

## 디지털 이미지 분석을 이용한 부유성 유공충 화석의 권각 방향과 종 분류 결정법

신 상 훈\*

민족사관고등학교, 225-823 강원도 횡성군 안흥면 소사리 1334번지

### A Method for Determining the Coiling Ratio and Classifying Species of Fossil Planktonic Foraminifera Using Digital Image Analysis

Sang Hun Shin\*

Korean Minjok Leadership Academy, Kangwon 225-823, Korea

**Abstract:** In this study, one species of planktonic foraminifers, *Neogloboquadrina pachyderma*, which has been collected from the sediments cores in the northeast Pacific ODP sites, was computerized through using digitalized images. The foraminiferal communities were analyzed, and the coiling direction of the *N. pachyderma* was determined by using computer programming technology. In this way by applying algorithm-based method of reading, the tasks of sorting and analyzing the foraminiferal individuals and communities can be performed at high speed on a very large amount of specimens collected. It is found that the study had 90% accordance with the result of stereoscopic observation. This result suggested that digital image analysis could be successfully adopted in the field of micropaleontology.

**Keywords:** planktonic foraminifera, *Neogloboquadrina pachyderma*, digital image analysis, algorithm

**요약:** 이 연구에서는 디지털 이미지 분석법을 활용하여 북동태평양 ODP Leg 204 시추 코어 시료에서 산출된 부유성 유공충 *Neogloboquadrina pachyderma* 권각의 감김 방향을 컴퓨터 프로그래밍으로 결정하였다. 이것은 유공충 군집 이미지에서 *N. pachyderma* 개체를 자동 인식하게 한 것이며, *N. pachyderma* 권각 방향을 컴퓨터 프로그래밍으로 결정할 수 있도록 고안한 것이다. 이 알고리즘을 이용한 새로운 판독 방법을 사용한 결과 유공충 시료에 대한 정량 분석이 빠르게 수행될 수 있게 되었으며, 실체현미경을 통한 관찰 결과와 비교하였을 때 약 90% 만큼 높게 일치하였다. 이 수치는 컴퓨터를 이용한 디지털 이미지 분석이 미고생물학 분야에 성공적으로 적용될 수 있다는 점을 시사하고 있다.

**주요어:** 부유성 유공충, *Neogloboquadrina pachyderma*, 디지털 이미지분석, 알고리즘

## 서론

현생 부유성 유공충은 약 30여종이 알려져 있으며, 이들의 분포는 위도 및 기후의 영향에 따라 tropic, subtropic, transition, subpolar, polar 종으로 나뉘어진다(Be and Tolderlund, 1971). 특히 부유성 유공충의 패각은 해수의 고수온 추정에 중요한 단서를 제공해 주기 때문에 고기후 및 고환경의 연구에 널리 이용되어 왔다(Imbric and Kipp, 1971; Berger, 1971).

Murray(1897)는 계절적인 영향을 받는 부유성 유공충의 분포 경향을 밝혔으며, Schott(1935)는 퇴적물 시료의 종 구성의 변화가 기후 변화와 정확하게 대비된다는 사실을 이론적으로 설명하였다. Emiliani(1954)는 수심에 따른 부유성 유공충의 분류 방법이 완전하지 못하다고 판단하여 안정 동위원소 분석법을 이용하였다. 우리나라 부유성 유공충에 대한 최초의 연구는 포항분지 제3기 퇴적층에 대한 미고생물학적 연구에서 이루어졌다(김봉균, 1965). 그 후 유의규(1970)는 부유성 유공충 *Neogloboquadrina pachyderma*의 권각 방향을 연구하였고, 신임철(1981)은 유공충을 이용하여 포항분지의 지질시대를 규명하였다. 최근 김정무 외(1999, 2000)는 부유성 유공충과 안정

\*E-mail: Kyok6014@empal.com

Tel: 82-2-376-9471

Fax: 82-2-300-1510

Table 1. Sedimentary properties from Hole 1244C of Leg 204, NE Pacific

No.	Sample no.	Interval (cm)	Depth (mbsf)	Dry weight (g)	63 $\mu$ m (g)	Percent (%)
1	2H1	140-150	6.90	7.90	0.04	0.5
2	2H2	65-75	7.65	9.98	0.04	0.4
3	2H2	140-150	8.40	7.65	0.05	0.7
4	2H3	65-75	9.15	6.30	0.06	1.0
5	2H3	140-150	9.90	6.45	0.05	0.8
6	2H4	65-75	10.65	5.86	0.03	0.5
7	2H4	140-150	11.40	4.42	0.03	0.7
8	2H5	65-75	12.15	5.06	0.06	1.2
9	2H5	140-150	12.90	9.50	0.04	0.4
10	2H6	65-75	13.65	7.81	0.06	0.8
11	2H6	140-150	14.40	6.17	0.04	0.6
12	2H7	64-74	15.14	4.87	0.04	0.8
13	3H1	140-150	16.40	4.43	0.02	0.5
14	3H2	140-150	17.90	6.88	0.04	0.6
15	3H3	140-150	19.40	3.49	0.02	0.6
16	3H5	140-150	22.40	4.26	0.04	0.9
17	3H6	140-150	23.90	6.14	0.03	0.5
18	3H7	84-94	24.84	4.53	0.06	1.3
19	4H2	135-150	27.35	9.41	0.04	0.4
20	4H5	135-150	31.85	5.21	0.02	0.4
21	5H2	135-150	36.85	6.71	0.02	0.3
22	5H5	135-150	41.35	5.01	0.02	0.4
23	6H2	135-150	46.35	5.95	0.03	0.5
24	6H5	135-150	50.71	6.95	0.03	0.4
25	7H2	135-150	54.79	4.76	0.03	0.6
26	7H5	135-150	58.97	7.85	0.03	0.4
27	8H2	135-150	64.37	3.82	0.00	0.0
28	8H5	135-150	68.87	9.36	0.03	0.3
29	9H2	135-150	74.85	6.74	0.01	0.1
30	9H5	135-150	79.35	6.70	0.02	0.3
31	10H2	55-70	83.55	7.25	0.05	0.7
32	10H5	135-150	88.38	6.25	0.02	0.3
33	11H2	135-150	93.08	5.91	0.03	0.5
34	11H5	135-150	97.58	3.96	0.06	1.5
35	12H2	135-150	103.35	6.46	0.03	0.5
36	12H5	135-150	107.85	6.99	0.03	0.4
37	13H2	135-150	112.85	6.13	0.00	0.0
38	13H5	135-150	117.35	9.61	0.57	5.9
39	15H2	135-150	123.85	6.12	0.00	0.0
40	15H5	135-150	128.35	3.66	0.00	0.0
41	17H2	30-45	133.70	5.00	0.00	0.0
42	19X2	135-150	145.85	3.63	0.00	0.0
43	19X5	85-100	149.85	4.15	0.00	0.0
44	20X3	135-150	153.85	9.94	0.00	0.0
45	21X3	135-150	163.15	4.99	0.00	0.0
46	22X3	135-150	172.65	5.93	0.03	0.5
47	23X3	135-150	182.25	5.27	0.01	0.2
48	24X3	135-150	191.45	4.11	0.00	0.0
49	25X3	135-150	200.75	5.44	0.02	0.4
50	26X3	135-150	210.45	6.30	0.01	0.2
51	27X3	130-150	220.10	6.65	0.00	0.0
52	28X3	120-150	229.70	6.53	0.02	0.3
53	29X3	120-150	238.56	7.10	0.05	0.7

