

갯녹음 해역에 해중립 조성을 한 다시마의 생장과 성숙

김영대* · 홍정표¹ · 송홍인² · 전창영³ · 김수경 · 손용수⁴ · 한형균⁵ ·
 김동삼 · 김진희 · 김명래 · 공용근 · 김대권
 국립수산물과학원 동해수산연구소, ¹국립수산물과학원, ²서해수산연구소, ³남해수산연구소,
⁴제주수산연구소, ⁵중부내수면연구소

Growth and Maturation of *Laminaria japonica* Transplanted for Seaforest Construction on Barren Ground

Young-Dae KIM*, Jung-Pyo HONG¹, Hong-In SONG², Chang-Yeong JEON³,
 Su-Kyoung KIM, Yong-Soo SON⁴, Hyoung-Kyun HAN⁵, Dong-Sam KIM,
 Jin-Hee KIM, Myoung-Rae KIM, Yong-Gun GONG and Dae-Kweon KIM
 Aquaculture Division, East Sea Regional Fisheries Research Institute,
 NFRDI, Kangneung 210-860, Korea

¹National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-902, Korea
²West Sea Regional Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea
³South Sea Regional Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea
⁴Jeju Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeju 690-192, Korea
⁵Central Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gapyeong 477-815, Korea

Barren ground is an abnormal phenomenon in coastal ecosystems where seaweeds are destroyed and largely replaced by coralline algae containing calcium carbonate components. To restore the seaweed forest, we attempted reconstruction in an area of Samcheok, Korea, where barrenness is extensive. We developed two methods of seaforest construction underwater longline and seed transplantation for the brown seaweed *Laminaria japonica*, a fast-growing edible seaweed. The blade length of *L. japonica* attached to an underwater longline was 93.9 ± 38.2 cm and blade weight 7.6 ± 2.1 g in February 2004. Seaweed size declined after August 2004. A similar pattern was observed using the transplantation method with maxima of 179.3 ± 40.3 cm and 14.9 ± 3.2 g for blade length and weight, respectively in July 2004. The transplanted seaweeds matured in October as did a wild population. These results indicate that transplanted seaweed acclimate to new environments.

Key words: Barren ground, *Laminaria japonica*, Seaforest construction, Sexual maturation

서 론

연안 해역에서 바다숲(해중림)을 형성하는 미역, 다시마, 모자반류 등 대형 갈조류가 소실되고 암반에 무절산호조류가 피복되는 현상을 갯녹음 현상이라 하는데, 그 원인으로는 유용 해조류의 대량 채취, 조식동물의 과다한 섭식으로 해조군락지의 파괴나 해양환경변동, 산업화에 따른 서식지 감소 및 오염에 의한 해조 서식지 파괴 등을 들 수가 있다(NFRDI report, 2005; 2006). 갯녹음이란 학술적 표현은 Sohn et al. (1982)이 여수 돌산도의 해조류 서식상에 대한 연구보고서에서 처음으로 사용되었고, 바위가 불탄다는 의미의 일본 한자 용어인 기소현상(磯燒現象)을 우리말인 갯녹음 용어와 같이 하여 사용하여 왔으나, 최근에 와서는 순우리말인 갯녹음 용어와 아울러 백화(白化)라는 용어도 병행하여 사용하고 있다(Kim, 2000). 일본에서는 1902년 해조류가 사라지고 전복 등 유용동물의 자원 감소에 대하여 엔도 박사 1903년 이즈미 방의 해조류 서식상을 조사한 결과, 무절산호조류와 모자반만

있고 다른 해조류는 거의 없다고 보고하였다(Sohn, 2002).

동해안에 갯녹음이 발생한 해역에서는 조식동물이 과다하게 서식하고 있고, 무절산호조류가 사멸한 후 백색으로 변하여 암반을 뒤덮고 있는 것이 특색이며, 성게류가 통상 30개체/m² 밀도로 군집을 형성하고 있다고 보고하고 있다(NFRDI 2005; 2006). Kuwahara et al. (2006)은 성게류 등 조식성 동물의 번식이 갯녹음의 원인이 되기에 성게 자원의 조절로 해중림의 복원이 가능하다고 하나 생태계에서는 30개체/m² 이상의 서식하는 해역이 일본에서도 북해도에서 큐슈까지 확산되고 있다고 밝혔다.

다시마는 한국, 일본, 중국 등에서 식용과 추출물 이용 등 가장 유용하게 이용되는 해조류 중의 하나이며(Tseng, 1981), 우리나라 동해안의 대표적 한해성 해조류로 생산성이 매우 뛰어나고, 전복의 먹이와 연안 바다숲 형성에 중요한 역할(Kang and Koh, 1999) 뿐만 아니라 생태학적으로 중요한 역할을 한다(Egan and Yarish, 1990). 그러나 약 10년 전부터 동해에서는 다시마와 같은 한해성 해조류의 서식이 감소하는 대신 무절산호조류가 암반에 피복되는 갯녹음 현상이 심각하게

*Corresponding author: ydkim@momaf.go.kr

발생되고 있다 (Kim et al., 2006).

다시마 서식처 또한 동해 중부 이북에서는 수심 5-10 m에서 볼 수 있던 것이 최근에는 수심 20 m에서도 종종 발견되고 있으며, 다시마 자원량 감소에 따라 연안의 어업생산성도 떨어지고 있다. 국립수산물과학원 동해수산연구소에서는 갯녹음 대책으로 인공종묘 생산한 다시마를 이용하여 해중림 조성을 하였으며, 해중림이 조성된 해역에서의 다시마의 생장과 성숙에 관하여 조사를 하였기에 그 결과를 소개하고자 한다.

재료 및 방법

시험해역 개황 및 인공어초 (해중림초) 시설

시험해역은 강원도 삼척시 호산의 동해수산연구소 시험어장 (Fig. 1)으로 수심은 6-10 m이며 저질은 평탄한 암반이 잘 발달되어 있으며 연안 쪽은 방파제가 있어 약간의 만 형태를 이루고 있으나 외해와 연결되어 있어 해류 흐름은 원활한 편이다. 동 해역은 10년 전까지만 해도 미역, 쇠미역, 다시마 등 풍부한 해조 자원을 가지고 있었으나 최근에는 갯녹음의 심화로 해조류 대부분이 소실되었다. 시험해역에서의 해조류 부착기질로서 투하한 인공어초는 동해안에 기 시설 되고 있는 인공어초 중에서 해조류 부착이 용이한 것을 선별하여 이를 해중림 조성용 어초 (이하 해중림초)로 활용하였다. 해중림초의 규격은 하단부 2.6×1.5 m, 상단부 2.04×1.5 m, 높이 2.0 m, 중량 5.6톤이며, 콘크리트로 제작되었고, 뒷면에 스텐리스 고리를 설치하여 저연승 시설의 앵커용으로 활용이 가능하게 하였다 (Fig. 2). 시험해역 1 ha (100×100 m)에 해중림초를 40 개 시설 하였으며, 그 중 20개에 다시마를 이용한 해중림 조성을 하였다 (Fig 3).

