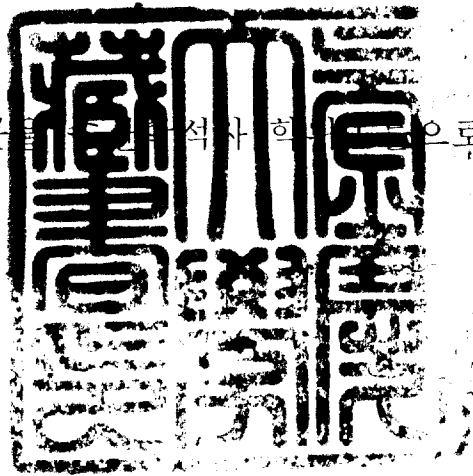


수산학석사 학위논문

뱀장어(*Anguilla japonica*)의 사료 내
필수지방산의 적정 요구량에 관한 연구

지도교수 배 승 철

이 논문을 수산학석사학위논문으로 제출함



2005년 2월


부경대학교 대학원


수산생물학과


배 준 영

배준영의 수산학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월

주심 이학박사 허성범 

위원 농학박사 김창훈 

위원 영양학박사 배승철 

목 차

Abstract	i
제 1 장 서 론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 현황	3
3. 연구 목표	6
제 2 장 재료 및 방법	7
실험 I. 치어기 뱀장어의 필수지방산 적정 요구량 평가	7
1. 실험어 및 사육관리	7
2. 실험사료 및 실험설계	8
3. 어체측정 및 성분분석	13
1) 일반성분 분석	13
2) 지방산 분석	13
3) 혈액 및 혈청성분 분석	14
4) 통계분석	14
실험 II. 실뱀장어의 필수지방산 적정 요구량 평가	15
1. 실험어 및 사육관리	15
2. 실험사료 및 실험설계	15

3. 어체측정 및 성분분석	21
1) 일반성분 분석	21
2) 지방산 분석	21
3) 혈액 및 혈청성분 분석	22
4) 통계분석	22
제 3 장 결 과	23
실험 I. 치어기 뱀장어의 필수지방산 적정 요구량 평가	23
실험 II. 실뱀장어의 필수지방산 적정 요구량 평가	32
제 4 장 논 의	40
제 5 장 요약	44
실험 I. 치어기 뱀장어의 필수지방산 적정 요구량 평가	44
실험 II. 실뱀장어의 필수지방산 적정 요구량 평가	46
제 6 장 감사의 글	48
제 7 장 참고문헌	50

Studies on Requirements of dietary Essential Fatty Acids in Japanese Eel, *Anguilla japonica*

Jun - young BAE

*Department of Fisheries Biology, Graduate School,
Pukyong National University,
Busan 708-737, Korea*

ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate the optimum dietary requirements of essential fatty acids (EFAs) such as linoleic acid (LA, 18:2n-6), α -linolenic acid (LNA, 18:3n-3), or docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) and arachidonic acid (ARA, 20:4n-6) in juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica* (Experiment I), and glass eel, *Anguilla japonica* (Experiment II).

In the experiment I, based on weight gain, feed efficiency, specific growth rate and protein efficiency ratio of the experimental results, we concluded that α -linolenic acid (n-3) and linoleic (n-6) were necessary for optimum growth of juvenile eel (15.0 ± 3 g), and optimum dietary requirement of α -linolenic acid (n-3) and linoleic (n-6) were 1:1 ~ 1:2, respectively.

In the experiment II, based on weight gain, feed efficiency, specific growth rate and protein efficiency ratio of the experimental results, we concluded that α -linolenic acid (n-3) and linoleic (n-6) were necessary for optimum growth of glass eel (0.15 ± 0.05 g), and optimum dietary requirement of α -linolenic acid (n-3) and linoleic (n-6) were 1:1 ~ 1:2, respectively.

Experiment I : Optimum dietary Essential Fatty Acids Requirements in juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica*

This present study was conducted to evaluate the dietary requirement of essential fatty acids (EFAs) such as linoleic acid (LA, 18:2n-6), α -lenolenic acid (LNA, 18:3n-3), or docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) and arachidonic acid (ARA, 20:4n-6) in juvenile eel *Anguilla japonica* cultured in the recirculating system for 16 weeks . The experimental diets contained 50% crude protein, 10% crude lipid and 3800 kcal/kg energy. Brown fish meal and blood meal were used as the main protein sources, while coconut oil, corn oil and linseed oil were used as the lipid source to get different fatty acids ratios. The effects of the essential fatty acids supplementation on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feeding efficiency (FE), proximate composition and fatty acids contents of whole body were examined after the feeding trial. WG, SGR, and FE of fish fed diet D₂, D₃, was significantly higher ($P < 0.05$) than those of fish fed the other diets. HUFA concentration of whole body of fish fed D₁ was significantly lower ($P < 0.05$) than those of fish fed the other diets. HUFA/SFA (saturated fatty acids) ratio of whole body in fish fed diets D₂, D₃ and D₆ were significantly higher than that of fish fed diet D₁ ($P < 0.05$). DHA/EPA ratio of whole body in fish fed diet D₇ was significantly higher than those of fish fed the other diets; and fish fed

diet D₅ showed the lowest DHA/EPA ratio among all the dietary treatments ($P < 0.05$). Based on the experimental results, we concluded that LNA (n-3) and LA (n-6) were necessary for optimum growth of juvenile eel, and the dietary requirement of LNA and LA were 0.35~0.5% and 0.5~0.65%, respectively.

Experiment II: Optimum dietary Essential Fatty Acids Requirements in glass eel, *Anguilla japonica*

This present study was conducted to evaluate the dietary requirement of essential fatty acids (EFAs) such as linoleic acid (LA, 18:2n-6), α -linolenic acid (LNA, 18:3n-3), or docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) and arachidonic acid (ARA, 20:4n-6) in glass eel *Anguilla japonica* cultured in the recirculating system for 6 weeks . The experimental diets contained 50% crude protein, 10% crude lipid and 3800 kcal/kg energy. Brown fish meal and blood meal were used as the main protein sources, while coconut oil, corn oil and linseed oil were used as the lipid source to get different fatty acids ratios. The effects of the essential fatty acids supplementation on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feeding efficiency (FE), proximate composition and fatty acids contents of whole body were examined after the feeding trial. WG, SGR, and FE

of fish fed diet D₂, D₃, was significantly higher ($P < 0.05$) than those of fish fed the other diets. Based on the experimental results, we concluded that LNA (n-3) and LA (n-6) were necessary for optimum growth of juvenile eel, and the dietary requirement of LNA and LA were 0.35~0.5% and 0.5~0.65%, respectively.

제 1 장 서 론

1. 연구 배경

세계최고 권위의 민간 환경 연구 단체인 월드워치 연구소의 창설자이자 소장인 Lester R. Brown 박사는 번역서 “누가 중국을 먹여 살릴 것인가?”(따님환경신서 18; 1998)와 “풀하우스: 인구·식량·환경”(따님환경신서 15; 1997)에서 세계의 식량난이 21세기에 불어 닥칠 것으로 예측하고 있다. 인류의 가장 중요한 단백질 식량자원은 농·축산업과 수산업 분야에서 생산되어 왔다. 하지만 현재 농·축산업의 생산량 증가율은 한계에 이른 상태이고 인구 증가와 환경문제 등을 고려할 때 계속해서 증가하는 인류의 단백질 수요를 앞으로 많은 부분 수산업에서 충당해야 할 것으로 보인다. 이들에 의하면 세계적으로 양식산업은 우주항공산업과 더불어 21세기에 중요한 10대 산업 중에 한 산업분야로, 각국은 선택과 집종의 논리로써 산업적 국가경쟁력을 높이기 위하여 미국은 차넬메기와 지역별로 몇 종을 정하고, 노르웨이는 연어, 베트남은 새우, 일본은 방어 등으로 특정 양식품종에 집중하며 정부가 연구개발을 적극 지원하면서, 양식산업의 국제경쟁력을 높이고 있다. 뱀장어의 전 세계 시장 규모(2001년)는 약 3조800억 원으로 추정되며(실제 생산량 30만 톤으로 추정하면 시장 규모 약 4조2000억 원), 국내의 뱀장어 소비량(2003년 기준)은 13,000 톤으로 시장규모는 1,820억 원에 이른다. 또한 실뱀장어 공급의 불균형과 가격의 변동에도 불구하고, 뱀장어의 수요는 지속적으로 증가하는 추세이다. 뱀장어의 양식은 전 세계적으로 인공 종묘 생산 기법이 정립되지 않아 종묘의 수급은 바다에서 강으로 소상하는 실뱀장어를 자연 채포하여 공급하고 있으며, 실뱀장어의 안

정적인 공급은 뱀장어 수급 및 생산비용의 가장 중요한 요건이 되고 있다.

실뱀장어의 입식량은 2003년 현재 전 세계 약 200톤이고, 국내 입식량은 13톤으로 추정하고 있다. 실뱀장어의 시장규모(2003년 현재 당 400만원/kg)는 전 세계 8,000억 원, 국내 520억 원에 이르며, 실뱀장어의 수급에 문제가 있었던 1997년에는 1000만원 이상이 되어 금값(1200만원/kg)과 유사한 정도 까지 급상승한 적도 있다. 더욱이 최근 유럽연합에서는 환경 및 생태문제로 인하여 실뱀장어의 어획량이 감소함에 따라 실뱀장어의 자원보호를 위해서 실뱀장어의 어획량을 제한하고 외국으로의 수출을 금지하는 조치를 취하고 있는 상황이어서 향후 실뱀장어에 대한 가격은 지속적으로 상승 할 것으로 예상된다.

Table 1. Production and market scale of domestic and foreign eel aquaculture (2003)

	뱀장어 양식 생산량	뱀장어 소비시장 규모(추산)
뱀 장 어	세계 : 218,067톤	세계 : 3조 800억원 (성만기준 kg 당 14,000원)
	국내 : 12,000톤 추정	국내 : 1820억원(＂)
실뱀장어	세계 : 200톤(어획량)	세계 : 8000억원(kg 당 400만원)
	국내 : 13톤(수입:7톤) 추정	국내 : 520억원(＂)

세계 주요 뱀장어 생산국(일본, 중국, 대만)에서는 인공종묘를 안정적으로 공급 받기 위해서 국가의 전폭적인 지원을 받는 정책 과제로써 지난 30여년 동안 뱀장어 종묘 생산에 관한 연구를 수행하고 있다. 특히, 일본의 경우 수백억원에 달하는 국가적인 연구지원에 힘입어 1973년 세계 최초로 뱀장어의 인공 부화에 성공 하였으며, 최근 2003년 초에는 부화된 유생이 변태에 성공하여 20cm 까지 8마리 생

존(부화 유생 수억 마리 중 8마리로 상업적 의미는 없음, 일본 NHK 방송) 시킴으로써 향후 10여년 후에는 상업적인 인공종묘생산이 가능할 것으로 발표 하는 등 본 연구에 선두적인 업적을 이루고 있다. 이러한 일본 연구진의 업적에도 불구하고 인공종묘생산 기법이 아직 성립되지 않은 이유는 연구의 중심이 최근까지 성성숙 유도에 의한 뱀장어 산란에 한정되었으며, 극히 제한된 사료영양관련 연구가 진행되어온 탓이다. 최근에 와서는 사료영양분야의 중요성을 인정하여 연구가 진행되고 있지만 종묘생산의 제일 중요한 요인인 친어 및 자·치어의 사료영양학적 관점에서의 연구가 이루어지고 있지 않는 실정이다. 그렇지만, 현재 일본에서는 약 10년 정도가 되면 그들 나름대로 상업적인 인공종묘생산을 시작할 수 있을 것으로 예측하고 있다.

이에 대해 국내의 경우 2002년부터 부경대학교 사료영양연구소에서 시작된 “뱀장어 인공종묘생산에 관한 연구”는 그 해법을 사료영양학적 접근에 두어 양질의 난을 확보하기 위한 친어 사육관리 프로그램과 부화 후 자/치어의 사육관리 프로그램을 개발하는 연구를 수행 중에 있다.

2. 연구 현황

뱀장어를 포함한 모든 어류는 체내 세포의 기능유지를 위해 필연적으로 특정한 지방산을 요구하는데, 이러한 지방산은 체내에서 자체적으로 합성될 수 없어 외부적으로 공급해 주지 않으면 정상적인 성장과 생존을 할 수 없다. 이와 같이 어류의 정상적인 성장과 생존을 위해 사료내 필수적으로 공급해 주어야 하는 지방산을 필수지방산(Essential fatty acid, EFA)이라 정의한다. 이는 생체막의 구성 성분으로서 뿐만 아니라 prostaglandins, thromboxanes 및 leukotrienes과 같은

ecosanoids의 주된 전구물질로서의 중요한 기능을 수행하는 것으로 알려져 있으나(John Sargent, 1999), 실제 체내에서의 대사적 기능에 대한 구체적인 경로에 관한 연구는 아직 밝혀지지 않았다.

