Algae
Volume 23(4): 289-294, 2008

회귀분석을 이용한 해조류 생물량 측정을 위한 방법론

고영욱 · 성건희 · 김정하*

(성균관대학교 생명과학과)

Estimation for Seaweed Biomass Using Regression: A Methodological Approach

Young Wook Ko, Gun Hee Sung and Jeong Ha Kim*

Department of Biological Science, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

To estimate seaweed biomass or standing crop, a nondestructive sampling can be beneficial because of not much destroying living plants and saving time in field works. We suggest a methodological procedure to estimate seaweed biomass per unit area in marine benthic habitats by using species-specific regression equations. Percent cover data are required from the field samplings for most species to convert them to weight data. However, for tall macroalgae such as kelps we need density data and their size (e.g., size class for subtidal kelps) of individuals. We propose that the field sampling should be done with 5 replicates of 50 cm x 50 cm quadrat at three zones of intertidals (upper, middle, lower) and three depth points (1, 5, 10 m) in subtidals. To obtain a reliable regression equation for a species, a substantial number of replicate is necessary from destructive samplings. The regression equation of a species can be further specified by different locality and different season, especially for the species with variable morphology temporally and spatially. Example estimation carried out in Onpyung, Jeju Island, Korea is provided to compare estimated values with real weight data.

Key Words: allometry, nondestructive sampling, regression, seaweed biomass

서 론

해조류는 해양생태계의 주요 1차 생산자이며 해양저서생태계내의 에너지 흐름을 이해하는 기초자료로서 그 현존량을 파악하는 것은 매우 중요하다. 또한 식품 또는 기능성 물질(예, agar, alginate, carageenan 등)의 공급원으로 이용되는 일부 해조종은 높은 경제적인 가치를 가지고 있어 생태학적 기능 이상의 의미를 가진다. 따라서 해조류의 분포 및 현존량의 측정은 이들 해조류의 경제적인 가치를 측정하는데 있어 중요하며 아울러 해양생태계의 구조와 기능을 이해하는데 매우 중요한 일이다(Critchley and Ohno 1998; Grahanm and Wilcox 2000).

해조류의 군집구조를 이해하는데 있어 현존량의 분석은 종조성과 함께 기본 자료로서 널리 수집되고 제시되어 왔으나, 현존량 산출을 위한 방법은 단위 조사면적에 대한 직접적인 채집에 의존하여왔다. 그러나 현존량 산출을 위한 과도한 채집은 해조군집의 손상을 초래할 수 있으므로 신중하게 접근해야 한다. 이에 인공위성을 이용한 원격탐사(remote sensing)나 사진촬영을 이용한 이미지 분석 등의 방법이 대안으로 제시되고있다(De Wreede 1985). 이러한 대안은 간접적인 현존량 산출 방식으로 생물을 훼손시키지 않는 장점을 가지는 비파괴적인 측정(nondestructive measurements)이라 할 수 있으며, 더불어 변수간의 상관관계를 통해 생물량을 측정할 수 있는 방법이 제안되었다(Littler and Littler 1985).

이와 같이 비파괴적인 측정 자료(밀도, 빈도, 피도 등)와 생물량과의 상관관계를 회귀분석에 적용하여 생물량을 추정한 사례는 경제적 가치를 갖는 종의 분포와 연간 생산량을 추산하기 위해 시도된 *Gelidiella acerosa*(Rollon *et al.* 2003)와 *Macrocystis* spp.(Sutherland 1998; van Tamelen and Woodby 2001)가 있었다. 이밖에도 해조류의 생물량에 관한

*Corresponding author (jhkimbio@skku.ac.kr)

연구 중 회귀분석을 적용한 사례는 *Chaetomorpha* spp.와 *Ulva* spp., *Enteromorpha* spp.를 엽체의 형태로 구분하여 부피와 생물량의 상관관계를 연구하였다(Robbins and Boese 2002). 또한 *Ascophyllum nodosum*의 개체군생태학적 연구에 적용하기 위한 길이와 생물량의 상관관계 연구(Aberg 1990)가 있으며 Scrosati(2006)는 *Chondrus crispus*와 *Pterocladiella capillacea*, *Laminaria saccharina*, *Fucus vesiculosus*에 대한 길이와 생물량 간의 상대적 관계(allometry)를 육상식물과 비교한 연구를 하였다.

