

講 座

주야 온도차(DIF)를 이용한 화훼류의 초장 및 생장조절에 대한 이론과 실제

손 기 철

건국대학교 원예과학과

1. 서 론

오늘날의 화훼산업에 있어 생산물의 품질을 결정짓는 요인은 여러측면에서 생각해 볼 수 있겠지만, 생산자적 측면에서는 화색, 화형, 일물적인 초장 등이 무엇보다 중요하다고 판단된다. 최근 화훼산업이 단일종으로 대형화, 전문화되어 감에 따라 하우스내에서 생장을 조절하여 상품을 획일화 균일화시키고, 출하날짜 등을 맞추기 위한 여러종류의 기술들이 필요해지고 있다. 이러한 기술은 크게 1) 자동환경 조절(Hardware)과 2) 적절한 식물생장 조절(software) 두가지로 대별할 수 있을 것이다. 실제로 이 두가지는 독립적인 기술이 아니라 상호 통합적으로 적용되어야 할 필수적인 기술이다. 그럼에도 불구하고 차세대 농업기술의 과도기적 상황인 지금에는 여러가지 이유로 인하여 독립적으로 연구되어지고 있는 실정이다.

생산자들은 절화용이나 분화용 식물의 초장조절을 위해 대부분 다량의 생장억제제의 처리에 의존하고 있다. 그러나 화학물질의 사용시 수반되어지는 경비문제나 환경오염문제, 그리고 화학물질이 식물체에 잔류해 있을때 식물체에 미치는 영향등을 고려해 볼때 화학물질의 사용억제 및 대체기술의 개발은 현 시점에서 매우 시급한 문제이다. 실지로 외국 선진국에서는 이미 왜화제나 살충제, 살균제등의 화학제의 사용을 되도록이면 줄이고 생물학적 혹은 물리적 측면에서 식물의 생장을 조절하기 위한 노력들이 행해지고 있다. 그중 차세대 농업방향인 식물생산의 자동화와 공장화와 관련되어 계측화할 수 있는 하우스 환경제어를 통한 식물생장을 조절할 수 있는 방법에 초점이 모아지

고 있다.

전통적으로 가장 많은 연구의 대상이 되어온 환경요인은 광과 온도, 수분, 그리고 비료 등일 것이다. 그중 광이 식물의 생장에 미치는 영향은 광형태발생학(photomorphogenesis)의 이론으로 전개되었다. 즉 광주기, 광도, 광질의 변화에 따라 식물의 생장을 조절할 수 있다는 이론이다. 예로써, 파장형태를 가진 인공광의 조명이나, 자연광의 선택적 흡수, 또는 차광에 의한 적외선(R)과 원적외선(FR)의 비율조절로 식물의 광합성, 초장신장, 측지 형성, 그리고 개화에 강한 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 한편, 온도가 식물생장 및 발육에 영향을 미친다는 것은 고전적인 개념이나, 최근에 미국의 미시건 대학의 Heins박사팀은 실험들을 통하여 주간과 야간온도 그 자체 뿐만아니라 주·야간의 온도차이가 식물의 초장을 비롯한 여러 형태발생에 영향을 미친다는 것을 발견하고 열형태발생학(thermomorphogenesis) 이론을 전개했다. 이 이론의 핵심적인 사항은 DIF라는 개념인데 DIF라는 것은 주온에서 야온을 뺀 값을 나타내는 것으로써 영어의 difference의 제일 처음 3자를 따서 붙여진 이름이다. 이 이론은 온도에 영향을 받는 식물의 초장, 발육속도, 그리고 개화 등과 같은 식물형태 발생은 주야온 자체보다 그 차이 즉 DIF에 영향을 받는 것을 의미한다. 실제로, DIF의 개념은 도입된지 얼마되지지는 않았지만 벌써 외국에서는 포인세티아, 포트럼, 그리고 나팔나리 등의 생산에는 매우 효과적으로 응용되고 있다. 또한 이러한 DIF를 응용한 재배는 분화뿐만 아니라 절화, 조직배양이나 건실한 plug묘의 생산에까지 응용되고 있는 실정이다. 특히 최근에는 컴퓨터를 통해 원하는 시기에 원하는 크기의 작물을 생산할

수 있는 여러가지 재배 소프트웨어들이 개발되어지고 있는 실정이다.

따라서 본고에서는 열형태발생학(thermomorphogenesis) 이론을 1) DIF 식물의 형태형성에 미치는 영향과, 2) 실제농가에서의 응용, 그리고 3) 컴퓨터를 이용한 재배법 등에 관하여 고찰해 보고자 한다.

2. DIF가 식물의 형태형성에 미치는 영향

1. DIF

DIF가 주는 새로운 개념이란, 지금까지 식물의 생장은 광합성 생성물을 최대로 하기 위해서 주온을 높이고 가능한 야온을 낮추는 관점에서의 생산방법에 주력을 두었으나, 실질적인 초장 및 발육 조절에는 주온과 야온의 그 자체가 아니라 두 온도의 차이가 결정적인 역할을 한다는 것이다. 특히 초장은 온도차에 따른 탄수화물의 전류보다 오히려 내생호르몬인 GA의 생산에 의존된다는 것이다. 핵심적인 사항은 DIF(+, 0, -)는 초장에 영향을 주고, 일평균 온도(ADT)는 식물의 발육속도에 영향을 미치며, 개화에 있어서는 DIF, 주온이나 야온 단독, 혹은 양쪽 모두가 영향을 미친다는 것이다. 이러한 개념은 대학의 연구자 뿐만 아니라, 재배자들에게도 온실 식물생산에 획기적인 방법으로 판단되어진다. 그 이유는 식물재배가 단순히 고전적인 경험과 개인적인 노하우(know-how)의 형태를 벗어나 성장 및 발육을 정량화할 수 있으며 이것을 토대로 자동화된 재배 시스템을 개발할 수 있기 때문이다. 현재 우리나라에서 급속히 확산되고 있는 시설재배와 자동환경조절 기술은 대부분 재배되는 식물의 생리와 연관된 기술이 아니라 단순히 환경을 인위적으로 조절하는 hardware 측면에서만 응용되어지고 있는 실정임을 감안할 때 앞으로 DIF의 중요성은 시사하는 바가 매우 크다 아니할 수 없다.

