



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

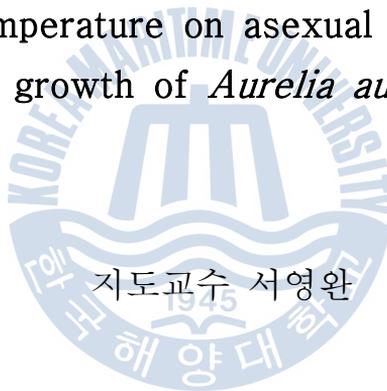
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

보름달물해파리 폴립의 성장과  
무성생식(budding and strobilation)에  
수온이 미치는 영향

Effects of temperature on asexual reproduction and  
somatic growth of *Aurelia aurita* polyps



지도교수 서영완

2011년 2월

한국해양대학교 대학원

해양생명환경학과

박철우



이학석사 학위논문

보름달물해파리 폴립의 성장과  
무성생식(budding and strobilation)에  
수온이 미치는 영향

Effects of temperature on asexual reproduction and  
somatic growth of *Aurelia aurita* polyps



지도교수 서영완

2011년 2월

한국해양대학교 대학원

해양생명환경학과

박철우

本 論 文 을 박철우의 理學碩士 學位論文으로  
認准함.

위 원 장 이학박사 임선영



위 원 이학박사 윤원득



위 원 이학박사 서영완



2011년 2월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

	Page
목 차	i
LIST OF TABLES	ii
LIST OF FIGURES	iii
Abstract	1
<b>제 1 장 서 론</b>	
1.1 해파리류	3
1.1.1 대량발생	3
1.1.2 생활사	5
1.1.3 생식	5
1.1.4 식성 및 섭식특징	7
1.2 연구목적	8
<b>제 2 장 재료 및 방법</b>	
2.1 재료	10
2.2 실험방법	10
2.3 분석방법	14
<b>제 3 장 결과 및 고찰</b>	
3.1 관찰 결과	15
3.2 실험 결과	18
3.3 고찰	39
<b>제 4 장 결 론</b>	42
참고문헌	44
부록 1. 해파리의 생활사	49
부록 2. 해파리의 각부 명칭	50
부록 3. 한국 연안에 출현하는 주요 해파리	53

## LIST OF TABLES

	Page
<b>Table 1.</b> List of experimental conditions at colony level. —————	11
<b>Table 2.</b> List of experimental conditions at individual level. —————	12
<b>Table 3.</b> Numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at colony level. —————	19
<b>Table 4.</b> Total numbers of new polyps reproduced via budding at colony level. —————	21
<b>Table 5.</b> Daily reproduction rate of polyps at colony level. —————	23
<b>Table 6.</b> Means of polyps calyx diameter increase at colony level. —	26
<b>Table 7.</b> Numbers of new polyps' reproduced via budding during 30 days at individual level. —————	28
<b>Table 8.</b> Total numbers of new polyps reproduce via budding at individual level. —————	30
<b>Table 9.</b> Daily reproduction rate of polyps at individual level. —————	32
<b>Table 10.</b> Means of polyps' calyx diameter increase at individual level. —————	35
<b>Table 11.</b> Results of strobilation experiments. —————	38

## LIST OF FIGURES

	Page
<b>Fig. 1.</b> List of strobilation experiment conditions. —————	14
<b>Fig. 2.</b> Process of asexual reproduction by budding. —————	16
<b>Fig. 3.</b> Process of asexual reproduction by strobilation. —————	17
<b>Fig. 4.</b> Numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at colony level. —————	20
<b>Fig. 5.</b> Total numbers of new polyps reproduced via budding in 5 different temperatures during 30 days at colony level, and the result of non-linear regression test( $p < 0.005$ ). —————	21
<b>Fig. 6.</b> Variations of daily reproduction rates of polyps at colony level in 22°C and 26°C during 30 days, and the result of non-linear regression test( $p < 0.001$ at 22°C and $p < 0.005$ at 26°C). —————	24
<b>Fig. 7.</b> Means of polyps' calyx diameter increase at colony level. —	26
<b>Fig. 8.</b> Cumulated numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at individual level at 10°C, 14°C, 18°C, 22°C and 26°C(20 <i>Artemia</i> ). —————	29
<b>Fig. 9.</b> Cumulated numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at individual level at 10°C, 14°C, 18°C, 22°C and 26°C(16 <i>Artemia</i> ). —————	29
<b>Fig. 10.</b> Means of total new polyps of <i>Aurelia aurita</i> s.l. produced under a varying condition of food and temperatures, and the result of linear regression test(both $p < 0.05$ ). —————	30
<b>Fig. 11.</b> Variations of daily reproduction rates of polyps at the individual level culture in 22 and 26°C during 30 days. —	33
<b>Fig. 12.</b> Comparison of daily reproduction rates of polyps at colony and individual level in 22 and 26°C during 30 days, and the result of linear regression test(both $p < 0.05$ ). —————	33
<b>Fig. 13.</b> Means of polyps' calyx diameter increase at individual level under a varying condition of food and temperatures, and the result of linear regression test( $p < 0.05$ at 16 <i>Artemia</i> ). —	35
<b>Fig. 14.</b> Result of strobilation experiments. —————	37

# Effects of temperature on asexual reproduction and somatic growth of *Aurelia aurita* polyps

Chul-Woo Park

*Department of Marine Environment and Bioscience  
Graduate School of  
Korea Maritime University*

## Abstract

Common moon jellyfish, *Aurelia aurita* s.l. has occurred abundantly in Korean coastal waters such as Gyeonggi and Masan Bay since latter half of 1990s, and damaged commercial fisheries and beach recreation. The common jellyfish *A. aurita* s.l. has a complex life cycle, involving an alternation of a sexual pelagic phase (medusa) and an asexual benthic phase (polyp). The polyp stage is an important component of the life cycle because the polyp is able to increase its population size through asexual reproduction (budding) and produce many ephyrae through another asexual reproduction (strobilation). Ephyra develops into metaephyrae, and grow adult medusa. Hence, understanding of the asexual reproductions of polyp is essential to reveal the cause of recent mass occurrences of jellyfish.

Present study is focused on elucidating the two different types of asexual reproductions of *A. aurita* polyp at colony and individual level, and extracting the relationship of somatic growth with asexual reproduction. The increase of sea water temperature has been raised as a plausible cause of recent mass occurrence of jellyfish, and indeed, it was revealed that seasonal changing seawater temperature was related with development in each life stage. Therefore, of various factor such as

temperature, salinity and prey, present study revealed the effect of temperature on two asexual reproductions (budding and strobilation) and somatic growth of polyps. Particularly, polyp asexual reproduction via budding was conducted at colony and individual level, and polyp strobilation in changing water temperature.

*Aurelia aurita* polyps rapidly increased their abundance via budding in high water temperatures (22°C and 26°C), while their somatic growth (increase of oral disc) was insignificant. On the contrary, increase of abundance was slow in cold water (10°C and 14°C), while their body size grew faster than that of high water temperatures. Polyps cultured in 10°C produced pelagic larvae (ephyrae). All results suggested that polyps increase their abundance in warm seasons, and become larger in cold seasons, and the cold water temperature is favorable for strobilation.

Although trends in increase of abundance and somatic growth by temperature variations between individual level and colony level were similar, the daily asexual reproduction of polyps between them were significantly different. The daily asexual reproduction rates in the individual level was constant, but decreased exponentially at colony level suggesting that the asexual reproduction rate of polyp was density dependant. Temperature variation at the 10°C accelerated polyp strobilation, but the large variation of temperature limited number of strobilae.

# 제 1 장 서론

## 1.1 해파리류

해파리는 분류학적으로 자포동물문(Phylum Cnidaria)의 히드로충강(Class Hydrozoa)과 해파리강(Class Scyphozoa), 그리고 유즐동물문(Phylum Ctenophora)의 빗해파리류의 부유시기를 포함하는 생물을 총칭한다. 해파리 형태는 크게 우산(umbrella)과 구완(oral arm), 촉수(tentacle), 그리고 감각기관(rhopalium)으로 구성된다(Lee, 2010; 부록2).

일반적으로 해양에서 흔히 발견할 수 있는 해파리는 해파리강의 해파리이며, 우산이 평편하고 우산 가장자지에 촉수가 있는 기구해파리류와 우산이 반구상으로 크고 구완에 작은 입이 무수히 많은 근구해파리류가 우점적으로 발견된다. 우리나라에서 출현하는 해파리는 대략 50여종으로 추정되지만, 현재 29종의 해파리가 한국동물분류학회지 및 한국생물과학학회지에 보고되어 있다. 주요 출현 종은 보름달물해파리(*Aurelia aurita*), 노무라입깃해파리(*Nemopilema nomurai*), 유령해파리(*Cyanea nozakii*), 작은부레관해파리(*Physalia physalis*), 커튼원양해파리(*Dactylometra quinquecirrha*), 무희나선꼬리해파리(*Spirocodon saltatrix*), 라스톤입방해파리(*Carybdea rastonii*) 등이 있다.

### 1.1.1 대량발생

해파리는 성체의 유성생식 및 폴립의 무성생식에 의하여 환경이 양호할 경우 기하급수적으로 증가할 수 있는 생물학적 특성을 지니고 있으며(Arai, 1997), 알려진 해파리 대량발생의 원인들은 (1)기후변화로 인한 해수온도 상승, (2)남획으로 인한 천적 및 경쟁자의 감소, (3)해양의 부영양화, (4)수중 인공구조물 증가로 인한 해파리 유생의 부착면적 증가, (5)외래종의 유입 등이 있다.(Arai, 2001; Mills, 2001; Purcell, 2005; Purcell et al., 2007). 현재의 해양 생태환경과 추세를 고려할 때, 지속적인 해파리의 대량발생뿐만 아니라(Purcell et al., 2001; Purcell, 2005; Xian et al., 2005; Purcell et al., 2007), 종의 다양

화 및 대형화가 예상된다(Brodeur et al., 2002; Johnson et al., 2005). 실제로 최근 들어 해파리의 대량발생은 전세계적으로 빈번하게 일어나고 있으며 지난 10여 년간 베링해, 북해, 오만만, 멕시코만, 양쯔강 하구, 동중국해, 일본, 그리고 우리나라 주변해역 등 세계 각지에서 해파리의 대량발생이 보고되었다(e.g. Brodeur et al, 2002; Xien et al., 2005; Uye, 2008).

해파리의 비정상적인 대량발생은 해양생태계 및 인간생활영역에 다양하고 심각한 문제를 초래하는데, 이미 해파리로 인한 어업피해 문제가 1920년대부터 보고되었고, 해파리의 독성으로 인한 피해 및 발전소에서의 피해도 1960년대부터 보고되기 시작하였다. 해파리의 대량발생이 인간생활영역에 미치는 영향은 (1)해수욕객 및 어업인들에게 독성으로 인한 통증 유발, (2)해파리 대량유입으로 인한 어구파손, (3)해파리와 혼획 된 상업어종의 신선도 저하, (4)어업활동의 작업시간 지연, (5)해상양식장에서의 어류사망의 원인, (6)발전소 냉각수 유입을 위한 취수구 막힘 현상으로 인한 발전소 출력감발 및 발전정지 야기, (7)어류난이나 자치어를 포식하여 상업어종의 잠재적인 자원량 감소를 야기한다는 것이다(Möller, 1980; Kawahara et al., 2006b; Purcell et al., 2007; Uye, 2008).

우리나라의 경우는 1990년대 후반부터 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)가 인천 경기만 및 남해 마산만 등에서 대량 출현하였고, 2000년대 들어서에는 대형의 노무라입깃해파리가 대량 출현하였다(국립수산과학원, 2005, 2008). 이러한 해파리의 출현은 주로 해수욕객과 어민에 대한 피해로 대별되며, 국제적으로도 다수의 보고가 있다(Shimomura, 1959; Yasuda, 1988; Graham et al., 2003). 어민에 대한 피해는 모든 어구·어법에서 발생했으며(국립수산과학원 2008), 해수욕객에 대한 피해도 2003년 이후 매년 500건 이상이 보고되었다. 우리나라의 경우 해파리에 의한 경제적 피해로는 매년 1,523~3,049억원에 이르며(국토해양부, 2009), 이러한 해파리의 경제적, 정신적 피해는 기후변동, 해양오염, 수산자원고갈과 더불어 지속적인 증가가 예상된다.

### 1.1.2 생활사

일반적으로 해파리강해파리들은 무성생식을 하는 **부착단계(polyp stage)**와 유성생식을 하는 **부유단계(medusa stage)**를 교번한다(부록1). 세부적인 생활사는 해파리 종에 따라 조금씩 다른 경향을 보이며, 생활사 형식에 변형이 많은 편이다(Aria, 1997).

성숙한 암수의 해파리는 체외 또는 체내 수정을 통해 수정란을 만든다(Brewer, 1991; Ding and Chen, 1981; Dong et al., 2008). 수정란은 몸 표면에 덮여있는 섬모를 이용해 자유 유영하는 플라눌라(planula) 유생으로 변태하며, 플라눌라 유생은 부착하기에 적절한 기질을 탐색하다가 적합한 기질이 발견되면 그 자리에 부착하여 폴립으로 변태한다. 그러나 *Pelagia noctiluca*와 같은 종은 플라눌라에서 바로 변태하여 부유단계인 에피라(ephyra)가 된다.(Goette, 1893; Delap, 1906; Rottini-Sandrini and Avian, 1983).

부착된 폴립은 동물플랑크톤을 포식하면서 체성장과 무성생식을 한다. 완전히 발달한 해파리강해파리의 폴립(scyphistoma)은 횡으로 분열하여 부유생활을 하는 해파리의 가장 초기형태인 에피라로 변태한다. 이 과정을 횡분열화(strobilation)라 하며, 이때의 스키피스토마를 횡분열체(strobila)라고 한다. 에피라는 성장이 매우 빨라서 몇 개월만에 해파리 성체(medusa)로 성장한다. 복합적인 생활사를 가지고 있어서 저서생활을 하는 폴립단계에서는 무성생식을 통한 개체군의 크기를 늘리고, 부유생활을 하는 메두사 단계에서는 분포 지역 이동, 확산이 가능하다.

### 1.1.3 생식

해파리의 생식은 메두사단계의 유성생식(sexual reproduction)과 폴립단계의 무성생식(asexual reproduction)을 통하여 교번한다.

#### 유성생식(Sexual reproduction)

*Chrysaora hysocella*와 같이 응성선숙 자웅동체인 종도 있으나 대부분의 해파

리강해파리들은 자웅이체이다(Widersten, 1965). 대부분 해파리의 생식소는 위층(gastrodermis)에서 생기며, 보통 위수강(gastrovascular cavity) 안의 위사(gastric cirri) 주변에 위치한다. 일반적으로 성숙한 수컷해파리가 수중으로 정자를 방출하면 암컷해파리가 체내로 받아들여 위수강 내에서 수정란을 만들지만, 일부 *Rhopilema esculentum*과 같은 종은 체외수정을 하기도 한다(Ding and Chen, 1981). 수정된 알은 기본적으로 전할(holoblastic cleavage), 등할(equal cleavage), 방사형(radial)의 난할이 일어나지만, 난황(yolk)의 양 등에 따라 불규칙한 경우도 많다. 그리고 함입(invagination), 엽렬(delamination), 이입(ingression) 등의 방법으로 낭배(gastrula)가 형성되면서 내배엽이 만들어지면 플라눌라(planula)라 불리는 섬모를 가지는 유생으로 발달한다(Kim et al., 1999).

보통 알의 생산물은 해파리의 크기와 비례한다고 알려져 있다. 그 예로 *Aurelia aurita*와 *Linuche unguiculata*의 알 방출 개수는 해파리 성체의 습중량과 비례한다고 알려져 있다(Schenider, 1988; Kremer et al., 1990).

