

碩士學位論文

구멍연잎성게, *Astriclypeus manni*
(VERRIL 1867)의 생태학적 특성과 성장



濟州大學校 大學院

水産生物學科
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

康 徒 衡

1999年 12月

구멍연잎성게, *Astriclypeus manni*
(VERRIL 1867)의 생태학적 특성과 성장

指導教授 崔 光 植

康 徒 衡

이 論文을 理學碩師學位 論文으로 提出함



1999年 12月
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

康 徒 衡의 理學碩士學位 論文을 認準함

審査委員長 정 상 철 印

委 員 최 광 식 印

委 員 이 영 돈 印

濟州大學校 大學院

1999年 12月

Ecological Characteristics and Growth of the Sand
Dollar, *Astriclypeus manni* (VERRIL 1867).

KANG, Do-Hyung

(Supervised by professor CHOI, Kwang-Sik)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

DEC. 1999

목 차

List of Figure

List of Tables

Summary.....	1
I. 서 론.....	3
II. 재료 및 방법	
1. 구멍연잎성게, <i>A. manni</i> 의 생태학적 특성.....	6
2. 생식세포의 조직학적 관찰.....	9
3. 성장량 측정.....	10
4. 산란기 난의 생화학적 조성.....	11
III. 결과	
1. 구멍연잎성게, <i>A. manni</i> 의 생태학적 특성.....	17
2. 생식세포의 형성 과정.....	25
3. 성장량 측정.....	38
4. 성숙난의 조성.....	44
IV. 고 찰.....	50
V. 요 약.....	54
VI. 참고문헌.....	56
Appendix I	
Appendix II	
감사의 글	

List of Figure

	Page
1. Location of the study area.....	13
2. Illustration of sand dollar tagging technique.....	15
3. Diagrams of recapturing and tracing procedure of tagged individuals for annual growth of sand dollar.....	16
4. Size frequency distribution of the sand dollar, <i>A. manni</i> at Hamdock. (N=182).....	18
5. Seasonal changes in bottom water temperature and salinity at the study area.....	19
6. Morphology and habitat of the sand dollar at the study area.....	21
7. Composition of sediment collected from the study area. The numbers in the illustration represent sampling locations in Fig. 1.....	24
8. Photomicrograph of sediments contained on the gut of <i>A. manni</i>	26
9. Diagram of the habitate density on sand dollar, <i>A. manni</i> . The regular types of spatial distribution.....	28
10. Relationship between locomotion speed (cm/hr) and size in terms of test diameter.....	31
11. Frequency distribution of reproductive stage of male and female sand dollar, <i>A. manni</i>	33

Figures continued

	Page
12. Photomicrographes of testis.....	34
13. Photomicrographes of ovaries.....	36
14. Monthly recapture rate of the tagged sand dollar.....	39
15. Relationship between test diameter and monthly areal growth. (N=57).....	41
16. Correlations between test diameter and areal growth by recaptured individuals.....	42
17. Diagrams of the constructional morphology of sand dollar, <i>A. manni</i> . (A: dorsal side, B: ventral side, C: cross sections through sand dollar tests).....	43
18. Purified egg of the sand dollar.....	45
19. Standard curve by plotting the net (blank corrected) absorbance. Protein standard reagent : Bovine Serum Albumin (BSA).....	46
20. Standard curve by plotting the net (blank corrected) absorbance. Carbohydrate standard reagent : soluble agar.....	47
21. Diagrams of comparison with three biochemical components by two species (<i>A. manni</i> , <i>A. crassispina</i>) eggs.....	48

List of Table

	Page
1. Developmental pattern of ovary and testis <i>Astriclypeus manni</i> in an annual cycle. Reproductive pattern is divided into six categories according to Byrne (1990).....	14
2. Results of sediment grain size analysis. DWT (%)=percent dry weight of sediment, Cum. DWT (%)=cumulative percent dry weight of sediment.....	23
3. Results of grain size analysis of sediment contained in the gut.....	27
4. χ^2 test (variance to mean ratio) for habitate density of sand dollar, <i>A. manni</i> . d: normal variable.....	29
5. Results of locomotion speed on sand dollar, <i>A. manni</i>	30
6. Protein, carbohydrate and lipid levels of eggs of <i>M. quiquiesperforata</i> , <i>A. manni</i> and <i>A. crassispinga</i>	49

Summary

The sand dollar, *Astriclypeus manni* is commonly encountered on a subtidal sand bottom along the coast of Cheju Island. Limited information have been reported on their biology despite their natural abundance. This study firstly reports ecology and an annual reproductive cycle of the sand dollars present at Hamdock, northern coast of Cheju Island.

1. *A. manni* collected from Hamdock revealed that they are 80 to 200 mm in test diameter. Sediment grain size analysis indicated that *A. manni* mostly occurs on medium (particle diameter of 500 μm) to very fine sand (particle diameter of 125 μm), particularly on fine sand (particle diameter of 250 μm). Internal morphology and *in situ* observations on their feeding habit indicated that *A. manni* is a deposit feeder.

2. Gonadal tissues of the male were yellow in color while female gonads appeared to be purple. Fully mature eggs, with a mean diameter of 381 μm , and sperm were observed from the histological slides of the sand dollars collected in late July to August, suggesting that *A. manni* spawn during July to August when water temperature reaches 20.5 to 24°C.

3. Observation of gut contents indicated that *A. manni* feed inorganic and organic detritus and living material. Inorganic particles included

원본누락



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

I. 서론

구멍연잎성게, *Astriclypeus manni*는 성게강 (Class Echinoidea), 연잎성게목 (Order Clypeasteroidea)에 속하는 부정형 성게로 수심 6-35 m 천해의 모래 속 또는 위에서 서식하고, 한국의 제주도와 일본의 Sagami Bay, Boso peninsular, Amami-Oshima Island, Ogasawara Island, 중국 남부와 캄보디아 등에 분포하는 것으로 알려져 있다 (Shin and Rho, 1996). 구멍연잎성게를 포함한 부정형 성게류는 쥐라기 시대부터 경성저질에서 생활하는 종과 연성저질에서 생활하는 종으로 분화되기 시작하여 현재에 이르고 있다. 대부분의 현생 부정형 성게류는 연성기질 내부에서 생활하는 움통성게류와 표면에서 생활하는 연잎성게류로 구분되어 있다 (Seilacher, 1979). 이 연구에 사용된 시료인 *A. manni*는 형태학적으로 납작한 원반 또는 방패 모양으로서, 오방사 대칭이며 입과 항문을 연결하는 선에 따라 앞과 뒤의 방향성이 있다. 몸통의 표면은 보통 5 mm 이내의 짧은 가시들로 덮혀 있고, 먹이섭취 혹은 은신을 위해 모래를 뒤덮거나 이동하는데 이용된다 (Barnes, 1987, Pomory, 1995). 배면에 있는 가시들은 저질의 작은 입자들을 선택적으로 골라내는 기능을 지니며, 선택된 입자는 5개의 투공 (lunule)을 거쳐 복면으로 모이게 된다. 복면의 가시들은 관족에 의해 선택된 먹이를 이동하는데 이용한다 (Telford et al., 1985). 이러한 과정을 통하여 먹이를 섭취하는 연잎성게류는 일반적으로 퇴적물식자로 알려져 있으며 퇴적물 내에 포함된 유기물을 섭취한다. 또한 연성 저질에서 생활하는 이들은 먹이를 섭취할 때 저질에 뚜렷한 이동의 흔적을 나타내며 이동하므로 퇴적물의 교란을 쉽게 알 수 있다 (Reidenauer, 1989). 연잎성게류는 먹이섭취를 위한 이동에 의해 퇴적물의 교란을 일으켜 퇴적물내의

유기물과 먹이생물들을 재부유시키는 기능을 지니고 있으므로 먹이의 섭취와 소화 과정을 통하여 연성 저질내의 유기물의 공간적 순환에 있어 중요한 역할을 한다 (Pomory et al., 1995; Telford et al., 1985; Vernon 1991).

우리 나라의 경우 성계에 관한 연구는 수산업적으로 중요한 보라성계 (*Anthocidaria crassispina*) 및 말뚝성계 (*Hemicentrotus pulcherrimus*)에 관한 다수의 연구 보고가 있다 (Yoo et al., 1982, Kang et al., 1993; Lee et al., 1998, Park and Son., 1998) 조간대에서 수 십m의 수심까지 분포하는 보라성계와 말뚝성계는 상업적으로 대단히 중요한 종으로 이 종들의 적정관리를 위한 증식의 방법으로 생식주기에 관한 연구뿐만 아니라 양적 변화의 파악을 위한 연구도 진행되고 있는 중이다. 이 들 두 종은 생식소의 양과 질에서 다른 성계류에 비해 우수할 뿐 아니라 생산량도 높다 (박 등, 1990). 제주도에 서식하는 성계에 관한 연구로는 보라성계의 연령과 성장 (홍과 정, 1998), 제주 연안의 해조상과 성계의 섭식효과 (이 등, 1998) 등이 있다. 그러나 보라성계나 말뚝성계류와 같은 정형 성계류와 달리 부정형 성계류인 구멍연잎성계는 제주도 연안 및 동남 아시아에 널리 분포하고 있음에도 불구하고 채집의 어려움과 낮은 수산업적 가치로 인하여 이들 개체군의 양적인 변화와 생태 및 생활사를 파악하기 위한 산란시기, 분포, 개체의 연령과 성장 등에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 구멍연잎성계의 번식과 생활사를 이해하기 위해서는 산란시기에 순수 분리된 알의 기초적인 생화학적 특성에 관한 연구가 요구된다. 알의 생화학적 특성을 이해하기 위해서는 발생기간 중 영양원과 에너지원으로 중요한 단백질, 탄수화물 및 지질 등의 조성을 분석하는 것이 중요하다 (Choi et al, 1993, George et al., 1997; Jacqueline and Lawrence, 1972; Lee and Hefferman, 1991). 번식에 대한 기초자료는 지역과 종에 따른 개체군의 성장과 분포에 이용된다 정형성계류의 성장에 관한 연구는 *Strongylocentrotus nudus*의 성장과 연령사정 형질 (Kawamura, 1966), 성

계의 연령사정 (Jensen, 1969), 보라성계의 산란과 성장 (Yoo et al, 1982), 보라성계 (*Anthocidaria crassispina*)의 연령과 성장 (홍과 정, 1998) 등이 있으나 부정형성계류의 성장에 관한 연구는 전무한 실정이다.

이 연구는 제주 함덕 연안에 분포하고있는 구멍연잎성계의 생태학적 특성에 관한 연구로 구멍연잎성계의 생태 및 번식에 대한 기초적인 생태 및 생활사를 이해하고 개체군의 크기에 따른 연령과 연중 성장에 대한 기초자료를 확보하는데 그 목적이 있다.



II. 재료 및 방법

1. 구멍연잎성게, *A. manni*의 생태학적 특성

조사지 개황 연구 지역은 제주도 북제주군 함덕 연안으로 조사지 주변은 여로 둘러 쌓여있는 지역이고 (Fig. 1), 수심은 대조 밀물 시 3~4 m, 썰물 시 2~3 m 로 비교적 얕은 지역이다. 이 지역에는 구멍연잎성게가 집단으로 서식하고 있으며, 서식지에는 해양 현화식물인 잘피, *Zostera marina* 군락이 발달되어있다 이 지역의 연중 수온은 12~25℃, 염분은 30~34‰의 범위를 갖는다.

시료 채취 및 현장 관측 구멍연잎성게의 섭식 활동은 SCUBA를 이용하여 관찰하였으며, Nikon F-90 카메라를 NX 90 underwater camera housing에 장착하여 현장에서 수중 촬영하였다. 생식소 분석을 위한 시료는 만조시 SCUBA를 이용하여 월 별로 채집하였으며, 현장에서 채집 후, 실험실로 옮겨 버니어캘리퍼스를 이용, 입과 항문을 연결하는 선에 맞춰 각장을 0.1 mm 까지 측정하였다. 각장 측정이 끝난 개체는 생식소 분석을 위하여 전기톱을 이용하여 입 주위의 각을 원형으로 절개한 후, 생식소를 추출하였다. 추출된 생식소는 Bouin's solution에 고정한 후 흐르는 수돗물에 24시간 수세한 뒤, 70% 에탄올에 보관하였다

현장의 수온은 구멍연잎성게가 서식하는 수심 2~3 m의 수심에서 측정하였으며, 염분은 저층의 해수 시료를 실험실로 옮긴 뒤, 염분측정기 (YSI-85)로 측정하였다.

퇴적물 입도분석 구멍연잎성체가 집단으로 서식하고 있는 함덕 연안의 퇴적물 특성을 이해하기 위하여 SCUBA를 이용, 임의의 4개 지역 (Fig. 1) 퇴적물을 15 cm 깊이까지 채집하였다. 실험실로 옮겨진 퇴적물 시료는 3%의 H_2O_2 와 0.1 N HCl을 차례로 가하여 유기물과 탄산염을 제거한 후, 60°C 건조기에서 48 시간 건조하였다. 건조 퇴적물 시료는 63 μm 습식체를 이용, 63 μm 이상 및, 그 이하의 크기로 분리하였다. 63 μm 이상인 입자는 표준체를 이용, 진동체질을 통해 입자를 분리하였고, 분리한 입자들은 입도 별 중량백분율을 구하여 건중량비(%)와 누적건중량비(%)로 표시하였다 (Lim, 1993). 또한 Folk (1980)의 분류법에 기초하여 Fine sand, coarse sand, silt의 함량에 따른 퇴적상을 구분하였다.

장 내용물 관찰 장 내용물 관찰을 위한 시료는 SCUBA를 이용하여 함덕에서 99년 8월 23일 채집한 10개의 성체에서 수집하였다. 채집된 개체는 각장, 각고를 측정하고 개각한 후, 생식소를 제외한 장 (Gut)을 메스와 가위를 사용하여 절개한 후 Phosphate-Buffered Saline (PBS)으로 내용물만을 충분히 씻으면서 장내 물질들만을 추출하였다. 추출된 시료는 10%의 중성포르말린용액이 있는 15ml 튜브에 옮기고, 24시간 후 10%의 중성포르말린은 70% 에탄올로 고정액을 바꾸어 보관하였다 (Lee et al., 1998). 생물체의 염색을 위해서는 3~5%의 rose bengal을 넣어 착색시켰다 (Walton, 1952). Rose bengal에 착색된 시료는 6시간 후 0.063mm 체를 이용하여 씻어냈다. 씻어낸 시료를 증발접시에 모은 후에 비누거품을 넣어 가볍게 저어주면 석영입자 보다 가벼운 생물들은 위로 뜨게 된다. 이때 이 비눗물을 0.063mm 체위에 부어서 걸러 주었다 (우 등, 1999). 0.063mm 체에 모아진 생물들은 체 위에서 흐르는 물로 비눗물을 씻어냈다. 수집된 생물들과 나머지 장내 퇴적물은 현미경을 사용하여 관찰하고 사진촬영을 하였다. 장내 퇴적물의 입도조성은 컴퓨터 화상처리 프로그램

을 이용하여 각 입자들의 단축과 장축의 길이를 측정하였다.

서식밀도 및 이동거리 측정 구멍연잎성계의 서식밀도는 99년 6월, 1 m²의 방형구와 줄자를 사용하여 함덕 내 서로 다른 세 지역에서 임의적으로 SCUBA를 이용하여 실시하였다. 줄자를 30m의 길이로 저질 위에 위치시켜 3지역의 transect을 만들고 1m²의 방형구를 사용하여 한 지역 당 30군데에서 서식하고 있는 구멍연잎성계를 각각 계수하였다. 구멍연잎성계의 공간분포 패턴은 각 방형구 당 계수된 서식밀도, 표준편차와 평균의 대소를 비교하여 구하였으며, χ^2 test를 이용하여 개체군 분포의 가설을 검정하였다.

구멍연잎성계의 이동거리 측정은 SCUBA를 이용하여 현장의 서식지에서 직접 실시하였다. 99년 5월과 8월, 2회에 걸쳐 총 90개체를 대상으로 실시하였다. 번호를 매긴 지름 1cm, 길이 20cm 정도의 나무 막대를 사용하여 움직이고 있는 개체의 각 후미에서 약 0.5cm 정도 떨어진 지점의 저질에 막대를 꽂았다. 이 때 줄자를 약 50m 정도 늘어뜨려 처음과 마지막의 개체를 구별하게 하였다. 1시간 후에 또 다른 줄자를 이용하여 각 개체들의 이동거리를 측정하였다. 수중에서 이동거리 측정 후 개체들의 각장은 나무 막대에 적힌 번호별로 vernier caliper를 사용하여 입과 항문의 연결선에 맞춰 측정하였다 (Reidenauer, 1989).

2. 생식세포의 조직학적 관찰

생식소 관찰을 위한 구멍연잎성계 시료는 SCUBA에 의하여, 1998년 3월부터 1999년 3월 까지, 매 월 10~15 개체를 채집하였다. 생식소 관찰을 위한 조직 슬라이드는 Powell et al. (1993)의 방법에 따라 알콜을 이용하여 탈수한 뒤 파라핀에 포매하였다. 포매된 조직 시료는 마이크로톰을 사용하여 6 μm 두께로 절단하여 절편을 제작한 후, Harris' Hematoxylin과 Eosin Y (Howard and Smith, 1983; Powell et al., 1993)로 염색하였다. 생식세포의 조직 시료는 광학 현미경을 이용하여 관찰하였으며 난의 크기는 컴퓨터 화상분석 software인 Image Pro[®] 를 이용하여 측정하였다 (Bayne et al., 1985, Die et al, 1995; Wootton et al., 1995)

구멍연잎성계의 생식소 발달단계는 회복기 (recovery stage), 성장기 (growing stage), 성숙전기 (premature stage), 성숙기 (mature stage), 방출기 (partly spawned stage), 휴지기 (resting stage) 등, 6 단계로 구분하였으며 (Byrne, 1990), 그 기준은 Table 1과 같다.

3. 성장량 측정

함덕 포구내에서 *A. manni*의 성장량의 측정은 SCUBA로 98년 4월부터 150 개체에 대해서 표지방류를 실시하였다. 표지방류는 플라스틱 표지와 결속선을 이용해서 *A. manni*의 5개의 투공 (lunule)중 하나를 선택하고 개체의 움직임에 지장이 없도록 느슨하게 연결하여 방류하였다 (Fig. 2). 방류된 *A. manni*는 월별로 재포획하고 수중에서 플라스틱 종이에 4B연필을 사용하여 각 (test)의 윤곽과 개체번호 (sd00)를 표시한 후 재포획된 개체들의 기록지를 월 별, 번호 별로 구분하였다 (Fig. 3). 구분한 성장 자료는 컴퓨터에 그림으로 인식시킨 후 화상처리 프로그램을 이용하여 월 별 윤곽의 구분을 한 후 각각의 면적과 각장 (Test diameter)의 장축과 단축의 값을 구하여 월 별 성장을 측정하였다 (Appendix II. 1).



4. 산란기 난의 생화학적 조성

난의 정제 성숙기의 구멍연잎성개, *A. manni*의 성체는 SCUBA를 이용하여 산란기인 8월말에 채집하였고 (Yoo et al., 1982, Kang et al., 1993, 강 등, 1999), 저층의 현장해수를 채집하였다. 채집된 성체는 실험실로 옮겨 암·수를 현미경 하에서 확인하였다. 암·수를 1 ℓ의 비이커에 나눠 생식공 (gonopore)이 아래로 향하게 위치시킨 후 0.55 M KCl 2ml를 성체의 체강 (body cavity)으로 주입하였다. 이때 알과 정자는 여과해수가 담긴 비이커를 사용하여 분리 수집하였다. 성체 내 여분의 알과 정자는 각을 절개한 후 난소의 젤리층을 부수고 여과해수로 씻으면서 수집하였다. 알은 250 μ m의 망목을 통과시켜 젤리층과 같은 불순물을 제거하였다. 수집된 알은 불순물을 제거하기 위해 여과해수로 7번의 세정과 침전을 통하여 순수 분리하였다. 순수 분리된 알은 현미경을 이용하여 관찰 뒤 사진 촬영을 하였고 (Burke, 1983, Choi et al., 1993; Pearce and Scheibling, 1994; Eckert, 1995, Chiba et al., 1999) 정제된 알은 -70 $^{\circ}$ C에서 냉동시키고 동결건조기를 이용하여 건조하였다.

