

제주도에 서식하는 연산호 일종, 큰수지맨드라미의 사망률과 성장 패턴

최용우 · 김정하*
성균관대학교 생명과학과

Mortality and Growth of the Soft Coral, *Dendronephthya gigantea* in Jeju Island, Korea

YONG-WOO CHOI AND JEONG HA KIM*
Department of Biology, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

큰수지맨드라미의 사망률과 성장률에 관한 연구를 제주도 문섬에서 2003년 2월부터 2004년 10월까지 진행하였다. 수심 15 m에 서식하는 큰수지맨드라미 48개체를 형광 플래깅 테이프로 표시했으며, 이들을 1년 6개월 동안 약 2개월 간격으로 모니터링 하였다. 연구기간동안 2개월 단위의 평균 사망률은 50.4%로 나타났으며, 여름 태풍 발생 시점인 2003년 8-10월에는 84.6%로 최대치를 나타내었다. 개체크기에 따른 사망률 양상에서는 등급 I(≤ 10 cm) 개체들의 사망률이 등급 II(10 cm-20 cm)와 등급 III(> 20 cm)보다 높게 나타났다. 각 계절에 따른 성장률의 차이가 뚜렷하게 나타나지는 않았으나 가을-겨울시기의 길이 성장률이 다른 시기보다 상대적으로 높게 나타났다. 전체 조사 기간 동안의 평균 길이성장률은 2개월 동안 3 cm씩 성장하는 것으로 확인 되었으며, 2003년 8-10월에는 6.4 cm로 최대치를 보였다. 한편 직경의 성장은 2개월 동안 평균 0.3 cm가 증가하였으며, 2004년 4-6월에 1.4 cm로 최대치를 나타내었다. 제주도의 큰수지맨드라미 개체군은 매년 여름 태풍에 큰 영향을 받아 높은 사망률을 보이지만, 이후 어린개체들의 높은 가입률과 빠른 성장을 통하여 개체군을 유지하는 것으로 연구되었다.

Mortality and growth rate of the soft coral, *Dendronephthya gigantea*, from Jeju Island on the southern coast of Korea were investigated from February 2003 to October 2004 using SCUBA diving. 48 individuals with variable sizes of *D. gigantea* of the depth of 15m were tagged with flagging tapes and plastic films, and then monitored with two month intervals. The average mortality of two-month term for the study period was 50.4%, with the peak of 84.6% during the summer storms in August - October 2003. About the size class mortality, individuals of size class I(≤ 10 cm) showed the highest mortality, followed by size class III(> 20 cm) and size class II(10 cm-20 cm). Growth rate did not show a seasonal pattern. For growth in length, individuals of *D. gigantea* grew about 3cm in average for two-month period, with a maximum growth of 6.4 cm which occurred in August - October 2003. For growth in diameter, individuals grew about 0.3 cm for 2 month term, with a maximum of 1.4cm in April - June 2004. Individuals of size class I usually grew faster than those of larger size classes. *D. gigantea* population in Jeju Island was strongly affected by summer storms, which was due to annual event of summer typhoon. Never the less, it appears that the local population can be maintained by fast growth of the juvenile stage and active recruitment to compensate the high mortality caused by the summer disturbance.

Keywords: Mortality, Growth, Corals, *Dendronephthya gigantea*, Jeju Island

서 론

자포동물문 산호충강(Cnidaria: Anthozoa)에 속하는 해양 무척추동물인 산호류(corals)는 폴립 주위에 8개의 촉수들을 가진 팔방산호류(Octocoral; soft corals), 흑갈색의 가지모양 돌기를 축에 가진 각산호류(Black corals), 그리고 석회 골격을 지니며 산호초(coral reefs)를 형성하는 경산호류(hard corals) 등이 있다(Williams,

1993).

연중 평균수온이 20°C 이상인 곳에 주로 서식하는 경산호류는 공생조류인 외편모충류(zooxanthellae)의 광합성을 통해 만들어지는 에너지를 공급 받아 살아가는데 반하여(Goreau *et al.*, 1979), 연평균수온이 20°C 이하인 우리나라에서는 공생조류를 이용하지 않고 플랑크톤 형태의 미세유기물을 직접 여과섭식(Ribes *et al.*, 1998; Fabrice and Dommissie, 2000)하는 팔방산호류가 주로 서식하고 있다. 현재까지의 산호류에 대한 연구는 주로 열대바다에 서

*Corresponding author: jhkimbio@skku.ac.kr

식하는 조초산호(reef building corals)인 경산호류에 집중되어 왔으며, 온대해역의 팔방산호류에 대해서는 몇몇 종에 국한된 개체군통계학적연구(demographic study)가 이루어졌다. 프에르토리코에 서식하는 팔방산호 중 해양목(gorgonian corals)인 *Pseudopterogorgia* spp.에 대한 연구에서 개체의 크기가 클수록 생존율이 높게 나타나며, 연구기간 전체에 걸친 성장은 관찰되었으나 크기 특이적(size specific) 경향은 나타나지 않는다고 보고되었다(Yoshioka, 1994). 또한 본 연구 대상과 동일 목에 속하는 해계두목(alcyonacea)인 *Anthomastus ritteri*는 실험실에서 60개월간 줄기와 직경이 관찰되어 정착 이후의 성장패턴에 관한 연구결과가 보고된 바 있다(Cordes et al., 2001). 이처럼 산호 개체군의 생태학적 연구들은 팔방산호류 몇몇 종의 생식과 유생의 정착(larval settlement), 그리고 정착 후 가입과정(recruitment process)에 대하여 이루어져 왔지만, 본 연구의 목적인 가입 이후의 과정(post-recruitment process)에 관한 연구는 미미한 실정이다.

