Article

원유 유출 지역에서 자연암반과 양식 기질에 서식하는
참굴(*Crassostrea gigas*)의 초기 가입 특성 및 성장 비교

이혜미^{1,2} · 윤건탁^{1*}

¹한국해양과학기술원 태평양해양연구센터
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

²과학기술연합대학원대학교 해양생물학과
(305-350) 대전광역시 유성구 가정로 217

Comparison of Recruitment and Growth Patterns of Pacific Oysters
(*Crassostrea gigas*) between a Natural Rocky Shore and Farming Substrate
Within an Oil Spill Contaminated Area of Korea

Hye-Mi Lee^{1,2} and Kon-Tak Yoon^{1*}

¹Pacific Ocean Research Center, KIOST
Ansan 426-744, Korea

²Department of Marine Biology, Korea University of Science & Technology
Daejeon 305-350, Korea

Abstract : Macrobenthic biodiversity in the rocky intertidal areas of the Tae-an region, Republic of Korea, has decreased since the Hebei Spirit oil spill in December 2007. We aimed to investigate ecological roles of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) because recruitment and growth of oysters are critical to the recovery of damaged rocky shore ecosystem. We surveyed two sites monthly: natural rocky substrate and farming substrate, from July 2012 to January 2013 to identify and compare the changes in macrobenthic fauna. The abundance of young oysters was higher at the natural site. On the other hand, the mean height of oyster on the farming substrate was more than twice as great. The abundance of oyster at the natural site increased until October and then continuously decreased until end of study period. However, the abundance of oyster at the farming site constantly decreased from the beginning of study period. These different growth patterns might be attributable to spatial competition between oyster and a barnacle species (*Balanus albicostatus*) and environmental factors. At the natural site, physical stress factors including dramatic temperature changes and desiccation a few of the major factors limiting growth during aerial exposure. In addition, motile macrobenthos could be detrimental to oysters because they interrupt filter-feeding activities and hence hamper the growth of oysters. We show the higher recruitment of oysters at the natural site and healthy growth in the farming substrate are due to complicated differences in physical and biological stress factors.

Key words : *Crassostrea gigas*, oyster, Hebei Spirit oil spill, rocky shore, recruitment, growth

*Corresponding author. E-mail : urothoe@kiost.ac

1. 서 론

2007년 12월, 충남 태안군 만리포 북서방 10 km 해상에 서 발생한 Hebei Spirit호 유류 유출 사고는 조간대, 조하대 등 다양한 서식처 생물의 종조성을 변화시켰고, 유류의 독성으로 인하여 생물량이 감소하는 결과를 가져왔다(국토해양부 2008, 2009; 정 2012; 정 등 2013; Yu et al. 2013). 이 중 암반 조간대의 경우, 외국의 사례와 마찬가지로 유류제거 과정에서 실시된 고압 세척, 갯닦이 등과 같은 방제 활동의 영향으로 저서 생물이 서식처로부터 이탈되는 2차 영향을 받았다(Watt et al. 1993; Gajbihiye et al. 1995; Peterson 2001; Southward and Southward 2011).

사고 이후 시간이 지나면서 암반조간대 생태계에는 파개비, 굴과 같은 부착 생물의 가입이 이루어졌으며, 크기가 작은 저서 생물들이 추가로 가입하는 천이를 통해 암반 생태계가 점차 회복되는 모습을 보였다(국토해양부 2011; 해양수산부 2012; 정 2012).

파개비류와 굴은 피해 지역인 서해 암반 조간대에서 일반적으로 서식하는 종들로 건조, 고염 및 극심한 온도 변화가 있는 암반 조간대 환경에서 비교적 잘 적응하며(Ingle et al. 1971; Quick 1971), 암반 조간대에 서식하는 다른 종들에게 포식자로부터 피난처를 제공하고, 급격한 환경 변화를 완화시키는 등 서식처로서의 역할을 한다(Tolley and Volety 2005; Hadley et al. 2010). 따라서 굴은 암반조간대에 가입하는 저서동물의 생존에 유리하게 작용하여 생물의 다양성을 증가시키기 때문에(Rodney and Paynter 2006), 암반조간대 생태계의 초기 회복 단계에서 중요한 역할을 한다(Diederich 2005; Luckenbach et al. 2005; Volety et al. 2009; Quan et al. 2009, 2012, 2013).

조사 지역은 암반조간대가 발달하였고, 대부분의 조위에서 굴이 기반이 되는 생태계가 넓게 분포한다. 유류사고 이후 피해를 받은 굴 중심의 암반 조간대 생태계를 회복시키기 위해서는 기반이 되는 굴의 가입이 중요하므로 주변 환경과 연관된 굴의 초기가입에 대한 연구는 중요하다. 지금까지 굴과 관련된 연구는 양식과 관련하여 부착 치패 및 성체의 성장과 성장 요인(Kobayashi et al. 1997; Rico-Villa et al. 2010; 임 등 2012), 부착기 유생의 정착에 영향을 미치는 물리, 생물학적인 요인(Michener and Kenny 1991; Anderson and Underwood 1994; Barnes et al. 2010)이 주를 이뤘으나, 자연 상태에서 굴의 초기 가입에 영향을 미치는 주요 요인이나 가입된 이후 초기 생태에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 일부 연구에서 자연암반에 서식하는 굴을 모니터링 하거나(Bayne 2000; Mitchell et al. 2000), 기초 생물학적인 정보를 얻기 위해서 성장을 조사하였으나(유 등 2004), 이는 가입 직후부터

수행하지 않았고, 자연 상태의 굴과 인위적인 기질에 가입된 굴을 비교하지는 않았다. 자연암반과 인위적 기질에서 부착생물을 비교한 연구는 굴이 아닌 지중해 담치(*Mytilus galloprovincialis*)를 대상으로만 수행되었다(Fuentes et al. 1998; Babarro et al. 2000a, 2000b, 2003).

