



감태, *Ecklonia cava* 유주자 침지시간에 따른 기질별 유엽의 부착밀도 및 초기성장

최태봉 · 라성주* · 유태식 · 윤순기†
(전남대학교 · **연안생태개발)

Attachment Density and Growth of Germlings of *Ecklonia cava* with Substrate and Zoospore Immersion Time

Tae-Bong CHOI · Sung-Ju RHA* · Tae-Sik YU · Soon-Ki YUN*†
(Chonnam National University · *†Coastal Ecology Development)

Abstract

The growth and attachment density of *Ecklonia cava* germlings were investigated with zoospore immersion time(30, 60, 120, 180, and 240 mins) and substrates(concrete block and natural stone). The spores which is released in November 21, 2011, developed into young blade in February 24, 2012, and then quickly grew in the experimental groups 30 minutes, 60 minutes, and 120 minutes in the natural water temperature for 75 days. However, in the zoospores released at 16 and 20°C, germlings were found more rapidly than 2 weeks, and their growth and density were higher at 16°C than 20°C. However, there was no significant difference between the tested substrates.

Key words : *Ecklonia cava*, Zoospore, Immersion time, Growth, Density

I. 서론

우리나라 연안에 서식하는 해조류는 해양의 일차생산자로서 주로 식용으로 이용해왔으며, 현재는 의약품, 비료, 기능성물질 등 다양하게 활용하고 있다. 해조류는 주로 군락을 이루며 서식하는데 대량으로 번식한 해조류 군락지를 해조장이라고 하고, 대형갈조류로 구성된 해조 숲을 해중림 또는 바다숲이라 한다(Oh, 2010).

해조장은 탄소를 고정하고 용존산소를 공급하며, 중금속 제거 및 질소, 인 등 영양물질을 흡수하여 수질을 정화시키는 환경적 가치와 산란장, 성육장, 서식처 및 다양한 생물에게 먹이를 공급

하는 생태적 가치(Lindstrom, 2009; Wan et al., 2009; Whitaker et al., 2010), 수중 및 수상에서 경관을 제공하는 심미적 가치(Kang, 2016), 그리고 최근 바이오에너지, 유용기능성물질 등 해조류 자체를 고부가가치로 이용함으로써 크게 주목받고 있다(Vasquez et al., 2014).

근래까지 해조류 군락이 잘 조성되었던 우리나라 연안은 지구온난화, 환경오염, 간척 및 연안개발로 급격히 감소 또는 소멸하고 있으며, 그 자리를 무절석회조류가 차지하여 갯녹음과 해양산성화를 가속함으로써 연안 해역의 생태학적 기능을 저해하고 있다(NFRDI, 2009a). 해조류의 소멸과 연안의 생산력 회복을 위하여 바다숲 조성

† Corresponding author : 061-653-2923, otnsrlo@daum.net

천연해조장복원 등 해양생태계 관리 및 조성이 시행되고 있으며, 주로 다년생 대형갈조류가 이용되고 있다. 우리나라에 서식하는 대형갈조류는 미역 (*Undaria pinnatifida*), 참다시마 (*Saccharina japonica*), 모자반 (*Sargassum fulvellum*), 곰피 (*Ecklonia stolonifera*), 감태 (*Ecklonia cava*) 등이 있으며 양식방법이 확립되어져 있다 (NFRDI, 2009b).

그 중 감태는 주로 전복의 먹이원으로 이용되었으나 fucoidan, phlorotannin 등 기능성물질이 밝혀져 산업적 가치가 높아지고 있어 그 수요가 점차 늘고 있다 (Athukorala et al., 2006; Hong et al., 2006; Kang, 2013; Chung et al., 2013). 감태는 다시마목 감태과의 다년생 해조류로 남해안, 제주도, 일본 등 수심 2~30m의 조하대 지역에서 분포하고 있으며, 최대 3m까지 자라는 대형종이다 (Hayashida, 1977; Kang & Chung, 2015). 감태는 이형세대교번을 하는 중으로 성숙한 엽체에서 방출된 유주자가 착생하여 암수배우체로 성장하며, 이후 수정하여 성체로 양성된다. 양식방법은 주로 10월에 채묘하며 아포체의 형성을 확인하면 가이식한 후 양성로프에 끼우기식으로 시설하여 생장시킨다. 본 양성을 거친 감태는 성체로 자라 자원조성을 위한 이식용과 식품 또는 산업적으로 이용되는 양식용으로 관리된다. 현재까지 바다숲 조성을 위한 감태 양성은 상기와 같은 방식으로 행해지고 일반적으로 5~6월, 10~11월에 수중저연승, 모조주머니와 같은 방식으로 이식되고 있다.

