

# 실험실 연구를 위한 엽상형 해조류의 생체량 추정 방법

김상일\* · 윤석현\*\*†

\*, \*\* 국립수산과학원 기후변화연구과

## Estimating the Individual Dry Weight of Sheet Form Macroalgae for Laboratory Studies

Sangil Kim\* · Seok-Hyun Youn\*\*†

\*, \*\* Ocean Climate & Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46073, Korea

**요 약** : 엽상형 해조류의 간접적인 건중량 추정을 위해 구멍갈파래(*Ulva australis*), 잎파래(*Ulva linza*), 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*), 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*)의 형태적 특성과 생체량의 관계를 분석하였다. 시료는 2017년 2월부터 2018년 12월 까지 남해안 6곳에서 채집되었으며, 총 319개체가 분석에 사용되었다. 엽상형 해조류 네 종의 길이와 생체량에 대한 상대성장 지수는 0.28로 일반적인 1/4 (0.25) 지수법칙에 해당하였다. 네 종의 엽체의 표면적과 습중량은 각각 건중량과 유의한 선형관계를 보였으며, 건중량의 94~99%를 설명할 수 있었다. 이 결과는 엽상형 해조류의 표면적 또는 습중량을 통해 개체의 건중량을 매우 정확하게 추정할 수 있다는 것을 의미한다. 이 방법은 실험실 연구에서 건중량을 직접 측정할 수 없을 때 쉽고 빠르게 활용할 수 있으며, 추가적으로 소요되는 시간과 비용을 절약할 수 있을 것이다.

**핵심용어** : 엽상형 해조류, 생체량, 건중량, 상대성장 비, 형태적 특성

**Abstract** : We investigated the relationship between morphological characteristics and individual dry weight to develop a method for estimating the individual dry weight of sheet form macroalgae: *Ulva australis*, *Ulva linza*, *Pachymeniopsis lanceolata*, and *Pyropia yezoensis*. In Total, 319 thalli of various sizes were collected at six sites from February 2017 to December 2018. An interspecific allometric exponent of 0.28 was found for length-biomass allometry in four sheet form macroalgae, corresponding to a 1/4-power law for primary producers. The relationships between surface area and individual dry weight, as well as between individual fresh weight and individual dry weight, were found to fit significantly using linear regression equations. This explained 94-99% of individual dry weight, indicating that surface area and individual fresh weight can be used to accurately estimate individual dry weight. We propose the use of this method when experimental processes do not allow individual dry weight to be measured directly, so researchers can save both time and expense.

**Key Words** : Sheet form macroalgae, Biomass estimation, Dry weight, Allometry, Morphometric equation

### 1. 서론

해양생태계의 주요 일차생산자 중 하나인 해조류는 연안 환경을 평가하는 지표가 되며, 고유의 생태계 서비스 기능 뿐만 아니라 자원으로 가치가 높기 때문에 다양한 분야에서 연구 재료로 사용되고 있다(Duarte et al., 2005; Boubonari et al., 2008; Kang et al., 2008; Vásquez et al., 2014). 해조류 관련 연구에서 정량적 자료는 일반적으로 무게를 기준으로 표현

된다. 대표적으로, 군집의 특성은 조사지역의 단위면적당 총량인 현존량으로 흔히 설명되며, 실험실의 분석 연구 결과는 대부분 단위개체의 생체량을 기준으로 나타낸다. 따라서 무게에 의한 정량적 평가는 연안생태계와 다양한 실험실 연구에서 해조류가 가지는 영향력이나 기여도를 나타내는 가장 기본적인 척도가 된다(Reed et al., 2008).

구멍갈파래(*Ulva australis*)와 잎파래(*Ulva linza*)는 전세계 연안에 분포하며, 우리나라 연안에서도 출현빈도와 우점률이 매우 높은 녹조류이다. 이들을 포함한 갈파래류는 높은 일차생산력과 영양염 이용능력 때문에 녹조류 대발생(green

\* First Author : kelpkim@gmail.com, 051-720-2248

† Corresponding Author : marine7@korea.kr, 051-720-2233

실험실 연구를 위한 엽상형 해조류의 생체량 추정 방법

Table 1. Sampling information: species, site, latitude, longitude, collection date, and sample size (n)

