人工光下에서 工程育苗 個體群上의 空氣力學的 抵抗 및 擴散係數

Aerodynamic resistance and eddy diffusivity above the plug stand under artificial light

金容顯 · 古在豊樹*
전북대학교 농과대학 농업기계공학과
*千葉大學 園藝學部 生物生産科學科 環境調節工學研究室
Y.H. Kim and Toyoki Kozai*
Dept. of Agricultural machinery Engineering, College of Agriculture,
Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea
*Lab. of Environmental Control Engineering, Dept. of Bioproduction Science,
Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, 271, Japan

1. 서론

공정육묘는 기후의 영향을 쉽게 받는 自然光下에서 대부분의 생산이 이루어지기 때문에 계획적인 묘생산이 어렵게 된다. 향후 植物工場(Plant factory) 또는 閉鎖生態系生命維持시스템(Controlled ecological life support system, CELSS)과 같이 閉鎖度가 높은 식물생산 시스템에서는 식물종묘 생산의 대부분이 人工光을 이용한 조건에서 이루어질 것으로 예상된다. 본 연구에서는 인공광하의 工程苗個體群(이하 '묘개체군'이라 칭함)내외에서의 熱 및 運動量 交換에 의한 기류의 安定性과 空氣力學的 抵抗 및 擴散係數에 대해서 보고한다.

2. 실험장치 및 방법

金등[1]과 Kim등[3]이 설계한 공정묘 생산용 풍동은 整流裝置(air flow conditioner), 생육실, 송풍기와 송풍량 제어장치, 광원으로 구성된다(그림 1). 송풍기(EF-30BSB)의 最大送風量과 靜壓은 각각 33 m^3 min^{-1}, 12.5 mmAq 이었다. 풍동내의 기류속도는 송풍기의 송풍량을 제어하는 방식에 의해서 조절되며, 배지 표면으로부터 18 cm 떨어진 높이에서 일정하게 유지되었다. 광원으로는 55W의 백색형광등(FPL55EX-W)이 사용되었다.

식물군락위의 기류속도 분포는 中立條件下에서 對數函數로 표시된다[5].

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left\{\frac{(z-d)}{z_0}\right\} \quad (1)$$

여기서, u(z):임의의 높이 z 에서 기류속도 (m s^{-1}), u_*:摩擦速度 (m s^{-1}), κ:von

Karman 상수 (=0.4), d:地面修正量 (m), z_0:粗度長 (m) 이다. 기류속도와 기온의 실측치에 최소자승법을 적용하면 기류속도 분포와 관련된 공기역학적 특성, 즉, 地面修正量, 摩擦速度, 粗度長등이 결정된다. 기류속도 분포의 형태에 영향을 미치는 浮力은 Richardson數 (R_i)와 Monin Obukhov 길이 (L, m)에 의해서 결정된다. 임의의 높이 z_1과 z_2에서의 Richardson數 및 Monin Obukhov 길이는 다음과 같이 정의된다.

$$R_i = \frac{g}{T} \frac{(T_2-T_1)(z_2-z_1)}{(u_2-u_1)^2} \quad (2)$$

$$L = - (\rho\ c_p\ T\ u_*^3)/\kappa\ g\ C \quad (3)$$

여기서, g:중력가속도 (=9.81 m s^{-2}), T_1, T_2:임의의 높이 z_1, z_2에서의 기온 (K), ρ :공기의 밀도 (kg m^{-3}), c_p:비열 (J kg^{-1} C^{-1}), C:현열유속 (J m^{-2} s^{-1})이다. 대기의 불안정조건에서 공기역학적 저항(r_a, s m^{-1}) 및 확산계수(K_M, m^2 s^{-1})는 다음 식으로 계산된다[4].

$$r_a = 1/(\kappa u*)\ [\ln\{(z-d)/z_0\}+n(z-d)/L] \quad (4)$$

$$K_M = \kappa\ u_*\ z\ (1-16z/L)^{1/4} \quad (5)$$

식(4)에서 n은 안정도에 관계된 계수로서 불안정 조건의 경우 4.5의 값을 갖는다. 묘개체군의 공기역학적 저항 및 확산계수의 결정에 관한 실험은 실내온도와 상대습도가 각각 22±0.5℃, 65±5%로 유지되는 대형 growth chamber 내에서 이루어졌다. 기류 속도는 육묘상자의 배지 표면으로부터 18 cm 떨어진 높이에서 0.3, 0.5, 0.7 및 0.9 m s^{-1} 의 4 수준으로 설정된 가운데, 열선풍속계에 의해서 측정되었다. 기온은 기류속도의 측정 지점과 동일한 위치에서 직경 0.1 mm 의 열전대에 의해서 측정되었다. 실험기간 동안 육묘상자의 배지 표면에서 光合成光量子束密度(photosynthetic photon flux density)의 평균값은 300 μmol m^{-2} s^{-1} 으로 유지되었다. 공시식물로서 사용된 가지(*Solanum melongna* L.)의 공정묘는 실험개시일에 평균초장과 엽면적지수가 각각 52 mm 및 0.5 이었다.

