

## 갯닦기 전후의 해중림초의 해조상과 시험 부착판에서의 해조류 초기 천이

김태연 · 곽철우 · 정의영<sup>†</sup> · 김영식<sup>\*</sup>

(<sup>†</sup> 한국해양환경생태연구소 · <sup>\*</sup>군산대학교)

### Changes in Marine Algal Flora settled on the Artificial Seaweed Reefs Before and After Rocky Cleaning and the Early Succession of the Seaweeds attached to the Test Panels

Tae-Yeon GIM · Cheol-Woo KWAK · Ee-Yung CHUNG<sup>†</sup> · Young-Sik KIM<sup>\*</sup>

(<sup>†</sup>Korea Marine Environment & Ecology Research Institute · <sup>\*</sup>Kunsan National University)

#### Abstract

The marine algal flora assemblages settled on the artificial seaweed reefs in Jeju-do before and after rocky cleaning were investigated during summer and the early succession of seaweeds attached to the test panels on the structures of the artificial reef after rocky cleaning were observed by visual observations and under the dissecting microscope in order to evaluate the effects of this rocky cleaning operation. Species composition and algal biomass on the Bboolsamgak-typed seaweed artificial reefs before and after rocky cleaning were measured and compared before and after rocky cleaning. Before rocky cleaning in July 2012, only nine algal species had existed on the Bboolsamgak-typed seaweed artificial reefs, however, twenty algal species occurred on the seaweed artificial reefs after rocky cleaning in July 2013. Particularly, 15 species among them in July 2013 were not found in July 2012 and they seemed to occur newly on the artificial reefs. A large quantity of algal biomass increased in July 2013 after rocky cleaning. Based on the importance value, there was a drastic change in the dominant species between July 2012 and July 2013 after rocky cleaning. By dissecting micrographs, an epiphytic diatom, *Licmophora* sp. and flagellates, were observed on the 9th day. A chlorophyte, *Ulothrix flacca* was observed after 14 days, *Ulva pertusa*, *Bryopsis pulmosa*, crustose coralline algae, and *Cladophora* spp. were after one month. After two months, a significant species succession was observed from three previous chlorophyte species to crustose coralline algae existed as a dominant species on the panels. In this study, however, any brown algae were not found until three months in the early seaweed succession. All above results indicates that the rocky cleaning is a very efficient method for the establishment of macroalgal assemblages on the artificial reefs.

**Key words : Marine algal flora, Seaweed succession, Artificial seaweed reef, Rocky cleaning**

#### I. 서론

최근 연안 어장에서 무분별한 해안개발과 환경

오염, 갯녹음 등에 의해서 해조류가 소실되고 감소함에 따라 각종 해산 생물자원이 감소되고 있는 것이 세계적인 추세이다(Fujita, 1987; Kuwahara

<sup>†</sup> Corresponding author : 010-2530-3915, eychung@kunsan.ac.kr

\* 이 논문은 한국수산자원관리공단 제주지사로부터 연구조사비(2012~2013)를 받아 연구되었음.

et al, 2006).

제주도와 남해안 일대에서는 1980년대부터 갯녹음 현상이 확산되기 시작하여, 1990년대 이후에는 동해 연안에서도 그 피해가 심화되어 가고 있는 실정이다(MOMAF, 2002a, b; Kim, 2006; Kim et al, 2006, 2007; Kim, 2011; East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, 2007, 2009, 2010; Han, 2012). 이에 따라 환경보전의 견지에서 갯녹음 지역에 해중립초를 조성하여 어장환경을 개선하고 수산자원을 증대시키려고 시도하고 있다(Ohno et al., 1990; Ohno, 1993; Park et al., 2000, 2001; National Fisheries Research & Development Institute, 2005, 2006; Korea Fisheries Resources Agency, 2011).

최근에는 갯녹음이 진행 또는 심화된 지역에서 해조 군락을 복원시키기 위하여 갯닢기 작업으로 갯녹음(whitening event)을 인위적으로 제거하는데 성공하고 있다(Divekorea, 2010a, b; Korea Marine Environment and Ecology Research Institute, 2012). 본 연구는 갯녹음이 진행된 제주도 동부 삼달지역에서 갯닢기 전후의 해조류의 종조성 변화를 비교하여 갯닢기의 효과를 확인하는데 있다. 그리고 갯닢기 작업을 실시한 후, 해중립초에 시험 부착판을 부착시켜 해조류의 초기 천이의 변화 과정을 밝히고자 조사하였다.

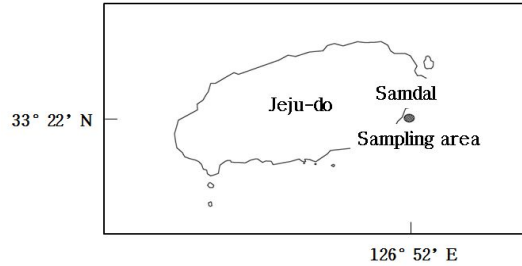
## II. 재료 및 방법

### 1. 해조류 채집 및 분석방법

본 조사는 제주도 연안 성산을 삼달리(33°22'N, 126°52'E)의 갯녹음 피해지역에서 패조류형 인공어초에 부착 서식하는 해조류를 갯닢기 전후의 해조상을 조사하였다[Fig. 1].

#### 가. 종 조성 및 생물량

제주도 성산을 삼달리 해역의 인공어초에서 2012년 7월과 2013년 7월에 2회에 걸쳐 정량 채집을 하였다. 시료 채집은 각각의 조사정점에서



[Fig. 1] A map showing the sampling area

× 5 cm로 구획된 방형구(25 × 25 cm)를 이용하여 조사하였다. 수중에서 인공어초의 크기와 위치에 따라 조사정점 위치를 선정하여 방형구 내에 있는 모든 해조류를 4반복 채집하였으며, 방형구와 부수적인 도구를 이용하여 정량채집한 후 현장에서 직접 10% 중성 해수 포르말린용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 해부현미경을 이용하여 동정하였으며, 해조류의 출현종 목록 및 국명은 Kang(1968), Lee and Kim(2003), Lee(2008)의 분류방법을 따랐다. 정량 채집된 해조류는 담수로 세척하여 불순물을 제거하고, 동정한 후 중량을 0.01 g 단위까지 측정하여 단위 면적당(m<sup>2</sup>) 생물량으로 환산하였다.