우리나라에 서식하는 산호류의 최대 서식지는 제주도 남쪽 해역에 위치한다. 이 지역은 쿠로시오 난류의 영향을 직접 받아 온대, 아열대 그리고 열대의 해산 무척추동물이 혼재하여 분포하는 것이 큰 특징이며(이 등, 2001), 제주도의 산호류는 Rho and Song(1976), Song(1995) 등에 의해 97종이 보고되고 있다. 제주도 남쪽 해안을 중심으로 좁은 지역에 다양한 연산호류가 밀집 분포하여 세계적으로 희귀한 서식처를 이루는 국내 연산호 군락의 보존은 매우 중요하며, 따라서 개체군의 기본적인 서식패턴의 이해와 더불어 인위적인 교란현상이 산호 군락에 미치는 영향과 서식환경의 변화에 따른 개체군의 변화 양상을 파악하는 것 역시 중요하다 할 수 있다. 특히 성장패턴과 생존율 등 기본적인 개체군 생태학적 데이터는 필수적인 연구임에도 불구하고 국내에서 산호류에 대한 연구는 개체군생태연구보다는 계통분류연구가 주를 이루어 왔다.

이에 본 연구에서는 제주도 남부해역에 고루 분포하여 연산호 군락을 이루는 주요종이며 환경부 지정(1997) 보호야생종으로서 보호 및 연구 가치가 높은 해계두목(Alcyonacea)의 곤봉바다맨드라미과(Nephtheidae) 수지맨드라미속(*Dendronephthya*)의 큰수지맨드라미(*Dendronephthya gigantea*)를 연구 대상 종으로 선정하였으며, 생태학적 연구기법을 통해 개체군통계학적 데이터(demographic parameter)인 성장률(growth rate)과 사망률(mortality)을 조사하고, 계절에 따른 서식환경의 변화양상과 더불어 태풍 등으로 인한 주요 교란현상에 개체군이 어떠한 영향을 받고 어떻게 유지되는가를 이해하는 것이 본 연구의 목적이다.

재료 및 방법

조사지역 및 산호군집

조사지역은 제주도 서귀포 항에서 약 1.3 km 떨어져 있는 곳에 위치한 문섬(33°13'N, 126°34'E) 주변으로 선정하였다(Fig. 1). 문섬은 해조류 약 156종, 해양 무척추동물 약 223종이 서식하는 것으로 보고되어 있으며, 다양한 산호군락과 감태와 모자반 등의 해조 숲이 잘 조성된 지역이다(이 등, 2001). 특히 문섬은 문화재청에서 2000년에 천연기념물 제 421호 및 천연보호구역으로 지정하고 있어 높은 연구가치를 가진다. 연구기간 동안 문섬 연안의 표층기

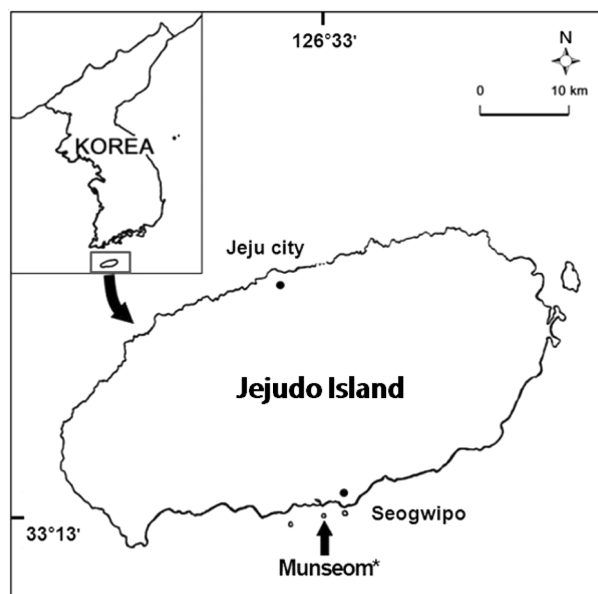


Fig. 1. The map of study site in Jeju Island and Munseom on the southern coast of Korea.

준 연평균 수온은 20.95 °C 정도였으며, 여름(8월)은 평균 26.95 °C, 겨울(2월)은 평균 15.35 °C이었다(국립수산과학원, 2004, 2005).