3. 결과 및 고찰

그림 2에서와 같이 공정묘의 생육이 이루어짐에 따라 묘개체군내외에서의 기류속도는 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 공정묘 개체군내외에서 발달된 葉面境界層抵抗에 기인한 것으로 판단된다. 표 1은 생육실 중앙부에서의 기류속도 및 공정묘의 초장에 따른 묘개체군의 공기역학적 특성을 나타

Table 1. Aerodynamic characteristics above the plug stand at middle of plant growth room.

u ($m\ s^{-1}$)	h (cm)	LAI	d (cm)	z_0 (cm)	u^* ($m\ s^{-1} \times 10^2$)	u^*/u	d/h	z_0/h
0.32	5.34	0.52	1.74	0.18	3.47	0.035	0.33	0.034
0.51	5.20	0.53	1.61	0.11	5.20	0.052	0.31	0.021
0.70	4.98	0.50	1.98	0.22	8.71	0.087	0.40	0.044
0.92	5.15	0.57	1.70	0.29	11.83	0.118	0.33	0.056
0.28	7.68	1.40	4.76	0.54	4.75	0.048	0.62	0.070
0.46	7.18	1.33	4.36	0.61	8.01	0.080	0.61	0.085
0.70	7.00	1.29	4.18	0.70	12.13	0.121	0.60	0.100
0.86	6.80	1.37	4.56	0.44	12.85	0.129	0.67	0.065
0.30	9.10	2.60	6.28	0.40	5.01	0.050	0.69	0.044
0.42	9.28	2.51	7.62	0.36	6.48	0.065	0.82	0.039
0.61	8.99	2.56	7.35	0.37	9.91	0.099	0.82	0.041
0.73	8.33	2.59	6.45	0.86	15.32	0.153	0.77	0.103

u : air curent speed
h : aveage plant height
LAI : leaf area index

낸 것이다. 기류속도가 증가되면 묘개체군내에까지 亂流의 영향이 미치게 된다. 기류속도의 증가에 따라 지면수정량은 감소하는 경향을 나타내었으나, 조도장과 마찰속도는 증가되는 것으로 나타났다.

기류속도에 따른 Richardson數는 -0.07~+0.01로서 苗個體群上의 기류가 不安定 또는 準中立 상태에 있기 때문에, 부력에 의해서 기류의 수직운동이 촉진될 것으로 판단된다(그림 3). 기류속도가 낮은 경우 공기역학적 저항은 매우 높은 값을 갖는 것으로 나타났다(그림 4). 또한, 평균초장이 큰 묘개체군위에서의 공기역학적 저항은 초장이 작은 경우에 비해서 분명히 높게 나타났다. 기류속도가 증가하면 확산계수도 높게 나타났다(그림 5).

4. 요약 및 결론

인공광하에서 공정묘 개체군내외의 기류속도 및 기온의 측정치를 이용하여 묘개체군위에서의 공기역학적 특성을 살펴하였다. 또한, 묘개체군위에서의 공기역학적 저항 및 확산계수를 결정하였다. 본 연구에서 개발된 공정육묘 생산용 풍동은 인공광하에서 묘개체군내의 기류속도가 공정묘의 생장에 미치는 효과 분석에 유용할 것이다.

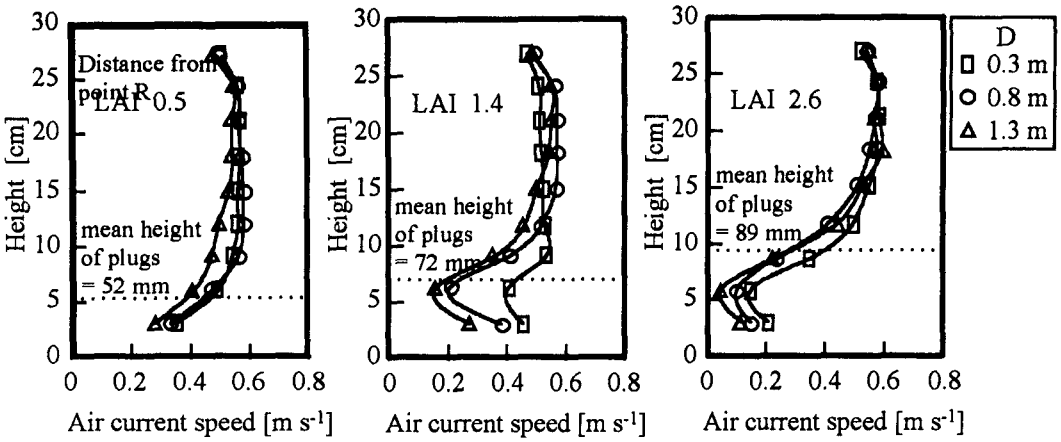

Fig. 2. Profiles of air current speed inside and over a stand of plugs at the average air speed of 0.5 m s^{-1}, as affected by the growth stages of plug seedlings (their leaf area index, LAI) and the distance from the exit of the main air flow conditioner (D).