이와 같은 특정 해조종에 대한 생물량을 추산한 연구는 여러 사례가 있으나, 한 지역 해조 군집 전체에 대한 생물량을 추산한 연구는 부족한 실정이다. 최근 주목 받고 있는 생물에너지로서의 해조류 활용방안(Chauhan 1987; Horn *et al.* 2000)에 관한 연구와 갯녹음 방지를 위한 인공어초 연구(배와 이 1981; 안과 김 2000), 이산화탄소 저감원으로서의 해조류 연구(Gao and McKinley 1994; Larsson and Axelsson 1999) 등 다양한 연구분야에서 해조류의 생산성과 현존량을 평가할 수 있는 자료가 요구되고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 해조 군집의 분포와 생물량 평가에 비파괴적인 측정 자료와 종생물량과의 상관관계를 회귀분석에 적용하는 방법론을 제안하며, 국내연안 일부 우점종의 회귀분석함수를 밝히고, 실제 측정치와 비교하여 그 유용성을 논하고자 한다. 이 연구는 향후 연안 생태계 해조 군집의 훼손을 최소화하면서 군집생물량을 평가하는데 유용한 비파괴적인 샘플링 방법이 일반화 되는데 기여하고자 한다.

현장조사 방법

지역별 해조군집의 분포와 생물량 측정을 위한 조사는 조간대와 조하대를 모두 조사해야 하며 조간대는 조수간만 차이가 극히 작은 우리나라 동해안을 제외하고 각 해당조사지역 해양생물의 수직분포, 암반경사도, 조차를 고려하여 상부, 중부, 하부의 세부구역으로 구분한다. 조하대는 최간조를 기준으로 수심 1 m, 5 m, 10 m의 세부구역으로 구분하여 조사한다. 물론 수심 깊이 구간을 좀더 세분화한다면 보다 정확한 추산이 가능하나 시간과 노력에 대한 고려와 조하대 수심 별 종조성의 변화를 고려해서 위에서 언급한 세부구역 구분이 국내연안에서는 적절하다고 판단된다.

샘플링방법은 50 cm × 50 cm 방형구를 이용하여 조사지역의 세부구역 별 5군데의 조사지점을 무작위로 선정하여(random point sampling, 5 replicates) 방형구내 출현하는 모든 해조종의 피도를 측정한다. 무작위적 조사지점 선정에서 해조류가 존재하지 않는 모래기질이나 한 방형구 내에 가득 차지 않는 작은 암반 등은 제외한다. 주로 조하대에 서식하는 대형해조류(감태, 미역, 모자반류 등)의 생물량은 해조군집내 생물량에서 차지하는 비중이 매우 높으므로 종생물량 산출의 정확성을 높이기 위하여 피도가 아닌 방형구내 각 개체의 길이와 개체수를 측정한다.

조하대 조사는 수중이라는 환경의 특성상 스쿠버다이빙 기술에 의존하기 때문에 조사시간 및 조사기술의 제약이 따르므로 대형해조류의 길이는 10 cm 단위로 길이 · 등급(size-class; < 10cm: size class1, 10 cm < size class2 < 20 cm, 20 cm < size class3 < 30 cm, 등)을 설정하여 개체별 길이 · 등급을 조사한다(Maegawa *et al.* 1988; Kim 2002). 이와 같이 비파괴적으로 조사된 자료를 종생물량으로 환산하기 위해 세부구역별 5곳의 조사지점 중 대표성을 갖는 한 곳의 방형구내 모든 해조류를 채집하여 습중량을 측정한다. 이는 조사지역의 해조군집 훼손을 최소화하면서 회귀분석을 통해 종생물량을 추산할 수 있는 방법이다. 습중량은 부착잡물을 떼어낸 뒤 실험실로 운반하여 물기를 제거하고 0.1 g 수준까지 측정하였다.