이번 연구는 암반 중부 조간대에서 우점하며, 생태계 회복에 중요한 역할을 하는 굴에 대해서, 초기 가입 형태와 성장에 대한 정량적인 정보를 얻고, 자연암반과 인위적 기질에 가입되는 차이점을 비교하기 위해 실시하였다.

2. 재료 및 방법

조사지역의 특징

조사 지역인 의항리 신노루 해수욕장은 충청남도 태안군 소원면에 위치하며, 유류 사고의 영향을 중점적으로 받은 지역이다(Fig. 1). 지형적으로 신두리 해안과 마주보고 있으며, 만의 형태를 보이고, 전체적으로 사니질 퇴적상이 발달하였다. 육지에서 보았을 때 좌우로 암반 지역이 발달하였고, 갯벌의 좌우폭은 약 180 m, 수직폭은 200 m이며, 조차는 7 m 이상이다. 갯벌 하부에는 조간대 하부에서 일반적으로 행해지는 반수하연 양식 시설이 설치되어 있으며, 시설물에 연을 매달아 채묘한 후 부착 치패를 양성하는 방식을 이용하고 있다.

조사지역에서 자연 상태의 굴은 130~470 cm 정도의 조위에서 서식하였으며, 약 210 cm 조위를 전후하여 높은 밀도를 보였으나, 130 cm 이하의 조위에는 굴이 서식 가능한 암반지역이 존재하지 않았다. 굴 양식시설에 설치된 수하연의 조위는 약 150~300 cm 사이였고, 조사가 실시된 자연암반은 약 160~280 cm 조위에서 수행되었기 때문에 자연암반과 양식시설에서 조위 차이는 없었다.

굴의 개체수 및 성장 측정

굴의 가입, 사망에 따른 개체수 변동과 성장을 모니터링하기 위하여 자연암반과 양식시설에 2012년 7월부터 9월까지 굴이 가입할 수 있는 실험구를 설치하였다. 자연암반의 경우, 가급적 경사가 완만한 곳에서 625 cm² (25 × 25 cm) 면적을 매월 2곳씩 선정하여 서식하는 생물을 모두 제거한 후, 가입할 수 있는 공간을 만들었다. 양식시설의 경우 수하연 양식 방법과 동일한 방법을 적용하였으며, 5 mm 폐전선에 약 15 cm 간격으로 10개의 담치(*Mytilus galloprovincialis*) 패각을 연결하여 제작한 연을 매월 2개씩 시설물에 매달아 가입할 수 있는 공간을 만들었다.

자연암반과 양식시설 실험구를 사진으로 기록하였으며, 양식시설은 담치 패각의 크기를 측정하여 면적을 구하였다. 기록한 사진을 통하여 가입한 개체와 사망한 개체를

Fig. 1. Map of the experimental site (■) in Tae-an, west coast of Korea. The star (★) indicates location of the Hebei Spirit wreck

추적하였으며, 개체의 성장을 측정하였다. 사진 분석은 어린 굴의 식별이 가능한 2012년 9월부터 실시하였고, 2013년 1월까지 개체를 추적하였다. 굴의 성장은 사진으로 식별이 용이한 각고(shell height)를 측정하였고, 성장하면서 식별이 어려워지는 각장(shell length)은 측정하지 않았다. 모든 개체는 이전 월의 사진과 비교하면서 동일한 개체를 매월 추적하였으며, 새로 가입된 개체는 기록에 추가하였고, 패각이 열리거나 이탈된 개체는 사망한 것으로 처리하였다. 자연암반과 양식시설에 설치한 실험구는 부착 면적이 동일하지 않기 때문에 1,250 cm² 면적으로 환산하여 개체수를 계산하였다. 굴의 가입에 영향을 미치는 부착 가능한 공간은 굴과 고랑따개비의 길이에 상응하는 개체의 면적을 이용하여 피도를 측정하여 비교하였으며, 실험구의 설치시기별 굴의 평균 각고 차이는 분산을 고려한 *t*-검정(*t*-test)을 이용하여 검증하였다.

실험지역별 암반 군집 종조성 비교

굴의 초기 가입에 영향을 미칠 수 있는 실험구 주변의 생물상을 파악하기 위하여 자연암반의 경우, 실험구를 설치할 때 제거된 생물을 채집하였고, 양식시설은 주변 양식 시설물에서 양식 중인 연에서 저서동물을 채집하였다. 자

연암반은 Hebei Spirit 사고 후 지속된 군집이며, 양식시설은 2011년 7월경에 연을 설치하였기 때문에 1년 정도 지속된 군집이었다.

3. 결 과

굴의 개체수 변화

조사 기간 중 굴의 가입은 하계인 7월부터 9월까지 집중적으로 이루어졌으며, 자연암반에서 굴의 개체수는 10월까지 증가하다가 11월부터 감소하는 경향을 보였다. 자연암반에서 실험구의 설치시기에 따른 가입량은 7월, 9월에 설치된 실험구보다 8월에 설치된 실험구에서 높게 나타났다. 가입된 굴은 1월까지 매월 일부 개체가 사망하였고, 특히 7월, 8월에 설치된 실험구는 11월, 12월에 상대적으로 많은 개체가 사망하였다(Fig. 2).

