

고품질 묘 생산을 위한 기술개발

전창후

서울대학교 농업생명과학대학 식물생산과학부 원예학전공

Technologies for producing high quality transplants

Changhoo Chun

Department of Plant Science, College of Agriculture and Life Sciences

Seoul National University, San 56-1 Shillim-dong, Seoul 151-921 KOREA

서론

환경 녹화용 식물, 연료 대체용 식물, 공예 작물, 식량 작물 및 원예 양질의 묘를 안정적으로 또한 대량으로 생산하기 위해서는 종래와는 발상과 기반 기술을 달리한 혁신적인 묘 생산 시스템의 개발이 필요하다. 필자는 과거 수년과 여러 연구 그룹과 함께 폐쇄형 묘 생산 시스템을 개발 하였다. 본 시스템은 온실 등의 개방형 시스템을 이용한 공정묘 및 포트 식물의 생산에 있어서의 자연 의존성을 극복하기 위해 인공 광원을 이용한다.

일반적으로 식물 생산에서의 인공 광원의 이용은 일사량 부족시의 보광과, 광형태형성반응을 제어하기 위한 인공광 조사로 대별된다. 이 두 경우 모두, 자연광을 식물생육의 주광원으로 하며 재배 기간중 일정 기간에만 인공광을 사용한다. 한편, 전 재배 프로세스에 인공광만을 사용하는 완전 제어형 식물 공장도 있다. 이 시스템은 1970년대부터 개발되어서 식물 생산 시스템이 가지는 높은 자연 의존성을 극복할 수 있는 획기적인 시스템으로서 각광을 받았다. 그러나, 초기의 완전 제어형 식물 공장은 수익성이 낮아 독립적인 경영이 어려운 것으로 여겨지기도 하였다(高辻, 1996). 그러나, 식물 생산에 고도의 환경 조절 공학의 기술을 집결시킨 완전 제어형 식물 공장의 개념은 고산 지대이나 극지의 과학 기지, 혹은, 우주 스테이션의 인공 폐쇄 생명 유지 시스템 등의 식물 생산 시스템으로 응용되고 있다.

인공광을 식물묘 생산에 이용하는 폐쇄형 묘 생산 시스템은 수확 산물을 판매 상품으로 하는 기존의 식물 공장과는 달리, 어리고 작은 묘를 판매 상품으로 한다. 이 식물 묘 생산 시스템은, 인공 광원을 채용한 인공 환경 조건하에서 식물을 성장시키는 점에 있어서는 완전 제어형 식물 공장과 같으나, 출시까지의 생육 기간이 짧은 점과 취급하는 대상이 크기가 작은 묘인 점 드은 폐쇄형 묘 생산 시스템의 성공적 경영이 가능한 중요한 요인이다.

본 시스템의 설계에는 기존의 식물 공장의 열악한 경영 수지의 문제점을 개선하기 위하여 다수의 환경 조절 공학적인 연구 결과가 반영되었다. 본 고에서는, 본 시스템에서 적용하고 있는 혹은 적용을 검토하고 있는 환경 조절 기술의 원리의

일부를 소개한다. 특히, 자연환경에서는 있을 수 없는 환경의 작성 방법 등을 설명한 후, 이러한 환경에서 육성한 화훼 및 기타 원예작물의 공정 묘 및 포트 식물의 형태 형성 반응이 개방형 시스템에서 육성한 식물의 그것과 상이한 점을 설명한다. 또한 필자의 연구 그룹의 일원으로 이 시스템의 농가 보급을 위해 많은 노력을 경주한 일본 타이오 코교사의 오카베 카즈미 부장의 연구내용이 '본고의 다음 페이지에 실려 있다. 두 개의 원고를 함께 읽어 준다면 새로운 육묘 시스템의 개발과 보급에 있어서의 전 과정을 이해할 수 있을 것이다. 아울러 필자가 2002년 원예학회 심포지엄 에서 강연한 원고를 일부 수정하여 본고를 작성하였음 밝혀둔다.

