

# 식물 구조기능 모형을 이용한 작물 모델링

문경환\*, 서형호, 손인창, 최경산, 최인명  
농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터

## Crop Modeling Using Functional-Structural Plant Model (FSPM)

K. H. Moon\*, H. H. Seo, I. C. Son, K. S. Choi, and I. M. Choi

Agricultural Research Center for Climate Change, NIHHS, RDA, 1696 Odeung-dong, Jeju-si, Jeju  
690-150

(Correspondence: milestone@korea.kr)

### 1. 서 언

작물 모델링은 자연환경에서 작물의 발달과 생장을 모의하여 그 결과를 예측할 수 있는 모형이나 그것을 제작하는 일을 말하는 것으로, 농업, 수학, 전산학의 다학제적 연구가 진전되면서 발달하고 있는 분야이다. 실험 모형은 주로 작황이나 품질예측에 이용되는데 이용하기 위해서는 작물 품종 및 환경에 대하여 교정을 실시해야 한다 (Fourcaud *et al.*, 2008).

과정기반의 모형(process-based model)은 환경요인과 작물의 생육, 발달 간의 생리과정에 대한 이론적인 근거를 기반으로 개발된 것으로, 광합성, 호흡, 성장, 발육 및 분배, 양·수분의 흡수 등의 생리적 과정을 수학적 관계에 의한 수치로 묘사하며, 식물체 기관이 아닌 작물 전체 또는 포장 단위의 특성값들을 주로 나타내게 된다(Vos *et al.*, 2007). 이 모형은 생리적 과정에 관한 과학적 이론에 근거한 모형이므로 재배 지역의 기상, 토양, 품종 조건을 이용하면 어느 지역에서나 적용이 될 수 있다.

반면에 architectural model, structural model, morphological model, geometric model 등으로 일컬어지기도 하는 구조 모형은 주로 식물 구성요소의 형태나 방향을 실제의 모습과 유사하게 컴퓨터로 묘사하는 것을 목적으로 하여 개발되었고 Lindenmeyer에 의해 개발된 L-Systems을 바탕으로 한 L-Studio가 유명하다(Prusinkiewicz and Lindenmayer, 1991). 구조 모형이 식물의 3차원적인 형태에 집중하고 있는 것과 달리 functional-structural plant model (FSPM) 또는 virtual plant model이라고 불리는 구조기능 모형은 과정기반 모형에서 중요시 하고 있는 환경에 의해 영향을 받는 작물의 생리적인 과정을 구조 모형에서 중요시하고 있는 작물의 형태 변화를 결합시켜 작물의 생육 모습을 종합적으로 묘사하는 것을 주요 목표로 하고 있다(Fig. 1).

### 2. 구조기능 모형의 특징

일반적으로 과정기반 모형은 광합성, 호흡, 엽신 신장, 분얼, 증산 등 생리반응에 대한 순간 변화율의 관계를 적산하여 시간의 흐름에 따른 전체 시스템 특성들의 변화를

수치로 표현하게 된다.

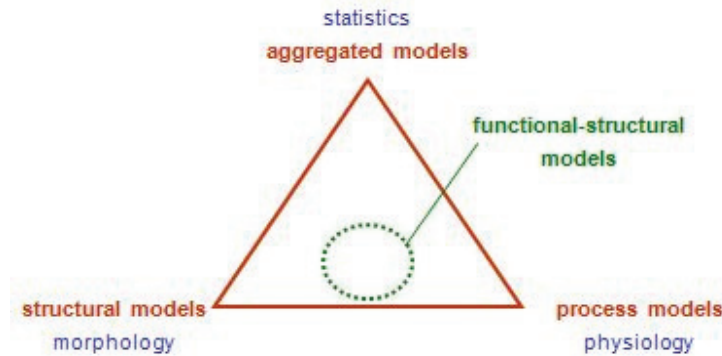


Fig. 1. Conceptual status of functional-structural model (Kurth, 1994)

구조기능 모형은 이러한 과정기반의 특성을 포함하고 있는 것에 덧붙여 식물의 형태를 컴퓨터에서 구현할 수 있도록 되어 있다. 이것은 식물의 형태를 그리는 것이 아니라 수치로 정량화하여 나타낼 수 있어야 함을 의미한다. 밀의 형태를 코드화하여 정량적으로 표현한 Rickman *et al.* (1982)의 연구 결과는 식물형태를 어떻게 정량화하여 나타낼 수 있는지를 보여주는 좋은 예이다.

식물 종류별로 종자, 눈, 줄기, 잎, 뿌리, 열매 등 식물의 형태를 구성하는 주요 구성요소에 대하여 크기, 모양, 형성과정을 수치화하여 나타낼 수 있다.

식물이 조직을 구성하는 기본적인 단위인 phytomer (metamer)에 대하여 나타낼 수 있다. 예로 단자엽 식물은 정아 세포가 분열하여 tiller bud, internode, node, leaf sheath, leaf blade로 구성된 phytomer가 생성되고, 이 phytomer는 정아로부터 반복적으로 재생되면서 식물체의 형태를 구성하게 된다.

이 외에도 과정기반 모형에서 중요시하는 생리적인 과정에 대한 함수, 환경요인의 변화에 대한 작물의 생리반응, 시간의 변화에 따른 특성 값들의 변화 등을 나타내게 된다.

