



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 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](#) 

공 학 석 사 학 위 논 문

바위털갯지렁이, *Marphysa sanguinea*의
초기 사육을 위한 적정 사육기질



2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

의 생 명 융 합 공 학 협 동 과 정

김 성 균

공 학 석 사 학 위 논 문

바위털갯지렁이, *Marphysa sanguinea*의
초기 사육을 위한 적정 사육기질

지도교수 김 창 훈

이 논문을 공학석사 학위 논문으로 제출함



2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

의 생 명 융 합 공 학 협 동 과 정

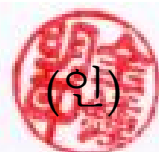
김 성 균

김성균의 공학석사 학위논문을 인준함.

2015년 2월



주 심 이학박사 김 종 명 (인)



위 원 이학박사 김 현 우 (인)



위 원 농학박사 김 창 훈 (인)



목 차

Abstract	iii
1. 서론	1
2. 재료 및 방법	4
2.1 사육기질 입도에 따른 유생의 착저 및 성장	4
2.1.1 실험재료	4
2.1.2 사육기질 입도에 따른 착저 선택성	6
2.1.3 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존	7
2.2 사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 착저 및 성장	8
2.2.1 실험재료	8
2.2.2 사육기질 유기물 함량에 따른 착저 선택성	10
2.2.3 사육기질 유기물 함량에 따른 성장 및 생존	11
2.3 사육기질 조성에 따른 치충의 성장 및 생존	12
2.3.1 실험재료	12
2.3.2 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존	12
2.3.3 사육기질 mud량에 따른 성장 및 생존	13
2.3.4 사육기질(sand) 높이에 따른 성장 및 생존	13
2.3.5 수질 분석	13
2.4 통계처리	15
3. 결과	16
3.1 사육기질 입도에 따른 유생의 착저 및 성장	16
3.1.1 사육기질 입도에 따른 착저	16
3.1.2 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존	19

3.2 사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 착저 및 성장	24
3.2.1 사육기질 유기물 함량에 따른 착저	24
3.2.2 사육기질 유기물 함량에 따른 성장 및 생존	27
3.3 사육기질 조성에 따른 치충의 성장 및 생존	30
3.3.1 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존	30
3.3.2 사육기질 mud량에 따른 성장 및 생존	35
3.3.3 사육기질(sand) 높이에 따른 성장 및 생존	40
4. 고찰	45
4.1 사육기질에 따른 유생의 착저	45
4.2 사육기질에 따른 유생의 성장 및 생존	47
4.3 사육기질 조성에 따른 치충의 성장 및 생존	49
5. 요약	51
감사의 글	52
참고문헌	54

Effects of Rearing Substrates in Early Rearing Stage
of the Polychaete *Marphysa sanguinea*

Sung Kyun Kim

Interdisciplinary Program of Biomedical Engineering, Graduate School,
Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

Abstract

Marphysa sanguinea is the most known polychaete species with high economic value however the low productivity by high mortality occurred in the early stage of larvae to juvenile. Thus, this study was conducted to find out the optimal substrates that affect to growth and survival rate of *M. sanguinea* larvae and juveniles.

It was observed that the smaller grain size ($< \varnothing 0.063$ mm) and high organic contents (5 ~ 10%) induced settlement and reduced settlement time of larvae. Moreover the growth and survival rate of larvae were recorded high levels at $\varnothing 0.004$ mm ~ 0.016 mm and organic contents 5%, 7.5% as advantageous substrates for settlement. The survival rate of juveniles was recorded more than 90% at less than $\varnothing 0.016$ mm substrate on 15 days for different grain sizes of substrates experiment. However survival rate of all the experimental sections sharply reduced, all juveniles died on 60 days. For mud quantity of substrates experiment, there was no significant difference in growth and survival rate among treatments. And for identifying the suitable substrate height, groups with substrate more than 3 cm obtained the survival rate and average weight higher than others.

In conclusion, these results indicated that substrate compositions are above more than 3 cm sand with less than $\varnothing 0.016$ mm in size and organic contents 5% ~ 7.5% mud (1 mm) in height will enhance the productivity of *M. sanguinea* at the early stages.

1. 서론

우리나라는 세계적으로 우수한 갯벌(2,550 km²)을 보유하고 있으나 주로 농업과 산업 용지를 위한 간척사업 위주로 이용해 왔으며, 수산업 측면에서는 단순 정착 생물(조개, 낙지 등) 채포 위주의 소극적 이용과 생태 체험장 등 관광자원의 소극적 활용에 그쳐 왔다(정, 2011). 하지만 최근 들어 갯벌의 다원적인 기능, 경제적 가치에 대한 연구결과가 발표됨에 따라 갯벌에 대한 사회적인 인식이 자원관리형 시각으로 변화되고 있다. 이러한 갯벌은 조류나 강에 의해 진흙이 쌓인 해안 습지로 어류, 패류, 철새, 미생물 등 다양한 생물들의 서식지 역할을 하며, 육상으로부터 배출되는 각종 오염 물질을 정화 하는 기능, 홍수에 따른 물의 흐름을 완화 및 저장 역할, 태풍이나 해일의 피해를 일차적으로 흡수하는 역할 뿐만 아니라 방대한 양의 수산물을 생산한다. 이러한 갯벌의 가치를 영국의 과학전문지인 「네이처」는 1 ha당 9,900 달러로 농경지의 가치인 92 달러보다 100 배 이상의 가치를 가진 것으로 평가하고 있다(해양수산부, 갯벌정보시스템).

갯벌에 서식하는 무척추동물 중 다모류가 종수와 서식밀도에서 가장 높은 비율을 차지하며, 전 세계적으로 9,000 종 이상의 종이 알려지고 있다(Rouse and Pleijel, 2001). 또한 다른 무척추동물이나 어류, 갯벌을 찾는 조류들의 먹이원 으로서도 중요한 역할을 담당하고 있다. 갯벌에 서식관을 만들거나 구멍을 파서 생활하는 다모류의 경우 갯벌 깊은 곳의 퇴적물을 표면으로 운반함으로써 갯벌 내의 물질순환을 원활하게 하는 직접적인 역할과 더불어 구멍을 통해 바닷물과 산소를 깊은 곳까지 흘러들게 함으로서 더 깊은 곳까지 생물이 서식할 수 있는 환경을 만들어 준다. 이처럼 해양생태계 내에서 중요한 위치를 가지는 다모류는 산업적인 측면에서도 높은 가치를 가진다.

우리나라에 서식하는 300 여종의 다모류 중 낚시용 미끼로서 많이 이용되고 있는 종은 두토막눈썹참갯지렁이(靑蟲), 바위털갯지렁이(本忠), 눈썹참갯지

렁이(석충), 넓적발참갯지렁이(黃金蟲) 등의 대형종이다. 그러나 1980년대 이후부터 자원의 회복력을 무시한 남획으로 개체수가 점차 줄어들어, 생산량이 1981년에 1,100 톤 이었던 것이 최근에는 200 톤에 그치고 있다. 그리고 갯지렁이류 수입량은 2001년에 147 톤이었던 것이 점차 증가하여 2013년에는 324 톤이었다(수산물수출입통계연보, 2013). 이처럼 국내 미끼 유통업체는 수요를 감당하기 위해 많은 양의 갯지렁이를 수입하고 있는 실정이다. 따라서 갯지렁이 자원 확보 및 어민 소득증대를 위해 양식기술개발이 반드시 필요하다.

종묘생산과 양식기술 분야에서 바위털갯지렁이, 눈썹참갯지렁이, 두토막눈썹참갯지렁이 등을 연구하였으나, 바위털갯지렁이를 제외한 갯지렁이는 경제성 부족으로 연구가 중단되어 있는 상태다. 낚시 미끼 산업 및 사료 산업 뿐 만 아니라 의약산업에서도 중요한 위치를 차지 하고 있는 바위털갯지렁이는 국내에서 분충으로 불리며 생산되는 상품 가치가 있는 개체들은 보통 길이가 200 ~ 300 mm, 폭이 13 ~ 15 mm 정도에 220 ~ 250 개의 가시마디를 가진다. 분포하는 곳의 저질은 실트질이 우세한 바위 밑과 자갈 등이 섞인 곳이며, 주로 조하대 상부와 조간대 하부에서 깊이 30 cm 까지도 서식한다(韓國海洋研究所, 1990).

이러한 바위털갯지렁이는 퇴적물 속에 서식굴을 파고 사는 생물이므로 사육시 퇴적물이 필요하며, 먹이를 먹기 위해서 체장보다 더 멀리 떨어진 곳에서는 굴 밖으로 충체를 완전히 노출시켜 이동하지 않는다(강, 2000). 따라서 바위털갯지렁이는 여러 환경요소에 노출되어 서식하지만, 대부분 기질의 보호 아래 먹이활동 및 배변활동 등을 한다. 따라서 기질은 가장 중요한 요소 중 하나이며 바위털갯지렁이와 떼어놓을 수 없는 불가분의 관계에 있다.

바위털갯지렁이 기질에 관한 국내 연구는 강(2000), 김(2008), 허(2011), 김(2012) 등에 의해 실시되어져 왔다. 이 중 강(2000)은 바위털갯지렁이 성충의 저질입도 선택성, 저질내 잠입 깊이, 서식 굴의 형태 등을 연구하였고, 허

(2011)는 치충의 기질에 따른 성장을 연구하였지만, 두 연구 모두 대량 폐사가 많은 유생시기의 기질에 대해서는 다루지 않았다. 김(2012)은 유생시기의 생산성을 높일 수 있는 기질조성법을 연구 하였다. 하지만 유생에게 미치는 기질의 각 요소별 특징에 대해서는 다루지 않았다.

많은 해양저서 무척추동물종의 유생은 치충 또는 성충 시기를 위한 적절한 서식지와 연관되어 있는 특정한 화학적 신호에 반응하여 변태한다(reviewed by Pawlik, 1992). 기질의 입도 크기는 요정갯지렁류 *Ophelia bicornis* 유생의 변태 신호로 가장 중요하다(Gray, 1974). 그리고 기질에 함유된 유기물은 일부 다모류의 착저 신호 중 하나로 밝혀져 왔다. 유기물의 질은 유기물질 단독의 농도 보다 유생의 서식지 선택 과정에서 더 중요한 역할을 한다(Thiyagarajan, 2005). 이처럼 국외에서는 다모류 유생의 기질선택이 치충 및 성충시기에 미치는 영향에 대한 연구가 다각적으로 이루어져 왔다. 하지만 바위털갯지렁이를 대상으로 한 기질 연구는 이루어지지 않았다. 비록 Prevedelli(2007)에 의해 바위털갯지렁이의 서식 기질에 대한 분석이 이루어졌지만, 이는 자연 상태의 기질로써 양식기술 분야의 연구로 보기는 어렵다.

국내외 연구를 바탕으로 기질의 여러 가지 특성 중 입도와 유기물 함량은 유생의 변태를 위한 신호, 기질 선택성 그리고 성장 및 생존에 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 그리고 기질의 높이는 고밀도로 인한 폐사와 동종간의 포식을 예방 할 수 있을 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 높은 폐사율로 인해 낮은 생산력을 보이고 있는 바위털갯지렁이 유생시기의 착저에 유리한 기질의 입도 및 유기물량을 조사하였고, 이러한 기질에서의 성장 및 생존을 또한 조사하였다. 이후에 유생시기의 적합한 기질을 바탕으로 치충 시기 사육에 적합한 기질의 조성 및 높이를 조사함으로써 바위털갯지렁이의 양식생산성을 높일 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 사육기질 입도에 따른 유생의 착저 및 성장

2.1.1 실험재료

실험을 위한 유생은 부경대학교 수산과학기술센터에서 생산한 바위털갯지렁이 유생을 사용하였으며, 해적생물 및 기타생물을 제거한 후 실험에 사용하였다. 사육기질은 표준체세트를 이용하여 마사토를 입도별로 나누어서 사용하였다. 입도는 A: Ø 0.004 mm 미만, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm로 하였으며, A는 점토와 극세립실트, B는 세립실트와 중립실트, C는 조립실트와 극조립실트, D는 세립사와 극세립사, E는 중립사, F는 극조립사와 조립사에 해당한다.

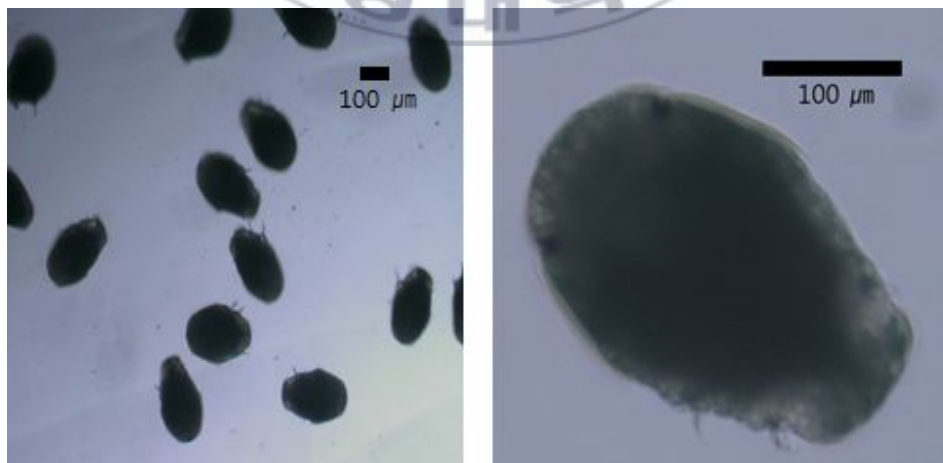


Fig. 1. Trochophore larvae of *M. sanguinea*



Fig. 2. Separation of sandy loam by grain size.

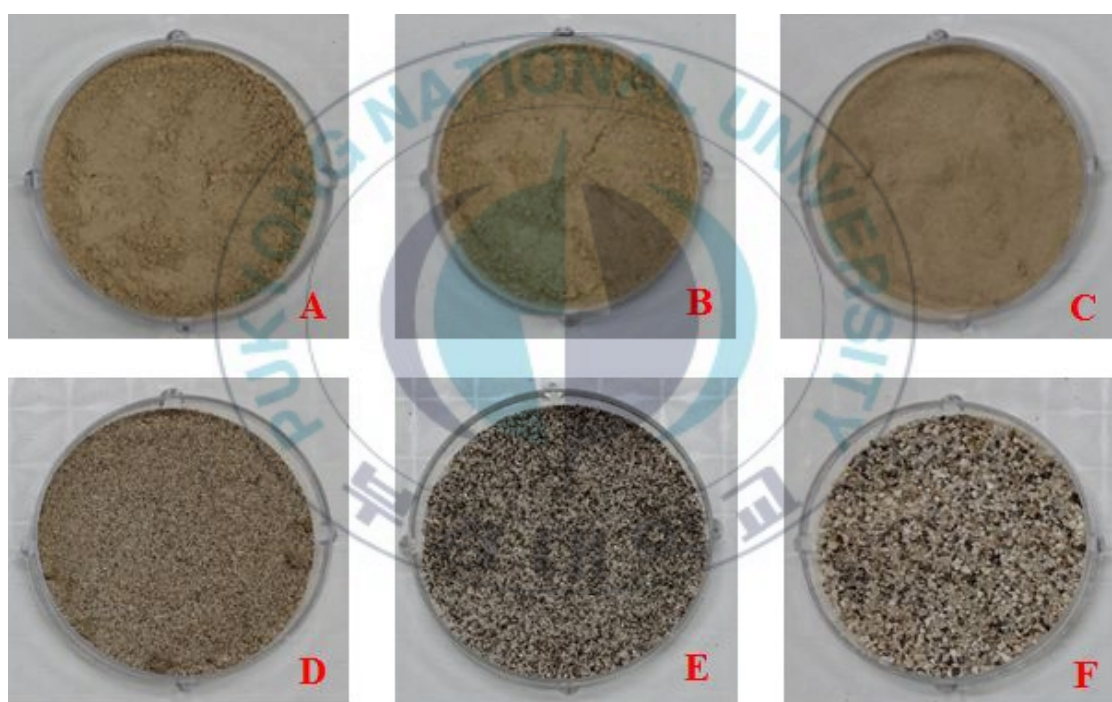


Fig. 3. Sandy loam on different grain size in well plate. A: Ø less than 0.004 mm, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm.

