

식물공장 발전방향 설정을 위한 정책 우선순위 도출

김연중¹, 한혜성¹, 김배성^{2*}

¹한국농촌경제연구원 자연환경연구부

²제주대학교 산업응용경제학과·아열대농업생명과학연구소

An Study on Priority Determining for Development Strategies of Plant Factory Using Analytic Hierarchy Process and Likert Scale

Yean-Jung Kim¹, Hye-Sung Han¹ and Bae-Sung Kim^{2*}

¹Dept. of Resource and Environment Research in Korea Rural Economic Institute

²Dept. of Industrial and Applied Economics in JeJu National University, Research Institute for Subtropical Agriculture and Animal Biotechnology

요 약 이 연구에서는 산·학·연 전문가들을 대상으로 향후 국내 식물공장 시스템의 활성화를 위한 발전방향의 우선 순위를 도출하고 부문별 중요도를 분석하였다. 분석결과에 따르면, 식물공장 발전을 위해서는 최우선적으로 경제성이 확보되어야 한다. 경제성을 확보하기 위해서는 계약재배에 의한 주년생산을 통해 판로확보와 출하시기 조절이 요구되며, 기술개발 R&D 부문에서는 LED, 형광등 등 광원 및 조명기술이 중요한 것으로 나타났다. 한편, 정책 및 제도개선 부문에서는 무엇보다 소비자 인식 전환이 이루어져야 하며 그 다음 설비 투자 지원정책이 뒷받침되어야 한다. 식물공장의 정착을 위해서는 전후방 산업을 중심으로 인프라가 구축되어야 하며 기술개발과 지원정책을 통해 설치운영비 절감이 이루어져야 한다.

Abstract This study was carried out to find prioritization and evaluation of importance factor for plant factory development direction. According to the results, experts have put profitability secure at the top of development of plant factory industry. It is urgently needed in economic sector that products from plants factory secure the market and adjust the shipping date through contract cultivation and year-round production. Also, illuminant technology is also important in technology development section and R&D. On the other hand, consumers do not yet fully understand the benefits of the plant factory, and this will lead to continued slow sales. Therefore, the government needs to draw up measures to support producers who cultivated agricultural products from plant factory.

Key Words : Analytic Hierarchy Process, Likert Scale, Plant Factory

1. 서론

식물공장은 기후변화에 대한 대응 리스크 관리 측면에서 그 필요성과 보급·확대의 중요성이 부각되고 있다. 우리나라는 1990년대부터 식물공장에 대한 연구개발이 시작되어 2009년 이후 국립연구기관, 대학, 지자체의 농

업기술원을 중심으로 연구개발이 진행되고 있다. 특히 2012년 정부와 지자체를 중심으로 투자와 프로젝트들이 추진되기 시작하였다. 현재 연구개발 단계에 있는 기업들은 40여개이며, 실제로 식물공장 관련 사업을 하고 있는 업체들은 9개 업체이며, 이 가운데 6개 업체들이 식물공장 관련 사업 뿐만 아니라 자사 공장에서 직접 제품을 생

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업 『인공광형 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구(과제번호: PJ907044052013)』의 지원에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Bae-Sung Kim(JeJu National Univ.)

Tel: +82-64-753-3353 email: bbskim@jejunu.ac.kr

Received October 25, 2013

Revised November 5, 2013

Accepted November 7, 2013

산 판매하고 있다[9]. 우리나라의 경우 식물공장 시스템은 아직은 미흡한 단계이지만 네덜란드, 일본 등 주요국들의 경우 식물공장의 시장성과 관련 기술, 인지도 등은 상당히 확대되어 있는 실정이다. 이 연구에서는 산학연 전문가들을 대상으로 향후 국내 식물공장 시스템의 활성화를 위한 발전방향의 우선순위를 도출하고 부문별 중요도를 분석하였다.