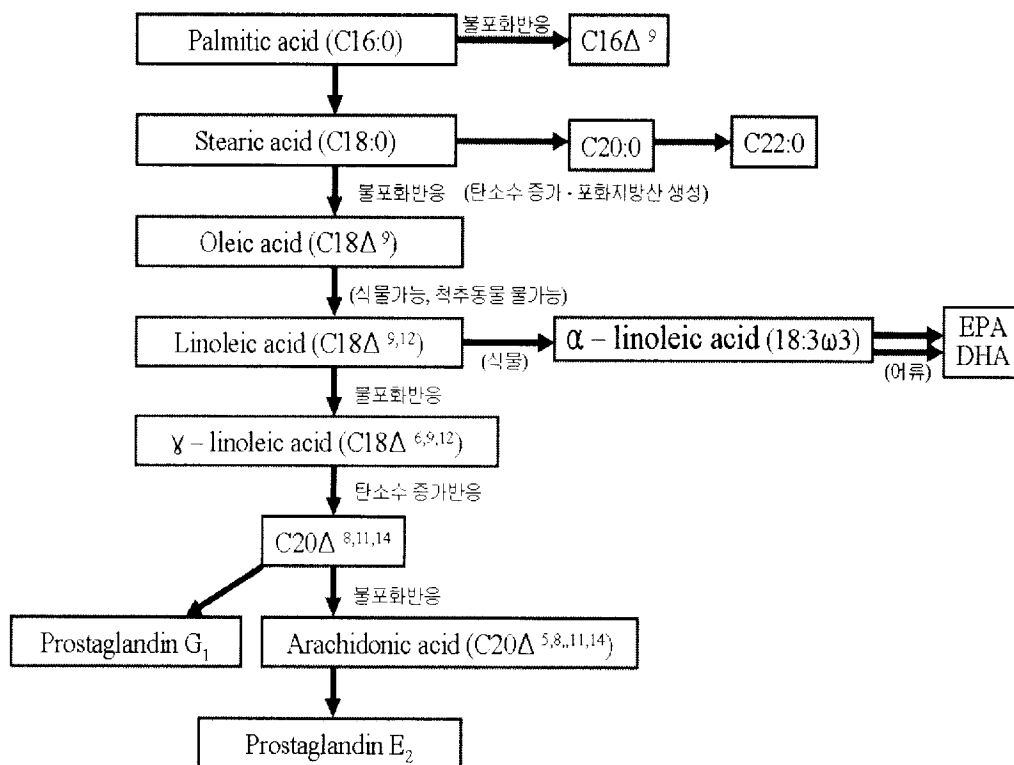


Fig 1. Synthesis pathway of essential fatty acids

그러나 필수지방산이 결핍된 사료로 사육된 어류는 성장이 지연되고 사료효율이 낮으며, 무지개송어, 잉어, 뱀장어, 채널메기 등의 결핍 증상으로는 지느러미 부식, 심근의 염증, 쇼크증세, 혈액내 hemoglobin 함량의 저하, 근육내 수분함량의 증가 및 폐사율의 증가 등이 발생하고(Castell et al., 1972a; Takeuchi and Watanabe, 1977a,b; Takeuchi et al., 1980; Satoh et al., 1989), 잉어(Shimma et al., 1977), 무

지개송어(Watanabe, 1982; Watanabe et al., 1984c; Leray et al., 1985), 참돔(Watanabe et al., 1984a,b)에서 생식력의 저하가 보고 된 바 있다.

한편, 육상동물에 있어서 필수지방산은 n-3 계열의 linolenic acid (18:3n-3)와 n-6 계열의 linoleic acid (18:2n-6) 및 arachidonic acid (20:4n-6)이지만, 18:3n-3와 20:4n-6는 18:2n-6로부터 육상동물의 체내수정을 통해 합성될 수 있다는 것이 밝혀진 이래, 18:2n-6만이 필수지방산으로 분류되고 있다. 그러나 어류는 이들의 환경 내 염분의 유무와 수온에 따라 필수지방산의 요구량이 달라지며, 어종에 따라 특이성을 띠는데, n-3계열 혹은 n-6계열의 지방산만을 요구하는 어종이 있는 반면, 이들 두 계열의 지방산을 동시에 요구하는 어종도 몇몇 존재한다. 어종에 따라, 은연어는 1-2.5%의 18:3n-3을 요구하고(Yu and Sinnhuber, 1979), 잉어는 18:2n-6과 18:3n-3 각 1% 요구하며(Watanabe et al., 1975; Takeuchi and Watanabe, 1977a), 틸라피아는 n-3 지방산 보다 n-6 지방산을 0.5% 수준에서 더 많이 요구한다(Takeuchi et al., 1983). 해산어류는 n-3 지방산을 더 많이 요구하는 경향이 있으며 참돔은 0.5%의 n-3 HUFA를 요구하며(Yone et al., 1975), 터봇(Gatesoupe et al., 1977)과 방어(Deshimaru & Kuroki, 1983)는 각각 0.8%와 2%의 EPA와 DHA를 요구한다.

Japanese eel에 대해 Takeuchi et al. (1980)는 필수지방산 가운데 linoleate, laurate 및 n-3 HUFA의 첨가효과에 대해 보고한 바 있으며, European eel (*Anguilla anguilla*)에 있어서 Degani et al. (1986)는 지질원과 첨가량에 대해, De Silva et al., (1997)은 Australian eel (*Anguilla australis*)의 성장 단계별 지방산 체조성의 변화, 그리고 Gunasekerfa et al. (2002)는 지질의 종류가 Australian eel (*Anguilla australis*)의 성장에 미치는 영향을 보고하였다. 그러나 Japanese eel에 있어서 여러 가지 고도불포화지방산(highly unsaturated fatty acid, HUFA)에 대한 적정 필

수지방산의 종류와 그 요구량에 관한 연구는 Takeuchi et al. (1980)이 외에는 미흡한 편이다.

따라서 본 연구에서는 치어기 Japanese eel의 필수지방산의 요구량을 설정하기 위하여 n-3원으로써 LA (linoleic acid), EPA (eicosapentaenoic acid), DHA (docosahexaenoic acid), 그리고 n-6원으로써 LNA (α -linolenic acid)과 AA (arachidonic acid)을 사료내 수준별로 첨가하여 성장과 체조성 및 혈액성상에 미치는 영향을 실험하였다. 실험결과를 통해 Japanese eel 치어의 적정 필수지방산의 종류와 그 요구량을 평가하고자 한다.

3. 연구 목표

본 연구의 결과를 바탕으로 하여 사료, 환경, 먹이 번식에 대한 종합적인 연구를 통한 뱀장어 인공종묘생산 기법의 정립을 정립한다면, 뱀장어 인공종묘생산을 일본에서 예상하는 향후 10년안에 최대한 앞당겨 뱀장어 양식산업을 완전양식산업으로 전환할 수 있는 초석이 될 수 있을 것이다. 이는 관련 기간산업의 활성화를 통한 고용창출효과도 있을 것으로 판단되며, 뱀장어 종묘생산을 상업화 시키고 국내 우수종묘의 브랜드화를 통하여 국제경쟁력이 향상되어 수입억제 및 수출증대 효과가 있을 것으로 사료된다. 더 나아가 21세기를 대비한 국가기술지도상에 국가안전 및 위상제고를 위한 필요기술에 포함되어 있는 “생태보존형 친환경 양식기술”에 속하는 중요한 과제으로써 국가의 식량안보와 자원보존에 필요한 연구 분야로써 국내 양식산업이 국가 식량기간산업으로 발전할 수 있는 계기가 될 것으로 기대한다.

제 2 장 재료 및 방법

실험 I: 치어기 뱀장어에 있어서 사료내 Essential Fatty Acids 요구량 결정을 위한 실험

1. 실험어 및 사육관리

실험에 이용된 뱀장어 치어는 반죽사료로 사육한 전남 나주의 개인 양만장으로부터 2003년 10월 27일에 본 대학 양어장으로 수송하여 10톤 콘크리트 수조에 수용하였으며, 실험 전 4주간 상업용 펠렛사료를 공급하면서 펠렛사료에 적응시키는 예비사육을 실시하였다. 예비사육 후, 평균 어체중 15.0 ± 3 g (mean \pm SD)의 뱀장어 치어를 순환여과식 사육시스템에 각 실험수조(60 L 사각수조)당 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였으며, 유수량은 45 L/min, 사육수온은 25 ± 1 °C를 유지하였다. 일일 사료공급량은 어체중의 2-3% (건물량)를 일일 2회 (9:00, 18:00)공급하였으며 이때, 유수는 중단했다.

실험 기간은 2004년 2월 6일부터 2004년 6월 5일까지로 16주간 사육실험을 실시하였고, 8주째에 성장양상을 확인하기 위하여 Ethylene glycol phenyl ether 90% (200ppm)에 실험어를 마취시켜 스트레스를 최소화하여 각 수조의 실험어를 계측하였으며 사료공급량 역시 이에 따라 보정하였다.

2. 실험사료 및 실험설계

실험에 사용된 실험사료의 조성과 지방산 조성은 각각 Table 1-1과 Table 1-3에 나타내었다. 실험사료는 단백질원으로 갈색어분(Brownfish meal)과 혈분(Blood meal)을 사용하였고, 지질원으로 야자유(coconut oil), 옥수수유(corn oil) 및 아마인유(linseed oil)를, 그리고 탄수화물원으로 옥수수전분(corn starch)과 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 치어기 뱀장어의 사료내 필수지방산과 그 적정 요구량을 평가하기 위하여 5가지(LA, LNA, AA, EPA, DHA)를 사료내 첨가하여 제조하였다. 실험사료의 조단백질 함량은 52%, 조지방 함량은 9.3%로 맞추어 제조하였고, 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠렛제조기로 압출성형하여 밀봉상태로 -20℃에 냉동보관하여 사용하였다.

어분에 함유되어 있는 지질성분은 fish meal : ethanol = 1 : 2, (W/V)에 용기에 ethanol을 넣고 water bath에서 75-80℃까지 가열한 후, fish meal을 첨가하여 지질성분을 추출한다(3-4회 반복). 이후, 공기순환이 원활한 공간에서 유기용매가 완전히 기화할 때 까지 48시간 이상 건조하여 실험사료에 사용한다(Kosutarak et al., 1995).

본 실험의 실험디자인은 Table 1-2에 나타내었으며 1) 대조구(Basal diet), 2) α -lenolenic acid LNA (18:3n-3) 0.5% + lenoleic acid LA (18:2n-6) 0.5% 함유구, 3) LNA (18:3n-3) 0.33% + LA (18:2n-6) 0.66% 함유구, 4) LNA (18:3n-3) 0.25% + LA (18:2n-6) 0.75% 함유구, 5)arachidonic acid AA (20:4n-6) 0.25% + eicosapentaenoic acid EPA (20:5n-3) 0.375% + docosahexaenoic acid DHA (22:6n-3) 0.375% 함유구, 6) AA (20:4n-6) 0.5% + EPA (20:5n-3) 0.25% + DHA (22:6n-3) 0.25% 함유구, 7) AA (20:4n-6) 0.75% + EPA (20:5n-3) 0.125% + DHA (22:6n-3) 0.125% 함유구로 총 7개의 실험구를 설정하였다.

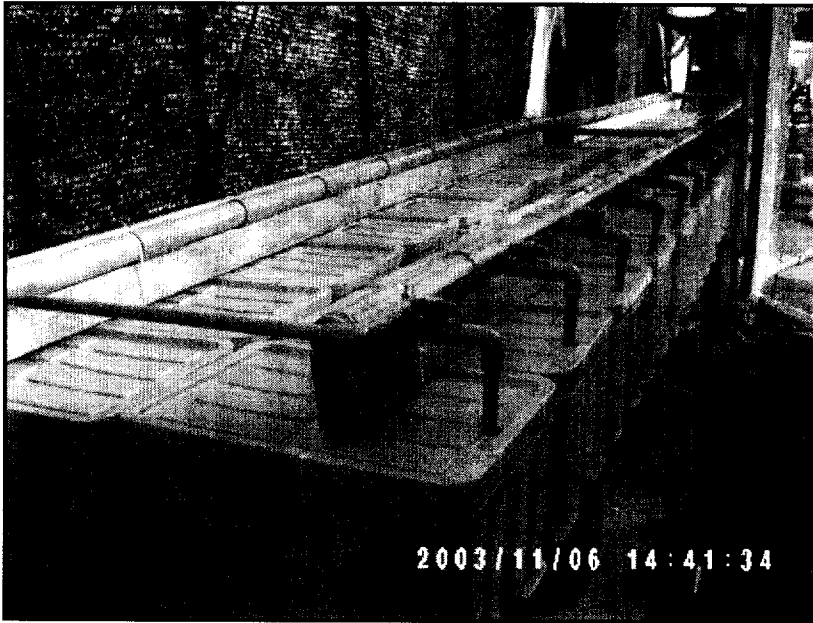


Fig 1-1. Experimental system of juvenile eel

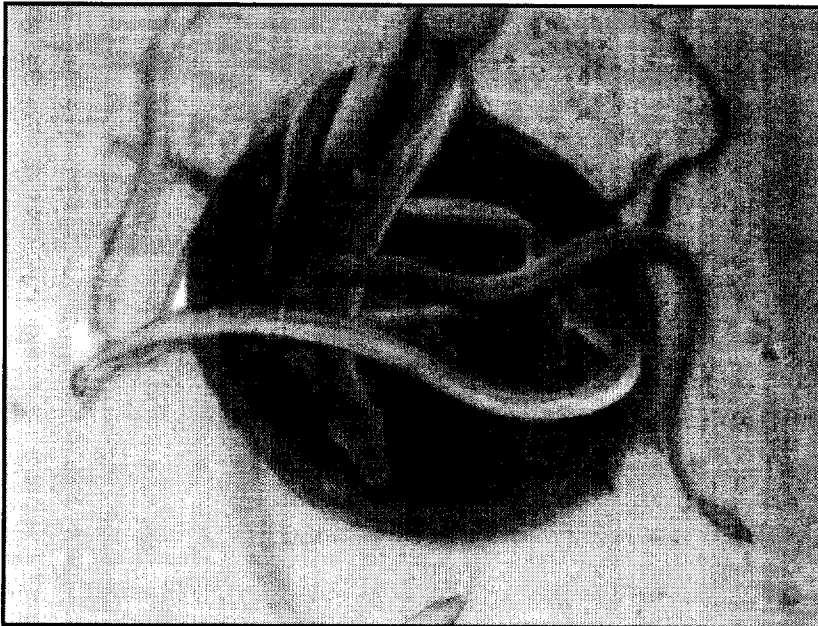


Fig 1-2. Feeding behavior of juvenile eel

Table 1-1. Composition of the experimental diets (% of dry matter basis)¹

Ingredients	Diets						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
DFBFM ^{2*}	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0
Blood meal ³	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Corn starch ⁴	10.4	10.5	10.6	10.5	10.5	10.5	11.4
Wheat meal ⁵	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Coconut oil ⁶	9.6	7.9	7.9	8.0	8.1	8.0	7.0
Corn oil ⁷	-	0.7	0.3	0.1	-	-	-
Linseed oil ⁸	-	0.9	1.2	1.4	-	-	-
ARA ⁹	-	-	-	-	0.4	0.9	1.3
EPA ¹⁰	-	-	-	-	0.5	0.3	0.2
DHA ¹¹	-	-	-	-	0.5	0.3	0.2
Vitamin mixture ¹²	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Mineral mixture ¹³	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Proximate analysis							
Moisture (%)	8.3	7.8	7.3	7.5	7.5	7.5	7.6
Crude protein (% DM)	51.6	52.8	52.3	52.2	52.5	52.6	52.1
Crude lipid (% DM)	9.4	9.4	9.2	9.3	9.4	9.3	9.3
Crude ash (% DM)	9.3	9.2	9.3	9.1	9.2	9.2	9.2

¹ Ingredients information and formulation method are explained in Kim and Bai (1997).

