



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

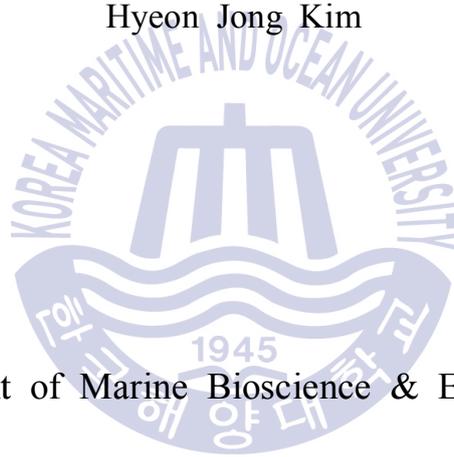
[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

조피블락 자치어기용 과립형 미립자 사료내 지질 요구량

**Lipid requirement in granulated microdiets for rockfish
(*Sebastes schlegeli*) larvae**

Hyeon Jong Kim



Department of Marine Bioscience & Environment

The Graduate School

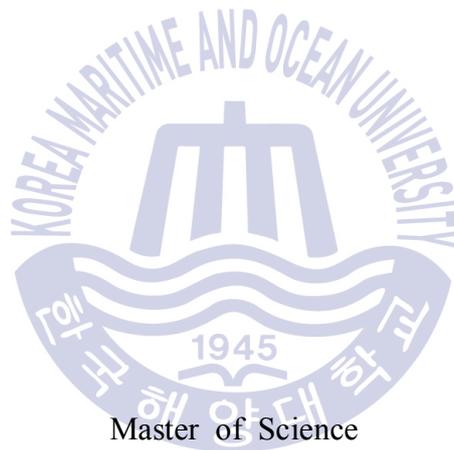
Korea Maritime & Ocean University

February 2019

조피볼락 자치어기용 과립형 미립자 사료내 지질 요구량

**Lipid requirement in granulated microdiets for rockfish
(*Sebastes schlegeli*) larvae**

Advisor: Sung Hwoan Cho



In the Department of Marine Bioscience & Environment,
the Graduate School of Korea Maritime & Ocean University

February 2019

Hyeon Jong Kim

본 논문을 김현종의 이학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 유진형 (인)

위원 김경덕 (인)

위원 조성환 (인)

2019년 2월

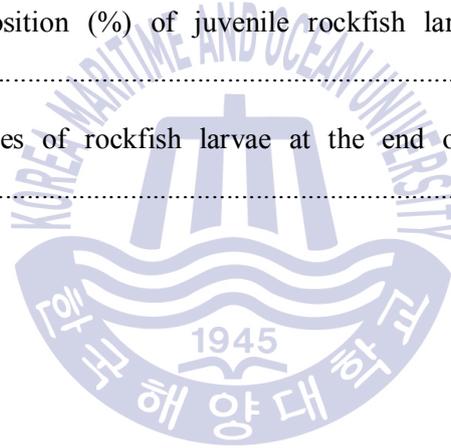
한국해양대학교 대학원

목차

	Page
목차	i
List of Tables	ii
List of Figures	iii
Abstract	iv
1. 서론	1
2. 재료 및 방법	6
2.1. 친어의 산란 및 자어 산출	6
2.2. 자치어의 사료공급	6
2.3. 실험용 과립형 미립자 사료의 제조	8
2.4. 자치어의 실험 사육 조건	11
2.5. 어체의 측정	11
2.6. 과립형 미립자 사료와 전어체의 일반성분 및 지방산 분석	11
2.7. 통계 분석	12
3. 결과	13
3.1. 실험용 과립형 미립자 사료의 지방산 분석	13
3.2. 조피볼락 자치어의 생존율 및 성장 결과	15
3.3. 조피볼락 자치어의 영양학적 평가	21
4. 논의	25
5. 결론	30
6. 감사의 글	31
7. 참고문헌	32

List of Tables

Table 1. Feeding schedule and ration for rockfish larvae by days after parturition (DAP) in this study.	7
Table 2. Feed ingredients of the experimental granulated microdiets (% dry matter basis).	9
Table 3. Fatty acid profiles of the main lipid sources and experimental microdiets (% total fatty acid).	14
Table 4. Survival (%), weight gain (mg/fish), specific growth rate (SGR, %/day) and total length (mm) of rockfish larvae at the end of feeding trail.	17
Table 5. Chemical composition (%) of juvenile rockfish larvae at the end of feeding trail.	22
Table 6. Fatty acid profiles of rockfish larvae at the end of feeding trail (% of total fatty acid).	23



List of Figures

- Figure 1.** Total aquaculture production finfish in Korea in 2017. 3
- Figure 2.** Total aquaculture production finfish in Korea in 2017. 3
- Figure 3.** Weight gain of rockfish larvae at the end of feeding trail (means of triplicate \pm SE). 18
- Figure 4.** Growth rate of rockfish larvae at the end of feeding trail (means of triplicate \pm SE). 19
- Figure 5.** Total length of rockfish larvae at the end of feeding trail (means of triplicate \pm SE). 20
- Figure 6.** Crude lipid of rockfish larvae at the end of feeding trail (mean of triplicate \pm SE). 24
- Figure 7.** Effect of lipid levels in granulated microdiets based on weight gain (broken-line model) of rockfish larvae (means of triplicate \pm SE). $Y = 203.0 - 2.42 (R - X_{LR}), R = 17.32 \pm 0.705 (SE)$ 29

Lipid requirement in granulated microdiets for rockfish (*Sebastes schlegeli*) larvae

Hyeon Jong Kim

The Department of Marine Bioscience & Environment, Graduate School, Korea
Maritime & Ocean University

Abstract

The optimal lipid requirement in the granulated microdiets was determined for larval rockfish (*Sebaste schlegeli*). Five granulated microdiets containing different five levels of crude lipid (CL) ranging from 11 to 23% with 3% increment, referred to as the CL11, CL14, CL17, CL20 and CL23 diets, at a constant crude protein level (52.8%) were prepared in triplicate. 9 days after parturition, 4500 larvae were distributed into 15 indoor 70 L square plastic tanks (300 per tank). As the lipid content increased in the granulated microdiets, sum of n-3 highly unsaturated fatty acid (Σ n-3 HUFA) content increased. The weight gain and growth rate of the rockfish larvae fed the CL20 diet were greater than of larvae fed the all other (CL11, CL14, CL17 and CL23) diets. In addition, the weight gain and growth rate of the rockfish larvae fed the CL17 and CL23 diets were greater than of larvae fed the CL11 and CL14 diets. The total length of larval rockfish fed the CL20 diet was also longer than of rockfish fed the all other diets. The whole body lipid content of rockfish larvae increased with dietary lipid content. Σ n-3 HUFA content of the whole body of rockfish larvae increased with dietary lipid content. In conclusion, dietary lipid requirement was estimated to be 17.3% based on the weight gain (broken-line model) of the larval rockfish.

Key words: Rockfish (*Sebaste schlegeli*), Larvae, Granulated microdiets, Lipid requirement

1. 서론

조피블락은 2017년 어류양식 총생산량(86,387 톤) 중에서 넙치(41,207 톤; 어류양식 총생산량의 47.7%) 다음으로 높은 생산량(22,344 톤; 어류양식 총생산량의 25.9%)을 보이며(Fig. 1), 어류양식 총생산금액(1,008,904 백만원) 중에서도 넙치(584,138 백만원; 어류양식 총생산금액의 57.9%) 다음으로 높은 생산금액(22,344 백만원; 어류양식 총생산금액의 17%)을 차지하는 우리나라의 주요 양식 어종이다(Fig. 2) (KOSIS, 2018).

이러한 국내 조피블락 양식산업의 중요성으로 조피블락 배합사료내 주요 영양소 요구량(Lee et al., 1994; Lee et al., 1998; Kim et al., 2001; Lee, 2001; Wang et al., 2003), 단백질과 지질의 적정 비율(Lee et al., 2002; Cho et al., 2015), 면역성 향상을 위한 사료첨가제 개발(Kwon et al., 2015; Kim et al., 2016; Lee et al., 2016; Yun et al., 2016) 등에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있다. 특히, 조피블락 치어용 배합사료내 지질 요구량과 필수지방산 요구량(Lee et al., 1993a, b; Lee et al., 1994)에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 조피블락 자치어기 초기미립자 사료 개발에 대한 연구는 전혀 없는 실정이다.

해산어류의 종묘생산시 자치어기에는 주로 로티퍼(*Brachionus* sp.)와 알테미아(*Artemia nauplii*)와 같은 먹이생물을 주로 공급(Watanabe et al., 1983; Fulks & Main, 1991; Beck & Turingon, 2007)하고 있으며, 이들 동물성먹이생물의 배양을 위해서는 많은 공간과 비용 및 노동력을 요구한다(Bengtson, 1993). 그리고 원료의 구입 및 배양방법의 문제로 인해 한정된 영양강화용 원료를 사용하는 것이 일반적이다(Harel et al., 2002; Ganuza et al., 2008). 이러한 한정된 원료를 사용하는 방법으로 먹이생물의 영양강화를 시킬 경우 각기 다른 어종의 다양한 생리학적 특성 및 자어가 요구하는 영양소 요구량을 고려하지 못한다는 문제가 발생한다(Park et al., 2011). 지질, 특히 필수지방산(Essential fatty acid, EFA) 요구량의 경우에도 어종별, 자치어 발달 단계에 따라서 질적 및 양적으로 차이를 나타낸다(Tocher, 2010). 해산어류의 자치어기에는 고도불포화지방산(Highly unsaturated fatty acid, HUFA) 요구량이 높지만 이들 먹이생물의 경우 일반적으로 n-3 HUFA의 함량이 부족하거나 결핍되어서 해산어류 자치어기의 폐사 초래나 성장 지연, 형태 이상 등의 문제점을 야기한다고

알려져 있다(Lubzens et al., 1985; Rainuzzo et al., 1997). 위와 같은 방법으로 먹이생물의 영양강화를 시킬 경우 어류에 치명적인 문제가 발생할 수 있으며, 자치어기 단계에서 충분한 영양소가 공급되어야만 건강한 치어의 생산이 가능하다.