동위원소를 이용하여 고해양 및 고기후를 해석하였다.  
이와 같이 부유성 유공충 군집 조성에 대한 연구는

앞으로의 기후 변화 모델 개발에 필요한 자료를 확보하려는 데 그 목적이 있다. 따라서 유공충 시료에

**Table 2.** Sedimentary properties from Hole 1251B of Leg 204, NE Pacific

No.	Sample no.	Depth (mbsf)	Interval (cm)	Dry weight (g)	63 $\mu$ m (g)	Percent (%)
1	1H02	2.95	145-150	4.03	0.00	0.0
2	1H05	7.45	145-150	5.89	0.02	0.3
3	3H02	21.43	145-150 (IWSE)	6.48	0.03	0.5
4	3H02	21.43	145-150 (IWSO)	3.78	0.01	0.3
5	3H04	24.41	140-150	3.93	0.01	0.3
6	4H02	31.00	140-150	6.34	0.04	0.6
7	4H05	35.50	140-150	4.31	0.02	0.5
8	5H02	40.41	131-141	7.54	0.03	0.4
9	5H05	44.84	138-150	5.05	0.02	0.4
10	6H05	53.61	131-141	5.32	0.00	0.0
11	7H02	59.50	140-150	6.33	0.03	0.5
12	7H05	64.00	140-150	6.65	0.01	0.2
13	8H02	69.00	140-150	5.74	0.03	0.5
14	8H05	73.38	140-150	4.06	0.02	0.5
15	10H02	88.00	140-150	8.55	0.03	0.4
16	10H04	91.00	140-150	7.12	0.02	0.3
17	11H02	96.84	74-94	9.18	0.02	0.2
18	11H05	100.74	70-90	9.77	0.00	0.0
19	13H02	108.55	130-150	4.35	0.01	0.2
20	13H05	112.85	130-150	4.34	0.01	0.2
21	14H02	117.91	130-150	9.05	0.01	0.1
22	14H05	122.41	130-150	7.77	0.07	0.9
23	15H02	127.90	130-150	4.00	0.07	1.8
24	15H05	132.34	124-144	6.17	0.14	2.3
25	16H02	137.40	130-150	12.53	0.06	0.5
26	16H05	141.81	121-141	7.15	0.09	1.3
27	17H02	146.90	130-150	6.58	0.06	0.9
28	17H05	150.90	80-100	7.39	0.02	0.3
29	19H02	158.16	130-150	9.53	0.16	1.7
30	19H04	161.08	130-150	9.32	0.05	0.5
31	20H02	165.98	130-150	6.05	0.01	0.2
32	20H05	170.48	130-150	6.48	0.01	0.2
33	22H02	175.50	130-150	5.43	0.02	0.4
34	22H04	178.48	128-148	6.85	0.03	0.4
35	23H02	185.00	130-150	5.10	0.02	0.4
36	23H04	187.72	102-122	5.17	0.03	0.6
37	26X02	205.83	130-150	4.32	0.00	0.0
38	26X04	209.88	130-150	6.81	0.04	0.6
39	27X02	216.25	125-150	5.79	0.14	2.4
40	27X05	220.75	125-150	4.24	0.01	0.2
41	28X02	225.85	125-150	5.93	0.03	0.5
42	28X04	228.85	125-150	6.23	0.03	0.5
43	29X02	235.55	125-150	5.37	0.04	0.7
44	30X02	245.15	125-150	5.71	0.02	0.4
45	30X04	248.00	110-135	7.62	0.09	1.2
46	31X02	254.76	116-141	6.64	0.05	0.8
47	32X02	264.45	125-150	5.29	0.02	0.4
48	33X02	274.05	125-150	7.14	0.08	1.1
49	33X05	278.55	125-150	7.87	0.06	0.8
50	34X02	283.78	128-148	5.36	0.15	2.8
51	34X05	288.13	130-150	7.35	0.05	0.7
52	36X02	295.40	130-150	7.49	0.04	0.5

Table 2. Continued

No.	Sample no.	Depth (mbsf)	Interval (cm)	Dry weight (g)	63 $\mu\text{m}$ (g)	Percent (%)
52	36X02	295.40	130-150	7.49	0.04	0.5
53	36X05	299.40	80-100	11.20	0.23	2.1
54	37X03	304.80	120-150	7.82	0.22	2.8
55	38X03	314.60	130-150	11.62	0.08	0.7
56	39X03	324.20	130-150	10.44	0.07	0.7
57	41X02	333.40	130-150	6.36	0.01	0.2
58	42X03	343.50	130-150	5.63	0.02	0.4
59	43X02	350.43	130-150	7.98	0.01	0.1
60	44X03	362.70	130-150	6.78	0.00	0.0
61	45X03	372.30	130-150	7.26	0.06	0.8
62	46X03	381.90	130-150	6.10	0.03	0.5
63	47X03	391.60	130-150	5.36	0.02	0.4
64	49X03	402.20	130-150	8.61	0.06	0.7
65	50X03	410.80	130-150	9.78	0.02	0.2
66	51X03	420.50	130-150	9.75	0.10	1.0
67	52X03	430.10	130-150	5.94	0.01	0.2
68	53X03	439.78	130-150	11.22	0.04	0.4

대한 신속한 정량분석은 연구 시간의 단축과 결과의 객관성이 확보되는 중요한 작업이라고 할 수 있다. 그런데, 최근까지 고생물학자들은 유공충 시료를 편광현미경, 실체현미경, 전자현미경 등을 이용한 전통적 관찰법을 사용해왔다. 이런 과정들은 지질학자들이 유공충으로 기후 변화를 연구하기에 앞서 유공충 분류에 지나치게 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

본 연구에서는 유공충 분류의 효율성과 기후 변화의 중요한 단서가 되는 유공충 권각 방향 판단의 정확성을 높이기 위해서 디지털 영상처리 방법을 활용한 알고리즘으로 새로운 대체 방법을 제시하고자 한다.

