

## 유전알고리즘을 이용한 온실지붕 형상의 최적설계 - 광투과율을 중심으로 -

박우식\* · 김문기  
서울대 농공학과

## Optimum Design of Greenhouse Roof Shape Using Genetic Algorithms - In Reference to Light Transmissivity -

Park, Woo-Sik\* · Kim, Moon-Ki  
Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

### Abstracts

In this study an optimization of greenhouse roof shape was performed to maximize solar light transmission which is one of the most important elements in greenhouse environment. To determine roof shape that maximize the total light transmissivity, a computer model for analysing light transmissivity was composed and the Genetic Algorithms was applied for solving optimization problems. By setting composite model as objective function(fitness function), the optimum combination of design variables(roof inclination angle, width ratio) was searched using Genetic Algorithms.

The optimum combination of input variables for the maximum light transmissivity at Suwon in winter was found 40 degree roof angle , 0.5 width ratio, for two span greenhouses and 37 ° roof angle, 0.7 width ratio, for single span greenhouses.

---

주제어 : 유전알고리즘, 최적설계, 광투과율, 지붕형상

Key words : Genetic Algorithms, optimum design, light transmissivity, roof shape

\* Corresponding author

## 서론

온실을 운영하는데 있어 중요한 비용요소 중 하나는 겨울철 난방비라고 할 수 있다. 자연에너지를 효율적으로 이용하여 경제적으로 온실을 운영하기 위한 온실설계나 운영프로그램에 대한 연구는 지금도 매우 중요한 연구주제라고 할 수 있겠다. 이 중 온실의 설계단계에서 고려할 점들로 많은 요소들이 있겠으나 특히 형상에 대한 관심이 지속되어 왔다. 형상에 대한 연구들은 구조역학적인 문제들을 제외하고 광투과율면에서 최적인 형상에 대한 연구(Critten, 1988; Kurata, 1995), 환기에 대해 최적인 형상에 대한 연구 등으로 구별할 수 있으며 광투과율에 최적인 형상에 대한 연구가 주종을 이루어 왔다고 생각된다. 그러나 대부분 광투과율을 고려한 최적형상 결정의 문제가 광투과율 모델을 개발하는데 치중하고 이를 바탕으로 한 최적화 단계를 간소하게 지나치는 경향이 있었다고 판단되었다.

그러한 경향의 이유로 대부분 온실의 평균 광투과율 계산모델이 수학적 모델이기보다는 온실 피복재를 이루는 투명판과 광선요소들 간의 공간기하 관계를 기반으로 한 산술적인 모델이기 때문이라고 생각된다. 즉, 입력과 출력관계가  $Y=f(X)$ 와 같이 수학적인 함수관계로 설정될 때 쉽게 시도될 수 있는 고전적인 최적화방법들이  $X \rightarrow$ 블랙박스 $\rightarrow Y$ 인 형태의 모델에서는 많은 제약들이 따르기 때문이다. 따라서 광투과율을 고려한 온실형상 결정의 문제는 3차원상의 온실 피복재의 배치를 고려한 광투과율 모델이 아니라 광투과율과 형상관계를 수학적으로 전개한 모델을 이용하여 행해졌다(Critten, 1988).

이에 본 연구에서는 3차원공간에서의 상황을 고려한 광투과율 모델을 이용하여 온실형상 특히 지붕형상의 최적화를 수행하고자 하였으며, 최적화문제의 해법으로 유전알고리즘

(Genetic Algorithms)을 적용하여 본 문제를 포함한 농업시설물의 최적설계에 대한 적용성을 검토하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### (1) 온실의 광투과율 해석을 위한 전산 모델

본 연구에서 작성한 전산모델은 온실 내로 입사하는 각 광선요소를 추적하여 온실 각 피복면에서의 반사 및 투과에 의한 손실을 누적하고 최종적으로 바닥에 도달하는 광량의 비율을 계산하도록 한 것으로, 3차원 공간에서 평면식으로 표현되는 온실 벽면들과 직선식으로 표현되는 각 광선들간의 교점, 입사각, 반사각의 주요함수인 투명체의 투과율, 반사율 등의 반복계산을 통해 풀이할 수 있다. 이와 같은 모델은 Critten(1983a, 1983b)에 의해서도 작성된 바 있으며 같은 개념을 이용하여 본 연구에서는 MATLAB<sup>®</sup>을 이용하여 구현하였다. 하나의 광선과 평면에 대한 투과율(transmissivity)은 아래의 식으로 구할 수 있다(Takakura, 1993).