Species	Site	Latitude (N)	Longitude (E)	Collection date	Sample size (n)
<i>Ulva australis</i>	Gadeokdo Island	35°02.64'	128°51.03'	Jul 2017	47
	Jindo Island	34°22.61'	126°18.47'	Oct 2017	22
	Geojedo Island	34°54.45'	128°34.22'	Jul 2017	26
<i>Ulva linza</i>	Gijang	35°11.15'	129°12.85'	Jul 2017	39
	Geojedo Island	34°54.45'	128°34.22'	Jul 2017	20
<i>Pachymeniopsis lanceolata</i>	Gijang	35°11.15'	129°12.85'	Sep 2018	9
	Geojedo Island	34°54.45'	128°34.22'	Jul 2017	25
<i>Pyropia yezoensis</i>	Jindo Island*	34°22.61'	126°18.47'	Mar 2018	25
	Busan*	35°00.92'	128°53.86'	Feb 2017	90
	Yeosu	34°37.94'	127°38.01'	Dec 2018	16

\*Samples in these sites were collected from seaweed farms.

tide)과 연안의 부영양화 등에 관하여 많은 연구가 이루어지고 있다(Fletcher, 1996; Kim et al., 2014b). 홍조류인 김류(*Pyropia/Porphyra* spp.)는 세계적인 식량 자원으로서 중요한 해조류이다. 우리나라의 김 생산량은 전 세계의 21%에 달하며(FAO, 2018), 우리나라 양식 김 생산량의 대부분은 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*)이 차지하고 있다(Hwang et al., 2005). 이러한 경제적 가치 때문에 김 관련 연구는 병리학적 연구와 해수의 영양염과 관련한 생리학적 연구가 수행되어 왔으며, 최근에는 부영양화 완화를 위한 생태통합양식(Integrated multi-trophic aquaculture)에 적용하는 방안도 연구되고 있다(Kim et al., 2014a; Kang et al., 2014). 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*)은 갈파래류나 김류와 같이 주목받는 해조류는 아니지만, 추출물의 잠재적 가치 때문에 다양한 활용방안이 연구되고 있는 홍조류이다(Jeon et al., 2012; Seo et al., 2013).

해조류 연구분야의 다양성을 고려하면, 이러한 해조류들은 현장 보다는 실험실에서 상당히 많은 연구가 수행된다. 실험실에서 수행되는 대부분의 연구는 개체별로 생체량, 특히 건중량의 정보가 요구되는데, 실험내용과 방법에 따라 건중량을 직접 측정할 수 없는 경우가 발생한다. 이러한 경우 건중량을 추정하기 위해 추가적인 시간과 비용이 소모된다. 따라서 간접적으로 건중량 추정 할 수 있는 보편적인 방법론은 연구자에게 상당한 도움을 줄 수 있을 것이다. 현장 연구에서는 채집에 의해 발생하는 해조군집의 훼손과, 시간 및 비용, 노동 집약적인 과정 때문에 쉽고 빠르게 비파괴적으로 현존량 또는 생체량을 추정하는 방법이 제시되어 왔다(Robbins and Boese, 2002; Rollon et al., 2003; Gevaert et al., 2008; Ko et al., 2008; Rothman et al., 2010; Kim et al., 2017). 이러한 연구들은 해조군집의 전체적인 현존량을 파악하는 것에 목적을 두고 있기 때문에, 대형갈조류와 같이 형태적 특징과 독립된 개체의 구분이 명확한 일부 종들을 제외하면

해조류 단위개체들의 생체량을 추정하는 방법은 잘 알려지지 않았다(Gevaert et al., 2008; Ko et al., 2008; Kim et al., 2017).

이번 연구는 해양환경 변화에 관하여 실험실 연구에 많이 사용되는 엽상형 해조류(sheet form) 구멍갈파래(*U. australis*), 잎파래(*U. linza*), 방사무늬김(*Py. yezoensis*) 그리고 개도박(*Pa. lanceolata*) 네 종에서 보편적으로 사용될 수 있는 단위 개체별 생체량 추정방법을 제시하고자 하였다. 먼저 이론적 타당성 검증을 위해 네 종의 길이-생체량의 상대성장 비(allometric scaling)를 평가하였으며, 실제로 활용할 수 있는 표면적과 건중량, 그리고 습중량과 건중량의 관계식을 구하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시료의 채집과 측정