2. DIF와 초장

DIF란 주온(DT)과 야온(NT)사이의 수학적인

차이로서, 주간과 야간의 온도차에 대한 식물의 반응을 DIF라고 부르는 관계로 표현되어질 수 있다. 즉, $DIF=DT-NT$ 이다. 주온이 야온보다 높은 때를 정(+)의 DIF, 주온이 야온보다 낮은 때를 부(-)의 DIF라고 하며, 주간과 야간의 온도가 같은 때가 영(0)의 DIF가 된다. 예를들면, 주온이 20℃, 야온이 16℃에서 성장하는 식물은 $+4(20-16=4)$ 로 정(+)의 DIF에서 성장하는 것이 된다. 또, 주온이 16℃이고 야온이 20℃에서 성장하는 식물은 $-4(16-20=-4)$ 인 부(-)의 DIF에서 성장하는 것이 된다(Fig. 1).

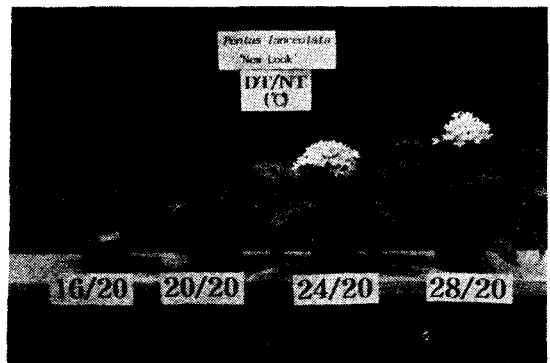


Fig. 1. Effect of difference(DIF) between day and night temperature on the plant height of *Pentas lanceolata* 'New York'

Plant height increase as day temperature increases from 16℃ to 28℃ under constant night temperature at 20℃

+DIF의 환경하에서는 식물체의 초장신장율은 증가하고, -DIF의 환경하에서는 식물체의 초장신장율은 감소한다. 즉, DIF의 수치가 증가하면 할수록 초장은 크게 된다. 주온이 야온에 대하여 높게 될수록 식물의 초장은 보다 크게 된다. 마찬가지로 주온이 야온에 대하여 낮게 될수록 식물의 초장은 보다 짧게 된다. 그러나 DIF의 증가에 따른 초장 증가의 정도는 모든 DIF치에 대해 같은 것은 아니다. 부(-)의 DIF에서 영(0)의 DIF로 될 때보다, 영(0)의 DIF에서 정(+)의 DIF로 증가할 때가 초장은 보다 큰 증가를 보인다.

또한 중요한 사실은 주온과 야온이 다를지라도 같은 DIF에서 성장한 식물은 최종적으로는 같은 초장으로 된다(Fig. 2). 예를들면, 주온 15°C, 야온 18°C(15-18=3DIF)에서 성장한 식물은 주온 21°C, 야온 24°C에서 성장한 식물과 개화시에는 초장이 똑같게 된다. 주온 21°C, 야온 24°C에서 성장한 식물은 평균온도가 높기때문에 전자보다 빨리 성장하지만 개화시의 마디길이는 주온 15°C, 야온 18°C에서 성장한 식물의 마디길리와 같게 된다는 것이다. 현재까지 연구된 대부분의 식물중 춘과용 구근식물을 제외하고는 DIF의 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 1).

Table 1. Response of plant species to DIF

Large response		Small or no response
Easter lily	Chrysanthemum	Squash
Poinsettia	Salvia	Platycodon
Celosia	Watermelon	French Marigold
Fuchsia	Impatiens	Tulip
Portulaca	Hypoestes	Hyacinth
Snapdragon	Rose	Narcissus
Dianthus	Gerbera	Aster
Tomato	Asiatic lilies	
Sanp Bean	Oriental lilies	
Petunia	Geranium	

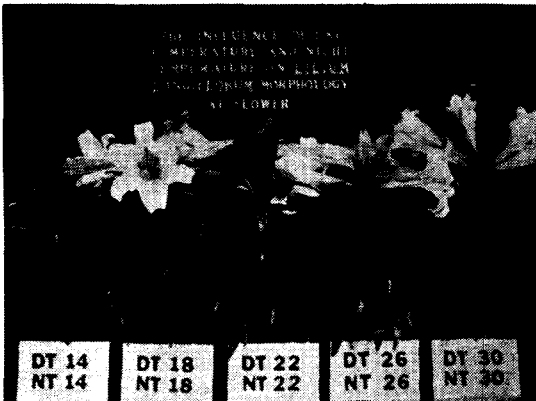


Fig. 2. Effect of 0 DIF on the plant height of *Lilium longiflorum*.

Plants grown under the same DIF have a similar height at flowering. Lilies here were grown under a -4C DIF. Plants at warmer daily temperatures flowered before plants at cooler daily temperatures.

3. DIF와 잎각, 잎의 형태, 그리고 엽전개울

잎 기울기(엽각)도 DIF의 영향을 받는다. 즉, DIF가 증가하면 엽각이 보다 상향된다. 국화(*Chrysanthemum*)나 철포백합(*Lilium longiflorum*)에서 정(+)의 DIF에서는 잎이 상향하고, 부(-)의 DIF에서는 하향으로 되는 극적인 변화를 보인다. 한편, DIF가 영(0)에 가까울 때는 거의 수평이다. 이것은 작기 동안 부(-)의 DIF에서 자란 식물체를 만약 정(+)의 DIF상태에 놓게 되면 미성숙한 하향한 잎은 다시 기울기가 변화되어 상향시킬 수 있다는 것을 의미한다(Fig. 3).

DIF는 잎의 형태에도 많은 영향을 미친다. 후크시아(*Fuchsia × hybrida*)에서는 DIF가 증가할수록 엽면적 또한 증가하지만, 이와는 달리 백합의 경우는 엽면적 증가에 야온만이 영향을 미치는 것으로 보아, 결국 엽면적에 대한 온도의 영향은 식물종에 따라 다른 것으로 보여진다.