2. 연구방법

의사결정모형으로 사용되는 계층분석법은(AHP: Analytic Hierarchy Process)은 다계층구조에 있어서 이산적 또는 연속적 쌍대비교를 통해 비율척도를 이끌어 내는 데 이용 되는 이론이다. 이 분석은 하나의 결론에 도달하기 위하여 다수의 요인을 동시에 고려하고 상호 의존성과 피드백을 허용하고 수치적 상쇄(Trade off)를 고려함으로써 비선형의 의사결정의 틀을 제공한다[8]. AHP 분석 절차를 살펴보면, 1단계에서 의사결정 문제를 결정하고 최상위 단계(목표), 중간단계(기준), 최하위 단계(대안)로 설정하고 각 관련된 평가 대상들을 분류하여 의사결정 계층 구조가 설정된다. 그 다음 2단계에서 각 계층의 의사결정 요소들간의 쌍대비교를 실시하여 행렬을 작성한다. n개의 항목으로 구성된 계층에서 항목 i가 j에 대하여 얼마나 더 중요한지 결과를 a_{ij} 로 하여 다음과 같은 비교 행렬을 구할 수 있다[8].

[Table 1] Pairwise Comparison Matrix

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{33} \end{bmatrix}$$

Note: $a_{ij}=1/a_{ji}$, $a_{ii}=1$, $\forall i$.

[Table 2] Saaty's Discrete 9-value Scale

Intensity of Importance	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Strong importance
7	very strong or demonstrated importance
9	Extreme importance

Note: 2,4,6,8 for compromise between the above values.

이 때 원소 a_{ij} 는 항목 i j간의 가중치 비율을 뜻한다.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

제 3단계에서 고유벡터법을 이용하여 속성들간의 상대적 가중치(w)를 추정하는데, 가중치 벡터를 구하기 위해서 행렬 A의 고유벡터를 이용한다. 아래식에서 λ_{\max} 는 행렬 A의 가장 큰 고유치이며 이때 고유벡터 w를 구할 수 있다.

$$\sum_j^n a_{ij} \cdot w_j \cdot \frac{1}{w_i} = n$$

$$\sum_j^n a_{ij} \cdot w_j = n \cdot w_i$$

$$\hat{A} \cdot \hat{w} = \lambda_{\max} \cdot \hat{w}$$

한편, 쌍대 비교 시 발생할 수 있는 논리적 모순을 검증하기 위해서 일관성지수(Consistency index: CI), 일관성 비율(Consistency Ratio)을 이용해 일치성여부를 점검할 수 있다.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}, CR = \left(\frac{CI}{RI}\right) \times 100\%$$

Note: RI= Random index.

마지막, 제4, 5 단계에서는 여러 가지 대안들에 대한 종합 순위를 얻기 위하여 의사결정 요소들의 상대적 가중치를 종합화하고 이를 토대로 우선순위를 부여하여 평가한다. 쌍대비교의 가중치가 일관성이 있는지는 Saaty의 일관성 비율 (CR: Consistency Ratio)과 일관성 지수(CI: Consistency Index)를 이용하여 검증하는데 CI와 CR값이 0.1이하이면 논리적 신뢰성이 있다.

본 연구에서는 전문가 28명 대상으로 조사한 결과 중에서 통계적 신뢰성 있는 12명을 대상으로 분석하였다.

한편 식물공장 발전방향에 대해 세부 항목별로 총화평점법(Lickert's Scale)으로 분석하여 분야별 중요도를 비교 평가하였다. 총화평점법은 여러개의 문항으로 응답자 태도를 측정하고 해당 항목에 대한 측정치를 합산하여 평가 대상자의 태도를 점수화 시키는 방법으로 본 연구에서는 전문가 28명 의견을 취합 분석하였다.

