

싱글트러스 토마토 생산시스템의 국내 적용을 위한 생산성 분석¹⁾

이현우* · K. C. Ting¹ · 이석건
경북대학교 농업토목공학과, ¹Rutgers University, USA

Productivity Analysis of Single Truss Tomato Production System for Korean Locations

Lee, Hyun-Woo* · Ting, Kuan-Chong¹ · Lee, Suk-Gun
Dept. of Agri. Eng., Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
¹Department of Bioresource Engineering, Rutgers University, NJ 08903, USA

Abstract

Tomato yield and harvest date were analyzed to examine the productivity of Single Truss Tomato Production System(STTPS) for four regions in Korea. It was found that the solar radiation was not sufficient to get the maximum tomato yield during the low light seasons. The difference of total annual yield between Suwon and Jinju regions was about $12\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$. These results indicate that supplemental lights are needed to increase the yield. The availability of natural light should be considered in deciding the locations of tomato greenhouses. The harvest date could be adjusted by using supplemental lighting. The development and implementation of the lighting control strategies are required for reducing electricity expense.

주제어 : 모델링, 수확량, 수확일, 인공광

Key words : Modeling, Yield, Harvest date, Artificial lighting

* Corresponding author

¹⁾ 본 논문은 1997년도 NICEM 해외훈련지원사업에 의해 수행되었음.

서 론

온실의 환경조절시스템은 3가지 단계로 구분할 수 있다. 첫 단계는 작물의 생장유지를 위한 온실의 환경조절이고, 둘째는 식물의 생장을 최적화 하기 위하여 시간대별 식물의 생장정도와 환경요소들을 기초로 첫 단계의 환경조절인자들을 조절하는 것이다. 세 번째 단계는 외부인자들에 의해 영향을 받는 단계로 연중 생산성과 이윤을 최적화하기 위하여 앞의 두 단계를 조절하는 것이다(Giniger et al., 1988). 세 번째 단계를 효과적으로 수행하기 위해서는 판매와 온실운영의 상호관계가 우선적으로 이해되어야 하며, 이들은 온실의 설계, 운영 및 관리에 중요한 자료가 된다(McAvoy et al., 1989). 균일한 고품질의 농산물을 지속적으로 생산하여 최대의 이익을 올리기 위해서는 자연환경, 작물의 생장단계, 생산비용 및 농산물 가격 등을 고려하여 생산시기와 생산량을 조절할 수 있는 생산시스템의 개발이 필수적이다.

토마토의 생산관리에 영향을 주는 중요한 외부요인은 판매이며, 계획된 생산일정에 따라 토마토를 지속적으로 공급하는 능력을 향상시키는 것이 곧 판매능력을 향상시키는 것이다. 토마토의 수확시기와 수확량은 모델링에 의해 예측될 수 있다(Challa, 1985).

현재 이용되고 있는 관행의 시설토마토 재배방법은 유지관리가 힘들고 온실 공간의 이용률이 낮으며, 작업환경이 좋지 않아 작업효율이 크게 떨어지고 생산 자동화 시설의 도입에 어려움이 있다.

이러한 비효율성을 개선하기 위하여 토마토의 새로운 재배방법들이 개발되고 있으며, 새로운 시스템 개발의 기본 개념은 온실을 식물공장으로 전환하여 더 좋은 작업환경을 제공하고 작업효율을 높이는 것이다. 현재 성공적으로 개발 중에 있는 방법이 싱글트러스토마토생산시스템

(Single Truss Tomato Production System, STTPS)이다. 관행의 방법에 비해 작물의 크기가 작기 때문에 다루기가 쉽고, ebb-flood hydroponics 시스템을 갖춘 이동식벤치를 이용하여 작업환경을 개선할 수 있어 작업효율이 높아져 생산성이 향상된다. 또한, 높은 재식밀도와 이동벤치 시스템의 이용으로 온실의 공간 이용률을 향상시킬 수 있다(Giacomeli et al., 1993; Matthew, 1995).