### 무성생식(Asexual reproduction)

무성생식은 2가지의 단계로 구분이 되는데, 첫 번째 단계로 폴립상태에서 같은 모양의 새로운 폴립을 만드는 방법(budding)과 두 번째 단계로 폴립이 종으로 길어지면서 좁아지고, 횡으로 분열이 일어나면서 각각의 분열체가 에피라로 발생하는 방법(strobilation/횡분열화)으로 구분된다. 일반적으로 폴립상태에서 새로운 폴립을 만드는 방법은 모폴립의 주근(stalk)에 새로이 작은 폴립을 형성하는 출아법(budding), 모폴립이 세로로 분열하여 2개의 폴립이 되는 이분법(fission), 포도시스트(podocyst) 및 플라눌로시스트(planulocyst) 생성하는 등 다양한 방법을 통해서 이루어진다(Arai, 1997; Adler and Jarms, 2009). 횡분열의 경우에는 횡분체(strobila)의 발생개수(한 개체의 폴립에서 5~20개체의 에피라가 발생)에 의해 차이는 있지만 방법은 동일하다.

폴립의 무성생식 방법과 비율 및 시기 등은 해파리의 종에 따라 다르며, 외부

환경적 요인이 크게 작용한다. 무성생식에 영향을 미치는 요인은 수온(Coyne, 1973; Spangenberg, 1968), 염분(Willcox et al., 2007), 먹이(Spangenberg, 1964a,b; Keen and Gong, 1989), 광조건(Custance, 1964), 포식자 밀도(Hernroth and Gröndahl, 1985), 화학혼합물 농도(Silverstone et al., 1977), 공생조류의 존재(Sugiura, 1964), 박테리아 산출물(Spangenberg, 1968) 등 매우 다양하다. 이중에서도 수온이 해파리 폴립 개체군 변동에 가장 크게 영향을 미치는 요인이다(Purcell, 2005; Purcell et al., 2007).

#### 1.1.4 식성 및 섭식특징

해파리는 식물/동물성 플랑크톤, 용존무기물질, 공생조류로부터 유래된 물질, 다른 종류의 해파리 등 다양한 종류의 먹이로부터 영양분을 얻는다(Sebans, 1987). 그러나 대부분의 해파리강해파리들은 기본적으로 육식성이며, 중·소형 동물플랑크톤을 주요 먹이생물로 한다(Mills, 1995; Uye and Shimauchi, 2005; Han et al., 2009, Lee, 2010). 이로 인해 해양생태계내의 플랑크톤 먹이사슬 구조에 영향을 끼치며(Båmstedt, 1990), 어류난 및 자치어들을 직접 포식하거나, 이들의 먹이생물인 동물플랑크톤들을 포식함으로써 직·간접적으로 수산자원 감소에 영향을 미친다(Möller, 1980; Purcell and Arai, 2001; Hansson et al., 2005; Lynam et al., 2005). 히드라강해파리의 경우에는 갑각류와 같은 딱딱한 몸체의 먹이 생물을 먹는 것, 다른 젤라틴성 개체와 같이 연한 몸체의 먹이생물을 먹는 것, 둘 다 먹는 것으로 구분된다(Purcell and Mill, 1988; Purcell, 1997). 이에 반해 해파리강해파리는 뚜렷한 구분 없이 두 종류다 먹는 것으로 여겨진다(Fancett, 1988; Brewer, 1989; Larson, 1991; Purcell, 1992).

다수의 해파리강해파리들이 현장의 우점종을 주로 포식하는 것처럼 비선택적인 섭식특성을 보이긴 하지만, 유영능력이 약한 해파리의 특성상 크기가 작고, 이동속도가 비교적 느린 먹이생물을 선호한다는 실험적 결과도 있다(Sullivan et al., 1994; Graham and Kroutil, 2001).

## 1.2 연구목적

해파리대량 발생으로 국제적으로 해수욕객과 어민들에게 피해를 주고 있으며 (Shimomura, 1959; Yasuda, 1988; Graham et al., 2003), 우리나라의 경우에도 1990년 후반부터 인천 경기만과 남해 마산만등에서 보름달물해파리(*A. aurita*; 국립수산과학원; 부록3)가 대량으로 출현하여 피해를 주고 있다(국립수산과학원, 2005, 2008). 보름달물해파리는 비록 독성은 없지만 기본적으로 대량발생하게 되면 해수의 용존산소 농도를 떨어뜨려 주위 환경에 영향을 주고, 어획 시에 많은 양의 보름달물해파리로 인해 어망이 손상되며, 수산자원의 신선도를 떨어뜨리고 폐사시키는 등 많은 피해를 주고 있다. 그 예로 해수욕객에 대한 피해가 2003년 이후 매년 보고되었으며, 경제적 피해도 크게 발생하는 것으로 조사되었다(국토해양부, 2009). 우리나라에서는 아직까지 보름달물해파리에 대한 연구가 미비하고, 특히 폴립상태의 생태적 연구가 거의 전무하다. 기본적인 생활사는 연구된 경우가 있지만 폴립의 생태적 특징에 대한 연구가 없었다. 따라서 본 연구에서는 보름달물해파리의 대량발생의 원인 중 하나인 폴립의 무성생식과 성장, 그리고 횡분열화에 대해 초점을 맞추었다. 폴립은 무성생식을 통해 폴립의 개체수를 기하급수적으로 증가 시킬 수 있고, 다시 횡분열화라는 무성생식을 통해서 대량의 해파리 유생을 생산한다. 이에 따라 해파리 성체의 대량발생을 유발 할 수 있다. 결론적으로 폴립의 무성생식이 다음세대 메두사 개체군의 풍도를 결정할 수 있다. 그러므로 수온상승, 부영양화 등 폴립의 무성생식에 미치는 영향을 파악하는 것은 최근에 증가하는 해파리 대량발생의 원인을 파악하는데 핵심적인 요소가 된다.

또한 세계적으로 해수온도의 상승에 따른 해파리의 증가가 대두되고 있으며, 계절에 따라 변하는 해수온도가 해파리의 발생단계와 연관성이 있다고 알려져 있다. 이러한 경향으로 해파리의 생활사에 영향을 주는 수온, 염분, 먹이 등의 요인 중에서 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 수온을 조절하여, 수온이 보름달물해파리폴립의 성장에 미치는 영향과 두 가지 무성생식에 미치는 영향을 알아보았다. 본 연구에서는 실험1(개체군단위)과 실험2(개체단위)로 분류하

여 밀도의 종속적 영향에 따라 성장률과 무성생식률에 어떠한 영향을 받는지에 대한 생태적 연구를 계획하였다. 실험2에서는 수온 뿐 만 아니라 먹이생물의 공급량에 따라서 성장률과 무성생식률이 어떻게 영향을 받는지 알아보았다. 실험3에서는 폴립의 횡분열화가 진행되는 조건에서 개체의 크기와 수온의 영향이 어떠한지에 대해서 알아보았다. 그에 대한 가설로써, 첫 번째는 **수온에 따른 무성생식률과 성장률, 그리고 횡분열화**에 대한 것으로 수온이 높을 경우에는 번식을 많이 하고 낮을 경우에는 성장을 하면서 횡분열을 준비할 것이다. 두 번째는 **폴립의 밀도 종속적 무성생식**에 대한 것으로 개체단위와는 다르게 개체군 단위에서는 밀도 종속적 영향을 받아서 무성생식률이 제한받을 것이라는 가설이다. 마지막으로 **횡분열화 촉진을 위한 수온자극**에 관한 것으로 횡분열화가 일어나는데 있어서 온도의 자극에 따라 촉진되며, 온도자극 범위에 따라서 서로 다른 경향성을 보일 것이라는 가설을 세웠다.



## 제 2 장 재료 및 방법

### 2.1 재료

실험에 사용된 폴립은 부산시 기장군 기장읍의 해변에서 채집한 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)의 폴립을 사용하였다. 먹이생물은 매일 새로운 *Aretmia nauplii*를 부화시켜 사용하였다. 실험 시 사용한 해수는 부산시 기장군 기장읍에 위치한 국립수산과학원 인근의 해수를 사용하여 Whatman사의 GF/F 필터로 여과하였고, 필터 된 여과해수는 해수에 남아있을 박테리아를 제거하기 위해 멸균(Hirayama, JP/HG-50)하여 사용하였다. 사용된 여과멸균해수의 염분과 DO는 각각 YSI US/30SCT와 YSI US/55DO를 이용하여 확인하였다. 그리고 각 온도별로 배양을 하기위하여 Multi Room Incubator((주)선일기계)를 이용하였고, 수온의 확인은 전자 온도계, 수온 온도계 그리고 YSI를 병행하여 이용하였다. 폴립의 관찰은 실체현미경(Olympus, SP/SZ61과 JP/SZX7), 현미경사진의 현미경카메라(Motic, Moticampro 205A)를 이용하였다.

폴립의 접종에는 square dish(SPL LIFE Sciences, 11125모델, 사이즈: 125×125×20)를 이용하였고, 또 다른 샘플병(지름 4.8cm, 높이 2.8 cm)은 주문제작 한 것을 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 실험1 : 개체군단위 폴립의 수온별 무성생식률 실험 및 성장률 실험

개체군단위의 폴립이 수온에 따라서 budding을 하는데 있어서 어떠한 영향을 받고, 성장률에는 어떠한 영향을 주는지 관찰하기 위해서 실험을 실시하였다. 실험은 2010년 2월에 실시하여 30일간 무성생식률 및 성장과정을 관찰하였다. 세부사항으로는 각각의 square dish의 정중앙에 크기 1 mm내외의 한 개체의 폴립을 접종하고, 하루 8시간씩 빛을 조사하면서 배양하여 개체군 단위를 형성하게 하였다. Incubator 내부 chamber의 온도는 26℃, 22℃, 18℃, 14℃ 그리고 10℃의 5개 구간을 두었고, ± 0.2℃ 이내의 온도변화를 유지하였다. 각각의

chamber에는 4개의 반복구를 두어 실험하였다(Table 1). 먹이 공급은 충분한 양의 알테미아를 부화시켜 매일 공급하였으며, 먹이 공급 시 폴립의 개체수를 확인하였고, 먹이와 그 외의 물질에 의한 여과멸균해수의 오염을 막기 위해 2~3일 간격으로 환수를 실시하였으며, 유기물질이나 알테미아 사체가 폴립근처에 있을 경우에는 해부침이나 붓으로 주변을 청소해주었다.

그리고 budding에 관한 무성생식률 실험을 끝낸 후 26℃ 실험구를 제외하고 4℃씩 낮추어 적응 시킨 후 30일간 성장률 실험을 하였다. 실험의 관찰은 실체현미경으로 관찰하며 매일 개체 수 및 성장과정을 관찰하였고, 특이사항은 사진으로 기록하였다. 또한 성장률을 관찰하기 위해서 3일 간격으로 현미경으로 촬영을 하고, Motic Image Plus 프로그램으로 각 폴립개체의 oral disc 크기를 측정하였다.

**Table 1.** List of experimental conditions at colony level.

List of experiment conditions (ID)					
Number	Temperature				
	10℃	14℃	18℃	22℃	26℃
1	10-01	14-01	18-01	22-01	26-01
2	10-02	14-02	18-02	22-02	26-02
3	10-03	14-03	18-03	22-03	26-03
4	10-04	14-04	18-04	22-04	26-04

### 실험2 : 개체단위 폴립의 수온별 무성생식률과 성장률 실험

개체군단위와는 다르게 개체단위의 폴립이 수온에 따라서 budding에 관한 무성생식률과 성장률을 확인하기 위해서 실험을 실시하였다. 실험2는 2010년 7월에 실시하여 30일간 무성생식률 및 성장률을 관찰하였다. 실험은 주문제작한 둥근 샘플병의 정중앙에 크기 1 mm내외의 한 개체의 폴립을 접종하여 폴립이 완전히 부착한 후에 실험을 실시하였으며, 4리터 수조에 샘플병을 완전히 넣어서 해수를 완전히 채워 넣은 다음 샘플병을 뒤집어 폴립이 거꾸로 매달린 상태로 실험을 진행하였다. Incubator내부의 각 chamber온도는 실험 1과 같은 조건으로 각각 26℃, 22℃, 18℃, 14℃ 그리고 10℃의 5개구간을 두었으며, ±

0.2℃ 이내의 온도변화를 유지하였다. 각각의 온도에는 하루에 16마리와 20마리의 알테미아를 공급하는 각각의 개체를 5개의 반복구를 두어 실험을 하였다 (Table 2). 먹이를 한 번에 다 먹지 못할 경우에는 하루에 2~3회 정도 나누어 공급하였으며, 먹이생물은 실체현미경으로 보면서 피펫을 이용하여 폴립에게 직접 제공하였다. 환수는 매일 먹이를 공급한 후 2시간이상 충분히 소화시킨 후에 조건을 미리 맞추어둔 여과멸균해수가 담긴 5 L 수조에 샘플병을 완전히 넣어 환수하였다. 또한 폴립 주변부가 유기물로 덮여 있을 경우에는 붓이나 해부침을 이용하여 청소하였다.

먹이를 공급하면서 매일 버드생성과 폴립생성을 관찰하였으며, 특이사항이 있을 때에는 현미경에 장착한 사진기로 촬영하고 실험일지에 기록하였다. 또한 새로운 폴립이 기존에 접종한 폴립으로부터 완전히 독립하였을 때에는 해부침을 이용하여 제거하였다. 성장률을 확인하기 위해서 5일 간격으로 현미경사진을 촬영한 후에 폴립의 oral disc의 직경을 측정하였다. 측정은 Motic사의 카메라와 호환이 되는 Motic Image Plus 소프트웨어를 이용하여 측정하였다.

**Table 2.** List of experimental conditions at individual level.

List of experiment conditions					
<i>Artemia</i>	Temperature				
	10℃	14℃	18℃	22℃	26℃
16	10-16-1	14-16-1	18-16-1	22-16-1	26-16-1
	10-16-2	14-16-2	18-16-2	22-16-2	26-16-2
	10-16-3	14-16-3	18-16-3	22-16-3	26-16-3
	10-16-4	14-16-4	18-16-4	22-16-4	26-16-4
	10-16-5	14-16-5	18-16-5	22-16-5	26-16-5
20	10-20-1	14-20-1	18-20-1	22-20-1	26-20-1
	10-20-2	14-20-2	18-20-2	22-20-2	26-20-2
	10-20-3	14-20-3	18-20-3	22-20-3	26-20-3
	10-20-4	14-20-4	18-20-4	22-20-4	26-20-4
	10-20-5	14-20-5	18-20-5	22-20-5	26-20-5

### 실험3 : 온도자극과 온도자극 범위에 따른 횡분열화 활성화 실험

실험3을 실행하기 전에 횡분열화의 기본적인 조건을 확인 하고, 온도변화에 의한 자극을 주었을 경우와 자극을 주지 않았을 경우를 비교하기 위해서 개체군 단위 실험과 개체단위의 실험이 끝난 후에도 꾸준히 먹이를 공급하고 온도를 유지하면서 횡분열화가 일어날 때까지 계속 배양하였다.

본 실험은 2010년 5월에 실시하여 60일간 관찰하였다. 4개의 온도구간에 4개의 반복구인 square dish의 정중앙에 크기 1 mm내외의 한 개체의 폴립을 접종 및 배양하여 개체군 단위를 형성하게 하였다. 개체군을 형성하고 나서 조금씩 온도 변화(0.5°C/1 day)를 주면서 6°C, 10°C, 14°C 그리고 18°C의 온도로 30일간 배양한 후 실험을 실행하였다. 온도에 충분히 적응된 폴립 개체군을 기존에 있던 온도를 제외하고 4°C 단위의 온도변화를 주었다. 6°C에 적응된 폴립 개체군은 각각 10°C, 14°C, 18°C, 22°C의 chamber로 이동하였고, 10°C에 적응된 폴립 개체군은 6°C, 14°C, 18°C, 22°C의 chamber로 이동하였으며, 14°C의 폴립 개체군은 6°C, 10°C, 18°C, 22°C의 chamber로 이동하였고, 마지막 18°C의 폴립개체군은 각각 6°C, 10°C, 14°C, 22°C로 이동하여 온도 자극을 주었다 (Fig. 1). Incubator에 있는 각각의 chamber는  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  내외로 온도를 유지하였다. 먹이 공급은 매일 충분한 양의 알테미아를 부화시켜 매일 공급하였으며, 먹이와 그 외의 물질에 의한 여과멸균해수의 오염을 막기 위해 2~3일 간격으로 환수를 실시하였으며, 유기물질이나 알테미아 사체가 폴립근처에 있을 경우에는 해부침이나 붓으로 주변을 청소해주었다.