조사 지역에 우점하는 산호 종들로는 큰수지맨드라미(*Dendronephthya gigantea*), 자색수지맨드라미(*Dendronephthya putteri*), 밤수지맨드라미(*Dendronephthya castanea*), 분홍바다맨드라미(*Scleronephthya gracillimum*)와, 포모사바늘산호(*Acabaria formosa*) 등이 있으며, 우점 해조류는 연중 해중립을 이루는 감태(*Ecklonia cava*)와 계절에 따라 번성하는 모자반류(*Sargassum* spp.), 미역(*Undaria pinnatifida*) 등이 있다. 2004년 2월부터 2개월 간격으로 50×50 cm 방형구로 10회 무작위샘플링(random sampling)하여 조사 지역의 산호 군집을 살펴본 결과, 분홍바다맨드라미(53%)가 연중 우점하였고, 큰수지맨드라미(14%)와 밤수지맨드라미(8%)가 각각 차례로 많이 분포하였다. 또한 포모사바늘산호를 비롯하여 해양목(Gorgonacea)에 속하는 산호류들은 상대적으로 낮은 빈도로 관찰되었다(Fig. 2).

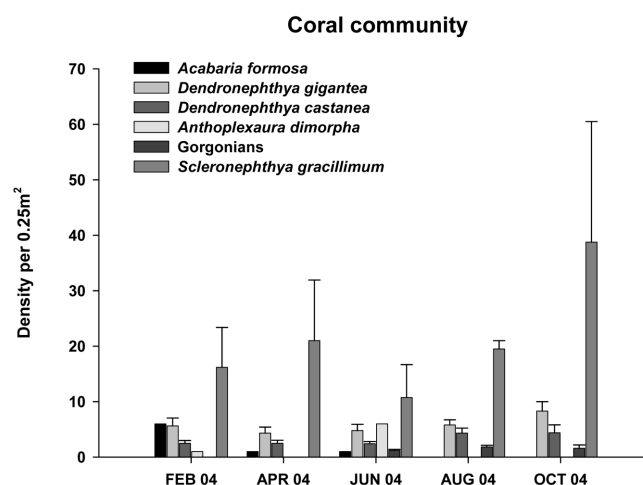


Fig. 2. Coral species composition in the study site. Data are means ±SE.

연구방법

제주 문섬 근처 조하대에 다양한 연산호류가 우점하는 수직 (80~90°) 암반지역을 조사지역으로 선정하였다. 수직암반의 수심 3 m 가량의 상부 지점에 등산용 하켄을 고정하고 수직하부 수심 15 m 지역에 하켄을 추가 설치하여, 두 하켄을 매 2 m 간격으로 표시가 된 대상선(transect line)으로 연결하였다. 동일한 방법으로 총 3개의 영구적인 대상라인을 설치한 뒤 연구 대상종인 큰수지 맨드라미의 개체군을 대상으로 2003년 2월부터 2004년 10월까지 총 20개월 동안 2개월 간격으로 생존율(survivorship), 성장률(growth rate), 사망률(mortality)을 조사하였다.

개체별 표시는 설치된 3개의 대상라인을 기준으로 총 48개체를 선별하여 표시하였다. 태깅 방법은 연성 플라스틱 필름에 고유번호를 표기하고 번호가 지워지지 않도록 투명 테이프로 붙인 다음 편치를 이용하여 구멍을 뚫고, 필름의 구멍사이로 신축성 형광테이프(fluorescent flagging tape)을 끼워 물속에서 대상 개체 몸통 부위의 하단에 묶어 표시하는 방법을 이용하였다. 이때 산호의 줄기 성장을 염두에 두고 손가락 하나 정도 들어갈 만큼 여유를 두고 묶었으며, 형광 테이프는 2개월마다 교체하였다.

사망률 측정을 위해서 각 조사 시기마다 전체 48개체의 생존여부를 관찰하였고, 소실된 개체수 만큼 새로운 개체를 선정하여 표시하였으며, 군체의 사망은 고유번호가 부여되어 태깅된 개체가 소실된 경우로 판정하였다. 개체의 크기에 따른 사망률의 차이를 알아보기 위해, 선행 연구로서 크기등급 구분을 위해 조사지역에서 50×50 cm 방형구로 10회 무작위 샘플링하여 방형구내에 존재하는 대상 개체의 길이를 측정하였다. 측정한 길이 자료를 바탕으로 3개의 크기등급(등급I≤10 cm, 10<등급II≤20 cm, 등급III>20 cm)으로 구분하였으며, 전체 측정된 101개체는 등급I 34개체, 등급II 29개체, 등급III 38개체였다(Fig. 3). 선행 연구 자료를 바탕으로 조사 대상 개체 모두를 길이 기준으로 3개의 크기등급(size class)으로 구분하여 사망률을 조사하였고, 새로운 개체 선정 및 표시는 크기등급에 따라 실시하였다.

성장률 측정은 사망률을 측정하기 위하여 고유번호와 함께 표시된 48개체를 매 샘플링 시기마다 30 cm 스테인리스 자를 사용하여 길이와 직경을 0.5 cm 단위로 측정하였다. 길이 측정은 기질에 부착한 지점으로부터 개체의 끝까지 최장 길이를 측정하였고,

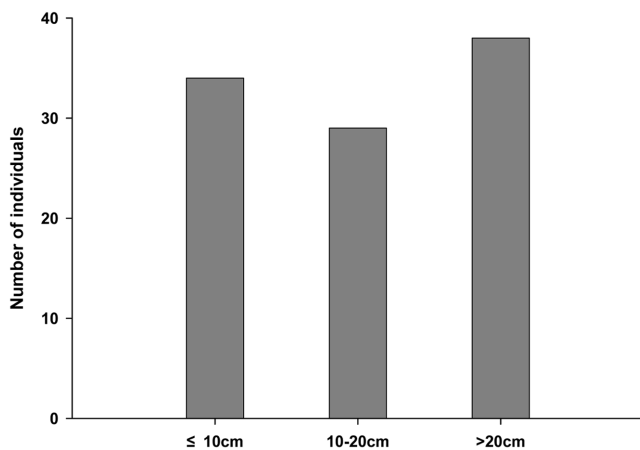


Fig. 3. Size class distribution of *Dendronephthya gigantea* in the study site from 101 randomly sampled individuals.