이 시스템의 보다 큰 장점은 인공광 및 자동화 시스템의 도입으로 지속적인 생산이 가능하고 생산 일정을 예측 및 제어할 수 있다는 것이다. 토마토의 생장기간은 생산계획을 수립할 때 고려되어야 할 중요한 요소이다. 그러므로 싱글트러스토마토생산시스템을 효율적으로 관리하기 위하여 토마토의 재배에 필요한 광량, 생장기간 및 수확량의 관계에 대한 생장모델이 개발되었다. 이 토마토 재배시스템에서는 1년 동안에 토마토가 여러 번 생산되기 때문에 생산계획이 복잡하여 효율적인 생산관리가 요구된다. 따라서 시스템을 적용하기 이전에 효율적인 생산관리가 이루어 질 수 있도록 모델링을 이용하여 지역특성에 따라 생산성을 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 싱글트러스토마토시스템을 국내에 도입하여 효율적으로 생산관리를 하는데 필요한 자료를 제공하기 위하여 기존의 모델을 이용하여 지역별로 수확량, 수확시기를 예측하고 효율적인 생산관리 가능성을 분석하였다.

재료 및 방법

1. 작물생장 모델

싱글트러스토마토생산시스템은 재식밀도가 높고 한번의 수확 후에는 모든 줄기는 버리는 재배방법이다. Table 1은 토마토의 생장단계별로 소요되는 일수를 나타낸 것으로 생장단계는 1단계인 플러그 단계와

2단계인 이식에서 재식밀도 조정시 까지의 단계, 3단계인 재식밀도 조정에서 개화기까지의 단계 및 4단계인 개화기에서 최종 수확까지의 단계로 구분된다(McAvoy, 1988; Ting et al., 1993).

Table 1. Duration of cultural stage.

Stage	Duration(days)
1. Plugs	14
2. Transplant	14
3. Spacing	17-37
4. Production	56

3단계까지의 성장기간 동안 토마토에 주어지는 광합성유효복사량(Photosynthetically active radiation, PAR)은 개화하는데 필요한 일수와 상관관계가 있으며, 그 관계식은 다음과 같다(Ting et al., 1993).

$$D = 93 - 0.049X \quad r^2 = 0.75 \dots\dots(1)$$

여기서, D=개화기까지의 일수(days), X=정식에서 개화기까지의 성장기간 동안 주어지는 PAR의 량($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$)이며, 이 관계는 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 정식에서 개화기까지의 일수가 45일~65일 범위에서 적용이 가능하다. 따라서, 이 모델에 따른 수확시기의 조절 가능한 최대일수는 20일이다.

생산단계는 수분, 결실 및 숙성의 과정이며, 보통 숙성열매는 PAR의 량에 관계없이 결실 후 45일이 경과하면 수확한다. 그러나 이 기간 동안의 총 PAR의 량은 열매의 중량에 영향을 주기 때문에 결국 총 수확량에 영향을 주게 된다. 토마토의 생산량은 4단계 즉 생산단계 동안에 주어지는 총 PAR의 량과 상관관계가 있으며 그 관계식은 다음과 같다(Ting et al., 1993).

$$Y = 0.82X - 194 \quad r^2 = 0.90 \dots\dots(2)$$

여기서, Y=생산량($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$), X=생산단계 동안에 주어지는 PAR의 량($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$)이며,

이 관계는 생산단계 동안에 토마토에 주어지는 PAR의 량이 $400 \sim 1200 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$ 인 범위에서 적용이 가능하다. 따라서, 이 모델에 따른 최대 가능 생산량은 $790 \text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ 이다.

2. 기상자료

지역별로 수확량, 수확시기를 분석하기 위하여 위도에 따른 대표지역 즉 수원, 청주, 대구 및 진주지역을 선정하였으며, 1997년도 월평균 일사량을 입력자료로 사용하였다(기상청, 1997).

3. PAR 및 광투과율

수확량 및 수확시기 산정에 필요한 PAR의 량과 일사량의 상관관계는 다음 식과 같다(Ting and Giacomelli, 1987).

$$X = 2.0804Y \quad r^2 = 0.9991 \dots\dots\dots(3)$$

여기서, X=PAR($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$), Y=일사량($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)이다.

