	2.43 ^a	2.49 ^a	2.39 ^{ab}	2.30 ^{bc}	0.03
HSI ⁹	1.43	1.54	1.49	1.55	1.60	0.03
CF ¹⁰	1.01	1.03	1.08	1.05	1.02	0.01
Survival rate (%)	80.0	75.6	84.4	83.3	71.1	2.08

¹ Values are means of triplicate groups values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05) as determined by Duncan method.

² Refer to table 2.

³ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, n = 3 replicated tanks of fish per

⁴ Weight gain (%) : $[\text{final wt. (g)} - \text{initial wt. (g)}] / \text{initial wt. (g)} \times 100$.

⁵ Specific growth rate : $[\log_e \text{ final wt. (g)} - \log_e \text{ initial wt. (g)}] / \text{days} \times 100$.

⁶ Daily feed intake : $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100 / (\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.}) / 2 \times \text{days fed}$

⁷ Feed efficiency (%) : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁸ Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁹ Hepatosomatic index : $(\text{liver wt. (g)} / \text{body wt. (g)}) \times 100$.

¹⁰ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

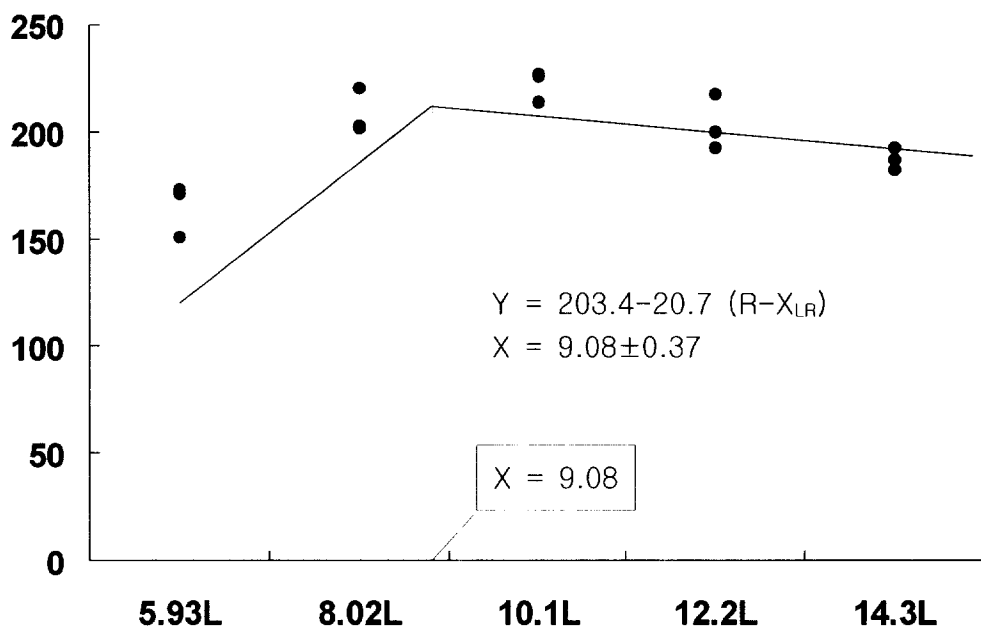


Fig. 2. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in juvenile olive flounder.

2) 전어체 성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종로어의 전어체 성분을 Table 8에 나타내었다. 전어체의 수분함량(75.3~76.6%), 조단백함량(16.9~17.5%), 조회분함량(3.81~3.93%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 하지만, 전어체의 조지방 함량은 사료내 지질함량의 수준에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 전어체 조지방 함량에 있어서 사료내 지질함량이 12, 14% 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 반면에, 사료내 지질함량이 6~10% 실험구간과 10~14% 실험구간에서는 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 8. Proximate composition of whole body of juvenile olive flounder

Composition	Diets(%) ¹					Pooled SEM ²
	L6	L8	L10	L12	L14	
Moisture	76.6	76.2	75.6	75.3	75.8	1.10
Crude protein	17.5	17.3	17.1	17.1	16.9	0.52
Crude fat	2.43 ^b	2.86 ^b	2.97 ^{ab}	3.16 ^a	3.17 ^a	0.23
Crude ash	3.82	3.86	3.81	3.91	3.93	0.30

¹Refer table 2.

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

3) 등근육내 구성아미노산 조성

6주 동안 실험사료를 섭취한 종료어의 등근육내 구성아미노산의 조성을 Table 9에 나타내었다. 등근육내 구성아미노산 조성은 사료내 지질함량의 증가에 대한 영향이 나타나지 않았다. 등근육내 구성아미노산의 조성은 아스파틱산(aspartic acid) 함량(9.65~9.87%), 트레오닌(Threonine) 함량(3.98~4.11%), 세린(serine) 함량(3.51~3.77%), 글루타민산(glutamic acid) 함량(14.6~15.1%), 프로린(proline) 함량(2.68~2.88%), 글리신(glycine) 함량(3.72~3.90%), 알라닌(alanine) 함량(6.00~6.24%), 발린(Valine) 함량(4.46~4.68%), 아이소루신(isoleucine) 함량(4.37~4.48), 루신(leucine) 함량(7.52~7.79%), 타이로신 (tyrosine) 함량(2.64~2.83%), 페닐알라닌(phenylalanine) 함량(3.38~3.48%), 히스티딘(histidine) 함량(2.10~2.27%), 라이신(lysine) 함량(8.96~9.04%), 아르지닌(arginine) 함량(3.75~3.92%)이 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다 ($P>0.05$).

Table 9. Amino acid composition of dorsal muscle of juvenile olive flounder(% , dry matter basis)

Amino acids	Diets ¹				
	L6	L8	L10	L12	L14
Aspartic acid	9.58	9.75	9.65	9.72	9.87
Threonine	4.00	4.11	3.98	4.06	4.24
Serine	3.49	3.67	3.51	3.77	3.71
Glutamic acid	14.6	15.0	14.6	15.1	15.0
Proline	2.88	2.81	2.84	2.68	2.81
Glycine	3.72	3.86	3.90	3.80	4.01
Alanine	6.00	6.24	6.09	6.22	6.27
Valine	4.46	4.68	4.56	4.63	4.56
Isoleucine	4.46	4.48	4.45	4.37	4.50
Leucine	7.79	7.78	7.60	7.52	7.74
Tyrosine	2.75	2.83	2.67	2.64	2.67
Phenylalanine	3.38	3.43	3.48	3.39	3.27
Histidine	2.17	2.27	2.18	2.10	2.21
Lysine	9.04	9.28	9.06	8.95	9.10
Arginine	3.87	3.92	3.75	3.78	3.76

¹Refer table 2.

4) 혈액 및 혈청성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종로어의 혈액 및 혈청 성분을 Table 10에 나타내었다. 혈액내 헤마토크리트(PCV) 수치(22.3~26.3%)와 헤모글로빈(Hb) 수치(6.35~6.70), 혈청내 GOT 함량(37.2~57.6 IU/l), GPT 함량(7.10~8.40 IU/l), 콜레스테롤(T-Chol) 함량(221~246 mg/dl), 단백질 함량(4.35~4.43 g/dl), 글루코스(Glucose) 함량(21.7~29.5)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 반면에, 혈청내 중성지질(TG) 함량(343~431mg/dl)은 사료내 지질함량의 증가에 영향이 있는 것으로 높게 나타났다. 혈청내 중성지질에 있어서 사료내 지질 함량이 14%의 실험구가 사료내 지질함량 6, 8% 실험구보다 유의적 높게 나타났다($P<0.05$). 하지만, 사료내 지질함량이 6~10% 실험구간과 10~14% 실험구간에서는 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 10. Serological characteristics of juvenile olive flounder fed five different experimental diets for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled SEM ³
	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	
PCV (%) ⁴	24.5	25.6	24.2	26.3	22.3	0.17
Hb ⁵	6.70	6.85	6.43	6.78	6.35	0.34
GOT (IU/l) ⁶	43.1	37.2	41.3	39.2	57.6	5.78
GPT (IU/l) ⁷	8.10	7.10	7.60	7.30	8.40	2.16
TG (mg/dl) ⁸	332 ^b	352 ^b	368 ^{ab}	387 ^a	383 ^a	29.5
T-Chol (mg/dl) ⁹	221	230	224	235	246	16.7
TP (g/dl) ¹⁰	4.35	4.42	4.43	4.38	4.37	0.13
Glucose (g/dl)	29.5	24.8	21.7	23.2	27.3	4.42

¹Values are means pooled SEM from triplicate groups of three pooled blood. Means in each row with a different superscript are significantly different ($P < 0.05$).

²Refer table 2.

³Pooled standard error of mean : $SD/\sqrt{n}$.

⁴PCV (%) = Haematocrit

⁵Hb (g/dl) = Hemoglobin

⁶Glutamic oxaloacetic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0 μ mol of L-aspartate per minute at 25°C and pH 7.4.

⁷Glutamic pyruvic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0 μ mol of L-alanine per minute at 25°C and pH 7.4

⁸Triglyceride

⁹Total cholesterol

¹⁰Total protein

2. 육성기의 적정 지질함량 설정

1) 사육실험 결과

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 11에 나타내었다. 증중률에 있어서 사료내 지질 함량이 10, 14%인 실험구가 사료내 지질 함량이 6, 8, 12%인 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 사료내 지질 함량이 12%인 실험구는 6% 실험구보다 높은 증중율이 나타났다($P<0.05$). 반면에 사료내 지질함량 6, 8% 실험구간과 8%, 12% 실험구간은 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 일간성장률에 있어서 사료내 지질 함량이 10, 12, 14%인 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 반면에, 사료내 지질 함량이 10, 12, 14%인 실험구간과 6, 8% 실험구간은 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사료효율에 있어서 사료내 지질 함량이 10, 14%인 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 사료내 지질 함량이 10, 12, 14%인 실험구간과 6, 8, 12% 실험구간은 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 단백질 전환효율은 사료 효율과 유사한 경향을 보였으며, 사료내 지질 함량이 10, 14%인 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 사료내 지질 함량이 10, 12, 14%인 실험구간과 8, 12% 실험구간은 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사료내 지질 함량이 6%인 실험구는 모든 실험구에서 낮은 사료효율을 보였다($P<0.05$). 간중량지수(1.32~1.55), 비만도(1.00~1.13) 및 생존율(74.4~78.9%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

성장결과를 종합하여 보면 사료내 지질 함량이 6~10%로 증가할수록 성장 효과가 증대되는 경향을 보였으며, 10% 이상에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 지질 수준은 $10.1\pm0.56\%$ 로 나타났다(Fig 3)

Table 11. Growth performance of growing olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled SEM ³
	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	
Initial weight (g/fish)	84.5	84.7	84.5	85.0	84.8	0.05
Final weight (g/fish)	258 ^c	264 ^b	281 ^a	278 ^{ab}	283.0 ^a	2.14
WG (%) ⁴	203 ^c	212 ^{bc}	233 ^a	227 ^b	233.6 ^a	6.73
SGR (%) ⁵	1.98 ^b	2.03 ^b	2.15 ^a	2.11 ^a	2.15 ^a	0.05
FE (%) ⁶	89.8 ^b	93.3 ^b	102.4 ^a	99.5 ^{ab}	102.6 ^a	1.14
PER ⁷	1.73 ^c	1.79 ^b	1.97 ^a	1.91 ^{ab}	1.97 ^a	0.04
HSI ⁸	1.48	1.49	1.32	1.39	1.55	0.03
CF ⁹	1.00	1.01	1.03	1.06	1.13	0.02
Survival rate (%)	78.9	75.6	74.4	76.7	75.6	1.02

¹ Values are means of triplicate groups values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05) as determined by Duncan method.

² Refer to table 2.

³ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per

⁴ Weight gain (%) : $[\text{final wt. (g)} - \text{initial wt. (g)}] / \text{initial wt. (g)} \times 100$.

⁵ Specific growth rate : $[\log_e \text{ final wt. (g)} - \log_e \text{ initial wt. (g)}] / \text{days} \times 100$.

⁶ Feed efficiency (%) : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁷ Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁸ Hepatosomatic index : $(\text{liver wt. (g)} / \text{body wt. (g)}) \times 100$.

⁹ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

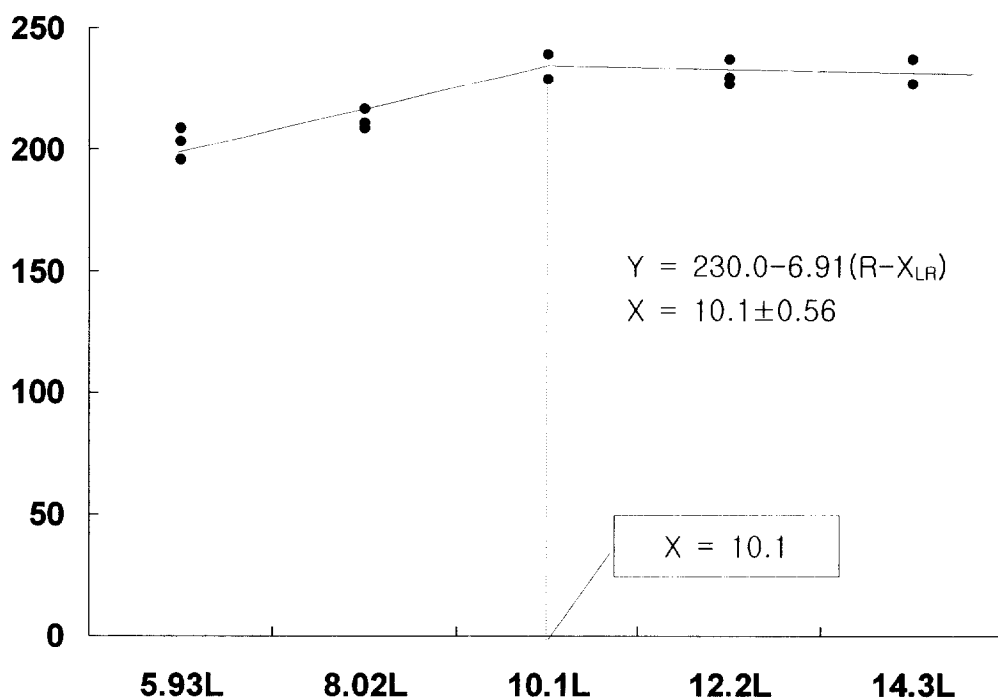


Fig 3. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in growing olive flounder.

