

해삼 종자 안정적 생산방법 확립연구

김동우, 김응원

I. 서 론

해삼(*Stichopus japonicus*)은 순수목(Aspidochirotida) 돌기해삼과(Stichopodidae) 돌기해삼속(*Stichopus*)에 속하며, 전 세계적으로 약 1,500여 종이 알려져 있고 그 중 우리나라에 분포 서식하는 해삼류는 약 14종이 있는 것으로 알려져 있다. 해삼은 오래 전부터 수산식품으로서 식생활에 중요한 위치를 차지하고 있으며, 우리나라의 전 연안에서 연중 어획되고 있지만 연안어장의 환경오염과 해안매립 등으로 인하여 해삼의 산란장과 서식처가 점차 축소되고 있다(이와 박, 1999).

우리가 일반적으로 해삼 또는 참해삼이라고 부르는 종은 돌기해삼, *Stichopus japonicus*을 가리키는 것으로 우리나라에서 어획되는 해삼류의 대부분을 차지하고 있으며, 계절적으로 4~6월에 비교적 많이 어획되고, 주 어획 방법은 잠수기 및 마을 공동어업에 의해 이루어지고 있다.

우리나라의 해삼 어업 생산량은 인공종자에 의한 소규모의 씨뿌림 양식이 시도되면서 조금씩 증가하여 2005년에는 1,136톤, 2007년 2,936톤, 2010년에는 3,875톤 수준으로 회복되었다가 최근 2015년 2,211톤으로 감소하고 있다.

해삼에 관한 연구로는 해삼의 형태와 생태 및 양식 등에 관한 종합적인 연구(최, 1963)와 해삼 유생의 성장과 생존에 미치는 먹이 및 수용밀도의 영향 연구(이택, 1999), 한국 서해안 해삼의 생식주기에 관한 조직학적 연구(박 등., 2007), 배합사료의 단백질 및 지질 함량이 어린 돌기해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향 연구(서 등., 2008), 사육수조 내 사육기질이 어린 해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향 연구(서 등., 2009) 등 많은 연구가 보고되었으나 해삼산업화가 정착되어 지기까지는 해삼연구가 미흡한 실정이다.

최근 중국에서는 해삼을 최고의 스테미나 식품으로 선호하여 가격이 급등하고 있으며, 수산물 중 중국 수출 경쟁력확보가 가능한 품종이다. 그러므로 지속적인 자원회복 뿐만 아니라 수산업 경제에 활력을 불어넣기 위해서는 인공종자의 대량 생산 및 씨뿌림 방류에 의한 자원조성과 함께 지속적인 인공종자생산 기술개발연구가 필요한 실정이다. 현재 우리나라 해삼양식은 자체 기술로 해삼종자를 안정적으로 생산할 수 있는 수준까지 발달했으나 생산량 등에서 아직까지 중국에 비해 뒤떨어지는 상황이고 민간 해삼 양식장의 경우 대부분 중국인 기술자를 고용하여 생산하고 있는 실정이다. 따라서 지속적이고 안정적인 해삼양식 기술개발 및 보급을 통해 어업인 소득증대 및 해삼양식의 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 산란유도(채란)

어미 해삼은 2017년도 6월말에 인천광역시 옹진군 자월도 인근해역과 대이작도 인근해역에서 채집한 것으로 각각 50kg과 25kg씩 구입하였으며, 구입 시 외부에 상처가 없고 활력이 양호한 개체를 선별하였다. 선별한 개체는 연구소 사육수조로 옮긴 후 냉각기를 이용하여 17°C 내외로 관리하였으며, 여과해수를 주수시켜 1~3일간 장속의 배설물을 배출시킨 후 산란을 유도하였다.

산란을 유도하기 위해서 해삼을 1시간 동안 공기 중에 노출시키는 간출자극을 실시한 후 해수를 해삼의 체표면에 40분간 분사하는 표면자극을 실시하였으며 이후 사육수온보다 5°C 높은 자연해수에 해삼을 수용하는 수온자극을 실시하였다.

