



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](#)

수 산 학 석 사 학 위 논 문

바위털갯지렁이, *Marphysa Sanguinea*
유생의 생존과 성장에 미치는
사육기질과 환수율의 영향



2017년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 생 물 학 과

김 영 경

수 산 학 석 사 학 위 논 문

바위털갯지렁이, *Marphysa Sanguinea*
유생의 생존과 성장에 미치는
사육기질과 환수율의 영향

지도교수 김 창 훈

이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함

2017년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 생 물 학 과

김 영 경

김영경의 수산학석사 학위논문을 인준함.

2017년 2월



주 심 수산학박사 박 정 환 (인)

위 원 수산학박사 최 윤 희 (인)

위 원 농학박사 김 창 훈 (인)

목 차

List of Figures	ii
List of Tables	vi
Abstract	viii
1. 서론	1
2. 재료 및 방법	4
2.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존 및 성장	4
2.1.1 실험에 사용된 바위털갯지렁이 유생 채집	4
2.1.2 사육수조 제작	5
2.1.3 기질조성 및 사육조건	7
2.2 사육수 환수율에 따른 유생의 생존 및 성장	11
2.2.1 실험에 사용된 바위털갯지렁이 유생 채집	11
2.2.2 사육수조 제작	11
2.2.3 기질조성 및 사육조건	12
2.2.4 수질측정	13
2.3 통계처리	15
3. 결과	16
3.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존 및 성장	16
3.1.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존	16
3.1.2 사육기질 구성에 따른 유생의 성장	16
3.2 사육수 환수율에 따른 유생의 생존 및 성장	24

3.2.1 사육수 환수율에 따른 유생의 생존	.....	24
3.2.2 사육수 환수율에 따른 유생의 성장	.....	24
3.2.3 사육수 환수율에 따른 수질환경의 변화	.....	31
4. 고찰	.....	41
4.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존 및 성장	.....	41
4.2 사육수 환수율에 따른 유생의 생존 및 성장	.....	44
5. 요약	.....	47
참고문헌	.....	49
감사의 글	.....	57



List of figures

- Fig. 1. Larvae of rockworm, *Marphysa sanguinea* (trochophore stage) that were used to assess the effect of rearing substrates on survival and growth rates. 4
- Fig. 2. Rearing tank that was used to breed for larvae of rockworm, *Marphysa sanguinea*. (A): cap of a rearing bottle, (B): rearing bottle 6
- Fig. 3. Rearing substrates that were used to breed for larvae of rockworm, *Marphysa sanguinea*. (A): decomposed granite soil (1~2 mm in diameter), (B): sand (0.02~0.2 mm in diameter), (C): oyster shell (5~10 mm in diameter), (D): gravel (5 mm in diameter) 8
- Fig. 4. Survival rate of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate 19

- Fig. 5. Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate 21
- Fig. 6. Weight gain of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate 23
- Fig. 7. Survival rate of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange ... 26
- Fig. 8. Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange 28

Fig. 9.	Weight gain of rockworm, <i>Marphysa sanguinea</i> larvae according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange	··· 30
Fig. 10.	Changes of water temperature (°C), salinity (psu), dissolved oxygen (mg/L) in the rearing bottles during experiment of different water exchange rates.	·········· 32
Fig. 11.	Trend of pH according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange	·········· 33
Fig. 12.	Trend of alkalinity (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange	·········· 34
Fig. 13.	Trend of TAN (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange	·········· 35

Fig. 14. Trend of $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange 36

Fig. 15. Trend of $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange 37

Fig. 16. Trend of ORP (mV) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange 38

List of tables

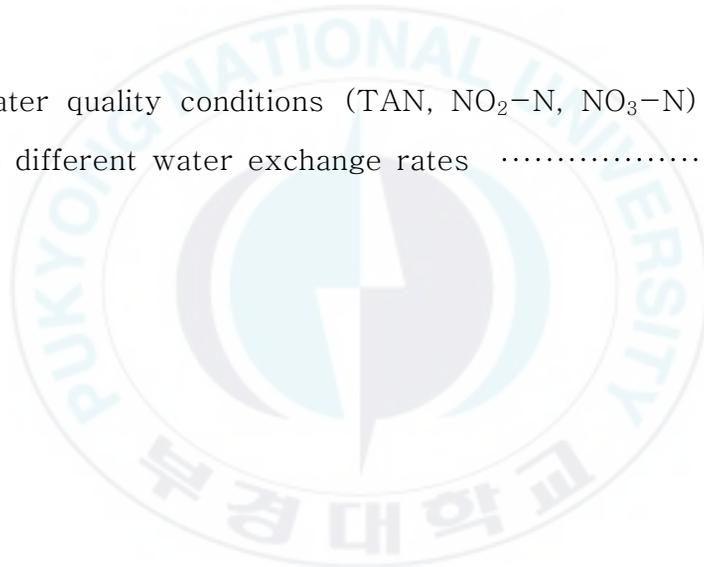
Table 1. Feeding table for breeding of the rockworm, <i>Marphysa sanguinea</i>	9
Table 2. Chemical composition of feed for the rockworm, <i>Marphysa sanguinea</i>	10
Table 3. Water analysis methods for water quality according to different water exchange rates	14
Table 4. Survival rate of the rockworm, <i>Marphysa sanguinea</i> larvae according to different rearing substrate compositions	18
Table 5. Segments number of rockworm, <i>Marphysa sanguinea</i> larvae according to different rearing substrate compositions	20
Table 6. Weight gain of rockworm, <i>Marphysa sanguinea</i> larvae according to different rearing substrate compositions	22
Table 7. Survival rate of rockworm, <i>Marphysa sanguinea</i> larvae according to different water exchange rates	25

Table 8. Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates 27

Table 9. Weight gain of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates 29

Table 10. Water quality conditions (pH, Alkalinity, ORP) according to different water exchange rates 39

Table 11. Water quality conditions (TAN, NO₂-N, NO₃-N) according to different water exchange rates 40



Effects of Rearing Substrate and Water Exchange Rate for the Rockworm
Marphysa sanguinea (Polychaeta: Eunicidae) Larvae

Young Kyung Kim

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

Abstract

Rockworm, *Marphysa sanguinea* is the most known polychaeta species with a high economic value. However, this species has a high mortality rate from the larval stage to the juvenile stage. The purpose of this study was to evaluate optimum rearing environments that affect survival and growth rates of rockworm larvae.

Two different experiments were conducted to test the performance of substrate composition and water exchange rate for rockworm larvae culture. In the first experiment, substrates used for the experiment were decomposed granite soil (1~2 mm in diameter) 100%, sand (0.02~0.2 mm in diameter) 100%, oyster shell (5~10 mm in diameter) 100%, mixture of the sand and the oyster shell 50:50 ratio and mixed substrate(mixture of the gravel, the decomposed granite soil, the sand and the oyster shell 1:1:1:1 ratio). In the second experiment, larvae were maintained in five different water exchange rates no water exchange, one cycle/day, two cycles/day, three cycles/day and continuous exchange (one cycle means that whole water in a tank is replaced by new water one time a day). Each trial was conducted in triplicate for two months.

Results showed that, appropriate substrates for rockworm larvae culture

appears to be the sand/oyster shell mixed substrate (50:50 mixture) and the all substrate mixture. In addition, three cycles/day was economically the most efficient, although the continuous exchange showed the highest survival rate.



1. 서론

환형동물문에 속하는 갯지렁이(Polychaeta)는 해양 무척추동물로 조간대 갯벌과 강 하구에 넓게 분포하는 저서생물 중의 하나이다(Bryan et al., 1987). 갯지렁이는 실제로 저서생물 중 30% 이상을 차지하며, 그 이상 우점하는 경우도 있다(Knox, 1977). 갯지렁이는 갯벌이나 물속 바닥을 기어 다니기도 하고, 굴이나 담치 또는 해조류와 같은 부착생물의 기부 등을 자유롭게 다니며 생활하거나, 퇴적물 속에 구멍을 파고 그 속에서 산다. 기질에 구멍을 파고 사는 갯지렁이류는 모래진흙, 자갈 또는 점토 등에 거주하며(Murugesan et al., 2011), 기질 속에서 먹이활동과 배변활동을 하며 생활을 한다(김, 2015b). 생활사가 비교적 짧고 번식력이 강하기 때문에 해양에서 풍부한 2차 생산자 역할을 담당하고 있으며, 저질에 굴을 뚫어 해수를 순환시킴으로써 저질 환경을 정화시킨다(Clark, 1977). 갯벌의 생태복원을 위해 실제로 경남 고성군과 전남 신안군에서는 갯지렁이 방류 사업을 시도한 바 있다. 또한 갯지렁이는 다른 무척추동물이나 저서어류, 갯벌을 찾는 조류들의 주된 먹이로 이용된다. 산업적인 측면에서 갯지렁이는 바다낚시와 레저 산업에서 미끼로 사용될 뿐만 아니라, 갯지렁이가 가지는 잠재적 상업적 가치는 한정 지을 수 없다(Gambi et al., 1994; Olive, 1999). 따라서 해양생태계 내에서 중요한 위치를 차지할 뿐만 아니라 높은 시장가격과 산업적인 잠재성을 가진 갯지렁이에 대한 꾸준한 연구가 필요하다.

우리나라에 산업적으로 이용하는 주요 갯지렁이들은 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis aibuhitensis*, 청충), 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*, 석충), 넓적발참갯지렁이(*Nectoneanthes oxypoda*, 황금충), 바위털갯지렁이(*Marphysa sanguinea*, 본충) 등 대형종이다. 특히 바위털갯지렁이는 돔, 농어, 장어 등의 고급 어종의 낚시용 미끼로 많이 이용되는 종이다. 바위털갯지

렁이는 환형동물, 털갯지렁이목, 털갯지렁이과의 다모류로 몸길이는 200~300 mm, 체폭이 13~15 mm 정도에 220~250 개의 가시마디를 가지며(韓國海洋研究所, 1990), 몸 빛깔은 붉은 갈색을 가지며 입마디와 둘째마디는 다리가 없다. 우리나라 전 연안의 조간대 하부에서 상부의 연한 저질이 섞인 바윗돌이나 자갈 사이에 주로 서식한다(Paik, 1989).

바위털갯지렁이 산업은 크게 종묘산업, 양식 산업, 파생산업으로 나뉜다. 종묘생산과 양식기술 분야에서 바위털갯지렁이 뿐만 아니라 눈썹참갯지렁이, 두토막눈썹참갯지렁이 등도 연구되었으나, 바위털갯지렁이를 제외한 갯지렁이는 경제성 부족으로 연구가 중단되어 있는 상태다(김, 2015b). 바위털갯지렁이 종묘생산을 위한 연구는 2003년(부경대 수산과학기술센터)이후 꾸준히 진행되어 왔다. 산란과 유생발생 및 치충의 성장에 미치는 사육환경(김·장, 2008), 유생발달과 기질에 따른 치충의 성장(허, 2011), 인공종묘생산을 위한 유생 발생 환경조건과 유생의 생존율 향상을 위한 사육 환경 조절(김 등, 2012), 치충의 성장과 생존에 미치는 사육기질의 영향(Kwiri, 2013), 종묘생산 초기단계에서 중요한 적정먹이와 급이율(김, 2015a), 사육기질의 유기물 함량에 따른 바위털갯지렁이 유생의 착저와 성장(김, 2015b), 등에 관한 연구가 진행되었다. 이러한 연구 과정에서 종묘 생산 시 유생에서 치충 단계까지 약 2개월 동안 발생하는 높은 폐사율이 바위털갯지렁이 양식 산업화를 어렵게 하는 것으로 시사하고 있다. 특히 유생의 착저 후 초기 치충 단계의 낮은 생존율은 먹이공급과 관련한 사육수조 내 환경문제와 관계가 있으며, 사료원의 부패로 인해 사육환경이 악화되거나, 잘못된 기질 사용으로 사육수의 흐름이 원활하지 못해 저질 내 산소공급이 잘 안되어 바위털갯지렁이 유생의 생존과 성장에 문제가 생길 수 있는 것으로 지적하고 있다(허, 2011; 김경훈, 2012). 사육 수중의 높은 암모니아 농도는 생물에 스트레스를 유발하고 성장을 방해하며 질병으로 인한 대량 폐사를 유발한다(Thurston et al., 1981).

따라서 본 연구에서는 바위털갯지렁이의 초기 생존율을 높이고 생산효율을

향상시키기 위해 사육기질 구성과 사육수 환수율을 달리하면서 사육환경이 유생의 생육에 미치는 영향을 조사하였으며 적정 사육 조건을 도출하고자 하였다.