2) 전어체 성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종로어의 전어체 성분을 Table 12에 나타내었다. 전어체의 수분함량(73.8~75.5%), 조단백함량(18.1~18.4%), 조회분함량(3.72~3.86%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 하지만, 전어체의 조지방 함량은 사료내 지질함량의 수준에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 전어체 조지방 함량에 있어서 사료내 지질함량이 10~14% 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 반면에, 사료내 지질함량이 6~8% 실험구간과 10~14% 실험구간에서는 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 12. Proximate composition of whole body of growing olive flounder

Composition	Diets(%) ¹					Pooled SEM ²
	L6	L8	L10	L12	L14	
Moisture	75.3	75.5	74.7	74.1	73.8	1.03
Crude protein	18.4	18.3	18.3	18.1	18.1	0.52
Crude fat	2.32 ^b	2.40 ^b	2.97 ^a	3.10 ^a	3.22 ^a	0.20
Crude ash	3.72	3.82	3.83	3.86	3.80	0.20

¹Refer table 2.

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

3) 등근육내 구성아미노산 조성

6주 동안 실험사료를 섭취한 종료어의 등근육내 구성아미노산의 조성을 Table 13에 나타내었다. 등근육내 구성아미노산 조성은 사료내 지질함량의 증가에 대한 영향이 나타나지 않았다. 등근육내 구성아미노산의 조성은 아스파틱산(aspatic acid) 함량(9.52~9.75%), 트레오닌(Threonine) 함량(4.02~4.17%), 세린(serine) 함량(3.59~3.77%), 글루타민산(glutamic acid) 함량(14.4~15.0%), 프로린(proline) 함량(2.78~2.91%), 글리신(glycine) 함량(3.78~3.98%), 알라닌(alanine) 함량(6.10~6.21%), 발린(Valine) 함량(4.53~4.68%), 아이소루신(isoleucine) 함량(4.39~4.50), 루신(leucine) 함량(7.62~7.81%), 타이로신 (tyrosine)함량(2.69~2.84%), 페닐알라닌(phenylalanine) 함량(3.39~3.48%), 히스티딘(histidine) 함량(2.10~2.27%), 라이신(lysine) 함량(8.92~9.15%), 아르지닌(arginine) 함량(3.74~3.89%)이 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 13. Amino acid composition of dorsal muscle of growing olive flounder(% , dry matter basis)

Amino acids	Diets ¹				
	L6	L8	L10	L12	L14
Aspartic acid	9.52	9.75	9.64	9.73	9.74
Threonine	4.03	4.17	4.02	4.11	4.17
Serine	3.59	3.67	3.69	3.77	3.78
Glutamic acid	14.4	14.8	14.3	15.0	14.8
Proline	2.86	2.82	2.91	2.78	2.80
Glycine	3.82	3.81	3.92	3.78	3.98
Alanine	6.10	6.17	6.21	6.20	6.16
Valine	4.54	4.68	4.65	4.53	4.66
Isoleucine	4.45	4.50	4.42	4.39	4.47
Leucine	7.81	7.72	7.67	7.62	7.68
Tyrosine	2.75	2.69	2.70	2.84	2.73
Phenylalanine	3.42	3.40	3.48	3.39	3.29
Histidine	2.17	2.27	2.18	2.10	2.21
Lysine	8.97	8.98	9.07	9.15	8.92
Arginine	3.74	3.82	3.86	3.83	3.89

¹Refer table 2.

4) 혈액 및 혈청성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종료어의 혈액 및 혈청 성분을 Table 14에 나타내었다. 혈액내 헤마토크리트(PCV) 수치(23.3~27.6%)와 헤모글로빈(Hb) 수치(6.53~6.87), 혈청내 GOT 함량(39.5~47.3 IU/l), GPT 함량(7.23~8.12 IU/l), 콜레스테롤(T-Chol) 함량(212~241 mg/dl), 단백질 함량(4.34~4.51 g/dl), 글루코스(Glucose) 함량(23.4~27.3)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 반면에, 혈청내 중성지질(TG) 함량(322~381mg/dl)은 사료내 지질함량의 증가에 영향이 있는 것으로 높게 나타났다. 혈청내 중성지질에 있어서 사료내 지질 함량이 6%의 실험구가 모든 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P<0.05$). 하지만, 사료내 지질함량이 8~12% 실험구간에서는 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 14. Serological characteristics of growing olive flounder fed five different experimental diets for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled
	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	SEM ³
PCV (%) ⁴	25.5	27.6	25.2	25.3	23.3	0.21
Hb ⁵	6.60	6.75	6.53	6.87	6.65	0.37
GOT (IU/l) ⁶	45.3	39.5	45.7	42.7	47.3	4.25
GPT (IU/l) ⁷	8.08	7.23	7.54	7.37	8.12	2.06
TG (mg/dl) ⁸	322 ^b	358 ^a	372 ^a	381 ^a	378 ^a	21.2
T-Chol (mg/dl) ⁹	212	234	234	241	239	16.7
TP (g/dl) ¹⁰	4.34	4.42	4.43	4.44	4.51	0.12
Glucose (g/dl)	23.7	25.6	23.9	23.4	27.3	3.26

¹Values are means pooled SEM from triplicate groups of three pooled blood. Means in each row with a different superscript are significantly different ($P < 0.05$).

²Refer table 2.

³Pooled standard error of mean : $SD/\sqrt{n}$.

⁴PCV (%) = Haematocrit

⁵Hb (g/dl) = Hemoglobin

⁶Glutamic oxaloacetic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0 μ mol of L-aspartate per minute at 25°C and pH 7.4.

⁷Glutamic pyruvic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0 μ mol of L-alanine per minute at 25°C and pH 7.4

⁸Triglyceride

⁹Total cholesterol

¹⁰Total protein

3. 성어기의 적정 지질함량 설정

1) 사육실험 결과

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 15에 나타내었다. 증중률과 일간성장률에 있어서 사료내 지질 함량이 10, 14%인 실험구가 사료내 지질 함량이 6, 8%인 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 사료내 지질 함량이 12%인 실험구는 6, 8% 실험구보다 높은 증중율이 나타났다($P<0.05$). 반면에 사료내 지질함량 6, 8% 실험구간과 8%, 12% 실험구간은 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사료효율에 있어서 사료내 지질 함량이 14%인 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 사료내 지질 함량이 10, 12, 14%인 실험구간과 6, 8% 실험구간은 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 단백질 전환효율은 사료효율과 유사한 경향을 보였으며, 사료내 지질 함량이 10, 14%인 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 사료내 지질 함량이 10, 12, 14%인 실험구간과 8, 12% 실험구간은 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사료내 지질 함량이 6% 인 실험구는 모든 실험구에서 같은 낮은 사료효율을 보였다($P<0.05$). 일일사료 공급량(1.00~1.05), 간중량지수(1.40~1.56), 비만도(1.06~1.16) 및 생존율(80.6~91.7%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

성장결과를 종합하여 보면 사료내 지질 함량이 6, 8% 실험구간이 낮은 성장을 보였으며, 사료내 지질 함량이 10% 이상 함유될 경우 6, 8% 실험구보다 높은 성장효과가 나타났으며, 10% 이상 구간 사이에서는 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 지질 수준은 $10.1\pm0.91\%$ 로 나타났다(Fig 4)

Table 15. Growth performance of adult olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled
	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	SEM ³
Initial weight (g/fish)	408	408	408	409	408	0.43
Final weight (g/fish)	567 ^b	579 ^b	606 ^a	602 ^a	605 ^a	4.48
WG (%) ⁴	39.3 ^c	41.9 ^{bc}	48.4 ^a	47.3 ^{ab}	48.2 ^a	1.19
SGR (%) ⁵	1.94 ^c	1.97 ^{bc}	2.05 ^a	2.04 ^{ab}	2.05 ^a	0.02
DFI (%) ⁶	1.01	1.01	1.05	1.03	1.00	0.02
FE (%) ⁷	72.9 ^c	74.2 ^{bc}	79.6 ^{ab}	79.1 ^{ab}	81.1 ^a	1.06
PER ⁸	1.40 ^c	1.43 ^{bc}	1.53 ^a	1.52 ^{ab}	1.56 ^a	0.03
HSI ⁹	1.31	1.35	1.49	1.41	1.43	0.03
CF ¹⁰	1.12	1.08	1.16	1.10	1.06	0.01
Survival rate (%)	91.7	86.1	86.1	83.3	80.6	2.87

¹ Values are means of triplicate groups values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05) as determined by Duncan method.

² Refer to table 2.

³ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per

⁴ Weight gain (%) : $[\text{final wt. (g)} - \text{initial wt. (g)}] / \text{initial wt. (g)} \times 100$.

⁵ Specific growth rate : $[\log_e \text{ final wt. (g)} - \log_e \text{ initial wt. (g)}] / \text{days} \times 100$.

⁶ Daily feed intake : $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100 / (\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.}) / 2 \times \text{days fed}$

⁷ Feed efficiency (%) : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁸ Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁹ Hepatosomatic index : $(\text{liver wt. (g)} / \text{body wt. (g)}) \times 100$.

¹⁰ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

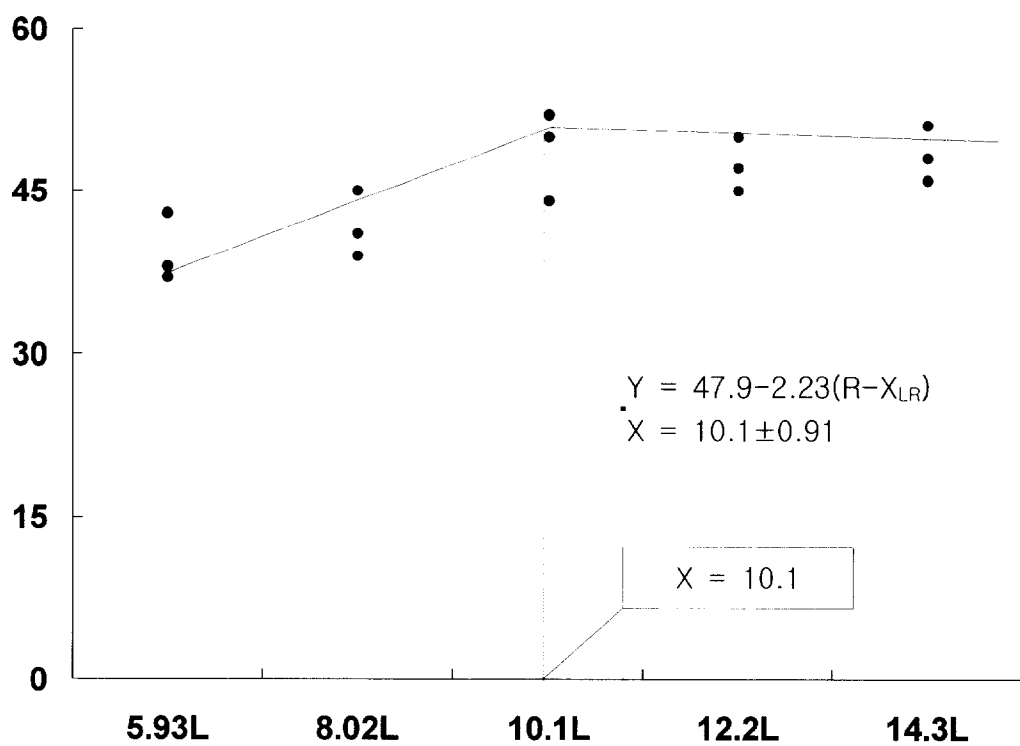


Fig 4. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in adult olive flounder.

2) 전어체 성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종로어의 전어체 성분 Table 16에 나타내었다. 전어체의 수분함량(69.2~72.3%), 조단백함량(19.1~20.1%), 조회분함량(3.72~3.83%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 하지만, 전어체의 조지방 함량은 사료내 지질함량의 수준에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 전어체 조지방 함량에 있어서 사료내 지질함량이 10~14% 실험구가 6, 8% 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 반면에, 사료내 지질함량이 6~8% 실험구간과 10~14% 실험구간에서는 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 16. Proximate composition of whole body of adult olive flounder

Composition	Diets(%) ¹					Pooled SEM ²
	L6	L8	L10	L12	L14	
Moisture	72.3	70.5	70.7	70.2	69.2	1.05
Crude protein	19.1	19.4	19.3	19.7	20.1	0.32
Crude fat	2.21 ^b	2.48 ^b	3.04 ^a	3.15 ^a	3.30 ^a	0.24
Crude ash	3.75	3.83	3.80	3.79	3.72	0.27

¹Refer table 2.