한편, 바다숲 조성은 양식과 같이 로프에서 양성하는 것이 아니라 자연암반, 인공어초 등 경성기질에 유주자가 착생하여 성장하는 것으로 현재의 이식방식은 성숙모조의 유주자 방출을 이끌어 내 자연착생시키는 방식을 활용하고 있다 (Kim, 2006). 현재까지도 바다숲 조성을 위한 이식사업이 전국에서 수행되어 많은 효과를 보고 있으나 감태의 산업적 활용도가 높아짐에 따라 수요가 증가하고 있어 감태종묘의 가격상승, 공급부족 등 사업추진에 따른 비용이 추가될 것으로 예상

되므로 효과적인 이식방법이 요구된다.

자연방출된 유주자가 해류의 흐름에 확산되어 넓은 면적에 착생할 수 있는 장점은 있으나 착생 밀도가 낮아져 배우체의 수정율을 높이기 어렵다는 단점도 있다. 유주자의 착생과 배우체의 수정율은 해수온, 해류 등의 물리적 요인, 염분, 영양염류 등 화학적 요인, 그리고 천적생물, 경쟁생물 등 생물적 요인이 복합적으로 작용한다. 해양 환경을 인위적으로 장기간 조절하기에는 한계가 있으나 단기간 착생환경을 조성함으로써 착생률을 높일 수 있다면 보다 적은 모조로도 높은 효율을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 감태이식의 효과를 높이기 위해 물리적 환경을 조절하여 초기 착생률의 향상과 착생 환경에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 유주자 방출 유도 및 착생

본 연구에 사용된 성숙 모조는 2011년 11월 21일에 진도 세포해역 (34° 25' 21.56"N, 126° 5' 30.91"E)에 자생하고 있는 성숙된 모조를 채취하였다. 채취된 성숙 모조는 Ice Box에 넣어 즉시 전남대학교 수산증양식센터 실내수조로 운반하였으며, 성숙 모조는 자낭반이 형성된 부위만을 절단하여 약 1시간 음건시킨 후 수조 (500 L)에 여과해수와 함께 넣어 유주자를 방출시켰다. 유주자액은 현미경 100배 시야당 약 30개체 이상의 개체를 확인하여 실험에 사용하였다.

유주자의 부착기질은 콘크리트블럭 (390 × 190 × 150 mm)과 자연석을 이용하였으며, 각각 300 L 원형수조에 투입한 후 유주자액을 100 L 투입하고 각각 30, 60, 120, 180, 240분 침지시켜 착생을 유도하였다. 각각의 침지시간이 경과한 후 유주자액은 전량 제거하였으며, 여과해수를 채워 수조배양을 실시하였다. 실험수조의 유수량은 약 2.0 L min⁻¹였고, 수온은 자연 수온 조건이며, 광

은 차광막을 이용하여 정오시 수조 표면 광량이 약 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 되도록 유지하였다.

2. 수질환경조사

수질환경조사는 일반항목 수온, 염분, 용존산소(DO), 수소이온농도(pH)를 측정하였고, YSI- 556 (YSI Inc., USA)를 이용하여 2011년 11월부터 2012년 5월까지 양성기간동안 15일 간격으로 측정하였으며, 측정 시간은 각 측정일의 정오를 기준으로 하여 1시간 이내에 측정하였다.

