Journal of Bio-Environment Control, Vol. 32, No. 2:115-121, April (2023)
DOI https://doi.org/10.12791/KSBEC.2023.32.2.115
pISSN 1229-4675
eISSN 2765-3641

털머위(*Farfugium japonicum* Kitam.)의 엽장과 엽폭을 이용한 엽면적 및 개화 수 추정 모델 개발

정대호[1] · 정용석[2] · 황현승[3]*

[1]연암대학교 스마트원예계열 조교수, [2]제주대학교 식물자원환경전공 부교수, [3]국립안동대학교 스마트원예과학과 조교수

Development of a Model for Estimating Leaf Area and the Number of Flower Using Leaf Length and Width of *Farfugium japonicum* Kitam.

Dae Ho Jung[1], Yong Suk Chung[2], and Hyunseung Hwang[3]*

[1]*Assistant Professor, Division of Smart Horticulture, Yonam College, Cheonan 31005, Korea*
[2]*Associate Professor, Department of Plant Resources and Environment, Jeju National University, Jeju 63243, Korea*
[3]*Assistant Professor, Department of Smart Horticultural Science, Andong National University, Andong 36729, Korea*

Abstract. The leopard plant has the characteristic of being used for ornamental purposes when there are yellow spots on the leaves, and is widely used as a bed plant for viewing flowers. To set several indicators to predict the growth of crops with ornamental value, and to quantitatively express the relationship between the indicators are necessary. In this study, we determine a model that estimates the leaf area and the number of flower of *Farfugium japonicum* Kitam. using leaf length and width, and conducting a regression analysis on some regression models. As an indicator for estimating the leaf area and the number of flower, the leaf length and width of *F. japonicum* were measured and applied to 8 regression models. As a result of regression analysis of 8 models that estimated leaf area and the number of flower, R^2 values of the linear models were all higher than 0.84 and 0.80. As a result of validation, using the most reliable model among the models for estimating the leaf area and the number of flowering, R^2 was 0.90 and 0.82, respectively. Using a model that estimates various indicators that can be used for quality evaluation from easy-to-measure morphological factors, the evaluation of ornamental plants will be facilitated.

Additional key words: allometric model, leopard plant, modeling, regression analysis, tsuwabuki

서 론

우리나라를 비롯한 세계 여러 나라에서는 도시화가 급속도로 진행되고 있으며, 이에 따라 다양한 문제가 발생하고 있다. 산업화로 인한 도시로의 인구 집중 현상은 도시 내의 토지를 부족하게 만들었으며, 도심지의 녹지 면적의 급격한 감소를 일으켰다(Jeong 등, 2013). 도시화는 대기 오염과 함께 열섬 현상 등 다양한 문제점을 일으킨다. 따라서 도시 지역에서 자라는 식물은 고온과 대기 질소 침착 등 여러 환경 영향에 의해 초장이 증가하고, 수명이 짧아지는 등의 특성을 나타낸다(Jung 등, 2021). 최근 도시의 녹지 확보를 위해 다양한 작물을 이용한 옥상녹화 등 몇 가지 해결책들이 제시되고 있으나, 옥상은 복사열에 의한 고온과 강한 바람, 건조 등의 문제가 있다(Kang과 Zhao, 2013). 따라서 도심지에 적합한 작물의 확보가 어렵다는 단점을 해결해야 할 필요가 있다. 무인도서의 경우 인간의 영향을 적게 받기 때문에 생태계가 안정적으로 유지되지만, 제주와 같은 유인도서는 인위적인 녹화 사업 등의 영향을 받는다(Cheon 등, 2011). 해안 지역에서는 주로 바람과 모래의 마찰을 줄이기 위해 초본식물을 이용한 피복 등을 고려한다(Kim 등, 2010). 그러나 제주 지역은 도서 지역의 특성과 동시에 도심지의 특성을 공유하기 때문에 특수한 상황에 놓여있다.