단백질 정량 구멍연잎성개의 알 내에 포함된 수용성 단백질의 정량에는 BCA protein assay reagent를 이용하였다. 동결건조된 알을 일정량의 PBS와 혼합하고 (4.23 mg/ml) 초음파 파쇄기로 균질화시켰다. 균질화된 알-PBS 혼합액을 원심분리 (7000 R.P.M., 30 min.)하여 상등액을 취하고, 2 mg/ml, 1 mg/ml, 0.5 mg/ml로 각각 희석하여 3회 반복 실험하였다. 희석된 시료 및 표준 단백질 0.1 ml와 시약 2.0 ml를 37 $^{\circ}$ C에서 30분 반응시키고, 흡광분석기 (562 nm)로 흡광도를 측정하였다. 표준 단백질로 Bovine Serum Albumin (BSA; 2.0 mg/ml)을 사용하였고, 100~1000 mg/ml로 희석하여, 시료와 동일한 방법으로, 시약과 반응시키고 각각의 흡광도를 측정한 후, standard curve를 구하

였다 Standard curve를 이용하여 시료의 수용성 단백질의 함량을 추정하고, 시료의 전체무게에 대한 퍼센트 값으로 환산하였다 (Choi et al, 1993; Lee and Hefferman 1991)

탄수화물 정량 총 탄수화물 함량은 페놀-황산 정량법 (Dubois et al, 1956)을 이용하였다. 동결건조된 각각의 알들을 일정량의 증류수와 혼합하고 (4.23 mg/ml), 초음파 파쇄기로 균질화시켰다. 균질화된 알-증류수 혼합액을 원심 분리 (7000 R.P.M., 30 min)하여 상등액을 취하고, 2 mg/ml, 1 mg/ml, 0.5 mg/ml로 각각 희석하여 3회 반복 실험하였다 희석된 시료 1 ml에 10% 페놀 1 ml를 반응시키고 다시, 황산 5ml와 상온에서 10분간 반응시킨 후, 흡광분석기 (485 nm)로 흡광도를 측정하였다. 표준 탄수화물로 10% soluble agar를 사용하였고, 50~500 mg/ml로 희석하여, 시료와 동일한 방법으로, 10% 페놀과 황산에 반응시키고 각각의 흡광도를 측정한 후, standard curve를 구하였다. Standard curve를 이용하여 시료의 탄수화물 함량을 추정하고, 시료의 전체무게에 대한 퍼센트 값으로 환산하였다

총 지질 정량 지질은 크로로폼-메탄올 정량법 (Bligh and Dyer, 1959)을 사용하여 정량하였다. 정제된 알 (249 mg)을 15 ml의 크로로폼-메탄올 유기용매 (chloroform /methanol / water - 1 : 2 : 0.8, Bligh and Dyer, 1959)와 혼합한 뒤, 초음파 파쇄기로 균질화하였다. 유기용매와 혼합된 시료에 크로로폼 4 ml를 넣고 반응시킨 후, 증류수 4 ml를 넣고 균질화하였다. 공극의 크기가 1.2 μ m인 유리섬유필터지 (GF/C, Whatman)로 여과하여 불순물을 제거하고, 메탄올-증류수 층과 크로로폼-지질 층으로 분리될 때까지 상온에 보관하였다. 이 중 크로로폼-지질 층을 취하여 실온에서 건조시킨 뒤, 전자 저울을 이용하여 구멍연잎성계 알의 지질 함량을 측정하고 시료의 전체무게에 대한 퍼센트 값으로 환산하였다

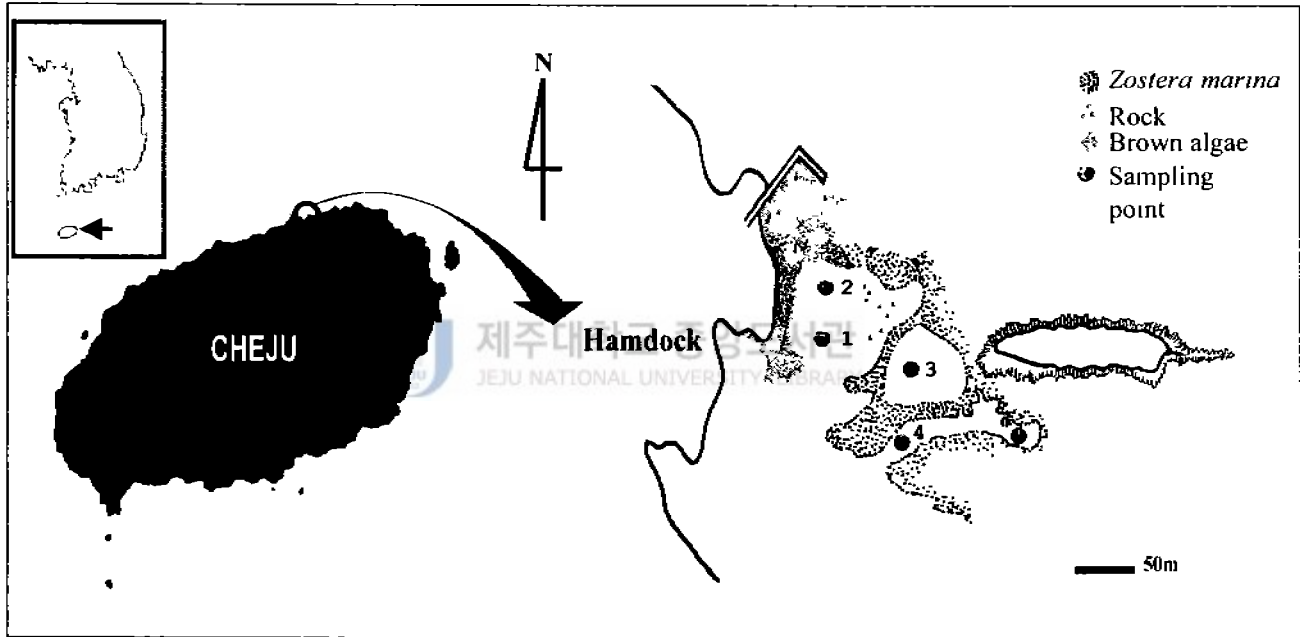


Fig 1 Location of the study area

Table 1. Developmental pattern of ovary and testis *Astriclypeus manni* in an annual cycle Reproductive pattern is divided into six categories according to Byrne (1990).

Stage	Female	Male
Recovery stage	Ovaries contain primary oocytes (PO) and clusters of early oocytes along the ascinal wall and extensions of nutritive phagocyte (NP) project into lumen	Testis the ascinal wall is lined with a thin nutritive phagocytes of primary spermatocytes
Growing stage	Growing ovary with early vitellogenic oocytes (EV) and nutritive phagocytes The primary oocytes increase in size	The basophilic layer increase in depth as columns of spermatocytes project centrally
Premature stage	Vitellogenesis continues and premature oocytes at all stages of development are present in the ovary Nutritive phagocytes surround vitellogenic oocytes (VO)	Premature testes contain columns of spermatocytes along the ascinal wall and spermatozoa accumulated in the lumen and nutritive phagocytes around periphery
Mature stage	Pre-spawning ovaries are filled with closely-packed ova and nutritive phagocytes are reduced.	Mature testes are packed with spermatozoa and the nutritive phagocytes are limited to the periphery.
Partly spawned stage	Partly spawned ova are loosely packed with spaces vacated by spawned ova Ova may also be present in the oviduct. Vitellogenesis is mostly finished and the nutritive phagocytes are reduced.	Partly spawned testes are similar to those of premature stage, except that there are spaces in the ascinal lumen and spermatozoa may be less concentrated.
Resting stage	Spent ovaries have thin ascinal walls and appear empty except for relict ova	Spent testes have thin ascinal walls and a pale meshwork of nutritive phagocytes around the periphery

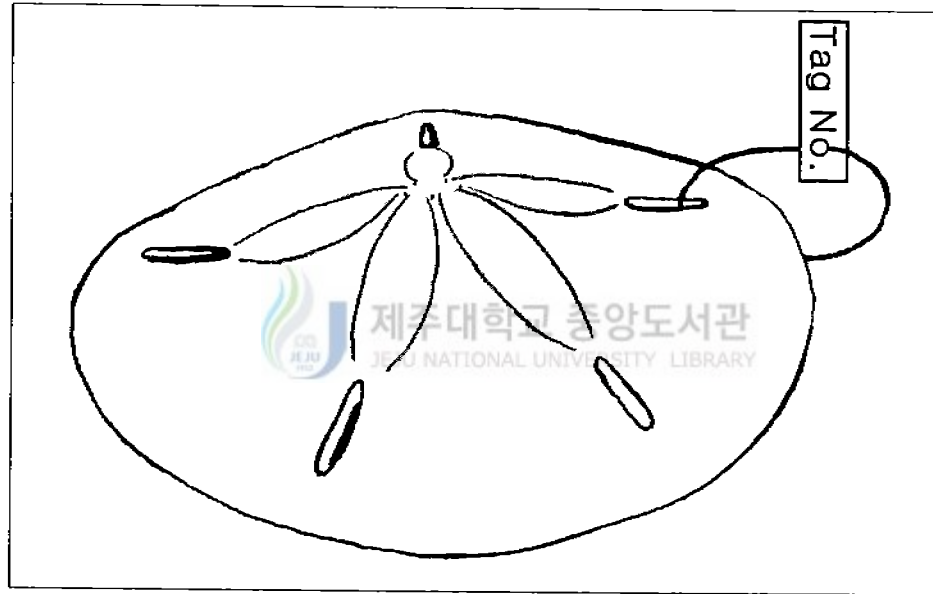


Fig. 2. Illustration of sand dollar tagging techniques.



Fig. 3. Diagrams of recapturing and tracing procedure of tagged individuals for annual growth of sand dollar.

III. 결 과

1. 구멍연잎성게, *A. manni*의 생태학적 특성

구멍연잎성게의 분포 및 크기 이 연구를 통하여 채집된 구멍연잎성게는 그 크기가 각장 80~200 mm 정도이다 (Fig. 4). 총 129 개체의 구멍연잎성게 각장을 분석한 결과, 주로 131~150 mm 사이의 개체들이 가장 많이 분포하고 있었으며, 조사 기간 중 채집된 개체 중 가장 작은 개체는 각장 81.6 mm 이었으며, 가장 큰 개체는 각장 199.3 mm 이었다. Shin and Rho (1996)는 성산포 연안에서 채집된 구멍연잎성게의 각장을 118.0~137.0 mm로 보고한 바 있는데, 이 연구에서 채집된 개체들의 크기분포는 더 다양하게 나타나고 있다.

이 연구의 조사지역에는 해양 현화식물인 갈피, *Z. marina* 군락이 발달되어있다 (Fig 1). 이 지역은 물리적으로 안정되어 유생의 착생이 잘 이루어질 것으로 추정되나 (Harris and Chester, 1996) 이 연구의 조사 기간 중 각장이 80 mm 이하인 작은 개체는 관찰되지 않았다. 현장관찰 결과, 구멍연잎성게는 파도와 먹이섭취 과정에 의하여 대부분 모래 속에 묻혀있어 SCUBA에 의한 육안적 관찰이 용이하지 않았다. 특히 이 연구에서는 SCUBA를 이용한 채집만이 수행되어, SCUBA에 의존하여 채집할 때 상대적으로 관찰이 용이한 대형 개체만이 채집되었을 가능성이 높았다.

***A. manni*의 외형적 특성 및 생태** 조사 기간 중의 수온과 염분은 12.0~25.1 °C, 30.2~33.9 ‰이었다 (Fig. 5). *A. manni*의 외형적 특징은 Fig. 6과 같다. 배면 (dorsal side)에는 뚜렷한 잎 모양의 화문 (petaloid, PT) 및 화문공 (pore series of petal, PPT)이 5 개 존재하며, 각의 중앙에

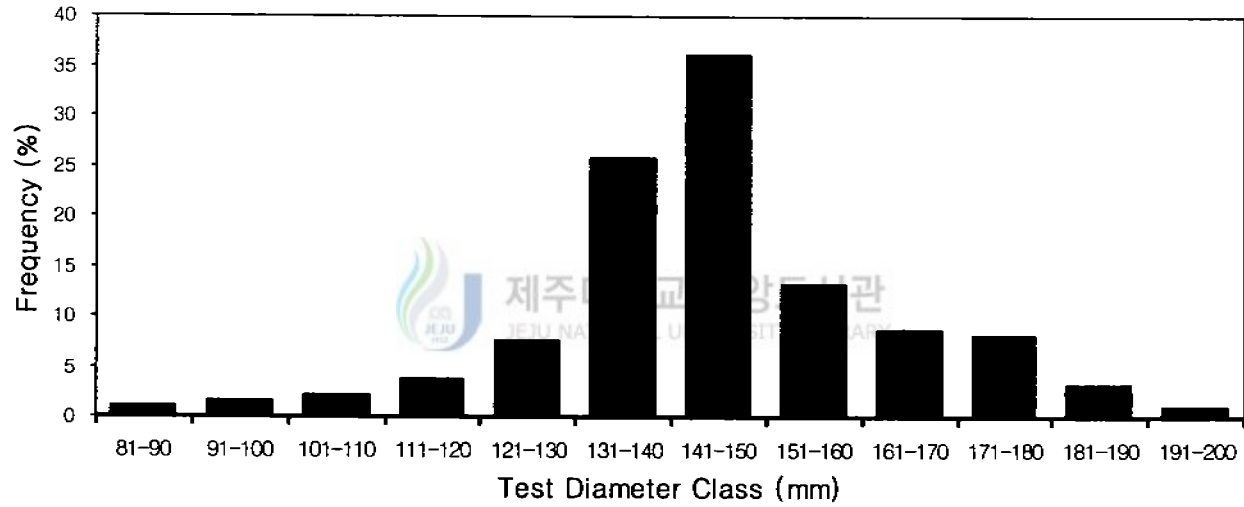


Fig. 4 Size frequency distribution of the sand dollar, *A. manni* in Hamdock. (N=182)

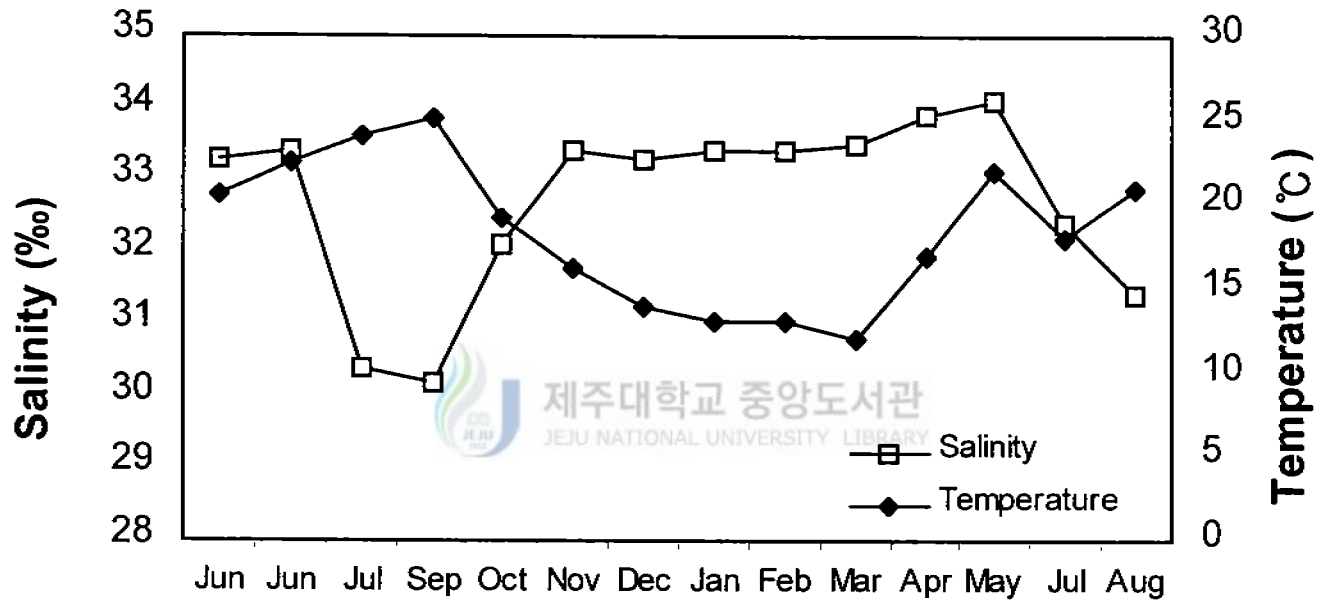


Fig. 5. Seasonal changes in bottom water temperature and salinity at the study area.

는 천공판 (madreporite, MP)과 생식공 (gonopore, GP)이 위치하고 있다. 또한 각 화문과 각의 주변에는 5개의 긴 투공 (lunule, LU)이 존재하고, 측면에는 잘 발달된 5개의 보대구 (ambulacral groove, AG)가 존재한다. 복면 (ventral side) 중앙에는 입 (mouth, MU)이 위치하고 그 뒤에 항문 (anus, AN)이 존재한다. Fig 6의 C와 D는 구멍연잎성계의 내부 형태로, *A. manni*의 구기 (Aristotle's lantern)를 보여주고 있다. 구멍연잎성계의 경우 다른 sand dollar류와 같이 퇴적물을 먹이로 삼는 것이 현장에서 확인되었다.

Fig 6의 E, G는 함덕 연안의 수심 3 m 에서 관찰한 구멍연잎성계의 배설물과 배설물 배출 광경이다. 한편, 구멍연잎성계의 위 내용물을 분석한 결과, 세립질의 퇴적물이 존재하는 것이 이 연구를 통하여 확인되었다.

퇴적물의 입도 구성 연구 조사 지역인 함덕 연안의 퇴적물 입도 분석 결과는 Table 2 및 Fig 7와 같다. 함덕 연안의 4개 조사정점 (Fig. 1) 에서 채집된 퇴적물 시료를 분석한 결과, 모든 조사정점의 퇴적물은 입자 크기가 125~250 μm (2~3 ϕ)인 세립질 내지 미립질의 모래 (fine sand~very fine sand)로 이루어져 있음을 알 수 있었다.

장내용물 구성 장내용물 관찰 결과 무기물과 유기물 등이 많이 포함되어 있었다. 그 중 무기물은 퇴적물 입자, 해면동물의 골편 그리고 유기물 파편 등이 있었다. 장내 퇴적물의 입도조성은 단축의 길이가 32.1~123.8 μm (mean=62.1), 장축의 길이가 45.3~186.9 μm (mean=93.2)의 분포를 보였다 (Table 3). 이 연구에서도 밝혀진 바와 같이 구멍연잎성계가 주로 서식하는 환경의 퇴적물 입자 크기가 125~250 μm (2~3 ϕ)인 저질로 이루어져 있음을 알 수 있었으나, 장내의 퇴적물은 이보다 작았다 (Fig. 8).

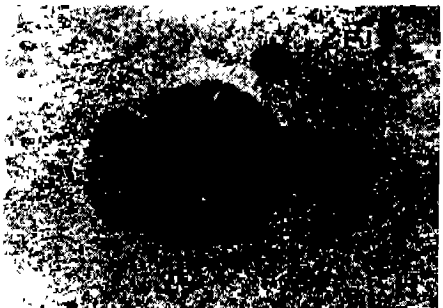
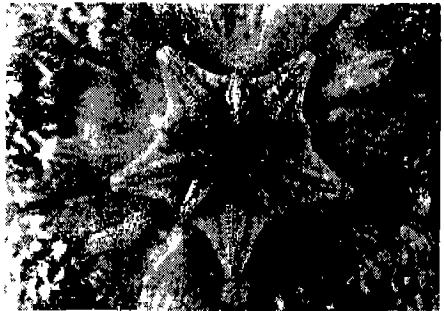
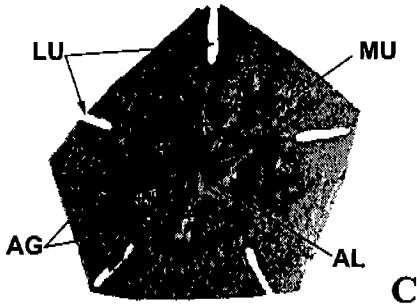
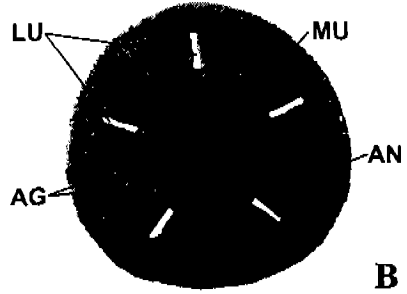
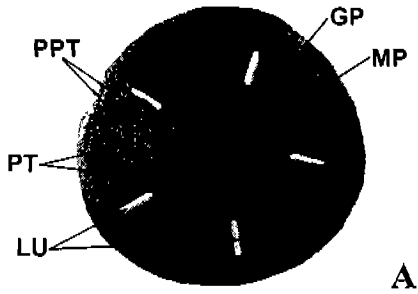


Fig 6 Morphology and habitat of the sand dollar at the study area. A. Dorsal view of *A. manni*. PPT: pore series of petal, GP: gonopore, MP: Madreporite, PT: Petaloid, LU: lunules. B. Ventral view of *A. manni*. AG: ambulacral groove, MU: mouth, AN: anus, LU: lunules. C. Internal structure. LU: lunules, MU: mouth, AL: Aristotle's lantern, AG: ambulacral groove D Aristotle's lantern of *A. manni*, a magnified view. E Feces of *A. manni* observed at a depth of 3 m. F. *A. manni* covered with fine sand observed near the turtle grass bed, *Zostera marina*. G. Aggregation of the sand dollar near the turtle grass bed. H. *A. manni* and an irregular sea urchin, *Peronella japonica* (PJ).



