

생산 및 환경조절기술의 향상을 통한 시설원에 경쟁력 강화

서울대학교 식물생산과학부 손정의 교수

1. 서론

우리나라의 시설원예는 짧은 역사에 비하여, 괄목할 만한 성장을 거듭해 왔다. 특히 원예 산업이 농업 전체에서 차지하는 비중이 높아지면서 국가적인 차원에서 온실의 첨단화 및 대규모화가 추진되었고, 수준 높은 작물 재배기술 및 환경조절 기술 등이 도입되어 시설원예의 발전이 가능할 것으로 생각되었다.

IMF 이후, 국내 시설원예의 침체와 주변 국가로부터의 농산물 수입이 급증하면서 시설원예 분야도 많은 어려움에 봉착해 있다. 이를 극복하기 위하여 저비용 고효율 시설원예로 방향을 전환하여야 하는 입장에 처해 있다. 그러나 저비용/고효율은 이상적인 개념이며 보다 구체적인 방법이 필요하다.

국내 시설원예의 경쟁력 강화를 위해서는 현실적으로 국내 생산기술의 수준, 농자재 산업 규모, 주변국가와의 상황을 고려한 뒤, 적절한 판단 기준에 근거한 방향성 모색이 필요하다. 이러한 상황에서 비용 절감 및 고품질 생산은 필수적이며, 현장에 적용되는 생산 및 환경조절 기술의 향상은 매우 중요하다.

2. 국내의 시설원예 생산 현황

국내의 시설원예 면적은 1990년의 23,700ha로부터 2000년의 52,000ha 까지 매우 빠른 성장을 계속해 왔다. 2000년도 채소는 18,600만 달러로 24%, 화훼는 2,900만 달러로 69% 증가 (1996년도 대비)하는 추세이다. 생산성은 채소류의 경우, 네덜란드의 1/2 수준이다. 1999년 기준으로 주변 국가의 시설원예 면적을 비교하면, 한국 50,000ha, 일본 53,000ha, 중국 1,600,000ha로서 중국의 시설원예 면적은 한국과 일본의

약 30배 정도에 달하고 있다. 작물 구성비에 있어서, 한국과 중국은 개략적으로 채소 93%, 화훼 6%, 과수 1% 내외 이며, 일본은 채소 70%, 화훼 16%, 과수 14% 이다. 중국의 대형 온실의 수입면적 (1979-1999년)은 네덜란드 61ha, 프랑스 61ha, 스페인 34ha, 이스라엘 30ha, 한국 10ha, 대만 5ha, 일본 4ha 등 이며, 한국의 온실은 전체의 5% 수준이다. 이와 같이 국내의 시설원예는 시설면적, 생산성, 수출 (작물 및 자재) 등 다양한 면에서 애매한 위치에 있다.

3. 시설원예 경쟁력 강화를 위한 고려 요인

경쟁력 강화를 위해서는 시설원예의 특성이 명확해야 하며, 생산기술 측면에서 고려할 수 있는 요인은 매우 다양하다. 그 중에서 몇 가지 중요한 요인으로서는 저비용, 친환경, 다수확 및 고품질을 열거할 수 있다. 이 중 친환경 요인은 시설원예 경쟁력 강화에 직접적으로 관련되지는 않지만, 지속적 농업이라는 세계적인 흐름 속에서 추후 고려할 필요가 있는 요인으로 생각된다.

가. 시설원예 생산에 고려할 수 있는 요인

- 1) 저비용 요인: 비용 절감에만 관련되는 구조, 자재, 부대설비, 작물재배 및 환경조절 기술
- 2) 친환경 요인: 친환경 농업에 필요한 작물재배 및 환경조절 기술
- 3) 다수확 요인: 수량 증대에 필요한 작물재배 및 환경조절 기술
- 4) 고품질 요인: 고품질 생산에 필요한 작물재배 및 환경조절 기술

기본적으로 각 요인의 단독 또는 조합 기술을 적용시킴으로써 원하는 목적을 달성할 수 있다. 예를 들면, 저비용 (B)을 위해서는 보온성 향상, 온실구조 개선 등, 다양한 방법이 있으며, 이것은 수량증대나 고품질에 기여하지는 않는다. 또한 다수확 (C)을 위해서

는 이산화탄소 시용, 적정 실내온도 유지 등이 있으며, 이것은 비용 절감에 기여하지 않는다.