시료는 2017년 2월부터 2018년 8월 까지 남해안 6곳에서 총 319개체가 채집되었다(Table 1). 이번 연구에 사용된 엽상형 해조류 네 종의 생물계절 특성을 고려하여 성장이 활발한 시기에 다양한 크기의 개체들을 채집하였다. 채집된 시료는 실험실에서 깨끗이 씻어낸 후 흰색 아크릴판에 펴고 길이(기부에서 정단부까지의 수직거리)를 측정하였으며, 삼각대를 이용하여 디지털 카메라로 촬영한 다음 Image J 프로그램을 이용해 표면적을 계산하였다. 사진촬영이 끝난 시료는 2~3회 물기를 닦아내고 습중량을 측정 후(Sartorius BP221S, readability 0.1 mg, Germany) 건조기(60°C)에서 무게가 일정해 질 때 까지 건조한 후에 건중량을 측정하였다.

### 2.2 상대성장 비(Allometric scaling) 평가

일반적으로 생물들은 생체량(건중량)에 대하여 대사율이 나 성장률, 형태적 특성에 대해 거듭제곱 법칙(power law, 멱

법칙)의 관계(allometric scaling)를 나타낸다(Brown and West, 2000). 광합성을 하는 일차생산자들은 생체량( $M$ )과 몸체의 길이( $L$ ) 관계(length-biomass allometry)에 대하여 잘 알려져 있으며(Niklas and Enquist, 2001), 식은 아래와 같다.

$$L = \beta M^a \quad (1)$$

여기서  $\beta$ 는 비례상수이며,  $a$ 는 상대성장 지수(allometric exponent)를 나타낸다. 미세조류를 포함한 일차생산자들은 0.25(1/4)의 상대성장 지수를 가지는 것으로 알려져 있다(Niklas and Enquist, 2001). 이 연구에서는 연구에 사용된 엽상형 해조류 네 종의 길이-생체량의 상대성장 비를 구하고, 기존에 알려진 일차생산자의 상대성장 지수( $a$ )와의 비교를 통해 이번 연구의 이론적 타당성을 검토하였다. 길이와 건중량은 Niklas and Enquist(2001)의 방법에 따라 로그변환(log<sub>10</sub>-transformation)후, RMA-2 회귀모형(reduced major axis regression model II)을 이용해 분석하였다.

### 2.3 생체량 추정

엽상형 해조류는 구조적으로 매우 단순하지만, 형태가 불규칙하기 때문에 일정하게 측정할 수 있는 형태적 기준을 설정하기가 어렵다. 그러나 매우 얇고 두께가 일정하며, 2차원적 성장을 하기 때문에 표면적이 개체의 무게를 설명하는 유용한 변수가 될 수 있다(He, 2008). 이번 연구에서는 매개 변수로 엽체의 표면적을 사용하였고, 습중량을 건중량으로 변환 할 수 있는 계수를 분석하였다. 표면적과 습중량 두 변수와 건중량의 관계는 원점을 지나는 선형회귀분석을 통해 분석하였다. 일반적인 선형회귀분석은 절편이 음의 값일 때 생물계에 존재하지 않는 음수의 생체량이 추정되는 문제가 발생한다. 원점을 지나는 회귀분석은 이러한 문제를 극복하기 위한 대안이 될 수 있다. 그러나 결정계수 산출시 잔차의 합이 0이 되지 않기 때문에 일반적인 선형회귀분석의 결정계수와 직접 비교할 수 없고, 0에 가까운 자료가 없을 경우 측정된 가장 작은 값부터 0까지 선형관계라는 것을 증명할 수 없는 문제가 있어 주의해서 사용해야 한다(Quinn and Keough, 2002). 이 연구에서는 0에 가까운 많은 값들이 측정되었고, 원점을 지나는 회귀모형의 잔차의 평균제곱합(MS<sub>residual</sub>)이 절편을 가진 회귀모형의 잔차의 평균제곱합보다 작거나 같으며, 일부 자료는 절편의 P 값이 0.05를 초과하였다. 따라서 원점을 지나는 회귀분석을 사용할 수 있는 조건이 충족되므로(Quinn and Keough, 2002), 연구 결과의 실제 활용성을 고려하여 원점을 지나는 회귀분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 SPSS (version 20.0)와 R software 'smatr' package를 이용하였다.