재배온실내의 수관 위치에서의 광투과율은 유리온실로 가정하여 0.56으로 하였다(Giacomelli and Roberts, 1993).

4. 프로그램 및 입력자료

계산은 미국 Rutgers대학에서 개발된 소프트웨어인 'TOMATO'를 사용하여 수행하였다(Ting et al., 1993). Table 2는 주요 입력자료를 나타낸 것으로 1,000평의 면적에 4단계인 생산단계의 작물만 재배하는 것으로 가정하였으며, 여유 공간이 없이 전체 면적에서 작물이 재배되는 것으로 가정하였다. 수확은 2주에 1회씩 1년에 26회 수확하는 것으로 가정하였다. 따라서 재배온실을 4블록으로 나누었다.

Table 2. Input data.

Greenhouse area	Number of harvest	Number of block	First harvest day
3,306 m ²	26 year ⁻¹	4	July 1

결과 및 고찰

1. 수확량

Fig. 1은 4개의 지역에서 수확시기에 따른 수확량을 나타낸 것이다. 예측할 수 있는 바와 같이 진주지역의 수확량이 가장 많고 수원지역이 가장 적었으며, 그 차이는 10월경에 250g · plant⁻¹로 가장 크게 나타났다. 본 연구에서 적용한 모델에서 수확가능한 최대량이 790g · plant⁻¹임을 고려하면 4개의 지역모두 겨울철에 인공광

을 이용하여 생산량을 늘일 수 있는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 월별 총수확량을 도시한 것이다. 7월과 12월에는 수확회수가 3회이며 나머지 달에는 2회이다. 수원지역이 다른 지역에 비하여 토마토의 수확량이 크게 떨어지며, 수원지역과 진주지역의 연간 총수확량의 차이는 약 12kg · m⁻²인 것으로 나타났다. 따라서, 토마토 온실의 설치 계획시 지역의 자연광 특성을 고려하여야 할 것으로 판단되었다.

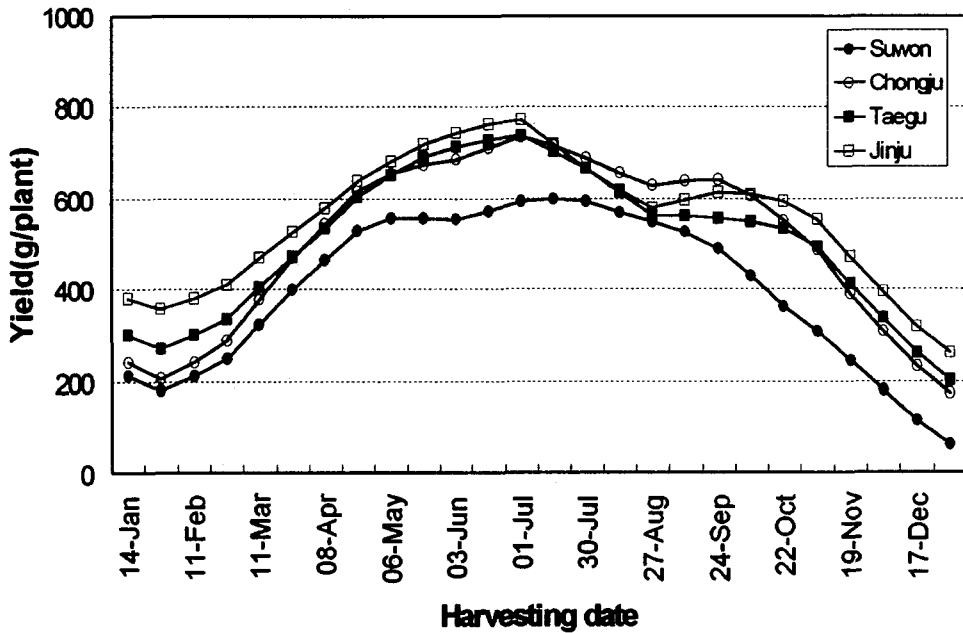


Fig. 1. Yield per plant for each harvest date.