회귀분석과 생물량 환산

현장조사를 통해 확보한 자료는 비파괴적으로 조사된 지점별 방형구내 피도 및 길이 · 등급별 개체수이며, 회귀분석을 시행하기 위하여 별도로 파괴적 방법으로 수집된 해조류의 피도값과 습중량 그리고 개체별 길이 · 등급값과 습중량 자료이다. 비파괴적으로 수집된 자료를 바탕으로 종생물량을 추정하기 위해서는 피도와 길이 · 등급이 독립변인으로 생물량은 종속변인으로서 이에 대한 적절한 회귀분석이 실시되어야 한다. 해조류의 생물량을 추정하기 위한 회귀분석을 위해 다음의 다섯가지 회귀함수를 고려할 수 있다.

$$Y = aX + b \quad (1)$$

$$Y = aX \quad (2)$$

$$Y = aX^b \quad (3)$$

$$Y = aX^b + c \quad (4)$$

$$\log Y = \alpha \log X + \log b \quad (5)$$

Y는 해조류의 습중량을 나타내며 X는 해조류의 피도 또는 길이를 나타낸다. a와 b는 관계상수로서 각 해조류의 피도 또는 길이와 습중량의 관계를 각 함수에 해당하는 회귀분석을 통하여 정의할 수 있다. 함수 (1)은 선형회귀함수(linear regression function)로서 독립변인과 종속변인이 선형의 관계를 가지는 경우이며 함수(2)는 원점을 지나는 회귀분석(regression through the origin)함수로서 y절편이 존재하지 않아 생물량과 같이 자료의 특성상 음값을 가지지 않는 경우 이용하는 함수이다. 함수(3)은 지수함수로 정의된 비선형회귀함수(nonlinear regression function)이며 2변수 함수로서

원점을 지나는 회귀함수이다. 함수(4)는 함수(3)과 함께 지수함수로 정의 되었으나 y절편이 존재하는 함수이며 원점을 지나지 않게 된다. 함수(5)는 함수(1)에서 양변을 로그변환한 함수이며 이는 독립변인과 종속변인의 관계가 선형성을 갖지 않고 비선형적 특성을 가질 때 로그변환을 통하여 변환된 자료의 선형성을 확보하여 선형회귀분석을 한 후 역변환 과정을 통해 각 변수를 환원할 때 사용하는 함수이다.

함수(3)은 비선형 회귀함수 중 하나인 지수함수이나 생물체 전체와 어느 한 기관, 또는 부분 사이의 생장 관계로 정의되는 상대생장(allometry) 연구 분야에서 이용되는 함수이기도 하다. 상대생장은 Huxley and Teissier(1936)에 의해 $Y = bX^{\alpha}$(Y; 어느부분의 크기, X; 몸 전체 또는 다른 부분의 크기, b; 평형상수, α; 생장율 상수)의 수식으로 정의된 이래 곤충(Stern and Emlen 1999), 어류(Metin *et al.* 2006), 육상식물(Komiyama *et al.* 2008), 해조류(Scrosati 2000; 2006) 등 다양한 생물에 적용되어 왔다. 상대생장은 지수함수로서 변수간의 관계가 비선형으로 정의되었으나 함수(5)와 같이 변수 X, Y를 로그변환하여 $\log Y = \alpha \log X + \log b$을 도출함으로써 1차함수로 정의되는 선형회귀분석을 통해 통계학적 접근이 이루어졌다(Box and Watson 1962; Glass 1967, Zar 1968). 이후 로그변환에 의한 선형회귀분석의 문제점(Nagy 2005)이 지적되었으며 Packard and Boardman(2008)은 상대생장 연구에 있어서 로그변환에 의한 선형회귀분석보다는 비선형회귀분석이 통계적 오차가 더 적은 방법임을 증명하였다.

따라서 본 방법론은 제주도 연안 16개 지역(고산, 금릉, 김녕, 동일, 문섬, 범섬, 북촌, 성산, 수원, 시흥, 애월, 어영, 온평, 위미, 차귀, 표선)에서 2006년 7월부터 2008년 4월까지 채집된 해조류를 대상으로 회귀분석을 실시하였다. 가장 적합한 회귀함수를 결정하기 위하여 함수(1), (2), (3), (4)에 대하여 회귀분석을 실시하여 비교하였다. Packard and Boardman(2008)에 의해 오차의 문제가 지적된 로그변환을 이용한 선형회귀분석인 함수(5)는 비교 분석에서 제외하였다.