양식시설은, 실험구 설치시기에 상관없이, 설치 이후 가입된 굴이 처음 관측된 시기부터 자연암반만큼 개체수가 증가하지 못하고 소폭만 증가하거나 감소하여 자연암반과 다른 개체수 변동 형태를 보였다. 양식시설에서도 매월 가입과 사망이 발생했으나, 가입되는 개체는 실험구를 설치한 직후에 가장 많았으며, 점차 가입되는 양이 상대적으로

Fig. 2. Spatial and temporal variation of abundance of oysters at the natural site from September 2012 to January 2013. The bars indicate monthly changes of new recruits (□), live individuals (■) and dead individuals (■). The y-axis indicates the number of abundance (ind./m²). The numbers above bars show the monthly changes of total abundance. The dates on the top indicate the time of the first installation of experimental unit at each site

매우 적었다. 총 개체수는 7월에 설치된 실험구에서 다소 높았으나 8월에 설치된 실험구와 큰 차이를 보이지 않았

Fig. 3. Spatial and temporal variation of abundance of oysters in the farming site from September 2012 to January 2013. The bars indicate monthly changes of new recruits (□), live individuals (■) and dead individuals (■). The y-axis indicates the number of abundance (ind./m²). The numbers above bar show the monthly changes of total abundance. The dates on the top indicate the time of the first installation of experimental unit on each site

다(Fig. 3). 총 개체수는 7월에 설치된 실험구에서 다소 높았으나 8월에 설치된 실험구와 큰 차이를 보이지 않았다.

7월에 설치된 실험구를 제외하면, 양식시설보다 자연암반에서 개체수가 높았으며, 9월에 설치한 자연암반과 양식시설 실험구는 상대적으로 개체수가 가장 적었다.

굴의 초기 성장

실험구에 가입된 굴의 각고를 매월 측정한 결과, 자연암반과 양식시설 모두 11월까지 빠르게 성장하다가 12월부터 이전 월만큼 큰 폭으로 성장하지 못하고, 일정 크기를 유지하였다. 자연암반에 가입된 굴은 2013년 1월까지 평균 5.0 mm 이하로 나타났다(Fig. 4).

Fig. 4. Monthly changes of the mean shell height of oysters in the natural (top) and farming (bottom) sites from September 2012 to January 2013. The dates on the top indicate the time of the first installation of experimental unit on each site. The mean shell height between the natural site and the farming site is significantly different ($P < 0.05$)

양식시설은 8월에 설치된 실험구에서 평균 크기가 다른 시기보다 크게 나타났으며, 7월, 8월에 설치된 실험구에서 굴은 평균적으로 약 14.0 mm까지 성장하여 9월에 설치된 실험구보다 평균 6.0 mm 이상 크게 성장하였다(Fig. 4). 양식시설에 가입된 굴의 초기 성장률은 자연암반보다 최대 2배 이상 높았다. 전반적인 성장은 양식시설이 자연암반보다 약 2~3배 높은 것으로 나타나 양식시설에 부착된 굴의 성장이 자연암반보다 빠르게 나타났으며, 두 지역 간 성장 차이는 통계적으로 유의하였다(t -test, $p < 0.05$).

자연암반과 양식시설의 대형저서동물 종조성 비교

조사기간 동안 출현한 대형저서동물의 종수는 자연암반이 67종이었으며, 양식시설은 44종이 출현하여 자연암반의 종수가 상대적으로 높았다. 개체수는 자연암반의 경우, 평균 861개체가 매월 출현하였으며, 양식시설은 평균 2,049개체가 출현하여 양식시설에서 출현한 저서동물이

자연암반에 비해 두 배 이상 높았다. 자연암반에서는 굴(*Crassostrea gigas*) 외에 삿갓조개(*Lottia* spp.)가 최우점종으로 나타났으며, 풀개(*Hemigrapsus penicillatus*), 좀털군부(*Acanthochitona achates*) 등과 같은 이동성 동물이 상위 우점종으로 출현하였다. 특히 10월 이전까지 거의 나타나지 않았던 두툼회오리고둥(*Odostomia aomori*), 깨고둥(*Barleeia angustata*)의 밀도가 11월부터 증가하면서 총알고둥(*Littorina brevicula*)과 더불어 높은 비율을 점유하였다(Fig. 5). 반면 양식시설에서는 굴 이외에 단각류인 *M. acherusicum* 가 주로 8월, 9월에 최우점종으로 나타났으며, 크기가 작은 종들은 10월 이후 거의 출현하지 않았다. 이외 자연암반에서 높은 비율로 나타난 이동성 동물은 거의 출현하지 않았고, 부착 생물인 고랑따개비(*Balanus albicostatus*)와 조무래기따개비(*Chthamalus challenger*)가 8월부터 높은 밀도로 출현하기 시작하면서 지속적으로 우점하였다(Fig. 6).

Fig. 5. Temporal variation of dominant species affecting the recruitment and growth of oysters at the natural site from July 2012 to December 2012

4. 고찰

굴의 개체수 변동

실험구별 초기 가입 개체수 변동 비교 (고랑따개비의 부착 유무)

두 지역에서 굴의 가입은 양식시설 보다 자연암반에서 높게 나타났는데(Fig. 2, Fig. 3), 이는 굴과 비슷한 조위에 서식하는 부착생물과의 공간 경쟁에 의한 것으로 보인다. 특히 양식시설에서 따개비류는 굴의 초기 가입에 영향을 미치며(서 2007; 임 등 2012), 사진 분석 시 자연암반에서 고랑따개비는 실험구별로 24개체/m²가 출현하여 고랑따개비가 거의 출현하지 않았으나, 양식시설은 22,448개체/m² 이상이 출현하여 자연암반과 상반되게 높은 가입량을 나타냈다.