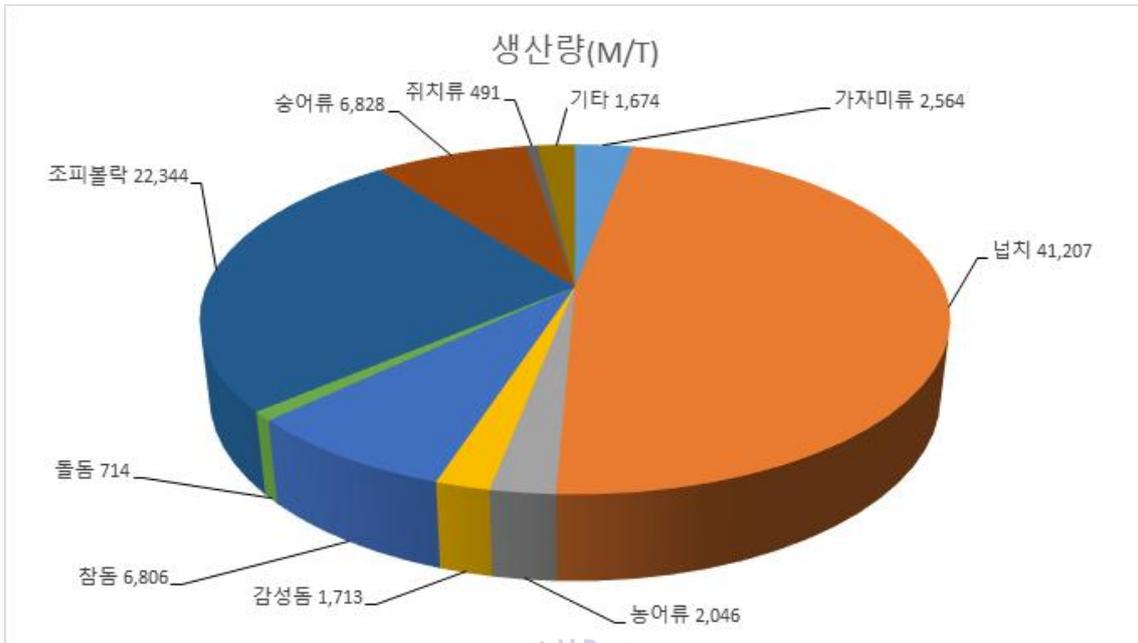


Fig. 1 Total aquaculture production finfish in Korea in 2017.

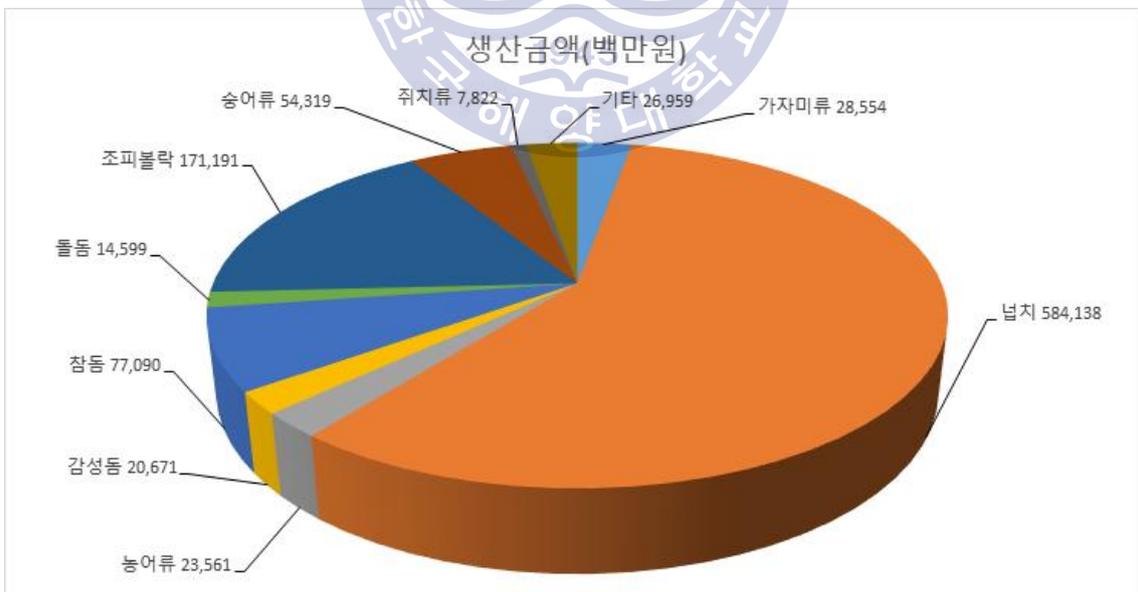


Fig. 2 Total aquaculture production finfish in Korea in 2017.

어류의 영양소 요구량은 어류의 크기, 수온, 사육 환경 요인 등과 같은 여러 요소에 따라 달라진다. 일반적으로 어류 자어는 소화기관의 발달이 완전하지 못하기 때문에 체내 소화 효소의 충분한 생산이 어려워져 소화 능력이 현저히 떨어지기 때문에 섭취한 사료의 이용성을 높이기 위해 소화 흡수가 용이한 원료 선정 및 특수한 사료제조나 가공 방법이 필요하다(Bai & Cha, 1997; Langdon, 2003; Lee et al., 2012).

일반적으로 종묘생산에 사용되는 초기사료는 Crumble 사료(crumble diet)와 과립형 미립자 사료(granular microdiet)로 구별된다. 국내에서 현재 사용되고 있는 과립형 미립자 사료는 거의 대부분이 외국에서 수입된 사료에 의존하고 있는 실정이거나 또는 미립자 사료 대신에 Crumble 사료를 분쇄하여 사용하고 있는 실정이다. 두 종류의 사료 모두 입자도의 크기를 조절하는 것은 가능하나 제조방법에서 차이가 발생한다. Crumble 사료의 제조는 일반 배합사료(extruded pellet, EP) 제조 설비로 약 100℃ 이상의 온도로 가공하여 분쇄기를 통해 작은 입자로 분쇄하는 방법을 사용하지만 과립형 미립자 사료의 경우 상대적으로 낮은 약 60℃ 전후의 온도에서 미분쇄된 원료들을 binder를 이용하여 하나로 합쳐 가동하는 방법을 사용한다. Crumble 사료는 위의 고온 고압의 공정을 거치며 원료의 단백질이 변형단백질(난용해성 단백질)로 변해 소화가 어려우나, 과립형 미립자 사료는 저온가공으로 영양소가 파괴되지 않고 소화가 용이한 형태의 단백질이 유지가 된다. 이러한 소화의 용이함은 소화기관이 완전하게 형성되지 않은 자치어의 소화력에 부담을 주거나 소화흡수를 도와주는 중요한 역할을 한다(해양수산부 해양수산과학기술진흥원, 2017).

영양학적으로 균형이 잘 잡힌 과립형 미립자 사료는 영양학적으로 상대적 빈약한 알테미아 또는 로티퍼에 비해 양질의 치어를 생산하며 우수한 성장을 가능하리라 판단된다. 해산어류 중에서도 참돔(*Pagrus major*) (López-Alvarado & Kanazawa 1994; Teshima et al., 2004), 넙치(*Paralichthys olivaceus*) (Bai et al., 2001; Takeuchi et al., 2003; Wang et al., 2004; Li et al., 2013; Ha et al., 2018), 대서양대구(*Gadus morhua*) (Baskerville-Bridges & Kling, 2000; Fletcher et al., 2007; Johnson et al., 2009) 등에 대한 초기사료 개발에 대한 연구가 수행된 바 있다.

위와 같이 이러한 자치어용 과립형 미립자 사료의 공급 및 보급을 위해서는 자치어의 영양소 요구량에 근거한 과립형 미립자 사료가 개발 및 제작되어야 하지만 아

직까지도 초기 자치어기 조파블락의 영양소, 특히 지질 요구량(지방산)에 대한 정확한 연구가 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 조파블락 자치어기용 과립형 미립자 사료내 적정 지질(지방산) 요구량을 규명하고자 한다.



2. 재료 및 방법

2.1. 친어의 산란 및 자어 산출

조피볼락 친어는 산란기에 근접한 친어를 전라남도 신안군 흑산도 개인양식장에서 구입하였으며, 구입한 친어를 경상남도 남해에 위치한 개인양식장(신비수산)으로 수송하여 동일한 어미에서 산란된 조피볼락 자어를 실험어로 이용하였다. 산란된 조피볼락 자어는 산란 후 9일령까지 수온 범위 16.9~21°C (mean \pm SE: 18.9 \pm 0.5 °C)의 20톤 FRP 원형수조에 수용하여 사육하였으며, 충분한 산소를 공급해 주었다.

2.2. 자치어의 사료 공급

산란 후 1일령부터 산란 후 6일령까지 로티퍼를 공급하였고, 산란 후 6일령부터 산란 후 16일령까지는 알테미아를 공급하였으며, 산란 후 10일령부터 산란 후 29일령까지 과립형 미립자 사료를 총 20일간 공급하였다. 자치어가 성장함에 따라서 먹이가 바뀌었으며(Table 1), 먹이가 바뀌는 동안은 먹이붙임을 위하여 두 종류의 먹이를 혼합 공급하였다. 공급된 로티퍼와 알테미아는 담수산 클로렐라(*Chlorella*)를 먹이생물 배양수조에 투입하여 일차적으로 배양 및 영양강화를 실시하였으며, 실험수조에 공급 전 S.presso (INVE, Dendermonde, Belgium)를 먹이생물 배양수조에 투입하여 추가적인 영양강화를 시킨 후 공급하였다. 로티퍼, 알테미아 및 과립형 미립자 사료의 공급 일정, 공급량 및 공급 횟수는 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용한 과립형 미립자 사료는 먼저 3호 사료를 10일령의 경우 1회 0.02 g, 11일령부터 14일령까지의 경우 1회 0.04 g, 15일령부터 20일령까지의 경우 1회 0.20 g, 21일령부터 23일령까지는 0.47 g을 공급하였으며, 3호 사료와 4호 사료를 1:1의 비율로 혼합하여 24일령부터 27일령까지 1회 0.50 g을 공급하였고, 마지막으로 4호 사료를 28일령부터 29일령까지 1회 0.58 g을 공급하였다. 공급횟수는 10일령은 1일 8회, 11일령부터 29일령까지 1일 12회였으며, 손으로 직접 공급하였다.

Table 1. Feeding schedule and ration for rockfish larvae by days after parturition (DAP) in this study.

DAP (day after parturition)	Rotifer (Number/mL)	<i>Artemia</i> (Number/mL)	Amount of microdiet (#3) (g/time)	Amount of mixture of #3 and #4 microdiets at 1:1 (g/time)	Amount of microdiet (#4) (g/time)	Daily feeding frequency
0						
1-5	12					
6	6	6				
7-9		12				
10		4	0.02			8
11-14			0.04			12
15-20			0.20			12
21-23			0.47			12
24-27				0.50		12
28-29					0.58	12

Size of #3 and #4 microdiets were 0.31-0.48 and 0.48-0.63 μm , respectively.