2. 재료 및 방법

2.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존 및 성장

2.1.1 실험에 사용된 바위털갯지렁이 유생채집

경상남도 고성군 하일면 부경대학교 수산과학기술센터 모충사육수조에서 2016년 07월 15일 생산한 바위털갯지렁이 유생(Fig. 1)을 실험에 사용하였다. 실험에 유생을 사용하기 전, 해적생물 및 기타 생물과 찌꺼기를 분리, 제거하였다. 실험 사육수조에 유생은 모두 동일한 날짜에 수용되었으며, 실험은 유생수용 일주일 후 시작하였다.

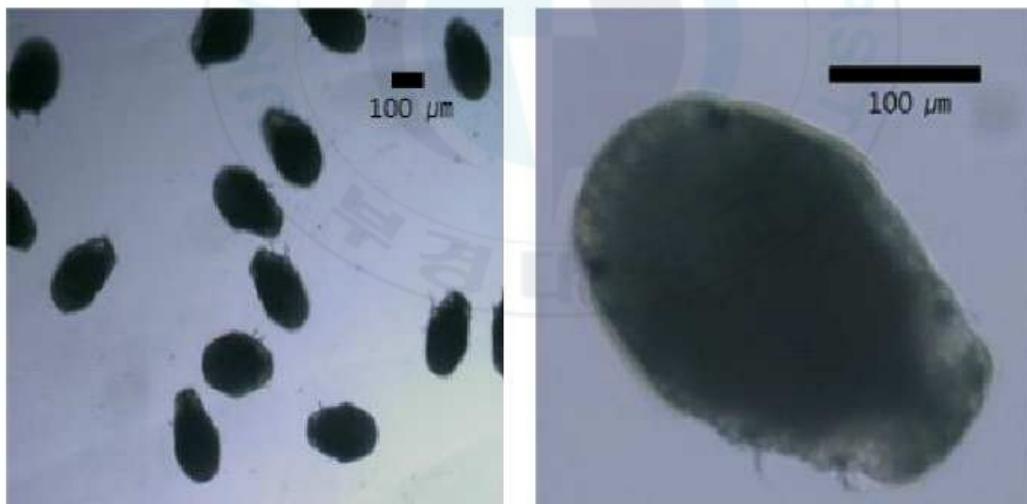
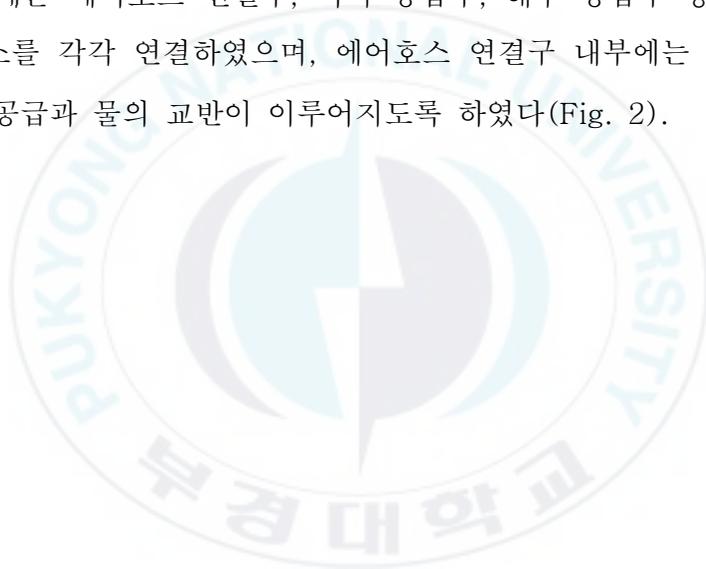


Fig. 1. Larvae of rockworm, *Marphysa sanguinea* (trochophore stage) that were used to assess the effect of rearing substrates on survival and growth rates.

2.1.2 사육수조 제작

채집한 유생의 사육을 위하여 수산과학기술센터에서 사육수조를 제작하였으며, 사육수조는 20 L 부피의 플라스틱(PET) 용기를 이용하였다. 용기의 측면 하부에 배수구 1개를 만들고, 배수구와 물이 흘러 나갈 PVC 관(직경 50 mm)을 실리콘 호스로 연결하여 물의 흐름을 원활하게 만들었다. PVC 관의 높이에 맞춰 수조 내의 물은 수위조절이 가능하게 하였다. 기질을 조성하기 전에 아래 배수구에 연결된 호스가 기질로 인해 막히는 것을 방지하기 위해 부직포로 먼저 호스 위를 덮고 조성하였다.

용기의 뚜껑에는 에어호스 연결구, 먹이 공급구, 해수 공급구 총 3개의 구멍을 뚫어 호스를 각각 연결하였으며, 에어호스 연결구 내부에는 에어스톤을 부착하여 산소공급과 물의 교반이 이루어지도록 하였다(Fig. 2).



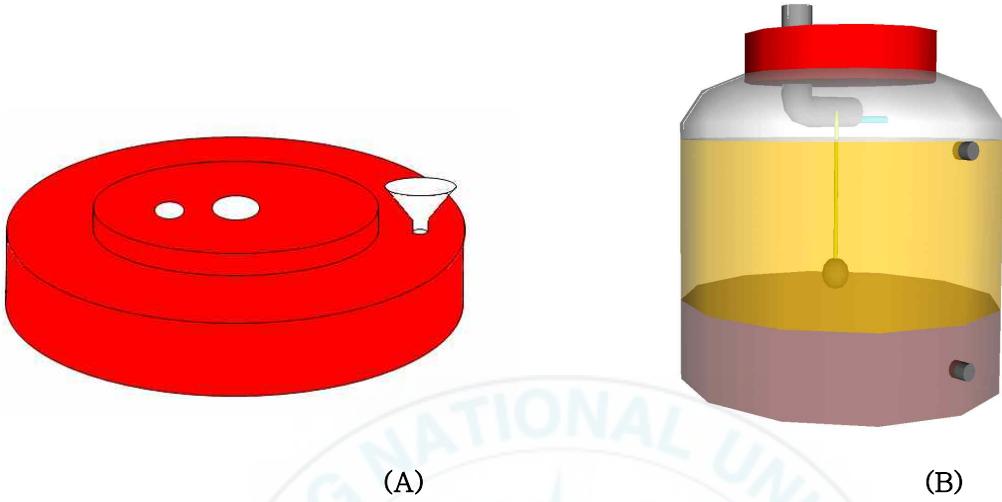


Fig. 2. Rearing tank that was used to breed for larvae of rockworm, *Marphysa sanguinea*. (A): cap of a rearing bottle, (B): rearing bottle.

2.1.3 기질조성 및 사육조건

기질로는 직경 5~10 mm 이하로 분쇄한 굴 껍각, 직경 5 mm 크기의 굵은 자갈, 직경 1~2 mm 크기 시판용 중립 마사토(화강토), 직경 0.02~0.2 mm 크기의 모래를 이용하였다(Fig. 3).

사육수조 내 물의 조성은 24시간 소독(차아염소산나트륨)한 여과해수를 먼저 채운 뒤, biofloc 배양수를 10 mL씩 3일 간격으로 넣어준다. 그 후, 5일 쯤 지나 수질이 안정화되면 중앙제어탱크를 통해 biofloc 배양수만을 흘려주었다.

실험구간은 마사토 100%, 모래 100%, 굴 껍각 100%, 혼합기질 I(굴 껍각 50%+ 모래 50%), 혼합기질 II(마사토, 모래, 굴 껍각, 굵은 자갈을 동일한 비율로 혼합) 총 5구간을 높이 10~12 cm로 설정하여 3반복으로 실험을 진행하였다.

구간별 용기 당 30,000 개체의 바위털갯지렁이 유생을 수용하였으며, 유생의 착저를 돕기 위해 사육수조에 머드 50 mL를 넣어주었다. 산소공급은 산소발생기와 에어스톤을 통해 7.3~7.5 mg/L 유지하였다. 먹이는 하루 1회 공급하였으며(Table 1, 2) 먹이공급은 유생수용 5일째부터 매일하였다. 일주일 간격으로 biofloc 배양수 25 mL를 함께 넣어주었다. 유수량은 220 mL/min으로 24시간 연속적으로 흘려주었다.

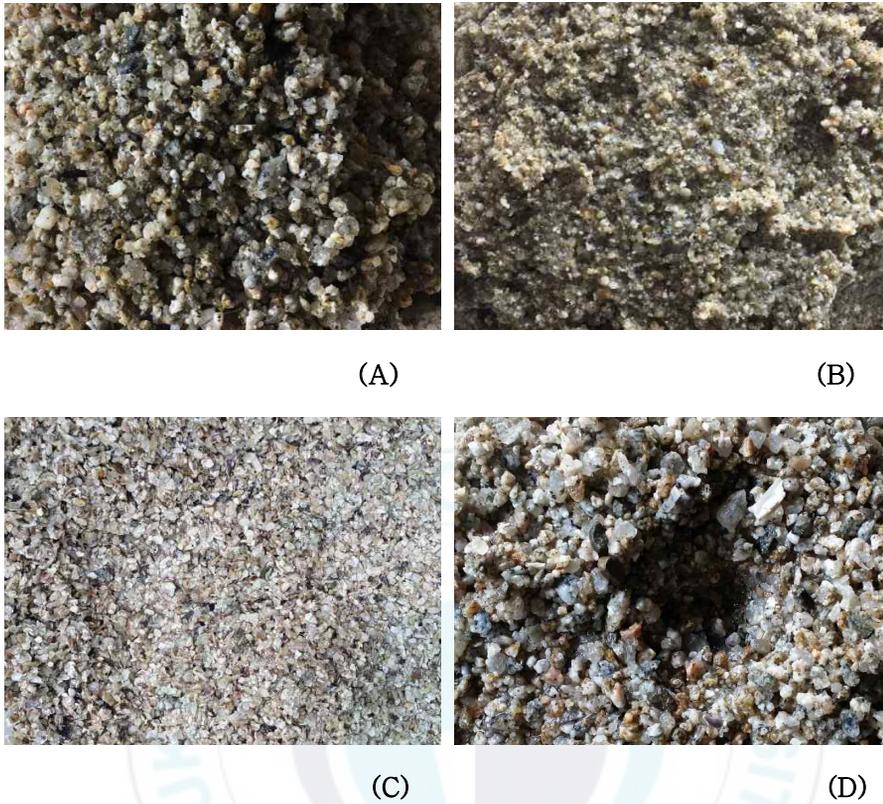


Fig. 3. Rearing substrates that were used to breed for larvae of rockworm, *Marphysa sanguinea*. (A): decomposed granite soil (1~2 mm in diameter), (B): sand (0.02~0.2 mm in diameter), (C): oyster shell (5~10 mm in diameter), (D): gravel(5 mm in diameter).

Table 1. Feeding table for breeding of the rockworm, *Marphysa sanguinea*

Larval stocking	5 days	10 days	20 days	40 days	50 days	60 days
No feed	Floc (25mL)	Artemia* (0.036g)	Artemia (0.036g)	PL+150 (0.0136g)	PL+150 (0.068g)	PL+150 (0.068g)
	Artemia (0.036g)	PL+150** (0.0068g)	PL+150 (0.0068g)	Glucose (3.2g)	PL+300 (0.0068g)	PL+300 (0.0136g)
	Glucose (3.2g)	Glucose (3.2g)	Glucose (3.2g)		Glucose (3.2g)	Glucose (3.2g)

* Artemia, Tabia.