엽록소 함량 또한 DIF의 영향을 받는데, DIF가 증가함에 따라 잎의 엽록소 함량도 증가한다. DIF가 큰 정(+)에서 큰 부(-)로 감소하면 잎은 담록색으로 되고 마침내는 황화하게 된다. 몇가지 종류의 식물에서는 어린묘를 큰 부(-)의 DIF(-3에서 -6보다 큰)에 놓으면 특히 심한 황화가 일어나는 것이 있다. 따라서 플러그묘와 같은 어린 묘는 황화를 일으킬 정도의 큰 부(-)의 DIF에 놓아서는 안된다. 묘에서 일어나는 황화는 특히 광합성을 감소시켜 성장을 더디게 한다. 셀비아(*Salvia*)와 거베라(*Gerbera*)는 특히 큰 부(-)의 DIF에 민감하다. 반면에 엽수와 엽전개울은 DIF보다는 오히려 일평균기온의 영향을 받는 것으로 보인다.

4. DIF와 측지발생

*Fuchsia × hybrida*에서 측지발생율은 DIF보다는

일평균온도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 일평균온도가 증가할수록 측지발생은 감소하는 것으로 나타났으며, 이같은 사실은 *Petunia*와 *Dianthus*에 서도 같은 결과를 얻었다.

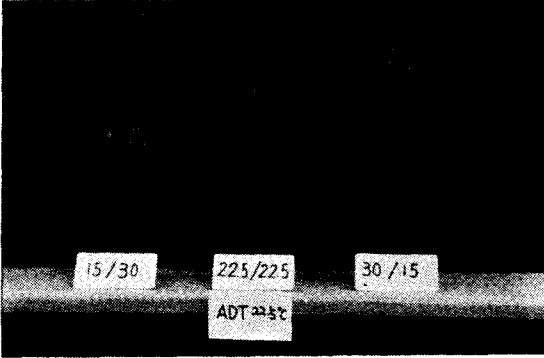


Fig. 3. Effect of DIF on leaf orientation of *Chrysanthemum*. Leaf orientation further increases as DIF increases.

5. DIF와 화기발육

화아나 개화수 그리고 꽃의 크기에 DIF가 관여 하는데, 식물 전체 화아와 개화수는 +DIF보다는 -DIF에서 더 많은 반면, 꽃의 크기는 +DIF의 경우에 더 크다. 화기 발육속도에는 DIF보다 주로 일평균온도가 관여하는 것으로 보인다. *Campanula isophylla* 'Meretti'의 경우 일평균온도가 증가할 때 화성발육과 개화가 촉진되었다. 이와 같은 현상은 백합, 포인세티아, 그리고 장미에서도 나타났다. 또한 평균온도가 같더라도, +, -의 DIF보다는 0의 DIF에서의 화기발육이 가장 빠른 것으로 나타났다.

6. 온도와 식물의 성장속도

식물의 성장속도와 DIF의 개념을 혼동해서는 안된다. 온도에 대한 식물의 반응패턴은 어느 것이나 같다. 성장 최저온도로 불리는 일정한 온도 이하에서는 어떠한 반응도 일어나지 않고, 온도가 상승함에 따라 반응은 증대하고 최적온도에서 최고가 된다. 그러나 최적온도보다 온도가 높아지면, 반응은 급격히 감소하고 마침내 반응은 사라지게

된다. 또한 온도에 대한 식물의 성장속도는 주온이나 야온 그 자체가 아니라 일평균온도에 반응한다. 이와같은 온도와 식물반응의 관계는 온도 반응곡선에 의해서 설명되어질 수 있다(Fig. 4). 최적온도보다 낮거나 높아도 발육은 늦어진다. 최적온도는 식물의 종에 따라 다르며, 대체로 포인세티아나 무궁화화 같은 저온성 작물은 4-27°C 범위를 가지고 있다. 그림의 '온도 비례역'에서는 온도가 높아질수록 성장속도도 비례적으로 증가함을 볼 수 있다. 대부분 식물의 온도비례역은 성장 최저온도에서부터 최적온도 3-4°C아래까지의 범위이다. 또한 주온과 야온이 이 온도 비례역의 범위 내이면 일일 성장량은 24시간의 평균온도와 비례한다. 따라서 온도비례역내에서 관리하면 24시간의 평균온도가 같은 한, DIF가 +, -, 0 어느것이 라도 식물의 성장속도는 같게 된다. 예를 들면, 12시간씩 21/16(+5DIF)와 16/21(-5DIF), 그리고 24시간 18.5/18.5(0DIF)의 상태를 유지했을 때 어느 경우라도 24시간 평균온도는 18.5°C로 같으므로 식물의 발육률은 같고, 동시에 개화할 것이다. 그러나 식물의 초장은 DIF의 영향을 받으므로 달라진다. 부의 DIF에서 성장한 식물의 초장은 가장 짧고 정의 DIF에서 성장한 식물의 초장은 가장 길 것이다. 지금까지 살펴본 DIF에 따른 식물의 형태형성에 미치는 영향을 종합해 보면 표 2와 같다.

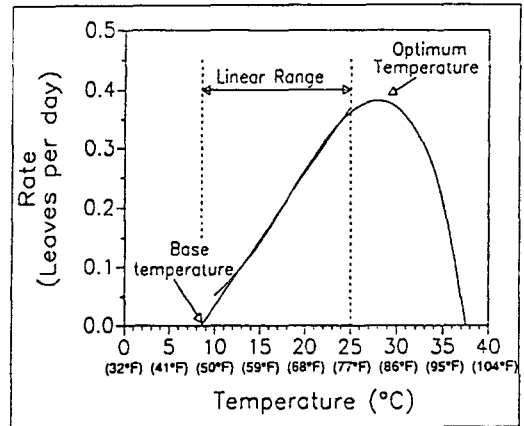


Fig. 4. Typical temperature response curve.

Table 2. Comparisons of photomorphogenesis and thermomorphogenesis in plants. R=red light, FR=far-red, - =retard, + =promote.