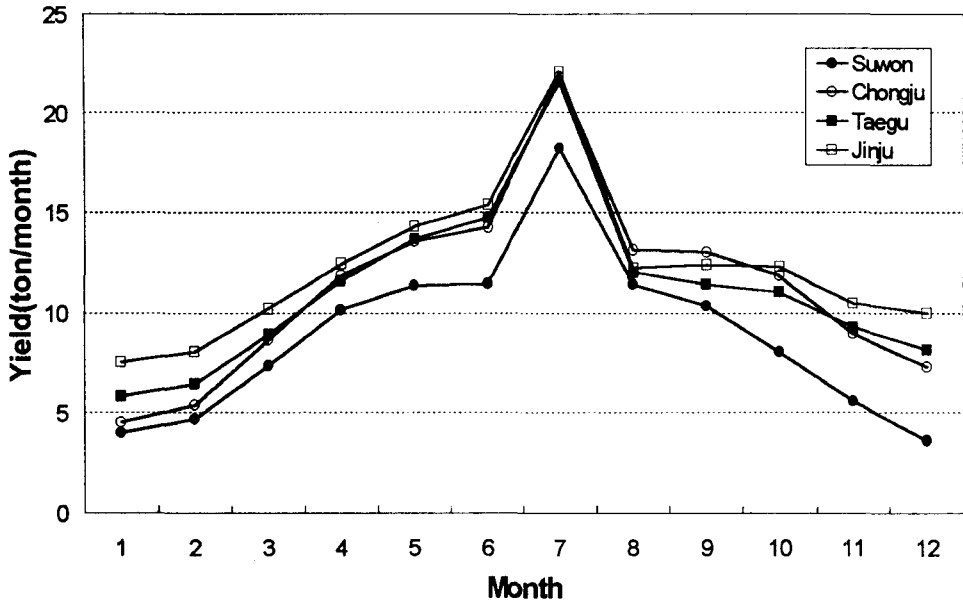


Fig. 2. Total yield per month.

2. 수확일

수확일에 수확을 하기 위하여 정식해야 할

Table 3은 각 지역별로 2주 간격의 정해진

날짜를 올리우스력으로 나타낸 것이다.

Table 3. Seeding date for each harvest date in julian days.

Harvesting date	Suwon	Chongju	Taegu	Jinju	Harvesting date	Suwon	Chongju	Taegu	Jinju
Jan. 14	252	257	258	260	Jul. 16	81	85	85	86
Jan. 28	263	268	269	271	Jul. 30	95	99	99	100
Feb. 11	277	280	281	283	Aug. 13	109	113	114	115
Feb. 25	291	291	291	294	Aug. 27	124	128	128	129
Mar. 11	305	305	305	309	Sep. 10	138	142	141	141
Mar. 25	319	319	319	324	Sep. 24	152	154	154	154
Apr. 8	333	333	336	340	Oct. 8	165	167	166	166
Apr. 22	347	351	353	356	Oct. 22	179	181	179	180
May. 6	1	3	5	7	Nov. 5	192	195	193	194
May. 20	18	21	21	23	Nov. 19	205	209	207	209
Jun. 3	35	38	37	39	Dec. 3	217	222	221	222
Jun. 17	51	54	54	55	Dec. 17	228	234	234	236
Jun. 1	66	69	69	70	Dec. 31	240	247	247	249

Table 3에서 볼 수 있는 바와 같이 진주지역과 수원지역에서 동일한 날짜에 수확을 하고자 하는 경우 수원지역에서의 정식이 진주지역에 비해서 여름철에는 4~5일 정도, 겨울철에는 8~9일 정도 빠르게 이루어져야 하는 것으로 나타났다. 이러한 자료를 이용하여 미리 정해진 날짜에 정식을 실시하여 원하는 일자에 수확이 가능하도록 할 수 있으나, 기상이 항상 일정하지는 않기 때문에 정확한 날짜에 수확을 하기 위해서는 인위적인 광량 조절을 위한 인공광의 설비와 PAR의 계측 및 제어설비가 추가로 필요하다.

