

관엽식물의 오존 (O₃) 흡수능에 관여하는 요인 분석 Analysis of Factors Related to Absorption Ability of Foliage Plants Exposed to O₃

박소홍 · 배공영 · 이영이 · 이용범

서울시립대학교 환경원예학과

(1998년 2월 2일 접수, 1998년 11월 10일 채택)

So-Hong Park, Gong-Young Bae, Young-Yi Lee and Yong-Beom Lee
Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743

(Received 2 February 1998; accepted 10 November 1998)

Abstract

We selected *Spathiphyllum patinii* and *Pachira aquatica*, since the former has high O₃ absorption while the latter low absorption, and analyzed physiological factors such as diffusive coefficient, transpiration rate, photosynthetic rate, and CO₂ absorption rate, which affected O₃ absorption capacity. There was significant relationship between gas absorption capacity and the other factors; photosynthetic rate, diffusive resistance, stomatal resistance and CO₂ absorption rate. Therefore model formula for estimation of O₃ absorption rate in plant was formulated by making use of these factors. There was difference for the estimation of O₃ absorption rate according to plant species. In case of *Spathiphyllum patinii*, photosynthetic rate is an optimal factor for estimation of O₃ absorption capacity. On the other hand, stomatal resistance and diffusive resistance are optimal factors of *Pachira aquatica* among various physiological ones. And we knew that CO₂ absorption rate is a potential factor to evaluate gas absorption capacity regardless of plant species. But considering efficiency and practicality, diffusive resistance was the most effective factor for the estimation of O₃ gas absorption.

Key words : CO₂ absorption rate, diffusive resistance, photosynthetic rate, stomatal resistance

1. 서 언

대기오염물질의 증가가 심각해짐에 따라 인간 및 동·식물에 미치는 영향에 대해 관심이 집중되고 있다(Kangasjarvi 등, 1994; Derwent, 1990; Darrall, 1989). 이 가운데서도 식물은 대기오염물질을 흡수하는 능력이 있어(清田, 1992; 藤沼, 1987; 古川,

1987) 대기환경을 개선하기 위한 식물의 활용방안이 모색되고 있다. 대기오염물질은 3가지 메카니즘, 즉 습성침착, 화학반응, 그리고 건성침착을 통해 대기로부터 제거된다(Fowler, 1980; Rasmussen 등, 1975). 가스상이나 입자상의 오염물질은 강수 혹은 나무를 포함한 다양한 표면에 침착됨으로써 제거되거나 대부분의 가스상 오염물질은 잎의 기공을 통해 흡수되어 세포간극으로 확산됨으로써 제거된다

(Murphy와 Sigmon, 1990; Smith, 1990; Fowler, 1985). 즉 식물은 대기 중의 탄산가스를 기공으로부터 흡수해 광합성작용에 의해 당을 합성하고 엽내의 수분을 기공으로부터 대기로 증산작용에 의해 방출함과 동시에 대기 중의 오염물질도 기공을 통해 엽내로 흡수한다(近藤와 佐治, 1992). 이때 기공을 통한 가스의 흡수는 대기와 식물체내의 가스농도차에 비례한 물리적 확산에 지배되며, 식물에 의한 가스흡수의 속도는 가스의 성질, 대기 및 식물체내의 가스농도, 풍속 등의 화학적 혹은 물리적 조건에 좌우된다(近藤와 佐治, 1992; Smith, 1990; 古川, 1987). 또한 대기와 엽내 가스농도의 차 이외의 오염가스의 흡수를 조절하는 요인으로 잎표면에서 발생하는 엽면 경계층저항, 기공간극을 통과할 때 생기는 기공저항 등이 있다(古川, 1987). 이들 요인에 영향을 주는 환경요인으로는 가스의 종류, 기상조건, 용해도의 차이, 광, 온도, 습도 등이 있으며(近藤, 1987), 식물요인으로는 세포의 흡수능력, 식물의 수분함량, 엽령, 영양상태 등이 있어 오염물질의 흡수 시 많은 요인이 관여함을 알 수 있다(古川, 1987). 그러나 식물에 의한 가스상 오염물질의 흡수량 추정 및 평가에는 많은 문제점이 따르기 때문에 실질적 평가는 용이하지 않다(藤沼, 1987).

