

## 시설내 온도분포 균일화를 위한 온풍난방기용 2중 덕트개발

김태영\* · 김기덕 · 조일환 · 남은영 · 남윤일 · 우영희<sup>1</sup> · 문보흠<sup>2</sup>

원에연구소, <sup>1</sup>한국농업전문학교, <sup>2</sup>고양선인장시험장

## Improving the Distribution of Temperature by a Double Air Duct in the Air-Heated Plastic Greenhouse

Tae Young Kim\*, Ki Deog Kim, Il Hwan Cho, Eun Young Nam, Yoon Il Nam, Young Hoe Woo<sup>1</sup>, and Bo Heum Mun<sup>2</sup>

Div. of Protected Cultivation, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

<sup>1</sup>Korea National Agricultural College

<sup>2</sup>Goyang Cactus Experiment Station, Gyeong-do Agricultural Research & Extension Service, Korea

**Abstract.** Air temperature variation along the length of the air duct in an air-heated plastic greenhouse was large, 13 ~ 15°C between the front and the rear side of a greenhouse. To reduce this temperature variation, a new PE-film air duct having a small duct inside a large duct (double duct) was developed. This double duct was consisted of an inner duct with air outlets at a 0.15 m interval and an outer duct with air outlets at a 2.5 m interval. Diameters of the air outlet holes were 7, 15, and 35 cm from the front to the end of the inner duct film, while identical 10 cm holes were used on the outer duct film. As a result, air temperature was 46°C at the beginning side and 47°C at the ending side, while the conventional single duct had 53°C at the beginning point and 38°C at the ending point with a variation of 15°C. Height of a cucumber crop grown in a greenhouse with the new double air duct system was 65.5 cm, 14% increase as compared to that in a greenhouse with a conventional air duct system. Total fruit yield per 10a greenhouse in a greenhouse with the new double air duct system was 4,616 kg, which was 17% greater than that in a greenhouse with a conventional air duct system. Amount of heating oil consumption during March 3 to April 24, 2002 was 3,233 L per 10a greenhouse with the new double air duct system, which was 13% less than that with a conventional air duct system.

**Key words :** heating, double air duct, blowing air temperature, energy, greenhouse, cucumber

\*Corresponding author

### 서 언

시설원예에서 난방은 외기온이 낮은 저온기에 실내의 온도를 작물의 생육적온까지 상승시켜 작물재배를 가능하게 하는데 주 목적이 있다. 동절기 시설원예는 대부분 난방이 요구되며 시설원예 생산비 중에서 연료비가 차지하는 비중은 30 ~ 35%로 시설재배 선진국의 10 ~ 15%에 비하여 매우 높아서 농산물의 국제 경쟁력이 떨어지고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 동절기 난방에 소요되는 에너지 비용을 최소화하여 생산비를 낮추어야 한다.

온풍난방시 시설내 에너지 절감을 위한 국내의 연구

는 주로 보온, 난방기의 위치 및 덕트의 토출구 간격 및 직경(Kim 등, 1994), 난방배관 구조개선(Kwon 등, 1992) 등으로 연구되어 왔고, 최근에는 히트파이프의 열교환기를 이용한 배기열 회수장치(Kang 등, 1999; Kim 등, 2000)와 배기가스에 포함된 수증기의 응축열을 회수하는 콘덴싱 기술(Kim 등, 1999)에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다. 그 밖에 에너지절감대책으로 시설내 난방공간을 작물의 초장에 맞춰 시설내 수평커튼을 가변화 할 수 있도록 한 상하이동커튼 장치를 개발하였다(Kim 등, 1997). 그리고 초장이 작은 분화작물의 경우 시설내 전체난방에서 벤치주위만 난방하는 벤치부분난방과 터널재배기술이 개발된 바 있다

(Kim 등, 2001).