채란에 사용한 수조는 FRP수조(1.0×3.0×0.7m)로 암컷과 수컷을 함께 수용하였으며 수온자극 후 1~2시간 이후 수컷의 방정이 시작되었고 이에 자극받은 암컷이 방란하기 시작하였다. 방란 방향정이 일어나고 1~2시간 경과 후 사이폰을 이용하여 물러가제(망목크기: 40 μm)에 수정란을 수거하여 3~4회 여과해수로 세란 한 뒤 부화수조에 수용하여 관리하였다.

2. 유생사육 및 채묘

부화하여 부상한 유생은 물러가제(망목크기: 40 μm)로 수거한 다음 사각콘크리트 수조(3.0×7.0×1.1m) 8개와 원형콘크리트수조(φ 6×1.5m) 2개에 0.3~0.8 개체/ml의 밀도로 수용하여 관리하였으며 사육수는 1 μm필터를 이용해 여과하여 사용하였다.

환수는 처음 유생 사육시 사육수조의 1/3만 해수를 채우고 유생을 수용한 뒤 1일 10~20cm씩 증수하였으며 만수위가 되었을 때부터는 상황에 따라 1일 30~50%씩 환수를 실시하였다. 환수방법은 사육수조 내에 50 μm 물러가제로 만든 환수틀을 넣어 유생이 빠져나오지 않게 사이폰하는 방식으로 실시하였다.

먹이공급은 농축 식물성플랑크톤인 IA패류용과 *Isochrysis* sp., *Chaetoceros* sp.를 배양하여 공급하였으며, IA패류용은 유생의 성장에 따라 수조 당 약 1~10ml/ton 씩 1일 2회 공급하였고 *Isochrysis* sp., *Chaetoceros* sp.는 유생의 성장에 따라 수조 당 10~50L씩 1일 1회 공급하였다.

부착기에 도달한 유생의 채묘에 사용한 채묘기는 전복 사육용 골파판과 해삼 사육용 골파판을 사용하였으며 doliolaria 유생이 많아지기 시작하는 9~11일경에 유생사육수조에 파판을 놓아서 투입하여 채묘를 실시하였다.

채묘 후 소량의 폭기와 함께 지수식을 유지하며 사육하다가 부유유생의 유무를 확인한 후 채묘 7일 뒤부터 환수틀을 사용하지 않고 여과 해수를 주수하여 사육하였다.

3. 어린해삼 사육

채묘한 어린해삼의 환수는 초기에는 1일 1회전 내외를 실시하였고, 1 μm 필터를 이용해 사육수를 여과하여 주수하였다. 채묘 후 15일 이후부터는 자루필터를 이용해 사육수를 여과하여 주수하였으며 환수량은 1일 2~4회전 내외를 유지하였다.

어린해삼의 먹이는 배합사료와 이스트, 비타민, 영양제, 스피루리나 등을 혼합하여 4~5시간 정도 발효한 후 공급하였으며, 채묘 후 1주일간은 식물성플랑크톤을 혼합하여 공급하였다. 사육초기에는 배합사료 공급 전 60 μm 망목의 물러가제를 이용해 입자가 작은 것만 먹이로 공급하였으며, 해삼의 성장에 따라 망목을 늘려가면서 먹이를 공급하였다.

사육파판은 붉은 체색의 어린해삼이 40~50% 출현하였을 때 바로 세움을 실시하였으며, 붉은 체색으로 변색된 개체가 50% 이상 나타났을 때 첫 청소와 더불어 선별을 실시하였다. 선별은 약 30일 간격으로 실시하였으며 선별한 개체는 크기별로 분조하여 사육하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 채 란

채란에 사용한 어미는 인천 옹진군 자월면 해역에서 채집하였으며 채집 후 어선을 이용해 연구소로 운반하여 운송에 따른 스트레스를 최소화하였다. 어미사육수조에 수용 후 일부개체는 내장을 배출하였으나 대부분 내장 배출 없이 짧은 시간 내에 안정 되었다. 어미는 냉각기를 이용하여 채집 당시 현장 수온과 동일한 17 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지시켜 주었으며, 1~2일간 안정시키며 장속의 배설물과 펄, 모래 등을 배출시켰다.