2.3. 실험용 과립형 미립자 사료의 제조

본 실험에 이용된 과립형 미립자 사료의 조성표는 Table 2에 나타내었다. 어분, 수용성 농축 어분 및 크릴밀을 사료내 주요 단백질원으로 공급하였으며, 어유를 주요 지질원으로 공급하였다. 또한 α -전분과 텍스트린을 주요 탄수화물원으로 공급하였다. 사료내 지질 함량은 총 5구간의 함량(11%~23%)를 두었으며, 조지질의 함량을 11%에서 23%까지 3%씩 증가시키는 대신에 텍스트린을 3%씩 감소시켜 지질 함량을 조절하여서 실험사료를 제조하였다(CL11, CL14, CL17, CL20와 CL23). 사료내 어유의 함량이 높지 않으나 사료내 지질의 함량이 높게 나타난 이유로 크릴밀의 지질 함량이 30% 전후로 높게 나타났기 때문이며, 이러한 크릴밀이 사료내 주요 단백질원으로 32.5%가 사용이 되기에 사료내 지질 함량이 높게 나타났다. 과립형 미립자 사료의 제조는 어유를 제외한 모든 원료들을 air Z-mill (SK Z-mill 0405, Seishin Co. Ltd., Japan)로 분쇄후 골고루 혼합하였으며, 혼합된 원료들을 granulator (Flow-Z granulator, Okawara Co. Ltd., Japan)로 과립화 제조를 실시하였다. 이후 제작된 과립형 미립자 사료를 건조기 (Horizontal Fluid Bed Dryer, Okawara Co. Ltd., Japan)에서 60°C로 건조하였다. 실험사료의 조단백질의 함량은 52.8%로 동일하게(isonitronic) 유지시켰다. 과립형 미립자 사료는 크기를 2종류로 다르게 한 사료(3호: 0.31~0.48 μm 와 4호: 0.48~0.63 μm)로 제조하였으며, 실험에 사용된 모든 과립형 미립자 실험사료는 인천광역시에 위치한 대한사료(주)에서 제조하였다. 과립형 미립자 실험사료의 사료 효능을 비교하기 위하여 해외시판용 미립자 사료 2종류(Belgium, Japan)와 국내 시판용 있는 Crumble 사료를 준비하였으며, 모든 실험사료는 3반복구를 두었다.

Table 2. Feed ingredients of the experimental granulated microdiets (% , dry matter basis).

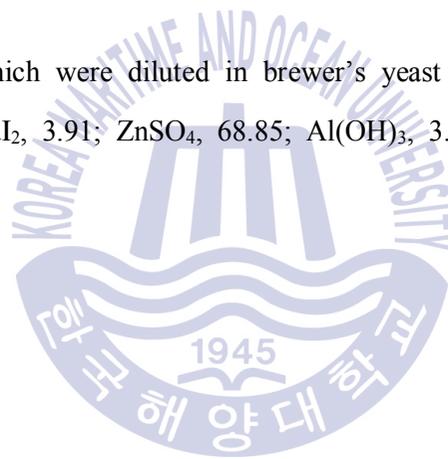
	Experimental diets							
	CL11	CL14	CL17	CL20	CL23	Belgium	Japan	Crumble
Ingredients (%)								
Sardine meal ¹	20	20	20	20	20			
Soluble fish protein concentrate ²	20	20	20	20	20			
Krill meal	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5			
Wheat gluten	4	4	4	4	4			
Taurine	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
α -starch	2	2	2	2	2			
Dextrin	12	9	6	3	0		closed	
Fish oil	0.5	3.5	6.5	9.5	12.5			
Soybean lecithin	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65			
Vitamin premix ³	4	4	4	4	4			
Choline chloride (50%)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85			
Mineral premix ⁴	1	1	1	1	1			
Nutrients (%)								
Dry matter	98.2	97.8	98.2	97.9	98.3	95.6	98.2	97.4
Crude protein	52.6	52.8	52.9	52.8	52.4	56.0	57.1	56.0
Crude lipid	11.1	14.3	17.4	20.6	23.6	10.4	14.7	8.9
Ash	9.0	9.0	9.1	8.9	9.1	8.5	12.2	11.0

¹Sardine meal imported from Chile.

²Soluble fish protein concentrate from France.

³Vitamin premix contained the following amount which were diluted in brewer's yeast (mg/kg diet): L-ascorbic acid, 51.24; DL- α -tocopheryl acetate, 150.0; thiamin hydrochloride, 20.0; riboflavin, 40.0; pyridoxine hydrochloride, 20.0; nicotinic acid, 150.0; D-calcium-pantothenate, 70.0; inositol, 300.0; D-biotin, 0.2; folic acid, 10.0; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione sodium hydrogen sulfite, 10.0; retinyl acetate, 6.0; cyanocobalamin, 0.001.

⁴Mineral premix contained the following amount which were diluted in brewer's yeast (mg/kg diet): $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 496.92; $\text{C}_4\text{H}_2\text{FeO}_4$, 65.8; FeSO_4 , 103.04; CuSO_4 , 5.97; $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 3.42; CaI_2 , 3.91; ZnSO_4 , 68.85; $\text{Al}(\text{OH})_3$, 3.81; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 65.8.



2.4. 자치어 실험 사육 조건

산란 후 9일령 된 조피볼락 자치어 7,200마리를 24개의 70 L 플라스틱 수조에 각각 300마리씩 임의로 분산 수용하여 사육 실험을 진행하였다. 과립형 미립자 사료는 크기를 2종류로 다르게 한 사료(3호: 0.31~0.48 μm 와 4호: 0.48~0.63 μm)를 사용하였으며, 3호는 산란 후 10일령부터 산란 후 27일령까지 공급하였고, 4호는 산란 후 24일령부터 산란 후 29일령까지 공급하였다. 크기가 다른 두 종류의 사료가 동시에 공급되는 산란 후 24일령부터 27일령까지는 3호 사료와 4호 사료를 1:1의 비율로 혼합하여 공급하였다. 사육기간 동안 사육수를 정화하기 위하여 수질정화제인 유기물 분해 기능 생균제 PRO-W (INVE, Dendermonde, Belgium)와 병원성 비브리오균 (*Vibrio anguillarum*) 활성 억제 기능 생균제 MIC-F (INVE, Dendermonde, Belgium)를 매일 각 수조에 각각 1 g씩 첨가하였다. 유수량은 각 수조당 0.45 L/min이었고, 1일에 1회 사이펀을 이용하여 바닥에 쌓인 찌꺼기를 제거해 주었다. 산란 후 10일령부터 산란 후 30일령까지의 21일의 실험기간 동안의 사육 수온은 18.6~23.2°C (mean \pm SD: 20.6 \pm 0.99°C)의 범위였으며, 산란 후 1일령부터 산란 후 30일령까지의 총 실험기간 동안의 사육수온은 16.9~23.2°C (mean \pm SD: 20.1 \pm 0.85°C)의 범위였다.

2.6. 어체의 측정

산란 후 30일까지의 사육실험 종료 후, 각 수조에 생존한 모든 조피볼락의 전어체 무게를 측정한 후, 성장과 영양학적 분석을 위하여 모두 샘플하여 -70°C에서 냉동보관 하였다. 냉동보관을 실시한 전어체 샘플은 해동한 후, 각 실험구당 50마리씩을 무작위로 선택하여 Digital caliper (Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japan)를 이용하여 전장을 측정하였고, Electronic balance ATX224 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)를 이용하여 무게를 측정하였다.

2.6. 과립형 미립자 사료와 전어체의 일반성분 및 지방산 분석

실험에 사용된 모든 실험 및 비교사료와 전어체 샘플을 각각 균질화시킨 후, 일반성분분석과 지방산 분석을 진행하였다. 실험사료와 전어체의 일반성분분석은 AOAC 방법 (1990)에 따라 조단백질은 Kjeldahl method (Auto Kjeldahl System, Buchi

B-324/435/412, Switzerland)과 조지질 (에테르 추출법)을 분석하였으며, 조희분은 55 0°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였고, 수분은 105°C Dry oven에서 24시간 건조시킨 후 측정하였다. 실험사료와 전어체의 지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 클로로폼과 메탄올 혼합액 (2:1)으로 총 지질을 추출하여 14% BF₃-MeOH (Sigma, St Louis, MO, USA) 용액으로 지방산을 methylation 시킨 후, Capillary column (SPTM-2560, 100 m×0.25 mm i.d., film thickness 0.20 μm, Supelco, Bellefonte, PA, USA)이 장착된 Gas chromatograph (Truce GC, Thermo, USA)로 지방산 조성을 분석하였다.

2.7. 통계 분석

One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로서 SPSS program version 19.0 (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 실험구간의 유의성을 검정하였다. 또한 과립형 초기미립자 사료내 지질의 요구량은 증체율을 종속변수로 설정한 후 Broken-line model (Robbins et al., 1979)을 이용하여 SAS version 9.3 program (SAS Institute, Cary, NC, USA)에서 추정하였다.

3. 결과

3.1. 실험용 과립형 미립자 사료의 지방산 분석

본 실험에서 사용한 과립형 미립자 실험사료와 해외시판용 미립자 사료 및 국내시판용 Crumble 사료의 지방산 분석결과는 Table 3에 나타내었다. Eicosenoic acid (C20:1n-9), EPA (C20:5n-3) 및 DHA (C22:6n-3)의 함량은 실험사료내 지질함량이 증가함에 따라 증가하였다. 특히, Japan 사료의 n-3 HUFA 함량이 다른 실험사료들에 비해 높았으며, Crumble 사료의 n-3 HUFA 함량은 다른 실험사료들에 비해 낮게 나타났다.



Table 3. Fatty acid profiles of the main lipid sources and experimental microdiets (% , total fatty acid).