^{2,4} Su Hyup Feed Co., Uiryeong, Korea.; *Defatted brown fish meal

³ Il Shin feed Co., Hampyeong, Korea

⁵ Young Nam Flour Mills Co., Busan, Korea

^{6,7,8} Dong Suh Oil & Fats Co., Changwon, Korea

⁹ ARA: arachidonic acid triacylglycerol (40% purity). Martek, USA.

¹⁰ EPA: eicosa-pentaenoic acid ethyl ester (95% purity). Itochu Techno-Chemical Inc, Japan.

¹¹ DHA: docosahexaenoic acid ethyl ester (95% purity). Itochu Techno-Chemical Inc, Japan.

¹² Contains (as mg/kg in diets): Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitartrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine · HCl, 15; Riboflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl- α -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06

¹³ Contains (as mg/kg in diets): NaCl, 437.4; MgSO₄ · 7H₂O, 1379.8; NaH₂P₄ · 2H₂O, 877.8; Ca(H₂PO₄)₂ · 2H₂O, 1366.7; KH₂PO₄, 2414; ZnSO₄ · 7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; Ca-lactate, 3004; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025

Table 1-2. Dietary HUFA¹ ratios of seven different experimental diets

Diets	HUFA ratio (%)
1 D1	control
2 D2	LNA ² (18:3n-3) 0.50 + LA ³ (18:2n-6) 0.50
3 D3	LNA (18:3n-3) 0.35 + LA (18:2n-6) 0.65
4 D4	LNA (18:3n-3) 0.25 + LA (18:2n-6) 0.75
5 D5	AA ⁴ (20:4n-6) 0.25 + EPA ⁵ (20:5n-3) 0.375 + DHA ⁶ (22:6n-3) 0.375
6 D6	AA (20:4n-6) 0.25 + EPA (20:5n-3) 0.375 + DHA (22:6n-3) 0.375
7 D7	AA (20:4n-6) 0.25 + EPA (20:5n-3) 0.125 + DHA (22:6n-3) 0.125

¹ High-unsaturated fatty acid

² α -linolenic acid, LNA (18:3n-3)

³ linoleic acid, LA (18:2n-6)

⁴ arachidonic acid, AA (20:4n-6)

⁵ eicosa-pentaenoic acid, EPA (20:5n-3)

⁶ docosa-hexaenoic acid, DHA (22:6n-3)

Table 1-3. Fatty acid composition of experimental diets (% fatty acid)

	Diets ¹ (% fatty acid)							Pooled SEM
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
C4:0	0.02	0.14	5.48	0.07	0.07	nd	nd	0.91
C6:0	0.39	nd ²	0.44	0.54	nd	0.868	nd	0.13
C8:0	7.45	9.46	8.68	9.27	10.8	8.399	19.7	1.58
C10:0	5.55	6.05	6.20	6.55	6.37	5.756	9.39	0.49
C11:0	0.01	nd	0.02	0.05	0.06	0.011	0.12	0.02
C12:0	43.1	40.3	45.32	48.2	40.3	41.3	45.5	1.14
C13:0	0.03	0.03	nd	0.02	0.01	0.02	nd	0.00
C14:0	16.9	13.9	14.5	15.4	12.1	15.0	9.86	0.88
C14:1	0.02	nd	nd	nd	nd	0.01	nd	0.00
C15:0	0.06	0.05	0.06	0.07	0.11	0.07	0.05	0.01
C15:1	0.01	0.04	0.12	0.15	0.09	0.01	0.03	0.02
C16:0	10.1	8.82	7.99	8.87	8.56	10.2	6.17	0.52
C16:1	0.33	0.23	0.15	0.13	0.44	0.29	0.33	0.04
C17:0	0.05	nd	0.06	0.09	0.18	0.10	nd	0.02
C17:1	0.02	nd	nd	nd	0.04	0.03	nd	0.01
C18:0	2.98	2.67	2.43	2.82	3.50	3.68	2.19	0.20
C18:1n9c,1n9t	7.93	8.10	3.53	3.30	6.69	7.77	0.51	1.12
C18:2n9c	2.03	4.99	1.88	1.37	1.76	1.75	1.26	0.48
C18:2n9t	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.00
C18:3n6,9,12c	nd	nd	0.02	nd	0.15	0.17	nd	0.03
C18:3n9,12,15c	0.08	3.736	1.50	1.24	0.12	0.04	nd	0.52
C20:0	0.09	0.09	0.06	0.06	0.17	0.16	nd	0.02
C20:1	0.55	0.37	0.24	0.22	1.12	0.51	0.49	0.11
C20:2	0.08	0.04	0.13	0.10	0.13	0.08	nd	0.02
C20:3	nd	nd	nd	nd	0.12	0.19	nd	0.03
C21:0	0.05	0.05	0.01	nd	0.66	1.79	0.63	0.25
C20:4	nd	0.04	0.08	0.10	0.14	0.04	nd	0.02
C20:5	0.45	0.25	0.11	0.03	3.22	0.51	1.69	0.44
C22:0	0.01	nd	0.04	nd	0.17	0.18	nd	0.03
C22:1	0.21	0.05	0.06	nd	0.26	0.10	nd	0.04
C22:2	0.38	0.08	0.38	0.72	0.18	0.20	0.69	0.09
C23:0	0.04	nd	0.05	0.16	0.03	nd	nd	0.02
C24:0	0.05	0.02	0.21	0.27	0.19	0.14	nd	0.04
C24:1n15c	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.00
C22:6n3	0.98	0.60	0.30	0.17	2.36	0.60	1.40	0.29
Total	100	100	100	100	100	100	100	

¹ Refer to the table 2.² nd: not detected

3. 어체측정 및 성분분석

실험종료 후, 실험어를 24시간 절식시킨 후 ethylene glycol phenyl ether 90% (200ppm)로 마취시켜 어체중을 측정하여 증체율(weight gain, WG), 사료효율(feed efficiency, FE), 일간성장률(specific growth rate, SGR) 및 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER)을 확인하였으며 어체내 일반성분 및 지방산 조성을 조사하였다.

- Weight gain (%): $[(\text{final wt.} - \text{initial wt.}) / \text{initial wt.}] \times 100.$
- Feed efficiency (%): $(\text{wet wt. gain} / \text{dry feed intake}) \times 100.$
- Specific growth rate (%): $[(\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) / \text{days}] \times 100.$
- Protein efficiency ratio (%): $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}.$

1) 일반성분 분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 6마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC(1995)에 의해 수분은 상압가열건조법(125°C, 3시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결건조한 후 Soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

2) 지방산 분석

실험사료와 분쇄한 전어체에서 추출한 지방의 methylation은 Metcalfe et al. (1966)의 방법에 의해 분석하였다. 지방산 methylation은 feris silica capillary column을 장착한 gas

chromatography (Trace GC)에 의해 분석하였다. 캐리어 기체는 질소를 사용하였고, detection은 FID 모드를 사용하였으며 분석조건은 다음과 같다. Instrument: Trace GC gas chromatograph, column: quadrex, 30M, bonded carbowax 0.25 mm I.D × 0.25 μm film, cat. No.: 007-CW-30-0.25F, injector temperature: 250°C, Detector temperature: 250°C, flow (gas press): 65 psi. helium, splite: 1:50 도출된 크로마토그램은 분석 프로그램인 peak sample에 의해 분석하였다.

3) 혈액 및 혈청성분 분석

실험 종료 후, 증체율 측정과 함께 혈액성분 분석을 위하여 채혈하기 전까지 실험어를 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 4마리씩 무작위로 추출하여 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후 micro-hematocrit법(Micro Hematocrit Reader, Hawksley)에 의해 헤마토크리트(hematocrit, PCV)를 측정하였으며, 헤모글로빈 함량(Hb, g/dl)은 cyan-methemoglobin법(Yokoyama, 1960)에 의하여 측정하였다. 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 방치하였다가 원심분리(12,000 rpm, 5 min)하여 얻은 혈청을 분석 전까지 -76°C에 보관하였다. 혈청 글루코스(mg/dl), 혈청 콜레스테롤(mg/dl), GOT (IU/L), GPT (IU/L), total protein (TP, g/dl)의 측정에는 혈액 분석기 (Vtros DT 60 II, Korea)를 사용하였다.

4) 통계분석

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.

실험 II: 실뱀장어에 있어서 사료내 Essential Fatty Acids 요구량 결정을 위한 실험

1. 실험어 및 사육관리

실험에 이용된 실뱀장어는 낙동강 하구에서 채집하여 부경대학교 양어장으로 수송하여 2톤 원형 수조에 수용하였으며, 실험환경에 적응할 수 있도록 실험 전 4주간 상업용 입붙임 사료(Ewha Oil)를 공급하면서 예비사육을 실시하였다. 예비사육 후, 실험어는 평균 무게 $0.15 \pm 0.05\text{g}$ (mean \pm SD)인 실뱀장어를 선별하여 순환여과식 사육시스템에 각 실험구당 실험수조(2L 사각수조)에 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였으며, 유수량은 1 L/min, 사육수온은 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 일일 사료공급은 어체중의 10% (건물량)를 일일 2회 (9:30, 18:30) 공급하였으며, 이때 유수는 중단했다. 실험기간은 2004년 3월 1일부터 2004년 4월 12일까지로 6주간 사육실험을 실시하였다.

2. 실험사료 및 실험설계

실험에 사용된 실험사료의 조성 및 지방산 조성은 각각 Table 2-1와 Table 2-3에 나타내었다. 실험사료는 단백질원으로 갈색어분(Brownfish meal)과 혈분(Blood meal)을 사용하였고, 지질원으로 야자유(coconut oil), 옥수수유(corn oil) 및 아마인유(linseed oil)를, 그리고 탄수화물원으로 옥수수전분(corn starch)과 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 치어기 뱀장어의 사료내 필수지방산과 그 적정 요구량을 평가하기 위하여 5가지(LA, LNA, AA, EPA, DHA)를 사료내 첨가하여

제조하였다. 실험사료의 조단백질 함량은 52%, 조지방 함량은 9.3%로 맞추어 제조하였고, 실험사료는 원료를 혼합하여 분말형태로 제조하여 밀봉상태로 -20℃에 냉동보관하면서 사료 공급 시, 분말사료를 물에 혼합한 반죽사료를 공급하였다.

어분에 함유되어 있는 지질성분은 fish meal : ethanol = 1 : 2, (W/V)에 용기에 ethanol을 넣고 water bath에서 75-80℃까지 가열한 후, fish meal을 첨가하여 지질성분을 추출한다(3-4회 반복). 이후, 공기순환이 원활한 공간에서 유기용매가 완전히 기화할 때 까지 48시간 이상 건조하여 실험사료에 사용한다(Kosutarak et al., 1995).

본 실험의 실험디자인은 Table 2-2에 나타내었다. 실험구간은 1) 대조구(Basal diet), 2) α-linolenic acid LNA (18:3n-3) 0.5% + linoleic acid LA (18:2n-6) 0.5% 함유구, 3) LNA (18:3n-3) 0.33% + LA (18:2n-6) 0.66% 함유구, 4) LNA (18:3n-3) 0.25% + LA (18:2n-6) 0.75% 함유구, 5)arachidonic acid AA (20:4n-6) 0.25% + eicosapentaenoic acid EPA (20:5n-3) 0.375% + docosahexaenoic acid DHA (22:6n-3) 0.375% 함유구, 6) AA (20:4n-6) 0.5% + EPA (20:5n-3) 0.25% + DHA (22:6n-3) 0.25% 함유구, 7) AA (20:4n-6) 0.75% + EPA (20:5n-3) 0.125% + DHA (22:6n-3) 0.125% 함유구로 총 7개의 실험구를 설정하였다.