채란은 간출자극, 표면자극, 수온자극의 3가지를 순서대로 실시하였고, 간출자극은 1시간, 표면자극은 40분, 수온자극은 사육수보다 5 $^{\circ}\text{C}$ 높게 실시하였으며 암컷과 수컷을 한 수조에 수용하여 채란을 실시하였다. 어미관리도중 일부 수컷이 자연방정하기 시작하여 채란을 실시하였으나 채란양은 2천만립 정도였으며, 채란양이 많지 않았기 때문에 일주일정도 안정시킨 후 2차 채란을 실시하였다. 2차 채란도 1차와 동일한 방법으로 실시하였으며, 수온자극 후 약 1시간 경과한 다음부터 수컷이 먼저 방정을 시작하였고, 이에 자극을 받은 암컷도 방란을 시작하였다. 2차 채란양은 약 9천만립 정도였으며 부화율은 78%로 1차 때에 비해 높았다. 정충은 흰색, 난은 주황색이었으며 채란 결과는 표 1과 같다.

표 1. 해삼 채란 결과

채란일	어미해삼 (kg)	자극방법	채란양 (천개)	부화량 (천개)	부화율 (%)
2017. 06. 27	50	간출자극 1시간 표면자극 40분 수온자극 17℃→21℃	20,000	14,000	70
2017. 07. 04	75	간출자극 1시간 표면자극 40분 수온자극 17℃→22℃	90,000	70,000	78

해삼은 산란 시 수면 가까이 올라와 상반부를 좌우로 흔들면서 두부 위의 생식공을 통해 방란·방정을 하였으며, 많은 수의 해삼이 수면 가까운 곳까지 올라와 방란·방정을 하였으나 중층과 저층에서 방란·방정을 하는 개체도 발견되었다(그림 1).



그림 1. 해삼의 방란·방정(좌 : 암컷 방란, 우 : 수컷 방정)

수정 시 정충의 양이 너무 많으면 난막이 파괴되거나 수정율이 낮아질 수 있기 때문에 사육수가 유백색으로 변하는 시점부터 방정하고 있는 수컷을 수조에서 제거하였다.

수정은 산란 직후 바로 이루어 졌으며, 방란·방정이 시작되고 1~2 시간 후 수정란을 사이폰을 이용하여 망목 40 μ m 크기의 물러가제로 수거하여 여과해수로 3~4 회 세란 후 부화수조로 옮겨서 관리하였다. 수정란 수거 시 바닥에 깔린 수정란은 배설물과 찌꺼기 등이 섞여 있어 최대한 바닥까지 찌꺼기가 섞이지 않게 수거하였다.

2. 유생사육 및 채묘

부화 및 유생 사육수조는 사용 전 담수와 차아염소산나트륨을 이용해 소독한 후 건조시켜 사용하였다. 수정란은 원형콘크리트수조(ϕ 6×1.5m) 1개에 수용하여 부화 할 때까지 지수식으로 사육하였으며, 사육수온은 23℃내외였다. 이후 부화가 완료된 개체들은 수거하여 사각콘크리트수조(3.0×7.0×1.1m) 7개와 원형콘크리트수조(ϕ 6×1.5m) 2개에 분조하여 사육수온 23℃ 내외로 관리하였다.

난발생은 수정 후 약 1시간 후에 2세포기가 되었고, 3시간 후에 8세포기가 되었으며, 낭배기까지는 약 24시간이 소요되었다.

유생의 발달과정은 수정 후 2일째부터 *auricularia* 유생이 되어 먹이를 섭취하기 시작하였으며, 수정 후 9일째부터 *doliolaria* 유생으로 변태하기 시작하여 11일째부터 일부 *pentactula* 유생으로 변태한 개체가 보이기 시작하였다(그림 2).

기존의 유생사육방법은 별도의 유생사육수조에서 유생을 사육 후 채묘시기에 유생을 수거해 채묘수조에 채묘를 하는 방식이었으나 본 연구에서는 유생의 스트레스를 최소화하기 위해 각 수조별로 유생을 사육한 후 채묘시기에 수조에 채묘 파판을 투입하여 채묘를 하는 방법을 사용하였다.

