

<http://doi.org/10.15433/ksmb.2016.8.2.054>

ISSN 2383-5400 (Online)

기장과 완도해역에서의 수층별 다시마 (*Saccharina japonica* Areschoug) 생산성

Productivity of *Saccharina japonica* Areschoug by Depth in Gijang and Wando Offshore, Korea

장재길¹, 이화연², 김남길^{3*}

Jae-Gil Jang¹, Hwa-Yeon Lee², Nam-Gil Kim^{3*}

¹㈜해양생태기술연구소

²경상남도 수산자원연구소

³경상대학교 해양생명과학과/해양산업연구소

¹Marine Eco-Technology Institute Co., Ltd., Busan 48520, Republic of Korea

²Gyeong Sang Nam Do Fisheries Resources Institute, Tongyeong 53080, Republic of Korea

³Department of Marine Biology and Aquaculture/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

(Received 20 December 2016, Revised 13 January 2017, Accepted 17 January 2017)

Abstract Productivity of *Saccharina japonica* was evaluated by water layers in Gijang and Wando sea area to find the suitable farming areas for mass production of biomass. For this, *S. japonica* was cultivated at various depths (0.5, 1, 2, 3 m), respectively. As the result, the growths in Gijang were 225.1-261.5 cm in length, 18.5-21.3 cm in widths, 396.0-537.7 g in weights, 14.3-17.8 kg/cluster in biomass, and those in Wando were 332.0-435.7 cm in lengths, 24.6-32.5 cm in widths, 766.0-1,232.9 g in weights, 16.4-24.3 kg/cluster in biomass. It showed that the growths of blades in Wando were faster than those in Gijang. The growth rates of blades by the depths were faster at 0.5-1 m depth from January to June. After June, however, as the growth rates of blades were lower than the shedding rates of blades, it showed that the growth of *S. japonica* decreased at all depth conditions except 2 m depth. Productivity of *S. japonica* was better in Wando which is lower in the water temperature and nutrients than Gijang.

Keywords : *Saccharina japonica*, Biomass, Productivity, Gijang, Wando

서 론

바이오에너지는 광합성에 의하여 생성되는 유기

물과 유기물을 소비하여 발생하는 모든 바이오매스를 활용하여 생성하는 에너지를 의미한다. 바이오에너지 산업은 1973년 1차 오일쇼크 후 석유 연료의

* Corresponding author
Phone: +82-55-772-9155 Fax: +82-55-772-9159
E-mail: ngkim@gnu.ac.kr

This is an open-access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

대체 연료로서 바이오에탄올 개발을 목적으로 시작되었고 초기에는 미국, 브라질, EU의 일부 국가에서만 선도적이었지만, 화석연료의 과도한 사용으로 인하여 천연의 자원량이 점차 고갈되어 가고 있고 또한 온실가스의 증가로 지구온난화가 점차 가속화 되어감으로써 신 재생에너지 개발에 대한 관심이 전세계적으로 확대되어 다수의 나라들이 관심을 가지고 참여하게 되었다(MFAAT, 2007; Choi et al., 2012). 지금까지 휘발유 대체 연료인 바이오에탄올의 원료로는 주로 전분계 작물(옥수수, 수수, 고구마, 곡류 등)과 당질계 작물(사탕수수와 사탕, 무우 등) 등의 육상식물이 이용되어져 왔지만 애그플레이션(Agflation)의 위험, 경작지 확대에 따른 2차 오염원 발생, 한정된 자원, 산림 훼손 등의 문제점들로 인하여 생장이 빠르고 단위면적당 생산성이 높을 뿐만 아니라 높은 CO₂ 흡수율로 인한 온실가스 저감에도 효율적인 해조류를 바이오에너지 원료로의 활용에 관심을 돌리게 되었다(Han and Kim, 2006; MFAAT, 2007; Park et al., 2008; Lee et al., 2009; Subhadra and Edwards, 2010). 특히 우리나라의 경우 바이오에너지의 원료가 되는 곡물은 주로 식용이거나 수입에 의존하고 있기 때문에 생산 단가가 높고, 국토 면적이 좁아 경작지의 확충이 어려운 단점이 있다. 따라서 3면이 바다로 둘러싸여 해조류 양식 산업이 잘 발달한 우리나라에서는 제3세대 바이오매스인 해조류를 활용하는 것이 바이오매스 상용화에 더 적합할 것으로 판단하여(KIMST, 2009; Na and Song, 2012), 2000년대 후반 이후부터 해조류를 이용한 바이오에너지 생산 연구가 시도되어 왔다(Lee et al., 2009; Kim et al., 2010; Lee, 2012; Kim, 2013).

우리나라의 해조류 양식 대상 종으로는 김류(*Pyropia* spp.), 미역(*Undaria pinnatifida*), 다시마(*Saccharina japonica*), 모자반(*Sargassum fulvellum*)을 포함하여 총 10여종이 있으며(Sohn, 1996; Kim, 2010), 다시마는 우리나라 해조류 총 생산량(1,028,282 MT)의 30% (308,601 MT)를 차지하고 있다(KOSIS, 2012). 다년생 대형 갈조류인 다시마는 해양동물의 산란장 및 서식처 제공을 위한 해중림 구성에 감태, 곰피, 모자반 등과 함께 이용되어질 뿐만 아니라 양식된 다시마는 인간의 식량으로 대부분 소비되고 전복의 먹이, 의약품 및 공업원료로도 이용되어지고 있다(Kain and Dawes, 1987; Kirihara et al., 1989;

Hwang et al., 2010).

해조류의 에탄올 수율은 25 L/T이고, 해조류의 평균 생산량이 약 34 M/T 일 때 국내 휘발유 소비량의 1%를 대체할 경우 95,000,000 L의 에탄올이 생산되어야 하며 3,900,000 M/T의 해조류 생산량과 116,000 ha의 양식장 면적이 요구되고, 소비 대체율이 5%로 증가 할 경우 19,000,000 M/T의 다시마 생산량과 550,000 ha의 양식장 면적을 필요로 하는 반면 우리나라의 해조류 양식장 총 면적은 약 79,000 ha이고 연안의 개발 가능 면적은 36 ha에 불과하다(KIMST, 2009). 그러므로 바이오에탄올 산업에 필요한 해조류의 안정적인 공급을 위해서는 내해에 고밀도로 시설되어 있는 해조류 양식장을 외에도 이전함으로써 어장의 활용과 바이오매스용 해조류의 안정적인 대량 생산 및 지속적인 원료 공급기술을 개발해야 할 필요성이 대두되고 있다.

본 연구는 이러한 관점에서 친환경 바이오에너지 개발을 위한 바이오매스용 해조류 원료의 지속적이고 안정적인 생산을 위한 원료 확보 측면에서 대량생산 기술개발 및 적지를 선정할 목적으로 다시마의 주 생산지인 기장과 완도에서 시험양식을 통해 시설방법 및 수층별로 그 생산성을 비교하여 바이오에탄올 원료로서 그리고 다시마의 대량생산 기지로서의 타당성을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

다시마의 양성 시험은 기존 양식 어민들이 입식하는 시기인 2010년 12월부터 2011년 7월까지 7개월에 걸쳐 우리나라 다시마의 주요 생산지인 전남 완도군 금일읍의 사동리 지선과 부산광역시 기장군 문동리 지선의 다시마 양식장 내에서 수행하였다 (Fig. 1).

양성 시험에 사용된 다시마 종묘는 완도군 금일읍의 다시마 종묘배양장으로부터 구입한 엽장 5 mm 크기의 유엽이 착생된 종사를 사용하였다. 양성 방법은 각 지역별로 다시마양식 어민들이 수행하고 있는 방법에 따라 다시마 유엽이 착생된 종사를 4 cm 길이로 자른 후 기장해역에서는 25 cm, 완도해역에서는 50 cm 간격으로 양성용 로프에 끼운 후 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m의 수층에 각각 시설하여 양성하였다.