2.1.2 사육기질 입도에 따른 착저 선택성

사육기질 입도에 따른 유생의 착저 선택성을 조사하기 위하여 각기 다른 입도의 기질(A: Ø 0.004 mm 미만, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, control: 기질 없음)을 직경 5 cm인 Petri dish 위에 1 mm 높이로 조성하였다. 빛을 완전히 차단할 수 있는 직경 20 cm, 높이 20 cm의 수조에 Fig. 4와 같이 petri dish를 배열한 후 멸균해수 2 L를 채웠다. 수조 당 1000 마의 유생을 입식하였으며, 수온 20℃, 명암주기 LD 0/24에서 5일간 실험하였다. 입식 5일 후 수조 내 petri dish를 들어내어 현미경(OLYMPUS-IX70)을 이용하여 착저 유생의 수를 조사하였다. 실험은 3 반복으로 실시하였다.



Fig. 4. Sandy loam on different grain size for settlement in bottle.

2.1.3 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존

유생사육의 적절한 사육기질 입도를 조사하기 위하여 6 hole well plate에 멸균해수 15 mL 씩 넣고 각기 다른 입도의 기질(A: Ø 0.004 mm 미만, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, control: 기질 없음)을 1 mm 높이로 조성하였다. 1 홀당 50 미의 유생을 입식하였으며, 수온 20℃, 3일에 한번 1/2 환수, 명암주기 LD 12/12에서 7일간 실험하였다. 유생입식으로부터 3일차, 5일차, 7일차에 현미경(OLYMPUS-IX70)을 이용하여 유생의 생존율 및 성장을 측정하였으며, 유생입식 이후 6시간 간격으로 유생의 착저 시간을 측정하였다. 실험은 6 반복으로 실시하였다.



2.2 사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 착저 및 성장

2.2.1 실험재료

실험을 위한 유생은 부경대학교 수산과학기술센터에서 생산한 바위털갯지렁이 유생을 사용하였으며, 해적생물 및 기타생물을 제거한 후 실험에 사용하였다. 사육기질은 고성 자란만에서 채집한 mud를 강열감량(IL) 실험을 통해 유기물 함량이 10% 인 것을 사용하였다. 채집한 mud를 $\varnothing$ 0.016 mm인 체에 거른 후 고압증기멸균장치를 이용하여 121℃에서 15분간 멸균하는 전처리 과정을 거쳤다. 이후에 처리하지 않은 mud를 유기물 함량 10% mud(10% organic content)로 하고 600℃에서 4시간 동안 유기물을 모두 태운 mud를 ashed mud(0% organic content)로 하였다. 그리고 mud의 건중량은 습중량의 1/3 이었으므로 10% mud 1 g에 ashed mud 0.33 g을 섞어서 5% mud(5% organic content)를 만들었다. 이와 같은 방법으로 유기물 함량이 10%, 7.5%, 5%, 2.5%, 0%인 mud를 만들었다.

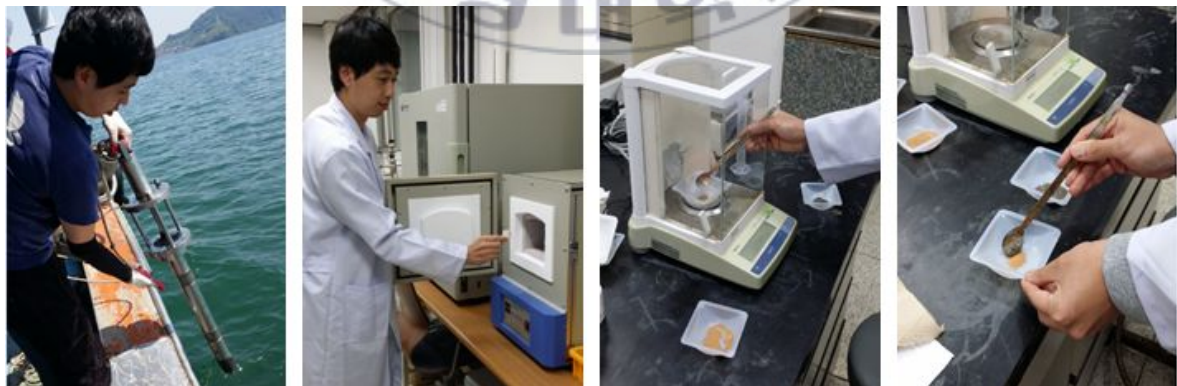


Fig. 5. Procedure for making organic contents substrates.

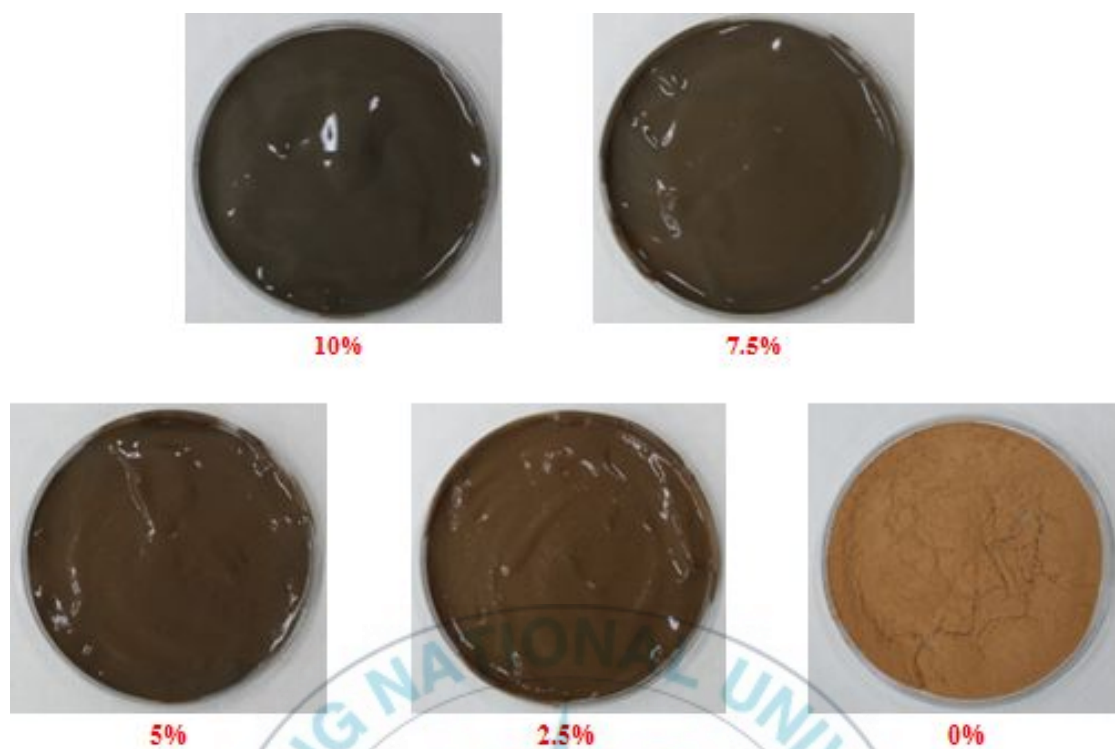


Fig. 6. Different organic contents substrates in well plate.

2.2.2 사육기질 유기물 함량에 따른 착저 선택성

사육기질의 유기물 함량에 따른 유생의 착저 선택성을 조사하기 위하여 각기 다른 유기물 함량의 기질(10%, 7.5%, 5%, 2.5%, 0% organic content)을 직경 5 cm인 petri dish 위에 1 mm 높이로 조성하였으며, 기질이 없는 구간을 control로 하였다. 빛을 완전히 차단할 수 있는 직경 20 cm, 높이 20 cm의 수조에 Fig. 7과 같이 petri dish를 배열한 후 멸균해수 2 L를 채웠다. 수조당 1000 마의 유생을 입식하였으며, 수온 20℃, 명암주기 LD 0/24에서 5일간 실험하였다. 입식 5일 후 수조 내 petri dish를 들어내어 현미경(OLYMPUS-IX70)을 이용하여 착저 유생의 수를 조사하였다. 실험은 3 반복으로 실시하였다.



Fig. 7. Different organic contents substrates for settlement in bottle.

2.2.3 사육기질 유기물 함량에 따른 성장 및 생존

유생사육의 적절한 사육기질 유기물 함량을 조사하기 위하여 6 hole well plate에 멸균해수 15 mL 씩 넣고 각기 다른 유기물 함량의 기질(10%, 7.5%, 5%, 2.5%, 0% organic content)을 1 mm 높이로 조성하였으며, 기질이 없는 구간을 control로 하였다. 1 홀당 50 미의 유생을 입식하였으며, 수온 20℃, 3일에 한번 1/2 환수, 명암주기 LD 12/12에서 12 일간 실험하였다. 유생입식 으로부터 7일차, 10일차, 12일차에 현미경(OLYMPUS-IX70)을 이용하여 유 생의 생존율 및 성장을 측정하였으며, 유생입식 이후 6시간 간격으로 유생의 착저 시간을 측정하였다. 실험은 6 반복으로 실시하였다.



2.3 사육기질 조성에 따른 치충의 성장 및 생존

2.3.1 실험재료

실험을 위한 유생은 부경대학교 수산과학기술센터에서 생산한 바위털갯지렁이 유생을 사용하였으며, 해적생물 및 기타생물을 제거한 후 실험에 사용하였다. 사육기질은 2.2.1의 전처리 과정을 거친 mud와 2.1.1의 입도별로 나눈 마사토를 사용하였다. 실험을 위하여 Fig. 8과 같이 수조를 제작하였다. 사육수조는 55 cm × 45 cm × 5 cm에 폭 15 cm로 3 등분하는 칸막이를 설치하여 3 개의 구간으로 나누었다. 각각의 구간에 주수구를 만들었고 사육수는 한 곳으로 모여서 빠져나가게 만들었다.

2.3.2 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존

치충사육의 적절한 사육기질 입도를 조사하기 위하여 각기 다른 입도의 기질(A: Ø 0.004 mm 미만, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, control: 기질 없음)을 1 mm 높이로 조성하였다. 한 수조당 6000 미의 유생을 입식하였으며, 수온 21±1℃, 유량 500 mL/min, 사료 급이 0.1 g/day, 그리고 DO를 6 ~ 8 mg/L로 유지하였다. 유생입식으로부터 90일 동안 15일 간격으로 유생의 생존율 및 성장을 측정하였으며, 무게측정이 가능한 60일부터 30 미씩 무게를 측정하였다. 수질분석(Temperature, Salinity, pH, DO, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N, COD)은 15일 간격으로 실시하였다. 실험은 3 반복으로 실시하였다.

2.3.3 사육기질 mud량에 따른 성장 및 생존

치충사육의 적절한 mud량을 조사하기 위하여 각기 다른 mud량(1 mm, 3 mm, 5 mm)으로 조성하였으며, 기질이 없는 구간을 control로 하였다. 한 수조당 6000 미의 유생을 입식하였으며, 수온 $21\pm1^{\circ}\text{C}$, 유량 500 mL/min, 사료 급이 0.1 g/day, 그리고 DO를 6 ~ 8 mg/L로 유지하였다. 유생입식으로부터 90일 동안 15일 간격으로 유생의 생존율 및 성장을 측정하였으며, 무게측정이 가능한 60일부터 30 미씩 무게를 측정하였다. 수질분석(Temperature, Salinity, pH, DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, COD)은 15일 간격으로 실시하였다. 실험은 3 반복으로 실시하였다.

2.3.4 사육기질(sand) 높이에 따른 성장 및 생존

치충사육의 적절한 기질 높이를 조사하기 위하여 각기 다른 기질의 높이(1 cm, 3 cm, 5 cm)를 $\varnothing$ 0.5 ~ 2 mm인 모래로 조성하였으며, 모든 구간에 mud를 1 mm 높이로 조성하였다. 대조구에는 기질없이 mud 1 mm 만을 조성하였다. 수조당 6000 미의 유생을 입식하였으며, 수온 $21\pm1^{\circ}\text{C}$, 유량 500 mL/min, 사료 급이 0.1 g/day, 그리고 DO를 6 ~ 8 mg/L로 유지하였다. 유생입식으로부터 90일 동안 15일 간격으로 유생의 생존율 및 성장을 측정하였으며, 무게측정이 가능한 60일부터 30 미씩 무게를 측정하였다. 수질분석(Temperature, Salinity, pH, DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, COD)은 15일 간격으로 실시하였다. 실험은 3 반복으로 실시하였다.

2.3.5 수질 분석

수질다항목측정기(hydrolab)를 이용하여 Temperature, Salinity, pH, DO를 측정하였고, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, COD 항목은 해양환경공정시험 방법으로 실시하였다. 각 항목에 대한 분석방법은 Table 1에 나타내었다.

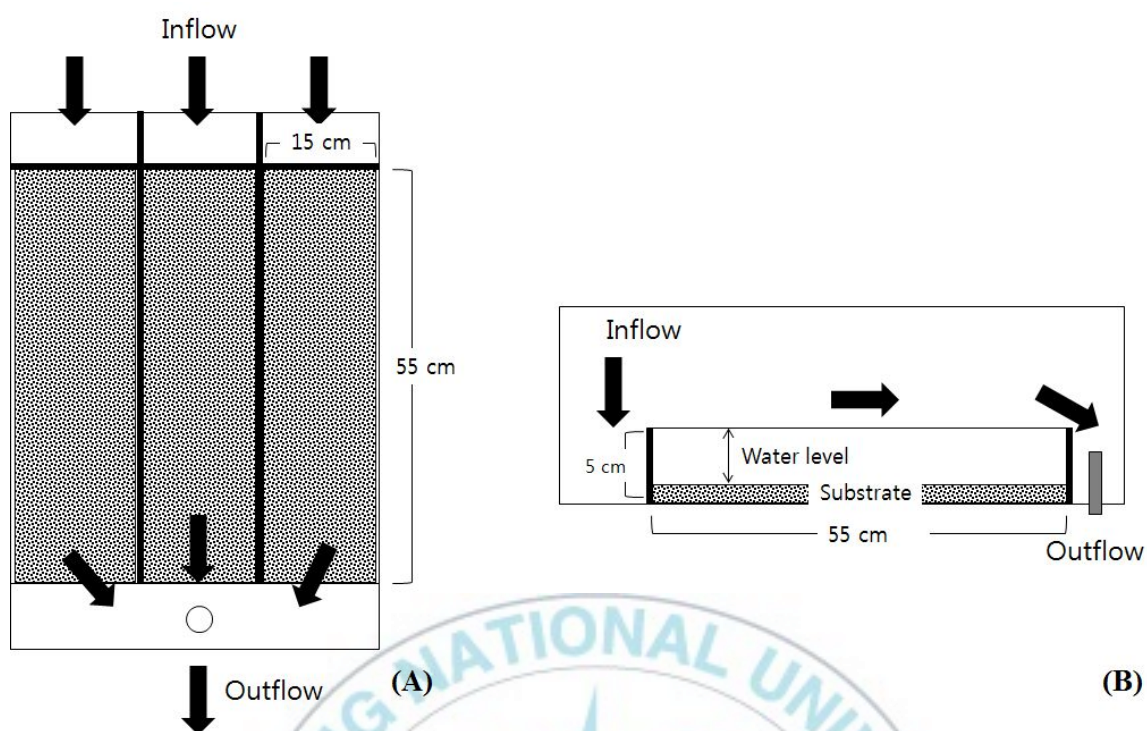


Fig. 8. Rearing tank for *M. sanguinea*. A: Plan, B: sectional view.