#### 나. 해조류 우점종과 군집의 중요도 산출

군집 내에서 가장 보편적이고 높은 피도와 생물량을 보이는 우점종(dominant species)과 군집의 중요도를 판정하였다.(Barbour et al. 1987; Koh 1990). 본 조사에서의 우점종은 중요도에 의해 결정하였다. 군집의 우점종 파악을 위한 중요도 값 계산은 출현종의 빈도와 피도를 기초로 아래와 같은 수식을 사용하여 산출하였다.

$$\text{피도 (C)} = (\text{출현종 } i \text{가 차지하는 면적} / \text{방형구의 면적}) \times 100$$

$$\text{빈도 (F)} = (\text{출현종 } i \text{가 있는 소방형구의 수} / \text{세분된 소방형구의 수}) \times 100$$

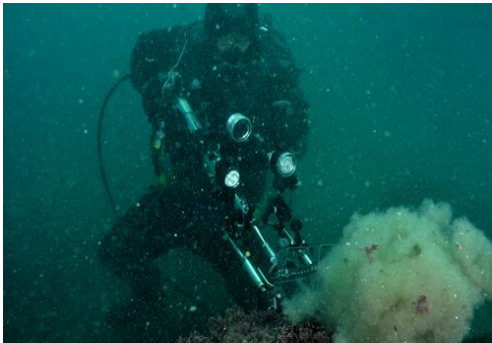
$$\text{상대피도 (RC)} = (i \text{종의 피도 합} / \text{전 종의 피도 합}) \times 100$$

$$\text{상대빈도 (RF)} = (i \text{종의 빈도 합} / \text{전 종의 빈도 합}) \times 100$$

$$\text{중요도 (IV)} = (\text{RC} + \text{RF}) / 2$$

## 2. 갯닢기에 의한 해중림초의 부착기질향상 및 시험 부착판 내에서의 해조류 초기 천이 조사

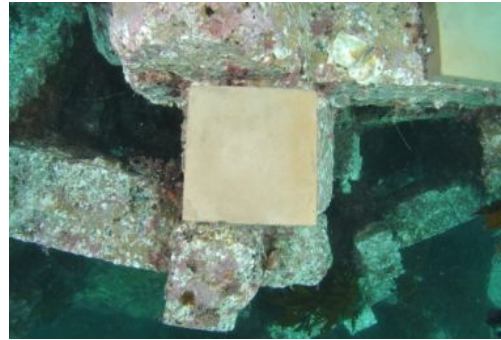
가. 갯닢기(유해생물제거장치의 사용) 작업방법  
 갯닢기 작업을 할 위치에 line을 쳐서 작업구역을 구분하고, 수중촬영장비로 시공전의 상태를 촬영하였다. 기질경쟁을 하는 따개비 등 각종 부착동식물과 썰의 퇴적 등에 400 bar 이상의 고수압 분사 gun을 발사하여 유해부착생물을 제거하였다[Fig. 2, 녹색기술인증서 GT-12-00014, 제 GT-12-00123호].



[Fig. 2] A photographs showing the high water pressure gun equipment. To prevent pulling backward, it is a special equipment which was designed and developed by high technology(Certificate of Green Technology No. GT-12-00014 and No. GT-12-00123 by MFAFF)

나. 해중림초 부착기질에 시험 부착판 부착  
 해중림초 표면에 무독성인 천연암반 재질에 프롭시멘트를 부어 만든 시험 부착판(20 × 20 cm)을 수심 7 m에서 로프로 묶어 고정시킨 후 1일 간격으로 시험 부착판을 뜯어내어 모니터링을 실시하였다[Figs. 3, 4].

다. 시험 부착판 내 부착생물 채취 및 실험방법  
 갯닢음이 진행, 심화된 빨삼각형 해중림초를



[Fig. 3] A photograph showing a test panel attaching to artificial reef after rocky cleaning



[Fig. 4] A photograph showing a test panel attaching to the structure of artificial reef on 32 days after rocky cleaning

갯닢기한 이후, 각 시기별 조사정점별로 수거된 시험 부착판(20 × 20 cm)에 부착된 생물을 조사하기 위해서 현장에서 뜯어낸 시험 부착판은 비닐봉지에 담은 후 현장에서 10% 중성 해수 포르말린 용액에 고정하여 연구소로 운반한 시험 부착판내의 부착생물이 부착한 표면을 부드러운 브러쉬로 문질러 긁어낸 다음 여과 해수를 떨어뜨려 세척한 후, 긁어모은 시료를 표본병에 담았다. 수거된 모든 시료는 200 ml 용기에 옮긴 다음 다시 50 ml 용기 4개에 나누어 실험에 사용하였다. 초기 천이의 조사를 위해 삼달 정점에서 2012년 10월 20일에 28개의 시험 부착판을 설치하여 2012년 11월 21일까지(32일간) 총 13개의 시험

부착판에서 채취한 부착해조류를 해부현미경하에서 관찰하여 동정·분류하였다. 그리고 2개월과 3개월 경과된 시험 부착판들은 수중에서 시험 부착판당 월 1회씩 직접 접사 사진을 찍어 촬영된 사진을 정밀 판독하였다. 첫 주는 매일 1개씩 시험 부착판을 샘플링하였고, 다음 주부터는 3일간격으로 시험 부착판을 1개씩 채취하여 초기의 부착생물을 관찰하였다. 갯닢기 후 32일간(13개 시험 부착판) 조사 이후부터는 삼달지역에서 1개월 간격으로 2012년 12월 23일과 2013년 1월 23일에 수중에서 시험 부착판을 수거하여 관찰·조사하였다. 수중촬영 및 사진을 찍었으며, 일부는 표본을 채취하여 해부현미경하에서 동정·분류하였다.