함수(1)은 Fig. 1의 감태(*Ecklonia cava*)의 선형회귀분석 사례에서 보듯이 $Y = -76.6176 + 41.6141\ X$ ($R^2 = 0.7408$)의 함수로 정의된다. 그러나 감태의 길이 · 등급 1일 때, 회귀분석으로 환산되는 종생물량은 -35 g wet wt로서 실제로는 존재할 수 없는 종생물량을 추정하게되는 문제점을 발생시킨다. 종생물량과 같이 자료의 특성상 음값을 가질 수 없는 경우의 통계학적인 처리방법으로는 함수(2)의 원점을 지나는 회귀분석을 적용할 수 있다. 원점을 지나는 회귀분석을 통한 회귀함수는 감태의 경우 $Y = 29.797\ X$의 함수로 정의되어 길이 · 등급 1일 때 함수(1)과는 달리 29.797 g wet wt로 추정되어 음의 값을 갖지 않으나 길이 · 등급 1-4까지의 Y값은 실제보다 과대추정되었다(Fig. 1). 아울러 원점을 지나는 회귀분석은 회귀분석을 위한 통계학적 가정을 충족시키기 어려운 점과 잔차(residual)의 합이 0이 되지 않는 문제, R^2값을 이용할 수 없는 문제점(Quinn and Keough 2002)들로 인하여 본 방법론에서 적용하기는 어렵다. 함수(3)을 이용한 비선형회귀분석의 결과(Fig. 2) 감태는 $Y = 8.5993\ X^{1.6239}$($R^2 = 0.7403$)의 함수로 분석되며 함수(1)에 의해 정의되었던 회귀함수의 R^2 값과도 거의 차이를 보이지 않았다. 그러나 Kutner *et al.*(2004)는 상대생장함수 분석에 있어서 함수(3)과 같은 2변수 함수보다 함수(4)와 같은 3변수 함수가 더 적합하다고 하였다. 따라서 함수(4)를 적용하여 계산된 감태의

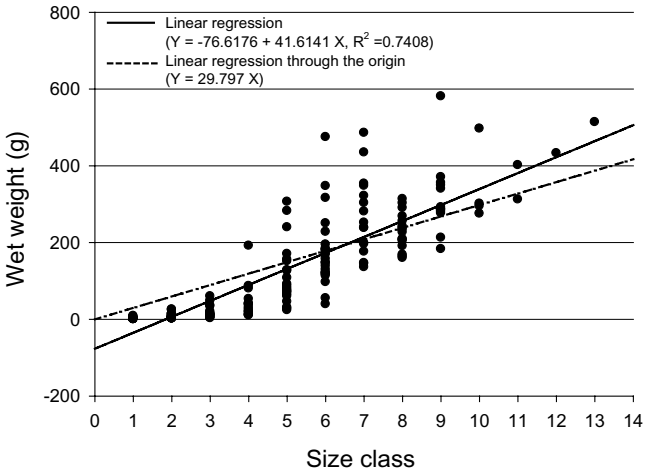

Fig. 1. Linear regression models for estimating *Ecklonia cava* biomass. The solid line stands for standard linear regression and the dashed line for regression through the origin (size-class; < 10 cm: size class1, 10cm < size class2 < 20 cm, 20 cm < size class3 < 30 cm etc.).

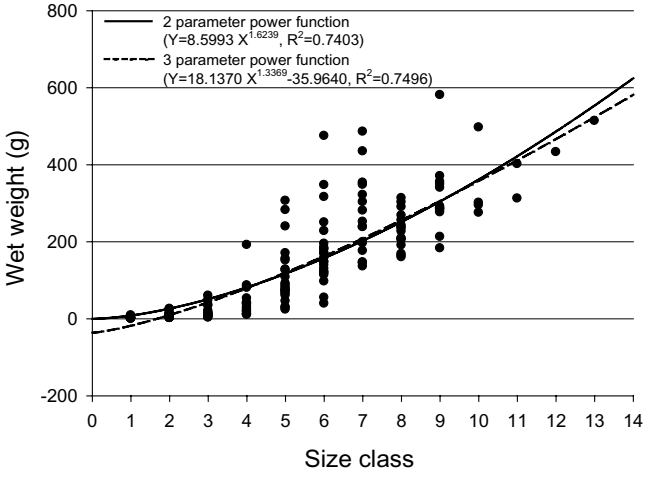

Fig. 2. Nonlinear regression (allometric) models for estimating *Ecklonia cava* biomass. The solid line stands for 2 parameter power regression and the dashed line for 3 parameter power regression (size-class; < 10 cm: size class1, 10 cm < size class2 < 20 cm, 20 cm < size class3 < 30 cm etc.).