따라서 본 연구에서는 대기오염물질 중 오존(O₃)의 흡수능에 영향을 주는 요인을 선별하여 식물에 의한 적절한 흡수능 평가가 가능한지를 규명함과 동시에 식물중에 관계없이 평가할 수 있는 요인을 찾아내어 실질적인 적용가능성을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

O₃ 흡수능이 높았던 스파티필름(*Spathiphyllum patinii* N.)과 흡수능이 낮았던 파키라(*Pachira aquatica* A.)를 선별하여(박 등, 1998) 펄라이트, 버미큘라이트, 부엽토를 1:1:1(v/v/v)로 혼합한 배양토에 식재하여 노지에서 환행사로 약 80% 정도 차광(200 ± 30 μmol m⁻² s⁻¹)하여 약 1개월간 광순화시킨 후 공시식물로 이용하였다. 각 식물은 매일 1회 관수하였으며 비료는 시립대배양액(박과 이, 1997)을 1/2로 희석하여 주 1회 공급해 주었다. 가스처리에 사

용한 식물은 광합성이 비교적 비슷한 식물을 20개 채씩 선별하여 처리조건과 같은 환경하에서 1일 순화시킨후 가스처리를 행했다.

2.2 O₃ 처리 및 흡수량 추정

식물에 의한 가스흡수를 측정하기 위해 내부 크기가 185×140×185 cm인 자연광 유리 챔버내에 가스주입관이 연결되어 있는 소형아크릴 챔버(40×40×75 cm)를 배치시키고 이 안에 풋트를 완전 밀폐한 식물을 1주씩 넣었다. 챔버안의 온·습도는 환경조절장치(CR32W, Carel, Italy)에 의해 온도 28 ± 2°C, 습도 50 ± 5%로 일정하게 유지시켰으며, 광도는 자연광만을 이용하여 맑은 날의 경우가 약 200 ± 30 μmol m⁻² s⁻¹이 되도록 약 80% 이상을 차광하였다. 식물의 가스흡수능 평가는 오전 10시부터 오후 2시 사이에 챔버에 식물을 넣고 감소되는 농도를 흡수량(A)으로, 야간에 챔버내 식물을 넣은 상태에서 감소된 농도의 차이는 흡착량(B)으로, 식물이 없는 빈 아크릴내의 감소된 농도의 차이는 누기(漏氣)량(C)으로 정하였다. 그리고 순흡수량은 A에서 B를 뺀 값으로, 순흡착량은 B에서 C를 뺀 값으로 산정하였고, 총흡수량은 순흡수량과 순흡착량의 합계로 하였다(본 결과에서 언급되는 흡수량은 순흡수량을 이용하여 정하였다). 흡착량 산정시에는 주간 흡수량 측정시 사용된 식물을 반복하여 이용하였고 광합성 측정기로 기공이 완전 폐쇄되어 광호흡이 일어나는 것을 확인한 후 처리하였으며 모든 실험은 최소 20회 이상 반복 수행하였다.

가스는 O₃발생기(ON-1-2, Nippon ozone Co., Japan)를 이용하여 133 ng L⁻¹부터 처리하였고 챔버내 가스농도를 화학발광식 O₃자동측정기(806, Kimoto, Japan)로 5초마다 측정하여 대기수준(ambient level, ca. 17 ± 3 ng L⁻¹까지)이 될 때까지 측정된 후 농도의 차이를 시간당 엽면적비로 환산하였다. 가스 처리시 풍속은 0.22 m s⁻¹이었으며 가스의 농도조절은 자동조절제어 시스템을 이용하였다.

2.3 가스교환에 관여하는 요인측정

가스교환에 미치는 영향을 조사하기 위하여 가스처리를 시작하기 직전과 직후에 광합성 측정장치(LI6200, Licor, USA)를 사용하여 오전 11시부터 오후 2시 사이에 각 식물당 6엽 이상씩 측정하였다.