3. 조건별 유엽 생장 및 밀도

침지시간에 따른 감태 유엽의 생장 및 밀도를 조사하기 위하여 감태 유주자액을 각각 부착기질별(콘크리트블럭, 자연석)로 30, 60, 120, 180, 240분 침지시켜 실험하였다. 또한, 초기 채묘수온에 따른 유엽의 생장 및 밀도를 조사하기 위하여 16°C, 20°C 2개 구간으로 설정하여 실험하였다. 초기 채묘수온에 따른 실험은 침지시간을 2시간으로 설정하였고 모든 실험구는 유엽이 육안으로 관찰된 이후 15일 간격으로 75일 동안 Canon EOS 550D 카메라로 수직 촬영 후 DIGIMIZER 4.0 (<http://www.digimizer.com>) 프로그램을 이용하여 엽장과 밀도를 측정하였다. 밀도는 $5 \times 5 \text{ cm}$ 구간을 설정하여 4회 반복하여 측정하였고, 단위 cm^2 당 개체수를 환산하여 나타냈다.

4. 통계처리

감태의 각 구간별 평균 생장율의 데이터 처리는 one-way ANOVA 분석에 의하여 유의차를 검정하였다.

III. 결 과

1. 수질환경

실험기간동안 양식장의 수온변화는 6.18 ~

15.22°C 까지 변화하였고, 최고 수온은 2012년 5월 9일 그리고 최저수온은 2012년 2월 24일에 각각 측정되었다(<Table 1>).

<Table. 1> Environmental factor of test field

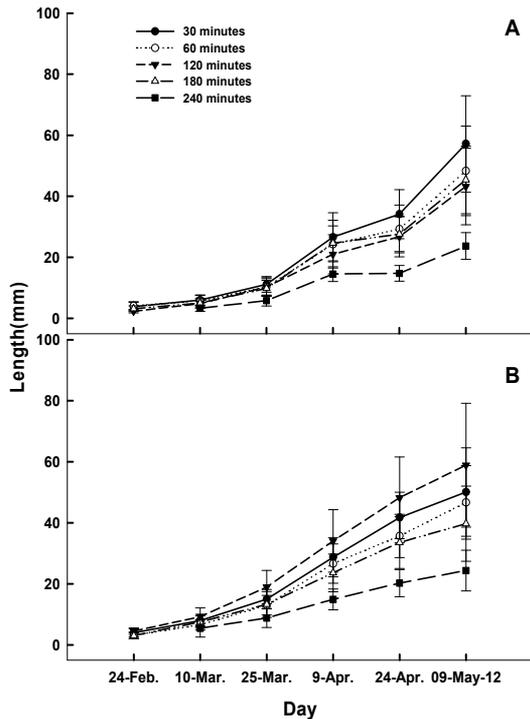
Contents Date	W.T (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/L)	pH
2011.11.11	15.16	30.91	8.24	8.02
2011.11.26	13.17	31.22	9.41	8.06
2011.12.12	11.24	30.87	9.29	8.10
2011.12.27	8.93	31.44	10.18	8.06
2012.01.10	7.82	32.10	9.82	8.03
2012.01.25	6.40	30.67	10.05	8.11
2012.02.09	6.27	31.42	9.41	8.08
2012.02.24	6.18	31.77	9.38	8.18
2012.03.10	8.05	31.54	10.21	8.13
2012.03.25	10.74	31.48	10.11	8.07
2012.04.09	12.11	31.85	9.46	8.08
2012.04.24	13.87	31.28	9.28	8.05
2012.05.09	15.22	31.95	9.14	8.16

염분농도는 30.91 ~ 32.10 psu 범위로 나타났으며, 월별 큰 차이는 없었다. 용존산소(DO)는 8.24 ~ 10.21 mg/L 범위로 나타났고 2012년 03월 25일에 최대치를 보였다. 수소이온농도(pH)는 8.02 ~ 8.18 로 2012년 2월 24일에 가장 높았고, 2011년 11월 11일에 가장 낮았다.

2. 유주자액 침지시간에 따른 유엽의 생장 및 밀도

유주자 착생유도 시기인 2011년 11월 11일부터 육안으로 감태 유엽의 생장이 확인된 시기는 2012년 2월 24일부터였으며, 4시간 침지시킨 실험구는 초기 확인 후 15일 이후에 확인되었다. 초기확인 후 75일간 콘크리트 블록에 착생한 감태 유엽의 생장은 침지시간 30분에서 $57.17 \pm 15.78 \text{ mm}$, 1시간에서 $48.31 \pm 14.66 \text{ mm}$, 2시간에서 $43.19 \pm 12.55 \text{ mm}$, 3시간에서 $45.39 \pm 11.08 \text{ mm}$, 4시간에서 $23.68 \pm 4.38 \text{ mm}$ 로 침지시간 30분에서 가장 좋았으며, 침지시간 4시간에서 가장 낮게 나타났다 (Fig. 1).