Table 2. Result of sediment grain size analysis DWT (%)=percent dry weight of sediment, Cum DWT (%)=cumulative percent dry weight of sediment

SIEVE			SEDIMENT							
			SITE 1		SITE 2		SITE 3		SITE 4	
μm	Phi Scale	Size Class	DWT. (%)	Cum. DWT(%)	DWT. (%)	Cum. DWT(%)	DWT. (%)	Cum. DWT(%)	DWT (%)	Cum DWT(%)
2,000	-1	Very Coarse Sand	0.095	0.095	0.090	0.090	0.838	0.838	0.398	0.398
1,000	0	Coarse Sand	0.284	0.379	0.146	0.236	1.075	1.913	0.514	0.912
500	+1	Medium Sand	8.568	8.947	6.485	6.721	15.982	17.895	16.883	17.795
250	+2	Fine Sand	52.399	61.346	58.366	65.087	67.837	85.732	66.635	84.430
125	+3	Very Fine Sand	36.978	98.324	34.095	99.182	14.051	99.783	15.312	99.742
63	+4	Coarse Silt	1.672	99.996	0.815	99.997	0.215	99.998	0.255	99.997
<63	>+4	Silt	0.004	100.000	0.003	100.000	0.002	100.000	0.003	100.000

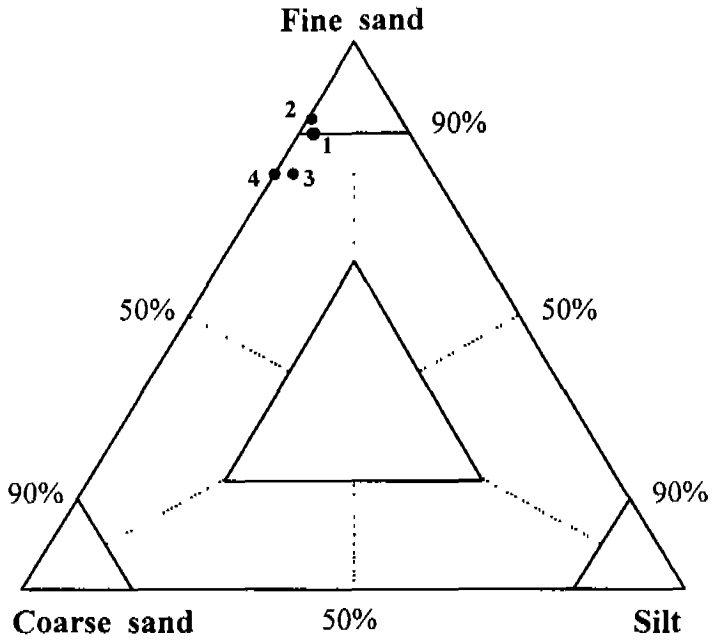


Fig. 7. Composition of sediment collected from the study area. The numbers in the illustration represent sampling locations in Fig. 1.

유기물에는 동식물플랑크톤들이 매우 다양하게 나타났다. 관찰된 생물들 중 저서규조류, 석회해면동물의 골편, 해조류의 파편, 유공충, 선충류와 저서요각류 등이 가장 많이 관찰되었다. 소화과정에 있는 생물들은 동정이 불가능했다.

서식밀도 및 이동거리 채집지역에서의 구멍연잎성계의 서식밀도는 임의적인 세 지역, 90 m²에서 총 38개체가 대상이 되었다. 각 방형구에서 채수된 개체를 대상으로 서식밀도의 표준편차와 평균을 분석한 결과 균등 분포에 기초하는 것으로 사료된다 (Fig. 9, Table 4). 이 연구에서의 서식 밀도는 임의적인 세 지역에서 채집한 개체들을 통하여 측정하였으나, 약 200여 개의 개체들은 번식주기, 생화학적인 분석 및 개체군 분포와 같은 실험에 이용된 후이므로 향후 자연적인 조건하에서의 측정이 요구된다.

이동거리의 측정에는 총 90 개체의 각장 103.8~161.2cm (mean=139.5)인 개체들이 이용되었으며, 전체 이동거리의 범위는 2.0~64.8 cm/hr (mean=21.8)였다 (Table 5). 각장이 121~160 mm의 경우, 이동거리는 20~25 cm/hr로서 다른 범위의 개체들보다는 높았다. 반면 111~120 mm의 범위에서는 실험 개체수와 이동거리가 가장 낮았다 (Fig. 10).

2. 생식세포의 형성과정

생식소의 구분 구멍연잎성계의 암, 수는 성숙한 경우 생식소의 색깔로 구분할 수 있는데, 암컷의 경우 생식소는 짙은 보라색을 띠며 수컷의 생식소는 노란색을 띤다. 구멍연잎성계의 생식소는 Aristotle's lantern 주변부에 위치하며, 그 주위는 장 (intestine)으로 둘러 쌓여있다.

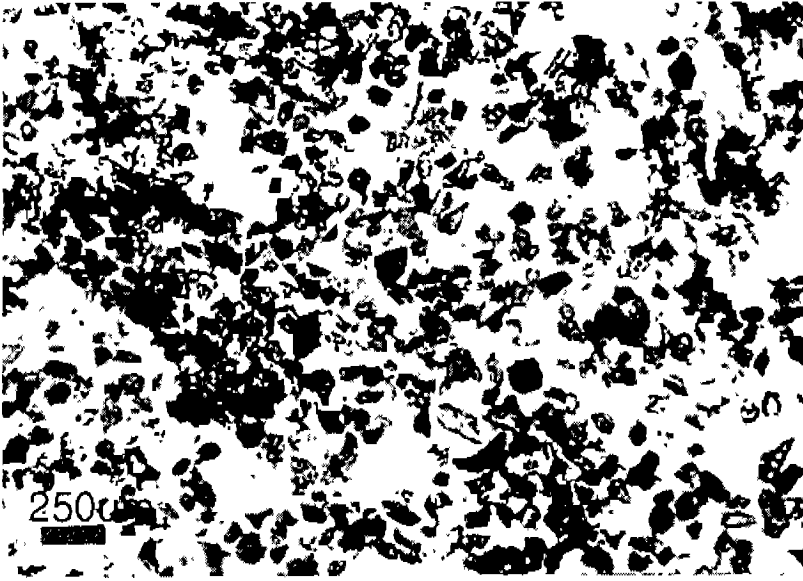


Fig. 8 Photomicrograph of sediments contained on the gut of *A. manni* t.

Table 3 Results of grain size analysis of sediment contained in the gut

	Axis (Min)	Axis (Max)
N	104	104
Min	32.05	45.33
Max	123.80	186.89
Mean \pm SD	62.13 \pm 17.35	93.15 \pm 26.99



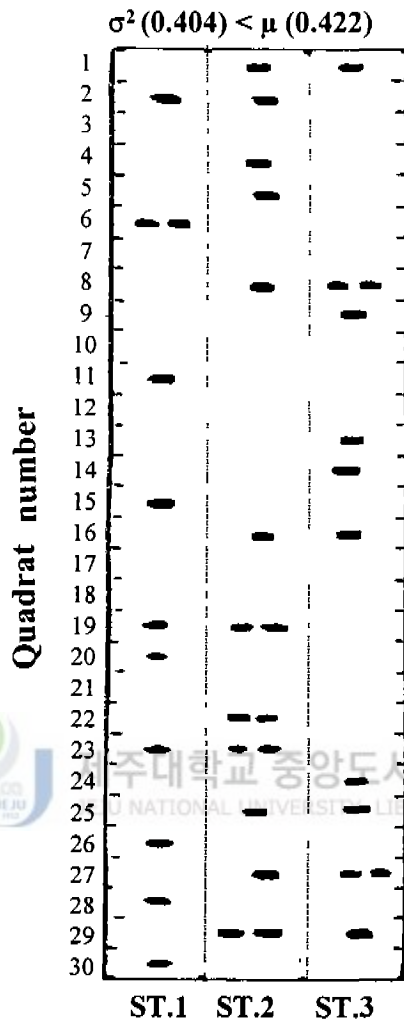


Fig. 9. Diagram of the habitate density on sand dollar, *A. manni*. The regular types of spatial distribution.

Table 4 χ^2 test (variance to mean ratio) for habitate density of sand dollar, *A. manni*. d normal variable.

	variance	mean	χ^2	d	
Value	0.4039	0.4222	85.1579	-0.254	P>0.05

Table 5. Results of locomotion speed on sand dollar, *A. manni*.

species	N	range (cm/hr)	average rate (cm/hr)	Reference
<i>M. quinquesperforata</i>	10	12–25	19.2	Reidenauer (1989)
<i>A. manni</i>	90	2.0–64.8	21.8	This study

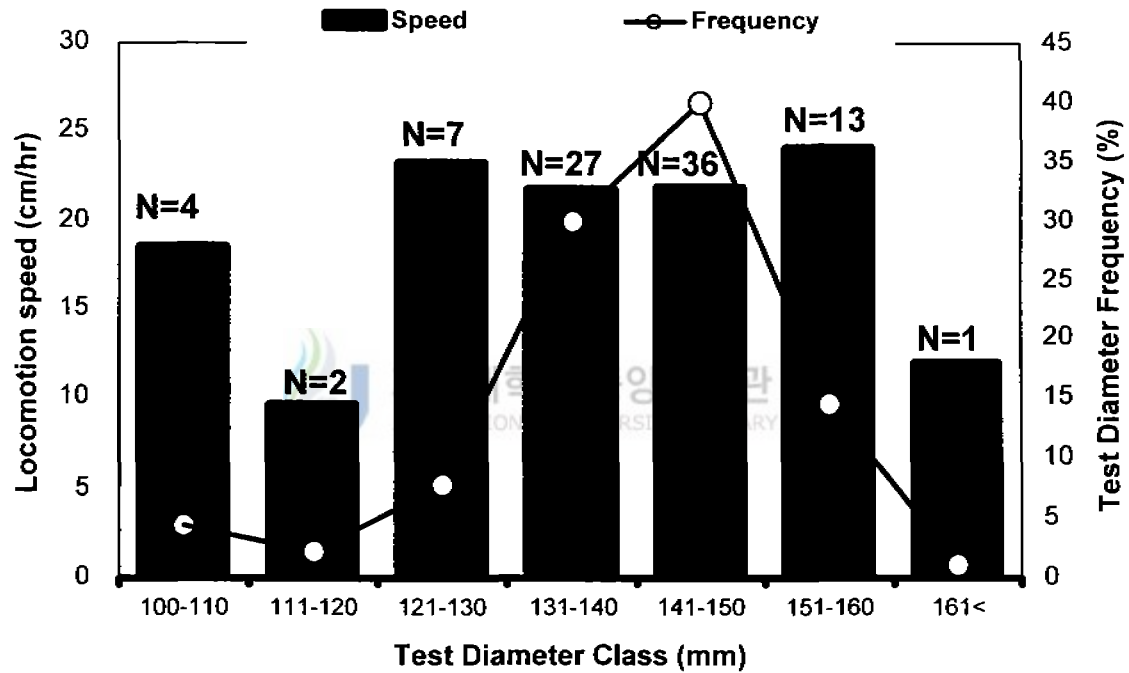


Fig. 10. Relationship between locomotion speed (cm/hr) and size in terms of test diameter

생식세포의 발달 Fig. 11은 조사기간 중 채집된 구멍연잎성계의 생식소 발달 정도를 암, 수로 구분하여 빈도로 나타낸 그림이다. 암수 모두 대략 4~5월부터 성숙하여 7~8월에 산란한 후 11월부터 휴지기에 들어서고 3~4월부터 다시 성장하는 비슷한 경향을 보이고 있다.

Fig 12는 구멍연잎성계 수컷의 계절에 따른 연중 생식소의 변화를 나타낸 그림이다. Fig 12-A는 1999년 2월에 채집된 개체의 정소로 회복기의 상태이다. 정원세포와 1차 정모세포로 구성된 얇은층과 영양세포 (nutritive phagocytes, NP) 및 소엽 (lumen, LM) 으로 구성되어 있다. Fig. 12-B는 1998년 4월 중순경에 채집된 개체의 정소로, 정모 세포가 소엽 상피에서 발달하고 영양세포가 증가하였다 Fig. 12-C는 성숙전기의 정소로 소엽 내 영양세포와 정자의 축적으로 소엽내강이 확장되었다 Fig. 12-D는 성숙기의 정소로 1998년 7월에 채집된 개체로부터 관찰되었다. 성숙한 정소는 정자 (sperm, S)로 가득 채워지고 영양세포는 표면에 국한되어 분포하였다. Fig. 12-E는 방출기로, 일부 정자의 방출이 일어나 소엽 내의 빈 공간이 형성되고 미방출 정자들이 잔존하였다. Fig. 12-F는 휴지기의 정소로, 1997년 10월경에 채집된 개체로부터 관찰되었다. 휴지기의 정소에는 소엽은 대부분 빈 공간으로 남아있고, 미량의 잔존 정자와 영양세포가 분포하고 있다

Fig. 13은 구멍연잎성계 암컷의 연중 생식소 변화의 그림이다. Fig 13-A는 1998년 2월에 채집한 구멍연잎성계 암컷의 생식소로, 회복기 상태를 보여주고 있다. 회복기에는 크기가 작은 전난황형성 난모세포 (previtellogenic oocyte, PO)가 난소벽을 따라 분포하며, 영양세포들이 관찰된다. Fig. 13-B는 1997년 4월에 채집된 개체의 난소로, 초기난황형성 난모세포 (early vitellogenic oocyte, EV)가 관찰되며, 초기난황형성 난모세포

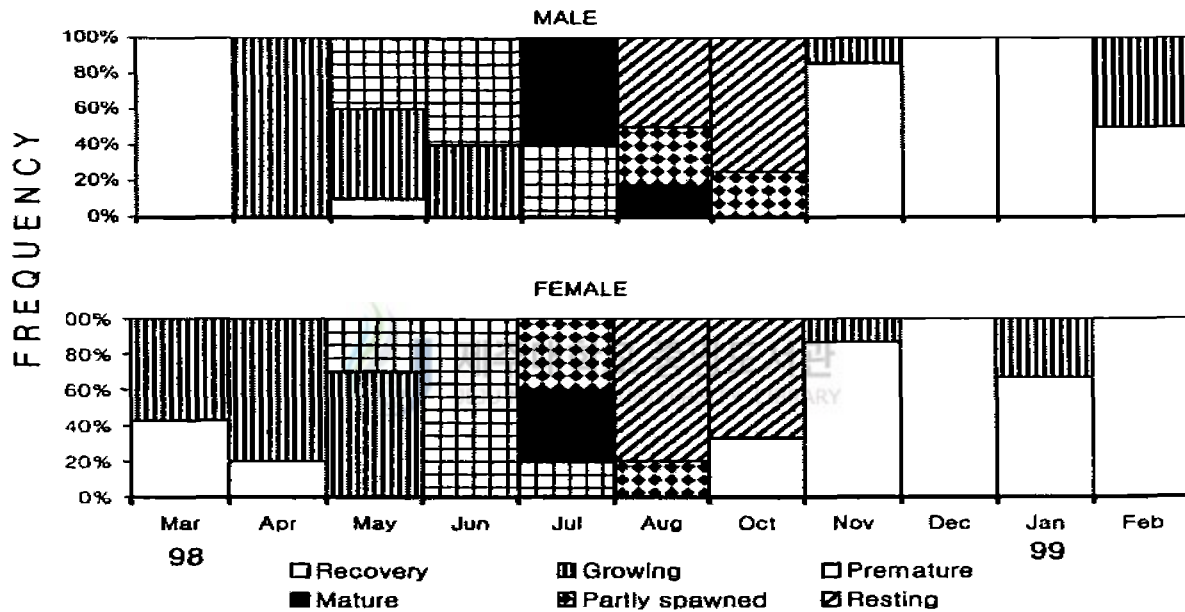


Fig. 11 Frequency distribution of reproductive stage of male and female sand dollar, *A. manni*

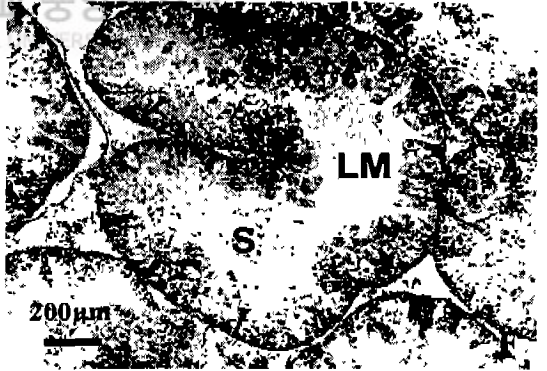
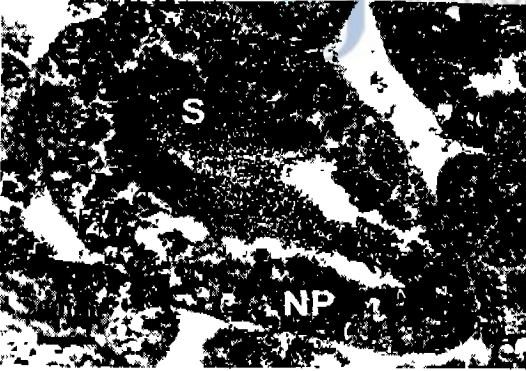
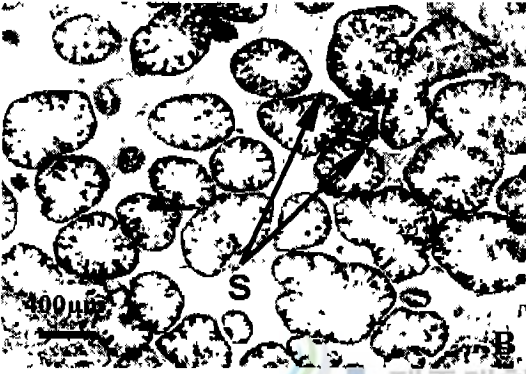
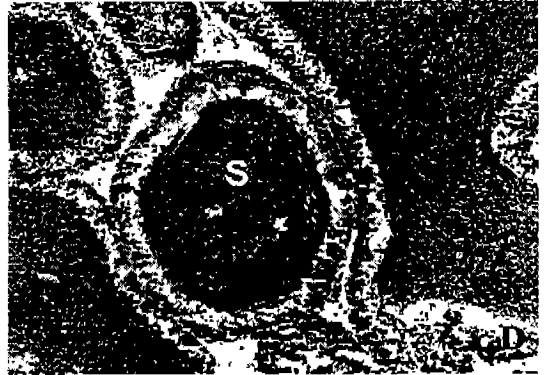
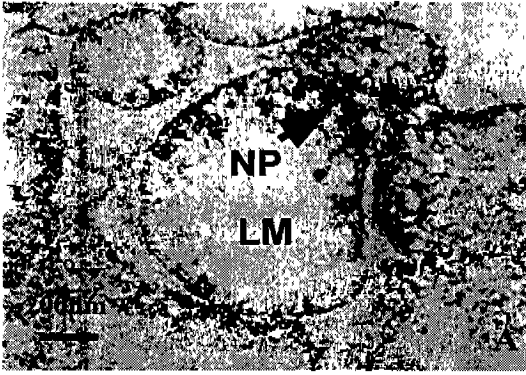


Fig 12. Photomicrographes of testis (A) Recovery stage: cross section of recovering testis containing nutritive phagocytes (NP) and lumen (LM). (B) Growing stage: columns of spermatocytes project centrally in growing testes (C) Premature stage: premature testes with spermatozoa (S) in center and nutritive phagocytes around periphery. (D) Mature stage: mature testes filled with spermatozoa and largely devoid of nutritive tissue. (E) Partly spawned stage partly spawned testes with spaces vacated by spawned spermatozoa (F) Resting stage: spent testes appear to be devoid of content, although relict spermatozoa may be present.