요인 분석을 위해 CO₂ 흡수율(CO₂ absorption rate; CO₂), 세포내 CO₂농도(Intercellular CO₂ concentration; CINT), 광합성율(photosynthetic rate; Pn), 기공저항(stomatal resistance; RS) 및 기공전도도(stomatal conductance; CS)을 가스처리 직후 측정하였다. 측정은 기온 28±2°C, 습도 50±5%, CO₂ 농도 345±10 μg L⁻¹, 광도 200±30 μmol m⁻² s⁻¹의 조건에서 행하였다. 또한 porometer(LI1600, Licor, USA)를 이용하여 확산저항(diffusive resistance; DR), 증산량(transpiration; TR)을 광합성 측정조건과 동일한 조건에서 측정하였다. 식물에 의한 상대습도(RH) 상승효과를 가스처리 직전의 소형아크릴내의 상대습도와 가스처리 직후의 상대습도의 차를 측정하여(HI 8564, Hanna, USA) 구하였다.

2.4 요인분석

O₃ 흡수에 관여하는 요인을 분석하기 위해 2.3에서 측정된 전 항목을 독립변수로 하여 통계 package인 SAS를 이용하였으며, 그중에서도 regression procedure를 이용해서 결과를 얻었다.

3. 결과 및 고찰

O₃ 흡수는 스파티필름이 파키라에 비해 높게 나타났으나 흡착력은 비슷한 경향을 나타냈다. CO₂ 흡수율과 광합성율은 스파티필름이 파키라에 비해 약 2배 정도 높게 나타났고 기공전도도와 증산량 역시 스파티필름에서 높았다. 그러나 기공저항은 파키라가 높게 나타나 광합성율, 증산율 및 기공개도와 같은 생리적 특성은 O₃ 흡수능에 영향을 줄 것으로 생각된다(표 1).

따라서 단위엽면적당 흡수능에 관여하는 요인을 살펴본 결과, 스파티필름의 경우 흡수능은 광합성율과 높은 상관관을 보였고 나머지 요인은 낮게 나타났다(표 2). 藤沼(1987)도 환엽수에 의한 대기오염정화능 평가에서 광 요구성이 높은 수종이 대기오염 물질의 흡수도 높다고 보고하고 있어 광합성율이 높은 수종이 흡수에 유리할 뿐만 아니라 흡수능 평가요인으로도 타당성이 있다고 생각되었다. 따라서 종속변수 흡수능에 대한 독립변수 광합성율로 회귀분석을 실시하여 $Y = 2.16 + 1.61 \times Pn \dots 1$ ($F < 0.066$)의 회귀식을 얻었으며, 유의성도 인정되어 이

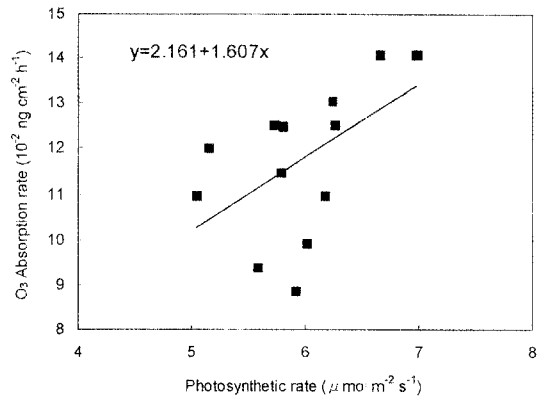


Fig. 1. Regression of the O₃ absorption rate on photosynthetic rate in *Spathiphyllum patinii*.

식으로 가스 흡수량 산정이 가능하다고 생각되었다(그림 1). 한편 흡수능에 독립변수로서 관여하는 광합성율은 CO₂ 흡수율과 세포내 CO₂ 농도에 의해 영향을 받았다. 따라서 종속변수를 광합성율로 하고 두 요인을 독립변수로 하여 회귀분석을 실시하여 $Pn = 9.28 + 1.01 \times CO_2 - 0.02 \times CINT \dots 2$ ($F < 0.005$)의 회귀식을 얻었다. 이 회귀식은 고도의 유의성이 있으며 회귀계수들에 대한 유의확률 역시 고도의 유의성이 나타나 2의 식으로 광합성율을 산출하는 것은 매우 타당하였다. 그러나 이 회귀식은 CO₂의 회귀계수가 1.01, CINT의 회귀계수가 -0.02이므로 영향을 주는 방향은 서로 다르게 나타났으며, 이때 광합성율은 CO₂ 흡수율에 밀접히 관여하고 있음을 알 수 있었다.