실험의 관찰은 폴립의 특이한 변화를 실체현미경으로 관찰하였으며 관찰은 1~2일 간격으로 관찰하였고, 사진촬영은 5일에 한 번씩 하였으며, 특이사항이 있을 경우에는 예외로 하여 수시로 사진 및 실험일지에 기록을 남겼다. strobilation이 언제 일어나는지와 형성된 strobilae에서 방출되는 ephyra의 개체수를 측정 및 기록하였고, 특히 strobilation이 일어난 개체들은 기존에 기록된 사진을 추적하여 그 크기 또한 측정하였다.

case 1	6°C-1	After 30 days incubation →	10°C
	6°C-2		14°C
	6°C-3		18°C
	6°C-4		22°C
case2	10°C-1	After 30 days incubation →	6°C
	10°C-2		14°C
	10°C-3		18°C
	10°C-4		22°C
case3	14°C-1	After 30 days incubation →	6°C
	14°C-2		10°C
	14°C-3		18°C
	14°C-4		22°C
case4	18°C-1	After 30 days incubation →	6°C
	18°C-2		10°C
	18°C-3		14°C
	18°C-4		22°C

Fig. 1. List of strobilation experiment conditions.

### 2.3 분석방법

폴립의 일일무성생식률(Daily polyp asexual reproduction rate, DPARR)은 아래의 공식과 같이 계산하였다.

$$DPARR = (N_d - N_{d-1}) / N_d$$

$N_d$  : d 날의 폴립 개체 수

$N_{d-1}$  : d 날의 하루 전의 폴립 개체 수

실험결과에서 각각의 수온에서 budding로 인한 폴립의 생산량과 성장률의 차이를 파악하기 위해서 계수된 폴립수를 반복해서 일원배치 분산분석(one-way ANOVA test)으로 분석하였다. 분산분석의 결과가 유의한 경우에는 사후검정(Bonferroni pair-wise test)을 통해 수온에 따른 폴립의 무성생식률과 성장률 차이의 유의성을 파악하였다.

## 제 3 장 결과 및 고찰

### 3.1 관찰 결과

실험 기간 중 폴립들이 성장을 하면서 첫 번째 무성생식인 budding(Fig. 2)과 두 번째 무성생식인 횡분열화(Fig. 3)가 일어나는 것을 관찰하였다.

#### 실험1 : 개체군단위 폴립의 수온별 무성생식률 실험 및 성장률 실험

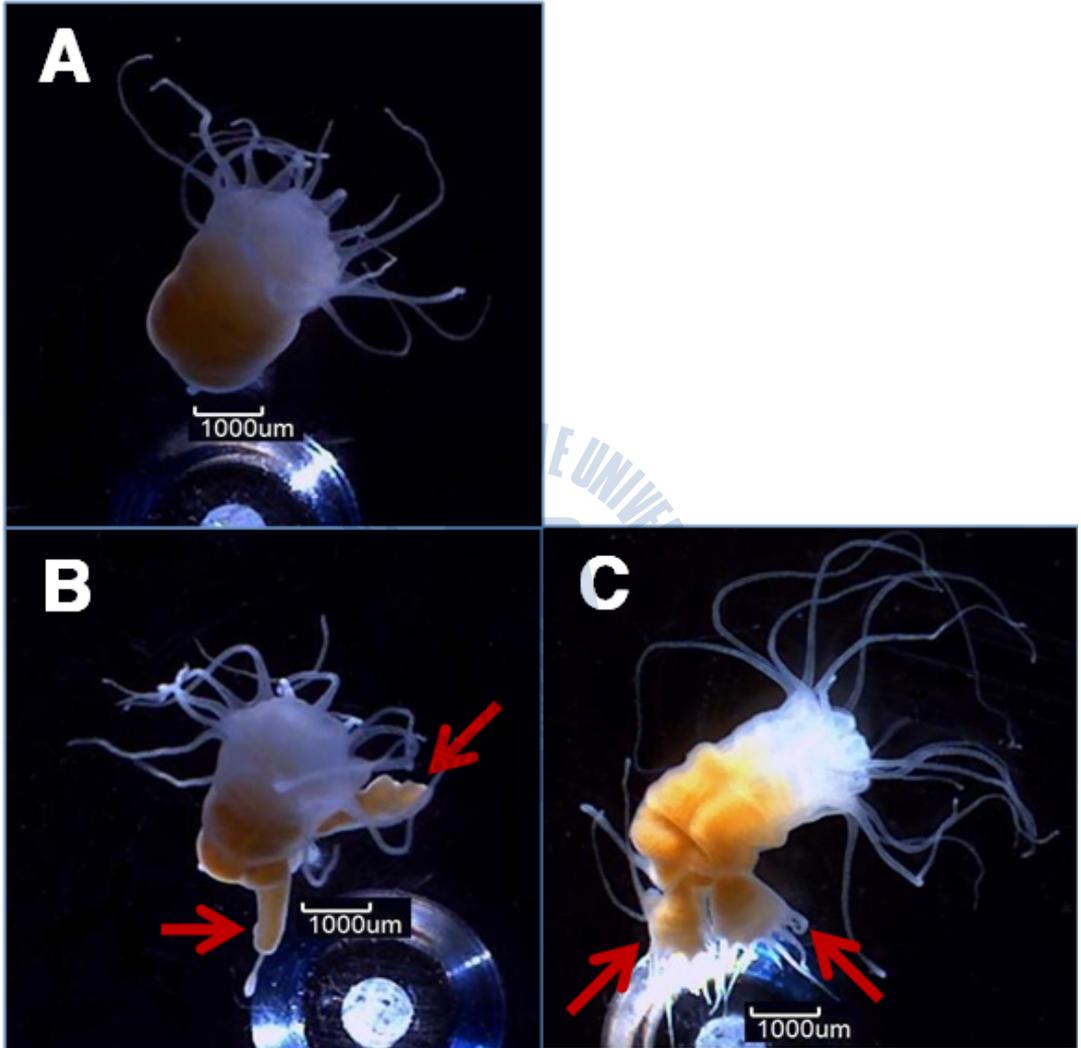
무성생식률 실험을 끝내고 성장률 실험을 시작한 후에 10°C incubator에 있던 2번 실험구 35개체 중에서 1개체가 strobilation이 시작되었으며, 17일 후에 28일간 총 20개체의 ephyra를 방출하였다.

#### 실험2 : 개체단위 폴립의 수온별 무성생식률과 성장률 실험

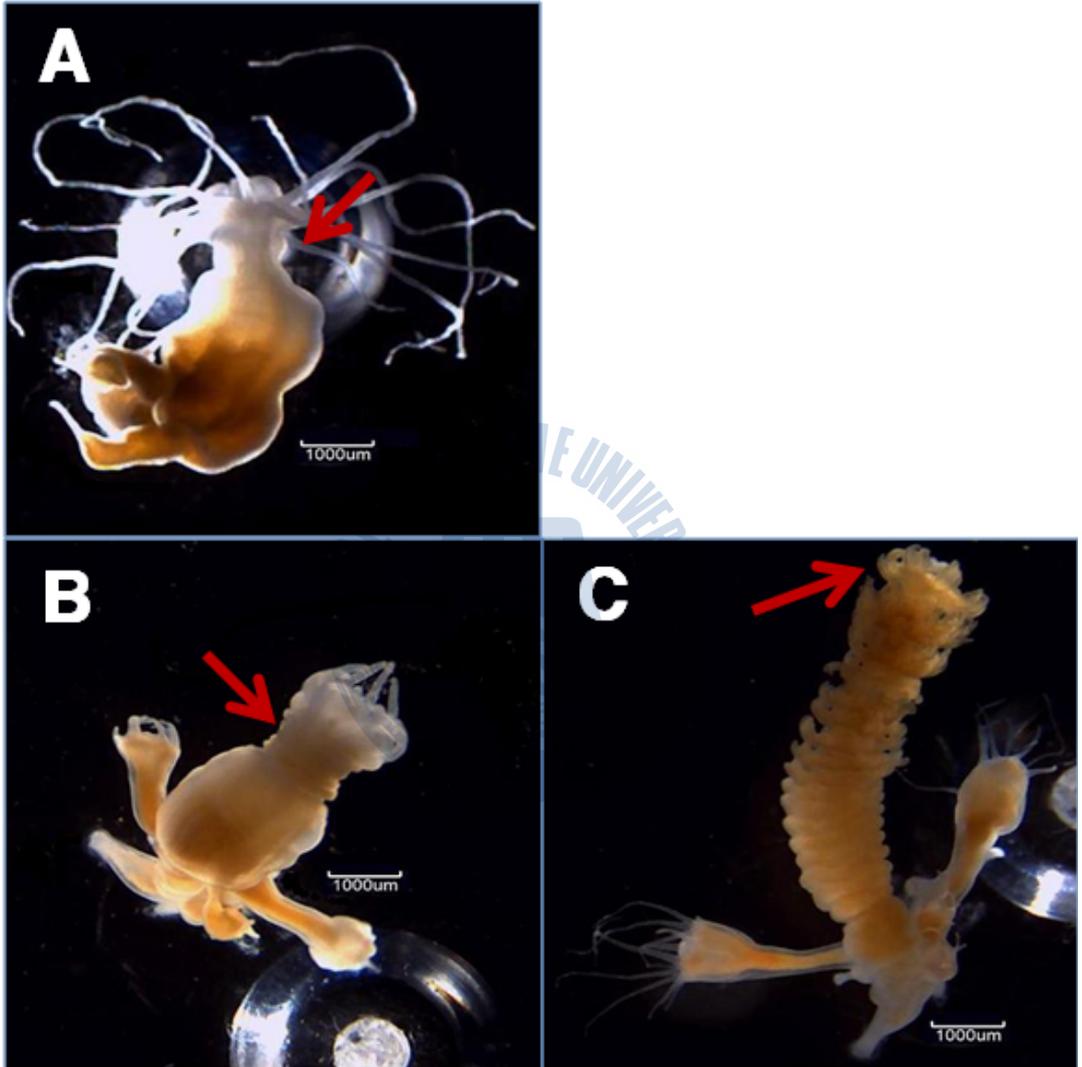
배양한지 35일 이후에 10°C의 10개의 실험구 중에서 20마리의 알테미아를 먹인 개체 전부와 16마리의 먹이를 먹인 3개의 실험구에서 strobilation 전단계인 oral disc의 크기가 줄어드는 것을 관찰하였고, 70일 이후에 strobilation이 일어났다. 이때 형성된 strobila는 대부분 15~20개였고, 78일 후에 대부분 에피라로 변태하여 방출되었다. 그리고 65일 이후에는 14°C의 20마리의 먹이를 먹인 실험구 중에서 1개체와 16마리의 먹이를 먹인 실험구의 2개체에서 strobilation이 일어났다.

#### 실험3 : 온도자극과 온도자극 범위에 따른 횡분열화 활성 실험

온도자극을 주지 않은 실험과 비교하여 특이적인 횡분열화를 보였으며, 온도자극을 크게 받은 실험구에서는 붙어있던 폴립이 영향을 받아 떨어지는 개체들이 많이 보였다.



**Fig. 2.** Process of asexual reproduction by budding. (A) Mother polyp. (B) Mother polyp and producing two buds. (C) Mother polyp and two new polyps isolating from mother polyp.



**Fig. 3.** Process of asexual reproduction by strobilation. (A) Early step of strobilation. (B) Strobilae formation step. (C) Final step before release of ephyrae.

## 3.2 실험 결과

### 실험1 : 개체군단위 폴립의 수온별 무성생식을 실험 및 성장률 실험

#### 1. 폴립의 증가

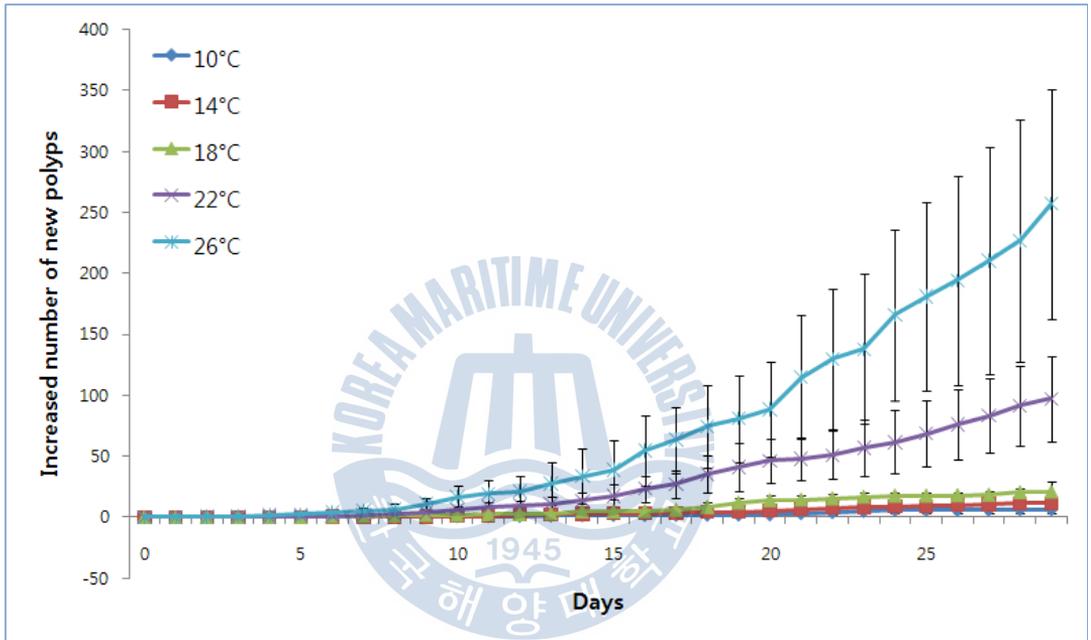
10℃의 4개 반복구의 평균 증가량은 7.25개체였고, 14℃는 16개체, 18℃는 30.25개체, 22℃는 110.75개체, 그리고 26℃는 277.75개체였다(Table 4). 개체군단위의 폴립의 budding으로 인한 무성생식률은 수온에 따라 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 5,  $r^2=0.99$ ,  $p<0.005$ ).

시간이 흐름에 따라 증가하는 폴립개체의 수를 확인하기 위하여 수온별 4개의 반복구에 대한 평균값을 표(Table 3)에 정리하였고, 꺾은 선형 그래프로 나타내었다(Fig. 4). 10℃, 14℃, 18℃와 비교하여 22℃ 온도 구간이 유의적으로 많이 증가하였으며, 특히 26℃ 구간의 폴립은 지수적인 증가를 보여주었다.