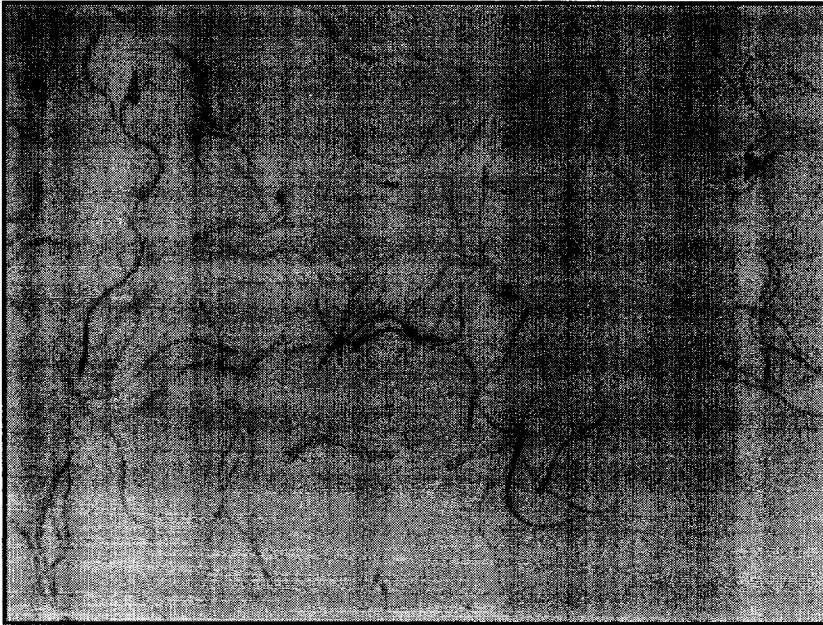


Fig 2-1. Swimming figure of experimental fish, glass eel

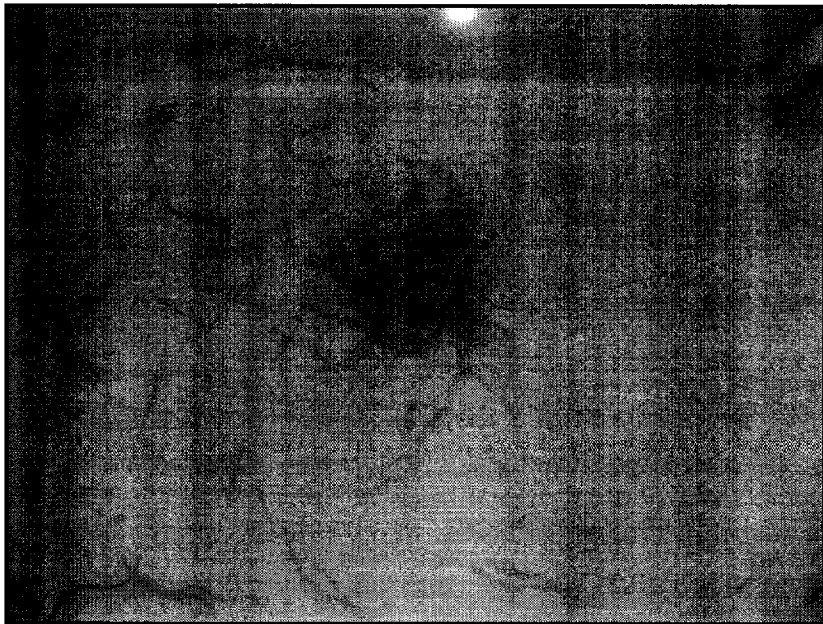


Fig 2-2. Feeding behavior of glass eel

Table 2-1. Composition of the experimental diets (% of dry matter basis)¹

Ingredients	Diets						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
DFBFM ^{2*}	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0
Blood meal ³	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Corn starch ⁴	10.4	10.5	10.6	10.5	10.5	10.5	11.4
Wheat meal ⁵	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Coconut oil ⁶	9.6	7.9	7.9	8.0	8.1	8.0	7.0
Corn oil ⁷	-	0.7	0.3	0.1	-	-	-
Linseed oil ⁸	-	0.9	1.2	1.4	-	-	-
ARA ⁹	-	-	-	-	0.4	0.9	1.3
EPA ¹⁰	-	-	-	-	0.5	0.3	0.2
DHA ¹¹	-	-	-	-	0.5	0.3	0.2
Vitamin mixture ¹²	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Mineral mixture ¹³	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Proximate analysis							
Moisture (%)	8.3	7.8	7.3	7.5	7.5	7.5	7.6
Crude protein (% DM)	51.6	52.8	52.3	52.2	52.5	52.6	52.1
Crude lipid (% DM)	9.4	9.4	9.2	9.3	9.4	9.3	9.3
Crude ash (% DM)	9.3	9.2	9.3	9.1	9.2	9.2	9.2

¹ Ingredients information and formulation method are explained in Kim and Bai (1997).

^{2,4} Su Hyup Feed Co., Uiryong, Korea.; *Defatted brown fish meal

³ Il Shin feed Co., Hampyeong, Korea

⁵ Young Nam Flour Mills Co., Busan, Korea

^{6,7,8} Dong Suh Oil & Fats Co., Changwon, Korea

⁹ ARA: arachidonic acid triacylglycerol (40% purity). Martek, USA.

¹⁰ EPA: eicosa-pentaenoic acid ethyl ester (95% purity). Itochu Techno-Chemical Inc, Japan.

¹¹ DHA: docosahexaenoic acid ethyl ester (95% purity). Itochu Techno-Chemical Inc, Japan.

¹² Contains (as mg/kg in diets): Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitartrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine · HCl, 15; Riboflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl- α -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06

¹³ Contains (as mg/kg in diets): NaCl, 437.4; MgSO₄ · 7H₂O, 1379.8; NaH₂P₄ · 2H₂O, 877.8; Ca(H₂PO₄)₂ · 2H₂O, 1366.7; KH₂PO₄, 2414; ZnSO₄ · 7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; Ca-lactate, 3004; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025

Table 2-2. Dietary HUFA¹ ratios of seven different experimental diets

Diets	HUFA ratio (%)
1 D1	control
2 D2	LNA ² (18:3n-3) 0.50 + LA ³ (18:2n-6) 0.50
3 D3	LNA (18:3n-3) 0.35 + LA (18:2n-6) 0.65
4 D4	LNA (18:3n-3) 0.25 + LA (18:2n-6) 0.75
5 D5	AA ⁴ (20:4n-6) 0.25 + EPA ⁵ (20:5n-3) 0.375 + DHA ⁶ (22:6n-3) 0.375
6 D6	AA (20:4n-6) 0.25 + EPA (20:5n-3) 0.375 + DHA (22:6n-3) 0.375
7 D7	AA (20:4n-6) 0.25 + EPA (20:5n-3) 0.125 + DHA (22:6n-3) 0.125

¹ High-unsaturated fatty acid

² α -linolenic acid, LNA (18:3n-3)

³ linoleic acid, LA (18:2n-6)

⁴ arachidonic acid, AA (20:4n-6)

⁵ eicosa-pentaenoic acid, EPA (20:5n-3)

⁶ docosa-hexaenoic acid, DHA (22:6n-3)

Table 2-3. Fatty acid composition of experimental diets (% fatty acid)

	Diets ¹ (% fatty acid)							Pooled SEM
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
C4:0	0.02	0.14	5.48	0.07	0.07	nd	nd	0.91
C6:0	0.39	nd ²	0.44	0.54	nd	0.868	nd	0.13
C8:0	7.45	9.46	8.68	9.27	10.8	8.399	19.7	1.58
C10:0	5.55	6.05	6.20	6.55	6.37	5.756	9.39	0.49
C11:0	0.01	nd	0.02	0.05	0.06	0.011	0.12	0.02
C12:0	43.1	40.3	45.32	48.2	40.3	41.3	45.5	1.14
C13:0	0.03	0.03	nd	0.02	0.01	0.02	nd	0.00
C14:0	16.9	13.9	14.5	15.4	12.1	15.0	9.86	0.88
C14:1	0.02	nd	nd	nd	nd	0.01	nd	0.00
C15:0	0.06	0.05	0.06	0.07	0.11	0.07	0.05	0.01
C15:1	0.01	0.04	0.12	0.15	0.09	0.01	0.03	0.02
C16:0	10.1	8.82	7.99	8.87	8.56	10.2	6.17	0.52
C16:1	0.33	0.23	0.15	0.13	0.44	0.29	0.33	0.04
C17:0	0.05	nd	0.06	0.09	0.18	0.10	nd	0.02
C17:1	0.02	nd	nd	nd	0.04	0.03	nd	0.01
C18:0	2.98	2.67	2.43	2.82	3.50	3.68	2.19	0.20
C18:1n9c,1n9t	7.93	8.10	3.53	3.30	6.69	7.77	0.51	1.12
C18:2n9c	2.03	4.99	1.88	1.37	1.76	1.75	1.26	0.48
C18:2n9t	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.00
C18:3n6,9,12c	nd	nd	0.02	nd	0.15	0.17	nd	0.03
C18:3n9,12,15c	0.08	3.736	1.50	1.24	0.12	0.04	nd	0.52
C20:0	0.09	0.09	0.06	0.06	0.17	0.16	nd	0.02
C20:1	0.55	0.37	0.24	0.22	1.12	0.51	0.49	0.11
C20:2	0.08	0.04	0.13	0.10	0.13	0.08	nd	0.02
C20:3	nd	nd	nd	nd	0.12	0.19	nd	0.03
C21:0	0.05	0.05	0.01	nd	0.66	1.79	0.63	0.25
C20:4	nd	0.04	0.08	0.10	0.14	0.04	nd	0.02
C20:5	0.45	0.25	0.11	0.03	3.22	0.51	1.69	0.44
C22:0	0.01	nd	0.04	nd	0.17	0.18	nd	0.03
C22:1	0.21	0.05	0.06	nd	0.26	0.10	nd	0.04
C22:2	0.38	0.08	0.38	0.72	0.18	0.20	0.69	0.09
C23:0	0.04	nd	0.05	0.16	0.03	nd	nd	0.02
C24:0	0.05	0.02	0.21	0.27	0.19	0.14	nd	0.04
C24:1n15c	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.00
C22:6n3	0.98	0.60	0.30	0.17	2.36	0.60	1.40	0.29
Total	100	100	100	100	100	100	100	

¹ Refer to the table 2.² nd: not detected

3. 어체측정 및 성분분석

실험종료 후, 실험어를 24시간 절식시킨 후 ethylene glycol phenyl ether 90% (200ppm)로 마취시켜 어체중을 측정하여 증체율(weight gain, WG), 사료효율(feed efficiency, FE), 일간성장률(specific growth rate, SGR) 및 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER)을 확인하였으며 어체내 일반성분 및 지방산 조성을 조사하였다.

- Weight gain (%): $[(\text{final wt.} - \text{initial wt.}) / \text{initial wt.}] \times 100.$
- Feed efficiency (%): $(\text{wet wt. gain} / \text{dry feed intake}) \times 100.$
- Specific growth rate (%): $[(\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) / \text{days}] \times 100.$
- Protein efficiency ratio (%): $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}.$

1) 일반성분 분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 6마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC(1995)에 의해 수분은 상압가열건조법(125℃, 3시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결건조한 후 Soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

2) 지방산 분석

실험사료와 분쇄한 전어체에서 추출한 지방의 methylation은 Metcalfe et al. (1966)의 방법에 의해 분석하였다. 지방산 methylation은 ferries silica capillary column을 장착한 gas chromatography (Trace GC)에 의해 분석하였다. 캐리어 기체는 질

소를 사용하였고, detection은 FID 모드를 사용하였으며 분석조건은 다음과 같다. Instrument: Trace GC gas chromatograph, column: quadrex, 30M, bonded carbowax 0.25 mm I.D × 0.25 μm film, cat. No.: 007-CW-30-0.25F, injector temperature: 250℃, Detector temperature: 250℃, flow (gas press): 65 psi. helium, splite: 1:50 도출된 크로마토그램은 분석 프로그램인 peak sample에 의해 분석하였다.

3) 혈액 및 혈청성분 분석

실험 종료 후, 증체율 측정과 함께 혈액성분 분석을 위하여 채혈하기 전까지 실험어를 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 4마리씩 무작위로 추출하여 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후 micro-hematocrit법(Micro Hematocrit Reader, Hawksley)에 의해 헤마토크리트(hematocrit, PCV)를 측정하였으며, 헤모글로빈 함량(Hb, g/dl)은 cyan-methemoglobin 법(Yokoyama, 1960)에 의하여 측정하였다. 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 방치하였다가 원심분리(12,000 rpm, 5 min)하여 얻은 혈청을 분석 전까지 -76℃에 보관하였다. 혈청 글루코스(mg/dl), 혈청 콜레스테롤(mg/dl), GOT (IU/L), GPT (IU/L), total protein (TP, g/dl)의 측정에는 혈액 분석기(Vtros DT 60 II, Korea)를 사용하였다.

4) 통계분석

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.

제 3 장 결 과

실험 I: 치어기 뱀장어에 있어서 사료내 Essential Fatty Acids 요구량 결정을 위한 실험

본 실험에서는 뱀장어의 적정 필수지방산과 그 요구량을 확인하기 위해서 5종류의 고도불포화지방산(HUFA)을 실험사료에 균일한 비율로 첨가하여 제작하였으며, 본 사료를 공급하여 사육실험을 실시하였다. 그 결과 LA과 LNA를 각각 0.35-0.5%, 0.5-0.65% (The ratio of LA: LNA = 1:1 ~ 1:2) 첨가했을 때 나머지 실험구들에 비해 성장 및 사료 효율이 유의적으로 높은 것으로 나타났다.

4주간의 예비사육 후 16주간의 사육실험 결과는 Table 1-4에 나타내었다. 증체율(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 D₃: LA_{0.35}-LNA_{0.65} 실험구가 다른 실험구들과 비교하여 가장 높게 나타났으며, D₂: LA_{0.5}-LNA_{0.5} 실험구와는 유의적인 차이가 나지 않았다(P<0.05). 한편, 대조구(D₁: LA-LNA 결핍사료)는 다른 실험구들에 비해 유의적으로 낮았다(P<0.05). 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER) 역시 성장결과와 유사한 경향을 보였는데 D₂: LA_{0.5}-LNA_{0.5} 실험구와 D₃: LA_{0.35}-LNA_{0.65} 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높았는데, 이들 실험구간에는 유의적 차가 없었으며, 대조구 사료를 공급한 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의적으로 낮았다(P<0.05).

혈액성상학적 평가에 관한 결과는 Table 1-5에 나타내었다. 헤마토크리트(Hematocrit)는 대조구에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며, D₂: LA_{0.5}-LNA_{0.5} 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다(P<0.05).