감태, *Ecklonia cava* 유주자 침지시간에 따른 기질별 유엽의 부착밀도 및 초기성장



[Fig. 1] Growth of young *Ecklonia cava* on substrates in each zoospore immersion time.

A: Concrete blocks; B: Natural stone.

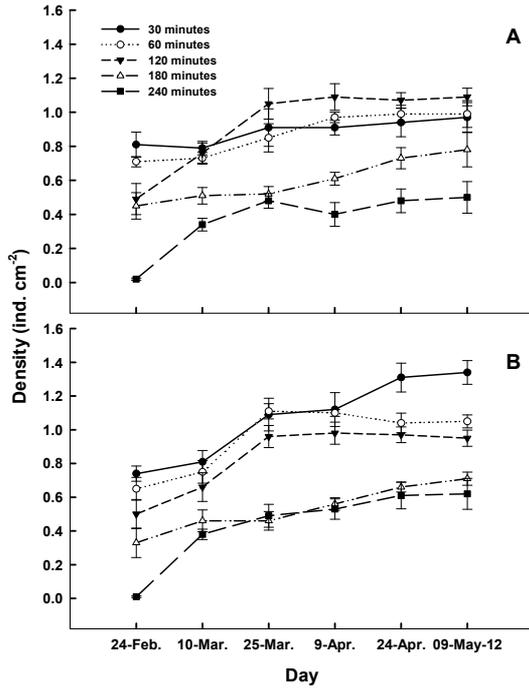
자연석에 착생한 감태 유엽의 생장은 침지시간 30분에서 50.08 ± 14.51 mm, 1시간에서 $46.70 \pm$

12.06 mm, 2시간에서 58.89 ± 20.29 mm, 3시간에서 39.71 ± 12.30 mm, 4시간에서 24.37 ± 6.66 mm로 침지시간 2시간에서 가장 좋았으며, 침지시간 4시간에서 가장 낮게 나타났다.

또한, 실험종료시 콘크리트 블록에 착생한 감태 유엽 밀도는 침지시간 30분에서 0.97 ± 0.09 inds. cm^2 , 1시간에서 0.99 ± 0.08 inds. cm^2 , 2시간에서 1.09 ± 0.05 inds. cm^2 , 3시간에서 0.78 ± 0.10 inds. cm^2 , 4시간에서 0.50 ± 0.09 inds. cm^2 로 침지시간 2시간에서 착생 밀도가 가장 높았으며, 침지시간 4시간에서 가장 낮게 나타났다([Fig. 2]). 자연석에 착생한 감태 유엽의 착생밀도는 침지시간 30분에서 1.34 ± 0.07 inds. cm^2 , 1시간에서 1.05 ± 0.04 inds. cm^2 , 2시간에서 0.95 ± 0.05 inds. cm^2 , 3시간에서 0.71 ± 0.04 inds. cm^2 , 4시간에서 0.62 ± 0.09 inds. cm^2 로 침지시간 30분에서 가장 좋았으며, 침지시간 4시간에서 가장 낮게 나타났다. 콘크리트 블록에 착생한 유엽의 일간 성장률은 30분 침지한 실험구에서 0.71mm day^{-1} 로 가장 높았으며, 4시간 침지한 실험구에서 0.34mm day^{-1} 로 가장 낮았고, 자연석에서는 2시간 침지한 실험구에서 0.73mm day^{-1} 로 가장 높았다 (<Table 2>).