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

3) 등근육내 구성아미노산 조성

6주 동안 실험사료를 섭취한 종료어의 등근육내 구성아미노산의 조성을 Table 17에 나타내었다. 등근육내 구성아미노산 조성은 사료내 지질함량의 증가에 대한 영향이 나타나지 않았다. 등근육내 구성아미노산의 조성은 아스파틱산(aspatic acid) 함량(9.47~9.79%), 트레오닌(Threonine) 함량(4.02~4.19%), 세린(serine) 함량(3.59~3.79%), 글루타민산(glutamic acid) 함량(14.5~15.3%), 프로린(proline) 함량(2.75~2.93%), 글리신(glycine) 함량(3.72~3.93%), 알라닌(alanine) 함량(6.09~6.27%), 발린(Valine) 함량(4.54~4.71%), 아이소루신(isoleucine) 함량(4.32~4.51), 루신(leucine) 함량(7.60~7.82%), 타이로신(tyrosine) 함량(2.65~2.87%), 페닐알라닌(phenylalanine) 함량(3.32~3.49%), 히스티딘(histidine) 함량(2.10~2.25%), 라이신(lysine) 함량(8.87~9.17%), 아르지닌(arginine) 함량(3.72~3.93%)이 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 17. Amino acid composition of dorsal muscle of adult olive flounder(% , dry matter basis)

Amino acids	Diets ¹				
	L6	L8	L10	L12	L14
Aspartic acid	9.47	9.73	9.62	9.75	9.79
Threonine	4.07	4.15	4.11	4.02	4.19
Serine	3.62	3.71	3.59	3.79	3.70
Glutamic acid	14.7	15.0	14.5	15.3	14.6
Proline	2.81	2.80	2.93	2.83	2.75
Glycine	3.72	3.93	3.82	3.78	3.88
Alanine	6.24	6.09	6.18	6.27	6.14
Valine	4.71	4.62	4.59	4.54	4.67
Isoleucine	4.51	4.45	4.32	4.49	4.41
Leucine	7.81	7.60	7.72	7.72	7.82
Tyrosine	2.65	2.78	2.87	2.74	2.68
Phenylalanine	3.32	3.44	3.38	3.49	3.39
Histidine	2.20	2.17	2.18	2.10	2.25
Lysine	8.87	8.89	9.02	9.17	9.04
Arginine	3.72	3.86	3.88	3.93	3.89

¹Refer table 2.

4) 혈액 및 혈청성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종료어의 혈액 및 혈청 성분을 Table 18에 나타내었다. 혈액내 헤마토크리트(PCV) 수치(24.2~26.2%)와 헤모글로빈(Hb) 수치(6.50~6.77), 혈청내 GOT 함량(37.5~45.3 IU/l), GPT 함량(7.48~8.10 IU/l), 콜레스테롤(T-Chol) 함량(223~248 mg/dl), 단백질 함량(4.31~4.49 g/dl), 글루코스(Glucose) 함량(23.1~27.3)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 반면에, 혈청내 중성지질(TG) 함량(320~387mg/dl)은 사료내 지질함량의 증가에 영향이 있는 것으로 높게 나타났다. 혈청내 중성지질에 있어서 사료내 지질 함량이 10~14%인 실험구가 6%인 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 하지만, 사료내 지질함량이 6~8% 실험구간과 8~14% 실험구간에서는 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 18. Serological characteristics of adult olive flounder fed five different experimental diets for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled
	LP6	LP8	LP10	LP12	LP14	SEM ³
PCV (%) ⁴	24.9	26.2	24.2	25.3	24.3	0.17
Hb ⁵	6.50	6.53	6.37	6.77	6.61	0.32
GOT (IU/l) ⁶	41.3	37.5	42.7	41.7	45.3	3.12
GPT (IU/l) ⁷	8.10	7.83	7.74	7.48	8.01	2.10
TG (mg/dl) ⁸	320 ^b	348 ^{ab}	379 ^a	375 ^a	387 ^a	21.2
T-Chol (mg/dl) ⁹	223	237	245	241	248	16.7
TP (g/dl) ¹⁰	4.31	4.40	4.49	4.45	4.47	0.12
Glucose (g/dl)	23.1	24.2	26.1	25.6	27.3	2.63

¹Values are means pooled SEM from triplicate groups of three pooled blood. Means in each row with a different superscript are significantly different ($P < 0.05$).

²Refer table 2.

³Pooled standard error of mean : $SD/\sqrt{n}$.

⁴PCV (%) = Haematocrit

⁵Hb (g/dl) = Hemoglobin

⁶Glutamic oxaloacetic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0 μ mol of L-aspartate per minute at 25°C and pH 7.4.

⁷Glutamic pyruvic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0 μ mol of L-alanine per minute at 25°C and pH 7.4

⁸Triglyceride

⁹Total cholesterol

¹⁰Total protein

제 2 절 넙치의 성장 단계별 E.P 배합사료의 적정 사료 공급량 평가 실험

1. 치어기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정

1) 사육실험 결과

6주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 19에 나타내었다. 증중률, 일간 성장률은 사료공급량이 증가할수록 유의적으로 높은 경향이 나타났지만 ($P<0.05$), 사료공급량이 어체중 당 3.5%와 만복 실험구(어체중 당 4.0% 수준)는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 일일사료공급율도 증중률과 일간성장률과 유사한 경향이 나타났으며 사료공급량이 증가할수록 유의적으로 높은 경향이 나타났다($P<0.05$). 사공급량이 증가할 사료내 지질 함량이 12%인 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사료효율과 단백질 전환효율에 있어서 사료공급량이 어체중 당 2.5, 3.5% 실험구가 2.0% 및 만복실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났지만($P<0.05$), 3.0% 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 간중량지수(1.47~1.66), 비만도(0.99~1.07) 및 생존율(94.4~97.8%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

성장결과를 종합하여 보면 사료공급량이 증가할수록 성장평가가 증대되는 경향을 보였다. 하지만, 사료효율 및 단백질전환효율은 사료공급량이 가장 낮은 2.0% 실험구와 만복실험구(어체중 당 4.0% 수준)가 낮은 경향을 보였다. Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 사료공급량은 어체중 당 $3.56\pm0.06\%$ 였으며(Fig 5), 최대 사료효율을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 사료공급량은 어체중 당 $2.36\pm0.12\%$ 로 나타났다(Fig 6).

Table 19. Growth performance of juvenile olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled
	D2.0	D2.5	D3.0	D3.5	DS	SEM ³
Initial weight (g/fish)	13.4	13.4	13.4	13.4	13.5	0.04
Final weight (g/fish)	31.0 ^d	38.4 ^c	43.9 ^b	51.9 ^a	52.6 ^a	2.21
WG (%) ⁴	132 ^d	187 ^c	229 ^b	287 ^a	290 ^a	16.3
SGR (%) ⁵	2.34 ^d	3.11 ^c	3.60 ^b	4.18 ^a	4.21 ^a	0.19
DFI (%) ⁶	1.99 ^e	2.22 ^d	2.49 ^c	2.63 ^b	2.99 ^a	0.09
FE (%) ⁷	133 ^b	144 ^a	143 ^{ab}	149 ^a	132 ^b	2.16
PER ⁸	1.81 ^b	2.08 ^a	2.09 ^{ab}	2.23 ^a	1.97 ^b	0.04
HSI ⁹	1.49	1.66	1.47	1.60	1.60	0.04
CF ¹⁰	1.01	0.99	1.03	1.07	1.05	0.01
Survival rate (%)	97.8	94.4	96.7	95.6	94.4	1.00

¹ Values are means of triplicate groups values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05) as determined by Duncan method.

² D2.0, Feeding rate 2.0%; D2.5, Feeding rate 2.5%; D3.0, Feeding rate 3.0%; D3.5, Feeding rate 3.5%; DS, Feeding satiation rate.

³ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per

⁴ Weight gain (%) : $[\text{final wt. (g)} - \text{initial wt. (g)}] / \text{initial wt. (g)} \times 100$.

⁵ Specific growth rate : $[\log_e \text{ final wt. (g)} - \log_e \text{ initial wt. (g)}] / \text{days} \times 100$.

⁶ Daily feed intake : $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100 / (\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.}) / 2 \times \text{days fed}$

⁷ Feed efficiency (%) : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁸ Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁹ Hepatosomatic index : $(\text{liver wt. (g)} / \text{body wt. (g)}) \times 100$.

¹⁰ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

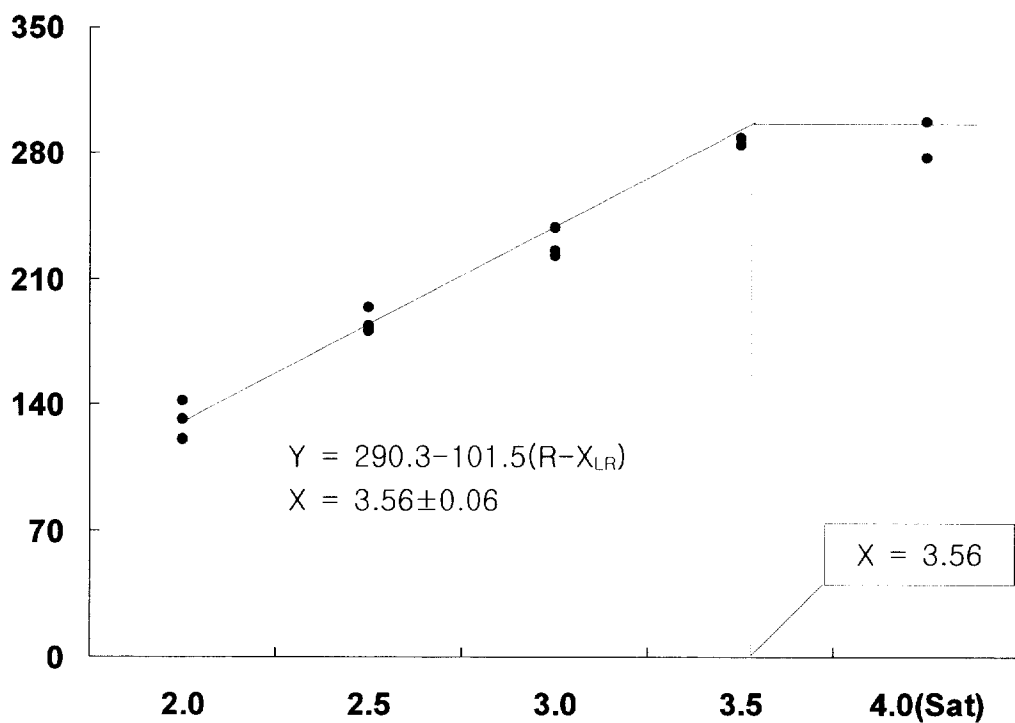


Fig 5. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in juvenile olive flounder.

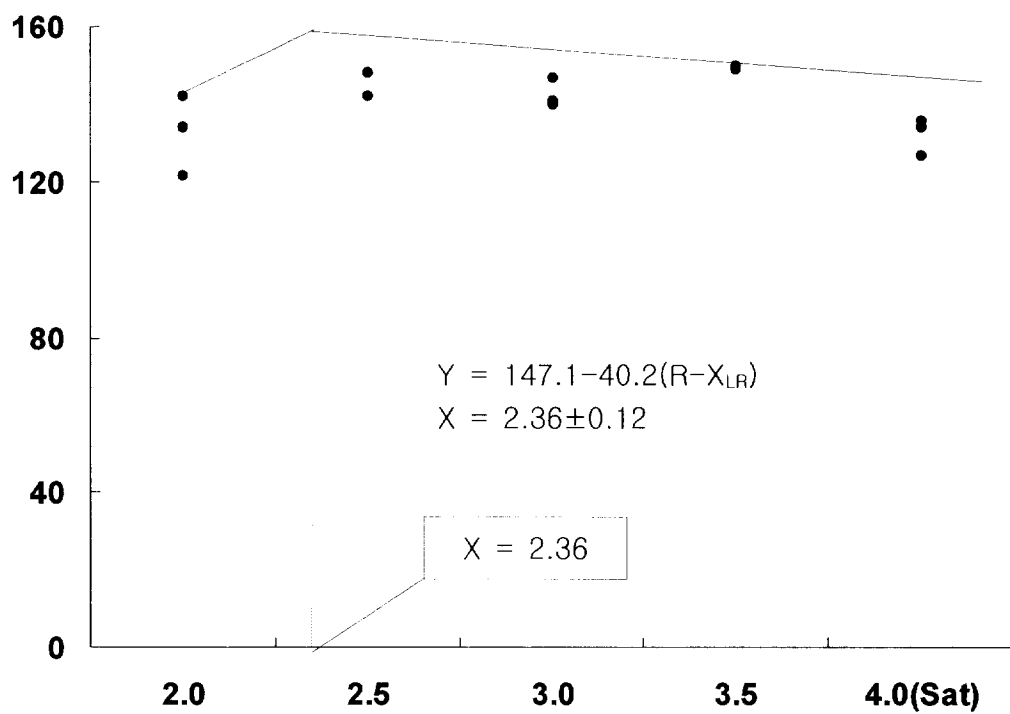


Fig 6. Broken line analysis of feed efficiency (FE, %) based on the dietary lipid levels in juvenile olive flounder.

2) 전어체 성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종로어의 전어체 성분 Table 20에 나타내었다. 사료공급량에 의해서 전어체 성분은 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 전어체의 수분함량(74.4~75.3%), 조단백함량(17.0~17.6%), 조지방함량(2.76~2.86%), 조회분함량(3.77~3.84%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 20. Proximate composition of whole body of juvenile olive flounder

Composition	Diets(%) ¹					Pooled SEM ²
	D2.0	D2.5	D3.0	D3.5	DS	
Moisture	75.3	75.0	74.9	74.2	72.1	1.01
Crude protein	17.1	17.0	17.3	17.5	17.6	0.31
Crude fat	2.78	2.76	2.81	2.85	2.86	0.12
Crude ash	3.77	3.80	3.82	3.84	3.80	0.15

¹Refer table 19.