**Table 3.** Numbers of new polyyps reproduced via budding during 30 days at colony level.

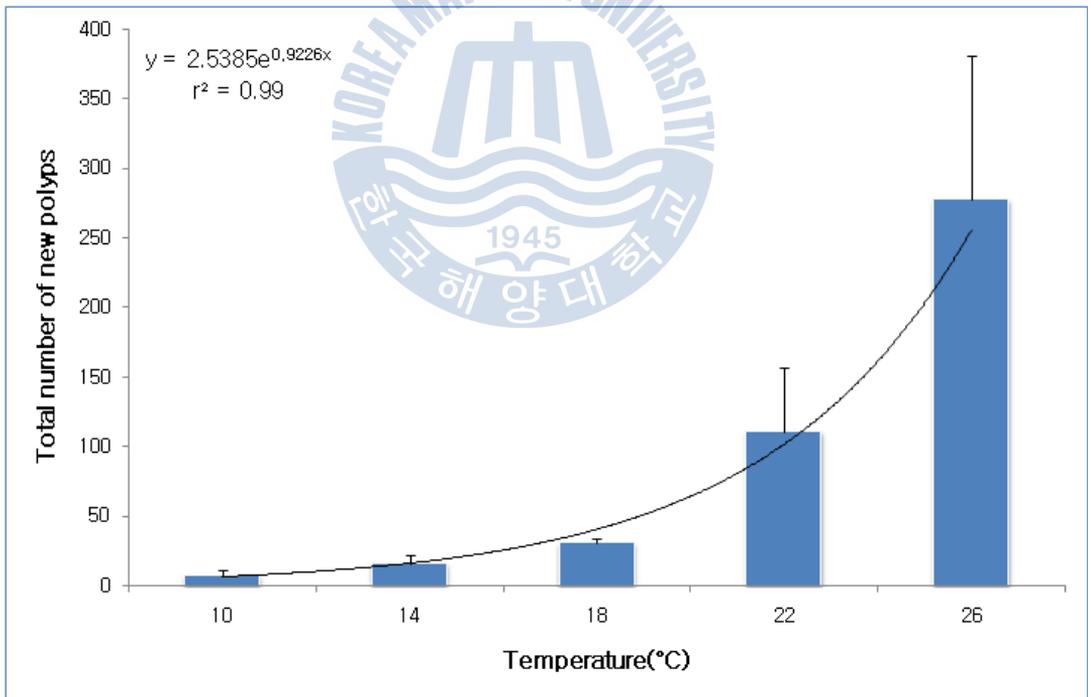
Numbers of new polyyps reproduced via budding					
Days	Temperature				
	10°C	14°C	18°C	22°C	26°C
1	–	–	–	–	–
2	–	–	–	–	0.25
3	–	–	–	–	0.50
4	–	–	–	0.25	1.00
5	–	–	–	0.50	1.75
6	–	0.25	0.25	1.00	2.50
7	–	0.50	0.75	1.00	4.00
8	0.25	0.50	1.00	1.75	5.25
9	0.50	0.50	1.25	2.50	6.50
10	0.50	0.50	1.75	3.75	11.00
11	0.75	1.00	1.75	6.50	16.75
12	0.75	1.00	2.25	8.50	19.25
13	1.00	2.00	2.50	9.50	21.00
14	1.25	2.50	3.00	11.00	27.50
15	1.50	2.75	4.50	13.50	33.75
16	1.75	3.00	4.50	17.50	39.00
17	1.75	3.25	5.00	23.25	54.50
18	1.75	3.50	6.00	27.25	63.50
19	2.00	4.25	8.25	35.50	74.50
20	2.00	4.25	11.75	41.00	81.00
21	2.25	5.25	13.75	46.25	88.50
22	3.25	6.50	14.25	48.00	115.00
23	4.00	7.50	15.25	51.00	130.00
24	5.00	8.25	16.50	56.75	138.00
25	6.00	8.75	17.50	61.50	166.00
26	6.00	9.00	17.50	68.75	181.00
27	6.00	9.75	17.75	76.00	194.25
28	6.25	10.75	18.25	83.25	210.50
29	6.50	11.50	20.25	91.50	227.00
30	7.25	16.00	30.25	110.75	277.75



**Fig. 4.** Numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at colony level. Arrow and X-arrow indicates periods of constant significant difference in numbers of polyps between 5 different temperatures.

**Table 4.** Total numbers of new polyps reproduced via budding at colony level.

Total numbers of new polyps reproduce via budding					
	Temperature				
	10°C	14°C	18°C	22°C	26°C
Average	7.25	16.00	30.25	110.75	277.75
STDEV	3.96	6.44	3.90	45.54	103.18



**Fig. 5.** Total numbers of new polyps reproduced via budding in 5 different temperatures during 30 days at colony level, and the result of non-linear regression test ( $p < 0.005$ ). Vertical denote SD.

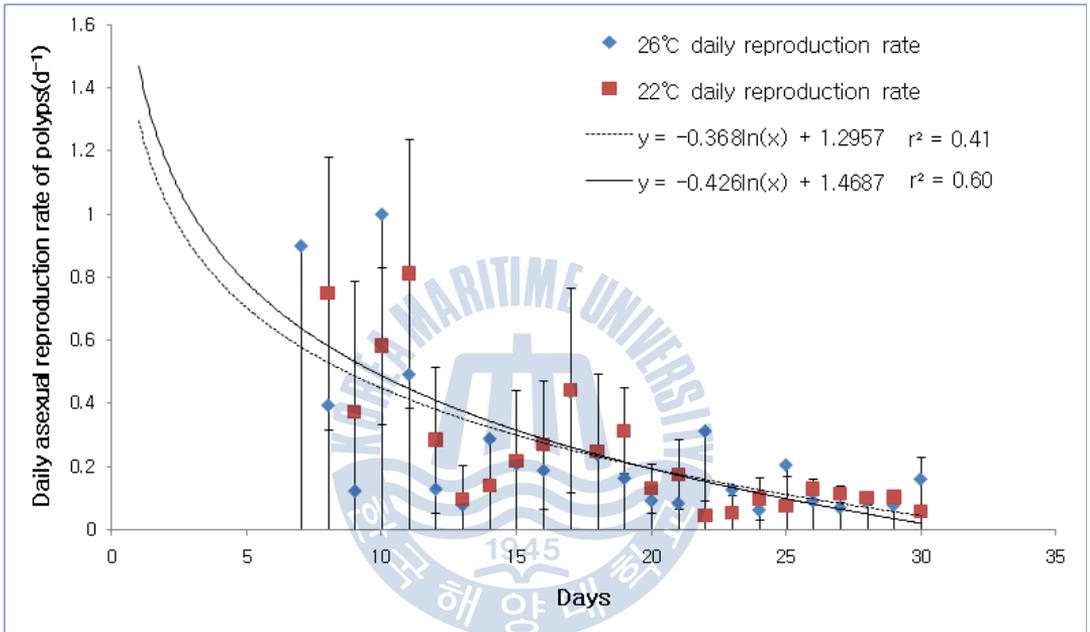
## 2. 무성생식률

개체군단위에서 무성생식률은 폴립을 많이 생산하여 정확한 분석을 할 수 있는 22℃와 26℃를 분석하였다. 10℃, 14℃, 18℃의 실험구는 무성생식량이 적어서 분석결과 유의한 경향을 알 수가 없었다. 이에 대한 결과는 실험 초기에는 다소 활발한 생식률을 보이지만 개체군을 이루는 개체가 늘어나면서 무성생식률이 로그형으로 감소하는 경향을 보였다(Table 5; Fig. 6, 22℃  $r^2=0.41$ ,  $p<0.001$ ; 26℃  $r^2=0.60$ ,  $p<0.005$ ).



**Table 5.** Daily reproduction rate of polyps at colony level.

Reproduction rate of polyps in colony level					
Temperature					
Days	26°C		22°C		
	Daily reproduction rate	STDEV	Daily reproduction rate	STDEV	
7	0.90	0.73	—		
8	0.40	0.37	0.75	0.43	
9	0.13	0.22	0.38	0.41	
10	1.00	0.47	0.58	0.25	
11	0.49	0.12	0.81	0.43	
12	0.13	0.08	0.29	0.23	
13	0.08	0.06	0.10	0.11	
14	0.29	0.13	0.14	0.14	
15	0.21	0.09	0.22	0.23	
16	0.19	0.12	0.27	0.20	
17	0.44	0.33	0.44	0.33	
18	0.24	0.15	0.25	0.25	
19	0.17	0.05	0.31	0.14	
20	0.09	0.04	0.13	0.08	
21	0.09	0.04	0.18	0.11	
22	0.31	0.08	0.04	0.05	
23	0.13	0.05	0.05	0.05	
24	0.07	0.04	0.10	0.07	
25	0.21	0.12	0.08	0.09	
26	0.09	0.04	0.13	0.03	
27	0.07	0.04	0.11	0.03	
28	0.09	0.07	0.10	0.02	
29	0.08	0.01	0.10	0.03	
30	0.16	0.07	0.06	0.17	



**Fig. 6.** Variations of daily reproduction rates of polyps at colony level in 22°C and 26°C during 30 days, and the results of non-linear regression test ( $p < 0.001$  at 22°C and  $p < 0.005$  at 26°C). Vertical denote SD.

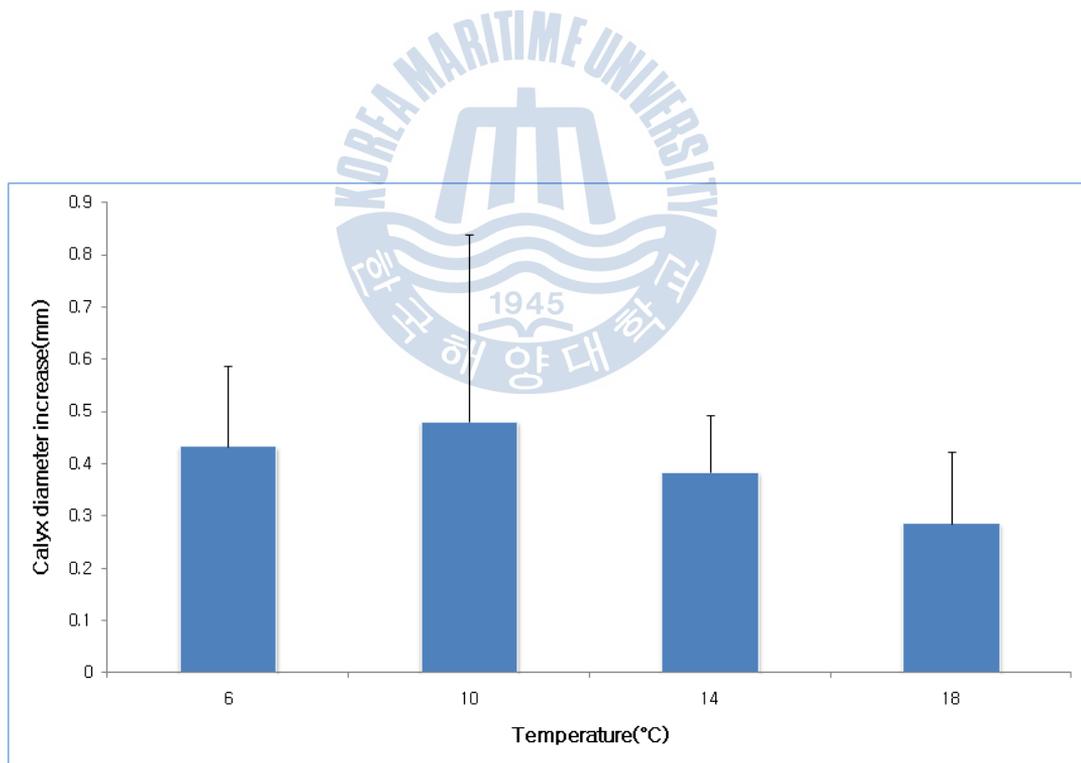
### 3. 성장률

각 실험구의 폴립의 성장은 시간이 지남에 따라 꾸준히 증가하였다. 성장률은 실험 종료 시의 크기에 실험 시작 날의 크기를 뺀 결과로 실험 중에 성장한 크기를 나타내었고 각 온도별 반복구의 평균 성장크기는 6°C 0.43 mm, 10°C 0.48 mm, 14°C 0.39 mm, 18°C 0.28 mm로 10°C에서 가장 높은 성장을 확인하였고 (Table 6), 수온이 낮아짐에 따라 성장률이 커지는 경향을 확인 할 수 있었다 (Fig. 7,  $r^2=0.70$ ). 6°C의 경우에는 budding보다 성장이 더 일어나지만 개체들의 활성이 낮기 때문에 먹이섭취 및 관련된 대사활동이 다른 온도구간에 비해 많이 낮았다. 6°C 구간을 제외하면 10°C, 14°C, 18°C 실험구는 유의적인 결과로 수온이 낮아짐에 따라 성장률이 높아진다는 것을 확인 할 수 있었다.



**Table 6.** Means of polyps' calyx diameter increase at colony level.

	Calyx diameter increase of polyps(mm)			
	Temperature			
	6°C	10°C	14°C	18°C
4/27 size	1.70	1.51	1.43	1.22
3/28 size	1.27	1.03	1.04	0.93
growth size	0.43	0.48	0.39	0.29



**Fig. 7.** Means of polyps' calyx diameter increase at colony level.

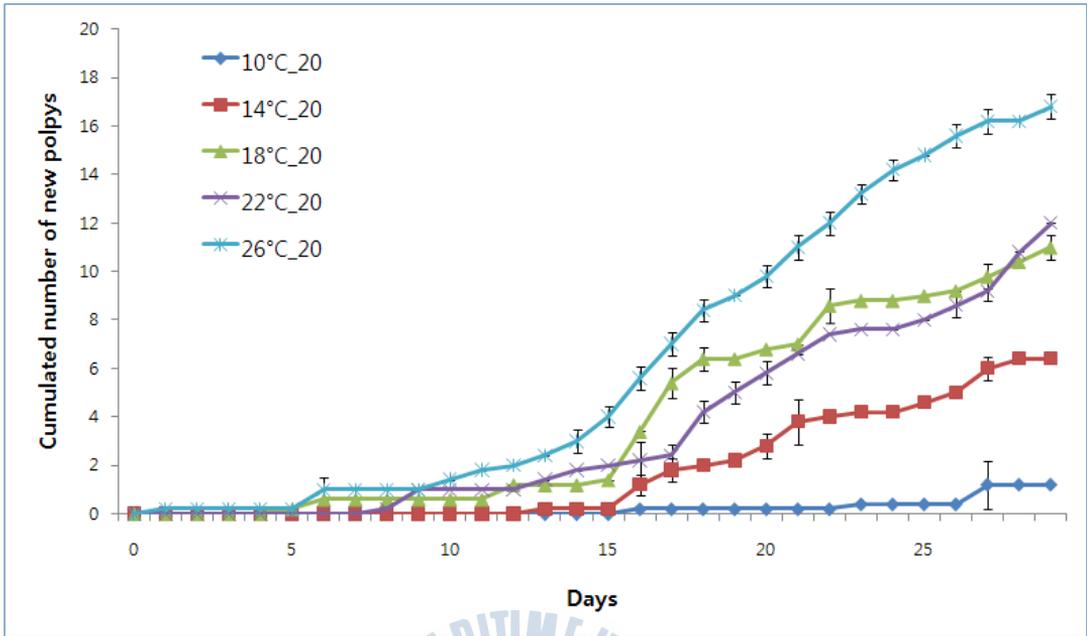
## 실험2 : 개체단위 폴립의 수온별 무성생식률과 성장률 실험

### 1. 폴립의 증가

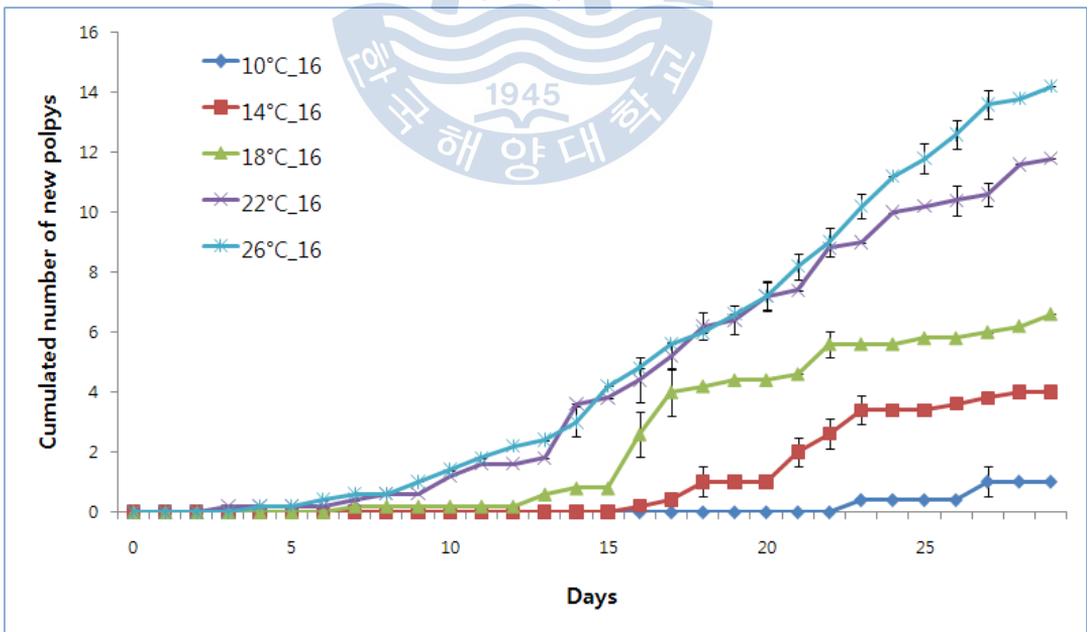
30일간 실험을 진행한 후에 각 온도별로 그리고 16마리의 알테미아를 먹인 실험구와 20마리의 먹이를 먹인 실험구에서 실험이 진행되는 동안 제거한 새로 생성된 폴립의 개체수를 최종적으로 비교해보았다. 각 실험구 별로 매일 폴립의 증가량을 확인 하였고, 그 결과 온도가 낮은 실험구는 폴립이 증가하는 시기가 늦을 뿐만 아니라 생성되는 개체수도 적었고, 이와 반대로 높은 수온의 실험구는 폴립이 증가하는 시기가 상대적으로 빠를 뿐만 아니라 생성되는 개체수도 많았다(Fig. 8, Fig. 9). 그리고 16마리의 알테미아를 먹인 실험구 보다 20마리의 알테미아를 먹인 실험구는 최고 1.67배의 더 많은 폴립을 생산하였다(Table 7). 최종적인 결과 로 10°C 16마리의 알테미아를 먹인 실험구에서 새로 생성된 폴립의 평균 개체 수는 1개체였고, 20마리를 먹인 실험구에서의 평균 개체수는 1.2마리였다. 14°C에서는 각각 4개체와 6개체였고, 18°C는 6.6개체와 11개체, 22°C는 11.8개체와 13.4개체, 그리고 26°C에서는 각각 14.2개체와 16.8개체가 생성되었다(Table 8). 이 결과로 같은 양의 먹이를 주었을 경우에 수온에 따라 budding에 의한 무성생식이 결정된 다는 것을 확인할 수 있었고, 수온이 높을수록 더 활발한 무성생식을 한다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 10, 16마리  $r^2=0.99$ ,  $p<0.05$ ; 20마리  $r^2=0.98$ ,  $p<0.05$ ). 또한 먹이 공급량에 따라서도 무성생식률이 차이가 나는 경향을 확인할 수가 있었다.