자연암반은 굴을 제외하고는 부착성 종들이 거의 출현하지 않았고, 양식시설에 비해 어린 유생이 가입할 수 있는 공간이 상대적으로 충분하였기 때문에 굴의 개체수가 주 가입 시기 동안 큰 폭으로 증가한 것으로 보인다. 반면에 양식시설에 설치한 인위적인 기질은 굴의 주 가입 시

기에 고랑따개비가 동시에 가입하였고, 부착할 수 있는 모든 공간을 두 종이 점유하기 때문에 굴과 고랑따개비 모두 초기 가입에 성공한 개체수에서 더 이상 개체수의 증가가 크게 이루어지지 않고, 시간이 지남에 따라 계속해서 감소한 것으로 보인다. 실제로 두 지역의 부착 기질에 대한 굴과 고랑따개비의 피도는 자연암반의 경우 굴의 피도가 대부분 우점하면서 100%에 미치지 못하여 추가로 가입할 수 있는 공간이 있었으나(Fig. 7), 양식시설의 경우 자연암반과는 상반되게 굴보다 고랑따개비의 피도가 모든 실험구에서 높았으며, 10월부터 두 종의 피도 합이 100%가 넘었다(Fig. 8). 이는 제한된 공간에 더 이상 가입될 공간이 없어서 기존에 가입된 개체 위에 새로운 개체가 부착하였기 때문이다. 따라서 양식시설에서 부착 생물의 초기 가입 시기 동안 따개비가 점유하는 비율은 굴보다 높으며, 고랑따개비의 초기 공간선점으로 인해 기질의 표면이 채워지면서 굴이 가입할 수 있는 공간이 줄어들었다(Fig. 8). 임 등 (2012)의 연구에서도 간이수하식 양식장에서 굴을 채묘할 경우, 따개비의 가입 시기를 피할 것을 제안하였으며, 이는 굴의 가입 초기에 고랑따개비가 높은 밀

Fig. 6. Temporal variation of dominant species affecting the recruitment and growth of oysters at the farming site from July 2012 to December 2012

도로 가입하고, 급격하게 번성하여 굴의 가입을 방해하기 때문이다. 조사지역의 상부 조위에서 우세한 조무래기따개비(*Chthamalus challenger*)는 상대적으로 적게 출현하여 큰 영향을 미치지 않았다. Connell (1961)과 Dayton (1971)의 연구에 의하면, 자연 상태에서 고랑따개비가 속하는 *Balanus* spp.는 *Chthamalus* spp. 보다 성장 속도가 매우 빠르고, 경쟁에서 우세하나, *Thasis* spp.에 대한 포식과 대기 노출 시 건조에 약한 특징이 있다고 하였는데, 실험지역은 비교적 하부에 위치하여 조무래기따개비의 서식에는 불리하였던 것으로 보인다.

고랑따개비가 주로 양식시설에서 우점하는 이유는 자연 암반에 서식하는 *Thasis* spp.가 *Balanus* spp.를 선택적으로 포식했을 가능성과 *Balanus* spp.가 상대적으로 건조에 취약한 특징이 복합적으로 작용했기 때문인 것으로 보인다(Connell 1961; Dayton 1971; Caffey 1985).

Fig. 7. Temporal variation of percent coverage of barnacles and oysters at the natural substrate from September 2012 to January 2013. The black and white bars show percent coverage of barnacles and oysters, respectively. The dates on the top indicate the time of the first installation of experimental unit at each site

실험구별 개체수 변동 비교

자연암반에서 8월에 설치된 실험구는 7월, 9월에 설치된 실험구에 비해 가입량이 높았다. 실험구의 설치시기가 굴의 주 가입 시기였기 때문에 가입된 굴이 누적된다면 7월에 설치된 실험구의 개체수가 가장 많아야 하지만 8월 실험구에서 개체수가 더 높았다.

7월, 8월에 설치된 자연암반 실험구는 조위가 각각 204 cm, 244 cm와 203 cm, 224 cm인 위치에 있으며, 암반의 경사도는 5°, 8°와 15°, 16°로 물리적인 환경에서 큰 차이는 없었다. 또한 실험구의 위치 역시 매우 근거리에 접

Fig. 8. Temporal variation of percent coverage of barnacles and oysters at the farming substrate from September 2012 to January 2013. The black and white bars show percent coverage of barnacles and oysters, respectively. The dates on the top indicate the time of the first installation of experimental unit at each site

해 있기 때문에 기타 고려할 수 있는 여러 환경에서 큰 차이가 있다고 보기 어렵다. 일반적으로 굴의 가입은 부착할 수 있는 기질의 표면상태, 조위, 경사도, 파도나 조류의 영향 등 여러 조건에 따라서도 달라질 수 있는데(Fuentes et al. 1998; Hadfield et al. 2001; Dankers et al. 2004), 특히 기질의 표면이 거칠고 요철이 많은 경우, 부착 생물의 가입과 생존에 유리한 것으로 알려져 있다(Kensler 1967; Michener and Kenny 1991; Anderson and Underwood 1994). 자연암반 실험구의 설치 시 굴이 가입되어 있던 곳의 생물을 채집한 후 실험구를 설치하였기 때문에 기질의 표면 상태를 고려할 수 없었으며, 이러한 이유로 표면의

상태에서 차이가 있었던 것으로 보인다. 7월에 설치된 실험구가 8월에 설치된 실험구보다 상대적으로 매끄러운 암반이 선택되어 실험구의 표면 조건이 서로 달랐고, 상대적으로 표면이 거칠고 갈라진 틈이 많은 8월 실험구에서 가입에 성공한 개체가 더 많았던 것으로 추정된다.