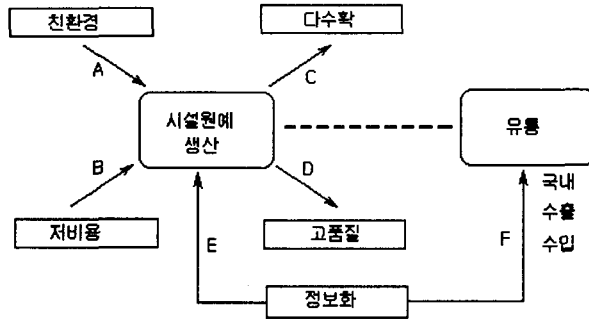


그림 1. 시설원에 생산에 고려할 수 있는 요인.

그러나 변온관리방법은 B + C + D 를 어느 정도 실현시킬 수 있는 환경조절 기술중의 하나이다. 정보화 (E)는 직접적인 요인은 아닐지라도, 유통 및 생산을 연결시키면서 전체적인 비용 절감을 가능하게 할 수 있는 요인이다.

나. 경쟁력 강화에 유리한 요인

완벽한 경제성 분석을 근거로 하여 저비용/고효율의 개념에 해당하는 요인의 수준을 설정하는 것은 쉽지 않다. 이보다는 국내 및 주변 국가의 경제상황 및 생산비용, 국내 시설원에 농가의 기술 수준, 환경조절에 관련된 농자재 기술, 기본 환경조절 기술 등을 고려하여 적절한 요인 및 범위를 제시하는 것이 합리적이다. 친환경 요인 경쟁력 강화와는 상대적으로 거리가 있다.

그림 2에서 저비용/다수확/고품질이 공통부분이 가장 이상적이라고 할 수 있다. 국내 경쟁력에서는 저비용과 다수확은 매우 중요한 요인이 될 수 있으나, 국제 경쟁력 강화를 위해서는 저비용과 일정 수량 이상에서의 고품질 확보라고 할 수 있다. 저비용과 고품질을 가능하게 하는 생산 및 환경조절 기술에 관하여 조사 및 적용이 필요하다.

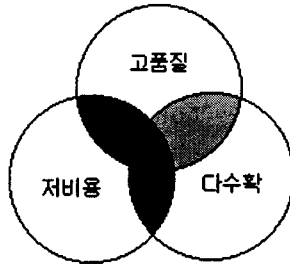


그림 2. 시설원에 생산의 효율성에 관련된 요인

4. 생산 및 환경조절 기술의 수준

가. 기술 수준에 따른 비용과 효과와의 관계

기술적 수준을 3가지로 그림 3과 같이 개념적으로 분류할 수 있다. 먼저, 비용에 대한 효과 (품질)의 비가 높은 것을 고급 기술, 보통인 것을 중급 기술, 낮은 것을 저급 기술이라고 하자. 고급 기술일수록, 최초 일정 품질에 도달하는 데 소요되는 비용이 상대적으로 낮지만, 품질의 특성상 요구하는 수준이 매우 높아질수록 비용의 차이가 줄게 된다. 즉, 적정 기술과 적정 품질의 설정이 매우 중요하다.

또한, 적정 품질 범위 내에서 고급 기술을 사용할 경우, A → A'에 소요되는 비용이 낮은 반면, 상대적으로 낮은 기술을 경우, B → B'에 사용되는 비용은 상대적으로 높게 된다. 즉, 기술 수준이 내려 갈수록 품질 향상에 필요한 비용은 점점 크게 된다. 극단적으로 저비용과 고품질의 조합기술을 이용할 경우에 일정 이상의 비용이 발생하더라도, 별도의 저비용 기술을 도입하면 비용 상승을 억제할 수 있다. 예를 들면, 고품질 생산을 위한 고도의 환경제어기술 및 농자재 도입을 첨단 유리온실이 아닌 일반 비닐온실에 적용하는 것을 생각할 수 있다.