	Fish oil	Experimental diets							
		CL11	CL14	CL17	CL20	CL23	Belgium	Japan	Crumble
C14:0	3.72	9.00	8.12	7.60	7.38	7.02	5.94	7.66	4.22
C15:0	0.55						0.56	0.45	0.42
C16:0	15.61	21.32	21.27	21.07	20.92	20.06	23.71	21.83	21.22
C17:0	0.50								
C18:0	2.77	6.75	6.26	5.89	5.89	5.85	7.23	5.61	8.16
∑Saturates	23.15	37.07	35.65	34.56	34.19	32.93	37.44	35.55	34.02
C16:1n-9	3.52	5.81	5.26	4.94	4.92	4.81	4.90	5.95	4.59
C18:1n-9	15.23	22.18	20.61	20.06	19.16	18.45	14.38	12.16	24.34
C20:1n-9	7.72	1.53	2.11	2.42	2.57	2.68	2.36	1.96	1.44
C22:1n-9	4.93	0.65	0.63	0.61	0.60	0.52	1.36	0.44	0.52
C24:1n-9	0.89								
∑Monoenes	32.29	30.17	28.61	28.03	27.25	26.46	23	20.51	30.89
C18:2n-6	1.60	4.81	4.22	3.89	3.55	3.27	4.60	5.98	10.90
C18:3n-3	1.07	1.59	1.49	1.45	1.36	1.28	1.08	0.99	1.78
C18:4n-3	1.83	1.90	1.83	1.81	1.80	1.70		1.10	0.93
C20:2n-6	0.58	0.30	0.34	0.37	0.38	0.39			0.40
C20:3n-3	1.57	0.62	0.74	0.85	0.89	0.92	1.28	0.92	0.78
C20:4n-3	0.68	0.39	0.41	0.44	0.45	0.47	0.38		0.41
C20:5n-3	11.83	8.68	8.77	9.03	9.02	9.04	9.26	12.26	5.92
C22:5n-3	1.01								
C22:6n-3	24.39	7.87	9.80	10.97	11.76	13.04	12.37	10.86	8.42
∑n-3 HUFA	40.06	17.86	20.06	21.66	22.50	23.86	23.29	24.04	15.93
Unknown		6.60	8.14	8.60	9.35	10.50	10.59	11.83	5.55

3.2. 조피볼락 자치어의 생존율 및 성장 결과

산란 후 9일령 된 조피볼락 자치어를 시작으로 하여 20일간(산란 후 30일령) 다양한 지질함량의 과립형 미립자 사료를 공급한 조피볼락 자치어의 생존율(%), 어체중 증가(g/fish) 및 성장률(%) 결과는 Table 4에 나타내었다.

조피볼락 자치어의 생존율은 50.4~56.6%의 범위로서 지질 함량에 따른 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 조피볼락 자치어의 종료시 무게는 CL20 사료를 공급한 실험구에서 가장 우수하게 나타났으며, CL17, CL23 사료를 공급한 실험구가 그다음으로 우수하였고, CL14 사료를 공급한 실험구, CL11 사료를 공급한 실험구 및 Crumble 사료를 공급한 실험구 순으로 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 그러나 CL20 사료를 공급한 실험구와 Belgium과 Japan 사료를 공급한 실험구와는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$).

증체량 또한 종료시 무게와 같이 CL20 사료를 공급한 실험구에서 가장 우수하게 나타났으며, CL17, CL23 사료를 공급한 실험구가 그다음으로 우수하였고 CL14 사료를 공급한 실험구, CL11 사료를 공급한 실험구 및 Crumble 사료를 공급한 실험구 순으로 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 하지만 CL20 사료를 공급한 실험구와 Belgium과 Japan 사료를 공급한 실험구와는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$) (Fig. 3).

성장률 또한 종료시 무게, 증체량과 마찬가지로 CL20 사료를 공급한 실험구에서 가장 우수하게 나타났으며, CL17, CL23 사료를 공급한 실험구가 그다음으로 우수하였고 CL14 사료를 공급한 실험구, CL11 사료를 공급한 실험구 및 Crumble 사료를 공급한 실험구 순으로 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 하지만 CL20 사료를 공급한 실험구와 Belgium과 Japan 사료를 공급한 실험구와는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 또한 증체량과 성장률 모두 Crumble 사료를 공급한 실험구에서 가장 낮은 어체중 증가와 성장률을 보였다(Fig. 4).

전장은 CL20 사료를 공급한 실험구에서 가장 우수하게 나타났으며, Belgium 사료를 공급한 실험구가 그 다음으로 우수하였고 CL23, CL17 사료를 공급한 실험구, CL14 사료를 공급한 실험구, CL11 사료를 공급한 실험구 및 Crumble 사료를 공급한 실험구의 순으로 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). CL20 사료를

공급한 실험구와 Japan 사료를 공급한 실험구와는 유의적으로 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$) (Fig. 5).



Table 4. Survival (%), weight gain (mg/fish), specific growth rate (SGR, %/day) and total length (mm) of rockfish larvae at the end of feeding trail.

Experimental diets	Initial weight (mg/fish)	Final weight (mg/fish)	Survival (%)	Weight gain (mg/fish)	Growth rate ¹ (%)	Total length (mm)
CL11	13.7 ± 0.00	200.1 ± 1.31 ^d	54.0 ± 1.26 ^a	186.4 ± 1.31 ^d	1364.1 ± 9.58 ^d	22.20 ± 0.009 ^e
CL14	13.7 ± 0.00	211.2 ± 1.26 ^c	54.7 ± 2.22 ^a	197.5 ± 1.26 ^c	1445.0 ± 9.19 ^c	22.28 ± 0.015 ^d
CL17	13.7 ± 0.00	214.6 ± 0.42 ^b	55.0 ± 1.68 ^a	200.9 ± 0.42 ^b	1470.2 ± 3.07 ^b	22.40 ± 0.009 ^c
CL20	13.7 ± 0.00	218.4 ± 0.71 ^a	55.6 ± 1.35 ^a	204.8 ± 0.71 ^a	1498.4 ± 5.22 ^a	22.59 ± 0.003 ^a
CL23	13.7 ± 0.00	214.8 ± 0.13 ^b	56.6 ± 0.29 ^a	201.1 ± 0.13 ^b	1471.5 ± 0.93 ^b	22.42 ± 0.010 ^c
Belgium	13.7 ± 0.00	218.3 ± 0.79 ^a	53.4 ± 0.91 ^a	204.6 ± 0.79 ^a	1497.1 ± 5.76 ^a	22.56 ± 0.009 ^b
Japan	13.7 ± 0.00	219.7 ± 0.71 ^a	56.3 ± 0.88 ^a	206.0 ± 0.71 ^a	1507.6 ± 5.17 ^a	22.61 ± 0.009 ^a
Crumble	13.7 ± 0.00	184.1 ± 1.57 ^c	50.4 ± 2.04 ^a	170.4 ± 1.57 ^c	1247.1 ± 11.50 ^c	22.11 ± 0.007 ^f

Values (means of triplicate ± SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P > 0.05$).

¹Growth rate = Final weight of fish/initial weight of fish × 100

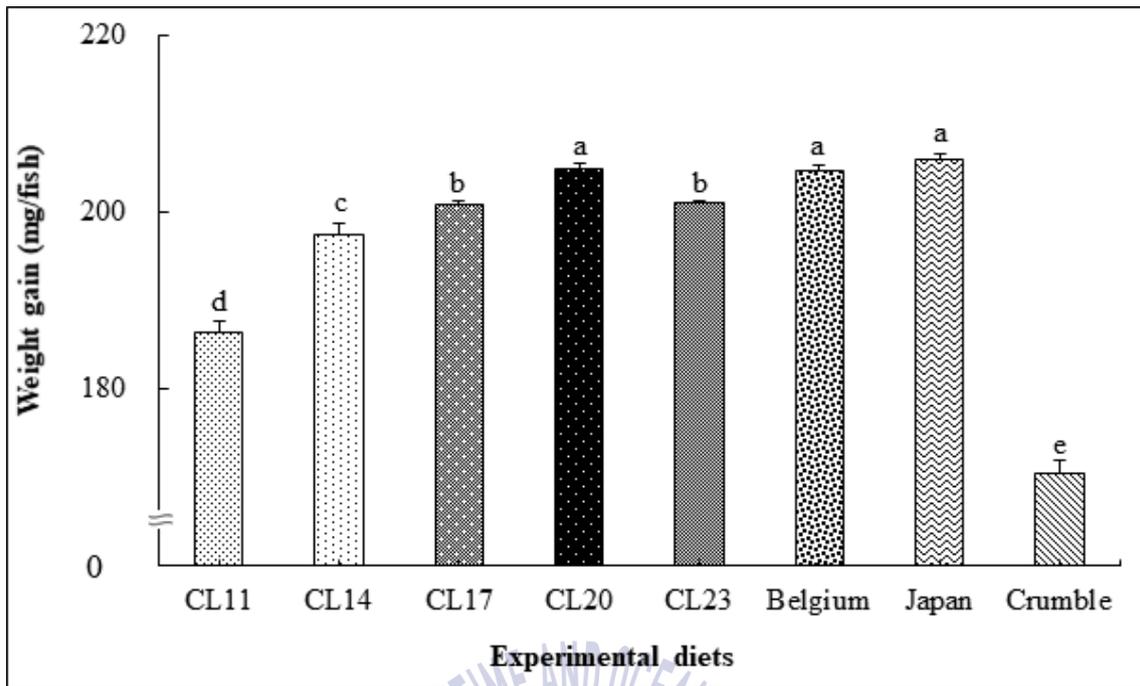


Fig. 3 Weight gain of rockfish larvae at the end of feeding trail (means of triplicate \pm SE).



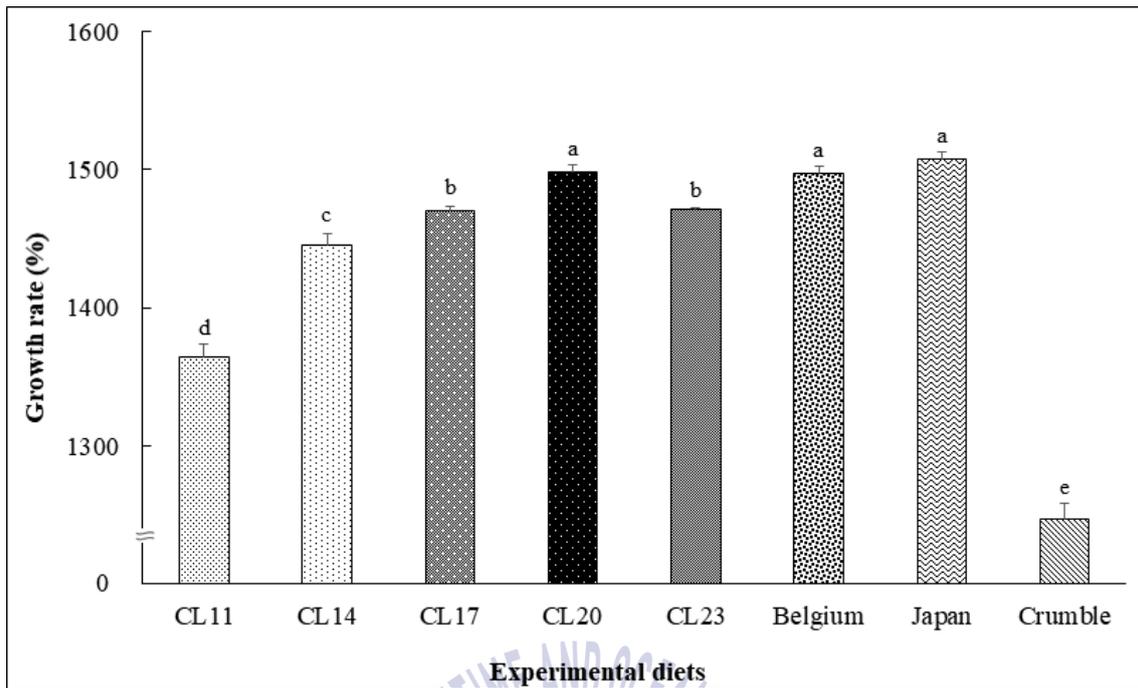


Fig. 4 Growth rate of rockfish larvae at the end of feeding trail (means of triplicate \pm SE).