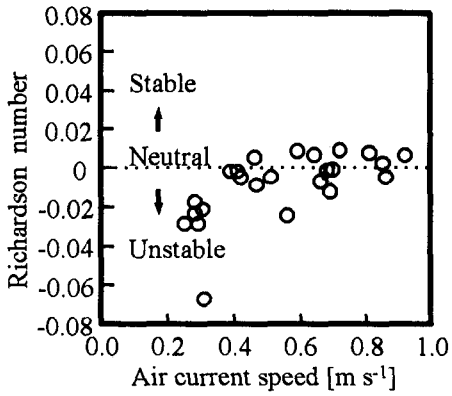

Fig. 3. Richardson number as affected by the air current speed over a stand of plugs.

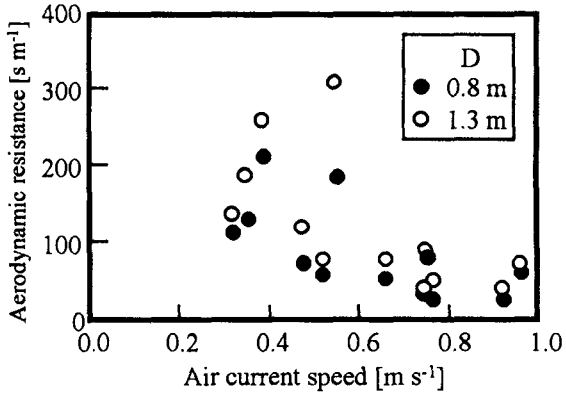

Fig. 4. Aerodynamic resistance as affected by the air current speed and the distance from the exit of the main air flow conditioner(D).

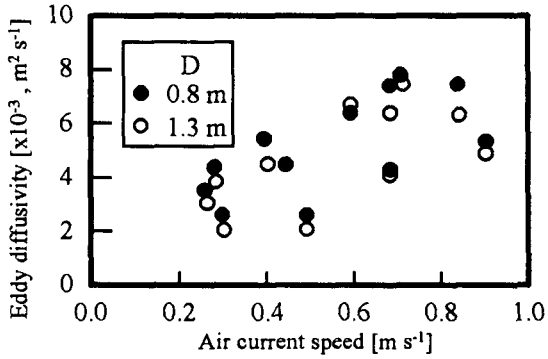

Fig. 5. Eddy diffusivity as affected by the air current speed and the distance from the exit of the main air flow conditioner (D).

참고문헌

(1) 金容顯, 古在豊樹, 久保田智惠利, 北宅善昭. 1996. 人工光下におけるセル成型苗生産のための風洞設計. 日本植物工場學會平成8年度大會 學術講演要旨集 pp.29-30.

(2) Bean, H.H. 1971. Fluid meters : their theory and applications. The American Society of Mechanical Engineers, N.Y. pp.179-196.

(3) Kim, Y.H., T. Kozai, Y. Kitaya and C. Kubota. 1996. Design of a wind tunnel for plug seedlings production under artificial lighting. Abstracts of International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems p.99.

(4) Monteith, J.L. 1973. Principles of environmental physics. Edward Arnold, London. pp.86-99.

(5) Thom, A.S. 1973. Momentum, mass and heat exchange of plant communities, in Vegetation and the atmosphere, Vol. 1(Ed. by Monteith, J.L. Academic press, N.Y.). pp.57-109.

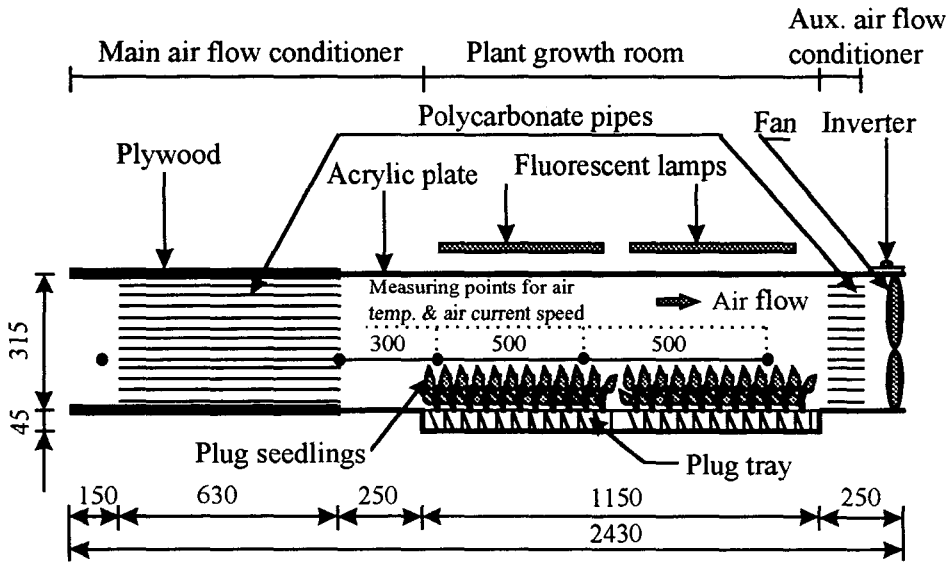

Fig. 1. Cross-sectional view of a wind tunnel [unit : mm].