또한 난방재배시설의 대부분이 온풍난방을 하고 있다. 이러한 온풍난방의 경우, 온풍을 시설내로 송풍하기 위하여 주로 1중 비닐로 된 온풍덕트를 사용하고 있다. 이와 같이 온풍덕트를 사용할 때 시설의 온풍기가 있는 전면과 후면 온도 편차가 13~15°C로 시설내 온도분포가 균일하지 못하고 또한 작물의 생육차이로 인하여 수량과 품질이 떨어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 시설내 송풍덕트의 송풍온도와 풍속을 균일하게 하여 시설내 전·후면의 온도편차를 줄이고, 작물의 생육도 균일하게 할 수 있는 이중덕트를 개발하고자 연구를 수행하였다.

### 재료 및 방법

본 실험은 2002년 2월부터 2002년 12월까지 원예 연구소에서 수행하였다. 시험방법은 농가보급형 비닐하우스(1-1S형)에 개발된 이중덕트(330 m<sup>2</sup>)와 대조구로 관행의 온풍덕트(330 m<sup>2</sup>)를 설치하여 비교하였으며 두 처리 모두 온풍난방기(8만 kcal/h)를 이용하여 가온하였다. 송풍덕트의 자재는 관행덕트와 2중덕트 모두 PE필름으로 두께 0.1 mm를 이용하였다. 내부시설로는 수평 커튼을 사용하였고, 비닐하우스의 외부 및 내부피복재

의 필름 두께는 각각 0.1 mm, 0.05 mm의 PE필름을 사용하였다.

시설내 기온은 주야간 각각 최고 30°C, 최저 15°C 이상으로 관리하였다. 시험작물은 시설오이 품종인 백봉오이(*Cucumis sativus* L.)을 2002년 2월 7일에 정식하였다. 이중덕트 처리구는 정식후부터 이중덕트로 시설내 온도를 관리하였고, 관행은 관행덕트를 사용하여 온풍난방을 하였다. 오이 재배상은 두 처리 모두 흑색필름(0.01 m)으로 멀칭하였고 관수는 점적관수로 동일하게 관리하였다. 시비에 있어서는 N:P:K:퇴비를 20:11:12:3,000(kg/10a)비율로 사용하였다. 질소 및 칼리의 경우, 전체 시비량의 1/2은 정식전에 사용하고 나머지 1/2은 20일 간격으로 5번에 걸쳐서 추비하였다. 인산과 퇴비는 전량을 밑거름으로 사용하였다. 하우스내 환경측정은 Data logger(Li-1000, Li-cor)와 MP-092(Sola-V, Eko)으로 조사하였고, 시설내 연료소모량은 유량계를 이용하여 조사하였다.

### 결과 및 고찰

본 시험에서 사용한 이중덕트의 개략도는 Fig. 1과 같고, 이러한 이중덕트는 시설내 온풍기가 있는 전면과 그 반대쪽인 후면의 온도편차를 줄이기 위하여 개발하

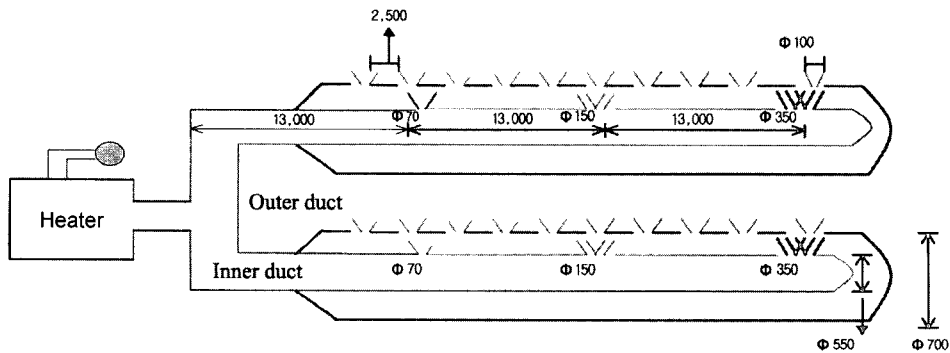


Fig. 1. A schematic diagram of the double duct system developed.

Table 1. Diameter and intervals of air outlet holes set for the treatments.