본론

1. 육묘산업 발전을 통한 농업 생산성 향상

식물 묘는, 온실, 전답, 산지등에 이식 혹은 정식되어서 재배 또는 육성되기 전의 단계에 있는 작은 식물체를 칭한다(古在 등, 1990). 식물 묘 생산 시스템의 확립에 의해, 양질의 묘의 생산 및 판매를 묘 생산 전문 회사가 담당하고, 구입 묘의 정식, 재배, 수확 및 출시를 재배 농가가 담당하는 일종의 농업 생산의 분업화가 가능해 진다. 이러한 농업 생산 체계의 변화는, 농가의 고령화와 일손 부족등, 최근 우리나라 농업계가 안고 있는 문제점의 해결 방법의 하나로서 생각된다. 일반농가에 있어서는 묘 생산을 위한 작업, 묘 생산 시설의 초기 투자 및 유지 관리 비용이 불필요하게 되는 점 외에도, 재배 면적의 최대 이용, 재배 관리의 단순화 등 다수의 이점이 있다. 또한 묘 생산의 고도한 기술이나 설비를 가지는 전문 회사가 묘 생산을 담당함으로써 양질의 묘를 효율적으로 생산할 수 있다.

그러나, 현재의 묘 생산 시스템에는 여러가지 문제점이 있어, 그 주요 원인으로서, 묘 생산이 온실 등의 자연광 하에서 행하여져 있는 것을 들 수 있다. 그 때문에, 묘의 성장 및 형태형성은 기후에 좌우되기 쉽고, 균일한 품질 관리나 출시 시기의 조절 등이 어렵다. 이것들의 문제점을, 관수 혹은 시비 관리 등의 한정된 재배 관리 방법의 개선만으로 극복하는 것은 곤란하다.

2. 기존의 육묘 시스템의 대안으로서의 폐쇄형 묘 생산 시스템 개발

가. 폐쇄형 묘 생산 시스템의 정의

빛에 불투명한 단열벽으로 둘러 싸여 시스템 내외의 물질(물, 이산화탄소 등)의 교환이 최소한으로 억제되는 공간에서 인공광을 이용해서 식물을 생산하는 시스템을 폐쇄형 식물생산 시스템이라 부르며, 그 이용을 묘 생산에 한정했을 경우를 폐쇄형 묘 생산 시스템(이하, 폐쇄형 시스템이라고 부른다). 한편, 자연광을 이용하는 육묘용 온실(유리 혹은 투명 플라스틱 등으로 둘러싸진 구조물)과 부속 설비들로 구성되는 모종생산 시스템을 개방형 묘 생산 시스템(이하, 개방형 시스템이라고 부른다) 이라고

정의 할 수 있다(古在, 1999).

나. 폐쇄형 묘 생산 시스템의 특징

폐쇄형 묘 생산 시스템은, 묘 생산 전용의 시스템이다. 묘에는 「크기가 작다」, 「생산에 필요한 시간이 짧다」, 「생육에 필요한 광강도가 낮다」, 「많은 종의 식물에서 비교적 단순한 영양 성장 스테이지만을 경과한다」 등의 특징이 있다. 이들 특징에 의해, 폐쇄형 묘 생산 시스템에서는, 구조물 및 환경 제어 설비가 단순화되어, 단위 재배 면적(혹은 재배 공간)당 및 단위 재배 기간당의 수익성은 식물 공장에 비해서 대폭 개선된다. 또한, 폐쇄형 묘 생산 시스템의 각 벽면은 단열벽으로 싸여져, 시스템 내외의 물질 및 에너지의 교환이 현저히 제한되어 있기 때문에, 천연 자원의 투입량의 삭감과 동시에, 환경 오염 물질의 배출량의 경감이 가능해진다.