3. 연구결과

3.1 식물공장 우선순위 산정

분석결과, 종합적인 전략 분석에서는 예상대로 경제성

확보가 가장 시급하며, 그 다음 기술 개발(R&D)이 필요하다고 나타났다. 반면 제도 및 정책 개선에 대한 의견은 상대적으로 낮았다. 전문가 집단을 기술과 경제 분야 전문가로 나누어 비교하면 종합적인 전략기준 설정에서는 큰 이견을 보이지 않았다.

식물공장의 경제성 확보하기 위해서는 제일 먼저 운영비 절감 및 소득증대가 가장 필요한 것으로 나타났으며, 그 다음 시공비의 절감과 생산성 및 품질향상이 이루어져야 한다는 의견이 있었다.

[Table 3] Application of the AHP to prioritise the advance of Plant Factory for general criteria.

	whole specialists	experts of technique section	experts of economic fields
Technical development	0.35	0.35	0.35
Profitability secure	0.52	0.50	0.55
Reforming programs and related system for plant factory	0.13	0.16	0.11

Note: $\lambda_{max} = 3.027$, CI = 0.014, CR = 0.015. (whole specialists)
 Source: Korea Rural Economic Institute. specialist questionnaire survey(2012.10).

하지만, 전문가 그룹별로는 다소 차이가 있었는데 경제 분야 전문가의 경우 운영비 절감 및 소득증대, 시공비 절감, 판로 확보 및 출하시기 조절 순으로 우선순위를 제시한 반면에, 기술 분야 전문가 집단은 생산성 및 품질향상이 가장 우선적으로 선행되어야 한다고 나타났다.

[Table 4] Application of the AHP to prioritise the advance of Plant Factory for secondary sub criteria: Economic Sector

	whole specialists	experts of technique section	experts of economic fields
Reduction of Construction Cost	0.25	0.18	0.31
Production and Quality Improvement	0.22	0.37	0.12
Secure the market and adjust the shipping date	0.19	0.16	0.19
Reduce operating expenses and increase of the income.	0.34	0.28	0.38

Note: $\lambda_{max} = 4.033$, CI = 0.011, CR = 0.012. (whole specialists)
 Source: Korea Rural Economic Institute. specialist questionnaire survey(2012.10).

기술 개발부문에서는 작물재배 기술이 가장 중요한 것으로 나타난 반면 양액제어 기술은 중요도가 가장 낮았다. 기술분야 전문가 그룹은 광원 및 조명기술 개발이 최우선으로 이루어져야 한다는 의견이 지배적이었으나 경제분야 전문가 그룹은 작물 재배 기술이 최우선적으로 개발되어야 한다고 답변하였다.

[Table 5] Application of the AHP to prioritise the advance of plant factory for secondary sub criteria: R&D Sector.

	whole specialists	experts of technique section	experts of economic fields
Technology of grow crops	0.31	0.25	0.37
Technology of illuminant	0.28	0.32	0.24
Technology of aqueous solution control	0.13	0.15	0.11
Technology of environmental control	0.28	0.27	0.29

Note: $\lambda_{max} = 4.016$, CI = 0.005, CR = 0.006. (whole specialists)
 Source: Korea Rural Economic Institute. specialist questionnaire survey(2012.10).

정책 및 제도 개선방안에서는 초기 투자비 지원이 압도적으로 중요한 문제로 지적되었으며, 그 다음 식물공장 관련 법, 제도 정비 및 완화가 필요한 것으로 나타났다. 상대적으로 식품의 안전성 및 효능표시 제도는 식물공장 발전에 대한 중요도에서 가장 낮았다. 제도 및 정책개선 방안에서는 전문가 그룹간에 가중치의 차이는 있지만 동일한 결과가 도출되었다.

[Table 6] Application of the AHP to prioritise the advance of Plant Factory for secondary sub criteria: Policy Sector

	whole specialists	experts of technique section	experts of economic fields
Mitigation Policies and related systems for plant factory	0.27	0.31	0.24
Support the initial cost of plant factory	0.58	0.50	0.65
Necessity for Food Labeling	0.15	0.19	0.12

Note: $\lambda_{max} = 3.000$, CI = 0.000, CR = 0.000. (whole specialists)
 Source: Korea Rural Economic Institute. specialist questionnaire survey(2012.10).