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

2. 육성기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정

1) 사육실험 결과

6주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 21에 나타내었다. 증중률, 일간성장률은 사료공급량이 증가할수록 유의적으로 높은 경향이 나타났지만 ($P<0.05$), 사료공급량이 어체중 당 1.9%와 반복 실험구(어체중당 2.0% 수준)는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 일일사료공급율은 사료공급량이 증가할수록 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 증중률 및 일간성장률과 유사한 경향을 보였다. 사료효율과 단백질 전환효율은 사료공급량이 어체중 당 1.0%에서 1.3%로 증가할수록 증가하다가 1.3% 이상에서는 점차 감소하는 경향을 보였다. 사료효율과 단백질전환효율에 있어서 사료공급량이 어체중 당 1.3% 실험구가 1.0% 실험구에 비해 높게 나타났다. 반면에, 사료공급량이 어체중 당 1.3, 1.6, 1.9 및 반복실험구간과 1.0, 1.6, 1.9% 및 반복실험구간에서는 각각 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 간중량지수(1.32~1.50), 비만도(0.95~1.00) 및 생존율(100%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

성장결과를 종합하여 보면 사료공급량이 증가할수록 성성장효과가 높게 나타났다지만, 사료효율 및 단백질전환효율은 사료공급량이 가장 낮은 실험구와 반복실험구가 낮은 경향을 보였다. Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 사료공급량은 어체중 당 $1.87\pm0.08\%$ 였으며(Fig 7), 최대 사료효율을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 사료공급량은 어체중 당 $1.36\pm0.11\%$ 로 나타났다(Fig 8).

Table 21. Growth performance of growing olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled
	D1.0	D1.3	D1.6	D1.9	DS	SEM ³
Initial weight (g/fish)	75.6	75.5	76.3	75.9	75.1	0.29
Final weight (g/fish)	118 ^d	145 ^c	163 ^b	182 ^a	189 ^a	7.00
WG (%) ³	55.4 ^d	92.0 ^c	116 ^b	140 ^a	151 ^a	9.36
SGR (%) ⁴	1.83 ^d	2.33 ^c	2.61 ^b	2.87 ^a	2.97 ^a	0.17
DFI (%) ⁵	1.01 ^e	1.27 ^d	1.50 ^c	1.82 ^b	1.92 ^a	0.13
FE (%) ⁶	102 ^b	119 ^a	116 ^{ab}	108 ^{ab}	106 ^{ab}	2.40
PER ⁷	1.96 ^b	2.28 ^a	2.24 ^{ab}	2.08 ^{ab}	2.05 ^{ab}	0.05
HSI ⁹	1.32	1.42	1.40	1.50	1.47	0.03
CF ¹⁰	0.95	0.92	0.99	0.99	1.00	0.01
Survival (%)	100	100	100	100	100	0

¹ Values are means of triplicate groups values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05) as determined by Duncan method.

² D1.0, Feeding rate 1.0%; D1.3, Feeding rate 1.3%; D1.6, Feeding rate 1.6%; D1.9, Feeding rate 1.9%; DS, Feeding satiation rate.

³ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per

⁴ Weight gain (%) : $[\text{final wt. (g)} - \text{initial wt. (g)}] / \text{initial wt. (g)} \times 100$.

⁵ Specific growth rate : $[\log_e \text{ final wt. (g)} - \log_e \text{ initial wt. (g)}] / \text{days} \times 100$.

⁶ Daily feed intake : $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100 / (\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.}) / 2 \times \text{days fed}$

⁷ Feed efficiency (%) : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁸ Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁹ Hepatosomatic index : $(\text{liver wt. (g)} / \text{body wt. (g)}) \times 100$.

¹⁰ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

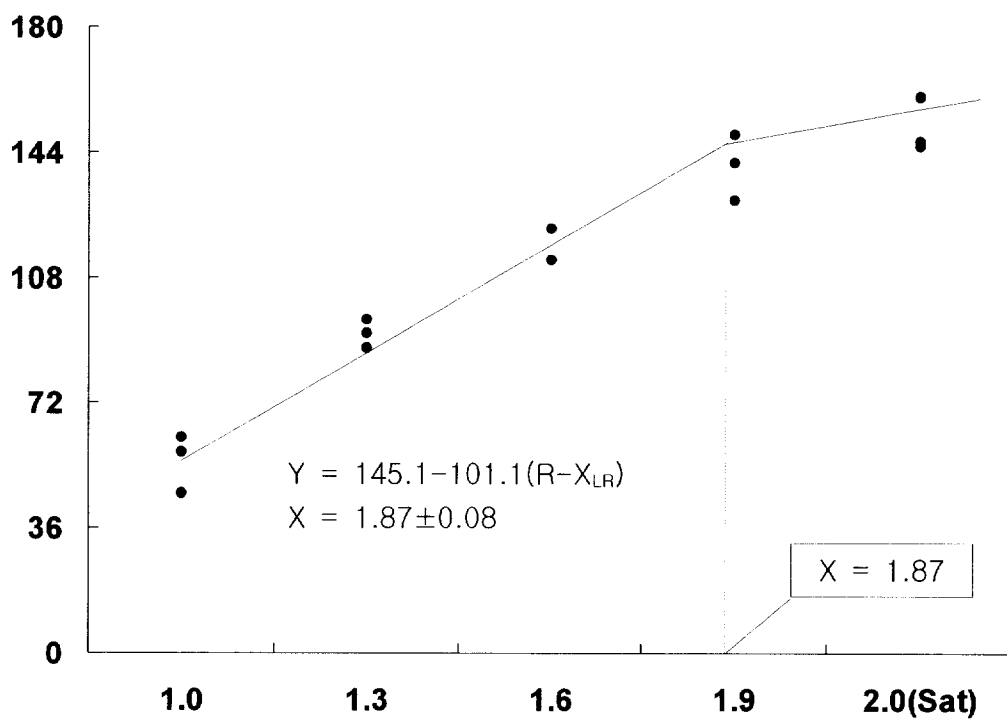


Fig 7. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in growing olive flounder.

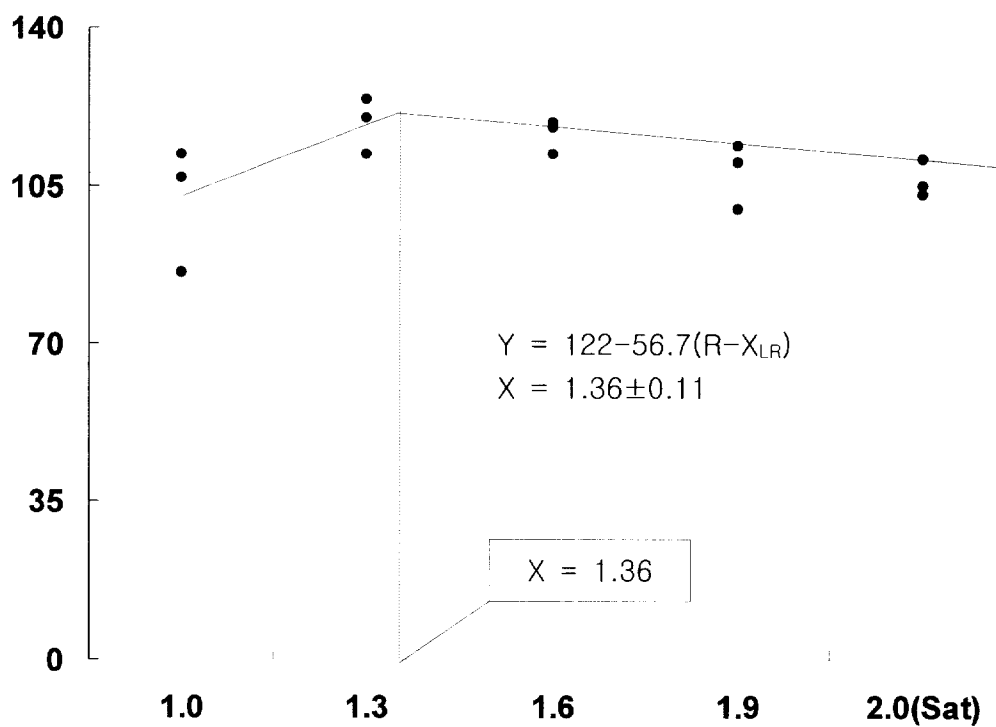


Fig 8. Broken line analysis of feed efficiency (FE, %) based on the dietary lipid levels in growing olive flounder.

2) 전어체 성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종로어의 전어체 성분 Table 22에 나타내었다. 사료공급량에 의해서 전어체 성분은 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 전어체의 수분함량(73.2~74.9%), 조단백함량(18.1~18.6%), 조지방함량(2.76~2.84%), 조회분함량(3.73~3.82%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 22. Proximate composition of whole body of growing olive flounder

Composition	Diets(%) ¹					Pooled SEM ²
	D2.0	D2.5	D3.0	D3.5	DS	
Moisture	74.9	74.1	74.4	73.9	73.2	1.03
Crude protein	18.1	18.3	18.3	18.6	18.5	0.27
Crude fat	2.82	2.76	2.81	2.83	2.84	0.13
Crude ash	3.73	3.82	3.77	3.80	3.78	0.15

¹Refer table 21.

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

3. 성어기의 적정 지질함량에 대한 공급량 설정

1) 사육실험 결과

6주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 23에 나타내었다. 증중률, 일간성장률은 사료공급량이 증가할수록 유의적으로 높은 경향이 나타났지만 ($P<0.05$), 사료공급량이 어체중 당 1.1%와 반복 실험구(어체중 당 1.2% 수준)는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 일일사료공급율은 사료공급량이 증가할수록 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 증중률 및 일간성장률과 유사한 경향을 보였다. 사료효율과 단백질 전환효율은 사료공급량과 관계없이 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 간중량지수(1.22~1.43), 비만도(1.01~1.00) 및 생존율(100%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

성장결과를 종합하여 보면 사료공급량이 증가할수록 성장효과가 높게 나타났지만, 사료효율 및 단백질전환효율은 사료공급량과 관계없이 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 넙치 치어기 EP사료내 적정 사료공급량은 어체중 당 $1.11\pm0.02\%$ 로 나타났다 (Fig 9).

Table 23. Growth performance of adult olive flounder fed five different dietary lipid levels for 6 weeks¹

	Diets ²					Pooled
	D0.5	D0.7	D0.9	D1.1	DS	SEM ³
Initial weight (g/fish)	510	509	512	510	513	0.89
Final weight (g/fish)	600 ^d	644 ^c	689 ^b	736 ^a	740 ^a	14.5
WG (%) ³	17.5 ^d	26.5 ^c	34.7 ^b	44.3 ^a	44.6 ^a	2.80
SGR (%) ⁴	1.63 ^d	1.76 ^c	1.88 ^b	2.00 ^a	2.01 ^a	0.05
DFI (%) ⁵	0.46 ^e	0.64 ^d	0.81 ^c	0.99 ^a	1.02 ^a	0.07
FE (%) ⁶	84.0	87.6	86.5	87.3	85.2	1.40
PER ⁷	1.61	1.68	1.66	1.68	1.64	0.02
HSI ⁹	1.22	1.32	1.38	1.42	1.43	0.03
CF ¹⁰	1.09	1.02	1.05	1.07	1.01	0.01
Survival (%)	100	100	100	100	100	0

¹ Values are means of triplicate groups values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$) as determined by Duncan method.

² D0.5, Feeding rate 0.5%; D0.7, Feeding rate 0.7%; D0.9, Feeding rate 0.9%; D1.1, Feeding rate 1.1%; DS, Feeding satiation rate.

³ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per

⁴ Weight gain (%) : $[\text{final wt. (g)} - \text{initial wt. (g)}] / \text{initial wt. (g)} \times 100$.

⁵ Specific growth rate : $[\log_e \text{ final wt. (g)} - \log_e \text{ initial wt. (g)}] / \text{days} \times 100$.

⁶ Daily feed intake : $\text{Feed intake (dry matter)} \times 100 / (\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.}) / 2 \times \text{days fed}$

⁷ Feed efficiency (%) : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁸ Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁹ Hepatosomatic index : $(\text{liver wt. (g)} / \text{body wt. (g)}) \times 100$.

¹⁰ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

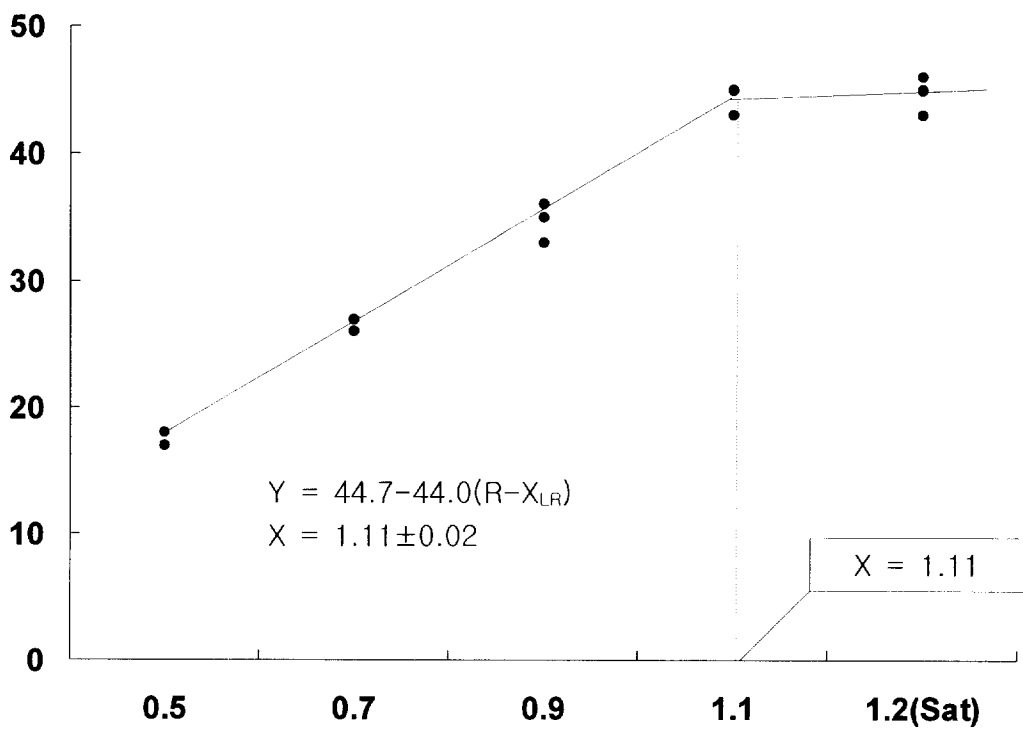


Fig 9. Broken line analysis of weight gain (WG, %) based on the dietary lipid levels in adult olive flounder.