** PL + 150, Inve (Thailand) Ltd.

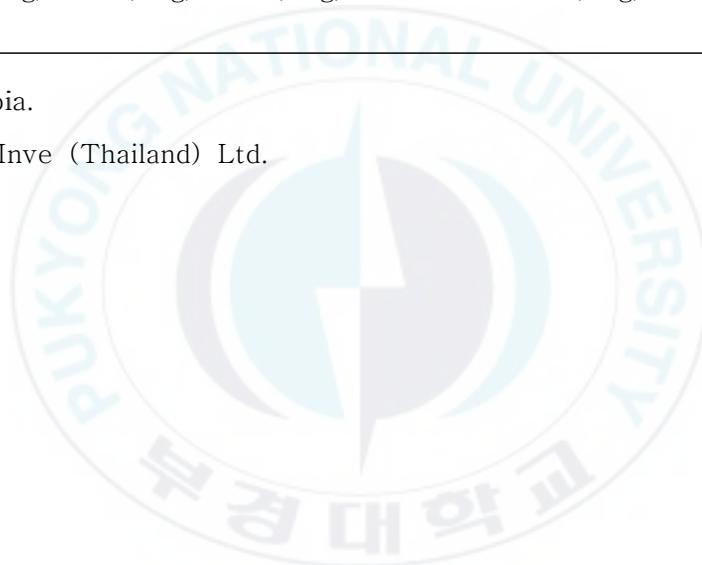


Table 2. Chemical composition of feed for the rockworm, *Marphysa sanguinea*

	Crude protein	Crude lipid	Crude ash	Fiber	Moisture
Artemia*	Max. 48%	Max. 1.5%	Min. 8%	–	–
PL+150 ULTRA**	Min. 42%	Min. 7%	Min. 39%	Max. 3%	Max. 9%
PL+300 ULTRA***	Min. 42%	Min. 7%	Min. 29%	Max. 3%	Max. 9%

*Artemia, Tabia

**PL+150 ULTRA, Inve(Thailand) Ltd.

***PL+300 ULTRA, Inve(Thailand) Ltd.

2.2 사육수 환수율에 따른 유생의 생존 및 성장

2.2.1 실험에 사용된 바위털갯지렁이 유생채집

경상남도 고성군 하일면 부경대학교 수산과학기술센터 모충사육수조에서 2016년 07월 15일 생산한 바위털갯지렁이 유생(Fig. 1)을 실험에 사용하였다. 실험에 유생을 사용하기 전, 해적생물 및 기타생물과 찌꺼기를 분리.제거하였다. 실험 사육수조에 유생은 동일한 날짜에 수용되었으며, 실험은 유생수용 일주일 후 시작하였다.

2.2.2 사육수조 제작

채집한 유생의 사육을 위하여 고성 수산과학기술센터에 사육수조를 제작하였으며, 사육수조는 20 L 부피의 플라스틱(PET) 용기(Fig. 2)로 2.1.2에 기술한 내용과 동일하다.

2.2.3 기질조성 및 사육조건

기질로는 직경 5~10 mm 이하로 분쇄한 굴 껍각, 직경 5 mm 크기의 굵은 자갈, 직경 1~2 mm 크기 시판용 중립 마사토(화강토), 직경 0.02~0.2 mm 크기의 모래를 이용하였다(Fig. 3). 사육수조 바닥에 굵은 자갈을 먼저 3 cm 높이로 깔고, 그 위에 굴 껍각과 마사토를 3:7비율로 섞어 10 cm 높이를 넣고, 맨 위에 모래 2 cm를 채워 총 15 cm의 높이로 기질을 조성하였다.

사육수조 내 물의 조성은 24시간 소독한 여과해수를 먼저 채운 뒤, biofloc 배양수를 10 mL씩 3일 간격으로 넣어주었다. 그 후, 5일경 수질이 안정화되면 중앙제어탱크를 통해 biofloc 배양수만 흘려주었다.

실험구간은 수조 내 물을 전체 한 번 환수시키는 것을 1 cycle로 두어 무환수(0 cycle. No water exchange), 하루 1회 환수(1 cycle), 하루 2회 환수(2 cycles), 하루 3회 환수(3 cycles), 24시간 연속 환수(24 hours water exchange) 총 5구간을 설정하여 3반복으로 진행하였다. 유수량은 220 mL/min으로 환수되는 전제하에 1 cycle에 50분이 소요된다.

구간별 용기 당 30,000 개체의 바위털갯지렁이 유생을 사용하였으며, 유생의 착저를 돕기 위해 사육수조에 머드 50 mL를 넣고 입식하였으며, 산소공급은 산소발생기와 에어스톤을 통해 7.3~7.5 mg/L 유지하였다. 먹이는 하루 1회 공급하였으며(Table 1과2) 먹이공급은 유생수용 5일째부터 매일하였다. 일주일 간격으로 먹이개념의 biofloc 배양수 25 mL를 함께 넣어주었다.

2.2.4 수질측정

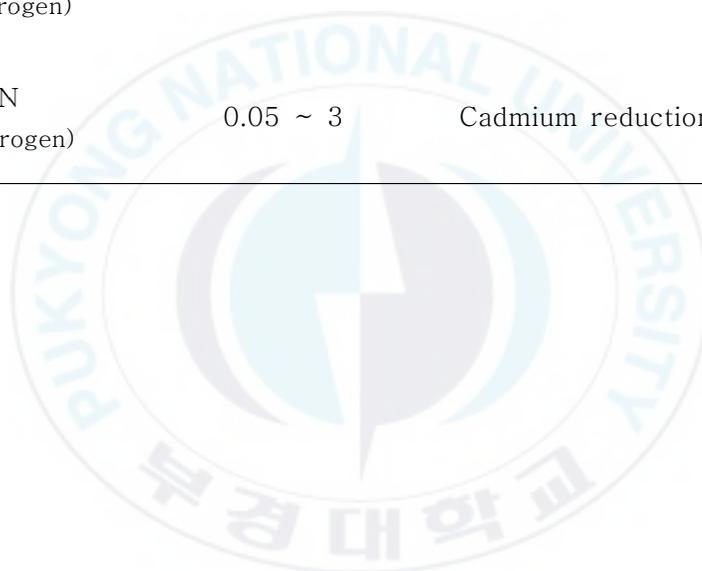
수온, pH, 용존산소(DO, dissolved oxygen), 염분도, 알칼리도, 총 암모니아 질소(TAN, total ammonia nitrogen), 아질산($\text{NO}_2\text{-N}$, nitrite nitrogen), 질산($\text{NO}_3\text{-N}$, nitrate nitrogen), 산화환원전위(ORP, oxidation reduction potential)을 측정하였다.

수온, pH, 용존산소, 염분도는 1일 1회 측정하였고, 알칼리도, 총 암모니아 질소, 아질산, 질산, 산화환원전위는 주 2회 측정하였다. 수온은 온도조절기(OKE-6422H, 세원오케이(주), 한국)를 이용하여 측정하였으며, pH는 Ph/ISE meter(Model735P, ㈜이스텍, 한국)를 이용하여 측정하였다. 용존산소는 용존산소측정기(ProODO, YSI사, 미국)를 이용하여 측정하였으며, 염분도는 염분측정기(Pro30, YSI사, 미국)를 이용하여 측정하였다. 알칼리도는 수질오염공정시험방법으로 실시하였다. 총 암모니아 질소, 아질산 농도는 자외-가시선 분광광도계(Optizen 2120UV, ㈜메카시스, 한국)을 이용하여 Table 3에 명시된 측정방법으로 분석하였다. 질산은 키트(HS- $\text{NO}_3\text{(N)}$ -SW kit, ㈜휴마스, 한국)를 이용하여 측정하였다. 산화환원전위의 경우 Professional Series Pro 10(Pro10, YSI사, 미국)를 이용하였다.

수온은 실험이 여름에 진행된 점을 고려하여 히터기 없이 27-30($^{\circ}\text{C}$)로 유지 가능하였다. 용존산소도 산소발생기와 에어스톤을 통해 7.3-7.5(mg/L)로 유지하였으며, 염분도 또한 중앙제어탱크를 통해 30(psu)로 유지하였다. 알칼리도의 경우 알칼리유지를 위해 탄산칼슘(CaCO_3)을 넣어주었다.

Table 3. Water analysis methods for water quality according to different water exchange rates

Analytical item	Average (mg/L)	Method
TAN (Total ammonia nitrogen)	0.01 ~ 1.0	Indophenol method
NO ₂ -N (Nitrite nitrogen)	0.003 ~ 0.5	Diazotization method
NO ₃ -N (Nitrate nitrogen)	0.05 ~ 3	Cadmium reduction method



2.3 통계처리

SR (Survival rate) : (final population / initial population) x 100.

자료의 통계처리는 SPSS program 18 으로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균 간의 유의성(P < 0.05)을 검정하였다.



3. 결과

3.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존 및 성장

3.1.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존

사육기질 구성에 따른 바위털갯지렁이 유생의 생존율을 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다. 생존율은 E 실험구간이 $4.93 \pm 2.74\%$ 로 가장 높은 생존율을 나타내었다. 다음으로 높은 생존율을 가진 구간은 D 실험구간으로 $4.72 \pm 0.16\%$ 의 값을 보였다. 차례대로 C 실험구간이 $4.04 \pm 0.99\%$, B 실험구간에서 $3.62 \pm 1.51\%$ 의 생존율을 나타내었다. 마지막으로 A 실험구간에서 $2.45 \pm 1.51\%$ 의 값으로 가장 낮은 값을 나타내었다.

3.1.2 사육기질 구성에 따른 유생의 성장

사육기질 구성에 따른 바위털갯지렁이 유생 성장을 Table 5, Fig. 5에 강모가 있는 체절 수를 계수하여 성장속도를 비교해보았고, Table 6, Fig. 6에 실험 후 최종 무게 증가량을 측정하여 성장을 나타내었다. 무게 증가량의 경우, 실험 후 한 사육수조 당 무작위로 선택한 30마리 개체의 무게를 측정하였다.

유생 생존율이 가장 높았던 E구간이 5.20 ± 0.90 mg의 값으로 가장 낮은 무게 증가량을 나타내었다. 반대로 유생 생존율이 가장 낮았던 A구간에서 무게 측정값이 25.2 ± 5.60 mg 값으로 가장 높게 나타났다. 나머지 B구간은 22.5 ± 4.10 mg, C구간에서는 9.10 ± 3.20 mg, 나머지 D구간에서 18.1 ± 1.50 mg의 무게 측정값으로 무게 증가 값을 비교할 수 있었다.

바위털갯지렁이의 강모가 있는 체절 수를 계수하여 성장속도 및 성장을 비교하였다. 실험시작 후 15일차까지는 비슷하다가 20일차부터 조금씩 격차가

생기면서 35일차에는 성장의 차이가 확연히 뚜렷해졌다. 무게측정값이 가장 낮았던 E구간은 성장속도도 가장 느렸으며, 최종 체질의 수도 가장 적었다. 무게 증가량이 가장 높았던 A구간은 무게 값뿐만 아니라 최종 체질 수 또한 가장 많았다.

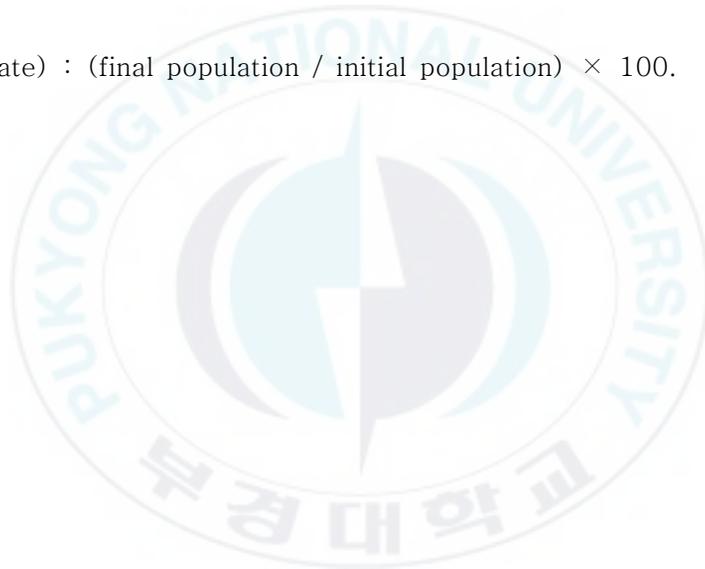


Table 4. Survival rate of the rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions

Experimental groups					
	A	B	C	D	E
SR (%)	2.45±1.51 ^a	3.62±2.18 ^a	4.04±0.99 ^a	4.72±0.16 ^a	4.93±2.74 ^a

Rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate.

SR (Survival rate) : (final population / initial population) × 100.



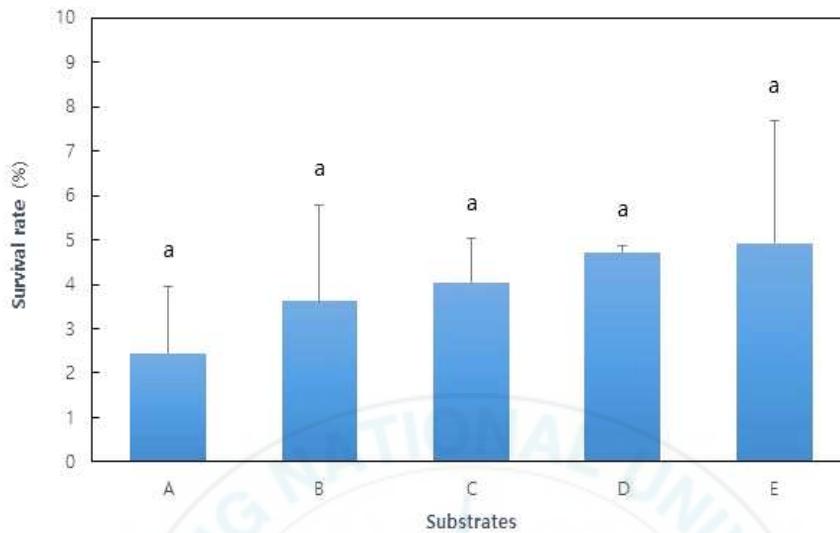


Fig. 4. Survival rate of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate.