이처럼 식물공장 전문가 AHP결과에서 알 수 나타났듯이, 우리나라 식물공장이 확대되기 위해서는 초기 설치비중 운영비를 절감 할 수 있는 신재생에너지, 자동화 시설이 보편화 될 수 있도록 정부의 지원 및 정책이 수반되어야 한다. 그 다음 기술 개발을 통해 실용화 모델을 수립하고, 식물공장 시설의 저비용화 및 표준화를 위한 연구개발 투자를 확충할 필요가 있다.

3.2 Likert Scale을 이용한 식물공장 분야별 발전방향

3.2.1 경제성 분야

경제성 확보를 위한 분야별 중요도 평가에 따르면, 시공비 절감을 위해서는 광원관련(LED, 형광등) 기술개발을 통해 저가 시공이 가장 필요한 것으로 나타났다. 생산성 및 품질향상을 위해서는 조수익을 높이고, 감가상각비를 절감할 수 있도록 시설재배의 회전률을 향상시켜야 한다. 한편, 기술 분야 전문가 그룹의 경우, 품질 향상을 통해 판매단가가 높게 조성되어야 한다는 의견이 많았다.

판로 확보 및 출하시기 조절을 위해서는 우선 계약 재배를 통해 주년 생산이 정착될 수 있도록 여건을 조성하는 것이 필요한 것으로 나타났다. 운영비 절감 및 소득증대 방안에서는 고부가가치 작물 재배로 인한 소득창출이 가장 중요하다는 의견이 많았다. 전문가 그룹별로 차이를 보였는데 기술분야 전문가 그룹은 광열 및 동력비 절감을 위한 광원 선택 등 광 조절 자동화 구축이 가장 중요하다고 평가한 반면, 경제 전문가 그룹은 고부가가치 창출을 최우선으로 꼽았다.

[Table 7] Assessment Results of Profitability Secure by Using Five-point Scale

Reduction of Construction Cost	whole specialists	experts of technique section	experts of economic fields
Reduction cost of illuminant by R&D	4.50	4.67	4.38
Optimum Installation	4.11	4.33	3.94
Renovation plan for the existing facilities	3.39	3.33	3.44
Production and Quality Improvement			
Curtail the growth duration	4.14	4.08	4.19
Improvement of turnover ratio in greenhouse cultivation	4.39	4.50	4.31
Quality improvement and rise in price	4.36	4.33	4.38
Secure the market and adjust the shipping date			

Year-round production by contract cultivation	4.54	4.67	4.44
Provide a differentiated selling agency	4.18	4.17	4.19
Planned production by market estimation	4.14	4.08	4.19
Reduce operating expenses and increase of the income.			
Reduction of labor costs	3.89	3.75	4.00
Reduction of light, heat and power cost	4.39	4.42	4.38
Cultivation of a high-value crop	4.43	4.58	4.31
Whole average	4.21	4.24	4.18

Source: Korea Rural Economic Institute. specialist questionnaire survey(2012.10).

3.2.2 기술개발 R&D

한편 식물 재배 기술 분야에서는 파종, 육묘, 재배, 수확, 수확 후 관리기술이 가장 우선적으로 개발되어야 하는 것으로 나타났다.

광원 및 조명기술에서는 LED, 형광등, 고압나트륨등, 메탈할라이드 등 조명기술 개발의 중요도가 가장 높았다.

양액제어 분야에서는 문항별로 큰 편차는 없었지만 양액공급, 혼합, 여과, 살균 기술 및 시스템화 기술개발이 가장 중요하였다.