Table 1. Regression equations of major macroalgae in Jeju Island

Species	N	Regression equation $Y = a X^b$		R^2
		a	b	
Ecklonia cava *	181	8.5993	1.6239	0.7403
Sargassum spp.*	125	11.2399	0.9614	0.4726
Undaria pinnatifida *	85	3.0890	1.5891	0.7727
Plocamium telfairiae **	86	2.1323	1.0341	0.7972
Sargassum thunbergii **	69	24.3864	0.8539	0.7403
Grateloupia angusta **	67	1.5409	1.1625	0.8302
Gelidium elegance **	63	10.2365	0.9195	0.7611
Cladophora wrightiana **	56	1.9093	1.0069	0.8489
Hizikia fusiformis **	50	24.1445	0.7710	0.5323
Acanthopeltis japonica **	48	1.3432	1.2620	0.7935
Peyssonnelia capensis **	45	2.1276	0.8516	0.6487
Ishige okamurae **	35	0.8662	1.3427	0.7810
Galaxaura falcate **	34	1.9405	1.1813	0.7136
Ulva pertusa **	31	4.9214	0.9639	0.7002
Dilophus okamurae **	21	3.2458	0.9351	0.9437
Grateloupia spp.**	20	0.0237	2.9045	0.8179
Padina arborescens **	18	3.8053	0.9092	0.8021
Chondrus ocellatus **	15	3.3076	1.1428	0.8572
Codium minus **	15	7.9170	0.7639	0.7336
Zonaria diesingiana **	15	2.0421	0.8492	0.5870
Callopyllis japonica **	14	1.8321	1.2272	0.9726
Articulate coralline algae**	14	5.1553	1.0845	0.8481
Enteromorpha prolifera **	13	6.9269	0.7751	0.8018
Dictoppteris prolifera **	13	13.3916	0.3988	0.4887
Colpomenia sinuosa **	12	4.1243	0.9076	0.9695
Spatoglossum pacificum **	12	0.2983	1.7916	0.9521
Codium adhaerens **	10	4.7675	1.0917	0.8775

*Size class-biomass allometric regression.
**Coverage-biomass allometric regression.

회귀함수는 $Y = 18.1370 X^{1.3369} - 35.9640 (R^2 = 0.7496)$로 정의되었으며(Fig. 2) R^2값이 다소 증가하여 함수(1)에 의해 정의된 선형회귀함수보다 더 적합한 회귀함수로 판단된다. 그러나 함수(4)에 의해 정의된 3변수 함수 역시 함수(1)에서와 같이 길이 · 등급 1일 때 환산되는 종생물량은 −17.827 g wet wt로서 음값을 갖는다(Fig. 2). 따라서 함수(3)에 의해 정의된 회귀함수의 R^2(0.7403)는 함수(1)의 R^2(0.7408)과 함수(4)의 R^2(0.7469)에 비해 다소 낮으나 길이에 따른 해조류의 종생물량을 추정하는데 가장 적합한 회귀함수인 것으로 판단된다.

본 방법론에서는 함수(3)을 적용하여 제주도 연안에 서식하는 해조류의 피도별 종생물량과 길이 · 등급별 종생물량을 추정하는 회귀함수 공식을 도출하였다(Table 1).

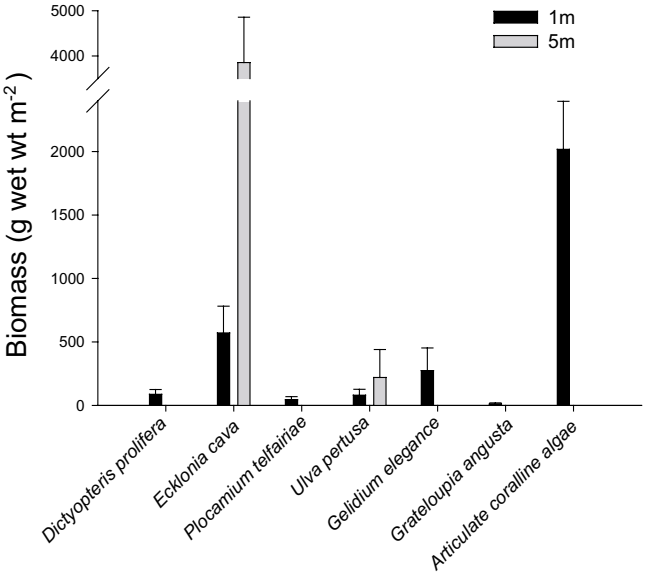

Fig. 3. Macroalgal biomass in Onpyeong, Jeju Island, Korea. Data shown were obtained in October 2007. Bar colors represent the different water depth of the habitat.