Table 5. Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions

Days	Segments number				
	Experimental groups				
	A	B	C	D	E
5	8	7	6	7	5
10	9	8	7	8	6
15	10	9	8	8	8
20	10	12	8	10	8
25	13	13	12	12	11
30	18	17	13	14	13
35	20	19	15	18	17
40	26	24	18	18	18
45	32	28	22	22	18
50	36	29	24	24	19
55	37	33	24	25	22
60	41	37	27	29	25

Different rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate.

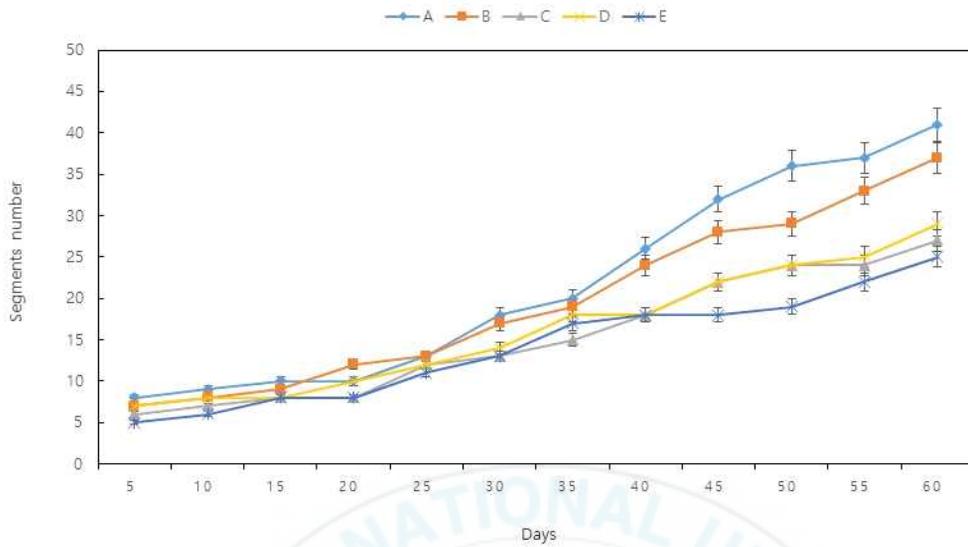


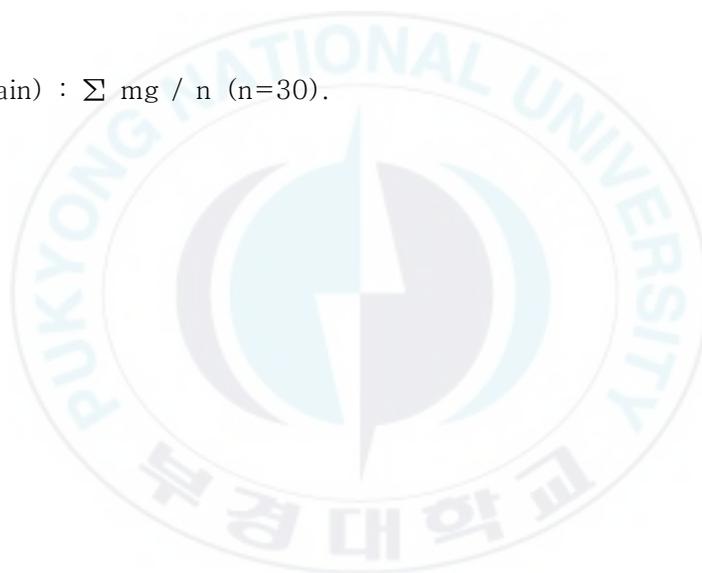
Fig. 5. Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate.

Table 6. Weight gain of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions

Experimental groups					
	A	B	C	D	E
WG (mg)	25.2±5.60 ^a	22.5±4.10 ^{ab}	9.10±3.20 ^{abc}	18.1±1.50 ^{bc}	5.20±0.90 ^c

Rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate.

WG (Weight gain) : Σ mg / n (n=30).



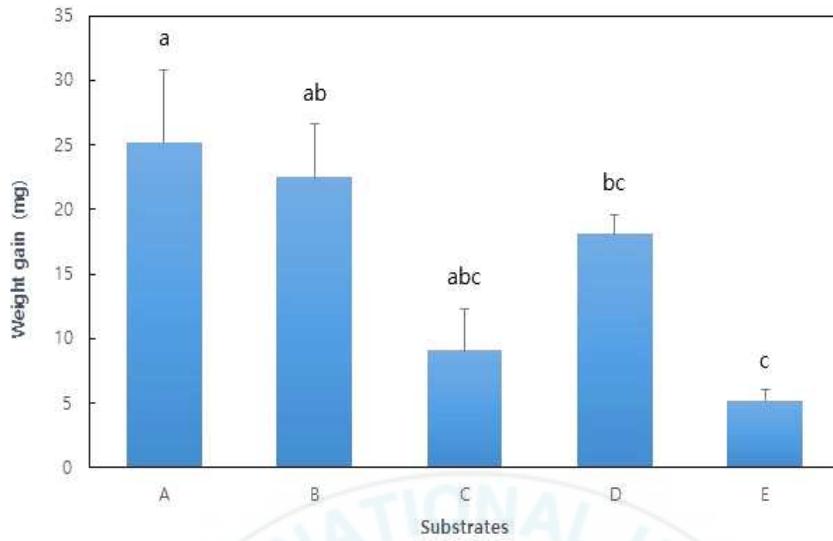


Fig. 6. Weight gain of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different rearing substrate compositions. A: decomposed granite soil 100%, B: sand 100%, C: oyster shell 100%, D: sand 50% + oyster shell 50%, E: mixed substrate.

3.2 사육수 환수율에 따른 유생의 생존 및 성장

3.2.1 사육수 환수율에 따른 유생의 생존

사육수의 환수율에 따른 바위털갯지렁이 유생의 생존율은 Table 7, Fig. 7에 나타내었다. 생존율의 경우 C구간이 $1.64 \pm 0.78\%$ 로 가장 낮은 생존율을 나타냈으며, B구간 또한 $1.71 \pm 0.12\%$ 로 C구간과 큰 차이가 없었다. 그 다음으로 A구간이 $2.26 \pm 0.15\%$, D구간이 $3.27 \pm 0.89\%$ 순으로 생존율이 높았다. 마지막으로 E구간에서 $4.93 \pm 1.13\%$ 로 총 다섯 구간 중 제일 높은 생존율을 나타내었다.

3.2.2 사육수 환수율에 따른 유생의 성장

사육수 환수율에 따른 강모가 있는 치층의 체절수를 계수하여 성장속도를 비교하였으며(Table 8, Fig. 8), 실험 후 최종 무게 증가량을 측정하여 성장을 Table 9와 Fig. 9에 나타내었다.

실험 시작 후 한 달까지는 비슷한 성장속도를 보이다가 약 35일 이후부터 뚜렷한 차이가 보이기 시작했다. A구간과 D구간이 최종 체절 수가 각각 54, 48개로 높은 성장을 보였다. 반면에 E구간에서는 최종 체절 수가 A구간의 2분에 1정도의 26개로 가장 적었다.

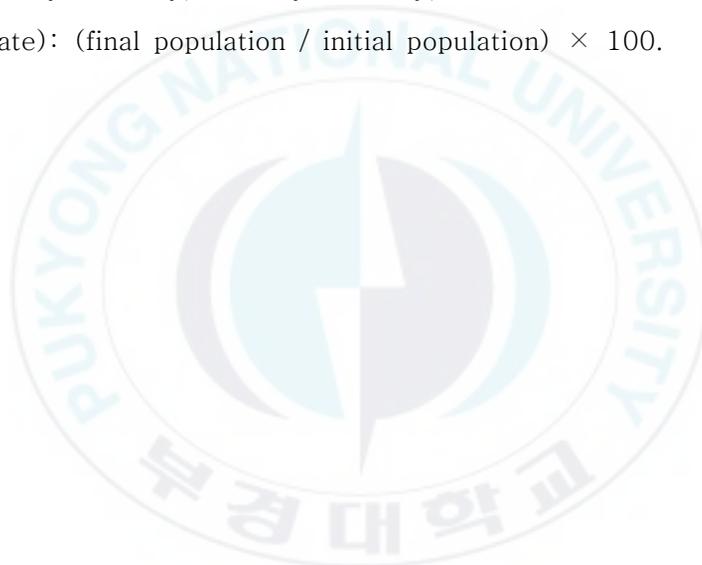
최종 무게측정값을 통한 성장의 비교는 생존율 구간에서 최대값을 나타낸 E구간이 5.60 ± 1.20 mg으로 제일 낮은 무게측정 값을 가졌다. 다음 무게가 높은 순대로 D구간 9.80 ± 10.4 mg, C구간 8.70 ± 2.00 mg, B구간이 8.50 ± 2.90 mg으로 가장 낮은 무게 값이 측정되었다. 마지막으로 5개의 실험구간 중 제일 높은 무게 값을 가진 구간은 A구간으로 측정값은 10.0 ± 1.70 mg이다.

Table 7. Survival rate of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates

Experimental groups					
	A	B	C	D	E
SR (%)	2.26±0.15 ^a	1.71±0.12 ^a	1.64±0.78 ^a	3.27±0.89 ^{ab}	4.93±1.13 ^b

Different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange.

SR (Survival rate): (final population / initial population) × 100.



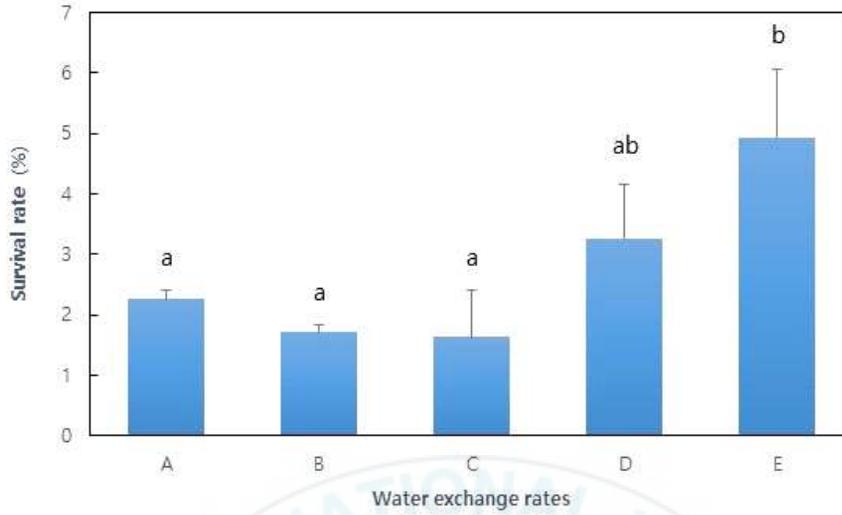


Fig. 7. Survival rate of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange.

Table 8. Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates

Days	Segments number				
	Experimental groups				
	A	B	C	D	E
5	7	7	7	7	5
10	7	7	8	7	6
15	9	8	10	11	8
20	9	13	10	12	9
25	14	15	11	12	11
30	16	16	13	16	14
35	17	16	20	17	17
40	26	18	20	21	17
45	33	19	21	23	18
50	40	19	27	33	19
55	49	31	39	43	22
60	54	36	42	48	26

Different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange.