라. 생물량 분석

부착생물의 생물량 조사는 일반 해산식물의 생물량 조사와 같이 습중량(wet weight), 건중량(dry weight), 건조유기물 중량(ash-free dry weight)으로 구분하여 조사하였다.

습중량(wet weight)의 경우 무게를 알고 있는 유리섬유여과지를 준비하여, 5~10장의 여과지를 증류수에 침적시킨 후, 여분의 증류수를 종이 타월로 제거하였고, 저울에서 0.0001 g까지 측정하여 증류수 침적 여과지의 평균무게를 계산하였다.

건중량(dry weight)의 측정은 습중량이 끝난 시료와 여과지를 고온건조기에 넣고 60℃에서 24시간 건조시켰다. 건조가 끝난 후, 무게 측정을 바로 실시하였으며 건중량은 시료와 여과지 무게에서 여과지의 무게를 뺀 후, 시료분할비를 곱하여 계산하였다. 건조유기물 중량(ash-free dry weight) 측정은 건중량 측정이 끝난 시료와 여과지를 전기로 또는 회화로에 넣어 500℃에서 12시간 태운 후, 건조기에 넣어 식혀 저울에서 무게를 측정하였다.

건조 유기물 중량은 정량적으로 환산하지 않은 건중량에서 회분(ash) 무게를 뺀 중량이며, 여기에 시료 분할비를 곱하여 전체 건조유기물 중량

을 계산하였다.

갯닢기 이후 부착생물의 정성분석은 초기 천이 과정 4일부터 32일간의 조사는 해부현미경으로 관찰하여 시험 부착판 내의 부착 해조류의 천이를 조사하였고, 그 후 1~3개월 간의 조사는 수중에서 매일 접사사진을 찍어 분석하였으며, 해부현미경에 의한 관찰에 의해 동정·조사하였고, 사진을 촬영하여 사진을 판독하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 해조상 조사

##### 가. 종 조성

전 조사기간 중 삼달지역 해중립초(빨삼각형어초) 1개 정점에서 총 24종이 출현하였는데, 그 중 분류군별 출현 종 수는 녹조류 3종(12.5%), 갈조류 5종(20.8%), 홍조류 16종(66.7%)이 출현하여 홍조류의 출현종수가 가장 많았다. 연도별 출현 종수는 2012년 7월에 9종, 2013년 7월에 20종이 출현하였다. 따라서 출현종수는 갯닢기 이후 1년이 지난 2013년 7월 조사에서 더 많은 종이 출현하였다.

제주도 삼달지역에서 2012년 7월에는 출현하지 않았으나 갯닢기 이후 2013년 7월에만 출현한 종은 총 15종으로 녹조류 중 청각(*Codium fragile*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 잎파래(*Ulva linza*)가 출현하여 3종이 추가되었고, 갈조류 중에는 불레기말(*Colpomenia sinuosa*)과 개그물바탕말(*Rugulopteryx okamurae*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 큰열매모자반(*Sargassum macrocarpum*)이 출현하여 4종이 추가되었다. 홍조류 중에는 고리마디게발(*Amphiroa beauvoisii*), 둥근띠게발(*A. ephedraea*), 난장이게발(*A. misakiensis*), 참산호말(*Corallina officinalis*), 작은구슬산호말(*C. pilulifera*), 우뚝가사리(*Gelidium elegance*), 잎꼬시래기(*Gracilaria textorii*), 진분홍딱지(*Hildenbrandia rubra*), 개우무(*Pterocladia capillacea*)가 출현하여 8종이 추가되었다. 따라서 갯닢기를

실시하면 부착기질이 재생되어 유용 해조류들이 부착 서식할 수 있음을 확인할 수 있었다<Tables 1, 2>.

<Table 1> Total number of seaweed species collected

Year	July 2012	July 2013	Total
Chlorophyta	0	3	3 (12.5%)
Phaeophyta	1	5	5 (20.8%)
Rhodophyta	8	12	16 (66.7%)
Total	9	20	24 (100.0%)

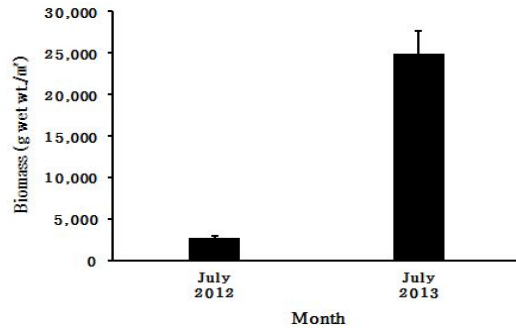
나. 생물량

2012년 7월과 2013년 7월에 출현한 해조류의 총 평균 생물량은 습중량으로 13,3838.50 g wet wt./m<sup>2</sup> 이었다. 조사 기간 중 출현한 평균 생물량을 비교해보면, 2012년 7월(2,739.44±286.52 g wet wt./m<sup>2</sup>)보다 2013년 7월(24,937.56±2,744.32 g wet wt./m<sup>2</sup>)에 생물량이 급격하게 증가되어 2012년 보다 출현량이 훨씬 많았다. 2012년 7월 중에는 비교적 많은 양의 진분홍딱지가 572.93 g wet wt./m<sup>2</sup>, 방향게발혹(*Marginisporum aberrans*)이 461.25 g wet wt./m<sup>2</sup>이 출현하였다. 한편 감태(*Ecklonia cava*)는 137.63 g wet wt./m<sup>2</sup>가 출현하여 다른 종들보다 비교적 적었다. 그러나 2013년 7월에 대형 갈조류인 감태가 14,818.08 g wet wt./m<sup>2</sup>가 출현하여 가장 많았고 그 다음은 큰열매모자반이 1,670.64 g wet wt./m<sup>2</sup> 출현하였다[Fig. 5]<Table 2>.

다. 중요도 및 우점종

주요종(IV>0)의 중요도와 생물량, 피도는 <Table 3>과 같다.

2012년 7월에 중요도를 기준으로 선정된 우점종과 준우점종은 진분홍딱지 27.93%, 방향게발혹 19.58%로 나타났다. 2013년 7월에는 감태가 14.99%, 큰열매모자반이 10.44%로 우점종과 준우점종으로 나타났다<Table 3>.