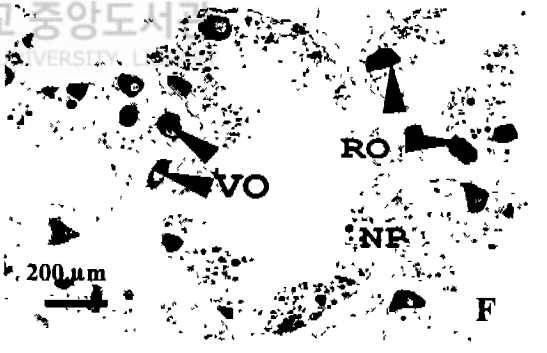
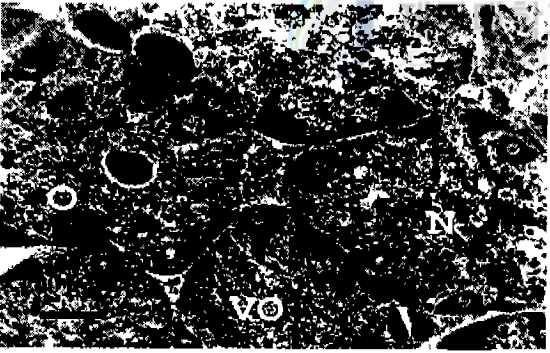
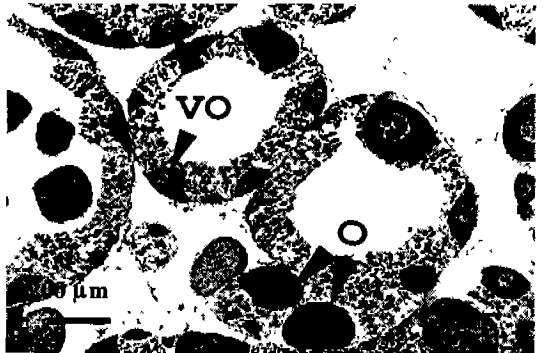
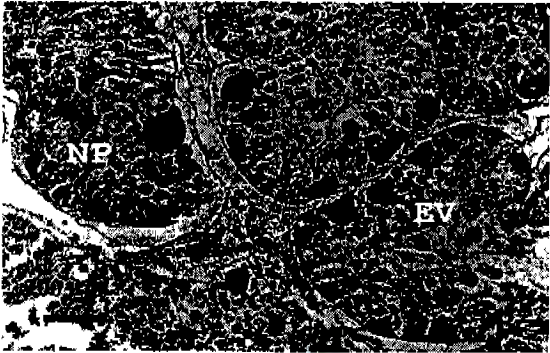
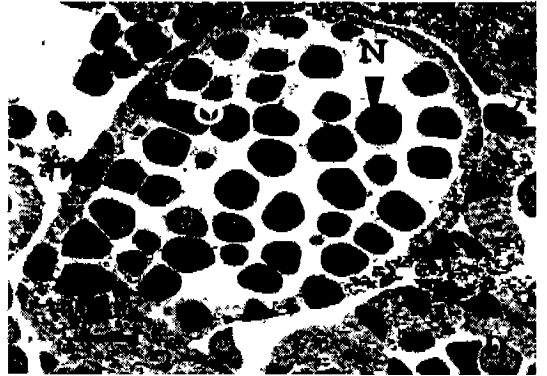
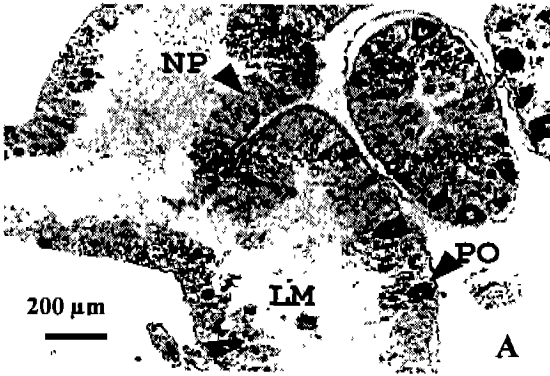


Fig 13 Photomicrographes of ovaries. (A) Recovery stage: cross section of recovering ovary containing extensions of nutritive phagocytes (NP) project into lumen (LM), small previtellogenic oocytes (PO) occur along ovary wall. (B) Growing stage. growing ovary with early vitellogenic oocytes (EV) (C) Premature stage. premature ovary (O) with oocytes at all stages of development and nutritive phagocytes surround vitellogenic oocytes (VO). (D) Mature stage mature ovary packed with ova, nutritive phagocytes are reduced to a thin layer along ascinal wall (N' nuclear) (E) Partly spawned stage: partly spawned ovary with loosely packed ova and a paucity of nutritive material, and the spaces vacated by spawned ova. (F) Resting stage: spent ovary largely devoid of ova and nutritive phagocytes; all vitellogenic oocytes and relict ova will be resorbed.



의 직경은 평균 137 μm 이다 Fig. 13-C는 1997년 6월초에 채집된 개체의 생식소로, 성숙전기의 난소 및 난황형성 난모세포 (vitellogenic oocyte, VO)을 포함하고 있으며, 난의 크기는 직경 262 μm 정도이다 난 내에 핵 (nuclear, N)이 관찰되며 성장기와 비교 시 난의 크기는 두 배 이상 증가하여 소엽을 채우기 시작한다. Fig. 13-D는 성숙기의 난소로 완숙한 알을 포함하고 있다. 완숙한 알 (ova, O)의 직경은 평균 381 μm 정도이다. Fig 13-E는 방출기의 구멍연잎성개 암컷의 생식소로, 성숙난과 난황형성 난모세포가 동시에 존재하며, 방란에 의한 빈 공간이 관찰된다. Fig. 13-F는 1999년 1월에 채집된 개체의 난소로, 휴지기의 난소를 보여준다 난소에는 잔존 난모세포 (relict ova, RO)가 관찰되며 일부 영양세포를 제외하고는 소엽이 거의 비어있는 상태이다. 본 연구지역인 함덕 연안에서 채집된 개체들의 생식소 분석결과, 이들은 7~8월경에 성숙한 난 및 정소가 관찰됨을 비추어 볼 때 구멍연잎성개의 산란 시기는 7~8월경으로 추정된다.



3. 성장량 측정

재포획율 최초 표지방류된 구멍연잎성개는 150개체였고, 그 중 60개체가 재포획되었다. 월 별 재포획율은 최초 방류 시점인 98년 4월과 7월을 제외하고 0~20.7%이었다 (Fig. 14). 99년 2월에는 한 개체도 재포획되지 않았으며 10월에 31개체를 재포획하였다. 계절에 따른 재포획된 개체수의 변화는 수온 (Fig. 3)의 변화에 기인하는 것으로 보이며, 현장에서 관찰한 결과 수온이 낮은 겨울철에는 개체들의 퇴적물 안으로 잠입하여 표지방류된 개체들을 찾는 데 어려움이 있는 것으로 보인다.

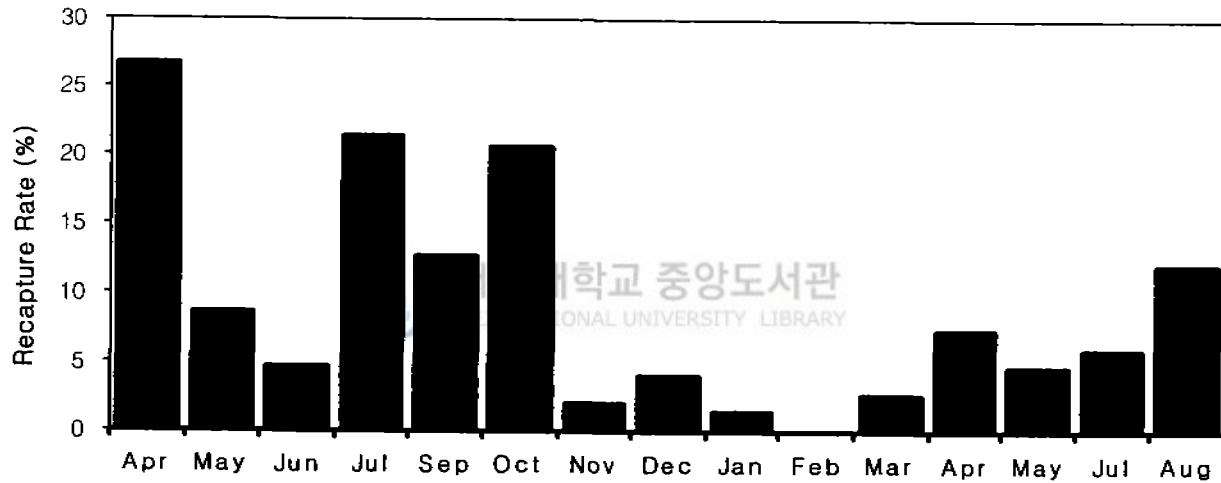


Fig. 14. Monthly recapture rate of the tagged sand dollar.

각장 (Test diameter)과 면적의 상대성장 최초 표지방류된 개체들의 크기는 130.2~176.4mm였으며, 151~160mm 사이의 개체들이 가장 많았다 (Fig. 15) Fig. 15는 재포획된 개체들의 각장 (장축)과 면적성장을 나타내고 있으며 장축이 커질수록 면적성장은 둔화되고 있음을 보여주고 있다 재포획된 전체 개체수 중 146~160mm 사이의 개체들이 많지만 장축에 대한 면적성장의 차이는 뚜렷한 것으로 보인다. 재포획된 개체들의 장축과 면적성장 사이의 상관식에서 상대성장계수는 1.789로서 개체 성장에 대한 변수로서의 장축과 면적은 상관관계가 높았다 (Fig. 16).

각장과 면적에 의한 연중성장 연중 성장은 재포획된 60개의 개체 중 최초 방류시기인 98년 4월과 7월을 기준으로 하여 일년동안의 기록을 가진 26개체를 대상으로 하였다. 대상 개체들의 장축의 각장 범위는 136.1~176.4mm이었고 단축의 각장 범위는 129.5~160.6mm이었다. 장축과 단축에 의한 성장은 다소 차이가 있었으나 140mm 이하의 크기 (sd21, sd24, sd30, sd32, sd33, sd36, sd42, sd54, sd56, sd98)에서 약 2mm 정도의 연중성장을 관찰할 수 있었고, 장축이 140mm 이상의 경우에는 연중성장이 아주 낮게 관찰됐다 (Appendix I) Appendix I은 Appendix II. 2의 보기와 같은 월 별 윤곽을 토대로 한 각 개체의 성장자료로서 월 별 및 전체의 장축, 단축, 면적의 변화량을 나타낸 것이다. 면적성장은 최초 방류시기의 범위가 13749.9~20817.8 mm²으로서 이 범위 내 개체들의 장축의 차이는 약 40mm 정도였다. 면적성장은 장축의 성장과 유사한 패턴을 보였으며, 면적이 작은 개체는 큰 면적의 개체보다 높은 성장을 보였다. (-)값을 가지는 개체들은 각의 마모와 소실로 인한 것으로, 마모나 소실된 일부분의 재생이 이루어지는 것을 관찰할 수 있다 (Appendix II. 2). Appendix II는 월 별 재포획된 개체들 중 특징적인 개체들의 성장자료를 보기로 나타낸 그림이

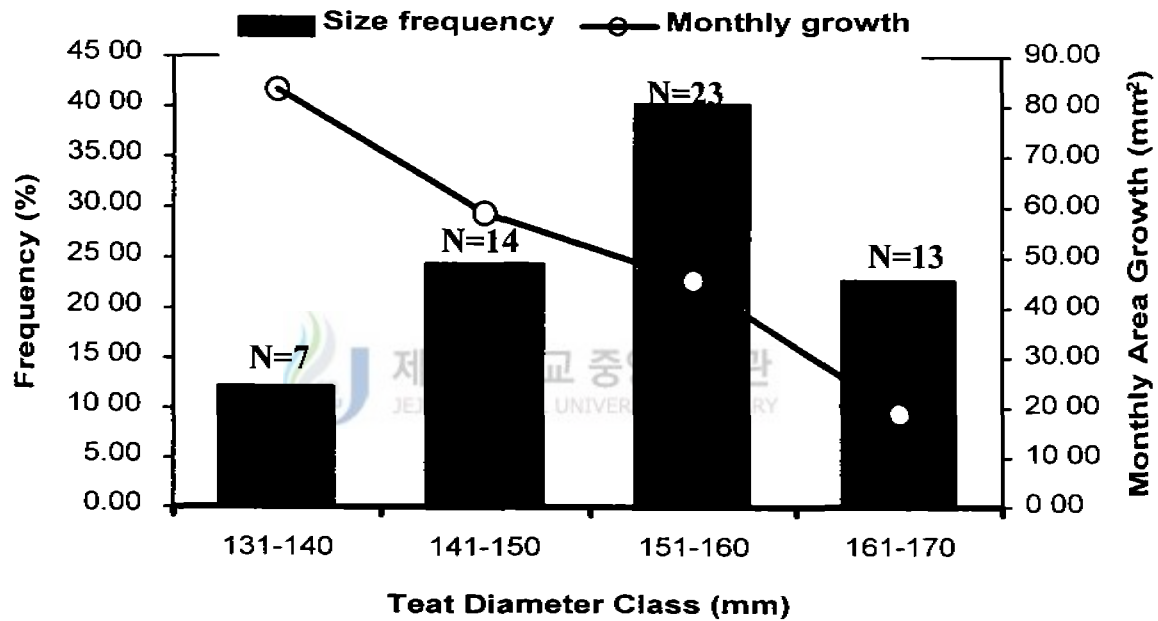


Fig. 15. Relationship between test diameter and monthly areal growth. (N=57)

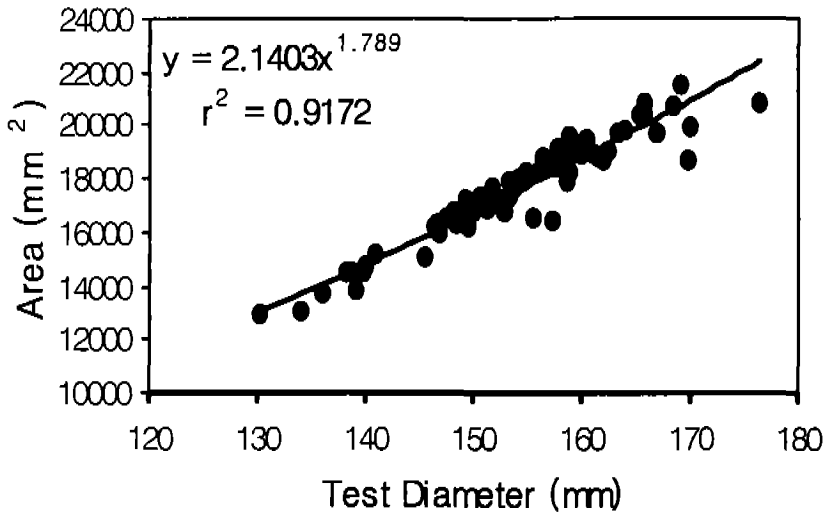


Fig. 16. Correlations between test diameter and areal growth by recaptured individuals.

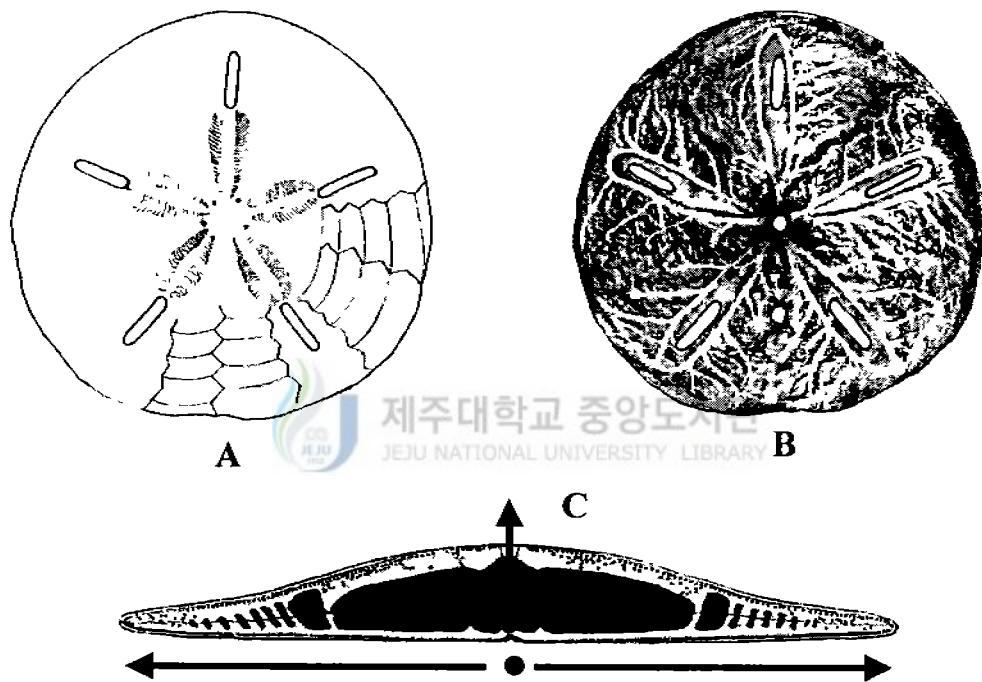


Fig. 17. Diagrams of the constructional morphology of sand dollar, *A. manni*. (A dorsal side, B. ventral side, C: cross sections through sand dollar tests)

다. sd29는 98년 4월부터 99년 7월까지 주기적으로 재포획되었으나 장축, 단축 그리고 면적성장은 거의 없었다. sd34은 98년 7월에 재포획된 후 99년 7월에 다시 재포획되었다. 98년 7월의 윤곽은 4월의 윤곽과 비교할 때 개체의 각 소실을 관찰할 수 있었다. sd49, sd56과 sd75는 일부분의 각이 파손된 개체를 표지방류한 것으로 윤곽의 형태변화와 면적성장이 확인되었다. sd74와 sd78은 각의 마모와 손실을 나타낸 보기이다. sd74는 불규칙한 면이 마모에 의해 둥글게 변하고 있는 것을 보여주고 있으며 각의 길이와 면적이 감소하였다. 마모나 소실에 의해 각이 재생되는 경우, 원래의 각 모양으로 다시 성장하고 난 후, 다시 전체 성장이 이루어지는 패턴을 보이므로 연중 면적성장에서는 제외하였다. 구멍연잎성계의 성장에 있어 변이점은 약 140mm 내외로 추정되며, 포화 성장의 값은 알 수 없었다. 구멍연잎성계는 각의 높이와 복면의 넓이가 증가하는 것으로 성장이 이루어진다 (Fig. 17).

4. 성숙난의 조성 제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

생화학적 조성 단백질과 탄수화물의 흡광도와 농도 사이의 상관관계는 높았으며, 절대상관계수는 0.9969였다 (Fig. 19, 20). 구멍연잎성계의 알에 포함된 단백질은 PBS와 혼합한 시료, 4.23 mg/ml 중 943 $\mu\text{g/ml}$ 로서 22.29%의 함량을 보였으며, 탄수화물은 304.26 $\mu\text{g/ml}$ 로 7.19%, 총 지질은 250mg의 시료 중 109mg으로 43.77%의 함량을 보였다. 대조구로 쓰인 보라성계의 알, 5 mg/ml에는 단백질과 탄수화물이 1223 $\mu\text{g/ml}$, 333.82 $\mu\text{g/ml}$ 로 28.91%, 6.68%의 함량이었고, 총 지질은 시료 312mg 중에 66mg으로서 21.18%의 함량을 보였다 (Fig. 21, Table 6).

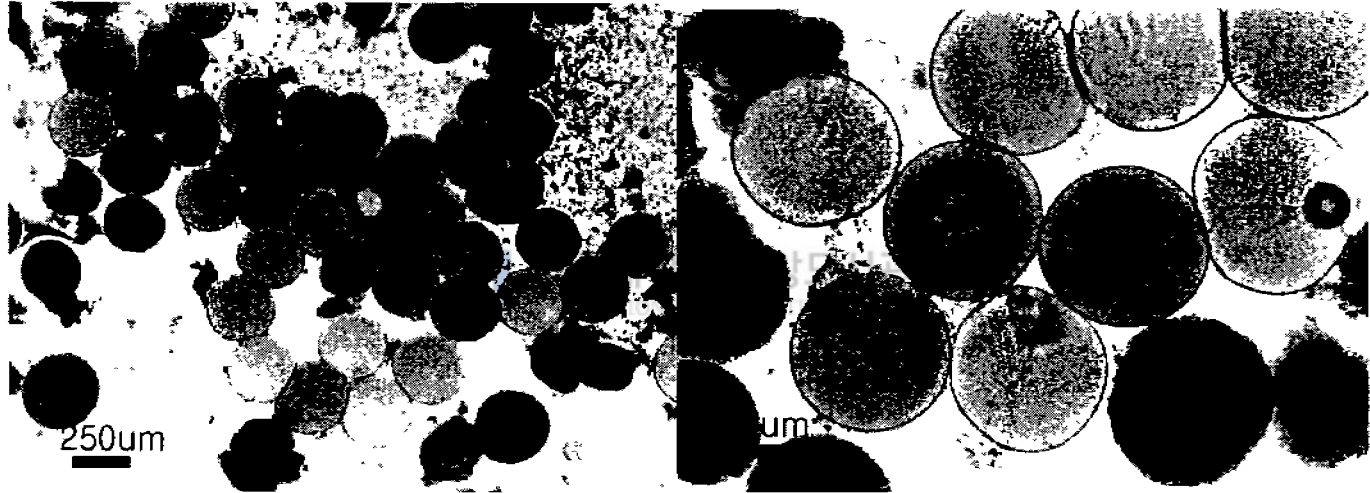


Fig. 18 Purified egg of the sand dollar.