적용사례 및 고찰

2007년 10월 제주 온평 조하대 수심 1 m, 5 m에서 조사된 주요종의 평균 군집생물량은 3,933 g wet wt m^{-2}로 추정되었다. 정성적으로 조사된 총 출현 종은 15종이었으며 회귀공식을 통해 종생물량이 추정된 종은 11종으로 총 출현종 수 대비 73%의 종에 대해서 종생물량을 추산하였다. 회귀공식을 적용하지 못한 종들은 방형구내 평균 피도를 기준으로 비단망사(*Martensia denticulate*) 0.1%와 비단풀류(*Ceramium* sp.) 0.1%, 낭과쩍(*Lithothamnion cystocarpioideum*) 0.8%, 무절석회조류(Crustose coralline algae) 17%이다. 이중 생육특성상 종생물량의 측정이 불가능한 무절석회조류를 제외한 3종의 총 피도는 1%로서 한 방형구(100%)의 1%에 해당하므로 무시된 종생물량은 크지 않은 것으로 판단된다. 제주 온평지역의 사례(Fig. 3)에서 감태의 평균 생물량은 2,212 g wet wt m^{-2}로 5 m 수심에서 우점하며 유절석회조류는 1,308 g wet wt m^{-2}로 1 m 수심에서 우점한다. 이 지역에서 최우점종인 두 종의 생물량은 군집생물량 대비 89.5%를 차지하는 것으로 추산되었다. 이는 출현하는 모든 종이 아닌 주요종의 생물량을 추산함으로써 특정지역의 총 군집생물량을 근접하게 추정할 수 있음을 시사한다.

회귀공식 산출을 위해 측정된 실제 무게자료와 회귀공식을 이용하여 추정한 군집생물량을 비교하기 위하여 2008년 1월 제주 차귀도지역에서 조사된 조하대 10 m의 50 cm × 50 cm 방형구 한 개의 자료를 이용하였다(Table 2). 실제로 측정된 무게 410.0 g wet wt에 비하여 회귀공식을 이용하여 추

Table 2. Comparison of estimated biomass by regression with real biomass

Species	Size Class[a]	Coverage (%)[a]	Real biomass (g wet wt)[a]	Regression biomass (g wet wt)[b]
Ecklonia cava	9		276.5	304.8
Grateloupia angusta		40	72.5	112.2
Peyssonnelia capensis		18	40.0	24.9
Cladophora wrightiana		6	12.0	11.6
Acanthopeltis japonica		3	2.5	5.4
Plocamium telfairiae		4	6.5	8.9
Total			410.0	467.8

[a] From destructive sampling data, all data set is not shown here.
[b] From regression equation (Table 1).
* Data from under water -10 m in Chaguido, Jeju Island (Jan. 2008).

정된 무게 467.8 g wet wt가 약 12% 과대 추정되었다. 또한 종생물량 각각의 오차는 감태 +28.3 g wet wt, 붉은뼈까막살(*Grateloupia angusta*) +39.7 g wet wt, 자루바다표고(*Peyssonnelia capensis*) −15.1 g wet wt, 갈색대마디말(*Cladophora wrightiana*) −0.4 g wet wt, 새발(*Acanthopeltis japonica*) +2.9 g wet wt, 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*) +2.4 g wet wt로 산출되었다. 종생물량의 오차는 95% 예측구간(prediction interval) 내에 포함되는 값으로 산출된 종생물량 값은 통계적으로 예측 가능한 값이다. 과대 또는 과소평가되는 종생물량의 오차는 서로 상쇄되어 군집생물량의 오차를 감소시킴으로써 종생물량의 추정보다 군집생물량의 추정에 더 효과적이다. 회귀공식에 의한 종생물량 추정 시 발생하는 왜곡은 회귀공식 산출에 이용된 사례 수(sample size)의 부족에서 기인한 것으로 판단된다. 하지만 본 사례에서 나타난 군집생물량에 대한 12%의 과대 평가는 회귀공식에 의해 추정되지 않고 무시되는 낮은 빈도로 출현하는 종들의 종생물량을 고려하였을 때 실제 군집생물량과의 간극을 줄일 것으로 예상된다. 이는 추가적인 연구를 통해 검증이 필요한 것으로 판단된다.