직경은 기질에 부착한 지점에서 1 cm가량 윗부분 최장 길이를 측정하였다. 측정 시 자극의 의해 산호가 수축이완하는 특성을 감안하여 수축한 개체의 측정을 배제하고 기다렸다가 개체가 이완되었을 때 측정하는 방법을 사용하였다. 사망률과 마찬가지로 모든 조사 대상 개체를 길이 기준으로 3등급으로 구분하여 개체크기등급에 따른 성장률의 차이를 알아보았다.

성장률 계산을 위한 공식은 다음과 같다.

$$k = \ln(X_2) - \ln(X_1) / t_2 - t_1$$

k=성장률, X=측정시점(t_1 또는 t_2)에서의 길이 또는 직경, t=측정 시점(t_1 ; 전 측정시점, t_2 ; 후 측정시점)

결 과

2개월 간격으로 측정되어 얻어진 사망률은 전 연구기간동안 평균 50%가 넘게 나타났다(Fig. 4). 연구가 시작된 2003년 4월부터는 52~54%정도의 사망률을 보이다가 2003년 10월에 들어서는 85%의 사망률을 나타내었다. 이후 겨울철인 2003년 12월에는 35% 이하로 낮아졌으며, 2004년 2월에 가장 낮은 29%의 사망률을 보였다. 주목할 만한 것은 2003년 여름 태풍 ‘매미’가 조사지역을 지나간 직후인 2003년 10월의 사망률이 다른 시기에 비해 월등히 높은 값을 나타냈다는 것이다. 조사 지역 바닥에 부착기질로 사용된 굴 패각과 함께 떨어진 큰수지맨드라미 개체들이 매 조사 시기마다 관찰되었으며, 특히 개체표시가 된 상태로 착생기질로 이용하는 굴 패각과 함께 떨어져 있는 개체와 가지 및 몸통의 상당 부분이 떨어져 나간 부분손상도 실험지역에서 나타났다.

크기등급에 따른 사망률은 가장 작은 개체등급I(≤10 cm)의 사망률이 등급II(10-20 cm)과 등급III(>20 cm)의 그것에 비해 높게 나타났다(Fig. 5). 등급I의 전체 연구기간동안의 평균 사망률은 약 71%이었다. 가장 높은 사망률은 2003년 10월에 93%였으며, 2004년 6월과 8월에서도 90% 정도의 높은 사망률을 보였다. 등급II 개체들의 평균 사망률은 33%였으며, 가장 높은 시기는 2003년 10월의 78%, 가장 낮은 시기는 2004년 8월의 18%였다. 등급III은 평균 42%의 사망률을 보였고, 2003년 10월에 가장 높은 사망률인 73%, 2004년 2월에 가장 낮은 7%를 나타내었다.

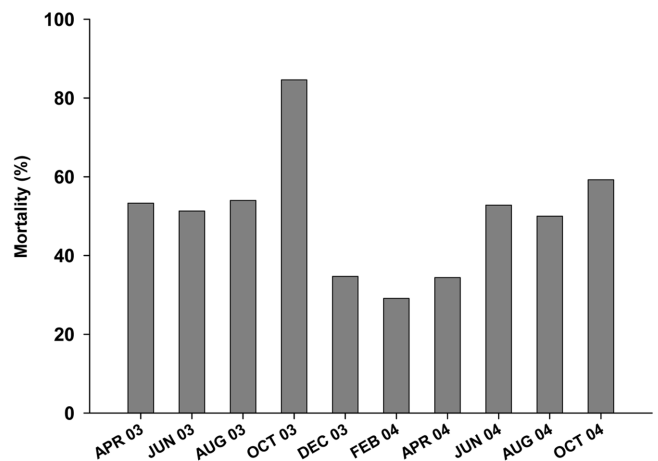


Fig. 4. Mortality of *Dendronephthya gigantea* in Munseom, Jeju Island.

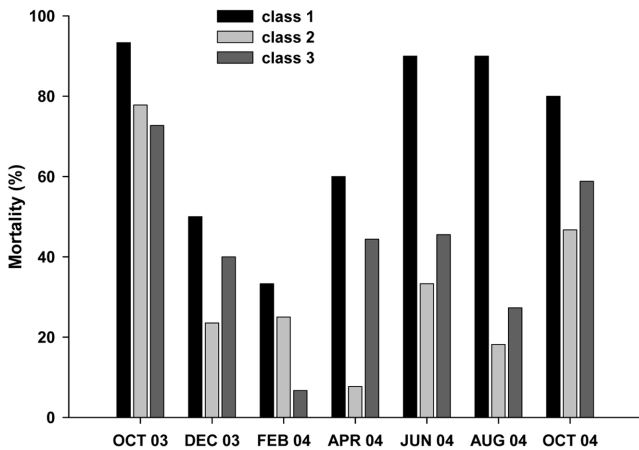


Fig. 5. Size class mortality of *Dendronephthya gigantea*. Size class 1(≤ 10 cm), Size class 2(10 cm-20 cm), Size class 3(> 20 cm).