$$\tau = \frac{(1-rf)^2 \cdot ab}{(1-rf^2 \cdot ab^2)} \quad (1)$$

산란광에 대한 투과율은 피복재료가 결정되면 형상에 따른 차이 없이 일정한 비율의 값을 가지며, 골조재에 의한 광투과율 감소영향도 형상에 관계없이 일정한 비율의 감소율을 나타내므로 최적설계를 위한 용도를 가지는 본 모델에서는 고려하지 않았다. 본 모델의 입력요소들로는 온실형상 요소(경사각, 폭비, 경간폭, 연동수, 길이 등), 온실의 방위, 지면의 경사, 지역의 위도, 경도 등이며 최적화를 수행하기 위해 중점적으로 고려한 요소는 설계변수인 지붕경사각과 지붕폭비이고 설계변수들의 정의는 Fig. 1과 같다.

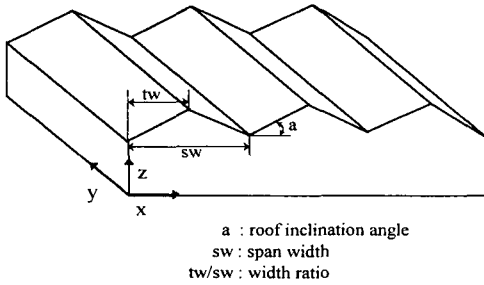


Fig. 1. Definition of design variables

(2) 전산모델을 이용한 최적화문제의 구성

본 연구에서 광투과율 해석을 위해 구성된 전산모델은 최적화를 위한 목적함수에 해당한다고 할 수 있다. 설계변수는 지붕형상을 결정하는 지붕경사각과 경간폭비로 하였다. 전산모델 자체를 목적함수로 설정한 경우의 최적화는 수학적인 함수를 목적함수로 하는 최적화와 달리 목적함수의 도함수 등을 구할 수 없고 탐색방향을 설정하기 위한 여러 가지 수학적인 함수기반의 개념을 도입하기 곤란하므로 직접탐색법 등을 적용하는데 이때 직접 각 설계변수들의 값을 시행착오과정으로 조합하기에는 상당히 많은 계산량이 요구된다. 또한 최적해에 수렴하지 않고 무한히 반복되거나 국부최적해(local optimum)에 수렴할 위험성도 많다. 이와 같은 경우의 탐색은 주어진 검색조건만을 기준으로 하여 반복적인 계산에 의존할 수밖에 없으며 따라서 최대한 계산수를 줄이면서 주어진 조건을 만족하는 탐색결과를 얻을 수 있도록 하는 것이 관건이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 그러한 방법들 중에서도 인공지능 연구분야에서 학습을 위한 탐색법으로 처음 사용되었고 이후 공학분야에서 최적화알고리즘으로 도입되어 그 효과를 차츰 인정받고 있는 유전알고리즘(genetic algorithms)을 이용하였으며 그 적용 타당성을 검토하였다.

본 연구에서 작성한 광투과율 해석을 위한

전산모델의 개략적인 개념도는 Fig. 2와 같다.

(3) 유전알고리즘을 이용한 최적설계

유전알고리즘(Gentic Algorithms)은 적자생존 및 자연도태의 원리를 최적해의 탐색에 도입한 알고리즘이다. 개략적인 원리는 2진수로 코딩된 설계변수들 각각을 유전자로 하고 이들을 연결한 2진 문자열을 하나의 개체로 삼아 일정한 수의 초기개체군으로부터 교배, 재생산, 변이 등의 과정을 거쳐 계속적으로 개체군의 세대를 진화시켜 결국에 주어진 조건에 가장 적합한 개체들만이 개체군에 남도록 하는 과정을 거친다(Goldberg, 1989).