파키라의 경우 흡수능에 관여하는 요인으로는 CO₂ 흡수율, 기공저항, 기공전도도, 확산저항, 증산량으로 나타났으나(표 3) 4개의 요인이 동시에 흡수능에 영향을 미치지 않았다. 즉 4요인의 독립변수간 상호관계로 인해 모형설명이 잘 안되므로 기공전도도와 증산량은 제외시킨 후 흡수능 평가를 하였다. 흡수능에 상호관련성이 있는 요인은 기공저항과 확산저항이었으며 이 두요인을 독립변수로 하여 회귀분석을 하면 $Y = 4.63 - 0.49 \times RS - 0.64 \times DR \dots 3$ 의 식을 얻을 수 있었다. 이 회귀식은 고도의 유의성이 있었으며 ($p < 0.001$) 회귀계수들 역시 큰 의미가 있었다(intercept 0.01%, RS 1.61%, DR 0.72%). 또한 기공저항의 회귀계수는 -0.49, 확산저항의 회귀

Table 1. Comparison of absorption and adsorption of O₃, and various physiological variables, under O₃ fumigation between *Spathiphyllum patinii* and *Pachira aquatica*. Means±SE of results from 15 sets are shown.

	<i>Spathiphyllum patinii</i>	<i>Pachira aquatica</i>
AB (Absorption rate, $\mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$)	6.97±1.01	1.28±0.38
AD (Adsorption rate, $\mu\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}$)	4.07±0.52	3.15±0.29
CO ₂ (CO ₂ absorption rate, $\mu\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1}$)	0.73±0.12	0.37±0.19
CINT (Intercellular CO ₂ concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$)	317.18±16.62	331.79±13.24
Pn (Photosynthetic rate, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5.92±0.56	3.51±1.14
RS (Stomatal resistance, s cm^{-1})	1.43±0.88	1.53±0.64
CS (Stomatal conductance, cm s^{-1})	0.91±0.41	0.78±0.31
DR (Diffusive resistance, s cm^{-1})	1.94±0.24	2.70±0.57
TR (Transpiration, $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	9.49±0.75	7.52±1.04
LT (Leaf temperature, °C)	31.58±0.77	30.63±0.79
RH (Relative humidity, %)	16.73±5.00	14.48±3.42

Table 2. Correlation coefficients (r) in *Spathiphyllum patinii*.

	AB	CO ₂	CINT	Pn	RS	CS	LT	DR	TR	RH
AB	1.00	0.49	0.15	0.52	-0.16	-0.12	-0.09	-0.43	0.27	0.02
CO ₂		1.00	0.48	0.61	-0.43	0.61	-0.60	-0.70	0.38	-0.14
CINT			1.00	-0.17	-0.64	0.47	-0.15	-0.45	0.40	-0.50
Pn				1.00	0.05	0.05	-0.45	-0.51	0.22	0.21
RS					1.00	-0.60	0.26	0.19	0.05	0.61
CS						1.00	-0.46	-0.45	0.28	-0.36
LT							1.00	0.52	-0.06	0.07
DR								1.00	-0.82	0.07
TR									1.00	-0.09
RH										1.00

See Table 1 for abbreviations.

Table 3. Correlation coefficients (r) in *Pachira aquatica*.

	AB	CO ₂	CINT	Pn	RS	CS	LT	DR	TR	RH
AB	1.00	0.63	0.49	0.49	-0.70	0.74	-0.54	-0.75	0.73	0.02
CO ₂		1.00	0.14	0.92	-0.69	0.76	-0.37	-0.63	0.64	-0.27
CINT			1.00	-0.10	-0.52	0.64	-0.67	-0.24	0.21	0.01
Pn				1.00	-0.38	0.50	-0.35	-0.71	0.71	-0.23
RS					1.00	-0.93	0.28	0.35	-0.39	0.06
CS						1.00	-0.51	-0.52	0.51	-0.17
LT							1.00	0.60	-0.48	0.12
DR								1.00	-0.97	-0.01
TR									1.00	0.14
RH										1.00

See Table 1 for abbreviations.