Treatment	Inner duct				Outer duct			
	Interval of outlet holes (m)	Number of outlet holes	Diameter of outlet hole (mm)	Area of outlet hole (cm <sup>2</sup> )	Interval of outlet holes (m)	Number of outlet holes	Diameter of outlet hole (mm)	Area of outlet hole (cm <sup>2</sup> )
Doulbe duct	13	3	75, 150, 350	1,176	2.5	16	100	1,256
Single duct	5	-	-	-	2.5	16	100	1,256

였다.

이중덕트의 구조는 내부덕트와 외부덕트로 구성되고 외부덕트의 직경은 0.7m며 내부덕트는 0.55m로 이루어졌다. 그리고 내부덕트는 외부덕트의 안에 넣어서 난방시 송풍이 내부덕트의 뒤쪽에서 돌아서 외부덕트의 안쪽으로 송풍되도록 하였다.

Table 1은 처리별 덕트 토출구의 직경 및 간격을 나타낸 것이다. 이중덕트에 있어서 내부덕트의 송풍토출구는 3개고 내부덕트의 송풍토출구 간격은 13m이다. 토출구의 직경은 온풍기가 있는 전면은 0.07m, 중앙은 0.15m, 후면은 0.35m로 하였다. 첫번째 송풍토출구와 두 번째, 세번째 송풍토출구의 전체면적의 합계는 1,176 cm<sup>2</sup>이고, 외부덕트의 송풍토출구 간격은 2.5m이고 1줄의 송풍덕트에서 16개의 송풍토출구가 있으며 총토출구 면적은 내부덕트의 총 토출구 면적인 1,256 cm<sup>2</sup>와 비슷하게 하였고 관행덕트는 외부덕트만 있으며 총 토출구면적이 1,256 cm<sup>2</sup>로 이중덕트의 외부덕트 토출구 면적과 같게 하였다.

그리고 내·외부덕트 토출구의 면적이 다르면 풍압과 송풍기의 모터에 부하 및 시설내 열분배에서도 차이가 있으므로 토출구 면적을 동일하게 하거나, 내부덕트의 토출구 면적보다 외부덕트의 총토출구 면적이 약간 크게 설치하여야 한다.

Fig. 2는 시설내 가온시기인 3월에 온풍덕트의 종류에 따른 시설내 전·후면의 온도분포를 나타낸 것이다. 이중덕트에 있어서는 시설의 온풍기가 전면에 있는 덕트의 온풍토출구 온도가 46°C이고 덕트의 후면 토출구 온도가 약 47°C로 거의 편차가 없었다. 관행덕트에 있어서 온풍기가 있는 전면의 온도가 53°C인데 비하여 온풍기로부터 떨어진 덕트의 끝지점인 45m에서는 38°C로 무려 15°C의 온도편차가 나서 시설내 온도분포 및 송풍온도가 불균일하다.

Fig. 3은 덕트종류에 따른 시설내 위치별 풍속을 비교하였다. 관행덕트의 경우 온풍기가 있는 시설의 전면보다는 후면의 풍속이 9 m/s로 전면보다 약간 높았으며, 전체적으로 평균 8 m/s를 나타내었다. 그러나 이중덕트는 내부덕트 토출구의 송풍이 한번 외부덕트에 부딪혀 풍압이 떨어지기 때문에 내부 덕트의 토출구 가까이 있는 외부덕트의 토출구의 풍속이 7.5~8 m/s 정도이며, 그리고 내부덕트의 토출구가 크게 뚫려 있는 뒤쪽으로 갈수록 풍속이 약간 높아졌다. 본 실험의 경우 관행덕트나 이중덕트 모두 온풍기가 있는 덕트의 전면보다는 후면의 풍속이 높게 나타났는데, 이것은 송풍기의 바람이 덕트의 끝단으로부터 차 나오기 때문인 것으로 판단된다.

정식 1개월 후 처리별 오이 생육은 Table 2와 같다.