유생은 수조 당 0.3~0.8 개체/ml의 밀도로 수용하여 사육하였으며, 먹이는 IA패류용과 *Isochrysis* sp., *Chaetoceros* sp. 2종의 식물성플랑크톤을 직접 배양하여 공급하였다. 기존 해상유생 사육 시 공급한 먹이는 홍효모, 염조, 각모조 등을 혼합하여 사용하였으나 유통과정에서 변질될 우려가 많고 수질악화의 요인 등도 발생하는 경우가 있었다. 시중에서 판매하는 IA패류용은 식물성플랑크톤인 *Tetraselmis* sp., *Isochrysis* sp., *Pavlova* sp., *Thalassiosira pseudonana*, *Thalassiosira weissflogi*, *Chaetoceros calcitrans*를 농축해 놓은 것으로 해수에 희석해 사용함으로써 편리성이 좋고 수질오염도 낮았다. 또한, 해상유생의 사육 및 변태 시 중요한 먹이인 *Isochrysis* sp., *Chaetoceros* sp.를 배양하여 추가로 공급함으로써 혹시 발생할지 모르는 먹이부족 상황을 방지하였다. IA패류용은 유생의 성장에 따라 수조 당 약 1~10ml/ton씩 1일 2회 공급하였고 *Isochrysis* sp., *Chaetoceros* sp.는 유생의 성장에 따라 수조 당 10~50L씩 1일 1회 공급하였으며, 먹이 공급 전·후 유생의 장을 현미경으로 관찰하여 장에 먹이가 2/3이상 차 있을 수 있도록 먹이양을 조절하였다.

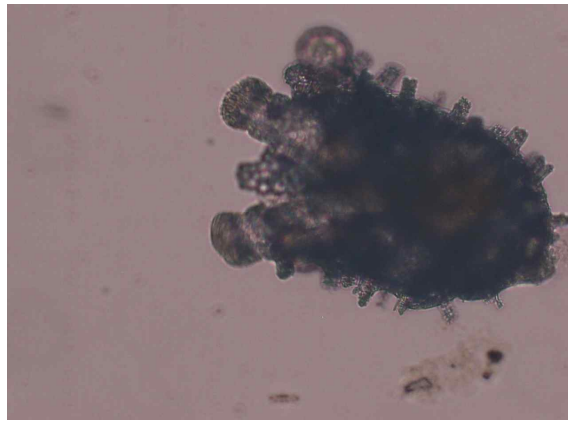
유생사육기간 동안 환수는 처음 유생 사육 시 사육수조의 1/3만 해수를 채우고 유생을 수용한 뒤 1일 10~20cm씩 증수하였으며 만수위가 되었을 때부터는 상황에 따라 1일 30~50%씩 환수를 실시하였다. 환수방법은 사육수조 내에 50 μ m 물러가제로 만든 환수틀을 넣어 유생이 빠져나오지 않게 환수틀 내에 호스를 넣어 사이폰하는 방식으로 실시하였다. 환수하는 동안 환수틀 외부에 유생이 달라붙는 것을 최소화하기 위해 수시로 망을 흔들며 주었으며 바닥에 찌꺼기가 보일 경우 사이폰을 이용해 제거해 주었다. 사육수는 1 μ m필터를 통과한 여과해수를 사용하였고 빛이 들어오지 않도록 직사광선을 차단하여 사육하였다.



auricularia 유생



doliolaria 유생



pentactula 유생

그림 2. 해삼유생의 변태과정

채묘는 doliolaria 유생이 30% 이상 출현했을 때 실시하였으며 유생 사육수조에 채묘파판을 놓여서 투입하여 실시하였다. 채묘는 2회에 걸쳐 실시하였으며 사육한 유생 수는 총 8백만 마리로 파판 당 500개체를 계산하여 채묘 하였고 유생 수가 적은 수조는 별도로 관리한 유생수조에서 수거하여 채묘 유생수를 유지하였다. 채묘파판은 전복사육용 골파판과 해삼사육용 골파판을 사용하였는데 전복사육용 골파판은 파판수가 많은 대신 판 간격이 좁고 작았으며, 해삼사육용 파판은 파판수가 적은대신 판 간격이 넓고 크기가 컸다. 평균 채묘율은 56.2%로 파판 당 297마리가 채묘 되었으며 해삼사육용 골파판이 전복사육용 골파판보다 채묘율이 좋았다. 수정 후 채묘까지 걸린 기간은 약 10일이 소요되었으며, 채묘결과는 표2와 같다.