<Table. 2> Growth rate of young *Ecklonia cava* in different immersion time and substrate (p<0.05)

Seeding method		Growth			
Substrate	Time of immersion	Initial length (mm)	Final length (mm)	Duration (day)	Growth rate(mm day ⁻¹)
Concrete blocks	30 min	3.86 ± 1.39	57.17 ± 15.78	75	0.71
	60 min	4.09 ± 1.36	48.31 ± 14.66	75	0.59
	120 min	2.33 ± 0.57	43.19 ± 12.55	75	0.54
	180 min	3.16 ± 0.96	45.39 ± 11.08	75	0.56
	240 min	3.31 ± 0.99	23.68 ± 4.38^a	60	0.34
Natural stone	30 min	3.98 ± 1.35	50.08 ± 14.51^a	75	0.61
	60 min	3.15 ± 1.04	46.70 ± 12.06^a	75	0.58
	120 min	4.50 ± 1.05	58.89 ± 20.29^a	75	0.73
	180 min	3.04 ± 0.99	39.71 ± 12.3^{ab}	75	0.49
	240 min	5.44 ± 2.86	24.37 ± 6.66^b	60	0.63



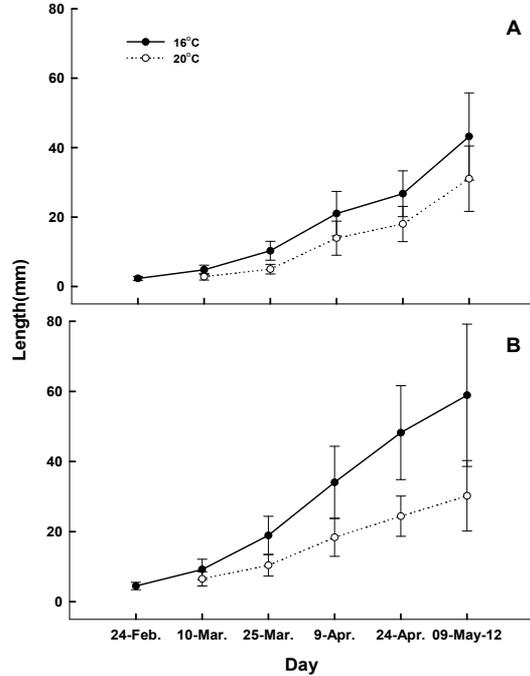
[Fig. 2] Density of young *Ecklonia cava* on substrates in each zoospore immersion time.
A: Concrete blocks; B: Natural stone.

3. 유주자 초기수온에 따른 유엽 성장 및 밀도

유주자 착생유도를 위해 유주자액 초기 수온을 16°C 와 20°C 로 가온하여 유엽의 성장 및 부착 밀도를 비교하였다. 16°C 에서는 2012년 2월 24일 콘크리트 블럭과 자연석에 유엽이 육안으로 확인되었으며, 20°C 로 가온한 실험구에서는 15일 이후 감태유엽의 육안 관찰이 가능하였다.

감태유엽 확인 후 75일간 양성한 엽체성장은 콘크리트 블럭 16°C 에서 43.19 ± 12.55 mm, 20°C 에서 31.04 ± 9.428 mm로 16°C 가 가장 좋았으며, 자연석에서도 16°C 에서 58.89 ± 20.29 mm, 20°C 에서 30.22 ± 10.05 mm로 16°C 가 생장이 좋았다 ([Fig. 3]). 감태 유엽 부착밀도는 콘크리트 블럭 16°C 에서 1.09 ± 0.05 inds. cm², 20°C 에서 0.91 ± 0.08 Inds. cm²로 16°C 가 좋았으며, 자연석에서

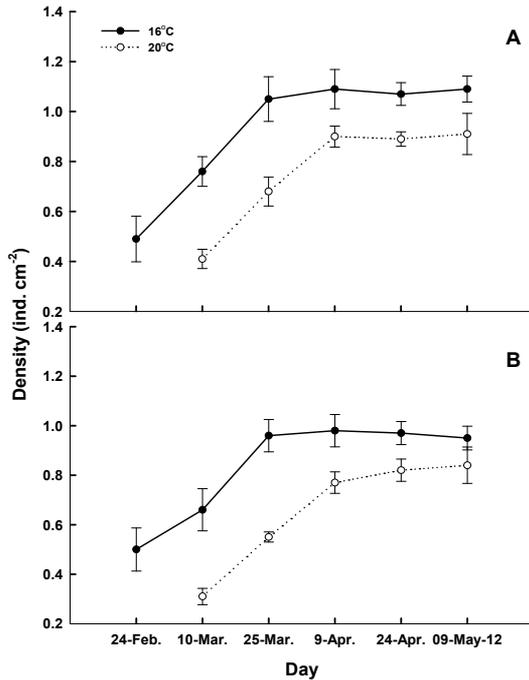
도 16°C 에서 0.95 ± 0.05 inds. cm², 20°C 에서 0.84 ± 0.07 inds. cm²로 16°C 에서 부착밀도가 높았다 ([Fig. 4]).