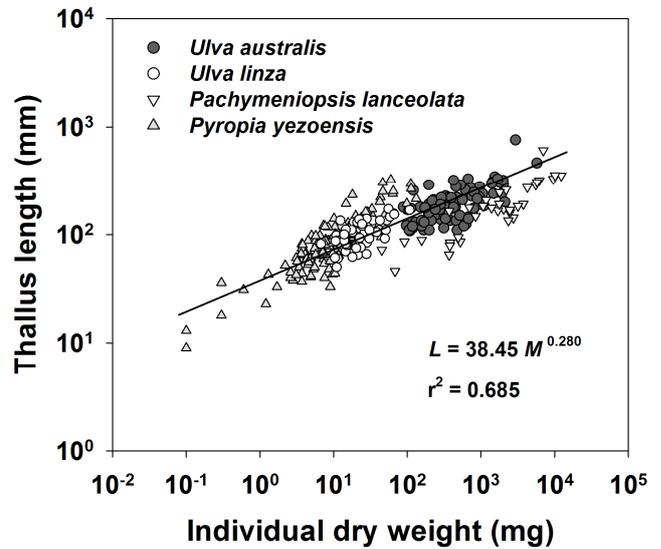


Fig. 1. Interspecific relationship between thallus length ( $L$ ) and individual dry weight ( $M$ ) of sheet form macroalgae. Data are transformed in log scale ( $n = 319$ ).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 상대성장 비(Allometric scaling)

네 종의 길이와 생체량의 관계는 유의한 결과( $P < 0.001$ ,  $r^2 = 0.685$ )를 나타내었으며, 상대성장 지수( $a$ )는  $0.280 (\pm 0.017 \text{ C.I.})$ 이었다(Fig. 1). 신뢰구간(C.I.)을 고려하면, 이 상대성장 지수는 Niklas and Enquist(2001)의 연구에서 계산된  $\alpha = 0.264 (\pm 0.019 \text{ C.I.})$ 과 차이를 보이지 않았다. 대부분의 해조류는 3차원 구조를 가지는 미세조류나 육상식물과는 달리 평면적인 2차원 구조를 나타낸다. Scrosati(2006)는 이러한 구조적 차이 때문에 Niklas and Enquist(2001)가 제시한 1/4(0.25) 지수 법칙(1/4-power law)을 모든 일차생산자에 보편적으로 적용하기 어려우며, 1/2(0.5) 지수법칙(1/2-power law)이 해조류에 더 적합하다고 제시하였다. 해조류는 형태와 생태학적 특성에 따라 몇 가지 기능형 그룹으로 나눌 수 있다(Littler, 1980). Scrosati(2006)의 연구에 사용된 해조류는 분기형(branched form) 또는 성긴 분기형(coarsely branched form)인 반면에, 이번 연구에서 사용된 해조류는 모두 엽상형(sheet form) 해조류였다. 길이와 생체량의 상대성장 비(식(1))에서 상대성장 지수( $a$ )는 길이( $L$ )가 일정하다면 생체량( $M$ )에 반비례한다. 그리고 같은 길이라면 분기형 보다 엽상형 해조류의 면적이 더 크기 때문에 엽상형 해조류의 생체량이 더 클 것이다. 해조류의 생체량과 표면적과의 관계에 대한 상대성장 지수( $a$ )는 잘 알려져 있지 않기 때문에 면적과의 관계를 직접적으로 비교할 수는 없으나, 길이가 동일한 조건에서는 이론적으로 분