[Fig. 5] Biomass (g wet wt./m<sup>2</sup>) of seaweeds by investigation time

<Table 2> A list of marine algal biomass of seaweeds (unit : g wet wt./m<sup>2</sup>)

Species	July 2012	July 2013
Chlorophyta		
<i>Codium fragile</i>		274.41
<i>Ulva pertusa</i>		236.02
<i>Ulva linza</i>		94.05
Phaeophyta		
<i>Colpomenia sinuosa</i>		617.84
<i>Rugulopteryx okamurae</i>		1,241.52
<i>Sargassum horneri</i>		913.47
<i>Ecklonia cava</i>	137.63	14,818.08
<i>Sargassum macrocarpum</i>		1,670.64
Rhodophyta		
<i>Amphiroa anceps</i>	312.75	
<i>Amphiroa beauvoisii</i>		173.41
<i>Amphiroa ephedraea</i>		343.20
<i>Amphiroa misakiensis</i>		253.44
<i>Corallina officinalis</i>		239.68
<i>Corallina pilulifera</i>		577.76
<i>Gelidium elegance</i>		618.17
<i>Gracilaria textorii</i>		714.02
<i>Grateloupia angusta</i>	126.43	937.12
<i>Hildenbrandia rubra</i>	572.93	473.85
<i>Jania adhaerens</i>	340.37	178.23
<i>Synarthrophyton chejuensis</i>	32.64	151.68
<i>Lithophyllum okamurae</i>	398.45	
<i>Marginisporum aberrans</i>	461.25	
<i>Corallina crassissima</i>	356.98	
<i>Pterocladia capillacea</i>		410.97
Total	2,739.44	24,937.56

<Table 3> Biomass (g wet wt./m<sup>2</sup>), Coverage (%), Relative Frequency (RF), Relative coverage (RC) and Importance value (IV) of the major algal species (IV>10.0)

Month	Species	Biomass	Coverage	RC	RF	IV
July 2012	<i>Hildenbrandia rubra</i>	572.93	27.75	35.32	20.54	27.93
	<i>Marginisporum aberrans</i>	461.25	14.63	18.62	20.54	19.58
	<i>Lithophyllum okamurae</i>	398.45	9.94	12.65	12.50	12.57
	<i>Corallina crassissima</i>	356.98	7.88	10.02	13.39	11.71
	<i>Jania adhaerens</i>	340.37	7.69	9.79	11.61	10.70
July 2013	<i>Ecklonia cava</i>	14818.08	28.69	17.79	12.18	14.99
	<i>Sargassum macrocarpum</i>	1670.64	18.94	11.74	9.14	10.44
	<i>Rugulopteryx okamurae</i>	1241.52	18.75	11.63	8.63	10.13

2. 해중림초 구조물에 고정시킨 시험 부착판에 부착한 부착생물 분석

가. 부착생물량 분석

(1) 일일 생물량 조사

부착생물 증량 분석 결과, 실험시작 4일 후부터 12일 경과 후에는 뚜렷한 변화를 보이지 않았으나, 14일 후부터 24일 경과 후에는 증량변화가 2배 이상 차이가 났으며 32일 경과 후와 39일 지난 후에는 증량 변화 폭이 컸다. 14일 지난 후부터 24일이 경과한 후에는 증량변화가 뚜렷하게 나타났는데 그 이유는 시험부착판에 부착생물의 착생이 이루어졌고, 24일 경과 이후부터 부착생물인 대마디말류(*Cladophora* spp.), 무절산호조류 (crustose coralline algae), 초록실(*Ulothrix flacca*), 깃털말(*Bryopsis plumosa*), 편모조류 Flagellate, 부유성 규조류인 민부채돌말류(*Licmophora* sp.)가 부착 서식하여 증량이 점차 증가하였다<Table 4>.

(2) 시험 부착판 설치 1개월 후 및 2개월 후의 부착생물량(g wet wt./m<sup>2</sup>) 변화

삼달지역에서 32일간 시험 부착판 조사 이후, 수중촬영에 의해 조사된 해조류 천이 양상을 살펴보면, 출현한 생물량이 시험시작 1개월 후보다 2개월이 지난 후 생물량이 크게 증가되기 시작하였는데 이것은 해조류 초기 천이에 따라 생물량이 크게 변한 것과 관련이 있는 것으로 사료된

<Table 4> Changes in weights of succession by day of sessile organisms on the panel in the artificial reef at Samdal region in Jeju-do

Days	wet weight (mg/cm <sup>2</sup> )	dry weight (mg/cm <sup>2</sup> )	ash-free dry weight (mg/cm <sup>2</sup> )
After 4 days	1.37	0.471	0.128
After 5 days	1.033	0.325	0.107
After 6 days	1.187	0.553	0.163
After 7 days	1.574	0.388	0.109
After 9 days	1.187	0.466	0.172
After 10 days	1.314	0.340	0.108
After 12 days	1.093	0.549	0.162
After 14 days	2.811	0.830	0.318
After 17 days	3.215	1.444	0.465
After 21 days	2.826	1.190	0.461
After 24 days	3.094	0.700	0.280
After 32 days	4.932	1.179	0.571