양식시설의 경우, 설치시기별 가입 개체수는 9월 실험구에서 상대적으로 낮았다. 이 시기는 고랑따개비의 부착도 매우 적은 시기여서 부착할 수 있는 공간은 충분하였으나 굴의 가입량은 적었다. 같은 시기에 자연암반은 200개체 이상 가입하였기 때문에 양식시설에서도 충분히 가입될 가능성이 있었으나, 실제로 양식시설은 9월부터 굴의 가입량이 거의 없었다.

시기적으로 9월은 굴의 산란이 7월, 8월에 비해 적고, 해수 중에 존재하는 유생의 양이 적기 때문에(Choi 2008; 이 2010), 보다 안정되고 부착하기 좋은 조건에서 더 많은 가입이 발생할 것이다. 실험구를 설치한 반수하연 방식의 양식 형태는 자연암반처럼 움직임이 없는 기질이 아니라, 시설물에 매달아 놓은 형태이므로 해수에 잠겨있을 때는 파도나 조류에 의해 움직이며, 대기에 노출되었을 때는 바람에 의해 흔들린다. 이러한 유동적인 특징은 굴의 가입에 위해 요인으로 작용했을 것으로 보인다. 저서동물은 기질을 기반으로 생활하기 때문에 불안정한 기질에서 서식하기 힘들다. 이러한 기질에서는 환경에 적응한 특별한 종들만 서식하므로 일반적인 군집들과 종조성이 다르게 나타난다(Cifuentes et al. 2007). 파도의 영향이 크고 자갈이 우세한 조건대에서는 부착할 수 있는 기질이 있음에도 굴과 같은 부착생물이 생존하기 어려우며, 자연암반 보다 양식시설에서 가입량이 적은 것도 고정된 기질과 그렇지 않은 시설물과의 차이에 있을 것으로 생각된다.

굴의 성장

실험구별 굴의 성장 차이

양식시설에서 굴의 성장은 자연암반보다 높게 나타났으며, 최소 2배 이상 빠른 성장을 보였다. 암반생태계에서는 일반적으로 수온(Malouf et al. 1977; Shpigel et al. 1992), 염분(Choi 2008), 용존 산소(최 등 1997; 배와 한 1998), 건조(Zhang et al. 2006; Allen and Burnett 2008), 조류(Ackerman and Nishiaki 2004) 등과 같은 물리·화학적 요인이 암반 생물의 물질대사 및 생식활동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Henderson et al. 1983; Soletchnik et al. 2007). 두 실험 지역은 매우 근거리에 위치하고 조위에 차이가 없기 때문에 이러한 환경적인 차이는 없었을 것으로 보이며, 그 외 다른 원인에 의해서 차이가 있었을 것으로 추정된다. 조사시기가 아닌 2013년 6월, 7월에 실험구별 온, 습도를 측정한 결과 두 지역은 간조 시에 차이가 있는 것으로 나타났다. 자연암반은 대기에 드러난 이후 온

Fig. 9. Variation of temperature (A) and humidity (B) from the natural and farming sites. Temperature is compared to the initial water temperature when experimental sites are exposed to the air. An investigation on temperature and humidity is carried out to investigate physical stressor affecting the growth of oysters

도와 습도의 변화폭이 점차 크게 나타나는 반면, 양식시설은 변화폭이 크지 않았고 해수에 잠겨있던 상태와 큰 차이가 없었다. 굴이 서식하는 조위는 한 번의 간, 만조 시 4시간 가량 대기 중에 노출되며, 수온이 21.1°C로 측정된 7월은 자연암반과 수온의 온도차가 최대 13.7°C까지 발생했으나, 양식시설은 1.0°C 전후로 수온과 크게 차이가 없었다. 습도의 경우도 자연암반은 해수에 잠겨 있다가 대기 중에 노출되었을 때 최대 52% 정도까지 감소하며, 표면의 상태는 완전히 마른 상태가 되기 때문에 자연암반에 서식하는 굴은 양식시설보다 온도 및 습도에 의한 스트레스를 더 받는 것으로 볼 수 있다(Fig. 9). 즉, 여름에 대기 중에 노출되어 있는 동안 햇빛에 직접적으로 노출되어 있는 자연암반에서 온도의 변화가 더 크고, 쉽게 건조해지기 때문에 상대적으로 자연암반 굴이 온도와 습도에 의한 스트레스 정도가 높을 것으로 생각된다. 이와 같이 자연암반과 양식시설에서 굴이 받는 스트레스 정도가 다른 이유는 자연암반의 경우 기질이 2차원적인 구조로 평면에 가깝기 때문에 태양복사의 영향을 더 받는 반면, 양식시설은 시설물 자체가 3차원적인 구조로 되어 있어 각 담치 패각의 하부와 2번째 담치 패각부터는 그늘에 들어가는 시기가 있기 때문에 온, 습도가 상대적으로 유지되기 때문이다.