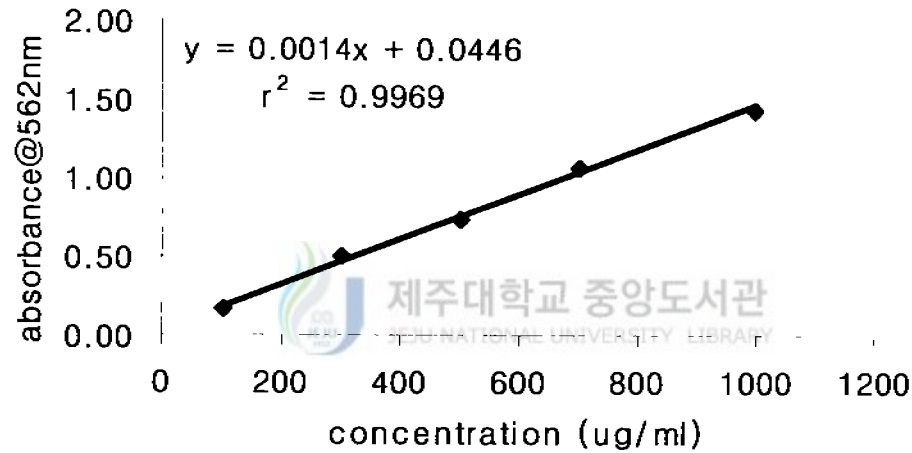


Figure 19. Standard curve by plotting the net (blank corrected) absorbance.
Protein standard reagent : Bovine Serum Albumin (BSA).

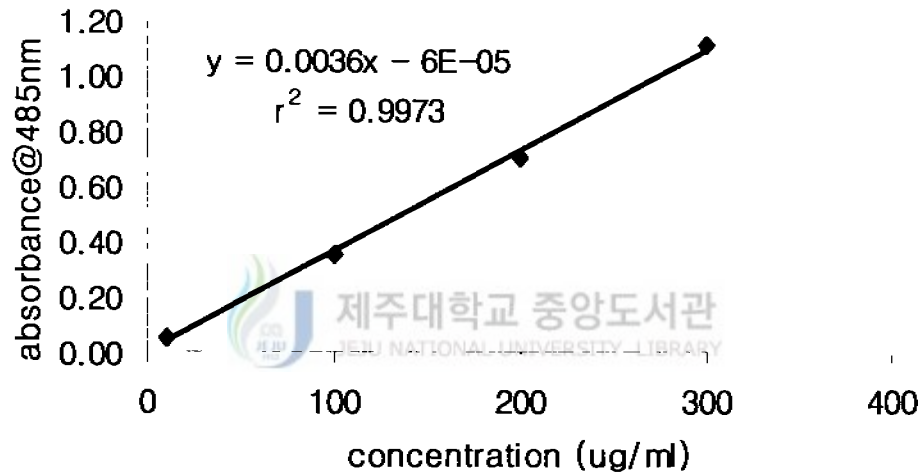


Figure 20. Standard curve by plotting the net (blank corrected) absorbance. Carbohydrate standard reagent : soluble agar.

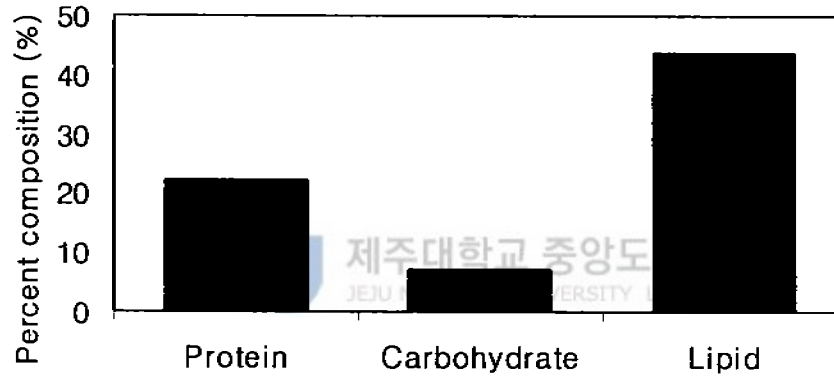


Fig. 21. Diagrams of comparison with three biochemical components of sand dollar eggs.

Table 6. Protein, carbohydrate and lipid levels of eggs of *M. quiquesperforata*, *A. manni* and *A. crassispina*.

species	Percent (%) of each component				Reference
	Protein	Carbohydrate	Lipid	Total	
<i>M. quiquesperforata</i>	28.51	17.45	27.89	73.85	Jacqueline and Lawrence (1972)
<i>A. manni</i>	22.29	7.19	43.77	73.25	This study
<i>A. crassispina</i>	28.91	6.68	21.18	56.77	

IV. 고 찰

이 연구의 조사지역에는 해양 현화식물인 잘피, *Z. marina* 군락이 발달되어있다 (Fig 1) Harris and Chester (1996)는 정형성게류인 *Strongylocentrotus droebachiensis*의 생물, 물리적인 영향에 대한 유생착생 실험에서 대형 해조류가 많이 분포하고 파도와 같은 물리적인 스트레스가 적은 지역에서 유생의 착생이 더 많이 일어난다고 보고하고 있다. 그러나 이 연구의 조사 기간 중 각장이 80 mm 이하인 작은 개체는 관찰되지 않았다. 이 지역에서 구멍연잎성게의 작은 개체가 발견되지 않은 것은 어린 개체와 성체의 서식지가 다른 것에 기인하기보다는 채집 방법상의 문제에 기인한 것으로 사료된다. 현장관찰 결과, 구멍연잎성게는 파도와 먹이섭취 과정에 의하여 대부분 모래 속에 묻혀있어 SCUBA에 의한 육안적 관찰이 용이하지 않았다 특히 이 연구에서는 SCUBA를 이용한 채집만이 수행되어, SCUBA에 의존한 채집 시 상대적으로 관찰이 용이한 대형 개체만이 채집되었을 가능성이 높았다. Pearce and Scheibling (1990)은 sand dollar, *Echinarachnius parma* 의 경우 구멍연잎성게처럼 한 지역에 집단으로 서식하고 있음을 보고하였으며, sand dollar 유생의 착생은 성체의 분포 지역에 집중한다고 보고한 바 있다 Hamel and Himmelman (1992) 역시 *E. parma* 의 집단에 어린 개체와 성체가 공존하고 있음을 보고한 바 있으며, 이들의 분포는 파도의 세기와 밀접한 관계가 있음을 보고하였다.

정형 성게류와 달리 퇴적물식자로서의 부정형 성게류인 sand dollar는 퇴적물내의 유공충, 저서규조류와 유기물 등을 먹이로 삼는 것으로 알려져 있으며 (Jacqueline and Lawrence, 1982, Reidenauer, 1989), 이에 따라 해조류를 주 먹이로 삼는 정형 성게류와 달리 구기가 덜 발달되어 있는 것으

로 추정된다. 구멍연잎성계의 경우 다른 sand dollar류와 같이 퇴적물을 먹이로 삼는 것이 현장에서 확인되었다. 따라서 구멍연잎성계는 다른 sand dollar류와 같이 세립질의 퇴적물을 연속적으로 입을 통하여 흡수한 뒤, 장내에서 유기물을 흡수하고 남은 퇴적물은 다시 배설하는 것으로 생각된다. Reidenauer (1989)는 sand dollar, *Mellita quinquesperforata*의 먹이로 퇴적물 내에 서식하는 저서 요각류, 유공충 등이라고 보고한 바 있다. 퇴적물내의 유기물을 먹이로 섭취하는 퇴적물식자들은 퇴적물내의 화학적인 영양물질의 농도와 입자크기에 의해 종 수의 양적 분포가 좌우된다 (Sanders, 1958). 일반적으로 퇴적물의 입자 크기는 연잎성계류 (sand dollar)의 분포에 제한적 요인으로 작용하며, 연잎성계류는 퇴적물의 입자 크기가 63 μm 이상, 1 mm 미만의 입자로 이루어진 연성저질에 주로 분포하는 것으로 보고되고 있다 (Weihe and Gray, 1968; Dexter, 1977; Jumars et al., 1982; Lopez and Levington, 1987; Telford et al., 1985). Pomory et al. (1995)은 연잎성계류인 *Mellita tenuis* 역시 구멍연잎성계와 유사한 크기의 퇴적물 입자를 선호하고 이동할 때보다 먹이 섭취를 하는 동안에 더 높은 입자 선별 능력을 갖고 있다고 보고하고 있다. 이 연구 지역의 퇴적 환경도 다른 연잎성계류가 분포하고 있는 환경과 유사한 것으로 판단되며 구멍연잎성계의 분포에 퇴적물의 입도 구성이 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다. 그러나 퇴적물식자인 연잎성계류, *Mellita quinquesperforata* (LESKE)는 퇴적물의 입도가 100~250 μm 인 저질에서 분포하고 있음에도 불구하고 먹이섭취 과정과 장내용물 분석 등을 통하여 장내의 저질 입자가 50 μm 이하 크기인 것으로 대부분 분포하고 있다고 보고하고 있다 (Telford et al., 1985). 이 연구에서도 밝혀진 바와 같이 구멍연잎성계가 주로 서식하는 환경의 퇴적물 입자 크기가 125~250 μm (2~3 ϕ)인 저질로 이루어져 있음을 알 수 있었으나, 장내의 퇴적물은 이보다 작았다 (Fig 8). 이런 퇴적물입자의 소형화는 연잎성계류의 대형 구기인

Aristotle's lantern 주변부의 근육과 튼튼한 이빨로 깨부수는 과정이라 보고되어지고 있다 (Telford and Eilers, 1997).

이 연구지역에서 서식하는 구멍연잎성계의 분포패턴은 서식밀도에 의해 구분했을 때 균등분포를 보였다 (Fig. 9, Table 4) 임의적인 세 지역에서 채집한 개체들을 통하여 측정해 보기는 하였으나, 약 200여 개의 개체들은 번식주기, 생화학적인 분석 및 개체군 분포와 같은 실험에 이용된 후이므로 향후 자연적인 조건하에서의 측정이 요구된다 Salsman and Tolbert (1965)는 연잎성계류인 *M. quinquesperforata*의 연중 서식밀도가 가장 높은 시기인 봄과 여름 사이의 서식밀도 관찰을 통하여 각의 크기가 1.2~6.3 cm인 경우 cm^2 당 74개체 이상이 관찰된 것으로 보고하고 있다.

본 연구지역인 함덕 연안에서 채집된 개체들의 생식소 분석결과, 이들은 7~8월경에 성숙한 난 및 정소가 관찰됨을 비추어 볼 때 구멍연잎성계의 산란 시기는 7~8월경으로 추정된다. Shin and Rho(1996)는 제주 성산 지역에 채집된 구멍연잎성계의 산란시기를 6월경으로 보고한 바 있다. 연잎성계류의 산란시기는 종과 지역에 따라 다른데, Vernon et al. (1993)은 방패연잎성계류인 *Clypeaster ravenelii*의 경우 2월말 경에 산란한다고 보고하였고 우리나라 연안에 널리 분포하고 있는 정형 성계인 보라성계의 산란시기는 6~10월경이라고 보고되고 있다 (Yoo et al, 1982; Kang et al, 1993). 한편, 우리 나라 전역에 분포하는 정형 성계류인 등근성계, *Strongylocentrotus nudus*와 말뚝성계, *Hemicentrotus pulcherrimus*의 산란은 3월에서 5월의 10~15°C와 9월에서 10월의 23~18°C에서 이루어진다 (Park et al., 1998) 산란 시기로 추정되는 7~8월경의 표층수온은 20.5~24°C의 범위를 보여 아마 이러한 수온 범위 내에서 구멍연잎성계의 산란이 이루어지는 것으로 추정되나, 이에 대한 보다 심도 깊은 연구가 필요할 것으로 생각된다

구멍연잎성계의 성장을 파악하기 위하여 표지 방류된 개체들의 재포획

은 계절에 따라 재포획된 개체수의 변화를 보였으며, 수온 (Fig. 3)의 변화에 기인하는 것으로 보이며, 현장에서 관찰한 결과 수온이 낮은 겨울철에는 개체들의 퇴적물내 잠입 깊이가 더 깊어져 표지방류된 개체들을 찾는 데 어려움이 있는 것으로 보인다. 재포획된 개체들의 장축과 면적의 상대성장에서 장축의 크기변화가 면적의 변화에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있었으며, 장축의 변화값을 알면 면적의 변화를 추정해 낼 수 있는 것으로 사료된다 (Fig. 16). 또한 장축과 면적에 의한 구멍연잎성계의 연중 성장은 표지방류한 개체들이 대부분 성장이 이루어진 것으로 추정되는 크기의 개체들을 대상으로 이루어졌으므로 연중 성장의 정량화는 다소 어려웠으나, 장축과 면적의 상호 비교에 따른 성장의 대소를 파악하고 성장의 패턴을 이해할 수 있었다. 향후 장축, 단축뿐만 아니라 각고의 변화까지도 파악한다면 구멍연잎성계의 전체적인 골격성장을 추이할 수 있는 것으로 보인다. 또한 작은 크기의 개체들을 대상으로 표지방류가 이루어져 장기적인 계획으로 실행할 경우 구멍연잎성계의 성장과 자원량 추정, 생태를 파악하는데 좋은 방법이 될 것으로 보인다.

구멍연잎성계의 산란기 알의 생화학적인 분석 결과 단백질과 탄수화물의 함량보다는 총 지질의 함량이 더 높은 것으로 사료된다 (Table 6). Jacqueline and Lawrence (1982)는 연잎성계류인 *M. quinquesperforata*의 경우 대부분의 먹이는 대부분 퇴적물내의 유기물로서 단백질과 탄수화물의 함량보다는 지질의 함량이 높다고 보고하고 있다. 지질의 함량이 단백질이나 탄수화물보다 높은 것은 산란시기인 여름철에 저서규조류의 대량번식에 의한 것으로 알려져 있다 (Holland et al., 1974).

V. 요약

부정형성계류인 구멍연잎성계는 제주도 연안에 널리 분포하고 있음에도 불구하고 생태 및 번식에 관한 연구들이 미비한 실정이다. 이 연구는 구멍연잎성계의 외부, 내부 형태, 서식지, 번식에 대한 기초자료로서 시료는 북제주군 함덕에서 SCUBA를 통하여 채집하였다.

1. 구멍연잎성계의 크기는 각장 80~200 mm 정도 (N=129)였고, 함덕 연안에 서식하는 구멍연잎성계의 집단 서식지를 조사한 결과, 이들은 세립질 또는 미립질 (125~250 μm (2~3 ϕ))의 조하대 모래지역에 서식하며, 내부 형태와 서식지의 관찰에서 퇴적물내의 유기물을 섭취하는 것으로 관찰되어 퇴적물식자로 확인되었다

2. 성숙한 암컷의 생식소는 보라색을 띠며, 수컷은 짙은 노란색을 띤다. 조직학적 관찰에 의한 성숙한 난은 그 직경이 381 μm 정도이며 수온이 20.5~24 $^{\circ}\text{C}$ 인 7~8월경에 산란하는 것으로 추정된다.

3. 장내 퇴적물의 입도조성은 단축의 길이가 32.051~123.803 μm (mean=62.125), 장축의 길이가 45.327~186.889 μm (mean=93.152)의 분포를 보였다. 장내의 생물들은 유공충, 저서성 요각류, 해조류의 파편, 규조류 등의 동식물 플랑크톤들이 존재했다.

4. 각 방형구에서 계수된 개체를 대상으로 서식밀도의 표준편차와 평균을 분석한 결과 균등분포에 기초하는 것으로 사료된다. 이동거리의 측정에는

총 90 개체의 각장 103.8~161.2cm (mean=139.5)인 개체들이 이용되었으며, 전체 이동거리의 범위는 2.0~64.8 cm/hr (mean=21.8)였다.

5. 표지방류된 개체들의 월 별 재포획율은 0~20.7%로 나타났다. 최초 표지방류된 개체들의 크기는 130.2~176.4mm였으며, 151~160mm 사이의 개체들이 가장 많았다. 크기 분포에 따른 성장의 차이가 뚜렷하지 않은 것은 표지방류된 개체들의 수가 146~160mm 사이의 개체들에 비해 상대적으로 낮은 것에 기인하지만 각의 크기가 커질수록 성장은 둔화되고 있음을 보여주고 있다. 구멍연잎성게의 성장에 있어 변이점은 약 140mm 내외로 추정된다.

6. 재포획된 개체들의 각장과 면적 성장에 대한 상관식은 다음과 같다.

$$\text{Area (mm}^2\text{)} = 21403 \times \text{Test Diameter (mm)}^{1.789}, r^2 = 0.9172$$

7. 산란기 시 구멍연잎성게의 알에 포함된 단백질, 탄수화물 및 총 지질의 함량은 22.29%, 7.19%, 43.77%였다.

VI. 참 고 문 헌

- 강도형, 최광식, 정상철. 1999. 제주도 함덕 연안에 서식하는 구멍연잎성게, *Astriclypeus manni* (VERRIL 1867)의 생태학적 특성에 관한 연구
한국수산학회지 32(3): 345~352.
- 박민우, 이윤희, 장정원. 1990. 말뚝성게, *Hemicentrotus pulcherrimus* (A
Agassiz)의 산란기에 관한 연구 수진연구보고, 44: 67~76
- 우한준, 김효영, 정갑식, 천종화, 김성은, 추용식. 1999. 마산만 퇴적환경 오
염에 따른 저서성 유공충 분포 변화. 한국해양학회지. 4(2). 144~
154.
- 홍성완, 정상철. 1998. 보라성게 (*Anthocidaria crassispina*)의 연령과 성장
한국수산학회지. 11. 302~308.
- Barnes, R. D. 1987 The Echinoderms. *Invertebrate zoology*. The
Dryden Press, Orlando, Florida. pp 804~813
- Bayne, B. L., D A Brown, K. Burns. 1985. The effects of stress and
pollution on marine animals. Praeger Publishers. pp. 185~189.
- Bligh E G and W.J Dyer. 1959. A Rapid Method of Total Lipid
Extraction and Purification. Canadian Journal of Biochemistry and
Physiology, 37 911-917
- Burke, R. D. 1983. Neural control of metamorphosis in *Dendraster*
excentricus. Biol Bull. 164: 176~188.
- Byrne M, 1990 Annual reproductive cycles of the commercial sea
urchin *Paracentrotus ividus* from an exposed intertidal and a
sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. Marine
Biology 104, 278~281.

- Chiba, K, Alderton, J M., Hoshi, M. and Steinhardt, R A. 1999. Activation of the proteasomes of sand dollar eggs at fertilization depends on the intracellular pH rise. *Devel. Biol* 209: 52~59
- Choi K S, D.H. Lewis, E.N. Powell and S.M. Ray. 1993. Quantitative measurement of reproductive output in the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin), using an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Aquaculture and Fisheries Management*, 24: 375-398.
- Dexter, D M 1977 A natural history of the sand dollar *Encope stokesi* L. Agassiz in Panama. *Bull. Mar. Sci.* 27, 544~551.
- Die, D. J., J. G. McGilvray, A J Courtney and M. G. Cosgrove. 1995. A quantitative method for staging penaeid prawn ovaries using image analysis. *Inver. Reproduction and Development* 28:3, pp. 177~183.
- Dubois M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, and F. Smith. 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356
- Eckelbarger, K J, C. M. Young and J. L Cameron. 1989. Modified sperm ultrastructure in four species of soft bodies Echinoids (Echinodermata Echinothuriidae). From the Bathyal zone of the deep sea. *Biol Bull.*, 177: 230~236.
- Eckert, G L. 1995. A novel feeding strategy of the tropical sand dollar, *Encope michelinii* (Agassiz): Adaptation to food limitation and an evolutionary link between planktotrophy and lecithotrophy. *J. Exp. Mar. Biol Ecol* 187: 103~128.
- Folk, R L. 1980 *Petrology of sedimentary rocks* Hemphill. Austin.