해중림 조성을 위해서 완도에서 생산된 종묘를 구입하였다. 구입당시 엽장은 93.9±38.2 mm, 엽중량은 28.5±21.8 g이었으며 가이식을 하여 충분히 성장 시킨 후 저연승 양식시설과

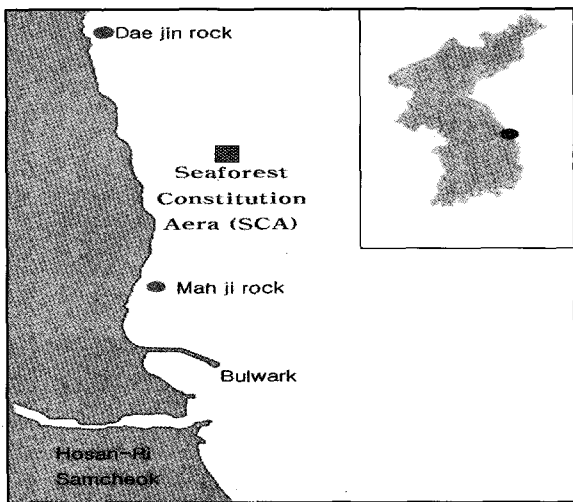


Fig. 1. Map showing the seaforest construction and the sampling station.

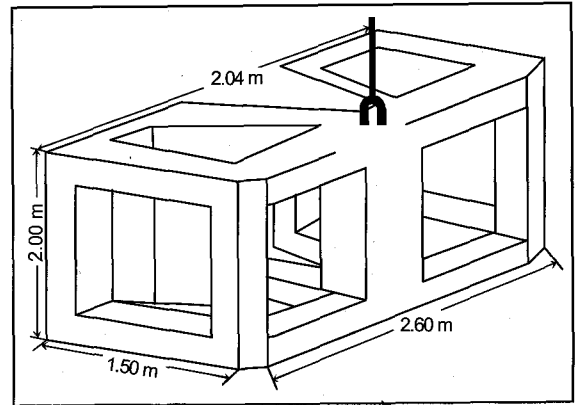


Fig. 2. The schematic design of the artificial reefs for seaforest construction.

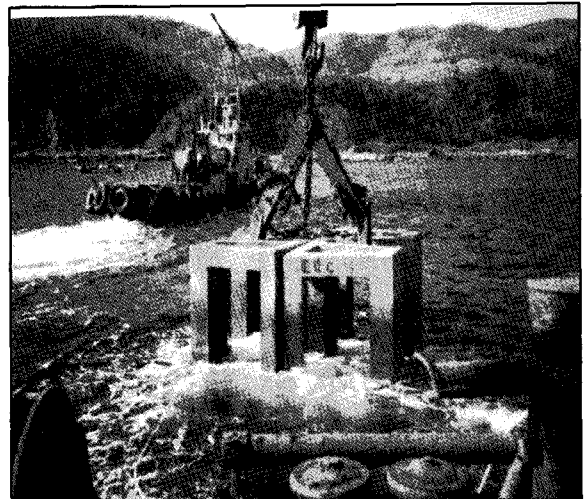


Fig. 3. Installing procedure of artificial seaweed reefs.

해중림초 종묘이식용 종묘로 사용하였다.

저연승 양식시설

해조류 양식에 널리 이용되는 연승식 시설을 해저에 설치하는 저연승 양식시설을 하여 해중림 조성을 하였다 (Fig. 4A). 연승 시설 1대는 총 연장이 32 m이며 8 m 간격으로 해중림초를 조류와 평행하게 동서로 배열하고 각각의 해중림초를 18 mm 로프로 연결한 것으로 해중림초는 연승시설의 앵커용으로 사용하였다. 해중림초를 연결한 로프는 종묘이식용 어미줄로 하여 이 곳에 다시마 종사 (크레모나사)를 2겹으로 감아서 이식하였다. 해중림초 각각의 상단부에는 수중 고압부자 (φ 240 mm)를 설치하여 잠수조사 시 위치확인이 용이 할 뿐만 아니라 다시마가 성장하여 바닥으로 침침을 방지하도록 하였다. 이와 같은 방법으로 1 ha (100×100 m)에 총 5대를 외줄연승식으로 시설하였다. 저연승 양식시설은 해조류가 해저바닥에서 해중림초 높이 (2 m) 이상 떨어져서 성장하기에 조식동물의 섭식 활동으로부터 어느 정도 보호될 수 있고, 엽체가 성숙 후에는 유주자를 쉽게 방출할 수 있는 것으로 판단되었다.

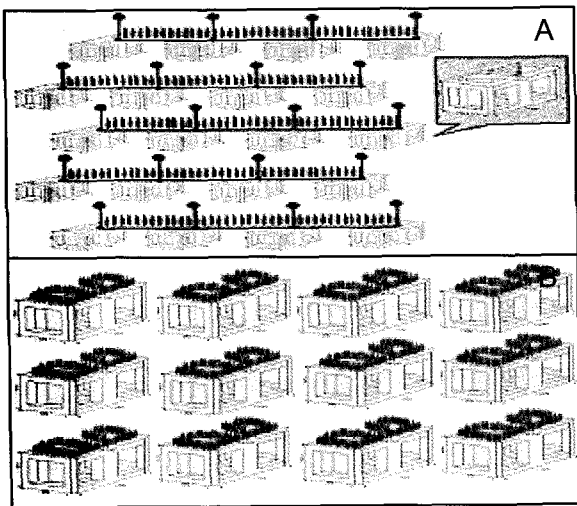


Fig. 4. The schematic design of the long-line hanging culture method in the underwater (A) and the seed transplantation (B) on the artificial seaweed reef.

해중림초 종묘이식

해중림 조성을 위한 다른 방법으로 다시마 종묘를 해중림초에 직접 이식하였다 (Fig. 4B). 18 mm 로프로 다시마 종사를 2점으로 감은 것을 해중림초 길이만큼 잘라서 해중림초 상단부에 고무 밴드로 단단히 묶어 다시마 부착기가 뿌리내림으로 인해 생장이 용이하도록 하였다. 이 방법은 해중림초에 이식된 해조류가 빠른 속도로 성장할 수 있는 장점이 있었다.