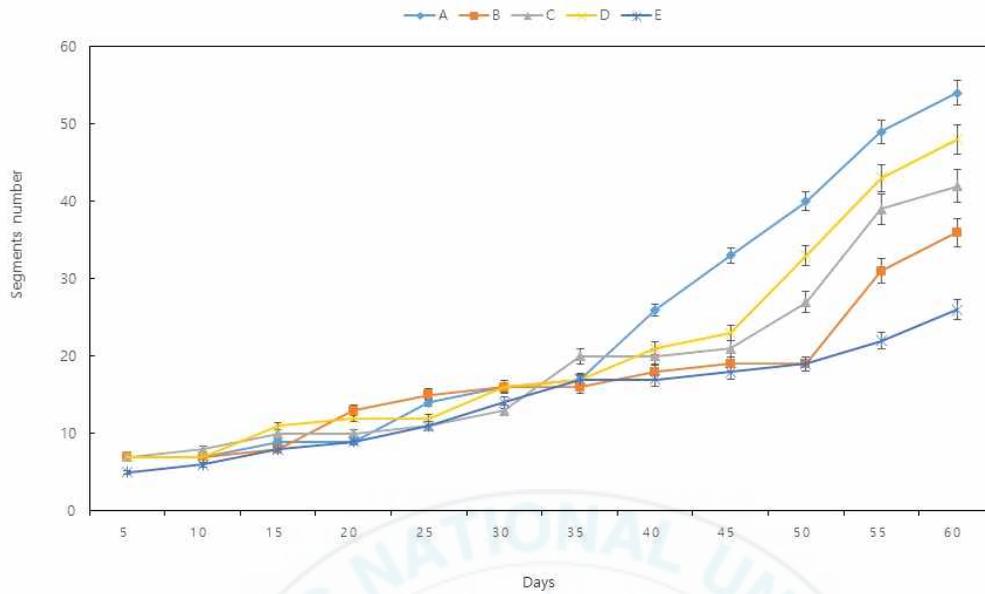


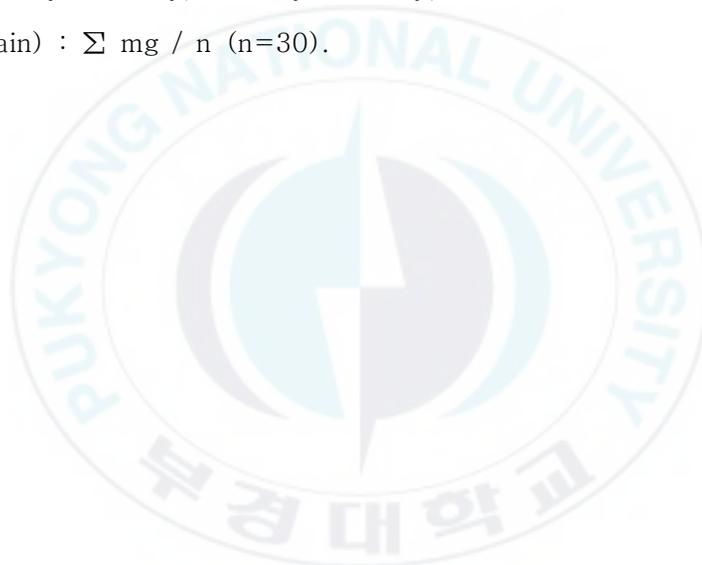
Fig. 8. Segments number of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange.

Table 9. Weight gain of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates

Experimental groups					
	A	B	C	D	E
WG (mg)	10.0±1.70 ^a	8.50±2.90 ^a	8.70±2.00 ^a	9.80±10.4 ^a	5.60±1.20 ^a

Different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange.

WG (Weight gain) : Σ mg / n (n=30).



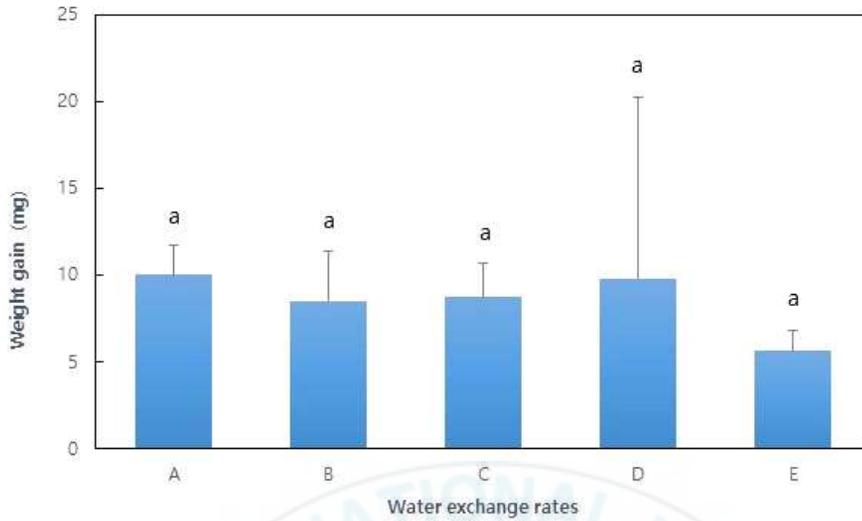


Fig. 9. Weight gain of rockworm, *Marphysa sanguinea* larvae according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange.

3.1.3 사육수 환수율에 따른 수질환경의 변화

수질측정은 수온, pH, 용존산소(DO), 염분도, 알칼리도, 총 암모니아 질소(TAN, Total ammonia nitrogen), 아질산($\text{NO}_2\text{-N}$, Nitrite nitrogen), 질산($\text{NO}_3\text{-N}$, Nitrate nitrogen), 산화환원전위(ORP, Oxidation reduction potential)를 측정하였다.

수온은 온도계를 이용하여 측정하였으며, 히터기 없이 27-30 °C로 유지하였다. 용존산소도 산소발생기와 에어스톤을 통해 7.3-7.5 mg/L로 유지시켰는데 사육수의 표층 중층 수는 유지되었으나 저층과 기질내의 산소는 측정하지 못하여 정확히 알 수 없었다. 염분도 또한 중앙 수조를 통해 30 psu로 유지시켰다(Fig. 10). 알칼리도의 경우 탄산칼슘(CaCO_3)을 넣어 알칼리 농도를 유지시켜주었다(Table 10)(Fig. 12).

pH의 경우 A구간이 7.12 ~ 7.62로 낮았으며, E구간이 7.49 ~ 7.70로 대체로 높은 값을 가졌으며, 나머지 구간들은 서로 비슷한 수치를 나타내었다(Fig. 11). 아질산의 경우 A구간, B구간, C구간이 높은 수치를 유지하였고, D구간과 E구간이 대체로 낮은 값을 유지하였다(Fig. 14). 총 암모니아 질소 역시 A구간이 0.002 ~ 1.714의 넓은 범위로 높은 값을 나타내고, 0.007 ~ 0.097범위로 낮은 값이 측정된 E구간을 포함하여 나머지 구간들은 서로 비슷하게 무환수 구간보다 낮게 측정되었다(Fig. 13). 질산의 경우 실험이 진행될수록 그 값이 누적되었으며, A구간이 0.003 ~ 0.555 값으로 낮은 값으로 측정되었으며, 나머지 구간들은 A구간 값의 두 배에 달하는 높은 값을 가졌다(Fig. 15). 수조 내 용존산소량과 관련이 있는 산화환원전위는 A구간에서 131 ~ -201범위로 수치가 크게 떨어지는 형태를 보였다. 그 다음이 B구간에서 198 ~ -1범위로 수치가 조금씩 떨어졌으며, 나머지 구간들에서는 어느 정도 일정 범위를 유지하였다(Table 10과 11)(Fig. 16).

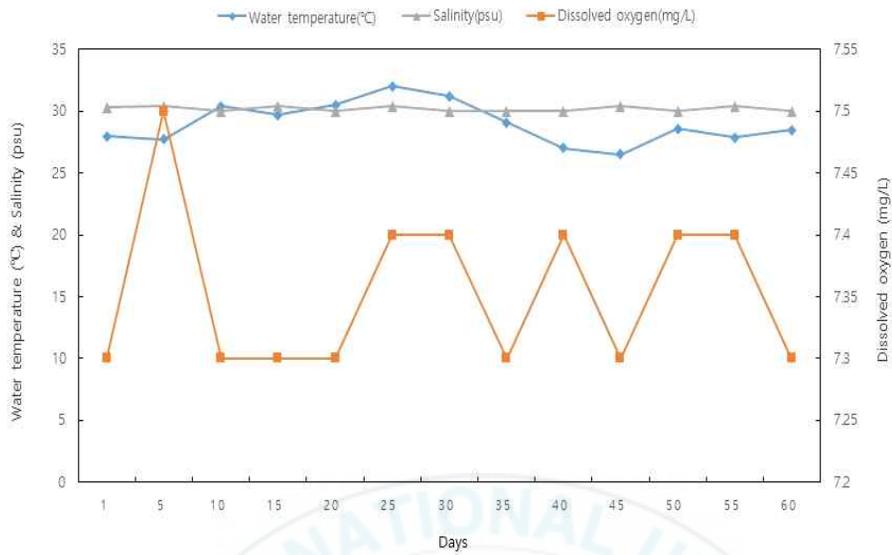


Fig. 10. Changes of water temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity (psu), dissolved oxygen (mg/L) in the rearing bottles during experiment of different water exchange rates.

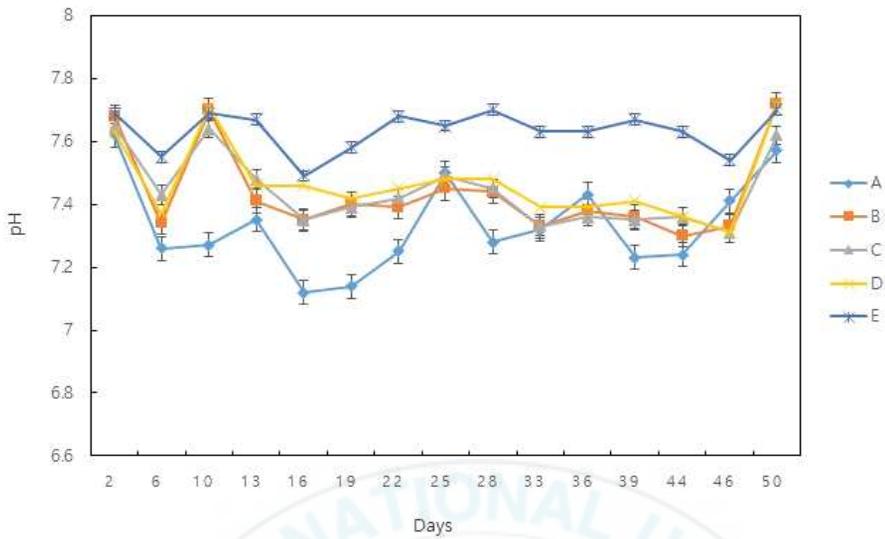


Fig. 11. Trend of pH according to different water exchange rates. A: 0 cycle /day (No water exchange), B: 1 cycle /day, C: 2 cycles /day, D: 3 cycles /day, E: 24 hours water exchange.

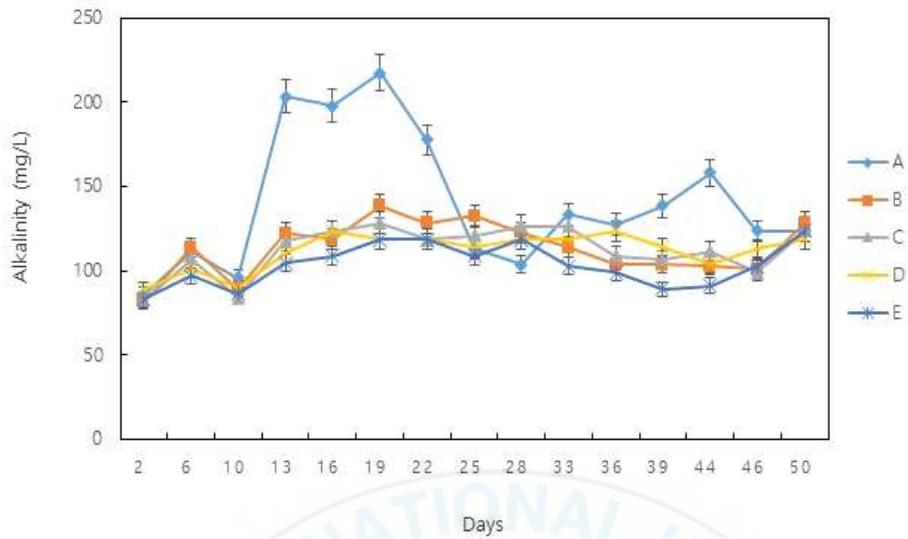


Fig. 12. Trend of alkalinity (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