조사는 매월 1회 시험양성 중인 다시마를 각 수층별로 한 클러스터씩 채취하여 실험실로 운반 후 엽

체의 엽장, 엽폭, 일간생장(cm/day), 엽중량, 비대도 (mg/cm²), 생체량을 측정하고 착생 개체수를 계수하였다. 비대도는 엽중량에 대한 단위 엽면적(엽장×엽폭)의 비로 산출하였고, 일간생장은 시간에 따른 엽장의 성장 차이에 대한 소요일수의 비로서

산출하였다. 시험 양성지의 환경 조사는 현장 조사 때마다 YSI-Pro30과 Licor LI-192 수중광량계를 사용하여 수온, 염분 및 수중광량을 각각 측정하였고 영양염 분석은 2011년 3월부터 7월까지 각 해역별 시험양식장의 해수를 채수하여 비교 분석하였다.

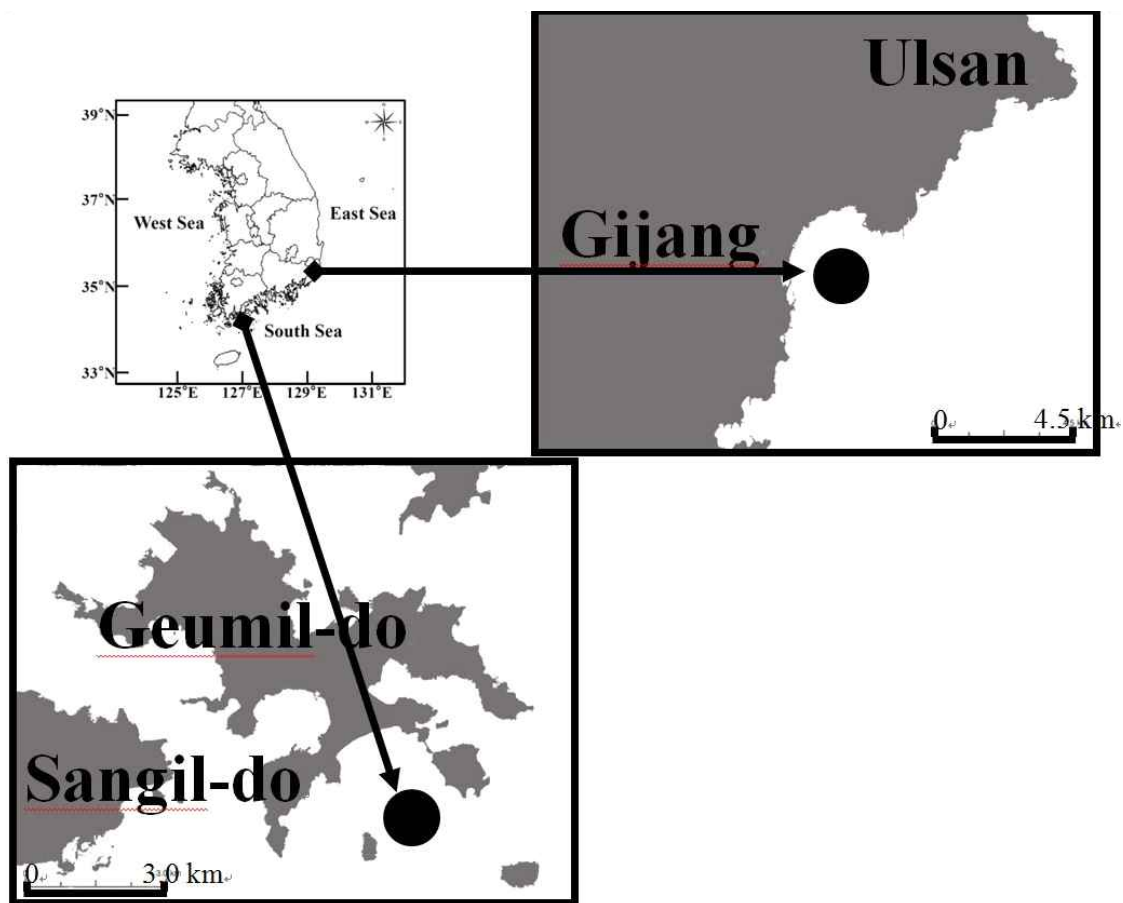


Figure 1. A map showing area of the each study site.

결과

양성장의 해양환경

양성기간 중 각 해역별 시험 양성지의 수온 변화를 보면 기장해역에서는 12.4-18.0°C의 범위로 나타났고 완도해역에서는 7.9-19.1°C의 범위로 나타나 두 해역간 2.8-5.7°C의 수온차이를 보였으며 완도해역이 기장해역과 비교하여 동계와 춘계에 걸쳐 수온이 보다 낮은 경향을 보였다. 염분은 기장해역에서는 31.9-34.1 psu의 범위를 보였고, 완도해역에서는 32.3-33.9 psu의 범위로 나타나 두 해역 모두 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 2). 수중광량은 하계가 동계보

다 상대적으로 높은 것으로 나타났지만 조사 시의 기상 상황에 따라 변동 폭이 크게 나타나(Fig. 3) 수층별 표층광량의 감소율을 산출한 결과 기장해역의 경우, 표층에서 가장 가까운 0.5 m 수층에서는 12.6-36.8%의 범위를 보였고 양성 수층 중 가장 깊은 조건인 3 m 수층에서는 56.3-77.1%의 범위로 나타나 계절에 따른 감소율의 변화는 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 완도해역의 경우에는 0.5 m 수층에서 21.8-64.0%의 범위로 계절별 감소 폭이 큰 차이를 보였으며 동계에서 하계로 갈수록 감소율이 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 3 m 수층에서는 양성 전

기간 동안 82.3-99.1%의 범위로 감소율이 전반적으로 높게 나타나 기장해역과 비교하여 탁도가 높은 것으로 나타났다(Fig. 4). 각 해역별 시험 양성장의 영양염류를 보면 기장해역에서는 총질소(TN)가 0.179-0.427 mg/L, 총인(TP)이 0.019-0.058 mg/L, 아질산성 질소(NO₂-)가 0.002-0.083 mg/L, 질산성 질소(NO₃-)가 0.006-1.110 mg/L, 인산성 인(PO₄-)이 0.001-0.032 mg/L의 범위로 나타났고 완도해역의 경우에는 총질소(TN)가 0.129-0.223 mg/L, 총인산(TP)이 0.013-0.035 mg/L, 아질산성 질소(NO₂-)가 0.002-0.008 mg/L, 질산성 질소(NO₃-)이 0.002-0.080 mg/L, 인산성 인(PO₄-)이 0.001-0.025 mg/L의 범위로 나타나 기장해역이 완도해역 보다 영양염류의 함량이 높은 것으로 나타났다(Table 1).

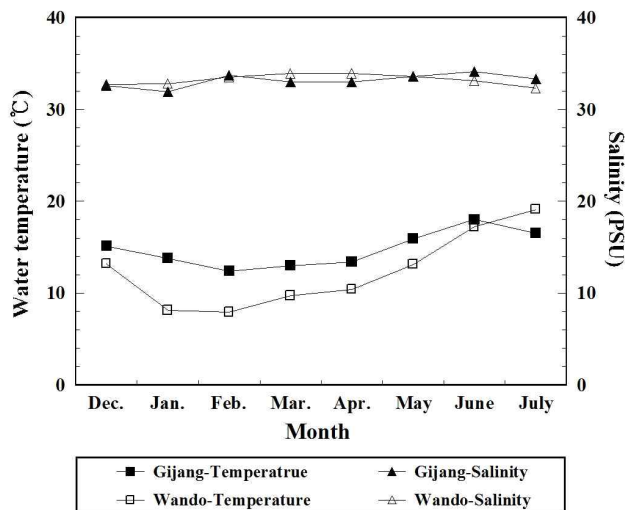


Figure 2. Monthly variation of water temperature and salinity on the each study site.