## 재료 및 분석 방법

미국 동부 오레건주의 북동태평양 해안에 위치한 하이드레이트 해령(Hydrate Ridge)에서는 고기후와 고해양 변화를 밝히기 위하여 국제 공동 해양 굴착 사업이 지금도 진행되고 있다(Fig. 1; 한국해양연구원, 2003). 이번 연구에서는 부유성 유공충을 분류하고 권각 방향을 분석하기 위하여 최근 발굴되고 있는 북동 태평양에 위치한 후안데푸카 판(Juan de Fuca plate) 하이드레이트 해령 남부의 ODP Leg 204 시추 지점에서 채취한 2개의 시추퇴적물 시료(1244C, 수심 약 900 m; 1251B, 약 1,200 m)를 사용하였다.

위 지역에서 채취한 시추퇴적물을 퇴적 깊이에 따라 일정 간격으로 약 5~10 g씩 1244C 코아 68개와 1251B 코아 53개, 총 121개의 시료를 채취하고 약 50°C의 전기 건조기에서 완전 건조시킨 후, 전자저울

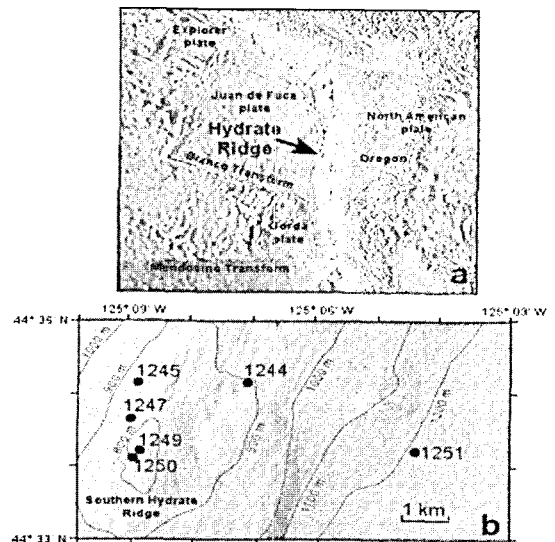


Fig. 1. a. Location of Hydrate Ridge; b. Location of sites for the Holes 1244C and 1251B in Oregon continental margin, NE Pacific.

(OHAUS, model Scout, USA)을 이용하여 소수점 2 자리까지 무게를 재고 퇴적물의 특징을 기재하였다. 건조된 시료들은 구경 63  $\mu\text{m}$  체로 세척하여 퇴적물을 선별하였다. 채취한 시료 중 무작위로 추출한 40 개를 자동 분류 시스템의 시료로 사용하였다(Table 1 & 2).

본 연구에서는 이미지 획득을 위하여 500만 화소의 Nikon E5400 보급형 디지털 카메라를 사용하여 -2의 contrast 값으로 유공충의 입(aperture)과 개체의

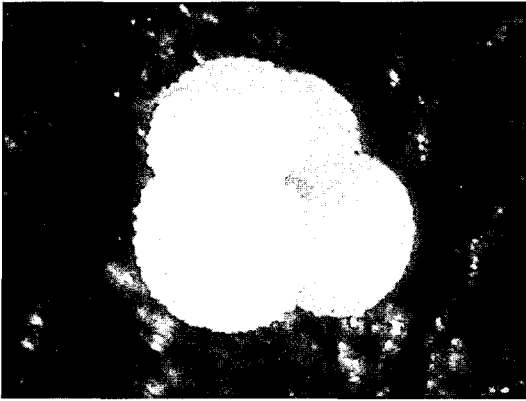


Fig. 2. *N. pachyderma(d)* aperture.

세밀함을 나타내도록 하였다. 또 조리개 값은 8, 셔터스피드는 1/250로 고정시켜 촬영하였다. 광원은 광섬유를 이용하여 두 방향에서 같은 세기의 빛이 조사되는 조명기를 사용하여 이미지를 촬영하였다. 또한, 그레이카드를 이용하여 정확한 색온도를 측정하였으며, 조명기 빛을 비춘 후 카메라의 preset whitebalance 기능을 이용하여 초기 설정값을 정하였다. 선명도 요소는 세밀한 부분의 표현력도 증가시킬 수 있으므로 카메라 설정에서는 +1의 sharpness만 주었다. negative는 촬영된 이미지로 색반전을 시키면 흰색으로 보였던 부분은 검은색, 검은색으로 보였던 부분은 흰색으로 보이는데 이러한 변화도 판독에 도움이 된다(Gonzalez, 2002). 지금까지 언급한 후처리를 공통적으로 적용시키면 이미지 판독에 있어 최적화된 수치를 얻을 수 있으므로, 이 과정에서 표면 상태가 가장 양호한 이미지 표본을 확보하였다(Fig. 2).

이 연구에서는 컴퓨터 알고리즘을 통해서 자동으로 최적화된 사진을 인지하고, 군집 유공충 중에서 *N. pachyderma*와 다른 종의 개체가 몇 개 인지를 자동으로 인식하여 고전적인 방법으로 분류했을 때의 결과와 비교 분석하였다. 또한, *N. pachyderma* 권각 방향을 결정하는 알고리즘을 제시하고, 이를 통해서 얻은 그래프와 도표로 기후를 예측할 수 있는 시스템 구축의 가능성을 제시하였다.

## 결과 및 고찰

이 연구에 사용된 한랭성 유공충 종인 *Neogloboquadrina pachyderma*는 퇴적된 지역의 기후 변화에 민감하게 반응하여, 해수 온도가 낮아지면 오른쪽으로 감긴 *N.*

*pachyderma(s)*의 존재 비율이 우세해지고, 해수 온도가 올라가면 왼쪽으로 감긴 *N. pachyderma(d)*의 존재 비율이 우세해진다. 기후 변화를 측정할 수 있는 유공충의 방은 뒷면을 기준으로 하기 때문에 오른쪽으로 감긴 것이 dextral, 왼쪽으로 감긴 것이 sinistral이지만(유외규, 1970), 컴퓨터 자동인식 프로그램에서는 앞면을 기준으로 판단하므로 오른쪽으로 감긴 것을 sinistral, 왼쪽으로 감긴 것을 dextral로 정의하였다(Shin et al., 2004). 이 연구 과정에서 사용한 컴퓨터 프로그램 Matlab은 C언어에 비해 속도가 느린 단점이 있으나, 이미지 프로세싱에 대한 함수들이 toolbox에 기본적으로 존재하는 장점이 있다(Parker, 1996).

이 연구 수행의 목표인 새로운 판독 방법 제시를 위한 전체 알고리즘의 흐름도는 Fig. 3과 같다.

### 유공충 자동 분류를 위한 알고리즘의 부분 기능 고찰

다음은 알고리즘을 기능별로 구분 설명한 것이다.