Fig. 3은 인공광을 이용하여 수확을 앞당길 수 있는 지역별 최대일수를 나타낸 것이다. 진주지역을 제외한 나머지 지역들에서는 겨울철에 수확시기의 조절이 가능한 최대일수인 20일까지 수확시기를 앞당길 수 있는 것으로 나타났으며, 인공광을 이용하여 광량을 조절하면 20일 범위 내에서 수확시기를 조절할 수 있다. 또한, 여름철에는 수원지역을 제외한 나머지 지역에서 수확시기를 앞당기는 것은 불가능하나 차광 등에 의한 수확시기의 연장은 가능할 것으로 판단된다.

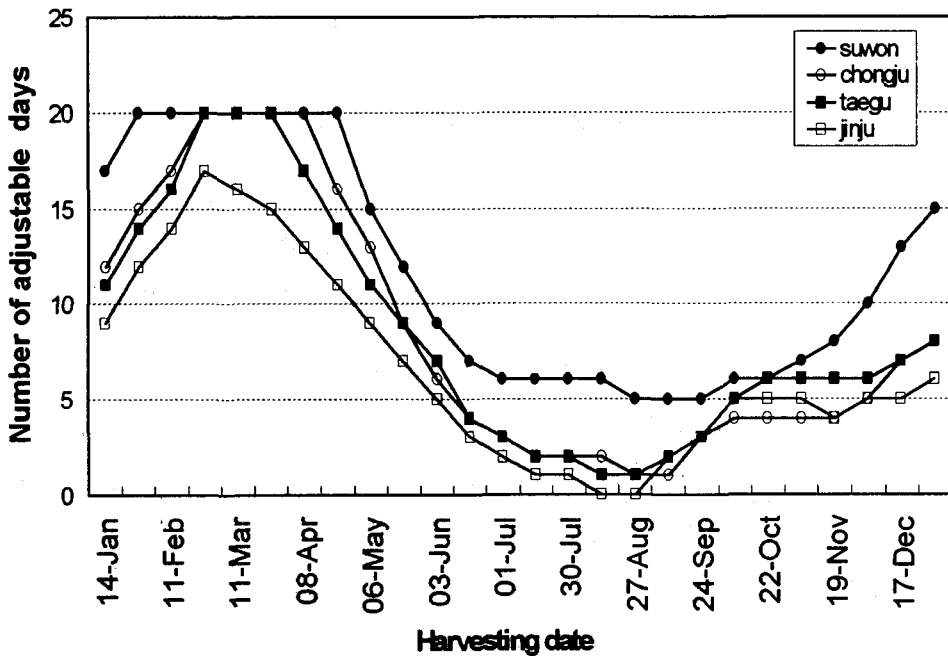


Fig. 3. Number of maximum days for adjusting harvest date.

3. 최대수확에 필요한 인공광량

Fig. 4는 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 인공광을 사용할 경우 최대수확량을 얻는데 필요한 지역별 조광시간을 나타낸 것으로, 이러한 자료들은 장기간의 인공광의 관리전략

을 개발하는데 참고자료로 활용될 수 있을 것이다. 일장도 생산량에 영향을 줄 수 있기 때문에 이들에 대한 영향을 고려하여 인공광의 용량을 지역별로 결정할 필요가 있다. 또한, 인공광의 사용에는 많은 경비가 소요되기 때문에 경제성 검토도 추가적으로 필요하다.