생태조사

시험해역에서의 각종 생태조사는 2004년 2월부터 11월까지 실시하였다. 매월 1회 Scuba 잠수에 의한 방법으로 시험구별 (저연승 양식시설 시험구 및 해중림초 종묘이식 시험구) 50개체 이상을 무작위로 채취하여 생태조사용 시료로 사용하였다. 채집된 시료는 실험실에서 엽장, 엽폭, 엽중량을 측정하였고, 시험구별 형질의 특성을 조사하기 위하여 엽형, 비대도 등을 조사하였다. 엽장은 경장을 제외한 엽체의 길이로 하였으며, 엽폭은 최대 엽폭, 엽중량은 부착기를 포함한 엽체의 습중량, 엽형은 엽장/엽폭, 비대도 (mg/cm²)는 단위 엽면적(엽장×엽폭)당 엽중량으로 계산하였다. 엽체의 성숙은 총 채집된 개체수에 대한 자낭반 형성 개체수의 백분율을 구하고, 이때의 자낭반 형성 기준은 육안적 식별 및 냉동 조직을 제작한 후 조직절단을 통한 현미경에서 검경도 병행하였다. 매 생태조사시 현장수온도 관측하였다.

결 과

해중림 조성 해역의 수온변화

강원도 삼척시 호산해역의 수온은 2월에 최저로 표층 8.92℃, 수심 10m의 저층에서 8.90℃를 나타내었다. 수온은 6월까지 완만한 상승을 보이다가 7월에 급격히 상승하여 표층 20.65℃, 저층 19.15℃를 나타내었다. 8월에 표층 23.13℃, 저층

22.50℃로 최고치를 나타낸 후 점차 하강하였다. 시험 종료 시인 11월에는 표층 14.60℃, 저층 14.20℃를 나타내었으며, 시험기간 동안 표·저층간의 수온차이는 7월을 제외하고는 큰 차이가 없었다(Fig. 5).

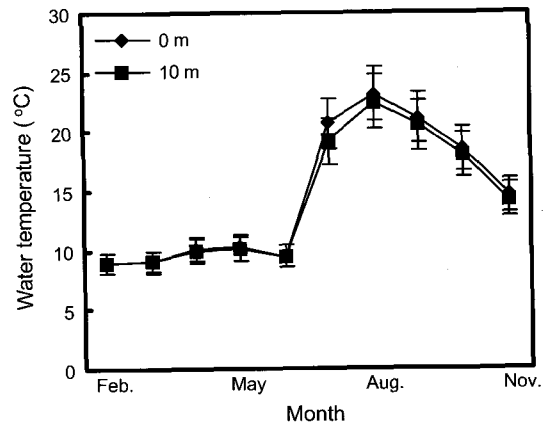


Fig. 5. Monthly variation of water temperature at the sampling site in 2004.

다시마의 엽장 및 엽폭의 성장

각각의 시험구에서 다시마 엽장을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다. 저연승 양식시설 시험구에서의 엽장은 2월 이식 당시 93.9±38.2 cm이던 것이 점차 성장하여 7월에 179.3±40.3 cm로 최대치로 성장하였으나, 8월부터는 끝녹음 현상으로 엽체가 감소하였는데 수온이 하강하는 9월 이후에도 엽체의 감소가 계속되어 10월 76.4±20.8 cm, 11월 39.4±12.8 mm까지 감소하였다. 해중림초 종묘이식 시험구에서는 2월 이식 당시 85.9±31.5 cm이던 것이 성장을 계속하여 7월에 141.8±36.5 cm로 최대치를 보였다가 7월부터 끝녹음으로 엽체가 감소하였는데 10월 64.3±12.6 cm, 11월 34.6±10.6 cm로 끝녹음 현상이 심하였다. 두 시험구 모두 엽장의 성장은 비슷한 경향이었으나 시험기간 동안 엽장의 증가와 감소는 해중림초 종묘이식 시험구가 저연승 양식시설 시험구에 비해 완만한 편이고 개체간의 성장 차이도 적은 편이었다. 각 시험구의 다시마 개체군의 계급별 엽장조성의 분포는 Fig. 7과 같다. 2월에 저연승 양식시설은 50-100 cm 사이에서 44%로 가장 많은 분포를 나타냈으며, 해중림초 종묘이식 또한 50-100 cm 사이에서 66%로 가장 많은 분포를 나타냈다. 3월에는 엽장이 증가하여 저연승 양식시설은 고른 분포를 나타냈으나 해중림초 종묘이식 시험구에서는 100-150 cm에서 46%로 가장 많은 분포를 나타내었다. 4월에는 저연승 양식시설과 해중림초 종묘이식 시험구 모두 100-150 cm에서 44%의 분포를 나타내었다. 5월에는 개체의 크기가 증가하여 저연승 양식시설의 경우 200-350 cm에서 총 16%의 분포를 보였으며, 6월에는 해중림초 종묘이식의 경우 200-300 cm의 개체가 출현하여 14%의 분포를 나타내었다. 7월 이후부터 저연승 양식시설과 해중림초 종묘이식 시험구 모두 감소하는 추세를 보이면서 11월에 저연승 양식시

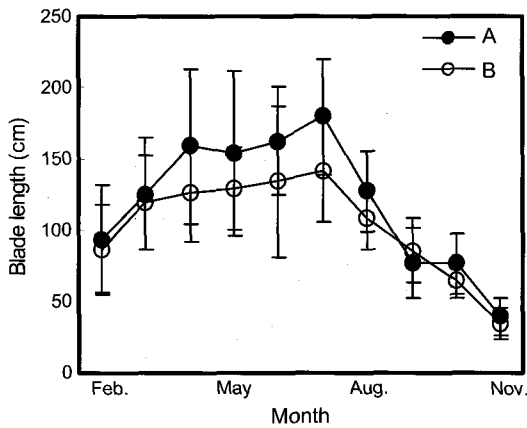


Fig. 6. Monthly variation of blade length of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