실험실 연구를 위한 엽상형 해조류의 생체량 추정 방법

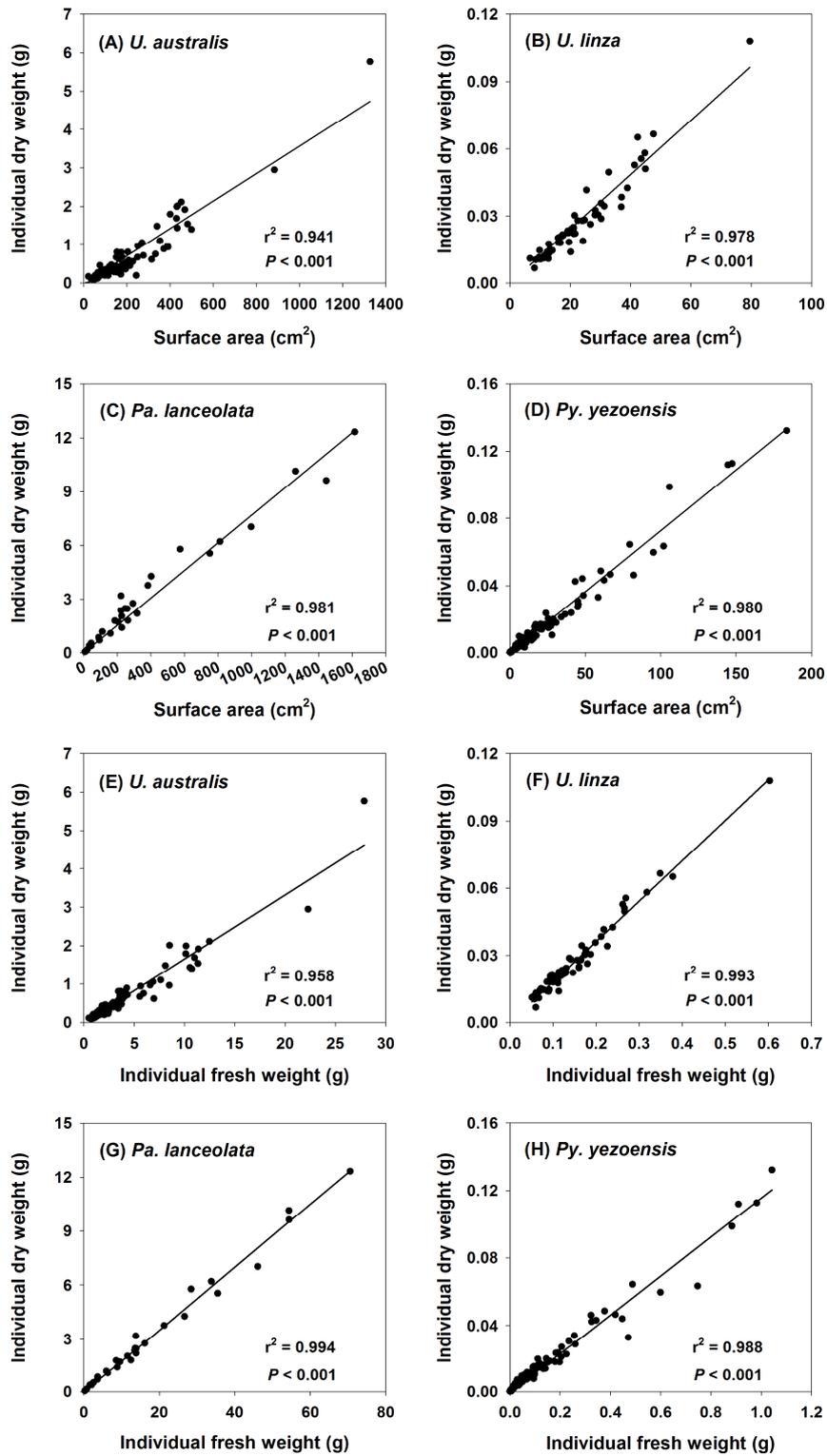


Fig. 2. Linear relationships between surface area and individual dry weight (A–D), between individual fresh weight and individual dry weight (E–H) of sheet form macroalgae. Relationships were fitted using the linear regression through the origin:  $Y = aX$  (refer to table 2 for sample size).

Table 2. The relationships between surface area and individual fresh weight and individual dry weight of sheet form macroalgae.

Variable (X)	Species	a (confidence interval)	r <sup>2</sup>	Sample size (n)
Surface area (cm <sup>2</sup> )	<i>Ulva australis</i>	0.0036 (0.0034 ~ 0.0038)	0.941	95
	<i>Ulva linza</i>	0.0012 (0.00116 ~ 0.00126)	0.987	59
	<i>Pachymeniopsis lanceolata</i>	0.0077 (0.0073 ~ 0.0081)	0.981	34
	<i>Pyropia yezoensis</i>	0.00073 (0.00070 ~ 0.00074)	0.980	131
Fresh weight (g)	<i>Ulva australis</i>	0.166 (0.159 ~ 0.173)	0.958	95
	<i>Ulva linza</i>	0.181 (0.176 ~ 0.185)	0.993	59
	<i>Pachymeniopsis lanceolata</i>	0.175 (0.170 ~ 0.180)	0.994	34
	<i>Pyropia yezoensis</i>	0.120 (0.118 ~ 0.122)	0.988	131