나. 과학 영농을 위한 기초 이론과 응용 기술의 접목

시설원예는 과학영농 및 경영계획을 기반으로 하는 분야이다. 즉, 과거의 경험적 지식도 중요하지만, 합리적인 경영과 과학적인 생산기술

을 통하여 생산성을 극대화 할 수 있는 분야이다. 과학영농을 위해서는 경험적 지식도 중요하지만, 환경생리학에 근거한 재배이론과 환경조절에 관련된 기초 이론의 이해가 필요하며, 온실구조, 재배방법 및 생산시스템에 관련된 응용 기술 (경제적 관점 포함)과의 접목이 필요하다.

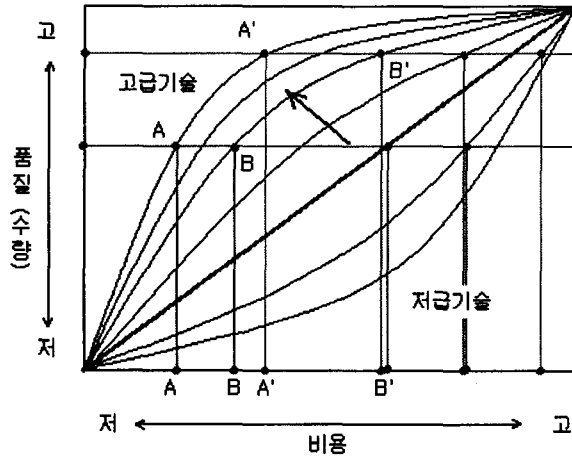


그림 3. 기술 수준에 따른 비용과 효과 (품질)과의 관계

예를 들면, 온실의 외형보다는 재배 생리에 근거한 환경조절기술 및 생산시스템의 도입이 중요하다 (그림 4.)

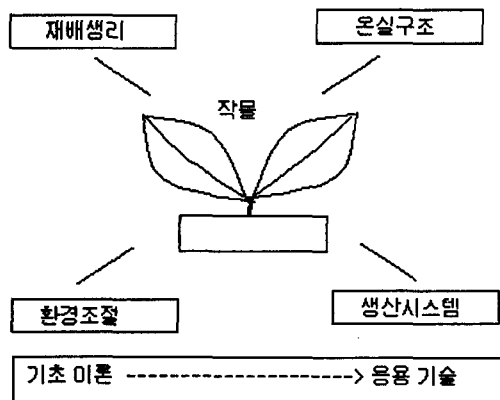


그림 4. 기초 이론과 응용 기술의 접목

다. 각종 생산 및 환경조절 기술의 사례

1) 생산비 절감기술: 적정 작목 및 품종 선택, 파종/육묘/정식 방법 개선, 관수 및 시비 방법 개선, 병충해 방제방법 개선, 에너지 절약형 온실 형태, 온실 보온 및 난방방법 개선, 생산시스템 개선, 자연에너지 이용기술, 최적화 환경조절방법 등

2) 고품질 생산기술: DIF 기술, 양액관리시스템, 하절기 냉방, 생육 모델링 기술, 공장형 식물생상 방식, 수확전 과채류 당도관리, 생육단계 별 지상부/지하부 환경제어, 분화생산자동화시스템 등

3) 생산비 절감 + 고품질 생산기술: 변온관리기술, 지중난방기술,

(많은 연구가 필요한 부분)

5. 식물생산을 위한 환경조절의 기본 원칙

환경조절은 궁극적으로 최적화 원리에 지배를 받는다. 즉, 최종 목적의 달성을 위한 최소 비용의 이용에 근거하며, 이를 위하여 투입되는 비용이 상대적으로 낮은 환경요인을 최대한 활용한 후, 부족한 부분은 제어비용이 높은 환경요인으로부터 보충해 나가는 방법을 말한다.