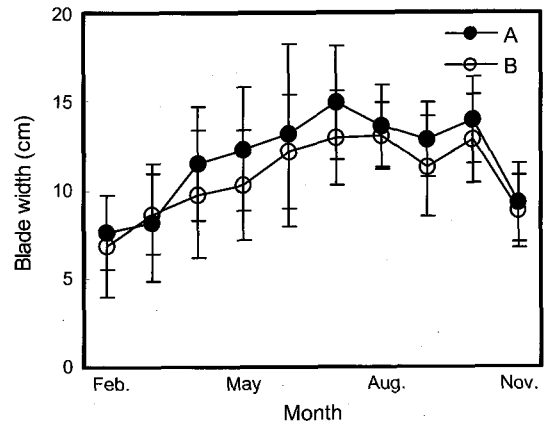


Fig. 8. Monthly variation of blade width of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

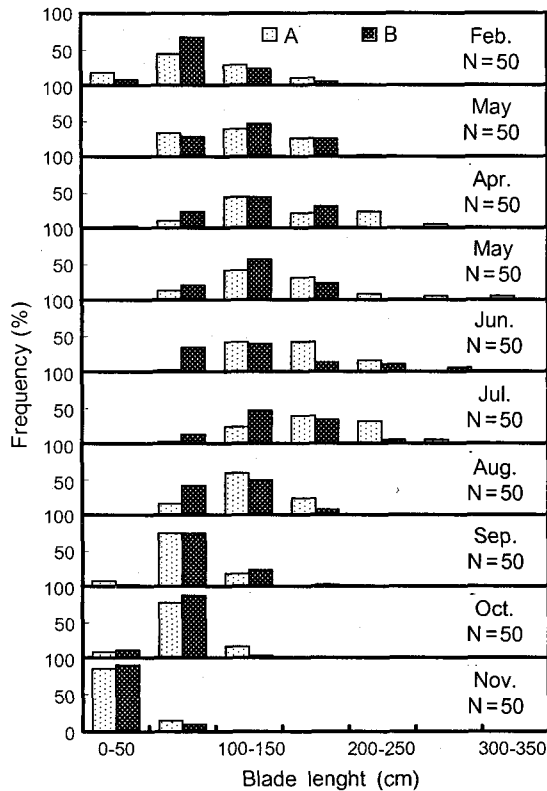


Fig. 7. Monthly changes of blade length composition of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

설은 0-50 cm에서 84%의 높은 분포를 보였고, 해중립초 종묘 이식 시험구 또한 0-50 cm에서 90% 높은 분포를 보였다. 해중립초 종묘이식과 저연승 양식시설 모두 비슷한 엽장 분포를 나타냈으나 해중립초 종묘이식보다 저연승 양식시설이 생장이 양호한 것으로 나타났다.

이식한 다시마의 각 실험구별 엽폭의 변화를 월별로 조사한 결과는 Fig. 8과 같다. 저연승 양식시설 시험구에서 2월 이식당

시 엽폭이 7.6 ± 2.1 cm이던 것이 수온 상승과 더불어 생장을 하여 8월에 최대 엽폭인 15.1 ± 2.3 cm까지 생장을 하였으나 이후 고수온에 따른 끝녹음 현상이 엽체의 상단부 뿐만 아니라 가장자리에도 진행되어 엽폭의 감소가 일어났다가 10월에는 다시 엽폭의 생장을 보인 후 11월에는 포자방출과 더불어 엽체가 소실하는 경향을 보였다. 해중립초 종묘이식 시험구에서는 2월 이식당시 6.9 ± 2.8 cm이던 것이 8월까지 생장을 계속 하였고 8월에 최대엽폭 13.1 ± 1.9 cm을 나타내어 저연승 양식 시설 시험구보다 1개월이나 생장기간이 길었다. 이후의 생장의 경향은 저연승 양식시설 시험구와 비슷하였다.

엽중량, 엽중량 조성 및 엽형 (엽장/엽폭)

저연승 양식시설 시험구에서의 엽중량은 2월 이식 당시 28.5 ± 21.8 g이던 것이 점차 성장하여 7월에 403.4 ± 166.0 g으로 최대치로 성장하였으나 8월부터는 끝녹음 현상으로 엽체가 감소하여 10월 144.8 ± 39.1 g, 11월 46.1 ± 18.9 g으로 엽체 감소가 심하였다. 해중립초 종묘이식 시험구에서는 2월 이식 당시 31.7 ± 19.1 g이던 것이 7월에 234.4 ± 99.6 g으로 최대로 성장하였으나, 8월 이후부터는 끝녹음으로 엽체의 감소가 일어나 10월 106.0 ± 37.0 g, 11월 33.8 ± 13.2 g으로 되었다. 두 시험구 모두 6월에서 7월에 생장이 가장 좋았고 7월에서 8월에는 엽체의 감소가 있었지만 저연승 양식시설 시험구에서 생장의 변화가 심하였다 (Fig. 9).

2월에 저연승 양식시설과 해중립초 종묘이식 시험구 모두 100 g 이하의 1계급의 엽중량 조성을 보인 엽체는 3월부터 엽체 증가에 따른 계급별 엽중량 조성의 차이를 보였다. 저연승 양식시설 시험구에서는 3월부터 생장이 빠른 개체군이 출현하여 3월에는 3계급, 4·7월에는 5·8계급의 다양한 엽중량 조성을 보였다가 8월 이후 끝녹음에 따른 엽체의 소형화가 이루어져 8·10월에는 3계급으로 단순화 되었고, 11월에는 100 g 이하의 1계급만 남게 되었다. 이에 반해 해중립초 종묘이식 시험구는 계급의 증가가 늦게 이루어져 3월에 2계급, 4·5월에

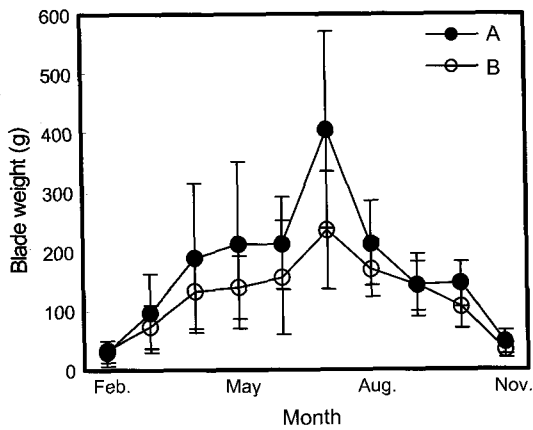


Fig. 9. Monthly variation of blade weight of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

3계급, 6-7월에 5계급으로 되었지만 500 g 이하의 개체군이었다. 8월 이후에는 끝녹음에 따른 엽체의 소형화가 이루어져 8월에 4계급, 9-10월에 3계급으로 단순화 되었고 11월에는 저연승 양식 시설 시험구와 같이 1계급만 남게 되었다 (Fig. 10).