Linear regression through the origin equation: Individual dry weight (g) = aX

기형 해조류보다 엽상형의 해조류의 상대성장 지수가 더 작은 값을 가지게 된다. 따라서 해조류에 관한 상대성장 이론은 해조류의 다양한 형태적 특성을 고려하여 연구가 더 이루어져야 할 것이다. 이러한 논의에도 불구하고, 이 결과는 연구에 사용된 네 종의 길이와 생체량이 보편적인 유의한 상관관계가 있다는 것을 시사하며, 따라서 형태적 특성으로 생체량을 설명할 수 있는 이론적 근거가 될 것이다.

### 3.2 생체량 추정

이번 연구에 사용된 엽상형 해조류 네 종 각각의 엽체의 표면적과 건중량, 그리고 습중량과 건중량은 모두 유의한 선형관계를 나타내었으며, 건중량의 94~99%가 엽체의 표면적과 습중량 두 변수로 설명될 수 있었다(Table 2, Fig. 2). 엽체의 표면적과 건중량의 관계에서 기울기(a)는 방사무늬김이 가장 낮고 잎파래와 구멍갈파래, 개도박 순으로 증가하였다(Table 2). 이러한 경향은 엽체의 두께와 구조적 차이에 의한 것으로 보인다. 방사무늬김은 세포가 단층으로 배열된 단순한 구조를 가진다. 잎파래와 구멍갈파래는 세포배열이 두 층으로 되어 있으며, 구멍갈파래 엽체의 두께가 잎파래 엽체의 두께보다 3~4배 두껍다(Kim et al., 1991; Kim, 1999). 개도박은 피층에 광합성 세포가 배열하며 내층은 수조적이 발달해 있어 연구에 사용된 네 종 중에서 가장 두껍고 구조가 복잡하다. 따라서 2차원 변수인 표면적이 무게로 표현될 때, 두껍고 내부 조직이 복잡할수록 기울기가 더 크게 나타난 것으로 판단된다.

습중량과 건중량의 회귀공식에서 기울기(a)는 습중량을 건중량으로 변환하는 계수로 사용되며(Table 2), 엽체의 습중량에서 수분함량을 뺀 유기물의 비율에 상응하는 값으로 해석된다. 이번 연구에서 네 종의 평균 수분함량을 고려하면(구멍갈파래 84%, 잎파래 82%, 개도박 81%, 방사무늬김 85%), 회귀공식의 기울기는 실제 유기물 함량 비율을 나타내는 타당한 값으로 볼 수 있다. 따라서 이 회귀공식들은 형태적 변

수와 관계없이 습중량에 대한 건중량 변환계수로 사용될 수 있을 것이다.

### 3.3 활용을 위한 제언

이번 연구에서 제시한 생체량 추정 방법은 건중량을 직접 측정할 수 없을 때, 연구의 목적과 방법에 맞게 연구자의 전문적인 판단에 따라 사용한다면, 많은 시간과 비용, 노력을 절약할 수 있을 것으로 보인다. 엽체의 표면적은 실험실에서 사진촬영으로 간단하게 구할 수 있다. 시료의 수가 많은 경우에는 한 장의 사진으로 여러 개체의 면적을 한번에 구할 수 있기 때문에 시간과 노동력을 절약할 수 있을 것이다. 예를 들어 배양을 하면서 성장률을 주기적으로 측정해야 할 때, 표면적을 촬영하면 쉽고 빠르게 건중량을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 사진 그 자체를 자료로서 사용할 수도 있다. 방사무늬김의 광합성 색소 분석은 실험 과정상 건중량 측정이 불가능하다. 김의 광합성 색소 분석에는 보통 습중량으로 120 mg 이하의 양이 사용되는데, 이 때 필요한 양의 엽체 조각을 배열해 놓고, 사진을 촬영해 두면 실험 결과를 건중량 기준으로 제시할 수 있다. 외부 스트레스에 민감한 실험인 경우에는 방수하우징과 투명 아크릴 판을 이용해 시료를 채집하는 현장에서 면적을 구하는 것도 가능하며, 실험조건 외 스트레스에 노출되는 시간을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 만약 엽체를 일정한 면적으로 절취해서 사용하는 실험이라면, 알고 있는 면적을 직접 적용할 수도 있을 것이다. 이 때 시료 각각의 건중량이 동일한 조건이 되기 때문에 개체별 변이를 고려해야 하는 경우에는 습중량을 건중량으로 변환하는 방법이 더 적절 할 것이다. 규모가 큰 실험이라면 개체별로 추정하는 것 보다는 실험 단위의 습중량으로 건중량을 추정하는 것이 도움이 될 것이며, 여기서 제시된 건중량 변환계수(기울기)는 현장 연구에서 현존량을 파악하는데도 적용될 수 있다. 이 연구는 다양한 크기와 시·공간적 범위를 포함하도록 노력 하였다. 그러나 연구자의 시료가 이