[Fig. 3] Growth of young *Ecklonia cava* on substrates in each initial water temperature.
A: Concrete blocks; B: Natural stone.

IV. 고찰

지구온난화와 해양환경변화로 발생하는 갯녹음 현상은 전세계적으로 발생되고 있으며, 국내에서도 발생지역이 급격히 확산되고 있어 해양의 생산력을 감소시키는 주요 원인으로 부상하고 있다 (MOMAF, 2002; Kang et al., 2013). 해양수산부를 중심으로 해양환경보전과 건강도 회복을 위하여 해역청소, 조식동물구제, 갯뚝이, 자원조성 및 해조류 이식을 시행하여 해역 생산력을 높이기 위한 노력을 하고 있으며, 이러한 수산자원조성사업의 하나가 바다숲조성사업이다 (Cho & Hong, 2017).



[Fig. 4] Density of young *Ecklonia cava* on substrates in each initial water temperature.

A: Concrete blocks; B: Natural stone

바다숲조성에 이용되는 해조류는 다년생 갈조류로서 식용 또는 전복먹이용으로 양식한 엽체를 주로 사용하며 일부는 자연산 갈조류를 채취하여 이용하고 있다. 이식방법으로는 수중저연승과 모조주머니가 대표적으로 활용되고 있으며, 뿌리성장이 진행된 성숙한 엽체를 이식하므로 착생 가능한 기질에 이식 후 방출된 유주자가 기질에 착생하여 바다숲을 조성하는 방식으로 이루어진다 (Kim et al., 2006; Cho et al., 2007; Park, 2008).

일반적인 감태양식은 성숙한 엽체에 방출자극을 가한 뒤 30분 후부터 방출량이 증가하고 이때 유주자의 활력이 높아 채묘를 실행하는 것이 효과적이라 보고하고 있으나 (NFRDI, 2009), 연안에서는 해류와 같은 물리적 외력을 이기지 못하고 확산되기에 착생확률이 낮아진다 (Oh, 2010; Cho et al., 2012).

Kim (2006)은 갯녹음 발생지역에 바다숲을 조성하기 위한 연구와 노력이 감태, 모자반류 (*Sargassum spp.*)와 대황 (*Eisenia bicyclis*) 등 대형 갈조류 이식이 주였으며 감태의 경우 씨줄이식보다는 모조이식이 효과적이라고 보고하였다. 씨줄 이식은 유엽상태에서 조식성동물에 의한 식해와 물리력에 의한 유엽의 탈락 등으로 효과가 적었다고 하였는데 이는 유엽이 성체에 비하여 뿌리성장은 지속될 수 있으나 재부착하는 과정에 있어 해류, 파랑 등 물리적 힘에 의해 부착과 탈락을 반복하기 때문으로 생각된다. 양식기술을 이용한 엽체 발생 후 이식보다는 자연적 착생을 유도하는 것이 보다 안정적인 이식효과를 얻을 수 있으며, 이러한 과정에서 착생효율을 높일 수 있는 방법을 이용하는 것이 효과적이다.

본 연구에서 해류와 같은 물리적 영향을 배제시켰을 경우 방출된 유주자가 착생과정 중 발생하는 밀도와 성장은 30~120분 침지시킨 실험구에서 비교적 높은 착생밀도와 성장률을 보였으며, 기질별로는 콘크리트 블록과 자연석간에 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 바다숲 조성에 해류와 같은 외력을 고려하는 것과 자연방출보다 유주자액을 직접 활용하는 것이 효과를 높이는 방법이라고 판단된다. 바다숲 조성은 해역에 부분적으로 수행되므로 유주자가 착생할 수 있는 시간동안 유실을 방지하는 막을 이용하는 것도 본 실험과 같은 효과를 이룰 수 있다고 생각된다.