특수한 환경에서 사용하기 위해 다양한 식물 종을 고려하고 있지만, 가장 널리 사용되는 방식은 지역이나 사회에서 전통지식을 기반으로 이용하던 민속식물을 이용하는 것이다(Kim과 Kang, 2016). 자생 허브 식물은 관상용으로 수요가 급증하고 있으며, 예로부터 널리 사용되어 안전성이 확인된 경우 추출물을 이용하여 약용으로 사용하는 사례도 보고되고 있다(Cho 등, 2000; Park 등, 2004). 털머위(*Farfugium japonicum*

*Corresponding author: behong@anu.ac.kr
Received March 9, 2023; Revised April 6, 2023; Accepted April 6, 2023

Kitam.)는 다년생 초본류로 일본과 중국, 대만 등에서 자생하며, 국내에서는 제주도와 울릉도 등 도서 지역과 남해안에 자생한다. 털머위는 잎에 노란 점이 있는 경우 관상용으로 활용되는 특성이 있고, 꽃을 보기 위한 화단용 식물로 널리 이용된다(Kim 등, 2008). 어린 식물의 잎자루를 식용으로 사용하거나 잎의 생즙을 습진 치료에 사용하며, 해독제로 사용되는 사례도 보고되어 있다(Lee 등, 2002). 굵은 뿌리줄기는 다년간 생존하여 잎자루를 여럿 만들고, 잎의 뒷면에 흰색 털이 존재하여 머위와 달리 털머위라는 이름으로 불린다. 일반적으로 자생지에서 9월부터 지름 4에서 6cm 수준의 황색 꽃이 산방화서를 이루며 피는 특징이 있다(Lee, 2006). 이러한 자생 식물을 활용하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있으나 극히 미진하여, 주로 유용물질 생산, 번식법의 확립, 관상 가치를 높이기 위한 돌연변이 개체 선발 등이 이루어진 상황이다.

관상 가치를 지닌 작물의 생육과 같은 정보는 전수조사를 통해 확인하기 어려운 점이 많다. 따라서 생육과 관상 가치의 예측을 위해 여러 지표를 설정하고, 지표들 사이의 관계를 정량적으로 표현할 필요가 있다. 모델링 기법은 이러한 지표들 사이의 관계를 수학적으로 표현하는데 사용된다(Medina-Ruíz 등, 2011). 작물의 엽면적과 엽 생체중, 엽 건물중 등은 작물의 광합성에 중요한 지표이며, 작물의 생육과 생산량 예측에 활용할 수 있다(Jung 등, 2020; Lee 등, 2022). 생체량을 추정하기 위해서는 선형 모델이나 거듭제곱 형태의 상대생장 모델이 주로 활용되며, 상대생장 모델은 수학적 확립 과정을 거쳐 주로 지하부 생체량 추정에 활용되고 있다(Wilson, 1988; Mugasha 등, 2013). 그러나 털머위와 같은 관상 식물은 생육 외에도 관상 가치에 대한 판단이 필요하기 때문에 개화 수 등을 예측할 수 있는 모델이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 제주 지역에 자생중인 털머위의 엽장과 엽폭을 조사하고, 모델에 대해 회귀 분석을 실시하여 엽면적과 개화 수를 추정하는 적합한 모델을 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 작물 생육 조건

모델 확립에 사용한 털머위(*F. japonicum* Kitam.)는 제주특별자치도 노형동 일대(33.48°N, 126.48°E)에서 자생 중인 작물을 대상으로 하였다. 털머위 자생지의 1년간 평균 기온은 13.1℃였으며, 강수량은 2,338mm였다. 토양은 미사질양토로 암갈색의 각괴상 토양이었으며, 배수가 양호하며 30cm 수준의 유효 토심을 나타내었다. 털머위는 2021년 10월 초에 최초 개화하였으며, 개화한 꽃은 개체에 따라 다르나 1월 중하순까지 형태를 유지하는 것이 관찰되었다. 조사에 사용한 털머위는 84개체로 개화 전후 엽면적의 증가가 없는 충분히 성숙한 개체를 대상으로 하였다.

2. 작물 생육 특성 조사

작물의 엽면적과 개화 수 추정을 위한 지표로 털머위의 엽장과 엽폭을 측정하였다(Table 1). 엽장과 엽폭은 심장형의 잎을 대상으로 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 수직 방향으로 측정하였다. 엽장은 잎의 엽병 부분을 시점으로 하여 가장자리까지 측정하였다. 뿌리줄기에서 발생한 잎들 중 엽장이 5cm 이상인 잎에 대해서만 측정을 실시하였으며, 굴곡이 있거나 휘어진 잎에 대해서는 평평하게 누른 후 측정하였다. 엽면적 측정은 엽장 5cm 이상의 완전 전개된 잎을 대상으로 하였으며, 엽면적 측정기(LI-3100, LI-COR, Lincoln, NE, USA)를 사용하여 측정하였다. 개화 수는 꽃대의 수와 관계없이, 뿌리줄기로 구분되는 개체 당 개화 수를 측정하였다. 개화 수 측정은 꽃의 지름이 3cm 이상인 꽃을 대상으로 하였다.