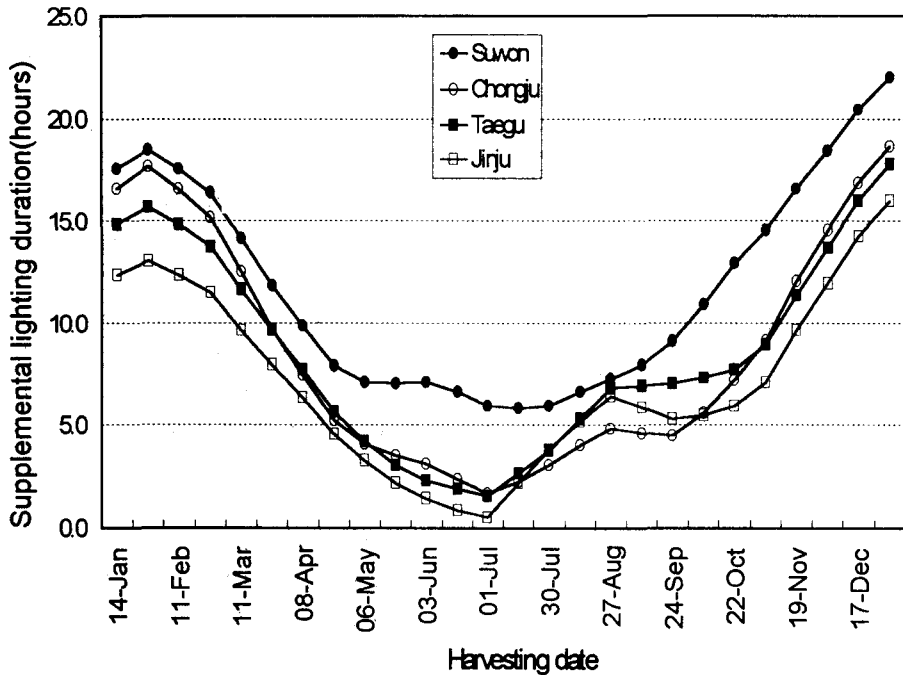


Fig. 4 Supplemental lighting duration for the maximum harvest.

적 요

싱글트러스토마토시스템을 국내에 도입하여 효율적으로 생산관리를 하는데 필요한 자료를 제공하기 위하여 기존의 모델을 이용하여 지역별로 수확량, 수확시기를 예측하고 효율적인 생산관리 가능성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

우리 나라의 전지역이 겨울철에 최대수확 가능량을 달성하는데는 광량이 부족한 것으로 나타나 인공광을 이용한 생산량 증대가 가능할 것으로 판단되었다. 수원지역과 진주지역의 연간 총수확량의 차이가 $12\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 나타나 토마토 온실의 설치계획시 지역의 자연광 특성을 고려하여야 할 것으로 판단되었다.

지역과 계절에 따라 차이는 있으나 인공광을 이용하여 수확시기의 조절이 가능한 것으로 나타났다. 인공광의 이용에는 많은

경비가 소요되기 때문에 인공광의 용량을 지역에 따라 적절하게 결정할 수 있는 방법과 저렴한 심야전기를 가능하면 많이 이용할 수 있는 인공광의 제어전략 등에 관한 추가적인 연구가 요구된다.

인용문헌

1. 기상청. 1997. 기상월보.
2. Challa, H.. 1985. Report of the working party "crop growth models". ACTA Horticulturae 174:169-175.
3. Giacomelli, G.A., K.C. Ting and D.R. Mears. 1993. Design of a single truss tomato production system. New Jersey Agricultural Experimental Station Paper:1-8, Rutgers University. New Brunswick, New Jersey.

4. Giacomelli, G.A. and W.J. Roberts. 1993. Greenhouse covering systems. Submitted to horttechnology: 1-17. Rutgers University. New Brunswick, New Jersey.
5. Giniger, M.S., R.J. McAvoy, G.A. Giacomelli and H.W. Janes. 1988. Computer simulation of a single truss tomato cropping system. TRANSACTION of the ASAE 31(4):1176-1179.
6. Matthew W. H.. 1995. Adaptive control of supplemental lighting in a single truss tomato production system. M.S.Thesis, Rutgers University. New Brunswick, New Jersey.
7. McAvoy, R.J.. 1988. Development of a management strategy for a single truss tomato production system. Ph.D. Thesis, Rutgers University. New Brunswick, New Jersey.
8. McAvoy, R.J., H.W. Janes and G.A. Giacomelli. 1989. Development of a plant factory model. ACTA Horticulturae 248:85-94.
9. Ting, K.C. and G.A. Giacomelli. 1987. Availability of solar photosynthetically active radiation. TRANSACTION of the ASAE 30(5):1453-1457.
10. Ting, K.C., G.A. Giacomelli, and W. Fang. 1993. Decision support system for single truss tomato production. Proceeding XXV CIOSTA-CIGR V Congress:70-76.