저연승 양식시설은 2월에 엽형치가 $12.4 \pm 9.1\%$ 이었으며, 3

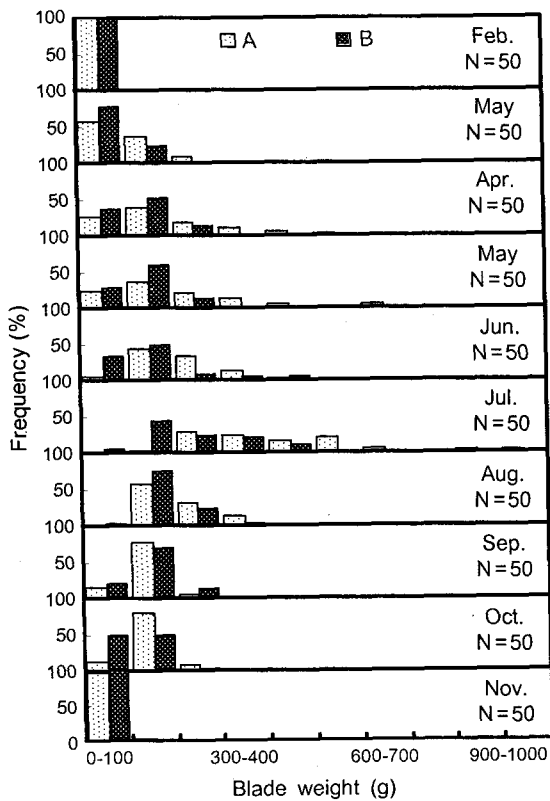


Fig. 10. Monthly changes of blade weight composition of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

월에 $15.3 \pm 5.9\%$ 로 증가하였다가 3월 이후 점차 줄어들어 11월에는 가장 작은 $4.2 \pm 2.9\%$ 의 값을 보였다. 해중림초 종묘이식 시험구에서는 2월에 $12.5 \pm 5.6\%$ 의 값을 보였으며, 저연승 양식 시설과 마찬가지로 3월에 $13.8 \pm 7.2\%$ 의 최대치를 나타내었고, 3월 이후 점차 줄어들어 11월에 $3.9 \pm 2.6\%$ 로 최소치를 나타내었다 (Fig. 11).

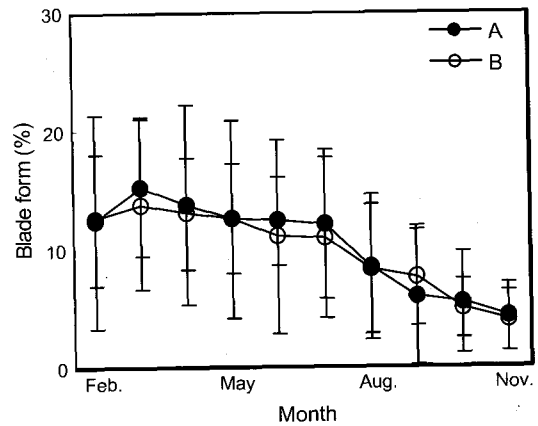


Fig. 11. Monthly changes of blade form (blade length/blade width) of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

비대도

비대도는 Fig. 12와 같이 수중 저연승 양식 시설구는 3월부터 그리고 해중림초 종묘이식 시험구는 4월부터 상품가치 기준인 100 mg/cm^2 이상을 나타냈으나 11월 시험종료까지 전반적인 엽체 비후는 높지 않았다.

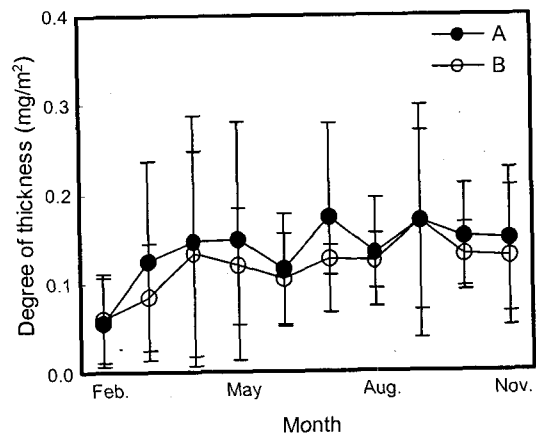


Fig. 12. Monthly changes of degree of blade thickness of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

다시마의 일간 성장

다시마의 일간 엽장의 생장은 저연승 양식시설의 경우 2월에서 3월간 일간 1.05 cm 의 성장을 보이며 증가하다가 4월에

서 5월간 -0.15 cm로 감소를 보이고, 5월에서 6월간 0.28 cm로 다시 증가한 후 7월에서 8월간 -1.73 cm로 감소하였다. 그 후 9월에서 10월간 -0.03 cm로 감소가 적어지다가 다시 급격히 감소하는 추세를 보였다. 종묘이식의 경우 2월에서 3월간 일간 1.13 cm의 성장을 보이고, 3월에서 4월간 0.23cm의 일간 성장을 보이다가 7월에서 8월간 -1.13 cm로 감소하였고, 그 후 8월에서 9월간 -0.75 cm로 감소가 적어지다가 다시 감소하였다. 다시마의 일간 엽폭의 생장은 저연승 양식시설의 경우 2월에서 3월간 일간 0.02 cm의 성장을 보이며 7월까지 증가하다가 7월에서 8월간 -0.04 cm로 감소를 보이다가 9월에서 10월간 0.04 cm로 증가한 후 다시 감소하였다. 종묘이식의 경우 2월에서 3월간 일간 0.06 cm의 성장을 보이면서 7월까지 증가한 후 8월에서 9월간 -0.06 cm로 감소하였다가 9월에서 10월간 0.05 cm로 증가하다가 다시 감소하였다 (Fig. 13).

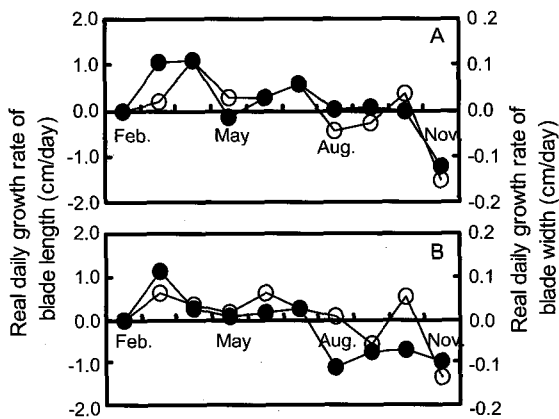


Fig. 13. Monthly changes of real daily growth rate of blade length and blade width of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef. —●—, Blade length; —○—, Blade width.