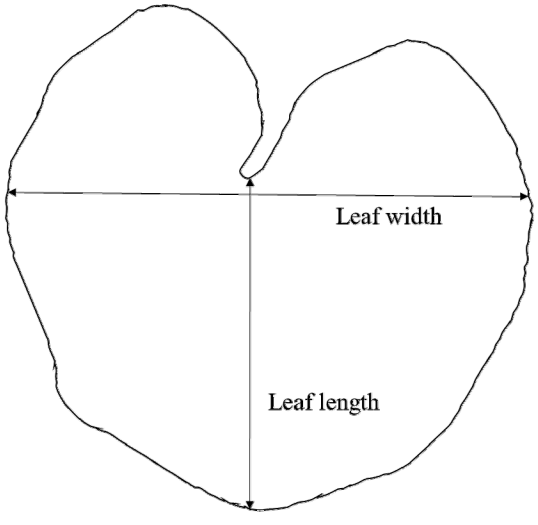

Fig. 1. Diagram of measurement positions for leaf length and width of *Farfugium japonicum* Kitam.

Table 1. Statistical summary for leaf length (*L*), leaf width (*W*), leaf area (*LA*), and number of flowers (*FN*) for *Farfugium japonicum* Kitam.

	L (cm)	*W* (cm)	*LA* (cm^2)	*FN* (ea)
Mean ± SD	13.1 ± 4.0	22.0 ± 3.7	306.6 ± 82.9	7.0 ± 3.4

3. 회귀 모델 선정

기존에 제안된 여러 경험적 모델을 포함하여 엽면적과 개화수를 추정하기 위한 회귀 모델 8종을 선정하였다(Table 2). 회귀 모델은 엽장(*L*)과 엽폭(*W*)을 변수로 하여 엽면적(*LA*)과 개화 수(*FN*)를 추정하기 위한 형태로 구성되었다. 사용한 모델은 선형 모델(Eqn. 1－4)과 상대생장 모델(Eqn. 5－8) 두 가지 종류로 구분된다. 선형 모델은 형태가 간결하며, 상대생장 모델은 수목류 등에서 지하부 추정에 널리 사용되는 형태이다. 선형 모델은 딸기 등에서 엽면적 추정에 사용된 모델식을 포함하여 분석하였다(Jo 등, 2022).

4. 회귀 모델 통계 분석

선정된 모델에 포함된 여러 회귀 계수를 결정하고자 SPSS 통계 프로그램(IBM, New York, NY, USA)을 이용하여 비선형 회귀분석을 수행하였다. 실측 데이터와 모델이 예측한 값의 비교를 위하여 Sigmaplot(Systat Software, San Jose, CA, USA)을 이용하여 그래프를 작성하였다. 회귀분석 결과 모델의 정확도를 확인하기 위하여 결정계수 R^2과 평균제곱근오차(RMSE) 값을 확인하였고, R^2 값이 가장 높게 나타나는 모델을 적합 모델로 선정하였다.

5. 선정 회귀 모델 검증

회귀 모델 중 R^2 값과 RMSE 값을 고려하여 가장 신뢰도가 높은 모델을 1종 선택하여 검증을 수행하였다. 검증에는 모델을 구축하는데 사용하지 않은 24개체에서 측정된 결과를 이용하였다. 엽장과 엽폭을 이용하여 모델을 통해 계산된 엽면적과 개화 수는 실제로 측정된 값을 1:1 선상에서 회귀분석 하였으며, R^2 값과 RMSE 값을 이용하여 모델의 신뢰도를 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 엽장과 엽폭에 따른 엽면적과 개화 수의 관계와 모델 선정