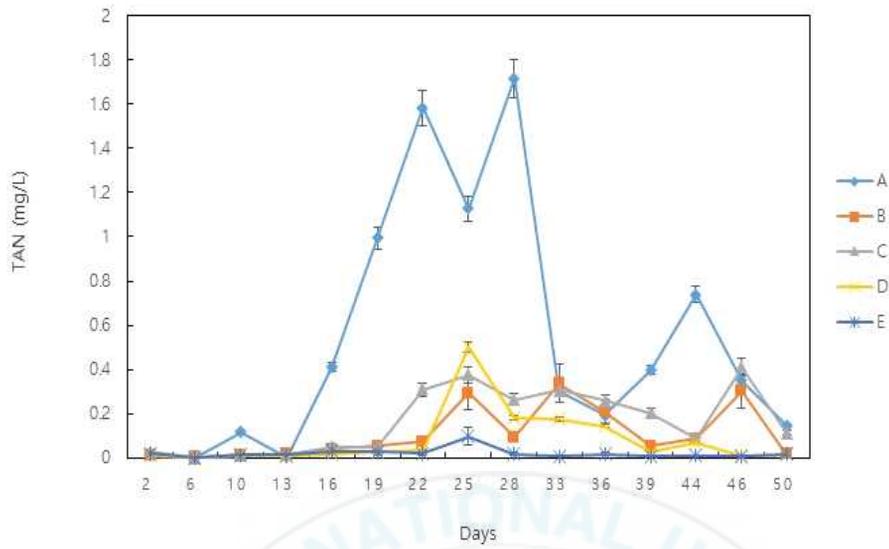


Fig. 13. Trend of TAN (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

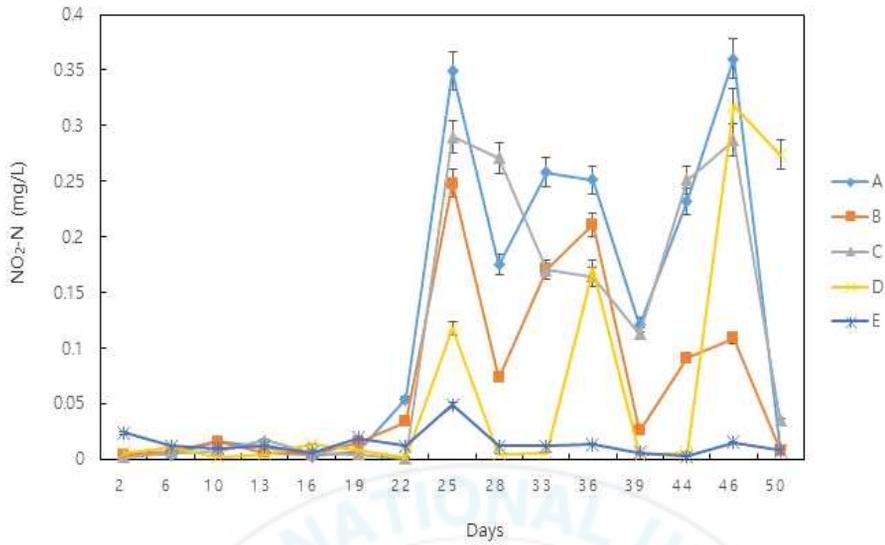


Fig. 14. Trend of $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

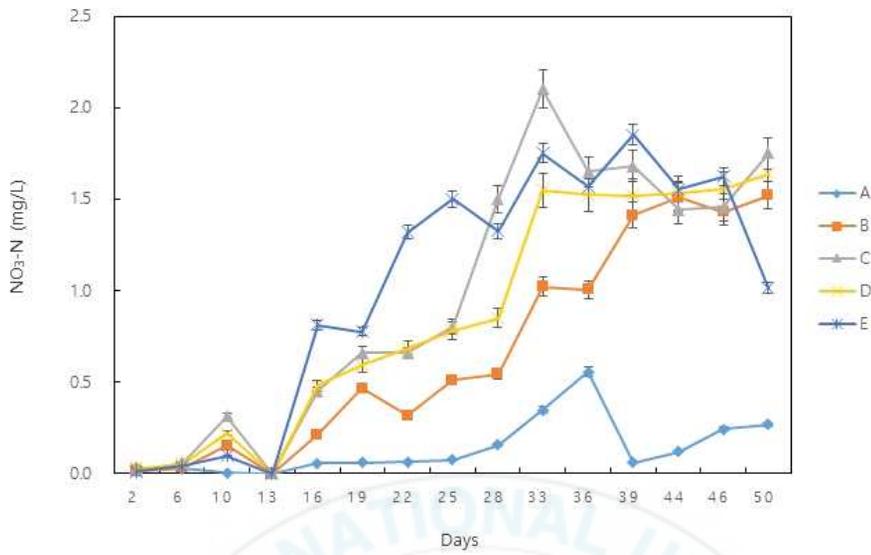


Fig. 15. Trend of $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

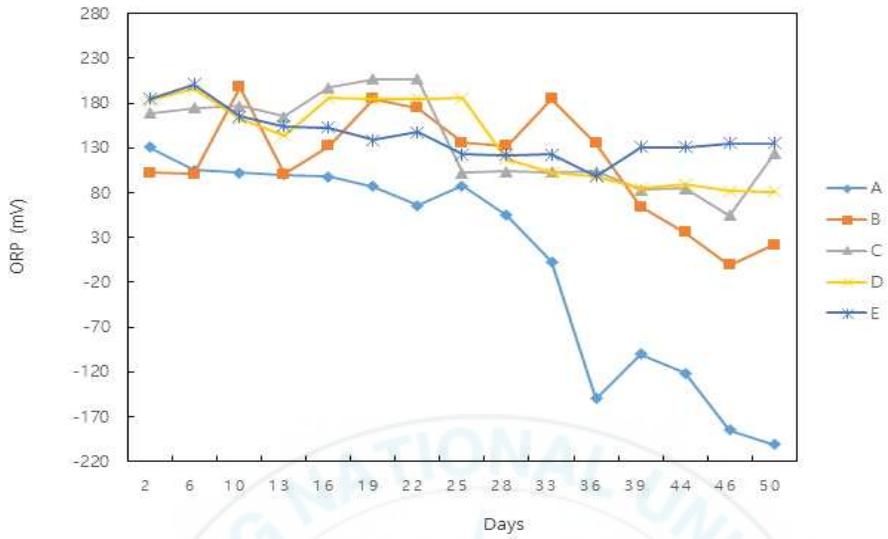


Fig. 16. Trend of ORP (mV) according to different water exchange rates. A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

Table 10. Water quality conditions (pH, Alkalinity, ORP) according to different water exchange rates

Treatment	Water analytical item		
	pH	Alkalinity (mg/L)	ORP (mV)
A	7.12 ~ 7.62	85.63 ~ 217.38	131 ~ -201
B	7.30 ~ 7.72	81.68 ~ 138.33	198 ~ -1
C	7.31 ~ 7.65	82.34 ~ 128.45	55 ~ 207
D	7.31 ~ 7.72	88.93 ~ 123.51	81 ~ 196
E	7.49 ~ 7.70	83.00 ~ 123.51	99 ~ 201

A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

Table 11. Water quality conditions (TAN, NO₂-N, NO₃-N) according to different water exchange rates

Treatment	Water analytical item		
	TAN (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)
A	0.002 ~ 1.714	0.003 ~ 0.349	0.003 ~ 0.555
B	0.003 ~ 0.303	0.004 ~ 0.248	0.015 ~ 1.521
C	0.002 ~ 0.375	0.002 ~ 0.287	0.015 ~ 2.100
D	0.005 ~ 0.502	0.002 ~ 0.318	0.030 ~ 1.640
E	0.007 ~ 0.097	0.003 ~ 0.049	0.010 ~ 1.851

A: 0 cycle/day (No water exchange), B: 1 cycle/day, C: 2 cycles/day, D: 3 cycles/day, E: 24 hours water exchange.

4. 고찰

4.1 사육기질 구성에 따른 유생의 생존 및 성장

김(2012)의 결과에 따르면 바위털갯지렁이 성충과 치충의 생존 및 성장에 영향을 끼치는 적정 사육기질은 차이가 있었다. 성충의 경우 먹이섭취를 위한 이동과 환수율이 기질사이의 용존산소량 영향을 받아 기질의 입자가 클수록 용이하지만, 치충의 경우 기질의 입자가 크면 서식공 형성이 어려우며 기질의 입자가 작으면 환수와 이동 그리고 산소공급에 있어 문제가 있다고 보고되었다. 본 실험에서는 바위털갯지렁이 유생의 생존과 성장에 끼치는 사육기질의 영향을 알아보기 위하여 수행하였다.

생존율 결과는 마사토(화강토) 100%구간이 가장 낮았으며, 그다음 생존율이 낮은 순서대로 모래 100% 구간, 굴 껍각 100% 구간, 모래와 굴 껍각 혼합 구간, 마지막으로 혼합기질 구간 순으로 높은 생존율을 나타내었다. 단일기질로 구성된 구간이 혼합기질로 이루어진 구간보다 비교적 낮은 생존율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

바위털갯지렁이는 실트질이 우세한 바위 밑과 자갈 등이 섞인 저질이 있는 곳에 주로 분포하며, 바위털갯지렁이 양식을 위한 기질로는 주로 모래, 마사토, 자갈 등이 사용되지만, 이 기질들은 물 빠짐이 좋지 않아서, 기질 내부가 부패하는 사례가 많거나, 무게가 많이 나가 작업에 용이하지 못하다. 따라서 바위털갯지렁이의 기질로는 물 빠짐이 좋고, 작업에 용이한 가벼운 것이 좋은데 그 좋은 예가 굴 껍각이다. 허(2011)의 연구에 따르면 굴 껍각을 단독으로 사용한 기질에서 가장 좋은 배수율을 보였으며, 동일한 양의 해수를 공급했을 때 100%의 순환율을 보였다고한다. 또한 굴 껍각이 사용된 구간이 굴 껍각을 사용하지 않은 구간보다 대체적으로 높은 배수율을 가졌다. 실제 본 실험에서 굴 껍각 100% 구간과 모래 50% + 굴 껍각 50%구간이 마사토와

모래만으로 이루어진 실험구보다 높은 생존율을 가진 것을 확인할 수 있었다. 강(2000)의 논문에 의하면 시판용 모래속의 니질이 많이 포함될 경우 덩어리짐으로 사육수의 물 빠짐이 원활하지 못해 해수 순환에 어려움이 있다고 하였다. 따라서 모래 100% 구간의 원활하지 못한 해수 순환이 유생의 생존율에 부정적인 영향을 끼쳤을 가능성이 크다. 이를 통해 바위털갯지렁이 초기단계에 사육기질이 끼치는 영향은 크다는 것을 확인할 수 있다.

김(2015b)연구에서는 바위털갯지렁이 초기생활사별 영향을 미치는 기질의 특징을 정리하였다. 먹이를 섭취하지 않는 7일까지는 기질의 입도에, 이후 15일까지는 기질의 유기물과 입도에, 15일 이후부터는 기질의 유기물, 입도와 함께 기질의 미지영양원에 영향을 받는다고 보고하고 있다. 즉, 성장단계별 요구되어지는 요인들이 달라 바위털갯지렁이 초기단계 사육에 있어 사육기질에 대해서도 고려해야 할 점이 많은 것을 시사하고 있다. 이 점을 통해 본 실험에서 단일기질로 구성된 실험구보다 두 종류 이상 기질이 혼합된 실험구들이 더 나은 생존율을 나타낸 것으로 보인다. 또한 혼합구간이 마사토 100%, 모래 100%인 구간에 비해 자연퇴적물조성비와 유사한 조건으로 바위털갯지렁이 유생의 적정사육조건이라고 여겨진다.

본 실험의 성장 측정 결과, 생존율이 가장 높았던 혼합기질 구간이 가장 낮았으며, 모래 100% 구간과 마사토 100% 구간이 높은 성장 값을 나타내었다. 굴 폐각 100% 구간보다 모래와 굴 폐각이 혼합된 실험 구에서 약 두 배 정도의 성장 값이 컸다.

김(2015b)연구에서 바위털갯지렁이 유생의 경우 착저 시간이 빠를수록 더 빨리 성장하는 것을 알 수 있었다. 빠른 착저는 유생의 초기 소비 에너지를 최소화하고, 절약된 에너지를 성장에 집중 할 수 있게 함을 의미한다. 착저 시간은 기질의 입도가 작을수록 빠른 점을 통해 본 실험에서 기질의 입도가 비교적 다른 구간보다 작은 마사토와 모래 100% 구간이 높은 성장률을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 기질의 입도가 클수록 기질간의 공극 또한 커서

성장에 영향을 끼치는 사료가 기질 내에 정체해 있지 못하게 된다. 이러한 사육환경 내 사료의 손실로 바위털갯지렁이 유생의 낮은 성장을 초래한다.

김 (2012)의 연구에 따르면 바위털갯지렁이 성충의 성장은 굴 패각의 비율이 높을수록 높았다. 그 원인으로 굴 패각 비율이 높을수록 기질간의 굳는 현상이 적어 먹이섭취를 위한 이동이 좋고, 환수율이 높고, 기질사이에 용존산소량이 높아 좋은 수질환경이 조성되었을 것으로 여기고 있다. 그러나 본 실험과 같이 유생의 경우 기질의 입자가 크면 서식공 형성이 어려우며, 먹이가 기질간의 공극에 들어가 표면에 살고 있는 유생이 섭식하기가 어렵기 때문에 굴 패각 100%로 구성된 실험구간이 낮은 성장 값을 가진 것으로 볼 수 있다.