*imgSeqMax* = (number); %처리하고자 하는 군집 이미지의 수이다.

*imgPath* = 'c:\'; %c:\에 있는 이미지를 불러온다.

*noiseObjAreaThr* = 300; % 300픽셀 이하의 개체는 *N. pachyderma*가 아니라고 판단하고 제거한다.

*noiseMouthAreaThr* = 10; % 10픽셀 이하의 영역은 입이 아니라고 판단하고 제거한다.

*otherObjAreaThr* = *noiseObjAreaThr* \* 5; % 300\*5 픽셀 이상의 개체는 다른 종이라고 판단한다.

*staResult* = zeros(*imgSeqMax*, 4); % dextral, sinistral, others, 처리 불가능한 4항목의 데이터를 저장한다.

위의 과정은 동일한 배율 하의 이미지에서 *N. pachyderma*의 평균 픽셀 수치를 찾고, 그에 따른 픽셀값 기준을 설정하는 것이다. 이 픽셀값에 따라 *N. pachyderma*와 크기가 다른 유공충 종이 구분된다. 또 하나의 픽셀값 기준으로 *N. pachyderma* 안에 있는 입 부분이 결정되며 filtering된 데이터는 Dextral, Sinistral, others, unjustify의 4 항목으로 구분하여 저장된다.

Fig. 4는 포토샵을 이용하여 *N. pachyderma*의 크기를 측정하는 것이다. 점선으로 표현된 사각형에 내접한 개체의 크기는 가로 30개 세로 30개, 총 900개의

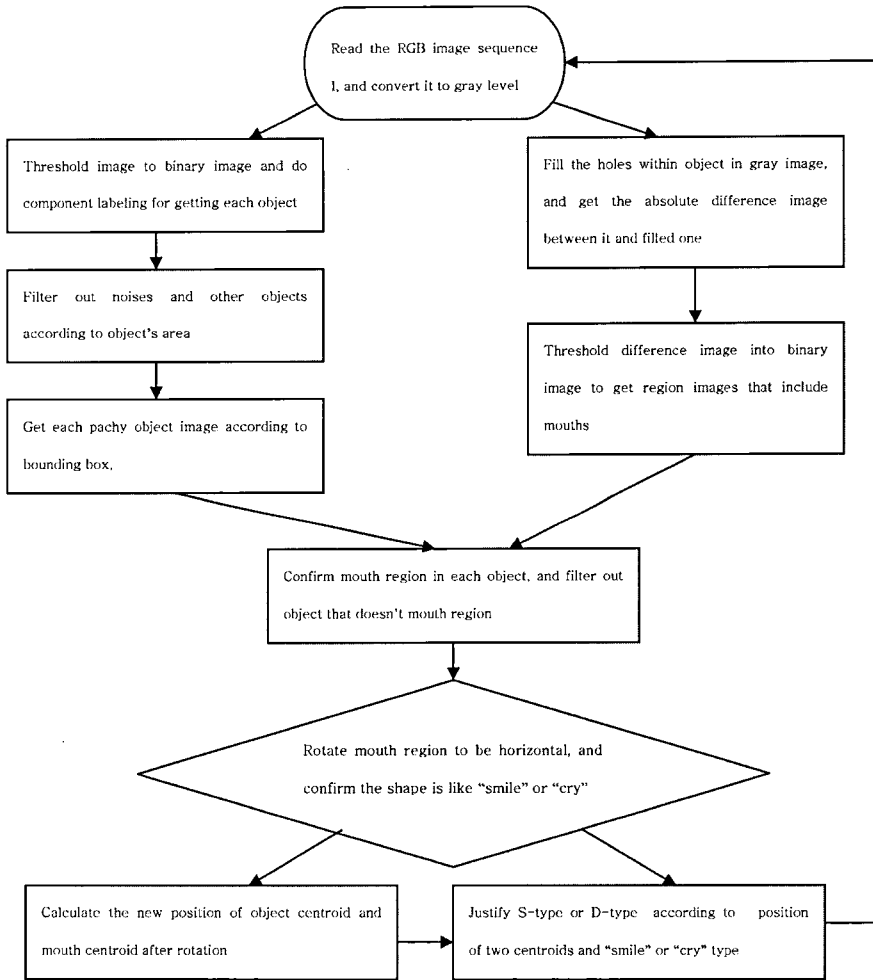


Fig. 3. Flowchart of algorithm.

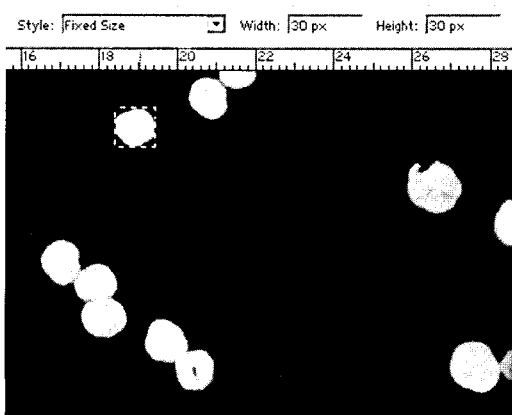


Fig. 4. *N. pachyderma* having around 900 pixels.

픽셀로 구성되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 5에서는 유공충 군집 이미지에서 *N. pachyderma*를 구분해내기 위해 다른 유공충 종의 픽셀수를 측정하였다. 다른 종은 약 가로 100개 세로 250개로, 총 25,000개의 픽셀로 구성되어 있다. 두 개체간의 픽셀 개수 차이로 종을 분류한다.

```

for i = number:
    curImgFileName = strcat(imgPath, 'new_total', num2
str(i),'.jpg');
    imgBuf_RGB = imread(curImgFileName); % 이미지를
    연다.
    imgBuf_Gray = rgb2gray(imgBuf_RGB); % rgb gray
    색으로 바꾼다.
  