털머위의 잎을 대상으로 측정한 엽장과 엽폭, 엽면적, 개화수의 관계를 3차원 공간상에 나타내었다(Fig. 2). 엽장과 엽폭이 증가함에 따라 엽면적과 개화 수는 증가하는 양상을 보였다. 조사된 털머위의 엽장과 엽폭은 5.9－20.4cm와 16.4－30.8cm의 범위에 있었으며, 엽면적과 개화 수는 154.9－476.2cm^{2}와 0－15개의 범위에 있었다. 털머위의 엽장과 엽폭에 대한 생육조사가 국내에서는 보고된 사례가 없었기 때문에, 유사종인 곰취[*Ligularia fischeri*(Ledeb.) Turcz.]에서 보고된 사례와 비교하였다. '수마니' 곰취는 엽장과 엽폭이 평균적으로 22.3cm와 21.5cm로 알려져 있는데(Suh 등, 2020), 털머위는 곰취에 비해 엽장이 조금 더 짧고 엽폭은 비슷한 수준이었다.

털머위의 엽장과 엽폭을 이용하여 엽면적과 개화 수를 추정한 8종 모델의 회귀분석 결과 선형 모델의 R^2 값이 모두 0.84와 0.80 이상으로 높게 나타났다(Table 3과 4). 8종의 모델 모두 엽면적 추정 시 R^2 값이 더 높게 나타났으며, 개화 수 추정에서는 소폭 낮은 정확도를 보였다. 선형 모델 중에서는 딸기 잎의 엽면적 추정 등에 사용되는 엽장과 엽폭의 제곱항이 포함된 모델이 가장 높은 R^2 값을 나타냈다. 그러나 해당 모델의 경우에도 엽면적의 추정에는 0.85의 R^2 값을 나타내었으나, 개화 수 추정에는 0.82의 R^2 값을 나타내어 개화 수 추정에 정확도가 소폭 하락하였다. 간척지에서 재배한 근채류의 지하부 생체중을 추정하기 위해 사용한 상대생장 모델은 엽장의 제곱과 엽폭을 곱한 값을 변수로 하는 경우 정확도가 높았지만(Jung 등, 2020), 털머위의 경우에는 선형 모델에 비해 정확도

Table 2. Regression models to estimate leaf area (*LA*) and number of flowers (*FN*) for *Farfugium japonicum* Kitam.

Equation number	Regression model[z]
Linear model	
1	$LA, FN = a * L * W + b$
2	$LA, FN = a * (L + b) * (W + c)$
3	$LA, FN = a * (L^2 + b * L + c) * (W^2 + d * W + e)$
4	$LA, FN = a * L^2 + b * W^2 + c * L + d * W + e$
Allometric model	
5	$LA, FN = a * (L * W)^b$
6	$LA, FN = a * (L^2 * W)^b$
7	$LA, FN = a * (L * W^2)^b$
8	$LA, FN = a * (L^2 * W^2)^b$

[z] *L* is leaf length (cm), *W* is leaf width (cm), *LA* is leaf area (cm^2), *FN* is number of flowers (ea), and *a* to *g* are regression coefficients.