환경적인 차이점 이외에 생물학적으로 두 실험지역에서 차이를 보이는 것은 실험구가 설치된 주변 지역에 서식하

는 저서동물의 종조성 차이이다. 자연암반은 포식자와 더불어 이동성 종이 다수 존재하나, 양식시설은 대부분 굴과 고랑따개비의 틈새에서 서식하는 단각류가 대부분이다. 자연암반에서는 굴 외에 삿갓조개류(*Lottia* spp.), 풀개(*Hemigrapsus penicillatus*), 좀털군부(*Acanthochitona achates*)와 복족류인 총알고둥(*Littorina brevicula*) 등의 이동성 종이 많이 출현하였으며, 주변 바위틈에는 포식성 복족류로 알려진 대수리(*Reishia clavigera*)와 맵사리(*Ceratostoma rorifluum*)가 다수 관찰되었고, 크기가 작은 암석의 하부에는 풀개가 다수 분포하였다. 이러한 종들은 대기 중에 드러나 있을 때보다 해수에 잠겼을 때 굴이 서식하는 암반으로 이동하여 섭식활동을 하므로, 이러한 포식자를 포함한 이동성 종들은 어린 굴이 패각을 열고 먹이 활동을 하는 시간에 영향을 줄 것으로 보인다. 반면 이동성 종이나 포식자가 거의 존재하지 않는 양식시설은 해수 중에 잠겨 있을 때 계속해서 섭식활동을 할 수 있을 것이며, 이러한 먹이활동 시간의 차이는 두 지역에서 성장을 다르게 하는 하나의 요인이 될 수 있다(Peterson and Black 1987; Zajac et al. 1989; Roegner and Mann 1995). 결과적으로 자연암반이 양식시설보다 간조 시 온도와 습도에 의한 스트레스가 크고, 해수 중에 잠겨있을 때 먹이활동을 하는 시간이 상대적으로 적기 때문에 두 지역의 굴 성장에서 차이가 나타나는 것으로 보인다.

암반 중부 조간대 생태계의 회복 시 중요한 역할을 하는 굴을 대상으로 자연암반과 인위적 기질에 가입되는 굴의 초기 생태를 비교 분석한 결과, 가입은 자연암반이 양식시설보다 유리하였다. 양식시설은 고랑따개비와의 공간 경쟁으로 인하여 굴의 가입 개체수에 제한이 있었으며, 유동적인 구조는 자연암반보다 굴의 가입에 불리한 것으로 조사되었다. 또한 자연암반은 상대적으로 많은 포식자가 있음에도 불구하고 어린 굴의 가입이 양식시설보다 유리하였다. 그러나 굴의 성장은 온도, 습도의 차이에서 오는 환경적인 스트레스와 주변 생물상의 차이로 인해 양식시설이 자연암반보다 약 2~3배 정도 높은 것으로 나타나, 두 실험 지역에서 가입과 성장 양상은 대조적인 결과를 보였다.

사 사

이 논문은 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(유류오염 환경영향평가 및 환경복원 연구).

참고문헌

- 국토해양부 (2008) 허베이스피리트 유류오염 사고 해양오염 영향조사 및 생태계복원연구. 한국해양연구원, BSPM11-1611000-000392-01, 275 p
- 국토해양부 (2009) 허베이스피리트 유류오염 사고 해양오염 영향조사 및 생태계복원연구. 한국해양연구원, BSPM11-1611000-000392-01, 455 p
- 국토해양부 (2011) 허베이스피리트 유류오염 사고 해양오염 영향조사 및 생태계복원연구. 한국해양연구원, BSPM11-1611000-000392-01, 449 p
- 배평암, 한창희 (1998) 양식어장 환경요인이 참굴(*Crassostrea gigas*)의 성장에 미치는 영향. J Aquaculture **11**(3):391-400
- 서명배 (2007) 섬진강 강굴(*Crassostrea ariakensis*)의 양식생물학적 연구. 이학박사 학위논문, 전남대학교, 147 p
- 유성규, 임한규, 장영진 (2004) 한국 남해안산 강굴, *Crassostrea rivularis*의 성장과 산란. Korean J Malacol **20**(2):131-134
- 임현정, 백상호, 임매순, 최은희, 김수경 (2012) 서해 지역별 굴 *Crassostrea gigas* 성장 특성, 유생 출현량 및 채묘율. Korean J Malacol **28**(3):259-267
- 이희중 (2010) Impacts of 2007 Hebei spirit oil spill on reproductive physiology of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*; Tunberg, 1793) in Taean off the west coast of Korea. 이학석사 학위논문, 제주대학교, 31 p
- 정윤환 (2012) 유류오염 이후 태안 연안 암반조간대 생태계 변화 및 회복 양상. 이학박사 학위논문, 순천향대학교, 141 p
- 정윤환, 박홍식, 윤건택, 이형곤, 마채우 (2013) Hebei Sprit 유류유출 사고 이후 암반 조간대 대형저서동물 군집 변화. Ocean and Polar Res **35**:219-228
- 최우정, 전영열, 박정흠, 박영철 (1997) 한산·거제만의 환경 특성이 양식 굴의 비만에 미치는 영향. Korean J Fish Aquat Sci **30**(5):794-803
- 해양수산부 (2012) 허베이스피리트 유류오염 사고 해양오염 영향조사 및 생태계복원연구. 한국해양과학기술원, BSPM11-1192000-000036-01, 333 p
- Ackerman JD, Nishizaki MT (2004) The effect of velocity on the suspension feeding and growth of the marine mussels *Mytilus trossulus* and *M. californianus*: implications for niche separation. J Mar Syst **49**:195-207
- Allen SM, Burnett LE (2008) The effect of intertidal air exposure on the respiratory physiology and the killing activity of hemocytes in the pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg). J Exp Mar Biol Ecol **357**:165-171
- Anderson MJ, Underwood AJ (1994) Effects of substratum on the recruitment and development of an intertidal estuarine fouling assemblage. J Exp Mar Biol Ecol **184**:217-236
- Babarro JMF, Fernandez-Reiriz MJ, Labarta U (2000a) Feeding behavior of seed mussel *Mytilus galloprovincialis*: Environmental parameters and seed origin. J Shellfish Res **19**:195-201
- Babarro JMF, Fernandez-Reiriz MJ, Labarta U (2000b) Metabolism of the mussel *Mytilus galloprovincialis* from two origins in the Ria de Arousa (north-west Spain). J Mar Biol Assoc UK **80**:865-872
- Babarro JMF, Labarta U, Fernandez-Reiriz MJ (2003) Growth patterns in biomass and size structure of *Mytilus galloprovincialis* cultivated in the Ria de Arousa (north-west Spain). J Mar Biol Assoc UK **83**:151-158
- Barnes BB, Luckenbach MW, Kingsley-Smith PR (2010) Oyster reef community interactions: The effect of resident fauna on oyster (*Crassostrea* spp.) larval recruitment. J Exp Mar Biol Ecol **391**:169-177
- Bayne BL (2000) Relations between variable rates of growth, metabolic costs and growth efficiencies in individual Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*). J Exp Mar Biol Ecol **251**:185-203
- Caffey HM (1985) Spatial and temporal variation in settlement and recruitment of intertidal barnacles. Ecol Monogr **55**:313-332
- Choi KS (2008) Oyster capture-based aquaculture in the Republic of Korea. Capture-based aquaculture. Global overview. FAO Fisheries Technical Paper, vol 508, pp 271-286
- Cifuentes M, Kamlah C, Thiel M, Lenz M, Wahl M (2007)