Texas. pp 184

- George, S. B., C. M. Young and L. Fenaux. 1997 Proximate composition of eggs and larvae of the sand dollar *Encope michelinii* (Agassiz): the advantage of higher investment in planktotrophic eggs. *Inver. Reproduction and Development*. 32(1): 207~215
- Hamel, J. -F. and J. H. Himmelman. 1992 Sexual dimorphism in the sand dollar *Echinarachnius parma*. *Marine Biology* 113, 379~383.
- Harris, L. G. and C. M. Chester. (1996). Effects of location, exposure and physical structure on juvenile recruitment of the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* in the Gulf of Main. *Inver. Reproduction and Development*. 30:1-3, pp. 207~215
- Holland, A. F., Zingmark, R. G. and Dean, J. M. 1974. Quantitative evidence concerning the stabilization of sediments by marine benthic diatoms. *Marine Biology*. 27, 191~196.
- Howard, D. W. and C. S. Smith, 1983. Histological techniques for marine bivalve mollusks. Oxford Lab., National Marine Fisheries Serv., Oxford pp 35, 65.
- Jacqueline, E. M. and J. M. Lawrence. 1972. Changes in carbohydrate, lipid, and protein levels with age and season in the sand dollar *Mellita quinquesperforata* (Leske). *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 8: 225~239.
- Jacqueline, E. M. and J. M. Lawrence. 1982. Food, feeding and absorption efficiencies of the sand dollar, *Mellita quinquesperforata* (Leske). *Estuarine, Coastal and Shellfish sci.* 14, 421~431
- Jensen, M. 1969. Age determination of Echinoids. *SARSIA*. 37: 41~44.

- Jumars, P. A., R. F. L. Self and A. R. M. Nowell. 1982. Mechanics of particle selection by tentaculate deposit-feeders J. Exp Mar Biol. Ecol 64, 47~70.
- Kang, K. H., K. S Bang, J H Li, S K Yoo. 1993 Influence of Water Temperature and Salinity on Spawning Induction, Larvae Rearing Collection of Sea Urchin, *Anthocidaris crassispina*. Bull. Nat Fish. Res Dev. Agency. 48, 157~166 (in Korean).
- Kawamura. 1966 On the determining character and growth of a sea urchin, *Strongylocentrotus nudus*. Hokkaido Cen.Fish. Exp. Stn., 6: 56~61
- Lee, K. W., C. H. Shon, S C Chung. 1998 Marine algal flora and grazing effect of Sea Urchins in the coastal waters of Cheju Island. Journal of Aquaculture. 11(3), 401~419 (in Korean).
- Lee R. F. and R. B. Heffernan. 1991. Lipid and proteins in Eastern oysters (*Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791)) and Northern quahogs (*Mercenaria mercenaria* (Linnaeus, 1758)). Journal of Shellfish reearch. Vol. 10. No. 1. 203-206
- Lim, H. S 1993 Ecology on the macrozoobenthos in Chinhae Bay of Korea. Ph. D. Thesis Nat. Fish. Univ. Pusan. pp 24.
- Lopez, G. R. and J. S. Levinton. 1987 Ecology of deposit-feeding animals in marine sediments Q Rev Biol. 62, 235~260.
- Park, Y. J, Y. S Son. 1998. Growth and maturity of *Strongylocentrotus nudus* and *Hemicentrotus pulcherrimus* inhabiting the coastal area of Kyungbuk, Korea. Bull Nat Fish Res. Dev. Inst., 54, 11~17 (in Korean).
- Pearce, C. M. and R E Scheibling. 1990. Induction of settlement and

- metamorphosis in the sand dollar *Echinarachnius parma* evidence for an adult-associated factor Mar Biol 107, 363~369
- Pearce, C M. and R. E Scheibling. 1995. Induction of metamorphosis of larval echinoids (*Strongylocentrotus droebachiensis* and *Echinarachnius parma*) by potassium chloride (KCl). Invert. Reproduction and Development. 26 3 pp. 213~220.
- Pomory, C. M. , Robbins, B D and Michael T L. 1995. Sediment grain size preference by the sand dollar *Mellita tenuis* Clark, 1940 (Echinodermata: Echinoidea): a laboratory study. Bull. Mar. Sci. 56, 778~783.
- Powell, E. N., E. A. Wilson-Ormond, and K. S. Choi. 1993 Gonadal analysis - *Crassostrea virginica*. NOAA Technical Memorandum NOSORCA 71, vol. 11. 55~62.
- Reidenauer, J. A. 1989. Sand-dollar *Mellita quinquesperforata* (Leske) burrow trails: sites of harpacticoid disturbance and nematode attraction. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., Vol. 130, pp.223~235.
- Sanders, W H. 1958. Benthic studies in Buzzards Bay I. Animal-sediment relationships. Limnol. Oceanography. 3(3): 245~258.
- Seilacher, A. 1979. Constructional morphology of sand dollars. Paleobiology. 5(3) 191~221
- Shin, S, B J Rho. 1996. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea Vol 36. *Echinodermata* Ministry of Education. pp25, 264~280, 505~517 (in Korean).
- Telford, M., R. Mooi and A O. Ellers. 1985. A new model of podial deposit feeding in the sand dollar, *Mellita quinquesperforata*

- (LESKE) The sieve hypothesis challenged. Biol. Bull. 169: 431~448.
- Telford M. and O. Ellers. 1997. Tooth advancement muscles in the sand dollar *Echinarachnius parma*. Inver. Biol. 116(3): 255-261
- Vernon, J. D. J. B. McClintock., , T. S. Hopkins, S. A. Watts and K. R. Marion 1993. Reproduction of *Clypeaster ravenelii*(Echinodermata: Echinoidea) in the northern Gulf of Mexico. Int. J. Invert. Repro. Develop., 24(1), 71~78.
- Walton, W. R. 1952. Techniques for recognition of living Foraminifera Cushman Found. Foram. Res., Contr., 3 56~60.
- Weihe, S. C. and I. E. Gray 1968. Observations on the biology of the sand dollar *Mellita quinquiesperforata*(Leske). J. Elisha Mitchell Scient. Soc. 84, 315~327
- Wootton, R., D. R. Springall and J. M. Polak. 1995. Image analysis in histology. conventional and confocal microscopy. Cambridge Univ. press.
- Yoo, S. K., S. B. Hur, H. Y. Ryu 1982. Growth and spawning of the Sea Urchin *Anthocidaria crassispinga* (A. Agassiz). Bull. Korean Fish. Soc. 15(4), 345~358 (in Korean).

APPENDIX I

INDIVIDUALS GROWTH DATA



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

ID	date	Area	$t_{n+1}-t_n$	Axis(max)	$t_{n+1}-t_n$	Axis(min)	$t_{n+1}-t_n$
sd21	980420	15115.2		145.5		136.0	
	980728	15236.6	121.4	145.2	-0.4	136.0	0.0
	980901	15284.5	47.9	143.6	-1.6	136.6	0.6
	990531	14901.7	-382.8	140.6	-2.9	135.8	-0.8
	990723	14919.2	17.5	142.3	1.7	134.5	-1.2
	Total		-196.1		-3.2		-1.4
sd22	980420	17250.9		152.5		145.2	
	980728	16833.8	-417.1	149.5	-3.0	144.2	-1.0
	990128	15459.0	-1374.9	142.4	-7.0	139.8	-4.4
		Total		-1791.9		-10.1	
sd23	980420	18707.7		157.2		151.9	
	980623	18406.4	-301.3	155.7	-1.5	151.0	-0.9
		Total		-301.3		-1.5	
sd24	980420	14513.1		138.7		134.3	
	980728	14265.7	-247.4	137.3	-1.4	133.2	-1.1
	980901	14821.4	555.7	140.0	2.7	135.9	2.7
	990531	14434.2	-387.1	138.3	-1.7	135.9	0.0
		Total		-78.9		-0.4	
sd25	980420	17390.8		153.4		145.3	
	980629	17039.9	-351.0	151.4	-2.0	144.0	-1.3
	981027	17341.1	301.3	153.5	2.1	144.7	0.7
		Total		-49.7		0.1	
sd26	980420	18829.1		158.7		156.3	
	981222	18642.7	-186.4	156.4	-2.3	155.4	-0.9
	990429	18301.3	-341.3	157.2	0.8	150.8	-4.6
	990531	18464.1	162.8	159.3	2.1	150.6	-0.1
	990723	18644.7	180.6	157.9	-1.4	154.8	4.2
		Total		-184.3		-0.8	
sd27	980420	16322.4		148.5		141.4	
	980629	15920.9	-401.4	145.8	-2.6	140.0	-1.5
	981027	16049.1	128.2	145.9	0.1	141.4	1.4
		Total		-273.3		-2.5	

ID	date	Area	$t_{n+1}-t_n$	Axis(max)	$t_{n+1}-t_n$	Axis(min)	$t_{n+1}-t_n$
sd28	980420	19733.7		166.8		156.5	
	981027	19345.1	-388.5	160.6	-6.2	157.8	1.3
	990531	18343.7	-1001.4	158.3	-2.3	150.3	-7.5
	990812	19455.9	1112.1	162.2	3.9	154.2	4.0
		Total		-277.8		-4.6	
sd29	980420	18716.7		169.7		150.2	
	980901	18613.7	-103.0	166.9	-2.8	149.5	-0.7
	981027	19036.0	422.3	162.7	-4.2	155.3	5.8
	981222	18412.3	-623.6	161.6	-1.0	149.5	-5.8
	990329	18301.4	-111.0	158.6	-3.0	151.4	1.9
	990429	18446.3	144.9	158.2	-0.4	153.7	2.3
	990723	18710.3	264.0	168.1	9.9	149.2	-4.6
		Total		-6.4		-1.6	
sd30	980420	13749.9		136.1		129.5	
	980608	13777.9	28.0	134.1	-2.0	131.2	1.8
	990429	13963.7	185.8	135.7	1.6	132.3	1.1
		Total		213.8		-0.4	
sd32	980420	16564.2		155.6		142.7	
	980608	16712.5	148.2	150.2	-5.4	146.3	3.6
	980728	16562.3	-150.2	149.4	-0.8	143.6	-2.7
	980901	16826.8	264.6	147.9	-1.6	147.0	3.3
	980812	16583.6	-243.3	149.9	2.0	143.7	-3.2
		Total		19.4		-5.8	
sd33	980420	14772.7		140.1		138.5	
	980608	14708.9	-63.8	141.2	1.1	134.5	-4.0
	981027	15291.6	582.6	144.2	3.0	135.6	1.1
	990812	14711.0	-580.6	141.7	-2.5	132.8	-2.8
		Total		-61.8		1.6	
sd34	980420	18413.9		157.6		150.1	
	980728	18598.6	184.7	157.6	0.0	150.8	0.6
	990723	18118.8	-479.8	157.0	-0.6	147.1	-3.7
		Total		-295.1		-0.6	
sd35	980420	18499.1		157.8		150.6	
	980608	18393.2	-105.9	157.1	-0.7	150.0	-0.6
	981027	19041.5	648.2	160.7	3.6	152.1	2.1
		Total		542.3		2.9	

ID	date	Area	$t_{n+1}-t_n$	Axis(max)	$t_{n+1}-t_n$	Axis(min)	$t_{n+1}-t_n$
sd36	980420	16750 2		148 3		147 3	
	980608	16759 0	8 9	148 2	0 0	146 1	-1 2
	980728	16978 4	219 4	151 4	3 2	144 8	-1 3
	981027	17629 8	651 4	155 1	3 6	148 3	3 5
		Total		879 7		6 8	
sd37	980420	18653 0		162 0		154 6	
	980629	18484 2	-168 8	163 0	1 1	149 1	-5 5
	981027	18598 4	114 2	158.0	-5 0	152 9	3 8
	990128	18034 6	-563 8	153.9	-4 1	152 7	-0 2
	990723	18013 7	-20 9	160 9	7.0	147 3	-5 3
	Total		-639 3		-1 1		-7 2
sd39	980420	17391 3		150 7		148 4	
	980608	17050 8	-340 5	149 5	-1 2	145 6	-2 8
	981027	17868 5	817 8	153.9	4 3	149 0	3 4
		Total		477 2		3.2	
sd41	980420	18808 7		161 5		151 9	
	980608	18109 8	-698 8	155 0	-6 5	150 9	-1 0
	981027	18303 7	193 9	155 7	0.7	150.6	-0.3
	990812	18140 1	-163 6	155 2	-0 5	149 4	-1 2
		Total		-668 5		-6 3	
sd42	980420	13077 8		133.9		126 4	
	980629	13671 9	594 0	136 4	2 5	128 7	2 3
	981027	14028.7	356 8	138 3	1 9	130 7	2 0
		Total		950 8		4 4	
sd44	980728	20765.1		168 5		158 1	
	981027	21030 1	265 0	168.4	-0 1	159 8	1 7
	990723	20730 8	-299 3	167.3	-1 1	159 5	-0 3
		Total		-34 3		-1.2	
sd46	980420	19600 0		159.0		158 3	
	980608	18891.4	-708 6	157 7	-1 2	153 6	-4 7
	981130	19702 4	811 0	160 8	3 0	157 4	3 8
		Total		102 4		1 8	
sd47	980608	17670 1		151.8		149 2	
	981027	19032 1	1362 0	157 1	5 3	154 9	5 7
		Total		1362 0		5 3	

ID	date	Area	$t_{n+1}-t_n$	Axis(max)	$t_{n+1}-t_n$	Axis(min)	$t_{n+1}-t_n$
sd48	980420	17920.9		153.3		149.3	
	980629	17872.6	-48.3	153.6	0.2	148.4	-1.0
	Total		-48.3		0.2		-1.0
sd49	980608	18278.2		158.8		148.1	
	981027	19112.9	834.7	165.7	6.9	148.4	0.3
	Total		834.7		6.9		0.3
sd50	980420	17279.0		149.4		147.7	
	980608	17336.2	57.2	151.1	1.6	146.7	-1.0
	Total		57.2		1.6		-1.0
sd51	980420	18908.1		161.2		154.7	
	980728	18785.1	-123.0	160.8	-0.4	152.2	-2.5
	990329	18474.0	-311.0	156.7	-4.1	152.5	0.3
	990531	18513.1	39.1	156.1	-0.6	153.3	0.7
	990812	18526.2	13.1	156.2	0.1	154.6	1.3
	Total		-381.9		-5.0		-0.1
sd52	980420	16261.3		149.5		139.1	
	981130	16174.6	-86.7	149.6	0.1	138.4	-0.7
	Total		-86.7		0.1		-0.7
sd53	980420	21493.4		169.2		162.4	
	981027	21435.3	-58.0	168.7	-0.4	162.5	0.1
	Total		-58.1		-0.4		0.1
sd54	980420	15180.7		140.9		137.9	
	981027	15420.4	239.8	142.0	1.1	139.1	1.2
	Total		239.8		1.1		1.2
sd56	980420	14533.1		139.8		135.1	
	980728	15104.3	571.3	142.0	2.2	136.8	1.8
	981027	15266.8	162.5	141.7	-0.3	139.3	2.5
	Total		733.8		1.9		4.3
sd57	980420	17733.6		153.8		147.4	
	980629	17523.3	-210.4	151.6	-2.2	147.9	0.5
	Total		-210.4		-2.2		0.5
sd58	980420	16287.0		146.7		142.0	
	980723	16377.3	90.3	146.8	0.1	142.7	0.8

ID	date	Area	$t_{n+1}-t_n$	Axis(max)	$t_{n+1}-t_n$	Axis(min)	$t_{n+1}-t_n$
sd72	980728	19892.3		170.0		156.4	
	980901	19973.7	81.4	165.1	-4.9	157.4	1.0
	981027	19170.0	-803.7	161.6	-3.5	153.7	-3.7
	981222	19208.5	38.6	161.6	0.0	154.1	0.4
	990429	18906.6	-301.9	160.9	-0.7	153.8	-0.3
	990723	18978.8	72.2	162.0	1.0	155.2	1.4
	Total		-913.5		-8.0		-1.2
sd73	980728	20416.8		165.4		160.6	
	980901	20282.7	-134.0	164.9	-0.5	158.3	-2.2
	981027	19959.5	-323.3	163.9	-1.0	156.3	-2.0
	990812	20053.5	94.0	165.1	1.2	156.4	0.1
	Total		-363.3		-0.3		-4.1
sd74	980728	19867.1		164.0		158.6	
	980901	19616.7	-250.5	161.6	-2.3	157.0	-1.5
	981027	19186.6	-430.1	157.8	-3.8	156.3	-0.8
	990329	18977.8	-208.8	158.0	0.2	154.1	-2.2
	990723	18979.7	1.9	158.3	0.3	154.7	0.6
	Total		-887.4		-5.7		-3.9
sd75	980728	18216.5		156.0		150.3	
	980901	18155.1	-61.4	155.8	-0.1	149.2	-1.1
	981027	18238.2	83.0	156.3	0.4	149.7	0.5
	Total		21.7		0.3		-0.6
sd77	980728	18011.0		154.1		151.9	
	981027	17882.8	-128.2	152.6	-1.5	151.2	-0.7
	990329	17361.3	-521.5	150.6	-2.0	148.7	-2.5
	990812	17138.3	-223.0	153.6	3.0	145.4	-3.3
	Total		-872.7		-0.5		-6.5
sd78	980728	18446.3		157.2		151.2	
	980901	18075.9	-370.3	155.5	-1.7	148.6	-2.6
	990812	17793.4	-282.5	152.7	-2.8	148.9	0.3
	Total		-652.8		-4.5		-2.3
sd79	980728	19101.4		157.9		157.7	
	981027	19121.8	20.4	158.5	0.6	155.5	-2.3
	981222	18296.1	-825.8	155.7	-2.7	151.5	-3.9
	990812	18311.6	15.5	155.2	-0.5	153.5	2.0
	Total		-789.8		-2.6		-4.2

ID	date	Area	$t_{n+1}-t_n$	Axis(max)	$t_{n+1}-t_n$	Axis(min)	$t_{n+1}-t_n$
sd80	980728	19084.5		159.7		152.8	
	980901	18436.9	-647.6	157.0	-2.7	150.1	-2.7
	990429	18162.5	-274.3	155.0	-2.0	151.3	1.1
		Total	-922.0		-4.7		-1.5
sd92	980420	16930.7		151.4		145.0	
	980901	17837.3	906.7	155.8	4.4	147.0	2.0
	990812	17055.9	-781.5	151.0	-4.8	145.1	-1.9
		Total	125.2		-0.4		0.1
sd93	980420	17854.4		158.6		147.9	
	981027	18187.9	333.5	156.2	-2.3	150.7	2.8
	990429	17726.2	-461.7	154.8	-1.4	147.3	-3.4
	990812	17805.8	79.6	152.9	-1.9	149.6	2.3
		Total	-48.6		-5.7		1.7
sd94	980420	20817.8		176.4		157.3	
	980901	21157.3	339.5	167.1	-9.3	166.4	9.2
	981222	21057.5	-99.8	169.6	2.5	161.3	-5.1
	990429	20616.2	-441.3	167.3	-2.2	158.8	-2.5
	990531	20916.6	300.4	167.5	0.1	160.7	2.0
	990812	21025.6	109.0	167.7	0.3	162.2	1.4
		Total	207.8		-8.7		4.9
sd95	980420	16597.9		147.6		143.8	
	980901	17229.0	631.1	151.5	3.9	145.3	1.5
		Total	631.1		3.9		1.5
sd97	980420	16351.4		149.2		140.0	
	981027	17214.5	863.1	149.8	0.6	147.2	7.2
		Total	863.1		0.6		7.2
sd98	980420	13791.5		139.2		127.4	
	980728	14431.9	640.4	141.0	1.8	131.0	3.6
	980901	14614.5	182.6	142.8	1.8	131.5	0.5
		Total	822.9		3.6		4.1
sd99	980420	16774.2		152.8		144.7	
	980728	17040.4	266.2	151.2	-1.6	146.2	1.5
	980901	17129.6	89.1	149.7	-1.5	148.4	2.2
	981222	17092.0	-37.5	152.7	3.0	147.1	-1.3
		Total	317.8		-0.1		2.4