### 3. 구조기능 모형의 구현 사례

구조기능 모형을 구현하는 프로그램은 GREENLAB, L-Systems, GroIMP 등 여러 가지가 개발되어 있다. 여기에서는 독일에서 개발된 GroIMP를 이용하여 봄밀의 생육과정을 모형화한 사례를 소개한다. GroIMP는 식물체의 구조를 형상화하는데 유리한 RGG(rational growth grammars) 개념을 발전시켜 프로그래밍 언어로 개발된 XL을 기반으로 모델링을 할 수 있도록 설계된 FSPM 전용 프로그램이다. GroIMP는 작물의 형태 형성과 더불어 특성 값들의 변화를 그래프나 데이터로 표현할 수 있다. 또 java 언어로 개발되어 있어 java와 호환되며, 3D 표현 등 java 언어로 만들어진 다양한 프로그램을 이용할 수도 있다.

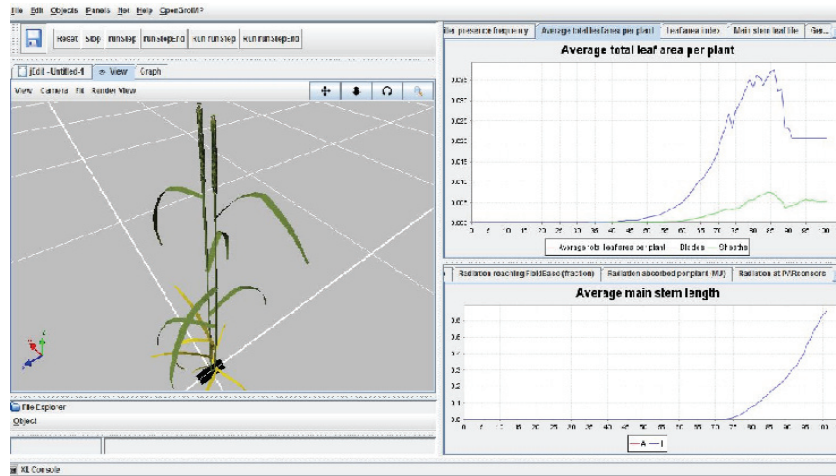


Fig. 2. Example of modeling using GroIMP (Evers et al., 2007)

#### 4. 구조기능 모형의 한계 및 전망

구조기능 모형은 생육 기간 중의 작물의 형태와 정량적 특성들의 변화를 나타낼 수 있으므로 작물의 생리반응에 관해 정밀하게 모의할 수 있는 장점이 있다. 예로 재식밀도에 의한 밀의 분얼수 변화, 잡초가 있을 때 작물과 광, 수분에 대한 경쟁관계, 가지 구부림, 전정 등에 의한 장미의 수량, 품질 변화, 식물생장조절물질에 의한 애기장대풀의 형태 변화 등 정밀한 생리연구를 이 모형을 이용하여 수행된 바 있다(Vos *et al.*, 2007). 그러나, 구조기능 모형은 작물 형태의 변화를 이론적인 근거를 가지고 연산하여 모의하기보다는 실험에 의한 변수간의 curve fitting에 의해 변화를 추정하는 방법이 많이 이용되고 있다. 또 모형 구동 시 개개 작물의 형태까지 계산되므로 컴퓨터의 연산 능력에 따라 계산이 어려워지는 등 영향을 많이 받게 되므로, 지금까지는 개체수가 많은 일반 포장에는 적용하기가 어려운 점이 있다.

구조기능 모형은 세포 수준에서 일어나는 생명현상과 식물 개체 수준에서 일어나는 생리현상의 중간 규모의 현상을 잘 묘사할 수 있는 방법이며, 실제로 유전자 수준의 형질발현을 개체 수준의 생리적 표현으로 나타내려는 시도도 진행되고 있다. 또 식물을 조직수준에서 모의할 수 있기 때문에 앞으로 컴퓨터기술의 발달과 더불어 작물의 형태 발달을 조직, 개체, 포장 단위의 모의하는데 활용될 것으로 전망된다.

#### 인용문헌

Evers, J. B., J. Vos, C. Fournier, B. Andrieu, M. Chelle and P. C. Struik, 2007: An architectural model of spring wheat: evaluation of the effects of population density and shading on model parameterization and performance. *Ecological Modelling* **200**, 308-320.

Fourcaud, T., X. Zhang, A. Stokes, H. Lambers and C. Körner, 2008: Plant growth modelling and applications: the increasing importance of plant architecture in growth

models. *Annals of Botany* **101**, 1053-1063.

Kurth, W., 1994: Morphological models of plant growth: possibilities and ecological relevance. *Ecological Modelling* **75**, 299-308.

Prusinkiewicz, P. and A. Lindenmayer, 1991: The algorithmic beauty of plants (The Virtual Laboratory).

Rickman, R., C. Peterson and B. Klepper, 1982: Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. *Agronomy Journal* **74**, 789-792.

Vos, J., L. Marcelis and J. Evers, 2007: Functional-Structural plant modelling in crop production: adding a dimension. *Frontis* **22**, 1-12.