표 2. 어린해삼 채묘 결과

일 자	부착기유생 (천마리)	채묘량 (천마리)	채묘율(%)
2017. 07. 10	1,800	908	50.4
2017. 07. 14	6,200	3,844	62

해삼 유생은 채묘 후에도 수중에 있는 유기물과 식물성플랑크톤 등을 여과섭식하기 때문에 채묘 후 약 10일간 변태가 완료되지 못한 개체의 먹이섭이를 위해 배합사료와 함께 식물성플랑크톤을 혼합 공급하였다. 채묘 완료 후 수조 내에 요각류의 서식이 확인되어 환수량 및 환수속도를 높여 요각류를 최대한 제거하였다.

3. 어린해삼 사육

채묘한 어린해삼은 한 달 동안은 1 μ m필터로 여과한 자연해수로 사육하였고 이후 자루필터로 여과해 사육하였으며 조도는 5,000 lux 이하로 유지시켜 주었다.

먹이는 배합사료와 이스트, 비타민, 영양제, 스피롤리나 등을 혼합하여 4~5시간 정도 발효한 후 공급하였으며 한 달 동안은 망목 80 μ m 망으로 사료를 거른 후 공급하였고 이후 해삼의 성장상태를 보며 망목을 늘려 사료를 거른 후 공급하였다. 해삼배합사료에는 입자크기가 다양하게 들어있어 사육 초기에 사료를 선별하지 않고 공급하면 어린해삼이 섭이하지 못하는 크기의 입자들이 바닥에 지속적으로 축적되어 부패하게 된다. 이로 인해 수질악화, 질병 등이 발생되어 대량폐사로 이어지게 된다.

어린해삼은 채묘 후 약 1개월 정도 경과 뒤에는 체색이 붉은색으로 변색된 개체들이 나타났으며 6mm 내외의 크기까지 성장하였다. 채묘 후 2개월 정도 뒤에는 붉은 체색으로 변색된 개체가 70%이상 나타났으며 선두개체는 20mm 이상 크기까지 성장하였다(그림 3). 채묘 후 약 3개월이 경과한 뒤에는 대부분 붉은 체색으로 변색되었으며 선두개체는 100mm 이상 크기까지 성장하였다.

파판은 어린해삼의 체색이 붉게 변색되는 시점에 수조 바닥과 수직되게 세워주었으며, 첫 청소는 채묘 후 50일 정도 경과한 다음 실시하였다. 청소 방법은 해수로 파판에 붙어있는 찌꺼기를 제거하고 청소한 파판을 새로운 수조에 넣어주었으며 수조 벽면과 바닥에 붙어있는 해삼은 해수를 분사하여 떨어뜨린 후 채집하여 밀도에 맞게 분조하였다. 선별은 청소 당시 채집한 개체를 선별기를 이용해 3가지 크기로 선별한 후 분조하여 사육하였다.



그림 3. 채묘 후 25일된 어린해삼(좌)과 55일된 어린해삼(우)

청소는 바닥에 찌꺼기들이 하얀색으로 변색되기 전에 수조 하나를 비운 후 밀어내기 방식으로 실시하였다. 선별은 1달에 1번씩 실시하였으며, 청소와 선별 후 항생제인 네오테트라를 2~3 ppm 농도로 1~2시간 약욕 한 뒤 전량 환수 하였다. 해적생물인 요각류는 종자생산 기간 동안 지속적으로 발생했으며, 수조 내 요각류가 증가하면 청소를 통해 구제하였다.

사육기간 동안 최고수온은 30℃로 2일간 지속되었으며 고수온 기간 동안 27~28℃를 유지하였다. 이 기간 동안 대량폐사는 발생하지 않았다. 지속적인 선별을 통해 크기별로 사육하였음에도 개체 간 크기차이가 심하였고, 방류 시 까지도 체색이 붉게 변색되지 않은 개체도 있었다.