**Table 7.** Numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at individual level.

Numbers of new polyps reproduced via budding										
Days	Temperature									
	10°C		14°C		18°C		22°C		26°C	
	Numbers of <i>Artemia</i>									
	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2
4	—	—	—	—	—	—	0.2	—	—	0.2
5	—	—	—	—	—	—	0.2	—	0.2	0.2
6	—	—	—	—	—	0.2	0.2	—	0.2	0.2
7	—	—	—	—	—	0.6	0.2	—	0.4	1.0
8	—	—	—	—	—	0.6	0.4	—	0.6	1.0
9	—	—	—	—	—	0.6	0.6	0.2	0.6	1.0
10	—	—	—	—	—	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
11	—	—	—	—	—	0.6	1.2	1.0	1.4	1.4
12	—	—	—	—	—	0.6	1.6	1.0	1.8	1.8
13	—	—	—	—	—	1.2	1.6	1.0	2.2	2.0
14	—	—	—	0.2	0.6	1.2	1.8	1.4	2.4	2.4
15	—	—	—	0.2	0.8	1.2	3.6	1.8	3.0	3.0
16	—	—	—	0.2	0.8	1.4	3.8	2.0	4.2	4.0
17	—	0.2	0.2	1.2	2.6	3.4	4.4	2.2	4.8	5.6
18	—	0.2	0.4	1.8	4.0	5.4	5.2	2.4	5.6	7.0
19	—	0.2	1.0	2.0	4.2	6.4	6.2	4.2	6.0	8.4
20	—	0.2	1.0	2.2	4.4	6.4	6.4	5.0	6.6	9.0
21	—	0.2	1.0	2.8	4.4	6.8	7.2	5.8	7.2	9.8
22	—	0.2	2.0	3.8	4.6	7.0	7.4	6.6	8.2	11.0
23	—	0.2	2.6	4.0	5.6	8.6	8.8	7.4	9.0	12.0
24	0.4	0.4	3.4	4.2	5.6	8.8	9.0	7.6	10.2	13.2
25	0.4	0.4	3.4	4.2	5.6	8.8	10.0	7.6	11.2	14.2
26	0.4	0.4	3.4	4.6	5.8	9.0	10.2	8.0	11.8	14.8
27	0.4	0.4	3.6	5.0	5.8	9.2	10.4	8.6	12.6	15.6
28	1.0	1.2	3.8	6.0	6.0	9.8	10.6	9.2	13.6	16.2
29	1.0	1.2	4.0	6.4	6.2	10.4	11.6	10.8	13.8	16.2
30	1.0	1.2	4.0	6.4	6.6	11.0	11.8	12.0	14.2	16.8



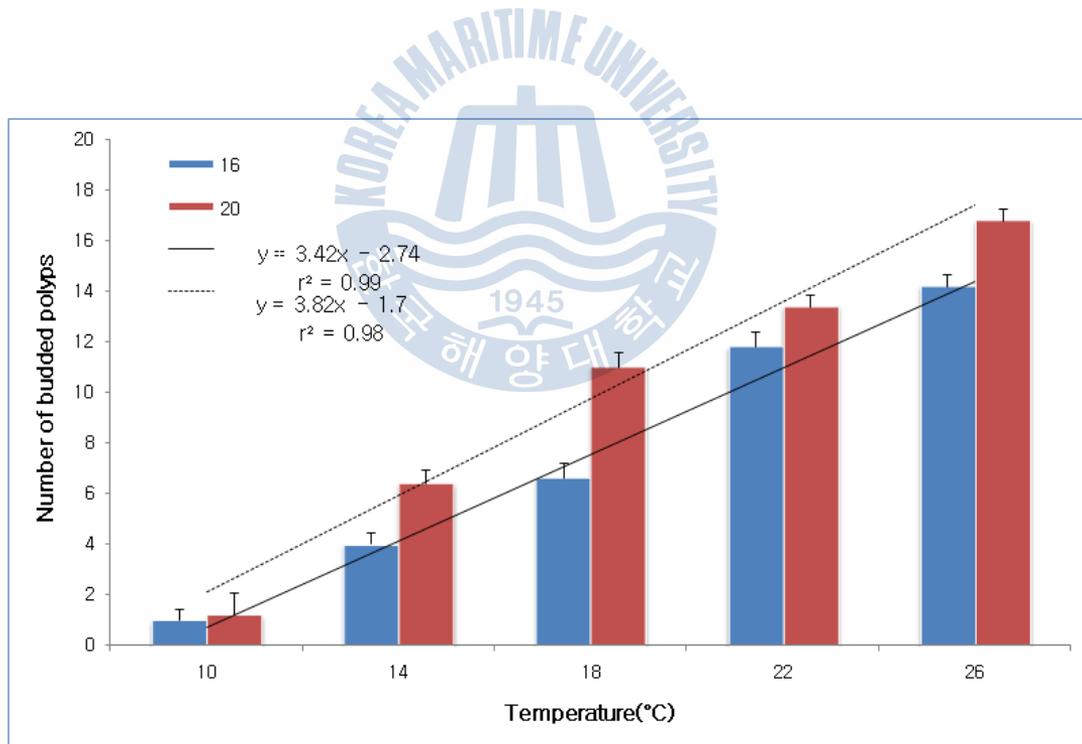
**Fig. 8.** Cumulated numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at individual level at 10°C, 14°C, 18°C, 22°C and 26°C(20 *Artemias*).



**Fig. 9.** Cumulated numbers of new polyps reproduced via budding during 30 days at individual level at 10°C, 14°C, 18°C, 22°C and 26°C(16 *Artemias*).

**Table 8.** Total numbers of new polyps reproduce via budding at individual level.

Total numbers of new polyps reproduce via budding					
<i>Artemia</i>	Temperature				
	10°C	14°C	18°C	22°C	26°C
16	1.0	4.0	6.6	11.8	14.2
20	1.2	6.4	11.0	13.4	16.8



**Fig. 10.** Means of total new polyps of *Aurelia aurita* s.l. produced under a varying condition of food and temperatures, and the result of linear regression test(both  $p < 0.05$ ). Vertical denote SD.

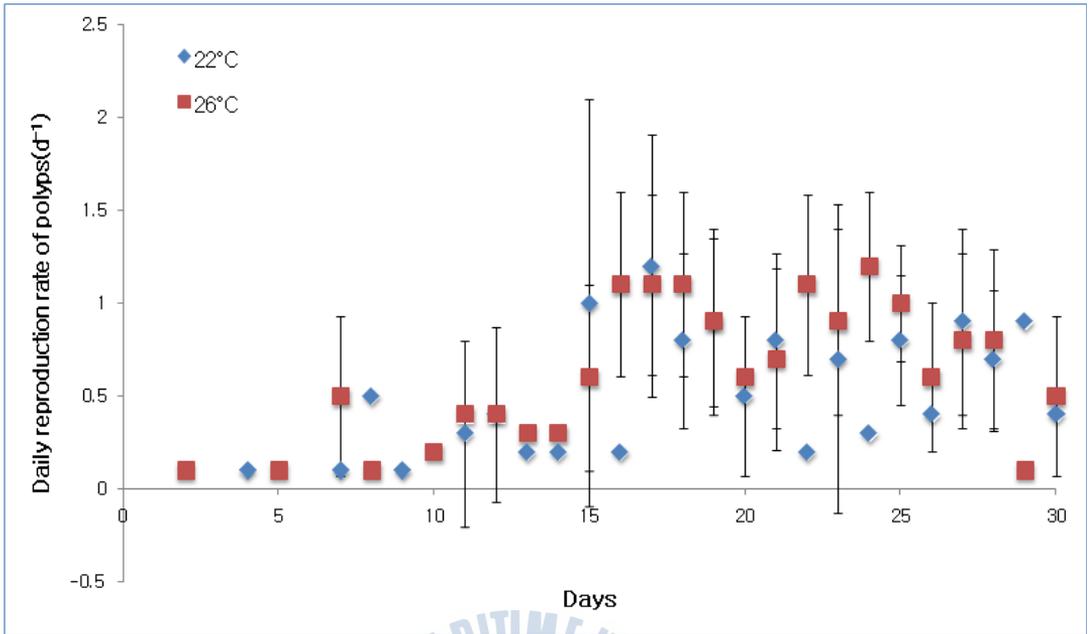
## 2. 무성생식률

실험 초기에는 개체의 성장이 우선하여 일정한 성장(>1 mm)이 이루어진 후 바로 폴립을 생성하기 시작했다(Table 9). 그리고 개체군단위 폴립 실험과 비교 하였을 때, 일차가 지남에 따라서 로그형으로 줄어드는 경향이 아니라 직선 회귀로 유지되는 경향을 확인할 수 있었다(Fig. 11). 또한 개체군단위와 개체 단위의 무성생식률을 비교하였을 때, 수온이 높을수록 더 활성이 좋으며, 전반적으로 개체단위에서 더 활성을 보이는 것을 유의적인 수치로 확인 할 수 있었다(Fig. 12, 26°C  $p<0.005$ ; 22°C  $p<0.001$ ).

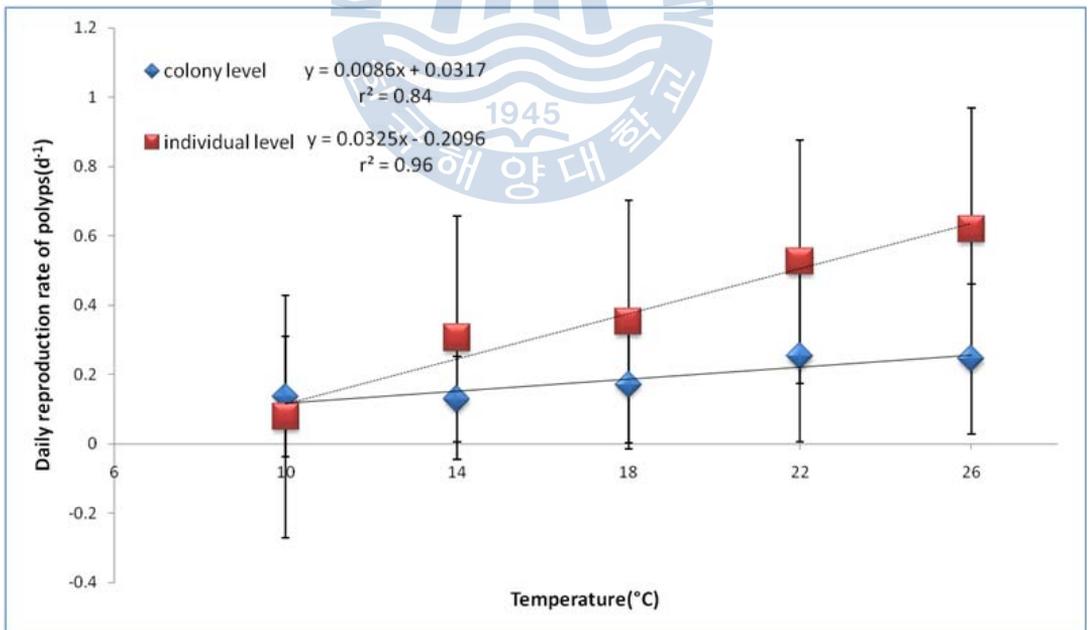


**Table 9.** Daily reproduction rate of polyps at individual level.

Daily reproduction rate					
Days	Temperature				
	26°C			22°C	
	Daily reproduction rate	STDEV	Daily reproduction rate	STDEV	
1		—		—	
2	0.10	—	0.00	—	
3		—		—	
4		—	0.10	0.00	
5	0.10	—	0.00	—	
6		—		—	
7	0.50	0.43	0.10	0.00	
8	0.10	0.00	0.50	0.00	
9		—	0.10	0.00	
10	0.20	0.00		—	
11	0.40	0.00	0.30	0.50	
12	0.40	0.47	0.40	0.00	
13	0.30	0.00	0.20	0.00	
14	0.30	0.00	0.20	0.00	
15	0.60	0.50	1.00	1.10	
16	1.10	0.49	0.20	0.00	
17	1.10	0.48	1.20	0.71	
18	1.10	0.49	0.80	0.47	
19	0.90	0.50	0.90	0.45	
20	0.60	0.00	0.50	0.43	
21	0.70	0.49	0.80	0.47	
22	1.10	0.48	0.20	0.00	
23	0.90	0.50	0.70	0.83	
24	1.20	0.40	0.30	0.00	
25	1.00	0.31	0.80	0.35	
26	0.60	0.40	0.40	0.00	
27	0.80	0.47	0.90	0.50	
28	0.80	0.49	0.70	0.37	
29	0.10	0.00	0.90	0.00	
30	0.50	0.43	0.40	0.00	



**Fig. 11.** Variations of daily reproduction rates of polyps at the individual level culture in 22°C and 26°C during 30 days.



**Fig. 12.** Comparison of daily reproduction rates of polyps at colony and individual level in 22°C and 26°C during 30 days, and the result of linear regression test(both  $p < 0.05$ ). Vertical denote SD.