2) 전어체 성분

6주 동안 실험사료를 섭취한 종로어의 전어체 성분 Table 22에 나타내었다. 사료공급량에 의해서 전어체 성분은 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 전어체의 수분함량(70.5~71.2%), 조단백함량(19.1~19.7%), 조지방함량(2.79~2.85%), 조회분함량(3.77~3.85%)은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 24. Proximate composition of whole body of adult olive flounder

Composition	Diets(%) ¹					Pooled SEM ²
	D0.5	D0.7	D0.9	D1.1	DS	
Moisture	71.2	71.3	70.8	70.5	70.5	1.03
Crude protein	19.1	19.1	19.3	19.5	19.7	0.27
Crude fat	2.84	2.80	2.85	2.81	2.79	0.13
Crude ash	3.85	3.82	3.77	3.80	3.78	0.15

¹Refer table 23.

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

제 3 절 넙치의 장기간 현장적용 비교 사육실험

1) 사육실험 결과

13개월 동안 사육한 넙치의 4가지 사료구의 성장 결과는 Table 25에 나타내었다. 증체율(wt. gain, %)에 있어서 실험사료2(EP2) 및 습사료(MP)가 상품사료(CEP)와 비교하여 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 시험사료1(EP1)은 EP2 및 MP와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 사료효율(FE)에 있어서 EP1 및 EP2 사료구는 두 사료구간 유의적인 차이를 보이지 않은($P>0.05$) 반면에 CEP 및 MP 사료구와 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타내었으며($P<0.05$), MP가 가장 낮은 값(4.05)을 보였다($P<0.05$). 일간성장률(SGR)에 있어서 EP1, EP2 및 MP 사료구는 유의적인 차이를 보이지 않았으며($P>0.05$), 이 사료구들은 CEP와 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P<0.05$). 단백질 전환효율(PER)에 있어서 EP1 및 EP2 사료구는 다른 사료구들과 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타내었으며($P<0.05$), CEP 사료구는 MP 사료구보다 유의적으로 높은 값을 보였다($P<0.05$). 간중량지수(HSI)는 EP1 및 EP2 사료구는 CEP 및 MP 사료구와 비교하여 높은 값을 보였으며($P<0.05$), CEP 및 MP 사료구는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 비만도(CF)는 EP2 및 MP 사료구가 CEP 사료구와 비교하여 유의적으로 높게 나타난 반면($P<0.05$), EP1과 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 생존율(survival rate)에 있어서 MP 사료구가 EP1 및 EP2 사료구와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않은($P>0.05$) 반면에 CEP와 비교하여 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P<0.05$).

기간별 넙치 증체량 비교는 Table 26에 나타내었다. 7월~9월 사이 태풍으로 인한 수질탁도, 고수온으로 인한 먹이절식 및 어병 발생으로 한달 정도 먹이급이가 제대로 되지 않았으며, 이때 폐사율을 15~20% 발생되었다. EP1, EP2, MP 사료구는 200g까지 거의 성장차이를 보이지 않았으며, 350g 전후에서는 MP가 다른 사료구보다 다소 높은 성장을 보였다($P<0.05$). 시험기간 중 겨울철 기간에 습사료가 배합사료보다 높은 소화율로 인해 증체량이 어느 정도 차이를 보인 것으로 사료되며, 8월경에 습사료에서 배합사료보다 다소 낮은 증체율을 보인 것은 높은 수온으로 인해 질병증상이 많이 나타났다. 기간별 최대 증체량은 8~9월 사이 습사료에서 165g으로 나타났으며, 최소 성장차는 2~3월사이 EP1에서 27g으로 나타났다. 전체적으로 10월~11월에 있어서 기간별 증체량에서 123~165g으로 가장 높은 증체량을 나타내었으며, 2월~3월에 있었 27~38g으로 가장 낮은 증체량을 보였다. 4월~6월에는 수온이 점차적으로 상승시기에 월평균 50g씩 성장하였다.

넙치 현장시험의 월별 수온 변화는 Table 27에 나타내었다. 가장 높은 수온은 8월에 25.6℃로 나타났으며, 가장 낮은 수온은 2월에 10.2℃로 나타났으며, 넙치 성장에 있어서 9월~11월이 최적 수온으로 나타났고, 5월과 6월에는 남서풍으로 인해 냉수대(5℃ 이하의 차이를 나타냄)가 여러번 나타났다. 그리고, 12~3월은 불가피하게 낮은 수온으로 인해 넙치의 성장에 지장을 초래하였다.

Table 25. Effects of flounder fed the extruded pellets and moist pellet for 13 months¹

	Diets ²				Pooled SEM ³
	EP1	EP2	CEP	MP	
Initial weight (g/fish)	30.2	30.2	30.1	30.1	0.20
Final weight (g/fish)	593 ^{ab}	615 ^a	563 ^b	620 ^a	15.5
WG (%) ⁴	1864 ^{ab}	1937 ^a	1771 ^b	1960 ^a	55.9
SGR (%) ⁵	1.98 ^a	2.01 ^a	1.95 ^b	2.02 ^a	0.10
FE (%) ⁶	84.0	87.6	86.5	87.3	1.40
PER ⁷	1.64 ^a	1.67 ^a	1.41 ^b	1.15 ^c	0.20
HSI ⁸	1.44 ^a	1.47 ^a	1.28 ^b	1.21 ^b	0.10
CF ⁹	1.14 ^{ab}	1.19 ^a	1.08 ^b	1.18 ^a	0.10
Survival (%)	59.4 ^{ab}	61.5 ^a	58.8 ^b	65.9 ^a	4.50

¹ Values are means of triplicate groups values in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$) as determined by Duncan method.

² Refer table 5.

³ Pooled standard error of mean: $SD/\sqrt{n}$, $n = 3$ replicated tanks of fish per

⁴ Weight gain (%) : $[\text{final wt. (g)} - \text{initial wt. (g)}] / \text{initial wt. (g)} \times 100$.

⁵ Specific growth rate : $[\log_e \text{ final wt. (g)} - \log_e \text{ initial wt. (g)}] / \text{days} \times 100$.

⁶ Feed efficiency (%) : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁷ Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁸ Hepatosomatic index : $(\text{liver wt. (g)} / \text{body wt. (g)}) \times 100$.

⁹ Condition factor : $[\text{fish wt. (g)} / \text{fish length (cm)}^3] \times 100$.

Table 26. Weight gain of flounder fed the extruded pellets and moist pellet for two months¹

Months	Diets			
	EP1	EP2	CEP	MP
5	-	-	-	-
7	70.8 ^a	70.8 ^a	57.9 ^b	71.9 ^a
9	101 ^a	105 ^a	86 ^b	94 ^{ab}
11	138 ^b	148 ^b	123 ^c	165 ^a
1	82	76	80	75
3	27	38	38	37
6	144	147	148	147

¹Values are means from triplicate groups of fish where the means in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05).

Table 27. Temperature change of water in tanks a month¹

	Month											
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
°C	18.9	21.0	25.6	22.7	19.8	16.4	13.5	11.5	10.2	10.8	12.9	13.3

¹Values are means from triplicate groups of fish where the means in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05).

2) 전어체 성분

사육실험 종료 후, 실험어의 등근육, 간 및 전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 28 및 29에 각각 나타내었다. 등근육(dorsal muscle)에 있어서 수분은 모든 사료구간에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 조단백질은 EP2 사료구가 EP1 및 MP 사료구와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않은 ($P>0.05$) 반면에 CEP 사료구보다 높은 값을 보였다($P<0.05$). 조지방은 EP1, EP2 및 MP 사료구가 CEP 사료구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 간(liver)에 있어서 수분은 EP1, EP2 및 CEP 사료구가 MP 사료구와 비교하여 유의적으로 높은 값을 보였으며($P<0.05$), EP1, EP2 및 CEP 사료구간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 조단백질 및 지질은 EP2 및 MP 사료구가 CEP 사료구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났으며 ($P<0.05$), EP1과 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 전어체(whole body)에 있어서 수분은 모든 사료구간에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 조단백질은 EP2가 EP1 및 CEP 사료구보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), MP와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다. 조지방은 EP2 및 MP 사료구가 CEP 사료구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), EP1과 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 조회분은 EP2가 다른 사료구와 비교하여 유의적으로 가장 높은 값을 보였으며 ($P<0.05$), EP1 사료구는 MP 사료구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$). 또한, CEP 사료구가 가장 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 넙치 등근육내 아미노산 성분 결과는 Table 30에 나타내었다. 모든 사료구에서 대부분 glutamic acid, lysine, aspartic acid, leucine, alanine, valine에서 높은 함량이 나타났으며, 전체 아미노산에 있어서 EP2가 17.8%로써 가장 높았으며, CEP(17.5%), MP(16.5%), EP1(16.3%) 순으로 나타났다.

Table 28. Proximate composition (%) of dorsal muscle and liver for flounder fed EP diets and MP diet during 13 months¹

Diets ²	Moisture	Crude protein	Crude lipid
<i>dorsal muscle</i>			
EP1	74.6±0.22	22.5±0.34 ^{ab}	0.6±0.05 ^a
EP2	74.8±0.63	22.9±0.23 ^a	0.7±0.19 ^a
CEP	74.7±0.25	21.5±0.26 ^b	0.4±0.03 ^b
MP	75.9±0.53	22.6±0.02 ^{ab}	0.7±0.06 ^a
<i>liver</i>			
EP1	65.8±4.63 ^a	11.5±0.49 ^{ab}	17.1±1.99 ^{ab}
EP2	64.4±1.48 ^a	12.9±0.39 ^a	18.2±1.36 ^a
CEP	65.5±1.31 ^a	9.5±0.60 ^b	16.5±1.75 ^b
MP	61.6±0.52 ^b	13.2±2.05 ^a	19.3±0.91 ^a

¹Values (mean ± SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Refer table 5.

Table 29. Proximate composition (%) of whole body for flounder fed EP diets and MP for 13 months¹

Diets ²	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
EP1	70.8±1.58	19.5±0.40 ^b	3.1±1.34	3.7±0.34 ^b
EP2	70.1±1.38	20.9±0.06 ^a	3.1±1.10	4.5±0.03 ^a
CEP	72.0±0.12	19.4±0.20 ^b	2.6±1.45	3.0±0.15 ^c
MP	72.8±0.72	20.1±0.03 ^{ab}	2.8±0.93	3.6±0.14 ^b

¹Values (mean ± SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Refer table 5.

Table 30. Amino acid contents of the dorsal muscle for flounder fed EP diets and MP diet during 13 months¹(%)

Amino acids	Diets ²			
	EP1	EP2	CEP	MP
Aspartic acid	1.85	2.03	2.00	1.89
Threonine	0.77	0.88	0.83	0.77
Serine	0.68	0.73	0.74	0.69
Glutamic acid	2.81	3.07	3.07	2.87
Proline	0.51	0.53	0.52	0.49
Glycine	0.75	0.81	0.81	0.77
Alanine	0.98	1.06	1.05	1.00
Valine	1.94	2.01	1.97	1.91
Cysteine	0.31	0.35	0.32	0.29
Methionine	0.65	0.72	0.71	0.67
Isoleucine	0.82	0.90	0.87	0.83
Leucine	1.46	1.60	1.56	1.49
Tyrosine	0.59	0.66	0.65	0.58
Phenylalanine	0.71	0.77	0.76	0.71
Histidine	0.41	0.46	0.45	0.42
Lysine	1.44	1.58	1.58	1.44
Arginine	0.60	0.68	0.68	0.61

¹Values (mean $\pm$ SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

² Refer table 5.

3) 혈액 및 혈청성분의 변화

넙치의 혈청 성분분석 결과는 Table 31에 나타내었으며, GOT, GPT 및 Total cholesterol에 있어서 전체적으로 EP 사료구들보다 MP 사료구에서 높게 나타났다. 인지질(Phospholipid)은 EP2 사료구가 가장 높은 값을 나타내었고($P<0.05$), EP1 및 MP 사료구는 CEP 사료구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). Total protein(TP)는 EP2 사료구가 다른 사료구와 비교하여 높은 값을 보였으며($P<0.05$), 다른 사료구들은 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). Triglyceride(TG)은 습사료구에서 낮은 경향을 보였으나, 전체적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

Table 31. Serological characteristics of flounder fed EP diets and MP diet for 13 months¹

	Diets ²				Pooled SEM ³
	EP1	EP2	CEP	MP	
GOT(U/L) ⁴	47.2 ^b	45.3 ^b	54.5 ^{ab}	59.2 ^a	5.38
GPT(U/L) ⁵	4.4 ^b	5.4 ^b	5.9 ^b	7.4 ^a	1.06
Phospholipid(mg/dl)	825 ^b	1069 ^a	695 ^c	836 ^b	20.1
Total protein(g/dl)	5.2 ^b	5.9 ^a	4.8 ^b	4.9 ^b	0.11
Total cholesterol(mg/dl)	201 ^b	219 ^b	298 ^b	417 ^a	12.5
Triglyceride(mg/dl)	248	198	186	163	10.3
Uric acid(mg/dl)	0.5	1.4	0.8	0.7	0.05

¹Means of triplicate groups, values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

²Refer table 5.

³Pooled standard error of mean : $SD/\sqrt{n}$.

⁴Glutamic oxaloacetic transaminase.