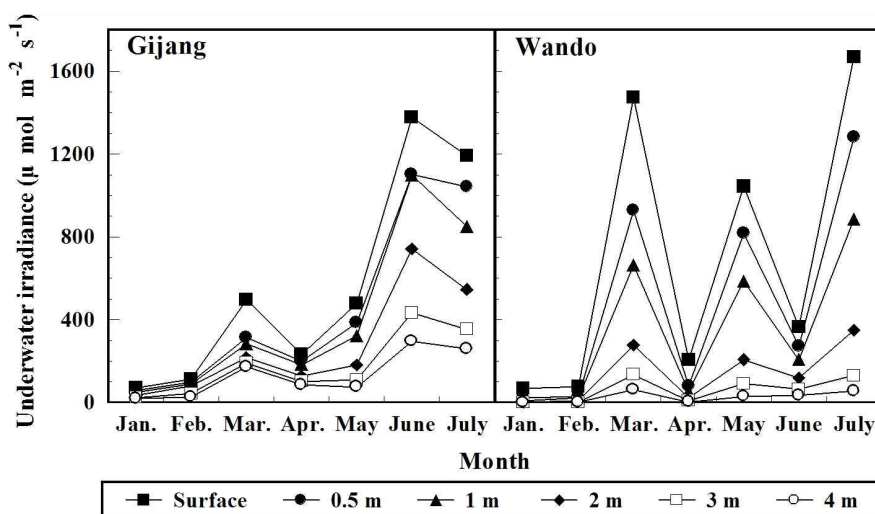


Figure 3. Monthly variation of underwater irradiance at different depth on the each study site.

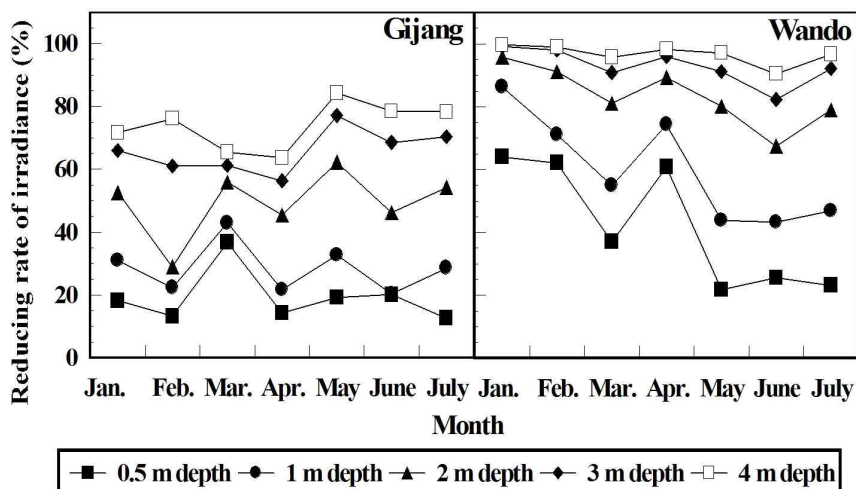


Figure 4. Reducing rate of irradiance at different depth on the each study site.

Table 1. Monthly variation of nutrients in seawater at each study site.

Month	Gijang					Wando				
	TN	TP	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	TN	TP	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻
Mar.	0.179	0.019	0.005	0.046	0.001	0.163	0.016	0.005	0.080	0.006
Apr.	0.427	0.033	0.002	0.170	0.013	0.151	0.035	0.002	0.067	0.025
May	0.204	0.020	0.008	0.006	0.004	0.129	0.015	0.006	0.022	0.004
June	0.320	0.038	0.009	0.050	0.002	0.177	0.013	0.008	0.002	0.008
July	0.396	0.058	0.083	1.110	0.032	0.223	0.020	0.003	0.069	0.001

¹Total Nitrogen (TN); Total Phosphorus (TP)

다시마의 생장

양성기간 중 수층별 다시마의 평균 엽장은 기장해역의 0.5 m 수층에서 29.3-261.5 cm, 1 m 수층에서 24.1-225.1 cm, 2 m 수층에서 25.0-241.7 cm, 3 m 수층에서 20.5-249.1 cm로 나타나 0.5 m 수층에서 다시마의 생장이 가장 빠른 것으로 나타났고, 완도해역에서는 0.5 m 수층에서 51.4-435.7 cm, 1 m 수층에서 48.4-422.3 cm,

2 m 수층에서 52.7-322.0 cm, 3 m 수층에서 55.5-421.7 cm로 나타나 기장해역과 마찬가지로 0.5 m 수층에서 가장 빠른 생장을 보였으며 시험양식해역별로는 완도해역이 기장해역에 비해 다시마의 생장속도가 더 빠른 경향을 보였다. 수온이 17°C 이상으로 상승한 6월 이후에는 2 m 수층을 제외한 모든 조건에서 끝녹음이 빠르게 진행되어 엽장이 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 5).

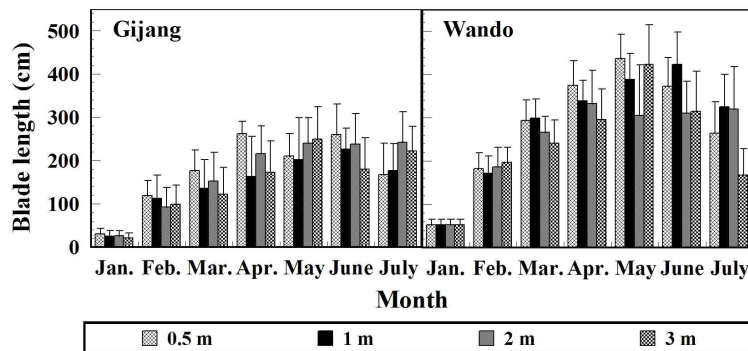


Figure 5. Monthly variation of the blade length of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site. Vertical bars are standard deviations.

기장해역에서의 평균 엽폭은 0.5 m 수층에서 3.9-21.3 cm, 1 m 수층에서 3.4-18.5 cm, 2 m 수층에서 3.4-20.4 cm, 3 m 수층에서 3.5-20.0 cm로 나타났고, 완도해역에서는 0.5 m 수층에서 3.3-31.9 cm, 1 m 수층에서 3.4-32.8 cm,

2 m 수층에서 3.6-24.6 cm, 3 m 수층에서 3.6-28.3 cm로 나타나 엽장의 생장과 유사한 것으로 나타났으며 엽폭의 생장 또한 완도해역이 기장해역보다 더 높은 것으로 나타났다(Fig. 6).

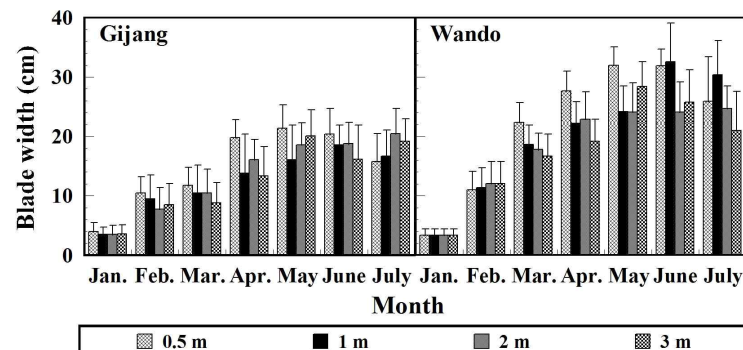


Figure 6. Monthly variation of the blade width of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site. Vertical bars are standard deviations.