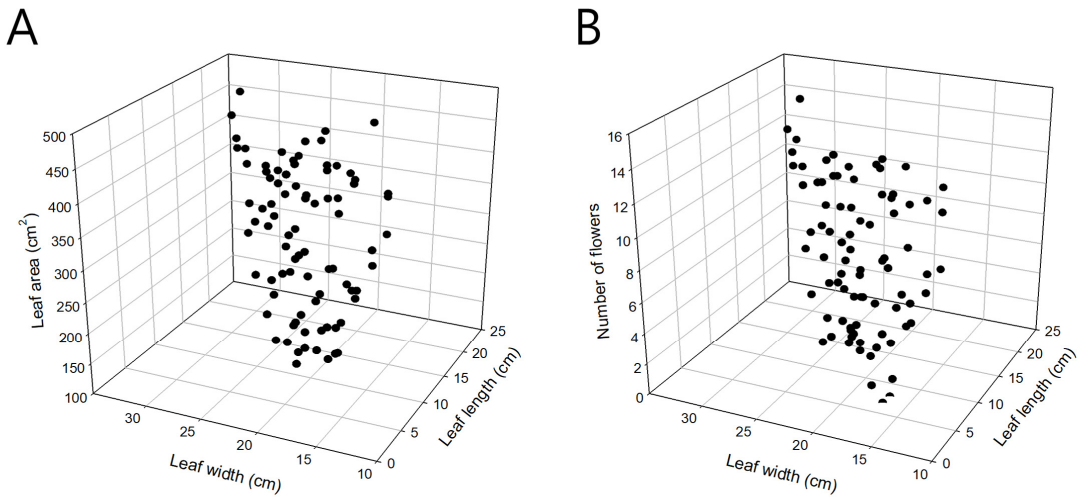

Fig. 2. Relationships among leaf length and width and leaf area (A) and number of flowers (B) for *Farfugium japonicum* Kitam.

Table 3. Coefficient values, determination coefficient (R^2), and root mean square error (RMSE) of regression models to estimate leaf area (*LA*) for *Farfugium japonicum* Kitam.

Equation number[z]	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	R^2	RMSE (cm^2)
Linear model							
1	0.66	111.52				0.84	34.40
2	0.39	6.78	17.32			0.85	33.10
3	4.81×10^{-8}	2,808.86	19,396.38	2,804.17	49,800.53	0.85	33.13
4	−0.42	−0.35	26.00	24.19	−314.42	0.87	31.01
Allometric model							
5	9.46	0.62				0.86	32.30
6	16.53	0.36				0.85	33.93
7	6.76	0.44				0.80	38.63
8	9.46	0.31				0.86	32.30

[z]See Table 2 for the equation number.

Table 4. Coefficient values, determination coefficient (R^2), and root mean square error (RMSE) of regression models to estimate number of flowers (*FN*) for *Farfugium japonicum* Kitam.

Equation number[z]	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	R^2	RMSE (ea)
Linear model							
1	0.026	−0.743				0.80	1.55
2	0.029	−0.727	−2.89			0.80	1.56
3	1.211×10^{-5}	−89.316	216.15	−84.19	619.59	0.81	1.54
4	−0.001	−0.003	0.54	0.56	−10.87	0.82	1.49
Allometric model							
5	0.015	1.079				0.80	1.57
6	0.040	0.625				0.76	1.72
7	0.009	0.752				0.77	1.68
8	0.015	0.540				0.80	1.57

[z]See Table 2 for the equation number.

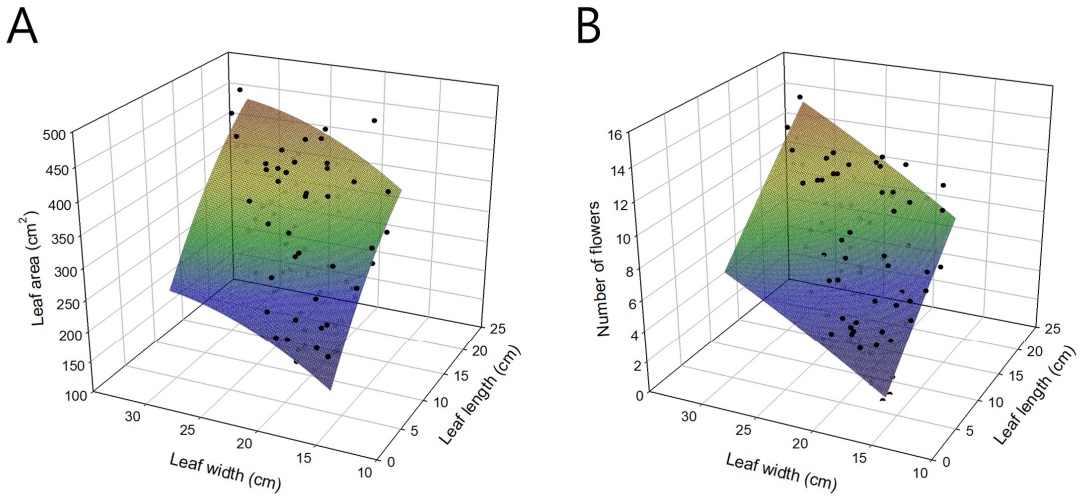

Fig. 3. Comparison of measured (black dot) and estimated (colored mesh) leaf area (A) and number of flowers (B) for *Farfugium japonicum* Kitam. using regression model with highest R^2 value (Eqn. 4).