- Effects of temporal variability of disturbance on the succession in marine fouling communities in northern-central Chile. *J Exp Mar Biol Ecol* **352**:280-294
- Connell JH (1961) The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus Stellatus*. *Ecol Soc America* **42**:710-723
- Dankers NMJA, Dijkman EM, Jong de ML, Kort de G, Meijboom A (2004) De verspreiding en uitbreiding van de Japanse Oester in de Nederlandse Waddenzee. Alterra, Alterra-rapport 909
- Dayton PK (1971) Competition, disturbance, and community organization: The provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. *Ecol Monogr* **41**:351-389
- Diederich S (2005) Differential recruitment of introduced Pacific oysters and native mussels at the North Sea coast: coexistence possible? *J Sea Res* **53**:269-281
- Fuentes J, Molares J, Villalba A (1998) Growth, mortality and parasitization of mussels cultivated in the Ria de Arousa (NW Spain) from two sources of seed: intertidal rocky shore vs. collector ropes. *Aquaculture* **162**:231-240
- Gajbihiye SN, Mustafa S, Pratik M, Nair VR (1995) Assessment of biological characteristics on coastal environment of Murud (Maharashtra) during the oil spill. *Indian J Mar Sci* **24**:196-202
- Hadfield MG, Paul VJ (2001) Natural chemical cues for settlement and metamorphosis of marine-invertebrate larvae. Marine. In: McClintock JB, Baker JB (eds) *Marine Chemical Ecology*. CRC, BocaRaton, Fla, 431 p
- Hadley NH, Hodges M, Wilber DH, Coen LD (2010) Evaluating intertidal oyster reef development in south Carolina using associated faunal indicators. *Restor Ecol* **18**:691-701
- Henderson BA (1983) Handling and remote setting techniques for the Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. Master's Thesis, Oregon State University, 45 p
- Ingle RM, Joyce AE, Quick JA, Morey SW (1971) Basic considerations in the evaluation of thermal effluents in Florida. A preliminary investigation: the effect of elevated temperature on the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). Florida Dept. of Natural Resources Paper Series, vol 15, pp 7-8
- Kensler CB (1967) Desiccation resistance of intertidal crevice species as a factor in their zonation. *J Anim Ecol Soc* **36**:391-406
- Kobayashi M, Hofmann EE, Powell EN, Klinck JM, Kusaka K (1997) A population dynamics model for the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture* **149**:285-321
- Luckenbach MW, Coen LD, Ross PG, Stephen JA (2005) Oyster reef habitat restoration: Relationships between oyster abundance and community development based on two studies in Virginia and South Carolina. *J Coast Res* **40**:64-78
- Malouf RE, Breese WP (1977) Seasonal changes in the effects of temperature and water flow rate on the growth of juvenile Pacific oysters, *Crassostrea gigas*. Thunberg. *Aquaculture* **12**:1-13
- Michener WK, Kenny PD (1991) Spatial and temporal patterns of *Crassostrea virginica* (Gmelin) recruitment: relationship to scale and substratum. *J Exp Mar Biol Ecol* **154**:97-121
- Mitchell IM, Crawford CM, Rushton MJ (2000) Flat oyster (*Ostrea angasi*) growth and survival rates at Georges bay, Tasmania (Australia). *Aquaculture* **191**:309-321
- Peterson CH (2001) The "Exxon Valdez" oil spill in Alaska: Acute, indirect and chronic effects on the ecosystem. *Adv Mar Biol* **39**:1-103
- Peterson CH, Black R (1987) Resource depletion by active suspension feeders on tidal flats: influence of local density and tidal elevation. *Limnol Oceanogr* **32**:143-166
- Quan W, Humphries AT, Shen X, Chen Y (2012) Oyster and associated benthic macrofaunal development on a created intertidal oyster (*Crassostrea ariakensis*) reef in the Yangtze river estuary, China. *J Shellfish Res* **31**:599-610
- Quan W, Zheng L, Li B, An C (2013) Habitat values for artificial oyster (*Crassostrea ariakensis*) reefs compared with natural shallow-water habitats in Changjiang river estuary. *Chin J Oceanol Limn* **31**:957-969
- Quan W, Zhu J, Ni Y, Shi L, Chen Y (2009) Faunal utilization of constructed intertidal oyster (*Crassostrea rivularis*) reef in the Yangtze River estuary, China. *Ecol Eng* **35**:1466-1475
- Quick Jr. JA (1971) Symposium on a preliminary investigation: the effect of elevated temperature on the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). Fla Mar Res Lab Prof Pap Ser **15**:1-190
- Rico-Villa B, Robert BR, Pouvreau S (2010) A Dynamic Energy Budget (DEB) growth model for Pacific oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture* **305**:84-94
- Rodney WS, Paynter KT (2006) Comparisons of macrofaunal assemblages on restored and non-restored oyster reefs in mesohaline regions of Chesapeake Bay in Maryland. *J Exp Mar Biol Ecol* **335**:39-51
- Roegner C, Mann R (1995) Early recruitment and growth of the American oyster *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae) with respect to tidal zonation and season. *Mar Ecol-Prog Ser* **117**:91-101