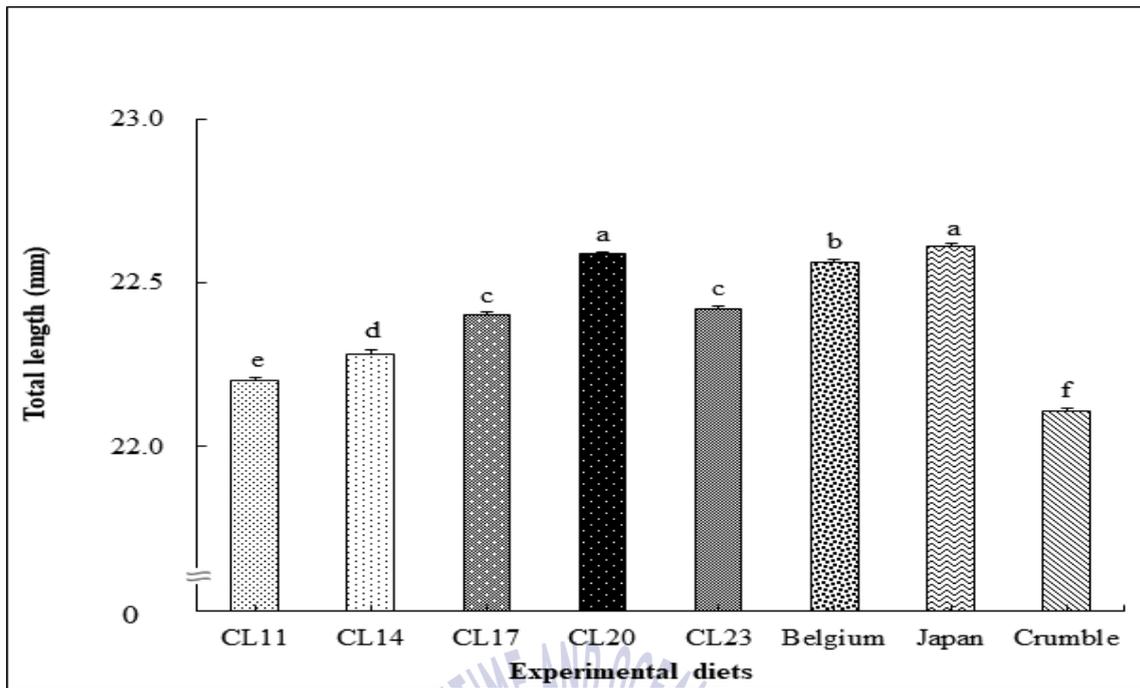


Fig. 5 Total length of rockfish larvae at the end of feeding trail (means of triplicate \pm SE).



3.3. 조피블락 자치어의 영양학적 평가

조피블락 자치어기의 지질요구량 실험에서 실험종료시 생존한 조피블락 자치어의 일반성분 분석 결과는 Table 5와 같다. 전어체의 수분, 조단백질 및 회분 함량은 실험구간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 조지질 함량은 CL23 사료를 공급한 실험구에서 CL11, CL14, CL17, Belgium, Japan 및 Crumble 사료를 공급한 실험구보다 유의적으로 높게 나타났지만($P < 0.05$), CL20 사료를 공급한 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$) (Fig. 6). 과립형 미립자 실험사료내 지질의 함량이 증가에 따라 높은 지질함량을 공급한 실험구의 전어체에서 낮은 지질함량을 공급한 실험구의 전어체 보다 조지질 함량이 증가하는 경향을 보였다.

조피블락 자치어기의 지질요구량 실험에서 20일간 과립형 미립자 실험사료와 비교사료를 공급한 조피블락 자치어 전어체의 지방산 분석결과는 Table 6에 나타내었다. Eicosenoic acid (C20:1n-9)와 DHA (C22:6n-3)의 함량을 제외한 모든 지방산의 함량은 각 실험구간에 유의적으로 차이가 나타났지만($P < 0.05$), 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. Eicosenoic acid (C20:1n-9)와 DHA의 함량은 공급구 간에 유의적인 차이가 나타났으며($P < 0.05$), 각각 공급받은 실험사료의 Eicosenoic acid와 DHA의 함량에 따라 전어체의 Eicosenoic acid와 DHA 함량이 잘 반영된 것으로 나타났다. 또한 Japan 사료를 공급한 실험구의 전어체 EPA (C20:5n-3) 함량이 다른 실험 사료를 공급한 실험구의 전어체 EPA 함량보다 유의적으로 높게 나타났으며($P < 0.05$), 실험사료 Japan의 EPA 함량에 따라 전어체의 EPA 함량이 잘 반영된 것으로 나타났다.

Table 5. Chemical composition (%) of juvenile rockfish larvae at the end of feeding trail.

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
CL11	80.4 ± 0.16 ^a	12.5 ± 0.08 ^a	2.4 ± 0.10 ^c	3.0 ± 0.08 ^a
CL14	80.4 ± 0.24 ^a	12.5 ± 0.08 ^a	2.5 ± 0.06 ^c	3.0 ± 0.10 ^a
CL17	80.5 ± 0.13 ^a	12.5 ± 0.03 ^a	2.7 ± 0.10 ^{bc}	3.0 ± 0.11 ^a
CL20	80.4 ± 0.27 ^a	12.5 ± 0.05 ^a	2.9 ± 0.15 ^{ab}	3.0 ± 0.07 ^a
CL23	80.4 ± 0.19 ^a	12.5 ± 0.08 ^a	3.2 ± 0.19 ^a	2.9 ± 0.07 ^a
Belgium	80.5 ± 0.22 ^a	12.6 ± 0.03 ^a	2.6 ± 0.06 ^{bc}	2.9 ± 0.07 ^a
Japan	80.5 ± 0.23 ^a	12.6 ± 0.05 ^a	2.7 ± 0.04 ^{bc}	3.1 ± 0.03 ^a
Crumble	80.6 ± 0.02 ^a	12.7 ± 0.04 ^a	2.4 ± 0.08 ^c	3.1 ± 0.03 ^a

Values (means of triplicate ± SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P > 0.05$).

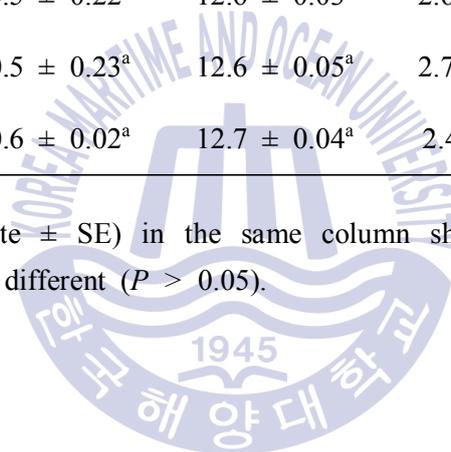


Table 6. Fatty acid profiles of rockfish larvae at the end of feeding trail (% of total fatty acid).

	Experimental diets							
	CL11	CL14	CL17	CL20	CL23	Belgium	Japan	Crumble
C14:0	4.83 ± 0.187 ^a	4.96 ± 0.157 ^a	5.07 ± 0.285 ^a	4.80 ± 0.315 ^a	4.80 ± 0.112 ^a	2.33 ± 0.038 ^c	3.66 ± 0.029 ^b	3.06 ± 0.278 ^b
C16:0	32.94 ± 1.131 ^a	34.48 ± 1.136 ^a	34.32 ± 3.073 ^a	32.59 ± 2.784 ^a	33.02 ± 1.444 ^a	19.81 ± 0.086 ^b	21.22 ± 0.330 ^b	24.76 ± 2.642 ^b
C18:0	11.87 ± 0.300 ^a	12.07 ± 0.374 ^a	11.81 ± 1.068 ^a	10.89 ± 0.902 ^a	10.97 ± 0.511 ^a	6.80 ± 0.028 ^b	6.78 ± 1.062 ^b	7.79 ± 1.030 ^b
∑Saturates	49.64 ± 1.553 ^a	51.51 ± 1.610 ^a	51.16 ± 4.423 ^a	48.29 ± 3.981 ^a	48.80 ± 2.067 ^a	28.93 ± 0.089 ^b	31.65 ± 1.420 ^b	35.61 ± 3.950 ^b
C16:1n-9	3.55 ± 0.085 ^b	3.35 ± 0.110 ^{bc}	3.47 ± 0.285 ^{bc}	3.60 ± 0.169 ^b	3.60 ± 0.133 ^b	3.01 ± 0.046 ^c	4.80 ± 0.078 ^a	3.51 ± 0.203 ^{bc}
C18:1n-9	21.87 ± 0.717 ^b	21.27 ± 0.601 ^b	20.90 ± 1.407 ^b	21.17 ± 1.178 ^b	20.45 ± 0.726 ^b	19.91 ± 0.129 ^b	22.54 ± 0.745 ^{ab}	25.03 ± 0.705 ^a
C20:1n-9	1.19 ± 0.052 ^c	1.33 ± 0.060 ^{bc}	1.40 ± 0.153 ^{bc}	1.45 ± 0.032 ^{bc}	1.49 ± 0.092 ^b	2.06 ± 0.103 ^a	1.43 ± 0.067 ^{bc}	1.58 ± 0.028 ^b
∑Monoenes	26.61 ± 0.843 ^{bc}	25.95 ± 0.756 ^{bc}	25.78 ± 1.836 ^{bc}	26.21 ± 1.378 ^{bc}	25.54 ± 0.940 ^{bc}	25.03 ± 0.070 ^c	28.78 ± 0.601 ^{ab}	30.12 ± 0.921 ^a
C18:2n-6	7.60 ± 0.231 ^b	7.16 ± 0.126 ^{bc}	6.21 ± 0.382 ^{bc}	7.25 ± 0.468 ^{bc}	6.87 ± 0.475 ^{bc}	13.61 ± 0.139 ^a	7.93 ± 0.403 ^b	13.84 ± 0.498 ^a
C18:3n-3	1.25 ± 0.054 ^b	1.19 ± 0.072 ^b	1.19 ± 0.123 ^b	1.34 ± 0.112 ^b	1.29 ± 0.067 ^b	1.70 ± 0.023 ^a	1.22 ± 0.060 ^b	1.60 ± 0.081 ^a
C20:2n-6						0.33 ± 0.003		
C20:3n-3						0.88 ± 0.012	1.17 ± 0.057	1.40 ± 0.005
C20:4n-6						0.34 ± 0.003	0.34	
C20:5n-3	5.06 ± 0.076 ^b	4.79 ± 0.358 ^b	5.37 ± 0.801 ^b	5.49 ± 0.592 ^b	5.94 ± 0.169 ^b	5.82 ± 0.081 ^b	8.09 ± 0.381 ^a	5.07 ± 0.450 ^b
C22:6n-3	9.17 ± 0.236 ^c	9.39 ± 0.727 ^c	10.30 ± 1.457 ^{bc}	11.01 ± 1.118 ^{bc}	11.55 ± 0.471 ^{bc}	15.66 ± 0.127 ^a	12.89 ± 0.692 ^b	10.71 ± 0.545 ^{bc}
∑n-3 HUFA	14.23 ± 0.307 ^b	14.19 ± 1.085 ^b	15.66 ± 2.258 ^b	16.50 ± 1.708 ^b	17.49 ± 0.638 ^b	23.04 ± 0.191 ^a	22.38 ± 1.242 ^a	16.72 ± 1.450 ^b
Unknown	1.00 ± 0.980	0.01	0.01	1.24	0.02 ± 0.005	7.69 ± 0.486	8.03 ± 0.383	3.18 ± 0.010