환경제어 분야에서 1순위는 온·습도, CO₂ 등 환경, 식물체측정기술 및 센서 개발, 2순위는 공기순환, 냉난방, 가습, 제습, 공조 기술로 나타났다. 기술 전문가 그룹의 경우 공기순환, 냉난방, 가습, 제습, 공조 기술 부문에 가장 높은 중요도를 부여하였다.

[Table 8] Assessment Results of Technical Development and R&D by Using Five-point Scale

	whole specialists	experts of technique section	experts of economic fields
Technology of grow crops			
Seed-time~post-harvest system	4.18	4.00	4.31
Promotion of functional materials and cultivation techniques of functional crops	4.04	4.00	4.06
Forecasting of occurrence and technology of biological control	3.32	3.83	2.94
Technology of illuminant			
Lighting technology (light emitting diode, fluorescent light, high-pressure sodium lamp, metalhalide lamp)	4.50	4.58	4.44

Arrangement of luminous source , optical combination	3.93	3.92	3.94
Protection against heat, cooling technology, the intensity of radiation and control technology of wavelength	3.96	3.75	4.13
Technology of aqueous solution control			
pH, EC, ionized component measuring technology, and sensor development	3.86	3.75	3.94
Growing bed, NFT, DFT, nutrient solution culture ect	3.79	3.83	3.75
Nutrien management, mixture, filtration, Sterilization technology and systematization	3.93	3.83	4.00
Technology of environmental control			
Intensity of radiation, light quality measuring technology and sensor development	3.86	4.33	3.50
Temperature-humidity, CO2 environment, ect, system of plant measuring technology and sensor development	4.18	4.50	3.94
Air circulation, air conditioning and heating, humidification, dehumidification, technology of automatic controls	4.14	3.83	4.38
diagnosis of trouble, warning technologies and remote control technology	3.68	3.58	3.75
Whole average	3.95	3.98	3.93

Source: Korea Rural Economic Institute. specialist questionnaire survey(2012.10).

3.2.3 정책제도

식물공장 관련 법, 제도 개선 부분에서는 식물공장 설립 시 건축기본법, 소방법, 공장 입지법 완화가 가장 중요하다고 나타났으며, 초기 투자비 지원과 관련해서는 정부 시설 현대화 사업으로 설비 초기 투자 지원 정책이 우선적으로 이루어져야 한다는 의견이 많았다.

끝으로 식품의 안전성 효능표시 제도 개선 방안에서는 무엇보다 소비자 인식 전환을 위한 홍보 활동이 강화되어야 하는 것으로 나타났다. 특히 전문 분야별로 차이가 있는데 경제 전문가 그룹은 기능성 및 효능 표시제도 도입에 가장 높은 점수를 책정했으며, 기술 전문가 그룹의 경우 식품의 안전성 검증과 관련된 GAP인증이 가장 중요하다고 답변하였다.

[Table 9] Assessment Results of Policy and System Improvement related Plant Ffactory

	whole specialists	experts of technique section	experts of economic fields
Mitigation Policies and related systems for plant factory			
Act on the Support of the plant factory	3.86	3.42	4.19
Appeasement policy of use of agricultural land	3.79	3.58	3.94
Framework act on building, the Fire services act, and appeasement policy of plan establishment of a factory	3.93	3.67	4.13
Support the initial cost of plant factory			
Support the investment of facilities and equipments by facility modernization projects	4.07	4.00	4.13
Cost-reduction of construction by promote special enterprise	3.86	3.83	3.88
Necessity for Food Labeling			
Change consumers' recognition	4.11	3.67	4.44
Obtain certification of GAP(good agricultural practice) for food safety	4.04	3.92	4.13
Functionality and System Indicating effect	4.04	4.00	4.06
Whole average	3.96	3.76	4.11

Source: Korea Rural Economic Institute. specialist questionnaire survey(2012.10).