```

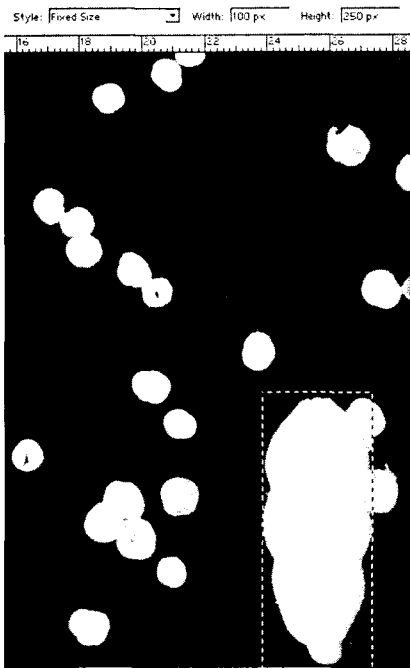


Fig. 5. Other objects have over 25,000 pixels.

```
imgBuf_GrayFilled = imfill(imgBuf_Gray, 'holes');
% 입부분을 주위와 비슷한 색으로 메운다.
% grayscale 이미지를 binary 이미지로 변환한다.
objThr = graythresh(imgBuf_GrayFilled); %0~256(흰
색)에서 코드값을 정한다.
objBuf_Bin = im2bw(imgBuf_GrayFilled,objThr); %
코드값을 기준으로 binary image로 바꾼다.
```

위의 과정은 유공충 패각 크기 구분의 중간 과정으로, 유공충 개체가 *N. pachyderma*인지, 크기 차가 나는 다른 종인지, 아니면 이미지 상의 잘못된 픽셀 인지를 명확하게 구분하기 위해 이진화 이미지로 변환하는 과정이다. 이때 이용되는 `graythresh` 명령어는 자동으로 배경과 개체를 구분시켜 주기위해 중간 기준값을 결정해 주는 명령어로서 이미지의 히스토그램에서 peak가 2개인 경우 배경과 개체를 구분 짓는다. 특히 배경이 단순하고 유사한 개체가 많은 유공충 군집 이미지에서는 이 방법을 사용하면 효과적이다. 이렇게 `graythresh` 명령어를 사용하여 0~256의 grayscale 범위에서 기준값을 정하게 되면, 이 기준에 의해 binary image(검은색과 흰색으로만 이루어진 이미지)로 변환된다. 이렇게 binary image(이진화 이미지)로

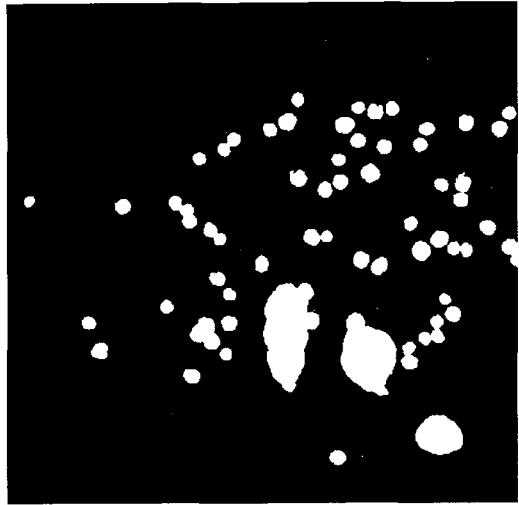


Fig. 6. Binary image.

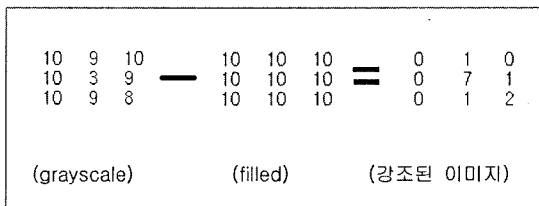
변환되면, Fig. 6와 같이 각 개체가 몇 개의 픽셀로 이루어져 있는지 명확하게 판단할 수 있다.

```
%분할된 각 개체에 번호를 매긴다.
[objBuf_Label, objNo] = bwlabel(objBuf_Bin, 4);
%입을 명확하게 처리하여 추출한다.
mouthBuf_Bin = imabsdiff(imgBuf_Gray, imgBuf_
GrayFilled);
%이미지 차이의 절대값을 구하여 입이 선명하게
표현되도록 한다.
mouthThr = graythresh(mouthBuf_Bin); % 입을 선
명하게 이진화 이미지로 변환한다
mouthBuf_Bin = im2bw(mouthBuf_Bin, mouthThr);
%이진화 이미지
figure; imshow(objBuf_Bin);
N. pachyderma 인지, 다른 종인지, 아니면 영상 결
함인지 판단한다.
objPachy_Box = regionprops(objBuf_Label, 'basic');
figure;
for j = 1: objNo
% Noise region case
if (objPachy_Box(j).Area < noiseObjAreaThr) %300
픽셀 이하인 개체는 걸러낸다.
continue;
end
% Other object region case
```

```

if (objPachy_Box(j).Area > otherObjAreaThr)
%곱하기 5한 것 보다 큰 개체는 걸러낸다.
staResult(i, 3) = staResult(i, 3) + 1; %3번째 항목
에 기록 +1
continue;
end
    
```

이 단계는 *N. pachyderma* 내부의 입 부분을 강조하는 과정이다. 이 입 부분을 강조하는 원리는 다음과 같다.



이 과정은 밝기값을 나타내는 픽셀을 하나의 수치로 나타낸 것이며, 원래 이미지에서 입이 메워진 이미지의 픽셀값 차에 대한 절대값을 구한 것이다. 이때 명도 값 차가 큰 픽셀은 이 과정을 거쳐 좀 더 대비된 픽셀값을 가지게 된다. 먼저 취득한 이미지를 grayscale로 변환한 것에서 입 부분을 메운 이미지를 빼면, 각 픽셀은 0에서 256의 범위값을 가지는데 256에 접근할수록 흰색, 0에 접근할수록 검은색을 나타낸다. 3으로 표현된 수치는 grayscale 이미지에서 다른 부분보다 어두운 입 부분이다. 원래 이미지에서 입부분을 채워넣은 이미지를 빼고 픽셀값의 절대값을 취하게 되면, 입 부분만 흰색에 가깝게 강조된다.

이 방법을 통해 입과 주변부의 픽셀값 차이를 더욱 명확하게 볼 수 있다. 이어지는 과정은 binary image로 변환된 개체의 픽셀에 번호를 매겨서 각각의 개체가 *N. pachyderma*인지 다른 종인지 아니면 영상 결합인지 판단하게 된다. 만약 *N. pachyderma*인 경우라면 입 모양 분석 단계로 넘어가며, 다른 종류인 경우는 표에 개수를 기록하게 되고, 영상 결합인 경우는 배제하게 된다.

```

% 개체 내부에서 입 부분을 찾아내는 작업이다.
[mouthRegion_Label, mouthNo] = bwlabel(mouth
Region_Bin, 4);
%박스 안에 있는 것에서 입이 될 수 있는 것에 대
한 번호매김이다.
    
```

```

mouthRegion_Box = regionprops(mouthRegion_
Label, 'all');
if (mouthNo == 0)
continue;
end
tempMaxArea = 0;
maxLabelNo = 0;
for m = 1: mouthNo
if (mouthRegion_Box(m).Area > tempMaxArea)
%전부 번호 매김 한 후 제일 큰 것을 찾는다.
tempMaxArea = mouthRegion_Box(m).Area;
maxLabelNo = m;
end
end
if (tempMaxArea < noiseMouthAreaThr)
%제일 큰 것이 10보다 작으면 처음 단계로 간다.
continue;
end
    
```

이 단계는 전 과정에서 grayscale-filled의 값을 절대값으로 취하여 입을 강조한 이미지를 이진화 이미지로 변환시켜 입과 개체의 차가 더 커지게 하는 것이다. 이 과정은 다른 종과 영상 결합이 제외된 상태이므로 *N. pachyderma*가 입이 있는지 없는지만을 판단하게 된다. 일단 개체 내부 흰 점들을 각각 다른 개체로 인식하게 되고, 내부 픽셀에 번호를 매긴 후 입으로 추정되는 개체들 중에서 가장 큰 픽셀 개수를 가지는 개체를 찾아내게 된다. 가장 큰 픽셀수를 가지는 개체가 10 이상이면 입이 보이는 앞면으로 인식하여 모양을 분석하게 되며, 10보다 작으면 입이 보이지 않는 옆면이나 뒷면으로 인식하고 판단이 불가능한 것으로 처리하게 된다.