다시마 엽장의 일간생장을 보면 평균 엽장이 70 cm 이하에서는 수층별 큰 차이를 보이지 않았지만 2월 이후 다시마의 엽장이 1 m 이상으로 성장하면서 점차 차이를 보이기 시작하였다. 각 수층별 일간 최대 생장은 2-3월에 나타났으며 기장해역에서는 2.5-3.0 cm/day, 완도해역에서는 3.5-4.4 cm/day로서 완도해역

이 기장해역에 비해 비교적 높게 나타나 초기 생장이 더 빠른 것을 알 수 있다. 4월 이후에는 엽체의 끝녹음으로 인하여 생장이 다소 감소하는 경향을 보였다. 그러나 시험양식을 수행한 수심 중 가장 깊은 3 m 수층에서는 3월에 일시적인 감소를 보이긴 하였지만 4-5월에 걸쳐 지속적인 증가를 보였다 (Fig. 7).

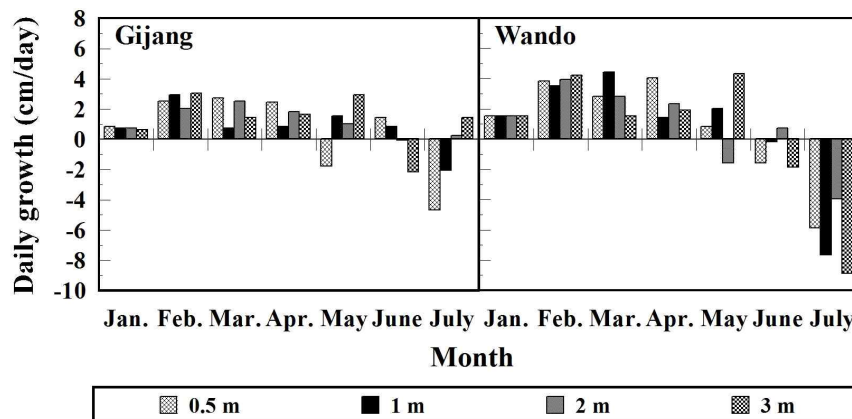


Figure 7. Monthly variation of daily growth of the blade length of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site.

다시마의 줄기부의 생장을 나타내는 평균 경장은 기장해역의 0.5 m 수층에서 2.4-5.3 cm, 1 m 수층에서 2.2-5.5 cm, 2 m 수층에서 2.2-5.9 cm, 3 m 수층에서 1.8-6.0 cm로 나타났고 완도해역에서는 0.5 m 수층에서 2.5-5.2 cm, 1 m 수층에서 2.5-5.9 cm, 2 m 수층에서 2.5-6.2 cm, 3 m

수층에서 2.5-6.1 cm로 나타나 완도해역이 다소 높은 것으로 나타났다. 두 해역 모두 1월에서 2월까지의 유엽기 1개월간 줄기부의 초기 생장은 0.5 m에서 가장 빨랐으며 3월에 2-3 m 수층에서 최대의 생장을 보인 후 4월 이후 양성 수심별로 큰 차이를 나타내지 않았다(Fig. 8).

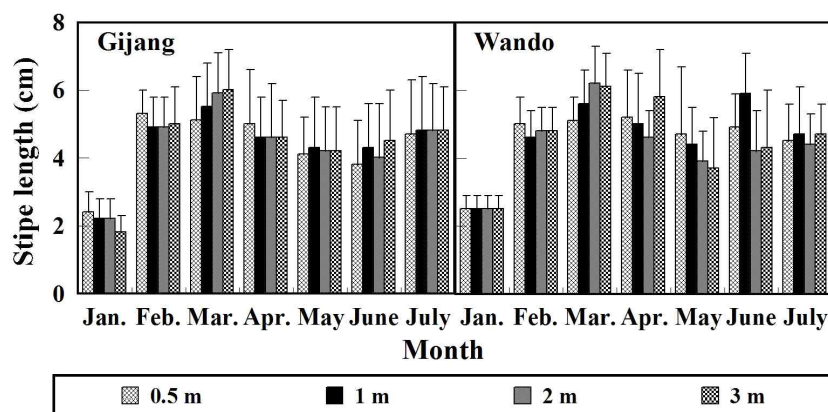


Figure 8. Monthly variation of the stipe length of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site. Vertical bars are standard deviations.

다시마의 평균 엽중량을 보면 기장해역의 0.5 m 수층에서 2.8-506.1 g, 1 m 수층에서 2.2-396.0 g, 2 m 수층에서 2.0-537.7 g, 3 m 수층에서 1.8-468.6 g으로 나타났고 완도해역에서는 0.5 m 수층에서 3.5-1,116.2 g, 1 m 수층에서 3.2-1,232.9 g, 2 m 수층에서 3.9-766.0 g, 3 m 수층에서 4.1-851.1 g으로 나타나

완도해역에서 양성된 다시마의 평균 엽중량이 더 높은 것으로 나타났으며 특히 2-3 m의 깊은 수층보다 0.5-1 m 얕은 수층에서 큰 차이를 보였다. 각 수층별 최대의 엽중량은 0.5 m와 1 m 수층에서 6월, 2 m 수층에서 7월, 3 m 수층에서 5월에 각각 나타났으며 6월 이후에는 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 9).

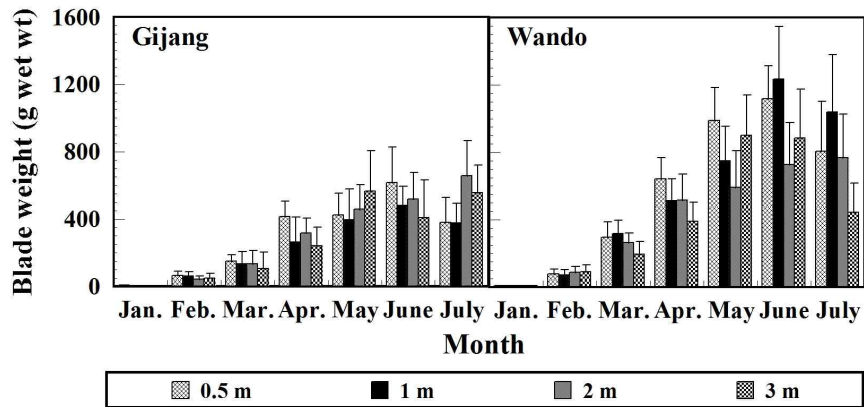


Figure 9. Monthly variation of the blade weight of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site. Vertical bars are standard deviations.

다시마의 상품 가치를 판단하는 척도가 되는 비대도는 기장해역의 경우 7월에 0.5 m에서 103.5 mg/cm², 1m에서 89.5 mg/cm², 2m에서 104.3 mg/cm², 3m에서 108.3 mg/cm²로 나타났고 완도해역에서는 0.5 m 수층에서 121.8 mg/cm², 1m수

층에서 105.4 mg/cm², 2m수층에서 98.9 mg/cm², 3m수층에서 124.2 mg/cm²로 나타나 1년생 다시마의 경우 대부분 입식 후 7개월이 경과한 후에 상품 가치 기준인 100 mg/cm²에 달하였고, 완도해역이 다소 높은 것으로 나타났다(Fig. 10).

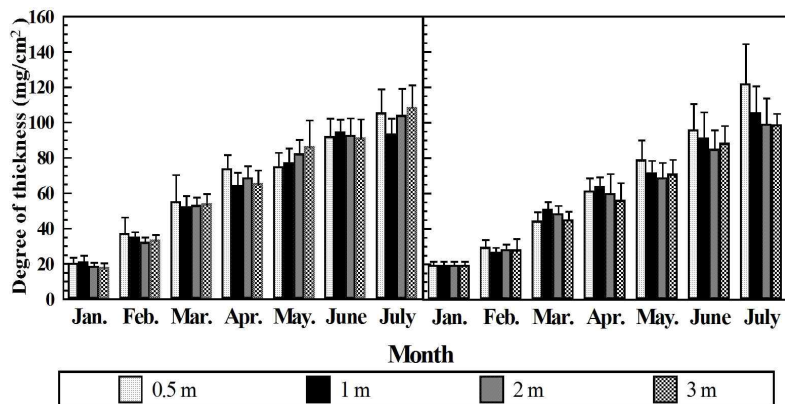


Figure 10. Monthly variation of degree of blade thickness of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site.