Plane responses	Light source		DIF	
	R	FR	negative	positive
Stem elongation	-	+	-	+
Petiole elongation	-	+	-	+
Leaf orientation				
Upright	-	+	-	+
Downward	+	-	+	-
Lateral branching	+	-	+	-
Leaf coloring(red)	+	-	+	-
Leaf coloring(chlorosis)	-	+	+	-
Flowering				
LDP	+	(-)	(+)	(-)
SDP	-	(+)	(+ or -)	(- or +)

3. DIF의 실제 적용

1. DIF의 반응속도

DIF에 대한 반응은 아주 빠르다. 신장, 잎의 기울기 그리고 잎의 엽록소 함량은 식물이 받은 DIF에 대해 하루단위로 반응한다. 이 급속한 반응은 초장을 제어하는 때 DIF사용의 잇점이 되기도 하고 단점이 되기도 한다. 잇점이 되는 이유는 절간신장을 일단위로 촉진하거나 억제하는 것이 가능하다는 점이다. 절간신장은 DIF를 작게 한다면 곧 억제된다. 그러나 이 잇점은 신장을 억제하고 싶지만 날씨상태에 의해 주온의 제어가 불가능 할 경우에는 불리한 점이 될 것이다. 특히 봄에 맑고 따뜻한 날씨에서는 식물에 왜화제를 사용하지 않을 경우 급속한 신장을 일으킬 가능성이 있다.

2. 광과 DIF와의 상호작용

식물의 형태형성에 있어 광의 영향은 이미 광형태발생학으로서 널리 알려져 왔다. 따라서 광주기나 광도, 광질을 인위적으로 조절함으로써 개화의 지연없이 초장신장을 감소시킬 수 있다. 광주기에 따른 식물의 반응에 관한 많은 연구가 수행되었는데, 여러종의 식물에서 초장신장은 온도와는 무관

하게 광주기가 길어짐에 따라 증가한다. 일반적으로 +DIF에 대한 식물의 반응은 단일조건하에서 보다 장일조건하에서 보다 커지며, 마찬가지로 -DIF에 대한 식물의 반응은 단일조건하에서 보다 상승한다. 이에 최근 DIF 이론은 식물형태형성에 있어서 온도의 영향과 함께 광주기의 영향까지를 고려하여 가중치 DIF라는 새로운 개념이 도입되었다. 이 경우, 가중치 DIF=(주온×명기의 길이) - (야온×암기의 길이)로서 나타낼 수 있다.

3. 실질적인 DIF 이용에 대한 조언

현재까지 미국에서 DIF를 시행해온 대부분 농가의 공통된 의견은 DIF는 초장을 제어하기 위해서 이용하는 우수한 가치가 있는 재배관리법이라고 생각하고 있다. 지금까지 DIF는 시클라멘, 텍스 베고니아, 제라니움, 포인세티아, 백합, 후쿠시아, 샬비아, 페튜니아, 패랭이꽃, 코리우스, 맨드라미, 버베나 등에서 유효한 것으로 나타났다. DIF의 실질적인 시행에 앞서 다음 사항들은 고려해 볼 만한 가치가 있다. (1)전부가 아니고 일부분 혹은 식물의 수가 적은 온실에서 DIF의 극히 기본을 시험해 보는 것이 좋다. (2) 제로 DIF에서 시작한다. 만약 그것으로 충분한 초장제어가 불가능하면 -1로부터의 부의 DIF를 행한다. 제로

DIF에서 부의 DIF로 바꾸는 것보다도 정의 DIF에서 제로 DIF로 하는 쪽이 식물의 반응은 크다. (3) 따뜻한 공기는 상승함으로, 온실의 위쪽에서 재배되는 식물은 벤치위에서 재배하는 식물과 동일한 DIF가 되지 않는다. 공기 유동이나 수직방향으로 공기를 유동시키는 팬을 온실내의 온도를 균일하게 하기 위해서 사용하면 좋다. (4) 아침 온도를 내리고자 할때 난방시스템에 따라 온도의 유지시간이 달라짐에 주의할 것, 온탕난방 및 증기난방으로는 유닛온풍난방보다도 온도의 변화가 늦다. 두상배관 난방에서는 상(床)난방 보다 온도변화가 빠르다는 것도 유념할 필요가 있다. (5) DIF를 이용하기 위해 환경제어용 컴퓨터는 반드시 필요한 것은 아니지만 온실의 온도를 주야에 걸쳐 정확하게 감시하여야 한다. 이를 위해서 먼저 소규모에 DIF를 도입하는 것이 최상이다. (6) DIF를 이용해서 문제가 생기면 언제라도 지금까지의 생산방법(왜화제를 사용하는 것도 포함하여)으로 돌아가는 것이 가능하다.

4. DIF와 플러그묘 생산

Plug묘는 생육이 균일하고 수송성이 높은 고부가가치 묘를 낮은 비용으로 생산할 수 있으며 이식, 정식작업을 성력화할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 대량으로 생산되는 묘는 균일해야 하며, 도장되지 않고 이식적기를 놓칠 경우에도 건전묘의 상태를 유지해야 한다. 대개 건전한 plug묘라 하면 도장없이 탄탄하고 잎과 뿌리의 균형이 잘 맞아야 함을 그 요건으로 들 수 있다. plug묘의 생장을 조절하기 위해서 전통적으로는 관수와 비료나 화학적 성장조절 물질을 사용하여 왔지만, 최근에는 DIF를 단독 혹은 병용하여 식물의 초장과 생장을 조절하는 데 상당한 효과를 얻고 있다. 온도가 잎의 출현 비율, 줄기 신장, 뿌리의 발달에 직접적인 영향을 미친다는 점을 고려할 때, plug묘 생장에 DIF의 응용은 아주 바람직하다고 할 수 있다. 일반적으로 plug묘의 생산은, 1) 파종에서 유근이 출현하는 단계, 2) 줄기와 자엽이 출현하는 단계, 3) 유묘가 성장하고 본엽이 발달하는 단계, 4) plug묘가 이식이나 선적할 수 있는 크기에 도달하는 단계의 4과정으로 나눌 수 있다. 대