번 연구의 측정 범위를 벗어나는 경우, 외삽(extrapolation)에 의한 추정은 예비실험을 통해 타당성을 확보한 후에 적용하는 것이 바람직하며, 가능한 내삽(interpolation)의 범위에서 사용할 것을 권장한다.

## 사 사

실험에 참여한 문수연 연구원과 김민지, 박다진, 박재희, 서유리, 이유리, 정민경, 정혜린 학생들에게 감사를 포함한다. 이 논문은 2019년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업 한국근해 해양변동 모니터링 및 생태계 특성 연구(R2019041)의 지원으로 수행된 연구입니다.

## References

- [1] Boubonari, T., P. Malea and T. Kevrekidis(2008), The green seaweed *Ulva rigida* as a bioindicator of metals (Zn, Cu, Pb and Cd) in a low-salinity coastal environment, *Botanica Marina*, Vol. 51, No. 6, pp. 472-484.
- [2] Brown, J. H. and G. B. West(2000), *Scaling in biology*, Oxford University Press, New York, USA.
- [3] Duarte, C. M., J. J. Middelburg and N. Caraco(2005), Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle, *Biogeosciences*, Vol. 2, pp. 1-8.
- [4] FAO(2018), Global Aquaculture Production, <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en> (Accessed: February, 2018).
- [5] Fletcher, R. L.(1996), The occurrence of "Green Tides" - a review, pp. 7-43 In *Marine benthic vegetation* (Schramm W and Nienhuis PH eds.), Springer, Berlin, Germany.
- [6] Gevaert, F., M.-A. Janquin and D. Davoult(2008), Biometrics in *Laminaria digitata*: A useful tool to assess biomass, carbon and nitrogen contents, *Journal of Sea Research*, Vol. 60, No. 3, pp. 215-219.
- [7] He, J-H.(2008), Geometrical approach to length-biomass allometry in predominantly bidimensional seaweeds, *African Journal of Biotechnology*, Vol. 7, No. 8, pp. 1009-1010.
- [8] Hwang, M. S., S-M. Kim, D-S. Ha, J. M. Baek, H-S. Kim and H-G. Choi(2005), DNA sequences and identification of *Porphyra* cultivated by natural seeding on the Southwest coast of Korea, *Algae*, Vol. 20, No. 3, pp. 183-196.
- [9] Jeon, Y. E., X. F. Yin, S. S. Lim, C-K. Chung and I. J. Kang(2012), Antioxidant activities and acetylcholinesterase inhibitory activities from seaweed extracts, *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol. 41, No. 4, pp. 443-449.
- [10] Kang, C-K., E. J. Choy, Y. Son, J-Y. Lee, J. K. Kim, Y. Kim and K-S. Lee(2008), Food web structure of a restored macroalgal bed in the eastern Korean peninsula determined by C and N stable isotope analyses, *Marine Biology*, Vol. 153, No. 6, pp. 1181-1198.
- [11] Kang, Y. H., S. Kim, J-B. Lee, I. K. Chung and S. R. Park(2014), Nitrogen biofiltration capacities and photosynthetic activity of *Pyropia yezoensis* ueda (Bangiales, Rhodophyta): Groundwork to validate its potential in integrated multi-trophic aquaculture (IMTA), *Journal of Applied Phycology*, Vol. 26, No. 2, pp. 947-955.
- [12] Kim, K. Y., Y. S. Ahn and I. K. Lee(1991), Growth and morphology of *Enteromorpha linza* (L.) J. Ag. and *E. prolifera* (Müller) J. Ag. (Ulvales, Chlorophyceae), *Korean Journal of Phycology*, Vol. 6, No. 1, pp. 31-45.
- [13] Kim, K. D.(1999), Taxonomic studies on *Ulva pertusa* Kjellman (Ulvoephyceae, Chlorophyta) in Korea, MS Thesis, Gyeongsang National University, Jinju, Korea.
- [14] Kim, G. H., K-H. Moon, J-Y. Kim, J. Shim and T. A. Klochkova(2014a), A revaluation of algal diseases in Korean *Pyropia* (*Porphyra*) sea farms and their economic impact, *Algae*, Vol. 29, No. 4, pp. 249-265.
- [15] Kim, S., S. R. Park, Y. H. Kang, G-Y. Kim, K-S. Lee, H. Lee, N-I. Won and H-J. Kil(2014b), Usefulness of tissue nitrogen content and macroalgal community structure as indicators of water eutrophication, *Journal of Applied Phycology*, Vol. 26, No. 2, pp. 1149-1158.
- [16] Kim, S., Y. H. Kang, T-H. Kim, H. J. Lee and S. R. Park(2017), Use of morphological characteristics for calculating individual biomass in the kelp *Ecklonia cava*, *Journal of Applied Phycology*, Vol. 29, No. 5, pp. 2587-2593.
- [17] Ko, Y. W., G. H. Sung and J. H. Kim(2008) Estimation for seaweed biomass using regression: A methodological approach, *Algae*, Vol. 23, No. 4, pp. 289-294.
- [18] Littler, M. M.(1980), Morphological form and photosynthetic performances of marine macroalgae: Tests of a functional / form hypothesis, *Botanica Marina*, Vol. 22, No. 2, pp. 161-165.
- [19] Niklas, K. J. and B. J. Enquist(2001), Invariant scaling relationships for interspecific plant biomass production rates and body size, *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, Vol. 98, No. 5, pp.