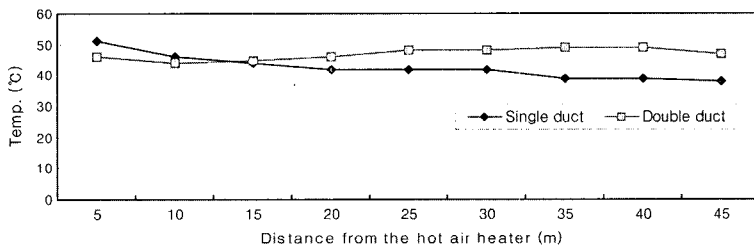


Fig. 2. Thermostatic distribution of two air distributing duct systems measured on Mar. 12, 2002.

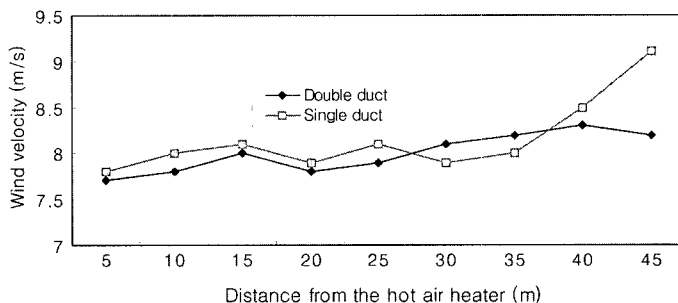


Fig. 3. Wind velocity of two air distributing duct systems measured on Mar. 12, 2002.

**Table 2.** Growth 30 days after planting of a cucumber crop grown in plastic greenhouses with two air duct systems.

Treatment	Front <sup>2</sup>	Middle <sup>2</sup>	Rear <sup>2</sup>	Remark
Double duct	74.5 a	68.6 a	65.5 b	Planted on Mar. 4. 2002
Single duct	75.6 a	65.9 a	57.2 a	

<sup>2</sup>LSD at a 5% level.

**Table 3.** Cucumber fruit yield and heating fuel consumption during March to June, 2002, in different position in the plastic greenhouse.

Treatment	Position of greenhouse	Fruit length (cm)	Fruit diameter (mm)	Mean fruit weight (g)	Commercial yield <sup>2</sup> (kg/10a)	Fuel consumption (L/10a)
Double duct	Front	24.7	30.4	163.5	4,901 a	3,233
	Middle	23.9	29.2	148.5	4,715 a	
	Rear	24.6	28.8	146.5	4,148 a	
	Mean	24.4	29.5	152.8	4,616	
Single duct	Front	24.7	28.2	141.0	4,657 a	3,724
	Middle	23.6	28.6	136.5	3,979 b	
	Rear	22.6	27.4	120.1	3,135 c	
	Mean	23.6	28.1	132.5	3,924	

<sup>2</sup>LSD at a 5% Level.

Table 2에서 알 수 있듯이 이중덕트의 온풍기 쪽의 전면과 중앙에 있어서 관행덕트와 비교하여 큰 차이를 보이지 않았지만, 온풍기로부터 먼 시설의 후면에 있어서는 오이 초장이 65.5 cm로 관행의 57.2 cm에 비하여 14%정도 생육이 좋아졌다.

Table 3은 반축성재배시 덕트종류별 시설내 위치에 따른 생육상태를 나타낸 것이다. Table 3에서 알 수 있듯이 오이의 과장은 관행덕트와 이중덕트에 있어서 큰 차이가 없었으며 평균과중은 이중덕트가 152.8 g으로 관행에 비하여 15% 증대되었다. 10a당 전체수량도 이중덕트가 4,616 kg으로 관행에 비하여 17% 증수되었는데, 세부위치별 전체수량을 보면 관행덕트에 있어서는 온풍기가 있는 전면과 반대쪽 후면의 수량차이가 1,500 kg정도 났으며 통계적인 유의차이가 있었다. 이중덕트에 있어서는 온풍기가 있는 전면과 반대쪽인 후면의 수량차이가 750 kg이었으나 통계적인 유의차가 없었다. 이는 오이의 수확기간내에 이중덕트가 관행덕트의 처리에서 보다 성장이 빨랐다는 것을 알 수 있다. 덕트종류별 반축성 재배기간인 '02년 3월 4일부터 4월 24일까지 시설내 가온시기에 연료소모량을 비교해보면 이중덕트를 사용한 처리구의 10a당 연료소모량이 3,233 l로 관행덕트를 사용한 처리구의 연료소모량 3,724 l에 비하여 13%가 절감된 것을 알 수 있다.

