

도시형 식물공장에서의 탄산가스 농도 예측

Prediction of Carbon Dioxide Concentration in Urban-type Plant Factory System

손정익¹ · 박종석¹ · 박한영²

¹서울대 원예학과, ²건국대 원예학과

J. E. Son¹ · J. S. Park¹ · H. Y. Park²

¹Department of Horticulture, Seoul National University, Suwon 441-744

²Department of Horticulture, Kon-Kuk University, Seoul 133-701

1. 서론

도시환경은 다양한 형태로 발생하는 공해로 인하여 악화되고 있다. 각종 유해가스는 대기오염을 통해 인간의 건강을 위협하고 있으며, 도시 폐기물은 도시 및 주변지역으로의 환경파괴를 가속시키고 있다. 도시내에서 방출되는 각종 에너지를 식물공장을 통한 적정 작물생산에 적용시킬 수 있다면, 도시와 상호 보완적인 역할이 가능한 환경 보존형 도시농업이 가능하다. 본 연구는 건물내 발생하는 탄산가스를 식물생육에 이용하며 반대로 인간거주장소의 공기정화를 위한 모델의 구축 및 실행결과 분석을 목적으로 하였다.

2. 재료 및 방법

본 모델에서의 광조건 및 인간의 활동조건에 대하여 인간거주지역 및 식물생산 지역간의 공기를 순환시키면서 각 장소의 탄산가스 농도 변화를 분석하였고, 또한 작물의 생육을 순광합성량에 의하여 계산하였다. 공시작물은 정식후 60일 정도 경과한 토마토를 가정하였다. 본 모델의 시뮬레이션을 위하여 PCSMP를 이용하였다. 탄산가스농도 예측을 위한 모델은 탄산가스 발생 및 소비 모델과 탄산가스 수지 모델로 구성되었다.

1) Equations for carbon dioxide production and consumption

$$R_t = \frac{57000n(RMR+1.2)\rho_{\text{CO}_2}}{5} \times 0.95(g/h)$$

$$P_t = \frac{b}{aK} \ln \left\{ \frac{(1-m) + aKI_0}{(1-m) + aKI_0 e^{-K \cdot LAI}} \right\}$$

$$R_n = R_t \cdot F_r$$

$$P_n = [P_t - R_G \cdot LAI]A$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = 1.9643 \times 10^{-3} \times \frac{273}{273 + \theta}$$

$$a = \frac{eff}{\tau CO_2 F(T)}, \quad b = eff \cdot D$$

여기서, R_i : 인간의 탄산가스발생량(g/h), n : 사람수, R_n : 식물에 공급되는 탄산가스량(g/h), RMR : 에너지대사율, P_n : 순광합성속도(g/h), P_t : 작물의 총광합성속도(g/m²/h), eff : 광이용효율($\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\mu\text{mol}(\text{photon})$), I_0 : 작물위의 일사강도($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), D : 단위변환상수($\mu\text{mol}(\text{CO}_2)/\text{m}^2/\text{s} \rightarrow \text{g}(\text{CO}_2)/\text{m}^2/\text{hr}$), K :군락흡광계수, m : 잎의 광투과율, R_G : 총호흡량(g/m²/h), A : 재배면적(m²), ρ_{CO_2} : 탄산가스의 밀도(g/cc), F_r : 인간의 활동시간 단위함수를 나타낸다.

2) Equations for carbon dioxide balance

$$V_p \frac{dC_p}{dt} = Q_e(C_h - C_p) + Q_v(C_0 - C_p) - \frac{P_n}{\rho_{CO_2}}$$

$$V_h \frac{dC_h}{dt} = Q_e(C_p - C_h) + Q_v(C_0 - C_h) + \frac{R_n}{\rho_{CO_2}}$$

여기서, C : 탄산가스농도(ppm), R_n : 탄산가스공급량 (g/h), P_n : 순광합성속도(g/h), Q_e : 교환량(m³/h), Q_v : 환기량(m³/h): $N_s V$ at $Q_e=0$; $N_d V$ at $Q_e \neq 0$, V : 체적(m³), 첨자 p, h, o: 식물공장, 사무실, 외기를 의미, N : 환기횟수(h^{-1}), 첨자 d, s: 정지, 순환을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

도시농업에서의 식물생산 및 이를 위한 식물공장의 개념은 Fig.1과 같다. 인간이 건물내의 탄산가스를 이용하여 작물의 광합성원을 공급하며 역으로 작물은 인간 거주공간에 정화된 공기를 공급할 수 있다.