- Shpigel M, Barber BJ, Mann R (1992) Effects of elevated temperature on growth, gamatogenesis, physiology, and biochemical composition in diploid and triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* Thunberg. J Exp Mar Biol Ecol **161**:15-25
- Soletchnik P, Ropert M, Mazurie J, Fleury PG, Coz FL (2007) Relationships between oyster mortality patterns and environmental data from monitoring databased along the coasts of France. Aquaculture **271**:384-400
- Southward AJ, Southward EC (2011) Recolonization of rocky shores in Cornwall after use of toxic dispersants to clean up the Torrey Canyon spill. Can J Fis Aquat Sci **35**:682-706
- Tolley SG, Volety AK (2005) The role of oysters in habitat use of oyster reefs by resident fishes and decapods crustaceans. J Shellfish Res **24**:1007-1012
- Volety AK, Savarese M, Tolley SG, Arnold WS, Sime P, Goodman P, Chamberlain RH, Doering PH (2009) Eastern oysters (*Crassostrea virginica*) as an indicator for restoration of Everglades ecosystems. Ecol Indic **9**(6):S120-S136
- Watt I, Woodhouse T, Jones DA (1993) Intertidal clean-up activities and natural regeneration on the Gulf coast of Saudi Arabia from 1991 to 1992 after the 1991 Gulf oil spill. Mar Pollut Bull **27**:325-331
- Yu OK, Lee HG, Shim WJ, Kim MK, Park HS (2013) Initial impacts of the Hebei Spirit oil spill on the sandy beach macrobenthic community west coast of Korea. Mar Pollut Bull **70**:189-196
- Zajac RN, Whitlatch RB, Osman RW (1989) Effects of inter-specific density and food supply on survivorship and growth of newly settled benthos. Mar Ecol-Prog Ser **56**:127-132
- Zhang Z, Li X, Vandepper M, Zhao W (2006) Effects of water temperature and air exposure on the lysosomal membrane stability of hemocytes in Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). Aquaculture **256**:502-509
- Jun YH (2012) Variations of macrobenthic communities and recovery patterns on rocky intertidal after oil spill in Tae-an coastal area, Korea. Ph.D. Thesis, Soonchunhyang University, 141 p (in Korean)
- Jung YH, Park HS, Yoon KT, Lee HG, Ma CW (2013) Structure changes of macrobenthic community on rocky shores after the Hebei Spirit oil spill. Ocean and Polar Res **35**:219-228 (in Korean)
- Lee HJ (2010) Impacts of 2007 Hebei spirit oil spill on reproductive physiology of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*; Tunberg, 1793) in Tae-an off the west coast of Korea. Master's Thesis, Jeju National University, 31 p (in Korean)
- Lim HJ, Back SH, Lim MS, Choi EH, Kim SK (2012) Regional variations in Pacific oyster, *Crassostrea gigas* growth and the number of larvae occurrence and spat settlement along the west coast, Korea. Korean J Malacol **28**(3):259-267 (in Korean)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008) Environmental Impact Assessment and Environmental Restoration of the Hebei Spirit Oil Spill. Technical Report 2008, Korea Ocean Research and Development Institute, Korea, 275 p (in Korean)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009) Environmental Impact Assessment and Environmental Restoration of the Hebei Spirit Oil Spill. Technical Report 2009, Korea Ocean Research and Development Institute, Korea, 455 p (in Korean)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011) Environmental Impact Assessment and Environmental Restoration of the Hebei Spirit Oil Spill. Technical Report 2011. Korea Ocean Research and Development Institute, Korea, 449 p (in Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries (2012) Environmental Impact Assessment and Environmental Restoration of the Hebei Spirit Oil Spill. Technical Report 2012. Korea Institute of Ocean Science & Technology, Korea, 333 p (in Korean)
- Seo MB (2007) A study on reproductive biology of *Crassostrea ariakensis* (Pelecypoda, Mollusca) in the Seomjin River, Korea. Ph.D. Thesis, Chonnam National University, 147 p (in Korean)
- Yoo SK, Lim HK, Chang YJ (2004) Growth and Spawning of *Crassostrea rivularis* from the Southern Sea of Korea. Korean J Malacol **20**(2):131-134 (in Korean)

국문 참고자료의 영어 표기

English translation / Romanization of references originally written in Korean

- Bae PA, Han CH (1998) Effects of nursery environmental factors on the growth of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. J Aquaculture **11**(3):391-400 (in Korean)
- Choi WJ, Chun YY, Park JH, Park YC (1997) The influence of environmental characteristics on the Fatness of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan - Koje Bay. Korean J Fish Aquat Sci **30**(5):794-803 (in Korean)

Received Apr. 29, 2014

Revised May 19, 2014

Accepted May 30, 2014