양성기간 동안의 클러스터당 다시마의 개체수의 변화는 양성기간의 경과에 따라 감소하는 경향을 보였는데 감소율

은 2-3월에 특히 높은 것으로 나타났으며 기장해역이 완도해역과 비교하여 개체수가 많은 것으로 나타났다(Fig 11).

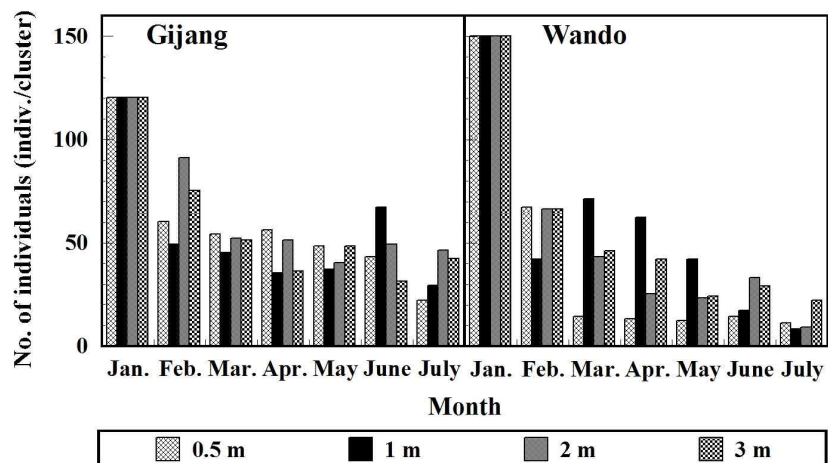


Figure 11. Monthly variation of number of individuals of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site.

수층에 따른 클러스터당 생체량의 변화를 보면 기장해역의 0.5 m 수층에서 0.1-16.3 kg/cluster, 1 m 수층에서 0.1-14.7 kg/cluster, 2 m 수층에서 0.1-17.8 kg/cluster, 3 m 수층에서 0.1-15.6 kg/cluster로 나타났고, 완도해역에서는 0.5 m 수층에서 0.1-16.4 kg/cluster, 1 m 수층에서 0.1-24.3 kg/cluster, 2 m 수층에서 0.1-20.4 kg/cluster, 3 m 수층에서 0.1-22.0 kg/cluster로 나타나 완도해역이 기장해역에 비해 다시마의 생체량이 비교적 높은 것

으로 나타났다. 또한 기장해역에서는 입식 후 0.5 m 수층에서 빠른 성장을 보였으며 0.5-1 m 수층에서는 6월에 생체량이 최대에 이른 후 감소한 반면 2 m 수층에서는 7월에도 지속적인 증가를 보였고, 3 m 수층에서는 6월에 일시적인 감소를 보였으나 7월에 다시 증가하는 경향을 보였다. 완도해역의 경우에는 5-6월에 생체량이 최대에 달한 후 7월에는 모든 수층 조건에서 급격한 감소를 보였다(Fig. 12).

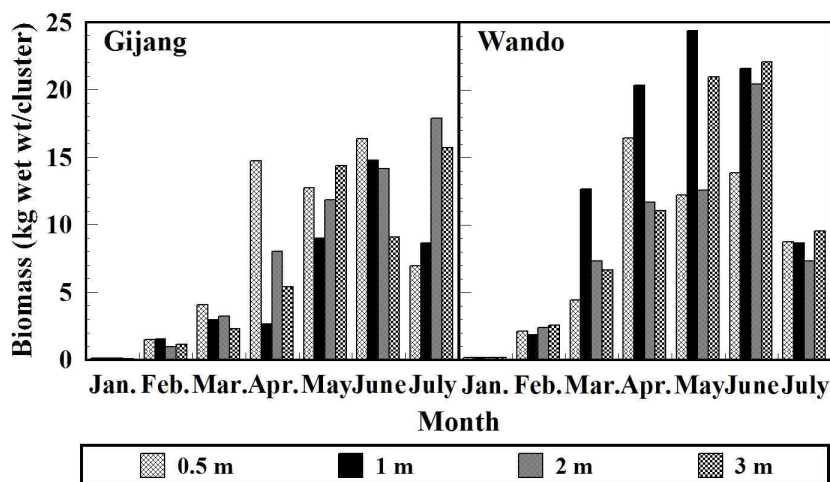


Figure 12. Monthly variation of the biomass of *Saccharina japonica* at different depth on the each study site.

고찰

우리나라의 해조류 양식은 15세기경 김양식으로 부터 시작된 이래 대상 종이 김에 한정되어 있었지만 1960년대 이후 미역과 다시마의 양식이 행하여졌고, 이후 톳, 모자반 등과 같은 식용해조류의 양식기술이 개발되면서 양식 대상 종이 늘어나게 되었다 (Sohn, 1996; Kim, 2010). 다시마양식은 Chang and Geon (1970)이 1969년 울산 방어진연안에서 북해도 산 애기다시마(*Saccharina religiosa*)의 모조로부터 생산된 종묘를 시험 양성한 것이 최초이며, 다시마 (*S. japonica*)는 Chang et al. (1973)에 의해 우리나라에서 처음으로 양식되기 시작하였다. 이후 강원도, 남해안과 서해안해역에서 양식이 이루어지면서 전국적으로 확대되었다(Baik and Pyen, 1973; Sohn, 1996).

일반적으로 해조류의 성장에 영향을 주는 요인은 수온과 영양염으로 알려져 있다 (Sanbonsuga, 1984; Maita et al., 1991; Villares et al., 1999; Choi and Kim, 2002).

영양염은 해조류의 성장에 있어서 없어서는 안 될 중요한 요소로서 주로 질소와 인이 많이 이용 되어지고 있으며 때로는 이들 요소로 인하여 생장이 제한되기도 한다 (DeBoer, 1981; Lapointe, 1987; Maita et al., 1991; Lobban and Harrison, 1994). 우리나라의 동해 남부연안은 연중 쿠로시오해류의 지류인 동한난류의 영향을 받음으로써 동계 에도 수온이 10°C 이상으로 유지되고 투명도가 높기 때문에 광 투과율이 좋은 반면 영양염류가 풍부하지 못한 특징이 있고 남해 서부연안은 동계에는 서해 연안류의 영향으로 수온이 낮고 영양염류가 풍부하나 투명도가 낮아 광 투과율이 낮은 특징을 가지고 있다. Kang et al. (2009)은 대형갈조류의 경우 체내 영양염 축적 능력이 뛰어나기 때문에 해수 내 영양염 농도에 민감하지 않다고 보고하였고, Hwang et al. (2011)은 육상에서 유입되는 유,무기질로 인하여 대형 해조류가 서식하는 연안환경에서는 영양염이 풍부하게 유지되므로 해조류의 성장을 저해하는 경우는 많지 않으며 특히 대형갈조의 경우 체내의 영양염 저장능력이 뛰어나기 때문에 영양염이 낮은 환경에 노출 되어도 성장에 큰 영향을 미치지