계수는 -0.64로 모두 흡수능에 부의 영향을 주었다. 또한 흡수능에 대한 기공저항과 확산저항을 각각 단일요인으로 선형관계를 볼 때 흡수능에 대한 기공저항의 회귀계수는 -0.69, 확산저항은 -0.84로

나타나 두요인이 동시에 관여할 때와 차이가 있었다. 따라서 흡수능 평가는 기공저항과 확산저항으로 가능하리라 생각되었다. 古川(1987)도 녹나무, 느티나무, 은행나무의 11종 가로수의 경우 대기오염 물

질 흡수를 지배하는 요인은 확산저항이라고 하였으며, 近藤(1987)은 식물에 의한 대기오염 물질의 흡수는 기공을 통해 이루어지기 때문에 기공의 개폐가 무엇보다도 중요하다고 보고하고 있어 대기오염 물질 흡수능 평가는 기공저항이나 확산저항으로 하는 것이 타당할 것으로 생각되었다.

독립변수인 기공저항에 영향을 미치는 요인으로서는 CO₂ 흡수율, 세포내 CO₂ 농도, 기공전도도가, 또한 확산저항에 영향을 주는 요인으로는 CO₂ 흡수율, 광합성율, 기공전도도, 엽온, 증산율로 나타났다. 그러나 기공저항에는 기공전도도만이 관계하므로 기공저항을 종속변수로 하고 기공저항에 동시에 영향을 주는 독립변수로는 기공전도도를 이용하여 회귀분석을 실시해 $RS = 3.00 - 1.90 \times CS \dots (4)$ ($F < 0.001$)의 고도로 유의한 회귀식을 얻었다. 또한 회귀계수들도 고도의 유의성이 있었으며 각 회귀계수에 관해서는 기공전도도가 -1.90 으로 기공저항에 대해 부의 영향을 주었다. 한편 확산저항을 종속변수로 하였을 경우에는 독립변수로는 증산율 및 상대습도로 나타났다. 따라서 종속변수 확산저항에 대한 독립변수 증산율, 상대습도로 회귀분석을 실시하면 $DR = 6.50 - 0.54 \times TR - 0.02 \times RH \dots (5)$ ($F < 0.001$)의 회귀식을 얻었다. 이 회귀식은 고도의 유의성이 있었으며 회귀계수들 역시 고도의 유의성이 있었다. 각 회귀계수에 관해서는 증산율의 회귀계수는 -0.54 , RH의 회귀계수는 0.02 이므로 서로 부의 영향을 주고 있는 것으로 나타났다.

위의 결과에 의하면 가스흡수능 평가에 유용한 요인은 스파티필름의 경우 광합성이었으며 파키라는 기공저항과 확산저항으로 나타났다. Gaastra (1959)는 대기 중의 가스는 대기와 엽내의 가스농도차의 확산에 의해 흡수된다고 하였다. 따라서 가스흡수를 결정하는 요인으로서는 엽에서 발생하는 엽면경계층 저항, 기공간극을 통과할 때 발생하는 기공저항이 중요하다고 보고하고 있어 본 실험중 파키라에서 같은 결과가 나타나 3 식으로 흡수능 평가가 가능하리라 판단되었다. 그러나 스파티필름과 파키라간의 흡수능 평가요인은 약간의 차이가 있었다. 식물에 의한 대기오염가스 정화능력은 대기오염물질의 종류와 식물의 종류에 의해서도 차이가 발생하므로 대기오염물질의 종류별 확산계수의 차이, 대기오염물질과 물과의 반응인 용해도의 차이