4.2 사육수 환수율에 따른 유생의 생존 및 성장

본 실험은 바위털갯지렁이 초기단계의 적정 사육환경을 알아보려고 진행하였다. 초기단계에 영향을 끼치는 요인은 먹이, 수질, 기질 등 다양한 요인들을 들 수 있는데 그 중에서도 사육수 환수율이 바위털갯지렁이 유생의 생존과 성장에 끼치는 영향에 대해 알아보려고 진행하였다.

생존율부분에서 24시간 계속 환수를 해준 구간($4.93 \pm 1.13\%$)과 3환수 구간($3.27 \pm 0.89\%$)이 다른 실험구보다 높은 생존율을 가졌으며, 차례대로 무환수 구간($2.26 \pm 0.15\%$), 1환수 구간($1.71 \pm 0.12\%$), 2환수 구간($1.64 \pm 0.78\%$)순으로 생존율이 낮았다.

실제로 임(2014)의 연구에서 환수량이 무태장어의 성장과 사육환경에 미치는 영향에 대해서 알아보았을 때, 환수를 하지 않은 실험구간에서는 생물이 사료를 먹는 양이 계속 줄고, 사료를 먹지 않아서 폐사가 많이 일어난다는 점을 통해 본 실험에서 무환수를 비롯한 1환수 2환수 구간에서 낮은 생존율이 나온 결과를 함께 비교할 수 있었다. 주수가 계속 되어진 실험 구에서는 폐사가 크게 일어나지 않고, 사료도 잘 섭취하여 성장이 비교적 서로 비슷하게 나타났다는 점 또한 본 실험의 24시간 환수, 3환수 구간에서 높은 생존율 값이 나온 결과와 유사하였다. 다만 본 실험에서 사료 섭취량에 대한 조사를 하지 못한 점이 아쉬웠다.

본 실험에서 무환수 구간이 하루 1환수, 2환수 구간보다 높은 생존율을 보인 결과를 통해 오히려 적정 환수량 이하의 환수가 바위털갯지렁이 유생에게 큰 스트레스를 줬음을 예상할 수 있었다. 즉, 환수를 적당량 이상 환수를 하지 않는 이상 환수를 아예 하지 않는 무환수와 적당량 이하의 환수는 서로 바위털갯지렁이 유생의 생존율에 큰 차이가 없으며, 오히려 적당량 이하의 환수는 생물에겐 좋지 않은 영향을 나타내었다.

성장부분에서는 생존율이 가장 높았던 24시간 환수 구간이 가장 낮은 성장을 보인 반면 생존율이 가장 낮았던 무환수 구간이 가장 높은 성장을 나타내

었다. 상대밀도에 따라 개체군이 많으면 한 개체 당 섭취할 수 있는 영양분이 적기 때문에 성장이 좋지 않을 확률이 크며, 밀도가 낮으면 한 개체 당 섭취 가능한 먹이 영양원이 많아 성장률이 높을 수밖에 없기 때문이다. 그 외 나머지 구간에서는 성장에 큰 차이가 없는 점으로부터 사육수의 환수량이 바뀌etil갓지렁이 유생의 성장에는 크게 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었다.

김(2008)연구의 경우, 사육수 비교환 방식에 의한 흰다리새우의 사육에 관한 내용을 다루었으며 이에 따른 사육수질의 변화를 비교하였다. 사육 2주째까지 $\text{NO}_2\text{-N}$ 농도가 낮은 값을 유지하다가 이후 점차 크게 증가하였다는 점이 본 실험의 수질결과와 유사하였다. 아질산 농도의 상승은 비교환 고밀도 사육시스템을 이용하는 다른 연구에서도 자주 관찰된다(Samocha et al., 2000, 2002; Browdy et al., 2001). Hu et al.(2013)의 연구에서 질산염은 용존산소 농도가 낮을수록 감소하는데, 낮은 용존산소 농도에서 탈질화 반응이 증가되어 질산염이 질소가스로의 방출이 증가하기 때문이라고 한다. 즉, 본 실험 무환수 구간에서 아질산의 값은 높은 반면 질산염의 값이 다른 구간보다 낮은 이유는 물의 흐름이 원활하지 못해 발생한 기질부패가 원인이었을 가능성이 클 것으로 추정된다. 또한 용존산소의 경우 표층, 중층 사육수에는 산소 발생기를 통해 같은 양의 산소를 주입하여 일정하게 유지시켰으나, 저층을 포함하여 기질내의 산소는 측정하지 못하여 정확하게 알 수 없기 때문에 앞으로 이런 실험에 공극수 내의 산소조사가 필요하다고 생각된다. 산화환원전위 값을 통해 무환수구간 기질의 저질상태를 파악하였다. 산화환원전위는 값의 변화에 따른 양식장 저질의 변화 정도를 알 수 있다. 산화환원전위 값이 낮을수록 기질의 혐기성이 진행되며, 100~-200 mV범위는 황화수소가 형성되면서 혐기성 저질이 심각한 수준, -200 mV이하의 값은 매우 심각한 수준을 말한다. 이 정도의 수준은 생물의 폐사율이 높은 수준이며 본 실험에서 생존율이 가장 낮았던 무환수 구간의 산화환원전위 값이 -220 mV 가까이 떨어진 것을 보아 기질 내의 부패로 인한 혐기성 조건이 형성되어 바뀌etil갓지렁이 유

생의 생존율에 악영향을 끼쳤을 것으로 판단된다. 다른 실험구들에서도 약간의 산화환원전위 값 감소가 있었는데 이는 환수로 인한 것이며, 환수로 떨어진 산화환원전위 값은 시간이 지나면서 곧 정상적인 수치로 돌아온다. Algazzar(2008)는 고밀도 어류 양식에 있어 환수율의 효과를 알아보려고 하였다. 이 실험에서는 실제 암모니아의 농도가 환수율이 높을수록 낮았으며, 환수율이 적을수록 높은 암모니아의 농도를 확인할 수 있었다. 본 실험에서도 환수가 없었던 무환수 구간에서 총 암모니아 질소 농도가 가장 높았으며, 환수량이 많은 24시간 환수 구간에서 총 암모니아 질소 농도가 가장 낮았다. 즉, 환수량이 낮아 기질의 부패가 발생하며, 기질의 부패로 인해 독성을 가지는 총 암모니아 질소의 농도가 증가하여 생물의 생육에 부적절한 영향을 끼친다.

본 실험을 통해 바위털갯지렁이 유생 사육환경에서 사육수의 환수율은 중요한 요인으로 작용되며, 적정 환수량 이상으로 환수를 할수록 수조 내의 독성을 가지는 암모니아 및 아질산의 농도는 낮다. 이는 유생의 높은 생존율과 연결이 되며, 환수를 하지 않는 구간은 기질의 부패로 인해 혐기상태가 조성되어 유생의 생존에 악영향을 끼친다. 사육수 환수율이 바위털갯지렁이 유생의 생존율에 끼치는 영향에 반해 성장률 면에서는 환수율이 크게 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다.

5. 요약

1980년대 이후 남획으로 인해 갯지렁이류 개체수가 점차 줄어들어 생산량이 크게 줄었다. 그에 따른 갯지렁이 수입량도 2001년 147톤에서 증가하여 2013년에 324톤이었다. 실제 국내 미끼 유통업체는 많은 양의 갯지렁이를 공급할 수 없어 수입에 의존하고 있다. 그렇기 때문에 우리나라 갯지렁이류의 자원 확보를 위해 인공종묘양식이 필요하다. 갯지렁이류 중에서도 바위털갯지렁이(*Marphysa sanguinea*)는 고부가가치 양식품종으로 고급어종의 낚시미끼로 많이 이용되는 종이다. 그러나 이 종은 유생 단계에서 치충 단계까지의 초기단계에 높은 폐사율로 인해 낮은 생존율을 보인다. 따라서 바위털갯지렁이 초기단계 생존율 향상을 위한 양식기술개발이 필요하다고 생각하여 본 실험을 진행하였다. 본 실험은 초기단계 사육환경을 조성하는 여러 요인들 중 사육수의 적정 사육기질의 구성과 사육수의 환수율에 대해 다루었다.

첫 번째 실험은 사육기질 구성 실험으로 기질의 구성을 서로 달리하여 어떤 기질이 바위털갯지렁이 유생에게 좋은 사육환경으로 작용하는지 알아보고자 하였다. 사육기질을 \varnothing 1~2 mm의 시판용 중립 마사토(화강토) 100% 구간, \varnothing 0.02~0.2 mm 모래 100% 구간, \varnothing 5~10 mm 굴 패각 100% 구간, 모래와 굴 패각을 50 : 50 비율로 섞은 구간 마지막으로 마사토, 모래, 굴 패각, 자갈을 같은 비율로 혼합한 혼합기질 구간 총 5개의 실험구간을 설정하여 2달간 실험을 진행하였다. 실험결과는 생존율 측면에서, 혼합기질 구간이 4.93 ± 2.74 % 값으로 가장 높은 생존율 값을 가졌다. 성장률의 경우, 생존율이 가장 높았던 혼합기질 구간은 가장 낮은 성장률을, 생존율이 가장 낮았던 마사토 100% 구간은 가장 높은 성장률을 가졌다.

두 번째 실험은 바위털갯지렁이 초기 사육단계의 적정 환수율에 대해 알아보았다. 실험구간은 사육수조 내 전체 물을 한 번 환수시키는 것을 1 cycle로

두어 무환수, 하루에 1 cycle, 2 cycles, 3 cycles, 24시간 환수 총 5개의 실험구간으로 2달간 실험을 진행하였다. 실험결과는 생존율 측면에서, 24시간 환수 구간이 4.93 ± 1.13 %로 가장 높은 생존율을 나타내었으며, 가장 낮은 생존율은 2 cycles 구간이었다. 성장률 측면에서는, 생존율에서 가장 높은 값을 가졌던 24시간 환수 구간이 5.60 ± 1.20 mg으로 제일 낮은 값을 가졌다.

위의 두 가지 실험을 종합적으로 분석해본 결과 바위털갯지렁이 초기단계 적정 사육환경을 조성하는 사육환경으로 사육기질은 모래와 굴 패각이 50% : 50% 비율로 섞인 사육기질이나 자갈, 굴 패각, 마사토, 모래가 모두 섞인 혼합기질이 적합하다. 사육수조 내 사육수의 환수의 경우 24시간 내내 환수를 하는 것이 가장 좋지만, 양식에 있어 경제적인 면을 고려했을 때 하루 3회 환수를 해주는 것도 효율적이라고 볼 수 있다.

본 연구결과를 바탕으로 바위털갯지렁이 양식생산의 기초연구와 생태환경 개선을 위한 응용 연구에 보탬이 될 것으로 판단되며, 더 나아가 대량생산을 통한 어업인 소득증대와 수출산업에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

Algazzar, M., Osman, MF., Sadek, SS. 2008. Effects of water exchange rate in intensive aquaculture system on fish productivity of desert concrete circylated ponds in Egypt. Aquafish Collaborative Research Support Program. 613-615.

Alonso, JG., Smith, BD., Rainbow, PS. 2013. Scientific note a compacted culture system for a marine model polychaete (*Platynereis dumerilii*). Pan-american journal of aquatic sciences. 8(2): 142-146.

Boucher, M.A., McAdam, S.O., Shrimpton, J.M. 2014. The effect of temperature and substrate on the growth, development and survival of larval white sturgeon. Aquaculture. 430: 139-148.

Bryan, G.W., Gibbs, P.E. 1987. Polychaete common ragworms as indicators of heavy-metal availability in marine deposits. Robert E Krieger Publishing Co., Malabar, Florida, USA. 37-39.

Butman, C.A. 1987. Larval settlement of soft-sediment invertebrates—the spatial scales of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes. Oceanogr. Mar. Biol. 25: 113-165.

Christopher, G., John, D., Welsh, C., Brian, B., Kevin, S., Steven, S. 2009. The impact of water exchange rate on the health and performance of rainbow trout *Oncorhyncjus mykiss* in water recirculation aquaculture systems. Aquaculture. 294(1-2): 80-85.

Clark, R.B. 1977. Reproduction, speciation and polychaete taxonomy. Essay on Polychaetous Annelids in Memory of Dr. Olga Hartman. 477–502.

Cohen, R.A., J.A. Pechenik. 1999. Relationship between sediment organic content, metamorphosis, and postlarval performance in the deposit-feeding polychaete *Capitella* sp. I. J. Exp. Mar. Biol. Annu. Rev. 12: 223–261.

Fauchald, K., Jumars, P.A. 1979. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. Oceanography and Marine Biology An Annual Review. 193–284.