Values (means of triplicate ± SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P > 0.05$).

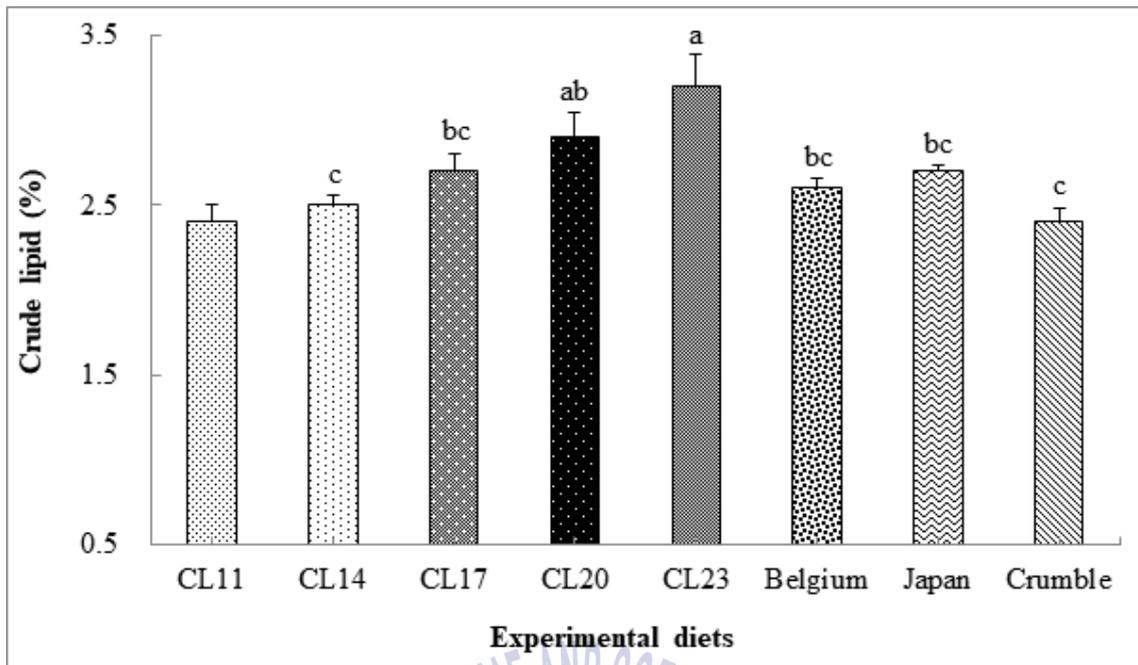


Fig. 6 Crude lipid of rockfish larvae at the end of feeding trail (mean of triplicate \pm SE).



4. 논의

일반적으로 배합사료내 필수지방산의 함유는 어류의 성장 및 생존에 중대한 영향을 끼친다(NRC, 2011). 본 연구에서 사료내 eicosenoic acid, EPA 및 DHA의 함량은 실험사료내 지질함량이 증가함에 따라 증가하였다. 일반적으로 조피볼락을 포함한 해산어류의 필수지방산은 EPA 또는 DHA와 같은 n-3계 고도 불포화지방산(n-3 highly unsaturated fatty acids, n-3 HUFA)을 필요로 한다는 (Lee et al., 1993a, b; Lee et al., 1994; Lee, 2001; Kim & Lee, 2005) 이전의 연구결과가 보고된 바 있으며, 해산어류의 사료내에 반드시 포함되어야 하는 필수적인 요소(Sargent et al., 1997; Sargent et al., 1999)라 보고된 이전의 연구결과가 있다. 그러나 참돔(*Pagrus major*), 자주복(*Takifugu rubripes*)과 같은 일부 해산어류에서는 지나친 필수지방산의 첨가는 오히려 역효과를 나타낸다(Takeuchi et al., 1990; Han, 1996)는 이전의 연구결과 또한 존재하기에 모자라거나 지나치지 않은 적정량의 필수지방산 함량을 규명하는 것이 중요하다 할 수 있다. 따라서 이러한 이전 연구결과들을 바탕으로 본 연구에서 또한 EPA, DHA와 같은 n-3 HUFA를 사료내 지방산의 중점 요소로 지정하여 초기 자치어기 조피볼락의 적정 필수지방산 요구량을 규명하려 한다.

뱀장어(*Anguilla japonica*), 자주복, gilthead seabream (*Sparus aurata*), channel catfish (*Ictalurus punctatus*), 대서양 넙치(*Hippoglossus hippoglossus*)등 다양한 어종에 대한 연구에서 사료의 지방산 조성이 어체의 지방산 조성에 영향을 끼친다고 보고된 바 있다(Ibeas et al., 1996; Bae et al., 2004; Aksoy et al., 2009; Koizumi & Hiratsuka, 2009; Kikuchi et al., 2011a, b)는 선행 연구 결과가 존재한다. 이러한 선행 연구결과들을 바탕으로 사료의 지방산 조성은 전어체의 지방산 조성에도 영향을 미친다고 판단되며, 본 연구에서 사료내 지질의 증가에 따라 eicosenoic acid과 DHA 함량이 증가하였으며, 전어체 또한 eicosenoic acid과 DHA 함량이 증가한 결과와 일치함을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 위의 선행 연구결과들과 본 실험의 결과를 토대로 사료 제작 시 사료내 지방산 조성의 중요성을 고려하여야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서 조피볼락 자치어의 생존율은 50.4~56.6%의 범위로서 지질 함량에 따른 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 이러한 본 실험의 결과는

황복(Yoo & Bai, 2004), 넘치(Bai & Cha, 1997), 조피블락(Cho et al., 2015) 등의 이전 연구결과와 동일한 결과를 보였다.

증체량과 일일성장률은 CL20 사료를 공급한 실험구에서 Belgium과 Japan 사료를 공급한 실험구를 제외한 다른 실험구와는 유의적 차이가 발생하였으며, 또한 증체량과 성장률 모두 Crumble 사료를 공급한 실험구에서 가장 낮은 어체중 증가와 성장률을 보였다. 이는 자치어기 조피블락의 적정 지질대 단백질 요구량 실험에서 지질의 함량이 14%(Lee et al., 2002)인 이전의 연구결과와 차이를 보이며, 적정 지질대 단백질 요구량 실험에서 단백질 50%일 때 지질의 함량이 15%, 단백질 함량이 45%일 때 지질의 함량이 19%(Cho et al., 2015)인 이전의 연구결과와도 차이를 보인다. 하지만 Lee et al. (2002)의 연구에서는 자치어기 일지라도 시작시 무게가 21.6 g이며, Cho et al. (2015)의 연구에서는 시작시 무게가 3.2 g이었다. 그러나 본 연구에서의 사용된 조피블락은 초기 자치어기의 개체로 시작시 무게는 13.7 mg 으로 같은 자치어기 일지라도 시작시 무게에 따른 차이가 존재하며, 본 연구에 사용된 조피블락이 더욱 어린개체라는 차이점이 존재한다. 위의 결과들을 바탕으로 할 때 대부분의 어류는 무게가 작고 어릴수록 더욱 더 많은 영양소를 필요로 한다(Tocher, 2010)는 이전의 연구결과와도 일치한다.

전장은 CL20 사료를 공급한 실험구에서 Japan 사료를 공급한 실험구를 제외한 다른 실험사료를 공급한 실험구와는 유의적인 차이가 나타났으며, 이러한 결과는 동일한 무게의 실험어를 사용한 과립형 미립자 사료 사료내 적정 단백질 함량(Jang, 2018)에 대한 이전 연구에서 단백질을 유사하게 한 경우 자치어기의 조피블락의 적정 사료내 지질의 함량이 20% 전후가 되어야 함을 추측할 수 있게 한다.

이러한 실험 결과들을 바탕으로 할 때 사료내 과도한 지질의 함유는 어류의 성장을 위한 에너지원으로 효과적이지 않다는 연구결과를 보고한(Kanazawa et al., 1980; Lee & Kim, 2005; El-Kachief et al., 2011; Yoo & Bai, 2014) 이전의 연구들과 일치한다.