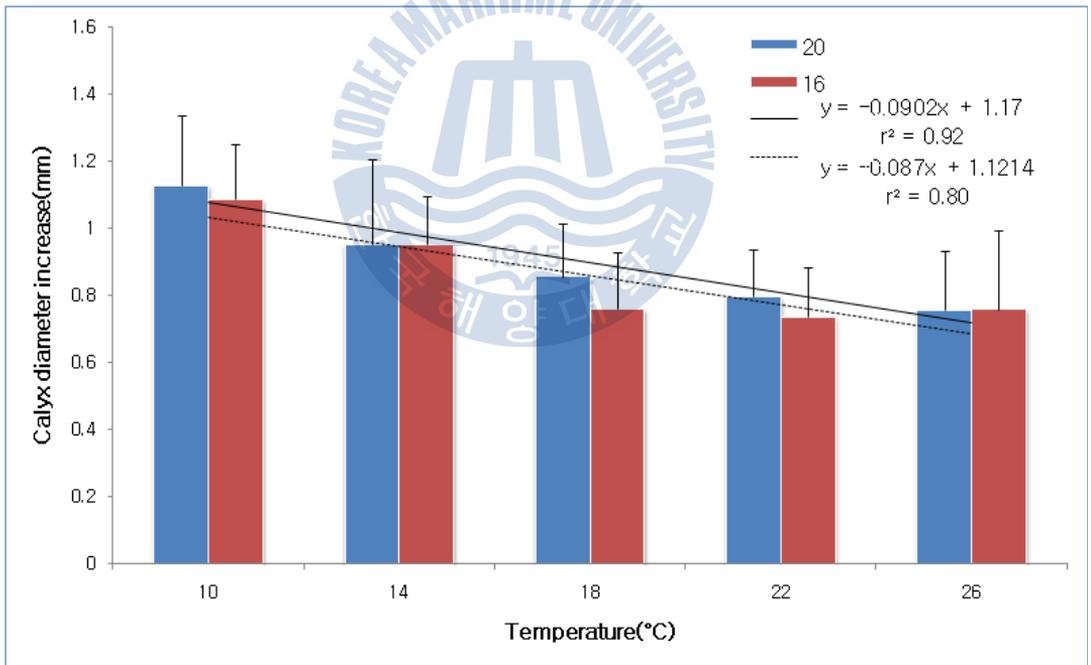
### 3. 성장률

개체단위실험 역시 개체군단위의 실험과 같이 각 실험구의 폴립의 성장률은 시간이 지남에 따라 꾸준히 증가하였다. 성장률은 실험 종료 시의 크기에 실험 시작 날의 크기를 뺀 결과로 실험 중에 성장한 크기를 나타내었다. 각 온도별 5개의 반복구의 평균 성장크기는 16마리의 알테미아를 먹인 경우에 10°C 1.13 mm, 14°C 0.95 mm, 18°C 0.86 mm, 22°C 0.80 mm, 26°C 0.76 mm가 성장하였으며, 20마리의 먹이를 먹인 경우에는 10°C 1.09 mm, 14°C 0.95 mm, 18°C 0.76 mm, 22°C 0.74 mm, 26°C 0.76 mm가 성장하였다(Table 10). 이결과로 10°C에서 가장 높은 성장을 보이는 것을 확인하였고, 수온이 낮아짐에 따라 성장률이 커지는 경향을 확인 할 수 있었다(Fig. 13, 16마리 먹이  $r^2=0.92$ ,  $p<0.05$ ; 20마리 먹이  $r^2<0.80$ ). 또한 먹이 공급에 따른 영양상태에 따라서 폴립의 성장에 영향을 미친다는 경향성을 파악할 수 있었다.



**Table 10.** Means of polyps' calyx diameter increase at individual level.

Calyx diameter increase of polyps(mm)					
<i>Artemia</i>	Temperature				
	10°C	14°C	18°C	22°C	26°C
16	1.13	0.95	0.86	0.80	0.76
20	1.09	0.95	0.76	0.74	0.76



**Fig. 13.** Means of polyps' calyx diameter increase at individual level under a varying condition of food and temperatures, and the result of linear regression test ( $p < 0.05$  at 16 *Artemia*). Vertical denote SD.

### 실험3 : 온도자극과 온도자극 범위에 따른 횡분열화 활성 실험

각 실험구에 온도변화에 의한 자극을 주었을 때의 변화로 6°C의 모든 실험구와 14°C, 18°C의 모든 실험구에서 온도에 자극에 대한 스트레스를 확인 할 수는 있었으나, 횡분열화가 진행되지는 않았다. 하지만 10°C에서부터 자극을 준 실험구에서는 스트레스 이외에 횡분열화가 관찰되었다. 즉 16개의 실험구 중에서 10°C에서 배양 중이던 실험구에서만 횡분열화가 일어났고, 그중에서도 온도를 낮추어준 실험구가 아닌 온도를 높인 실험구에서만 횡분열화가 일어났다(Fig. 14). 특히 10°C에서 4°C상승 자극과 12°C 상승 자극을 준 실험구에서 횡분열화가 관찰되었다. 10°C에서 14°C로 옮겨 4°C의 온도 자극을 준 실험구에서 19개체 중에서 10개체가 횡분열화가 일어났고, 10°C에서 22°C로 옮겨 12°C의 온도 자극을 준 실험구에서는 15개체 중에서 6개체가 횡분열화가 일어났다.

횡분열화가 형성된 개체 중에서 14°C로 이동한 실험구에서는 총 81개체의 ephyra가 방출되었으며, 22°C로 이동한 실험구에서는 25개체의 ephyra가 방출되었다. 22°C로 이동한 실험구의 결과 중에서 10-22-3과 10-22-6은 각각 4개와 3개의 횡분열체를 형성하였으나, 급격한 온도 변화의 스트레스로 인해서 떨어져 나가서 더 이상 관찰할 수 없었다(Table 11).

case 1	6°C-1	→	10°C	0
	6°C-2		14°C	0
	6°C-3		18°C	0
	6°C-4		22°C	0
case2	10°C-1	→	6°C	0
	10°C-2		14°C	10/19
	10°C-3		18°C	0
	10°C-4		22°C	6/15
case3	14°C-1	→	6°C	0
	14°C-2		10°C	0
	14°C-3		18°C	0
	14°C-4		22°C	0
case4	18°C-1	→	6°C	0
	18°C-2		10°C	0
	18°C-3		14°C	0
	18°C-4		22°C	0

Fig. 14. Result of strobilation experiments.

**Table 11.** Results of strobilation experiments.

Result of strobilation experiment						
ID	Size (mm)	Starting days	Ending days	Strobilae	Active ephyrae	Inactive ephyrae
10-14-1	1.56	1	20	10	10	0
10-14-2	1.25	1	22	12	12	0
10-14-3	1.40	3	27	9	9	0
10-14-4	1.41	3	27	7	7	0
10-14-5	1.33	3	20	10	10	0
10-14-6	2.38	3	35~	7	6	1
10-14-7	0.98	4	20	7	7	0
10-14-8	1.42	5	27	9	9	0
10-14-9	1.59	5	35~	7	5	2
10-14-10	0.96	9	29	6	6	0
10-22-1	1.31	1	6	6	6	0
10-22-2	2.10	3	10	8	8	0
10-22-3	2.72	3	—	4	—	—
10-22-4	1.29	3	9	7	7	0
10-22-5	1.14	4	9	4	4	0
10-22-6	1.89	4	—	3	—	—

### 3.3 고찰

현재 전 세계적으로 해파리 대량발생으로 인한 피해로 인해서 국내외에서 큰 주목을 받고 있다. 이에 대한 반응으로 국외에서는 해파리에 대한 연구가 활발하며, 해파리에 대한 전반적인 연구가 1800년대 후반부터 이루어졌다. 그 이후로도 지속적으로 활발한 연구가 진행되었고, 특히 Coyne는 1973년 해파리 폴립에 대한 중요성을 인식하고 폴립의 생태적 특징에 대하여 연구하였다. 하지만 국내에서는 아직까지 해파리에 대한 전반적인 연구가 미비하며, 폴립에 대해서 정확한 컨트롤에 의한 생리·생태적 연구는 전무하다. 1990년대 후반부터 해파리가 대량발생 하여서 조사는 이루어졌지만, 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지지 않았다. 이러한 국내의 취약한 연구배경에서 우리나라에서 최초로 실행한 본 연구에서 얻어진 결과로 크게 3가지의 특성을 확인할 수가 있었고, 앞으로의 연구에 있어서 중요한 기반이 될 것이다.

#### 1. 수온에 따른 무성생식률과 성장률, 그리고 횡분열화.

온도에 따른 무성생식률과 성장률, 그리고 횡분열화가 수온에 따라서 영향을 받을 것이라는 가설을 세웠었는데, 이에 대한 결과는 실험1과 실험2의 1, 3 결과와 관찰내용을 종합적 비교하여 확인하였다.

우선 실험1과 실험2의 첫 번째 결과인 최종 폴립 수를 비교하였을 때 유의적인 차이로 수온이 높을수록 새로 번식한 폴립의 수가 많았다. 다만 경향성의 차이가 나는 것은 개체군단위의 실험에는 새로이 태어난 폴립이 독립한 후에 스스로가 모체가 되어 그 개체 또한 무성생식을 함으로써 기하급수적인 번식을 하였고, 그래프는 지수형 증가 곡선을 보인다.

다음으로 실험 1, 2의 세 번째 결과에서 생리활성이 낮은 6°C의 실험구간을 제외하고 10°C에서 26°C까지 구간에서 수온이 낮을수록 유의적인 차이로 폴립의 크기가 증가하는 것을 확인하였다.

마지막으로 관찰내용의 실험1에서 10°C 구간의 두 번째 반복구에서 1개체의 횡분열화과 일어난 것과 실험2에서 10°C 구간의 총 10개의 실험구 중에서 8

개의 실험구에서 황분열화가 일어난 것을 확인하였다. 실제로 10℃구간에서 가장 큰 성장률을 보였으며, 개체군단위에서는 유의적이지 않았지만 개체 단위의 실험에서는 유의적으로 황분열화가 일어났다.

위 결과로 첫 번째 가설을 검증하였고, 수온이 높을수록 번식을 하고 수온이 낮을수록 성장을 하면서 황분열화에 대한 준비를 한다는 것을 확인하였다.

## 2. 폴립의 밀도 종속적 무성생식.

폴립의 무성생식이 개체군단위와 개체단위가 밀도 종속적인 영향에 의해서 다른 경향을 보일 것이라는 가설을 검증하기 위해서 실험1과 실험2의 일일무성생식률에 대한 결과를 비교해 보았다. 개체 단위의 무성생식률 그래프는 처음 며칠 동안 성장위주로 에너지를 소비하였을 것이라고 예상되는 기간을 제외하면 특별한 경향성이 없는 무성생식률을 보인다. 하지만 개체군 단위의 그래프는 처음 며칠 동안의 성장위주의 경향은 개체단위와 동일하지만, 무성생식이 계속적으로 일어나면서 무성생식률이 감소한다는 차이점이 있다. 이는 폴립의 무성생식이 주위의 폴립에 영향을 받아서 번식 할 수 있는 공간이 적어짐(밀도종속적 영향의 증가)에 따라서 무성생식에 대한 영향을 주는 것으로 보인다. 또한 각 온도별로 실험기간 중에서 전체적인 무성생식률을 비교 해보았다. 그 결과는 번식 보다는 성장을 많이 하는 10℃의 실험구들을 제외하면 유의적인 차이로 개체군단위보다는 개체단위의 폴립이 더 높은 무성생식률을 보였다. 이러한 결과는 외국에서 실행된 해파리 폴립의 밀도종속적 영향에 대한 실험들과 아주 유사한 경향성을 보인다(Coyne, 1973). 또한 밀도종속적인 영향에 의해서 무성생식이 저해된 폴립의 잉여에너지가 성장을 하는데 소비하여 같은 온도 구간의 대조구들 보다 성장률이 높아지는 결과와 같은 맥락을 보인다(국립수산과학원 미발표 자료).

이러한 내용들을 토대로 폴립의 무성생식이 주위 폴립의 밀도 종속적 영향을 받는다는 가설을 검증하였고, 그 영향이 주위에 폴립이 있을 경우에 일일무성생식률이 작아진다는 것임을 확인할 수 있었다.

### 3. 황분열화 촉진을 위한 온도자극.

마지막으로 황분열화가 일어나는데 있어서 온도자극에 의해서 특이적인 영향을 받을 것이라는 가설에 대해서 검토해보았다. 관찰1과 관찰2를 통해서 황분열화가 10℃의 낮은 수온에서 활발하게 일어난다는 것을 확인 할 수 있었다. 특히 개체단위 실험에서 10개체 중에서 8개체가 황분열화가 일어났다. 그리고 관찰 된 황분열화의 시기는 평균적으로 35일 이후에 황분열화 초기 단계가 보이기 시작하였다. 그리고 40일 이후에 황분열화가 일어나는 것을 확인하였고 70일~78일 후에 황분열화가 완료되었다.

실험 3의 결과를 토대로 온도자극에 대한 영향을 정리할 수 있었다. 황분열화는 온도 자극이 없었던 실험1과 실험2의 관찰내용에서처럼 10℃에서 실험 중이던 실험구에서만 일어났다. 하지만 온도 자극을 준 실험3은 두 가지의 차이점을 보여주었다. 첫 째로는 황분열화의 상대적으로 빠른 시작시기와 종료시기였고, 둘째로는 상대적으로 적은 황분체형성 및 에피라를 보여주었다.

온도자극을 준 다음날부터 황분열화 초기단계를 보이는 개체들이 보이기 시작하였고 에피라로 변태되는 기간도 온도 자극이 없을 때와 비교하여 상당히 짧은 시기를 보여주었으며, 그 기간의 차이는 11일~42일의 차이가 있었다.

또 다른 차이는 온도 자극이 없었던 실험2의 관찰내용에서는 15개~25개의 황분열체가 형성 된 것에 비해 4개~12개의 황분열체만을 형성한 것이다. 특히 12℃ 수온상승의 자극을 준 실험구에서는 황분열화가 일어난 6개체 중에서 2개체가 스트레스로 인해 폴립이 손실되었고, 나머지 개체에서는 4~8개체의 에피라만 방출되었다. 4℃ 수온상승의 온도자극을 준 실험구에서는 손실되는 개체는 발생하지는 않았지만, 평균 8.4개의 황분열체를 형성하였다. 더구나 최종적으로 방출되지 못한 에피라도 3개체가 있었다.

이 내용들을 토대로 폴립에게 주는 온도자극이 황분열화에 영향을 미치며, 그 영향의 추세는 황분열화의 시기와 기간을 앞당긴다는 것과 생성되는 에피라의 양을 적게 한다는 것이다.

## 제 4 장 결론

이번 연구를 통해서 지금까지는 잘 알려져 있지 않은 한국의 보름달물해파리 폴립 상태의 무성생식을 포함한 몇 가지 생태적 특징에 대해서 확인 할 수 있었다.

첫 번째로 폴립이 높은 수온에서는 번식위주인 무성생식을 많이 하고, 점차적으로 수온이 낮아질 경우에는 성장위주로의 생활을 한다는 것을 확인하였다. 그리고 10℃ 정도의 수온에서 횡분열화가 일어나며 에피라로 변태되어 방출된다는 것을 확인하였다. 이 결과는 가을 중에 해파리 성체가 유성생식을 하여 플라눌라를 형성시키고 해수온도가 점차 떨어지는 겨울 중에 폴립이 무성생식을 하고, 봄이 되기 전에 최저의 해수온도 상태에서 횡분열화가 일어나서 해수온도가 따뜻해지는 봄에 에피라가 출현하는 현재 우리나라에서 발견되는 해파리의 생활사와 큰 연관성을 보여주었다.

두 번째로 개체단위와 개체군단위에서의 무성생식을 비교했을 때, 개체군단위의 폴립들이 밀도 종속적인 영향을 받아서 무성생식률이 떨어지는 것을 확인하였다. 이러한 밀도 종속적인 영향을 적용하여 폴립이 무성생식을 하는데 있어서 주변 환경을 조절함으로써 번식량을 조절할 수 있을 것이라는 결론을 내릴 수 있었다. 또한 폴립이 부착하고 있는 환경에 따라서 어느 정도까지 번식을 할 것인지에 대한 대략적인 예상을 할 수 있을 것이다.

마지막으로 에피라로 변태되기 위한 횡분열화에 있어서, 10℃ 정도의 낮은 수온의 환경이 필요하다는 것과 횡분열화를 촉진시키는데 온도 자극이 영향을 준다는 사실을 확인하였다. 하지만 큰 폭의 급격한 온도 변화는 폴립에 스트레스를 주어 평균적인 에피라의 방출량보다 적어진다는 것을 확인하였다. 이에 추가적으로 횡분열화가 많이 진행이 되어 strobila가 충분히 형성된 개체에 온도 자극을 주었을 경우에는 에피라의 방출량에는 영향을 주지 않고 진행 시기에만 영향을 주었다. 이러한 사실로 해파리가 많이 발생하는 해역에서 주기적으로 수온을 확인하여 에피라의 방출시기 및 방출량을 예상 할 수 있을 것이다.

## 향후 연구

보름달물해파리의 무성생식 뿐 아니라 유성생식의 생리생태적 특징을 파악하여 전체 생활사의 최적조건을 확인하는 연구가 필요할 것이다. 전체적인 생활사에 대한 연구가 이루어지면 조건을 조절하여 실험할 수 있는 환경을 제공할 수 있을 것이고, 이를 통해서 본질적인 해파리대량발생을 저해하고 해파리대량발생을 구제 할 수 있는 조건을 연구할 수 있을 것이다.

또한 필드조건이 아닌 배양조건에서 인위적으로 해파리의 배양이 가능할 것이며, 해파리의 구제를 통해 피해를 줄이는 것으로 그치는 것이 아니라 해파리를 전시용이나 관상용으로 활용할 수 있도록 가능성을 제공하여 이익을 창출할 수도 있을 것이다.