혈장 내 헤모글로빈(Hemoglobin)은 9.5-11.6 (g/100ml)로 나타났으며, 전 실험구간 유의적인 차이는 없었다($P<0.05$). 혈장 내 GOT는 D₇: AA_{0.75}-EPA_{0.125}-DHA_{0.125} 실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높았는데, D₁, D₂, D₅, D₆ 실험구와는 유의적인 차이가 없었다($P<0.05$). 혈장 내 GPT와 TP (Total protein)는 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P<0.05$). 혈장 내 글루코스(Glucose)는 다른 실험구들에 비해 D₅: AA_{0.25}-EPA_{0.375}-DHA_{0.375} 실험구가 가장 높았으며, D₁, D₂, D₃, D₄, D₆, D₇ 실험구와는 유의적인 차이가 없었다($P<0.05$). 혈장 내 콜레스테롤(Cholesterol)은 D₄: LA_{0.25}-LNA_{0.75} 실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높게 나타났으며 D₁, D₆, D₇ 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P<0.05$).

전어체의 일반성분은 Table 1-6에 나타내었다. 수분함량 81.6~83.2%, 회분함량 2.14~2.54, 조단백질 함량 43.2~44.7%, 조지방 함량 10.2~11.3%로 유의한 경향은 없는 것으로 보여졌다. 전어체의 지방산조성은 Table 1-7에 나타내었다. 전어체내 고도불포화지방산(High-unsaturated fatty acids, HUFA)함량에 있어서 대조구는 나머지 실험구들에 비해 유의적으로 낮게 나타났으며, D₁, D₄실험구와 D₂-D₇ 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이를 보이지 않았다. HUFA/SFA 비율에 있어서 D₂, D₃, D₆이 D₁에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 하지만 D₁, D₄, D₅, D₇ 실험구간 그리고 D₂-D₇ 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이가 나타났다. DHA/EPA의 비율에 있어서 D₇이 다른 실험구들에 비해 유의적으로 가장 높게 나타났으며, D₅가 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P<0.05$).

Table 1-4. Effects of feeding experimental diets on growth performance of juvenile eel fed seven different experimental diet for 16 weeks¹

Diets²	WG³ (%)	SGR⁴	FE⁵	PER⁶
D1	30.34 ^f	0.31 ^f	23.50 ^d	0.47 ^d
D2	44.72^{ab}	0.43^{ab}	33.40^a	0.67^a
D3	47.14^a	0.45^a	35.67^a	0.71^a
D4	42.40 ^{bc}	0.42 ^{bc}	32.19 ^{ab}	0.64 ^{ab}
D5	38.62 ^e	0.38 ^e	26.82 ^{cd}	0.54 ^{cd}
D6	39.24 ^{de}	0.39 ^{de}	28.16 ^c	0.56 ^c
D7	41.28 ^{cd}	0.41 ^{cd}	29.43 ^{bc}	0.59 ^{bc}
Pooled SEM⁷	1.12	0.01	0.86	0.02

¹ Means of single groups; Values in the same row with different superscripts are not significantly different (P<0.05)

² Refer to table 2

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

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

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

⁶ Protein efficiency ratio (%): wet wt. gain / protein intake.

⁷ Pooled standard error of mean: SD/√n

Table 1-5. Serological characteristics of juvenile eel fed seven different experimental diet for 16 weeks¹

	Diets ²							Pooled ³
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	SEM
PCV (%)⁴	25 ^d	26 ^{cd}	27 ^{cd}	28 ^{bc}	32 ^a	25 ^d	30 ^{ab}	0.53
Hb (g/100ml)⁵	9.9	10.1	10.5	11.6	10.7	9.5	10.4	0.14
GOT (IU/L)⁶	90 ^{ab}	84 ^{ab}	49 ^c	71 ^{bc}	91 ^{ab}	90 ^{ab}	106 ^a	3.76
GPT (IU/L)⁷	12	10	8	10	10	10	10	0.25
TP (g/dl)⁸	2.9	3.3	3.4	3.4	3.2	3.7	3.1	0.05
Glocuse (mg/dl)	107 ^a	70 ^b	58 ^b	63 ^b	120 ^a	79 ^b	78 ^b	4.77

¹ Means of single groups; Values in the same row with different superscripts are not significantly different (P<0.05)

² Refer to table 2

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

⁴ Hematocrit (%)

⁵ Hemoglobin (g/100ml)

⁶ GOT: glutamate oxaloacetate trans-aminase (IU/L)

⁷ GPT: glutamate pyruvate trans-aminase (IU/L)

⁸ TP: total protein (g/dl)

Table 1-6. Whole body proximate composition of juvenile eel fed seven different experimental diet for 16 weeks

Diets¹	Moisture	Ash	Crude Protein	Crude Lipid
	(% of dry matter basis)			
D1	82.1	2.14	43.3	10.2
D2	82.3	2.31	43.8	10.3
D3	82.4	2.43	44.1	10.5
D4	82.1	2.45	44.3	10.6
D5	82.5	2.48	44.7	11.2
D6	81.6	2.51	43.6	11.3
D7	83.2	2.54	43.2	11.2
Pooled SEM²	0.18	0.05	0.21	0.18

¹Refer to table

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

Table 1-7. Whole body proximate fatty acid composition of juvenile eel fed seven different experimental diet for 16 weeks¹

	Diets ² (% fatty acid)							Pooled SEM ³
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	
C10:0	0.15 ^a	0.07 ^{ab}	0.11 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.03 ^{ab}	nd	0.12 ^a	0.02
C11:0	nd ^d	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.16
C12:0	3.25 ^a	2.10 ^b	2.69 ^{ab}	2.65 ^{ab}	2.12 ^b	0.61 ^c	3.16 ^a	0.30
C13:0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.00
C14:0	6.54 ^a	5.04 ^{cd}	6.08 ^{ab}	5.56 ^{bc}	5.41 ^{bcd}	4.52 ^d	5.91 ^{abc}	0.43
C15:0	0.29 ^{ab}	0.27 ^{bc}	0.32 ^a	0.28 ^b	0.31 ^a	0.29 ^{ab}	0.27 ^b	0.02
C16:0	19.6 ^{abc}	18.9 ^c	20.6 ^a	19.8 ^{abc}	20.2 ^{ab}	19.8 ^{abc}	19.3 ^{bc}	0.89
C17:0	0.19	0.21	0.12	0.11	0.14	0.11	0.19	0.02
C18:0	3.45 ^b	3.86 ^a	3.87 ^a	3.79 ^a	3.50 ^b	3.92 ^a	3.52 ^b	2.89
C20:0	0.09	0.13	0.06	0.09	0.11	0.06	0.11	0.17
C21:0	0.73 ^a	0.71 ^{ab}	0.69 ^{ab}	0.63 ^{ab}	0.70 ^{ab}	0.59 ^b	0.71 ^{ab}	0.05
C22:0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.01	0.02
C23:0	0.20	0.14	0.13	0.25	0.21	0.14	0.13	0.13
C24:0	1.89	1.99	1.78	1.74	1.99	2.02	1.88	0.16
SFA	40.38	33.42 ^{bc}	36.45	34.98	34.72	32.06	35.31	0.77
C14:1	0.19 ^a	0.15 ^{bc}	0.17 ^b	0.16 ^b	0.17 ^{ab}	0.13 ^c	0.18 ^{ab}	0.01
C15:1	0.11	0.04	0.02	0.04	0.05	0.05	0.05	1.47
C16:1	7.19	6.59	7.06	6.89	7.38	6.95	7.03	0.49
C17:1	0.24	0.29	0.25	0.20	0.21	0.25	0.25	0.23
C18:1	43.6 ^b	44.9 ^b	42.1 ^c	44.2 ^b	44.2 ^b	46.6 ^a	43.6 ^b	2.92
C20:1	2.71 ^{ab}	2.94 ^a	2.43 ^b	2.61 ^{ab}	2.53 ^b	2.61 ^{ab}	2.51 ^b	0.18
C22:1	0.17	0.18	0.14	0.20	0.19	0.21	0.15	0.02
Monoene	54.2 ^{bc}	55.1 ^b	52.2 ^d	54.3	54.73	56.8 ^a	53.77	0.53
C18:2n9c	3.19 ^c	4.08 ^a	4.18 ^a	3.47 ^b	3.62 ^b	3.69 ^b	3.64 ^b	0.28
C18:2n9t	nd	nd	nd	nd	nd	0.02	nd	0.00
C18:3n6,9,12c	0.05	0.03	0.11	0.43	0.05	0.03	0.04	0.06
C18:3n9,12,15c	0.33 ^{cd}	0.51 ^a	0.46 ^{ab}	0.45 ^{ab}	0.41 ^{bc}	0.31 ^d	0.28 ^d	0.03
C20:2	0.29	0.33	0.31	0.28	0.24	0.29	0.27	0.01
C20:3	0.21 ^{bc}	0.26 ^a	0.24 ^{ab}	0.20 ^c	0.19 ^c	0.18 ^c	0.25 ^a	0.03
C20:4	nd	0.08	0.04	nd	0.04	0.03	0.03	0.10
C20:5	1.25 ^c	1.51 ^{ab}	1.47 ^{ab}	1.37 ^{bc}	1.58 ^a	1.56 ^a	1.45 ^{ab}	0.11
C22:2	0.04	0.07	nd	nd	nd	nd	0.07	0.02
C22:6	4.05 ^c	4.67 ^{ab}	4.56 ^{abc}	4.49 ^{abc}	4.38 ^{bc}	4.99 ^a	4.90 ^{ab}	0.34
Polyene	9.41	11.54	11.37	10.69	10.51	11.1 ^a	10.93	0.27
PUFA/SFA	0.26 ^b	0.35 ^a	0.31 ^a	0.31 ^{ab}	0.30 ^{ab}	0.35 ^a	0.31 ^{ab}	0.01
DHA/EPA	3.24 ^b	3.09 ^c	3.11 ^c	3.28 ^b	2.77 ^d	3.21 ^b	3.38 ^a	0.07

¹ Means of single groups: Values in the same row with different superscripts are not significantly different ($P < 0.05$)

² Refer to table

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

⁴ nd: not detected

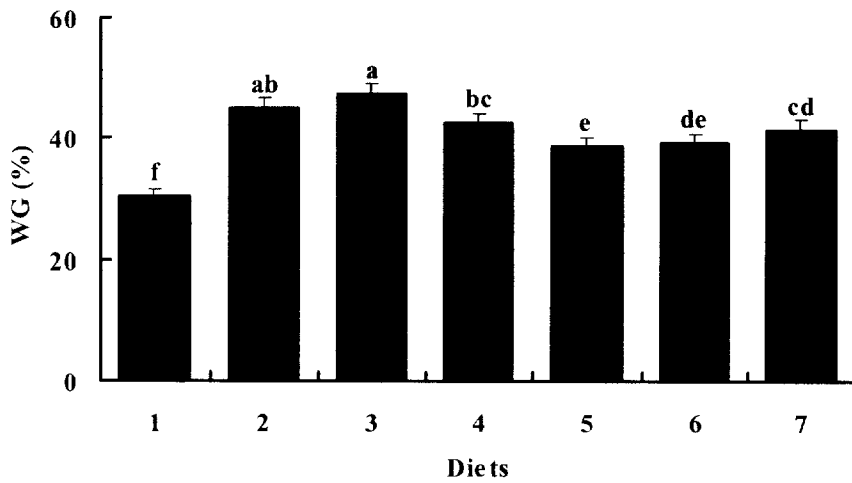


Fig 1-3. Weight gain (WG, %) from the fish fed 7 diets for 16 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

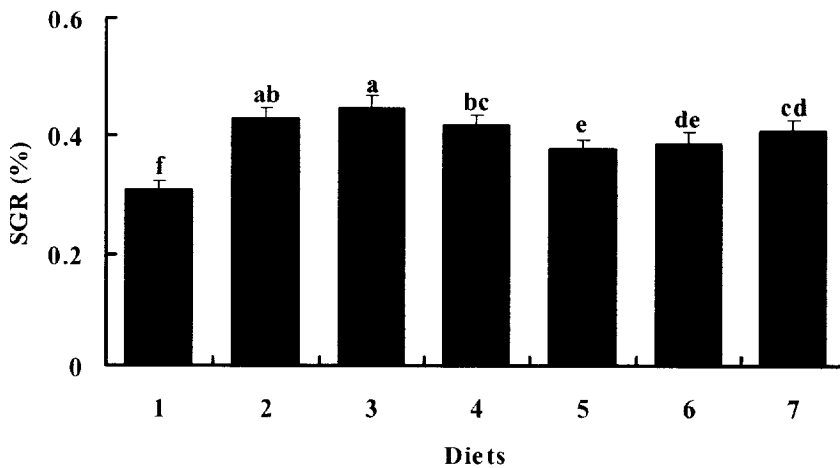


Fig 1-4. Specific growth rate (SRG, %) from the fish fed 7 diets for 16 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

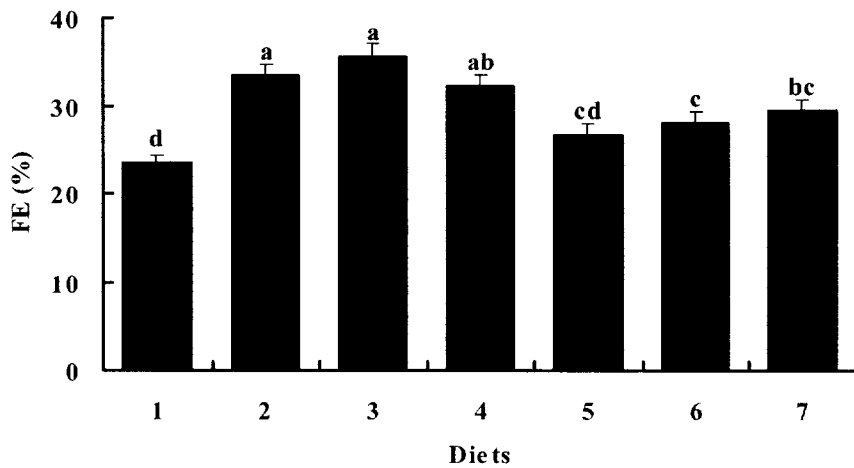


Fig 1-5. Feed efficiency (FE, %) from the fish fed 7 diets for 16 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