*N. pachyderma*는 4개의 방과 장미 모양의 미세 표면구조를 가지고 있다(Kennett and Srinivasan, 1983). Fig. 7은 SEM으로 촬영된 뒷면, 옆면, 앞면 사진이다. 이 과정에서 입이 10 픽셀 이상으로 보이는 앞면과 10 픽셀보다 작게 보이는 옆면, 전혀 보이지 않는 뒷면 중에서 앞면이 나타난 개체를 판단하게 된다. 다음은 개체의 입이 나타나 있는 앞면에서 입의 orientation(X축에 대해 기울어진 각도)을 측정하고, bounding box로 둘러싼 후 입 모양의 무게중심(centroid)을 결정한다.

Fig. 8과 같이 입의 무게 중심이 박스의 중심선보



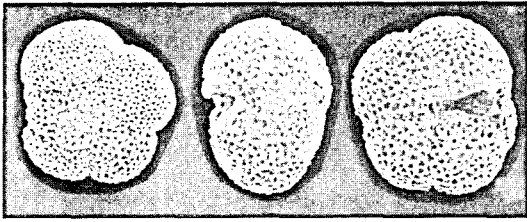


Fig. 7. Spiral, side and umbilical views by sequence order.

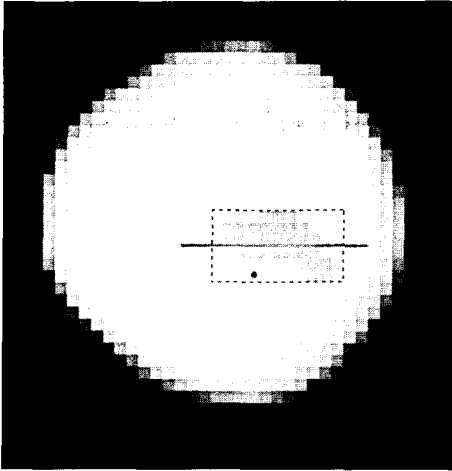


Fig. 8. Justify mouth shape (smile).

다 아래에 있으면 아치형으로 판단하고, 중심선보다 위에 있으면 역아치형으로 판단하게 된다.

```

%수평으로 돌리고 난 후의 입 무게중심을 구한다.
angle = -mouthRegion_Box(maxLabelNo).Orientation*
pi/180;
cenX = mouthRegion_Box(maxLabelNo).Bounding
Box(1, 1)
+mouthRegion_Box(maxLabelNo).BoundingBox(1,
3)/2;
cenY = mouthRegion_Box(maxLabelNo).Bounding
Box(1, 2)
+mouthRegion_Box(maxLabelNo).BoundingBox(1,
2)/2;
cosA = cos(angle);
sinA = sin(angle);
A = [1, 0, cenX; 0, 1, cenY; 0, 0, 1]; % centroid
를 원점으로
B = [cosA, -sinA, 0; sinA, cosA, 0; 0, 0, 1]; %수
평으로
    
```

```

C = [1, 0, -cenX; 0, 1, -cenY; 0, 0, 1]; %다시 복
귀
rMat = A * B * C;
objCen = [objPachy_Box(j).Centroid, 1].';
mouthCen = [mouthRegion_Box(maxLabelNo).
Centroid, 1].';
objCen = rMat * objCen;
mouthCen = rMat * objCen;
    
```

위 단계는 수평으로 돌린 후 입의 무게 중심을 구하는 과정으로 Sinistral인지 혹은 Dextral인지 판단하는데 있어 가장 중요하다. 이 과정은 이동-회전-이동을 거치게 되는데, 앞에서 구한 무게 중심을 좌표의 원점으로 이동시키게 된다. Fig. 8은 이동시킨 입의 중심을 입이 기울어진 각도만큼 역으로 X축과 평행이 되도록 회전시킨 모습이다. 또한 개체를 같은 각도로 회전시킨 후 무게 중심을 결정하게 된다.

```

dFlag = 1;
if ((mouthCen(1, 1) >= objCen(1, 1)) & dirFlag)
dFlag = 0;
end
if ((mouthCen(1, 1) < objCen(1, 1)) & ~dirFlag)
dFlag = 0;
end
if (dFlag == 1)
staResult(i, 1) = staResult(i, 1) + 1; %표에 +1
else
%sinistral image 출력
subplot(8, 8, j); imshow(objRegion_Gray);
staResult(i, 2) = staResult(i, 2) + 1; %표에 +1
end
end
    
```

입 부분을 수평으로 돌린 각도만큼 개체도 돌린 후, 각각의 무게 중심을 정하였다. 이 무게 중심을 X축 선상에서 좌표를 비교하여 Sinistral과 Dextral을 구분할 수 있게 된다. 입에 외접하는 최소 사각형을 구하고, 입의 중심이 사각형의 중심선보다 아래에 있으면 아치형, 위에 있으면 역아치형으로 구분한다.

Sinistral, Dextral을 구분할 때는 아치형과 역아치형을 따로 구분한다. Fig. 9에서와 같이 아치형인 경우, 입의 중심이 개체의 중심보다 왼쪽에 있으면 반시계

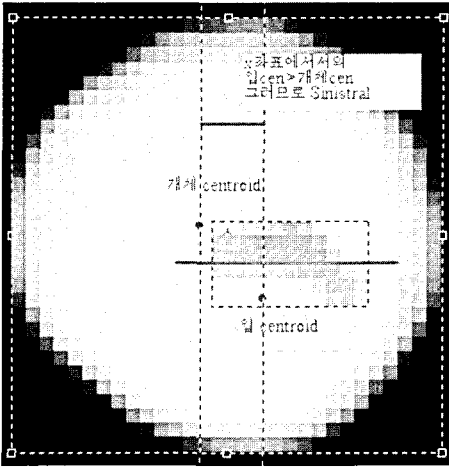


Fig. 9. Justify Sinistral.