4. 요약 및 결론

식물공장은 특수적 상황에 적합한 시설이므로 보편적인 사업의 활성화에는 많은 제약이 있기 때문에 관련 정책과 지원이 요구된다. 특히 식물공장도 농사의 한 부분이며, 단지 방법의 차이라는 인식이 형성되어야 한다. 이를 위해 식물공장의 위상 정립을 위해 농업의 범위로 명확하게 규정해야 한다.

또한 식물공장 산업의 정상화와 지속적인 발전을 위해서는 단기적으로 지속적인 수익 창출 모델(기업)을 만들어야 한다. 이를 위해 직접적인 지원도 중요하지만 정책, 법, 제도 등과 전후방 산업 등 인프라 구축과 연구개발에 지속적인 투자가 필요하다. 이러한 지원과 투자는 학계, 산업계, 정관계 전문가 집단이 단, 중, 장기 로드맵을 작성한 후 계획적으로 추진되어야 할 것이다. 초기설치비용 운영비를 절감할 수 있는 신재생에너지, 자동화시설 등을 보조형태로 지원해야 경제성을 확보 할 수 있을 것

으로 보인다.

앞으로 외국의 대규모농장에서 생산되는 농산물의 경쟁력에서 앞서기 위해서는 품질향상과 출하시기가 중요하다. 따라서 관련 기술개발을 위해서 소규모 개별 연구개발보다는 범부처 차원의 일관성 있는 대규모 연구개발 체계가 필요하다.

References

- [1] Kim, Bae-Sung, et al., "A Review on Consumer's Attributes of Cut Flowers in Korea", *Korean Journal of Agricultural Economics*, 48(3), pp. 45-66, September 2007.
- [2] Kim, Jae-Hun, et. al., "Curret Status and the Development Direction of Plant Factory System", *Korean Journal of Plant Biotechnology*, pp. 442~455, 2010.
- [3] Kim, Jeong-Ho, "Industrialization Condition and Possibility of Plant Factory", *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*, Vol. 36. No. 4. pp. 918~948, December, 2009.
- [4] Kim, Yean-Jung, et. al., A Study on Business Models of Artificial Plant Factory, *Korean Rural Development Administration*, 2012.
- [5] Kim, You Ho, et. al., "Current Status and Development Direction of the Domesticand Overseas for the Artificial Plant Factory", *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, Vol. 29 (SUPPL II), October 2011
- [6] Lee, Jeong Hyun, et. al., "Status and Development Course of Daylight Plant Factory in and Outside Country", *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, Vo. 29. (SUPPL II), pp. 37~38, October 2011
- [7] Lim, Song Tak, et. al., "Is Plant Factory a Sustainable Alternative?", *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*, Vol. 38. No. 4. pp. 917~942, 2011.
- [8] Thomas L. Saaty. "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process". *INFORMS*. Vol. 24, No. 6, pp. 19-43. (Nov. - Dec., 1994)
- [9] YANO Research. [The Present Condition and Prospects of Korea's plant factory in fast-changing global marketplace]. 2012.

김 연 중(Yean-Jung Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 대학원 농업경제학과 박사
- 2004년 9월 ~ 현재 : 한국농촌경제연구원 연구위원

<관심분야>

원예작물 생산-수급, 자원경제학, 식물공장, 신재생에너지

한 혜 성(Hye-Sung Han)

[정회원]



- 2005년 2월 : 서울대학교 대학원 경제학 석사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 한국농촌경제연구원 자원환경연구부 전문연구원

<관심분야>

신재생에너지, 식물공장, 농자재

김 배 성(Bae-Sung Kim)

[정회원]



- 1999년 6월 : 고려대학교 대학원 경제학박사
- 1999년 7월 ~ 2003년 1월 : 한국생명공학연구원, Post-Doc. 연구원, 선임기술원
- 2003년 2월 ~ 2012년 2월 : 한국농촌경제연구원 연구위원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 제주대 산업응용경제학과 교수

<관심분야>

생산경제학, 응용계량경제학, 농산물 수급예측, 식물공장, 농촌환경, 농업부문 에너지, 농업생명공학