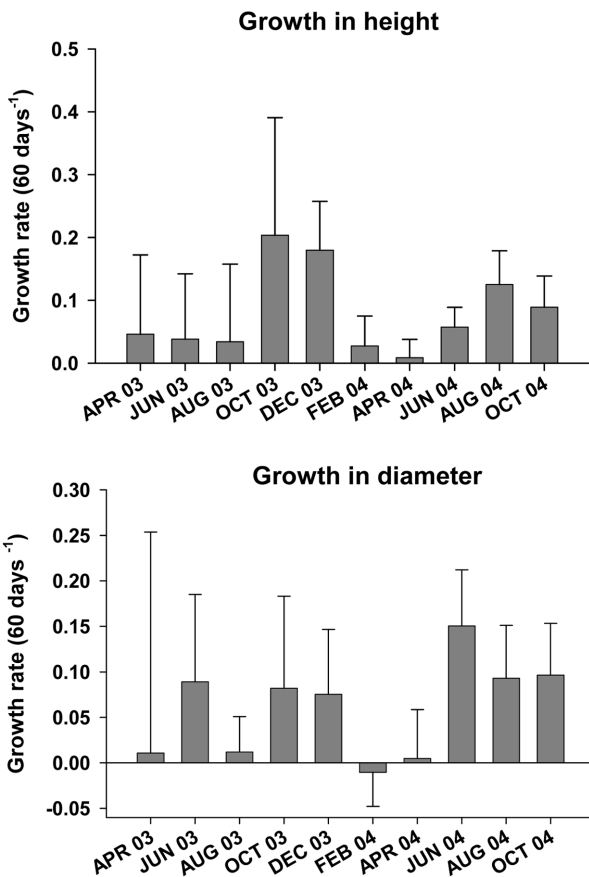


Fig. 6. Growth rate of *Dendronephthya gigantea* were measured with height and diameter. Data are means \pm 95% CI.

길이 성장률은 수온 및 계절에 따라 유의한 변화양상을 나타내지 않았다(Fig. 6). 2개월 간의 길이 성장은 2003년 10월, 12월과 2004년 8월에 각각 6.4 cm, 5.3 cm, 4.8 cm로 상대적으로 높은 성장률을 보였으며, 2004년 4월에는 2개월간 평균 0.13 cm로 가장 낮은 성장을 보였다. 이들을 제외한 시기에서는 평균 2 cm 정도의 성장을 나타내었다. 특히 2003년 10월에는 가장 높은 사망률이 나

Table 1. Growth rate of *Dendronephthya gigantea* by size class during active growing seasons. Results of statistical analysis were described in the text

Date	Size class		
	1	2	3
DEC 03	0.311 \pm 0.068	0.124 \pm 0.049	0.081 \pm 0.029
AUG 04	0.249 \pm 0.065	0.159 \pm 0.039	0.058 \pm 0.030
OCT 04	0.215 \pm 0.054	0.046 \pm 0.029	0.084 \pm 0.032
Mean	0.277 \pm 0.042	0.116 \pm 0.025	0.071 \pm 0.018

타났지만, 살아남은 7개체가 최고 10.5 cm의 성장을 나타내는 등 전체적으로 높은 성장을 보였다.

85%의 사망률을 기록한 2003년 10월과 성장률이 낮은 시기를 제외하고, 비교적 성장률이 높은 2003년 12월, 2004년 8월과 10월에서 각각 크기등급에 따른 성장률 차이를 비교하였다. 가장 작은 크기의 등급I개체들의 성장률이 등급II과 등급III에 비해 일반적으로 높게 나타났다(Table 1). 2003년 12월과 2004년 8월의 경우에는 등급I이 등급III에 비하여 유의하게 높은 성장률을 보였고 ($p=0.046$, $p=0.046$), 2004년 10월에는 등급 I 이 등급II보다 성장률이 높게 나타났다($p=0.024$).

계절 및 수온의 변화에 따른 직경 성장률의 변화는 특별한 패턴을 보이지 않았다(Fig. 6). 연구 결과 2004년 6월에 가장 높은 성장률을 나타내었고, 2004년 2월에는 마이너스 성장률로 가장 낮은 성장률을 보였다. 실제 직경성장은 전 기간 동안 평균 1 cm 미만의 성장을 보였으며, 최대 직경성장은 2004년 6월에 2개월 동안 평균 1.4 cm이었다. 마이너스 값을 나타내는 요인으로는 개체의 부분적 손실과 측정오차, 그리고 측정시기에 발생한 수축현상 등으로 사료된다.