식물 묘의 생육을 위한 광원은, 인공광뿐이기 때문에, 조명 설계, 광질의 제어, 명암주기의 설정, 광강도의 제어 등 모든 광환경의 제어 및 조절이 가능해진다. 한편, 폐쇄형 묘 생산 시스템에 채용한 주요 설비는 모두 대량 생산되는 기성 제품이라는 점, 특히 리사이클 제도가 정비된 가전 제품인 에어컨과 형광등 기구를 이용하는 점은 초기 투자 및 런닝 코스트를 대폭 절감 시켜준다(Kozai 등, 2000). 이 특징은 환경 친화적인 생산 시스템의 구축에도 크게 기여한다.

다. 다단식의 육묘 모듈의 채택

폐쇄형 묘 생산 시스템에는, 다단식의 육묘 모듈(module)이 채용된다. 각 육묘 모듈의 각 단은 묘 생육부와 광원부로서 구성된다. 각 단의 높이는, 묘의 크기와 필요 광합성 유효 광량자속(PPF)에 의해 결정된다. 또한, 육묘 모듈의 수와 배치 등은 작업성과 공간 이용을 등을 고려해서 결정된다.

라. 인공 광원의 선택과 조명 기술의 개발

폐쇄형 묘 생산 시스템에 채용되는 인공 광원은 묘의 광합성에 충분한 광강도와 광형태형성에 장애를 일으키지 않는 광질의 두 측면을 동시에 충족시킬 필요가 있다. 또한, 시스템의 경영의 측면에서 생각하면, 가격이 저렴하면서도 전기-광합성 유효 광량자속 변환 효율이 높은 광원을 선택하여야 한다. 현재의 제조조건으로는, 일반 가정용으로서 대량 생산되고 있는 형광 램프가 가장 적합하다고 생각된다. 형광 램프는 기존의 식물공장에서 사용되던 고압 나트륨 램프, 메탈 헬라이드 램프 등의 광원과 비교하면 얻을 수 있는 PPF가 작다(단, 광원으로부터의 거리가 같을 경우). 그러나, 기존의 식물 공장에 비교하면 광원과 식물의 거리를 짧게 할 수 있는 폐쇄형 묘 생산 시스템에서는 근접 조사가 가능한 형광 램프가 더 유리하다. 광속이 적은 형광 램프를 접근시켜서 높은 PPF를 얻는 것이, 폐쇄형 묘 생산 시스템에 있어서의 조명 기술의 제일의 포인트이다.

폐쇄형 묘 생산 시스템에 있어서 광원으로부터의 발열은 육묘실내의 냉방 부하를 크게 한다. 발열이 적은 형광 램프는, 냉방 부하를 경감하기 위해서도 폐쇄형 묘 생산 시스템에 적합한 인공 광원이라고 할 수 있다. 시판의 형광 램프는, 파장 영역에 의한 종류 이외에도, 길이, 형상, 소비 전력 등으로 분류된 종류가 다수 있다. 시스템의 최적화를 위한 선택의 폭이 넓은 점도 형광 램프의 또하나의 장점이다.

폐쇄형 묘 생산 시스템에서는 다단식의 육묘 모듈을 채용하기 때문에 램프와 묘와의 거리가 짧고 비교적 높은 PPF를 얻을 수 있지만 PPF의 불균일과 결과적으로는 묘 생육의 불균일이 생기기 쉬운 문제점이 있다. PPF 분포의 균일성을 확보하기 위해서는, 램프간의 간격, 각 램프의 출력의 조정, 반사판의 설치 위치 및 각도 등의 조정등이 필요하게 된다. 또한, 묘는 생육 단계에 의해 PPF의 요구도가 다르기 때문에, 묘의 생육에 따라 PPF를 단계적으로 조절하는 조명 제어 시스템이 필요하다. 이로 인해, 조명에 필요한 소비 전력 당의 묘 성장량을 최대로 할 수 있다. 한편, 묘의 생육(적어도 영양 생장의 시기에는)은, 식물이 받은 광량의 적산량(적산 PPF)에 비례해서 커지는 점(Kitaya 등, 1998; Chun 등, 2001)의 묘 성장 특성을 이용하고, 전기 요금의 싼 심야 전력의 시간 대에 광량의 적산량의 대부분을 조사하는 조명 방법(鈴木 등, 1999)도 모종 생산 인공조명 시스템의 새로운 조명 기술의 하나일 것이다.