ID	date	Area	$t_{n+1}-t_n$	Axis(max)	$t_{n+1}-t_n$	Axis(min)	$t_{n+1}-t_n$
sd100	980420	16237.8		146.4		141.3	
	980629	16038.1	-199.7	145.6	-0.8	140.3	-1.0
	981027	16475.8	437.8	147.5	1.9	142.2	1.9
	Total		238.0		1.1		1.0
sd102	980728	16937.2		149.7		144.2	
	980901	17068.1	130.9	150.7	1.0	144.3	0.1
	981027	17055.3	-12.8	150.0	-0.7	144.9	0.6
	Total		118.2		0.3		0.7
sd103	980728	19707.2		163.3		153.8	
	990429	17428.1	-2279.2	150.6	-12.6	147.4	-6.4
	Total		-2279.2		-12.6		-6.4
sd104	980728	16038.9		146.9		139.1	
	980901	15837.8	-201.2	145.7	-1.2	138.4	-0.7
	981027	15873.6	35.8	145.2	-0.6	139.3	0.9
	990531	15875.0	1.5	145.2	0.0	139.3	0.0
	990812	15785.0	-90.0	146.3	1.1	137.5	-1.8
Total		-253.9		-0.6		-1.6	
sd106	980728	18944.0		158.8		152.1	
	981130	18647.1	-296.9	157.4	-1.4	151.1	-1.0
	Total		-296.9		-1.4		-1.0
sd107	980728	18918.3		159.9		150.7	
	990429	18185.7	-732.6	153.0	-6.9	151.5	0.8
	Total		-732.6		-6.9		0.8
sd108	980728	18185.5		154.9		149.5	
	981027	18253.6	68.1	157.4	2.5	147.9	-1.7
	990429	18241.2	-12.4	156.7	-0.7	148.3	0.4
	990812	18323.7	82.6	157.3	0.7	148.3	0.1
	Total		138.2		2.4		-1.2
sd109	980728	18999.8		162.4		151.1	
	980901	19041.0	41.3	158.7	-3.7	154.1	3.1
	990812	18772.8	-268.2	158.8	0.1	152.2	-2.0
	Total		-227.0		-3.6		1.1
sd110	980728	17056.7		150.1		146.3	
	980901	17196.1	139.4	149.8	-0.3	146.9	0.6
	981027	17021.9	-174.2	148.5	-1.4	147.2	0.2
	990531	16601.9	-420.0	148.9	0.5	145.3	-1.9
	Total		-454.8		-1.2		-1.1

APPENDIX II. 1

PROCEDURE OF DATA ANALYSIS USING IMAGE-PRO[®]




제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



Open File

찾을 위치(F):

- 990728
- 990901
- 991027
- 990531
- Sc-110



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

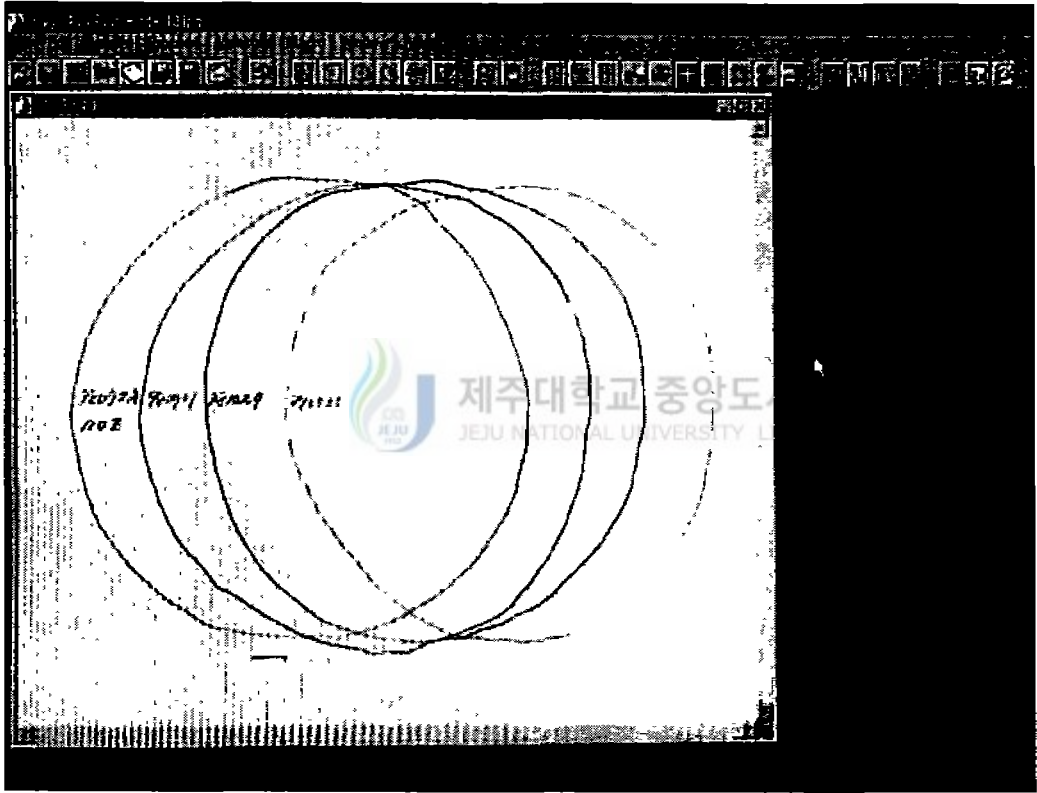
파일 이름(N):

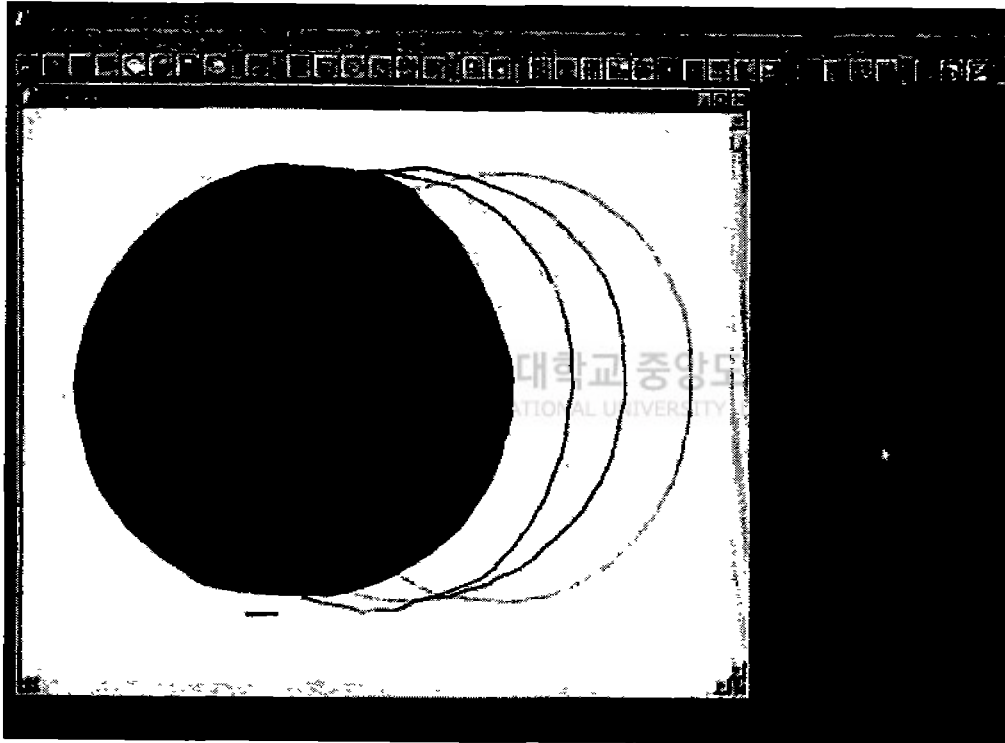
파일 형식(F): JPEG (JPG)

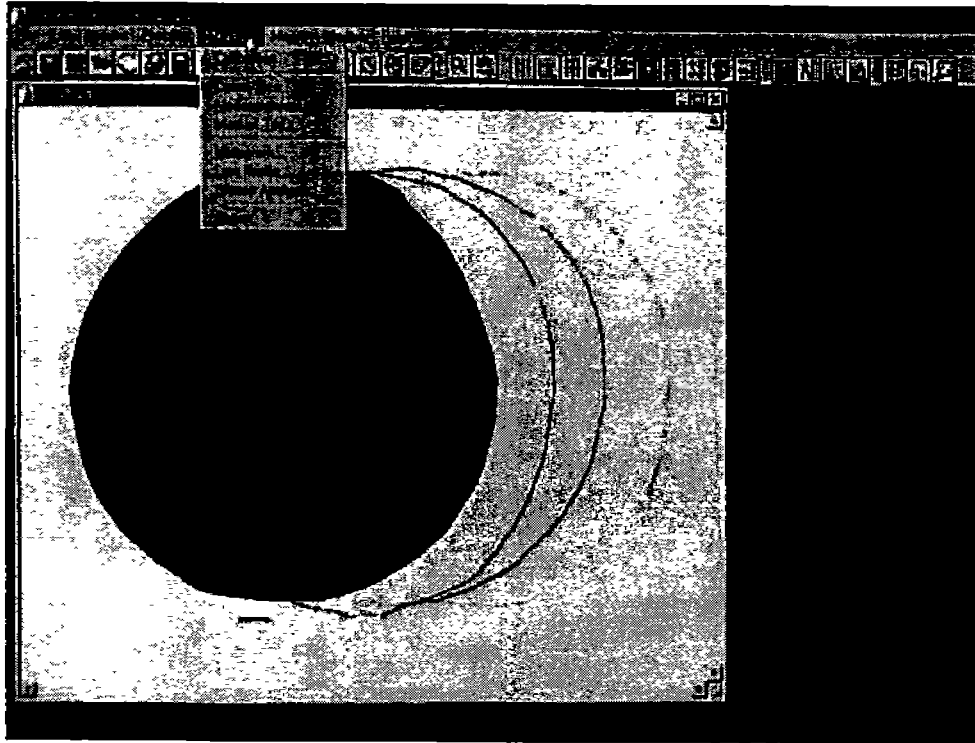
열기(O)

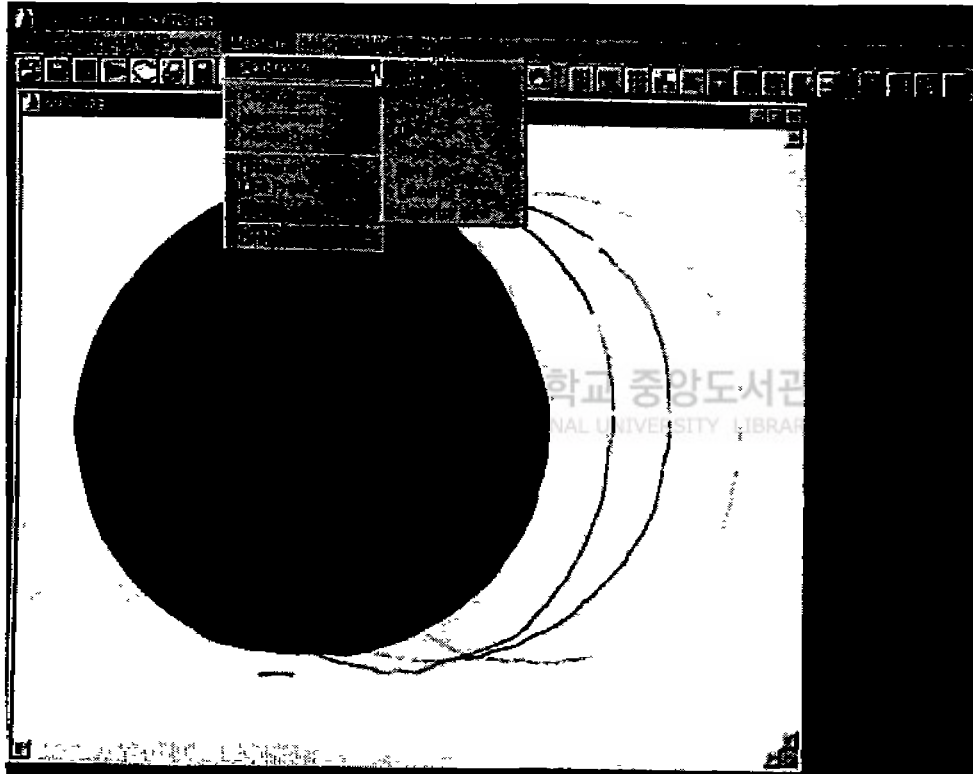
취소(C)

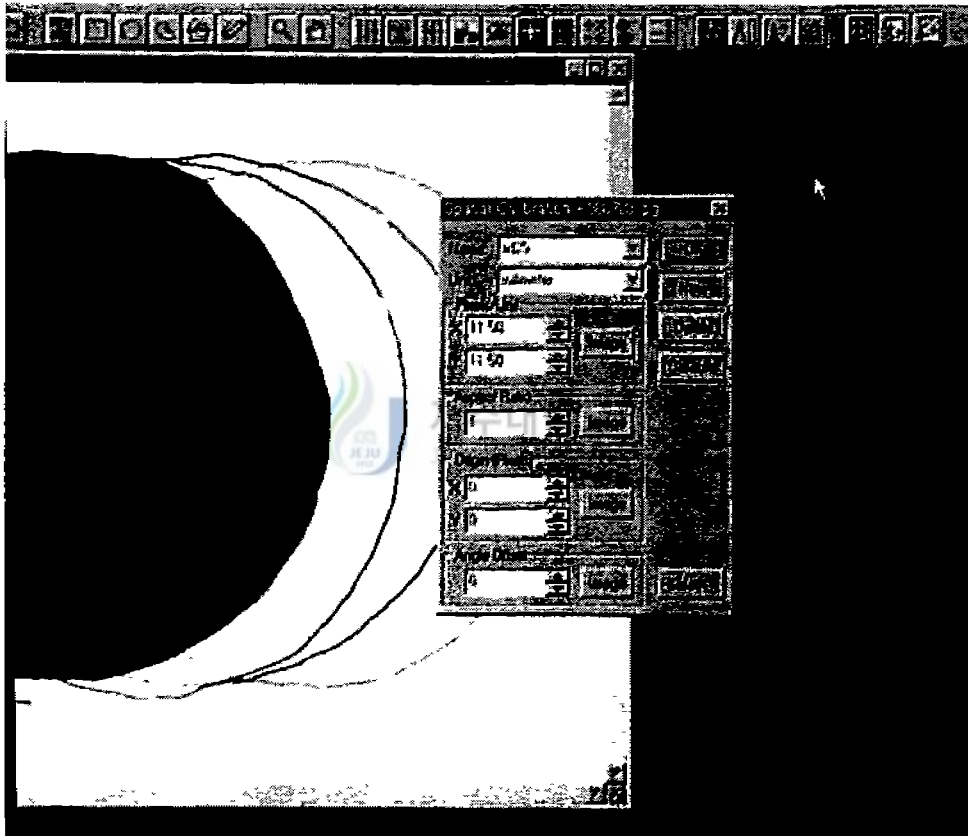
확인(Y)