⁵Glutamic pyruvic transaminase

4) 육질 기호도 평가

근육내 유리아미노산의 성분분석 결과는 Table 32에 나타내었다. 대체로 단맛을 내는 아미노산에 있어서 EP사료구간에서 MP 사료구보다 proline, glycine, alanine 함량이 높게 나타났으며, threonine, serine은 차이를 보이지 않았다. 특히 taurine에 있어서 EP1 사료구가 다른 사료구와 비교하여 높은 경향을 보였다. 쓴맛을 내는 아미노산(valine, isoleucine, leucine, lysine)에 있어서 모든 사료구간에서 차이를 보이지 않았다. 그리고, 유리아미노산의 총량에 있어서는 모든 사료구에서 차이를 보이지 않았다.

핵산 관련물질 성분분석 결과는 Table 33에 나타내었다. 핵산 관련물질 중 ATP 및 IMP의 양에서 배합사료에서 습사료보다 높은 값을 보였으며, 특히 EP2에서 다른 사료구와 비교하여 높은 값을 보였다. ADP 및 Inosine은 모든 사료구에서 나타나지 않았다. Hypoxanthin에 있어서도 EP2가 다른 배합사료구와 비교하여 50%정도 높은 값을 보였으며, MP 사료구가 가장 낮은 값을 나타내었다.

관능검사는 Table 34에 나타내었다. 향(Flavor), 외관(Color), 맛(Taste)에 있어서 EP 사료구간과 MP 사료구가 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 질감(Texture)에 있어서 EP2 사료구는 CEP 및 MP 사료구와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않은($P>0.05$) 반면에 EP1 사료구보다 유의적으로 높게 나타났었다($P<0.05$). 전반적인 기호도(Overall-acceptability)에 있어 EP2가 다른 사료구들보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), EP1, CEP 및 MP 사료구들에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

물리적 성질에 있어서 차이가 크게 식별된 어육의 질감 특성에 대한 주관적인 관능검사를 결과를 객관적으로 검토해 보는 방법으로 경도, 탄력성 및 응집성에 대하여 기계적 측정을 실시한 결과는 Table 35에 나타내었다. 경도에 있어서 EP2는 MP 사료구와 유의적인 차이를 보이지 않은($P>0.05$) 반면에

EP1 및 CEP 사료구와 비교하여 높게 나타났다($P<0.05$). 탄력성과 응집성은 모든 사료구에서 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

Table 32. Free amino acid contents of the dorsal muscle for flounder fed EP diets and MP diet for 13 months¹(%)

Free amino acids	Diets ²			
	EP1	EP2	CEP	MP
Phosphoserine	0.006	0.005	0.005	0.005
Taurine	0.198	0.184	0.179	0.182
Phosphoethanolamine	-	-	-	-
Urea	-	-	-	-
L-Aspartic acid	-	-	-	-
L-Threonine	0.011	0.013	0.009	0.013
L-Serine	0.003	0.003	0.002	0.004
Asparagine	-	-	-	-
L-Glutamic acid	0.003	0.001	0.001	0.006
L- α -Aminoadipic acid	-	-	-	-
L-Proline	0.005	0.005	0.005	0.001
L-Glycine	0.005	0.003	0.003	0.001
L-Alanine	0.007	0.008	0.008	0.003
L-Citrulline	-	-	-	-
L- α -Aminobutyric acid	-	-	-	-
L-Valine	0.006	0.006	0.007	0.006
L-Cystine.	-	-	-	-
L-Methionine	-	-	-	0.001
L-Isoleucine	0.003	0.002	0.004	0.003
L-Leucine	0.005	0.005	0.008	0.006
L-Tyrosine	0.004	0.004	0.004	0.005
L-Phenylalanine	0.005	0.004	0.007	0.005
β -alanine	-	-	-	-
DL- β -Aminoisobutyric acid	-	-	-	-
γ -Aminobutyric acid	-	-	-	-
L-Ornithine	-	-	-	-
L-Lysine	0.001	0.001	0.002	0.002
1-Methyl-L-Histidine	0.007	0.010	0.018	0.017
L-Histidine	-	-	-	-
3-Methyl-L-Histidine	0.004	0.003	0.003	0.004
L-Carnosine	-	-	-	-
L-Arginine	-	-	-	-

¹Values (mean $\pm$ SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

²Refer table 5.

Table 33. Nucleotides and their related compounds of flounder fed EP diets and MP diet for 13 months¹ (mg/g)

Contents	Diets ²			
	EP1	EP2	CEP	MP
AMP	0.003	0.010	0.009	0.004
ADP	ND	ND	ND	ND
ATP	0.013	0.024	0.005	ND
Inosine.	ND	ND	ND	ND
IMP	2.220	3.741	1.614	0.950
Hypoxanthin	0.321	0.712	0.418	0.202

¹Values (mean $\pm$ SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

²Refer table 5

Table 34. Sensory scores of flounder fed EP diets and MP diet during 13 months¹

Contents	Diets ²				Pooled SEM ³
	EP1	EP2	CEP	MP	
Flavor	6.33	6.60	6.37	6.13	0.18
Color	6.87	6.67	6.83	6.60	0.28
Taste	7.00	7.13	6.70	6.97	0.16
Texture ⁴	6.90 ^b	7.10 ^a	6.97 ^{ab}	6.97 ^{ab}	0.09
Overall-acceptability ⁴	6.77 ^b	7.03 ^a	6.77 ^b	6.73 ^b	0.11

¹Values (mean $\pm$ SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

²Refer table 5

³Pooled standard error means.

⁴P<0.01.

Table 35. Physical properties of flounder fed EP diets and MP diet for 13 months¹

Contents	Diets ²				Pooled SEM ³
	EP1	EP2	CEP	MP	
Hardness(dyne/cm ²)	48.32 ^b	54.35 ^a	49.35 ^b	51.29 ^{ab}	2.35
Springeness	0.52	0.59	0.46	0.58	0.06
Cohesiveness	0.41	0.43	0.41	0.44	0.02

¹Values (mean $\pm$ SE of three replications) in each row not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

²Refer table 5

³Pooled standard error means.

제 4 장 고 찰 및 결 론

제 1 절 넙치의 성장 단계별 E.P 배합사료내 적정 지질 첨가량 평가 실험

본 실험에서 넙치 EP사료내 지질함량은 성장단계와 관계없이 성장, 전어체, 혈청내 중성지질의 함량에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 성장에 있어서 치어기의 경우 사료내 지질 함량이 8~12%, 육성기는 10~14%, 성어기는 10~14% 실험구에서 높게 나타났는데, 치어기에 비해 성어기로 갈수록 단백질 절약효과가 있을 것으로 사료된다. 하지만, 이러한 결과는 연어과(Johnsen and Wandsvik, 1990) 및 sea bass(Peres and Oliva-Teles, 1999)의 사료내 25% 내외에 비해 낮은 수치로 단백질 절약효과가 매우 낮았다. 이러한 이유는 넙치가 타 어종에 비해 지방저장 부위가 낮은 어류인 것으로 판단되며, 터봇, 가자미, halibut 등 flat fish 어류에서 낮은 지방저장 부위를 가진다는 보고와 일치하였다. 사료내 지질 함량이 증가할수록 전어체 지질함량은 유의적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 flat fish 어류인 터봇(Regost et al., 2001) 뿐만 아니라 연어과(Johnsen and Wandsvik, 1990) 및 sea bass(Peres and Oliva-Teles, 1999) 등 타 어종에서도 유사한 결과를 보였다. 또한 전어체의 단백질 함량의 경우 유의적인 차이는 나타나지 않았지만 감소하는 경향이 나타났는데, 이는 사료내 지질 첨가시 육질에 영향을 미칠 수 있는 요인이라고 판단된다. 혈청내 중성지질의 경우 사료내 지질함량이 수준에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 터봇(Regost et al., 2001)의 결과와 유사하였다.

본 연구결과를 통하여 넙치는 다른 어종에 비해 생리적으로 지방에 대한

저장능력이 낮은 것으로 사료되며, 그나마 치어기에서 성어기로 가면서 조금 나이지는 경향이 있는 것으로 판단된다. 그리고 넙치에 있어서 EP사료내 적정지질함량은 최대성장을 위하여 치어기는 9.08%, 육성기는 10.1%, 성어기는 10.1% 적정할 것으로 생각된다. 앞으로, 넙치 EP사료내 지질연구를 하는데 있어 넙치의 생리적 측면을 고려하여 요구량 및 지질원들에 대한 평가가 이루어져야 될 것으로 사료된다.

제 2 절 넙치의 성장 단계별 E.P 배합사료의 적정 사료 공급량 평가 실험

사료의 적정공급률은 어류의 크기 및 사육환경 등에 따라 달라 질 수 있으며(Brett, 1979; Ng et al., 2000), 일반적으로, 포유를 포함한 어류는 성장할수록 그 체중에 대한 섭취율은 감소한다. 또한, 사육공급량은 사료내 지질함량에 따라 달라 질 수 있기 있으며(Maria and Kissil, 1979; Munsiri and Lovell, 1993), 동일한 단백질 함량에서 지질의 수준에 따라 성장 및 사료효율의 개선효과가 나타난다는 보고(Garling and Wilson, 1976)가 있기 때문에 사료내 적정지질 함량은 사료 공급체계를 구축하는데 중요한 요소가 된다. 그래서 본 연구에서는 성장단계별 넙치 EP 사료내 적정 지질함량을 앞선 연구에서 결과를 도출한 후 사료 공급량 평가 실험을 시행하였는데, 이때 이용된 EP 사료내 지질함량은 10%였다. 본 연구를 통하여 성장단계에 관계없이 치어기(초기 무게 13.4g), 육성기(초기 무게 13.4g), 성어기(초기 무게 13.4g), 에 있어서 사료내 공급량에 따라 증체율, 일간성장률, 사료효율, 단백질전환 효율에 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 전어체 성분, 간중량지수, 비만도와는 관련이 없는 것으로 사료된다. 증체율과 일간성장률은 사료공급량이 증가할수록 높게 나타나다가 일정수준에서 유지되는 경향이 있었지만, 이와 반대로 사료효율 및 단백질 전환효율은 사료공급량이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 sea bass(Eroldogan, 2003), 무지개 송어(NRC, 1993)에서 유사하게 나타났으며, 이를 통하여 적정 사료공급량은 산업적, 경제적 및 환경적 측면에서 효율적으로 관리해야 됨을 알 수 있다. 넙치 치어기에 있어서 증체율을 기준으로 적정사료내 공급량은 어체중당 3.5~4.0%(만복), 사료효율을 기준으로 2.5~3.5%로 나타났으며, 이때 brokenline분석을 통

한 적정 사료내 적정 공급량은 각각 어체중 당 3.56%와 2.36%가 나타났다. 넙치 치어기에 있어서 증체율을 기준으로 적정사료내 공급량은 어체중 당 1.9~2.0%(만복), 사료효율을 기준으로 1.3~2.0%로 나타났으며, 이때 brokenline분석을 통한 적정 사료내 적정 공급량은 각각 어체중 당 1.87%와 1.36%가 나타났다. 넙치 치어기에 있어서 증체율을 기준으로 적정사료내 공급량은 어체중 당 1.1~1.2%(만복), 사료효율을 기준으로 2.5~3.5%로 나타났으며, 이때 brokenline분석을 통한 적정 사료내 적정 공급량은 각각 어체중 당 3.56%와 2.36%가 나타났다. 이러한 결과들은 치어기와 육성기의 경우 사료공급량의 설정기준을 증체율과 사료효율 어떤 것으로 하느냐에 따라서 적정사료공급량이 달라짐을 알 수 있다. 하지만 성어기로 가면서 사료공급량에 대한 사료효율의 영향은 감소하는 것으로 사료된다.

따라서, 이러한 결과들을 종합하여 볼 때, 넙치 성장단계별 사료내 적정 사료공급량은 어체중 당 치어기는 3.5%, 육성기는 1.87%, 성어기는 1.1%가 적합할 것으로 사료되며, 앞으로 각 수온시기에 대한 연구가 뒷받침 된다면 보다 체계적인 사료공급 프로그램을 작성하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

제 3 절 넙치의 장기간 현장적용 비교 사육실험

실용적인 배합사료를 개발하기 위해서는 대상 어종에 필요한 영양소 및 영양소별 적정 요구량을 구명하는 것이 가장 먼저 선행되어야 하며, 특히 배합사료 제작시 사료내 에너지에 대한 적정 단백질 비(P/E ratio)는 가장 중요하게 고려되어야 한다(Peres and Oliva-Teles, 1999). 아울러 상기 지질 수준 결과들을 토대로 넙치치어, 육성어 및 성어의 사료배합표는 성장함에 따라 단백질함량, 아미노산조성, 지방함량 등을 고려하여 EP사료로 제조되었다(Choi, 2004). Extruder를 이용하여 사료 제조시, 가공조건(온도, 스팀량 및 회전률) 및 사료내 영양소 조성비에 따라서도 EP의 품질이 달라질 수 있는데, extruder 내부에서 발생하는 고열로 인해 열에 약한 비타민 및 영양소가 파괴될 수 있다(Slinger et al., 1979; Kiang, 1989; Springate, 1991). 예를 들어, 사료 성형중 스팀 첨가와 같은 열처리 기간동안 ascorbic acid가 불안정하여 파괴되거나(Slinger et al., 1979), lysine 과 cystine과 같은 필수아미노산의 함량이 감소(Viola et al., 1983)되는 등의 결과가 이미 여러 연구에서 보고되었다. 따라서, 사료 성형시에는 영양소의 배합 비율 및 가공조건 등을 종합적으로 고려하여야 하며, 차후 extruder 가공 조건에 관련하여 구체적인 실험이 요구된다.