본 방법론에서 대형해조류(예. 감태, 모자반, 미역)가 서식하지 않는 조간대의 군집조사는 주로 피도만을 조사하여 군집생물량을 평가한다. 국내연안의 대표적인 조간대 우점종인 톳(*Hizikia fusiformis*)과 지충이(*Sargassum thunbergii*) 등은 성체와 어린 개체의 크기 차이가 많이 나서 피도를 기준으로 종생물량을 추정할 때 변이가 매우 심할 수 있으나, 개체수를 현장에서 파악하기가 실질적으로 어려운 경우가 많기 때문에 대형해조류를 대상으로 하는 길이 · 등급별 개체수를 조사하는 방법을 적용하기도 힘들다. 톳의 회귀함수는 $Y = 24.1445 X^{0.7710}$($R^2 = 0.5323$)으로 산출되었으나(Table 1) 낮은 R^2값으로 인해 추정되는 톳 생물량의 신뢰도는 낮은 수준이다. 이러한 결과는 낮은 사례수(N = 50)에 기인하기보다는 성체와 어린 개체의 크기 차이와 생활사에 따른 계절적 차이로 인한 것으로 판단된다. 따라서 회귀함수분석의 결과를 평가할 때 주의를 요한다.

회귀분석에 의해 추정되는 종생물량의 정확성 및 타당성을 높이기 위해서는 다음의 몇 가지 요인들이 고려되어야 한다. 첫째, 충분한 사례 수(sample size)에 근거한 회귀공식을 확보해야 한다. 본 방법론에 적용된 회귀공식은 Table 1에 제시된 바와 같이 각 종별 사례 수가 충분하다고 할 수는 없으나 지속적인 연구를 통하여 좀더 많은 수를 확보함으로써 보다 정확한 회귀함수로 향상될 것이다. 둘째, 추후 지속적인 회귀공식의 보완을 통해 계절별 회귀공식으로 구분함으로써 계절에 따른 형태변화가 큰 종의 정확한 종생물량 환산이 보장된다. 셋째, 지역별로 독립적인 회귀함수의 확보가 동일 종 일지라도 지역별 형태변이가 큰 종들의 정확한 생물량 환산에 기여할 것이다.

본 방법론의 목적은 비파괴적으로 수집된 자료를 이용하여 해조 군집의 생물량 추산함으로써 채집현장에서 소요되는 시간과 노력을 최소화 하고, 또한 파괴적 방법을 지속적으로 수행할 때 발생되는 자연군집의 훼손을 최소화 하는데 있다. 본 방법론에서도 회귀공식 산출을 위한 파괴적 샘플링에 의한 자료의 수집은 매우 중요하다. 그러나 일회성 조사가 아닌 누적된 자료의 이용으로 보다 정확한 회귀공식을 산출하고 아울러 동일한 방법을 이용하는 연구자간 공유를 통해 향후 연구조사에서는 피도와 개체별 크기를 포함한 밀도 등 비파괴적 데이터의 수집만으로도 보다 빠르고 정확한 해조 군집의 생물량을 추산할 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

이 연구는 국토해양부 자원 '해조류를 이용한 온실가스 저감 연구사업'의 일환으로 수행되었다. 해조류 샘플링을 위한 현장조사에 협조해주신 고용덕, 이창호, 김승우님께 감사를 드리며. 초고에 대한 유익한 제안을 해주신 편집위원장님

과 논문심사위원님들께 또한 감사 드린다.

참고문헌

배수환, 이종화. 1981. 인공어초의 생물학적 연구. 군산수대연보 **15:** 15–21.

안영화, 김준택. 2000. 제주도 연안 인공어초 시설어장의 자원조성과 생산효과에 관한 연구. 제주대 해양연구논문집 **24:** 27–35.

Aberg P. 1990. Measuring size and choosing category size for a transition matrix study of the seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **63:** 281-287.

Box G.E.P. and Watson G.S. 1962. Robustness to non-normality of regression tests. *Biometrika* **49:** 93-106.

Chauhan V.D. 1987. Seaweed biomass as a source of energy. *Energy* **12:** 375-378.

Critchley A.T. and Ohno M. 1998. *Seaweed resources of the world*. Japan International Cooperation Agency, Nagai, 431 pp.