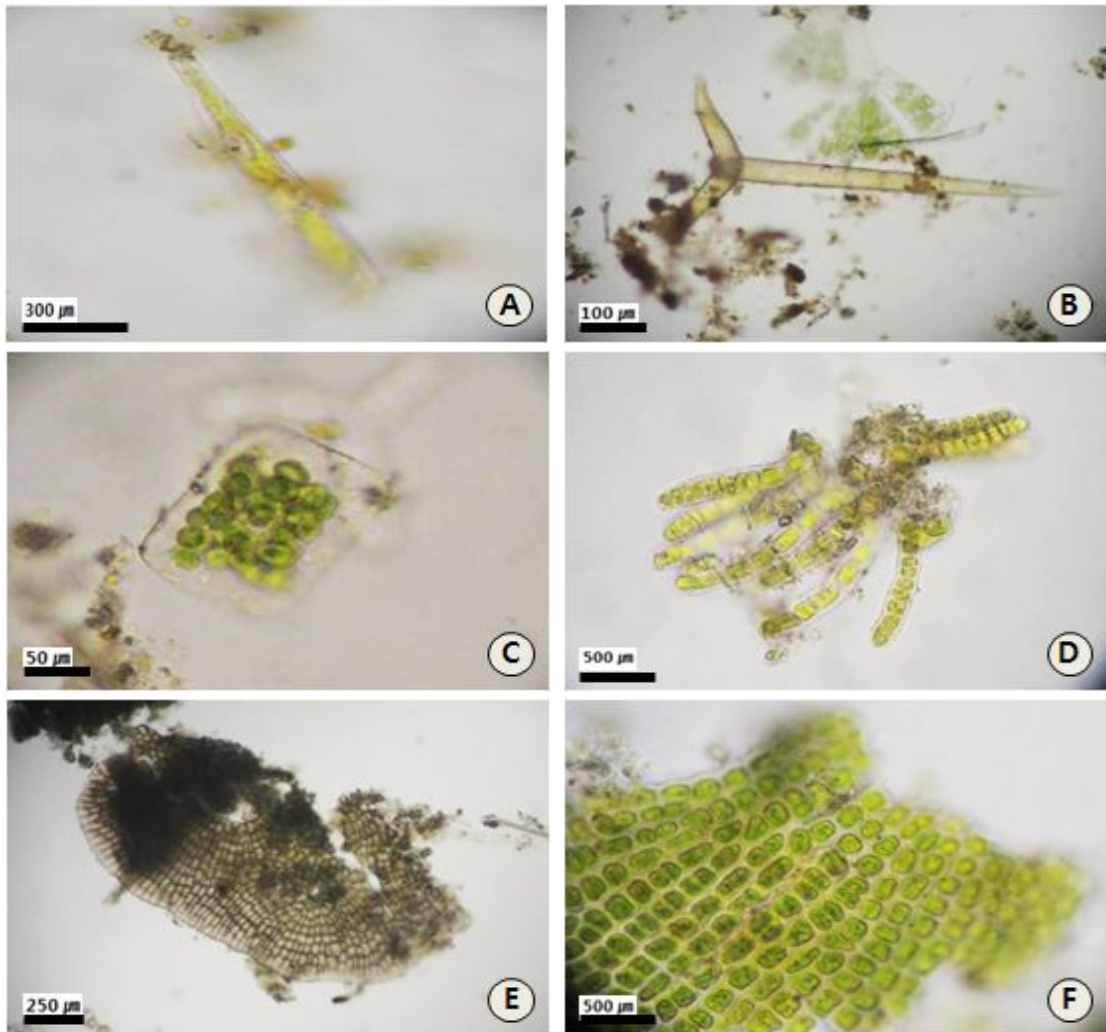
다. 조사 2개월 후의 부착생물량 변화상 특징은 특히, 시험 부착판에 착생한 무절산호조류가 다른 해조류 보다 다량 증가하고 있는 점이다.

나. 해조류 초기 천이 분석

(1) 일간 해조류 초기 천이 변화 조사

각 조사 시기에 채취된 시험 부착판에서 시료를 채취하여 각각의 시료에서 정성분석을 실시하

였다. 시험 부착판 설치 후 4~7일경에는 부착생물이 관찰되지 않았으나, 9일 이후부터 부착규조류인 *Licmophora* sp. [Fig. 6A]와 부착 편모조류 (Flagellate)가 관찰되기 시작하였으며[Fig. 6B], 14일부터 다수의 사상 녹조류인 초록실이 관찰되기 시작하였고[Fig. 6C], 24일 이후부터는 녹조류인 대마디말류[Fig. 6D]와 무절산호조류가 출현하기

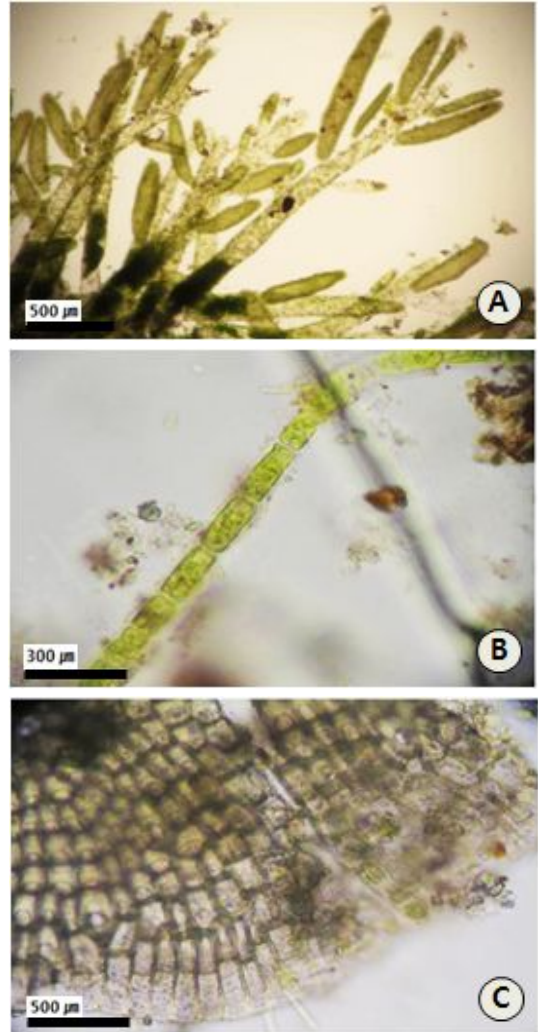


[Fig. 6] Dissecting micrographs showing the early stage of succession of seaweeds(A-F). A, Occurrence of epiphytic *Licmophora* sp. after 9 days; B, Flagellate after 9days; C, *Ulothrix flacca* after 14 days; D, *Cladophora* sp. after 24 days; E, Crustose coralline algae after 24 days; F, *Ulva pertusa* after 32 days.