가 낮은 것으로 나타났다. 상대생장 모델 중에서는 엽장과 엽폭을 곱한 값을 변수로 하거나, 엽장과 엽폭의 제곱을 서로 곱한 값을 변수로 하는 경우에 가장 높은 정확도를 보였다. 가장 높은 정확도를 나타낸 Eqn. 4를 이용하여 측정 범위 내에서 털머위의 엽장과 엽폭을 예측하도록 3차원 공간상에 그래프를 작성한 결과 실측 데이터의 경향을 잘 표현해 주었다(Fig. 3).

상대생장 모델은 수목에 관한 지하부 생체중 추정에 활용되는 경우가 많기 때문에 기존 연구에서 R^2 값이 최저 0.68 수준으로 나타났다(Mugasha 등, 2013). 수목의 경우 흉고직경을 변수로 하여 추정하는 경우 R^2 값이 0.90 이상으로 나타날 수 있으나(Jackson과 Chittenden, 1981), 근채류와 같이 흉고직경을 사용할 수 없는 경우에는 0.6에서 0.7 수준으로 나타나는 것으로 보고되었다(Jung 등, 2020). 그러나 딸기 등에서 엽면적 추정을 위해 사용하는 선형 모델의 경우 R^2 값이 0.92 이상의 높은 정확도가 보고된 것으로 보아, 엽면적 추정에 사용되는 모델과 개화 수 추정에 사용되는 모델의 형태가 다르게 적용되어야 할 것으로 판단한다(Jo 등, 2022).

2. 엽면적과 개화 수 추정 모델의 검증

털머위의 엽면적과 개화 수를 추정하는 모델 중 가장 신뢰도가 높은 Eqn. 4를 이용하여 검증한 결과, R^2는 각각 0.90과 0.82로 나타나 신뢰할 수 있는 모델임을 확인하였다(Fig. 4). 일반적으로 조경용 수목에서 묘목의 품질은 형태적으로 나타나는 특성과 생리적으로 나타나는 특성을 모두 포함한다(Landis 등, 1995; Kim, 2013). 형태적으로 나타나는 특성을 품질의 지표로 활용하는 때에는 줄기의 길이, 높이, 직경, 잎의 색 등을 이용하므로(Chavasse, 1980), 엽장과 엽폭은 이러한

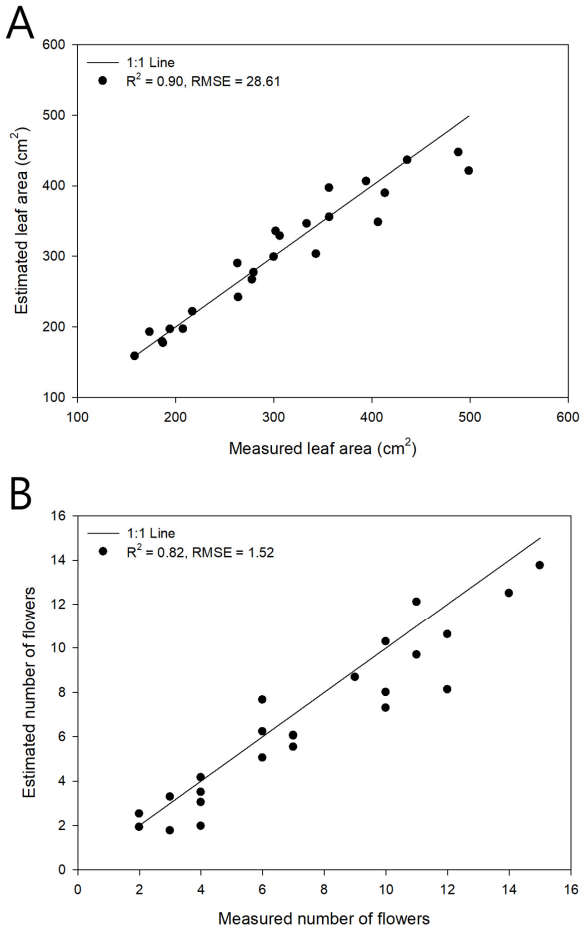

Fig. 4. Validation of measured and estimated leaf area (A) and number of flowers (B) for *Farfugium japonicum* Kitam. using regression model with highest R^2 value (Eqn. 4).