4. 어린해삼 방류

2016년 해삼 중간육성 시험연구 시 월동 사육하여 생산한 체중 6g 내외의 어린해삼 1만미는 2017년 4월 28일 인천 중구 무의동 연안바다목장 사업대상해역에 방류하였으며, 2017년 시험연구결과 생산된 체중 1g 이상의 어린해삼 10만미는 수산자원 조성 및 어업인 소득증대를 위하여 2017년 10월 26일과 10월 27일 인천 옹진군 영흥해역(3만미)과 중구 연안바다목장 사업대상해역(7만미)에 방류를 실시하였다(그림 4).



그림 4. 어린 개불 방류

IV. 요약

1. 채란에 사용한 어미는 연구소로 이동 후 냉각기를 이용하여 수온 17°C에서 1~2일간 안정시키며 장속의 배설물과 펄, 모래 등을 배출시켰다. 산란유도는 간출자극, 표면자극, 수온자극법을 이용하였고, 암컷과 수컷을 한 수조에 수용하여 산란을 실시하였다.
2. 난발생은 수정 후 수온 23°C에서 약 1시간 후에 2세포기가 되었고, 3시간 후에 8세포기가 되었으며, 낭배기까지는 약 24시간이 소요되었다. 수정 후 2일째부터 *auricularia* 유생이 되어 먹이를 섭취하기 시작하였으며 9일째부터 *doliolaria* 유생으로 변태하기 시작하여 11일째부터 일부 *pentactula* 유생으로 변태한 개체가 보이기 시작하였다.
3. 유생은 수조 당 0.3~0.8 개체/ml의 밀도로 수용하여 사육하였으며, 먹이는 IA 패류용과 *Isochrysis* sp., *Chaetoceros* sp. 2종의 식물성플랑크톤을 직접 배양하여 공급하였다. 환수는 상황에 따라 1일 30~50%를 실시하였다.
4. 채묘는 *doliolaria* 유생이 30% 이상 출현했을 때 실시하였고 유생 사육수조에 채묘파판을 놓여서 투입하여 실시하였으며 파판 당 500개체를 계산하여 채묘하였다.
5. 파판은 어린해삼의 체색이 붉게 변색되는 시점에 수조 바닥과 수직되게 세워주었고, 첫 청소는 채묘 후 50일 정도 경과한 다음 실시하였으며, 선별은 청소 당시 채집한 개체를 선별기를 이용해 3가지 크기로 선별한 후 분조하여 사육하였다.
6. 2016년 해삼 중간육성 시험연구 시 월동 사육하여 생산한 체중 6g내외의 어린해삼 1만미는 2017년 4월 28일 인천 중구 무의동 연안바다목장 사업대상해역에 방류하였으며, 2017년 시험연구결과 생산된 체중 1g 이상의 어린해삼 10만미는 수산자원조성 및 어업인 소득증대를 위하여 2017년 10월 26일과 10월 27일 인천 옹진군 영흥해역(3만미)과 중구 연안바다목장 사업대상해역(7만미)에 방류를 실시하였다.

V. 참고 문헌

- 박광제, 박영제, 김수경, 최상덕, 김용구, 최낙현, 2007. 한국 서해안 해삼의 생식 주기에 관한 조직학적 연구. 한국양식학회지 20(1) : 26~30.
- 서주영, 김동규, 김근업, 조성수, 박흥기, 이상민, 2009. 사육수조 내 사육기질이 어린 해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향 연구. 한국양식학회지 22(1) : 118~121.

서주영, 최진, 김근업, 조성수, 박흥기, 이상민, 2008. 배합사료의 단백질 및 지질 함량이 어린 돌기해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향 연구. 한국양식학회지 21(1) : 19~25.

李彩成 박영제, 1999. 해삼, *Stichopus japonicus* 유생의 성장과 생존에 미치는 먹이 및 수용밀도의 영향. J. of Aquaculture 12(1) : 39~45.

崔 相, 1963. なまごの研究. 海文堂, 東京, 51~78.