부분의 성장조절은 위의 4단계 중 3)과 4)에서 실시되며 3단계의 경우에는 저농도의 성장조절물질을 분무장치를 사용하여 살포하는 형식을 취하고, 4단계에서 주로 DIF를 이용한다. 즉, +DIF를 처리할 경우 묘는 초장이 길어질 것이며, -DIF처리 시에는 다른 조치를 하지 않아도 도장되지 않은 건전묘를 생산할 수 있다. plug묘는 제한된 시설 내에서 재배되기 때문에 생장을 조절하기가 비교적 용이하다. 그러나 반대로 조그마한 실수라도 범하면 한꺼번에 엄청난 묘를 잃을 위험성이 있음을 명심해야 한다. 하나의 예로 초장조절을 위해 지속적으로 -DIF(주온을 낮추고, 야온을 높임)환경하에서 묘가 성장할 경우, 전개 중인 어린 잎에 황화현상이 나타날 수도 있다. 대개의 경우 이식 후 +DIF를 적용하면 하루나 이틀 사이 회복되기는 하나, 심한 경우 잎의 황화로 인해 광합성량이 감소되어 plug묘의 생육이 지연될 수도 있다. 따라서 묘의 초기 발육기간에는 plug묘가 지나친 -DIF에 노출되지 않도록 주의해야 하며, 최근의 연구보고에 따르면 필요한 시기에만 적당한 수준의 -DIF를 처리하고, 되도록이면 주온과 야온을 일정하게(또는 비슷하게) 유지하는 것이 plug묘 생육에 가장 좋다고 한다. 주온과 야온을 일정하게 유지함으로써 황화의 위험을 가급적 줄이거나 없애면서 초장을 줄이고 좀 더 건실한 묘를 얻을 수 있다(표 2, 3, 그림5). 또 plug묘 이식 후 판매까지의 기간 동안 +DIF환경하에서 재배했을 경우, 초장이 길어지고 잎이 무성해지는 반면, -DIF환경 하에서 재배한 경우는 잎이 좀더 단단하고 건실한, 재배가들이 원하는 작물을 얻을 수 있다. 이러한 현상은 대부분의 일년생 식물에서 공통적으로 나타나지만, 주온이 낮은 환경에서라면 식물체의 개화가 다소 지연되는 단점이 있다.

4. 그래프 추적법을 이용한 식물 초장조절

어떤 특정한 발육단계에 있어 초장이 너무 짧거나 너무 길다고 하는 것은 어떻게 해야 할 수 있는 것일까? 또한 계획보다 빠르거나 늦은지, DIF와 평균온도의 변경이 식물에 어떤 영향으로 나타나

Table 3. Influences of day and night temperatures on the height of *Impatiens*, *Zinnia*, *Torenia* plug seedlings. Values represent the experimental means.

NT/DT	<i>Impatiens</i>				<i>Zinnia</i>				<i>Torenia</i>			
	16	20	24	28	16	20	24	28	16	20	24	28
16	2.6	3.3	5.3	7.1	3.7	4.3	6.5	11.5	1.6	2.2	5.0	7.8
20	3.3	3.7	6.0	7.4	4.8	4.6	7.0	12.1	2.5	3.3	5.9	9.0
24	3.5	3.2	5.6	7.1	5.7	6.1	8.0	14.4	3.5	4.4	6.7	10.2
28	3.5	3.8	5.6	6.8	7.2	7.9	10.0	18.4	3.9	5.5	8.1	11.1

Table 4. Influences of day and night temperatures on the plant compactness of *Impatiens*, *Zinnia*, *Torenia* plug seedlings.

NT/DT	<i>Impatiens</i>				<i>Zinnia</i>				<i>Torenia</i>			
	16	20	24	28	16	20	24	28	16	20	24	28
16	1.6	2.6	1.5	1.1	1.6	2.3	1.7	1.1	0.8	0.9	0.6	0.5
20	2.0	2.2	1.5	1.1	2.1	2.5	1.6	1.0	0.7	0.6	0.6	0.5
24	2.0	2.1	1.3	1.1	1.8	1.6	1.6	0.7	0.8	0.7	0.5	0.4
28	1.9	1.9	1.7	1.1	1.3	1.5	1.4	0.8	0.6	0.6	0.5	0.4

Plant compactness was defined as DW(mg)/plant height(mm).

Values represent the experimental means.

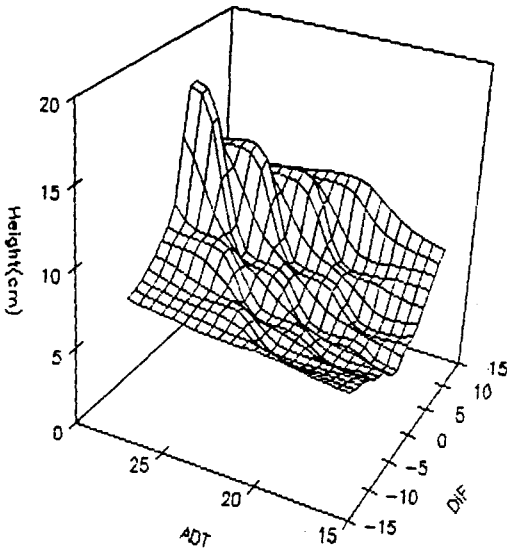


Fig. 5. Relationship between plant height, average daily temperature(ADT), and DIF(DT-NT) in *Zinnia* plug seedling.

0 and -DIF can retard the plug seedling's succulent growth under low ADT regime as well as increase the plant compactness(see Table 3).

고 있는지, 또는 그 변경이 적절했을까 하는 것은 어떻게 알 수 있을까? 이러한 의문을 해결하는데 도움을 주는 것이 그래프 추적법(graphic tracking)이다. 그래프 추적법은 실제의 초장이나 발육을 예정하고 있던 초장이나 발육과 비교하는 하나의 재배기술이다. 초장을 그래프로 추적하는 것은 도로지도로 사용하는 것과 유사하다. 지도의 어디에 자신이 있는가를 알아차리면 옳은 길에 있는가 아니면 틀린 길에 있는가를 알 수 있다. 이것과 마찬가지로 실제의 초장과 희망하는 초장을 비교하는 것으로 자기 작물의 초장이 짧은가 긴가, 혹은 적절한 높이 인가를 알 수 있다.

1. 그래프 추적법의 실제

가) 측정주를 선택한다.