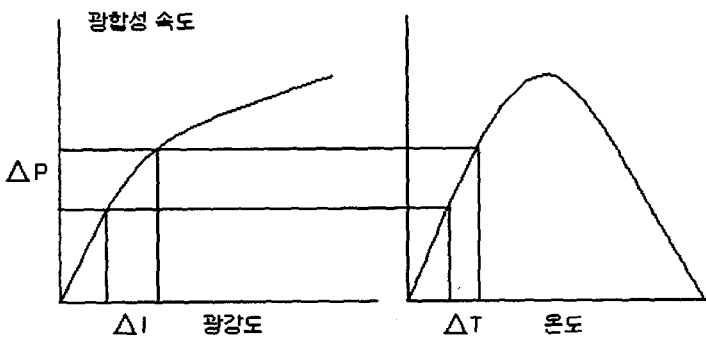


그림 4. 동일한 광합성 속도 향상을 위하여 필요로 되는 탄산가스와의 광량.

예를 들면, 현재의 환경조건에서 동일한 광합성 속도를 향상시키기

위하여 탄산가스와 광을 처리하고자 할 경우, 보다 경제적인 요인을 선택할 수 있다. 즉 광합성속도의 증가분(ΔP)에 대하여 광의 증가분(ΔI) 또는 온도의 증가분(ΔT)이 필요하다면 이러한 환경요인의 증가분을 만족시키는 데 필요한 투입에너지를 비교하여 상대적으로 작은 쪽을 택할 수 있다 (그림 4). 따라서 이와 같은 원칙을 시설원예 생산에 관련된 생산 및 환경조절에 적용한다면 저비용과 고효율의 개념을 도입한 과학 영농이 가능할 수 있다.

6. 생산 및 환경조절 기술 향상 방안 (예)

가. 시설원예에 필요한 기초 이론

1) 습공기선도 사용: 습공기선도는 온실내 다양한 온습도 등의 환경요인의 거동을 분석할 수 있는 수단이다.

2) 난방부하 계산: 온실의 경영에 결정적으로 영향을 주는 난방량 및 난방비 추정에 사용되는 내용으로 경제적 평가에 필수적인 내용이다.

3) 분무냉방량 계산: 하절기 온실의 운영을 위해서는 분무냉방은 필수적이다. 환경조건에 대하여 적정 분무량 및 냉각온도를 추정할 수 있는 방법이다.

4) 환경생리(재배): 작물의 적정/한계 온도 등을 사전에 파악함으로써 생육과 품질 향상에 기여할 수 있다.

5) 작물모델 구성 방법 환경요인 대한 재배 작물의 생육 반응을 모델화함으로써 환경조절 및 생육예측의 기초 자료로 사용한다.

6) 기타, 비용절감, 수량 및 품질 향상에 필요한 기초 이론 등

나. 시설원예에 필요한 응용 기술

1) 지역적 특성을 고려한 난방비용의 절감 기술

온실의 유지비용의 절감을 위해서 가장 고려할 점은 난방비용이다. 재배 작물의 생리적 특성을 고려하여 적절한 위치 선정을 함으로써 비용을 절감할 수 있다.

가) 난방 필요열량(Q) 계산

대체로 온실의 표면적과 내외 기온 차에 비례한다. 난방량 계산식에 관련된 각 변수에 영향을 주는 내용은 다음과 같다.

(1) 난방량 계산식

$$Q = U(\theta_i - \theta_o)A$$

(2) 난방량 계산식의 각 변수의 의미

A: 온실의 표면적(m²)

온실의 크기가 증가하면 표면적이 증가한다.

U: 난방부하계수(kcal/m²/hr°C)

피복재 종류에 따라서 값이 크게 상이하다.

내부 커텐수가 증가하면 난방부하계수는 감소한다.

θ_i : 실내 설정기온(°C)

계절에 적합한 작부체계를 도입할 수 있다.

작물의 종류에 따른 최적 온도(적정-한계)를 도입한다.

θ_o : 실외기온(°C)

온실의 설치 지역의 온도(설계온도)를 사용한다.