또한, 우주 스테이션의 인공 폐쇄 생명 유지 시스템에서의 식물 생산 시스템을 위해 개발된 PPF의 동적 제어 기술(Chun 과 Mitchell, 1997)을 이용하는 것으로, 폐쇄형 묘 생산 시스템에 있어서의 조명 및 에어 컨디션닝에 소요되는 비용을 삭감할 수 있다고 생각된다. 이 제어 방법은, 식물의 광합성 속도 등 식물 생산 능력을 측정하여, 그 시점에서 가장 효율적으로 식물을 생산할 수 있는 PPF치를 feed-back control하는 방법이다.

3. 폐쇄형 묘 생산 시스템에서의 고품질 묘의 안정적 생산

묘는 포장 또는 온실에 정식되어 일정 기간 재배되므로 묘질은 그 때의 특성뿐만 아니라 정식후의 생육 특성도 함께 평가해야 한다. 그러나 작물의 생육 특성은 재배 기간 동안의 환경 조건에 크게 영향 받기 때문에 묘의 단계에서 정식후의 생육을 예측, 평가하는 것은 매우 어렵다. 그러나, 묘의 능력 또는 품질이 수확 산물의 수량과 품질을 결정하는 중요한 요인들 중의 하나임에는 틀림 없다.

고품질의 묘가 뛰어난 유전 특성, 생리 특성, 형태 특성 및 물리 특성을 보유하고, 정식후에는 왕성한 생육을 보장하며, 수확 산물의 고품질과 고수량을 기대할 수 있는 묘를 의미하면, 폐쇄형 묘 생산 시스템은 고품질 묘의 생산을 위한 유리한 조건을 갖고 있다. 이는, 폐쇄형 묘 생산 시스템에서는, 묘의 생육에 중요한 물리 환경 요소인 기온, 광강도, 이산화탄소농도, 상대습도 및 배지 수분량 등을 정확하게 제어할 수 있기 때문이다(Kozai 등, 2000).

뛰어난 유전 특성을 보유하는 고구마의 virus-free 묘의 생산은 폐쇄형 묘 생산 시스템(Chun and Kozai, 2000)에 있어서의 고부가가치 묘의 생산의 한 예이다. 고구마의 묘는, 관행적으로는 뿌리가 없는 삽수의 형태로 증식, 유통된 후에 정식된다. 이 때문에, 묘가 수송중이나 정식후에 시들고, 이는 생육 지연에 의한 초기 생육의 불량 및 수량의 저하로 이어진다. 폐쇄형 묘 생산 시스템에서 생산된 무병주인 고구마 플러그 묘를 모종을 이용하면, 관행의 방법보다 수량이 높아진다(Islam 등, 2000) 또한, 플러그 묘는 수송중의 취급이 용이한 점이나 정식 작업의 기계화가 가능한 점 등도 장점이 된다.

폐쇄형 묘 생산 시스템에서의 환경제어에 의해 묘의 형태형성을 조작할 수도 있다. 또한, 폐쇄형 묘 생산 시스템에서는, 지구상의 자연계에서는 존재하지 않는 환경 요소의 조합성을 만들어 낼 수도 있다. 부의 DIF(명기보다도 암기의 기온이 높은 상태)을 적용하면 줄기의 신장을 억제할 수 있는 것은 잘 알려져지고 있다(Heins 와 Erwin, 1990). 그러나, 이 조건을 포장 또는 온실에서 적용하는 것은 용이하지 않고 이 기술을 적용할 수 있는 계절이나 장소 등도 한정된다. 한편 폐쇄형 묘 생산 시스템에서는 부의 DIF를 용이하게 적용할 수 있다. 많은 플러그 묘에 있어서 컴팩트한 묘는 고부가가치 묘 생산의 하나이다. 줄기의 길이에 대해서는, 짧게 할 뿐 아니게 특정한 부위의 길이를 일정 범위에 유지할 수도 있으므로, 접목 묘 생산에 사용되는 묘에는 높은 부가가치를 줄 수 있다. 특히, 접목에 로봇을 이용할 경우에는, 그 중요도는 더욱 커진다. 묘의 형태형성의 조절은 광 및 온도의 변동을 조합시킨 DIF의 적용에 의해 달성될 뿐만 아니라 몇개의 환경요소를 조합, 변동시키는 방법에 의해서도 가능하다(Koyano 등, 2003).