시작하였다[Fig. 6E], <Table 5>. 32일 경과 후에는 녹조류인 구멍갈파래가 출현하였고[Fig. 6F], 또한 깃털말이 출현하였는데[Fig. 7A], 대마디말류가 많은 성장을 하여 우점종으로 등장하였다[Fig. 7B], <Table 5>. 그러나 무절산호조류는 32일 경과 후 좀 더 많은 개체수가 관찰되었다[Fig. 7C]. 따라서 부착규조류와 녹조류의 종들이 선구해조류(pioneer algae)로 출현하여 점차 다른 종으로 바뀌어가는 32일 간의 해조류 초기 천이과정을 관찰할 수 있었다[Figs. 6, 7]. 그러나 32일 경과 후에는 갈조류는 출현하지 않았다.

<Table 5> A list of seaweed species observed on the test panel by day for three months occurred. DM, dissecting microscope; VO, visual observation

Days	Seaweed species	observed
After 9 days	Flagellate	DM
	<i>Licmophra</i> sp.	DM
	<i>Navicula</i> sp.	DM
After 14 days	<i>Ulothrix flacca</i>	DM
After 24 days	<i>Cladophora</i> sp.	DM
	crustose coralline algae	DM
After 32 days	<i>Bryopsis</i> sp.	DM
	<i>Cladophora</i> sp.	DM
	crustose coralline algae	DM
	<i>Ulothrix flacca</i>	DM
	<i>Ulva pertusa</i>	DM
After 2 months	<i>Bryopsis</i> sp.	VO
	crustose coralline algae ( <i>Lithothamnion cystocarpioideum</i> )	VO
	<i>Ulva pertusa</i>	VO
After 3 months	crustose coralline algae ( <i>Lithothamnion cystocarpioideum</i> )	VO



[Fig. 7] Dissecting micrographs showing the early stage of succession of seaweeds (A-C). A, *Bryopsis plumosa* after 32 days. B, *Cladophora* spp. after 32 days; C, Crustose coralline algae after 32 days.

Kim(1987)은 인공저층을 이용한 해조류 착생과정, 천이과정 조사에서 새로운 입지에 처음 착생하는 pioneer algae는 구상 남조류와 규조류이며, 시간이 경과함에 따라 규조류가 감소하는 반면, 사상 녹조류 또는 각상 산호조가 번무하였다고 하였다. 본 조사 결과와 Kim(1987)의 결과를 비



교하여 보면, 본 조사에서 새로운 입지에 처음 착생하는 선구조류로는 부착규조류인 *Licmophora* sp.가 출현하였는데, 이 현상은 Kim(1987)이 보고한 결과와 동일한 경향을 나타내었다. 기간이 경과되면서 규조류가 감소하는 반면, 사상 녹조류인 초록실이 출현하였고 또한 녹조류인 대마디말류와 깃털말이 출현하였다<Table 5>. 이와 같은 해조류 초기 천이 과정은 일반적으로 규조류, 파래류, 1년생 해조류, 산호류, 다년생 해조류 순으로 진행된다고 보고한 Foster(1975)의 이론과 매우 유사한 초기 천이 과정이 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 Kim(1987)의 결과에서도 해양 갈조류의 경우는 초기에는 출현하지 않았던 것으로 보고되어 있어 본 조사 결과와 일치하였다. Cho et al. (2007)은 인공어초에 다공질의 부착기질을 설치하여 부착기질에 착생하는 해조류의 해조천이를 조사한 결과 2~3개월까지는 녹조류인 갈파래류가 출현하였다고 보고하였는데 이 결과 역시 본 조사 결과와 일치하는 경향을 보였다.

본 조사에서도 갈조류 등의 대형조류가 출현하지 않아 시험패널에서 천이과정이 초기단계를 크게 벗어나지 못하고 있는데 이것 역시 Kim(1987)이 보고한 결과와 유사한 경향을 보였다.

본 조사에서 녹조류의 출현 다음에는 무절산호조류가 번무하였는데, 이것 역시 해조류의 초기 변화 단계의 특징을 벗어나지 못한 천이 단계임을 확인 할 수 있었다.

### (2) 2개월 경과 후, 해조류 초기 천이변화

삼달지역에서 32일간 해부현미경으로 관찰 조사한 이후, 2개월 후에는 녹조류인 구멍갈파래와 깃털말류 그리고 홍조류인 무절산호조류 낭과적(*Synarthrophyton chejuensis*)등이 출현하였다[Fig. 8A], <Table 5>. 이 현상은 Kim(2011)이 갯닦기에 의한 해조류 천이 보고서에서 고압분사 방법의 의해 갯닦기를 실시한 경우, 갯닦기 작업 후 2개월이 지나야 부착기질에서 부착해조류의 개체수가 다수 출현하게 되는 현상을 관찰할 수 있다고

보고한 것과 유사한 현상이다. 고압분사 방법의 의해 갯닦기를 하는 경우, 유의할 사항은 부착기질에서 유용한 해조류까지 제거하지 말고 유용한 해조류들을 그대로 남겨두고 갯닦기를 하는 것이 갯닦기 효과를 높이는 방법이라고 하였다(Kim, 2011).

제주도 삼달지역은 갯녹음 진행 또는 심화지역에서 주로 출현하는 해조류 초기 천이 선구해조류(pioneer algae)인 깃털말류와 대마디말류등과 같은 대형 녹조류가 새로이 먼저 정착하였으나, 그 이후 2개월이 경과된 후에는 깃털말류와 대마디말류는 사라지고, 무절산호조류 등이 출현하였다. 본 조사에서 해조류 초기 천이 과정에서는 갈조류가 출현하지 않았다.