다시마의 성숙

저연승 양식시설의 경우 8월까지 모든 개체가 미성숙한 영양체였으나, 9월부터 성숙하기 시작하여 저연승 양식시설 시험구에서는 41.7%가 성숙하였고, 10월에 100% 성숙하였다. 해중립초 종묘이식 시험구도 8월에는 모든 개체가 영양세포 상태였으나 9월부터 성숙이 시작되었고 저연승 양식시설의 다시마에 비해 22.7% 높은 64.4%가 성숙되었으며, 10월에 모든 개체가 성숙되어 졌다 (Fig. 14).

고 찰

연안에서 해조류는 이산화탄소를 이용하여 산소를 생성하는 광합성활동, 과다한 영양염을 흡수하는 바다 정화활동, 표서동물 (epifauna)이 부착하여 살아가는 공간, 유용수산동물의 먹이, 산란장, 서식처 등의 역할을 하고 해조류 자원량에 따라 어업생산의 영향을 받고 있다 (Laycock, 1974; Watanuki and Yamamoto, 1990; Ohno, 1993).

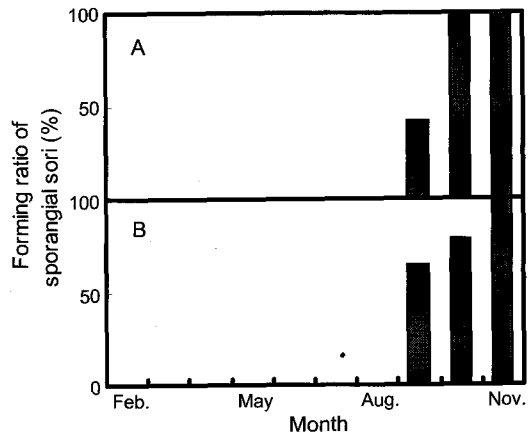


Fig. 14. Monthly changes of forming ratio of sporangial sori of *L. japonica*. (A) Long-line hanging culture installation. (B) Seed transplantation on the artificial seaweed reef.

우리나라의 무절산호조류에 대한 최근의 연구로는 갯녹음 해역의 생태학적 특성과 무절산호조류의 특성 (Chung et al., 1998), 한국산 산호말의 분류적 특성 연구 (Kim, 2000)가 있으며, 이들 중의 확산하는 원인으로서는 지구온난화에 따른 동해의 수온이 지속적으로 상승하고 있어 아열대성인 무절산호조류가 발생하기에 적합한 환경이 되고 (Johansen, 1981; Ichiki et al., 2000), 조식동물의 엽상해조류의 섭식작용으로 현존량이 줄어들어 무절산호조류가 광합성과 성장에 유리한 환경 조성으로 서식량이 확산되는 연구 결과가 있다 (Breitburg, 1984). 일부 발표에서 무절산호조류 (crustose coralline algae)가 물리·화학적 antifouling 메커니즘이 있어 해조류 발생을 억제하거나 방해하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다 (Johnson and Mann, 1986; Keats et al., 1993; Suzuki et al., 1998). 그러나 국립수산과학원 (2005; 2006) 보고에 따르면 무절산호조류가 서식하고 있는 암반에 해조류 유주자를 채모하는 실험을 시행한바 다른 부착기질에 비해 오히려 우수한 것으로 나타났으며 실제로 생태계에서 무절산호조류 위로 해조류가 뿌리를 내리고 서식하고 있는 모습이 쉽게 관찰할 수가 있어 무절산호조류가 갯녹음 발생의 직접 원인으로 설명할 수는 없다.

우리나라 해중립 조성 연구는 국립수산과학원 동해수산연구소에서 1997년부터 기초연구를 시작하여 2002년부터 본격적인 연구가 수행 중에 있고 제주수산연구소에서도 연구가 진행 중에 있다. 일본의 경우 해조숲 조성에 따른 생태계 복원 및 활용에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 1970년대에 모자반 숲 복원 연구 시작, 1980년대 해조숲 복원 방법 연구, 1990년대 인공 해중립 조성 방법 연구, 최근에 친환경적 연안 보존 방법으로 개발이 추진되고 있다. 이러한 추세에 따라 인공어초를 이용한 해중립 조성 연구가 활발히 진행되고 있다 (Kim et al., 2006).

Sasaki (1969)는 다시마를 생육단계별로 유채기, 생장기, 끝녹음기, 성숙기 및 재생기 등으로 나누는 기준은 생장 적수 온 범위인 14-15℃라 하였는데, 본 조사지에서는 유채기는

3월 전후, 성장기는 3-6월이라 할 수 있고 끝녹음기는 6-10월로 추정되며 끝녹음기 중 수온이 하강하는 9월 이후가 성숙기라 할 수 있다. 그러나 다시마의 재생장은 10월 이후에는 없는 점을 미루어 성숙을 한 다시마는 포자방출 후에는 엽체가 재생되지 않고 고사 유실되는 1년생 다시마 인 것으로 생각된다.

Chang ang Son (1993)에 따르면, 강원연안에서 다시마의 최대 생장은 6월에 엽장 160 cm, 엽폭 11.9 cm, 엽중량 152 g이었는데, 생장의 최대치가 나타나는 시기인 6월에는 수온이 15°C 내외였으며, 수온이 15°C 이상으로 상승하는 6월 하순부터 끝녹음이 시작되었다고 밝혔다. 본 연구에서는 강원 삼척의 저연승 양식시설 시험구와 해중림초 종묘이식 시험구 모두 엽장, 엽중량은 7월에 엽폭은 8월에 최대 생장을 보였는데, 이를 수온자료 (Fig. 5)와 비교하며 2월부터 6월까지의 11°C 내외로 낮은 수온을 보이다가 7월 들어 수온이 급격히 상승하여 표층 20.65°C, 수심 10 m 19.15°C를 나타낸 것으로 보아 6-7월 사이의 아주 짧은 기간에 다시마 생장의 적수온인 14-15°C를 나타내어 엽체의 급한 성장을 보였고, 7월 이후에는 곧 이어 끝녹음이 시작된 것으로 보인다. 따라서 2월에 이식한 다시마는 6월까지의 저수온에 따른 완만한 성장을 하다가 6월 하순경에 엽체의 급한 생장이 있었지만 오래가지 못하고 7월 하순에는 다시 고수온에 따른 끝녹음으로 엽체의 급격한 감소를 보였는데 7월에는 엽체의 성장과 감소가 동시에 일어난

것으로 보인다. 또한 저연승 양식 시설구와 해중림초 종묘이식 시험구에 있어서 개체군간의 성장차이도 있었는데 이러한 성장 차이는 이식 당시의 개체간의 크기뿐만 아니라 서식지의 해중림 조성을 위한 이식과정에서 육상에서의 작업 시 건조 및 노출 등의 원인으로 초기 생장이 부진한 것으로 분석된다.