또한 묘의 생식 성장을 환경제어에 의해 적절에 조절함으로써 경제적 가치를 높일 수 있다. 즉 폐쇄형 묘 생산 시스템에서는 환경 요소의 조작에 의해 꽃눈 분화 혹은 추대의 개시를 촉진 또는 억제할 수 있으므로, 경제적 가치를 높일 수 있다. 예를 들면, 시금치 생산에서 문제가 되는 장일 조건하에서의 추대 및 개화 문제를 육묘 기간 중의 일장과 기온을 조절함으로써 회피할 수 있는 방법(Chun 등, 2000)은 폐쇄형 묘 생산 시스템에서의 고부가가치 묘 생산의 또다른 예이다. 동일 방법은 상추 및 양배추 등 조기 추대가 문제가 되는 식물의 묘 생산에 적용될 수 있다.

같은 개념이지만 정반대인 적용 방법이, 화훼 작물의 개화 제어이다. 재배 초기의 로제트 상태를 유지하면서 영양 성장을 촉진시킨 후, 추대 혹은 개화를 균일하게 유도시키는 재배 기술에 관한 기초적 연구가 행하여져 있다(예를 들면 Ohkawa and Sasaki (1999)에 의한 lisianthus). 폐쇄형 묘 생산 시스템에서 이들 기술을 적용할 수 있다면 고품질의 균일한 묘질을 가지는 화훼 작물의 고부가가치 묘 생산이 가능하다.

또한, 폐쇄형 묘 생산 시스템에서 건전한 상태로 육묘한 팬지의 묘는 고온 조건(35°C)으로 이식된 뒤에도 건전하게 성장한 한편에서 같은시기에 온실에서 생산된 묘는 생존률 및 성장 속도가 전자에 비해 작았고(Omura 등, 2000), 소규모 폐쇄형 묘 생산

시스템(全昶厚 등, 2001)에서 생산한 묘를 이용했을 경우, 온실에서 생산한 묘를 이용했을 경우와 비교하고, 약3주정도 빨리 개화하였다(布施 등, 2001).

결론

폐쇄형 묘 생산 시스템에서는 개방형 시스템에 비교하여, 1) 다단식의 모종을 이용함으로써 인해 시설 면적당의 육묘 면적을 2.5 배 이상으로 할 수 있다, 2) 공기 유통의 확보에 의해 육묘 밀도를 1.5 배 이상으로 늘려도 묘의 생장과 묘질이 억제되지 않는다, 3) 환경 조절이 정확하게 행하여지므로, 생육이 균일하여 묘 상품화율을 10% 이상 향상할 수 있다, 4) 이산화탄소 농도, 광강도, 명기시간, 온도의 조절에 의해 육묘 일수를 25% 정도 단축할 수 있다, 5) 폐쇄형 시스템은 외부 기상에 관계되지 않고 주년 이용할 수 있으므로 년간의 가동 일수를 10%이상 늘릴 수 있다, 6) 묘의 품질 향상에 의해, 폐쇄형 시스템으로 생산한 모종의 판매 가격은 10% 정도 높아진다, 7) 또한, 쾌적한 노동 환경에서의 작업으로 의해, 노동 생산성은 10% 이상 향상될 것이다.