상기 결과들을 토대로, EP사료를 공급한 실험구들이 MP 실험구와 비교하여 좋은 성장을 보인 결과를 고려하여 볼 때 넙치 EP사료에 있어서 MP의 대체 가능성을 시사하고 있다. Lee et al. (1999)은 넙치의 치어기(1.6-4 g)에 MP의 공급이 비효율적이라고 보고하였으며, Seo et al. (2005)은 27-51 g의 넙치 치어를 대상으로 10주간 사육 실험한 결과, EP가 MP 못지않은 성장결과를 보여 EP사료로 MP 대체 가능성을 보고한바 있다. 이러한 결과들로부터 넙치의 치어기에 그들의 먹이로 MP 공급보다는 EP와 같은 건조 pellet을 공급하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 또한, 본 실험과 유사한 크기의 넙

치를 대상으로 EP와 MP를 장기간(1년) 사육한 결과(unpublished data, Lee et al., 2005), 넙치 성장에 있어 EP와 MP간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 현재 장기간 사육시 EP의 성장효과가 MP에 비해 뒤떨어진다는 기존의 양어가들 생각을 바꿀 수 있을 것으로 보인다. 그러기 위해선 EP의 MP 대체 가능성을 증명한 연구결과를 바탕으로 실제 양식현장에서의 EP와 MP의 비교사육실험이 중요하며, 현장실험에서도 이와 유사한 결과를 얻는다면 양어가들의 배합사료에 대한 불신감을 줄일 수 있어 EP를 실제 양식현장에 적용할 수 있을 것이라 판단된다. 이처럼 실험 EP사료의 좋은 성장은 기존의 영양연구 결과들을 바탕으로 넙치에 필요한 영양소가 균형있게 함유되었기 때문으로 판단된다.

상업용 배합사료(CEP)에 있어서 낮은 성장을 보인 것은 단백질 및 지질수준의 요구와 사료원료의 품질에 의한 차이 때문으로 생각된다. Choi et al. (2004)은 국내 및 국외 상업용 넙치사료의 성분 비교분석을 통하여 대부분의 사료에 단백질 및 지질이 과잉으로 첨가되어 있는 것이라고 보고하였다. 아울러, 넙치의 최대 성장을 위한 사료내 적정 단백질 수준은 46.4~51.2%로 평가되었으며(Kim et al., 2002), 넙치 사료내 적정 단백질/에너지 비는 에너지 16.7kJ/g의 단백질 함량 45% 사료구가 가장 좋은 성장률과 사료효율을 나타내었다(Kim et al., 2004).

EP 사료구에 비하여 MP 사료구의 낮은 사료효율은 이미 기존의 연구들에서도 보고된 바 있으며(Cho et al., 2005), 이는 MP의 경우 사육수조에서 사료를 섭취하는 동안 수중으로 유실되는 양이 EP사료에 비하여 많기 때문이며, 아울러 수질오염 발생빈도가 높아질 것으로 판단된다. Lee et al. (1997)은 조피볼락의 경우 사료물성(부상, 반부상 및 습사료)에 대한 성장, 영양소 이용효율, 사료 섭취율 및 체성분 등에 있어 차이가 인정되지 않아 사료형태에 관계없이 사용하여도 좋을 것이라고 판단하였다. 이처럼 어종의 먹이섭취 특

성에 따라 적절한 사료의 물성이나 형태가 달라질 수 있으므로 이에 대한 고려도 매우 중요한 변수가 될 것으로 판단된다.

어체의 성장이 건강상태와 반드시 일치하는 것은 아니며, 이러한 어류의 내적인 건강상태, 생리적인 활성 및 체내대사 장애를 진단하는 수단으로 혈액성분의 분석이 사용되고 있으나, 어종, 어체의 크기, 사료의 필수영양소 결핍, 서식하는 환경조건 및 어체의 상태 등에 따른 혈액성분의 변동이 심한 것으로 보고되고 있어 건강한 어류의 정확한 혈액성분의 수치를 결정하는 데는 어려움이 따르고 있다(Sim *et al.*, 1995).

혈청 GOT, GPT 및 Total cholesterol에 있어서 전체적으로 배합사료구보다 MP 사료구에서 높게 나타났으며, Triglyceride(TG)은 습사료구에서 낮은 경향을 보였다. 이것은 습사료구에서 간, 근육 등의 조직에 장애가 있을 것으로 사료되며(Gordon, 1968), TG의 수치가 낮은 것은 간세포의 지방대사 기능이 현저히 감소했다는 것을 알 수 있었다. 따라서, EP 사료구(EP1 & EP2)에서 간 기능을 증진시키는 물론 대사기능의 개선에 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있으며, 이러한 생리적 기능의 활성 효과가 이 연구 결과의 증체율, 사료효율 등에 유리하게 작용된 것으로 추측된다. 혈청내 인지질(Phospholipid)은 EP2 사료구가 가장 높은 수치를 나타내었다. 인지질은 모든 생체막 구조의 중요한 요소이며, 장에서 지질섭취의 유화제로서 작용하여 어류생리작용에 주된 효과를 준 것으로 사료된다.

넙치의 등근육 및 간내 성분분석 결과, 높은 증체율을 보인 사료구간에서 높은 수치를 나타내었다. 하지만, Lee and Kim (2005)은 치어기 넙치의 경우 사료의 지질함량이 증가함에 따라서 전어체 및 간과 내장 조직의 지질축적량이 증가하였다고 보고하여 어체크기에 따른 차이를 보였다. 어체내 단백질과 지질은 어류의 질에 영향을 미치는 중요한 요소로 특히 아미노산, 지질 종류와 지방산의 양, 질 및 분포 등에 따라 어체내 질에 큰 역할을 한다(Mustafa

and Nakagawa, 1995). 아울러, 체내 지나친 지질의 축적은 양식어류의 기호성을 저하시키고, 어류에게는 생리적인 불균형을 초래할 수 있다고 하였다(Nakagawa and Kasahara, 1986). 어체의 일반성분 조성에 있어서 동일한 종간 계통 차이, 수온, 증체량, 사료공급 및 사료배합에 영향을 받는다고 보고하였고(Nandeesh et al., 1995), 성장함에 따라 체지방의 함량은 증가하는 반면에 체단백질과 회분의 함량 변화는 적은 것으로 보고하였다(Murai et al., 1985).

육질평가에 있어서 유리아미노산은 생체활성물질의 구성성분으로 중요할 뿐 아니라 그 자체가 특징있는 맛을 식품에 부여하기도 한다(Ohta, 1976). Shou(1969)는 아미노산의 맛 분류에서 glycine, alanine, threonine, proline, serine 등은 단맛, leucine, isoleucine, methionine, phenylalanine, lysine, valine, arginine 등은 쓴맛, aspartic acid는 신맛, glutamic acid는 감칠맛을 갖는다고 보고하였다. 따라서, 단맛에 있어서는 배합사료가 높게 나타났으며, 감칠맛에 있어서는 습사료가 높게 나타났다. 특히 모든 사료구에서 공통적으로 taurine 함량이 많이 들어있었는데, 이것은 고혈압, 고지혈증의 예방, 콜레스테롤, 담석의 억제작용이 있어 배합사료를 공급한 넙치가 육질면에서 우수하다는 것으로 판단된다. 핵산 관련물질에 있어서 Nucleotides는 동물이 죽은 후 ATP형태에서 탈인산화가 일어나 ADP, AMP, IMP, HxR(Inosine), Hx(Hypoxanthine)로 변화되어 간다. 죽은 후에는 ATP가 많고 IMP는 적은 양 존재하나 시간이 경과되면 ATP는 급격히 분해되어 부패도기 전까지 주로 IMP의 형태로 축적된다. 또한, 어육의 유력한 맛난맛 성분인 IMP는 저장, 조리과정 중 효소에 의해 분해되고 IMP의 분해는 맛에 크게 영향을 미치므로 어육의 선도 내지 품질의 지표가 되는 것으로 알려져 있다. 상기 결과에 있어서 EP 사료구간이 습사료보다 어육의 변화 정도가 늦게 일어났음을 시사하는 것으로 배합사료가 즉살 후 넙치어육의 신선도를 오래

지속시킬 수 있을 것을 평가된다. 그리고, 관능검사의 절감과 전반적인 기호도, 물성측정의 정도에 있어서 배합사료가 습사료보다 떨어지지 않은 것으로 나타났다. 기존의 양어가들이 생각하는 단단하지 않고 탄력성이 없다는 것은 근거가 없는 것으로 판단된다.

이와 같이, 해산어류 양식산업에 발맞춰 실용적인 배합사료를 개발하는 것은 성장, 사료효율 및 생존율의 향상으로 양식의 생산성 향상 및 소득 증대할 뿐만 아니라 양식경영비의 절반 이상 되는 사료비의 절감을 가져올 것이며, 저렴한 사료가격, 우수한 성장 및 수질 오염률 경감을 동시에 할 수 있는 환경 친화적 배합사료 조성 및 제조기술을 산업화 및 상품화로 추진할 수 있을 것이다. 아울러, 해산어(넙치)용 실용 배합사료 양식산업의 안정적인 발전을 도모함으로써 경제적 파급 효과가 커 실용적인 배합사료 개발이 경제적인 측면에서도 상당히 중요성을 가진다(Rodriguez-Sernba et al. 1996).

따라서, 상기 실험 결과를 토대로 넙치의 EP2는 상업용 배합사료 및 습사료보다 충분히 가능성이 있으므로 양식장 현장실험을 거쳐서 현장에 보급할 수 있을 것으로 생각되며, 아울러 개발된 배합사료 품질을 유지하기 위하여 품질관리 기준에 대한 연구로 필요할 것으로 사료된다.

제 6 장 요약

본 연구에서는 먼저 넙치를 치어기(80g 이하), 육성어기(80~320g 이하), 성어기(320g 이상)로 성장단계를 구분하고, 사료회사에서 직접 익스투루더를 이용하여 실험용 EP 사료를 지질수준별로(6, 8, 10, 12, 14%) 제작하여 1차적으로 성장단계별 사료내 적정지질함량을 구명하고, 이의 결과를 바탕으로 적정 지질에 대한 적정 사료공급량을 설정하여 현장양식장에 치어에서 상품크기까지 적용함으로서 넙치 실용배합사료 개발을 위한 자료를 제공하고 앞으로 넙치 배합사료의 산업화를 앞당기는데 그 목적이 있다.

성장단계별 사료내 적정지질 함량 평가실험을 통하여 치어기에서 성어기로 가면서 지방저장 능력이 조금 나아지는 경향은 있지만, 다른 어종에 비해 생리적으로 지방에 대한 저장능력이 낮은 것으로 판단되며, 최대성장을 위하여 치어기는 9.08%, 육성기는 10.1%, 성어기는 10.1% 적정할 것으로 사료된다.

성장단계별 사료내 적정 공급량 평가 실험을 통하여 사료공급량에 의해 증체율, 사료효율 등이 영향을 받는 것을 알 수 있었으며, 치어기에서 성어기로 가면서 증체율이 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 적정 사료공급량은 어체중 당 치어기는 3.5%, 육성기는 1.87%, 성어기는 1.1%가 적합할 것으로 사료된다.

넙치 치어에서 상품크기까지 현장적용 비교 사육실험을 통하여 적정지질 수준으로 사료를 제작하고 및 적정 사료공급량을 설정하여 사육할 경우 성장, 전어체성분, 혈액성분, 육질기호도 평가 등에서 습사료에 뒤쳐지지 않음을 확인할 수 있었고, 만복공급에 비해 보다 효율적으로 나타나 산업적으로 적용 가능 할 것으로 사료된다.

제 6 장 감사의 글

저에게 이 논문이 완성 될 수 있도록 학문적 과학적 고찰을 통하여 산업화의 길이 되도록 끝까지 지도하여 주신 배승철 교수님께 심심한 감사를 드립니다. 아울러 이 논문이 수행될 수 있도록 음으로 양으로 힘을 북돋우 주신 이동춘 사장님과 강용진 박사님께도 진심으로 감사드리며, 바쁘신 와 중에서도 정성껏 지도 편달하여 주신 조제운 교수님, 정관식 교수님, 이종윤 박사님께도 감사드립니다.

바다란 생소한 학문의 길을 인도하여 주신 민병석 상무님, 김동수 교수님, 장영진 교수님, 박수일 교수님, 수협이란 협동조합의 생태를 제2의 창을 주신 이동권 사장님, 최병국 사장님, 김홍철 경제대표님, 김광근 부장님, 김영섭 부장님께도 감사 드립니다.

그리고 논문이 되도록 한울 한울 정성을 다하여 준 김강웅 박사, 최세민 박사, 이경준 교수, 학문적 산업적으로 항상 고락을 같이 하여온 김정덕 박사, 이해영 박사, 김정민 박사 사료영양연구소에 김영철과 여러 학형들께도 감사드립니다. 또한 항상 주위에서 따듯한 우정을 준 우성섭 전무, 한진희 사장님, 안순홍 사장님, 안도근 사장님, 김철홍 사장님. 노원중 이사님, 그리고 수협사료 동료들께도 정말 감사 드립니다. 또한 가까이 있으면서 이 핑계 저핑계로 자주 만나지 못했던 친구 종교, 용표, 영호, 태문, 영근, 문기,재운이 와도 함께 기쁨을 나누고 싶습니다.