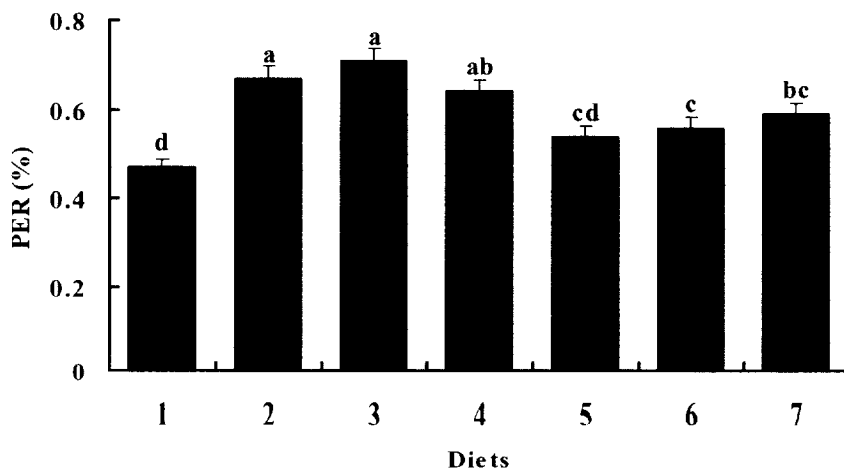


Fig 1-6. Protein efficiency ratio (PER, %) from the fish fed 7 diets for 16 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

실험 II: 실뱀장어에 있어서 사료내 Essential Fatty Acids 요구량 결정을 위한 실험

본 실험에서는 실뱀장어의 적정 필수지방산과 그 요구량을 확인하기 위해서 5종류의 고도불포화지방산(HUFA)을 실험사료에 균일한 비율로 첨가하여 제조하였으며, 본 사료를 공급하여 사육실험을 실시하였다. 그 결과 6주간의 성장결과를 Table 2-4에 나타내었다. 성장률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 D3 실험구가 다른 실험구들과 비교하여 가장 높게 나타났지만, D2, D4 그리고 D7 실험구와는 유의적인 차이가 나지 않은 반면, 대조구와 D5 그리고 D6 실험구 보다는 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER) 역시 성장결과와 유사한 경향을 보였는데 D3 실험구가 나머지 실험구들과 비교하여 가장 우수한 결과를 나타내었으나 D2, D4, 그리고 D7 실험구와는 유의적인 차이가 없는 반면, 대조구와 D5 그리고 D6 실험구에 비해서 유의적으로 높은 것으로 나타났다($P < 0.05$).

실험사료를 섭취한 실뱀장어의 전어체 조성에 대한 결과는 Table 2-5에 나타내었다. 전어체내 수분함량은 76.2~77.64%, 조회분 함량은 0.429~0.46%, 조단백질 함량은 23.3~23.83%, 조지방 함량은 6.22~6.6%의 범위를 나타내었다.

실뱀장어의 전어체 지방산조성을 Table 2-6에 나타내었다. 전어체내 다불포화지방산(Poly-unsaturated fatty acids, PUFA) 함량, PUFA/SFA

(포화지방산, saturated fatty acids) 비율, DHA (Docosahexaenoic acid) /EPA(Eicosapentaenoic acid)의 비율에 있어서 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

따라서, 본 결과를 통하여 DHA와 EPA의 첨가가 전어체내 조성에는 영향을 미치는 않는 것으로 판단되며, 사료내 n-3 HUFA와 n-6 HUFA를 각각 1:1, 1:2, 1:3 비율 첨가하던지, ARA와 EPA+DHA의 비율을 각각 0.75%와 0.25% 수준으로 첨가하면 성장에 도움이 될 것으로 사료된다.

Table 12. Effects of feeding experimental diets on growth performance of glass eel fed seven different experimental diet for 6 weeks¹

Diets	WG ²	SGR ³	FE ⁴	PER ⁵
	(%)			
D1	107.69 ^{cb}	2.43 ^{cb}	41.42 ^{cb}	0.83 ^{cb}
D2	146.67 ^a	3.00 ^a	56.41 ^a	1.13 ^a
D3	152.27 ^a	3.08 ^a	58.57 ^a	1.17 ^a
D4	136.67 ^a	2.87 ^a	52.56 ^a	1.05 ^a
D5	94.12 ^c	2.21 ^c	36.20 ^c	0.72 ^c
D6	112.50 ^b	2.51 ^b	43.27 ^b	0.87 ^b
D7	148.53 ^a	3.03 ^a	57.13 ^a	1.14 ^a
Pooled SEM⁶	8.79	0.13	3.37	0.07

¹ Means of single groups; Values in the same row with different superscripts are not significantly different (P<0.05)

² Weigth gain (%): [(final wt. - initial wt.) / initial wt.] × 100.

³ Feed efficiency (%): (wet wt. gain / dry feed intake) × 100.

⁴ Specific growth rate (%): [(log_e final wt. - log_e initial wt.) / days] × 100.

⁵ Protein efficiency ratio (%): wet wt. gain / protein intake.

⁶ Pooled standard error of mean: SD/√n

Table 13. Whole body proximate composition of glass eel fed seven different experimental diet for 6 weeks

Diets ¹	Moisture	Ash	Crude Protein	Crude Lipid
	(% of dry matter basis)			
D1	76.2	0.42	23.3	6.2
D2	76.5	0.43	23.4	6.3
D3	77.6	0.43	23.6	6.5
D4	76.6	0.46	23.5	6.6
D5	76.8	0.44	23.7	6.4
D6	76.5	0.45	23.6	6.3
D7	76.7	0.43	23.8	6.3
Pooled SEM²	0.07	0.01	0.06	0.05

¹ Refer to table

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

Table 14. Whole body fatty acid composition of glass eel fed different experimental diet for 6 weeks

	Diets (% fatty acid)							Pooled SEM
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
C10:0	0.14 ^{ab}	0.08 ^b	0.17 ^{ab}	0.20 ^{ab}	0.16 ^{ab}	0.15 ^{ab}	0.23 ^a	0.02
C12:0	6.78 ^{bcd}	6.91 ^{bcd}	6.69 ^{ab}	6.98 ^{abc}	6.07 ^{cd}	5.96 ^d	7.65 ^a	0.89
C15:0	0.32 ^c	0.32 ^c	0.33 ^{bc}	0.33 ^c	0.37 ^a	0.34 ^{bc}	0.36 ^{ab}	0.05
C16:0	21.4	21.6	21.1	21.2	21.0	20.9	20.6	2.87
C17:0	0.43	0.30	0.70	0.81	0.71	0.73	0.69	0.07
C18:0	8.19 ^{ab}	7.32 ^{bc}	7.48 ^{abc}	8.12 ^{ab}	8.56 ^a	8.36 ^{ab}	6.83 ^c	1.04
C20:0	0.45 ^a	0.36 ^a	0.35 ^{ab}	0.35 ^{bc}	0.000	0.39 ^a	0.21 ^b	0.05
C21:0	4.13 ^b	3.11 ^c	3.50 ^c	3.54 ^c	4.84 ^a	5.12 ^a	5.33 ^a	0.58
C23:0	0.71 ^{abc}	0.59 ^{bc}	0.70 ^{abc}	0.52 ^c	0.86 ^a	0.77 ^{ab}	0.83 ^a	0.09
C24:0	1.40	1.47	1.48	1.37	1.49	1.43	1.32	0.19
SFA	43.95	42.06	42.5	43.42	44.06	44.15	44.05	0.32
C11:1	0.00	0.00	0.000	0.000	0.19	0.10	0.05	0.02
C14:1	0.14	0.15	0.16	0.14	0.13	0.17	0.16	0.02
C15:1	0.07 ^c	1.40 ^{ab}	0.68 ^{bc}	1.35 ^{ab}	1.80 ^a	1.52 ^a	1.43 ^{ab}	0.18
C16:1	4.92 ^{bc}	5.65 ^{ab}	6.00 ^a	4.66 ^c	4.50 ^c	4.99 ^{bc}	5.35 ^{abc}	0.68
C17:1	0.37 ^a	0.30 ^{ab}	0.32 ^{ab}	0.27 ^b	0.28 ^b	0.32 ^{ab}	0.30 ^{ab}	0.04
C18:1	28.1 ^b	29.6 ^a	27.9 ^b	27.4 ^b	26.2 ^c	27.8 ^b	25.5 ^c	3.78
C20:1	1.82 ^{ab}	2.03 ^a	1.72 ^{bc}	1.79 ^{abc}	1.68 ^{bc}	1.86 ^{ab}	1.56 ^c	0.24
Monoene	35.42	39.13	36.78	35.61	34.78	36.76	34.35	0.61
C18:2n9c	2.29 ^a	2.22 ^{ab}	2.24 ^{ab}	2.46 ^a	1.64 ^{cd}	1.90 ^{bc}	1.52 ^d	0.28
C18:3n9,12,15c	0.20 ^b	0.31 ^b	0.55 ^{ab}	0.84 ^a	0.34 ^b	0.31 ^b	0.40 ^b	0.06
C20:2	0.78 ^a	0.31 ^{ab}	0.26 ^{ab}	0.000	0.27 ^{ab}	0.23 ^{ab}	0.23 ^{ab}	0.07
C20:3	0.63 ^a	0.54 ^b	0.51 ^b	0.000	0.43 ^c	0.55 ^b	0.53 ^b	0.07
C20:5	1.98 ^{ab}	1.69 ^{bc}	2.00 ^{ab}	2.08 ^a	2.21 ^a	1.75 ^b	1.37 ^c	0.25
C22:2	0.00	0.000	0.000	0.000	0.13	0.000	0.000	0.01
C22:6	9.83 ^b	8.90 ^b	9.36 ^b	10.0 ^b	11.6 ^a	10.2 ^{ab}	9.18 ^b	1.34
Polyene	15.71	13.97	14.92	15.38	16.62	14.94	13.23	0.42
PUFA/SFA	0.36	0.33	0.35	0.35	0.38	0.34	0.30	0.01
DHA/EPA	4.97	5.26	4.67	4.79	5.26	5.80	6.72	0.27

¹ Means of single groups: Values in the same row with different superscripts are not significantly different ($P < 0.05$)

² Refer to table

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

⁴ nd: not detected

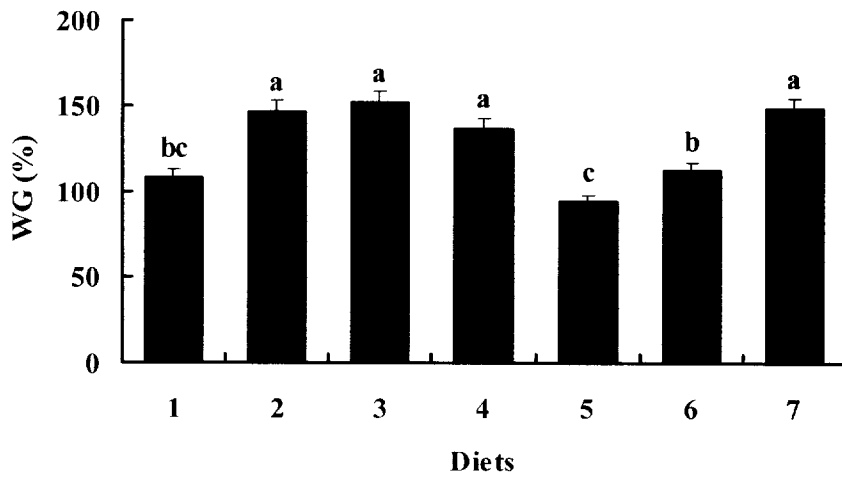


Fig 2-3. Weight gain (WG, %) from the fish fed 7 diets for 6 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

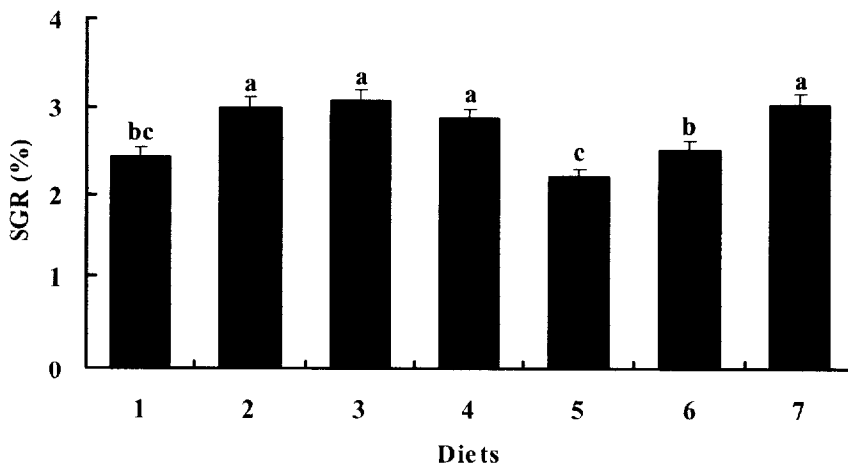


Fig 2-4. Specific growth rate (SGR, %) from the fish fed 7 diets for 6 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