나) 동일 작물을 재배할 경우의 지역별 난방량 비교

(1) 설계 외기온: 강릉 -11°C, 수원 -16°C

(2) 설계 내기온: 5°C (토마토)

(3) 최대 난방부하비

$$\frac{Q_{\text{수원}}}{Q_{\text{강릉}}} = \frac{(\theta_i - \theta_{o(\text{수원})})}{(\theta_i - \theta_{o(\text{강릉})})} = 1.3 \text{ (난방기 용량) } 30\% \text{ 증가}$$

(4) 기간 난방부하비

$$\frac{\sum Q_{\text{수원}}}{\sum Q_{\text{강릉}}} = 1.7 \text{ (11월 - 3월의 기름소모량) } 70\% \text{ 증가}$$

다) 동일 지역에서 작물을 재배할 경우의 작물별 난방량 비교

(1) 설계 내기온: 5°C (토마토), 10°C(오이)

(2) 최대 난방부하비

$$\frac{Q_{\text{오이}}}{Q_{\text{토마토}}} = \frac{(\theta_i - \theta_{\alpha(\text{오이})})}{(\theta_i - \theta_{\alpha(\text{토마토})})} = 1.23 \text{ (난방기 용량) } 23\% \text{ 증가}$$

(3) 기간 난방부하비

$$\frac{\sum Q_{\text{오이}}}{\sum Q_{\text{토마토}}} = 1.8 \text{ (11월 - 3월의 기름소모량) } 80\% \text{ 증가}$$

2) 변온관리기법을 이용한 비용 절감 및 품질 향상 기술

시설원예에서 작물의 품질향상 및 수량의 증대를 위하여 가장 중요한 부분은 최적 생육환경제어이다. 변온관리를 통한 환경제어방법은 난방비 절감, 품질향상 및 수량증대가 가능하다.

가) 광합성 촉진온도: 일출 후 조기가온(1-2시간)

나) 전류촉진온도: 일몰 후 4-5 시간정도 전류를 촉진시킴

다) 호흡억제온도: 전류 후 호흡에 의한 소모 방지 (최저 한계온도 이상)

3) 가변형 커텐에 의한 난방비 절감 기술

가) 내부 커텐 이동

(1) 주간에는 내부 커텐 상승

- 커텐을 양쪽으로 이동 -> 환기 상태를 양호하게 함

(2) 야간에는 내부 커텐 하강

- 난방/보온 공간 감소 -> 난방부하를 감소시킴

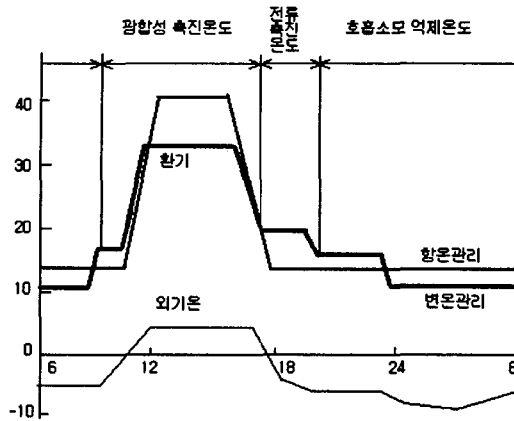


그림 5. 향온관리와 변온관리 의 비교

나) 난방량 절감 효과

- (1) 2중 커튼 효과 및 표면적 감소 -> 열손실량을 감소시킴
- (2) (예) 내부 난방 공간 1/2 정도 감소 -> 난방량 대략 1/2 절감 가능

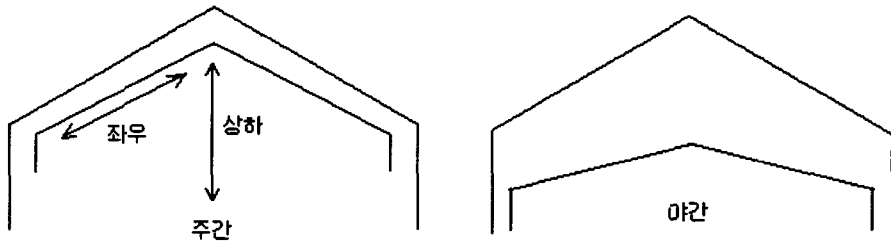


그림 7. 가변형 커튼을 이용한 난방비 절감

4) 기타 환경조절 기술

가) 지붕개방형 온실: 온실의 형태 보다는 하절기 환기 효율을 극대화하기 위하여 개발된 실리형 온실. 환기를 명분으로 풍속에 따른 천창 구조 문제가 중요하다.