전체주에 대해서 그래프를 만드는 것이 이상적이지만 이것은 불가능하다. 그래서 전체를 대표하는 측정주를 고르는 것이 그래프추적법을 성공시키는 하나의 열쇠가 된다. 측정주의 선택은 초장이 제 각각인 경우에는 어렵다. 국화에서는 품종이 같으면 통상 같은 크기가 되지만 포인세티아나 철포백합에서는 그렇지 않은 경우가 보통이다. 그래서 포인세티아와 철포 백합의 경우는 품종, 적심일, 분의 크기에 따라 측정주를 고르게 된다. 따라서 그래프는 作(ciop timing), 적심일, 분의 크기, 그리고 품종마다 만들게 된다.

나) 실제 측정

측정하는 식물이 결정되면, 그 후 가능하면 1주일에 2회 초장을 측정한다. 주 2회의 빈도는 생장이 빠른 시기에는 필수적이다. 측정할 때는 기계적인 스트레스(구부러짐)를 식물에 주지 않도록 주의한다. 기계적 스트레스 때문에 줄기의 신장이 억제되는 수도 있고, 이와같은 식물을 측정해도 나머지 식물을 대표한 것이 되지않기 때문이다.

다) 실제 그래프 작성

이 자료들로부터 그래프의 가로축에는 시간의 경과를 기록하고 세로축에는 시간의 경과에 따른 식물체 초장의 변화율을 그려 넣는다. 그리고 그것을 선으로 연결한다(Fig. 6). 이들 결과로부터 식물체의 정확한 성장곡선을 얻게 되었다. 다음은 우리가 예상하는 식물체의 최고, 최저 한계를 결정하는 것이다. 이 작업이 완성되면 실제 재배에 있어 식물생육이 제대로 되어 있는가 그렇지 않은가를 검토하기 위한 유용한 도구로서 이용할 수 있게 된다. 즉, 실제 식물의 높이를 그래프상에 그려넣고 예정한 초장을 비교하는 것으로, 현재의 초장이 희망하고 있는 초장과 비교해서 성장속도가 빠르거나 늦은가 하는 것을 아주 간편하게 알 수 있고, 그에 따른 적절한 조치를 취할 수 있게 된다. 이때 적절한 조치라 함은 여러가지를 의미한다. 즉, 온도조절(DIF를 통한) 환경적인 면에서의 조절, 또는 왜화제의 처리 등의 화학적인 면에서의 조절 등이다. 즉, 예상했던 것보다 초장이 지나

치게 많이 신장했을 경우, 컴퓨터 시스템을 이용해 적절히 온도조절을 해 -DIF처리를 해주거나, 왜화제를 처리해 준다. 또는 초장의 신장율이 지나치게 불량할 경우, +DIF처리를 통해 신장율을 증가시켜 준다(Fig. 7).

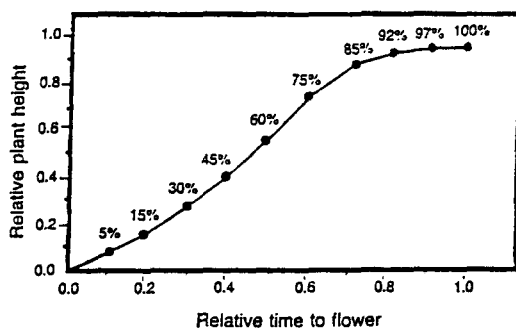


Fig. 6. Typical growth for *Chrysanthemum* and *Poinsettia*.

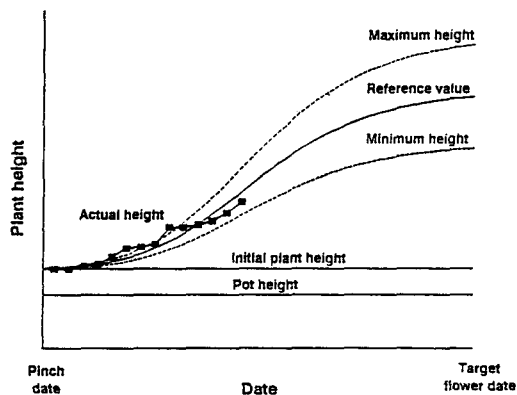


Fig. 7. Using graphical tracking techniques, plotting actual plant height against an acceptable height window, plant was able to stay within target of grower. Note effects of growth regulator applications and of DIF application on plant height.

5. 컴퓨터를 이용한 초장조절

오늘날의 온실산업은 환경제어용 컴퓨터의 응용으로 좀 더 과학적이고 합리적으로 환경을 조절하고 식물생육을 조절할 수 있게 되었다.

외국의 경우 아직도 시험관 단계인 여러가지 재배 프로그램들이 나오고 있지만, 실제적으로 농민들이 컴퓨터상에서 식물을 재배하기는 아직 이르고 본다. 왜냐하면 개발된 모델들은 아직도 제한된 환경요인만을 조절할 수 있으며, 또한 대상작물도 기존에 많은 연구가 이루어진 소수의 작물에 한정되어 있기 때문이다. 이러한 일은 한 전문가의 단독으로 이루어지는 일이 아니라 식물생리학자, 원예학자, 수학자, 컴퓨터 프로그래머, 농공학자 등과 같은 여러 전공자들에 의해서 man/plant interface, plant/environment interface에 관한 빠진 고리(missing link)들을 계측과 modeling을 통하여 서로 연결해야만 한다. 우리나라도 시설재배가 대형화되고 전문화됨에 따라 컴퓨터의 도입에 따른 진정한 의미의 환경조절 연구가 시급하다고 본다.