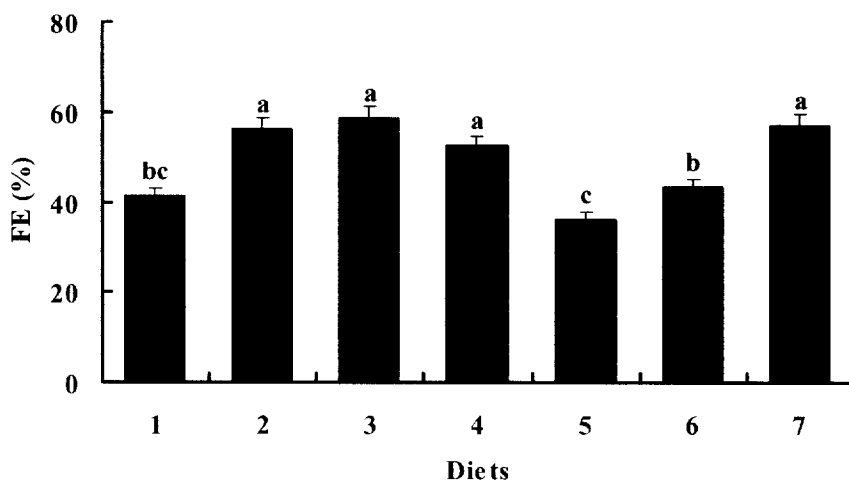


Fig 2-5. Feed efficiency (FE, %) from the fish fed 7 diets for 6 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

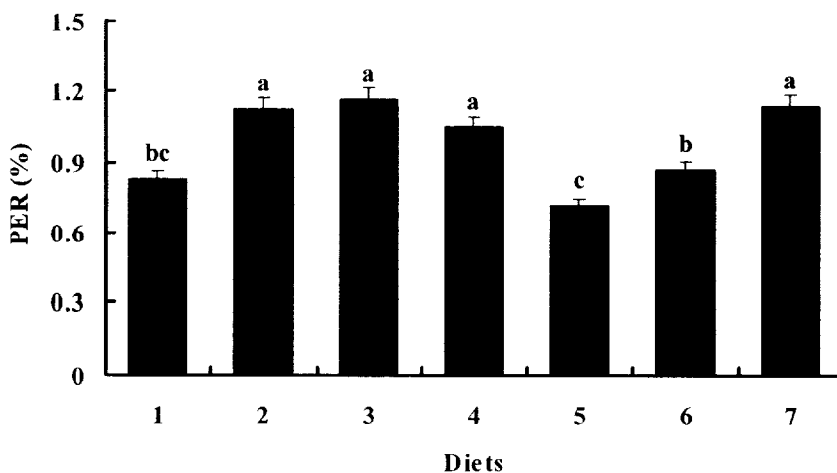


Fig 2-6. Protein efficiency ratio (PER, %) from the fish fed 7 diets for 6 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript in significantly different ($P < 0.05$)

제 4 장 논 의

수중동물들은 에너지, 필수지방산, 지용성 비타민, 스테롤과 인지질 등을 체내에 공급하기 위하여 지질을 요구하는데, 어류는 지방산의 공급을 먹이와 생합성을 통해서 공급하는데, 특히 최대의 성장률을 위해서 불포화 지방산의 적정량을 첨가해 주어야 한다.

필수지방산은 동물 종에 따라서 다르며 양식어종에 따라서도 차이가 난다. 사람에게 있어서 필수지방산은 linoleic acid, α -linolenic acid 그리고 arachidonic acid이다. 어류에 있어서는 담수어와 해산어가 많이 다르게 나타나는데, 담수어는 대개 사람에게 있어서처럼 linoleic acid, α -linolenic acid로 사료에 corn oil이나 soybean oil, 그리고 linseed oil 등을 첨가하여 필수지방산의 요구량을 충족시킬 수 있는 반면, 해산어인 경우 EPA와 DHA 등과 같은 고도 불포화지방산(HUFA, highly unsaturated fatty acids)은 α -linolenic acid에서 어체 내 합성이 되는 것으로 알려져 있는데, 특히 해산어에 있어서 충분한 양이 생산되지 못하는 것으로 추정되므로 고도불포화지방산이 다량 함유되어 있는 fish oil이나 fish liver oil 등의 지질원을 사료에 직접 첨가해 주어야 한다. 한편, 담수어에 있어서 이러한 고도불포화 지방산을 별도로 요구하지 않는 경우가 대부분이며, EPA와 DHA가 담수어에서도 중요한 지방산 인 것은 분명하나, 체내에서 생산되는 양으로 충분한 것으로 추정된다.

해산어에서 EPA와 DHA가 특별히 왜 요구되는지, 아니면 생산되는 양이 전혀 없는지 또는 생산되더라도 적은지에 대한 정확한 연구결과는 어종별로 차이가 많으며 단지 많은 어류영양학자들은 담수환경보다는 해수환경에 고도불포화 지방산이 많이 존재하며, 따라서 용이하게 섭취가 가능하므로 해산어의 경우 많은 양의 합성에 필요성을

느끼지 않아서 고도불포화 지방산 생산에 관여하는 효소들의 활력이 적어지도록 적응되었거나, 낮은 수온과 같은 해양환경 자체가 EPA나 DHA와 같은 고도불포화 지방산을 많이 요구할 수 있으리라 추측된다(Bai et al., 1998).

뱀장어의 전생활사에 있어서 해수에서 부화한 뱀장어 유생(leptocephalus)은 담수로 이주하는 기간동안 성장하여 실뱀장어(glass eel)로 변태하는데 이후, 기수유역에 도달하면 흑자(elvers)로 성장하여 담수에서 생활하면서 성만으로 성장하는 강하성(catadromus)어류이다. 그렇기 때문에 실뱀장어의 지방산 조성은 DHA와 EPA의 함량이 높은 전형적인 해산어의 지방산 조성을 나타내며, 이후 치어로 성장하면서 담수어의 지방산 조성으로 변화한다. 다시 말해서, 어체 내 지방산 함량의 변화에 있어서 DHA, EPA, AA는 실뱀장어에서 치만으로 성장하면서 점점 감소하고, 반대로 LA와 LNA는 점점 증가하는 경향이 있다(De Silva et al., 1997). 이러한 명확한 차이는 성장하면서 염분농도가 다른 지역으로 이주하는 회유성 어류의 대표적인 특징으로 보고되었다(Borlongan & Benitez, 1992; De Silva et al., 1997). 뱀장어에 있어서 사료내 LA와 LNA 비율은 1% 전후로 확인되는데, 1% 이상으로 확인된 잉어와 연어 등의 다른 담수어에 비해서 다소 낮은 경향을 보인다. 그리고 사료내 LNA의 과잉 첨가 시 증체율과 사료효율이 감소하는 경향을 보였는데, 무지개 송어의 결과와 유사한 경향을 나타내었으며(Watanabe, 1974), LA와 LNA는 어체 내에서 불포화반응을 통해서 AA, EPA, 그리고 DHA로 합성된다는 보고가 있다(Sargent et al., 1989). 한편, 어체 내 지방산 조성의 차이가 사료(Watanabe et al., 1983; Olsen & Skjervold, 1995), 먹이의 결핍(Dave et al., 1976; Jezierska et al., 1982; De Silva et al., 1997), 그리고 서식수온을 포함한 비영양적 요인(Satoh et al., 1984; Bell et al., 1986) 등에 영향을 받는

다는 보고가 있다.

장기간(16주) 수행한 실험임에도 불구하고 증체율(WG)이 30.3~47.1%로 저조한 값을 나타내었는데, 본 실험은 필수지방산을 평가하는 실험이므로 어분에 함유되어 있는 지질 내 지방산들을 모두 제거해 주어야 하는데, 이 과정에서 어분은 그 향미성이 저하되고, 탈지어분을 주성분으로 제조된 사료는 기호성이 떨어지게 되어 사료의 섭취율 부진 및 허실의 다량 발생 등으로 인해 증체율(WG)과 사료효율(FE)이 저조했던 것으로 생각된다.

수행한 두 가지 실험결과를 토대로 뱀장어 치어 최대성장을 위한 사료 내 EPA, DHA 그리고 AA 와 같은 고도불포화지방산의 첨가효과는 없는 것으로 확인되었으나, 실뱀장어에 있어서 사료 내 AA 의 함량이 증가함에 따라 성장률 및 사료효율이 향상되는 경향이 있었는데, AA는 ecosanoids의 전구물질로 prostaglandins과 thromboxanes과 같은 생리활성물질을 합성을 통해 실뱀장어의 체내대사를 활성화 시킨 것으로 판단되어진다. 한편, 실뱀장어의 자연상태의 생태적 환경에 있어서 실뱀장어는 해수에서 기수역에 이르는데, 본 실험의 실험적 환경에서는 4주간의 순치기간을 두어 실뱀장어를 담수환경에 적응시켜 실험을 수행하였다. 그렇기 때문에 실뱀장어 역시 다른 해산어종과 같이 EPA나 DHA를 더 많이 요구할 것으로 예측되었으나, 이와 달리 AA를 요구하는 것으로 나타났다. 한편, 생태적 환경이 담수인 뱀장어 치어는 다른 담수어종과 같이 필수지방산으로 LA와 LNA를 요구하는 것으로 나타났다. 이를 종합 해 볼 때, 실뱀장어의 생활환경은 해수와 담수의 중간영역인 기수역에 해당되므로 이러한 생태적, 생리적인 변화에 의해 실뱀장어가 AA를 요구하는 것으로 생각된다. 향후, 뱀장어의 생활사를 감안한 보다 정확한 실뱀장어의 필수지방산 요구량 평가를 위해서는 본 실험과 더불어 AA의 첨가효과와 담수 및

해수환경 하에서의 실험이 뒷받침 되어야 될 것으로 간주된다.

그리고 사료내 LNA (n-3)와 LA (n-6) HUFA을 각각 0.35%, 0.65% 첨가했을 때 WG, SGR, FE, PER이 가장 높았으나, 이전의 실험 (Takeuchi, 1980)과 동일한 수준인 n-3와 n-6를 각각 0.5%씩 첨가한 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이렇게 볼 때, 실뱀장어와 치어기 뱀장어의 필수지방산은 LNA (n-3), LA (n-6)이고, 그 적정수준은 각각 0.35~0.5 %, 그리고 0.5~0.65 % (적정비율 1:1~1:2)로 사료된다. 향후 수행해야 할 뱀장어의 필수지방산에 관한 연구에 있어서 성장 단계별 뱀장어의 지방산 조성변화와 뱀장어에 대한 지질원의 이용성과 소화율에 대한 연구 및 이러한 결과를 토대로 한 대규모의 현장적용실험 또한 뒷받침되어야 할 것이다.

제 5 장 요약

본 논문은 국내 담수 양식 어종들 중에서 가장 기호성이 높고 고부가가치 어종인 뱀장어에 있어서 실뱀장어와 치어기 뱀장어의 사료 내 필수지방산과 그 적정 요구량을 결정하고자 실시하였다. 따라서 상기의 결과를 토대로 상기의 결과를 토대로, 성장과 전어체내 지방산조성에 있어서 뱀장어 치어의 사료내 EPA와 DHA의 첨가효과는 없는 것으로 판단되며, 최적 성장을 위한 사료내 필수지방산은 LNA(n-3)와 LA(n-6)이고 그 요구량은 각각 0.35-0.5%, 0.5-0.65%, 그리고 적정 LA - LNA ratio는 1:1 이나 1:2로 사료된다.

실험 I : 치어기 뱀장어에 있어서 사료내 Essential Fatty Acids 요구량 결정을 위한 실험

본 연구는 치어기 뱀장어에 있어서 사료 내 필수지방산의 적정 요구량을 평가하고자 실시하였다. 실험어는 평균무게 15 g인 뱀장어 치어를 사용하였으며, 실험사료 내에 5종류의 다불포화지방산 및 고도불포화지방산(LA, LNA, AA, DHA, EPA)을 첨가하여 총 7가지 실험구를 3반복으로 설정하여 16주간 사육실험을 진행하였다. 사육실험 결과 증체율(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 D3실험구가 가장 높게 나타났으며, D2실험구와는 유의적인 차이가 나지 않았다($P < 0.05$). 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER) 역시 성장결과와 유사한 경향을 보였는데 D2실험구와 D3실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높았고, 이들 실험구간에는 유의적 차가 없었다($P < 0.05$). 혈액성상 중 헤마토크리트(Hematocrit)는 대조구에서 유의적으로 가장 높게 나타났다

($P < 0.05$). 혈청 내 헤모글로빈(Hemoglobin)은 9.5-11.6 (g/100ml)로 전 실험구간 유의적인 차이는 없었다($P < 0.05$). 혈청 내 GOT는 D7실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높았으며 GPT와 TP (Total protein)는 전 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). 혈청 내 글루코스(Glucose)는 다른 실험구들에 비해 D5실험구가 가장 높았으며, 나머지 실험구와는 유의적인 차이가 없었다($P < 0.05$). 혈청 내 콜레스테롤(Cholesterol)은 D4실험구가 다른 실험구들에 비해 가장 높게 나타났으며 D1, D6, D7 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). 실험어의 전어체내 일반성분은 실험구별 유의적 차이성은 보이지 않았고, 전어체내 고도불포화지방산(Highly-unsaturated fatty acids, HUFA) 함량에 있어서 대조구는 나머지 실험구들에 비해 유의적으로 낮게 나타났으며, D1, D4실험구와 D2~D7 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이를 보이지 않았다. HUFA/SFA 비율에 있어서 D2, D3, D6이 대조구에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 하지만 대조구, D4, D5, D7 실험구간 그리고 D2~D7 실험구간 사이에서는 각각 유의적인 차이가 나타났다. DHA/EPA의 비율에 있어서 D7이 다른 실험구들에 비해 유의적으로 가장 높게 나타났으며, D5가 유의적으로 가장 낮게 나타났다($P < 0.05$).

상기의 결과를 토대로, 성장과 전어체내 지방산조성에 있어서 뱀장어 치어의 사료내 EPA와 DHA의 첨가효과는 없는 것으로 판단되며, 사료내 LNA(n-3)와 LA(n-6) HUFA를 각각 0.35%, 0.65% 첨가했을 때 WG, SGR, FE, PER이 가장 높았으나, 이전의 실험(Takeuchi, 1980)과 동일한 수준인 n-3와 n-6를 각각 0.5%씩 첨가한 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이렇게 볼 때, 뱀장어 치어의 필수지방산은 LNA (n-3), LA (n-6), 각각 0.35-0.5%, 0.5-0.65% 그리고 적정 LA - LNA ratio는 1:1 이나 1:2 임을 보여준다.