Table 1. Information for water quality analysis

Analytical item	Range(mg/L)	Method
NH ₃ -N (Nitrogen Ammonia)	0.01 ~ 1.0	Indophenol method
NO ₂ -N (Nitrite Nitrogen)	0.003 ~ 0.5	Diazotization method
NO ₃ -N (Nitric Nitrogen)	0.003 ~ 0.5	Cadmium reduction method
T-N (Nitrogen, Total-for sea water)	0.003 ~ 0.5	Cadmium reduction method
COD (Chemical Oxygen Demand)	-	Potassium permanganate method

2.4 통계처리

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 입도에 따른 유생의 착저 및 성장

3.1.1 사육기질 입도에 따른 착저

유생의 사육기질 입도에 따른 착저 선택성을 Fig. 9에 나타내었다. 착저 선택성은 A, B, C 기질이 각각 20%, 20%, 23%로 다른 기질에 비해서 높은 값을 나타내었다. 반면에 D, E, F 기질은 각각 11%, 11%, 10%로 비교적 낮은 값을 나타내었다. 기질이 없는 control은 5%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 입도에 따른 착저 완료시간은 $A > B > C > D > E = F > \text{control}$ 의 순서로 빠르게 관찰되었다. A 기질이 54시간으로 가장 낮았으며 기질이 없는 control이 76시간으로 가장 높았다. 사육기질의 입도가 작을수록($< \varnothing 0.063 \text{ mm}$) 착저 선택성이 높았고, 착저 완료시간이 빨랐다. 반면에 비교적 입도가 큰 기질($> \varnothing 0.063 \text{ mm}$) 일수록 착저 선택성이 낮았고, 착저 완료시간이 늦었다.

시간경과에 따른 착저한 유생의 수를 Fig. 11에 나타내었다. 모든 실험구에서 유생 분출 24시간 만에 절반 이상의 유생이 착저를 완료하였다. 비교적 입도가 작은 A, B, C 기질의 유생이 착저 하는 시간이 빨랐고, 비교적 입도가 큰 D, E, F 기질의 유생은 착저하는 시간이 늦었다. 기질이 없는 control의 유생 착저는 가장 느리게 진행되어 78시간 후에 완료되었다.

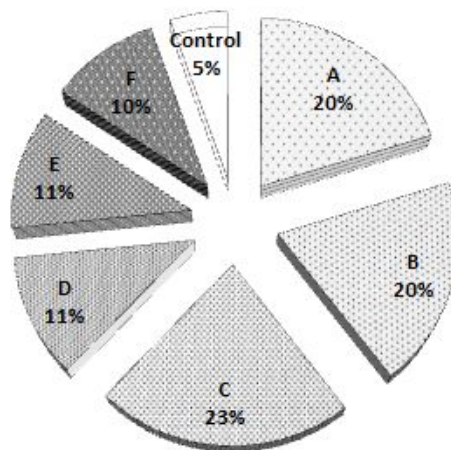


Fig. 9. Settlement selection (%) of *M. sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates. A: Less than $\varnothing$ 0.004 mm, B: $\varnothing$ 0.004 ~ 0.016 mm, C: $\varnothing$ 0.016 ~ 0.063 mm, D: $\varnothing$ 0.063 ~ 0.25 mm, E: $\varnothing$ 0.25 ~ 0.5 mm, F: $\varnothing$ 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate.

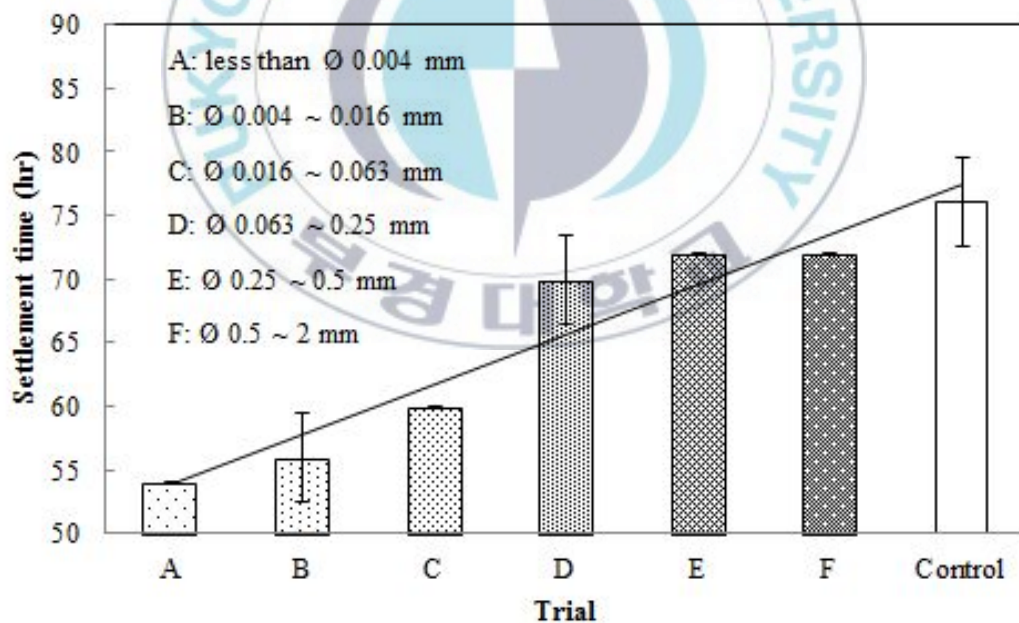


Fig. 10. Settlement time (hr) of *M. sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates. A: Less than $\varnothing$ 0.004 mm, B: $\varnothing$ 0.004 ~ 0.016 mm, C: $\varnothing$ 0.016 ~ 0.063 mm, D: $\varnothing$ 0.063 ~ 0.25 mm, E: $\varnothing$ 0.25 ~ 0.5 mm, F: $\varnothing$ 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate.

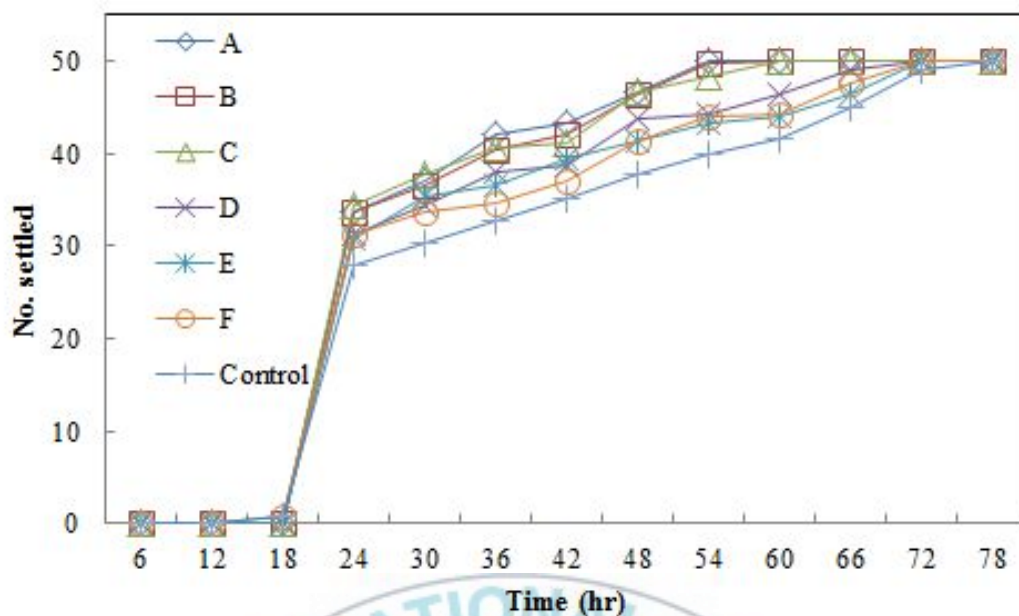


Fig. 11. According to time settled number of *M. sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates. A: Less than Ø 0.004 mm, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate.

Table 2. Settlement selection (%) and settlement time (hr) of *M. sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates

	Substrates						Control
	A	B	C	D	E	F	
Settlement selection ¹ (%)	20±2.6	20±4.7	23±5.1	11±2.0	11±1.9	10±1.4	5±2.5
Settlement time ² (hr)	54	56	60	70	72	72	76

* A: Less than Ø 0.004 mm, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate.

¹Settlement selection (%): (number of individual on substrate / total settled larvae) × 100.

²Settlement time (hr): It means when there is no floating larvae.

3.1.2 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존

유생의 사육기질 입도에 따른 성장을 Fig. 12에 나타내었다. 성장은 chaetiger 수로 나타내었다. B 기질에서 4.7 개로 가장 높았고, A 기질에서 4.6 개로 다음으로 높았다. 나머지 구간(C, D, E, F, control)에서는 4.5 개 이하로 비교적 낮은 수치를 보였다.

유생의 사육기질 입도에 따른 생존율을 Fig. 13에 나타내었다. 유생의 사육기질 입도별 생존율은 B 기질에서 95.3%로 가장 높았으며 다른 기질들과 유의한 차이를 보였다. A, C, E 기질과 control의 생존율이 84.7% ~ 90.7% 범위로 이들 간의 유의한 차이는 없었다. D 기질과 F 기질의 생존율은 각각 82%, 80.7%로 비교적 낮은 수치를 보였다.

현미경으로 관찰한 입도별 기질의 서식관 형태를 Fig. 14에 나타내었다. Ø 0.016 mm 미만의 기질인 A, B 기질에서는 안정적인 서식관을 관찰 할 수 있었지만 Ø 0.016 mm 이상의 기질들(C, D, E, F)에서는 서식관을 관찰 할 수 없었다.

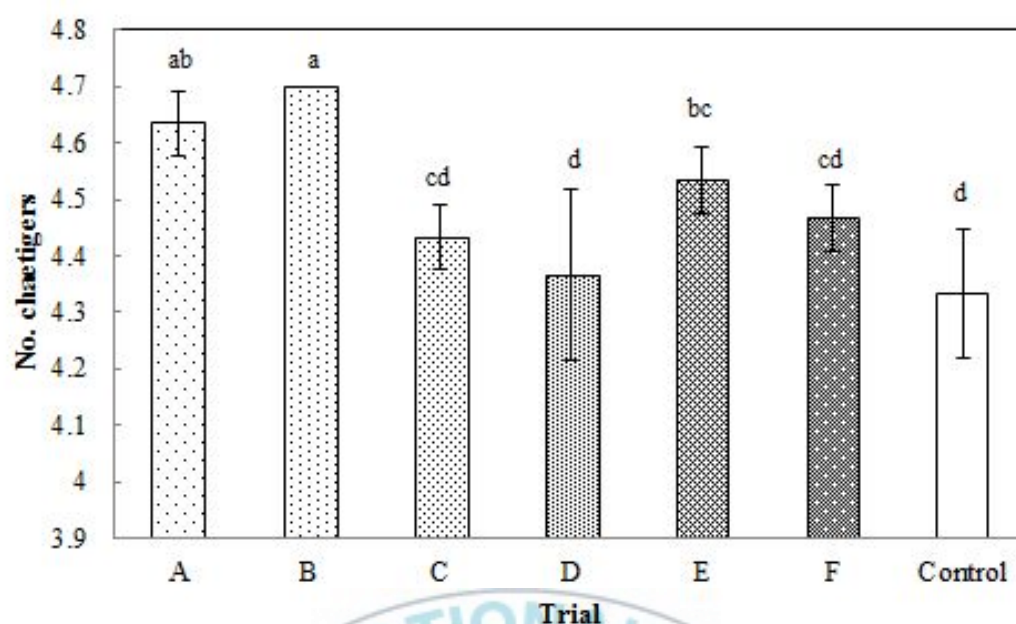


Fig. 12. Chaetigers number of *M. sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates for 7 days. A: Less than $\varnothing$ 0.004 mm, B: $\varnothing$ 0.004 ~ 0.016 mm, C: $\varnothing$ 0.016 ~ 0.063 mm, D: $\varnothing$ 0.063 ~ 0.25 mm, E: $\varnothing$ 0.25 ~ 0.5 mm, F: $\varnothing$ 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

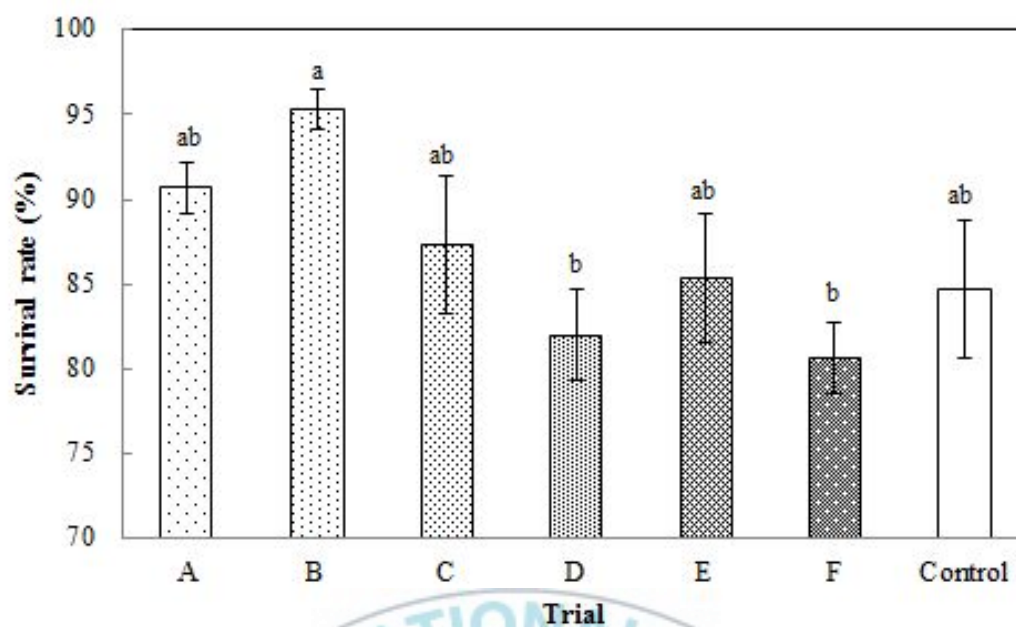


Fig. 13. Survival rate (%) of *M. sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates for 7 days. A: Less than $\varnothing$ 0.004 mm, B: $\varnothing$ 0.004 ~ 0.016 mm, C: $\varnothing$ 0.016 ~ 0.063 mm, D: $\varnothing$ 0.063 ~ 0.25 mm, E: $\varnothing$ 0.25 ~ 0.5 mm, F: $\varnothing$ 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

Table 3. Chaetigers number and survival rate (%) of *M. sanguinea* larvae by different grain sizes of substrates for 7 days

Treatment	No. chaetiger	Survival rate ¹ (%)
A	4.63±0.06 ^{ab}	90.67±1.53 ^{ab}
B	4.70±0.00 ^a	95.33±1.15 ^a
C	4.43±0.06 ^{cd}	87.33±4.04 ^{ab}
D	4.37±0.15 ^d	82.00±2.65 ^b
E	4.53±0.06 ^{bc}	85.33±3.79 ^{ab}
F	4.47±0.06 ^{cd}	80.67±2.08 ^b
Control	4.33±0.12 ^d	84.67±4.04 ^{ab}

*A: Less than Ø 0.004 mm, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate.