앞에서 작성된 광투과율 해석을 위한 전산모델은 유전알고리즘을 수행하는 데 있어 각 개체의 적합도를 계산하는데 사용되며, 한 개체는 각각 2진수화된 지붕경사각값과 지붕폭비 값의 연결체로 이루어진다. 개체의 적합도는 광투과율 산정 프로그램에 간단한 선행처리를 추가하여 모델의 다양한 입력요소들 중 최적설계변수인 지붕경사각 및 지붕폭비만을 남기고 나머지는 주어진 값으로 고정하여 모델을 구동하도록 하고 이로부터 출력되는 투과율 값을 구하여 판정한다. 유전알고리즘의 요청이 있을 때마다 구동되는 전산모델의 계산범위는 주어진 지붕경사각, 지붕폭비일 때를 기준으로 온실바닥에서의 총투과율을 구하고 일출부터 정오까지 1시간별로 구한 각 투과율 값들을 평균하도록 하였다. 여기서 정오까지 만으로 한 이유는 최적화의 가정에서 온실이 동서동인 것으로 하였고 정오에 태양이 남중한다고 보아 그 이후는 오전과 동일하게 대칭되는 값을 보이기 때문이다. Fig. 3은 전산모델과 유전알고리즘을 조합한 최적화 과정을 간략하게 도시한 것이다.