실험 II: 실뱀장어에 있어서 사료내 Essential Fatty Acids 요구량 결정을 위한 실험

본 연구는 실뱀장어에 있어서 사료 내 필수지방산의 적정 요구량을 평가하고자 실시하였다. 실험어는 평균무게 $0.15 \pm 0.05\text{g}$ (mean \pm SD)인 실뱀장어를 사용하였으며, 실험사료 내에 5종류의 다불포화지방산 및 고도불포화지방산(LA, LNA, AA, DHA, EPA)을 첨가하여 총 7가지 실험구를 3반복으로 설정하여 6주간 사육실험을 진행하였다. 사육실험 결과 성장률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 D3 실험구가 다른 실험구들과 비교하여 가장 높게 나타났지만, D2, D4 그리고 D7 실험구와는 유의적인 차이가 나지 않은 반면, 대조구와 D5 그리고 D6 실험구 보다는 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 사료효율(FE)과 단백질 전환효율(PER) 역시 성장결과와 유사한 경향을 보였는데 D3 실험구가 나머지 실험구들과 비교하여 가장 우수한 결과를 나타내었으나 D2, D4, 그리고 D7 실험구와는 유의적인 차이가 없는 반면, 대조구와 D5 그리고 D6 실험구에 비해서 유의적으로 높은 것으로 나타났다($P < 0.05$). 실험어의 전어체 내 수분함량은 76.2~77.64%, 조회분 함량은 0.429~0.46%, 조단백질 함량은 23.3~23.83%, 조지방 함량은 6.22~6.6%의 범위를 나타내었다. 전어체 내 다불포화지방산 (Poly-unsaturated fatty acids, PUFA) 함량, PUFA/SFA (포화지방산, saturated fatty acids) 비율, DHA (Docosahexaenoic acid) /EPA(Eicosapentaenoic acid)의 비율에 있어서 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

따라서, 본 결과를 통하여 DHA와 EPA의 첨가가 전어체내 조성에는 영향을 미치는 않는 것으로 판단되며, 사료내 LNA와 LA을 각각 0.35%, 0.65% 첨가했을 때 WG, SGR, FE, PER 등이 가장 높았으나, 이전의 실험(Takeuchi, 1980)과 동일한 수준인 n-3와 n-6를 각각 0.5%씩 첨가한 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이렇게 볼 때, 뱀장어 치어의 필수지방산은 LNA, LA이고, 그 적정수준은 각각 0.35-0.5%, 0.5-0.65% (적정 LA - LNA ratio는 1:1 이나 1:2) 첨가하면 성장에 도움이 될 것으로 사료된다.

제 6 장 감사의 글

본 논문의 시작에서부터 완성되기까지 학문과 연구에 임하는 자세에 대해 끊임없이 강조하시어, 논리적이고 과학적인 사고를 함양시켜 학문의 길을 열어주신 지도 교수님이신 배승철 교수님의 노고와 은혜에 감사드리며, 아울러 바쁘신 와중에도 부족한 논문을 세심한 조언으로 아낌없이 지도해 주신 허성범 교수님과 김창훈 교수님께 진심으로 감사드립니다.

바다가 좋아서 무작정 이 길로 뛰어들었던 저에게 강의 및 세미나를 통해 양식이라는 학문을 심도 깊게 일깨워 주신 김인배 명예교수님, 손철현 교수님, 장영진 교수님, 김동수 교수님, 김종명 교수님, 남윤권 교수님과 본 실험을 수행 할 수 있게 장소를 지원해 주신 조재윤 교수님께도 감사의 마음을 전해드립니다.

학부를 졸업하고 대학원에 갓 입학해서부터 지금까지 때로는 부모님처럼 때로는 친형님처럼 저를 이끌어 주심에 정신적으로 크나 큰 힘이 되어 주셨던 한경민 박사님께 깊은 감사의 말씀을 드리며, 아울러 7년 이상을 동고동락하면서 제 인생에 많은 도움과 지도를 아끼지 않으신 박건준 박사님께도 심심한 감사를 드리며, 대학원 생활에 있어서 따뜻한 사랑과 관심으로 이 논문이 나오기까지 여러모로 지도편담을 아끼지 않으신 왕소길 박사님, 유진형 박사님, 김강웅 박사님, 옥임호 박사님, 전민지 박사님, 허윤성 박사님, 최세민 박사님, 고수홍 선배님, 임성률 선배님, 양윤희 선생님, 한용육 상무님, 박근태 소장님, 김준형 선배님, 그리고 김기훈 선배님, 유광열 학우님, 김영철 학우님도 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 이 논문이 나오기까지 늘 곁에서 희노애락을 함께 하면서 하나가 되어준 우리 실험실 후배님

들.....항상 듬직한 김달봉 후배님, 정많은 똘똘이 이승형 후배님, 든든한 박성준 후배님, 수식어가 필요없는 공석표 후배님, 친동생 삼고 싶은 이쁜 우인구 후배님, 참 잘먹는 이준호 후배님, 사랑스러운 최수희 후배님, 깜찍이 민문경 후배님, 막내 하가영 후배님, 그리고 항상 곁에서 오른팔과 왼팔이 되어 준 건현이랑 세광이, 양식생태학 실험실의 민병희 선배님, 분자생화학 실험실의 정경현 후배님, 동기 강무철 학우님에게도 고마움과 감사의 마음을 전합니다.

아울러 본 연구는 2002년 한국 학술 진흥재단의 중점연구소 지원과제에 의하여 수행된 결과로 이에 감사드리며, 본 연구를 수행함에 있어서 많은 도움을 준 최희정 실장님을 비롯한 부경대학교 사료영양연구소 연구원들께 깊은 감사를 표합니다.

끝없는 믿음과 사랑, 그리고 아낌없는 희생으로 뒷바라지 해주시어 오늘날의 결실을 맺게 해 주신 존경하옵는 아버님과 어머님께 이 세상 누구보다도 두 손 모아 감사드리며, 공부하는 동생을 둔 죄로 고생이 많으신 형님과 형수님께도 깊은 감사의 말씀을 드리며, 조카 1호 성윤이에게도 사랑의 마음을 전합니다.

10년이면 강산도 변한다고 했던가... 고교시절부터 언제나 변함없이 버팀목이 되어준, 존재한다는 그 자체만으로도 내게 힘이 되는 친구 철수와 동현이에게 감사하다는 말과 함께 영원한 우정을 약속합니다.

마지막으로 예비신부의 자격으로 앞으로 제 인생의 반려자이자 후원자로 늘 곁에서 의지가 되어 준 이 세상에서 가장 사랑스러운 김정아님과 보잘 것 없지만 값진 이 결실을 함께 나눌까 합니다.

마지막으로 저를 아시는, 그리고 제가 아는 그리고 제 주위의 모든 분들의 앞날에 행복과 행운이 가득 하시길 바랍니다.

제 7 장 참고문헌

- AOAC., 1995. Official methods of analysis of the association of official analysis chemicals, 14th edition. Arlington. AV, 1141pp
- Bell, M. V., Henderson, R. J. and Sargent, J. R. 1986. The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology* **83B**: 711-719.
- Borlongan, I. G. and L. V. Benitez. 1992. Lipid and fatty acid composition of milkfish (*Chanos chanos Forsskal*) grown in freshwater and seawater. *Aquaculture* **104**:79-89.
- Castell, J. D., R. O. Sinnhuber, J. H. Wales, and D. J. Lee. 1972. Essential fatty acids in the diets of rainbow trout (*Salmo gairderi*): Growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. *J. Nutr.* **102**: 77-86.
- Dave, G., M. Johansson-Sjobeck, A. Larsson, K. Lewander, and U. Lidman, 1976. Metabolic and hematological effects of starvation in the European eel, *Anguilla anguilla* L. III. *Comparative Biochemistry and Physiology* **53B**: 509-515.
- Deshimaru, O., and K. Kuroki. 1983. Studies on the optimum levels of protein and lipid in yellowtail diets. Pp. 44-79 in Reports of Kagoshima Prefectural Fishery Experimental Station. Kagoshima, Japan
- De Silva, S. S., R. M. Gunasekera, R. Collins, B. A. Ingram, C. M. Austin, 1997. Changes in the fatty acid profile of the Australian shortfin eel in relation to development. *J. Fish Biol.* **50**: 992-998.
- Gatesoupe, F.-J., C. Leger, R. Metailler, and P. Luquet. 1977. Alimentation lipidique du turbot (*Scophthalmus maximus* L.). 1. Influence de la

- longueur de chains des acides gras de la serie ω 3. Annu. Hydrobiol. **8**: 89-97.
- Gad Degani, 1986. Dietary effects of lipid source, lipid level and temperature on growth of glass eel (*Anguilla anguilla*). Aquaculture **56**: 207-214.
- Jezierska, B., J. R. Hazel, and S. D. Gerking, 1982. Lipid mobilization during starvation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, with attention to fatty acids. Journal of Fish Biology **21**: 681-692.
- John Sargrnt, Gordon Bell, Lesley McEvoy, Douglas Tocher, Alicia Estevez, 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture **177**: 191-199.
- Kosutarak, Kanazawa, Teshima & Koshio. 1995. Interations of l-ascorbyl-2-phosphate-Mg and n-3 highly unsaturated fatty acids on Japanese flounder juveniles. Fisheries Science **61**: 860-866.
- Leray, C., G. Nonnotte, P. Roubaud, and C. Leger. 1985. Incidence of (n-3) essential fatty acid deficiency on trout reproductive proresses. Reprod. Nutr. Dev. **25**: 567-581.
- Metcalf, L. D., A. A. Schmitz, J. R. Pelka, 1966. Rapid prepara-tion of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. Anal. Chem., **38**: 514-515.
- Olsen, Y. and H. Skjervold, 1995. Variation in content of ω 3 fatty acids in farmed Atlantic salmon, with special emphasis on effects on non-dietary factors. Aquaculture International **3**: 22-35.
- Rasanthi M. Gunasekera, Khunnitee Leelarasamee, Sena S. De Silva. 2002. Lipid and fatty acid digestibility of three oil types in the Australian shortfin eel, *Anguilla australis*. Aquaculture **203**: 335-347.
- Sargent, J., R. J. Henderson, D. R. Tocher, 1989. The lipids. In: Halver, J.E.

- (Ed.), Fish Nutrition, 2nd. Academic Press, New York, pp. 153-218.
- Satoh, S., T. Takeuchi, and T. Watanabe, 1984. Effect of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid composition of *Tilapia nilotica*. Bulletin of the Japanese Society for Scientific Fisheries **50**: 79-84.
- Satoh, S., W. E. Poe, and R. P. Wilson. 1989. Effect of dietary n-3 fatty acids on weight gain and liver polar lipid fatty acid composition of fingerling channel catfish. J. Nutr. **119**: 23-28.
- Shimma, Y., R. Suzuki, M. Yamaguchi, and T. Akiyama. 1977. On the lipids of adult carps raised on fish meal and SCP feeds, and hatchabilities of their eggs. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. **27**: 35-48.
- Takeuchi, T., and T. Watanabe. 1977a. Requirement of carp for essential fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. **43**: 541-551.
- Takeuchi, T., and T. Watanabe. 1977b. Dietary levels of methyl laurate and essential fatty acid requirement of rainbow trout. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. **43**: 893-898.
- Takeuchi, T., S. Arai, T. Watanabe, and Y. Shimma. 1980. Requirement of eel, *Anguilla japonica* for essential fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. **46**: 345-353.
- Takeuchi, T., S. Satoh, and T. Watanabe. 1983. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. **49**: 1127-1134.
- Watanabe, T., C. Ogino, Y. Koshiishi, and T. Matsunaga. 1974. Requirement of rainbow trout for essential fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. **40**: 493-499.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, and C. Ogino. 1975. Effect of dietary methyl loleate and linolenate on growth of carp-2. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. **41**: 263-269.

- Watanebe, T., M. Ohta, C. Kitajima, and S. Fujita. 1982. Improvement of dietary value of brine shrimp *Artemia salina* for fish larvar by feeding them on n-3 highly unsaturated fatty acids. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **48**: 1175-1782.
- Watanabe, T., Kitajama, C. & Fujita, S. 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. *Aquaculture* **34**: 115-143.
- Watanebe, T., T. Arakawa, C. Kitajima, and S. Fujita. 1984a. Effect of nutritional quality of broodstock diets on chemical components of red sea bream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **50**: 495-501.
- Watanebe, T., S. Ohhashi, A. Itoh, C. Kitajima, and S. Fujita. 1984b. Effect of nutritional composition of diets on chemical components of red sea bream broodstock and eggs produced. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* **50**: 503-515.
- Watanebe, T., T. Takeuchi, M. Saito, and K. Nishimura. 1984c. Effect of low protein-high caloris or essential fatty acid deficient diet on reproduction of rainbow trout. *Jpn. Soc. Sci. Fish.* **50**: 1207-1215.
- Yokoyama, H.O., 1960. Studies on the origin, development and seasonal variation in the blood cells of perch, *Perca flavescens*. *J. Wild. Dis.* **6**: 1-102.
- Yone, Y., M. Furuichi, and S. Sakamoto. 1971. Studies on nutrition or red sea bream. 3. Nutritive value and potimum content of lipids in diet. *Rep. Fish. Res. Lab. Kyusu Univ.* **1**: 49-60.
- Yu, T. C., and R. O. Sinnhuber. 1979. Effect of dietary ω 3 and ω 6 fatty acids on growth and feed conversion efficiency of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture* **16**: 31-38.
- 매승철, 김규일, 김정대, 이상민, 이종윤, 장혜경. 1998. 어류영양과 사료, pp. 43-45