지 않는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 내만에서의 해수 중 영양염의 함량이 일반적으로 기장해역이 다소 높게 나타났지만 조사한 달에 따라서는 완도 해역에서 영양염의 함량이 높게 나타났다. 반면 천해에 위치한 다시마 양식장에서 해수 중의 영양염 함량은 전 양성 기간 동안 기장해역이 완도해역보다 다소 높은 것으로 나타났다. 또한, 다시마의 주 생장기 동안에는 양식장내의 총질소(TN) 함량이 낮은 반면 6월 이후 끝녹음이 심하여 생장이 둔화되면서 해수 중의 총질소 함량이 증가하기 시작하였다. Kitadai and Kadowaki (2003)는 냉수역인 홋카이도와 온수역인 규슈산 다시마의 질소 및 인의 함유량을 비교한 결과 규슈산보다 생장이 빠른 홋카이도산에서 체내 영양염 함유량이 높은 것으로 보고하였다. 위 결과로 볼 때, 쿠로시오 난류의 영향을 받는 기장해역이 서해연안류의 영향을 받아 영양염이 풍부한 완도해역에 비해 해수중의 영양염이 높게 나타난 것은 완도해역에서 양성중인 다시마의 빠른 생장으로 인하여 영양염의 흡수속도가 빨라진 것과 완도해역이 다시마 시설면적이 기장해역보다 넓어 양식 다시마에 의한 영양염의 소비 총량이 많아졌기 때문에 나타난 결과로 생각된다. Kitadai and Kadowaki (2003)는 냉수역(0-23°C)에서 양성된 다시마가 온수역(12-27°C)에서 양성된 것보다 보다 빠른 생장의 경향을 보인다고 보고하였다. 국내의 다시마의 양성 시험에 관한 연구를 보면, 양성 기간 동안의 최저 수온이 10°C 이상으로 유지되는 동해 남부연안에서 양성된 다시마의 평균 엽장은 199.8-230.8 cm, 평균 엽폭은 13.0-14.8 cm, 엽중량은 188.1-393.6 g의 범위로 나타났으며(Chang et al., 1973; Kang and Koh, 1999a), 수온 범위가 6.0-22.1°C인 남해 서부연안에서 양성된 다시마의 평균 엽장은 458.5 cm, 엽폭은 26.9 cm, 엽중량은 1,300.0 g (Kim, 2002)으로 나타나 남해 서부연안에서 양성된 다시마가 동해 남부연안에서 양성된 것과 비교하여 생장이 다소 빠른 것으로 나타났다. 본 연구에서도 동해 남부연안에 위치한 기장해역에서 양성된 다시마의 평균 엽장은 261.5±29.4 cm, 엽폭은 21.3±4.0 cm, 엽중량은 537.7 g 으로 나타났고, 남해 서부연안에 위치한 완도해역에서는 평균 엽장이 435.7±56.8 cm, 엽폭이 32.5±6.6 cm, 엽중량이 1,232.9 g으로 나타나 선행 연구들과 유사한 결과를 보였다. 또한 Matsuoka et al. (1991)은 아한대역인 일본 동북지방의 이와테현 다로산 다시마 (*S. japonica*)를 수온 범위가 7-25°C인 도쿠시마현 나루토해역에 이식하여 양성한 결과 평균 엽

장이 400.0 cm, 엽폭이 27.0 cm, 엽중량이 1,080.0 g으로 나타나 남해 서부연안에서 생산된 다시마의 생장유형과 유사한 결과를 나타내었으며, Lee et al. (2005)은 백령도산과 완도산 다시마 종묘를 수온 범위가 12.9-23.5°C인 제주 연안에 이식하여 양성시킨 결과 평균 엽장이 152.5-186.6 cm, 엽폭이 4.7-5.0 cm로 나타나 동해 남부연안에서의 생장결과와 유사하게 나타나 다시마의 양성 초기와 주 생장 기간 동안 생육 수온범위 내에서 수온이 낮을수록 빠른 생장을 보인다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 기장해역은 해수 중의 영양염 함유량이 완도해역보다 더 높게 나타났으나, 다시마의 생장은 완도해역에서 더 빠른 것으로 나타났고, 양성 기간 중 수온이 낮은 해역에서 보다 빠른 생장을 보여 두 해역의 다시마 생장은 영양염보다는 수온에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

해조류의 생장과정은 광합성의 반응과 밀접한 연관성이 있다(Haroun et al., 1992). 또한 해조류는 광포화점에 이르게 되면 광합성력이 약해지므로 생장속도가 느려지게 된다. 빛과 수온은 식물의 광합성에 영향을 미치는 요인으로 알려져 있으며 빛의 세기가 약한 때에는 수온이 미치는 영향은 미약하나 빛의 세기가 강한 때에는 일정 수온 범위 내에서 수온의 상승과 함께 광합성률도 증가한다(Bae and Kim, 2003). 본 연구에서는 광량이 낮은 동계에 기장해역에서는 수온이 15.1°C에서 12.4°C까지 감소하였고 완도해역에서는 13.2°C에서 7.9°C까지 감소한 반면 다시마의 일간생장은 지속적인 증가를 보였고 광량이 증가하는 춘계에는 수온의 증가와 함께 생장의 증가를 보였으며, 하계에는 최적생장 수온범위인 16°C 이상으로 수온이 상승함과 동시에 광량이 증가함으로써 생장이 둔화되는 것으로 나타나 Bae and Kim (2003)이 보고한 식물의 생장에 대한 빛과 수온과의 복합적 관계의 결과와 일치하였다. 해조류는 생장함에 따라 엽두께가 비후해지면 광합성에 필요한 빛의 투과율이 낮아져 광합성효율이 감소하기 때문에 노성부에 비하여 신생부의 광합성률이 높게 나타남으로 엽체의 최대 광합성률은 엽두께와 역의 상관관계를 가진다(Haroun et al., 1992; Kang and Koh, 1999b). 또한 0-1 m의 얇은 수심에서 성장하는 엽체는 3 m 이상의 깊은 수심에서 성장하는 엽체들과 비교하여 포화조도는 더 낮지만 높은 빛에 적응되어 포화조도에서 더 높은 광합성력을 가지고 낮은 조도

에서도 광합성 효율이 더 높은 반면 빛이 약한 깊은 수심에서 성장한 엽체는 광량이 증가하게 되면 일시적인 광저해로 생장이 잠시 둔화된 후 다시 증가를 보인다(Gerard, 1986). 두 해역에서는 2-3월에 생장률이 최대에 이른 후 감소를 보였는데 이러한 현상은 엽체의 두께가 얇은 어린 시기에는 빛의 투과율이 높아 광포화도가 높은 반면 엽체가 성장함에 따라 엽두께의 증가로 인하여 빛의 투과율이 감소하므로 광포화율이 낮아져 생장률이 감소한 것으로 사료된다. 또한 3 m 수층의 경우 2월 최대의 성장한 후 3월 일시적인 감소를 보였지만 4월-5월에는 생장률이 다시 증가하는 경향을 보인 것은 Gerard (1986)의 보고에서도 언급된 바와 같이 빛이 약한 곳에서 성장한 개체들은 빛에 민감하여 광량이 갑자기 증가하게 되면 일시적인 광저해를 받기 때문에 광순응으로 인하여 일시적인 생장률의 둔화가 있었을 것으로 사료된다. 대형 갈조류에서는 성장에 따른 광합성력의 증가가 선형적이 아니라 일정 수준의 길이와 중량에 이르게 되면 증가율은 둔화되며, 다시마의 경우 엽장이 100-150 cm 이상으로 되는 시기부터 광합성 및 생장률이 다소 둔화된(Hwang et al., 2011). 기장해역에서 양성된 다시마의 생장은 2-3월 평균 엽장이 98.0-151.9 cm의 범위에 이른 후 생장률이 감소하였고 완도해역에서는 평균 엽장이 185.6-297.4 cm의 범위에 이른 후 생장률이 둔화되었으며 두 해역 모두 3 m 수층에서는 일시적인 감소는 있었지만 지속적인 증가를 보임으로써 일정범위에 이른 후 감소하는 성장 패턴은 일치하는 것으로 나타났지만 크기에 있어서는 상이하게 나타나 다시마 엽체들의 생장률이 감소되는 크기의 범위는 양성되는 해역 및 수층에 따라 차이가 있을 것으로 생각된다.