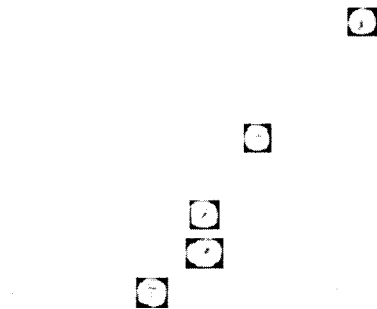


Fig. 10. Automatically found sinistral *N. pachyderma*.

방향으로 감긴 Dextral이고, 오른쪽에 있으면 시계방향으로 감긴 Sinistral이다. 역아치형인 경우는 입의 중심이 개체의 중심보다 왼쪽에 있으면 오른쪽으로 돌아간 Sinistral이고, 입의 중심이 개체의 중심보다 오른쪽에 있으면 왼쪽으로 돌아간 Dextral이다. 오른쪽과 왼쪽의 판단은 개체의 중심 X좌표보다 작으면 왼쪽, 크면 오른쪽으로 판단하게 하였다.

Fig. 10은 컴퓨터가 이미지 중에서 오른쪽으로 감긴 *N. pachyderma*를 자동 인식한 것이다. 이 과정은 또한 군집 유공충 중에서 *N. pachyderma*를 찾아내고, 찾아낸 개체만 출력한 모습이기도 하다. 이 과정을 거치면서 컴퓨터로 분류한 결과가 정확한지 확인해 볼 수 있다.

*%Sinistral과 Dextral의 비율 그래프*  
`graX = [1: imgSeqMax];`

fileNo	D_type	S_type	other_type	unjustified	D_Per	S_Per
c:\new_total2.jpg	5	5	18	47	58.08	58.08
c:\new_total3.jpg	4	3	7	59	57.14	42.86
c:\new_total4.jpg	9	11	18	47	26.47	73.33
c:\new_total5.jpg	9	8	7	71	52.94	47.06
c:\new_total6.jpg	4	3	7	69	57.14	42.86

Fig. 11. Statistical data table.

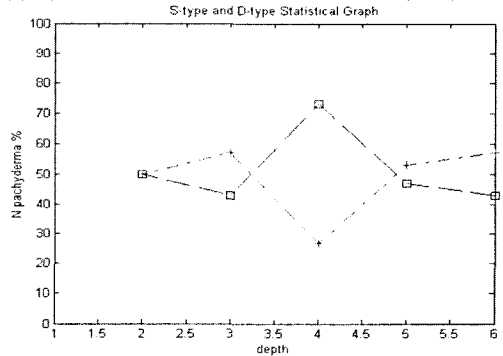


Fig. 12. S-type and D-type Statistical graph.

```

graY_D = (staResult(:, 1))/(staResult(:, 1)+staResult(:, 2)).';
graY_S = ones(1, imgSeqMax) - graY_D;
graY_D = graY_D * 100;
graY_S = graY_S * 100;
%xi = linspace(1, imgSeqMax, imgSeqMax);

figure; plot(graX, graY_D,'-r+', graX, graY_S, '--bs');
% D는 빨간색 S는 파란색으로 표시한다.
xlabel('depth'); ylabel('N.pachyderma %');
title('S-type and D-type Statistical Graph');
axis([1 imgSeqMax 0 100]);

%통계 자료를 텍스트 파일에 저장한다.
fid = fopen('c:\Sta_Table.txt', 'w');
fprintf(fid, 'fileNo\t D_Type\t S_Type\t Other_Type\t unjustified\t D_Per\t S_Per\n');
for i = 2: imgSeqMax
    curImgFileName = strcat(imgPath, 'new_total', num2str(i), '.jpg');
    fprintf(fid, '%s\t %d\t %d\t %d\t %d\t %5.2f\t %5.2f\n', curImgFileName, staResult(i, 1), staResult(i, 2), staResult(i, 3), staResult(i, 4), graY_D(1, i), graY_S(1, i));
    
```

**Table 3.** Comparison between manual classification and classification by ATC v1.0

number	Manual				ATC v1.0				accordance
	Dextral	Sinistral	Others	unjustified	Dextral	Sinistral	others	unjustified	
1	5	5	10	4	5	5	10	4	o
2	4	3	7	6	4	3	7	6	o
3	8	11	10	4	4	11	10	4	x
4	9	8	7	7	9	8	7	7	o
5	4	3	7	6	4	3	7	6	o
6	3	8	7	33	8	7	3	o	
7	9	4	6	4	6	4	6	4	x
8	4	6	5	1	4	6	5	1	o
9	5	25	1	6	5	25	1	6	o
10	9	1	12	4	9	1	12	4	o
11	11	3	2	1	11	3	2	1	o
12	2	5	3	7	2	5	3	7	o
13	4	1	5	1	4	1	5	1	o
14	18	3	7	2	18	3	7	2	o
15	3	4	9	3	3	4	9	3	o
16	2	8	4	4	2	8	4	4	o
17	2	7	1	5	2	7	1	5	o
18	16	9	5	4	16	9	5	4	o
19	11	13	4	4	11	13	4	4	o
20	20	5	6	1	20	5	6	1	o
21	5	4	2	1	5	4	2	1	o
22	4	13	4	3	4	13	4	3	o
23	8	21	2	4	8	21	2	4	o
24	5	11	1	7	5	11	1	7	o
25	4	8	5	6	4	8	5	6	o
26	7	9	7	4	7	9	7	4	o
27	7	3	8	1	7	3	8	1	o
28	13	3	4	1	6	3	4	1	x
29	1	2	5	1	1	2	5	1	o
30	1	7	4	1	1	7	4	1	o
31	1	11	6	6	1	11	6	6	o
32	2	14	2	1	2	14	2	1	o
33	3	16	1	3	3	16	1	3	o
34	6	2	3	1	6	2	3	1	o
35	16	17	2	4	16	17	2	4	o
36	20	6	4	1	20	6	4	1	o
37	2	5	8	3	2	5	8	3	o
38	12	7	7	1	12	7	7	1	o
39	11	1	9	1	11	1	9	1	o
40	9	3	4	3	9	3	4	3	o
Accuracy									90%

end  
fclose(fid);

Fig. 11은 컴퓨터로 분석한 데이터를 표로 출력한 것이며, Fig. 12는 *N. pachyderma*의 퇴적 깊이별 그래프로 Dextral 종류는 빨간색, Sinistral 종류는 파란색을 이용해서 나타낸 것이다.