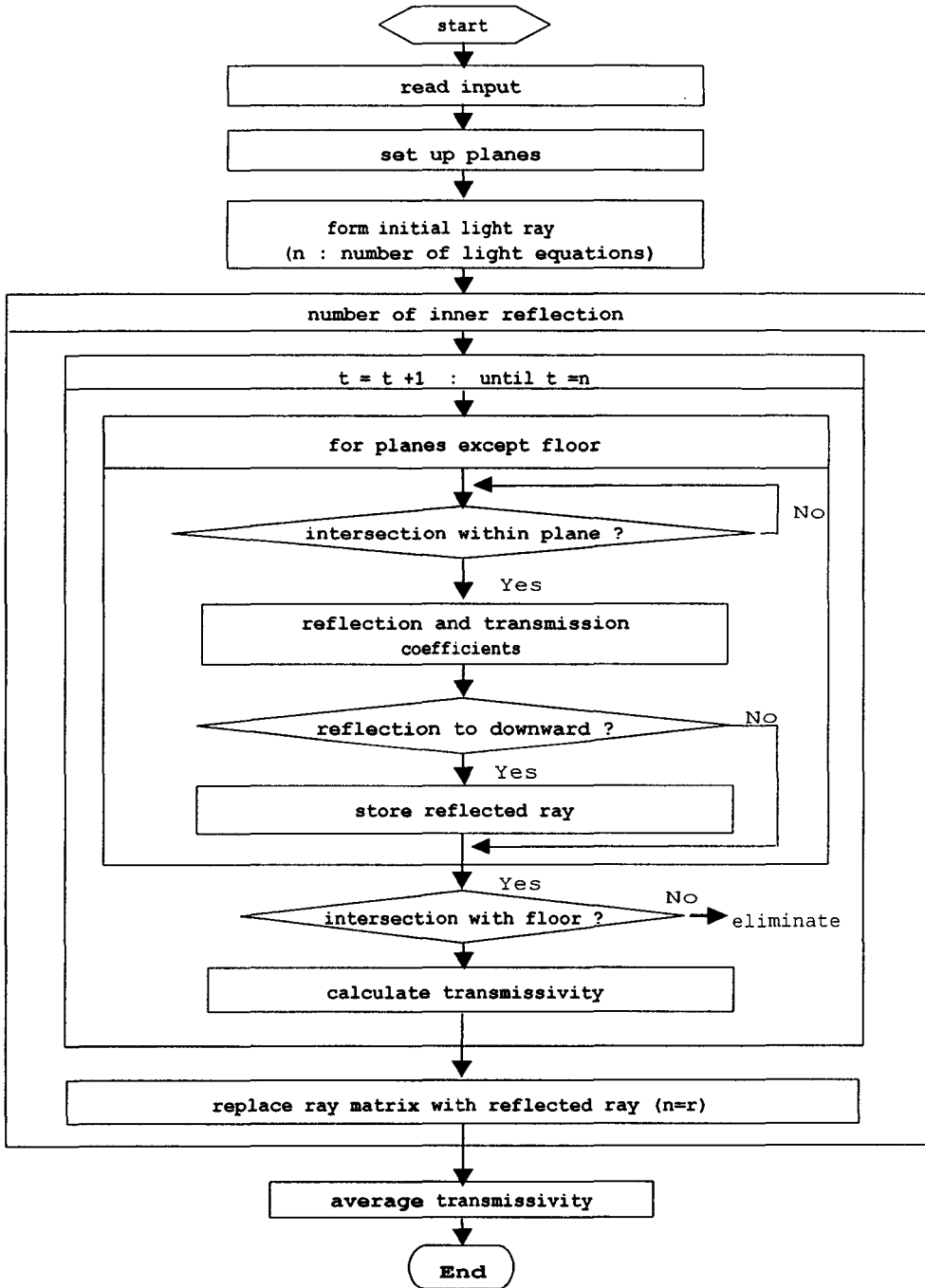


Fig. 2. Flowchart of computer model to calculate greenhouse light transmissivity

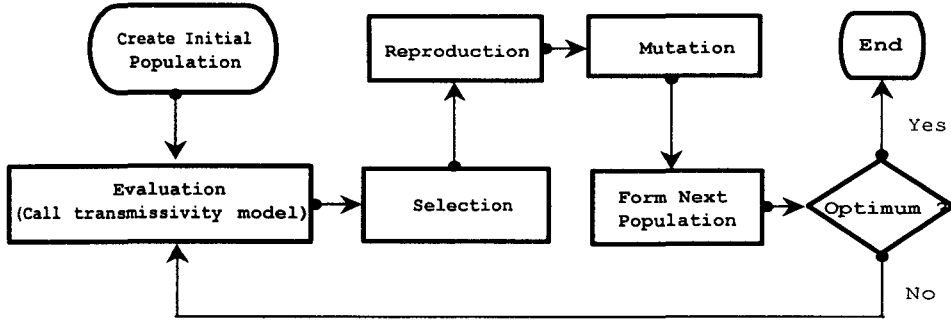


Fig. 3. Flowchart of the optimization process using GAs

## 결과 및 고찰

### (1) 광투과율해석 모델의 검토

투명판을 통과하는 광선의 투과 및 반사특성을 기초로 각 입사광선의 거동을 추적하여 온실내 평균 광투과율을 해석하기 위한 전산 모델을 구성하였다. 프로그램은 MATLAB<sup>®</sup>에서 수행되도록 하였고 모델을 구성하는 각 요소들은 독립된 프로그램으로 모듈화하는 것을 기본으로 하였다. 본 모델은 최적화를 위한 용도로 지붕형상관련 설계변수들의 변화에 따른 광투과율의 변화를 살피는 데 주목적이 있으며, 모델의 검증을 위해서는 수원지역(서울대학교 농업생명과학대학 실험농장 소재)내의 유리온실에서의 실측치와 수원지역 조건(위도 : 37.267°, 경도 : 126.987°)에 대해 수행한 모델의 결과치를 비교하였다. 유리 피복면의 재료 특성치는 각각 소멸계수 0.076 cm<sup>-1</sup>, 굴절지수 1.526, 두께 3 mm의 값을 사용하였다.

아래 그림은 각각 Fig. 4는 설치방위에 따른 광투과율 변화, Fig. 5는 지붕경사각에 따른 광투과율 변화, Fig. 6은 지붕폭비에 따른 광투과율 변화를 모델에 의해 살펴본 결과를 나타내고 있다. 여기서 N은 1월1일을 기준으로 한 일년중의 날수(day of year)를 의미한다.