고 찰

산호류의 대량사망을 유발하는 요인으로 알려진 것으로는 불가사리에 의한 포식작용(Fabricius, 1997), 탈색현상(bleaching)같은 질병(Hardvell *et al.*, 2001), 엘니뇨(Glynn, 1988), 인간에 의한 피해(Wielgus *et al.*, 2003)와 파도에 의한 교란현상(Lirman, 2003) 등이 있다. 조사지역에서는 대상 종을 섭식하는 불가사리는 거의 관찰되지 않았으며, 심각한 질병이나 엘니뇨는 아직까지 보고된 바 없다. 또한 조사지점인 직벽이 가지는 물리적 특성 때문에 침전(sedimentation)에 의한 영향도 크게 작용하지 않을 것으로 보인다. 다만 조사지역이 항구에 인접해 있고 다이버들이 빈번히 찾는 지역으로 사람에 의한 물리적 훼손이 발생할 수 있을 것으로 추측된다.

사망률은 계절적인 패턴을 나타내지 않았으며 연구기간 전체에 걸쳐 2개월의 단위시간당 평균 50%가 넘었다. 전반적으로 사망률이 높은 것은 작은 물리적 충격에 의해서 쉽게 손상을 받는 젤라틴의 연성조직(soft tissue)인 대상종의 특성과 더불어 조사지역 기질의 물리적 특성에 기인하는 것으로 생각된다. 큰수지맨드라미는 직벽의 암반에 직접 부착하여 서식할 뿐 아니라 조사지역 암반 전체에 걸쳐 서식하는 굴의 패각을 기질로 이용하여 서식하고 있다.

2003년 6월 50 \times 50 cm 방형구로 10회 무작위 선택하여 얻은 대상 개체들의 기질 비율을 조사한 결과, 총 101개체 중 굴 패각을

기질로 서식하는 개체는 72개체로 전체 71.3%를 차지하였고, 암반을 기질로 하여 서식하는 개체는 29개체로 28.7%였다. 따라서 큰수지맨드라미의 직접적인 사망 이외에 서식 기질인 굴 패각이 떨어져 나갈 경우도 사망률에 직접적인 영향을 줄 수 있을 것이다. 실제로 조사지역의 바닥 층에 떨어진 굴 패각이 다수 존재하였으며 연구기간 중 굴 패각과 함께 탈락한 산호 개체들이 관찰되기도 하였다. 큰수지맨드라미의 성장으로 인한 하중의 증가와 물의 흐름과 같은 물리적 힘에 의해 굴 패각이 암반으로부터 쉽게 이탈될 수 있을 것으로 보인다. 연구결과 길이가 35 cm 이상의 대형 개체는 전부 암반을 기질로 서식하였으며, 실제로 연구기간 동안 길이가 40 cm 이상의 개체는 조사지역에서 발견되지 않았다. 50 cm 이상의 대형 개체들은 직벽이 아닌 수심이 깊고 조류의 세기가 약한 곳에서 주로 발견되었고, 1 m 이상의 소수 개체들도 이와 유사한 환경에서 발견되었다. 이러한 영향으로 탈락된 개체들은 자갈로 이루어진 수평의 바닥에 굴 패각과 함께 떨어져 조류와 파도의 물리적 충격에 의해, 또는 바닥 층에 발생하는 침전물로 인해 사멸하게 된다.

2003년 10월 85%가 넘는 사망률을 나타낸 것은 2003년 9월에 조사지역에 직접적인 영향을 미친 태풍 ‘매미’의 영향으로 개체의 직접적인 탈락과 기질인 굴의 탈락을 유발함으로써 대량사망을 일으킨 것으로 사료된다. Connell(1997)은 폭풍이 생물의 양과 분포에 직접적인 영향을 미치며 물리적 교란현상으로 산호초가 파괴되고 그 지역의 해저지형이 변화되었을 뿐 아니라 심지어 해류 패턴까지 바뀌었다고 보고하였다. Connell *et al.*(1997)의 연구에서는 호주 Heron Island Great Barrier Reef 근처에서 발생한 4번(1967년, 1972년, 1980년, 1992년)의 대형 폭풍으로 인해 노출된 산호초지역(exposed pool)에 존재하는 거의 대부분의 산호류가 죽은 것으로 나타났다. 즉, 1967년에 100%, 1972년에 71%, 1980년에 39%, 1992년에 85%이었다. 본 연구의 결과로 연산호 군락 역시 대형 태풍에 의하여 경산호류와 유사한 정도의 사망률을 보여 줄 수 있다는 것이 나타났다.

등급I의 사망률은 2003년 10월부터 높게 나타나 다른 크기등급과의 차이를 보였다. Yoshioka(1994)의 연구에서 개체 크기가 작은 *Pseudopterogorgia* spp.의 생존율은 62%, 중간크기 개체의 생존율 91.4%, 그리고 가장 큰 등급의 개체의 생존율은 96.5%로 보고되었으며, 이는 작은 크기의 개체 생존율이 큰 개체보다 낮다는 본 연구결과와 일치한다. Yoshioka는 작은 개체의 생존율이 낮은 이유를 작은 개체일수록 침전물 효과(sediment effect)에 더 큰 영향을 받는 동시에 포식자에 의한 피해가 큰 개체에서는 성장률 감소 정도로 영향을 미치지만 작은 개체에서는 사망에 이르는 극단적 효과를 줄 수 있다는 것으로 설명하고 있다. 사망률이 85%로 가장 높은 2003년 10월과 29%의 가장 낮은 사망률을 보이는 2004년 2월의 두 시기를 제외하고는 등급III의 사망률이 등급II보다 높게 나타난 것은 불안정한 기질인 굴 패각과 직벽이라는 서식조건에 기인한 것으로 사료된다.