및 식물세포에 의한 대기오염물질의 대사활성의 차이에 의해 흡수속도가 다르다고 보고하고 있다(古川, 1987; Hill, 1971). 또한 近藤(1987)은 가스흡수에는 기공의 역할이 중요하나 기공저항 등은 환경요인의 변화에 따라 많은 차이가 발생하므로 기공저항 등에 의한 실질적인 평가는 변화가 없는 환경하에서만 가능하리라 것을 암시하고 있다. 따라서 식물종에 관계없이 흡수능 평가가 가능한 요인을 찾는 것이 실제적인 흡수능 평가에 유용할 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 O₃ 흡수능에 영향을 줄 수 있는 CO₂ 흡수율, 세포내 CO₂농도, 광합성율, 기공저항, 기공전도도, 엽온, 확산저항, 증산율 및 상대습도를 개별적으로 혹은 복합적으로 나누어서 상호관계를 살펴본 결과 CO₂ 흡수율이 가능성이 있는 요인으로 나타났으며 CO₂ 흡수율에 의한 흡수능 평가의 유의성이 인정되었다. 또한 파키라 역시 CO₂ 흡수율이 유의성이 있어 두 식물 모두 공통으로 관

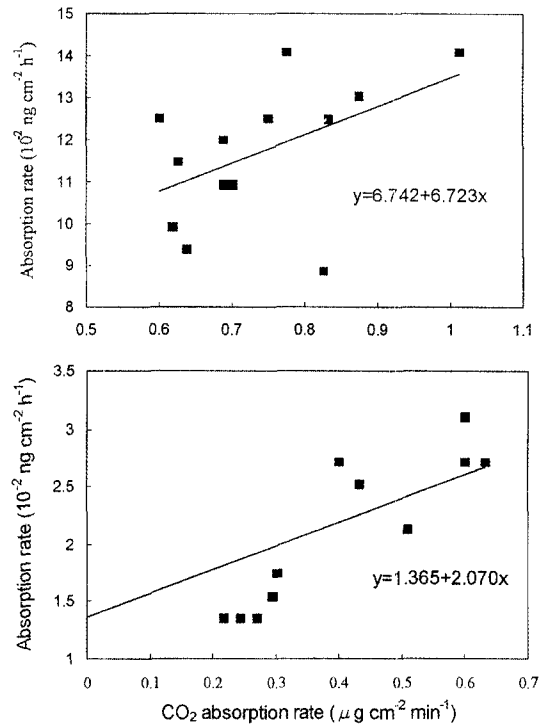


Fig. 2. Regression of the O₃ absorption rate on CO₂ absorption rate in *Spathiphyllum patinii* (upper) and *Pachira aquatica* (lower).

여하고 있는 요인은 CO₂ 흡수율로 나타나 식물종류에 관계없이 O₃ 흡수 평가에 유용하게 사용될 가능성이 있었다. Hill(1971)과 戸塚(1987)에 의하면 대기가스 흡수는 CO₂의 흡수와 매우 밀접하게 관여하고 있음을 보여 식물체에 의한 가스흡수능 평가시 CO₂ 1 mol당 SO₂ 2.7 × 10⁻⁴ mol을 흡수한다고 제시하고 있다. 본 실험에서 스파티필름의 경우 흡수능에 대한 CO₂ 흡수율의 회귀식은 Y = 6.74 + 6.72 × CO₂로, 파키라는 흡수능에 대한 CO₂의 회귀식이 Y = 1.36 + 2.07 × CO₂로 나타났다(그림 2). 따라서 본 연구의 결과에 의하면 식물에 의한 O₃ 흡수능평가는 확산저항 혹은 기공저항치로 가능하며 CO₂ 흡수율도 타당성이 인정되어 좀더 다양한 식물과 다양한 대기오염물질에 의한 가능성 검토가 요구되었다. 그러나 광합성율, 기공저항, CO₂ 흡수율 등에 의한 흡수능 평가에는 매우 고가의 장치가 요구되므로 실제 필드에서 측정시 어려움이 따를 것으로 생각되었다. 따라서 비교적 다루기 쉽고 경제적인 면에서도 큰 부담이 없는 요인으로서 확산저항에 의한 흡수능 평가가 가능하리라 생각되었다. 스파티필름의 경우 흡수능에 대한 회귀식은 Y = 17.5 - 3.0 × DR (F < 0.14), 파키라는 Y = 4.40 - 0.84 × DR (F < 0.005)로서 파키라의 흡수능 평가는 확산저항으로 가능하리라 생각되었다.