Table 3은 컴퓨터 자동분석을 거쳐 얻어낸 데이터와 실제현미경을 통해 직접 관찰한 결과를 비교 한 것으로 약 90% 일치하였다. 비록 몇 가지 d형 개체가 육안으로 보았을 때보다 좀 더 많이 얻어지는 경우는 있었지만, 유공충 이미지에서 개체가 앞면으로 나타나 있으나 서로 접촉되어 있는 경우 컴퓨터 프로그램이 각각의 개체로 인식하지 못하여서 일어난

현상이라 생각한다. 앞으로 지속적인 연구를 통해 짐작된 개체를 자동 분리하여 다른 개체로 인식할 수 있게 고안하게 되면, 좀 더 높은 일치율을 얻어낼 수 있을 것으로 판단된다.

## 결론

부유성 유공충은 기후 변화에 따라 민감하게 변화하므로 수심이나 지역별로 분석하게 되면, 향후 기후 변화에 대한 모델 개발에 필요한 자료를 얻을 수 있다. 따라서, 유공충에 대한 정량분석은 연구 결과의 객관성을 확보하기 위해 보다 중요한 작업이라고 할 수 있다. 이번 연구에서는 지금까지 고생물 학자들이 전통적인 방법으로 유공충을 분류해오던 것을 이미지를 활용한 컴퓨터 프로그래밍 작업으로 수행하여 군집 이미지에서 개체를 분석하고, *N. pachyderma* 권각 방향을 결정하는 새로운 방법을 시도한 것이다. 우선 디지털 이미지에 대한 최적화 환경을 찾아내고 가장 판독이 용이한 이미지를 설정하였으며, 이에 따른 알고리즘을 제시하였다. 특히 이 알고리즘 수행으로 다양한 유공충이 섞여 있는 이미지에서 *N. pachyderma* 종을 선별해내고, 입이 있는 개체와 입이 없는 개체를 구분해내었으며, 그 모양이 아치형이면 Sinistral, 역아치형이며 Dextral로 구분해내어 해수 온도 변화 연구에 일조할 수 있었다.

따라서 지금까지 유공충의 분류와 분석에 사용된 전자주사현미경이 한 번 촬영하는데 상당한 비용이 들었는데 비해, 새롭게 고안한 알고리즘을 사용할 경우 보급형 디지털 카메라 등과 같이 쉽게 구할 수 있는 기자재를 이용하여 저렴한 비용으로 연구를 수행할 수 있게 되었다. 뿐만 아니라, 새로운 연구 방법으로 분류한 결과 전통적인 분류법인 실체현미경을 사용했을 경우와 비교하였을 때 90%의 높은 일치율을 나타냈다. 이 수치는 디지털 이미지 분석을 이용한 알고리즘 개발이 미고생물학 분야에 있어서도 성공적으로 적용될 수 있다는 점을 시사하고 있다. 아울러 정량분석으로 많은 시료를 분석해낸 결과는 기후 모델링 시스템 구축의 가능성을 제시하였으며, 나아가 이 시스템을 이용하여 과거 기후를 유공충 종의 비율 그래프로 재현하게 되면 현재 지구에서 관측되는 기상 이변현상이 단순한 이변인지 아니면 특별한 주기를 가지고 일어나는 현상인지에 대해서도 판단이 가능할 것으로 사료된다.

## 사사

유공충에 대한 교육과 귀한 유공충 시료를 제공해주신 지도교사 김정무 선생님, 본 연구의 알고리즘 연구에 있어 아낌없는 조언을 해주신 왕아곤 박사님, 이 논문의 높은 완성도를 위해 심사하는 과정에서 세심한 지도를 해주신 이정구 박사님께 감사의 마음을 전합니다.

## 참고 문헌

- 김정무, 김대철, 김길영, 박병권, 1999, 유공충과 안정 동위 원소에 의한 지난 24,000년 동안의 동해 울릉분지 고해양 변화. 고생물학회지, 15, 1-20.
- 한국해양연구원, 2003, 21세기 기후변화협약 대응책 마련을 위한 남극권 고해양 및 고기후 변동 연구. 한국해양연구원 최종보고서, BSPP 02106-00-1513-7, 537.
- Barun, K. & Sen Gupta, 1981, Modern Foraminifera. Kluwer Academic Publisher, 371.
- Be, A.W.H., and Tolderlund, D.S., 1971. Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans: In: Funnell, B.M. and Riedel, W.R. (ed.), The Micropaleontology of the Oceans, Cambridge Univ. Press, Cambridge, London, 105-149.
- Emiliani, C., 1954, Depth habitats of some species of pelagic foraminifera as indicated by oxygen isotope ratios, American Journal of science, v. 252, 149-158.
- Imbrie, J., and Kipp, N.G. 1971, A new micro-paleontological method for quantitative paleoclimatology application to a Late Pleistocene Caribbean core. In Turekian, K.K (ed.), The Late Cenozoic Glacial Age, 71-81.
- Kim, B. K., 1965, The stratigraphic and paleontologic studies on the Tertiary (Miocene) of the Pohang area Korea, Seoul National University, Journal of science and Technology Series, 15, 32-121.
- Kennett, J. P. and Srinivasan, M. S., 1983, A phylogenetic atlas-Neogene planktonic foraminifera. Hutchinson Ross Publishing Company, 192-193.
- Kim, J. M., Kennett, B. K., Park, B. K., Kim, D. C., Kim, G. Y., and Roark, E. B., 2000, Paleooceanographic change during the last deglaciation, East Sea of Korea. Paleooceanography, 15, 254-266.
- Murray, J., 1897, On the distribution of the pelagic foraminifera at the surface and on the floor of the ocean, Natural Science (ecology), 11, 17-27.
- Schott, W., 1935, Die Foraminiferen in dem aquatorialen Teil des Atlantischen Oceans, Deutsche Atlantische Expedition 'Meteor' 1925-1927, Widdenschaftliche Ergebnisse, 3, 43-134.
- Parker, J. R., 1996, Algorithms for Image Processing and

Computer Vision. John Wiley & Sons, 185 p.  
Gonzalez, R., 2002, Digital Image Processing. Prentice Hall. 5 p.  
Shin, I. C., 1981, Foraminiferal studies on the Neogene Tertiary in the Pohang Basin, Korea, MS.thesis (unpublished), Seoul National University, 76 p.  
Shin, S. H., Lee, G. W., and Yoon, J. Y., 2004, New

Method of the Determining the Coiling Ratio of Planktonic Foraminifera Using Digital Image Analysis. 삼성휴먼테크 대상논문집(미간).  
Yoo, E. K., 1970, Recent distribution of Globigerina pachyderma (Ehrenberg) and interpretation of Upper Cenozoic climatological changes. Journal of the Geological Society of Korea, 6, 119-127.

---

2004년 10월 5일 원고 접수  
2004년 11월 13일 수정 원고 접수  
2004년 11월 13일 원고 채택