해조류의 성장과 분포는 광량, 수온, 영양염, 해류, 수질 및 부착기질과 경쟁 및 천적생물에 의한 복합적 요인에 영향을 받으며 (Sohn et al., 1983; Han, 2012), 이 중, 광량과 수온은 성장과 생식의 제한 요인으로 작용한다 (Bolton & Lewitt 1985; Leukart & Lüning 1994). 유주자의 방출시기는 수온에 영향을 받으며, 종마다 특이성을 가지고 있다. 갈조류 중 미역 (*Undaria pinnatifida*)과 다시마 (*Saccharina japonica*)는 6월에 유주자를 방출하며, 감태, 곰피 (*Ecklonia stolonifera*), 대황은

10~11월에 유주자를 방출하는 것으로 알려져 있어 (Kawk, 2014) 수온이 생장과 성숙에 밀접한 관계가 있다고 생각된다. NFRDI (2015)는 감태 아포체의 성장을 20, 30, 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 각각 조도 조건에서 43일간 10~25°C 까지 5°C 간격으로 배양한 결과 수온별 성장의 차이는 있으나 15°C 에서 가장 빠른 성장을 하였고, 20°C 이상의 실험 구에서는 비교적 낮거나 사멸하여 조도보다는 수온에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 초기 유주자 방출조건에서만 수온변화를 가한 본 실험과 동일선상에서 비교하기는 어려우나 20°C 실험구에서 초기 유엽이 발생한 시기가 늦고 성장이 낮은 것으로 미루어 아포체보다 유주자가 수온에 따른 영향을 강하게 받는 것으로 판단되며, 효과적인 바다숲조성을 위해서는 유주자 방출 시기가 해수온 16°C 전후가 적절할 것으로 추정된다.

본 연구는 바다숲조성에 활용되는 감태의 유주자를 이용하여 착생조건에 대한 기초자료를 제공하고자 하였고, 차후 유주자의 유실방지, 해양 물리력의 부분적 제한 및 현장에 적용실험 등의 연구가 필요하며, 이를 통해 보다 효율적인 바다숲 조성에 기여할 것으로 기대된다.

References

- Athukorala, Yasantha · Kim, Kil-Nam & Jeon, You-Jin(2006). Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, *Ecklonia cava*. Food and Chemical Toxicology, 44, 1065~1074.
- Bolton, L. L. & Lewitt, G. J.(1985). Light and temperature requirements for growth and reproduction in gametophytes of *Ecklonia maxima* (Alariceae, Laminariales). Marine Biology, 87, 131~135.
- Cho, Sung-Hwan · Choi, Chang-Geun & Choa, Jong-Hun(2007). Restoration of the Seaweed Forest and Algal Succession on a Porous Type (Shaped Half Saw Teeth) Artificial Reef. Journal of the Korean Fisheries Society, 40(4), 220~225.
- Cho, Sun-je & Hong, Jae-Bum(2017). A Study on Operational Performance Evaluation of Marine Forest Creation project by BSC, AHP and IPA. Journal of Fisheries Business Administration, 48(1), 031~049.
- Cho, Jae-Kweon · Lim, Young-Soo · Hong, Do-Ung & Kim, Jong-Kyu(2012). Modelling Algae Transport in Coastal Areas with Marine Afforestation. Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, 15(1), 1~8.
- Chung, I. K. · Oak, Jung-Hyun · Lee, Jin-Ae · Shin, Jong-Ahm · Kim, Jong-Gyu & Park, Kwang-Seok (2013). Installing kelp forests/seaweed beds for mitigation and adaptation against global warming: Korean Project Overview. ICES Journal of Marine Science, 70, 1038~1044.
- Han, Kyu-Sam(2012). Algal Succession on Gaiam (Gangneung, Korea) after Transplantatation of *Ecklonia cava* Kjellman (Phaeophyta). Gangneung-Wonju National University. Ph. D thesis. 157pp.
- Hayashida Fumio(1977). On age and growth of brown alga, *Ecklonia cava* Kjellman, forming aquatic forest. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 43, 1043~1051.
- Hong, Jang-Hee · Son, Bum-Soo · Kim, Bum-Kyeong · Chee, Hee-Youn · Song, Kyung-Sik · Lee, Bong-Ho · Shin,Hyen-Cheol & Lee, Kyung-Bok (2006). Antihypertensive effect of *Ecklonia cava* extract. Korean Journal of Pharmacognosy. 37, 200~205.
- Kang, Ji-Young · Ianthe Marie P. Benlirio · Lee, Ik-Joon · Choi, Ji-Young · Jin, Joo · Choi, Yoo-Seong · Hwang, Dong-Soo & Hong, Yong-Ki (2013). Biological Characteristics and Tissue Structure of a Crustose Coralline *Lithophyllum* Alga. Journal of Life Science, 23(3), 341~346.
- Kang, Jin-Woo & Chung, Ik-Kyo(2015). Effects of Temperature and Light Intensity on the Gametophyte Fragment Growth of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). Korean journal of fisheries and aquatic sciences, 48(5), 704~711.
- Kang, Seok-Kyu(2013). Economic Analysis of *Ecklonia cava* Aquaculture Business. J. Fish. Bus. Adm. 44(2), 69~81.
- Kang, S. K.(2016). An Exploratory Study on the