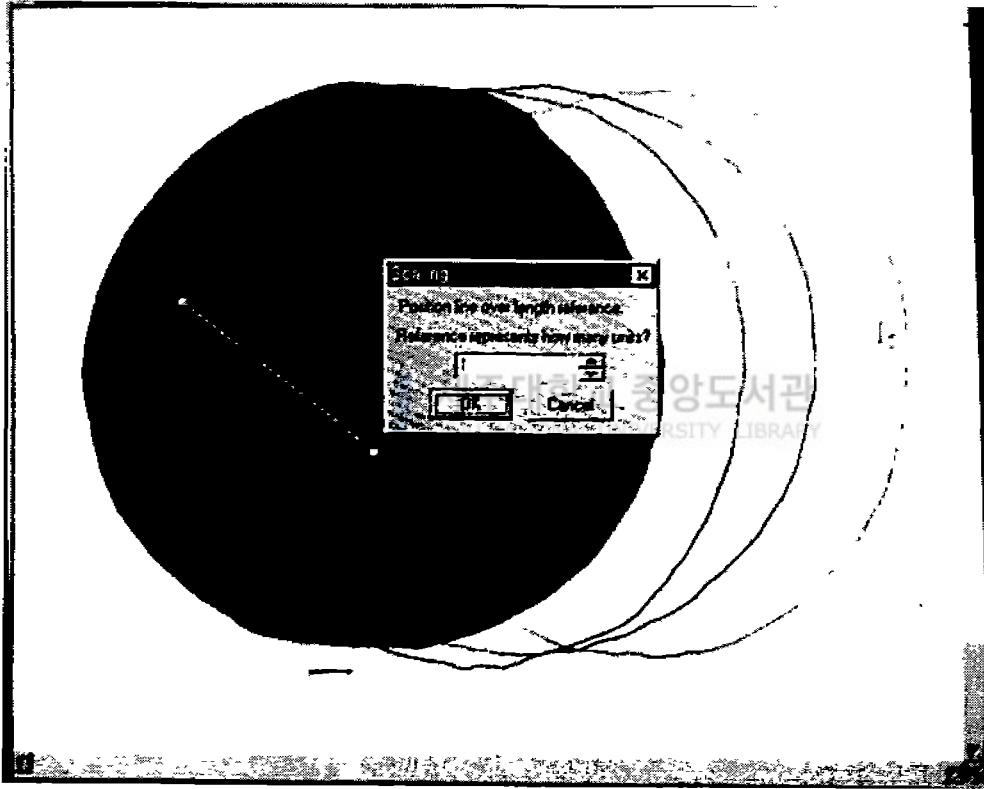


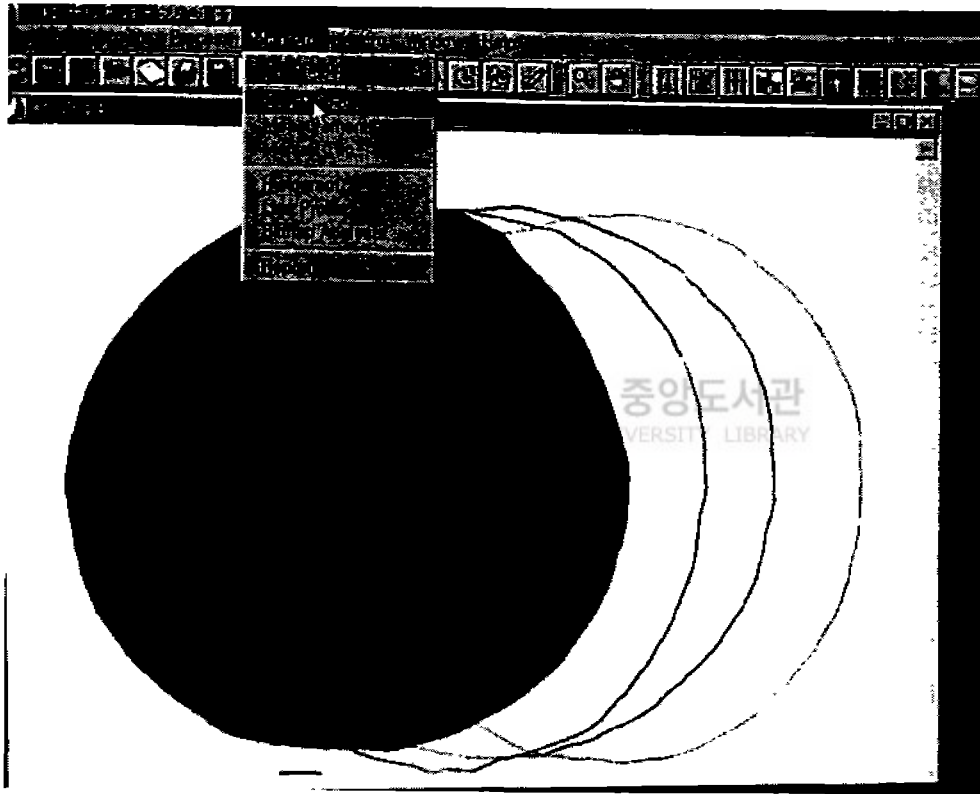


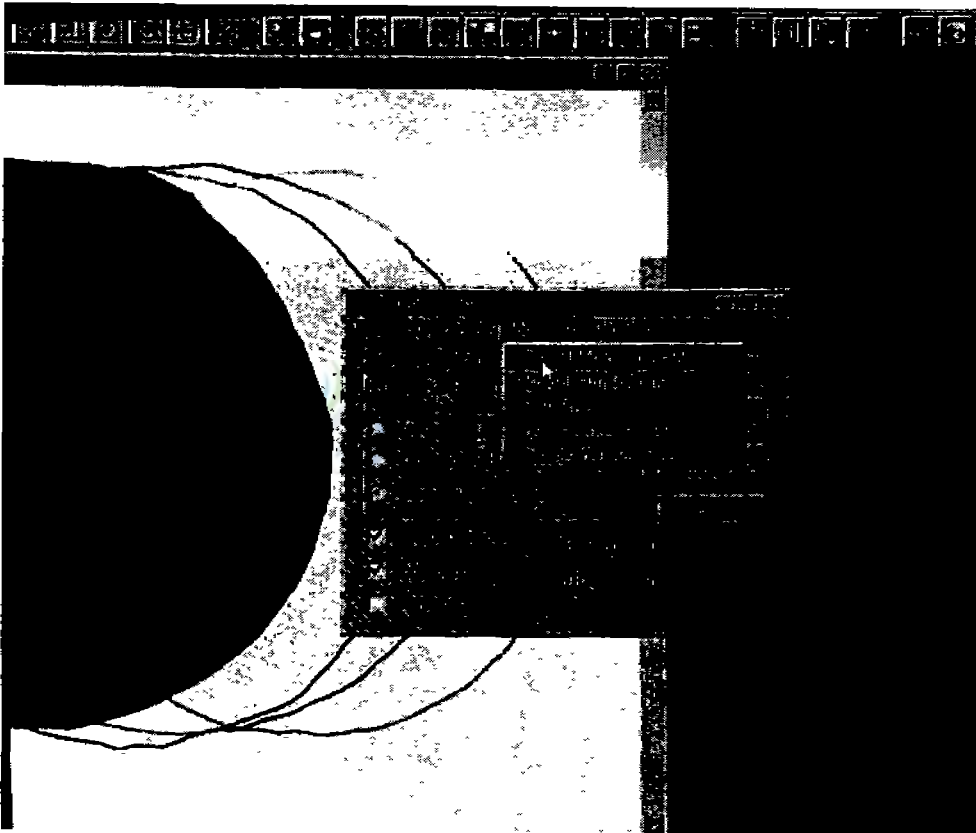


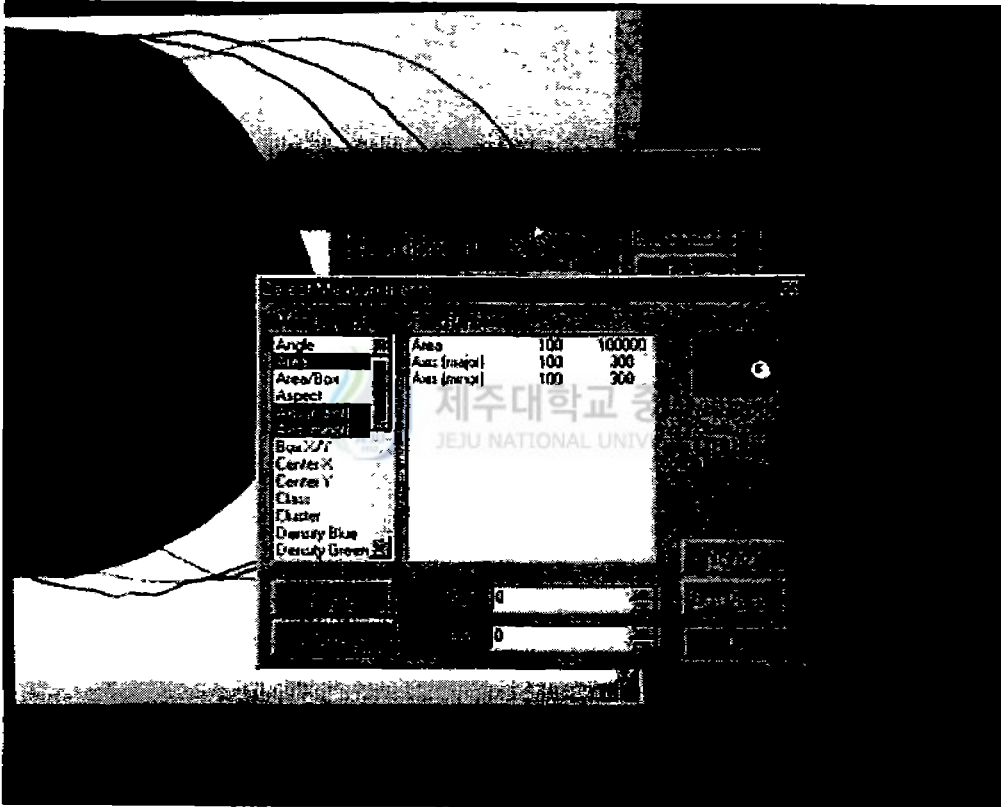


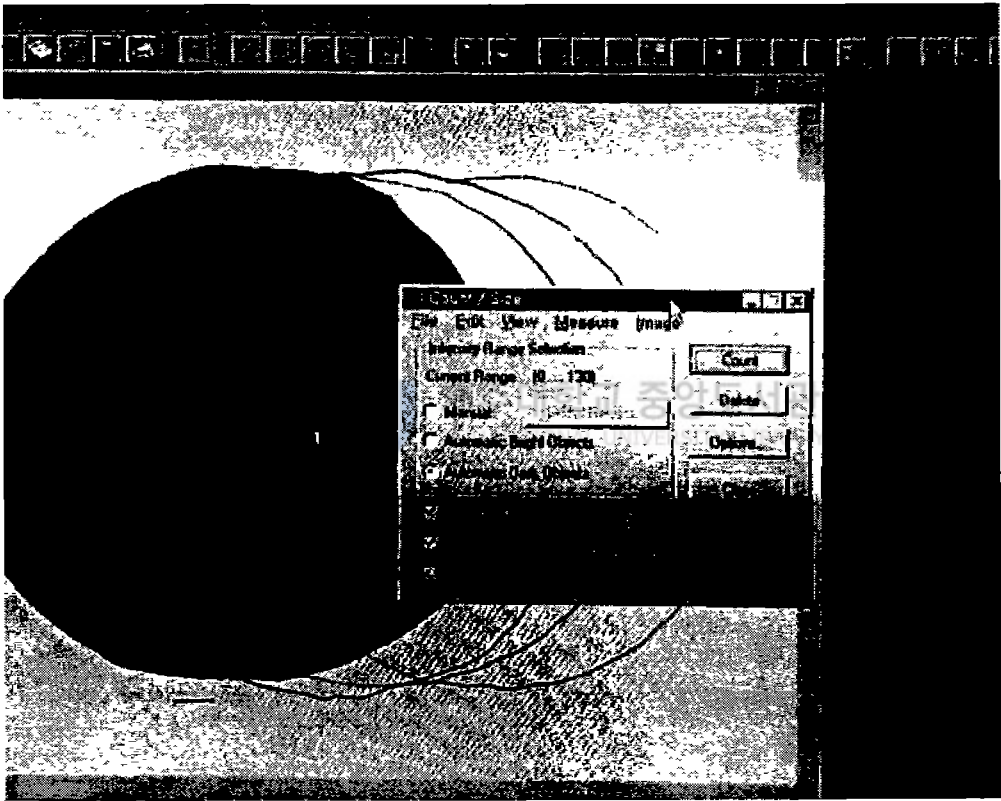










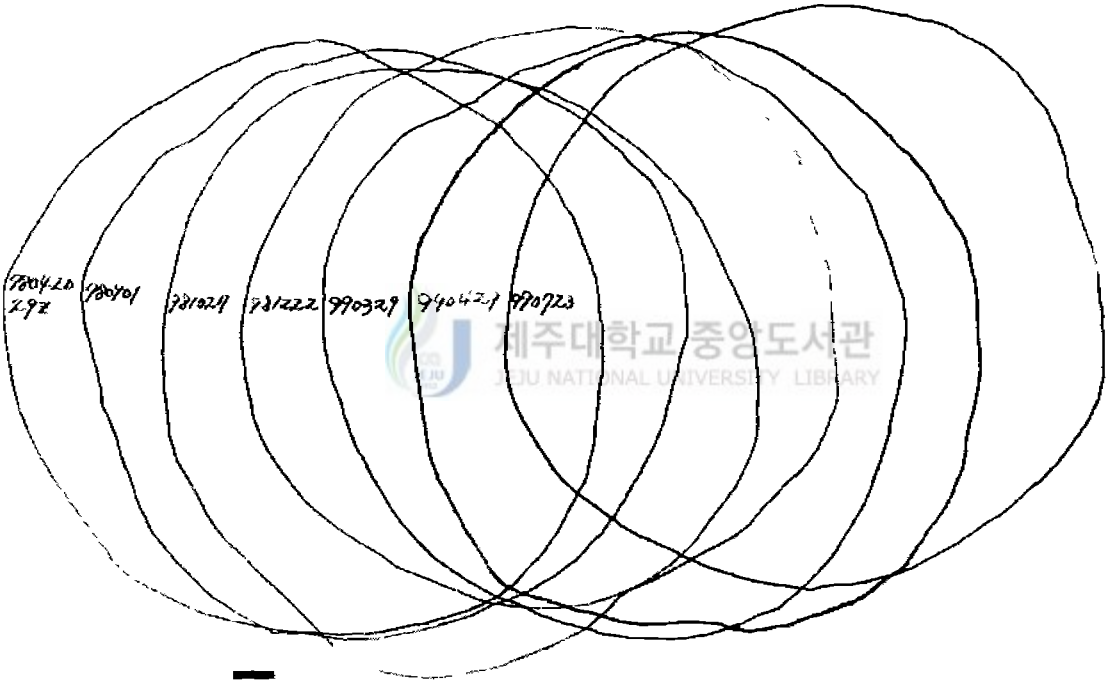


APPENDIX II. 2

RECAPTURE SHEET



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



780420
780901

781029

781222

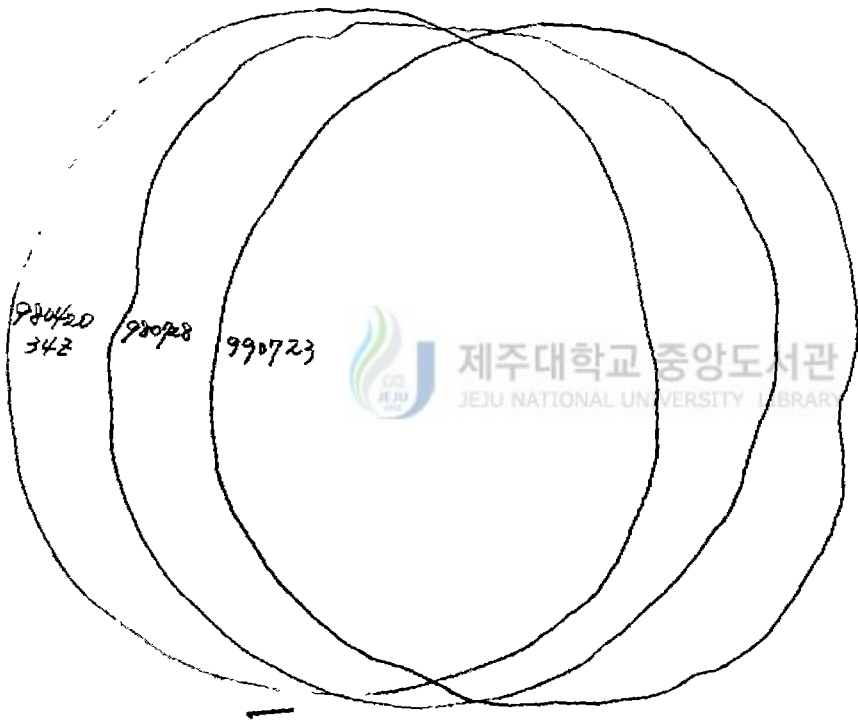
790329

790429

790723

제주대학교 중앙도서관
JJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

—



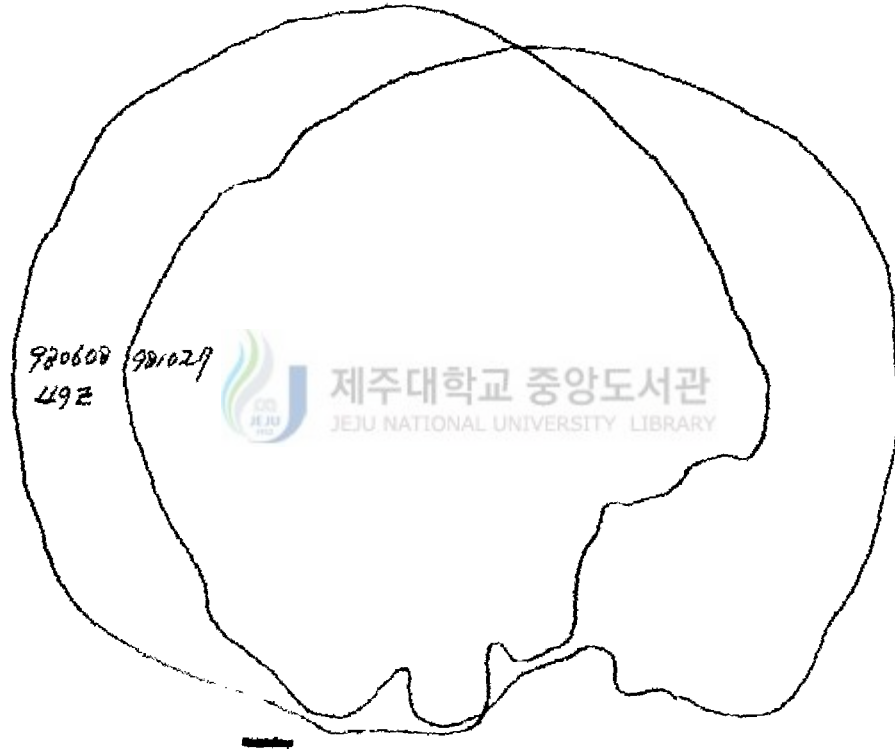
980420
342

980928

990723



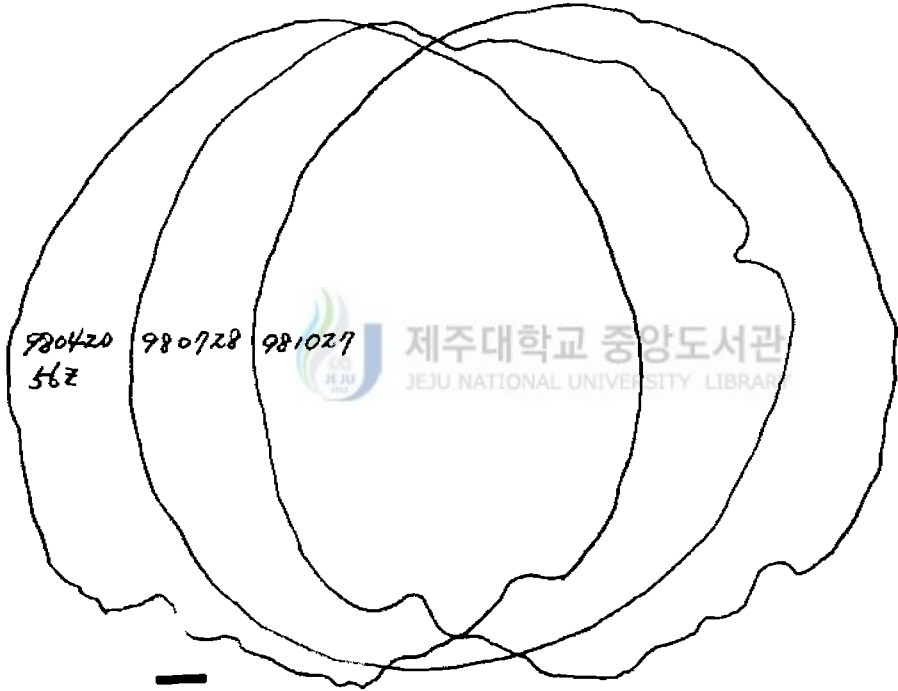
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



920608 92029
492 277



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



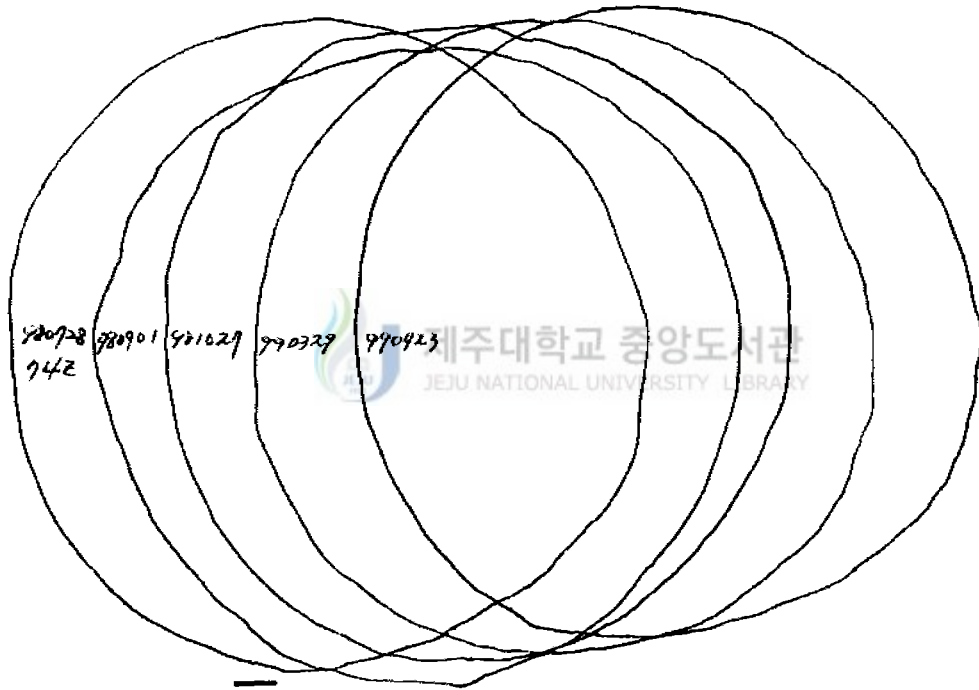
980420
567

980728

981027



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



980728
242

980901

981029

990329

990423



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

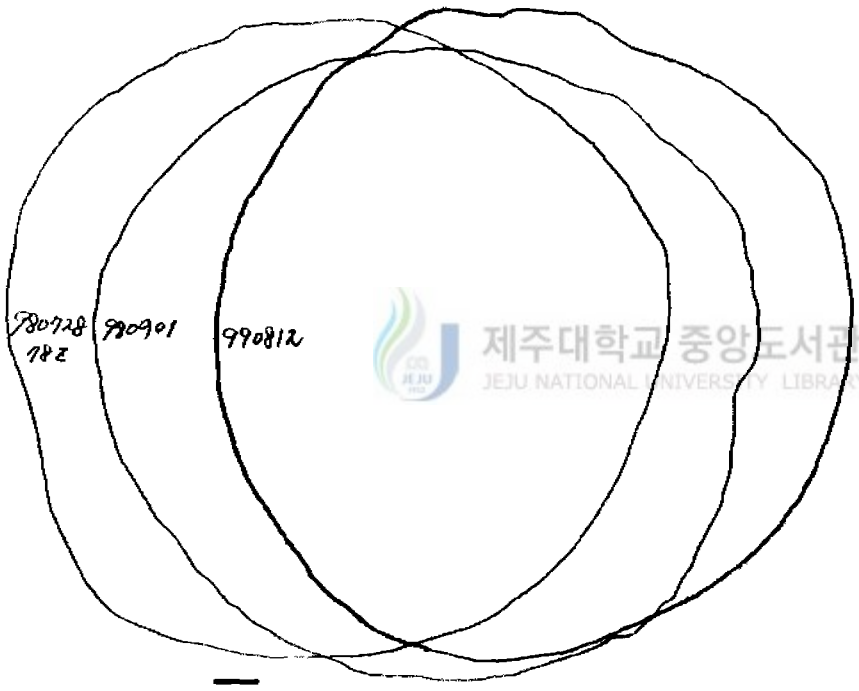
980728
757

980901

981027



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



감사의 글

즐거운 석사 과정을 보냈습니다. 석사과정에서의 모든 일이 제가 알고 있는 분들의 따뜻한 정성으로 이루어졌음을 잘 알고 있습니다. 먼저 학문적 즐거움을 이끌어주신 최광식 교수님께 깊은 감사를 드리며 제 실험에 많은 도움을 준 실험실 선후배 동료 (경일, 창호, 주한, 상균, 덕임, 창용)들에게 고마움을 전합니다. 특히 바쁘신 와중에도 논문지도와 심사에 있어 옳은 방향을 잘 잡아주시고 도와주신 정상철 교수님, 이영돈 교수님께 감사드립니다. 그리고 대학원 과정동안 관심과 격려를 주신 해양생산과학부 이정재 교수님, 이기완 교수님, 노섬 교수님, 송춘복 교수님, 이제희 교수님, 허문수 교수님, 여인규 교수님께도 감사하는 마음을 전합니다. 학문뿐만 아니라 인생의 한 부분들을 가르쳐 주시는 해양학과의 좌종헌 선배님, 이무형, 생물학과의 김택 선배님, 수산자원연구소의 고희범 박사님께도 깊은 감사를 드립니다. 또한 고향친구들, 인천의 동료, 선후배들의 도움이 컸다는 것을 항상 간직하겠습니다.

마지막으로 못난 아들이자 동생인 저를 항상 믿어주시고 더 없는 은혜와 사랑을 베풀어주시는 어머님과 가족들께 이 논문을 드리며, 변변치 못한 오빠를 위해 사랑과 믿음으로 대하는 진숙에게 고마움을 전합니다.

더 나은 학문을 위해 열심히 노력하겠습니다.