진정한 환경제어용 컴퓨터의 이용이란 농가가 정식일, 적심일, 단일처리개시일, 개화일, 출하시의 초장 등을 입력하고, 스케줄대로 재배하려면 온도 등 환경조건을 어떻게 관리해야 하는가에 대해 컴퓨터가 자동적으로 계산하는 것이다. 이 경우

만약 온도를 확보할 수 없거나 무슨 이유들로 기대대로 발육하지 않는 경우는 스케줄대로 생장이 이루어지도록 컴퓨터가 필요한 발육량과 실제의 발육량을 비교해서 자동적으로 설정온도를 계산해 고치는 기능이 필요할 것이다. 이 컴퓨터 프로그램 개발 작업에는 기본적으로 식물체에 관한 정보, 이론적인 model을 세우는 일 그리고 그 모델을 식물재배에 실제적으로 적용시키는 세 단계로 구분할 수 있다. 그림 8에 이를 위한 작업들은 간단히 나타냈다. 즉, 우선 재배하고자 하는 식물의 기본적인 생육습성(초장, 잎생장, 잎의 광합성율, 식물체의 발육 등), 시설내의 환경조건(온도, 광, 공중습도, 토양습도, 토양내의 양분 등), 그리고 다른 연구가들이나 재배가들에게서 얻을 수 있는 모든 정보들을 모은다. 다음 단계에서 이 모든 정보들을 컴퓨터를 이용한 모델링 작업, 마지막으로 실제 재배가들이 이 프로그램을 자신이 재배하고자 하는 식물체에 맞추어 응용하는 것이다. 이 단계에서 재배가들은 자신이 계획한 대로 식물체가 생육하지 않는 경우 시설내의 환경조절을 기계에 의해 자동적으로 행할 수 있다. 따라서 컴퓨터를 이용한 재배법은 과거 경험에 의해 온도를 올리거나 광을 낮추거나 하는 등의 시행착오를 거치지 않고, 아주 합리적이고 정확한 환경제어를 통해 식물체를 재배할 수 있다는 것이다.

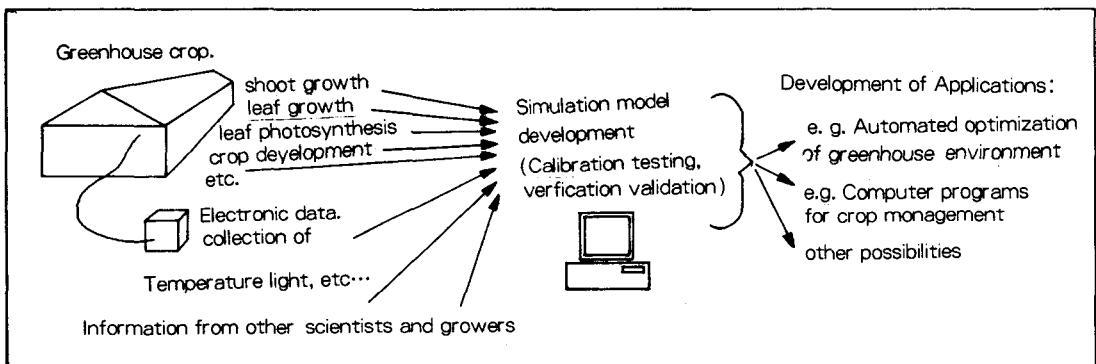


Fig. 8. The mechanistic approach to plant modeling is a step toward simulating plant growth mechanisms to reflect how crops respond to fluctuating environmental conditions in the greenhouse. Once the model is refined and commercially available, growers could test a variety of environmental conditions and see the effects of these on the resulting dry weight of flowers, stems, leaves and shoots.

(1) 기본적인 식물자료의 수집

환경에 대한 식물의 기본적인 생리반응(plant/environment interface)에 대한 자료수집은 시설내 첨단 재배에 있어 가장 중요한 요소중의 하나일 것이다. 그러나 대부분의 경우 여전히 환경에 대한 식물의 반응에 관해서는 답보다는 질문이 많은 편이다. 예로써, 식물의 반응중 지하부에 일어나는 일에 대해서는 잘 모르는 것이 많다. 또한 광합성은 환경에 대한 식물반응중 가장 중요한 생리작용일 것이다. 과거에 있어 많은 과학자들은 전통적으로 광합성을 증가시키는 것은 식물체의 크기와 화기수를 증가시키는 것과 동일시 해왔다. 그러나 최근 DIF이론에 따르면 광합성을 최대로 하는 환경적인 조건은 식물체의 초장과 같은 다른 원예작물의 상품성들을 만족시키는 요인들과 일치하지 않는다는 것이다. 이 경우 식물의 초장에 영향을 미치는 DIF는 체내의 탄수화물의 축적 및 분배에 따르기보다 오히려 DIF에 따른 내생 호르몬(GA)화에 기인되는 것으로 판단된다.

실제적인 모델링 개발에 있어 가장 어려운 점은 환경변화에 대한 식물의 반응을 정량화하는 것일 것이다. 실제로 영양분, 수분, 그리고 공중습도와 같은 많은 환경적인 요인에 대한 식물반응의 단편적인 자료는 많이 있지만 이것을 경시적인 변화자료로 수집한다는 것은 현재로서는 매우 어렵다. 왜냐하면 식물의 같은 성장반응으로 나타날 수 있는 환경요인이 너무 다양하기 때문이다.

(2) 식물 모델링

식물 모델링의 기본적인 개념은 식물생장에 관하여 수집한 자료들을 통하여 우리가 관찰한 것들을 정량화하는 작업이다. 바로 적절한 man/plant interface의 software를 제작하는 것이라 볼 수 있다. 현재까지 하우스내 대부분 자동제어 환경조절 시스템은 man/environment interface에 치중된 hardware측면이라고 볼 수 있을 것이다. 식물 모델링에 있어 초보적이지만 앞으로 무한한 가능성을 예측케하는 전형적인 모델링이 바로 DIF를 이용한 그래프 추적법(graphical tracking)이 아닌가 생각된다(앞장 참조). 그러나 이러한 그래프 추적법의 약점은 새로운 작물을 재배하기 위한 성장곡선을 만들기 위해서는 생육상에서 많은 시간과 경비가 드는 새로운 실험을 해야된다는 것이다. 게

다가, 생육상의 실험결과와 실제적인 상황과는 또한 상당한 거리가 있다는 점이다.