4. 결 론

흡수능이 높았던 스파티필름과 흡수능이 낮았던 파키라를 선발하여 O₃ 가스흡수에 영향을 주는 확산계수, 증산량, 광합성율, CO₂ 흡수율 등 생리적 요인들을 분석하였다. 본 실험 결과 O₃의 흡수능에는 광합성율, 확산저항, CO₂ 흡수율이 깊게 관여하는 것으로 나타나 이 요인들을 이용하여 O₃ 가스흡수 모델식을 고안하였다. 두 식물의 생리적 요인중 O₃ 흡수능 평가에 유용한 요인은 스파티필름의 경우 광합성율이었으며 파키라는 기공저항과 확산저항으로 나타나 식물종류에 따라 차이가 있었다. 따라서 식물종류와 관계없이 흡수능 평가가 가능한 요인을 분석한 결과 CO₂ 흡수율로 나타났으며 유의성도 인정되었다. 반면에 경제성과 실용 가능성을 고려할 때는 확산저항이 O₃ 흡수능 평가에 유효한 요인으로 생각되었다.

참 고 문 헌

- 박소홍, 이용범 (1997) 관엽식물의 광합성활성에 미치는 광순화의 영향, 한국원예학회지, 38(1), 71-76.
- 박소홍, 이영이, 배공영, 이용범 (1998) 관엽식물의 생리적 반응 차이에 의한 대기오염물질 (O₃, SO₂, O₃+SO₂)의 흡수능 비교, 한국대기보전학회지, 14(1), 35-42.
- 藤沼岡實 (1987) 廣葉樹の大氣淨化能力の評價, 國立公害研究所報告, 108, 33-40.
- 古川昭雄 (1987) 大氣淨化能力の植物種間差, 國立公害研究所報告, 108, 25-32.
- 清川 信, 平野 高司, 石黒 武 (1992) 觀葉植物のガス交換と室内ガス環境の改善, 環境情報科學, 21(2), 107-111.
- 近藤矩朗 (1987) 植物の大氣汚染物質に對する抵抗性とガス吸收能力に關する研究, 國立公害研究所報告, 108, 187-197.
- 近藤矩朗, 佐治 光 (1992) 植物の大氣汚染耐性, 大氣汚染學會誌, 27(6), 273-288.
- 戸塚 續 (1987) 植物の生産力に基づく各種植物群落のガス吸收量の評價, 國立公害研究所研究報告, 108, 19-24.
- Darrall, N.M. (1989) The effect of air pollutants on physiological processes in plants, Plant, Cell and Environment, 12, 1-30.
- Derwent, R.G. (1990) The long range transport of ozone within Europe and its control, Environmental pollution, 63, 299-318.
- Fowler, D. (1980) Removal of sulphur and nitrogen compounds from the atmosphere in rain and by dry deposition, Proceedings of an international conference, Oslo, Norway, SNSF project, 22-32.
- Fowler, D. (1985) Deposition of SO₂ onto plant canopies, Sulfur dioxide and vegetation, pp. 389-402, Stanford, CA. Stanford University Press.
- Gaastera, P. (1959) Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance, Meded, Landbouwhogeschool, Wageningen, 59, 1-68.
- Hill, A.C. (1971) A sink for atmospheric pollutants, J. Air Pollut. Cont. Assoc., 21, 341-346.
- Kangasjarvi, J., J. Talvinen, M. Utriainen, and R. Karjalainen (1994) Plant defence systems induced by ozone, Plant, Cell and Environment, 17, 783-794.
- Murphy, C.E. and J.T. Sigmon (1990) Dry deposition of sulfur and nitrogen oxide gases to forest vegetation,

- Acid precipitation, Vol. 3, pp. 217-240, New York, Springer-Verlag.
- Rasmussen, K.H., M. Taheri, and R.L. Kabel (1975) Global emissions and natural processes for removal of gaseous pollutants, *Water, Air, and Soil Pollution*, 4, 33-64.
- Smith, W.H. (1990) Air pollution and forests, p. 618, New York, Springer-Verlag.