엽장에 있어서는 저연승 양식시설이 해중림초 종묘이식에 비해 생장이 양호한 것으로 나타났다. 시험기간 동안 엽장의 증가와 감소는 해중림초 종묘이식 시험구가 저연승 양식시설 시험구에 비해 완만한 편일뿐만 아니라 개체간의 성장 차이도 적었고, 끝녹음에 따른 엽체의 감소도 적었다. 저연승 양식시설과 해중림초 종묘이식 시험구 모두 비슷한 엽장 조성을 나타냈고, 계급별 엽장조성 (Fig. 7)으로 엽체의 끝녹음을 알 수 있었는데, 엽장 100-150 cm (125±25 cm) 계급 이상에서 끝녹음이 주로 일어났다.

엽폭에 있어서는 두 시험구 모두 8월까지 지속적으로 성장을 계속하고 8월에 최대 엽폭을 나타내었는데 최대 엽폭을 나타내는 시기가 최대 엽장을 나타내는 시기보다 늦게 나타나는 경향 (Funano, 1980)과 실내 실험에서 도출한 결과지만 엽폭은 엽장보다 높은 수온에 성장을 한다 (Okada et al., 1985)는 것과 일치하였다. 최대 엽폭에 이른 후 급격한 엽폭의 감소는 끝녹음이 엽체 선단부 뿐만 아니라 가장자리까지 진행되어 나타난 결과 보다는 Sasaki (1969)도 지적한 바와 같이 끝녹음에 의한 최대엽폭 측정 부위의 변동으로 생각된다.

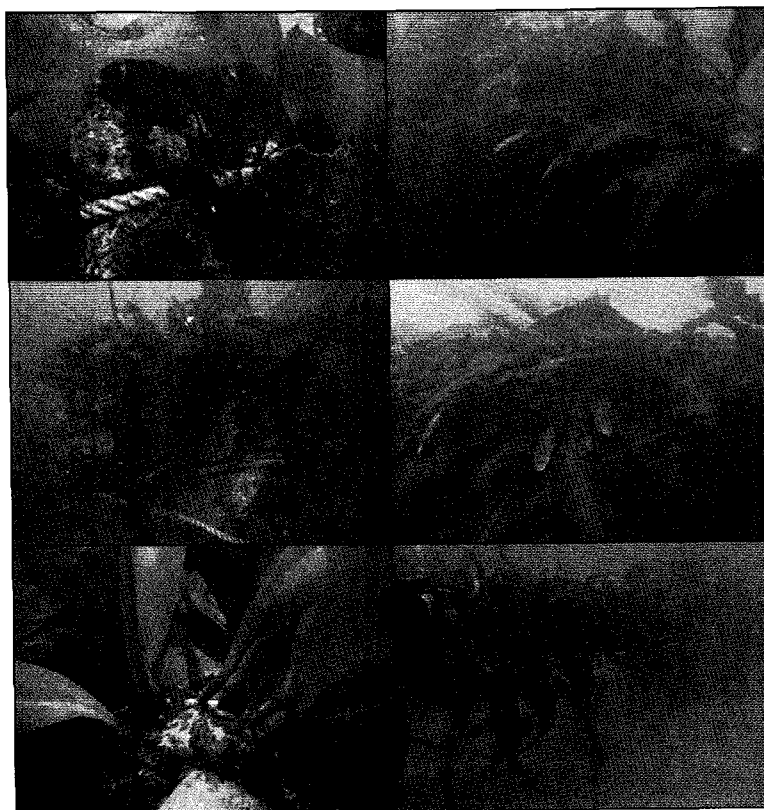


Fig. 15. Complete constructed seaforest of *L. japonica*.

엽중량은 엽장과 엽폭의 성장에 직접적인 관계를 가지나 엽폭 보다는 엽장의 성장에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 특히 8월 이후 엽중량의 감소는 끝녹음과 관련한 엽장·엽폭의 변화도 있지만 Sasaki (1969)의 보고와 같이 자낭반의 형성에 의해 나타난 결과로도 생각된다.

비대도의 전반적인 낮은 값은 유엽기 및 생장기인 5월 이전까지는 10℃ 이하의 저수온의 지속에 따른 생장 둔화로 여겨지며, 6월에서의 일시적인 비대도의 감소는 수온하강(냉수대 출현)에 따른 영향, 그리고 8월의 수중 저연승 양식 시설구의 비대도 감소는 엽체의 끝녹음 현상이 심한 결과라 생각된다.

일간생장율의 경우 Baik and Pyen (1973)은 동해에서 3.45 cm/일, Kang and Koh (1999)는 동해남부 해역인 부산 일광에서 4월경에 2.79 cm/일로 나타났다고 밝혔다. 일본의 에이메 해역이 4.06 cm/일, 이세만의 경우 2.3 cm/일, 3.6 cm/일(Achiha and Nakamura, 1987)로 나타났고, Torkko et al. (1987)는 2월에 최대 일간 생장율이 5.0 cm/일로 나타났다. 본 연구에서는 최대 생장율이 3월에 일간 1.13 cm/일로 나타나 많은 차이를 보이고 있다. 이러한 원인은 각 해역의 수온 등 환경이 다르기 때문으로 분석되었다.

다시마가 성숙개체가 출현하는 시기는 9월부터였는데 이때를 수온과 관련 지어보면 최고수온기인 8월을 지나 수온이 20℃ 부근으로 하강하는 9월을 시작으로 하여 10월 이후에는 일시에 전 개체가 성숙하는 경향을 보였다.