## 적 요

동절기 시설내 온도분포를 균일하게 하기 위하여 온풍난방기용 이중덕트를 개발하고자 본 연구를 수행한 결과 관행 온풍덕트의 각 지점간 토출구 송풍온도 차이가 13 ~ 14°C인데 비하여 개선형 덕트인 이중덕트의 토출구 송풍온도 차이가 3 ~ 4°C로 나타나 각 지점간의 온도 불균형이 크게 개선되었으며 이중덕트의 각 지점간의 생육정도도 관행덕트에 비해 크게 향상된 것으로 나타났다. 수량이 있어서도 관행덕트를 사용한 재배시설에서 10a당 3,924 kg에 비하여 이중덕트를 사용한 재배가 4,616 kg으로 약 17%가 증수되었다. 그리고 반축성 재배기간 동안 난방에 소요된 연료소모량은 관행덕트가 3,724 l/10a인데 비하여 이중덕트가 3,233 l로 13%의 연료절감 효과가 있다.

**주제어** : 난방, 이중덕트, 송풍온도, 에너지, 하우스, 오이

## 인 용 문 헌

- Kim, T.Y. and Y.S. Kwon. 2001. Effect of minimizing the heating space on energy saving hot pepper growth in the plastic greenhouse. Journal of Bio-Environment Control. 10(4):213-218 (in Korean).

2. Kim, H.Y. 1997. The study of therm-keeping in P.E house. Report NHRI:652-662 (in Korean).
3. Kim, T.Y. and H. Chun. 1995. The study on the environmental property and the growth response of Cucumber (*Cucumis Sativus* L.) in green house. Biological production facilities and environment control 5 :30-33 (in Korean).
4. Kim, T.Y. and I.H. Cho. 1997. Effects of airpoly PE house and air-injected double PE house for improvement of heat-keeping in green house. Report NHRI: 771-775 (in Korean).
5. Kim, T.Y. and Y.S. Kwon. 1994. Studies of heater position and duct installation for the effective heat management in green house. Report NHRI:505-509 (in Korean).
6. Kwon, Y.S. 1997. The technique of energy saving in protected cultivation. NJAES:37-61 (in Korean).
7. Kwon, Y.S. 1995. The development research for pipe-method in heating boiler. Report NHRI:485-490 (in Korean).
8. Lee, J.W. 1997. Effect of root zone warming by hot water in winter season on rhizosphere environment, growth and yield of greenhouse-grown cucumber (*Cucumis sativus* L.). Ph.d. thesis. Kyungpook University, Korea (in Korean).
9. Park, S.K. and Y.B. Lee. 1982. Efficient utilization of solar energy modelling for the energy conservation of the green glass house.:60-64 (in Korean).
10. Song, H.G. 1993. Heating of greenhouse. The automatization of protected horticulture. M.Y.D.:128-144 (in Korean).
11. Vogelezang, J. and Van Weel, P. 1990. Bench heating systems and their influence on microclimate. Acta Horticulturae. 245:243-251.
12. Vogelezang, J. and Van Weel, P. 1991. Effect of root-zone heating on growth flowering and keeping of Saintpaulia. Scientia Horticulturae. 34:101-113.
13. Japanese protected horticulture association editing. Protected horticulture handbook. 1998. Horticulture information center:128-138 (in Japanese).
14. Japanese protected horticulture association editing. Environment control technology of protected horticulture. 1997. Heating:56-66 (in Japanese).