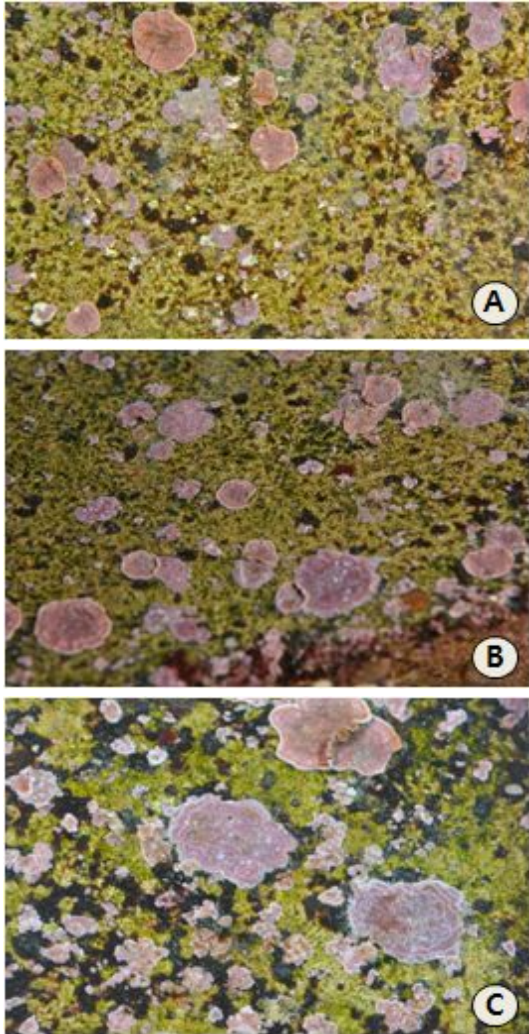
### (3) 3개월 경과 후, 해조류 초기 천이변화

3개월이 경과된 후에는 2개월 경과 후에 출현한 구멍갈파래와 깃털말류와 같은 종들이 사라지고 홍조류인 무절산호조류 낭과적 등이 시험 부착판의 넓은 면적을 차지하고 있어 해조류의 초기 천이의 특징을 보였다[Figs. 8B, C].

Kim(2006)은 천이의 결과로 인해 갯녹음 해역에 최종적으로 남아 있는 무절산호조류는 주변의 대형 갈조류의 seed bank로부터 유입되는 포자의 착생을 저해한다고 하였다. 그 밖에 연구자들도 역시 주변에 뻗뻗하게 차 있는 해중립 주변에서 수송된 포자의 착생을 저해하는 장애(barrier) 역할을 한다(Vadas et al., 1992; Kang et al., 2005)고 보고되어 있다.

Kim(2006)에 의하면 무성했던 감태는 모두 사라지고 그 자리엔 유절산호조류가 차지하였다고 보고하였다. 또한 해조류 외에도 열대성 생물인 말미잘류와 산호류가 많이 관찰되었다고 보고하였다. 삼달지역 역시 감태 군락은 점차 조금씩 감소되는 대신 그 자리를 유절산호조류가 점령하였다.

Kim et al. (2006)에 의하면 무절산호조류는 높은 온도에서 성장하고, 해조류 포자에 대한



[Fig. 8] Photographs showing useful seaweeds and useless organisms found on the test panel under water (A-C). A, Occupied by crustose coralline algae (*Lithothamnion cystocarpioideum*) and seaweeds after two months. B and C, Occupied by the wide area of crustose coralline algae (*Lithothamnion cystocarpioideum*) and seaweeds after three months

antifouling mechanism을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 화학물질이 유주자를 파괴시키고 표면세포층이 벗겨지는 sloughing 현상이 해조 서식을 방

해하는 것으로 보고되어 있다.

#### IV. 결론

빨삼각형 해중림초 내에서 갯닦기 전후에 출현하는 해조류의 종조성과 생물량을 연도 별로 7월 해조상만 비교하였고, 해중림초를 갯닦기 한 후, 시험 부착판에 부착한 해조류의 초기 천이과정을 해부현미경으로 관찰하였으며, 사진을 찍어 사진을 판독하여 초기 천이과정의 공통특징을 밝혔다. 빨삼각형 해중림초에서 갯닦기 전인 2012년 7월에는 9종이 출현하였고, 갯닦기 후 1년이 지난 2013년 7월에는 20종이 출현하여 15종이 새로 출현하였다. 또한 생물량도 갯닦기 전보다 이후에 급격히 증가되는 현상을 보였다. 해조류의 중요도를 기준으로 우점종과 준우점종을 선정하였을 때 갯닦기 전과 후가 뚜렷하게 달랐다. 그러므로 갯녹음 해역에서 갯닦기 효과가 매우 크게 나타나고 있어 해중림 복원에 갯닦기가 크게 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 빨삼각형 해중림초 구조물의 부착기질을 갯닦기 한 후, 시험 부착판을 고정시킨 후, 시험 부착판의 부착기질에 해조류가 1~32일간 부착하게 하여 해부현미경으로 사진을 찍어 관찰된 결과를 보면, 9일 경과 후부터 부착성 편모조류(Flagellate)와 부착규조류인 민부채돌말류가 선구조류로 제일 먼저 부착하였고, 그 후 이들이 사라진 후 14일째에는 사상 녹조류인 초록실이 출현하였고, 24일 후에는 녹조류인 대마디말류와 홍조류인 무절산호조류인 낭과적 등이 출현하였다. 32일째에는 대형해조류에 속하는 깃털말류, 대마디말류, 다량의 무절산호조류, 초록실, 구멍갈파래 등이 시험 부착판에 부착되었다. 출현 해조류의 종들의 변화를 보면, 먼저 출현한 선구조류들이 사라지고 다른 종들로 바뀌는 32일 간의 해조류 천이과정을 해부현미경 사진에서 관찰되었다. 2개월 경과 후에는 녹조류인 깃털말류와 대마디말류, 구멍갈파래와 홍조류

인 낭과적이 시험 부착판의 대부분을 차지하였고, 3개월이 경과된 후에는 무절산호조류가 시험 부착판의 상당부분을 차지하였다. 그러나 조사기간 동안 대형 갈조류인 감태는 출현하지 않았다

## 감사의 말씀

본 논문의 심사를 위해 수고하여 주신 학회편 집부와 심사자 3분에게 깊은 감사를 드립니다.

이 논문은 한국수산자원관리공단 제주지사로부터 연구조사비(2012~2013)를 받아 연구된 것입니다. 본 논문의 생태학적 분석실험에 도움을 준 한국해양환경연구소 김혜민, 김형해, 손수현 연구원에게 심심한 감사를 드립니다.