직장일 핑계로 자주 찾아 뵙지 못한 어머니, 장모님, 삼촌, 숙모님, 고모, 이모부, 이모님, 처남, 처남댁, 처재 그리고 동생들과도 모두 진심으로 감사드리며, 항상 곁에서 행복의 보금자리를 굳굳이 지켜준 아내 이경숙, 사랑스러운 아들 형준이, 영혁이 모두 이 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

제 7 장 참 고 문 헌

- Alam, M.S., Teshima, S., Ishikawa, M. and Koshio, S. (2000) Methionine requirement of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Journal of World Aquaculture Society, 31: 618-626.
- Alam, M.S., Teshima, S.I., Kosiho, S. and Ishikawa, M. (2002) Arginine requirement of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* estimated by growth and biochemical parameters. Aquaculture, 205: 127-140.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (2000) Cunniff, P. (Ed.), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA.
- Azzaydi, M., F. J. Martines, S. Zamora, Sanchez-Valzquez and J. A. Madrid, 2000. The influence of nocturnal vs. diurnal feeding condition under winter condition on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) Aquaculture, 182, 329-338.
- Bai, S.C., Cha, Y.T. and Wang, X.J. (2001) A preliminary study on the dietary protein requirement of Japanese flounder larvae, *Paralichthys olivaceus*. North American Journal of Aquaculture, 63: 92-98.
- Bai, S.C., Wang, X.J. and Kim, K.W. (2003) Effects of vitamin E deficiency on dietary vitamin C requirement in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, Aquaculture America 2003, Kentucky International Convention Center, February 18-21.
- Brett, J. R. (1979) Environmental factors and growth. (In) Fish Physiology, (eds) W. S. Hoar., D.J. Randall and J.R. Brett, Bioenergetics and Growth, vol. 8. Academic Press, New York, USA, pp. 599-675.
- Broughton, K. S. Whelan, J., Hardardottir, I. and Kinsella, J. E. (1991) Effect of increasing- the dietary (n-3) to (n-6) polyunsaturated fatty acid ratio on murine liver and peritoneal cell fatty acids and eicosanoid formation. Journal of Nutrition 121, 155-164.

- Brown, B.A., 1980. Routine hematology procedures. In: Brown, B.A. (Ed.), Hematology: Principles and Procedures. Lea and Febiger, Philadelphia, 71- 112 pp.
- Brown, L.R. (1997) 폴하우스: 인구 · 식량 · 환경(전운성감수/지기한외 옮김), 따님 환경신서 15. 도서출판따님.
- Cho, C. Y. and Kaushik, S. J. (1990) Nutritional energetic in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). World Rev. Nutr. Diet, 61: 132-172.
- Cho, C.Y., J.D. Hynes, K.R.Wood, H.K. Yoshida (1994) Development of high-nutrient-dence, low-pollution diet and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. Aquaculture, 124: 293-305.
- Cho, S. H., S. M. Lee and J. H. Lee, (2005) Effects of the extruded pellets and raw fish-based moist pellet on growth and body composition of flounder, *Parlichthys olivaceus* for 10 months. J. Aquaculture, 18, 60-65.
- Choi, S. M., 2004. Development of the low pollution diets for growing olive flounder, (*Paralichthys olivaceus*). Ph. D thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, 111 pp.
- Choi, S.M., Go, S.H., Park, G.J., Lim, S.R., Yu, G.Y., Lee, J.H. and Bai, S.C. (2004a) Utilization of Song-Gang stone as the dietary additive in Juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Journal of Aquaculture, 17: 39-45.
- Choi, S.M., Lim, S.R., Kim, K.W., Wang, X.J, Bai, S.C. and I.S. Shin (2004b) Effects of dietary dehulled soybean meal as a fish meal replacer in fingerling and growing olive flounder, *paralichthys olivaceus*. Aquaculture research 35, 410-418.
- Cui, H. (2003) Optimum dietary choline requirements in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* and Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. Master course dissertation. Pukyong National University, Busan, Korea.
- Eroldogan, O.T. (2003) Acclimation of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) to freshwater and determination of its optimal feeding rates in freshwater. Ph. D. thesis, University of Cukurova, Adana, Turkey.
- FAO (2004) FISHSTAT Plus statistic database.
- Forster, I. and Ogata, H.Y. (1998) Lysine requirement of juvenile Japanese

- flounder, *Paralich*
thys olivaceus and juvenile red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture*, 161:
 131-142.
- Garling, D. L. Jr. and R. P. Wilson. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channelcatfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, 106, 1368-1375.
- German, J. B., Lokesh, B. and Kinsella, J. E. (1987) Modulation of zymosan stimulated leukotriene release by dietary unsaturated fatty acids. *Prostaglandins Leukotrienes Medicine* 30, 69-76.
- Gordon, R. B., (1968) Distribution of transaminase (Aminotransferases) in the tissues of the pacific salmon, with emphasis on the properties and diagnostic use of glutamic oxaloacetic transaminase. *Journal of fish. Res. Bd. Can.*, 25, 1247-1268.
- Han, Y.O. (2003) Synergistic effects of dietary β -1,3 glucan and feed stimulants in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Ms. thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, 53 pp.
- Hebb, C.D., Castell, J.D., Anderson, D.M. and Batt, J. (2003) Growth and feed conversion of juvenile winter flounder, *Pleuronectes americanus* in relation to different protein to lipid levels in isocaloric diets. *Aquaculture*, 221: 439-449.
- Kaley, G., Hintze, T. H., Panzenbeck, M. and Messian, E. J. (1985) role of prostaglandins in microcirculatory function. In: G.G.N. Serneri, J. C. McGiff, R. Paoletti and G.V.R. Born (Eds). *Advances in prostaglandin, thromboxane, and leukotriene research*, Vol. 13. Raven Press, New York pp. 27-35.
- Kanazawa, A. (1993) Essential phospholipids of fish and crustaceans. In: Kaushik, S.J. and Luquet. P. (Eds.) *Fish Nutrition in Practice*. INRA, Paris, 519-530 pp.
- Kaushik, S.J. (1994) Nutritional strategies for the reduction of aquaculture wastes. *Proceeding of the Fisheries and Ocean Industrial Development, Research Center for Ocean Industrial Development*, Busan, Korea, 115-132 pp.
- Kiang, M.-J., (1989) *Nutrition and Feeding of Fish*. Van Nostrand-Reinhold,

New York, 260 pp.

- Kikuchi, K. (1999a) Partial replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Journal of the World Aquaculture Society, 30: 357-363.
- Kikuchi, K. (1999b) Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 179: 3-11.
- Kikuchi, K., Furuta, T. and Honda, H. (1994a) Utilization of feather meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Fisheries Science, 60: 203-306.
- Kikuchi, K., Furuta, T. and Honda, H. (1994b) Utilization of soybean meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Susisanzoshoku, 42: 601-604.
- Kikuchi, K., Honda, H. and Kiyono, M. (1992) Effect of dietary protein level on growth and body composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Susisanzoshoku, 40: 335-340.
- Kikuchi, K., Honda, H. and Kiyono, M. and Miyazono, I. (1993) Total replacement of fish meal with other protein sources in the diet of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Susisanzoshoku, 41: 345-351.
- Kikuchi, K. and Sakaguchi, I. (1997) Blue mussel as an ingredient in the diet of juvenile Japanese flounder. Fisheries Science, 63: 837-838.
- Kikuchi, K., Sato, T. and Deguchi, Y. (1998) Effect of dietary carbohydrates on the growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Susisanzoshoku, 46: 541-546.
- Kim, K.D., Lee, S.M., Park, H.G., Bai, S.C. and Lee, Y.H. (2002a) Essentiality fo dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Journal of the World Aquaculture Society, 33: 432-440.
- Kim, K.W., Bai, S.C. Koo, J.W., Wang, X.J. and Kim, S.K. (2002b) Effects of Dietary *Chlorella ellipsoidea* Supplementation on Growth, Blood Characteristic and Whole-body Composition in Juvenile olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, Journal of the World Aquaculture Society, 33: 425-431.

- Kim, K.W., Wang, X.J. and Bai, S.C. (2002c) Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*, Aquaculture research, 33: 673-679.
- Kim, K.H., Hwang, Y.J., Kim, K.W., Bai, S. C. and Kim, D.S. (2002d) Effect of dietary aloe on chemiluminescent responses of peripheral blood phagocytes and resistance against *Edwardsiella tarda* Ewing and Mcwhorter 1965 in the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture Research, 33: 147-150.
- Kim, K.W., Wang, X. J., Choi, S.M., Park, G.J. and Bai, S.C. (2004) Evaluation of optimum dietary protein-to-energy ratio in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture research, 35: 250-255.
- Lee, S.-M., C.H. Seo and Y.S. Cho, (1999) Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. J. Kor. Fish. Soc., 32, 18-21.
- Lee, S.M., Kim, K.D. and Lall, S.P. (2003) Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 221: 427-438.
- Lee, S.-M., I.-G. Jeon and K.-S. Kim, (1997) Effects of extruded-floating, slow-sinking, fast-sinking or moist pellet diets on the growth and body composition in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*)
- Lee, S.M, Park, C.S. and Bang, I.C. (2002) Dietary protein requirement of young Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* fed isocaloric diets. Fisheries Science, 68: 158-164.
- Marais, J.F.K. and G.W. Kissil (1979) The influence of energy level on the feed intake, growth, food conversion and body composition of *Sparus aurata*. Aquaculture, 17; 203-219.
- McGoogan B. B. and Gatlin III, D. M. (1999) Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. Effects of dietary protein and energy levels. Aquaculture 178, 333-348.
- Mihelakakis, A., C. Tsolkas and T. Yoshimatsu, 2002. Optimization of feeding rate of hatchery-produced juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*). J. World Aquacult. Soc., 33, 169-175.

- Munsiri, P. and R.T. Lovell (1993) Comparison of satiate and restricted feeding of channel catfish with diets of varying protein quality in production ponds. *J. World Aquacult. Soc.*, 24; 459-465.
- Nandeesh, M. C., S. S. De Silva and D. S. Murthy, (1995) Use of mixed feeding schedules in fish culture: performance of common carp, *Cyprinus carpio* L., on plant and animal protein based diets. *Aquaculture Research*, 26, 161-166.
- National Research Council (NRC) (1993) Nutrient Requirements of Fish. National Acad. Press, Washington, DC.
- New, M.B. (1997) Aquaculture and the capture fisheries balancing the scales. *World Aquaculture*, 28: 11-30.
- New, M.B. (1999) Global Aquaculture: Current trends and challenges for the 21st Century. *World Aquaculture*, 30: 8-13.
- Ng, W. K., K. S. Lu, R. Hashim and A. Ali, (2000) Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. *Aquaculture international*, 8, 19-29.
- Peres, H., A. Oliva-Teles (1999) Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*), *Aquaculture*, 179; 325-334.
- Regost C., Arzel, J., Cardinal, M., Robin, J., Laroche, M. and Kaushik, S.J. (2001) Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot, *Psetta maxima*. *Aquaculture*, 193: 291-309.
- Robbins, K.R., Norton, H.W., Baker, D.H. (1979) Estimation of nutrient requirements from growth data. *Journal of nutrition*, 109: 1710-1714.
- Rodriguez-Serna, M., M. A. Olvera-Novoa and C. Carmona-Osalde, 1996. Nutritional value of animal by-product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fry. *Aquaculture Research*, 27, 67-73.
- Sato, T. (1998) Development of formulated feeds for juvenile Japanese flounder. Ph. D thesis. Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan.
- Sato, T. and Kikuchi, K. (1997) Meat meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder, *Fisheries Science*, 63: 877-880.
- Seo, J.-Y., J.H. Lee, G.-U. Kim and S.-M. Lee, (2005) Effect of extruded

- and moist pellets at different feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 18, 26-30.
- Sim, D.S., Jung, S.H. and Lee, S.D. (1995) Changes in blood parameters of the cultured flounder, *Paralichthys olivaceus* naturally infected with *Staphylococcus epidermidis*. Bulletin of National fisheries research development. Agency, 49: 149-155.
- Slinger, S.J., A. Razzaque and C.Y. Cho, (1979) Effects of feed processing and leaching on the losses of certain vitamins in fish diets. (In) Halver, J.E. and K. Tiews. (eds). Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, Vol. 2. Heenemann, Berlin, Germany, pp. 425-434.
- Smith, L. S. (1989) Digestive functions in teleost fishes. In : J. E. Halver (editor), Fish Nutrition, Academic Press, Inc., pp. 331-421.
- Springate, J., (1991) Extruded diets-worth the extra. Fish Farmer (Narch/April 1991). 45 pp.
- Stubbs, C. D. and Smith, A. D. (1984) the modification of mammalian membrane polyunsaturated fatty acid composition in relation to membrane fluidity and function. Biochemica et Biophysica Acta 779, 89-137.
- Swanson, J. E., Lokesh, B. R. and Kinsella, J. E. (1989) Ca^{2+} Mg^{2+} ATPase of mouse cardiac sarcoplasmic reticulum is affected by membrane n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acid content. Journal of Nutrition 119, 364-372.
- Takeuchi, T. (1997) Essential fatty acids requirements of aquatic animals with emphasis on fish larvae and fingerlings. Review in Fisheries Science, 5: 1-25.
- Takeuchi, T. (1998) Nutritional requirements of larval and juvenile Japanese flounder. In : Text Book of Basic and Theoretical Course in Sea farming - XII. Fisheries Agency and Japan Sea Farming Association, Tokyo, 1-23 pp.
- Tsevis, N., S. Klaoudatos and A. Conides, (1992) Food conversion budget in sea bass *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. Aquaculture, 101, 293-304.

- Viola, S., S. Mokady and Y. Arieli, (1983) Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 32, 27-38.
- Walton, M. J. and Cowey, C. B. (1997) Aspects of ammoniogenesis in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Comp. Biochem. physiol.* 57B, 143-149.
- Wang, X.J., Kim, K.W. and Bai, S.C. (2002) Effects of different dietary levels of L-ascorbyl-2-polyphosphate on growth and tissue vitamin C concentrations in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, *Aquaculture research*, 33: 261-267.
- Wilson, R. P. (1977) Energy relationships in catfish diets. In : R. R. Stickney and R. T. Lovell (editors), *Nutrition and Feeding of Channel catfish*. Southern Cooperative Series Bulletin 218., pp. 21-25.
- Yamamoto, T. and Akiyama, T. (1995) Effect of carboxymethylcellulose, a -starch and wheat gluten incorporated in diets as binders on growth, feed efficiency, and digestive energy activity of fingerling Japanese flounder. *Fisheries Science*, 61: 309-313.