*Different subscripts indicate significant difference between treatment.

¹Survival rate (%): (final individuals / initial individuals) × 100.

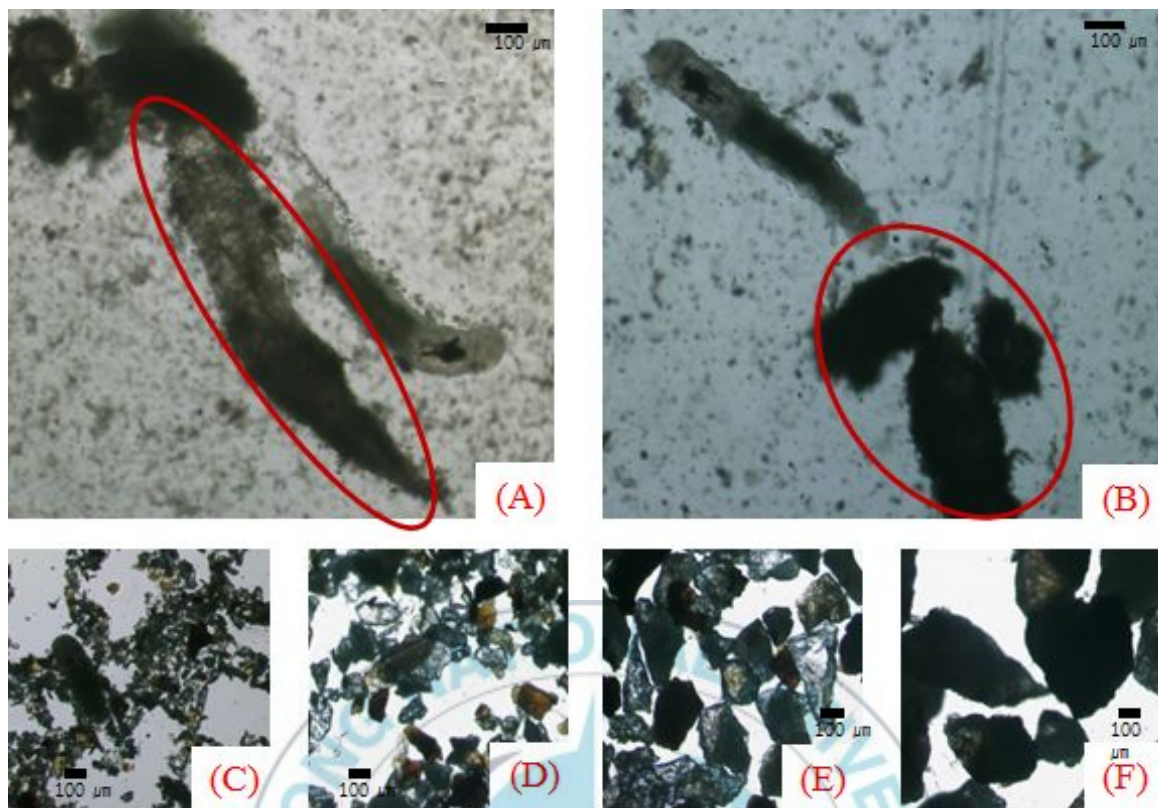


Fig. 14. The formation of inhabitation tube. A-B: Formation of stable inhabitation tube, C-F: without inhabitation tube. A: Less than $\varnothing$ 0.004 mm, B: $\varnothing$ 0.004 ~ 0.016 mm, C: $\varnothing$ 0.016 ~ 0.063 mm, D: $\varnothing$ 0.063 ~ 0.25 mm, E: $\varnothing$ 0.25 ~ 0.5 mm, F: $\varnothing$ 0.5 ~ 2 mm.

3.2 사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 착저 및 성장

3.2.1 사육기질 유기물 함량에 따른 착저

유생의 사육기질 유기물 함량에 따른 착저 선택성을 Fig. 15에 나타내었다. 유기물 함량에 따른 착저 선택성은 유기물 함량이 가장 높은 10% mud가 27%로 가장 높았고 7.5% mud와 5% mud는 각각 22%, 19%로 비교적 높은 선택성을 보였고 2.5% mud와 0% mud는 각각 10%, 12%로 control(10%)과 같이 낮은 선택성을 보였다. 착저 완료 시간은 유기물이 함유되어 있는 구간들이 50시간 이하로 비교적 빨리 착저를 하였고, 0% mud와 control 에서는 각각 60시간, 76시간 만에 착저를 하였다.

시간경과에 따른 착저한 유생의 수를 Fig. 17에 나타내었다. 모든 실험구에서 유생 분출 24시간 만에 절반 이상의 유생이 착저를 완료하였다. 기질이 없는 control을 제외한 모든 실험구에서 빠르게 착저가 진행되었고, 시간경과에 따른 착저 유생의 수가 큰 차이를 보이지 않았다. 유기물이 함유되어 있지 않은 0% mud에서의 유생은 유기물이 함유되어 있는 구간들과 비슷한 속도로 착저를 하였지만 착저 완료 시간은 비교적 늦었다.

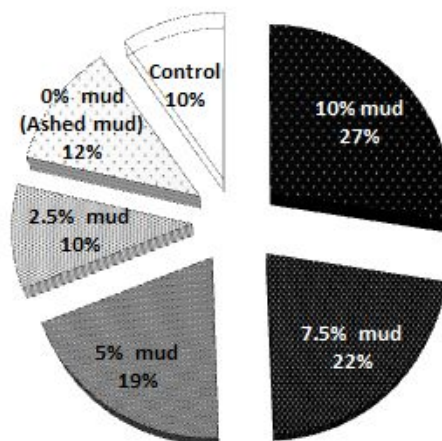


Fig. 15. Settlement selection (%) of *M. sanguinea* larvae by organic contents of substrates.

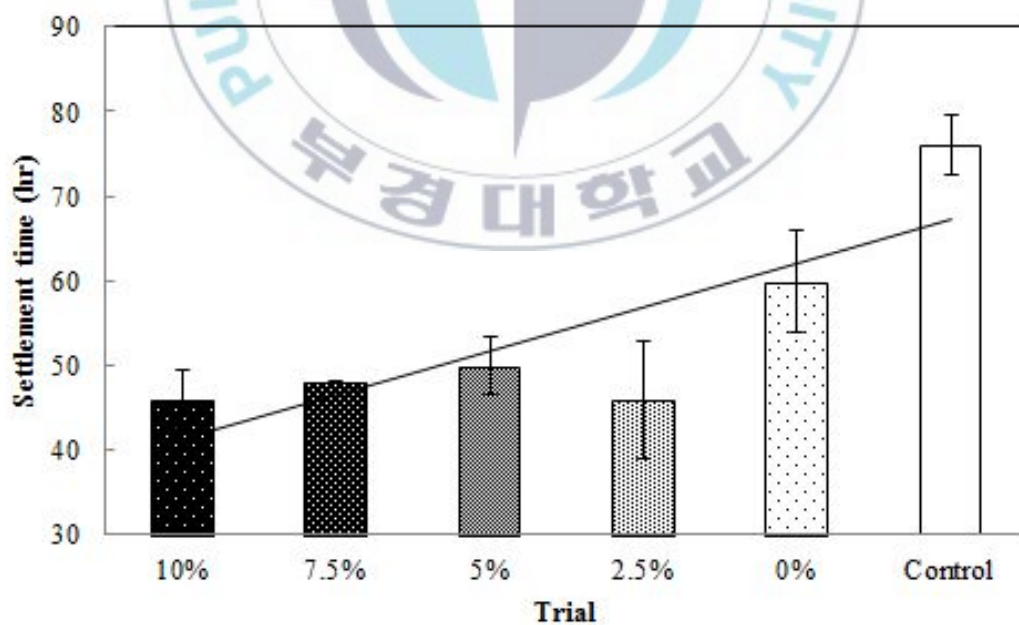


Fig. 16. Settlement time (hr) of *M. sanguinea* larvae by organic contents of substrates.

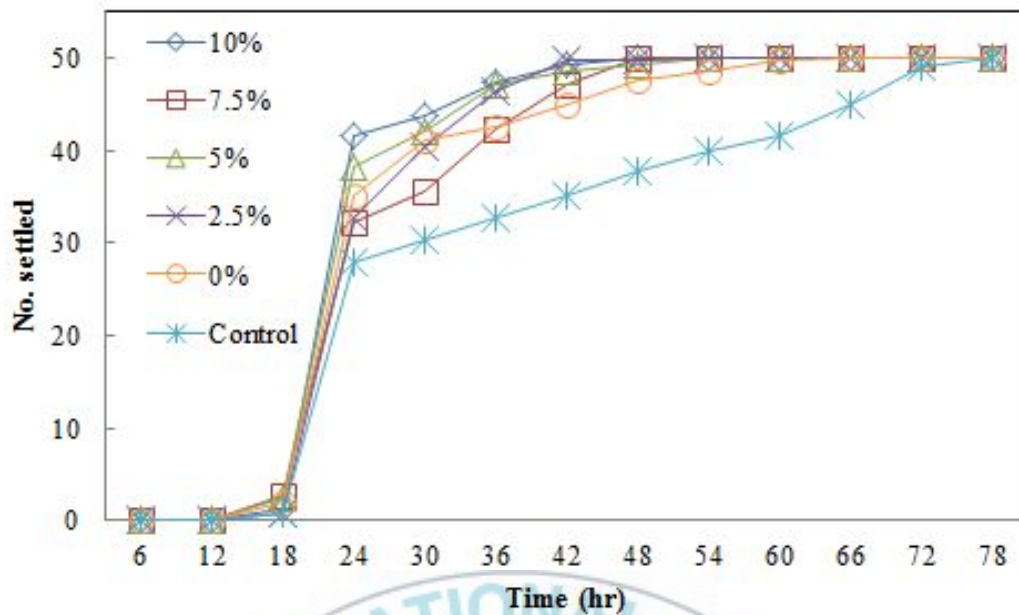


Fig. 17. According to time settled number of *M. sanguinea* larvae by organic contents of substrates.

Table 4. Settlement selection (%) and settlement time (hr) of *M. sanguinea* larvae by organic contents of substrates

	Substrates					
	10%	7.5%	5%	2.5%	0%	Control
Settlement selection ¹ (%)	27±9.1	22±3.0	19±3.4	10±1.4	12±0.9	10±0.5
Settlement time ² (hr)	46	48	50	46	60	76

¹Settlement selection (%): (number of individual on substrate / total settled larvae) × 100.

²Settlement time (hr): It means when there is no floating larvae.

3.2.2 사육기질 유기물 함량에 따른 성장 및 생존

유생의 사육기질 유기물 함량에 따른 12일간의 성장을 Fig. 18에 나타내었다. 성장은 chaetiger 수로 측정하였으며, 7일차, 10일차, 12일차에 측정하여 그래프에 나타내었다. 7일까지의 성장은 control을 제외한 모든 구간이 유의한 차이를 보이지 않았다. 10일차에는 비교적 유기물 함량이 높은 5%, 7.5%, 10% mud 구간에서 chaetiger 수 5 개 이상으로 높은 결과를 보였으며, 2.5%와 0% mud 에서는 각각 4.8, 4.9 개로 낮은 수치를 보였다. 12일차에서의 chaetiger 수는 10% > 7.5% > 5% > 2.5% > 0% > control 의 순서로 높았다. 10% mud에서 5.3 개로 가장 높았으며, 0% mud는 5.0 개 그리고 control은 4.7 개로 가장 낮았다.

Fig. 19에 사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 12일간의 생존율을 나타내었다. 생존율은 7일차에 10% mud를 제외한 모든 구간이 84% 이상의 생존율을 보였고, 10% mud는 78%로 가장 낮은 생존율을 나타냈다. 10일차에는 7.5%와 5% mud에서 각각 77.7%, 78.7%로 생존율이 높았고 10% mud의 생존율은 60.7%로 감소하였다. 12일차에서는 5%와 7.5% mud가 70.3%, 72%로 높은 생존율을 나타냈으며, 10% mud가 생존율 50.7%로 가장 낮았다.

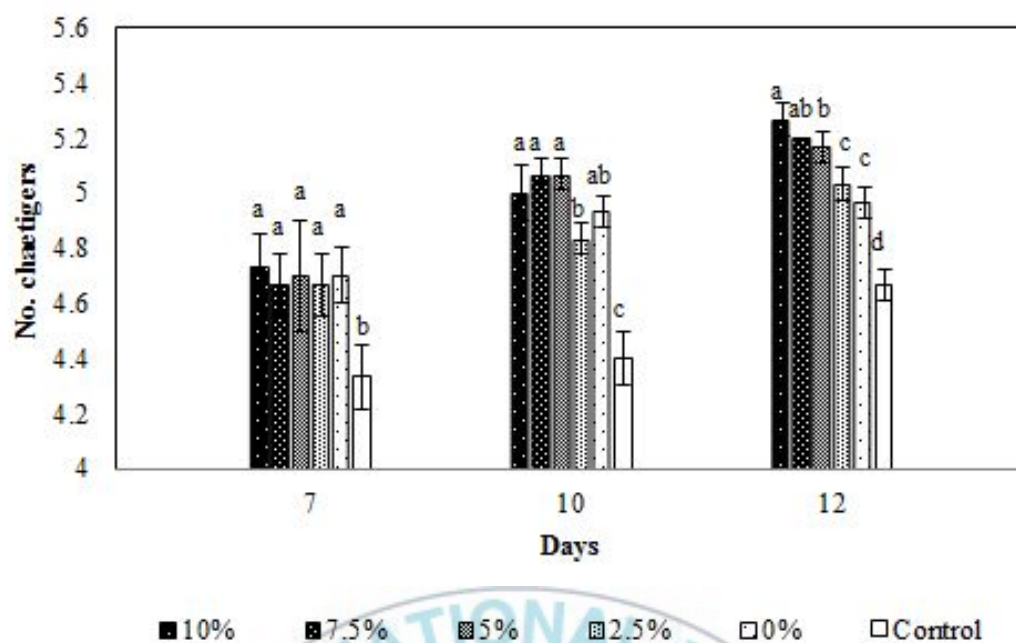


Fig. 18. Chaetigers number of *M. sanguinea* larvae by organic contents of substrates for 12 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