본 실험에서 실험종료시 생존한 조피블락 자치어의 일반성분 분석결과 중 전어체의 수분, 조단백질 및 회분 함량은 실험구간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 다만, 조지질 함량은 CL23 사료를 공급한 실험구에서 CL20

사료를 공급한 실험구를 제외한 다른 실험구와는 유의적인 차이가 나타났다($P < 0.05$). 이러한 결과는 넙치(Lee & Kim, 2005), 틸라피아(Abdel-Hakim et al., 2008), 황복(Yoo & Bai, 2014) 등 전어체의 지질함량의 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 사료내 지질함량에 따라 증가하는 경향을 보인다 보고된 이전 연구와 일치하는 결과이다.

일반적으로 어류의 정상적인 성장과 생존을 위해 사료내 필수적으로 공급해 주어야 하는 지방산을 필수지방산이라 하는데, 어종 및 서식환경에 따라 필수지방산의 종류 및 양이 다른 것으로 알려져 있다. 일반적으로 담수어류는 사료 내 linoleic acid (18:2n-6)와 linolenic acid (18:3n-3)를 단독 또는 두 가지 모두를 필요로 하는 반면, 광염성 해산어류는 사료내에 EPA 또는 DHA와 같은 n-3계 고도불포화지방산을 필요로 한다(Webster & Lovell, 1990; Koven et al., 1992; Ruyter et al., 2000; Lee et al., 2003; Fonseca-Madrigal et al., 2005; Kim & Lee, 2005; Mourente et al., 2005). 본 실험의 과립형 미립자 실험사료와 비교사료를 공급한 조피볼락 자치어 전어체의 지방산 분석결과는 Eicosenoic acid와 DHA의 함량을 제외한 모든 지방산의 함량은 각 실험구간에 유의적으로 차이가 나타났지만($P < 0.05$), 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. Eicosenoic acid와 DHA의 함량은 공급구 간에 유의적인 차이가 나타났으며($P < 0.05$), 각 실험사료의 Eicosenoic acid와 DHA의 함량에 따라 전어체의 Eicosenoic acid와 DHA 함량이 잘 반영된 것으로 나타났다.

이전 연구에서 자치어기의 조피볼락의 n-3계 고도불포화지방산 요구량은 사료내 1% 전후로 규명되었으나(Lee et al., 1993a, b, 1994), 약 130 g 전후의 중간육성어 조피볼락에서는 n-3계 고도불포화지방산 요구량은 사료내 0.6-0.9%로 보고되었다(Lee et al., 2000). 본 연구에서 최적의 지질 요구량은 CL17과 CL20 사이로 사료되며, 동일 조건에서 n-3계 고도불포화지방산 요구량은 사료내 3.68-4.50%로 추정된다. 본 연구의 n-3계 고도불포화지방산 요구량은 이전의 연구에서 보고된 값과 차이를 보이는데, gilthead seabream (Salhi et al., 1994)과 방어(*Seriola quinqueradiata*) (Furuita et al., 1996) 등의 연구에서 또한 동일어종의 이전 연구결과와 차이를 보이며, 이는 사료 내 지질함량, 생존 및 성장 등과 같은 측정 기준에 따라 달라질 수 있음을 보인다.

이와 같은 결과를 보았을 때 어체의 크기가 작을수록 영양소 요구량이 높다고 사료되며, 본 연구도 이와 일치한 결과를 보인다.

이러한 결과를 바탕으로 자치어기 조피블락의 지질요구량 실험에서 자치어의 성장률에 근거(broken-line model)한 적정 지질 요구량은 17.3%로 판단된다(Fig. 7).



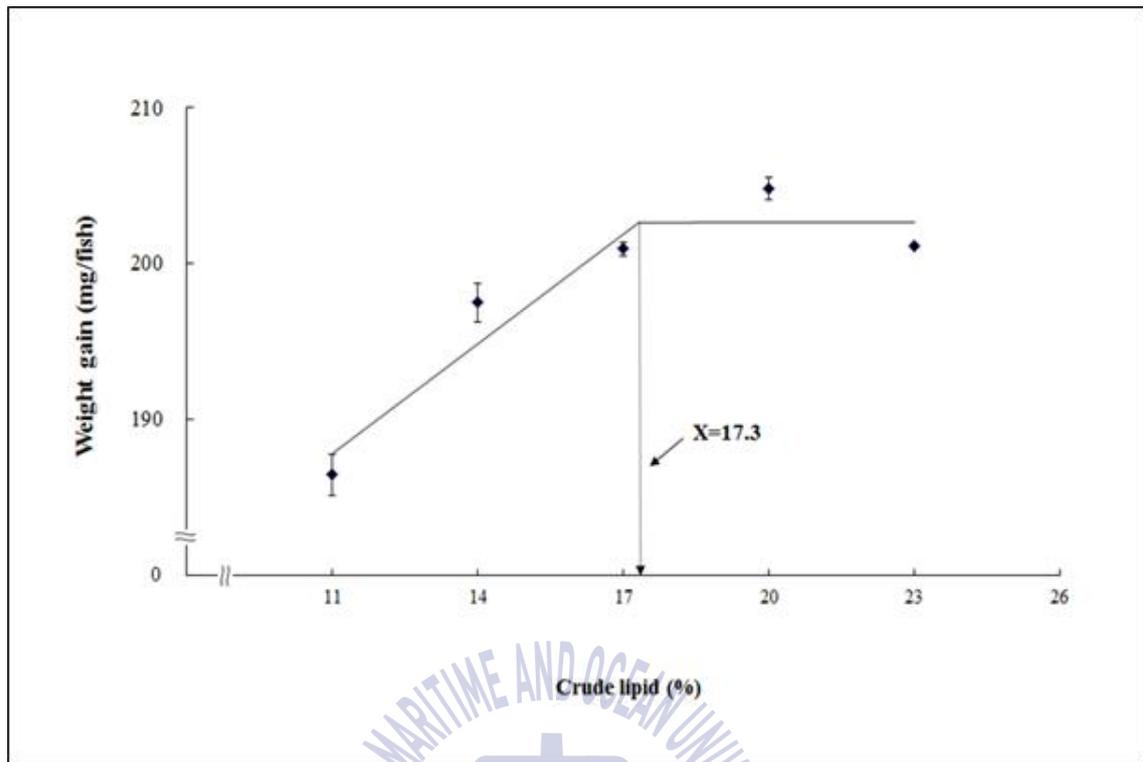
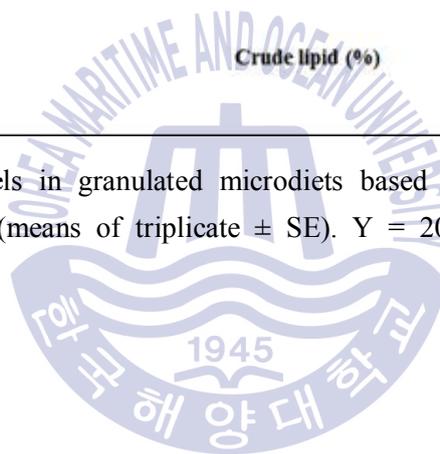


Fig. 7 Effect of lipid levels in granulated microdiets based on weight gain (broken-line model) of rockfish larvae (means of triplicate \pm SE). $Y = 203.0 - 2.42 (R - X_{LR})$, $R = 17.32 \pm 0.705$ (SE)



5. 결론

본 실험에서 일반적인 해산어류의 필수지방산으로 알려진 Eicosenoic acid, EPA 및 DHA의 함량은 사료내 지질의 함량이 증가할수록 같이 증가하는 결과를 보였다. 조피볼락 자치어의 생존율은 지질의 함량에 따른 유의적 차이가 없었으나, 증체량과 성장에 있어서 CL20 사료 공급구가 가장 우수한 효과를 보였다. 본 연구에서 최적의 지질 요구량은 CL17과 CL20 사이로 추정되며, 동일 조건에서 n-3 고도불포화지방산 요구량은 사료내 3.68-4.50%의 범위로 판단된다. 이러한 적정 지질요구량의 규명으로 자치어의 영양요구량을 충족시켜 보다 건강한 종묘의 생산이 가능하다고 사료된다. 본 연구의 결과를 종합적으로 분석하였을 때 조피볼락 자치어기용 과립형 미립자 사료의 적정 지질 요구량은 17.3%로 판단된다.



감사의 말씀

학부 및 대학원의 시간 중 사료영양공학 연구실에서 연구를 하며 오랜 시간을 보냈습니다. 그동안 저의 졸업논문이 나오기 까지 많은 분들의 도움이 있었으며, 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

먼저 많이 부족한 저를 제자로 받아주시고 가르침과 격려로 이끌어주셨으며, 연구과제 수행과 학위논문 작성에 대해 많은 조언과 도움을 주신 조성환 교수님께 감사드립니다. 그리고 수산분야의 전공지식을 가르쳐 주시고 많은 관심을 가져주신 최철영 교수님과 박인석 교수님께 감사드립니다.

우리 사료영양공학 연구실의 이상목, 박범희, 지성춘, 김충일, 조영진, 최인철, 김경태, 전규호, 김희성, 명성효, 이기욱, 정원관, 최동규, 장복일, 김예은, 이상현, 윤아영, 김민주, 김준, 정해승, 양동준, 한승우, 박우영 등 많은 선 후배님들의 격려와 배려에 감사드립니다. 또한 학교생활을 하며, 여러 도움을 주신 길현우, 최지용, 김호준, 이태호, 고태욱, 이정우 등 타 실험실 선 후배님들께도 감사드립니다.

마지막으로 대학원 졸업까지 묵묵히 지켜봐주고 응원해주신 아버지, 어머니 그리고 동생에게 항상 감사드립니다.

아직 많이 부족합니다. 하지만 발전하고 앞으로 나아가는 모습으로 부끄럽지 않고 자랑스러운 모습을 보여드리도록 항상 노력하겠습니다. 감사합니다.

참고문헌

- Abdel-Hakim, N.F., Lashin, M.E., Al-Azab, A.A. & Nazmi, H.M., 2008. Effects of replacing soybean meal with other plant protein sources on protein and energy utilization and carcass composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 979-997.
- Aksoy, M.Y., Lim, C., Shelby, R. and Klesius, P.H., 2009. Increasing fish oil levels in commercial diets influences hematological and immunological responses of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society 40, 76-86.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis (15thedn). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Bae, J.Y., Han, K.M., Park, G.J. and Bai, S.C., 2004. Studies on requirements of optimum dietary essential fatty acids in juvenile eel, *Anguilla japonica*. Journal of Aquaculture 17, 275-281.
- Bai, S.C. & Cha, Y.T., 1997. Comparison of growth and body composition in olive flounder larvae (*Paralichthys olivaceus*) fed domestic experimental and imported commercial microparticulated diets. Journal of Aquaculture 10, 87-95.
- Bai, S.C., Cha, Y.T. & Wang, X., 2001. A preliminary study on the dietary protein requirement of larval Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. North American Journal of Aquaculture 63, 92-98.
- Baskerville-Bridges, B. & Kling, L.J., 2000. Development and evaluation of microparticulate diets for early weaning of Atlantic cod *Gadus morhua* larvae. Aquaculture Nutrition 6, 171-182.
- Beck, J.L. & Turingan, R., 2007. The effects of zooplankton swimming behavior on prey capture kinematics of red drum larvae, *Sciaenops ocellatus*. Marine Biology 151, 1463-1470.
- Bengtson, D.A., 1993. A comprehensive program for the evaluation of artificial diets.