형태적 품질 지표로 활용할 수 있다. 그러나 묘목에 대한 연구에서는 관상용 식물의 개화 수에 대한 지표를 제안하고 있지 않기 때문에, 형태적 특성과 생리적 특성을 고려하여 관상용 식물에 대한 품질 기준을 마련할 필요가 있다.

모든 식물체를 전수조사 하는 것은 많은 시간과 노력을 필요로 하기 때문에 비파괴적 방식을 사용하여 지표를 측정하고자 하는 연구가 진행되고 있다(Verwijst와Nordh, 1992; Antunes 등, 2008). 최근 발달하고 있는 이미지 프로세싱 기술과 원격 센싱 기술을 이용하면 작물의 품질을 평가할 수 있는 비파괴적 방식이 확립될 수 있을 것이다. 따라서 측정이 간편한 생체 지표로부터 품질 평가에 사용할 수 있는 여러 지표를 추정하는 모델을 이용하면 관상 식물에 대한 평가가 원활하게 이루어질 것이다.

적 요

털머위는 잎에 노란 점이 있는 경우 관상용으로 활용되는 특성이 있고, 꽃을 보기 위한 화단용 식물로 널리 이용된다. 관상가치를 지닌 작물은 생육 예측을 위해 여러 지표를 설정하고, 지표들 사이의 관계를 정량적으로 표현할 필요가 있다. 본 연구에서는 제주 지역에 자생중인 털머위의 엽장과 엽폭을 조사하고, 모델에 대해 회귀 분석을 실시하여 엽면적과 개화 수를 추정하는 모델을 결정하고자 하였다. 작물의 엽면적과 개화 수 추정을 위한 지표로 털머위의 엽장과 엽폭을 측정하여 8종의 회귀 모델에 대해 적용하였다. 털머위의 엽장과 엽폭을 이용하여 엽면적과 개화 수를 추정한 8종 모델의 회귀분석 결과 선형 모델의 R^2 값이 모두 0.84와 0.80 이상으로 높게 나타났다. 털머위의 엽면적과 개화 수를 추정하는 모델 중 가장 신뢰도가 높은 것을 이용하여 검증한 결과, R^2는 각각 0.90과 0.82로 나타나 신뢰할 수 있는 모델임을 확인하였다. 측정이 간편한 생체 지표로부터 품질 평가에 사용할 수 있는 여러 지표를 추정하는 모델을 이용하면 관상 식물에 대한 평가가 원활하게 이루어질 것이다.

추가 주제어 : 모델링, 상대생장 모델, 털머위, 회귀 분석

Literature Cited

Antunes W.C., M.F. Pompelli, D.M. Carretero, and F.M. DaMatta 2008, Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). Ann Appl Biol 153:33-40. doi:10.1111/j.1744-7348.2008.00235.x

Chavasse C.G.R. 1980, Planting stock quality: a review of factors affecting performance. N Z J For 25:144-171.

Cheon K.I., S.C. Jung, J.H. You, J.G. Byun, and S.H. Joo 2011, Vegetation structure and vascular plants for ecotourism resource at Namu Island in Busan. J Korean Inst For Recreat 15:51-59. doi:10.34272/forest.2011.15.1.006 (in Korean)

Cho Y.H., E.A. Park, and M.H. Chiang 2000, Effects of nitrogen form of nutrient solution on the growth of *Aster tataricus*, *Chrysanthemum boreale*, and *Farfugium japonicum*. Korean J Hortic Sci Technol 18:14-17. (in Korean)

Jackson D.S., and J. Chittenden 1981, Estimation of dry matter in *Pinus radiata* root systems I. Individual trees. N Z J For Sci 11:164-182.

Jeong M.I., S.W. Han, J.S. Kim, and J.S. Song 2013, Selection of native herbal plants capable to survive year-round in roof garden adopting extensive green roof system in the central district of Korea. Flower Res J 21:172-181. doi:10.11623/frj.2013.21.4.33 (in Korean)

Jo J.S., H.S. Sim, S.B. Jung, Y.H. Moon, W.J. Jo, U.J. Woo, and S.K. Kim 2022, Estimation and validation of the leaf areas of five June-bearing strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) cultivars using non-destructive methods. J Bio-Env Con 31:98-103. doi:10.12791/KSBEC.2022.31.2.098