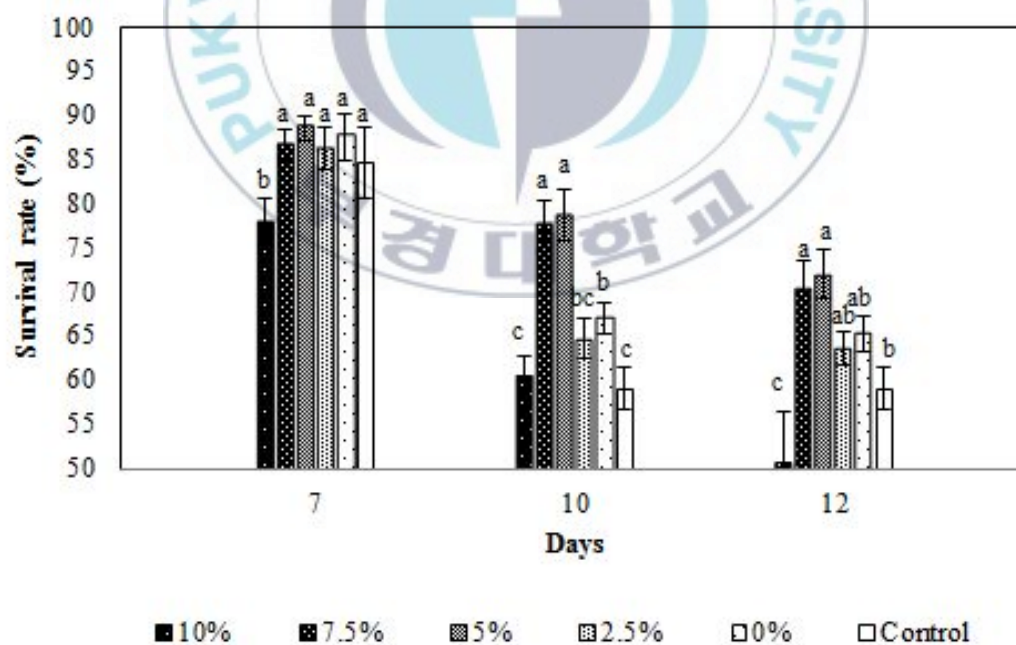


Fig. 19. Survival rate (%) of *M. sanguinea* larvae by organic contents of substrates for 12 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

Table 5. Chaetigers number and survival rate (%) of *M. sanguinea* larvae by organic contents of substrates for 12 days

	Substrates					
	10%	7.5%	5%	2.5%	0%	Control
No. chaetiger	5.3±0.1 ^a	5.2±0.0 ^{ab}	5.2±0.1 ^b	5.0±0.1 ^c	5.0±0.1 ^c	4.7±0.1 ^d
Survival rate ¹ (%)	50.7±5.9 ^c	70.3±3.3 ^a	72.0±2.8 ^a	63.7±1.9 ^{ab}	65.3±2.1 ^{ab}	59.0±2.4 ^b

*Different subscripts indicate significant difference between treatment.

¹Survival rate (%): (final individuals / initial individuals) × 100.



3.3 사육기질 조성에 따른 치충의 성장 및 생존

3.3.1 사육기질 입도에 따른 성장 및 생존

치충의 사육기질 입도에 따른 성장과 생존율을 Fig. 20, Fig. 21에 나타내었다. 성장은 15일차, 30일차에 유의한 차이를 보이지 않았고, 45일차에 D 기질과 control을 제외한 모든 구간에서 chaetiger 수 19.5 개 이상으로 유의한 차이가 없었으며, D 기질에서는 17.5 개로 가장 낮았다. control 에서는 측정할 유생이 생존하지 않았다. 생존율은 15일차에 A 와 B 기질에서 각각 93.2%, 91.7%로 높았으며, 나머지 구간은 50% 이하로 낮았다. 30일차에는 모든 구간의 생존율이 20% 이하로 급격히 하락 하였으며, B 기질이 19.0%로 가장 높았고, F 기질이 5.2%로 가장 낮았다. 45일차에는 모든 구간이 2% 이하의 낮은 생존율을 보였으며, 60일차에는 모든 구간에서 치충이 생존하지 않았다.

실험기간 동안 유입수의 수온은 20.7 ~ 21.8℃ 이었고, 용존산소량은 8.2 ± 0.2 mg/L, 염분은 34.23 ~ 35.18 psu, pH는 8.3 ~ 8.6으로 안정하였다. 이외의 측정항목인 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, COD는 유입수에 비해 높은 수치를 기록하였으나, 해양환경기준(수질) 이하로 안정하였다.

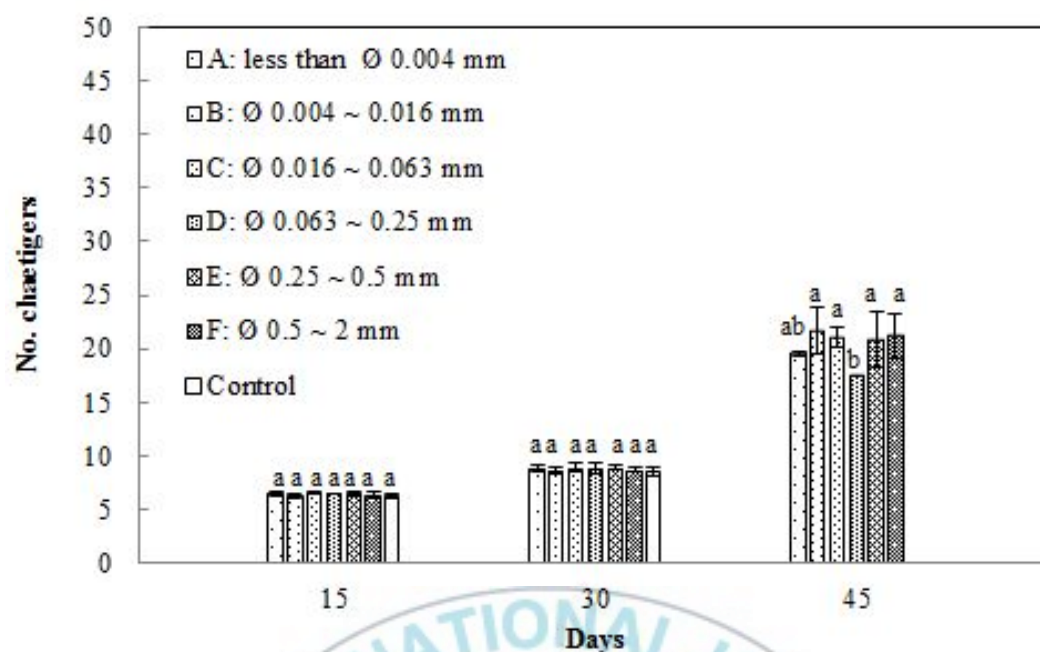


Fig. 20. Chaetigers number of *M. sanguinea* juvenile by different grain sizes of substrates for 45 days. A: Less than $\varnothing$ 0.004 mm, B: $\varnothing$ 0.004 ~ 0.016 mm, C: $\varnothing$ 0.016 ~ 0.063 mm, D: $\varnothing$ 0.063 ~ 0.25 mm, E: $\varnothing$ 0.25 ~ 0.5 mm, F: $\varnothing$ 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

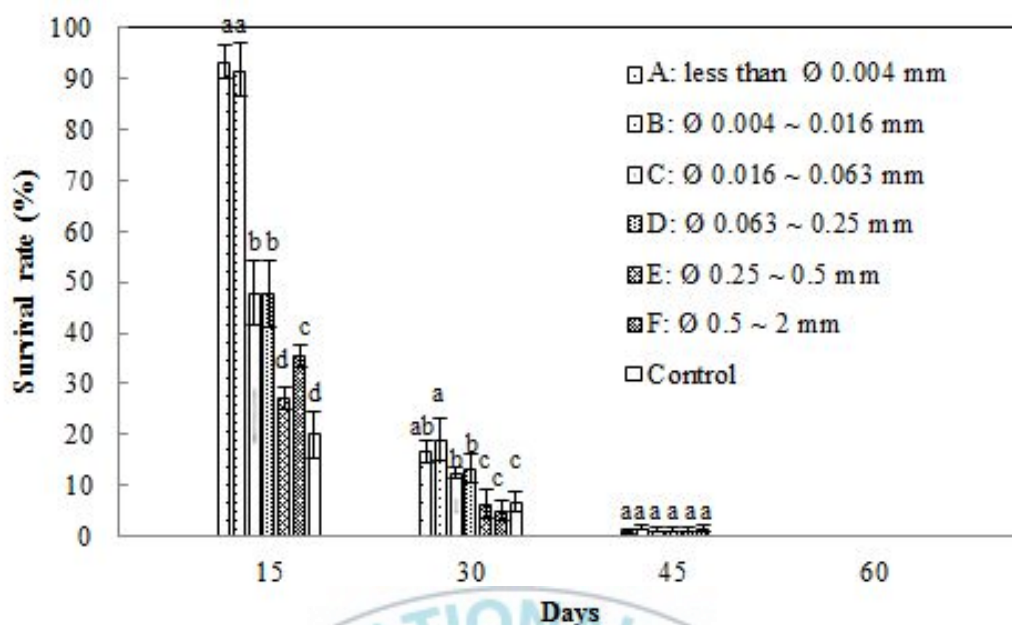


Fig. 21. Survival rate (%) of *M. sanguinea* juvenile by different grain sizes of substrates for 60 days. A: Less than Ø 0.004 mm, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

Table 6. Survival rate (%) of *M. sanguinea* juvenile by different grain sizes of substrates for 45 days

Substrates Days	Survival rate ¹ (%)						
	A	B	C	D	E	F	Control
15	93.2±3.3 ^a	91.7±5.3 ^a	47.9±6.3 ^b	47.7±6.7 ^b	27.2±2.3 ^d	35.6±2.2 ^c	20.0±4.6 ^d
30	16.8±2.3 ^{ab}	19.0±4.1 ^a	12.4±1.1 ^b	13.3±2.7 ^b	6.4±2.8 ^c	5.2±2.0 ^c	6.7±2.0 ^c
45	1.0±0.4 ^a	1.7±0.4 ^a	1.2±0.4 ^a	1.2±0.4 ^a	1.2±0.4 ^a	1.5±0.7 ^a	-

* A: Less than Ø 0.004 mm, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate.

* Different subscripts indicate significant difference between treatment.

¹Survival rate (%): (final individuals / initial individuals) × 100.

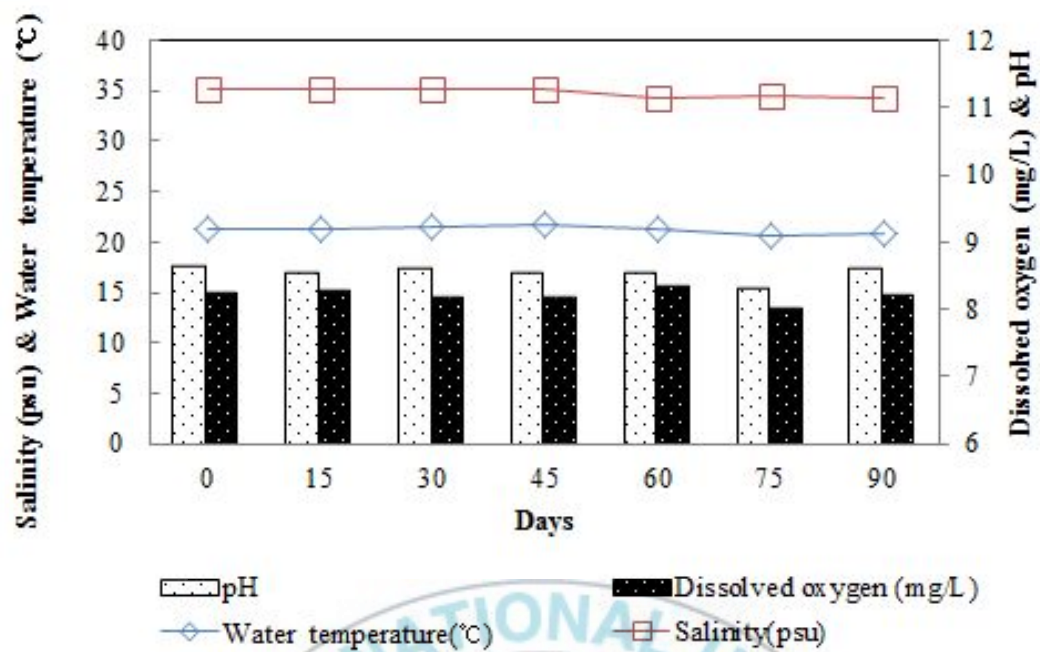


Fig. 22. Trend of water temperature (°C), dissolved oxygen (mg/L), salinity (psu), pH fluctuations on influent.

Table 7. Trend of water quality condition (NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N, COD) by different grain sizes of substrates.

Treatment	Water analytical item				
	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	COD (mg/L)
A	0.011 ~ 0.033	0.002 ~ 0.009	0.042 ~ 0.066	0.307 ~ 0.332	2.5 ~ 3.2
B	0.011 ~ 0.032	0.002 ~ 0.008	0.041 ~ 0.066	0.302 ~ 0.347	2.6 ~ 3.0
C	0.010 ~ 0.035	0.001 ~ 0.008	0.023 ~ 0.065	0.307 ~ 0.367	2.3 ~ 3.2
D	0.012 ~ 0.033	0.001 ~ 0.009	0.032 ~ 0.073	0.256 ~ 0.344	2.4 ~ 3.1
E	0.006 ~ 0.033	0.002 ~ 0.008	0.041 ~ 0.066	0.308 ~ 0.389	2.7 ~ 3.0
F	0.011 ~ 0.033	0.001 ~ 0.009	0.038 ~ 0.065	0.307 ~ 0.343	2.6 ~ 3.2
Control	0.012 ~ 0.033	0.001 ~ 0.009	0.041 ~ 0.073	0.321 ~ 0.389	2.4 ~ 3.0
Influent water	0.011 ~ 0.014	0.001 ~ 0.003	0.022 ~ 0.041	0.278 ~ 0.307	2.4 ~ 2.8

* A: Less than Ø 0.004 mm, B: Ø 0.004 ~ 0.016 mm, C: Ø 0.016 ~ 0.063 mm, D: Ø 0.063 ~ 0.25 mm, E: Ø 0.25 ~ 0.5 mm, F: Ø 0.5 ~ 2 mm, Control: No substrate.

* NH₃-N: Nitrogen Ammonia, NO₂-N: Nitrite Nitrogen, NO₃-N: Nitric Nitrogen, T-N: Total Nitrogen, COD: Chemical Oxygen Demand

3.3.2 사육기질 mud량에 따른 성장 및 생존

치충의 사육기질로써 mud량에 따른 성장과 생존율을 Fig. 23, Fig. 24에 나타내었다. 성장은 기질을 넣지 않은 control을 제외한 모든 구간에서 점차 증가 하였으며, 실험이 종료된 90일차에는 mud 5 mm 구간이 chaetiger 수 60.4 개로 가장 높았으며, mud 3 mm 구간이 56.7 개, mud 1 mm 구간이 54.1 개로 낮았다. 그러나 이러한 실험구들 사이의 유의한 차이는 없었다. 생존율은 control을 제외한 모든 구간이 15일차에 86% 이상을 나타냈고, 30일차에는 50% 이하, 45일차에는 28% 이하로 점차 줄어들었다. 실험이 종료된 90일차에는 mud 5 mm 구간이 1.1%, mud 3 mm 구간이 1.0%, mud 1mm 구간이 0.9%를 나타냈으며, 기질이 없는 control은 45일차 이전에 모든 개체가 폐사 하였다.