2922-2927.

- [20] Quinn, G. P. and M. J. Keough(2002), Experimental design and data analysis for biologists, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- [21] Reed, D. C., A. Rassweiler and K. K. Arkema(2008), Biomass rather than growth rate determines variation in net primary production by giant kelp, Ecology, Vol. 89, No. 9, pp. 2493-2505.
- [22] Robbins, B. D. and B. L. Boese(2002), Macroalgal volume: a surrogate for biomass in some green algae, Botanica Marina, Vol. 45, No. 6, pp. 586-588.
- [23] Rollon, R. N., M. S. Samson, M. Y. Roleda, K. G. Araño, M. W. B. Vergara and W. Y. Licuanan(2003) Estimating biomass from the cover of *Gelidiella acerosa* along the coasts of eastern Philippines, Botanica Marina, Vol. 46, No. 6, pp. 497-502.
- [24] Rothman, M. D., R. J. Anderson, J. J. Bolton, C. J. T. Boothroyd and F. A. Kemp(2010) A simple method for rapid estimation of *Ecklonia maxima* and *Laminaria pallida* biomass using floating surface quadrats, African Journal of Marine Science, Vol. 32, No. 1, pp. 137-143.
- [25] Scrosati, R.(2006), Length-biomass allometry in primary producers: Predominantly bidimensional seaweeds differ from the "universal" interspecific trend defined by microalgae and vascular plants, Canadian Journal of Botany, Vol. 84, No. 7, pp. 1159-1166.
- [26] Seo, M-J., H-S. Choi, O-H. Lee and B-Y. Lee(2013), *Grateloupia lanceolata* (Okamura) Kawaguchi, the edible red seaweed, inhibits lipid accumulation and reactive oxygen species production during differentiation in 3T3-L1 cells, Phytotherapy Research, Vol. 27, No. 5, pp. 655-663.
- [27] Vásquez, J. A., S. Zuñiga, F. Tala, N. Piaget, D. C. Rodríguez and J. M. A. Vega(2014) Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem, Journal of Applied Phycology, Vol. 26, No. 2, pp. 1081-1088.

---

Received : 2019. 03. 18.

Revised : 2019. 04. 10.

Accepted : 2019. 04. 26.