Gaber, M. M., Omar, E. A., Abdel-Rahim, M., Nour, A. M., Zaki, M. A., & Srour, T. M. 2012. Effects of stocking density and water exchange rates on growth performance of Tiger Shrimp, *Penaeus semisulcatus* cultured in earthen ponds. Journal of Aquaculture Research & Development 2012. 3(7): 3–5.

Gambi M.C., Castelli A., Giangrande A., Lanera P., Prevedelli D., Zunarelli Vandini R. 1994. Polychaetes of commercial and applied interest in Italy: an overview. Dauvin JC, Laubier L, Reish, DJ (eds) Actes de la 4eme Conference Internationale des Polychaetes. Mem. Mus. Nat. Hist. Nat. (Fr). 162: 593–603.

Gomes, I.D., Lemos, M. F., Soares, A. M., Diez, S., Barata, C., Faria, M. 2014. Effects of Barcelona harbor sediments in biological responses of the polychaete *Capitella teleta*. Science of the Total Environment, 485: 545–553.

Good, C., Davidson, J., Earley, R. L., Lee, E., Summerfelt, S. 2014. The impact of water exchange rate and treatment processes on water-borne hormones in recirculation aquaculture systems containing sexually maturing. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 5(5): 1-7.

Graces, J. P., J. PEREIRA. 2011. Effect of salinity on survival and growth of *Marphysa sanguinea* Montagu (1813) juveniles. *Aquacult Int*. 19: 523-530.

Hossein, P. 2013. Water quality improvement by rockworm *Marphysa sanguinea* and its growth performance in the integrated culture with Olive flounder. A thesis for the degree of Doctor of Fisheries Science, Pukyong National University. 29-41.

Hsieh, H. Lian. 1994. Larval development and substrate preference at settlement in *Pseudopolydora diopatra* (Polychaete: Spionidae). *Invertebrate Reproduction & Development*. 25: 205-214.

Hutchings, P. A., P. Karageorgopoulos. 2003. Designation of a neotype of *Marphysa sanguinea* (Montagu, 1813) and a description of a new species of *Marphysa* from eastern Australia. *Advances in Polychaete Research*. Springer Netherlands. 87-94.

Imai, T. 1976. On the growth of polychaete worm, *Marphysa sanguinea*. *Aquiculture*. 24(2): 61-67.

Imai, T. 1982. The early development and breeding of *Marphysa sanguinea* (Montagu). *Benthos Res*. 23: 36-41.

Knox, G. A. 1977. The Antarctic polychaete fauna: its characteristics, distribution patterns, and evolution. *Adaptation within Antarctic Ecosystems*. 1111–1127.

Kristensen, E, 1985. Oxygen and Inorganic Nitrogen Exchange in a "*Nereis virens*" (Polychaeta) Bioturbated Sediment–Water System. *Journal of Coastal Research*. 1(2): 109–116.

Kwan Ha, Park. 2014. Current Concept on Aquaculture Farm Water Quality Regulation and Aquaculture Product Safety. 한국수산과학회 양식분과 학술대회, 12–12.

Kwiri, C.W. 2013. An effect of culture substrates on the growth and survival of rockworm (*Marphysa sanguinea*). A thesis for the degree of Master of Fisheries Science in KOICA–PKNU International Graduate Program of Fisheries Science, Pukyong National University. 50.

Mok, F., V. Thiyagarajan., P.Y. Qian. 2008. Larval development and metamorphic behaviour of the subtropical spionid polychaete *Pseudopolydora vexillosa*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 357: 99–108.

Murugesan, P., Elayaraja, S., Vijayalakshmi, S., Balasubramanian, T. 2011. Polychaetes—a suitable live feed for growth and colour quality of the clownfish, *Amphiprion sebae* (Bleeker, 1953). *Journal of the marine biological and association of India*. 53(2): 1–2.

Murugesan, P., Krishnaprakash, R., Balasubramanian, T. 2011. Polychaetes—An introduction; and its role in ecology and aquaculture. *proceedings of the national academy of sciences india section B—biological sciences*. 81: 153–159.

Olive, P.J.W. 1999. Polychaete aquaculture and polychaete science: a mutual synergism. *Hydrobiologia*. 402: 175-183.

Pawlik, J.R., Faulkner, D.J. 1986. Specific free fatty acids induce larval settlement and metamorphosis of the reef-building tube worm *Phragmatopoma californica* (Fewkes). *Journal of experimental marine biology and ecology*. 102(2-3): 301-310.

Pechenik, J. A., Rittschof, D., Schmidt, A. R. 1993. Influence of delayed metamorphosis on survival and growth of juvenile barnacles *Balanus amphitrite*. *Marine Biology*. 115(2): 287-294.

Prevedelli, D. 1994. Influence of temperature and diet on the larval development and growth of Juveniles *Marphysa sanguinea* (Polychaeta, Eunicidae). *Memoires du Museum national d'histoire naturelle*. 162: 521-526.

Prevedelli, D. 2007. Life cycle of *Marphysa sanguinea* (Polychaeta:Eunicidae) in the Venice Lagoon (Italy). *Mar. Ecol.* 28(3): 384-393.

Qian, P.Y. 1999. Larval settlement of polychaetes. *Hydrobiologia*. 402: 239-253.

Rouse, G.W., F. Pleijei. 2001. *Polychaetes*. London, Oxford University Press. 354.

Sebesvari, Z., F. Esser., T. Harder. 2006. Sediment-associated cues for larval settlement of the infaunal spionid polychaetes *Polydora cornuta* and *Streblospio benedicti*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 337: 109-120.

Thiyagarajan, V., L. Soo., P.Y. Qian. 2005. The role of sediment organic matter composition in larval habitat selection by the polychaete *Capitella* sp. I. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 323: 70-83.

Thurston, Robert V., Rosemarie C. Russo, and G. A. Vinogradov. 1981. Ammonia toxicity to fishes. Effect of pH on the toxicity of the unionized ammonia species. Environmental science & technology. 15(7): 837-840.

강경호, 이재학, 유성규, 장영진. 1997. 실험실 사육에 의한 두토막눈썸참갯지렁이, *Perinereis aibuhitensis* (Grube)의 저질 선택성과 굴의 형태. 한국수산과학회지. 30: 634-639.

김경훈, 김성균, 김병권. 2012. 고부가가치 바위털갯지렁이 (*Marphysa sanguinea*)를 이용한 산업폐기물 재활용 양식 기술개발. 부경대학교, 석사학위논문. 5-12.

김경훈. 2013. 바위털갯지렁이 대량 종묘생산을 위한 초기 사육기법. 부경대학교, 석사학위논문. 4-6.

김대희, 백재민, 강용진, 이완옥, 이병철, 김희석. 2010. 곳체다슬기의 적정 사육밀도 및 환수율에 대한 연구. 한국수산과학회 양식분과 학술대회. 53-54.

김병권. 2015a. 바위털갯지렁이 (*Marphysa sanguinea*) 종묘생산 초기단계의 적정 먹이 및 급이율. 부경대학교, 석사학위논문. 17-20.

김성균. 2015b. 바위털갯지렁이, *Marphysa sanguinea*의 초기 사육을 위한 적정 사육기질. 부경대학교, 석사학위논문. 12-15.

김창훈, 장성욱. 2008. 바위털갯지렁이 *Marphysa sanguinea*의 인공종묘생산에 미치는 사육환경의 영향. 한국양식학회지. 21(1): 34-40.

백의인. 1989. 한국동식물도감 동물편 (갯지렁이류). 한국동식물도감. 문교부 서울시 동작구. 424-425.

백의인. 1992. 해저 세계의 '환경미화원' - 갯지렁이의 별난 생태계. 과학동아. 7(11): 12-19.

서형철, 임한규, 김종식, 조영록, 장인권, 강언중. 2011. 사육조건이 꽃게(*Portunus trituberculatus* (Miers)) 유생과 어린 게의 생존과 성장에 미치는 영향. 한국수산과학회지. 44(3): 243-250.

신세연, Khorloo Yundendorj, 이상석, 강경호, 강형일. 2013. 갯지렁이(*Perinereis aibuhitensis*)에 서 분리한 *Bacillus* spp.의 생리생화학적 특성 분석. 생명과학회지. 23(3): 415-425.

이경선, 백아미. 2015. 저질개선을 위한 바위털갯지렁이의 실험적 적용. 해양환경안전학회 학술발표대회 논문집. 308-309.

임태준, 박수빈, 이경우, 안준철. 2014. 환수량이 무태장어(*Anguilla marmorata*)의 성장 및 사육환경에 미치는 영향. 한국수산과학회 양식분과 학술대회. 77-77.

장인권, 김종식, 조국진, 서형철, 조영록, Gopalakannan, A., 김봉래. 2008. 사육수비교환 방식에 의한 흰다리새우의 고밀도 사육. 한국양식학회지. 21(4): 339-345.

조국일, 이영호. 2009. 신안군 섬지역의 바위털갯지렁이 육상양식 정착화에 관한 연구. 한국도서연구. 21(2): 279-296.

조국일, 이경선, 한원희. 2013. 친환경 해안 조성을 위한 갯지렁이 종묘 방류시스템 개발. 해양환경안전학회 학술발표대회 논문집. 78-80.

조서현, 정중현, 김명희, 이규태, 김대중, 김광현, 오상필, 한창희. 2015. Biofloc을 기반으로 한 무 환수 사육 시스템의 수질 안정 유지에 미치는 수온의 영향. 생명과학회지. 25(5): 496-506.

최영웅, 노섭, 이영돈. 2002. 사육수온과 밀도가 홍민어 *Sciaenops ocellatus*의 성장에 미치는 영향. 한국양식학회지, 15(3): 131-138.

허철희. 2011. 바위털갯지렁이, *Marphysa sanguinea*의 유생발달과 기질에 따른 치충의 성장. 부경대학교, 석사학위논문. 42.

韓國海洋研究所. 1990. 해산 갯지렁이 자원조사 및 사육기법 개발. 1-136.



v 감사의 글

이 논문이 완성되기까지 지도교수로서 뿐만 아니라 인생의 스승으로써의 가르침도 함께 주신 김창훈 교수님께 고개 숙여 감사드립니다. 그리고 논문 심사를 맡아 바쁘신 틈에도 부족한 제 논문을 검토하여 가다듬어 주신 박정환 교수님, 최윤희 교수님께 깊이 감사드립니다. 또, 학부 때부터 배움의 길을 인도해주신 허성범 교수님, 장영진 교수님, 김동수 교수님, 배승철 교수님, 김종명 교수님, 남윤권 교수님, 공승표 교수님, 강성민 교수님께 감사합니다.

항상 혼자가 아닌 함께 라는 느낌을 받을 수 있었던 경남 고성 수산과학기술센터 분들 한 분 한 분께도 감사드린다는 말을 전하고 싶습니다. 먼저 행정일을 도맡아 하시며, 힘이 빠질 때마다 힘을 주신 한규만 실장님, 센터에서 맛있는 밥을 해주신 큰이모, 작은이모께 감사합니다. 그리고 처음 실험실 생활을 할 때, 많이 부족한 저를 따끔한 가르침으로 많이 변화시켜주시고, 여러 방면으로 많은 조언을 해주신 경훈오빠, 고성 생활에서 많은 의지를 하며 도움을 받은 Em언니, 실험 준비 과정부터 혼자서하기 어려운 일을 군말 없이 도와준 지홍오빠, 고성 룸메이트로 혼자 하던 고민을 옆에서 들어주고 아낌없는 조언과 힘을 준 Phoo언니, 어리지만 배울 게 많고, 고성에서의 즐거움을 주었던 인호에게도 너무나도 고맙고, 감사드립니다.

학교에서도 옆에서 실험실 일을 함께 분담해서 도와준 동주오빠, 실험실에서의 자기 몫을 제대로 하며 따로 신경 쓰지 않게 해준 현수오빠, 적막할 수 있는 실험실에서 항상 웃음을 주었던 막내 정민이, 내가 도움을 줄 수 있었던 Victor, Yepyae에게 고맙고, 감사하다는 말을 전합니다.

그리고 실험실 후배라며 항상 챙겨주신 실험실 선배님들과 잠시나마 실험실 생활을 함께했던 민정언니, 은성, 유진, 대학생살의 대부분을 함께한 동기 효빈, 지혜, 지원, 지영, 혜정, 유라 언니에게 힘이 되어줘서 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

마지막으로 제가 이렇게 할 수 있게끔 든든한 지원군 역할을 해주신 부모님, 옆에 있는 것만으로도 힘이 되어준 내 친구들에게도 고맙고, 감사드립니다. 이 글만으로 감사함을 다 표현하지는 못하지만 저도 도움을 줄 수 있는 사람이 되어 보답하도록 하겠습니다.