한편으로는 이러한 실제적인 실험과 제한을 최소화하는 방편으로 과학자들은 모델링(modeling)을 위한 기계적 접근(mechanistic approach)과 simulation model을 시도해 오고 있다. 기계적인 접근이란 과학자가 관찰한 반응을 야기시키는 근본적인 식물기작을 수학적으로 기술하는 것이라 볼 수 있다. 한편, simulation이란 하우스내의 변동하는 환경조건을 다루는데 사용되어지는 기법이라 볼 수 있을 것이다. 이러한 접근방식은 기존의 필드나 실험실에서 행하던 'spray and pray'식 연구형태를 벗어나 요인들의 상호관계 및 단편적인 지식을 통합하는 해결책을 제시해 줄 것이다. 게다가 이러한 접근방식이 주는 가장 매력적인 점은 매개변수를 얼마든지 바꾸어 넣을 수 있다는 것이다. 즉, 잘못된 매개변수로 인하여 생육상내의 실험을 되풀이할 필요가 없다는 것이다.

(3) 적용

재배가 실제적으로 완벽하게 사용할 수 있는 컴퓨터 프로그램은 아직 나오지 않았지만 지난 10년 동안 많은 연구가 진척되어져 왔음에 틀림이 없다. 그 결과로 최근 외국에서는 여러가지 software들이 시험판 혹은 제품으로 판매되고 있다. 그 한 예가 미시간 대학의 Heins박사팀에 의해서 개발된 'The Greenhouse CARE program'일 것이다(Fig. 9). 현재 이 시스템은 포인세티아, 국화 그리고 분백합 등의 재배에 실제 적용되고 있다. 이 프로그램은 4개의 모듈로 구성되어 있는데, 첫 번째 모듈은 그래프 추적곡선을 만드는데 사용되어지며, 두 번째는 데이터 입력모듈이다. 재배가들은 이 모듈을 통해서 spread sheet에 재배되는 품종, 재배일시, 그외 초장, 재식거리, 성장조절물질의 사용과 같은 정보들을 입력한다. 세 번째는 입력된 데이터를 보는 모듈이다. 그래픽상으로 일목요연하게 한 작물뿐만 아니라 한 화면상에 여러작물의 재배상황을 비교할 수 있도록 되어 있어, 과거의 작물재배와 비교도 가능하다. 마지막 모듈은 'what if' 모듈로서 여러가지 환경변수를 바꿀 때 일어날 수 있는 여러가지 현상 및 식물반응을 예측할 수 있는 모듈이다. 따라서 재배가들은 자신이 가용한 여러가지 환경들을 컴퓨터상에서 변화

시켜 봄으로서 일어날 수 있는 변화와 장애들을 미리 예측할 수 있게 되고, 중국적으로는 자신이 정해 놓은 품질상태와 개화 및 출하시기를 위한 최적 해결책을 조언 받을 수 있게 된다.

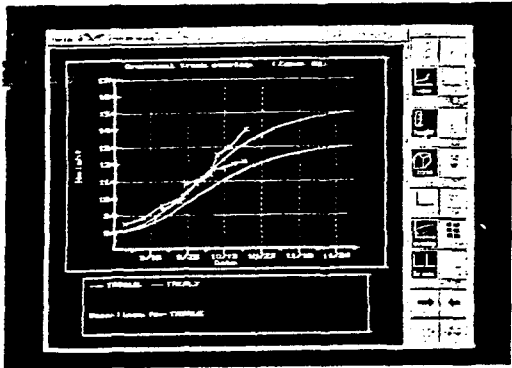


Fig. 9. A typical screen form CARE crop modeling program. In this screen actual height of two poinsettia crops has been graphically tracked by day and is being compared against the base line ideal. This program has ability to compare up to six crops at once on the same screen. This allows the grower to compare this year's poinsettia crop against last year's crop at the same stage of development.

6. 결 론

식물체의 생육(특히 초장)에 영향을 미칠 수 있는 요인은 여러가지가 있다. 즉, 품종별의 특성, 재배공간, 토양내의 비료성분, 그리고 토양수분 등이 그것이다. 이들 모든 인자들은 서로 깊이 관련되어 있기 때문에 어느 하나의 요인만으로 식물의 성장을 조절하는 것은 불가능하고, 이들의 모든 영향들의 통합에 의해서 최종 식물초장이 결정될 수 있을 것이다. 그러나 쉽게 정량화 할 수 있는 식물 초장조절에 대한 DIF의 효과가 인정된 이상, 우리 나라도 많은 연구자들에 의해서 생리적 이론에 관한 연구뿐만 아니라 이 이론을 산업화할 수

있는 응용(예, 식물재배 프로그램) 개발에도 적극적인 참여가 필요하다고 본다. 또한 재배가들도 자신의 온실환경과 재배식물에 이 유용한 이론을 실제 적용하기를 원하는 바이다. 특히 일출후 2시간 정도 온도내림 처리는 당장이라도 사용할 수 있는 가장 효과적인 식물초장 조절방법중의 하나가 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Carlson, W. H. and R. D. Heins. 1990. Get the plant height you want with graphical tracking. *Grower Talks* 53(9) : 62-68.
2. Erwin, J. E. and R. D. Heins. 1990. Temperature effects on lily development rate and morphology from the visible bud stage until anthesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:644-646.
3. Fisher, P. R. and R. D. Heins. 1995. A process-control approach to poinsettia height control. *HortTechnology* 5(1) : 57-63.
4. Nelson, P. V. 1991. Light and temperature p. 359-393, In : 4th ed. *Greenhouse operation and management*. Prentice Hall, New Jersey.
5. Peter, L. 1993. Get a mouse to manage your crop. *FloraCulture International* 12(Dec.) : 16-19.
6. 손기철, 1993. DIF, 주야온도차를 이용한 화훼류의 초장 및 성장조절. 아카데미서적 p. 92, 서울.
7. 손기철, 구은경. 1993. DIF, 주야온도차를 이용한 식물의 성장조절법. *한국화훼연구회지* 2(2) : 13-22.
8. 손기철, 구은경, 한명숙. 1995. 주야온 온도처리가 *Pentas lanceolata*의 생육에 미치는 영향. *한국원예학회 논문발표요지* 13(1) : 318-319.
9. 임기병, 손기철, 한명숙. 1995. 주야 온도처리에 의한 *Impatiens*, *Zinnia*, *Torenia* 플러그로프의 성장반응. *한국원예학회 논문발표요지* 13(1) : 426-427.