작물재배 공간과 인간거주 공간에서 인간의 활동에 의하여 발생하는 탄산가스에 의한 각 공간에서의 탄산가스 농도변화를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 편의상 컨테이너 크기를 대상으로 인간이 1인, 2인이 있을 경우에 대한 연속 순환상태에서의 탄산가스 농도 변화를 나타낸 예이다(Fig. 2). 탄산가스는 인간의 호흡에 의하여 증가하며 12시 전후에 약간 감소하다가 18시 이후에는 다시 감소하는 경향을 나타냈다.

또한 인공광 상태에서 작물에 의한 탄산가스 흡수를 가정할 경우, 인간이 배출하는 탄산가스는 작물이 없는 상태와 비교할 때(Fig. 2) 상승정도가 완만한 것으로 나타났고, 이것은 작물에 의한 탄산가스 흡수에 의한 것이라 추정할 수 있다(Fig. 3). 구축된 모델은 다양한 도시농업을 위한 식물생산시스템 설계에 응용가능할 것이라고 사료되며, 추후 도시와 상호 보완적인 역할이 가능한 환경 보존형 도시농업을 위하여 보다 적극적인 탄산가스 이용방법의 개발이 필요하다

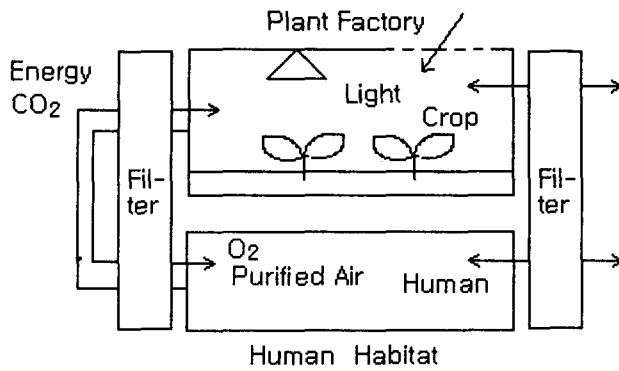


Fig. 1. Concept of a plant factory for urban agriculture.

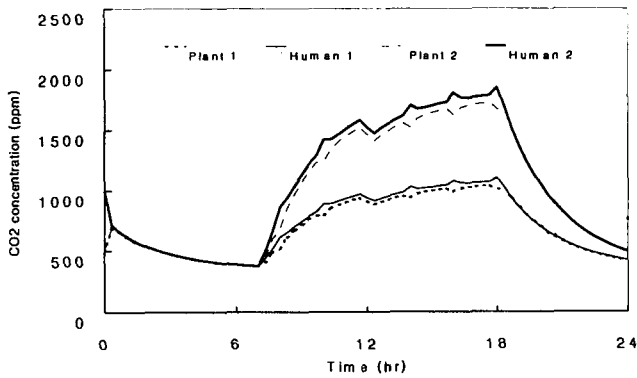


Fig. 2. Changes of CO₂ concentration with the number of persons in the human module.

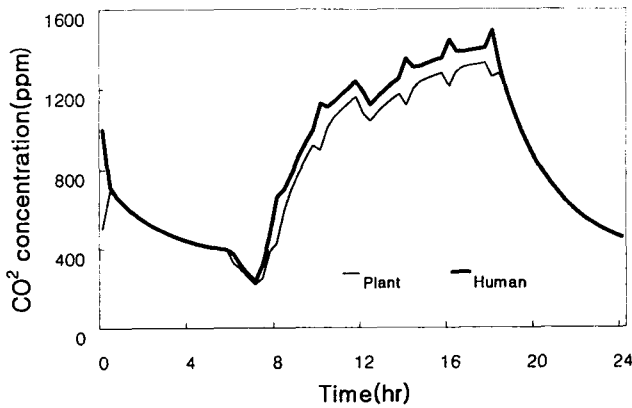


Fig. 3. Changes of CO₂ concentration in the plant and human module with two persons.