식물은 한정된 공간 내에서 밀도가 증가할수록 종간, 종내 경쟁에 의한 영향을 받기 때문에 밀도는 성장에 영향을 미치며 밀도와 성장, 밀도와 생체량은 음의 상관관계를 가진다(Harper, 1977; Sanbonsuga et al., 1987). 하지만 해조류는 밀도에 대한 반응이 육상식물과 달라 대상 종의 생물학적 특성에 따라 상관관계의 기울기가 달라질 수 있기 때문에 양의 상관관계를 가지는 경우도 있다(Schiel, 1985; Kang and Koh, 1999c). Kim (2002)은 다시마의 양성밀도를 10 cm, 30 cm, 60 cm 간격으로 삼식하여 양성한 결과 10 cm 간격의 밀도에서는 생장이 부진하였으나, 그

외 조건에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 클러스터당 10-13 개체의 밀도로 수음을 한 것이 오히려 생장이 부진하였고 수음없이 양성 하였을 때 엽폭과 비대도는 낮았지만 엽장의 생장은 더 양호하다고 보고하였다. 본 연구에서 두 해역의 양성밀도와 엽장의 성장, 생체량의 관계를 보면 2-3월의 엽장이 150 cm 이하인 개체들에서는 정의 상관관계를 보였지만 4월 이후 수층별 엽장의 차이가 큰 폭으로 나타나면서 명확한 상관관계를 보이지 않았다. 완도해역의 경우 밀도를 낮게 처리한 0.5 m 수층에서는 5월에 엽장이 최대로 성장한 반면 생체량은 낮게 나타났다. 동일시기에 3 m 수층에서는 0.5 m 수층의 엽장과 유사한 길이로 성장하였고 생체량은 약 1.7배 이상의 차이를 보이며 비수음처리를 한 3 m 수층이 높게 나타났다. 또한 1 m 수층에서는 엽장의 길이가 다소 작았지만 착생개체수가 많아 약 2배의 생체량을 보여 수음처리의 필요성이 없을 것으로 생각되며 기장해역의 경우 수음처리를 하지 않음에도 양성초기에 0.5m 수층에서 엽장의 크기가 가장 높게 나타나 다시마의 양성밀도와 성장, 생체량과의 관계는 외부적인 환경요인의 복합적인 작용으로 인하여 상관관계가 나타날 것이라 판단된다. 본 연구에서는 밀도, 성장, 생체량 간의 상관관계가 명확한 차이를 보이지 않아 선행 연구들(Harper, 1977; Schiel 1985; Sanbonsuga et al., 1987; Kang and Koh, 1999c)의 보고와 다소 차이를 보였으며, 이러한 결과는 대상 종의 크기, 생리적 특성 및 서식공간의 차이에 따라 나타난 것으로 판단된다.

Kang and Koh (1997)는 양질의 상품 생산을 목적으로 한 다시마양식장에서는 엽체의 고른 성장을 위해 착생밀도를 25-50개체/m 인 상태로 수음을 해주는 동시에 시기별로 양성 로프의 수심을 적절히 조절하였을 때 20-30 kg/m의 다시마가 생산된다고 기술한 바 있다. 본 연구에서도 수음처리를 하였을 때 Kang and Koh (1977)가 언급한 양식 생산량과 유사한 값을 보인 반면 수음처리를 하지 않은 곳에서는 약 두 배 정도의 생산량 차이를 보였다. 그리고 두 해역 중 엽장의 성장 및 생체량에 있어서 완도해역이 기장해역에 비해 빠른 성장을 보였다. 다시마는 양성 초기에 생장이 빠르게 진행되므로 다시마의 대량생산을 위한 적지로는 동계기간 동안 수온이 다소 낮게 유지되며 영양염이 풍부한 남해 서부연안이 더

유리할 것으로 판단된다. 현재 우리나라의 다시마 양식장에서는 100 m 양성로프 1연 당 2-3 M/T의 다시마가 생산되고 있으나, 본 연구에서는 양성 기간 중 5월, 1 m 수층의 양성조건에서 24.3 kg/cluster으로 가장 높은 생산량을 보였고 Kim (2002)의 연구에서는 30 cm와 60 cm의 삽식 간격 조건에서 큰 성장 차이를 보이지 않는 것으로 나타나 바이오매스 확보 측면에서 길이 성장보다는 생체량이 우선되어야 하므로 양성 시 수심을 1 m로 하여 삽식 간격을 1/2로 줄일 경우 100 m 양성로프 1연 당 약 9.7톤의 생산이 가능하므로 3배 이상의 생산성을 기대할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 이러한 산술적 생산량은 외부의 환경 요인들을 배제한 수치이므로 정확한 생산량 산정을 위해서는 간격 별 양성 시험을 통한 추가적인 자료의 확보와 다시마의 성장에 영향을 주는 환경요인 및 해적생물에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 바이오매스 대량생산 기지로서의 적지로서는 기장보다도 완도가 더 적합한 것으로 나타났다. 그러한 이유는 완도가 기장에 비해 영양염류의 총량은 다소 낮게 나타났음에도 수층별 생산성이 높았던 이유는 기장이 완도와 비교해 다시마의 생산성을 좌우할 정도로 영양염류의 총량이 많지 않았던 반면, 한해성 해조인 다시마의 성장을 좌우하는 적수온기간이 완도에 비해 짧았던 점과 다시마의 비후기인 춘기에 접어들면서 완도해역에서는 전혀 나타나지 않았던 갈패래, 진주담치, 이끼벌레, 히드라 등의 착생 동, 식물이 다시마의 엽면과 다시마 양성용 로프에 대량으로 착생한 후 성장하면서 다시마의 부착공간을 점유하며 경쟁식물로서 성장에 영향을 미친 점 등 환경과 경쟁생물의 영향이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 판단되었다. 이러한 측면에서 바이오매스 원료확보를 위한 생산기지로서의 적지는 기장보다 완도가 더 적합한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 기반구축연구과제인 “바이오매스용 해조류 대량생산 기술개발과제(과제번호 03-2010-0583)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

References

1. Bae, Y. H. and Kim, Y. S. 2003. Development of a photosynthetic numerical model explaining the relationships between light intensity, CO₂ concentration, temperature and photosynthetic rate. *J. Korea. Assoc. Sci. Edu.* **31**, 87-93.
2. Baik, K. K. and Pyen, C. K. 1973. Study on growth of *Laminaria japonica* Areschoug in the coastal area of Kang Won Do. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* **11**, 79-92.
3. Chang, J. W. and Geon, S. H. 1970. Studies on the culture of *Laminaria* (1) On the transplantation of tangle *Laminaria religiosa* Miyabe in temperate zone (the coast of Ilsan-Dong, Ulsan city). *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* **5**, 63-74.
4. Chang, J. W. Chung, D. Y. Bae, K. U. and Yun, M. N. 1973 Studies on the culture of *Laminaria* (3) Comparison on the growth of cultured *Laminaria japonica* Areschoug in Mipo Bay, Ulsan City. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* **11**, 37-57.
5. Choi, S. J. Lee, S. M. and Lee, J.W. 2012. Production of bio-ethanol from red algae by acid hydrolysis and enzyme treatment. *Appl. Chem. Eng.* **23**, 279-283.
6. Choi, T. S. and Kim, K. Y. 2002. Time-dependent variation of growth and nutrient uptake of *Ulva pertusa* Kjellman (Chlorophyta) from intertidal eelgrass beds. *Algae* **17**, 249-257.
7. DeBoer, J. A. 1981. Nutrient. In: Lobban C.S. and Wynne M.J. (eds), *The biology of seaweeds*, California University Press. California. USA. pp 356-392.
8. Gerard, V. A. 1986. Photosynthetic characteristics of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) determined in situ. *Mar. Biol.* **90**, 473-482. DOI: [10.1007/BF00428571](https://doi.org/10.1007/BF00428571).
9. Han, H. J. and Kim, S. J. 2006. Isolation and characterization of a strain for economical ethanol production. *Kor. J. Biotechnol. Bioeng.* **21**, 267-272.
10. Haroun, R. Aruga, Y. and Yokohama, Y. 1992. Seasonal variation of photosynthetic properties of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) in Nabeta Bay, central Japan. *La mer* **30**, 339-348.
11. Harper, J. R. 1977. Population biology of plants. *Academic Press. London. UK.* 1-892.
12. Hwang, E. K. Gong, Y. G. Ha, D. S. and Park, C. S. 2010. Nursery and main culture conditions for mass cultivation of the brown alga, *Ecklonia cava* Kjellman.

- Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* **43**, 687-692. DOI: [10.5657/kfas.2010.43.6.687](https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.687).
13. Hwang, J. R. Shim, J. H. Kim, J. B. Kim, S. Y. and Lee, Y. H. 2011. Variations in nutrients & CO₂ uptake rates and photosynthetic characteristics of *Saccharina japonica* from the south coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* **16**, 196-205. DOI: [10.7850/jkso.2011.16.4.196](https://doi.org/10.7850/jkso.2011.16.4.196).
 14. Kain, J. M. and Dawes, C. P. 1987. Useful European seaweeds: past hopes and present cultivation. *Hydrobiol.* 151/152, 173-181. DOI: [10.1007/978-94-009-4057-4_24](https://doi.org/10.1007/978-94-009-4057-4_24).
 15. Kang, J. W. and Koh, N. P. 1977. Seaweed cultivation. *Taehwa Publ. Co. Busan. Korea.* 1-294.
 16. Kang, R. S. and Koh, C. H. 1999a. Growth, reproduction, mortality, and production of *Laminaria japonica* Areschoug on the southeastern coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* **4**, 226-236.
 17. Kang, R. S. and Koh, C. H. 1999b. Seasonal photosynthetic performance of *Laminaria japonica* sporophytes on the southeastern coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* **4**, 237-245.
 18. Kang, R. S. and Koh, C. H. 1999c. Growth and survival of *Laminaria japonica* Areschoug at different densities. *J. Kor. Fish. Soc.* **32**, 444-451.
 19. Kang, Y. H. Park, S. R. Oak, J. H. Lee, J. A. and Chung, I. K. 2009. Changes of tissue N content and community structure of macroalgae on intertidal rocky shores in Tongyeong area due to sewage discharge. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**, 276-283. DOI: [10.5657/kfas.2009.42.3.276](https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.3.276).
 20. Kim, G. H. 2013. Production of bio-ethanol and alginate-degrading enzyme from *Laminaria japonica*. *Master Thesis Silla National University. Busan. Korea.*
 21. Kim, J. M. Lee, Y. H. Jung, S. H. Lee, J. T. and Cho, M. H. 2010. Production of methane from anaerobic fermentation of marine macro-algae. *Clean Technol.* **16**, 51-58.
 22. Kim, N. G. 2010. Present and future of the seaweed cultivation in Korea. *Seaweed Resour.* **22**, 22-34.
 23. Kim, S. J. 2002. Growth of *Laminaria japonica* Areschoug from the cultivation ground on the coast of Jindo, southwestern coast of Korea. *Master Thesis Chonnam National University. Gwangju. Korea.*
 24. KIMST. 2009. Strategies to industrialize the algae bio-business and policy direction. *KIMST Res. Rep.* 1-225.
 25. Kirihaara, S. Notoya, M. and Aruga, Y. 1989. Cultivation of *Laminaria japonica* at Hachinohe, Aomori Prefecture, Japan. *Kor. J. Phycol.* **4**, 199-206.
 26. Kitadai, Y. and Kadowaki, S. 2003. The growth process and N, P uptake rates of *Laminaria japonica* cultured in coastal fish farms. *Suisanzoshoku.* **51**, 15-23. DOI: [10.11233/aquaculturesci1953.51.15](https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.51.15)
 27. KOSIS. 2012. Fishery production trends report [Internet]. *Statistics Korea, Daejeon. Korea.* Retrieved from <http://kostat.go.kr/portal/korea/index.action> on Oct 7, 2014.
 28. Lapointe, B. E. 1987. Phosphorus- and nitrogen-limited photosynthesis and growth of *Gracilaria tikvahiae* in the Florida keys: an experimental field study. *Mar. Biol.* **93**, 561-568. DOI: [10.1007/BF00392794](https://doi.org/10.1007/BF00392794).
 29. Lee, J. H. Kim, D. H. Jung, S. P. Choi, S. J. Chung, I. K. and Shin, J. A. 2005. Cultivation of *Laminaria japonica* (Laminariales, Phaeophyta) in Udo coast, Jeju, Korea. *Algae* **20**, 167-176. DOI: [10.4490/algae.2005.20.2.167](https://doi.org/10.4490/algae.2005.20.2.167).
 30. Lee, J. Y. 2012. Pretreatment and simultaneous saccharification of *Saccharina japonica* for production of bioethanol. *Master Thesis Dankook National University. Yongin. Korea.*
 31. Lee, S. M. Kim, J. H. Cho, H. Y. Joo, H. and Lee, J. H. 2009. Production of bio-ethanol from brown algae by physicochemical hydrolysis. *J. Kor. Ind. Eng. Chem.* **20**, 517-521.
 32. Lobban, C. S. and Harrison, P. J. 1994. Nutrients. In: *Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press. New York. USA.* 163-209. DOI: [10.1017/CBO9780511626210](https://doi.org/10.1017/CBO9780511626210).
 33. Maita, Y. Mizuta, H. and Yanada, M. 1991. Nutrient environment in natural and cultivated grounds of *Laminaria japonica*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido. Univ.* **42**, 98-106.
 34. Matsuoka, M. Ohno, M. and Akizuki, T. 1991. Growth of transplanted *Laminaria japonica* Areschoug in the culture ground of the Naruto straits in temperate waters. *Suisanzoshoku.* **39**, 267-271. DOI: [10.11233/aquaculture_sci1953.39.267](https://doi.org/10.11233/aquaculture_sci1953.39.267).
 35. MFAAT. 2007. Bioenergy market. *Ministry of Foreign Affairs And Trade.* 1-271.
 36. Na, C. K. and Song, M. K. 2012. Characteristics of acid-hydrolysis and ethanol fermentation of *Laminaria japonica*. *Kor. Chem. Eng. Res.* **50**, 141-148. DOI: [10.9713/kcer.2012.50.1.141](https://doi.org/10.9713/kcer.2012.50.1.141)

37. Park, J. I. Woo, H. C. and Lee, J.H. 2008. Production of bio-energy from marine algae: status and perspectives. *Kor. Chem. Eng. Res.* **46**, 833-844.
38. Sanbonsuga, Y. 1984. Studies of the growth of forced *Laminaria*. *Bull. Hokkaido. Reg. Fish. Res. Labo.* **49**, 1-79
39. Sanbonsuga, Y. Machiguchi, Y. and Saga, N. 1987. Productivity estimation and evaluation of the cultivation factors in biomass production of *Laminaria*. *Bull. Hokkaido. Reg. Fish. Res. Lab.* **51**, 45-50.
40. Schiel, D. R. 1985. Growth, survival and reproduction of two species of marine algae at different densities in natural stands. *J. Ecol.* **73**, 199-217.
41. Sohn, C. H. 1996. Historical review on seaweed cultivation of Korea. *Algae* **11**, 357-364.
42. Subhadra, B. and Edwards, M. 2010. An intergrated renewable energy park approach for algal biofuel production in United States. *Energy Policy.* **38**, 4897-4902. DOI: [10.1016/j.enpol.2010.04.036](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.036).
43. Villares, R. Puente, X. and Carballeira, A. 1999. Nitrogen and phosphorus in *Ulva* sp. in the Galician Rias Bajas (northwest Spain): Seasonal fluctuations and influence on growth. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* **15**, 337-341.