그리고 본 연구는 독성이 약한 보름달물해파리가 아닌 특이적인 독성이 있는 해파리의 연구에도 도움이 될 것이다. 특이한 독성이 있는 해파리의 배양을 통해 독성에 대한 연구와 해파리로부터 얻을 수 있는 유용물질을 탐색하는 연구도 가능할 것이다.

이러한 연구를 통해 전체적인 해파리의 피해에 대해 능동적인 대처와 피해규모를 줄이고 오히려 해파리를 통해서 인간에게 유익함을 추구할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- Adler L, Jarms G (2009) New insights into reproductive traits of scyphozoans: special methods of propagation in *Sanderia malayensis* GOETTE, 1886 (Pelagiidae, Semaestomeae) enable establishing a new classification of asexual reproduction in the class Scyphozoa. *Mar Biol* 156: 1411–1420.
- Arai MN (1997) A functional biology of scyphozoa. *Chapman & Hall, London* 316 pp.
- Arai MN (2001) Pelagic coelenterates and eutrophication: a review. *Hydrobiologia*, 451: 68–87.
- Arai MN (2009) The potential importance of podocysts to the formation of scyphozoan blooms: a review. *Hydrobiologia* 616: 241–246.
- Båmstedt U (1990) Trophodynamics of the scyphomedusae *Aurelia aurita*. Predation rate in relation to abundance, size and type of prey organism. *J Plankton Res* 12: 215–229.
- Brewer RH (1991) Morphological differences between, and reproductive isolation of, two populations of the jellyfish *Cyanea* in Long Island Sound, USA. *Hydrobiologia* 216/217: 471–477.
- Brewer RH (1989) The annual pattern of feeding, growth, and sexual reproduction in *Cyanea* (Cnidaria: Scyphozoa) in the Niantic River estuary, Connecticut. *Biol Bull* 176: 272–281.
- Brodeur RD, H Sugisaki, Hunt GL Jr. (2002) Increases in jellyfish biomass in the Bering Sea: implications for the ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser* 233: 89–103.
- Coyne JA (1973) An investigation of the dynamics of population growth and control in scyphistomae of the scyphozoan *Aurelia aurita*. *Chesap Sci* 14: 55–58.
- Custance D (1964) Light as an inhibitor of strobilation in *Aurelia aurita*. *Nature* 204: 1219–1220.
- Delap MJ (1906) Notes on the rearing, in an aquarium, of *Aurelia aurita* L. and *Pelagia perla* (Slabber). Report on the Sea and Inland Fisheries of Ireland II. *Scientific Investigations*, 1905: 22–26.

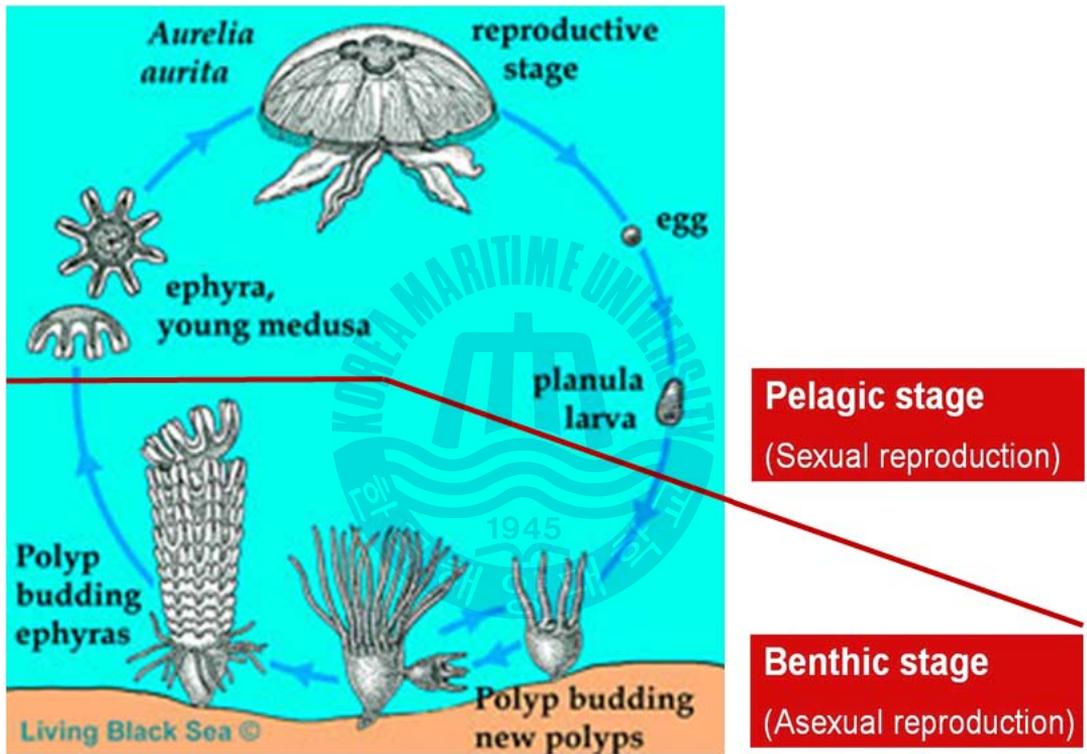
- Ding G, Chen J (1981) The life history of *Rhopilema esculenta* Kishinouye. *J Fish China* 5: 93–104 (in Chinese with English abstract).
- Dong J, Sun M, Wang B, Liu H (2008) Comparison of the cycles and morphology of *Cyanea nozakii* and other scyphozoans. *Plankton Benthos Res* 3: 118–124.
- Fancett MS (1988) Diet and prey selectivity of scyphomedusae from Port Phillip Bay, Australia. *Mar Biol* 98: 503–509.
- Goette A (1893) Vergleichende Entwicklungsgeschichte von *Pelagia noctiluca* Pér. *Zeitschrift fuer wissenschaftliche Zoologie* 55: 645–695 (in German).
- Graham WM, Kroutil RM (2001) Size-based prey selectivity and dietary shifts in the jellyfish, *Aurelia aurita*. *J Plankton Res* 23: 67–74.
- Graham WM, D.L. Martin, D.L. Felder, V.L. Asper and H.M. Perry (2003) Ecological and economic implications of a tropical jellyfish invader in the Gulf of Mexico. *Biological Invasions* 5: 53–69.
- Han CH, Kawahara M, Uye S (2009) Seasonal variations in the trophic relationship between the scyphomedusa *Aurelia aurita* s.l. and mesozooplankton in a eutrophic brackish-water lake, Japan. *Plankton Benthos Res* 4: 14–22.
- Han CH, Uye S (2010) Combined effect of food supply and temperature on asexual reproduction and somatic growth of polyps of the common jellyfish *Aurelia aurita* s.l. (in press).
- Hansson LJ, Moeslund O, Kiorboe T, Riisgård HU (2005) Clearance rates of jellyfish and their potential predation impact on zooplankton and fish larvae in neritic ecosystem (Limfjorden Denmark). *Mar Ecol Prog Ser* 304: 117–131.
- Hernroth L, Gröndahl F (1985) On the biology of *Aurelia aurita* (L.): 3. Predation by *Coryphella verrucosa* (Gastropoda, Opisthobranchia), a major factor regulating the development of *Aurelia* populations in the Gullmar fjord, western Sweden. *Ophelia* 24: 37–45.
- Johnson D. R., H. M. perry and W. M. Graham (2005) Using nowcast model currents to explore transport of non-indigenous jellyfish into the Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 305: 139–146

- Kawahara M, Uye S, Ohtsu K, Iizumi H (2006b) Unusual population explosion of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) in East Asian waters. *Mar Ecol Prog Ser* 307: 161–173.
- Keen S, Gong A (1989) Genotype and feeding frequency affect clone formation in a marine cnidarian (*Aurelia aurita* Lamark 1816). *Funct Ecol* 3: 735–745.
- Kim HJ, Lee CE, Rho BJ (1999) Zoological taxonomy. *Jip-Hyun Press* 502 pp (in Korean).
- Kremer P, Costello J, Kremer J (1990) Significance of photosynthetic endosymbionts to the carbon budget of the scyphomedusa *Linuche unguiculata*. *Limnol Oceanogr* 35: 609–624.
- Larson RJ (1991) Diet, prey selection and daily ration of *Stomolophus meleagris*, a filter-feeding scyphomedusa from the NE Gulf of Mexico. *Est Coast Shelf Sci* 32: 511–525.
- Lee HE (2010) Reproduction and feeding behavior of giant *Nemopilema nomurai* jellyfish, Kishinouye (Scyphozoa: Rhizostomeae). Pukyong Univ..
- Lynam C P, Heath M R, Hay S J, and Brierley A S (2005) Evidence for impacts by jellyfish on North Sea herring recruitment. *Marine Ecology Progress Series*, 298: 157–167.
- Mills CE (1995) Medusae, siphonophores, and ctenophores as planktivorous predators in changing global ecosystem. *ICES J Mar Sci* 52: 575–581.
- Mills CE (2001) Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean condition? *Hydrobiologia* 451: 55–68.
- Möller H (1980) Population Dynamics of *Aurelia aurita* Medusae in Kiel Bight Germany (FRG). *Mar Biol* 60: 123–128.
- Purcell JE (1992) Effects of predation by the scyphomedusan *Chrysaora quinquecirrha* on zooplankton populations in Chesapeake Bay, USA. *Mar Ecol Prog Ser* 87: 65–76.
- Purcell JE (1997) Pelagic cnidarians and ctenophores as predators; selective predation, feeding rates and effects on prey populations.

- Ann Inst Oceanogr Paris* 73: 125–137.
- Purcell JE (2005) Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms. *J Mar Biol Ass UK* 85: 461–476.
- Purcell JE (2007) Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan, *Aurelia labiata*. *Mar Ecol Prog Ser* 348: 183–196.
- Purcell JE, Mills CE (1988) The correlation of nematocyst types to diets in pelagic Hydrozoa. In Hessinger, D.A. & H.M. Lenhoff (eds.), *The Biology of Nematocysts. Academic Press, San Diego*: 463–485.
- Purcell JE, Arai MN (2001) Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. *Hydrobiologia* 451: 27–44.
- Purcell JE, Uye SI, Lo WT (2007) Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Mar Ecol Prog Ser* 350: 153–174.
- Rottini–Sandrini L, Avian M (1983) Biological cycle of *Pelagia noctiluca*: morphological aspects of the development from planula to ephyra. *Mar Biol* 74: 169–174.
- Schneider G (1988) Larvae production of the common jellyfish *Aurelia aurita* in the western Baltic 1982–1984. *Kieler Meeresforsch* 6: 295–300.
- Shimomura T. (1959) On the unprecedented flourishing of 'Eshizen–Kurage', *Stomolophus nomurai* (Kishinouye), in the Tsushima Warm Current regions in autumn, 1958. *Bulletin of the Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory* 7: 85–107.
- Silverstone M, Tosteson T, Cutress C (1977) The effect of iodine and various iodocompounds on initiation of strobilation in *Aurelia*. *Gen Comp Endocr* 32: 108–113.
- Spangenberg DB (1964a) A study of strobilation in *Aurelia aurita* under controlled conditions. *J Exp Zool* 160: 1–10.
- Spangenberg DB (1964b) New observations on *Aurelia*. *Trans Am Microsc Soc* 83: 448–455.
- Spangenberg DB (1968) Recent studies of strobilation in jellyfish. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 6: 231–247.
- Sugiura Y (1964) On the life–history of rhizostome medusae II.

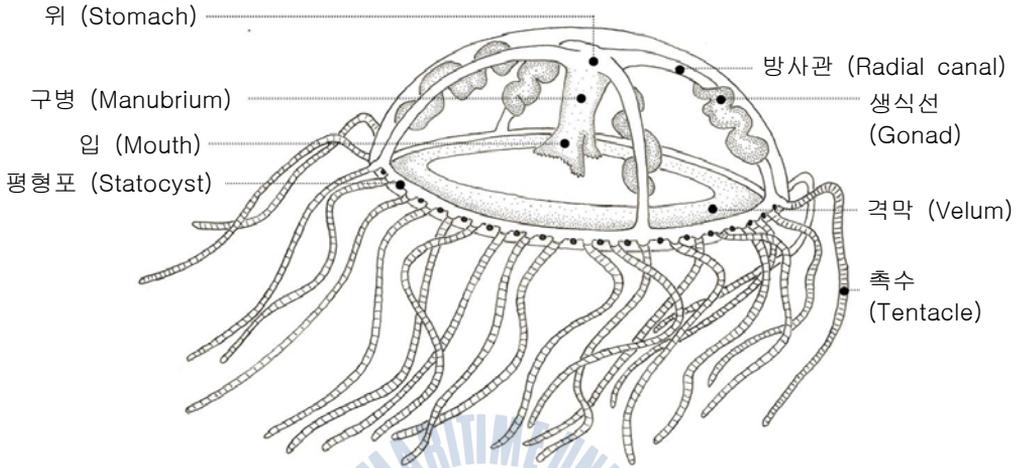
- Indispensability of Zooxanthellae for strobilation in *Mastigias papua*. *Embryologia* 8: 223–233.
- Sullivan BK, Garcia JR, Klein–MacPhee G (1994) Prey selection by the scyphomedusan predator *Aurelia aurita*. *Mar Biol* 121: 335–341.
- Uye S (2008) Blooms of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai*: a threat to the fisheries sustainability of the East Asian Marginal Seas. *Plankton Benthos Res* 3: 125–131.
- Uye S, Shimauchi H (2005) Population biomass, feeding, respiration and growth rates, and carbon budget of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the Inland Sea of Japan. *J Plankton Res* 27: 237–248.
- Widersten B (1965) Genital organs and fertilization in some scyphozoa. *Zoologiska Bidrag fran Uppsala* 37: 45–58.
- Willcox S, Moltshaniwskyj NA, Crawford C (2007) Asexual reproduction in scyphistomae of *Aurelia* sp.: Effects of temperature and salinity in an experimental study. *J Exp Mar Biol Ecol* 353: 107–114.
- Xian W, Kang B, Liu R (2005) Jellyfish blooms in the Yangtze estuary. *Science* 307: 41.
- Yasuda T. (1988) Unusually gregarious occurrence of jellyfishes in Japanese waters. *Saishu to Shiiku* 50: 338–346.