나) 중국형 일광온실: 온실의 형태보다는 동절기 보온효율을 극대화하기 위하여 개발된 실리형 온실. 보온을 명분으로 환기불량에 따른

환경문제가 중요하다.

다) 시설원예 정보화: 환경측정 항목을 표준화하여 중앙에서 인터넷으로 개개 온실의 환경조건을 감시 및 제어할 수 있으며, 생산성 예측 등이 가능하며, 문제점에 대한 대책도 제공 가능하다. 유통체계와 연결되어 적정 작물과 출하시기 등의 조정이 가능하다.

라) 기타, 비용절감, 수량 및 품질 향상에 필요한 응용 기술 등

6. 결론

국내의 침체된 시설원예 분야를 성화시키기 위해서는 저비용 고효율 개념의 시설원예로 전환이 요구된다. 환경조절 최적화 개념에 근거하여 형식이 아니라 실리를 추구할 수 있는 시설원예 방식이 필요하다. 비용 절감 및 고품질 생산은 필수적이며, 실제적인 수준 및 범위는 국내 생산기술의 수준, 농자재 산업 규모, 주변국가와의 상황을 고려한 뒤, 적절한 판단 기준에 근거할 필요가 있다. 경험적인 지식도 중요하지만, 실제로 시설원예 생산에 관련된 기초이론의 습득과 이를 현장에 적용하는 응용기술에의 접목이 필요하다.

기존의 시설원예 생산 및 환경조절에 관련된 이론과 기술의 적절하고 정확한 사용, 생산 현장에서의 문제점 파악, 개선을 위한 기술 수준의 향상은 저비용/고효율(고품질) 성취에 반드시 필요한 부분이다. 현 시점에서 하나의 기술만으로 경쟁력을 강화할 수는 없으며, 시설원예 생산에 관련되는 전체 부분에 대하여 개개 기술과 조합기술을 분석하여 체계적으로 도입하는 방법만이 비용 절감 및 고효율 생산을 유도할 수 있다. 이러한 것은 전 세계적인 추세이며, 또한 생산체계의 정보화는 생산과 유통을 연결시키며 더욱 효율성을 향상시킬 것으로 생각된다..

참고문헌

권영삼. 1997. 난방에너지 절감기술과 대응방안. “시설원에 난방에너지 절감기술”

 심포지엄. 한국시설원예연구회.

김광용. 1998. 시설원예작물의 생산비 절감기술. “시설원에 생산비용 절감기술”

 심포지엄. 생물환경조절학회-한국시설원예연구회.

김병률. 2001. 시설원예산업의 정책방향. 생물환경조절학회 논문집.

 생물환경조절학회.

손정익. 1994. 원예시설의 환경설계 및 환경제어. 생물생산시설환경 3(1): 72-81.

손정익. 1998. 저비용 고효율 경량 온실의 개념과 접근방법. “원예농업 경쟁력

 제고를 위한 절약형 첨단원예농업의 실천“ 심포지엄. 농협중앙회.

손정익. 2001. 식물환경조절에 관련된 한국의 최신 연구동향. 중국농업 대학

 (unpublished).

손정익. 2002. 한국의 시설원예 생산 현황과 전망. “동아시아의 시설원예 생산현황

 과 전망” 국제심포지엄. 일본원예학회.

이종규. 1998. 서울대학교 최고농업경영자과정 졸업논문.

일본시설원예협회. 1997. 최신 시설원예의 환경조절기술. 성문당신광사.