본 연구는 국내에서는 최초로 해중립조를 이용하여 저연승 양식시설과 종묘이식법으로 해중립 조성을 하였다(Fig. 15). 갯녹음 심화해역은 약 10여년 동안 해조류가 서식 및 발생을 하지 못하는 해역이다. 국립수산물연구원 동해수산연구소의 보고서에 따르면 동해안은 조식동물이 과다하게 번식하고 있다. 이러한 원인은 90년대 초부터 성게 운단이 중국산과 가격 경쟁에 밀려 일본이 수출이 중단되고 국내에서의 자원이용은 미미하여 성게 자원이 폭발적으로 번식하게 되었다고 분석하고 있다. 조식동물에 의해 요구되어지는 해조 자원량과 해조 현존량과의 차이로 갯녹음이 심화되고 있음이 실내실험과 수중 생태실험에서 밝혀지고 있다. 본 연구에서 갯녹음 해역이 해조류가 서식하기에 불가능하거나 매우 어려운 해역이 아님이 확인되었다. 다만, 갯녹음 해역에서는 지속적으로 해조류의 포자의 착생 및 발아가 되지 못하여 해조 생태계인 바다숲이 형성되지 못하고 있다. 이러한 문제점은 보다 더 심층적인 연구로 해결되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 동해수산연구소의 정상과제인 “동해안 해조장조성에 관한 연구, RP-2007-RE-006”의 지원에 의해 운영되었습니다.

참 고 문 헌

Achiha, H. and T. Nakamura. 1987. Growth and maturation

of transplanted *Laminaria japonica* Areschoug in Ise bay. *Suisanzoshoku* 36, 1-6.

Baik, K.K. and C.K. Pyen. 1973. Study on growth of *Laminaria japonica* in the coastal area of Kang Won Do. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 11, 79-97.

Breitburg, D.L. 1984. Residual effects of grazing: inhibition competitor recruitment by encrusting coralline algae. *Ecology*, 65, 1136-1143.

Chang, J.W. and Y.S. Son. 1993. Studies on the morphological characteristics of *Laminaria japonica* Areschoug and *Laminaria religiosa* Miyabe in the coast of Kangwon-Do of Korea. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency.*, 48, 167-177.

Chung, H., K.W. Cho, K.Y. Chung, J.H. Kim, J. Shin, Y. Seo, J.S. Kang and I.K. Lee. 1998. Ecological characteristics of algal whitening in coastal zone of Seogwipo area, Cheju Island. *Algae*, 13, 361-374.

Egan, B. and C. Yarish. 1990. Productivity and life history of *Laminaria longicuris* at its southern limit in the Western Atlantic Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 67, 263-273.

Funano, T. 1980. Ecological and maricultural studies on the *Laminaria japonica* growing on the shores of Date City, Hokkaido. I. Ecology of *L. japonica*. *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Sta.*, 22, 17-77.

Ichiki, S., H. Misuta and H. Yamamoto. 2000. Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline alga *Lithophyllum yesoense* Foslie (Corallinales, Rhodophyceae). *Phycol. Res.*, 48, 115-120.

Johansen, H.W. 1981. *Coralline Algae, A First Synthesis*. CRC Press Inc., Florida, 1-157.

Johnson, C.R. and K.H. Mann. 1986. The crustose coralline alga, *Phymatolithon* Foslie, inhibits the overgrowth of seaweeds without relying on herbivores. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 96, 127-146.

Kang, R.S. and C.H. Koh. 1999. Seasonal photosynthetic performance of *Laminaria japonica* sporophytes on the southeastern coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 4, 237-245.

Keats, D.W., A. Groener and Y.M. Chamberlain. 1993. Cell sloughing in the littoral zone coralline alga, *Spongites yendoii* (Foslie) Chamberlain (Corallinales, Rhodophyta). *Phycologia*, 32, 143-150.

Kim, J.H. 2000. Taxonomy of the Corallinales, Rhodophyta in Korea. Ph.D. Thesis, Seoul Nat. Univ., Korea, 1-321.

Kim, N.G. 2000. On the Getnogum (Barren ground). *Kor. Soc. Phycol., News Letter*, 11, 43-53.

- Kim, Y.D., H.I. Song, J.P. Hong, C.Y. Jeon, S.K. Kim, H.K. Han, D.S. Kim and J.D. Bang. 2006. Growth and maturation of the brown seaweed *Costaria costata* transplanted for the wildstock enhancement. Kor. J. Life Sci., 16, 1044-1051.
- Kuwahara, H., A. Watanuki and T. Aota. 2006. Results of questionnaire on 'Isoyake' in Japan. Fish. Engin., 43, 97-107.
- Laycock, R.A. 1974. The detrital food chain based on seaweeds. I. Bacteria associated with the surface of *Laminaria* flonds. Mar. Biol., 25, 223-231.
- NFRDI. 2005. A study on construction of seaweed forest in the East Sea. Final Report on Fisheries Life Sciences and Aquaculture Sciences. Nat. Fish. R & D Inst., 5-50.
- NFRDI. 2006. A study on construction of seaweed forest in the East Sea. Final Report on Fisheries Life Sciences and Aquaculture Sciences. National Fisheries R & D Institute., 521-696.
- Ohno, M. 1993. Succession of seaweed communities on artificial reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan. Algae, 8, 191-198.
- Okada, Y., Y. Sanbonsuga and Y. Machiguchi. 1985. The effects of temperature on the growth and shape of the early sporophytes of *Laminaria japonica*, *L. ochotensis*, *L. diabolica*, *L. religiosa* and *L. angustata* var. *longissima* in culture. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 50, 27-44.
- Sasaki, S. 1969. An ecological study of *Laminaria angustata* var. *longissima* (M.) Miyabe on the coast of Kushiro Prov., Hokkaido. I. On the life of winter population. Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stat., 10, 1-42.
- Sohn, C.H., H.G. Kim and H.S. Han. 2002. To marine forest in barren ground, 4-152.
- Sohn, C.H., I.K. Lee and J.W. Kang. 1982. Benthic marine algae of Dolsan island in the Southern coast of Korea. Publ. Inst. Mar. Sci., NFUB, 14, 37-50.
- Suzuki, Y., T. Takabayashi, T. Kawaguchi and K. Matsunaga. 1998. Isolation of an alleloathic substance from the crustose coralline algae, *Lithophyllum* spp., and its effect on the brown alga, *Laminaria religiosa* Miyabe (Phaeophyta). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 225, 69-77.
- Torkko, K.C., T. Ioriya, Y. Aruga and K. Iwamoto. 1987. Growth of transplanted *Laminaria japonica* Areschoug in Tokyo Bay far from its natural habitat. Jap. J. Phycol., 35, 10-18.
- Tseng, G.K. 1981a. Commercial cultivation. In Lobban, C.S. and Wynne, M.J. eds. The Biology of Seaweeds. Black-Well Sci. Publ., London, 680-725.
- Watanuki, A. and H. Yamamoto. 1990. Settlement of seaweeds on coastal structures. Hydrobiologia, 204/205, 275-280.

2007년 8월 31일 접수
2007년 10월 17일 수리