계절의 변화에 따른 큰수지맨드라미의 길이와 직경의 성장률의 차이는 관찰되지 않았다. 먹이는 산호류의 성장과 유지에 중요한 요인이며, 대상종이 포함된 해계두목은 플랑크톤 섭식자로서 강한 조류에 노출된 지역에서 주로 서식한다(Fabricius *et al.*, 1995a, 1995b). 조사지역은 문섬 본섬과 반대쪽의 직벽 암초가 마주하여

조류가 세고 해류의 흐름이 원활하여 해계두목인 큰수지맨드라미와 분홍바다맨드라미가 서식하기 좋은 조건을 갖추고 있다(Fig. 2). 특히 2003년 10월의 85%에 이르는 높은 사망률에도 불구하고 성장률이 높은 것은 먹이생물인 플랑크톤의 높은 생물량에서 그 원인을 찾을 수 있다. 조사지역인 서귀포 해역에서 플랑크톤이 가장 높은 현존량을 나타내는 시기가 10월로 보고 된 바 있으며(정 등, 1983), 풍부한 먹이환경으로 인하여 생존한 개체들의 활발한 성장이 가능했다고 볼 수 있다. 또한 Lirman(2000)은 미국 Florida 북부의 Elkhorn Reef에서 폭풍으로 인한 교란현상에 의해 손상된 *Acropora palmata*는 유성생식을 하지 않았으며, 폭풍 이후의 조사에서 폭풍으로 손상되지 않은 개체보다 손상된 개체의 크기가 크게 나타났다고 보고하였다. 이는 교란현상 후에 개체 생물량(biomass)의 감소를 가져오는 유성생식을 제한함으로써 잉여 에너지를 개체의 회복과 성장에 할당하기 때문이라고 설명하였다. 마찬가지로 2003년 10월의 큰수지맨드라미의 높은 성장은 2003년 9월의 태풍 ‘매미’로 인해 손상된 개체의 회복, 즉 성장에 에너지를 집중하는 회복과정(recovery process)의 결과로 생각된다.

2003년 12월의 높은 길이 성장률은 해당 시기의 낮은 사망률과 새로 가입된 크기가 작은 등급I의 빠른 성장에 기인하는 것으로 사료된다(Table 1). 본 연구에서 비교적 높은 성장률을 나타내는 2004년 6월부터 10월까지 등급I의 사망률은 80% 이상인데 반해 2003년 12월에는 50%로 낮게 나타났으며, 2003년 12월과 2004년 8월과 10월의 크기등급별 성장률 비교 결과 등급의 성장률은 2003년 12월이 가장 높고 각각 2004년 8월과 10월 순으로 조사되었다. 연구결과 크기등급에 따른 성장률은 작은 크기일 때 높은 성장률을 나타냈다. 이는 Cordes *et al.*(2001)의 *Anthomastus Ritteri* 개체가 정착된 8-9개월 사이의 어린 개체일 때 성장이 느리게 일어나다가 이후 관부(capitulum)가 형성되는 중간크기일 때 빠르게 성장한다는 연구 결과와는 상반되지만, 어린 개체일수록 사망률이 높은 반면 연간 성장률은 높다는 Hughes and Connell(1987)의 보고 내용과는 유사하다.

큰수지맨드라미의 길이와 직경 성장률은 완전히 같은 패턴을 보이지 않았으나 Pearson 상관계수 분석 결과, 군체의 성장은 길이와 직경 어느 한쪽이 성장할 때 다른 한쪽은 감소하는 음성적 상관관이 아닌 길이가 성장함과 더불어 직경도 성장하는 양성적 상관관계($r=0.384$)를 나타내었다.

본 연구 결과에서 수온 및 계절 변화에 따른 사망률과 성장률의 변화는 일정한 패턴을 보이지 않았다. 전체적으로 작은 개체에서 높은 사망률이 관찰 되었으며, 태풍과 같은 심각한 교란현상이 발생할 경우에는 개체 크기에 관계없이 대량사망이 일어났다. 또한 대량사망 이후 에너지를 성장과 회복에 집중하는 회복과정을 거치게 되며, 작은 개체들을 중심으로 크기 특이적 성장률 양상을 나타내는 것이 본 개체군연구를 통해 관찰되었다. 폭풍에 의한 대량사망과 함께 심각한 분열현상(fragmentation)이 발생한다는 van Veghel and Hoetjes(1995)와 Hall and Hughes(1996)의 보고와 마찬가지로, 본 조사지역에서 태풍 ‘매미’ 직후인 2004년 10월 개체의 성장 및 회복과 더불어 생존한 개체들 주변으로 5 cm 미만의 작은 개체들이 다른 시기에 비해 현저히 많이 가입된 것이 관찰되었다. 이는 섭식자인 *Diadema antillarum*에 의한 개체군의 대량사망 이후에 가입률이 집중되어 가장 높게 나타났다고 보고한

Yoshioka(1994)의 연구결과와 유사하다. 이처럼 대량 가입된 개체들은 높은 사망률에도 불구하고 생존한 개체들 사이에서 높은 성장을 나타낸다. 결과적으로 태풍과 같은 큰 교란현상으로 인해 발생하는 대량사망은 태풍이 지나간 후 생존한 개체들의 회복과정과 새로운 개체들의 높은 가입률, 그리고 가입된 개체들의 높은 성장으로 인해 보상됨으로서 개체군의 크기가 지속적으로 유지되는 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 “보호종 산호자원의 대량증식 및 생태계복원기술개발”의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 깊은 감사를 표합니다.