## Reference

- Barbour M. G. · Burk J. H. & Pitts W. D.(1987). *Terrestrial Plant Ecology*. The Benjamin/Cumming Pub. Co., Inc., 375.
- Cho, S. H. · Choi, C. G. & Choa, J. H.(2007). Restoration of the seaweed forest and algal succession on a porous Type (Shaped Half saw teeth) artificial reef. *J. Kor. Fish. Soc.*, 40(4), 220~223.
- Divekorea.(2010a). Rocky cleaning and removal of herbivorous animal in 2010 Expo seaweed construction on the waters of Geomundo, Divekorea Rep., 24.
- Divekorea.(2010b). Rocky cleaning and removal of herbivorous animal in 2010 Expo seaweed construction on the waters of Yeosu New Port, Divekorea Rep., 29.
- East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI.(2007). Marine forest establish on the cross-typed artificial seaweedreefs. *Natl. Fish. Res. Dev. Inst. Rep.*, 162.
- East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI.(2009). Construction of seaweed forest in Donghae-si, *Natl. Fish. Res. Dev. Inst. Rep.*, 62.
- East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI.(2010). Construction of seaweed forest in Samcheok-si in 2010, *Natl. Fish. Res. Dev. Inst. Rep.*, 58.
- Foter, M. S.(1975). Algal succession in a Nacroystis Pyrifera Forest. *Mar. Bio.*, 32, 313-329.
- Fujita, D.(1987). The report of interview to fisherman on "Isoyake" in Taisei-cho, Hokkaido. *Suisanzoshoku*, 35, 135~138.
- Han K. S.(2012). Algal Succession on Gaiam (Gangneung, Korea) after Transplantation of *Ecklonia cava* Kjellman (Phaeophyta). Gangneung-Wonju Natl. Univ. Ph. D. thesis, 140.
- Kang, J. W.(1968). *Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea*, Ministry of Education.
- Kang, R. S. · Park, H. S. · Won, K. S. · Kim, J. M. & Levings, C.(2005). Competition as a determinant of the upper limit of subtidal kelp *Ecklonia stolonifera* Okamura in the southern coast of Korea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 314, 41~52.
- Kim, Y. H.(1987). A study on colonization and succession of marine algae using an artificial substratum. *Kor. J. Phycol.*, 2(1), 73~91.
- Kim, D. K.(2006). A study on the restoration of marine forests using artificial reef in the Barren grounds along the coast of Jeju. *Cheju Natl. Univ. Ph. D. thesis*, 115.
- Kim, Y. D. · Song, H. I. · Hong, J. P. · Jeon, C. Y. · Kim, S. K. · Han, H. K. · Kim, D. S. & Bang, J.D.(2006). Growth and maturation of the brown seaweed *Costaria costata* transplanted for the wildstock enhancement. *J. Life Sci.*, 16(6), 1044~1051.
- Kim, Y. D. · Hong, J. P. · Song, H. I. · Jeon, C. Y. · Kim, S. K. · Son, Y. S. · Han, H. K. · Kim, D. S. · Kim, J. H. · Kim, M. R. · Gong, Y. G. & Kim, D. K.(2007). Growth and maturation of *Laminaria japonica* transplanted for sea forest construction on barren ground. *J. Kor. Fish. Soc.*, 40(5), 323~331.
- Kim, Y. H.(2011). A report for the results of evaluation of seaweed succession. *Chungbuk Natl. Univ.*, 126.
- Koh, N. P.(1990). An ecological study of resources of marine plants in Geomundo Island. *Algae*, 5, 1~37.
- Korea Fisheries Resources Agency.(2011). Construction of seaweed forest in Ulsan (Jujeon) in 2010. *FIRA*, 127.
- Korea Marine Environment and Ecology Research

- Institute.(2012). Recycling technology development of adhesion substrates of the artificial seaweed reef by rocky cleaning, Kor. Mar. Environ. and Eco. Res. Inst. Rep., 361.
- Kuwahara, H. · Watanuki, A and Aota, T.(2006). Results of questionnaire on 'Isoyake' in Japan. Fish. Engin., 43, 97~107.
- Lee, Y, P. · Kim, B.(2003). Notes on marine algae from Jeju Island-II. Algae, 18, 101~106.
- Lee, Y, P.(2008). Marine Algae of Jeju, Academy Pub. Co., 477.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries.(2002a). A development plan for construction work of fisheries resources, Ministry of Maritime Affairs and Fish. Kor., 351.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries.(2002b). Cause of phenomena of getnokgum and the way to control it. Ministry of Maritime Affairs and Fish. Kor., 1~263.
- National Fisheries Research & Development Institute.(2005). A study on construction of seaweed forest in the East Sea. Final report on fisheries life sciences and aquaculture sciences. NFRDI, 5~50.
- National Fisheries Research & Development Institute.(2006). A study on construction of seaweed forest in the East Sea. Final Report on Fisheries Life Sciences and Aquaculture Sciences, NFRDI, 521~696.
- Ohno, M. · Arai, S. and Watanabe, M.(1990). Seaweed succession on artificial reefs on different bottom substrata. J. Appl. Phycol., 2, 327~332.
- Ohno, M.(1993). Succession of seaweed communities on artificial reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan. Algae., 8, 191~198.
- Park, J, S. · Seo, M. S. and Kim, J. H.(2000). Effect of Artificial Fish Reefs in the Costal Area of jeon Bug Province. J. Fish. Mar. Sci. Edu., 12(1), 11~21.
- Park, J, S. · Seo, M. S. and Kim, J. H.(2001). A study on the Research Condition and Efficiency of Artificial reefs of Rokdo Sea region of Chungnam Province. J. Fish. Mar. Sci. Edu., 13(1), 87~98.
- Vadas, R. L. · Johnson, S. and Norton, T. A.(1992). Recruitment and mortality of early post-settlement stages of benthic algae. Br. Phycol. J., 27, 331~351.
- 
- 논문접수일 : 2013년 10월 14일
  - 심사완료일 : 1차 - 2013년 10월 24일  
2차 - 2013년 11월 12일
  - 게재확정일 : 2013년 11월 21일