Jung D.H., P.H. Lee, and I.B. Lee 2020, Determination of regression model for estimating root fresh weight using maximum leaf length and width of root vegetables grown in reclaimed land. Korean J Environ Agric 39:204-213. doi:10.5338/KJEA.2020.39.3.24 (in Korean)

Jung S.H., Y.C. Cho, and C.S. Lee 2021, Changes in leaf and reproductive traits of mountain ash (*Sorbus alnifolia*) as urban flourisher in the Seoul metropolitan, South Korea. Korean J Environ Ecol 35:644-658. doi:10.13047/KJEE.2021.35.6.644 (in Korean)

Kang T.H., and H.X. Zhao 2013, Assessment of roof-rainwater utilization system and drought resistance of ground cover plants. J Korean Inst Landsc Archit 41:1-8. doi:10.9715/KILA.2013.41.5.001 (in Korean)

Kim D., S. Im, H.M. Kweon, and J. Yim 2010, Monitoring of vegetation coverage for selecting plants for beach revegetation. KSCE J Civ Environ Eng Res 30:519-524. (in Korean)

Kim H.J., and S.H. Kang 2016. Ethnobotany of Hallyeo-Haesang National Park and its adjacent regions, South Korea. Korean J Plant Res 29:46-61. doi:10.7732/kjpr.2016.29.1.046 (in Korean)

Kim J.Y., T.H. Oh, B.J. Kim, S.S. Kim, N.H. Lee, and C.G. Hyun 2008, Chemical composition and anti-inflammatory effects of essential oil from *Farfugium japonicum* flower. J Oleo Sci 57:623-628. doi:10.5650/jos.57.623

Kim T.Y. 2013. The detailed dimensions and quality assessment standards in Korean landscape woody plants. PhD Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea. p 13.

Landis T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett 1995, The container tree nursery manual. Vol. 1. nursery

planning, development and management. Agriculture handbook 674. USDA Forest Service, Washington D.C., USA, p 188.

Lee J.M., J.Y. Jeong, and H.G. Choi 2022, Estimation of leaf area using leaf length, leaf width, and lamina length in tomato. J Bio-Env Con 31:325-331. doi:10.12791/KSBEC.2022.31.4.325 (in Korean)

Lee S.Y. 2006, Plant regeneration via somatic embryogenesis in *Farfugium japonicum*. N Z J Crop Hortic Sci 34:349-355. doi:10.1080/01140671.2006.9514425

Lee S.Y., S.O. Yoo, J.H. Bae, and J.H. Lee 2002, Effect of plant growth regulators on callus induction and plant regeneration of *Farfugium japonica*. Korean J Plant Biotechnol 29:45-49. (in Korean)

Medina-Ruíz C.A., I.A. Mercado-Luna, G.M. Soto-Zarazúa, I. Torres-Pacheco, and E. Rico-García 2011, Mathematical modeling on tomato plants: a review. Afr J Agric Res 6: 6745-6749. doi:10.5897/ajarx11.001

Mugasha W.A., T. Eid, O.M. Bollandsås, R.E. Malimbwi, S.A.O. Chamshama, E. Zahabu, and J.Z. Katani 2013, Allometric models for prediction of above- and belowground biomass of trees in the Miombo woodlands of Tanzania. For Ecol Manag 310:87-101. doi:10.1016/j.foreco.2013.08.003

Park H.J., S.H. Lee, D.I. Kim, E.Y. Hur, and S.M. Cho 2004, The screening of antioxidant activity in some Korean medicinal plants. Korean J Community Living Sci 15:11-16.

Suh J.T., D.L. Yoo, K.D. Kim, J.N. Lee, H.B. Sohn, J.H. Nam, S.J. Kim, S.Y. Hong, and Y.H. Kim 2020, Development of 'Soomany' for new cultivar of gomchwi with disease resistant and high yield. Korean J Plant Res 33:80-85. doi:10.7732/kjpr.2020.33.2.080 (in Korean)

Verwijst T., and N. Nordh 1992, Non-destructive estimation of biomass of *Salix dasyclados*. Bioresour Technol 41:59-63. doi:10.1016/0960-8524(92)90099-j

Wilson J.B. 1988, A review of evidence on the control of shoot: Root ratio, in relation to models. Ann Bot 61:433-449. doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a087575