치충의 사육기질로써 mud량에 따른 중량을 Fig. 25에 나타내었다. 평균 중량은 60일차를 기점으로 90일차 까지 약 5 ~ 6 배 증가하였으며, 구간별 유의한 차이는 보이지 않았다. 전체 중량은 60일차와 75일차에는 모든 구간이 현저한 차이를 보이지 않았으며, 90일차에는 생존율이 급격히 감소함에 따라 모든 구간의 전체 중량 또한 0.7 g 이하로 현저하게 낮아졌다.

유입수의 기본 수질 항목인 수온, 염분, 용존산소, pH는 3.3.1의 결과와 동일하였다. 이외의 측정항목인 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, COD는 유입수에 비해 높은 수치를 기록하였으나, 해양환경기준(수질) 이하로 안정하였다.

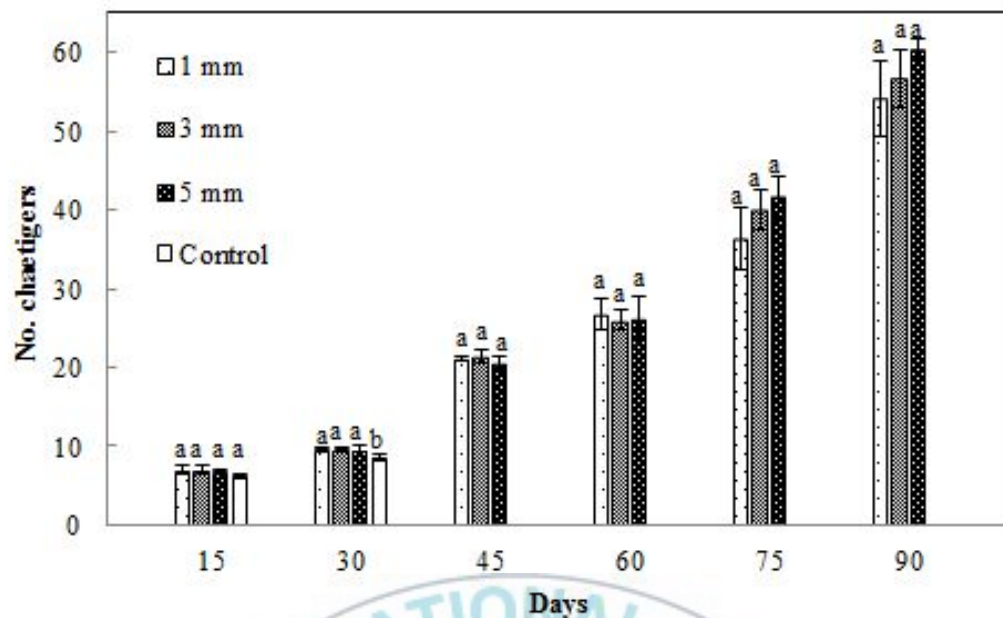


Fig. 23. Chaetigers number of *M. sanguinea* juvenile by mud quantity of substrates for 90 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

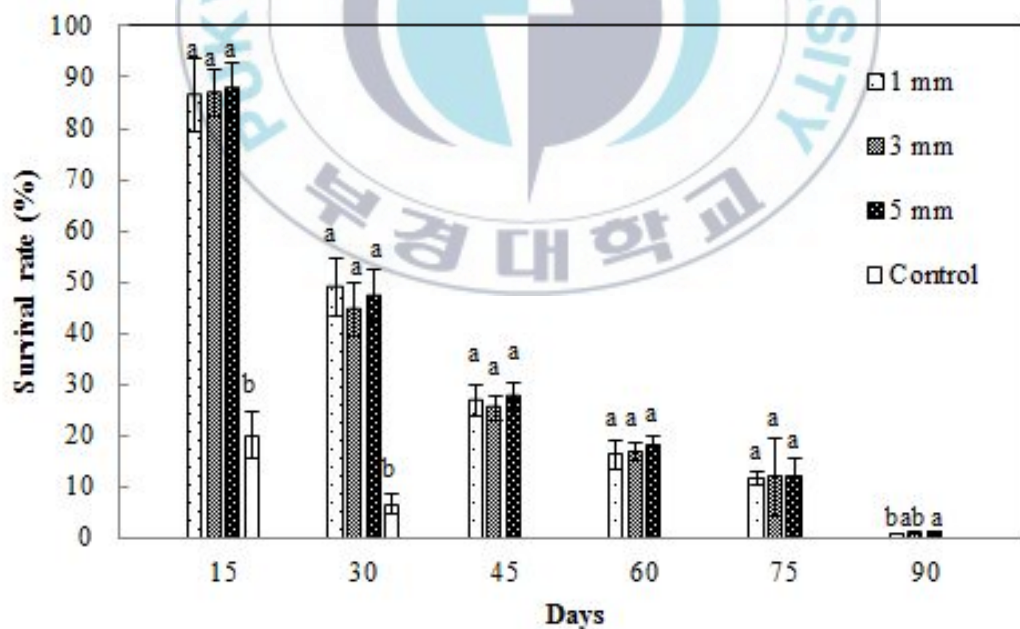


Fig. 24. Survival rate (%) of *M. sanguinea* juvenile by mud quantity of substrates for 90 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

Table 8. Survival rate (%) of *M. sanguinea* juvenile by mud quantity of substrates for 90 days

Days	Survival rate ¹ (%)			
	mud 1 mm	mud 3 mm	mud 5 mm	Control
15	86.5±7.0 ^a	86.8±4.5 ^a	87.6±5.1 ^a	20.0±4.6 ^b
30	49.2±5.7 ^a	44.6±5.2 ^a	47.4±4.9 ^a	6.7±2.0 ^b
45	26.9±3.0 ^a	25.4±2.3 ^a	27.6±2.7 ^a	-
60	16.3±3.0 ^a	17.0±1.8 ^a	18.4±1.5 ^a	-
75	11.9±1.3 ^a	12.0±7.5 ^a	12.0±3.7 ^a	-
90	0.9±0.1 ^b	1.0±0.1 ^{ab}	1.1±0.1 ^a	-

*Different subscripts indicate significant difference between treatment.

¹Survival rate (%): (final individuals / initial individuals) × 100.

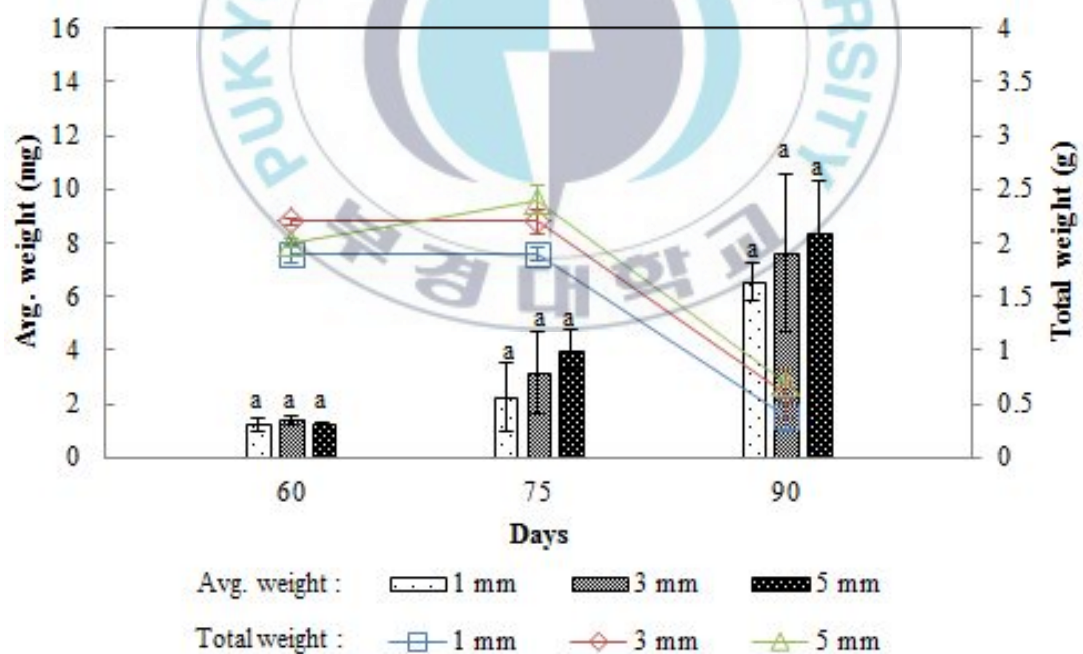


Fig. 25. Average weight and total weight of *M. sanguinea* juvenile by mud quantity of substrates for 90 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

Table 9. Average weight and total weight of *M. sanguinea* juvenile by mud quantity of substrates for 90 days

Treatment		Days		
		60	75	90
Avg. weight ¹ (mg)	mud 1 mm	1.2±0.3 ^a	2.3±1.3 ^a	6.6±0.7 ^a
	mud 3 mm	1.4±0.2 ^a	3.2±1.5 ^a	7.6±2.9 ^a
	mud 5 mm	1.3±0.1 ^a	4.0±0.7 ^a	8.3±2.0 ^a
Total weight (g)	mud 1 mm	1.9±0.04	1.9±0.13	0.4±0.02
	mud 3 mm	2.2±0.03	2.2±0.11	0.6±0.23
	mud 5 mm	2.0±0.09	3.3±0.07	0.7±0.16

*Different subscripts indicate significant difference between treatment.

¹Avg. weight (mg): total weight (mg) / individuals



Table 10. Trend of water quality condition (NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N, COD) by mud quantity of substrates

Treatment	Water analytical item				
	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	COD (mg/L)
mud 1 mm	0.011 ~ 0.032	0.001 ~ 0.009	0.041 ~ 0.066	0.307 ~ 0.347	2.7 ~ 3.2
mud 3 mm	0.011 ~ 0.028	0.002 ~ 0.005	0.022 ~ 0.066	0.302 ~ 0.367	2.6 ~ 3.1
mud 5 mm	0.010 ~ 0.033	0.001 ~ 0.008	0.035 ~ 0.065	0.308 ~ 0.402	2.3 ~ 3.2
Control	0.012 ~ 0.033	0.001 ~ 0.009	0.041 ~ 0.073	0.321 ~ 0.389	2.5 ~ 3.0
Influent water	0.011 ~ 0.014	0.001 ~ 0.003	0.022 ~ 0.041	0.278 ~ 0.307	2.4 ~ 2.8

*NH₃-N: Nitrogen Ammonia, NO₂-N: Nitrite Nitrogen, NO₃-N: Nitric Nitrogen, T-N: Total Nitrogen, COD: Chemical Oxygen Demand

3.3.3 사육기질(sand) 높이에 따른 성장 및 생존

치충의 사육기질(sand) 높이에 따른 성장과 생존율을 Fig. 26, Fig. 27에 나타내었다. 성장은 모든 구간에서 점차 증가하였는데, 특히 30일에서 45일 사이와 75일에서 90일 사이에 다른 기간에 비해 높은 성장을 보였다. 실험이 종료된 90일차에는 모래 기질이 들어간 구간이 chaetiger 수 59.5 ~ 60.9 개로 유의한 차이를 보이지 않았고, mud 1 mm 구간은 54.1 개로 가장 낮았다. 생존율은 모든 구간이 15일차에 86% 이상을 나타냈고, 30일차에는 53% 이하로 점차 줄어들었다. 45일차에는 모래 기질이 들어간 구간에서 30 ~ 34%로 높았고, mud 1 mm 구간은 27%로 낮았다. 이러한 차이는 60일차에 모래 기질이 들어간 구간에서 23 ~ 25%, mud 1 mm 구간에서 16%로 가장 컸다. 75일차 이후에는 이러한 차이가 점차 줄어들어 실험이 종료된 90일차에는 모래 기질이 들어간 구간이 1.7 ~ 1.9%, mud 1 mm 구간이 0.9% 였다.

치충의 사육기질 높이에 따른 중량을 Fig. 28에 나타내었다. 평균 중량은 실험이 종료된 90일차에 sand 5 cm + mud 1 mm 구간이 9.1 mg으로 가장 높았으며, sand 1 cm + mud 1 mm과 sand 3 cm + mud 1 mm구간이 8.1 mg으로 동일하였다. mud 1 mm 구간은 6.6 mg으로 가장 낮았다. 전체 중량은 60일차에 모든 구간에서 1.9 ~ 2.1 g으로 유사하였지만, 75일차에는 sand 3 cm + mud 1 mm구간과 sand 5 cm + mud 1 mm구간이 3.6 g 이상으로 높았으며, 다른 구간에 비해 현저한 차이를 보였다. 90일차에는 생존율이 급격히 감소함에 따라 모든 구간의 전체 중량 또한 급격하게 낮아졌다. sand 5 cm + mud 1 mm 구간이 1.2 g으로 가장 높았으며, sand 1 cm + mud 1 mm과 sand 3 cm + mud 1 mm구간이 1.0 g으로 동일하였고, mud 1 mm 구간은 0.4 g으로 가장 낮았다.

유입수의 기본 수질 항목인 수온, 염분, 용존산소, pH는 3.3.1의 결과와 동일하였다. 이외의 측정항목인 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, COD는 유입수에 비해 높은 수치를 기록하였으나, 해양환경기준(수질) 이하로 안정하였다.

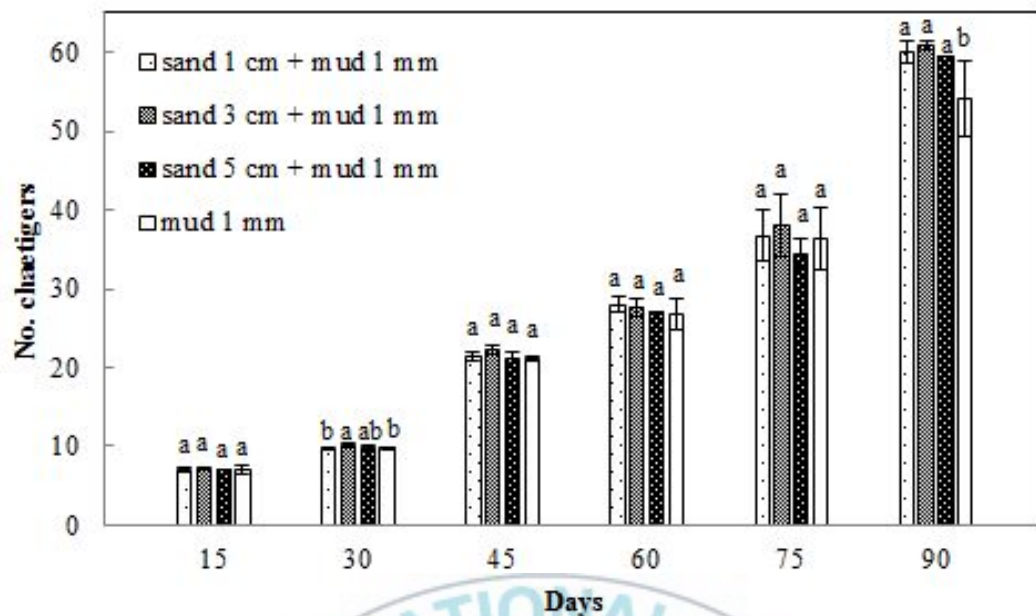


Fig. 26. Chaetigers number of *M. sanguinea* juvenile by substrate height for 90 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