De Wreede R.E. 1985. Destructive (harvest) sampling. In: Littler M.M. and Littler D.S. (eds), *Handbook of Phycological Methods*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 147-159.

Gao K. and McKinley K.R. 1994. Use of macroalgae for marine biomass production and CO_2 remediation: a review. *J. Appl. Phycol*. **6:** 45-60.

Glass N.R. 1967. A Technique for fitting nonlinear models to biological data. *Ecology* **48:** 1010-1013.

Grahanm L.E. and Wilcox L.W. 2000. *Algae*. Prentice-Hall, London, 700 pp.

Horn S.J., Aasen I.M. and Ostgaard K. 2000. Ethanol production from seaweed extract. *J. ind. Microbiol. Biotechnol.* **25:** 249-254.

Huxley J.S. and Teissier G. 1936. Terminology of relative growth. *Nature* **137:** 780-781.

Kim J.H. 2002. Mechanisms of competition between canopy-forming and turf-forming intertidal algae. *Algae* **17:** 33-39.

Komiyama A., Ong J.E. and Poungparn S. 2008. Allometry, biomass and productivity of mangrove forests: a review. *Aquat. Bot*. **89:** 128-137.

Kutner M.H., Nachtsheim C.J. and Neter J. 2004. *Applied linear regression models*. McGraw-Hill Irwin, Boston, 701 pp.

Larsson C. and Axelsson L. 1999. Bicarbonate uptake and utilization in marine macroalgae. *Eur. J. Phycol.* **34:** 79-86.

Littler M.M. and Littler D.S. 1985. Nondestructive sampling. In: Littler M.M. and Littler D.S. (eds), *Handbook of Phycological Methods*. Cambrige University Press, Cambridge. pp. 161-175.

Maegawa M., Kida W. and Aruga Y. 1988. A demographic study of the sublittoral brown alga *Ecklonia cava* Kjellman in coastal water of Shima Peninsula, Japan. *Jpn. J. Phycol*. **36:** 321-327.

Metin G., Ilkyaz A.T. and Kinacigil H.T. 2006. Length-weight relationships of poor cod (*Trisopterus minutus* Linnaeus, 1758) in the Central Aegean Sea. *J. Appl. Ichthyol.* **22:** 288-289.

Nagy K.A. 2005. Field metabolic rate and body size. *J. Exp. Biol.* **208:** 1621-1625.

Packard G. and Boardman T. 2008. A comparison of methods for fitting allometric equations to field metabolic rates of animals. *J. Comp. Physiol. [B]* (in press)

Quinn G.P. and Keough M.J. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, Cambridge, 520 pp.

Robbins B.D. and Boese B.L. 2002. Macroalgal volume: a surrogate for biomass in some green algae. *Bot. Mar*. **45:** 586-588.

Rollon R.N., Samson M.S., Roleda M.Y., Arano K.G., Vergara M.W.B. and Licuanan W.Y. 2003. Estimating biomass from the cover of *Gelidiella acerosa* along the coasts of eastern Philippines. *Bot. Mar*. **46:** 497-502.

Scrosati R. 2000. The interspecific biomass-density relationship for terrestrial plants: Where do clonal red seaweeds stand and why? *Ecol. Lett*. **3:** 191-197.

Scrosati R. 2006. Length-biomass allometry in primary producers: predominantly bidimensional seaweeds differ from the "universal" interspecific trend defined by microalgae and vascular plants. *Can. J. Bot*. **84:** 1159-1166.

Stern D.L. and Emlen D.J. 1999. The developmental basis for allometry in insects. *Development* **126:** 1091-1101.

Sutherland I.R. 1998. Kelp inventory, 1996 - Porcher Island, Goschen Island, Banks Island and Estevan Group. In: ICMRaD Ltd. (eds), *Province of British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Aquaculture and Commercial Fisheries Branch*, British Columbia, pp. 1-33.

van Tamelen P.G. and Woodby D. 2001. *Macrocystis* biomass quality and harvesting effects in relation to the herring spawn-on-kelp fishery in Alaska. *Alaska Fish. Res. Bull.* **8:** 118-131.

Zar J.H. 1968. Calculation and miscalculation of the allometric equation as a model in biological data. *Bioscience* **18:** 1118-1120.

Received 28 October 2008
Accepted 20 November 2008