폐쇄형 묘 생산 시스템의 개발은, 농업이라는 bio production system 및 관련 분야에 있어서, 중대한 임팩트를 줄 것이다. 환경오염 물질을 배출하지 않고, 자원이용을 최소한으로 하는 폐쇄형 시스템에서는, 자연계에는 존재하지 않는 혹은 그 계절에는 있을 수 없는 환경 조건을 창출할 수 있기 때문에, 자연광 이용형 (개방형) 묘 생산 시스템에서는 만들 수 없는 고부가가치 묘의 생산이 가능하다. 또한, 폐쇄형 식물 묘 생산 시스템에서는 물, 비료, 에너지의 사용량이 최소화 된다.

인용문헌

- Chun, C. and T. Kozai. 2000. Closed transplant production system at Chiba University. In: Kubota, C. and C. Chun (eds.) Transplant production in the 21st century, pp.20-27.
- 全昶厚, 古在豊樹, 布施順也. 2001. 小規模閉鎖型苗生産システムの開発. 農業環境工学関連 4 学会 2001 年合同大会講演要旨 318.
- Chun, C., T. Kozai, C. Kubota and K. Okabe. 2000. Manipulation of bolting and flowering in spinach (*Spinacia oleracea* L.) transplant production system using artificial light. *Acta Hort.* 515:201-206.
- Chun, C. and C.A. Mitchell. 1997. Dynamic optimization of CELSS crop photosynthetic rate by computer-assisted feedback control. *Adv. Space Res.* 20(10):1855-1860.
- Chun, C., M. Tominaga and T. Kozai. 2001. Floral development and bolting of *Spinacia oleracea* L. as affected by photoperiod and integrated photosynthetic photon flux during transplant production. *HortScience* 36(5): 889-892.
- 布施順也, 土屋和, 岡部勝美, 全昶厚, 古在豊樹. 2001. 閉鎖型苗生産システムにおける高品

- 質パンジー苗生産. 農業環境工学関連 4 学会 2001 年合同大会講演要旨 319.
- Heins, R. and J. Erwin. 1990. Understanding and applying DIF. *Greenhouse Grower*, 8(2):73-78.
- Islam, A.F.M.S., C. Chun, M. Takagaki, K. Sakami and T. Kozai. 2000. Yield and growth of sweetpotato using plug transplants as affected by their ages and planting depths. In: Kubota, C. and C. Chun (eds.) *Transplant production in the 21st century*, pp.149-153.
- Kitaya, Y., G. Niu, T. Kozai and M. Ohashi. 1998. Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO₂ concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants. *HortScience*, 33: 988-991.
- Koyano, Y., C. Chun and T. Kozai. 2003. Length of individual internodes of tomato seedlings can be controlled by changing DIF with time. *HortScience* 38(5):789
- 古在豊樹. 1999. 苗の種類,用途および需要,閉鎖型苗生産システムの開発と利用. 養賢堂 pp.14-39.
- Kozai, T., C. Kubota, C. Chun, F. Afreen-Zobayed and K. Ohyama. 2000. Necessity and concept of the closed transplant production system. In: Kubota, C. and C. Chun (eds.) *Transplant production in the 21st century*, pp.3-19.
- 古在豊樹, 佐瀬勘紀, G. Geacomelli, K.C. Ting, W. Roberts. 1990. 苗生産の将来. 農業および園芸 65(1): 97-103.
- Ohkawa, K. and E. Sasaki. 1999. *Eustoma (Lisianthus) – its past, present, and future*. *Acta Hort.*, 482:423-426.
- Omura, Y., C. Chun, T. Kozai, K. Arai and K. Okabe. 2000. High quality plug-transplants produced in a closed system enables pot-transplant production of pansy in the summer. In: Kubota, C. and C. Chun (eds.) *Transplant production in the 21st century*, pp.145-148 .
- 鈴木光則, 全昶厚, 古在豊樹. 1998. 閉鎖系苗生産システムに関する研究 3. 深夜電力利用によるトマトセル成型苗生産. 日本植物工場学会平成 10 年度大会学術講演要旨集 52-53.
- 高辻正基. 1996. 人工光による植物栽培技術の現状と展望, 照明学会誌 79(4): 147-148.