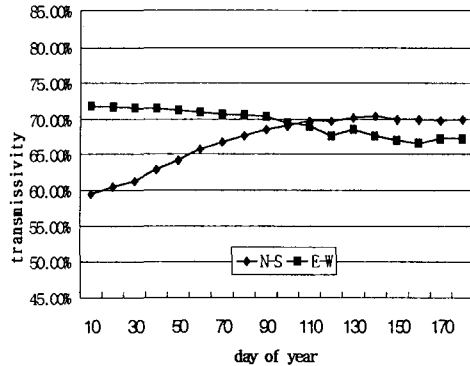


Fig. 4. Transmissivity according to the orientation of a greenhouse

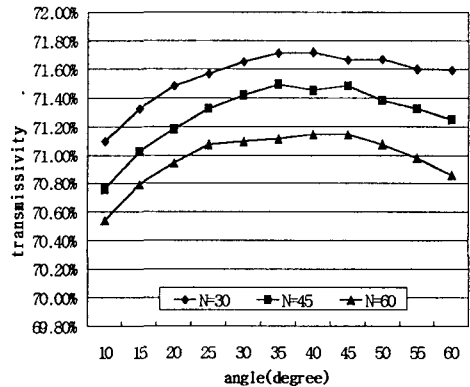


Fig. 5. Transmissivity according to the roof angle

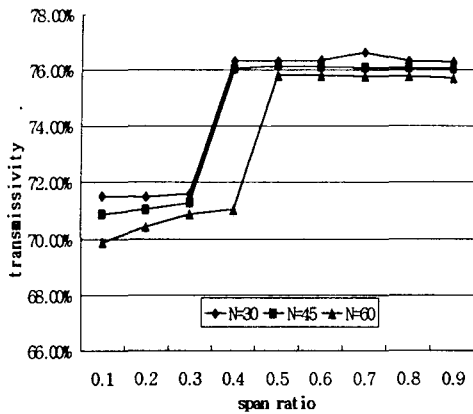


Fig. 6. Transmissivity according to width ratio (single span)

또한 광투과율 해석의 결과를 실측치와 비교한 결과 Fig.7과 같았으며 추정치와 실측치 모두 태양의 고도가 최고점에 이르는 12시경에 최대 투과율을 보였고 시간이 흐름에 따라 투과율이 낮아짐을 알 수 있었다. 13시의 실측치에서 점차적인 감소 경향에서 벗어나는 결과가 나타났는데 이는 온실에서의 일사량 측정시 골조에 의한 그림자의 영향인 것으로 판단되며, 전반적으로 실측치의 값이 추정치에 비해 5~8% 작게 나타나는 것은 온실 피복면 상의 불순물 등의 영향으로 판단되었다.

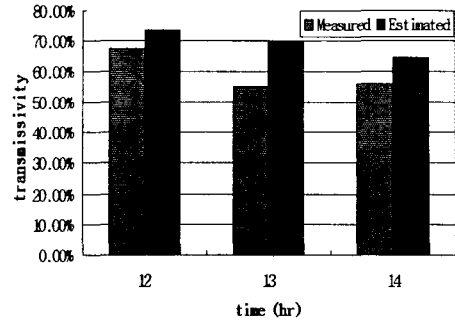


Fig. 7. Comparison of the estimated transmissivity with the measured one

(2) 전산모델에 의한 최적화 결과

Fig. 8은 수원지방에 위치한 경간폭 6m의 2연동 동서동 온실을 가정하고 지붕경사각과 지붕폭비를 설계변수로 하였을 때의 광투과율 변화를 나타낸 것이다. 유전알고리즘의 각 조건들이 Table 1.과 같을 때 겨울철 대표일(2월 1일)에 대한 지붕경사각, 지붕폭비의 최적조합은 각각  $40.861 \approx 40^\circ$ ,  $0.4806 \approx 0.5$ 로 나타났으며, 유전알고리즘이 수행되는 동안 각 세대의 개체군 적합도 즉, 광투과율의 변화는 Table 2.와 같았다. (최대 적합도 0.7684)