부록 1. 해파리의 생활사

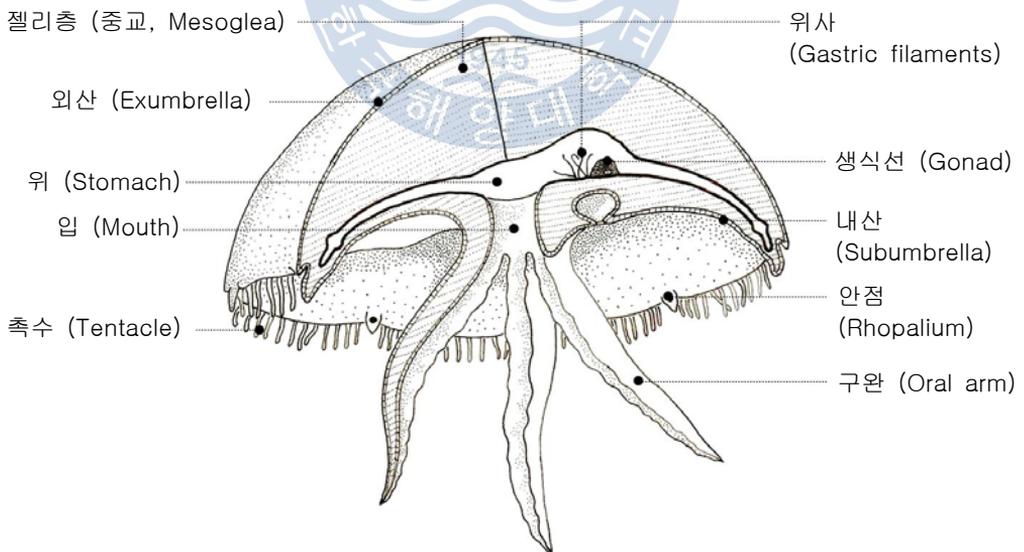


그림출처 : Living Black Sea

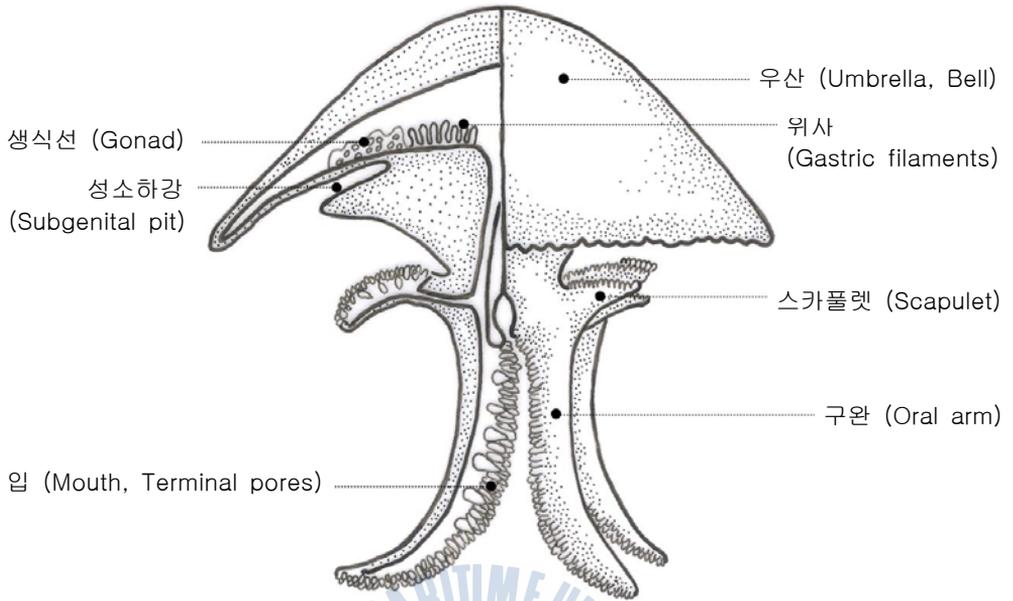
## 부록 2. 해파리의 각부명칭(Lee, 2010)



### <히드라충강해파리>

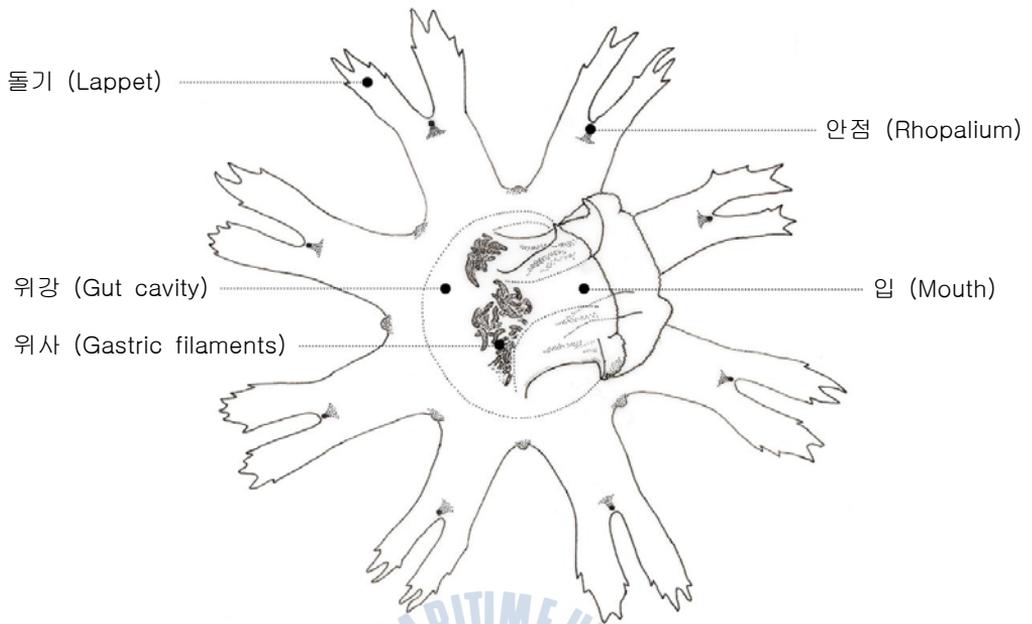


### <해파리강해파리>

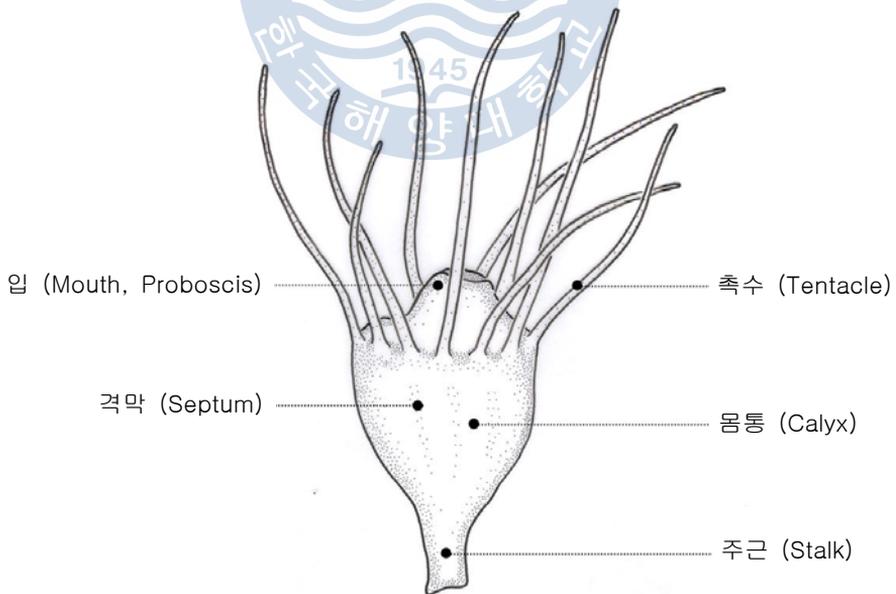


<근구목해파리>





<에피라>



<폴립>

### 부록 3. 한국연안에 출현하는 주요 해파리

#### 보름달물해파리 (*Aurelia aurita*)

우산은 접시모양으로 편평한 모양이고, 10~20 cm 정도로 반투명한 흰색을 띄고 있다. 우산의 중앙에는 생식소가 4개의 고리모양을 이루고 있다. 4가닥의 구완이 우산 안쪽 중앙에 붙어있으며, 촉수는 가는 실 모양으로 우산의 가장자리를 따라 부착되어 있다. 독성은 없고, 전세계적으로 흔하게 분포하



는 종이며, 종종 대량으로 발생하여 조업이나 발전소 냉각수 취수 시 피해를 일으킨다. 우리나라에서도 1990년대 후반부터 흔하게 발견되는 종으로 동서남해 모든 해역에서 늦봄부터 가을까지 출현한다.

#### 노무라입깃해파리 (*Nemopilema nomurai*)

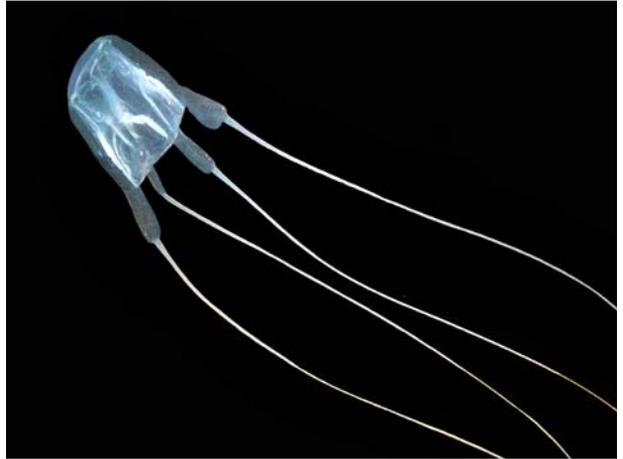
우산은 반구형이며, 연한 핑크색이나 갈색을 띄고 있다. 8개의 구완을 가지고 있으며, 구완의 가장자리에는 채찍모양의 검붉은 촉수가 부착되어 있다. 최근 10여 년간 우리나라 동서남해 전 해역에서 대규모로 출몰하여 어업에 많은 피해를 입히는 대표적인 종이다. 독성해파리로 여름철 해수욕객과 어민들의 접촉 피해 보고가 빈번하며, 우리나라 부



근에서 발견되는 해파리 중 크기가 가장 커서 우산크기 1 m 이상의 개체가 흔하게 발견된다. 5월말에서 6월초에 어린 개체들이 나타나기 시작하여 초겨울까지 출현하며, 중국에서는 식용해파리로 가공되나 우리나라에서는 이용되지 않는다.

## 라스톤입방해파리 (*Carybdea rastonii*)

우산 직경이 3 cm 내외인 소형 종으로 가늘고 긴 4개의 촉수를 가지며 몸체는 투명하다. 구멍과 입은 우산의 안쪽에 위치하고 있으며, 우산의 가장자리에는 격막이 있다. 우산이 상자(box)모양으로 생겨 'box jelly'라고도 불리며, 자포의 독성이 강하다. 호주에서는 흔한 종이며, 독성피해 보고가 많다. 우산 크기는 작지만 유영속도가 상당히 빠르며, 치어나 갑각류 유생 등을 포식한다. 수온이 높은 여름철 남해안에서 주로 발견되지만, 동해의 동해항과 고성에서의 출현보고도 있다. 작고 투명하여 육안으로 쉽게 식별하기 어려워 여름철 피서객에게 접촉피해를 주는 일이 종종 있다.



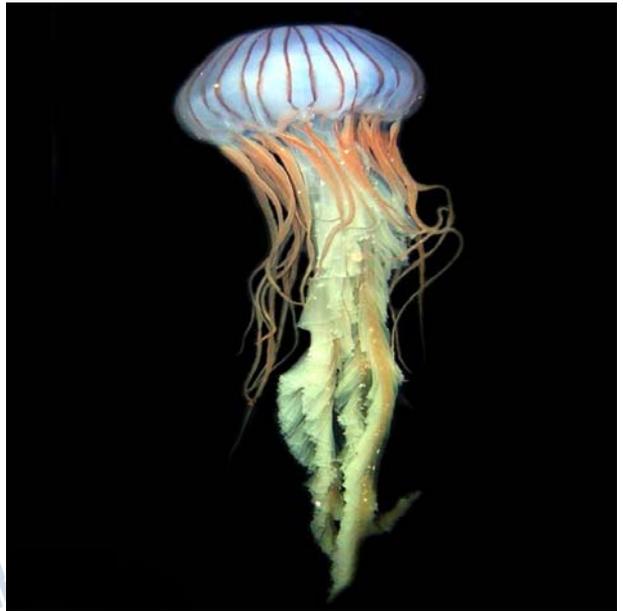
## 작은부레관해파리 (*Physalia physalis utriculus*)

부유성의 관해파리로, 삼각형 모양의 5~10 cm 크기의 녹청색을 띠는 기포체가 있으며 그 아래쪽에는 여러 개의 개충이 모여 있다. 각각의 개충은 생식, 먹이포획, 영양분 섭취의 역할을 나누어 수행한다. 이 개충들과 함께 부유기 아래쪽에는 촉수가 달려있는데, 이 촉수는 평소에는 20여 cm에 지나지 않지만, 적을 공격하거나 먹이를 잡을 때에는 십여 m 이상 길어지기도 한다. 해수표면에 떠서 생활하며, 독성이 매우 강해 여름철 해수욕객들에게 자주 피해를 주는 종이다. 주로 열대 및 아열대 해역에서 흔하게 발견되는 종으로, 우리나라의 남해나 제주에서 주로 발견된다.



### 커튼원양해파리 (*Dactylometra quinquecirrha*)

우산 직경이 약 20 cm 정도이며, 32개의 짙은 갈색의 줄이 방사상 모양으로 우산의 바깥쪽 표면에 있다. 우산의 가장자리에는 채찍모양의 촉수가 붙어 있으며, 구완은 프릴(frill)모양으로 길게 늘어져 있다. 독성종이며, 주로 어류치어 및 다른 해파리류를 포식한다. 늦은 봄에서부터 여름 사이에 우리나라 동서남해 모든 해역에서 발견된다.



### 무희나선꼬리해파리 (*Spirocodon saltatrix*)

우산은 원통형이며, 높이는 약 6~7 cm 정도이다. 우산의 색깔은 반투명하며, 구멍은 우산 가장자리까지 내려와 있다. 우산의 가장자리에는 여덟 개의 반원형의 연판 틈이 바깥쪽으로 위를 향해 삼각형 모양을 만들고 있는데, 연판 틈에서 300개가 넘는 촉수가 나와 있다. 생식선은 4가닥이며, 각각의 가닥이 나선형으로 꼬인 형태를 하고 있다. 겨울에서 봄 사이의 수온이 낮은 계절에 출현하며, 남해나 동해 등지에서 주로 발견된다.



### 유령해파리 (*Cyanea nozakii*)

우산 직경이 약 50 cm 정도이며, 우유빛깔을 띄고 있다. 위쪽에서 본 우산의 모습은 별모양을 하고 있으며, 우산 안쪽에는 근육이 잘 발달 되어있다. 촉수 또한 우윳빛깔이며, 어류의 알, 동물플랑크톤, 소형어류 등을 포식한다. 우리나라 제주 연안과 남해 및 동해 남부의 비교적 따뜻한 곳에 분포하며 6월에서 8월 사이에 주로 발견된다. 동중국해 주변해역에서 대량발생에 관한 보고가 있지만, 아직 우리나라에서는 대량발생으로 인한 피해는 없다.



## 감사의 글

2009년 석사과정을 시작하고 지금까지 많은 어려움 가운데 이 논문을 완성 할 수 있게 되었습니다. 논문이 완성되기까지 많은 분들의 도움 없이는 불가능할 것 같았던 시간들의 연속이었습니다. 하지만 그 모든 시간들이 앞으로 다가올 또 다른 사회생활에서 당면할 많은 난관들을 슬기롭게 극복할 수 있게 하는 예방주사였음을 믿습니다.

논문을 완성하기까지 부족한 저를 애정으로 인도해주신 서영완 지도교수님께 먼저 큰 감사의 말을 올립니다. 그리고 2년 동안 물심양면으로 가르쳐주신 임선영 교수님께도 감사의 말을 드립니다. 또한 수산과학원에서 처음으로 접하게 된 해파리 연구를 하는 동안 따뜻한 관심으로 지도해주신 윤원득 박사님께 깊이 감사드립니다. 논문 실험을 이끌어 주신 한창훈 박사님께도 감사의 말을 드리며, 석사 1년차였던 저에게 대학원생으로서의 기본을 가르쳐주신 안중웅 교수님께도 감사의 말을 올립니다.

논문을 쓰는데 있어서 조언과 격려를 아끼지 않았던 정미희 박사님과 이혜은 박사님께도 감사드리며, 그리고 장수정 박사님과 같은 방에서 관심을 가져 주었던 해파리 대책반 식구들에게도 그 뜻을 전합니다.

학교에 갈 때마다 늘 관심을 가져주던 이정임양과 같이 공부하며 서로 격려가 되었던 이진혁군, 김화선양, 김해진양에게도 감사의 말을 전합니다. 또한 실험실을 방문할 때마다 웃으며 반겨주었던 한국해양대학교 생유기신소재 연구실 학우 여러분에게도 감사의 말을 전합니다.

석사과정 중에서 가장 큰 고비였던 시기에 격려와 관심을 아끼지 않으셨던 강영실 박사님과 강양순 박사님께도 감사의 말을 드립니다. 그리고 따뜻한 관심을 주신 서영상 과장님 이하 수산해양종합정보과 여러 박사님들께도 감사의 말을 드립니다. 함께 일하면서 격려를 해주었던 동료들과 특히 많은 도움을 주었던 곽원주양에게도 감사의 말을 전합니다. 그 외에 미처 언급하지는 못하였지만 격려해주신 모든 분들께 감사의 말을 전합니다.

끝으로 묵묵히 저를 지켜봐주시고 응원해 주신 사랑하는 부모님과 형에게 이 논문이 기쁨의 선물이 되기를 바라며, 앞으로 더욱 성실한 연구를 하기 위해서 노력하리라는 다짐으로 못 다한 감사의 말을 대신합니다.