- Journal of World Aquaculture Society 24, 285-293.
- Cho, S.H., Kim, H.S., Myung, S.H., Jung, W.G., Choi, J. & Lee, S.M., 2015. Optimum dietary protein and lipid levels for juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*, Hilgendorf 1880). Aquaculture Research 46, 2954-2961.
- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11, 1-42.
- El-Kashief, M.A., Amal, S.S. & Ibrahim, S.A., 2011. Effects of varying levels of fish oil on growth performance, body composition and haematological characteristics of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L). Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries 15, 125-141.
- Fletcher, R.C., Roy, W., Davie, A., Taylor, J., Robertson, D. & Migaud, H., 2007. Evaluation of new microparticulate diets for early weaning of Atlantic cod (*Gadus morhua*): Implications on larval performances and tank hygiene. Aquaculture 263, 35-51.
- Folch, J., Lees, M. & Stanley, G.H.S., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry 226, 497-509.
- Fulks, W. & Main, K.L., 1991. Rotifer and microalgae culture systems. In Proceedings of a U.S.-Asia workshop. Honolulu, Hawaii, January, 28-31.
- Furuita H, Takeuchi T, Watanabe T, Fujimoto H, Sekiya S and Imaizumi K., 1996. Requirements of larval yellowtail for eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid, and n-3 highly unsaturated fatty acid. Fisheries Science 62, 372-379.
- Ha, M.S., Jeong, H.S., Jang, B., Lee, K.W., Kim, H.J., Choi, D.G., Kim, H.S., Cho, S.H. & Yoo, J., 2018. Protein requirement in granulated microdiets for olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) larvae. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 18, 509-517.
- Han, K.N., 1996. Requirement of young tiger puffer (*Takifugu rubripes*) for essential fatty acids and its optimal level. Journal of Aquaculture 9, 353-361.

- Ibeas, C., Cejas, J., Gomez, T., Jerez, S. & Lorenze, A., 1996. Influence of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition. *Aquaculture* 142, 221-235.
- Jang, B.I., 2018. Optimum dietary protein level in granulated microdiet for larval rockfish *Sebastes schlegeli* Hilgendorf 1880. Master thesis. Busan. Korea Maritime and Ocean University.
- Ji, L., Haga, Y., Masuda, R., Takahashi, K., Ohta, H., Ishida, S. & Satoh, S., 2013. Growth, survival, digestive enzyme activities, and RNA/DNA ratio in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* larvae fed live food and casein peptide- and fish meal-based microdiets. *Aquaculture Science* 61, 81-93.
- Johnson, R.B., Cook, M.A., Nicklason, P.M. & Rust, M.B., 2009. Determination of apparent protein digestibility of live *Artemia* and microparticulate diet in 8-week-old Atlantic cod *Gadus morhua* larvae. *Aquaculture* 288, 290-298.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Sakamoto, M. & Shinomiya, A., 1980. Nutritional requirements of the puffer fish: purified test diet and the optimum protein level, *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 46, 1357-1361.
- Kikuchi, K., Furuta, T., Iwata, N., Onuki, K. & Noguchi, T., 2011a. Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes*, *Aquaculture* 298, 111-117.
- Kikuchi, K., Furuta, T., Iwata, N., Onuki, K., Noguchi, T. & Sugita, H., 2011b. Effect of dietary fatty acid composition on the growth of the tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Fisheries Science* 77, 829-837.
- Kim, H.S., Kim, H.J., Choi, D.G., Jang, B.I., Cho, S.H., Kwon, M.G., Min, B.H. & Kim, D.S., 2016. Effect of various sources of dietary additives on growth, body composition, and 1 challenge test survival of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 16, 759-766.
- Kim, K.W., Wang, X.J. & Bai, S.C., 2001. Reevaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*

- (Hilgendorf). *Aquaculture Research* 32, 119-125.
- Koizumi, K. & Hiratsuka, S., 2009. Fatty acid compositions in muscles of wild and cultured ocellate puffer *Takifugu rubripes*. *Fisheries Science* 75, 1323-1328.
- KOSIS 2018. Korean Statistical Information Service. Korea.
- Koven, W.M., Tandler, A., Kissil, G.W. & Sklan, D., 1992. The importance of n-3 highly unsaturated fatty acids for growth in larvae *Sparus aurata* and their effect on survival, lipid composition and size distribution. *Aquaculture* 104, 91-104.
- Kwon, M.G., Seo, J.S., Hwang, J.Y., Park, C.I., Jeong, J.M. & Bae, J.S., 2016. Effect of the polychaete antimicrobial peptide as feed additives on olive flounder and black rockfish immune activity. *Journal of Fisheries and Marine Science Education* 28, 1640-1650.
- Langdon, C., 2003. Microparticle types for delivering nutrients to marine fish larvae. *Aquaculture* 227, 259-275.
- Lee, K.W., Yun, A.Y., Kim, J., Kim, H.S. & Cho, S.H., 2016. Effect of dietary additives on growth, feed utilization, and body composition of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science* 49, 683-688.
- Lee, S.M., Lee, J.Y., Kang, Y.J. & Hur, S.B., 1993a. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acid on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* I. Growth and body composition. *Journal of Aquaculture* 6, 89-105.
- Lee, S.M., Lee, J.Y., Kang, Y.J., Yoon, H.D. & Hur, S.B., 1993b. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 26, 477-492.
- Lee, S.M., Lee, J.Y. & Hur, S.B., 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Korean Journal of Fisheries Aquatic Sciences* 27, 712-726.
- Lee, S.M., Park, S.R. & Kim, J.D., 1998. Dietary optimum phosphorus level of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Fisheries and Aquatic Sciences* 1, 180-186.

- Lee, S.M., Lee, J.Y. & Jeon, I.G., 2000. Dietary squid liver oil and soybean oil ratio on growth and body composition of Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Journal of Aquaculture 13, 207-213.
- Lee, S.M., 2001. Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture Research 32, 8-17.
- Lee, S.M., Jeon, I.G. & Lee, J.Y., 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 211, 227-239.
- Lee, S.M. & Kim, K.D., 2005. Effect of various levels of lipid exchanged with dextrin at different protein level in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*, Aquaculture Nutrition 11, 435-442.
- Lee, B.I., Kim, Y., Kim, G.U. & Kwon, O.N., 2012. Comparative study of digestive enzyme in the Artemia feeding step of the sweet fish *Plecoglossus altivelis*, rockfish *Sebastes schlegeli*, black seabream *Acanthopagrus schlegeli*, and olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science, 45, 50-55.
- López-Alvarado, J. & Kanazawa, A., 1994. Effect of dietary arginine levels on growth of red sea bream larvae fed diets supplemented with crystalline amino acids. Fisheries Sciences 60, 435-439.
- Lubzens, E., Marko, A. & Tietz, A., 1985. De novo synthesis of fatty acids in the rotifer *Bachionus plicatilis*. Aquaculture 47, 27-37.
- NRC (National Research Council), 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp, National Academy Press, Washington DC. USA.
- Park, J.C., Lee, B.I., & Kwon, O.N., 2011. Effect on enrichment with *Schizochytrium* sp. and squid *Todarodes pacificus* liver oil on fatty acid content of live feed. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science 44, 339-344.
- Rainuzzo, J.R., Reitan, K.I. & Olsen, Y., 1997. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. Aquaculture 155, 103-115.

- Robbins, K.R., Norton, H.W. & Baker, D.H., 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *The Journal of Nutrition* 109, 1710-1714.
- Salhi, M., Izquierdo, M.S., Hernandez-Cruz, C.M., Gonzalez, M. & Fernandez-Palacios, H., 1994. Effect of lipid and n-3 HUFA levels in microdiets on growth, survival and fatty acid composition of larval gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 124, 275-282.
- Sargent, J.R., McEvoy, L.A. & Bell, J.G., 1997. Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture* 155, 117-127.
- Sargent, J., Bell, G., McEvoy, L., Tocher, D. & Estevez, A., 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177, 191-199.
- Takeuchi T., Toyota, M., Satoh, S. & Watanabe T., 1990. Requirement of juvenile red seabream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Nippon Suisan Gakkaishi* 56, 1263-1269.
- Takeuchi, T., Wang, Q., Furuita, H., Hirota, T., Ishida, S. & Hayasawa, H., 2003. Development of microparticle diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* larvae. *Fisheries Sciences* 69, 547-554.
- Teshima, S.I., Koshio, S., Ishikawa, M., Alam, M.S. & Hernandez, L.H.H., 2004. Effects of protein and lipid sources on the growth and survival of red sea bream *Pagrus major* and Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* receiving micro-bound diets during larval and early juvenile state. *Aquaculture Nutrition* 10, 279-287.
- Tocher, D.R., 2010. Fatty acids requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research* 41, 717-732.
- Wang, X., Kim, K.W. & Bai, S.C., 2003. Comparison of L-ascorbyl-2-monophosphate-Ca with L-ascorbyl-2-monophosphate-Na/Ca on growth and tissue ascorbic acid concentrations in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 225, 387-395.
- Wang, Q., Takeuchi, T., Hirota, T., Ishida, S., Miyakawa, H. & Hayasawa, H., 2004. Application of microparticle diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* larvae.

Fisheries Sciences 70, 611-619.

Watanabe, T., Kitajima, C. & Fujita, S., 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: A review. *Aquaculture* 34, 115-143.

Yoo, G.Y. & Bai, S.C., 2014. Optimum dietary lipid level in juvenile river puffer *takifugu obscurus*. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 26, 859~867.

Yun, A.Y., Kim, H.S., Seo, Y.W., Cho, S.H. & Bae, J.Y., 2016. Effects of dietary antioxidant supplementation on the growth, serum chemistry, body composition and challenge test results of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science* 49, 323-329.

해양수산부 해양수산과학기술진흥원, 2017. 해양수산부 수산실용화기술개발사업 과립형 양어 미립자 초기사료 개발, 한국해양대학교 산학협력단.