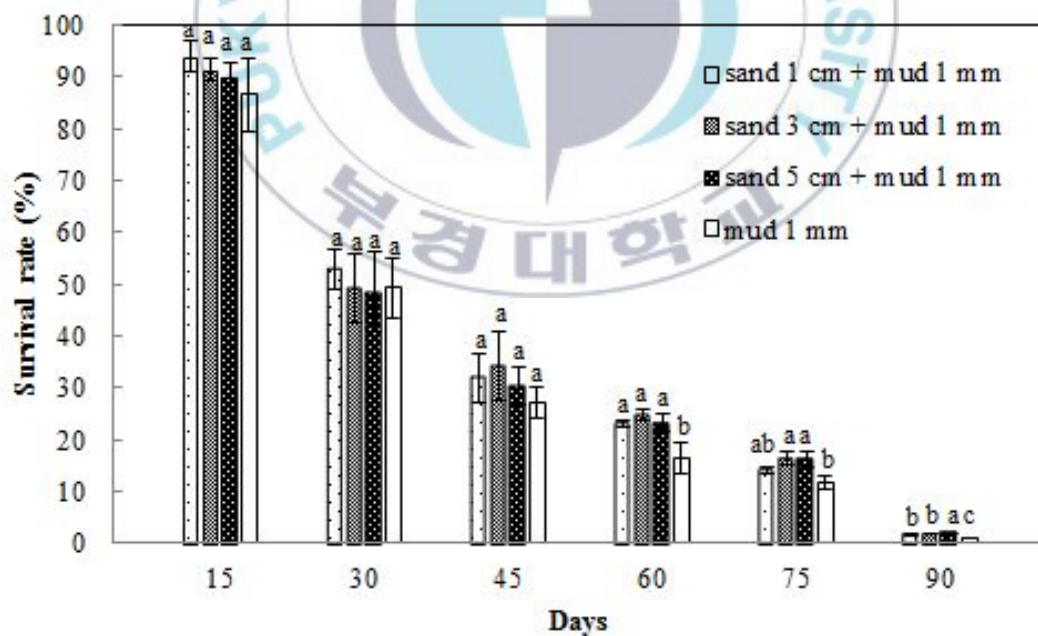


Fig. 27. Survival rate (%) of *M. sanguinea* juvenile by substrate height for 90 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

Table 11. Survival rate (%) of *M. sanguinea* juvenile by substrate height for 90 days

Substrates Days	Survival rate ¹ (%)			
	sand 1 cm + mud 1 mm	sand 3 cm + mud 1 mm	sand 5 cm + mud 1 mm	mud 1 mm
15	93.9±3.1 ^a	91.4±2.1 ^a	90.0±2.8 ^a	86.5±7.0 ^a
30	52.9±3.8 ^a	49.2±6.6 ^a	48.4±7.7 ^a	49.2±5.7 ^a
45	31.9±4.6 ^a	34.3±6.6 ^a	30.1±3.7 ^a	26.9±3.0 ^a
60	23.0±0.7 ^a	24.7±1.1 ^a	23.2±1.5 ^a	16.3±3.0 ^b
75	14.1±0.7 ^{ab}	16.3±1.3 ^a	16.1±1.5 ^a	11.9±1.3 ^b
90	1.7±0.2 ^b	1.7±0.0 ^b	1.9±0.1 ^a	0.9±0.1 ^c

*Different subscripts indicate significant difference between treatment.

¹Survival rate (%): (final individuals / initial individuals) × 100.

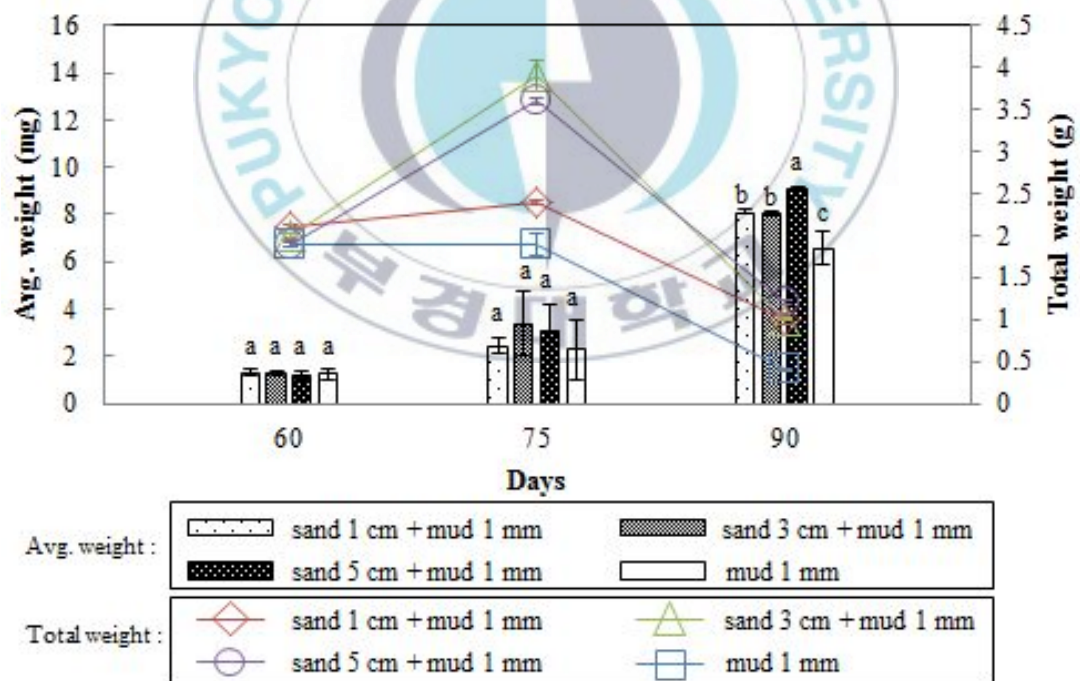


Fig. 28. Average weight and total weight of *M. sanguinea* juvenile by substrate height for 90 days. Different letters on the bars indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

Table 12. Average weight and total weight of *M. sanguinea* juvenile by substrate height for 90 days

Treatment		Days		
		60	75	90
Avg. weight ¹ (mg)	sand 1 cm + mud 1 mm	1.3±0.2 ^a	2.4±0.4 ^a	8.1±0.1 ^b
	sand 3 cm + mud 1 mm	1.3±0.1 ^a	3.4±1.4 ^a	8.1±0.1 ^b
	sand 5 cm + mud 1 mm	1.2±0.2 ^a	3.1±1.1 ^a	9.1±0.1 ^a
	mud 1 mm	1.2±0.3 ^a	2.3±1.3 ^a	6.6±0.7 ^c
Total weight (g)	sand 1 cm + mud 1 mm	2.1±0.02	2.4±0.03	1.0±0.07
	sand 3 cm + mud 1 mm	2.0±0.02	3.9±0.19	1.0±0.01
	sand 5 cm + mud 1 mm	1.9±0.03	3.6±0.04	1.2±0.02
	mud 1 mm	1.9±0.04	1.9±0.13	0.4±0.02

*Different subscripts indicate significant difference between treatment.

¹Avg. weight (mg): total weight (mg) / individuals

Table 13. Trend of water quality condition ($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, COD) by substrate height

Treatment	Water analytical item				
	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	T-N (mg/L)	COD (mg/L)
sand 1 cm + mud 1 mm	0.011 ~ 0.032	0.002 ~ 0.009	0.041 ~ 0.066	0.307 ~ 0.347	2.7 ~ 3.2
sand 3 cm + mud 1 mm	0.011 ~ 0.035	0.002 ~ 0.008	0.023 ~ 0.066	0.302 ~ 0.367	2.6 ~ 3.2
sand 5 cm + mud 1 mm	0.010 ~ 0.033	0.001 ~ 0.008	0.032 ~ 0.065	0.256 ~ 0.332	2.7 ~ 3.3
mud 1 mm	0.011 ~ 0.032	0.001 ~ 0.009	0.041 ~ 0.066	0.307 ~ 0.347	2.7 ~ 3.2
Influent water	0.011 ~ 0.014	0.001 ~ 0.003	0.022 ~ 0.041	0.278 ~ 0.307	2.4 ~ 2.8

* $\text{NH}_3\text{-N}$: Nitrogen Ammonia, $\text{NO}_2\text{-N}$: Nitrite Nitrogen, $\text{NO}_3\text{-N}$: Nitric Nitrogen, T-N: Total Nitrogen, COD: Chemical Oxygen Demand

4. 고찰

4.1 사육기질에 따른 유생의 착저

요정갯지렁이류인 *Ophelia bicornis* 유생은 변태하는 신호로 저질의 입도 크기가 가장 중요하다(Gray, 1974). 그리고 저질의 유기물 함량은 일부 다모류의 착저 신호 중 하나로 밝혀져 왔다(Thiyagarajan, 2005). 따라서 본 연구에서는 유생 착저에 영향을 미치는 기질의 특징 및 착저 시간을 규명하여 좀 더 나은 사육환경을 제공하고자 하였다.

본 실험에서 기질 입도별 착저 선택성을 확인한 결과 비교적 입도가 작은 A, B, C 기질이 각각 20%, 20%, 23%로 다른 기질에 비해서 높은 값을 나타내었다. 이들은 $\varnothing$ 0.063 mm 미만인 기질로 실트와 점토로 분류되는 기질이다. 그리고 착저 시간 또한 입도의 크기가 작을수록($< \varnothing$ 0.063 mm) 착저 시간이 빨랐다. 기질의 유기물 함량별 착저 선택성을 확인한 결과 10% mud에서 27%로 가장 높았다. 착저 시간 또한 46시간으로 10% mud가 가장 빨랐다. 이러한 결과로부터 입도가 작고($< \varnothing$ 0.063 mm) 유기물 함량이 비교적 높은 기질이(10% mud) 유생의 착저를 유도하고 착저 시간을 단축한다는 것을 알 수 있었다. 유생의 비운동섬모는 유생의 감각기로 작용하는데(Hsieh, 1994), 이 비운동섬모에 의해 작은 입도와 10% 유기물 함량의 기질에서 선택적으로 반응한 것으로 보인다. 따라서 바위털갯지렁이 유생은 착저할 기질을 스스로 탐색할 수 있는 능력이 있고, 그 과정에서 비운동섬모를 이용하여 기질의 물리적, 화학적 특징을 구별하는 것을 알 수 있었다. 하지만 본 연구 결과 기질의 특징을 입도, 유기물 함량으로 한정지어, 유생의 착저에 영향을 미치는 세분화된 기질 특징을 알기 어려웠다. 따라서 기질을 질감, 화학적 성분 등의 특징으로 세분화한 연구가 필요할 것으로 보인다.

그리고 기질이 없는 control에서는 착저 시간이 76시간으로 가장 늦었다. 버들갯지렁이류인 *Capitella* sp.는 저질이 없는 깨끗한 사육환경 내에서 변태

를 최소한 며칠로 연기한다(Pechenik, 1991). 그리고 저질에 착생하는 동물의 부유생활기의 길이는 매우 중 특이적이고, 대부분의 유생은 변태를 지연하는 것을 유생의 능력에 의존한다(Pechenik 2006). 바위털갯지렁이 유생은 완전한 착저 생활을 하면서 악치 및 장이 형성되었고, 체장은 450 ~ 500 μm 이며 체폭은 약 110 μm 가 되었다. 또한 이 시기에 chaeta tuft와 연결된 측족(parapodia)이 나타났다. 섬모가 사라진 항문 마디에는 항문 촉수가 생겨나기 시작하였다(허, 2011). 따라서 유생의 착저는 변태의 한 과정으로 볼 수 있다. 그리고 control의 유생 또한 착저할 기질을 찾지 못하여 다른 갯지렁이 유생과 마찬가지로 스스로 착저(변태) 시기를 늦춘 것으로 보인다.



4.2 사육기질에 따른 유생의 성장 및 생존

본 실험에서 기질 입도에 따른 유생의 성장 및 생존율을 조사한 결과 입도가 $\varnothing$ 0.004 ~ 0.016 mm인 B 기질에서 chaetiger 수 4.7 개 생존율 95.3%로 가장 높았다. 그리고 A 기질(less than $\varnothing$ 0.004 mm)에서도 비교적 높은 수치를 기록하였다. Fig. 14에는 각 입도의 기질별 서식관 형성을 나타내었는데, A와 B 기질에서는 안정적인 서식관과 잘 성장한 유생을 관찰할 수 있었다. 하지만 C, D, E, F 기질에서는 서식관을 관찰할 수 없었다. A와 B 기질의 유생은 물리적인 자극으로부터 자신을 보호할 수 있는 안정적인 서식관을 형성할 수 있었고, 이것이 성장과 생존에 직결된 것으로 보인다. 반면에 C, D, E, F 기질은 유생이 안정적인 서식관을 형성하기에는 기질의 크기가 너무 컸던 것으로 보인다.

사육기질 유기물 함량에 따른 유생의 성장 및 생존율을 조사한 실험에서는 사육기질의 유기물 함량이 악치가 완전히 생겨나기 이전인 7일까지의 성장에는 영향을 미치지 않았다. 실험이 종료된 12일차에는 10% mud가 chaetiger 수 5.3 개로 가장 높았고 유기물 함량이 낮아질수록 성장한 chaetiger 수가 작았다. 이것은 높은 함량의 유기물이 7일차 이후부터 유생의 먹이 역할을 한 것으로 보인다. 반면에 10% mud가 생존에 있어서는 좋지 않은 결과를 보였다. 실험이 종료된 12일차의 생존율은 5%와 7.5% mud가 70% 이상으로 높았고 10% mud는 50.7%로 가장 낮았다. Cohen(1999)은 *Capitella* sp. 치충의 생존율은 유생의 기질 선호성과는 직결하지 않는다고 보고하였다. 본 실험에서 바위털갯지렁이 유생 또한 높은 함량의 유기물에 반응하여 착저를 하였지만 이것이 생존에는 악영향을 미쳤다. 이러한 결과는 폐쇄된 사육환경 내에서 12일 동안 3일에 한번 1/2의 해수를 환수하는 조건에 기인한 것으로 보인다. 즉, 환수의 주기가 더 짧았거나, 유수의 환경이었다면 결과는 달라졌을지 모른다. 따라서 10% 가량의 유기물 함량은 바위털갯지렁이 유생의 생존에는 악영향을 미쳤지만 유수식으로 수질환경적인 문제를 해결하는 추가적인 실험

이 필요할 것으로 보인다.

허(2011)에 의하면 유생분출 7일이 경과하면서 장의 형성이 뚜렷해지고 상, 하악의 운동이 확실해지면서 먹이 섭이를 시작하였다고 보고하였다. 본 실험의 결과 또한 7일 이전에는 기질의 입도에 의해 성장이나 생존이 좌우 되었고, 먹이 섭이를 시작하는 7일 이후에는 기질의 유기물량에 의해 결정되었다. 따라서 악치가 완전히 생겨나기 전까지는 안정적인 입도의 기질(less than $\varnothing$ 0.016 mm)을 공급하고, 7일 이후부터는 5 ~ 7.5% 유기물의 기질을 공급하는 것이 바람직해 보인다.