- Ecosystem Service and Benefit Indicators of Natural Seaweed Beds. *Journal of Fisheries Business Administration*, 47(3), 053~069.
- Kim, Dae-Kweon(2006). A Study on the Restoration of Marine Forests Using Artificial Reef in the Garren Grounds along the Coast of Jeju. Jeju National University. Ph. D. thesis, 133pp.
- Kim, Young-Dae · Song, Hong-In · Hong, Jung-Pyo · Jeon, Chang-Yeong · Kim, Su-Kyoung · Han, Hyoung-Kyun · Kim, Dong-Sam & Bang Jong-Deuk(2006). Growth and Maturation of the Brown Seaweed *Costaria costata* Transplanted for the Wildstock Enhancement. *Journal of Life Science*, 16(6), 1044~1051.
- Kwak, Chel-Woo(2014). A Study on Restoration of Marine Forest on the Barren Ground in Jeju Island, Korea. Kunsan National University. Ph.D. thesis, 132pp.
- Lindstrom S. C.(2009). The biogeography of seaweeds in South east Alaska. *Journal of Biogeography*, 36, 401~409.
- Leukart Petra. & Lüning Klaus(1994). Minimum spectral light requirements and maximum light levels for long-term germling growth of several red algae from different water depth and a green alga. *European Journal of Phycology*, 29, 103~112.
- Ministry of Oceans and Fisheries(2002). Cause of Phenomena of Getnokgum and the Way to Control it. 273pp.
- National Institute of Fisheries Science(2009^a). Study on the status of whitening occurrence in the waters of Korea. 133pp.
- National Institute of Fisheries Science(2009^b). *Ecklonia cava* cultivation techniques. 55pp.
- National Institute of Fisheries Science(2015). Cultivation of *Ecklonia cava*. 83pp.
- Oh, Tae-Geon(2010). A Study on Suitability Selection Methods for Marine Afforestation. Chonnam National University. Ph.D. thesis, 132pp.
- Park, Joong- Goo(2008). Marine algal communities and seaweed beds of barren ground along the eastern coast of Korea. Kangnung National University. Ph. D. thesis, 152pp.
- Sohn, Chul-Hyun · Lee In-Kyu & Kang Jae-Won(1983). Benthic marine algae of Dolsan Island in the southern coast of Korea II. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 16(4), 379~388.
- Vasquez Julio A. · Sergio Zuniga · Fadia Tala · Nicole Piaget · Deni C. Rodriguez & J. M. Alonso Vega(2014). Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology*, 26, 1081~1088.
- Wan Xiao Qin · Park, Hyang-Ha · Yoo, Hyun-Il & Choi, Han-Gil(2009). Temporal variations in seaweed biomass and coverage in Korean coasts: Ongdo, Chungnam. *Fisheies and Aquatic Science*, 12, 130~137.
- Whitaker Stephen G. · Smith Jayson R. & Murray Steven N.(2010). Reestablishment of the southern California rocky intertidal brown alga, *Silvetia compressa*: An experimental investigation of techniques and abiotic and biotic factors that affect restoration success. *Restoration Ecology*, 18, 18~26.

-
- Received : 24 August, 2017
 - Revised : 07 September, 2017
 - Accepted : 13 September, 2017