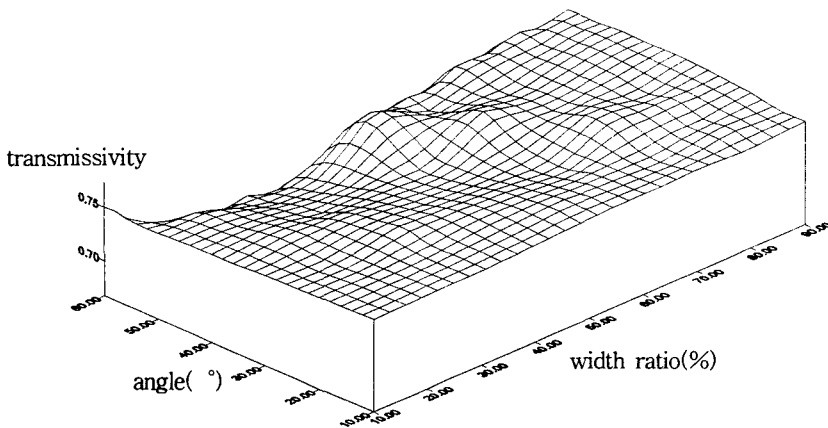


Fig. 8. Transmissivity according to roof angle and width ratio (span=2)

Table 1. Specification of GA

Population Size	30
Length of Chromosome	16 bit
Crossover Rate	1
Mutation Rate	0.0333

Table 2. Fitness of each generation (multi-span)

Generation	Max. Fitness	Min. Fitness	Mean Fitness	STD
1	0.7678	0.7230	0.7550	0.0096
2	0.7684	0.6918	0.7517	0.0168
3	0.7684	0.6916	0.7525	0.0177

Table 3. Fitness of each generation (single-span)

Generation	Max. Fitness	Min. Fitness	Mean Fitness	STD
1	0.7533	0.6783	0.7320	0.0227
2	0.7531	0.7010	0.7317	0.0217
3	0.7527	0.7008	0.7325	0.0208

마찬가지 조건과 방법으로 경간폭 6m를 갖는 수원지방에 설치된 동서동 단동온실을 가정하고 최적화를 수행한 결과 지붕경사각과 지붕폭비의 조합은 각각  $37.490 \approx 37^\circ$ ,  $0.7748 \approx 0.78$  일 때 최적인 것으로 나타났다.

유전알고리즘이 수행되는 동안 각 세대의 적합도(광투과율) 변화는 Table 3과 같았다.

## 적 요

겨울철 온실의 기본적인 열에너지원인 일사를 최대한 확보하도록 하는 온실의 지붕형상을 결정하기 위해 유전알고리즘 및 광투과율 전산모델을 이용한 최적화기법을 이용하여 설치지역, 피복재료특성, 온실의 기본치수 등이 주어졌을 때 지붕경사각, 경간폭비의 최적조합을 결정할 수 있도록 하는 최적설계를

수행하였다.

수원지방에 위치한 경간폭 6m의 2연동 동서동 온실 및 단동 온실을 가정하여 최적화를 수행한 결과 경사각, 폭비 순으로 2연동, 단동 온실에 대해 각각  $40.861 \approx 40^\circ$ ,  $0.4806 \approx 0.5$ ,  $37.490 \approx 37^\circ$ ,  $0.7748 \approx 0.78$ 의 결과를 얻을 수 있었다. 광투과율 문제를 예로 적용해 본 결과 직접 전산모델을 호출하여 최적화를 수행하는 유전알고리즘의 기법은 온실 환경의 해석을 위해 연구되어온 다양한 분야의 전산모델들을 종합적인 온실의 최적설계에 활용하도록 하는데 유용한 기법이 될 것으로 판단되었다.

## 인용문헌

1. Critten, D.L. 1983a. A computer model to calculate the daily light integral and

- transmissivity of a greenhouse. J. Agr. Eng. Res. 28 : 61-76
2. Critten, D.L. 1983b. The evaluation of a computer model to calculate the daily light integral and transmissivity of a greenhouse. J. Agr. Eng. Res. 28 : 545-563
  3. Critten, D.L. 1988. Light transmission through structureless multispan greenhouse roofs of "Gothic Arch" cross section. J. Agr. Eng. Res. 41 : 319-325
  4. Goldberg, D.E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley
  5. Kurata, K. 1995. Recalculation of optimal shapes of east-west oriented tunnels with respect to direct solar radiation transmissivity. Acta Horticulturae 399 : 113-120
  6. Takakura, T. 1993. Climate under cover. Kluwer Academic Publishers
  7. Zwart, H.F. 1993. Determination of direct transmission of a multispan greenhouse using vector algebra. J. Agr. Eng. Res. 56 : 39-49