참고문헌

이인규, 송준임, 심정자, 최병래, 김원, 오윤식, 최한구, 2001. 제주 연안 천연보호구역 조사 연구 보고서. 문화재청, 238pp.
 정상철, 노홍길, 박길순, 전득산, 1983. 서귀포 연안해역의 기초생산에 영향을 미치는 해양환경. 한국수산학회지, **16**: 305-315.
 국립수산과학원, 2004. 한국해양환경 조사연보 2003, 236pp.
 국립수산과학원, 2005. 한국해양환경 조사연보 2004, 400pp.
 Connell, J.H., 1997. Disturbance and recovery of coral assemblages. Coral Reefs., **16**, suppl.: S101-S113.
 Connell, J.H., T.P., Hughes and C.C. Wallace. 1997. A 30-year study of coral abundance, recruitment, and disturbance at several scales in space and time. Ecol. Monogr., **67**: 461-488.
 Cordes, E.E., J.W. Nybakken and G. Van Dykhuizen, 2001. Reproduction and growth of *Anthomastus ritteri* (Octocorallia: Alcyonacea) from Monterey Bay, California, USA. Mar. Biol., **138**: 491-501.
 Fabricius, K.E., Y. Benayahu and A. Genin, 1995a. Herbivory in asymbiotic soft corals. Science, **268**: 90-92.
 Fabricius, K.E., A. Genin and Y. Benayahu, 1995b. Flow-dependent herbivory and growth in zooxanthellae-free soft corals. Limnol. Oceanogr., **40**: 1290-1301.
 Fabricius, K.E., 1997. Soft coral abundance on the central Great Barrier Reef: effects of *Acanthaster planci*, space availability, and aspects of the physical environment. Coral Reefs, **16**: 159-167.
 Fabricius, K.E. and M. Dommissie, 2000. Depletion of suspended particulate matter over coastal reef communities dominated by zooxanthellate soft corals. Mar. Ecol. Prog. Ser., **196**: 157-167.

Goreau, T.F., N.I. Greau and T.J. Goreau, 1979. Corals and coral reefs. Sci. Am., **241**: 124-136.
 Glynn, P.W., 1988. El Nino Southern Oscillation 1982-83: nearshore population, community and ecosystem responses. Annu. Rev. Ecol. Syst., **19**: 309-345.
 Hall, V.R. and T.P. Hughes, 1996. Reproductive strategies of modular organisms: comparative studies of reef-building corals. Ecology, **77**: 950-96.
 Hardvell, D., K. Kim, C. Quirolo, J. Weir and G. Smith, 2001. Coral bleaching and disease: contributors to 1998 mass mortality in *Briareum asbestinum* (Octocorallia, Gorgonacea). Hydrobiologia, **460**: 97-104.
 Hughes, T.P. and J.H. Connell, 1987. Population dynamics based on size or age: a coral reef analysis. Am. Nat., **129**: 818-829.
 Lirman, D., 2000. Fragmentation in the branching coral *Acoropora palmata* (Lamarck): growth, survivorship, and reproduction of colonies and fragments. J. Exp. Mar. Biol., **251**: 41-57.
 Lirman, D., 2003. A simulation model of the population dynamics of the branching coral *Acropora palmata* effect of storm intensity and frequency. Ecol. model., **161**: 169-182.
 Rho, B.J. and J.I. Song, 1976. A study on the classification of the Korean Anthozoa 1. Gorgonacea Pennatulacea, J. Kor. Res. Inst. Bet. Liv., Ewha Woman Univ., **17**: 71-92.
 Ribes, M., R. Coma and J.M. Gili, 1998. Heterotrophic feeding by gorgonian corals with symbiotic zooxanthella. Limnol. Oceanogr., **43**: 1170-1179.
 Song, J.I., 1995. A systematic study on the Korean Anthozoa 16. Order Stolonifera. Korean J. Zool., **38**: 356-363.
 Van Veghel, M.L.J. and P.C. Hoetjes, 1995. Effects of Tropical Storm Bret on Curacao Reefs. Bull. Mar. Sci., **56**: 692-694.
 Wielgus, J., D. Glassom and L. Fishelson, 2003. Long-term persistence of low coral cover abundance on a disturbed coral reef flat in the northern Red Sea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **297**: 31-41.
 Williams, G.C., 1993. Coral Reef Octocorals. An illustrated guide to the soft corals, sea fans and sea pens inhabiting the coral reefs of northern Natal. Natural Science Museum, Durban, 64 pp.
 Yoshioka, P.M., 1994. Size-specific life history pattern of a shallow-water gorgonian. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **184**: 111-122.

2008년 8월 1일 원고접수

2008년 11월 18일 수정본 채택

담당편집위원: 김광용