실험 결과를 바탕으로 착저 시간이 빠를수록 더 빨리 성장하는 알 수 있었다. 빠른 착저 유도는 유생의 초기 소비 에너지를 최소화하고, 절약된 에너지를 성장에 집중 할 수 있게 함을 의미한다(김, 2012). 그리고 착저 선택성 실험으로 바위털갯지렁이 유생은 스스로 기질의 물리적 및 화학적 요소에 반응하여 최적의 서식조건을 탐색하는 것을 알 수 있었다. 따라서 유생의 빠른 착저를 유도하는 기질을 제공함으로써 성장 및 생존율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 사육기질 조성에 따른 치충의 성장 및 생존

기질 입도에 따른 치충의 생존율을 조사한 결과 15일차에 입도가 $\emptyset$ 0.016 mm 미만인 A, B 기질에서 90% 이상으로 높았고 다른 입도의 기질에서는 50% 미만으로 낮았다. 그러나 30일차 이후에는 모든 구간이 기질을 제공하지 않은 control과 마찬가지로 생존율이 급격히 줄어들어 60일차에는 전량 폐사하였다. 반면에 mud가 함유된 다른 실험구는 90일 이상 생존하였다. 이것은 15일 이전의 초기 생존율은 안정적인 서식관을 형성할 수 있는 작은 입도에 의해 결정이 되고, 이후의 생존에는 사료급이 외의 기질의 유기물로부터 얻을 수 있는 미지영양소가 필요하다는 것을 의미한다.

mud량에 따른 실험에서는 3.1과 3.2의 결과를 바탕으로 바위털갯지렁이 치충 사육을 위한 최적의 기질을 사용하여 실험을 진행하였다. 3.1과 3.2의 결과에서 $\emptyset$ 0.016 mm 미만인 기질과 유기물 5 ~ 7.5% 기질이 좋을 것이라고 판단되어, $\emptyset$ 0.016 mm 체로 거른 7% 가량의 유기물을 함유한 mud를 초기 기질로 사용하였다.

mud를 기질로 사용하여 양을 다르게 한 실험에서는 모든 실험구들 사이의 성장 및 생존에 현저한 차이는 없었다. 기질(sand) 높이를 다르게 조성한 실험에서는 60일차부터 기질이 비교적 높은 3 cm, 5 cm 구간에서 생존율이 mud 만을 제공한 실험구보다 높게 나타났다. 이는 60일차부터는 치충들 간의 공식이 발생하였고, 서식공간을 더 확보할 수 있는 높은 기질을 제공한 실험구에서 좀 더 나은 생존율을 나타낸 것으로 보인다.

그리고 모든 실험구들의 생존율이 15일 간격으로 반감되는 것을 볼 수 있었다. 특히 실험시작 15일과 30일 사이 그리고 75일과 90일 사이에 매우 많은 양의 치충이 폐사하였는데, 이 시기를 바위털갯지렁이 치충의 위험기 라고 할 수 있다. 따라서 이 시기의 생존율을 높이기 위해서는 다각적인 방법의 기질 조성이 필요할 것으로 판단된다.

무게 측정이 가능한 60일차부터 90일차까지의 평균 중량은 조금씩 증가하

여 기질(sand)을 높인 실험구에서 8.1 ~ 9.1 mg으로 높았고 기질(sand)이 없는 실험구에서는 상대적으로 낮았다. 따라서 높은 기질이 치충의 안정적인 성장에 기여한 것으로 판단된다. 그리고 전체 중량은 모든 구간에서 75일차까지 높은 값을 유지 하였으나, 90일차에는 급격히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 90일차에 급격히 성장한 chaetiger과 평균중량, 그리고 급격히 감소한 생존율과 연관이 있다고 판단된다. 즉 감소한 생존율, 전체중량과 증가한 chaetiger 수, 평균중량으로 동종간의 포식으로 인한 폐사를 생각 할 수 있었다. 따라서 이 시기의 폐사를 막기 위해서 더 높은 기질을 제공하거나, 더 낮은 밀도로 분조 하는 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구를 바탕으로 바위털갯지렁이 초기생활사별 영향을 미치는 기질의 특징을 정리하였다(Fig. 29). 먹이를 섭취하지 않는 7일까지는 안정적인 서식관을 형성 할 수 있는 기질의 입도에 영향을 받았다. 이후 15일까지는 먹이로 이용되는 기질의 유기물과 입도에 영향을 받았으며, 15일 이후부터는 기질의 유기물, 입도와 함께 사료원외의 기질에 함유되어 있는 천연의 미지영양원에 영향을 받았다. 마지막으로 60일 이후에는 공식을 예방할 수 있는 기질의 높이에 영향을 받았다.

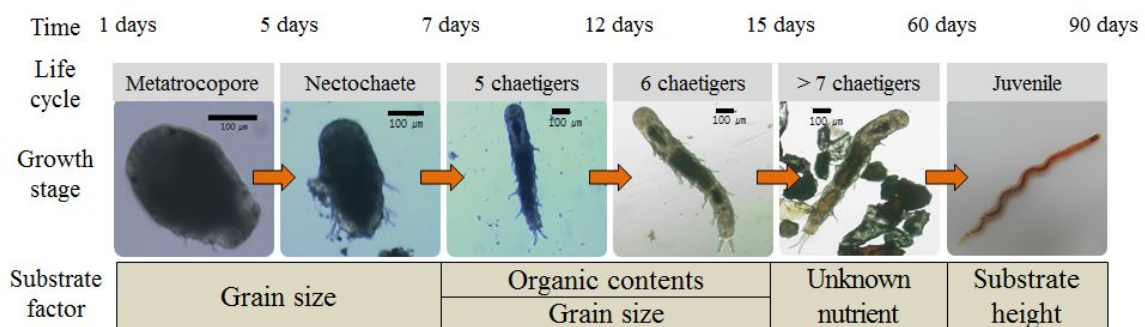


Fig. 29. Dependence on substrate factor for early larva to juvenile of *M. sanguinea*.

5. 요약

고부가가치 양식 대상종으로 각광 받고 있는 바위털갯지렁이(*Marphysa sanguinea*)는 초기 유생 및 치충 단계의 높은 폐사율로 인해 낮은 생산력을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 유생 및 치충의 착저, 성장 그리고 생존에 유리한 기질을 조사함으로써 양식 생산성을 높일 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

입도가 작고($< \varnothing 0.063 \text{ mm}$) 유기물 함량이 높은 기질(5 ~ 10% mud)이 더 많은 유생의 착저를 유도하였고 착저 시간을 단축하였다. 그리고 비교적 착저에 유리한 $\varnothing 0.004 \text{ mm} \sim 0.016 \text{ mm}$ 기질과 유기물 5%, 7.5% mud 기질에서 유생의 성장 및 생존율이 높았다. 기질 입도에 따른 치충의 생존율은 15일차에 $\varnothing 0.016 \text{ mm}$ 미만의 기질에서 90% 이상의 생존율을 보였다. 그러나 이후 모든 구간의 생존율이 급격히 줄어들어 60일차에는 전량 폐사하였다. 기질로써 mud량에 따른 실험은 모든 실험구들 사이의 성장 및 생존율에 유의한 차이는 없었다. 기질(sand) 높이를 다르게 조성한 실험은 기질(sand)을 3 cm 이상 높인 구간에서 생존율과 평균 중량이 기질(sand)이 낮은 구간 보다 높았다.

본 연구 결과, 바위털갯지렁이 생산성 향상을 위한 초기 사육 기질은 3 cm 이상의 sand 위에 $\varnothing 0.016 \text{ mm}$ 미만인 유기물 5% ~ 7.5% 가량의 mud를 1 mm 두께로 조성하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 학문적으로나 인격적으로 많은 가르침을 주신 김창훈 교수님께 가장 먼저 고개 숙여 감사드립니다. 그리고 바쁘신 와중에 논문 심사를 맡아 주시고 아낌없이 조언을 해주신 김종명 교수님, 김현우 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 또, 학부시절부터 석사과정을 마칠 때까지 학문의 가르침을 주신 조재운 교수님, 허성범 교수님, 장영진 교수님, 김동수 교수님, 배승철 교수님, 남윤권 교수님, 공승표 교수님, 강성민 교수님께도 감사의 뜻을 전합니다.

수산과학기술센터에서 생활하면서 많은 조언과 가르침을 주신 한규만 실장님, 김지일 선배님, 윤창호 부장님, 하승진 선생님, 이지홍 형님 감사합니다. 그리고 실험실에서 많은 격려와 힘이 되어 준 지효형, 경미누나, 정수형, 종석이형, (김)민정이에게 감사의 뜻을 전합니다. 학부로써 많은 도움을 준 승룡이, 민주, 은지, 유진이, 종현이, 승균이, 승준이, 자홍이 감사합니다. 비록 다른 연구실이었지만, 대학원 생활의 고충을 함께 나눈 06학번 동기 준형이, 민균이, 병수, 동욱이 에게도 감사의 말을 전합니다.

열심히 하고 있는 모습으로 언제나 저에게 자극을 주었던 (고)민정이, 학부시절부터 같이 해왔고 나에게 큰 힘이 되어준 채구, 2년 동안 같은 방 쓰면서 서로의 미래를 함께 걱정한 병권이, 학문적 실무적인 것을 떠나 존재만으로도 큰 힘이 되어준 경훈형 에게 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

본인들은 아는지 모르겠지만, 기쁠 때나 슬플 때나 큰 힘이 되어준 민석이, 익현이, 현진이, 상식이, 은혜, 민상이 에게도 감사의 말을 전합니다.

그리고 너무나도 사랑하는 해랑이, 나의 부족함을 채우고도 남을 정도로 과분한 여자이지만 늘 내 곁을 지켜주고 5년이 넘는 시간동안 사랑과 격려로 결실을 맺게 해준 당신에게 사랑한다는 말을 전합니다.

마지막으로 제가 하고 싶어 했던 이 일을 할 수 있도록 묵묵히 지원해주신

부모님, 동생에게 감사의 말을 전합니다. 그리고 논문을 완성하기까지 도움을 주신 모든 지인분들께 감사의 뜻을 전하며 항상 보답하는 자세로 살아가기를 맹세합니다.



참고 문헌

- Alexander, B. and V. Anna. 2005. Muscular system in polychaetes (Annelida). *Hydrobiologia*, 535/536, 113-126.
- Bass, N.R. and A.E. Brafield. 1972. The life cycle of the polychaete *Nereis virens*. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 52, 701-726.
- Cassai, C., D. Prevedelli. 1998. Reproductive effort, fecundity and energy allocation in *Marphysa sanguinea* (Polychaeta:Eunicidae). *Invert. Reprod. Dev.*, 34(2~3), 133-138
- Clark R.B. 1977. Reproduction, speciation and polychaete taxonomy. In: *Essay on Polychaetous Annelids in Memory of Dr. Olga Hartman*. 477-502.
- Cohen, R.A. and 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. Ecol.*, 240, 1-18.
- Garces, J. P., J. PEREIRA. 2011. Effect of salinity on survival and growth of *Marphysa sanguinea* Montagu (1813) juveniles. *Aquacult Int.* 19, 523-530
- Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationships. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 12, 223-261.
- Hsieh, H. Lian. 1994. Larval development and substrate preference at settlement in *pseudopolydora diopatra* (Polychaete: Spionidae). *Invertebrate Reproduction & Development*, 25, 205-214.
- Imai, T. 1975. On the development and the spawning behaviour of polychaete worm, *Marphysa sanguinea*. *Aquiculture*, 23 (1), 14-20.
- Imai, T. 1976. On the growth of polychaete worm, *Marphysa sanguinea*. *Aquiculture*, 24 (2), 61-67.
- Imai, T. 1981. Feeding and excreting of *Marphysa sanguinea* (Montagu) Annelida Polychaeta. *Bull. Kanagawa Pref. Fish. Exp., St.* 3, 9-14.
- Imai, T. 1982. The early development and breeding of *Marphysa sanguinea*

- (Montagu). Benthos Res., 23, 36-41.
- Lewis, C., P. Karageorogopoulos. 2008. A new species of *Marphysa* (Eunicidae) from the Western Cape of South Africa. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 88(2), 277-287.
- 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.
- Noffke, A., G. Hertweck., I. Kro'ncke., A. Wehrmann. Particle size selection and tube structure of the polychaete *Owenia fusiformis*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 81, 160-168.
- Pardo, E.V., D.M. Dauer. 2003. Particle size selection in individuals from epifaunal versus infaunal populations of the nereidid polychaete *Neanthes succinea* (Polychaeta: Nereididae). Hydrobiologia, 496, 355-360.
- Pawlik, J.R. 1992. Chemical ecology of the settlement of benthic marine invertebrates. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 30, 273-335.
- Pechenik, J.A. 2006. Larval experience and latent effects . metamorphosis is not a new beginning. Integr. Comp. Biol. 46, 323-333.
- Pechenik, J.A., T.R. Cerulli. 1991. Influence of delayed metamorphosis on survival, growth, and reproduction of the marine polychaete, *Capitella* sp. I. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 151, 17-27.
- Pocklington, P., P.G. Wells. 1992. Polychaetes: key taxa for marine environmental quality monitoring. Marine Pollution Bulletin 24, 593-598.
- Prevedelli, D. 1994. Influence of temperature and diet on the larval development and growth of Juveniles *Marphysa sanguinea* (Polychaeta, Eunicidae). Actes de la 4ème Conférence Internationale des polychètes: Memories du Museum d'Histoire Naturelle (Fr), 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.

- Quintana. C.O., E. Kristensen. 2013. Impact of the invasive polychaete *Marenzelleria viridis* on the biogeochemistry of sandy marine sediments. *Biogeochemistry*, 115, 95-109.
- Rouse, G.W., F. Pleijei. 2001. *Polychaetes*. London, Oxford University Press. 354 pp.
- 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.
- 강경호, 김재민, 이운형. 2000. 바위털갯지렁이, *Marphysa sanguinea*의 육상 수조식 양식을 위한 서식 생태학적 연구. 여수대 수산과학연구소 논문집 9, 114-121.
- 강경호, 이재학, 유성규, 장영진. 1997. 실험실 사육에 의한 두토막눈썹참갯지렁이, *Perinereis aibuhitensis* (Grube)의 저질 선택성과 굴의 형태. *한수지* 30, 634-639.
- 김경훈. 2012. 바위털갯지렁이 대량 종묘생산을 위한 초기 사육기법. 부산 부경대학교 대학원 석사 학위논문. 52 pp.
- 김창훈, 장성욱. 2008. 바위털갯지렁이 *Marphysa sanguinea*의 인공종묘생산에 미치는 사육환경의 영향. *한국양식학회지* 21 (1), 34-40.
- 백상규, 박홍식, 윤성규, 제종길. 2005. 우리나라 서·남해안에서 출현하는 다모류를 통한 해역의 생태등급 산정. *한국습지학회지*, 7, 89-104
- 백의인. 1989. *한국동식물도감 동물편 (갯지렁이류)*. 한국동식물도감. 문교부. 서울시 동작구. pp. 424-425.
- 田中邦三. 1972. イワムシ養殖の話. *漁村*, 38(7), 49-52.
- 정명생. 2011. 갯벌어업 육성을 위한 연구개발. 농림수산식품부
- 조국일. 2011. 바위털갯지렁이의 산업화에 관한 연구. 해양환경안전학회
- 최상덕, 김호진, 라성주, 서해립, 홍성운. 2000. 개불, *Urechis unicinctus* 유

- 생의 빠른 착저를 위한 유인물질. *Aquaculture*, 13, 175-179.
- 韓國海洋研究所. 1990. 해산 갯지렁이 자원조사 및 사육기법 개발, 136 pp.
- 해양수산부. 2001~2013. 수산물수출입통계연보.
- 해양수산부. 2014. 갯벌정보시스템.
- 허철희. 2011. 바위털갯지렁이, *Marphysa sanguinea*의 유생발달과 기질에 따른 치충의 성장. 부산 부경대학교 대학원 석사 학위논문. 42 pp.

